IVASPE

INSTITUT VALENCIÀ
DE SEGURETAT PÚBLICA
I EMERGÈNCIES

Tema 11

Principios de construcción y estabilización de estructuras

Miguel Hernandez Asensio / Jorge Gil Blesa / Ramón Pérez Ibáñez / Moisés Belloch Mont /
Javier Oliver Fernández / Pedro Rodilla García / Pablo Ortiz Clemente

Índice de contenidos

BLOQUE 1. PRINCIPIOS DE LA CONSTRUCCIÓN

1. CONCEPTOS BASICOS DE EDIFICACIÓN
- **1.1.** LA FÍSICA Y LAS ACCIONES EN LA EDIFICACIÓN
  - **1.1.1.** TIPOS DE FUERZAS
    - **1.1.1.1.** FUERZA
    - **1.1.1.2.** MOMENTO DE UNA FUERZA
    - **1.1.1.3.** PAR DE FUERZAS
  - **1.1.2.** TIPOS DE ESFUERZOS
    - **1.1.2.1.** TRACCIÓN
    - **1.1.2.2.** COMPRESIÓN
    - **1.1.2.3.** CORTANTE
    - **1.1.2.4.** TORSIÓN
    - 1.1.2.5. FLEXIÓN
  - **1.1.3.** ACCIONES EN LA EDIFICACIÓN
    - **1.1.3.1.** VALOR CARACTERÍSTICO DE LAS ACCIONES
      - **1.1.3.1.1.** ACCIONES PERMANENTES: PESO PROPIO
      - **1.1.3.1.2.** ACCIONES VARIABLES
      - **1.1.3.1.2.1.** SOBRECARGA DE USO
      - **1.1.3.1.2.2.** VIENTO
      - **1.1.3.1.2.3.** NIEVE
    - **1.1.3.2.** VALORES DE CÁLCULO DE LAS ACCIONES
    - **1.1.3.3.** EJEMPLOS DE CARGAS EN FORJADOS
  - **1.1.4.** MECANISMO DE TRANSMISIÓN DE CARGAS DE UNA ESTRUCTURA
- **1.2.** MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
  - **1.2.1.** PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MATERIALES
    - **1.2.1.1.** DENSIDAD
    - **1.2.1.2.** PESO ESPECÍFICO
    - **1.2.1.3.** POROSIDAD
    - **1.2.1.4.** COMPACIDAD
    - **1.2.1.5.** CAPILARIDAD
    - **1.2.1.6.** PERMEABILIDAD
    - **1.2.1.7.** HELADICIDAD
    - **1.2.1.8.** HIGROSCOPICIDAD
    - **1.2.1.9.** LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA
    - **1.2.1.10.** LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA
    - **1.2.1.11.** DILATABILIDAD
    - **1.2.1.12.** TEMPERATURA DE FUSIÓN
    - **1.2.1.13.** RESISTENCIA AL CHOQUE TÉRMICO

1.2.1.14. REACCIÓN AL FUEGO
1.2.2. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES
1.2.2.1. ISOTROPÍA/ANISOTROPÍA
1.2.2.2. RESISTENCIA MECÁNICA
1.2.2.3. ELASTICIDAD / PLASTICIDAD
1.2.2.4. TENACIDAD
1.2.2.5. DUCTILIDAD / FRAGILIDAD
1.2.2.6. RIGIDEZ
1.2.2.7. FATIGA
1.2.2.8. FLUENCIA
1.2.2.9. DUREZA
1.2.3. CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES
1.2.3.1. PÉTREOS
1.2.3.1.1. PÉTREOS NATURALES
1.2.3.1.2. PÉTREOS ARTIFICIALES
1.2.3.2. METÁLICOS
1.2.3.2.1. SIDERÚRGICOS
1.2.3.2.2. NO FÉRREOS
1.2.3.2.3. MIXTOS
1.2.3.3. LA MADERA
1.2.3.4. BITUMINOSOS
1.2.3.5. PINTURAS
1.2.3.6. POLÍMEROS
1.2.4. EL CEMENTO ALUMINOSO
1.2.4.1. USO DEL CEMENTO ALUMINOSO EN ESPAÑA
1.2.4.2. CAUSAS DE LA DEGRADACIÓN DEL CEMENTO ALUMINOSO
1.3. PARTES DE LA EDIFICACIÓN
1.3.1. EL TERRENO
1.3.1.1. TIPOLOGÍAS
1.3.1.2. COMPORTAMIENTO DE LOS SUELOS
1.3.2 LOS CIMIENTOS
1.3.2.1. CIMENTACIONES DIRECTAS
1.3.2.2. CIMENTACIONES PROFUNDAS
1.3.2.3. ELEMENTOS DE CONTENCIÓN
1.3.2.3.1. PANTALLAS
1.3.2.3.2. MUROS
1.2.3.4. EVOLUCIÓN DE LAS CIMENTACIONES
1.3.3. LA ESTRUCTURA
1.3.3.1. CONCEPTOS BÁSICOS
1.3.3.1.1. GRADOS DE LIBERTAD
1.3.3.1.2. ELEMENTOS ESTRUCTURALES
1.3.3.1.3. UNIDAD ESTRUCTURAL BÁSICA: LA CRUJÍA.
1.3.3.1.4. UNIONES ENTRE ELEMENTOS
1.3.3.1.5. CONDICIONES DE CONTORNO
1.3.3.1.6. CRITERIOS DE ESTATICIDAD DE LAS ESTRUCTURAS
1.3.3.2. CLASIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES SEGÚN LOS ESFUERZOS A QUE ESTÁN SOLICITADOS
1.3.3.2.1. ELEMENTOS SOLICITADOS A COMPRESIÓN
1.3.3.2.1.1. MUROS Y PILARES
1.3.3.2.1.2. ARCOS
1.3.3.2.1.3. BÓVEDAS
1.3.3.2.1.4. CÚPULAS
1.3.3.2.2. ELEMENTOS SOLICITADOS A TRACCIÓN
1.3.3.2.2.1. CABLES
1.3.3.2.2.2. TIRANTES
1.3.3.2.2.3. TENSOESTRUCTURAS
1.3.3.2.2.4. ESTRUCTURAS NEUMÁTICAS
1.3.3.2.3. ESTRUCTURAS DE BARRAS SOLICITADAS A COMPRESIÓN O TRACCIÓN
1.3.3.2.3.1. CELOSÍAS PLANAS
1.3.3.2.3.2. CELOSÍAS ESPACIALES
1.3.3.2.3.3. MALLAS ESPACIALES
1.3.3.2.3.4. BÓVEDAS Y CÚPULAS TRIANGULADAS
1.3.3.2.4. ELEMENTOS SOLICITADOS A FLEXIÓN
1.3.3.2.4.1. VIGAS
1.3.3.2.4.2. FORJADOS Y LOSAS
1.3.3.2.4.3. PÓRTICOS DE NUDOS RÍGIDOS
1.3.3.2.4.4. LÁMINAS PLEGADAS
1.3.3.2.4.5. ESTRUCTURAS CON COMPORTAMIENTO DE MEMBRANA
1.3.4. LA CUBIERTA

Índice de contenidos

1.3.4.1. CLASIFICACIÓN DE LAS CUBIERTAS
1.3.4.1.1. CUBIERTAS PLANAS
1.3.4.1.1.1. CUBIERTAS TRANSITABLES
1.3.4.1.1.2. CUBIERTAS NO TRANSITABLES
1.3.4.1.2. CUBIERTAS INCLINADAS
1.3.4.1.2.1. CUBIERTA INCLINADA DE TEJA O SIMILAR
1.3.4.1.2.2. CUBIERTAS DE PIZARRA
1.3.4.1.2.3. CUBIERTAS DE FIBROCEMENTO
1.3.4.1.2.4. CUBIERTAS DE DERIVADOS DE PLÁSTICO
1.3.4.1.2.5. CUBIERTAS DE CHAPAS METÁLICAS
1.3.4.1.2.6. CUBIERTAS PANELES METÁLICOS
1.3.4.2. ESTRUCTURAS DE CUBIERTA
1.3.4.2.1. CUBIERTAS SIMPLES
1.3.4.2.2. CUBIERTAS CON CERCHA
1.3.4.2.3. CUBIERTAS CON PÓRTICOS
1.3.4.2.4. CUBIERTAS CON MALLAS ESPACIALES
1.3.5. CERRAMIENTOS DE FACHADA
1.3.5.1. TIPOS DE FACHADAS
1.3.5.1.1. FACHADAS DE DOBLE HOJA CON AISLAMIENTO INTERIOR
1.3.5.1.2. FACHADAS VENTILADAS
1.3.5.1.3. FACHADAS PREFABRICADAS
1.3.6. PARTICIONES INTERIORES
1.3.6.1. TIPOLOGIAS DE PARTICIONES INTERIORES
1.3.7. ESCALERAS
1.3.7.1. TIPOLOGÍAS DE ESCALERAS SEGÚN EL CTE DBSI
1.3.7.2. ESTRUCTURA DE LAS ESCALERAS
1.3.8. CUERPOS VOLADOS
1.3.9. FALSOS TECHOS
1.3.10. INSTALACIONES
1.4. SISTEMAS ESTRUCTURALES SEGÚN LA EDAD DE LAS EDIFICACIONES

1.4.1. SISTEMAS ESTRUCTURALES TRADICIONALES
1.4.1.1. LA CIMENTACIÓN
1.4.1.2. MUROS DE CARGAS
1.4.1.3. MEDIANERAS Y TABIQUES DE ARRIOSTRAMIENTO
1.4.1.4. PÓRTICOS INTERIORES
1.4.1.5. LA CAJA DE LA ESCALERA
1.4.1.6. LOS FORJADOS
1.4.1.7. LOS CUERPOS VOLADOS
1.4.1.8. LA CUBIERTA
1.4.2. LAS ESTRUCTURAS DE ENTRAMADO
1.4.2.1. LA CIMENTACIÓN
1.4.2.2. EL ENTRAMADO VERTICAL
1.4.2.3. EL ENTRAMADO HORIZONTAL
1.4.2.4. LOS CUERPOS VOLADOS
1.4.2.5. EL ENTRAMADO INCLINADO
1.4.2.6. LA ESCALERA
1.4.3. SISTEMAS ESTRUCTURALES RECIENTES
1.4.3.1. ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO
1.4.3.1.1. LA CIMENTACIÓN
1.4.3.1.2. LOS PÓRTICOS
1.4.3.1.3. LOS FORJADOS
1.4.3.1.4. LOS CUERPOS VOLADOS
1.4.3.1.5. LA CUBIERTA
1.4.3.1.6. LAS ESCALERAS
1.4.3.2. ESTRUCTURAS METÁLICAS
1.4.3.2.1. LA CIMENTACIÓN
1.4.3.2.2. LOS PÓRTICOS
1.4.3.2.3. LOS FORJADOS
1.4.3.2.4. LOS CUERPOS VOLADOS
1.4.3.2.5. LA CUBIERTA
1.4.3.2.6. LAS ESCALERAS

2. PATOLOGÍA DE LA EDIFICACIÓN
2.1. CONCEPTOS BÁSICOS
2.2. CAUSAS DE LAS LESIONES
2.3. MANIFESTACIONES PATOLÓGICAS
2.3.1. FISURAS Y GRIETAS
2.3.1.1. CONCEPTO DE FISURA Y GRIETA.
2.3.1.2. CLASIFICACIÓN DE LAS FISURAS Y GRIETAS
2.3.1.3. CONTROL DE FISURAS Y GRIETAS
2.3.2. DEFORMACIONES
2.3.3. DESAGREGACIONES
2.3.4. DESPLOMES Y PANDEOS
2.3.5. DISGREGACIONES
2.3.6. SEPARACIONES DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES
2.4. CLASIFICACIÓN DE LAS LESIONES
2.4.1. LESIONES QUE SE MANIFIESTAN EN EL CONJUNTO DEL EDIFICIO
2.4.1.1. LESIONES ORIGINADAS EN LA BASE DE LA CIMENTACIÓN
2.4.1.1.1. ASIENTOS
2.4.1.1.1.1. EL CONCEPTO DEL MARCO
2.4.1.1.2. ASIENTO CENTRAL
2.4.1.1.3. ASIENTO DE EXTREMOS
2.4.1.1.4. ASIENTO DE ESQUINA
2.4.1.1.5. ASIENTO PUNTUAL
2.4.1.1.6. ASIENTO DEL CONJUNTO
2.4.1.1.7. DESPLAZAMIENTOS
2.4.1.1.8. ESPONJAMIENTOS
2.4.1.1.9. ROTACIONES
2.4.1.2. LESIONES ORIGINADAS EN LA ESTRUCTURA
2.4.1.2.1. APLASTAMIENTOS
2.4.1.2.2. DEFORMACIONES
2.4.1.2.3. DEFORMACIONES DE VIGAS
2.4.1.2.4. DEFORMACIONES DE FORJADOS
2.4.1.2.5. DESPLAZAMIENTOS
2.4.1.2.6. PANDEOS
2.4.1.2.7. ROTACIONES
2.4.2. LESIONES QUE SE MANIFIESTAN EN LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES
2.4.2.1. ESTRUCTURAS DE ACERO
2.4.2.1.1. CORROSIÓN
2.4.2.1.2. DEFORMACIONES
2.4.2.1.3. DESGARRO LAMINAR
2.4.2.1.4. ROTURA FRÁGIL
2.4.2.1.5. ROTURA POR FATIGA
2.4.2.2. ESTRUCTURAS DE FÁBRICA
2.4.2.2.1. FLEXIÓN
2.4.2.2.1. COMPRESIÓN
2.4.2.3.3. CORTANTE
2.4.2.2.4. EMPUJES
2.4.2.2.5. HUMEDADES
2.4.2.2.6. PANDEO
2.4.2.2.7. TORSIÓN

Índice de contenidos

2.4.2.3. ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE HORMIGÓN ARMADO
2.4.2.3.1. AFOGARADO
2.4.2.3.2. ANCLAJE
2.4.2.3.3. COMPRESIÓN SIMPLE
2.4.2.3.5. CORROSIÓN
2.4.2.3.5. CORTANTE
2.4.2.3.6. FLEXIÓN SIMPLE
2.4.2.3.7. FLEXIÓN COMPUESTA
2.4.2.3.8. HUMEDADES
2.4.2.3.9. PUNZONAMIENTO
2.4.2.3.10. RASANTE
2.4.2.3.11. RETRACCIÓN
2.4.2.3.12. TORSIÓN
2.4.2.3.13. TRACCIÓN SIMPLE
2.4.2.4. ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE MADERA
2.4.2.4.1. COMPRESIÓN
2.4.2.4.2 CORTANTE
2.4.2.4.3. FLEXIÓN
2.4.2.4.4. HONGOS
2.4.2.4.5. INSECTOS XILÓFAGOS
2.4.2.4.6. METEORIZACIÓN
2.4.2.4.7. TRACCIÓN

3. COMPORTAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS FRENTE LA ACCIÓN DEL FUEGO
3.1. CONCEPTOS Y NORMAS RELACIONADAS CON EL COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES
3.1.1. CURVA DE FUEGO NORMALIZADA
3.1.2. REACCIÓN AL FUEGO DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
3.1.3. CARACTERÍSTICAS DE COMPORTAMIENTO DE RESISTENCIA AL FUEGO
3.1.4. DECLARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE RESISTENCIA AL FUEGO
3.1.4.1. PERIODOS DE CLASIFICACIÓN
3.1.4.2. DECLARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO
3.1.4.3. PRESENTACIÓN DE CLASIFICACIÓN
3.2 COMPORTAMIENTO AL FUEGO DE LAS ESTRUCTURAS TRADICIONALES
3.2.1. COMPORTAMIENTO AL FUEGO DE LA MADERA
3.2.1.1. VIGAS DE CARGA
3.2.1.2. VIGUETAS DE MADERA

3.2.2. COMPORTAMIENTO AL FUEGO DE LAS ESTRUCTURAS DE FÁBRICA
3.3 COMPORTAMIENTO AL FUEGO DE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO
3.3.1. COMPORTAMIENTO DEL ACERO FRENTE LA ACCIÓN DEL FUEGO
3.3.1.1. VALORACIÓN DE TEMPERATURAS CRÍTICAS PARA ACEROS DE ARMAR
3.3.1.2. FACTORES QUE CONDICIONAN EL CALENTAMIENTO DEL ACERO DEL HORMIGÓN ARMADO
3.3.2. COMPORTAMIENTO DEL HORMIGÓN FRENTE LA ACCIÓN DEL FUEGO
3.3.2.1. CAMBIOS DE COLORACIÓN DEL HORMIGÓN CON EL AUMENTO DE LA TEMPERATURA
3.3.3. COMPORTAMIENTO DEL HORMIGÓN ARMADO FRENTE AL FUEGO
3.3.3.1. DIFERENCIA DE DILATACIONES DE LOS DISTINTOS MATERIALES
3.3.3.2. COMPORTAMIENTO DE LA ADHERENCIA DE LAS ARMADURAS-HORMIGÓN A ALTAS TEMPERATURAS
3.3.3.2.1. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA TENSIÓN DE ADHERENCIA A ALTAS TEMPERATURAS
3.3.3.2.2. VARIACIÓN DE LA TENSIÓN DE ADHERENCIA CON EL AUMENTO DE LAS TEMPERATURAS
3.3.3.2.3. CONCLUSIONES FINALES RELATIVAS A LA ADHERENCIA
3.3.4. TABLAS RESUMIDAS DEL COMPORTAMIENTO DEL HORMIGÓN ARMADO
3.3.5. NIVELES DE PATOLOGÍAS DEL HORMIGÓN ARMADO
3.4. COMPORTAMIENTO DE LOS SISTEMAS ESTRUCTURALES DEL HORMIGÓN ARMADO FRENTE LA ACCIÓN DE LOS INCENDIOS
3.4.1. ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO IN SITU REALIZADAS EN LA ACTUALIDAD
3.4.2. ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO DE 30-40 AÑOS
3.4.2.1. EJEMPLO 1: INCENDIO QUE AFECTA A LOCAL INDUSTRIAL
3.4.2.2. EJEMPLO 2: INCENDIO DE UN GARAJE UN PRIMER SÓTANO
3.4.2.3. EJEMPLO 3: INCENDIO EN EDIFICO DE VIVIENDAS
3.4.3. ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO PREFABRICADO
3.4.3.1. PILARES PREFABRICADOS
3.4.3.2. VIGAS PREFABRICADAS
3.4.3.3. LOSAS ALVEOLARES
3.4.3.3.1. LOSAS ALVEOLARES PARA FORMACIÓN DE FORJADOS
3.4.3.3.2. LOSAS ALVEOLARES EN PARAMENTOS VERTICALES
3.4.4. COMPORTAMIENTO DE LAS FACHADAS DE LAS NAVES INDUSTRIALES AFECTADAS POR INCENDIOS
3.5 COMPORTAMIENTO AL FUEGO DE LAS ESTRUCTURAS DE ACERO
3.5.1. VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL ACERO CON EL INCREMENTO DE LA TEMPERATURA
3.5.1.1. VARIACIÓN DE LA DENSIDAD DEL ACERO
3.5.1.2. VARIACIÓN DE LA RELACIÓN TENSIÓN-DEFORMACIÓN
3.5.1.3. VARIACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD
3.5.1.4. DILATACIÓN TÉRMICA
3.5.2 COMPORTAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS DE ACERO EN LOS INCENDIOS

4. COMPORTAMIENTO DE LAS EDIFICACIONES AL TERREMOTO
4.1. CONCEPTOS DE TERREMOTOS
4.2. CARACTERÍSTICAS DE UN TERREMOTO
4.2.1. MAGNITUD
4.2.2. INTENSIDAD
4.2.3. OTROS DATOS QUE CARACTERIZAN A UN TERREMOTO
4.3. SERIE SÍSMICA

Índice de contenidos

4.4. EFECTOS DE LOS TERREMOTOS
4.4.1. MOVIMIENTOS DE LADERA
4.4.2. SUBSIDENCIAS
4.4.3. LICUEFACCIÓN
4.4.4. TSUNAMIS
4.4.5. VIBRACIÓN DEL SUELO
4.5. LOS TERREMOTOS EN LA COMUNITAT VALENCIANA
4.6 DAÑOS EN LAS EDIFICACIONES
4.6.1. DAÑOS NO ESTRUCTURALES
4.6.2. DAÑOS ESTRUCTURALES
4.6.2.1. ESTRUCTURAS DE MUROS DE CARGA
4.6.2.2 ESTRUCTURAS PORTICADAS
4.6.2.2.1. ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO IN SITU
4.6.2.2.2. ESTRUCTURAS DE PANELES PREFABRICADOS
4.6.2.2.3. ESTRUCTURAS DE ACERO

5. INSPECCIONES Y MEDIDAS DE URGENCIA EN EDIFICACIONES
5.1. SERVICIOS DE INSPECCIÓN EN EDIFICACIONES
5.2. ACTUACIONES DE URGENCIA
5.2.1. SANEADOS DE CONSTRUCCIONES
5.2.1.1. REGLAS BÁSICAS PARA EL DESARROLLO DE UN SANEADO
5.2.2. APUNTALAMIENTO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES O CONSTRUCTIVOS
5.2.3. TAPIADO DE ACCESOS
5.2.4. COLOCACIÓN DE VALLAS O CINTA DE PROTECCIÓN
5.2.5. COLOCACIÓN DE REDES DE PROTECCIÓN
5.2.6. COLOCACIÓN DE MARQUESINAS
5.2.7. LIMITACIÓN DE SOBRECARGAS
5.2.8. DESALOJOS
5.2.8.1. TIPOS DE DESALOJOS
5.2.8.2. REGLAS BÁSICAS PARA EL DESARROLLO DE UN DESALOJO

BIBLIORAFIA

BLOQUE 2. ESTABILIZACIÓN DE ESTRUSCTURAS Y ACTUACIONES ANTE DERRUMBES

6. INTERVENCIÓN EN DERRUMBAMIENTOS
- **6.1.** TIPOLOGIAS
  - **6.1.1.** CONSTRUCCIONES MIXTAS
    - **6.1.1.1.** POSIBILIDADES DE DERRUMBAMIENTOS
    - **6.1.1.2.** CAUSAS HABITUALES DE DERRUMBES
    - **6.1.1.3.** CLASIFICACIÓN BÁSICA
  - **6.1.2.** CONSTRUCCIONES DE HORMIGÓN ARMADO. LA EVOLUCIÓN, EL MATERIAL EMPLEADO Y LA SISTEMÁTICA EMPLEADA, HACE QUE PASEMOS A UN TIPO DE CONSTRUCCIONES MÁS MODERNAS Y ESTAS SE ENGLOBAN EN:
    - **6.1.2.1.** POSIBILIDADES DE DERRUMBAMIENTOS PARA ESTAS EDIFICACIONES
      - **6.1.2.1.1.** CAUSAS
    - **6.1.2.2.** CLASIFICACIÓN SEGÚN EL GRADO DE AFECCIÓN
      - **6.1.2.2.1.** DESAPARICIÓN DE UNA O VARIAS PLANTAS
      - **6.1.2.2.2.** CAÍDA LATERAL DEL EDIFICIO
      - **6.1.2.2.3.** DERRUMBAMIENTO SOBREPUESTO
      - **6.1.2.2.4.** DERRUMBAMIENTO SOBREPUESTO DE PLANTAS INTERMEDIAS
      - **6.1.2.2.5.** DESTRUCCIÓN TOTAL
- **6.2.** HUECOS DE SUPERVIVIENCIA
  - **6.2.1.** CLASIFICACIÓN
    - **6.2.1.1.** HUECOS DE SUPERVIVENCIA GRANDES
    - **6.2.1.2.** HUECOS DE SUPERVIVENCIA PEQUEÑOS
- **6.3.** SISTEMÁTICA DE ACTUACIÓN ANTE UN DERRUMBAMIENTO
  - **6.3.1.** ZONIFICACIÓN
  - **6.3.2.** NECESIDADES PARA LA TOMA DE DECISIONES
    - **6.3.2.1.** INFORMACIÓN
    - **6.3.2.2.** OBSERVACIÓN
  - **6.3.3.** INTERVENCIÓN
    - **6.3.3.1.** SIN VICTIMAS
    - **6.3.3.2.** CON VÍCTIMAS
      - **6.3.3.2.1.** VÍCTIMAS DE SUPERFICIE
      - **6.3.3.2.2.** VÍCTIMAS SEMIENTERRADAS O EN ZONAS DE ACCESO DIFICIL
      - **6.3.3.2.3.** VÍCTIMAS OCULTAS
  - **6.3.4.** SEGURIDAD

7. APEOS
- **7.1.1.** INTRODUCCIÓN
  - **7.1.1.1.** SISTEMAS LIGEROS DE APEOS

7.1.1.2. TIPOLOGÍA DE APEOS SEGÚN SU FUNCIÓN
- **7.1.1.3.** CLASES DE DURACIÓN Y CLASE DE SERVICIOS
- **7.1.2.** MATERIALES Y RESISTENCIAS
  - **7.1.2.1.** MADERA EN APEOS
    - **7.1.2.1.1.** ANISOTROPÍA DE LA MADERA
    - **7.1.2.1.2.** HIGROSCOPICIDAD, CARÁCTER ORGÁNICO DE LA MADERA
    - **7.1.2.1.3.** ESCUADRÍAS MÁS EMPLEADAS
    - **7.1.2.1.4.** RESISTENCIA DE LA MADERA:
  - **7.1.2.2.** PUNTALES METÁLICOS
    - **7.1.2.2.1.** RESISTENCIA DE LOS PUNTALES METÁLICOS
- **7.1.3.** HERRAMIENTAS EN APEOS
- **7.1.4.** ACTUACIONES EN APEOS DE EMERGENCIAS
  - **7.1.4.1.** EVALUACIÓN Y TOMA DE DECISIONES
  - **7.1.4.2.** EJECUCIÓN DE UN APEO. GENERALIDADES
  - **7.1.4.3.** ZONIFICACIÓN DE EMERGENCIA
- **7.1.5.** APEOS EN ELEMENTOS HORIZONTALES:
  - **7.1.5.1.** APEOS EN FORJADOS
  - **7.1.5.1.** APEOS EN VIGAS
  - **7.1.5.3.** APEO EN VOLADIZOS
  - **7.1.5.4.** APEO DE CIMENTACIONES
- **7.1.6.** APEOS EN ELEMENTOS VERTICALES
  - **7.1.6.1.** APEOS EN MUROS DE CARGA O FACHADAS
  - **7.1.6.2.** APEOS EN MUROS DE CONTENCIÓN O EMPUJE

Índice de contenidos

7.1.6.3. APEOS EN PILARES
7.1.6.4. APEO VOLANTE, ACODALADO DE MUROS
7.1.6.5. ENCUENTROS, ENSAMBLAJE DE PIEZAS
7.1.7. APEOS EN ZANJAS, ENTIBACIONES
7.1.7.1. ENTIBACIÓN LIGERA
7.1.7.2. ENTIBACIÓN SEMICUAJADA
7.1.7.2. ENTIBACIÓN CUAJADA
7.1.8. APEOS EN BÓVEDAS
7.1.9. APEOS EN HUECOS, VENTANAS, PUERTAS

TABLAS RESUMEN DE RESISTENCIA

GLOSARIO DE TERMINOS DE APEOS

BIBLIOGRAFIA

8. LOCALIZACIÓN DE VÍCTIMAS
8.1. LOS PERROS DENOMINADOS DE RESCATE O SALVAMENTO
8.1.1. COMPOSICIÓN
8.1.2. PROCEDIMIENTO DEL TRABAJO DE LOCALIZACIÓN
8.1.2.1. CONSIDERACIONES A TENER EN CUENTA
8.1.2.2. LIMITACIONES
8.1.2.3. LOCALIZACIÓN DE CADÁVERES
8.1.3. CONCLUSIONES
8.2. MEDIOS ELECTRÓNICOS DE ESCUCHA
8.2.1. DESCRIPCIÓN
8.2.2. PROCEDIMIENTO DE TRABAJO
8.2.2.1. SENSORES
8.2.2.2. RASTREO
8.2.2.3. SENSOR ACÚSTICO
8.3. MINI-CÁMARAS O MICRO-CÁMARAS
8.3.1. PROCEDIMIENTO DE TRABAJO
8.4. LOCALIZACIÓN POR MEDIO DE DETECTORES ESCÁNER
8.4.1. LIMITACIONES
8.4.2. PROCEDIMIENTO DE TRABAJO

8.5. LOCALIZACIÓN POR MEDIOS DE FORTUNA
8.5.1. PROCEDIMIENTO DE TRABAJO
8.5.1.1. EDIFICIO O ZONA DAÑADA O SEMIDERRUIDA
8.5.1.2. EDIFICIO CON LA CESISÓN DE TODOS LOS PILARES
8.5.1.3. GRANDES ACUMULACIONES DE ESCOMBROS

9. MANIPULACIÓN DE VÍCTIMAS EN DERRUMBAMIENTOS
9.1. ACLARACIONES
9.2. REGLAS GENERALES DE LA MANIPULACIÓN DE LA VÍCTIMA
9.2.1. PUNTOS A TENER EN CUENTA
9.2.2. CONTROL CERVICAL
9.2.2.1. TRACCIÓN CERVICAL
9.2.3. ORDENES DE MANIPULACIÓN
9.3. MANIPULACIÓN DE VÍCTIMAS EN ESPACIOS ABIERTOS
9.3.1. TÉCNICAS DE ELEVACIÓN DE VÍCTIMA
9.3.1.1. MANIOBRA DE ELEVACIÓN BÁSICA
9.3.1.1.1. DECÚBITO SUPINO
9.3.1.1.2. DECÚBITO PRONO
9.3.1.2. MANIOBRA DE ELEVACIÓN Y DESPLAZAMIENTO LATERAL
9.3.1.3. MANIOBRA DE ELEVACIÓN CON CAIDA DE TABLA
9.3.2. TÉCNICA DE LADEADO DE VÍCTIMA
9.4. MANIPULACIÓN DE VÍCTIMAS EN ESPACIOS CONFINADOS
9.4.1. TECNICAS DE ELEVACIÓN DE VÍCTIMA
9.4.1.1. MANIOBRAS DE ELEVACIÓN BÁSICA REDUCIDA
9.4.1.1.1. DECÚBITO SUPINO
9.4.1.1.2. DECÚBITO PRONO
9.4.1.2. MANIOBRA DE MÍNIMA ELEVACIÓN
9.4.2. TÉCNICA DE LADEADO DE VÍCTIMA REDUCIDA
9.5. MANIOBRA PARA LA EVACUACIÓN DE LA VÍCTIMA POR SUPERFICIES INESTABLES
9.5.1. EJECUCIÓN DE LA MANIOBRA.
9.5.2. DETALLES A TENER EN CUENTA.

10. HERRAMIENTA ELÉCTRICA DE ROTURA
10.1. RADIAL
10.1.1. TIPOS DE RADIALES UTILIZADAS EN TAREAS DE RESCATES
10.2. SIERRA SABLE ELECTRICA DE RED DE 1500 W
10.3. MARTILLO DEMOLEDOR
10.4. MARTILLO COMBINADO / MARTILLO DEMOLEDOR
10.4.1. DIFERENTES TIPOS DE CINCELES Y SUS USOS

11. MANIOBRAS DE RESCATE
11.1. INTRODUCCIÓN
11.2.1 MANIOBRA DEL TOBOGÁN
11.2.2 MANIOBRA DE LA BISAGRA
11.2.3 PASO DE GRIETA
11.2.4 TRÍPODE CON VIENTOS
11.2.5 ASCENSO Y DESCENSO POR 4 PUNTOS

12. MANIOBRAS DE FUERZA
GENERALIDADES
MATERIALES DE ELEVACIÓN, EMPUJE Y TRACCIÓN
1. MATERIALES DE ELEVACIÓN Y EMPUJE. COJINES NEUMÁTICOS
2. MATERIALES DE TRACCIÓN. TRÁCTELES.
ACCESORIOS DE TRACCIÓN
1. CUERDAS
2. CABLES
3. ESLINGAS
4. CADENAS
5. POLEAS Y POLIPASTOS
PUNTOS DE ANCLAJE
1. VEHÍCULOS
2. ÁRBOLES
3. EDIFICACIONES
4. ANCLAJES DE FORTUNA
MANIOBRAS BÁSICAS
1. MÁSTIL
2. CABRA LIGERA
3. TRÍPODE DE FORTUNA

1. CONCEPTOS BASICOS DE EDIFICACIÓN

1.1. LA FÍSICA Y LAS ACCIONES EN LA EDIFICACIÓN

1.1.1. TIPOS DE FUERZAS

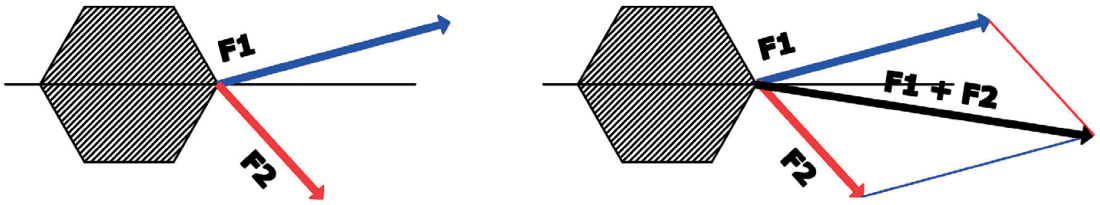
1.1.1.1. FUERZA

La fuerza es una magnitud vectorial que mide la razón de cambio de momento lineal entre dos partículas o sistemas de partículas. Según una definición clásica, fuerza es todo agente capaz de modificar la cantidad de movimiento o la forma de los materiales.

En el Sistema Internacional de Unidades, la unidad de medida de la fuerza es el newton (**N**), unidad derivada que se define como la fuerza necesaria para proporcionar una aceleración de 1 $m.s^{-2}$ a un objeto de 1 kg de masa.

La fuerza es una cantidad vectorial que tiene; un módulo, que viene dado por un número y unidad de medida; una dirección, que es la línea de acción de la fuerza; y un sentido, que es hacia donde se dirige la fuerza dentro de la dirección. Como cualquier vector se pueden sumar o restar o descomponer, Ilustración.

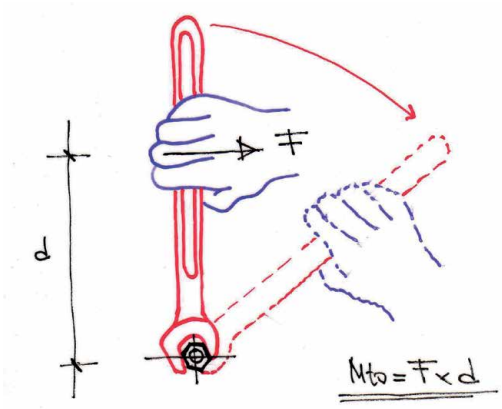
La tercera ley de Newton establece que siempre que se ejerce una fuerza sobre un objeto, éste ejerce una fuerza de igual magnitud y dirección, pero en sentido opuesto. Lo que se conoce como el principio de acción reacción.



Composición de fuerzas coplanarias.

1.1.1.2. MOMENTO DE UNA FUERZA

El momento de una fuerza es el resultado de aplicar una fuerza a un objeto que lo hace girar sobre un punto determinado, matemáticamente, es igual al producto de la intensidad de la fuerza (módulo) por la distancia desde el punto de aplicación de la fuerza hasta el eje de giro (excentricidad); por tanto, el momento aumenta tanto si aumenta la fuerza aplicada como si aumenta la distancia desde el eje hasta el punto de aplicación de la fuerza, Ilustración. La unidad de medida en el S.I es el Newton por metro (**N m**).

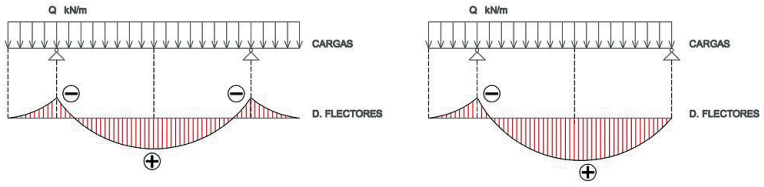


Momento de una fuerza.

Se denomina **momento flector** (o también "flexor"), o momento de flexión, a un momento de fuerza resultante de una distribución de tensiones sobre una sección transversal de un prisma mecánico flexionado o una placa que es perpendicular al eje longitudinal a lo largo del que se produce la flexión.

Es una solicitación típica en vigas y losas y en determinadas condiciones de pilares, ya que todos estos elementos suelen deformarse predominantemente por flexión. El momento flector puede aparecer en estos elementos por la acción de momentos directamente (en nudos empotrados), por la aplicación de cargas en sentido longitudinal excéntricas (pilares) o por cargas que reciben en sentido transversal a su directriz (vigas y losas).

Los signos que determinan los momentos flectores en vigas como positivos o negativos dependen del efecto que dicho momento produce, cuando el efecto del momento produce tensiones de tracción en las fibras inferiores de la viga se denomina momento positivo, mientras que, si el momento produce tensiones de tracción en las fibras superiores de la viga, se denomina momento negativo, Ilustración.



Representación del momento flector de una viga.

1.1.1.3. PAR DE FUERZAS

Un par de fuerzas es un sistema de dos fuerzas iguales, paralelas y de sentido contrario, que producen la rotación del cuerpo al que se le aplican, produciéndole por tanto un momento de giro.

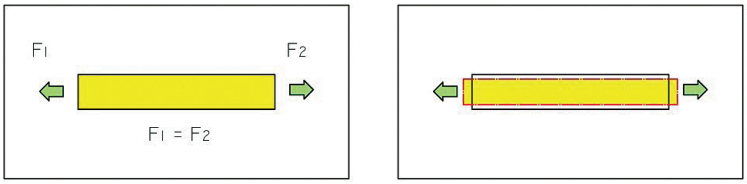
1.1.2. TIPOS DE ESFUERZOS

La constitución de la materia de los sólidos, presupone un estado de equilibrio entre las fuerzas de atracción y repulsión de sus elementos constituyentes (cohesión). Al actuar fuerzas externas a un sólido, se rompe el equilibrio interno y se modifican la atracción y repulsión, generándose, por lo tanto, una fuerza interna que tenderá a restaurar la cohesión, cuando ello no ocurre el material se rompe.

Las distintas fuerzas que pueden modificar un sólido son; tracción, compresión, cortante, torsión y flexión. En ocasiones los elementos estructurales, están sometidos a varias fuerzas.

1.1.2.1. TRACCIÓN

Un sólido está sometido a esfuerzos de tracción, cuando sobre él actúan dos fuerzas en la misma dirección, de igual magnitud y en sentido contrario, que tienden a alargarlo, Ilustración.

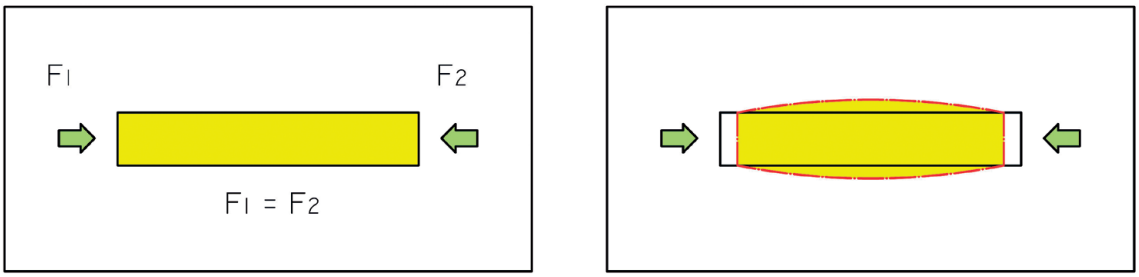


Sólido sometido a tracción.

Cuando un sólido no frágil está sometido a este tipo de esfuerzos, las caras paralelas a la dirección de las fuerzas tienden a juntarse y las perpendiculares a separarse, produciéndose un alargamiento del elemento y una contracción de su sección transversal. Si las fuerzas son lo suficientemente importantes, pueden producir la rotura por tracción.

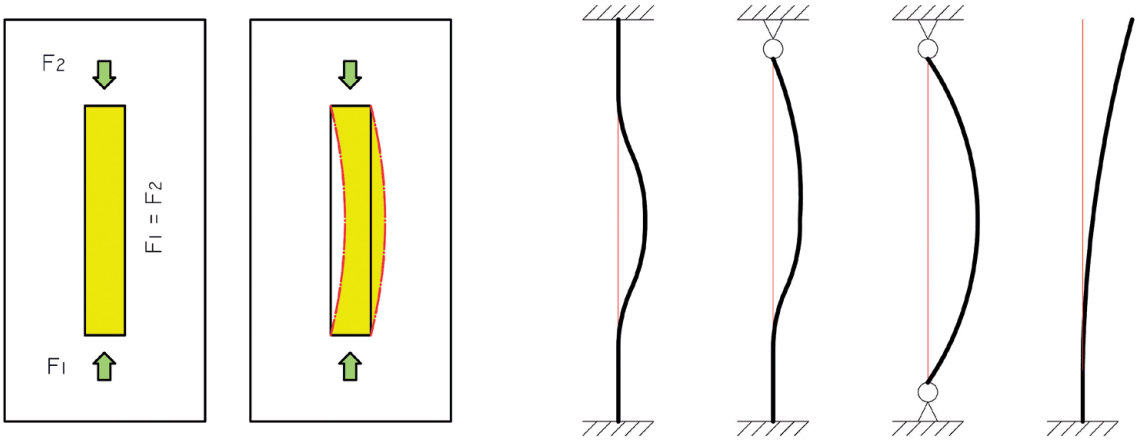
1.1.2.2. COMPRESIÓN

Un sólido está sometido a esfuerzos de comprensión cuando sobre él actúan dos fuerzas en la misma dirección, de igual magnitud y en sentido opuesto, que tienden a acortarlo, Ilustración.



Sólido sometido a compresión.

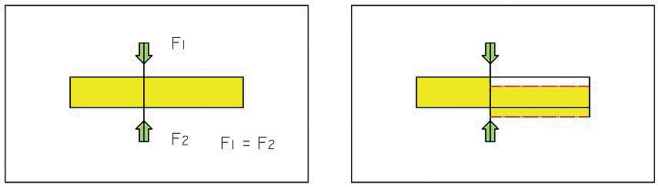
Cuando un sólido no frágil está sometido a este tipo de esfuerzos, las caras paralelas a la dirección de las fuerzas tienden a separarse y las perpendiculares a juntarse, produciéndose un acortamiento del sólido y un ensanchamiento de su sección transversal. Si las fuerzas son lo suficientemente importantes, pueden producir la rotura del sólido por compresión o aplastamiento, dichos esfuerzos también pueden provocar el colapso del sólido por pandeo (deformación perpendicular a la dirección de la fuerza), en el que intervienen aspectos como la esbeltez del elemento (relación entre la sección y la longitud) y las condiciones de enlace o apoyo, Ilustración.



Sólido sometido a compresión y formas de pandeo.

1.1.2.3. CORTANTE

Un sólido está sometido a esfuerzos de cortante cuando sobre él actúan dos fuerzas iguales y de sentido contrario en direcciones paralelas y muy próximas, Ilustración.

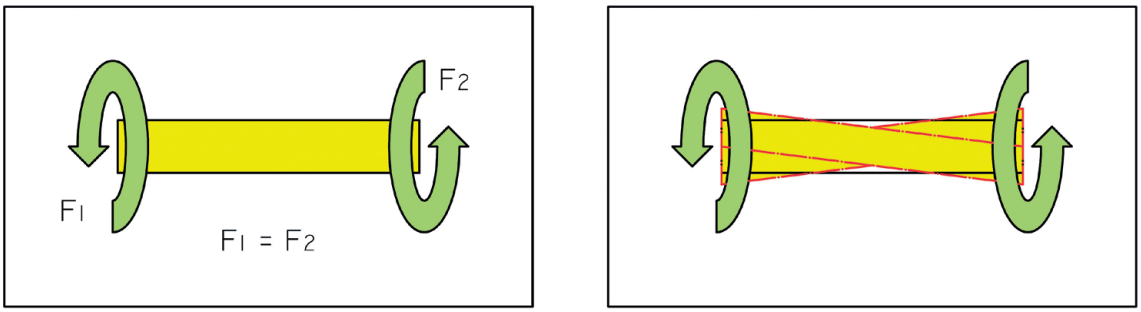


Sólido sometido a cortante.

Cuando se somete un sólido a esfuerzos de cortadura, este tiende a desunirse por desgarramiento en la separación de los dos planos en los que actúan las fuerzas. Este tipo de esfuerzos normalmente va asociado a la existencia de momentos flectores, o en el caso de elementos de unión como tornillos, remaches o soldadura.

1.1.2.4. TORSIÓN

Un sólido está sometido a torsión cuando dos pares de fuerzas contrarias actúan en planos paralelos y en sentido opuesto, Ilustración.

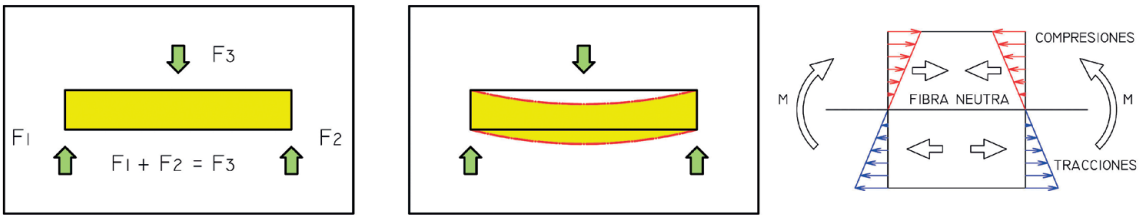


Sólido sometido a torsión.

Durante la torsión se originan esfuerzos de cortadura producidos por las rotaciones en sentido contrario de sus secciones.

1.1.2.5 FLEXIÓN

El esfuerzo de flexión puro o simple se obtiene cuando se aplican sobre un sólido pares de fuerza perpendiculares a su eje longitudinal, de modo que provoquen el giro de las secciones transversales con respecto a los inmediatos, Ilustración.



Sólido sometido a flexión.

En la flexión de una viga se producen esfuerzos de compresión, tracción y cortadura en la sección de la pieza. En el caso de la figura, la sección en el punto de aplicación de la fuerza F3 se comprime en la parte superior, y la inferior se tracciona o estira, existiendo entre las dos una línea (fibra neutra) que no está sometida ni a compresión ni a tracción.

1.1.3. ACCIONES EN LA EDIFICACIÓN

Las acciones a considerar en las edificaciones se clasifican por su variación en el tiempo, según establece el código técnico de la edificación en:

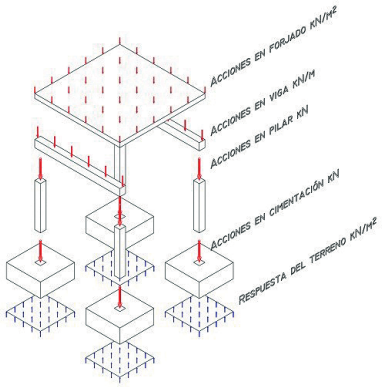
- **Acciones permanentes (G):** Son aquellas que actúan en todo instante sobre el edificio con posición constante: el peso propio de los elementos constructivos, las acciones del terreno y el pretensado.
- **Acciones variables (Q):** Son aquellas que pueden actuar o no sobre el edificio según circunstancias: acciones sobre barandillas y elementos divisorios, viento, acciones térmicas y la nieve.
- **Acciones accidentales (A):** Son aquellas cuya probabilidad de ocurrencia es pequeña, pero de gran importancia, como sismo, incendio e impacto.

Atendiendo a su forma aplicación en el tiempo, se distinguen:

- **Acciones estáticas**: la acción se aplica de forma gradual, lentamente y durante un tiempo prolongado, como peso propio, sobrecargas, etc.
- **Acciones dinámicas**: la acción varía rápidamente en el tiempo, como viento y sismo.

Atendiendo a su forma de distribución sobre los elementos que se aplican, se distinguen:

- **Acciones repartidas**: se considera que la acción se aplica con igual intensidad en una zona amplia, o a lo largo de una directriz.
  - Superficialmente: la acción se reparte en toda una superficie, como la carga de uso en un forjado. La unidad en el S.I. es el ($\mathbf{N \cdot m^{-2}}$).
  - Linealmente: la acción se reparte a lo largo de toda la longitud de elemento, como la carga de un forjado sobre la viga. La unidad en el S.I. es el newton por metro ($\mathbf{N \cdot m^{-1}}$).
- **Acciones concentradas**: se considera que la acción se aplica concentrada en un punto, o en una superficie muy reducida. La unidad en el S.I. es el newton (**N**).



Acciones según su forma de distribución.

1.1.3.1. VALOR CARACTERÍSTICO DE LAS ACCIONES

El valor característico de una acción viene determinado por un valor correspondiente a una determinada probabilidad de no ser superado durante un período de referencia, que tiene en cuenta la vida útil de la estructura y la duración de la acción.

A continuación, se indican los valores característicos de las acciones más representativas.

1.1.3.1.1. ACCIONES PERMANENTES: PESO PROPIO

El peso propio a tener en cuenta es el de los elementos estructurales, los cerramientos y elementos separadores, la tabiquería, la carpintería, los revestimientos (como pavimentos, guarnecidos, enlucidos, falsos techos), los rellenos (como los de tierras) y las instalaciones.

El valor característico del peso propio de los elementos constructivos, se determinará, en general, como su valor medio obtenido a partir de las dimensiones nominales y de los pesos específicos medios, que se indican en las siguientes tablas.

Tabiques (sin revestir)	Peso kN/m^2	Revestimientos (por cara)	Peso kN/m^2
Rasilla, 30 mm de espesor	0,40	Enfoscado o revoco de cemento	0,20
Ladrillo hueco, 45 mm de espesor	0,60	Revoco de cal, estuco	0,15
de 90 mm de espesor	1,00	Guarnecido y enlucido de yeso	0,15

Peso por unidad de superficie de tabiques. (Fuente. CTE-DBSE-AE).

Materiales y elementos	Peso kN/m^2	Materiales y elementos	Peso kN/m^2
Aislante (lana de vidrio o roca)		Tablero de madera, 25 mm espesor	0,15
por cada 10 mm de espesor	0,02	Tablero de rasilla, una hoja	
Chapas grecadas, canto 80 mm,		una hoja sin revestir	0,40
Acero 0,8 mm espesor	0,12	una hoja más tendido de yeso	0,50
Aluminio, 0 8 mm espesor	0,04	Tejas planas (sin enlistonado)	
Plomo, 1,5 mm espesor	0,18	ligeras (24 kg/pieza)	0,30
Zinc, 1,2 mm espesor	0,10	corrientes (3,0 kg/pieza)	0,40
Cartón embreado, por capa	0,05	pesadas (3,6 kg/pieza)	0,50
Enlistonado	0,05	Tejas curvas (sin enlistonado)	
Hoja de plástico armada, 1,2 mm	0,02	ligeras (1,6 kg/pieza)	0,40
Pizarra, sin enlistonado		corrientes (2,0 kg/pieza)	0,50
solape simple	0,20	pesadas (2,4 kg/pieza)	0,60
solape doble	0,30	Vidriera (incluida la carpintería)	
Placas de fibrocemento, 6 mm espesor	0,18	vidrio normal, 5 mm espesor	0,25
		vidrio armado, 6 mm espesor	0,35

Peso por unidad de superficie de elementos de cobertura. (Fuente. CTE-DBSE-AE).

Materiales y elementos	Peso kN/m^2	Materiales y elementos	Peso kN/m^2
Baldosa hidráulica o cerámica (incluyendo material de agarre)		Linóleo o loseta de goma y mortero	
0,03 m de espesor total	0,50	20 mm de espesor total	0,50
0,05 m de espesor total	0,80	Parque y tarima de 20 mm de espesor	
0,07 m de espesor total	1,10	sobre rastreles	0,40
Corcho aglomerado		Tarima de 20 mm de espesor	
tarima de 20 mm y rastrel	0,40	rastreles recibidos con yeso	0,30
		Terrazo sobre mortero, 50 mm espesor	0,80

Peso por unidad de superficie de elementos de pavimentación. (Fuente:.CTE-DBSE-AE).

Materiales y elementos	Peso específico aparente kN/m^3
Materiales de albañilería	
Arenisca	21,0 a 27,0
Basalto	27,0 a 31,0
Calizas compactas, mármoles	28.0
Diorita, gneis	30,0
Granito	27,0 a 30,0
Sienita, diorita, pórfido	28,0
Terracota compacta	21,0 a 27,0
Fábricas	
Bloque hueco de cemento	13,o a 16,0
Bloque hueco de yeso	10,0
Ladrillo cerámico macizo	18,0
Ladrillo cerámico perforado	15,0
Ladrillo cerámico hueco	12,0
Ladrillo silicocalcáreo	20,0
Mampostería con mortero	
de arenisca	24,0
de basalto	27,0
de caliza compacta	26,0
de granito	26,0
Sillería	
de arenisca	26,0
de arenisca o caliza porosas	24,0
de basalto	30,0
de caliza compacta o mármol	28,0
de granito	28,0
Hormigones y morteros	
Hormigón ligero	9,0 a 20,0
Hormigón normal (1)	24,0
Hormigón pesado	> 28,0
Mortero de cemento	19,0 a 23,0
Mortero de yeso	12,0 a 28,0
Mortero de cemento y cal	18,0 a 20,0
Mortero de cal	12,0 a 18,0

Materiales y elementos	Peso específico aparente kN/m^3
Madera	
Aserrada, tipos C14 a C40	3,5 a 5,0
Laminada encolada	3,7 a 4,4
Tablero contrachapado	5,0
Tablero cartón gris	8,0
Aglomerado con cemento	12,0
Tablero de fibras	8,0 a 10,0
Tablero ligero	4,0
Metales	
Acero	77,0 a 78,5
Aluminio	27,0
Bronce	83,0 a 85,0
Cobre	87,0 a 89,0
Estaño	74,0
Hierro colado	71,0 a 72,5
Hierro forjado	76,0
Latón	83,0 a 85,0
Plomo	112,0 a 114,0
Zinc	71,0 a 72,0
Plásticos y orgánicos	
Caucho en plancha	17,0
Lámina acrílica	12,0
Linóleo en plancha	12,0
Mástico en plancha	21,0
Poliestireno expandido	0,3
Otros	
Adobe	16,0
Asfalto	24,0
Baldosa cerámica	18,0
Baldosa de gres	19,0
Papel	11,0
Pizarra	29,0
Vidrio	25,0

(1) En hormigón armado con armados usuales o fresco aumenta 1 kN/m^3

Peso específico aparente de materiales de construcción. (Fuente. CTE-DBSE-AE).

Elemento		Peso
Forjados		kN / m^2
	Chapa grecada con capa de hormigón; grueso total < 0,12 m	2
	Forjado unidireccional, luces de hasta 5 m; grueso total < 0,28 m	3
	Forjado uni o bidireccional; grueso total < 0,30 m	4
	Forjado bidireccional, grueso total < 0,35 m	5
	Losa maciza de hormigón, grueso total 0,20 m	5
Cerramientos y particiones (para una altura libre del orden de 3,0 m) incluso enlucido		kN / m
	Tablero o tabique simple; grueso total< 0,09 m	3
	Tabicón u hoja simple de albañilería; grueso total < 0,14 m	5
	Hoja de albañilería exterior y tabique interior; grueso total < 0,25 m	7
Solados (incluyendo material de agarre)		kN / m^2
	Lámina pegada o moqueta; grueso total < 0,03 m	0,5
	Pavimento de madera, cerámico o hidráulico sobre plastón; grueso total < 0,08 m	1,0
	Placas de piedra, o peldañeado; grueso total < 0,15 m	1,5
Cubierta, sobre forjado (peso en proyección horizontal)		kN / m^2
	Faldones de chapa, tablero o paneles ligeros	1,0
	Faldones de placas, teja o pizarra	2,0
	Faldones de teja sobre tableros y tabiques palomeros	3,0
	Cubierta plana, recrecido, con impermeabilización vista protegida	1,5
	Cubierta plana, a la catalana o invertida con acabado de grava	2,5
Rellenos		kN / m^3
	Agua en aljibes o piscinas	10
	Terreno , como en jardineras, incluyendo material de drenaje (1)	20

(1) El peso total debe tener en cuenta la posible desviación de grueso respecto a lo indicado en planos.

Peso propio de elementos constructivos. (Fuente. CTE-DBSE-AE).

En general, en viviendas bastará considerar como peso propio de la tabiquería una carga de 1,0 kN por cada m^2 de superficie construida.

1.1.3.1.2. ACCIONES VARIABLES

1.1.3.1.2.1. SOBRECARGA DE USO

La sobrecarga de uso es el peso de todo lo que puede gravitar sobre el edificio por razón de su uso. Por lo general, los efectos de la sobrecarga de uso pueden simularse por la aplicación de una carga distribuida uniformemente. De acuerdo con el uso que sea fundamental en cada zona del mismo, como valores característicos se adoptarán los de la Tabla del CTE. Dichos valores incluyen tanto los efectos derivados del uso normal, personas, mobiliario, enseres, mercancías habituales, contenido de los conductos, maquinaria y en su caso vehículos, así como las derivadas de la utilización poco habitual, como acumulación de personas, o de mobiliario con ocasión de un traslado.

Categoría de uso		Subcategorías de uso		Carga uniforme [kN/m^2]	Carga concentrada [kN]
A	Zonas residenciales	A1	Viviendas y zonas de habitaciones en, hospitales y hoteles	2	2
		A2	Trasteros	3	2
B	Zonas administrativas			2	2
C	Zonas de acceso al público (con la excepción de las superficies pertenecientes a las categorías A, B, y D)	C1	Zonas con mesas y sillas	3	4
		C2	Zonas con asientos fijos	4	4
		C3	Zonas sin obstáculos que impidan el libre movimiento de las personas como vestíbulos de edificios públicos, administrativos, hoteles; salas de exposición en museos; etc.	5	4
		C4	Zonas destinadas a gimnasio u actividades físicas	5	7
		C5	Zonas de aglomeración (salas de conciertos, estadios, etc)	5	4
D	Zonas comerciales	D1	Locales comerciales	5	4
		D2	Supermercados, hipermercados o grandes superficies	5	7
E	Zonas de tráfico y de aparcamiento para vehículos ligeros (peso total < 30 kN)			2	20
F	Cubiertas transitables accesibles sólo privadamente			1	2
G	Cubiertas accesibles únicamente para conservación	G1	Cubiertas con inclinación inferior a 20º	1	2
			Cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado)	0,4	1
		G2	Cubiertas con inclinación superior a 40º	0	2

Valores característicos de las sobrecargas de uso. (Fuente. CTE-DBSE-AE).

1.1.3.1.2.2. VIENTO

La acción de viento, en general es una fuerza perpendicular a la superficie de cada punto expuesto, en función de: la zona geográfica y tipo de entorno del emplazamiento; altura, forma y orientación del edificio. Su valor característico puede oscilar entre 0,5 y 3 $kN \cdot m^{-2}$.

El valor básico de la presión dinámica del viento (qb) puede obtenerse según el CTE con la expresión:

$$q_b = 0{,}5 \cdot \delta \cdot v_b^2$$

siendo δ la densidad del aire (1,25 $kg \cdot m^{-3}$) y v_b el valor de la velocidad del viento en $m \cdot s^{-1}$.

1.1.3.1.2.3. NIEVE

La distribución y la intensidad de la carga de nieve sobre un edificio, o en particular sobre una cubierta, depende del clima del lugar, del tipo de precipitación, del relieve del entorno, de la forma del edificio o de la cubierta, de los efectos del viento, y de los intercambios térmicos en los paramentos exteriores.

El valor característico de la carga de nieve sobre un terreno horizontal en las capitales de provincia y ciudades autónomas se puede tomar de la, Tabla.

Capital	Altitud m	s_k kN/m^2	Capital	Altitud m	s_k kN/m^2	Capital	Altitud m	s_k kN/m^2
Albacete	690	0,6	Guadalajara	680	0,6	Pontevedra	0	0,3
Alicante / *Alacant*	0	0,2	Huelva	0	0,2	Salamanca	780	0,5
Almería	0	0,2	Huesca	470	0,7	SanSebas-	0	0,3
Ávila	1.130	1,0	Jaén	570	0,4	tián/*Donostia*	0	0,3
Badajoz	180	0,2	León	820	1,2	Santander	1.000	0,7
Barcelona	0	0,4	Lérida / *Lleida*	150	0,5	Segovia	10	0,2
Bilbao / *Bilbo*	0	0,3	Logroño	380	0,6	Sevilla	1.090	0,9
Burgos	860	0,6	Lugo	470	0,7	Soria	0	0,4
Cáceres	440	0,4	Madrid	660	0,6	Tarragona	0	0,2
Cádiz	0	0,2	Málaga	0	0,2	Tenerife	950	0,9
Castellón	0	0,2	Murcia	40	0,2	Teruel	550	0,5
Ciudad Real	640	0,6	Orense / *Ourense*	130	0,4	Toledo	0	0,2
Córdoba	100	0,2	Oviedo	230	0,5	Valencia/*València*	690	0,4
Coruña / *A Coruña*	0	0,3	Palencia	740	0,4	Valladolid	520	0,7
Cuenca	1.010	1,0	Palma de Mallorca	0	0,2	Vitoria / *Gasteiz*	650	0,4
Gerona / *Girona*	70	0,4	Palmas, Las	0	0,2	Zamora	210	0,5
Granada	690	0,5	Pamplona/*Iruña*	450	0,7	Zaragoza	0	0,2
						Ceuta y Melilla		

Sobrecarga de nieve en capitales de provincia y ciudades autónomas. (Fuente. CTE-DBSE-AE).

1.1.3.2. VALORES DE CÁLCULO DE LAS ACCIONES

El valor de cálculo de las acciones es el resultado de multiplicar el valor característico por un coeficiente de seguridad, Tabla, que hace que cuando las acciones son desfavorables aumente su valor característico, por contra cuando son favorables, las disminuye.

Tipo de verificación (1)	Tipo de acción	Situación persistente o transitoria	
		desfavorable	favorable
Resistencia	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,35	0,80
	Empuje del terreno	1,35	0,70
	Presión del agua	1,20	0,90
	Variable	1,50	0
Estabilidad		**desestabilizadora**	**estabilizadora**
	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,10	0,90
	Empuje del terreno	1,35	0,80
	Presión del agua	1,05	0,95
	Variable	1,50	0

(1) Los coeficientes correspondientes a la verificación de la resistencia del terreno se establecen en el DB-SE-C

Coeficientes parciales de seguridad (γ) para las acciones. (Fuente. CTE-DBSE).

1.1.3.3. EJEMPLOS DE CARGAS EN FORJADOS

PESO PROPIO Y SOBRECARGAS			
CARGAS Y SOBRECARGAS	**SOBRECARGAS USO**		
	Uso residencias: viviendas y zonas de habitacion. hospitales y hoteles	2,00	kN/m^2
	SOBRE CARGA TABIQUERÍA		
	Viviendas	1,00	kN/m^2
	PAVIMENTOS		
	Baldosa hidráulica o cerámica (incluyendo material de agarre) 0,07 m de espesor total	1,10	kN/m^2
	FORJADOS		
	Vigueta de hormigón pretensado con intereje de 60 cm, bovedilla de hormigón y canto 25 + 3 cm.	3,30	kN/m^2
	Carga	**7,40**	kN/m^2
	Otra carga a añadir	0,00	kN/m^2
	Coeficiente de seguridad acciones	1,35	
	Carga de cálculo	**9,99**	kN/m^2

Acciones sobre un forjado, ejemplo 1.

PESO PROPIO Y SOBRECARGAS			
CARGAS Y SOBRECARGAS	**SOBRECARGAS USO**		
	Uso residencias: viviendas y zonas de habitacion. hospitales y hoteles	2,00	kN/m^2
	SOBRE CARGA TABIQUERÍA		
	Viviendas	1,00	kN/m^2
	PAVIMENTOS		
	Incluido en el forjado	0,00	kN/m^2
	FORJADOS		
	Vigas de madera de sección 20 x 12 cm. con intereje de 50 cm. revoltón y pavimento incluido (7 cm.).	2,10	kN/m^2
	Carga	**5,10**	kN/m^2
	Otra carga a añadir	0,00	kN/m^2
	Coeficiente de seguridad acciones	1,35	
	Carga de cálculo	**6,89**	kN/m^2

Acciones sobre un forjado, ejemplo 2.

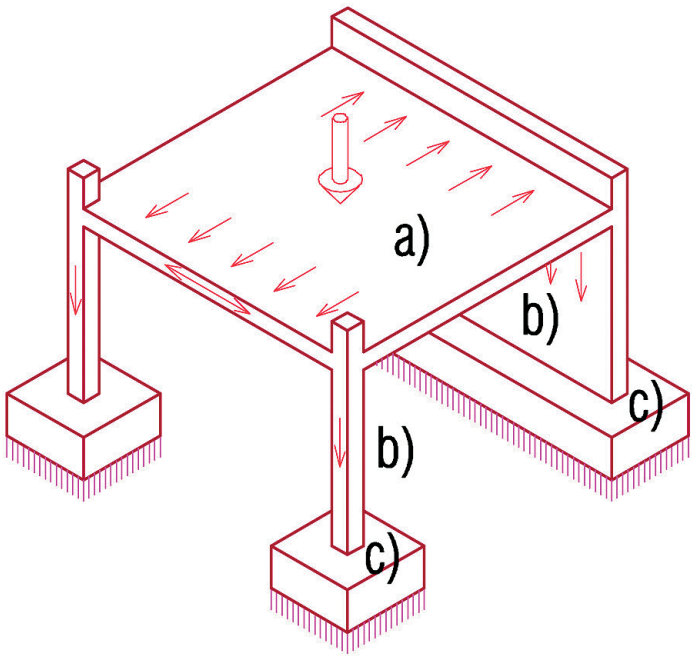
1.1.4. MECANISMO DE TRANSMISIÓN DE CARGAS DE UNA ESTRUCTURA

Este mecanismo de transmisión de cargas en una estructura, se realizará mediante tres grandes grupos de elementos, Ilustración:

- **Elementos horizontales:** Son los denominados forjados o losas (**a**), que reciben directamente todas las acciones verticales y las transmiten a las vigas, que a su vez las transmiten a los elementos verticales: muros o pilares.

- **Elementos verticales:** Formados por muros o pilares (**b**) que reciben las acciones de los forjados y losas y las transmiten a la cimentación.

- **La cimentación:** Son los elementos (**c**) que reciben las cargas del edificio y las transmiten al terreno.



Mecanismo de transmisión de cargas de una estructura.

1.2. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

1.2.1. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MATERIALES

Las propiedades físicas de los materiales son aquellas que se pueden medir y que dependen de la composición de los materiales, no variando con la forma.

1.2.1.1. DENSIDAD

La densidad (ρ) es una magnitud que expresa el grado de concentración de su masa y se define como la relación entre su masa y el volumen que ocupa.

$$\text{Densidad } (\rho) = \text{Masa}/\text{Volumen}$$

Tipos de densidades, según con que elementos de referencia se tomen:

- **La densidad relativa** expresa la relación entre la masa de una sustancia y la masa del mismo volumen de agua (a 4°C), resultando una magnitud adimensional.

- **La densidad absoluta** expresa la relación entra la masa de una sustancia y el volumen de la misma. Cuando no se hace ninguna aclaración al respecto, el término densidad suele entenderse en el sentido de densidad absoluta.

Se expresa en kilogramos por metro cúbico (**kg·m^{-3}**) o en otras como kilogramos por decímetro cúbico (**kg·dm^{-3}**).

Los materiales suelen tener huecos, que pueden ser según su relación con el medio que le rodea:

- **Accesibles o abiertos** (**Ha**): si están en contacto con el exterior y por tanto susceptibles de llenarse de agua.
- **Inaccesibles o cerrados** (**Hc**): no están en contacto con el exterior y por tanto no son susceptibles de llenarse de agua.
- **Huecos totales** (**Ht**): es el conjunto de huecos que tiene de un material bien sean accesibles o inaccesibles.

Tipos de volúmenes según los huecos.

Teniendo en cuenta los distintos huecos, tendremos los siguientes volúmenes, Ilustración:

- **Volumen real** (**VR**): volumen de la parte sólida o volumen real, habiendo descontado al volumen aparente los huecos totales.
- **Volumen relativo** (**Vr**): Es el volumen de la parte sólida más el que ocupan los huecos inaccesibles (**Hc**). También se denomina volumen impermeable.
- **Volumen aparente** (**Va**): Es el volumen de la parte sólida y de los huecos totales.

En la práctica, cuando se necesita saber la masa de un determinado volumen de un material, como ejemplo para desplazarlo o elevarlo, se toma como referencia la densidad aparente, que es la relación entre la masa y el volumen aparente (total).

1.2.1.2. PESO ESPECÍFICO

El peso específico (γ) es una magnitud que representa la fuerza con la que la tierra atrae a un determinado volumen de materia. Aceleración de la gravedad 9,81 $m \cdot s^{-2}$.

$$\text{Peso específico } (\gamma) = (\text{Masa } x \text{ aceleración gravedad}) / \text{Volumen}$$

Se expresa en newton por metro cúbico ($\mathbf{N \cdot m^{-3}}$). Como valores orientativos se indican en la Tabla.- Peso específico aparente de materiales de construcción.

1.2.1.3. POROSIDAD

La porosidad es la relación entre el volumen de huecos totales y el volumen aparente o total de una pieza, expresada normalmente en tanto por cien, está directamente relacionada con la resistencia mecánica, pues ésta disminuye al aumentar la porosidad.

$$\text{Porosidad} = (\text{Ht} / \text{Va}) \times 100$$

Un aumento de la porosidad abierta hace que un material sea permeable, favoreciendo que el agua y agentes nocivos penetren en su interior y puedan degradarlo; el agua además de aumentar el peso, aumenta la conductividad eléctrica, y disminuye el aislamiento térmico.

Un aumento de la porosidad cerrada favorecerá el comportamiento como aislante térmico y disminuirá sus capacidades mecánicas al disminuir su sección.

1.2.1.4. COMPACIDAD

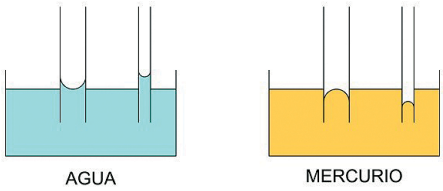
La compacidad es la relación entre el volumen real y el volumen aparente, expresada normalmente en tanto por cien:

$$\text{Compacidad} = (\text{Vr} / \text{Va}) \times 100 = 100\text{-Porosidad}$$

Cuando más se aproximen el volumen real y el aparente, más compacta será una roca y consecuentemente mayor será su resistencia mecánica y su durabilidad.

1.2.1.5. CAPILARIDAD

La capilaridad es la propiedad en virtud de la cual, un líquido penetra en el interior de un material y asciende por los poros en contra de las fuerzas de gravedad, debido a que la fuerza entre las moléculas del material es menor que la adhesión del líquido con el material del tubo capilar. El líquido sube hasta que la tensión superficial es equilibrada por el peso del líquido que llena el tubo. El menisco es la forma que adopta la superficie de un líquido en el interior del capilar, siendo cóncava o convexa según si las moléculas del líquido y las del recipiente se atraen o se repelen, Ilustración.



Forma que adopta el menisco según líquidos.

Este fenómeno es inversamente proporcional: al radio de sus capilares, lo que hace que capilares de sección pequeña presenten ascensiones mayores que en capilares con secciones mayores; y a la tensión superficial del líquido que quiere ascender.

1.2.1.6. PERMEABILIDAD

La permeabilidad es la capacidad de un material para permitir que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna. Se expresa indicando la cantidad de agua que pasa por una superficie dada, en un tiempo conocido a una temperatura determinada y con una diferencia de presión definida.

El paso del agua a través de un material puede producirse por capilaridad, por presión o por ambas causas combinadas.

El concepto de permeabilidad no debe confundirse con el de porosidad, ya que un material puede ser muy poroso y no ser permeable, la condición para que un material poroso sea permeable es que los poros tengan comunicación entre sí.

Se dice que un material es permeable si deja pasar a través de él una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado, e impermeable si la cantidad de fluido es despreciable.

En general la permeabilidad de un material decrece a medida que: disminuye el volumen de poros comunicados, disminuye el radio de sus capilares, aumenta la tortuosidad de los capilares, aumenta el espesor de la pieza, y disminuye la diferencia de temperatura y de presiones entre sus caras.

Algunos ejemplos de roca permeable son la caliza y la arenisca, mientras que la arcilla o el basalto son impermeables.

1.2.1.7. HELADICIDAD

El agua al congelarse aumenta de volumen aproximadamente un 10 %, el peligro ocasionado por las heladas aumenta en los materiales con huecos accesibles, dado que los huecos pueden llenarse de agua. El aumento de volumen produce tensiones de tracción interna que si el material no es capaz de soportar, rompe y lo disgrega. Es de importancia en materiales de baja resistencia a tracción como los pétreos tanto naturales como artificiales.

Se dice que un material es heladizo cuando sufre alteraciones irreversibles por la acción del hielo, como pueden ser: aparición de grietas, disgregación de material, exfoliaciones, pérdidas de masa, volumen y resistencia.

1.2.1.8. HIGROSCOPICIDAD

La higroscopicidad es la capacidad de un material de absorber la humedad atmosférica. Para cada sustancia existe una humedad que se llama de equilibrio, es decir, un contenido de humedad tal de la atmósfera a la cual el material ni capta ni libera humedad al ambiente.

Si la humedad ambiente es menor que este valor de equilibrio, el material se secará, si la humedad ambiente es mayor, se humedecerá. Así, ciertos minerales como el cloruro de calcio son capaces de captar agua de la atmósfera en casi cualquier condición, porque su humedad de equilibrio es muy baja.

La madera y el yeso son ejemplos de materiales higroscópicos.

1.2.1.9. LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

La conductividad eléctrica es la capacidad de un material para permitir el paso de la corriente eléctrica a través de él. También es definida como la propiedad natural característica de cada cuerpo que representa la facilidad con la que los electrones pueden pasar por él. Varía con la temperatura y es la inversa de la resistividad.

1.2.1.10. LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

El calor se transmite a través de los materiales si existe una diferencia de temperatura entre sus caras opuestas, desde la superficie más caliente a la más fría.

La conductividad térmica (λ) es una propiedad de los materiales que valora la capacidad de conducir el calor a través de ellos. Siendo la cantidad de calor que atraviesa una unidad de sección de un material de una unidad longitud, en un segundo de tiempo y con una diferencia de temperatura de un grado en sus extremos.

El coeficiente de conductividad térmica es una característica de cada sustancia y expresa la magnitud de su capacidad de conducir el calor.

En el Sistema Internacional de Unidades (SI) se mide en vatios por metro y grado kelvin: $W \cdot (m \cdot K)^{-1}$.

La conductividad térmica está relacionada con la porosidad, si aumenta la porosidad disminuye la velocidad de transmisión del calor y aumenta la capacidad de aislamiento. Si la porosidad es abierta y se humedece ocurre el efecto contrario.

Las maderas son malas conductoras del calor, al contrario de los metales.

La conductividad térmica es muy baja en algunos materiales especiales como la fibra de vidrio, que se denominan por eso aislantes térmicos.

1.2.1.11. DILATABILIDAD

La *dilatabilidad térmica* es la propiedad de los materiales de modificar sus dimensiones con los cambios de temperatura a que se ve sometido, así se expanden cuando son calentados y se contraen cuando son enfriados. El indicador de esta propiedad es el coeficiente de dilatación de un material, el cual puede ser lineal, superficial o volumétrico, siendo el más usual el coeficiente de dilatación lineal, expresado en milímetros por cada milímetro y grado $(mm \cdot (mm \cdot °C)^{-1})$.

Los materiales cerámicos suelen experimentar fractura como consecuencia de los cambios dimensionales no uniformes.

1.2.1.12. TEMPERATURA DE FUSIÓN

Es la temperatura para la cual un material pasa de estado sólido a líquido como consecuencia de un aporte de calor. Ocurre que, durante el proceso de fusión, la temperatura del cuerpo llegado éste punto, no varía hasta que no se ha aportado el calor necesario para el cambio de estado (calor latente de fusión), momento a partir del cual se incrementa la temperatura y el material funde.

1.2.1.13. RESISTENCIA AL CHOQUE TÉRMICO

La resistencia al choque térmico es una propiedad de un material que pone de manifiesto su capacidad para resistir los cambios bruscos, en magnitud y tiempo, de la temperatura. Las tensiones térmicas provocadas en su masa por un calentamiento desigual (gradientes de temperatura) y por la existencia de diversos minerales con coeficientes de dilatación lineal distintos, pueden superar a la tensión de rotura del material y dar lugar a la formación de grietas y al desprendimiento de trozos, con riesgo de destrucción total.

Los cambios dimensionales diferenciales restringen la dilatación o contracción libres de elementos de volumen adyacentes dentro de la pieza. Por ejemplo, al calentar una pieza, el exterior está más caliente y, por tanto, se dilatará más que las regiones del interior; lo que induce esfuerzos superficiales de compresión, los cuales son equilibrados por esfuerzos de tracción internos. El sentido de los esfuerzos interior-exterior se invierte durante el enfriamiento rápido, de manera que la superficie es sometida a tracción.

En los metales las tensiones térmicas pueden aliviarse mediante deformación plástica. Sin embargo, la falta de ductilidad de muchas cerámicas aumenta la posibilidad de fractura frágil debido a estas tensiones.

El enfriamiento rápido de un cuerpo frágil es más probable que inflija mayor choque térmico que en el caso de calentamiento, puesto que las tensiones superficiales inducidas son de tracción.

1.2.1.14. REACCIÓN AL FUEGO

La reacción al fuego es una característica propia de un material y evalúa la respuesta del mismo al fuego medida en términos de su contribución al desarrollo del mismo con su propia combustión, bajo condiciones específicas de ensayo y teniendo en cuenta la combustibilidad, la opacidad de los humos y la caída de gotas o partículas inflamadas.

1.2.2. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES

Las propiedades mecánicas son aquellas que caracterizan la respuesta o comportamiento en servicio de los materiales y la respuesta frente a los esfuerzos a que están sometidos. Los materiales sometidos a esfuerzos sufren deformaciones.

Si se ensaya por ejemplo una pieza de acero de longitud (L) y sección transversal (S), sometiéndola a una fuerza (F) en dirección axial, ésta provoca una deformación (ΔL). Se llama deformación unitaria (ε) a la relación entre la deformación longitudinal que experimenta la pieza y su longitud inicial:

$$\text{Deformación unitaria } (\varepsilon) = \Delta L/L$$

Esta fuerza (F) causa en la sección del material un estado de tensiones que supondremos uniforme para cualquier sección recta. La tensión (σ) está relacionada con la fuerza, e indica la cantidad de fuerza que se aplica por unidad de superficie.

$$\text{Tensión } (\sigma) = F/S$$

Aumentando progresivamente el valor de la fuerza (F) y llevando los valores de la tensión (σ) al eje de las ordenadas y de la deformación unitaria (ε) al eje de las abscisas, se obtiene el diagrama de tensión-deformación indicado en la, Ilustración.

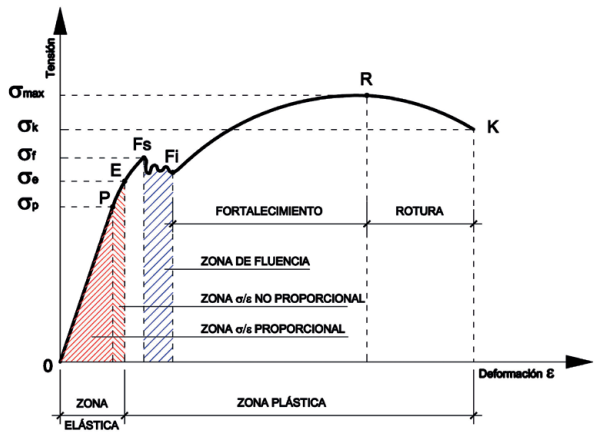


Diagrama tensión deformación del acero.

Al ir aumentando el valor de la tensión desde 0 hasta la tensión de proporcionalidad (σ_p), existe proporcionalidad entre la tensión aplicada y las deformaciones unitarias. La gráfica es recta y el punto "P" recibe el nombre de límite de proporcionalidad.

Sobrepasando la tensión de proporcionalidad (σ_p), se entra en la zona de elasticidad no proporcional. La gráfica es curva, siendo nulas las deformaciones permanentes hasta el punto del límite de elasticidad (E), que separa el periodo elástico (deformaciones reversibles) del periodo plástico (deformaciones permanentes).

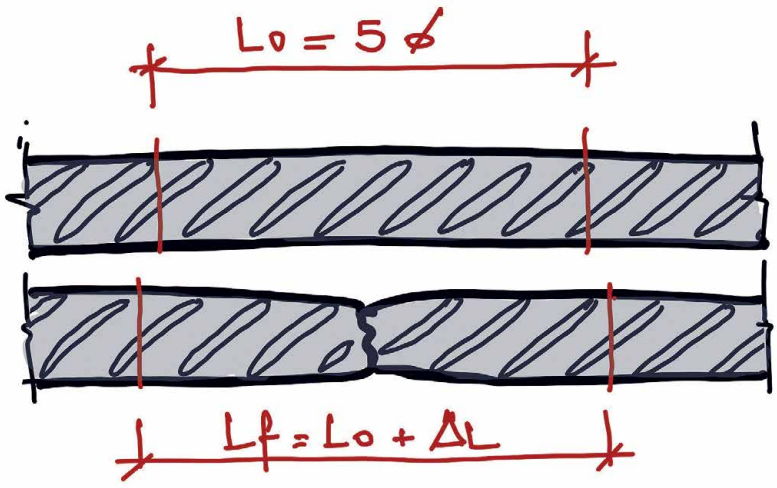
En la zona plástica en el caso de cesar la fuerza, se observarían deformaciones permanentes, que hacen que el material incremente la longitud inicial.

Sobrepasando la tensión en el límite elástico (σ_e) hasta el límite superior de fluencia (fs), los alargamientos son pequeños; pero al llegar a él, aumentan considerablemente sin necesidad de incrementar la tensión., e incluso para cierto tipo de materiales, la tensión disminuye hasta un valor determinado por el límite inferior de fluencia (fi). Las tensiones permanecen constantes produciéndose un notable alargamiento a partir del momento en el que el material comienza a fluir.

A partir de este alargamiento a tensión constante, es preciso aumentar la fuerza de tracción sobre la probeta hasta alcanzar la tensión máxima (σ_{max}). Después la tensión disminuye, el alargamiento aumenta hasta producirse la rotura para un valor de tensión de rotura (σ_r).

En los materiales dúctiles como el acero como consecuencia del incremento de longitud, se produce una contracción de la sección denominada estricción, Ilustración.

Por el contrario, los materiales frágiles como: la fundición, la cerámica, el vidrio o la porcelana no sufren estricción. El aluminio es un material que no presenta fluencia.



Reducción de la sección transversal por alargamiento en barra de acero.

1.2.2.1. ISOTROPÍA/ANISOTROPÍA

La isotropía en una propiedad que indica que el material posee las mismas propiedades cualquiera que sea la dirección en que se les considere, tales como el acero, aluminio y el hormigón.

Por el contrario, un material es anisótropo, cuando sus propiedades varían conforme sea la dirección considerada, un ejemplo es la madera, que tiene comportamientos diferentes según consideremos sus

direcciones principales: axial, en la dirección de las fibras (crecimiento del árbol); radial, en la dirección de los radios, perpendicular a la axial; y tangencial, perpendicular a las dos anteriores.

1.2.2.2. RESISTENCIA MECÁNICA

La resistencia mecánica se puede definir como la respuesta de un material frente a las solicitaciones externas. Cuando una fuerza actúa sobre un material, éste ofrece una reacción a deformarse y a romperse, si el material equilibra la fuerza, pero si no lo logra el material se deforma y rompe.

La fuerza capaz de producir la rotura de un material la denominamos fuerza de rotura y a la tensión originada por ésta, tensión de rotura.

$$1\ \text{kp}\cdot\text{cm}^{-2} = 98.000\ \text{Pa} = 98.000\ \text{N}\cdot\text{m}^{-2}$$

$$1\ \text{N}\cdot\text{mm}^{-2} = 1\ \text{MPa}.$$

material	densidad	resistencia a compresión
adobe	1.200-1.500 kg/m^3	0,53-1,72 N/mm^2
cob	1.615 kg/m^3	1 N/mm^2
btc bloque de tierra comprimida	1.700-2.000 kg/m^3	1-5 N/mm^2
btc estabilizado *bioterre*	1.787,5 kg/m^3	10,8 N/mm^2
tapial	1.900-2.200	3-4 N/mm^2

Características mecánicas de elementos de tierra cruda. (Fuente. Informe de la construcción, V. 63).

Resistencia normalizada de las piezas, f_b (N/mm^2)	**5**		**10**		**15**		**20**		**25**
Resistencia del mortero, f_m (N/mm^2)	2,5	3,5	5	7,5	7,5	10	10	15	15
Ladrillo macizo con junta delgada	-	-	3	3	3	3	3	3	3
Ladrillo macizo	2	2	4	4	6	6	8	8	10
Ladrillo perforado	2	2	4	4	5	6	7	8	9
Bloques aligerados	2	2	3	4	5	5	6	7	8
Bloques huecos	1	1	2	3	4	4	5	6	6

Resistencia a compresión de las fábricas más usles. (Fuente. CTE-DBSE-F).

DESIGNACIÓN	Espesor nominal t (mm)				Temperatura del ensayo Charpy °C
	Tensión de límite elástico f_y (N/mm^2)			Tensión de rotura f_u (N/mm^2)	
	$t \le 16$	$16 < t \le 40$	$40 < t \le 63$	$3 \le t \le 100$	
S235JR					20
S235J0	235	225	215	360	0
S235J2					-20
S275JR					20
S275J0	275	265	255	410	0
S275J2					-20
S355JR					20
S355J0	355	345	335	470	0
S355J2					-20
S355K2					-20 (1)
S450J0	450	430	410	550	0

(1) Se le exige una energía mínima de 40J.

Características mecánicas de los aceros de edificación. (Fuente: CTE-DBSE-A).

Tipo de acero		Acero soldable		Acero soldable con características especiales de ductilidad	
Designación		B 400 S	B 500 S	B 400 SD	B 500 SD
Límite elástico, f_y (N/mm2) (1)		≥ 400	≥ 500	≥ 400	≥ 500
Carga unitaria de rotura, f_s (N/mm2) (1)		≥ 440	≥ 550	≥ 480	≥ 575
Alargamiento de rotura, $\varepsilon_{u,5}$ (%)		≥ 14	≥ 12	≥ 20	≥ 16
Alargamiento total bajo carga máxima, $\varepsilon_{máx}$ (%)	acero suministrado en barra	≥ 5,0	≥ 5,0	≥ 7,5	≥ 7,5
	acero suministrado en rollo (3)	≥ 7,5	≥ 7,5	≥ 10,0	≥ 10,0
Relación f_s/f_y (2)		≥ 1,05	≥ 1,05	$1,20 \leq f_s/f_y \leq 1,35$	$1,15 \leq f_s/f_y \leq 1,35$
Relación $f_{y\ real}/f_{y\ nominal}$		--	--	≤ 1,20	≤ 1,25

Características mecánicas de las barras corrugadas de acero. (Fuente. EHE 08).

CLASE DE RESISTENCIA N/mm²
20 - 25 - 30 - 35 - 40 – 45 – 50
El valor de 20 N/mm² está reservado al hormigón en masa. No puede emplearse para otros hormigones.

Resistencia característica de los hormigones. (Fuente. EHE 08).

Cuando se habla de las propiedades físicas de la madera, dado que es un material anisotrópico, se hace referencia a las tres direcciones principales, axial, radial y tangencial; cuando se habla de las propiedades mecánicas sólo se habla de dos direcciones, la dirección paralela a las fibras (axial) y la dirección perpendicular a las fibras (radial y tangencial).

Propiedades		**Clase resistente**											
		C14	**C16**	**C18**	**C20**	**C22**	**C24**	**C27**	**C30**	**C35**	**C40**	**C45**	**C50**
Resistencia (característica) en N/mm²													
- Flexión	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
- Tracción paralela	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
- Tracción perpendicular.	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
- Compresión paralela	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	22	22	23	25	26	27	29
-Compresión perpendicular	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2
- Cortante	$f_{v,k}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Rigidez, en kN/mm²													
- Módulo de elasticidad paralelo medio	$E_{0,medio}$	7	8	9	9,5	10	11	11.5	12	13	14	15	16
- Módulo de elasticidad paralelo 5⁰-percentíl	$E_{0,k}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7
- Módulo de elasticidad perpendicular medio	$E_{90,medio}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53
- Módulo transversal medio	G_{medio}	0,44	0,50	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00
Densidad, en kg/m³													
- Densidad característica	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460
- Densidad media	ρ_{medio}	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550

Características mecánicas de madera aserrada, Coníferas y chopo. (Fuente. CTE-DBSE-M)

1.2.2.3. ELASTICIDAD / PLASTICIDAD

- **Elasticidad**, propiedad característica de algunos materiales que, sometidos a solicitaciones mecánicas exteriores que los deforman, reaccionan con fuerzas llamadas elásticas, recobrando su forma y configuración primitiva al cesar dichas solicitaciones.

- **Plasticidad**, propiedad característica de algunos materiales que, sometidos a solicitaciones mecánicas exteriores, que los deforman, experimentan deformaciones irreversibles, es decir que persisten aún después de cesar dichas solicitaciones.

Como hemos visto en el apartado 1.2.2 , la gran mayoría de los materiales se comportan de ambas maneras, inicialmente de forma elástica y luego plástica, con la excepción de los frágiles.

1.2.2.4. TENACIDAD

La tenacidad es la propiedad característica de algunos materiales de oponerse a la rotura o deformación. Se emplea este nombre en ocasiones como sinónimo de la resiliencia mecánica o trabajo necesario para romper un material por choque.

1.2.2.5. DUCTILIDAD / FRAGILIDAD

- **Ductilidad**: propiedad característica de algunos materiales que, sometidos a solicitaciones mecánicas, presentan una importante deformación antes de la rotura. Este tipo de materiales tiene mucha capacidad para absorber energía de deformación previa a la rotura, por tanto, el fallo de los mismos no se produce de una forma súbita, sino que hay una importante deformación previa. Se caracterizan por que el límite de elasticidad y el de rotura tienen un valor muy distante, Ilustración, un ejemplo de material dúctil es el acero.

- **Fragilidad**: propiedad característica de algunos materiales que, sometidos a solicitaciones mecánicas, presentan una escasa deformación antes de la rotura. Este tipo de materiales tiene poca capacidad para absorber energía de deformación previa a la rotura, por tanto, el fallo de los mismos se produce de una forma súbita. Se caracterizan por que el límite de elasticidad y el de rotura tienen un valor muy próximo, Ilustración, un ejemplo de materiales frágiles son los pétreos.

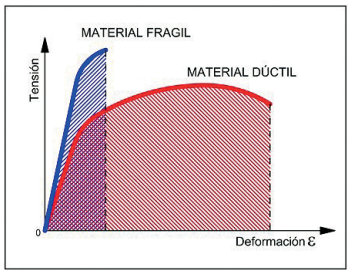


Diagrama de tensión deformación de diversos materiales.

1.2.2.6 RIGIDEZ

Se define como rigidez mecánica, a la relación entre el esfuerzo aplicado a un sólido y la correspondiente deformación conseguida, que depende de la naturaleza del material, de la forma de la sección transversal y del tipo de fuerza aplicada.

Cuando un material decimos que es rígido es porque no se deforma al aplicarle acciones externas.

1.2.2.7. FATIGA

La fatiga se refiere a un fenómeno por el cual la rotura de los materiales bajo cargas dinámicas se produce más fácilmente que con cargas estáticas. Un ejemplo de ello se tiene en un alambre: flexionándolo repetidamente se rompe con facilidad.

El desarrollo de este mecanismo de fallo consiste de tres etapas: comienzo de una grieta inicial, crecimiento progresivo de la grieta a través del material; y fractura repentina y final de la sección transversal restante

1.2.2.8. FLUENCIA

La fluencia es un fenómeno que se caracteriza por un incremento de deformación en el transcurso del tiempo a una tensión constante, es decir sin incrementar las cargas. Un material característico es la madera, que experimente deformaciones con el paso del tiempo (flechas diferidas) importantes.

1.2.2.9. DUREZA

La dureza es la propiedad de los materiales de oponerse a ser rallados por otros. No se expresa mediante un valor absoluto sino mediante un valor relativo dentro de una escala que se adopta como patrón.

En la metalurgia la dureza se mide mediante un ensayo de penetración. Dependiendo del tipo de punta empleada y del rango de cargas aplicadas, existen diferentes escalas, adecuadas para distintos rangos de dureza.

1.2.3. CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES

Son muy diversas las clasificaciones que nos podemos encontrar de los materiales de construcción, nos vamos a referir a dos en concreto, una atendiendo al comportamiento estructural y otra atendiendo al origen.

Atendiendo al comportamiento estructural de los materiales, se pueden clasificar en:

- **Frágiles o compreso-resistentes**: son los materiales capaces de absorber solicitaciones de compresión, resistiendo mal las tracciones y, por lo tanto, tienen un mal comportamiento a flexión.

  Pertenecen a este grupo la mayoría de los pétreos tanto naturales como artificiales que se caracterizan por su aspecto de masa y porque la unión entre las piezas es de simple apoyo.

- **Tenaces o traccio-resistentes**: son los materiales capaces de absorber solicitaciones de tracción y de compresión, por lo tanto, también las de flexión.

  Pertenecen a este grupo la madera y al acero que se caracterizan porque en las piezas predomina la longitud sobre otras dimensiones, la unión entre las piezas suele realizarse mediante anclajes que garanticen el rozamiento o la inmovilidad entre ellas.

- **Formáceos o adecuo-resistentes**: son los materiales que al igual que los tenaces o traccio-resistentes absorben tracciones y compresiones, pero se diferencian de éstos en que adaptan la forma mediante encofrado al tipo y magnitud de los esfuerzos a los que son solicitados,

  Pertenece a este grupo el hormigón armado, pretensado o postesado y se caracterizan por adaptar la forma y por el monolitismo, con ausencia de apoyos o anclajes.

Atendiendo al origen de los materiales, se pueden clasificar en:

- Inorgánicos.
  - Pétreos:
    - *Naturales*: disgregados, semidisgregados y compactos.
    - *Artificiales*: cerámicos, vidriados, aglomerados y aglomerantes.
  - Metálicos:
    - *Siderúrgicos*: hierro, acero y fundición.
    - *No férreos*: Cinc, aluminio y plomo.
  - Mixtos: latón (aleación de cobre y cinc), bronce (aleación de cobre y estaño).
- Orgánicos:
  - Primitivos:
    - Principales: madera.
    - Derivados: papel y cartón.
  - Bituminosos:
    - *Naturales*: Betunes y asfaltos.
      - *Artificiales*: Alquitranes.
- Mixtos:
  - Pinturas.
  - Polímeros:
    - Termoplásticos.
    - Termoestables.
    - Elastómeros.

1.2.3.1. PÉTREOS

1.2.3.1.1. PÉTREOS NATURALES

Se encuentran en la naturaleza formando masas considerables de agregados naturales de diferentes partículas minerales, son las rocas.

Se clasifican básicamente en tres grupos:

- **Compactos**: son rocas de gran volumen, las cuales mediante cortes se labran piezas como bloques, sillares, tambores, dinteles, etc.

- **Semidisgregados**: son los suelos naturales, formados por partículas más o menos en cohesión, resultando más o menos compactos.

- **Disgregados**: son partículas más o menos grandes totalmente desunidas entre sí, sin ninguna cohesión, formadas por resquebrajamiento de las rocas. Al conjunto de ellas se les denomina zahorra: gravas, arenas y arcillas.

Atendiendo al origen de las rocas, se clasifican en:

- **Rocas eruptivas**: son las más antiguas y proceden de la solidificación y enfriamiento de los magmas (masas de minerales fundidos que existen a una determinada profundidad en el seno de la corteza terrestre). Destacan el granito, sienita, diorita, diabasa, basalto, etc. Disponen de excelentes capacidades mecánicas.

- **Rocas sedimentarias,** formadas por sedimentación de materiales procedentes de la destrucción de otras rocas. Son de dureza media y resistencia considerable. Destacan las areniscas, zahorras, yeso, calizas, carbones, tobas, etc.

- **Rocas metamórficas,** formadas por transformación de rocas eruptivas y sedimentarias, a causa de grandes presiones y temperaturas sufridas en el interior de la tierra, que han cristalizado y transformado sus estructuras. Destacan las marcitas, las pizarras y el mármol.

Los pétreos naturales tienen gran capacidad de aplicaciones, entre los que destacan: obras de fábrica, revestimientos, pavimentación, fabricación de aglomerantes, elaboración de morteros y hormigones, etc.

Las piezas de piedra en función de la labra que se aplique a cada una de sus caras, reciben el siguiente nombre:

- **Mampostería,** piedras en bruto sin labrar o con una labra irregular.
    - Ordinaria, sin labra.
    - Careada, con una labra irregular en la parte exterior.
    - Concertada, con labra irregular en los planos de juntas.
- **Sillería,** piedras labradas de forma regular.

Otro elemento de construcción utilizado en las construcciones antiguas era el adobe, una mezcla de tierra arcillosa en ocasiones con paja o heno, que una vez moldeada y secada al sol, sin cocción, se utilizaba para la formación de fábricas. Son elementos de escasa resistencia a la humedad.

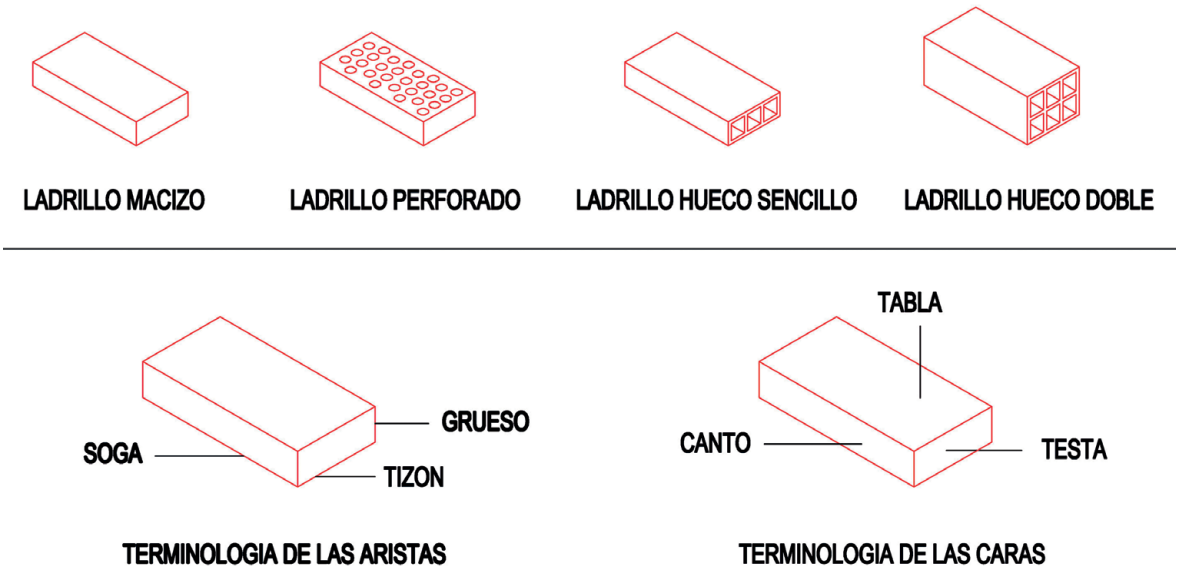
1.2.3.1.2. PÉTREOS ARTIFICIALES

Se obtienen por transformación de los pétreos naturales, para obtener otras características y propiedades que no disponen los de origen.

Se clasifican en:

- **Cerámicos,** se obtienen mediante la cocción de materias arcillosas, previamente moldeadas. A nivel estructural destacar su escasa resistencia para absorber esfuerzos de tracción, y a deformaciones presenta una enorme fragilidad. Entre estos elementos destacan:

- Ladrillos, como componente de las fábricas entre los que encontramos las siguientes tipologías, sus dimensiones dependen del fabricante y de zonas geográficas:
  - Macizo, compactos en todo su volumen o con taladros en la cara mayor (tabla) de volumen no superior al 10 % del total. Se utilizan con fin estructural.
  - Perforado, con taladros en la cara mayor (tabla) y un volumen superior al 10 % del total, separados entre sí más de 1 cm. y a 2 cm. de las aristas. Se utilizan con fin estructural.
  - Hueco, con taladros paralelos a la arista mayor (soga) y el volumen de los mismos superior a un 30 % del total. Entre ellos destacan la rallisa, el bardo machihembrado, el hueco sencillo, el hueco doble, el hueco triple, etc.
- Bloques, de dimensiones mayores que los anteriores y tipologías variadas, en general con una función estructural y de aislamiento.
- Tejas, como material de cobertura, destacando la teja curva, la teja plana y la mixta.
- Bovedillas, como elemento de relleno en la formación de forjados.
- Baldosas y gres, para pavimentos.
- Azulejos, para revestimientos.
- Loza, para la elaboración de sanitarios.
- Porcelana, para la elaboración de aislantes.



Tipologías de ladrillos y términos asociados.

- **Vidriados**, se obtienen mediante la fusión de varios óxidos, según tipos de vidrios a obtener. Entre estos elementos destacan:

- Vidrios y lunas, para acristalamientos.
- Bloques de vidrio, para obras de fábrica.
- Fibras de vidrio, para aislantes y otros usos.

- **Aglomerantes,** son materiales que tienen la propiedad de adherirse a otros y unirlos. En función del medio en que endurecen se clasifican en:
  - Aglomerantes aéreos, endurecen en el aire, tales como el yeso y la cal aérea.
  - Aglomerantes hidráulicos, endurecen tanto en el aire como sumergidos en el agua, tales como la cal hidráulica y el cemento.

Tipos de aglomerantes:

- Cal aérea, procedente de la descomposición de rocas calizas con un contenido de arcilla inferior al 5%. Se emplean para la confección de morteros y pinturas.
- Cal hidráulica, procedente de la descomposición de rocas calizas con un contenido de arcilla superior al 5% e inferior al 22%. Se emplean para la confección de morteros.
- Yesos, procedente de la deshidratación parcial o total del algez o piedra de yeso. Según su grado de pureza y fisura se utilizan tres clases: yeso negro, yeso fino y escayola que es el de mejor calidad. Se emplea como material de agarre, bovedillas en la antigüedad, revestimientos interiores, elaboración de paneles en tabiquería, de placas para falsos techos, etc., siempre en zonas libres de humedades y evitando al contacto con elementos metálicos.
- Cemento portland, procedente de la cocción de rocas calizas y arcillas. Se le añaden otros elementos como escorias alto horno, filler calizo, puzolanas, etc. Se emplea para la confección de morteros y hormigones. Es el más empleado en la construcción, existiendo diversos tipos en función de su composición.
- Cemento aluminoso, se obtiene por la cocción de rocas calizas y bauxita. Se usan para la elaboración de morteros y hormigones refractarios básicamente. Actualmente prohibidos en estructuras.

- **Aglomerados,** son materiales elaborados a partir de un aglomerante. Tipos de aglomerados:
  - Mortero, mezcla de agua, arena y un aglomerante. Los más comunes son los morteros de cal, de cemento; y de cal y cemento (mortero bastardo). Empleados como material de agarre en las fábricas, para revestimientos, etc.
  - Hormigón, mezcla de agua, grava, arena y un aglomerante, en la actualidad el aglomerante es el cemento.
    - *Hormigón en masa,* formado por aglomerante, arena, grava y agua. Se usan en muros, cimentaciones, en la elaboración de bloques, bovedillas, baldosas, adoquines, tubos, etc.
    - *Hormigón ciclópeo,* al igual que el anterior al que se le añaden piedras naturales, también se usa en muros y cimentaciones.
    - *Hormigón de cascotes,* es un hormigón en el cuál se ha sustituido la grava por fragmentos de ladrillos triturados. Se usa en relleno de huecos de poca resistencia.

- *Hormigón de árido ligero,* es un hormigón en el cuál se ha sustituido la grava por un árido ligero como por ejemplo la arcilla expandida. Se usa para aligerar rellenos o como aislante térmico y acústico.

- *Hormigón celular,* es un hormigón al que se le añade un aditivo que crea oquedades en el interior. Se usa al igual que el anterior.

- *Hormigón armado,* es un hormigón en el cuál se introduce en la masa unas armaduras de acero, que mejoran la capacidad mecánica. Se usa en elementos estructurales.

- *Hormigón pretensado,*es un hormigón en el cuál se introducen en la masa unas armaduras de acero, que previamente al hormigonado se han sometido a una tensión de tracción, lo que le confieren mayores capacidades mecánicas frente a la flexión. Se emplea fundamentalmente en elementos prefabricados solicitados a flexión: placas alveolares, vigas, viguetas, etc..

- *Hormigón postensado,*es un hormigón en el cuál se introducen en la masa unas armaduras de acero alojadas en una vainas, y que una vez endurecido, se someten a tensión de traccción, mejorando sus capacidades mecánicas frente a la flexión.

- Fibrocemento, se fabrica con mezcla de fibra de amianto y cemento. Se emplea para la fabricación de tuberías, placas de cubierta, etc. Actualmente ya no se emplea.

1.2.3.2. METÁLICOS

Los metales constituyen uno de los grupos de materiales más importantes, tanto del punto de vista constructivo como productivo.

Tienen excelentes propiedades, sobre todo las del tipo mecánico: resistencia, elasticidad, tenacidad y ductilidad. La ciencia aplicada a estudio de los metales se llama metalografía.

1.2.3.2.1. SIDERÚRGICOS

Son los metales que se han obtenido por transformación mecánica y química del mineral de hierro. Entre estos productos se encuentran los siguientes materiales, en función del contenido de carbono:

- **Hierro dulce,** metal blando y maleable que no templa. El contenido de carbono es de 0.05 a 1 % y funde a 1500 °C.

- **Acero,** se caracteriza porque es un material que templa, contiene hasta un 1.7 % de carbono y funde a 1400 °C. Los productos de acero más utilizados en construcción son:

  - Perfiles laminados para estructuras, tales como: IPN, IPE, HEB, UPN, L, LD, etc.

  - Barras corrugadas para hormigones.

  - Chapas de acero conformadas para cerrajería.

  - Tuberías para canalizaciones.

- **Fundición,** son productos de gran pureza que se quiebran al forjarlos, son frágiles. Contienen entre un 1.7 y un 4 % de carbono y funden de 1.200 °C a 1.300 °C. Se emplea para la elaboración de tuberías,

pilares, tapas de registro, radiadores, etc. Presenta alta resistencia a la corrosión y baja resistencia a las tracciones bruscas (gopes y enfriamientos).

La corrosión es un proceso espontáneo y continuo que afecta a estos materiales, produciendo una serie de alteraciones físico químicas por la acción de agentes externos, fundamentalmente el agua y el oxígeno. Como consecuencia de la corrosión de produce una deslaminación del material con aumento importante de volumen y una pérdida de sección resistente. Para hacer frente a ello se utilizan otros productos resistentes a la corrosión:

- **Acero galvanizado**, acero a los que se les aplica una capa protectora de otro metal como zinc o zinc y aluminio.
- **Acero Corten**, una aleación de bajo contenido de carbono que, en adición de pequeñas cantidades de metales como: cobre, níquel y cromo; y expuesto a ciclos alternados de humedad y sequedad, desarrolla una capa de óxido de color marrón-rojiza, homogénea y de alta adherencia, que funciona como barrera de protección contra la corrosión.
- **Acero inoxidable**, acero con un contenido importante de cromo que genera una capa de óxido de cromo que le protege de la corrosión.

1.2.3.2.2. NO FÉRREOS

Son los metales que se han obtenido por transformación mecánica y química de minerales que no contienen mineral de hierro, o lo contienen en proporciones pequeñas. Los más importantes son:

- **Aluminio,** empleado en carpintería, revestimientos, celosías, paneles, cielos rasos, etc.
- **Plomo,** se emplea en tuberías y accesorios de fontanería, actualmente en desuso.
- **Cobre,** se emplea en tuberías, canalizaciones, revestimientos, etc.
- **Cinc,** se emplea en chapas para cubiertas, depósitos, etc.

1.2.3.2.3. MIXTOS

Son los metales que se han obtenido por aleación de diferentes minerales, entre los que destacan:

- **Latón,** aleación de cobre y cinc., empleado en elementos decorativos de carpintería, etc.
- **Bronce,** aleación de cobre y estaño, se emplea en valvulería.

1.2.3.3. LA MADERA

La madera es un tejido leñoso de fibras procedente del tronco de un árbol, al que se le ha quitado la capa externa (corteza), constituido básicamente por celulosa y lignina (aporta resistencia), siendo utilizado en las construcciones desde la antigüedad.

La madera del tronco consta de una serie de anillos concéntricos de crecimiento anual: la madera de primavera (interior), compuesta por células grandes de paredes finas; y la madera de verano (exterior), formada por células menores, tiene un color más oscuro y es más densa y resistente que la madera de primavera.

En el tronco del árbol se observan tres tipos diferenciados de madera:

- **Médula**, tejido primario ligero, constituido por células de paredes finas, con poca resistencia y fácil pudrición.
- **Duramen,** es la madera que constituye el interior del tronco, de color oscuro y con las mejores propiedades mecánicas.
- **Albura**, es la madera más joven que rodean al duramen, siendo más blanda y con más humedad que el duramen.

Entre las maderas utilizadas en las edificaciones, se distinguen las siguientes especies botánicas:

- **Coníferas o resinosas**, poseen hojas en forma de aguja (acículas) perennes, son maderas durables y resistentes. Destacan el pino, abeto, alerce, ciprés, cedro y enebro.
- **Frondosas**, poseen hojas caducas, son las que ofrecen normalmente mayor calidad, como: el roble, fresno, olmo, abedul, haya, castaño, nogal, olivo, cerezo, manzano, peral, chopo, aliso, eucalipto, etc.

La madera tiene las siguientes aplicaciones en la construcción:

- Para trabajos auxiliares: apeos, andamios, encofrados, cimbras, etc.
- En elementos resistentes: vigas, viguetas, pilares, cuchillos, etc.
- En carpintería: material base para puertas, ventanas, marcos, molduras, persianas, etc.
- En revestimientos: pavimentos, aplacados, cielos rasos, entarimados, etc.
- En decoración: material base para muebles, ebanistería, etc.

Las escuadrías son las formas comerciales en que se dividen las unidades de despiece. Tradicionalmente son las siguientes: tablones, tablas, vigas, viguetas, listones, chapas, etc.

Desde el punto de vista estructural se distinguen los siguientes tipos de maderas según sea su composición:

- **Madera aserrada**, pieza de madera maciza obtenida por aserrado del árbol generalmente escuadrada, es decir con caras paralelas entre sí y cantos perpendiculares a las mismas. Se la denomina, también madera maciza.
- **Madera laminada encolada**, elemento formado por láminas de madera, encoladas en varias capas superpuestas hasta conseguir una sección determinada de la pieza. Cada una de las capas que conforman la pieza está formada por tablas de madera aserrada empalmadas a testa, mediante uniones dentadas encoladas y, en su caso, también lateralmente de forma que cada lámina abarque toda la anchura y longitud de la correspondiente capa de la pieza.

  Esta disposición garantiza que la dirección de la fibra de las tablas se corresponda, constantemente, con la dirección de la directriz de la lámina de madera.

  - Madera laminada encolada combinada, formada por láminas de madera de diferente clase resistente, de tal forma que las láminas extremas son de clase resistente superior a las internas (próximas al eje neutro de la sección).

- Madera laminada encolada homogénea, formada láminas de madera de la misma clase resistente.

- **Madera microlaminada**, producto derivado de la madera para uso estructural fabricado con chapas de madera de pequeño espesor (del orden de 3 a 5 mm) encoladas con la misma dirección de la fibra. Con frecuencia es conocida con las siglas de su nombre en inglés, LVL.

- **Tablero**, pieza en la que predominan la longitud y la anchura sobre el espesor, y en la que el elemento constitutivo principal es la madera. Se le conoce, también, como producto derivado de la madera.

  - Tablero contrachapado, formado por capas de chapas de madera encoladas de modo que las direcciones de las fibras de dos capas consecutivas formen un cierto ángulo, generalmente de 90°.

  - Tablero de fibras, formado por fibras de madera mediante la aplicación de calor y/o presión. La cohesión se consigue por las propiedades adhesivas intrínsecas de las fibras o por adición de un aglomerante sintético (cola).

  - Tablero de fibras de densidad media, tablero de fibras fabricado por el proceso en seco, empleando un aglomerante sintético, así como presión y calor. Vulgarmente se conoce como tablero DM o MDF.

  - Tablero de fibras duro, tablero de fibras fabricado por el proceso en húmedo que tiene una densidad mayor o igual a 900 $kg \cdot m^{-3}$.

  - Tablero de fibras semiduro, tablero de fibras fabricado por el proceso en húmedo que tiene una densidad comprendida entre 400 y 900 $kg \cdot m^{-3}$. Si la densidad se sitúa entre 400 y 560 $kg \cdot m^{-3}$ se denominan tableros semiduros de baja densidad, y si la densidad se sitúa entre 560 y 900 $kg \cdot m^{-3}$, se denominan tableros semiduros de alta densidad.

  - Tablero de madera maciza, fabricado fundamentalmente con tablas, tablillas o listones de madera unidos entre sí por distintos medios tales como el encolado, machihembrado, revestimiento con chapas, etc.

  - Tablero de partículas (aglomerado), formado por partículas de madera o de otro material leñoso, aglomeradas entre sí mediante un adhesivo y presión, a la temperatura adecuada.

  - Tablero de virutas, de constitución similar al de partículas, pero fabricado con virutas de mayores dimensiones. Sus propiedades mecánicas son mayores.

  - Tablero de virutas orientadas OSB (Oriented Strand Board): tablero de virutas en el que las virutas de las capas externas están orientadas siguiendo la dirección longitudinal del tablero.

1.2.3.4. BITUMINOSOS

Los materiales bituminosos son de color negro, y de aspecto sólido o viscoso, que se reblandecen con el calor y que tienen su origen en el crudo del petróleo o en la destilación de sustancias de origen carbonoso. Compuestos principalmente por carbono e hidrógeno.

Atendiendo al origen, destacan los siguientes tipos:

- Naturales:

  - Betunes, obtenidos por mezclas de hidrocarburos naturales o pirogenados, o de sus combinaciones.

  - Asfaltos: obtenidos por mezclas de betunes asfálticos con fibras minerales inertes.

- Artificiales:
    - Alquitranes, obtenidos por destilación destructiva de materiales orgánicos: hulla, lignito o madera.

Los bituminosos se usan como impermeabilizantes, pavimentación, confección de aglomerados, etc.

1.2.3.5. PINTURAS

Las pinturas son mezclas líquidas formadas por dos componentes básicos: pigmentos sólidos y un aglutinante líquido. Tienen la función de proteger los materiales y la de decorarlos.

Los tipos de pinturas más empleados en la construcción son los siguientes:

- **A la cal**, formada por una lechada de cal grasa.
- **Al fresco**, se ejecuta sobre enlucidos preparados con morteros de arenas silíceas y se pintan antes de dejarlos secar. Se utilizan colores a la cal.
- **Al temple**, formada por carbonato básico de plomo, agua y algún colorante. Se aplica en interiores sobre paredes y techos enlucidos de yeso.
- **Al óleo**, preparadas con aceites. Sirven tanto para interiores como para exteriores.
- **Barnices**, formadas mediante la disolución de resinas en un aceite o líquido volátil, empleadas en el acabado de la madera principalmente.
- **Antioxidantes**, se emplean para proteger el hierro de la oxidación, en general mediante minio de plomo.
- **Intumescentes**, pinturas que forman con el calor una costra incombustible, son solo unos retardadores de la acción del fuego. No confieren la propiedad de la incombustibilidad a los materiales.
- **Luminosas**, entre las que destacan las siguientes:
    - Reflejantes, reflejan la luz que inciden en ellas.
    - Fotoluminescentes, siguen luminosas en la oscuridad al devolver la luz absorbida durante un tiempo determinado.
    - Fluorescentes, emiten luz bajo la acción de radiaciones no visibles.

1.2.3.6. POLÍMEROS

Los polímeros son materiales que tienen propiedades y comportamientos mecánicos distintos de los anteriores, debido fundamentalmente a su composición estructural.

Un polímero viene dado por la repetición sucesiva de una serie de hidrocarburos cuyos elementos y entre sí están fuertemente unidas a través de enlaces de tipo covalente (los dos átomos enlazados comparten electrones).

Los polímeros aportan combustible a un incendio y lo que es peor, estos materiales se descomponen con el fuego originando humos y gases tóxicos.

Los polímeros se clasifican atendiendo a su estructura, forma de la cadena y naturaleza en:

- **Termoestables,** corresponde al grupo de las resinas y del poliester. Su estructura está fuertemente reticulada, por lo que son poco deformables, inalterables y resistentes a los cambios de temperatura, son rígidos. Solamente se les puede cambiar de forma mediante operaciones mecánicas como de corte, taladro, etc.

- **Termoplásticos**, son los deominados plásticos, formados a partir de cadenas lineales. Cuando se estiran son fácilmente deformables, con un porcentaje de alargamiento de rotura bastante grande. No soportan altas temperaturas, ya que con el calor se reblandecen pudiendo llegar a fundirse. Cuando están elaborados pueden cambiar de forma por la acción del calor o de la presión, sin variar su composición química. Destacan los siguientes: polietileno de baja o alta densidad, cloruro de Polivinilo (PVC), polipropileno, poliestireno, nylon, etc.

- **Elastómeros**, son los denominados gomas. Tienen propiedades intermedias a los anteriores. En un amplio rango de magnitudes de carga, tienen un comportamiento elastómero perfecto (deformación elástica). Están menos reticulados que los anteriores, por lo que permiten giros, rotaciones y desdoblamientos, a su vez están unidos con enlaces covalentes lo que evita su plastificación y rotura. Destacan los siguientes:estireno-butadieno (SBR), caucho sintético, policloropreno (neopreno), polisolixano (silicona) y polibutadieno.

1.2.4. EL CEMENTO ALUMINOSO

El cemento aluminoso nació de la necesidad de conseguir un conglomerante que resistiese a los sulfatos contenidos en las aguas de mar y en los terrenos yesíferos, que atacan y destruyen al cemento portland.

El cemento aluminoso se obtiene por fusión de caliza y bauxita, a diferencia del cemento portland que se obtiene por un tratamiento térmico a una temperatura inferior a la de fusión de la mezcla (sinterización) de caliza y arcilla.

Composición del cemento portland y aluminoso.

Las características principales del cemento aluminoso son las siguientes:

- Adquiere resistencias iniciales importantes rápidamente, es decir, a las 24 h. alcanza las resistencias que un cemento portland a los 3 ó 7 días. El tiempo de fraguado es similar al del cemento portland

- Durante el fraguado y endurecimiento, produce una reacción con desprendimiento de mucho calor (exotérmica).

- Resistencia química a los sulfatos, agua de mar, ácidos, etc.

- Propiedades refractarias.

El color oscuro casi siempre negro, diferencia el hormigón de cemento aluminoso del hormigón de cemento portland, de color gris. Internamente el hormigón de cemento aluminoso tiene un color chocolate, Ilustración.

Colores del interior de una vigueta según tipo de cemento.

1.2.4.1. USO DEL CEMENTO ALUMINOSO EN ESPAÑA

En 1928 la firma Cementos Molins, obtiene la concesión de la patente de fabricación (patentado en 1908 por BIED), y a partir de 1929 se comercializa en toda España con la denominación de "ELECTROLAND".

Se empleó en la fabricación de viguetas entre los años 1955 y 1965, dada la gran demanda de este tipo de elemento constructivo, ya que ofrecía ventajas de rapidez en los procesos de fabricación debido a su alta resistencia inicial. La norma de hormigón pretensado de 1977 prohíbe su utilización, en otros países ya se prohibió con anterioridad.

Es de observar, que este tipo de cemento se empleó en los elementos prefabricados, por lo que en general y salvo algún caso aislado, no afectan a los pilares y vigas de los forjados (pórticos). Esto implica que el fallo de algún elemento, siempre será local y tan solo tendrá repercusiones importantes en el vano afectado, manteniendo el resto de elementos como vigas y pilares su estabilidad.

1.2.4.2. CAUSAS DE LA DEGRADACIÓN DEL CEMENTO ALUMINOSO

Los hormigones confeccionados a partir del cemento aluminoso, sufren con el tiempo y la temperatura, una transformación compleja de tipo químico que podríamos sintetizar en un cambio de estructura cristalina de la masa aglutinante.

Las causas de la degradación son las siguientes:

- **La transformación o conversión,** de determinados aluminatos cálcicos hidratados, cristalizados en forma hexagonal, a otros en forma cúbica. Este proceso se realiza por encima de temperaturas superiores a 16 ó 18ªC. Se completa transcurridos de 7 a 10 años.

  Este fenómeno conlleva a una pérdida de capacidad resistente del hormigón y a un aumento de porosidad.

- **La carbonatación del hormigón**, que, al perder la alcalinidad protectora de las armaduras, las deja desprotegidas frente a la corrosión.

Este fenómeno ocasiona en presencia de humedad, la corrosión de las armaduras con pérdida de sección, llegando en algunos casos, especialmente las viguetas pretensadas, a la rotura de cables y consecuentemente al riesgo de colapso estructural.

- **La reacción de hidrólisis alcalina**, destruyendo la ligazón en la pasta cementante, en algunos casos, cuando hay presencia de humedades.

El esquema de la degradación final es el siguiente,

Esquema de degradación del cemento aluminoso.

Cuando un elemento está construido con cemento aluminoso, pero sus condiciones de puesta en obra, le han permitido que no haya existido transformación de la estructura cristalina o existiendo, no ha habido humedad que haya favorecido la corrosión de la armadura, éste no presentara daño alguno.

Los elementos que presentan daños, tienen corrosiones de las armaduras con desprendimiento de los recubrimientos, y en ocasiones fallan por cortante, siendo ésta una rotura frágil, que se presenta con poca deformación previa.

1.3. PARTES DE LA EDIFICACIÓN

1.3.1. EL TERRENO

El terreno es la base sobre la que se apoya el edificio, que debe de responder a las acciones que le transmite la estructura a través de la cimentación, manteniendo el equilibrio, la resistencia y la estabilidad del conjunto.

La ciencia que estudia los problemas de equilibrio y deformación del terreno es la "Mecánica del Suelo", quien mediante los estudios geotécnicos y complementarios determina sus cualidades. El estudio geotécnico es el compendio de información cuantificada en cuanto a las características del terreno en relación con el tipo de edificio previsto y el entorno donde se ubica, que es necesaria para proceder al análisis y dimensionado de los cimientos de éste u otras obras.

1.3.1.1. TIPOLOGÍAS

El terreno desde el punto de vista constructivo y geotécnico, comprende la capa más exterior de la corteza terrestre, a la capa superficial de tierra, se le denomina generalmente capa vegetal. Se clasifica en dos principales categorías: suelos y rocas.

- **Suelos,** son la parte de la corteza terrestre formada por materiales que pueden ser disgregados en partículas individuales, mediante la acción del agua y procedentes de las rocas.

Tipos de suelos según el tamaño de las partículas:

- Suelos gruesos:
  - Gravas: fracción de suelos cuyas partículas tienen un tamaño comprendido entre 2 y 60 mm.
  - Arenas: fracción de suelo cuyas partículas tienen un tamaño comprendido entre 0,06 y 2 mm.
- Suelos finos:
  - Limos: fracción de suelo cuyas partículas pasan por el tamiz 0,06 UNE y son de tamaño superior a 0,002 mm.
  - Arcillas: fracción de suelo con las partículas de tamaño inferior a 0,002 mm.

Tipos de suelos según su cohesión:

- Terrenos sin cohesión, terrenos formados fundamentalmente por áridos: gravas, arenas y limos inorgánicos, pudiendo contener arcillas en cantidad moderada. Predomina en ellos la resistencia debida al rozamiento interno.
- Terrenos coherentes, terrenos formados fundamentalmente por arcillas que pueden contener áridos en cantidad moderada. Al secarse forman terrones. Predomina en ellos la resistencia debida a la cohesión. Según su consistencia y su resistencia a compresión en estado natural no alterado, se clasifican en: terrenos arcillosos duros, semiduros, blandos y fluidos.

- **Rocas,** son los agregados naturales de uno o más minerales unidas por fuerzas cohesivas potentes y permanentes. En general las rocas duras y compactas constituyen un terreno de cimentación excelente, siempre que la solera de excavación esté libre de material alterado y las posibles grietas (diaclasas) se hayan rellenado con hormigón.

Existen una serie de terrenos que no son aptos para cimentar y son los siguientes: suelos expansivos, suelos colapsables, suelos blandos o sueltos, terrenos kársticos en yesos o calizas, terrenos variables en cuanto a composición y estado, rellenos antrópicos con espesores superiores a 3 m., terrenos en zonas susceptibles de sufrir deslizamientos, rocas volcánicas en coladas delgadas o con cavidades, terrenos con desnivel superior a 15°, suelos residuales y terrenos de marismas.

Los suelos están compuestos por materia: sólida, líquida y gaseosa, a cada uno de estos componentes principales se denomina fase del suelo. El comportamiento del suelo depende de la cantidad relativa de cada una de estas tres fases, ya que estas interactúan entre sí, pudiendo producirse cambios de volumen importantes dependiendo de múltiples factores: tipo de suelo, empuje hidrostático, cargas, etc.

- **La fase sólida,** representa la fase más estable del suelo y por tanto es la más representativa, es muy heterogénea, constituye el armazón que de estabilidad al suelo.

- **La fase líquida,** se caracteriza por su variabilidad en el espacio y en el tiempo. La dinámica general del agua en el suelo, está relacionada con: los aportes exteriores, las fuentes, la lluvia o la infiltración; o las pérdidas, por evaporación o movimiento de las aguas subterráneas (acuíferos y corrientes). Los cambios climáticos estacionales, y concretamente las precipitaciones atmosféricas, hacen variar los porcentajes de cada fase en cada momento.

- **La fase gaseosa** es la mezcla de gases que ocupa los espacios que la fase liquida deja libres en la porosidad de suelo. El tamaño de la fase gaseosa estará relacionado de forma indirecta con la compacidad del suelo.

PRESIONES ADMISIBLES A EFECTOS ORIENTATIVOS CTE DBSE-C			
Terreno	Tipos y condiciones	Presión admisible [Mpa]	Observaciones
Rocas	Rocas ígneas y metamórficas sanas. (Granito, diorita, basalto, gneis)	10	Para los valores apuntados se supone que la cimentación se sitúa sobre roca no meteorizada
	Rocas metamórficas foliadas Sanas (Esquistos, pizarras).	3	
	Rocas sedimentarias sanas: Pizarras cementadas, limolitas, areniscas, calizas sin karstificar, conglomerados cementados	1 a 4	
	Rocas arcillosas sanas.	0,5 a 1	
	Rocas diaclasadas de cualquier tipo con espaciamiento de discontinuidades superior a 0,30m, excepto rocas arcillosas	1	
	Calizas, areniscas y rocas pizarrosas con pequeño espaciamiento de los planos de estratificación	-	
	Rocas muy diaclasadas o meteorizadas	-	
Suelos granulares (% finos inferior al 35% en peso)	Gravas y mezclas de arena y grava, muy densas	>0,6	Para anchos de cimentación (B) mayor o igual a 1 m y nivel freático situado a una profundidad mayor al ancho de la cimentación (B) por debajo de ésta
	Gravas y mezclas de grava y arena, medianamente densas a densas.	0,2 a 0,6	
	Gravas y mezclas de arena y grava, sueltas.	<0,2	
	Arena muy densa.	>0,3	
	Arena medianamente densa.	0,1 a 0,3	
	Arena suelta.	<0,1	
Suelos finos (% de finos superior al 35% en peso)	Arcillas duras.	0,3 a 0,6	Los suelos finos normalmente consolidados y ligeramente sobreconsolidados en los que sean de esperar asientos de consolidación serán objeto de un estudio especial. Los suelos arcillosos potencialmente expansivos serán objeto de un estudio especial
	Arcillas muy firmes.	0,15 a 0,3	
	Arcillas firmes.	0,075 a 0,15	
	Arcillas y limos blandos	<0,075	
	Arcillas y limos muy blandos		
Suelos orgánicos		Estudio especial	
Rellenos		Estudio especial	

Presiones admisibles del terreno a efectos orientativos. (Fuente. CTE-DBSE-C).

1.3.1.2. COMPORTAMIENTO DE LOS SUELOS

La deformación del suelo se compone de las deformaciones entre las distintas partículas que componen el suelo y de la reducción de volumen de huecos, cuando esto sucede el suelo se compacta.

La reducción de huecos hace que exista una disminución del volumen de fluido que llena los huecos, saliendo el volumen sobrante hacia otras zonas (drenaje). Si los huecos del suelo son grandes como es el caso de las gravas y las arenas, el drenaje se produce con facilidad y la deformación es casi instantánea, arrastrando en algunos casos los finos y creando deslavados del terreno; por el contrario, en los suelos finos como las arcillas que tienen una gran capacidad de retención de agua, con un porcentaje de huecos muy elevado pero de muy pequeño tamaño, con unos tiempos de expulsión de agua muy elevados y una permeabilidad muy baja, el drenaje es más dificultoso y las deformaciones del suelo se producen a lo largo del tiempo en un proceso que se llama consolidación.

El contenido de humedad es el responsable de los cambios de volumen de las arcillas, de ahí que las variaciones de nivel que alcanza al agua en el terreno (capa freática), sea determinante para producir variaciones de volumen.

1.3.2 LOS CIMIENTOS

Los cimientos es el conjunto de elementos de cualquier edificación cuya misión es transmitir al terreno que la soporta, las acciones procedentes de la estructura, manteniendo el equilibrio, la resistencia y la estabilidad del conjunto. Su diseño dependerá tanto de las características del edificio como de la naturaleza del terreno.

En la antigüedad prácticamente no existía una diferenciación entre la cimentación y la estructura, dado que en general, sobre un plano apto para apoyar la edificación, se solía comenzar a ejecutar los muros (cimentación corrida), en algunas situaciones para mejorar el terreno se solía hincar algún poste de madera.

A posteriori ya se comenzó a ejecutar los muros sobre zócalos de materiales más resistentes, existiendo ya una diferenciación clara entre la cimentación y la estructura, en la que en muchos casos no había una diferencia significativa de espesores.

Los cimientos se clasifican según el documento básico del CTE "seguridad estructural cimientos" en: cimentaciones directas, cimentaciones profundas y elementos de contención.

1.3.2.1. CIMENTACIONES DIRECTAS

Son las cimentaciones que reparten las cargas de la estructura en un plano de apoyo horizontal. Las cimentaciones directas se emplearán para trasmitir al terreno las cargas de uno o varios pilares de la estructura, de los muros de carga o de contención de tierras en los sótanos, de los forjados o de toda la estructura.

Cuando las condiciones lo permitan se emplearán cimentaciones directas, que habitualmente, pero no siempre, se construyen a poca profundidad bajo la superficie, por lo que también son llamadas cimentaciones superficiales.

Tipologías de cimentaciones directas, Ilustración:

- **Zapatas aisladas, c**uando el terreno es firme y competente, y se esperen asientos pequeños o moderados, la cimentación de los pilares de un edificio está basada en zapatas individuales o aisladas.

En general, las zapatas son de planta cuadrada, sin embargo, pueden existir zapatas de planta rectangular por condicionantes constructivos diversos:

- Las separaciones entre crujías son diferentes en dos sentidos perpendiculares;
- Existen momentos flectores en una dirección;
- Los pilares son de sección rectangular;
- Se cimentan dos pilares contiguos separados por una junta de dilatación;
- Casos especiales de difícil geometría.

Si los condicionantes geométricos lo permiten, las zapatas de medianería son de planta rectangular, preferentemente con una mayor dimensión paralela a la medianería, y las de esquina de planta cuadrada.

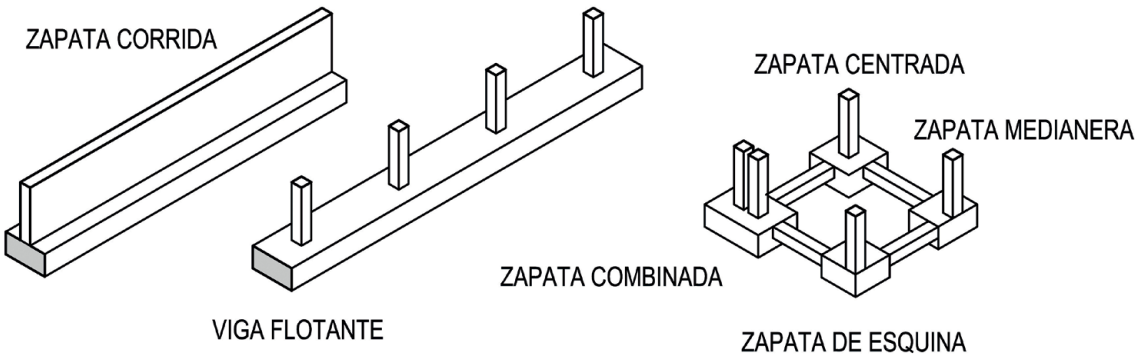
Las zapatas aisladas se suelen unir entre sí mediante vigas de atado o soleras, que tendrán como objeto principal evitar desplazamientos laterales.

Las zapatas aisladas, en especial las fuertemente excéntricas como son las de medianería y esquina, se suelen unir a otras zapatas contiguas mediante vigas centradoras para: resistir los momentos que le transmiten los por muros o pilares, o redistribuir cargas y presiones sobre el terreno.

- **Zapatas combinadas y corridas,** cuando la capacidad portante del terreno es pequeña o moderada, existen varios pilares muy próximos entre sí, o bien las cargas por pilar son muy elevadas; el dimensionado de los cimientos puede dar lugar a zapatas aisladas muy cercanas, incluso solapadas. En ese caso se suele recurrir a la unión de varias zapatas en una sola, llamada zapata combinada cuando recoja dos o más pilares, o zapata corrida cuando recoja tres o más alineados.

La forma habitual en planta de las zapatas combinadas será la rectangular, aunque ocasionalmente podrá resultar conveniente emplear zapatas combinadas de formas irregulares, particularmente de planta trapecial.

En el caso de muros de sótano en los que los pilares forman parte del muro sobresaliendo del mismo, el cimiento del muro más el del pilar puede considerarse una zapata corrida que generalmente tendrá un ensanchamiento en la zona del pilar en sentido transversal.



Tipos de cimentaciones directas.

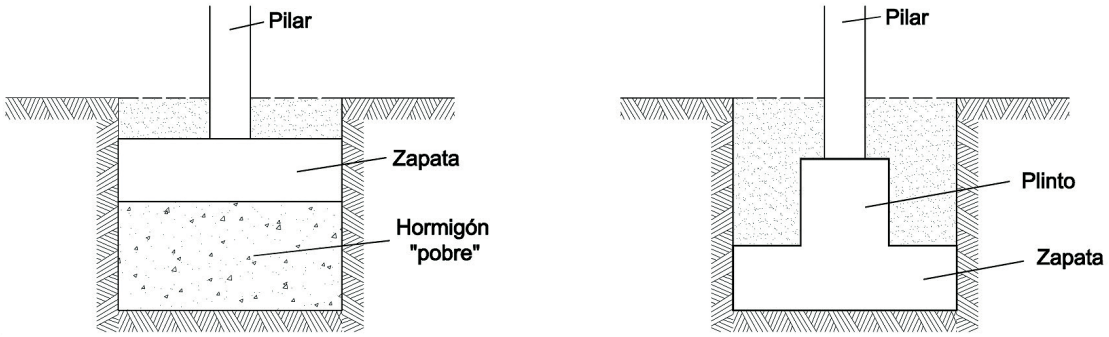
- **Pozos de cimentación,** suelen realizarse cuando el terreno lo permite (coherente) y la ejecución es ventajosa con respecto a otras soluciones, tal como alcanzar un firme bajo una capa no compactada suficientemente.

  Los pozos más habituales en edificación son de dos tipos, Ilustración:

  - Relleno de la excavación desde la cota de apoyo con hormigón pobre, situando la zapata encima de éste de forma que se transmitan las cargas a la profundidad deseada.

  - Bajar la cota de zapata hasta alcanzar el nivel de terreno competente de apoyo, elevando a continuación un plinto de gran rigidez con el fin de evitar problemas de pandeo.

  En ocasiones también se colocan vigas de atado o centradoras.



Cimentación por pozos.

- **Emparrillados,** cuando el terreno tiene baja capacidad de carga y elevada deformabilidad, o bien tenga heterogeneidades que hagan prever asientos totales elevados, y consiguientemente, importantes asientos diferenciales, se recurre a cimentar por el sistema de emparrillados.

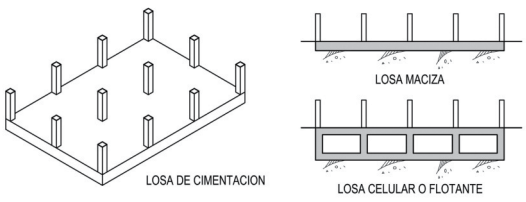
  En este caso todos los pilares de la estructura quedan recogidos en una única cimentación, consistente en zapatas corridas entrecruzadas en malla habitualmente ortogonal. Al quedar así reunidos todos los apoyos de la estructura en una sola cimentación se consigue una considerable rigidización que disminuye el problema de la heterogeneidad del terreno impidiendo grandes asientos diferenciales.

- **Losas,** se emplea en los casos indicados para los emparrillados o cuando el área cubierta por posibles cimentaciones aisladas o por emparrillados cubre un porcentaje elevado de la superficie de ocupación en planta del edificio.

  Las losas de cimentación pueden ser de los siguientes tipos: continúa y uniforme, con refuerzo bajo pilares, con pedestales, con sección en cajón, nervada y aligerada.

  La losa recoge los elementos estructurales del edificio y cubre el área disponible, dando así lugar a la mínima presión sobre el terreno, pero a la máxima anchura de cimentación. Especialmente en el caso de suelos compresibles de gran espesor, pueden dar lugar a asientos considerables, Ilustración.

  También se suele utilizar la cimentacion por losa, cuando, aunque el terreno de apoyo es homogéneo, resistente, el edificio contiene sótanos por debajo del nivel freático.



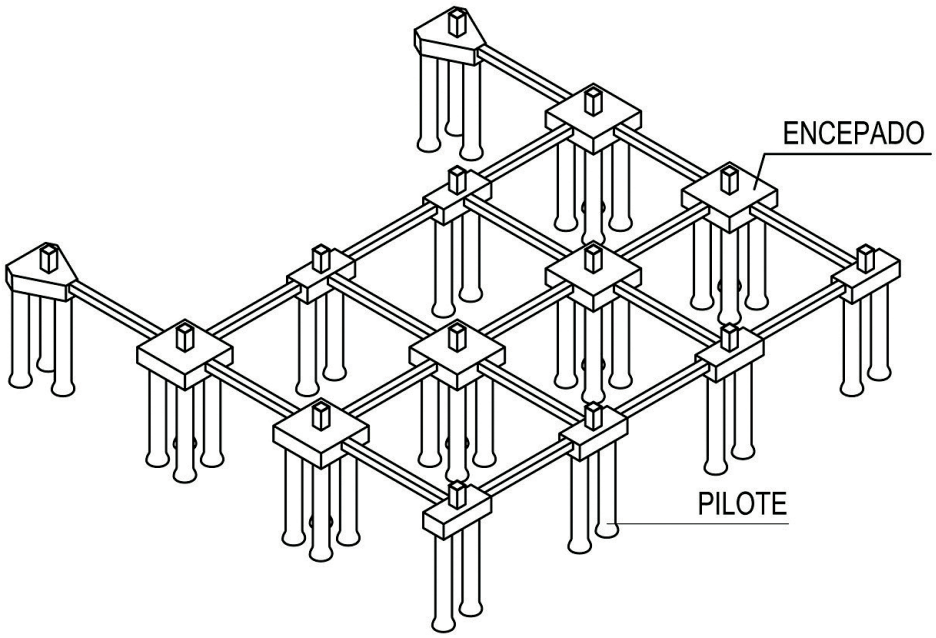
Cimentaciones por losas.

1.3.2.2. CIMENTACIONES PROFUNDAS

Se considerará que una cimentación es profunda si su extremo inferior, en el terreno, está a una profundidad superior a 8 veces su diámetro o ancho, Ilustración.

Las cimentaciones profundas se clasifican en los siguientes tipos:

- **Pilote aislado**, aquel que está alejado de otros pilotes.
- **Grupo de pilotes**, son aquellos que por su proximidad interaccionan entre sí o están unidos mediante elementos estructurales lo suficientemente rígidos, como para que trabajen conjuntamente (encepados).
- **Zonas pilotadas**, son aquellas en las que los pilotes están dispuestos con el fin de reducir asientos o mejorar la seguridad frente a hundimiento de las cimentaciones. Suelen ser pilotes de escasa capacidad portante individual y estar regularmente espaciados o situados en puntos estratégicos.
- **Micropilotes**, son pilotes compuestos por una armadura metálica formada por tubos, barras o perfiles introducidos dentro de un taladro de pequeño diámetro, pudiendo estar o no inyectados con lechada de mortero a presión más o menos elevada.



Cimentación profunda: pilotes.

En cuanto a la forma de trabajo, los pilotes se clasifican en:

- **Pilotes por fuste (flotantes)**, en aquellos terrenos en los que al no existir un nivel claramente más resistente al que transmitir la carga del pilotaje, éste transmitirá su carga al terreno fundamentalmente a través del fuste por rozamiento.
- **Pilotes por punta (columna),** en aquellos terrenos en los que al existir a cierta profundidad un estrato claramente más resistente, las cargas del pilotaje se transmitirán fundamentalmente por punta.

Los pilotes pueden ser de naturaleza y forma muy variada. En general siempre será un elemento aproximadamente prismático cuya longitud es mucho mayor que la dimensión transversal media. La forma de la sección transversal puede ser circular, cuadrada, hexagonal u octogonal.

Para la construcción de pilotes se utilizan los siguientes sistemas y materiales: hormigón in situ, mediante excavación previa o desplazamiento del terreno y hormigón prefabricado, acero, madera o mixtos, mediante sistemas de hincado en el terreno.

1.3.2.3. ELEMENTOS DE CONTENCIÓN

1.3.2.3.1. PANTALLAS

Se denomina pantallas a los elementos de contención de tierras que se emplean para realizar excavaciones verticales, en aquellos casos en los que el terreno, los edificios u otras estructuras cimentadas en las inmediaciones de la excavación, no serían estables sin sujeción; o bien, se trata de eliminar posibles filtraciones de agua a través de los taludes de la excavación y eliminar o reducir a límites admisibles las posibles filtraciones a través del fondo de la misma, o de asegurar la estabilidad de éste por el empuje hidrostático del agua (sifonamiento).

Se construyen desde la superficie del terreno previamente a la ejecución de la excavación y trabajan fundamentalmente a flexión, cumpliendo la labor estructural de contención de tierras, y de impermeabilización del vaso.

Las condiciones esenciales de las pantallas que las diferencian de los muros y las entibaciones, son:

- Se ejecutan previamente a la excavación.
- En general alcanzan una profundidad bajo el fondo de excavación que no es pequeña en relación con la altura libre de la pantalla.
- El empotramiento de la pantalla en el terreno por debajo del fondo de la excavación es, en general, indispensable para su estabilidad, constituyendo en ocasiones el único elemento que la proporciona.
- Son estructuras flexibles y resisten los empujes del suelo deformándose.

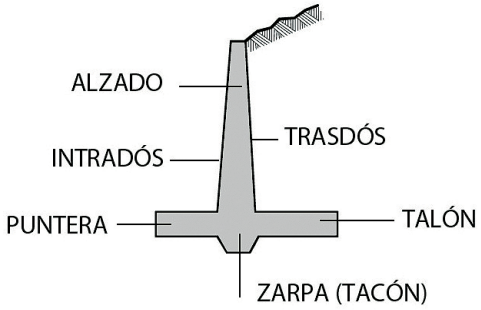
Las pantallas pueden requerir en muchos casos sujeción en uno o varios puntos de su altura libre, además del empotramiento en el terreno por debajo del nivel de excavación, bien sea por estabilidad, resistencia o para impedir excesivas deformaciones horizontales o verticales del terreno en el trasdós.

PANTALLAS EJECUTADAS ENTERAMENTE IN SITU	PANTALLAS CONTINUAS DE HORMIGÓN PANTALLAS DE PILOTES	
PANTALLAS DE ELEMENTOS PREFABRICADOS	Hincadas	Tablestacas de hormigón armado o pretensado Tablestacas de acero Tablestacas de madera
	De paneles de hormigón armado o pretensado que se colocan en una zanja previamente excavada	

Tipos de pantallas. (Fuente. CTE-DBSE-C).

1.3.2.3.2. MUROS

Los muros son elementos de contención destinados a establecer y mantener una diferencia de niveles en el terreno, con una pendiente de transición superior a lo que permitiría la resistencia del mismo, transmitiendo a su base y resistiendo con deformaciones admisibles los correspondientes empujes laterales. En el caso de muros de sótano, éstos se utilizan para independizar una construcción enterrada del terreno circundante.



Elementos de un muro de contención.

Por los materiales empleados, los muros generalmente son de: hormigón en masa o armado, fábrica de mampostería o ladrillo, o de armazones enrejados metálicos rellenos de mampostería (gaviones).

Por su concepto estructural se distinguen, entre otros los siguientes muros, Ilustración:

- **Muros de gravedad,** son elementos de contención cuyas dimensiones son suficientemente grandes como para equilibrar los empujes únicamente por su peso, sin que se produzcan tracciones en la fábrica u hormigón o siendo éstas despreciables.

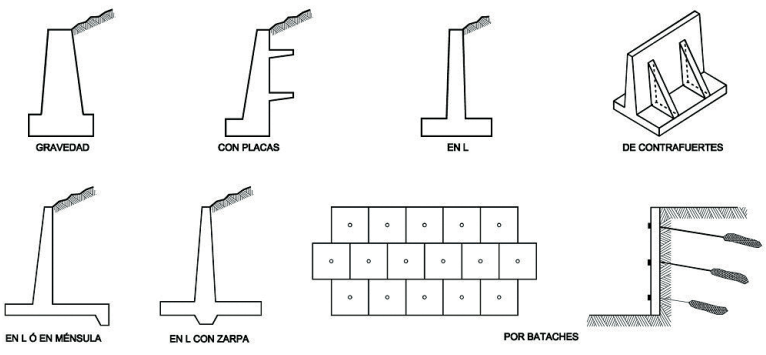
- **Muros de gravedad aligerados**, al reducirse el espesor del alzado del muro, las pequeñas tracciones correspondientes se absorben con una ligera armadura. El pie ha de sobresalir en ménsula para mantener el ancho de base necesario, por lo que es necesario también la colocación de armadura en la base de la zapata.

- **Muros de contrafuertes,** son una variante de los anteriores en los que el ancho del muro se refuerza a determinados intervalos para reducir las flexiones del muro y conseguir además una orientación más favorable de los empujes. Las placas frontales pueden ser planas o abovedadas, de directriz circular preferentemente. Si es necesario, pueden llevar zarpas en el talón de la placa de base.

- **Muros en L o en ménsula**, la base del muro está constituida por una losa o zapata sobre la que se levanta el alzado, que suele ser de espesor reducido, absorbiéndose las flexiones de la ménsula mediante armadura sencilla o doble. Para mejorar la resistencia al deslizamiento, estos muros pueden llevar zarpas centrales o en el talón posterior y si los esfuerzos son importantes el empotramiento en la zapata podrá reforzarse mediante cartabones.

- **Muros realizados por bataches,** a medida que se ejecuta la excavación, generalmente están constituidos por placas de hormigón armado, de unos 3 x 3 m, y espesor entre 40 y 80 mm, hormigonadas contra el terreno, cada una de las cuales se ancla al terreno una vez endurecido el hormigón. Estos muros no se empotran en el terreno por debajo del nivel de excavación por lo que su estabilidad se logrará exclusivamente por medio de los anclajes.

- **Muros de sótano,** generalmente tienen forma de cajones cerrados y están sometidos al empuje del terreno y, en su situación definitiva, a las cargas



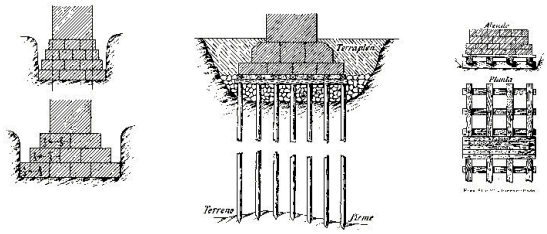
Tipologías de muros.

procedentes de forjados, y en ocasiones a las de soportes o muros de carga que nacen de su cúspide. Los forjados actúan como elementos de arriostramiento transversal. En este tipo de muros los efectos derivados de la contención pueden ser secundarios, sobre todo en edificios de varias plantas.

1.2.3.4. EVOLUCIÓN DE LAS CIMENTACIONES

En la antigüedad prácticamente no existía una diferenciación entre la cimentación y la estructura, dado que en general sobre un plano apto para apoyar la edificación se solía comenzar a ejecutar los muros (cimentación corrida).

Cuando el plano del terreno apto para cimentar no estaba bajo la cimentación, se recurría a dos sistemas: mejorar el terreno mediante hinca de postes de madera sobre los que se disponía un emparrillado de madera; o bien, mediante el uso de pozos de cimentación rellenos de hormigón o fábricas, sobre los que se disponían unos arcos que servían de base para la cimentación.



Tipologías de cimentaciones. (Fuente. E. Barberot. Tratado práctico de edificación).

A posteriori ya se comenzó a ejecutar los muros sobre zócalos de materiales más resistentes, existiendo ya una diferenciación entre la cimentación y la estructura.

Inicialmente las cimentaciones eran de mampostería, ladrillo o de hormigón en masa, posteriormente ya se ejecutan de hormigón armado.

1.3.3. LA ESTRUCTURA

Según el diccionario visual de arquitectura la estructura es "Conjunto de elementos estructurales proyectados, calculados y construidos para funcionar unitariamente en el sostenimiento y la transmisión de las cargas al terreno, en condiciones de seguridad y sin sobrepasar los esfuerzos admisibles en sus miembros"

La estructura la forman por tanto un conjunto de elementos, organizados mediante sistemas constructivos según las técnicas, la forma de responder a las solicitaciones y los materiales de construcción.

La estructura del edificio tiene dos partes claramente diferenciadas según la posición que ocupan:

- **Infraestructura**, lo que denominamos **cimientos,** que se encuentra dentro del terreno.
- **Superestructura**, lo que denominamos **estructura,** que se encuentra sobre el terreno.

En general y dada la gran complejidad y abundancia de los tipos de edificios, se destacan las siguientes exigencias piden a una estructura son de:

- **Equilibrio**, el equilibrio ha de ser estático, es decir, que ha de asegurar la inmovilidad de la estructura en conjunto, y de cada una de sus partes por separado, respecto a la cimentación que la sustenta.
- **Resistencia**, tanto frente a las acciones que reciba como a las deformaciones a que se someta.

- **Estabilidad**, con independencia de los aspectos resistentes, el edificio ha de ser estable, tanto frente a acciones de vuelco como a movimientos del terreno.

Durante la vida útil de un edificio, la estructura debe mantenerse en un nivel aceptable de condiciones de servicio, en lo relativo a:

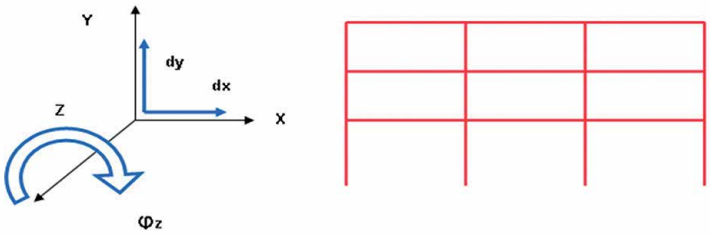
- **Deformaciones verticales:** de forjados y vigas.
- **Deformaciones laterales:** del conjunto del edificio y de los elementos que lo forman.
- **Fisuraciones** excesivas de los elementos resistentes o de los no resistentes.
- **Percepción** por parte de los ocupantes de movimientos del edificio, tales como vibraciones producidas por acciones, flechas laterales debido al viento, etc.

1.3.3.1. CONCEPTOS BÁSICOS

1.3.3.1.1 GRADOS DE LIBERTAD

Los grados de libertad son los posibles movimientos que puede tener cualquier punto de la estructura con relación al sistema de referencia que se adopte.

Cualquier posible movimiento se puede descomponer en sus tres componentes principales, referenciadas a los ejes X-Y-Z: dos desplazamientos (d_x y d_y) a lo largo de los ejes X e Y, y un giro (θ_z) sobre el eje Z, Ilustración.



Grados de libertad en una estructura plana

Los movimientos de la estructura van asociados los esfuerzos que se le aplican, los desplazamientos (d_x y d_y) se asocian a fuerzas y a los giros (θ_z) se asocian momentos. Destacar, aunque sea evidente, que si un elemento o estructura deforma, es porque hay acciones aplicadas y los distintos elementos estructurales reaccionan ante ellas.

1.3.3.1.2. ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Los elementos estructurales son cada una de las partes de la estructura que se caracterizan por tener un carácter unitario y un determinado comportamiento bajo la acción de las cargas aplicadas. Un elemento estructural puede estar formado por una sola pieza o varias, incluso de distintos materiales.

Distinguimos los siguientes elementos estructurales según su forma:

- **Lineales**:
  - Verticales: cables, tirantes y pilares.
  - Horizontales: cables, tirantes y vigas.
- **Lineales curvos**: cable (catenaria) y arcos.
- **Superficies planas**:
  - Verticales: muros y pantallas.
  - Horizontales: forjados y losas.
- **Superficie curva**: bóvedas, cúpulas y paraboldes.

1.3.3.1.3. UNIDAD ESTRUCTURAL BÁSICA: LA CRUJÍA.

La crujía es un conjunto básico de elementos estructurales delimitado por elementos verticales (pilares o muros) sobre los que apoya un elemento de cerramiento: plano (forjados o losas) o curvo (bóvedas), que por adición genera la estructura del edificio.

Se distinguen tres sistemas estructurales básicos según los elementos estructurales que componen la crujía:

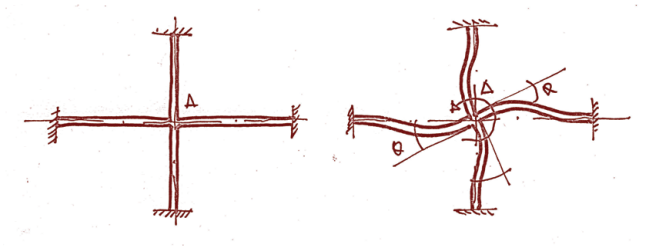
- **Sistemas abovedados**, en los que sobre los muros se disponen bóvedas.
- **Sistemas de muros de carga**, en los que sobre los muros se disponen los forjados o losas.
- **Sistemas adintelados (porticados)**, en los que sobre pilares se disponen de forjados o losas.

1.3.3.1.4. UNIONES ENTRE ELEMENTOS

Las uniones entre los distintos elementos estructurales se materializan mediante los llamados nudos, que quedan definidos por los grados de libertad que tengan los distintos elementos estructurales que forman el nudo.

Tipos de uniones:

- **Un nudo rígido**, es aquel que todas las barras que inciden en él, tienen impedidos todos los grados de libertad con respecto al nudo, por lo que todos los posibles movimientos del nudo serán también los mismos que los de los extremos de las barras. Si el nudo gira o se desplaza, lo hacen también las barras que forman el nudo, Ilustración.



Nudo rígido.

- **Un nudo articulado** es aquel que permite los giros de las barras pero no los desplazamientos de estas con relación al nudo, Ilustración.

Nudo articulado.

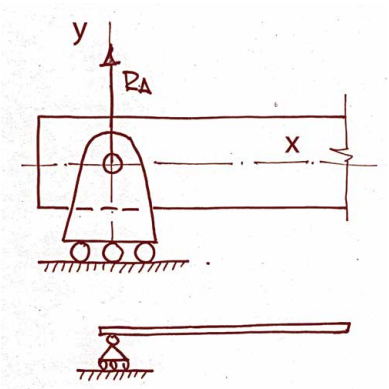
1.3.3.1.5. CONDICIONES DE CONTORNO

Las condiciones de contorno son los vínculos de la estructura con el exterior e introducen en la estructura grados de libertad en los nudos donde están situados.

En estos vínculos, para que la estructura esté en equilibrio, se aplica la tercera ley de Newton o ley de acción reacción: con toda acción ocurre siempre una reacción igual y de signo contrario.

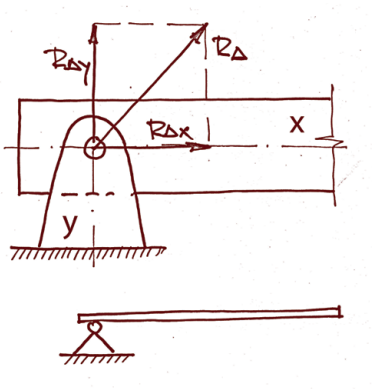
Tipos de apoyos más comunes:

- **Apoyo articulado móvil**, es libre el movimiento en la dirección del eje X, así como el giro en el plano XY. La reacción se reduce a una fuerza (R_A) perpendicular al plano del desplazamiento del apoyo, Ilustración.



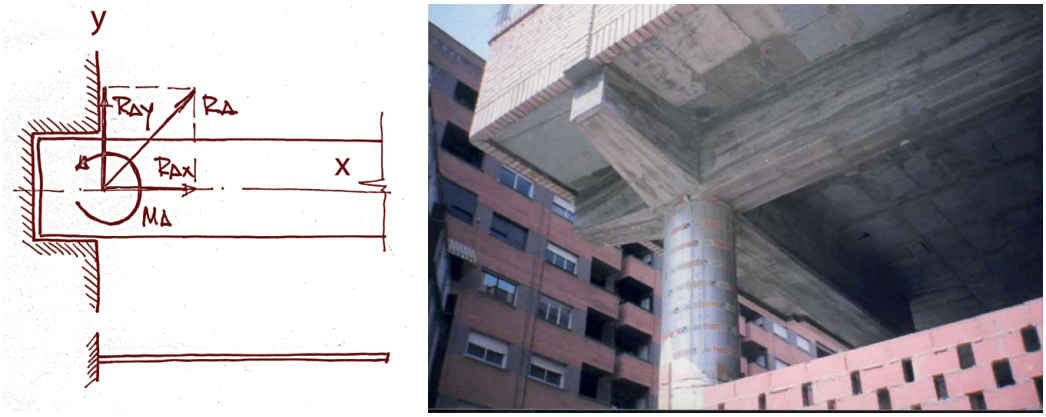
Apoyo articulado móvil.

- **Apoyo articulado fijo**, el desplazamiento está impedido tanto en la dirección del eje X, como en la del eje Y, pero el giro en el plano XY no lo está. La reacción en este caso es una fuerza (R_A) con componente horizontal (R_{AX}) y una componente vertical (R_{AY}), Ilustración.



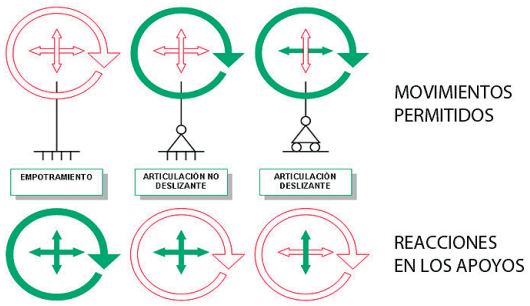
Apoyo articulado fijo.

- **Apoyo empotrado o empotramiento**, están impedidos los desplazamientos en dirección del eje X, del eje Y, así como el giro en el plano XY, quedando la unión inmóvil. La reacción en este caso es una fuerza (R_A) con componente horizontal (R_{AX}) y componente vertical (R_{AY}) y un momento (M_A) perpendicular al plano XY, Ilustración.



Apoyo empotrado.

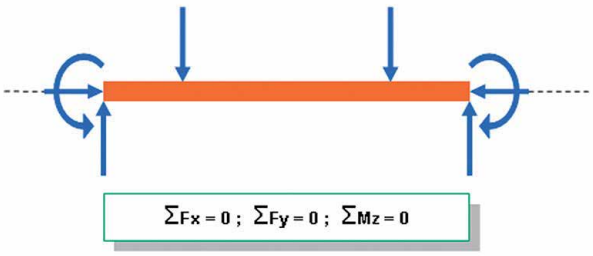
En la figura siguiente, se indican para cada tipo de apoyo los movimientos permitidos y las posibles reacciones en los apoyos, que dependerá del tipo de cargas que reciban.



Condiciones de contorno.

1.3.3.1.6. CRITERIOS DE ESTATICIDAD DE LAS ESTRUCTURAS

Para que exista equilibrio de una estructura o de un elemento estructural, el movimiento ha de ser nulo, siendo necesario que se cumplan las condiciones siguientes, Ilustración:



Condiciones de equilibrio en una barra.

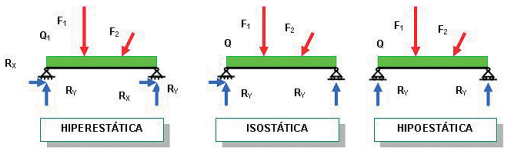
- La suma de todas las fuerzas verticales ha de ser nula, $\Sigma FV = 0$.
- La suma de todas las fuerzas horizontales ha de ser nula, $\Sigma FH = 0$.
- La suma de todos los momentos de ser nula, $\Sigma M = 0$.

En el caso de las estructuras, además de las fuerzas derivadas de las cargas que han de soportar, existen algunas otras fuerzas que aparecen justo en los apoyos o vínculos de la estructura con el medio en el que está ubicada. Estas fuerzas son las reacciones que el terreno ejerce sobre la estructura.

Se distinguen los siguientes tipos de estructuras según los criterios de estaticidad.

- **Isostática,** es una estructura en la que el número de reacciones o incógnitas es igual al número de ecuaciones o condiciones de equilibrio.

  Son estructuras que disponen de los mínimos, pero necesarios elementos y grados de libertad, por lo que la supresión de algunos de ellos conduce al colapso.



- **Hiperestática**: es una estructura en la que el número de reacciones o incógnitas es mayor que el número de ecuaciones o condiciones de equilibrio.

  Son estructuras que disponen de más elementos o menos grados de libertad de los estrictamente necesarios, por lo que la supresión de algunos de ellos no necesariamente conduce al colapso, sí a una redistribución de esfuerzos entre el resto.

- **Hipostática**: es una estructura en la que el número de reacciones o incógnitas es menor que el número de ecuaciones o condiciones de equilibrio.

No son estructuras, se consideran mecanismos.

1.3.3.2. CLASIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES SEGÚN LOS ESFUERZOS A QUE ESTÁN SOLICITADOS

1.3.3.2.1. ELEMENTOS SOLICITADOS A COMPRESIÓN

Se consideran elementos solicitados a compresión, aquellos en los que cualquier sección del mismo perpendicular a la línea de acción, está solicitada exclusivamente a esfuerzos de compresión, siendo la única limitación que bajo cualquier estado de cargas de servicio no aparezcan tensiones de tracción.

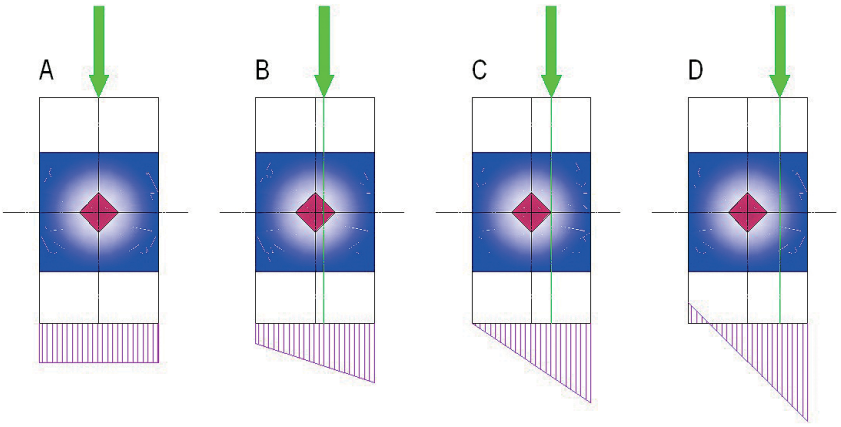
Los materiales que se utilizan normalmente para este tipo de estructuras son: tierra cruda, mampostería, cerámicos, hormigones, madera y acero.

El núcleo central de una sección, se define como al lugar geométrico de los infinitos puntos de la sección que, tomados como punto de aplicación de la carga, generan en la misma, tensiones del mismo signo. En base a ello, si aplicamos cargas de compresión sobre un elemento, de forma que la resultante pase por el núcleo de la sección, sólo existirán en la pieza tensiones de compresión, dándose varias situaciones:

- Si la resultante pasa por el centro de gravedad, la distribución de tensiones es uniforme y toda la sección estará sometida a la misma tensión, Ilustración.

- Si la resultante no pasa por el centro de gravedad de la sección, pero se encuentra dentro del núcleo central, las tensiones serán todas de compresión. pero no constantes en la sección, siendo mayores en el lado de aplicación de la carga, Ilustración.

- Si la resultante no se encuentra dentro del núcleo central, aparecerán tensiones de compresión y de tracción en la sección, es decir flexión, cuya magnitud dependerá de la excentricidad, Ilustración.



Distribución de tensiones según posición de la carga con el núcleo central.

Un elemento sometidos a esfuerzo de compresión en la dirección de su eje, puede sufrir deformación en sentido perpendicular al eje (pandeo), cuando la carga de compresión aumenta hasta que llega a un valor en el cual, el elemento que tiene una pequeña sección transversal comparada con su longitud (esbelto), en lugar de limitarse a acortar su altura, curva su eje; una vez que esto ocurre, aunque no se incremente el valor de la carga, el elemento continúa curvándose hasta el colapso definitivo, Ilustración. En la Ilustración se puede observar como en función del tipo de unión de las barras en los extremos, necesitan una cantidad de carga distinta para producir la misma deformación lateral de las barras a pandeo.

Deformación por pandeo del bastón.

Ensayo de experimento de pandeo. (Fuente: GUNT Hamburg).

La carga crítica a partir de la cual se produce el pandeo según Leonhard Euler depende de la longitud de la pieza, del material, de su sección transversal y de las condiciones de unión, vinculación o sujeción en los extremos (condiciones de contorno).

La longitud de pandeo (**L_K**) podríamos definirla como la longitud que debería de tener una barra articulada en ambos extremos, equivalente a la dada de longitud (**L**) y del mismo material y sección, para que tuviese la misma carga deformación horizontal que la barra dada la siguiente tabla.

Condiciones de extremo	**biarticulada**	**biempotrada**	**empotrada articulada**	**biempotrada desplazable**	**en ménsula**
Longitud L_k	1,0 L	0,5 L	0,7 L	1,0 L	2,0 L

Longitud de pandeo de barras coacciones en sus extremos.

Ninguna pieza sometida al esfuerzo de compresión está exenta de sufrir el pandeo, con la excepción de las de muy poca esbeltez. En aquellas que se produzca lo hará en el plano con menos rigidez a la flexión. En la práctica, todas las cargas que no se apliquen el centro de gravedad de las secciones generan momentos debido a la excentricidad y facilitan el pandeo.

Consecuentemente la posición del material del modo más racional para obtener mayor resistencia, se logra colocando el mismo lo más alejado del centro de gravedad de la sección.

Entre los principales elementos estructuras solicitados a compresión, encontramos: muros, pilares arcos, bóvedas y cúpulas

1.3.3.2.1.1. MUROS Y PILARES

Los muros y pilares son los elementos más conocidos solicitados a compresión, pues la mayoría de las construcciones tradicionales disponen de ellos. El muro puede ser considerado como una sucesión de pilares en un mismo plano.

Los muros y pilares sometidos a compresión por las cargas que les transmiten los elementos que soportan, también tienen que resistir algunas cargas horizontales, como la acción del viento, esta resistencia en elementos de madera, acero y hormigón armado proviene de la capacidad que tienen para trabajar a flexión, pero en los elementos de tierra cruda, mampostería o ladrillo está condicionada a su propio peso y a la relación que existe entre las cargas verticales y las horizontales, de forma que la resultante de los esfuerzos no salga del núcleo central de la sección de los elementos, pues en estos últimos sistemas es común la existencia de elementos que rigidicen el conjunto de la estructura como núcleos de escalera, fachadas y determinadas particiones interiores.

En función de la longitud, se tiene:

- **Soportes cortos**, en los que la carga admisible es proporcional a la sección.
- **Soportes largos (esbeltos)**, en los que la carga admisible no es proporcional a la sección, dado que aparece el pandeo.

Excentricidad en pilar por apoyo de viga.

Las excentricidades en los apoyos en relación al eje de la pieza siempre existen, Ilustración, salvo que se adopten mecanismos de transmisión de cargas entre elementos y no se den deformaciones. Estas excentricidades se ven aumentadas en el caso de apoyo de vigas de madera que sufren pérdida de secciones resistentes por la acción de pudriciones, ataque de insectos xilófagos, incendio, etc., así como por las deformaciones diferidas a lo largo del tiempo.

Los muros o pilares se ejecutan con diversas técnicas constructivas y materiales:

- **Obras de fábrica**, ejecutadas mediante piezas pequeñas de: adobe, mampostería, cerámica, morteros, hormigones, vidrios, etc., comparadas con las dimensiones del elemento a obtener, dispuestas de forma regular y trabadas para que trabajen conjuntamente (aparejo) mediante un aglomerante o en seco, pudiendo tener armaduras en su interior.
    - Fábrica armada, fábrica en la que se colocan mallas o armaduras en las juntas horizontales (tendel), generalmente de acero, embebidas en mortero u hormigón.
    - Fábrica pretensada, fábrica en la que se han generado intencionalmente tensiones de compresión mediante el tensado de armaduras.
    - Fábrica confinada, fábrica rodeada en sus cuatro lados por pilares y vigas de hormigón armado o de fábrica armada.
- **Encofrado**, mediante vertido y compactación de los materiales en un molde con la forma del elemento a obtener (encofrado), como materiales se emplea el barro (tapia) y el hormigón.
    - La tapia es un tipo de construcción, que se fabrica colocando un encofrado llamado tapial y vertiendo en su interior una mezcla de tierra cruda y/o arena con cal y/u otros materiales que se apisonan por capas (tongadas) y que una vez terminado se retira el encofrado.
        - Tapia de tierra, ordinaria o común, formada exclusivamente por tierra cruda.
        - Tapia real, cuando la tierra cruda se mezcla en toda su masa, con cal.
        - Tapia calicastrada, se forma extendiendo una capa de mortero en forma de cuña contra el tapial ejecutado, previamente al vertido y apisonado de la tierra.
        - Tapia Valenciana, es una tapia calicastrada a la que se le incorporan hiladas de ladrillo apoyados en la cara mayor (tabla) con grandes juntas.

Tipo de muros.

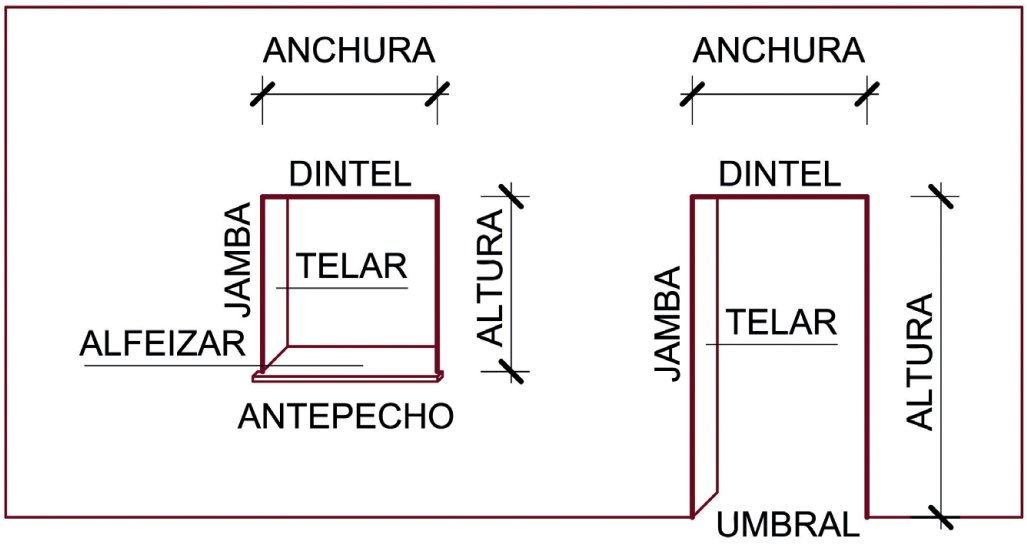
- **Muro de carga**, muro que soporta otras cargas además de su peso propio.
- **Muro de una hoja**, muro sin cámara.
- **Muro capuchino**, muro compuesto por dos hojas paralelas, eficazmente enlazadas por llaves o armaduras de tendel sin capacidad para transmitir esfuerzo cortante, con una o ambas hojas soportando cargas verticales.
- **Muro doblado**, muro compuesto por dos hojas paralelas, enlazadas entre sí mediante conectores o armaduras de tendel capaces de transmitir el esfuerzo cortante que se genere entre ambas hojas, de modo que trabajen solidariamente.
- **Muro relleno**, muro compuesto por dos hojas paralelas, separadas al menos 50 mm, enlazadas con llaves o armaduras de tendel, con la cámara rellena de hormigón, de modo que trabajen solidariamente.
- **Muro careado**, muro con piezas de cara vista trabadas con piezas de trasdós, de modo que trabajen solidariamente.

Los elementos constructivos estructurales del hueco en la parte superior básicamente son:

- **Dintel**, elemento de trayectoria recta, que soporta y transmite las cargas a los apoyos en los extremos.
- **Arco**, elemento de trayectoria curva que soporta y transmite las cargas a los apoyos en sus extremos.

Otros elementos de las diferentes partes de un hueco son:

- **Jambas**, elementos verticales que delimitan un hueco y soporta las cargas del dintel o arco.
- **Telar**, plano de la jamba de un hueco en escuadra con el paramento.
- **Antepecho**, plano que cierra el hueco de una ventana en la parte inferior a modo de baranda.
- **Alfeizar**, plano horizontal inferior del hueco de una ventana sobre el antepecho.
- **Umbral**, parte inferior del hueco de la puerta.
- **Recercado**, conjunto de las piezas que conforman el hueco: Dintel, Jambas y alfeizar o umbral.



Elementos del hueco de un muro.

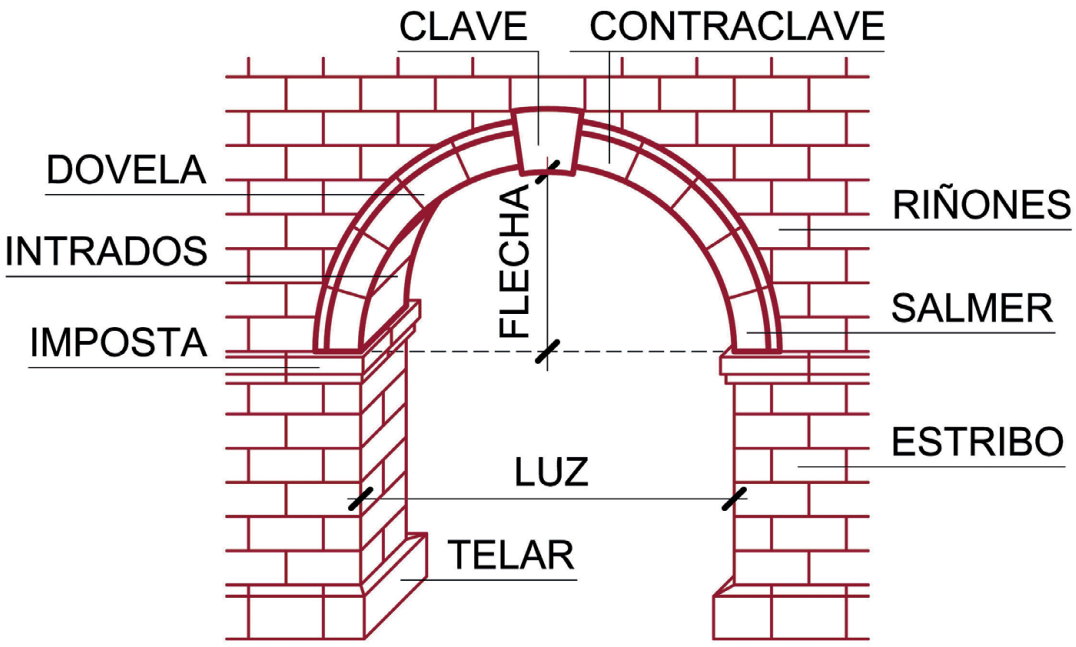
1.3.3.2.1.2. ARCOS

Los arcos son elementos de forma curva que salvan espacios entre dos pilares o muros. Están compuestos generalmente por piezas en forma de cuña (dovelas) generalmente en número impar en el caso de arcos de fábrica de mampostería y de ladrillo, o de forma continua en el caso de hormigón o acero.

Las partes básicas del arco son:

- **Dovela**, cada una de las piezas que forman el arco.
- **Clave**, dovela superior que cierra el arco.

- **Contraclave**, cada una de las dovelas que se encuentran a cada lado de la clave.
- **Salmer,** dovela de arranque del arco que se encuentra sobre la línea de arranque.
- **Imposta,** hilada de piedras del muro sobre la que empieza el arco.
- **Línea de arranque,** línea imaginaria sobre la imposta en la que arranca el arco.
- **Flecha,** altura del arco desde su línea de arranque hasta la clave.
- **Luz,** dimensión horizontal máxima del mismo por su parte interior.
- **Riñones,** elemento de relleno en el trasdós del arco próximo a la zona de arranque.
- **Estribo,** macizo que contrarresta los empujes horizontales en el arranque del arco.
- **Intradós,** es la superficie que define el plano interior del arco.
- **Trasdós,** es la superficie convexa o exterior del mismo, siendo la línea formada por la parte alta de las dovelas.
- **Jamba,** cara interna del estribo.



Elementos de un arco.

El arco por excelencia es el denominado de medio punto, que está formado por una media circunferencia, con su centro en la línea de arranque. Existe una gran variedad de arcos dependiendo de la forma o de la función que tienen.

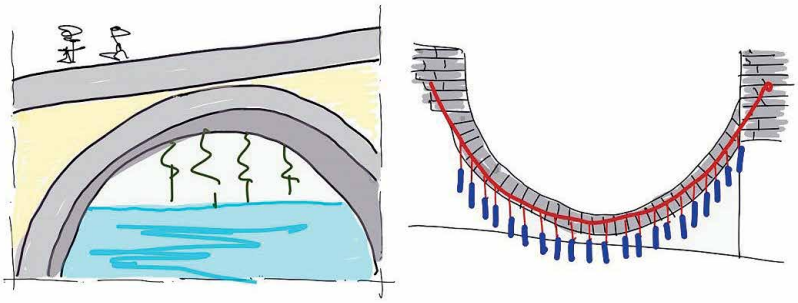
Tipos de arcos más comunes:

- Adintelado o arco plano: tiene el intradós plano, no confundir con un dintel que son de una sola pieza. El punto de concurrencia de las juntas radiales corresponde a un punto sobre el eje vertical de simetría.

- Circular: su trazado sigue una directriz de arco de circunferencia.
    - Medio punto o redondo: es el que corresponde a una semicircunferencia, su flecha equivale a la semiluz.
    - Peraltado: el que siendo circular tiene su centro por encima de la línea de arranque.
    - Rebajado: el que siendo circular tiene su centro por debajo de la línea de arranque.
- Elíptico: su trazado corresponde a una semielipse, conocido también con el nombre de arco del hilo, debido al sistema del que se valían antiguamente para su trazado.

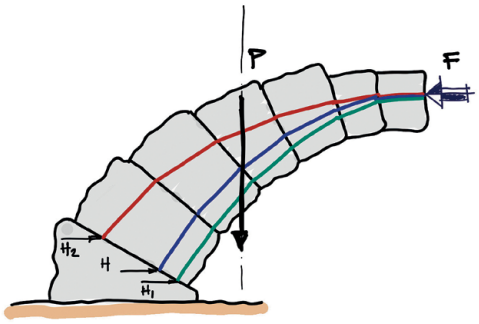
Los arcos se construyen con la ayuda de una estructura desmontable de madera (cimbra) que sólo puede ser retirada cuando la estructura ha sido terminada, con la colocación de la clave o dovela central.

En las estructuras curvas que trabajan a tracción "cables", la distribución de las cargas a lo largo de la curva responde a la forma de catenaria, en este tipo de estructuras la curva recibe el nombre de funicular de cargas. En las estructuras que trabajan a compresión "arcos", la curva también toma la forma de catenaria, pero en sentido inverso, por este motivo la curva recibe el nombre de "antifunicular de cargas", Ilustración.



Antifunicular de cargas de un arco.

En un arco, se define la "línea de empujes", como el lugar geométrico del punto de paso de la resultante de las fuerzas por cada uno de los bloques que conforman un arco. Su forma depende, por tanto, de la geometría, pero también del sistema de planos de corte considerado. En la condición de estabilidad de un arco, basta con que la línea de empujes esté contenida en su interior. Se puede acotar el valor del empuje, el empuje mínimo corresponde a la línea más peraltada y el máximo o la más rebajada, un arco de suficiente espesor puede contener infinitas líneas de empujes, Ilustración.



Posibles líneas de empuje en un arco.

Estructuralmente, un arco funciona como un conjunto que transmite las cargas a través de las dovelas, ya sean propias o provenientes de otros elementos, hasta los apoyos (estribos) que lo soportan. Por su forma las dovelas están sometidas a esfuerzos de compresión fundamentalmente, pero transmiten empujes horizontales en los puntos de apoyo, hacia el exterior, de forma que tiende a provocar la separación de éstos. Cuanto más rebajado es el arco, mayores son los esfuerzos horizontales en los apoyos. Para contrarrestar estas acciones se suelen adosar para equilibrarlos: otros arcos, muros de suficiente masa en los extremos o un sistema de arriostramiento mediante contrafuertes o arbotantes. Algunas veces se utilizan tirantes metálicos o de madera para absorber los empujes.

Para una misma carga y luz, los empujes que transmiten a los estribos dependen de la curvatura del arco, así se tiene que a mayor flecha menor empuje.

1.3.3.2.1.3. BÓVEDAS

Las bóvedas poseen una forma geométrica generada por el movimiento de un arco generatriz a lo largo de un eje directriz. Cuando tienen un espesor suficiente funcionan como los arcos, dado que pueden considerarse como una sucesión de arcos a lo largo de un eje longitudinal trabados adecuadamente; cuando tienen un espesor reducido, tienen el comportamiento de las membranas.

Las bóvedas, cualquiera que sea su generatriz, generan cargas verticales y empujes horizontales sobre sus apoyos al igual que los arcos, obligando a que éstos tengan la dimensión suficiente como para lograr que su peso propio centre la resultante sobre la base de sustentación para mantener el conjunto en situación de equilibrio. Además, estos empujes producen esfuerzos cortantes tendentes a producir deslizamientos, bien de los sillares de arranque sobre sus juntas horizontales o bien de los sillares del muro que sostiene la bóveda e incluso del estribo.

Las bóvedas presentan un gran paralelismo con los arcos tanto en la tipología según su forma, como en los elementos que las componen, además de éstos, forman parte de las bóvedas los siguientes elementos:

- **Generatriz**, línea que se desplaza a lo largo de un eje llamado directriz y que define las superficies de la bóveda.
- **Espinazo**, línea que une los puntos más altos de la bóveda.
- **Línea de borde**, línea definida por el contorno de la bóveda.
- **Nervio**, cada uno de los elementos que destacan en el intradós y a veces en el trasdós y que tienen función de refuerzo (arco perpiaño o fajón).
- **Plementería**, relleno que se dispone entre los nervios y que dan forma a la bóveda.
- **Zuncho**, anillo perimetral que sustituyendo a tirantes y estribos absorben los empujes de las bóvedas.
- **Durmiente**, viga de borde que apoya sobre los muros.
- **Nave**, cada uno de los espacios que se definen entre muros o arcadas que soportan las bóvedas.

Tipos de bóvedas según su forma:

- **Bóveda de cañón,** es la más simple y es la generada por un arco directriz de medio punto, dando como resultado una bóveda de sección semicircular. Por extensión, todas las bóvedas que se consideran generadas por un arco directriz, sea rebajado, carpanel, ojival, etc. dan lugar a las denominadas bóvedas de cañón seguido.
- **Bóveda de arista**, formada por la intersección de dos bóvedas de cañón, que al seccionarse forman cuatro aristas sobresalientes.
- **Bóveda de crucería**, es la derivada de la bóveda de arista, formada por cruce de arcos diagonales y nervios secundarios que se ornamenta con molduras.
- **Bóveda vaída,** la que formaría una semiesfera cortada por cuatro planos verticales dando lugar a una bóveda esférica sobre una planta cuadrada.

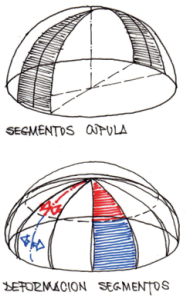
Una bóveda singular es la "bóveda tabicada" que se utiliza para cubrir el recinto o espacio mediante una bóveda de ladrillos colocados por la cara mayor (tabla), Ilustración. Esta técnica permitía construir con una cierta rapidez y sin usar cimbra, hecho este que entre otros motivó su amplia difusión y utilización. Es el tipo de bóveda que se ha empleado en las construcciones tradicionales para ejecutar la zanca (correa) de las escaleras.

Bóveda tabicada, doble cubierta de nave de iglesia.

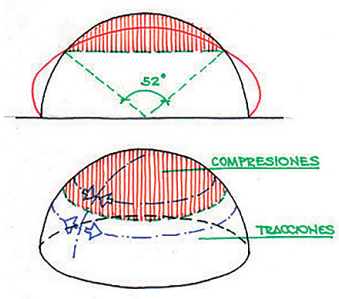
1.3.3.2.1.4. CÚPULAS

Las cúpulas son estructuras de revolución, al formarse por una curva directriz girando alrededor de un eje vertical, en las que cada meridiano se comporta como una curva funicular solicitada a compresión pura. Las cúpulas son estructuras muy poco deformables ya que los paralelos actúan como anillos que restringen las deformaciones.

La cúpula puede imaginarse como unos gajos o arcos meridianos cuya flexión está impedida por los anillos o paralelos horizontales. En las zonas en las que los gajos quieren hundirse hacia dentro, los paralelos se lo impiden trabajando en compresión, y donde los gajos quieren abrirse, el paralelo ha de evitarlo resistiendo en tracción.



Segmentos que forman la cúpula.



Esfuerzos en cúpulas.

1.3.3.2.2. ELEMENTOS SOLICITADOS A TRACCIÓN

Se consideran elementos solicitados a tracción, aquellos en los que cualquier sección del mismo perpendicular a la línea de acción, está solicitada exclusivamente a esfuerzos de tracción, siendo la única limitación que bajo cualquier estado de cargas de servicio no aparezcan tensiones de compresión.

Los materiales que se utilizan normalmente para este tipo de estructuras son: madera, acero y hormigón armado.

Las deformaciones provocadas por la tracción son de sentido contrario a las producidas por compresión, hay un alargamiento en la dirección de la aplicación de la carga y un estrechamiento perpendicular a esta dirección.

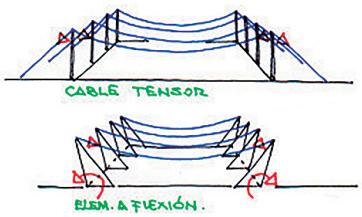
En este tipo de estructuras, las cargas también tienen que aplicarse en el centro de gravedad de las secciones, o dentro del núcleo central de las mismas, para que no aparezcan tensiones de compresión.

Entre los principales elementos estructurales solicitados a tracción se encuentran: cables, tirantes, tensoestructuras y estructuras neumáticas.

1.3.3.2.2.1. CABLES

Un cable no constituye una estructura autoportante, será necesario estructuras auxiliares que sostengan los cables, como postes entre extremos trabajando a compresión o macizos en los extremos, Ilustración.

Un material flexible fijado por sus extremos, puede sostenerse por sí mismo y cubrir un gran espacio. Los cables son estructuras sin rigidez a la flexión debido a la pequeña sección transversal en relación a su longitud, por lo que la carga se transforma en tracción y hace que el cable cambie su forma según la posición en que se le aplique la carga.



Sistemas de tensado de los cables.

El ángulo que forman las ramas de la estructura es de importancia para las secciones de la estructura, dado que el esfuerzo a que están sometidos es mayor cuanto mayor sea el ángulo entre ellas, tendiendo al infinito en el caso de ramas paralelas.

Una posible variación de estas sobrecargas, en la medida en que la forma responde a las cargas aplicadas, puede originar una modificación importante de la estructura. Se puede visualizar esta situación con lo que le sucede a una vela de barco o el sobretecho de una carpa de tela con la acción del viento.

Con el fin de que las estructuras sean estables, se utilizan los siguientes sistemas:

- **Mediante un gran peso propio,** agregando un gran peso propio en relación a las posibles cargas, sobrecargas o variaciones climáticas.
- **Mediante elementos rigidizadores**, colocando elementos rígidos en la zona de aplicación de las cargas.
- **Mediante pretensado,** introduciendo en la estructura tensiones previas a la aplicación de las cargas utilizando, diversos recursos:
  - Agregando una fuerza previa al cable
  - Agregando otra estructura de cables que produzca esa fuerza: cables unidos en un plano, cables unidos en el espacio, cables portantes y tensados o redes de cables. Se agrega al cable portante un cable estabilizador. El cable portante y el cable estabilizador se cargan recíprocamente mediante el pretensado del sistema.

1.3.3.2.2.2. TIRANTES

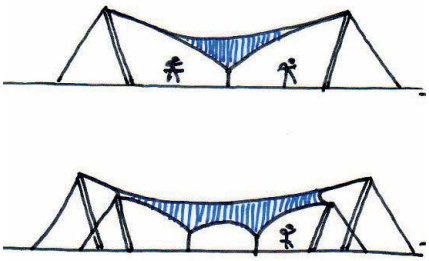
Los tirantes tienen el mismo principio estructural que los cables, con la diferencia de que presentan cierta rigidez en función de la sección que presenten, por lo que la directriz es recta. En general serán perfiles normalizados o la combinación de ellos, siendo generalmente de sección circular.

Perfiles comerciales de acero laminado.

Pasarela del metro de Bilbao suspendida.

1.3.3.2.2.3. TENSOESTRUCTURAS

Las tensoestructuras son un sistema constructivo basado en estructuras ligeras, usadas básicamente como coberturas. Estas estructuras logran una gran estabilidad combinando y equilibrando la fuerza de elementos rígidos (postes, arcos, etc.) con la versatilidad y adaptabilidad de elementos flexibles (lonas y redes de cables). Generalmente el sistema de apoyo es mediante postes, para mantenerlas izadas y fijadas en su perímetro, Ilustración.



Sistemas de elevación de las tensoestructuras.

El desarrollo técnico alcanzado en la investigación y fabricación de materiales artificiales, ha conducido a obtener membranas ligeras con mayor eficiencia mecánica (resistencia a los esfuerzos de tracción y cizallamiento) y química (resistencia a rayos ultravioleta).

La arquitectura de cubiertas livianas ha existido en distintas culturas desde los orígenes de las civilizaciones. Las culturas del oriente, así como los griegos y romanos ya usaban este concepto para proveerse de viviendas o refugios, empleando primeramente cueros tensados y posteriormente telas.

1.3.3.2.2.4. ESTRUCTURAS NEUMÁTICAS

Las estructuras neumáticas son estructuras livianas, flexibles y alcanzan su equilibrio mediante tracción pura. Se diferencian de las clasificadas como estructuras de tracción en la incorporación al sistema estructural de una acción sobre el sistema de cargas, provocada por la presión a la que se somete el aire confinado dentro de los elementos estructurales.

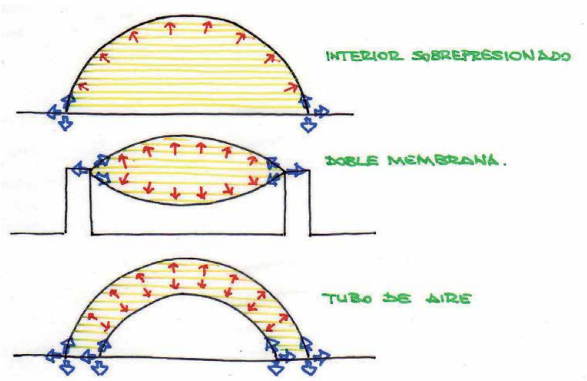
Pueden de ser presión en el interior (hinchadas) o mediante una estructura en la cual el aire está contenido por una membrana para formar elementos estructurales inflados, como columnas, vigas, arcos y paredes. El hinchado en el caso de las de presión interior se realiza mediante ventiladores y en las de elementos inflados se efectúa a través de una válvula muy similar a la de los neumáticos de los coches, existen tres sistemas de hinchado, Ilustración:

- **Estructuras con nervaduras a baja presión,** disponen de una membrana tubular que esta inflada con aire a baja presión. Son para estructuras pequeñas.

- **Estructuras con nervaduras a alta presión,** disponen de una membrana tubular que esta inflada con aire a alta presión.

- **Estructuras de paredes dobles,** son las estructuras a base de tubos hinchados que están uno al lado del otro. Las paredes están unidas entre sí mediante diafragmas o hilos transversales.

Los tipos de membranas más usuales son: membranas de películas plásticas, tejidos con revestimiento de PVC, poliéster, poliuretano, caucho, fibras metálicas revestidas con un material impermeable y espumas plásticas rigidizantes. Poseen un peso estructural extremadamente bajo.



Tipos de hinchado e estructuras neumáticas.

1.3.3.2.3. ESTRUCTURAS DE BARRAS SOLICITADAS A COMPRESIÓN O TRACCIÓN

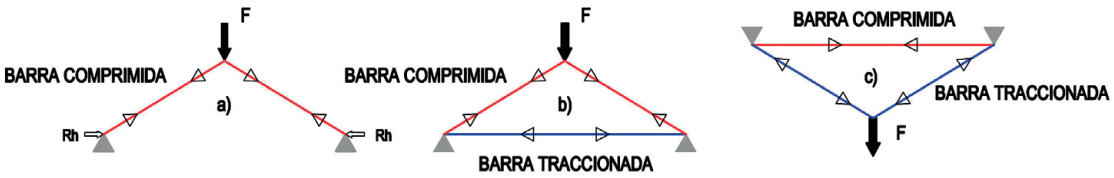
Las estructuras de barras solicitadas a compresión o tracción, están formadas por barras rectas, dispuestas formando triángulos con nudos articulados, con cargas concentradas aplicadas en los nudos.

Las deformaciones son pequeñas, van asociadas a las deformaciones y acortamientos de las barras. Cuando existen cargas que no están aplicadas entre los nudos en una barra, ésta además estará sometida a otro tipo de esfuerzo, como por ejemplo a flexión cuando exista una carga perpendicular a su eje.

Entre los principales elementos estructurales con barras solicitadas a compresión o tracción, encontramos: celosías planas, celosías especiales, mallas, bóvedas triangulas y cúpulas trianguladas.

1.3.3.2.3.1. CELOSÍAS PLANAS

La celosía plana (cercha) es una forma estructural relativamente reciente, atribuida a Palladio (siglo XVI), pero usada ampliamente en puentes de acero solo a partir del siglo XVIII. Permite soportar grandes cargas transversales, como en la acción de viga, pero con menor cantidad de material y menores deformaciones. Está contenida en un plano.



Bases de funcionamiento de una cercha.

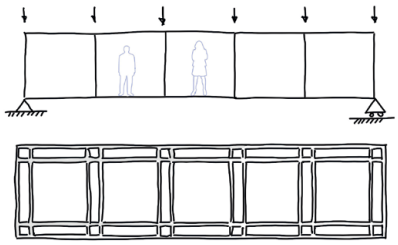
Como se ve en la Ilustración, la unión entre dos puntos se hace con un arco lineal formado por dos elementos inclinados a compresión (pares), figura a, siendo los apoyos los que absorben el empuje horizontal para que sea estable, el empuje horizontal puede absorberse también por un tensor (tirante) que una los dos elementos inclinados, con lo que se libera a los apoyos del mismo, figura (b). Si se invierte la figura, las barras se someten a un esfuerzo contrario al del caso anterior, figura (c).

En general, en las cerchas cuando se aplican las cargas en los nudos solo se presentan fuerzas internas de tipo axial, las barras del cordón inferior (tirante) trabajan a tracción, las barras del cordón superior (pares) a compresión y las interiores (tornapuntas y tirantillos) depende de la tipología y las cargas.

En las barras del cordón superior a compresión se pueden presentar problemas de pandeo que conducen a problemas de inestabilidad lateral. En la mayoría de los casos es necesario colocar dos cerchas en paralelo y arriostrarlas para controlar la inestabilidad. Las barras a tracción no presentan esos comportamientos y su resistencia dependerá de la sección, del material y las uniones, que les permitan llegar a su capacidad máxima.

En muchas aplicaciones cuando las cargas no son muy grandes se suprimen los diagonales, para formar la denominada viga Vierendel, Ilustración. La estabilidad de ésta se obtiene mediante uniones rígidas en los nudos, resistentes a momento, por lo que es necesario usar materiales como el acero

o el hormigón, que permiten realizar uniones rígidas, soldadas o monolíticas fácilmente. En este caso ya no serían estructuras que trabajan solamente a tracción o compresión.



Viga Vierendel.

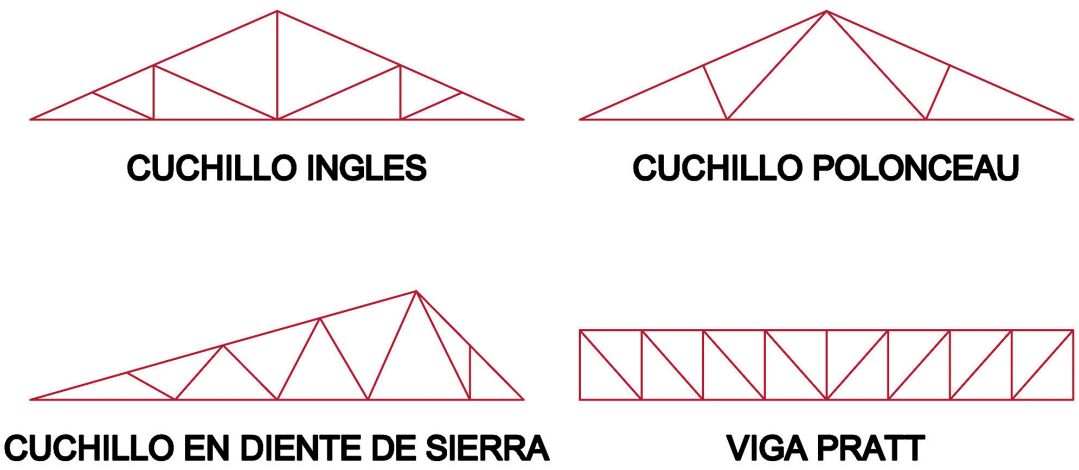
Cercha de acero y hormigón.

Los materiales más comunes para este tipo de estructuras son el acero y la madera o la combinación de ambos: generalmente madera para las barras comprimidas y acero para las traccionadas. El hormigón también se ha empleado en este tipo de estructuras. En estas estructuras las uniones de los miembros son las partes más críticas, en el caso del acero se hacen soldadas o con pernos y cartelas, en la madera se realizan con pernos o clavos.

Tipologías elementales de cerchas:

- **Cercha de pares y tirante**, formada por dos pares y un tirante, es la más simple.
- **Cercha de pares y pendolón**, igual que la anterior, pero se le adiciona una barra vertical centrada (pendolón), para facilitar el encuentro de los pares y acortar la longitud del vano del tirante.
- **Cercha de pares, pendolón y tornapuntas**, igual que la anterior, pero se le adicionan unas barras inclinadas (tornapuntas), para acortar la longitud de los pares.

Existen numerosas tipologías de cerchas, con nombres que hacen mención a: su inventor, como Pratt, Howe, Warren, etc.; su forma: diente de sierra, tijera, tipo K, etc.; su procedencia: a la inglesa, a la española, etc.



Tipos de cerchas.

1.3.3.2.3.2. CELOSÍAS ESPACIALES

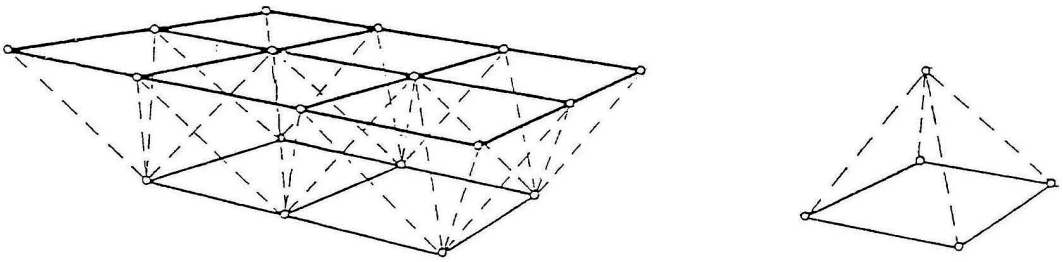
Las celosías espaciales son similares a las anteriores desde el punto de vista constructivo, paro las barras se disponen en los tres ejes del espacio, por lo que las deformaciones se pueden dar también en las tres direcciones.

Mástil del puente de Portugalete.

1.3.3.2.3.3. MALLAS ESPACIALES

Las mallas espaciales están formadas por barras y nudos (esferas), distribuyéndolos en los tres ejes del espacio por repetición de poliedros sencillos (tetraedro u octaedro), correspondiéndose las barras con las aristas de aquéllos y los nudos con sus vértices. En el caso más frecuente el conjunto está formado por dos superficies envolventes que se denominan capas de la malla, paralelas, planas, curvas, etc. Las barras sólo trabajan a tracción o compresión, según la posición que ocupan.

La malla espacial puede soportarse por diversos sistemas: sobre pilares, suspendida, como viga en voladizo, etc.

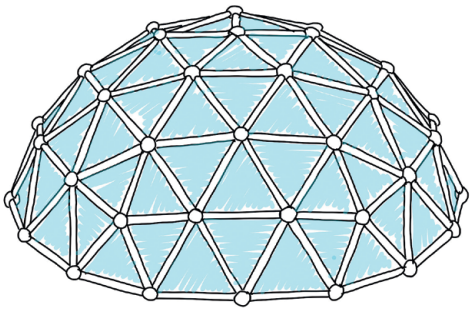


Malla tetraédrica.

Malla espacial de campo de futbol.

1.3.3.2.3.4. BÓVEDAS Y CÚPULAS TRIANGULADAS

Las bóvedas y cúpulas trianguladas son sistemas estructurales de una sola capa, formados por elementos básicos triangulares, en los que su rigidez y estabilidad está asociada a la curvatura que tienen. El revestimiento puede colaborar en la estabilidad del conjunto.



Cúpula triangulada.

1.3.3.2.4. ELEMENTOS SOLICITADOS A FLEXIÓN

Los elementos solicitados a flexión están formados por elementos longitudinales de sección transversal reducida en relación a la longitudinal, que resisten las cargas por la acción de flexión, al tener que transmitir a uno o los dos extremos, las cargas que reciben de forma perpendicular al eje de la pieza.

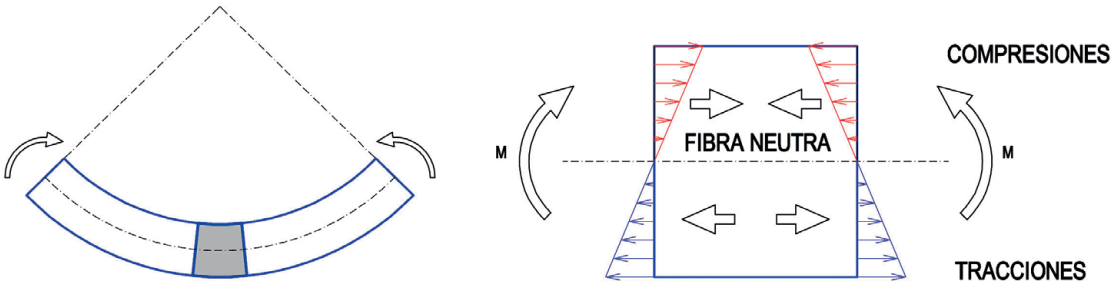
Distinguimos los siguientes tipos de flexiones:

- **Flexión pura,** cuando las secciones de la pieza están solicitadas únicamente por un momento flector.
- **Flexión simple,** cuando las secciones de la pieza están solicitadas a momento flector variable y en consecuencia está acompañado de esfuerzo cortante.
- **Flexión compuesta,** cuando las secciones de la pieza están solicitadas a un momento flector y un esfuerzo axil.
- **Flexo torsión,** cuando las secciones de la pieza están solicitadas a un momento flector y a un momento de torsión.

Cuando sobre una pieza actúa un momento flector contenido en un plano distinto de los dos principales, o cuando actúan en los dos planos principales, se dice que está sometida a flexión esviada, como por ejemplo las correas que se disponen sobre las cerchas.

Como consecuencia de la acción del momento flector, la directriz de la pieza adquiere una curvatura proporcional a los esfuerzos y a la rigidez de la viga.

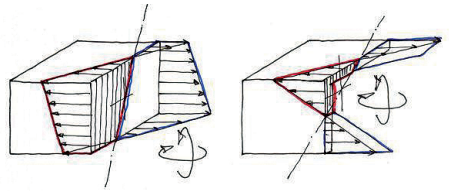
Si tomamos una rebana de la barra, Ilustración, las fibras longitudinales que la forman se curvan transformándose en arcos de circunferencia concéntricos con la deformada de la pieza, unas fibras aumentan de longitud (traccionadas) y otras disminuyen (comprimidas). Por tanto, una parte de las fibras estará sometida a tracción y otra a compresión, existiendo una fibra llamada fibra neutra que no está sometida a tensión.



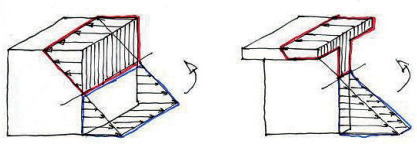
Deformación por flexión.

Como consecuencia de la acción de un momento flector variable, se producen en las secciones esfuerzos de cortante, es decir, una resultante de fuerzas paralelas al plano de la sección.

Además del esfuerzo cortante que actúe en sentido perpendicular a la directriz de la pieza, se producen unas tensiones tangenciales que evitan el deslizamiento de los distintos planos que forman la viga, conocido como esfuerzo rasante o cortante horizontal.



Esfuerzos de flexión esviada.



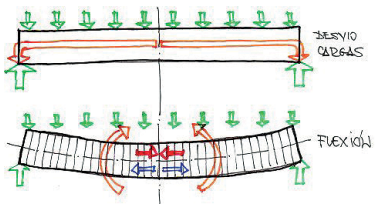
Esfuerzos de flexión pura.

Entre los principales elementos estructurales solicitadas a flexión, encontramos: vigas, forjados, pórticos de nudos rígidos y láminas plegadas.

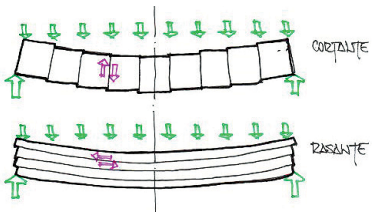
1.3.3.2.4.1. VIGAS

La popularidad de las vigas se debe a que pueden soportar cargas importantes con cantos reducidos. Sin embargo, esta condición hace que las deformaciones sean grandes y requieran ser controladas, mediante cantos mínimos.

La función principal de las vigas es la de recoger cargas verticales y trasladarlas a los extremos de las mismas, a través de ellas, lo que genera en ellas unas tensiones internas comentadas en el apartado anterior. Como consecuencia se generan en las vigas unas trayectorias de las tensiones de compresión y otras de tracción, cuya tangente en un punto cualquiera da la dirección, aunque no la magnitud, de una de las tensiones principales en ese punto, también se les conoce como líneas isostáticas.



Esfuerzos de flexión en vigas.



Esfuerzos de cortante y rasante en vigas.

Los esfuerzos a que están sometidas las vigas se obtienen y se representan mediante los diagramas de esfuerzos de cortante y momentos flectores, que de una forma gráfica nos representan la variación en magnitud de dichos esfuerzos, la forma del diagrama del momento flector nos dará una idea de la deformada de la estructura, Ilustración.

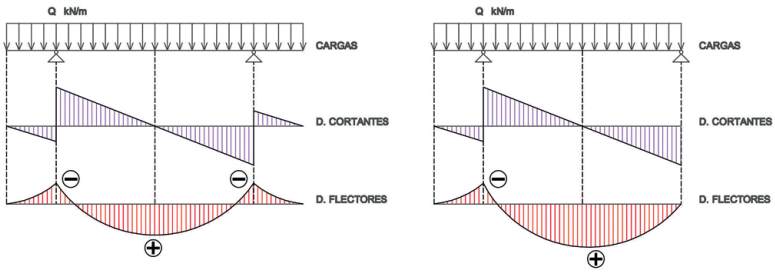


Diagrama de esfuerzos flectores y cortantes de una viga.

Los perfiles metálicos se disponen para cargas normales con la misma sección en toda la longitud de la viga por cuestiones de economía ya que establecer un perfil que se adapte a cada caso con geometría variable sería más costoso. Las vigas de hormigón armado para cargas normales mantienen la geometría exterior pero el armado interior se dispone de forma que absorba las tracciones de las secciones en función del diagrama.

En las vigas, la existencia de voladizos en los extremos, así como la continuidad de las mismas sobre varios apoyos, produce: la aparición de momentos negativos y la disminución de los positivos, y la disminución de las deformaciones en el centro de vanos.

1.3.3.2.4.2. FORJADOS Y LOSAS

Los forjados y losas son elementos superficiales que definen las plantas de los pisos y la cubierta, en estos casos pueden ser horizontales o inclinados según tipología de cubierta. Sobre ellos se coloca el solado o el material de cobertura que no forma parte de ellos.

Desde el punto de vista estructural, los forjados y las losas son elementos que trabajan a flexión, por lo que lo expuesto en el punto anterior para las vigas, es también de aplicación a los forjados y las losas en lo relativo a la forma de trabajo.

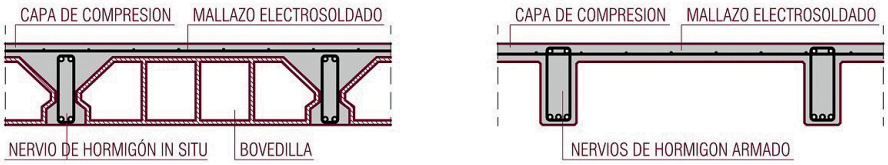
Una clasificación sería la siguiente:

- **Por el sistema de transmisión de cargas:**
  - Unidireccionales: los elementos resistentes (viguetas, semiviguetas o nervios) están dispuestos en una sola dirección, como en los forjados.
  - Bidireccionales: los elementos resistentes (nervios en forjados bidireccionales y sección maciza en losas) están dispuestos en dos direcciones ortogonales.
- **Por el sistema de ejecución:** realizados in situ, parcialmente prefabricados o totalmente prefabricados.
- **Por el grado de estaticidad:** simplemente apoyados o continuos.
- **Por su constitución:** de losa maciza, de losa aligerada, de viguetas resistentes, de viguetas semirresistentes, con relleno colaborante o de viguetas especiales.

La mejor definición del forjado es mediante la suma de los cuatro aspectos. Por ejemplo, forjado unidireccional realizado in situ, continúo de viguetas semirresistentes.

1.3.3.2.4.2.1. Forjado Unidireccional

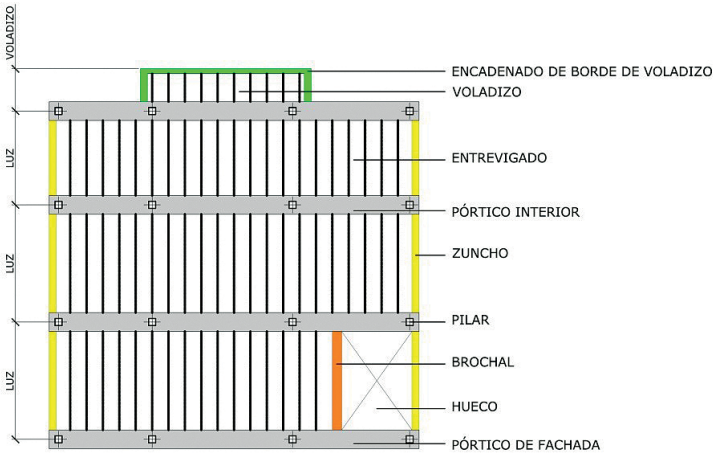
El forjado unidireccional está compuesto por unos elementos lineales (viguetas, semiviguetas o nervios) de distintos materiales: cerámica, madera, acero, hormigón armado u hormigón pretensado, con un relleno generalmente entre los elementos lineales (revoltón de ladrillo o yeso, bovedilla de yeso, cerámica u hormigón), sobre estos elementos se dispone una capa de hormigón con armadura (capa de compresión) con la finalidad de repartir las cargas verticales aplicadas al forjado y acodalar los elementos lineales frente a las cargas horizontales, Ilustración.



Forjados unidireccionales.

En un forjado unidireccional, se distinguen los siguientes elementos, Ilustración:

- **Pórtico**: elemento estructural definido en un plano vertical, formado por los pilares y las vigas.
- **Crujía**: espacio entre pórticos, cubierto por el forjado propiamente dicho.
- **Voladizo**: elemento de forjado apoyado en uno de los extremos, con una viga perimetral (encadenado de borde) que recoge todas las viguetas, semiviguetas o nervios.



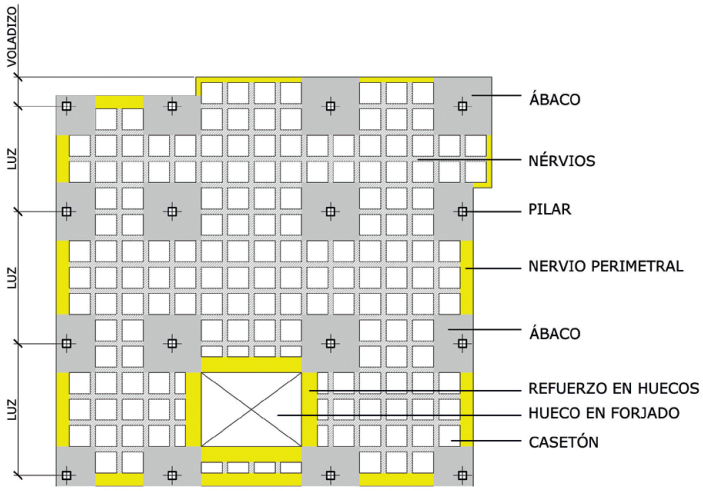
Elementos de un forjado unidireccional.

- **Zuncho**: viga perimetral que sirve de atado de los distintos pórticos que componen el forjado.
- **Brochal**: viga que apoya directamente en otra viga.

1.3.3.2.4.2.2. Forjado Bidireccional

El forjado bidireccional está compuesto por elementos lineales (nervios) en dos direcciones ortogonales de hormigón armado y un relleno entre los nervios aligerado por la cara inferior (casetón), y uniendo los nervios y el relleno se encuentra embebida la capa de compresión.

Los nervios principales se unen sobre los pilares en unos macizos de hormigón (ábacos).



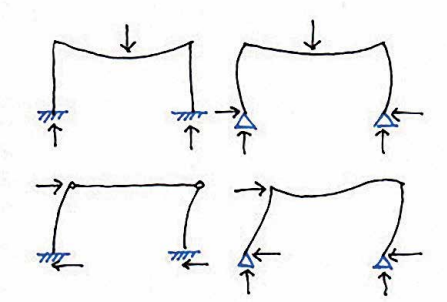
Elementos de un forjado bidireccional nervado (reticular)

1.3.3.2.4.2.3. Losas

Las losas están formadas por un macizo de hormigón y una armadura repartida a lo largo de toda la sección transversal, apoyada normalmente en dos direcciones ortogonales. Las vigas que las soportan quedan embebidas en el macizo en una zona de mayor armado.

1.3.3.2.4.3. PÓRTICOS DE NUDOS RÍGIDOS

Los pórticos de nudos rígidos están formados por la unión rígida de pilares y vigas, siendo la forma más común de construir con acero y hormigón armado, aunque encontramos también algunas de madera.



Deformación de pórticos según condiciones de enlace y nudos.

Los pórticos tienen su origen en el primitivo conjunto de la columna y el dintel de piedra usado por los antiguos, en las construcciones clásicas de los griegos, como en el Partenón y aún más atrás, en los trilitos del conjunto de Stonehenge en Inglaterra (1800 años a.C.). En éstos por disponer las vigas simplemente apoyadas sobre las columnas, la flexión solo se presenta en el elemento horizontal (viga) para cargas verticales y en los elementos verticales (pilares) para el caso de fuerzas horizontales o por excentricidades en la transmisión de las cargas de la viga a los pilares.

Pórtico de (madera Fuente. Estructuras Zurtek).

Con la unión rígida del pilar y la viga se logra que todos los elementos trabajen a flexión bajo la acción de las cargas, no solamente verticales, sino horizontales, dándole al conjunto una mayor resistencia, y una mayor rigidez o capacidad de limitar los desplazamientos horizontales. Si la estructura deforma, los nudos (empotrados) se desplazarán y girarán, pero el ángulo entre las barras se mantiene.

La conexión entre una viga y los pilares produce las siguientes consecuencias:

- La viga tiene los extremos elásticamente empotrados y para una misma sección soporta mayor carga.
- Los pilares además de estar sometidos a las cargas de compresión, se someten a las de flexión debido a la continuidad de la viga.
- La necesidad de una fuerza horizontal en la base de los pilares para mantener el pórtico equilibrado bajo la acción de cargas verticales.

Estructura de pórticos de nudos rígidos.

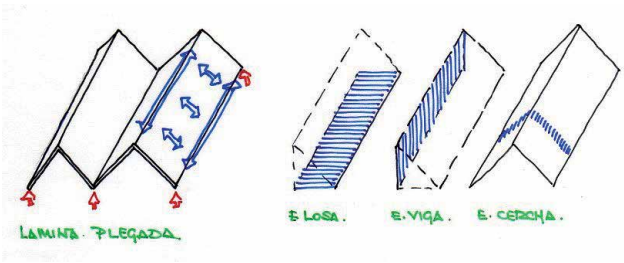
La combinación de una serie de pórticos (pórticos múltiples) rectangulares permite desarrollar el denominado entramado de varios pisos, combinando pórticos en dos planos perpendiculares se forman entramados espaciales. En los pórticos múltiples las deformaciones de

los pilares son pequeñas cuando se los somete a la acción de cargas verticales, el comportamiento de la viga se asemeja al de una viga continua de varios apoyos centrales. Bajo la acción de cargas concentradas en un solo vano de una viga de varios vanos, el pórtico desarrolla deformaciones no solo en tramo cargado, sino en el resto de vanos de la viga y en los pilares. Son estructuras hiperestáticas en la que existe una redistribución de esfuerzos entre todos los elementos.

1.3.3.2.4.4. LÁMINAS PLEGADAS

Las láminas plegadas son elementos resistentes por la forma que adoptan, trabajan en dos direcciones principales, pues como ejemplo, basta con dar unos pliegues a una hoja de papel para que apoyándola en los extremos alcance una capacidad resistente.

La acción de las láminas plegadas es una combinación de viga longitudinal y de una viga transversal o pórtico según espesores y apoyos.



Esfuerzos en láminas plegadas.

Las placas pueden tener secciones variadas, para cubrir superficies circulares se usan placas plegadas poligonales o circulares, cada elemento radial se comporta como un arco que se apoya en el otro y los empujes en los apoyos suelen estar absorbidos por un tensor perimetral.

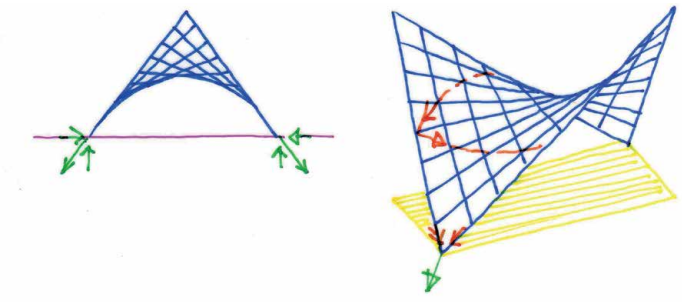
1.3.3.2.4.5. ESTRUCTURAS CON COMPORTAMIENTO DE MEMBRANA

Las membranas son estructuras que conforman una superficie en el espacio, con espesor mínimo, trabajan sólo mediante esfuerzos de compresión o tracción, son los llamados esfuerzos de membrana, además carecen de rigidez a flexión, son estructuras se caracterizan por su gran ligereza.

Las membranas abiertas (con bordes) requieren elementos externos que equilibren sus esfuerzos, cerrando el conjunto, o que los transmitan al terreno. Las membranas cerradas aprovechan el efecto del pretensado para equilibrar los esfuerzos. No soportan cargas puntuales.

Dependiendo de la curvatura tendremos los siguientes tipos:

- **Superficies de curvatura simple**, como la bóveda.
- **Superficies de curvatura doble**, como por ejemplo las superficies regladas que se general mediante la translación de una recta sobre una curva (paraboloides, hiperboloides, conoides, etc.), Ilustración.



Paraboloide hiperbólico.

1.3.4. LA CUBIERTA

La cubierta es la parte superior que cierra y protege el edificio, su objetivo principal es impedir el paso de los agentes ambientales y en especial de las precipitaciones y el soleamiento directo. En todos los tipos de cubiertas existen componentes como: estructura del soporte, superficie que conforma la cubierta, capa o barrera impermeable al agua, sistemas de recogida y evacuación de aguas y aislamientos térmicos en caso de que sea necesario.

Las principales funciones que se les exige a las cubiertas son:

- **Estanqueidad y evacuación de aguas,** procedente de: precipitaciones atmosféricas, escorrentías, del terreno o de condensaciones. En general la cubierta recoge el agua, la canaliza y la expulsará mediante sistemas de drenajes abiertos o cerrados.
- **Estanqueidad al viento**.
- **Captación y disipación térmica.**
- **Confort higrotérmico, térmico, acústico y lumínico.**
- **Seguridad estructural y contra el fuego,** se le requerirá una resistencia al fuego en función al uso al que esté destinado el edificio o construcción y de la altura de evacuación.
- **Durabilidad**.

1.3.4.1. CLASIFICACIÓN DE LAS CUBIERTAS

Las cubiertas se clasifican en dos grandes grupos según la pendiente: planas (azotas) e inclinadas (tejados).

1.3.4.1.1. CUBIERTAS PLANAS

Las cubiertas planas son aquellas que su pendiente se sitúa entre el 1 y 5% con lo que la evacuación de sus aguas es lenta. En algunos casos las pendientes llegan hasta el 15% como más adelante veremos en las tablas de la CTE-DB-HS. Consiguen la impermeabilidad mediante materiales y uniones impermeables, generalmente láminas continuas. Sufren movimientos higrotérmicos muy acentuados ya que están muy expuestas y recogen y acumulan el agua para evacuarla a través de sumideros, configurando generalmente superficies planas.

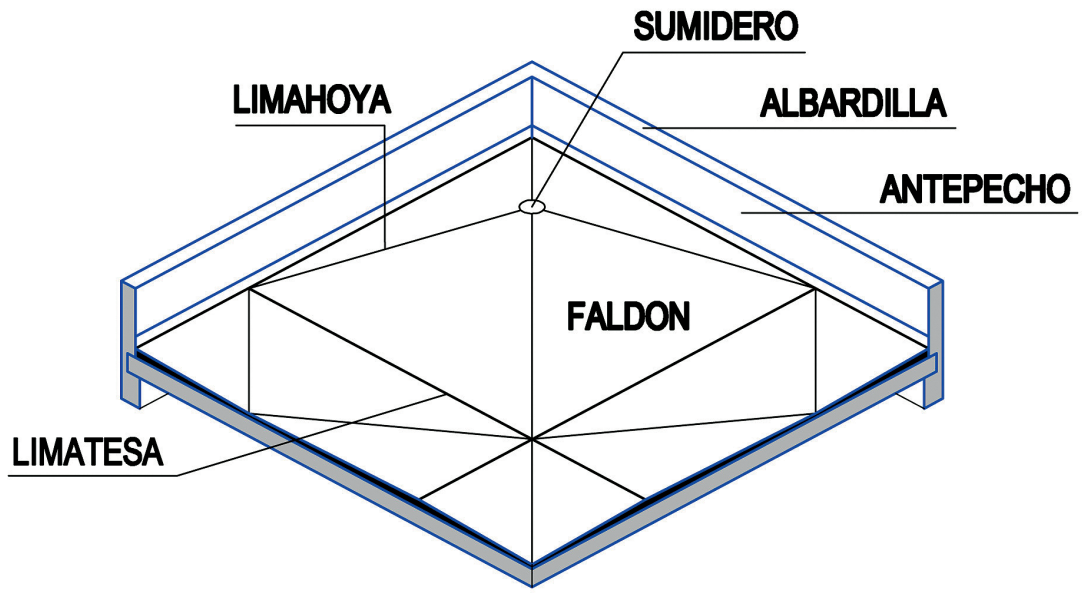
Uso		Protección	Pendiente en %
Transitables	Peatones	Solado fijo	1-5 (1)
		Solado flotante	1-5
	Vehículos	Capa de rodadura	1-5 (1)
No transitables		Grava	1-5
		Lámina autoprotegida	1-15
Ajardinadas		Tierra vegetal	1-5

(1) Para rampas no se aplica la limitación de pendiente máxima.

Pendientes de las cubiertas planas. (Fuente. CTE-DB-SH).

Los elementos principales de una cubierta plana son, Ilustración:

- **Faldón**, cada uno de los planos que definen la cubierta.
- **Limatesa**, arista de encuentro entre faldones correspondiente a un ángulo saliente, (posición convexa).
- **Limahoya**, arista de encuentro entre faldones correspondiente a un ángulo entrante (posición cóncava), por la que discurre el agua.
- **Sumidero**, elemento de recogida de agua de la cubierta, conectado a la red de drenaje del edificio.
- **Junta de dilatación**, junta de construcción debidamente impermeabilizada destinada a permitir el movimiento de dilatación del material de formación de la cubierta con independencia del elemento estructural.
- **Antepecho o Pretil**, murete perimetral que delimita una azotea y se eleva por encima de los faldones.
- **Albardilla**, pieza de remate del antepecho, normalmente tiene inclinación para evitar la acumulación de agua, y un canal en el plano inferior del borde para evitar que el agua de goteo caiga al plano de la fachada (goterón).
- **Claraboya**, lucernario elevado sobre el faldón que permite la iluminación cenital y ventilación perimetral.



Elementos de una cubierta plana.

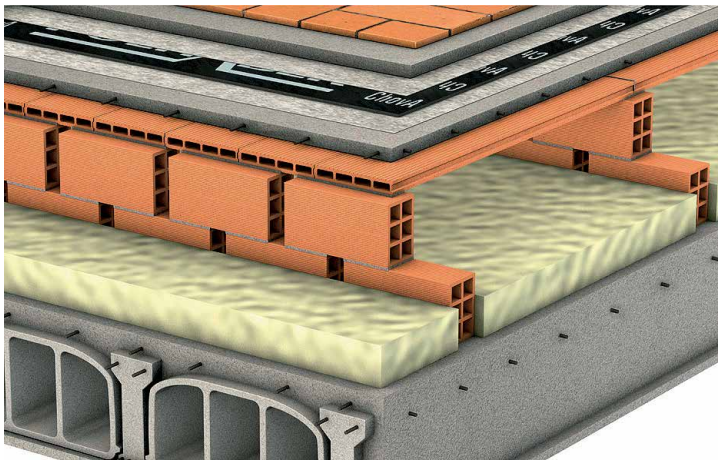
Dentro de las cubiertas planas se pueden distinguir entre: las que son accesibles para su uso (transitables) y las no accesibles o accesibles para el mantenimiento (no transitables).

1.3.4.1.1.1. CUBIERTAS TRANSITABLES

Las cubiertas transitables son las que poseen una capa de protección que permite el tránsito peatonal o rodado por su superficie.

1.3.4.1.1.1.1. CUBIERTA VENTILADA A LA CATALANA

La cubierta ventilada a la catalana es la cubierta plana más usada en lugares de climas cálidos y con veranos calurosos. Posee una cámara de aire para crear corrientes que atenúan las altas temperaturas de la parte superior de la cubierta. No se necesita barrera de vapor porque la cámara misma funciona impidiendo la condensación. La capa de protección se realiza con plaquetas cerámicas fijadas con mortero de cemento. Posee una pendiente muy baja que le permite ser usada como terraza.



Cubierta catalana (Fuente. Asfaltos Chova).

1.3.4.1.1.1.2. CUBIERTA TRADICIONAL

Es una cubierta en la que el impermeabilizante se dispone sobre el aislamiento sin cámara de aire intermedia, por lo que necesita barrera de vapor. La capa de protección se realiza con plaquetas cerámicas fijadas con mortero de cemento.

Cuando se coloca el aislamiento sobre la impermeabilización se trata de la llamada cubierta invertida.

1.3.4.1.1.1.3. CUBIERTA INVERTIDA CON PAVIMENTO FLOTANTE

La cubierta invertida con pavimento flotante está inspirada en la cubierta ventilada a la catalana. Esta cubierta se diferencia de las otras en que el pavimento superior es completamente horizontal, apoyado sobre topes regulables. Las juntas entre baldosas son abiertas para facilitar el desagüe y la dilatación propia de la cubierta. La cámara de aire ventilada facilita la difusión del vapor de agua.

1.3.4.1.1.1.4. CUBIERTA INVERTIDA CON PROTECCIÓN DE LOSA AISLANTE

En la cubierta invertida con protección de la losa aislante, las placas aislantes se proveen de fábrica con un acabado de mortero adherido a su superficie, que tiene la función de lastre y también de capa de acabado permitiendo así que sea transitable. Se realizan las juntas abiertas facilitando el desagüe tal como en el pavimento flotante.

Cubierta plana invertida con pavimento flotante. (Fuente. Asfalto Chova).

Cubierta invertida con losa aislante (Fuente. Asfaltos Chova).

1.3.4.1.1.1.5. CUBIERTA TRANSITABLE

TRÁFICO RODADO

Es una cubierta en la que, sobre la formación de la pendiente, se dispone la lámina de protección y una capa de rodadura (hormigón, asfalto, etc.).

Cubierta transitable tráfico rodado. (Fuente. Asfaltos Chova).

1.3.4.1.1.2. CUBIERTAS NO TRANSITABLES

Las cubiertas no transitables disponen de una capa de protección de grava o agua, o de una lámina impermeabilizante autoprotegida como material de cobertura, que, en función del tipo, permiten transitar solo a los efectos de mantenimiento de las mismas.

1.3.4.1.1.2.1. CUBIERTAS AJARDINADAS

Las cubiertas ajardinadas disponen de una capa exterior de cobertura que la ocupa un sustrato de pequeño espesor que alberga especies vegetales de poco o nulo mantenimiento.

Sus principales características son que retienen el polvo y sustancias contaminantes, disponen de una eficaz protección contra la radiación solar, aumentan de la capacidad de enfriamiento por evaporación y mejoran el aislamiento y estabilidad térmica interior del edificio.

Cuando la capa de sustrato es de 30 cm, no disponen de aislante térmico.

1.3.4.1.1.2.2. CUBIERTA INVERTIDA CON PROTECCIÓN DE GRAVA

La cubierta invertida con protección de grava es la solución más habitual de las cubiertas no transitables. La función de la grava es servir de lastre e impide que el viento, por efecto de succión, levante las placas de aislante térmico, además de permitir el flujo del agua fácilmente. Se emplea como grava el canto rodado. Todos los sumideros deben ir protegidos mediante morriones para evitar la entrada de grava en los mismos.

Cubierta ajardinada (Fuente. Asfaltos Chova).

Cubierta invertida con protección de grava. (Fuente. Asfaltos Chova).

1.3.4.1.1.2.3. CUBIERTA INUNDADA

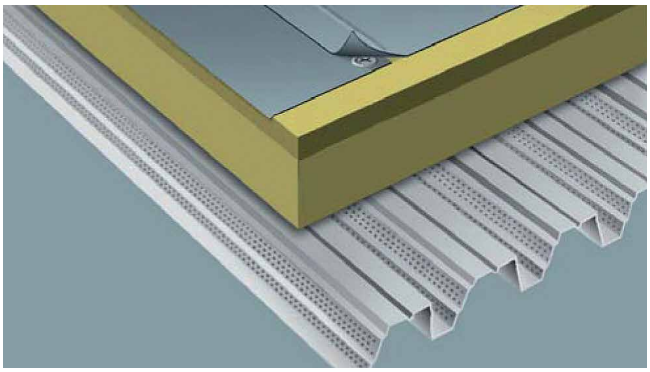
La cubierta inundada es una variante de la cubierta ajardinada, la cubeta contiene agua cuya función es servir de lastre y de protección para el impermeabilizante. Requiere de un mantenimiento más seguido para prevenir la aparición de algas u otros organismos, y debe estar provisto de un sistema continuo de alimentación y desagüe con rebosaderos para controlar el nivel del agua. La altura mínima del agua es de 10 cm.

1.3.4.1.1.2.4. CUBIERTA AUTOPROTEGIDA NO TRANSITABLE

La cubierta autoprotegida no transitable, debido a su delgado espesor, se emplea por lo general en voladizos o marquesinas. En estos casos el impermeabilizante se aplica sobre el aislante térmico y es la última capa; el elemento protector es una lámina que se adhiere acabada mediante capa a base de gránulos minerales o recubrimiento metálico.

1.3.4.1.1.2.5. CUBIERTA DECK O INDUSTRIAL

La cubierta Deck o industrial es una cubierta plana liviana, no supera los 10 kg/m^2. Se utiliza para cubrir plantas industriales. No es transitable y dispone de una inclinación máxima de un 15%. No hay una cámara de aire que permita su ventilación y enfriamiento. Es un sistema constructivo utilizado en todo tipo de edificios no residenciales tales como plantas industriales, almacenes, centros comerciales, de ocio, culturales, deportivos e infraestructuras.



Cubierta Deck. (Fuente. Rockwwol).

Está formada básicamente por 3 elementos: soporte a base de un perfil metálico liso o perforado con diversidad de secciones, aislamiento rígido de alta densidad que aporta prestaciones térmicas y acústicas, y lámina impermeabilizante que garantiza la estanqueidad de la cubierta. Se dispone sobre las correas de la estructura.

1.3.4.1.2. CUBIERTAS INCLINADAS

La cubierta inclinada es una solución constructiva basada en una pendiente, integrada por distintos planos inclinados que favorecen la evacuación del agua. En este tipo de cubiertas la impermeabilización se consigue por piezas impermeables solapadas entre sí dispuestas como material de acabado, y que, como las escamas de la piel de un pez, protegen los faldones de la cubierta, dispuestos con una determinada inclinación en función del material de recubrimiento para acelerar la evacuación del agua fuera de la superficie exterior. No obstante, en la actualidad también se

				Pendiente mínima en %
Tejado	Teja		Teja curva	32
			Teja mixta y plana monocanal	30
			Teja plana marsellesa o alicantina	40
			Teja plana con encaje	50
	Pizarra			60
	Placas y perfiles	Cinc		10
		Fibrocemento	Placas simétricas de onda grande	10
			Placas asimétricas de nervadura grande	10
			Placas asimétricas de nervadura media	25
		Sintéticos	Perfiles de ondulado grande	10
			Perfiles de ondulado pequeño	15
			Perfiles de grecado grande	5
			Perfiles de grecado medio	8
			Perfiles nervados	10
		Galvanizados	Perfiles de ondulado pequeño	15
			Perfiles de grecado o nervado grande	5
			Perfiles de grecado o nervado medio	8
			Perfiles de nervado pequeño	10
			Paneles	5
		Aleaciones ligeras	Perfiles de ondulado pequeño	15
			Perfiles de nervado medio	5

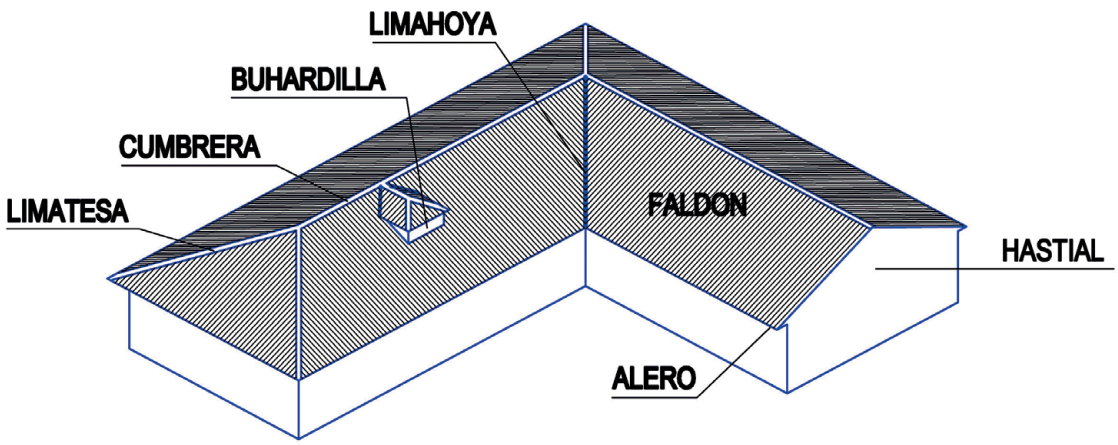
Pendientes de las cubiertas inclinadas. (Fuente. CTE-DB-SH).

disponen de barreras impermeables continuas que dan una mayor garantía de estanqueidad. El CTE-DB-SH establece las pendientes de las cubiertas inclinadas en función del material de recubrimiento.

La tipología de cubiertas inclinadas es muy variada en función de los revestimientos de acabado, los soportes estructurales, si disponen o no de cámaras ventiladas, etc.

Los elementos principales de una cubierta inclinada son, Ilustración:

- **Faldón**, cada uno de los planos que definen la cubierta. Cuando el faldón tiene dos superficies con distintas pendientes, se denomina faldón en mansarda.
- **Cumbrera**, arista superior del faldón de la cubierta.
- **Alero**, parte inferior del faldón que vuela sobre el plano de fachada.
- **Limatesa**, arista de encuentro entre faldones correspondiente a un ángulo saliente, (posición convexa).
- **Limahoya**, arista de encuentro entre faldones correspondiente a un ángulo entrante (posición cóncava), por la que discurre el agua.
- **Canalón,** canal fijada al alero que recoge las aguas del faldón y las conduce hacia una bajante.
- **Buhardilla**, ventana que se levanta por encima del tejado de una casa, con su caballete cubierto, y sirve para dar luz a los desvanes o para salir por ella a los tejados.
- **Linterna**, lucernario elevado sobre la cubierta, que permite la iluminación y ventilación del espacio inferior a través de su perímetro por ser opaco en su parte superior.
- **Hastial o muro Piñón**, parte superior de un muro de fachada de forma triangular, que delimita una cubierta al que llegan los dos faldones de la misma.



Elementos de una cubierta.

1.3.4.1.2.1. CUBIERTA INCLINADA DE TEJA O SIMILAR

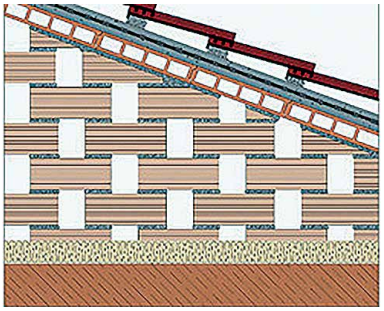
La cubierta inclinada de teja, es la más habitual que se utiliza en viviendas. El material de recubrimiento es la teja de material cerámico o mortero de cemento, de forma curva o plana, dispuestas con mortero, rastreles

o sistemas de anclaje propios, y de forma que los canales de evacuación de agua sean paralelos a la línea de máxima pendiente del faldón.

El faldón de la cubierta puede ser directamente un forjado inclinado o situarse sobre un forjado horizontal sobre el que habrá que ejecutar un plano inclinado a posteriori a modo de estructura secundaria.

1.3.4.1.2.1.1. Sobre forjado horizontal

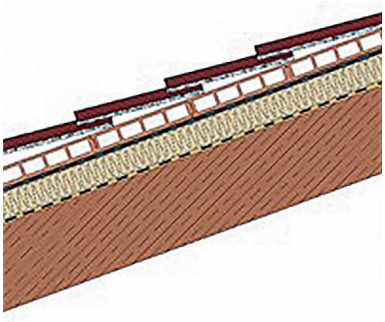
La cubierta sobre sobre un forjado horizontal tiene diversas soluciones constructivas, pero la solución habitual es la formación de pendientes con tabiques conejeros y bardos, conformando los faldones para posteriormente colocar capa de mortero, lamina impermeabilizante y capa de mortero, y finalmente dar el acabado a la cubierta con las piezas de tejas con el sistema de sujeción que en cada caso sea adecuado (mortero, rastreles, etc.). En este caso el aislamiento térmico va colocado sobre el forjado horizontal, que suelen ser mantas de lana de roca o similar que proporcionan el aislamiento térmico necesario en cada caso.



Cubierta de teja sobre forjado horizontal (Fuente. Isover).

1.3.4.1.2.1.2. Sobre forjado inclinado

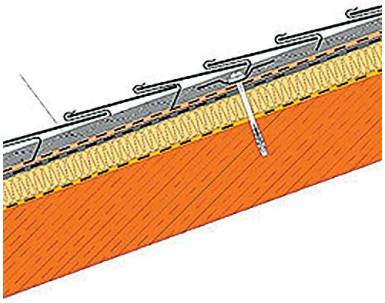
El forjado inclinado constituye el propio faldón de la cubierta, en la que la solución más habitual es la siguiente: barrera de vapor pegada al forjado, aislamiento térmico, barrera impermeable, y colocación de teja con el sistema adecuado al tipo de teja.



Cubierta de teja sobre forjado inclinado (Fuente. Isover).

1.3.4.1.2.2. CUBIERTAS DE PIZARRA

Las cubiertas con recubrimiento de pizarra son típicas de zona de montaña, donde las pendientes son mayores para evitar la acumulación de la nieve, se realizan sobre forjados inclinados. El sistema es parecido al anterior, únicamente varía el acabado previo a la colocación de la teja y el sistema de anclaje que es particular para la colocación de pizarra a base de la instalación de unos ganchos que sujetarán las piezas de pizarra o directamente clavada a unos rastreles de madera. Por lo demás las cubiertas suelen disponer de barrera de vapor, aislamiento térmico y lámina impermeabilizante.



Cubierta inclinada de teja (Fuente. Isover).

1.3.4.1.2.3. CUBIERTAS DE FIBROCEMENTO

Las cubiertas de fibrocemento se utilizan sobre todo en pequeñas construcciones donde no se exigen condiciones de habitabilidad y naves industriales. En la actualidad se sigue utilizando el fibrocemento, pero para su fabricación ya no se utiliza el amianto, con lo que se usan otro tipo de fibras para dar resistencia a estas planchas. Se suelen instalar sobre las correas de las cerchas o subestructuras inclinadas y el sistema de anclaje suelen ser mediante tornillos cogidos a la subestructura.

Cubierta fibrocemento (Fuente. Cembrit).

El problema de estas planchas de fibrocemento es que aún persisten en numerosos edificios piezas antiguas que contienen

amianto, las cuales precisan de un tratamiento especial y además en el caso de ser antiguas, son sensibles a las cargas y tienden a romperse si se realizan actividades sobre ellas.

Este tipo de cubiertas suele integrar algunas zonas en las que se disponen de placas de materiales plásticos para permitir la entrada de luz, placas que no son nada resistentes a la flexión y que no permiten transitar sobre ellas.

1.3.4.1.2.4. CUBIERTAS DE DERIVADOS DE PLÁSTICO

Las cubiertas de derivados del plástico suelen ser a base de poliéster o policarbonato, presentándose en placas. Las placas de poliéster tienen formatos y dimensiones similares a las de fibrocemento y además es similar su colocación, pero poseen mucho menor peso que aquellas y tienen transparencia, por lo cual permiten el paso de la luz. Las placas de policarbonato vienen lisas en su mayoría, poseen gran transparencia, y las de doble capa constituyen un buen aislamiento térmico por la existencia de las cámaras de aire en su interior. Se suelen emplear en invernaderos, centros comerciales, pabellones deportivos, etc.

1.3.4.1.2.5. CUBIERTAS DE CHAPAS METÁLICAS

Las cubiertas de chapas metálicas son de distintos materiales: acero galvanizado, acero inoxidable, zinc y cobre. Dado que estos metales son maleables, plegando, cortando y doblando las chapas se obtienen cubiertas de distintos tipos con variadas formas y diseños. Sobre el soporte formado por rastreles, se colocan en forma perpendicular unos listones preparados con grapas cuya función es enganchar las placas. Las juntas entre las chapas se ejecutan mediante doblado sucesivo de los extremos de dos chapas que se unen (engatillado).

Cubierta de chapa de cobre (Fuente. Cozinc).

1.3.4.1.2.6. CUBIERTAS PANELES METÁLICOS

Las cubiertas de paneles metálicos se basan en un panel compuesto por el material de cobertura (chapa) y el aislante térmico. Los paneles se sujetan a la estructura de soporte mediante tornillos de acero galvanizado. Las juntas, tanto las verticales como las horizontales, se ejecutan con el plegado de la chapa del panel y el relleno del hueco con un material plástico deformable; luego se coloca un perfil metálico a presión cuya función es de tapajuntas de esa unión de los dos paneles.

Cubierta panel sándwich (Fuente. HB Paneles).

1.3.4.2. ESTRUCTURAS DE CUBIERTA

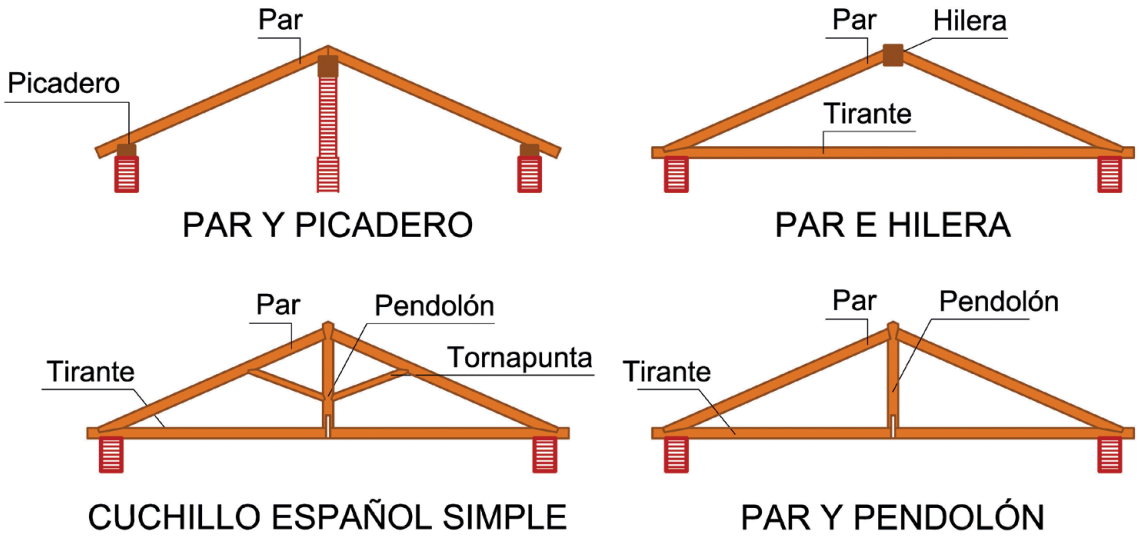
La estructura de la cubierta puede conformarse como un forjado más de la estructura: horizontal, cuando se disponga una azotea o se realicen tabiques conejeros para la formación de la pendiente; o inclinados, cuando se forme directamente la pendiente.

Aunque algunas de las soluciones constructivas que se indican a continuación nacen con el uso de la madera, se adoptan las mismas soluciones para elementos de acero y hormigón, por lo que se denominan de igual manera independientemente del material empleado.

1.3.4.2.1. CUBIERTAS SIMPLES

Estructuras formadas por barras apoyadas, que trabajan fundamentalmente flexión.

- **A la molinera**, se desarrolla sobre una crujía. Sobre los muros inclinados a través de sendos durmientes, se disponen las correas, de forma perpendicular a la pendiente.
- **Encabriado**, se desarrolla sobre una crujía. Sobre los muros horizontales a distinta altura a través de sendos durmientes, se disponen las viguetas (cabrios), de forma paralela a la pendiente.
- **De par y picadero**, se desarrolla sobre dos crujías, con dos faldones. Se disponen viguetas (pares) paralelos a la pendiente, apoyadas en un durmiente sobre el muro en la parte baja y en la parte alta sobre la viga del pórtico intermedio (picadero).
- **De par e hilera**, se desarrolla se desarrolla sobre una crujía con dos faldones. Se disponen vigueta (pares) paralelas a la pendiente, apoyadas en un durmiente sobre el muro en la parte baja y en la parte alta sobre una viga (hilera). Para absorber los empujes de los pares, se dispone un tirante en los apoyos de los pares.
- **De par y nudillo**, similar a la de par e hilera, pero incorpora una pieza horizontal (nudillo) que se conecta a los pares a una altura intermedia.



Estructuras de cubierta.

Una vez dispuesta la estructura principal, se dispone el subsistema para colocar el material de cobertura: en al caso de tejas planas o placas, se disponen listones de madera para apoyar sobre ellos las tejas y en el caso de tajas curvas, se dispone un tablero de madera (ripia), de cañas o pieza cerámicas.

1.3.4.2.2. CUBIERTAS CON CERCHA

La cercha se utiliza en diversas tipologías de estructuras, siendo su mayor uso en edificaciones de tipo industrial o agrícola. Inicialmente se empleó la madera (cuchillo), a posteriori el acero, el hormigón o mixtas.

Apoyadas en las cerchas se disponen las viguetas paralelas a los aleros (correas) sobre las que se dispondrá el material de cobertura. En algunos casos es necesario incluir otros niveles de estructura sobre las correas, para crear apoyos situados a menor distancia como en las cubiertas de teja plana.

1.3.4.2.3. CUBIERTAS CON PÓRTICOS

Estructuras formadas por pilares y vigas inclinadas que forman un conjunto. Se disponen sobre una crujía y forman en general dos pendientes. Generalmente sus uniones son empotradas y son estructuras hiperestáticas. Pueden ser de acero, madera u hormigón.

Se utilizan generalmente para la confección de naves industriales y disponen de elementos de arriostramiento (cruces de San Andrés).

Apoyadas en los pórticos se disponen las viguetas paralelas a los aleros (correas) sobre las que se dispondrá el material de cobertura.

1.3.4.2.4. CUBIERTAS CON MALLAS ESPACIALES

Las cubiertas con mallas espaciales son de aplicación en edificaciones que exigen cubrir grandes espacios sin pilares interiores como instalaciones deportivas, hangares, etc.

Este tipo de cubierta puede tener diversos sistemas para elevarse: sobre pilares, suspendida, como viga en voladizo, etc.

Sobre la malla se dispone la subestructura a la que se fija el material de cobertura.

1.3.5. CERRAMIENTOS DE FACHADA

Los cerramientos de fachada son los elementos cuya función es separar el exterior del interior de los edificios, formando la envolvente del mismo. Existen dos tipos: las fachadas y las medianeras; no tienen una función estructural, aunque en ocasiones como es el caso de las estructuras murarias, sí que actúan como estructura, denominándose en este caso muros de carga.

Los cerramientos verticales de fachada, son los que disponen de un ángulo mayor o igual a 60° respecto a la horizontal.

De acuerdo a normativa han de cumplir las siguientes exigencias:

- Exigencias de protección contra: el agua, el viento, la temperatura, el ruido y el fuego.

- Exigencias de confort: visual, ventilación y contacto con el exterior.

Todos estos factores son importantes pero la protección contra el agua, la temperatura, el ruido y el fuego, van a condicionar en gran medida el diseño de los cerramientos.

- **Protección contra el agua**, para evitar las humedades procedentes del exterior que se producen a través de las fachadas, hay dos maneras de evitarlas: dotando al cerramiento del suficiente espesor para evitar que el agua llegue al interior o bien, dotar al cerramiento de capas o materiales que garantizan la estanqueidad a las humedades, que es la más habitual.

  En cuanto a las humedades que se producen en el interior de los cerramientos, estas se originan por efectos de condensación, debido a las diferencias de temperaturas y humedad entre el exterior (más frío) y el interior (más caliente).

- **Protección contra la temperatura**, para aislar térmicamente el espacio interior del exterior y no tener pérdidas energéticas, hay dos maneras de conseguirlo: a base de materiales con gran porosidad interna, o con la utilización de cerramientos formados por varias hojas entre las cuales se introducen materiales con propiedades aislantes térmicos, siendo éste el método más utilizado.

- **Protección contra el ruido**, para aislar acústicamente el espacio interior de los ruidos que se produzcan en el exterior, hay dos maneras de conseguirlo: a base de masa, con cerramientos de densidad elevada de gran espesor o la utilización de cerramientos formados por varias hojas entre las cuales se introducen materiales con propiedades aislantes acústicas, siendo éste el método más utilizado.

1.3.5.1. TIPOS DE FACHADAS

A continuación, se establece una clasificación genérica de fachadas de acuerdo a la norma UNE-41805-10-IN.

CLASIFICACIÓN GENERAL DE LAS FACHADAS				
DE FÁBRICA	Cerramiento de ladrillo o de bloque, apoyados en vigas o frentes de forjados	Según su composición y material	De una hoja	Utilizadas normalmente para edificios industriales y comerciales, o de vivienda, con pocas exigencias térmicas
			Multihoja	Las más corrientes, con incorporación de aislante o cámara de aire para mejorar su comportamiento higrotérmico.
			Ventilada	Variante de la solución de una hoja, con revestimiento rígido separado por cámara de aire ventilada.
		Según su acabado exterior	Sin revestimiento	Con ladrillo cara vista, bloque visto (cerámico o de hormigón), etc....
			Con revestimiento	-Continuo: enfoscado, revoco, pintura. -Por elementos: alicatado, chapado, aplacado.
PREFABRICADA	Cerramiento formado por paneles prefabricados colgados o apoyados en la estructura	Según su composición	Monocapa	Un solo panel monocapa. Usado en edificios industriales y comerciales.
			Multicapa	Un solo panel de varias capas con aislante incorporado
			Compuesta	A base de: panel prefabricado exterior, tabique interior (de fábrica, prefabricado o entramado) y cámara de aire (con o sin aislante, y con o sin ventilación).
ACRISTALADA	Cerramiento transparente o translúcido			Compuesto de carpintería de sujeción y paneles de vidrio como cerramiento propiamente dicho.

Tabla 0

Hay diversidad de soluciones técnicas en los distintos tipos de fachadas, en algunos casos dependerán de las soluciones que adoptan los propios fabricantes sobre todo en el caso de fachadas prefabricadas. A continuación se muestran tres ejemplos genericos de una fachada convencional de doble hoja de fabrica con aislamiento interior, una fachada ventilada y una fachada prefabricada que son los tipos mas habituales que nos podemos encontrar.

1.3.5.1.1. FACHADAS DE DOBLE HOJA CON AISLAMIENTO INTERIOR

La fachada de doble hoja con aislamiento interior es una tipología de fachada que es muy habitual en la construcción de edificios de viviendas y una tipología que se ha usado en las 4 últimas décadas. La composición más habitual es la siguiente:

Fachada tradicional. (Fuente. Cerámica Anón).

- Hoja exterior de ladrillo cerámico hueco o perforado con acabado visto o para revestir que suele ser de alrededor de 12cm de espesor.
- Enfoscado interior con mortero de cemento para regularizar la cara interior e impermeabilizarla frente a la entrada de agua desde el exterior.
- Capa aislante térmica alojada en la cámara en forma de panel o proyectados, para generar el aislamiento térmico necesario y en el caso de los poliuretanos proyectados también para impermeabilizar.
- Hoja interior de fábrica de ladrillo cerámico hueco de alrededor de 7cm de espesor.
- Acabado interior que suele realizarse con un enlucido de yeso.

1.3.5.1.2. FACHADAS VENTILADAS

La fachada ventilada es un cerramiento contemporáneo multicapa compuesto por:

Fachada ventilada. (Fuente. Intec).

- Hoja interior, que suele ser de ladrillo perforado, bloque, termoarcilla o similar que pueda ser resistente y soportar las cargas de la hoja exterior.
- Estructura portante anclada sobre la hoja interior, será la que soportará la hoja exterior de acabado.
- Hoja intermedia de aislamiento térmico, adosado a la hoja interior. Tendrá una anchura y materiales variables en función de las necesidades.
- Cámara de aire, separando la hoja exterior y el aislamiento.
- Hoja exterior o revestimiento: define el acabado final del edificio (cerámico, composite, hormigón polímero, paneles de fibrocemento, etc.). Vinculada al edificio por esa estructura de perfiles o anclajes.

El funcionamiento de esta fachada es distinto a la convencional, la cámara de aire ubicada entre la hoja exterior y el aislante, es ventilada, permitiendo la circulación del aire por la parte inferior y superior, elimina la existencia de puentes térmicos y proporciona un buen aislamiento térmico y acústico.

1.3.5.1.3. FACHADAS PREFABRICADAS

Las fachadas prefabricadas están formadas por un panel prefabricado, la instalación de la fachada en la obra se realiza con montaje en seco mediante anclajes metálicos.

Fachada prefabricada de hormigón. (Fuente. Prehorquisa).

Este tipo de fachadas y cerramientos actualmente son muy comunes en las obras dedicadas a la construcción de naves, también son las típicas utilizadas para la construcción de centros comerciales, edificios públicos etc. Los elementos prefabricados que constituyen la fachada incluyen todos los elementos del cerramiento: el aislamiento, la estructura, y el acabado exterior.

Los módulos de las fachadas prefabricadas suelen fabricarse en un taller especializado en su producción, son modulares y generalmente tienen sistema de junta seca.

Los materiales usados para la realización de fachadas prefabricadas suelen ser el hormigón, la madera los materiales compuestos como PVC, poliuretano y los metálicos como los de aluminio.

1.3.6. PARTICIONES INTERIORES

Son divisiones verticales que separan los diferentes espacios en las edificaciones y que los comunican a través de elementos de paso. Se apoyan en los forjados y se suelen trabar en los encuentros con los techos y cerramientos de fachada.

En general no tienen capacidad portante, la única carga que soportan es la propia.

En este tipo de paredes, los requerimientos son diferentes que, en los cerramientos de fachada, precisarán requerimientos como el aislamiento acústico entre viviendas, la resistencia frente la acción del fuego o el soporte para las canalizaciones de instalaciones.

Las particiones interiores se dividen funcionalmente en dos grupos:

- **Separadores de recintos**, son aquellas particiones verticales que separan una unidad de uso de cualquier recinto del edificio o que separan recintos protegidos o habitables de recintos de instalaciones o de actividad, como por ejemplo la caja de la escalera.

- **Tabiquería**, formada por el conjunto de particiones interiores de una unidad de uso, como por ejemplo los de división dentro de una vivienda.

1.3.6.1. TIPOLOGIAS DE PARTICIONES INTERIORES

En función de los materiales utilizados se diferencian tres tipos básicos de particiones interiores:

- **De fabrica de ladrillo,** se realizan con piezas cerámicas o de hormigón, tomadas con un mortero mediante

un sistema de aparejo según tipología y revestidas por ambas caras con: revestimientos contínuos de mortero o yeso, o discontínuos de baldosas, paneles, etc.

Cuando son elementos separadores de recinto son piezas perforadas o macizas.

- **De placas de yeso laminado,** son divisiones fijas sin función estructural, realizadas con placas y paneles de yeso laminado, empleadas normalmente como tabiquerías. Su ejecución require de una estructura metálica galvanizada revestida por ambas caras con placas de cartón-yeso fijadas mediante tornillos autoperforantes, entre las cuales se puede colocar un aislamiento y las instalaciones necesarias.

  Admiten una variedad de composición, piezas y medidas que los dotan de diferentes caracteristicas frente a aislamientos térmicos, acusticos, resistencia a la humedad y resistencia al fuego.

- **Mamparas de vidrio, madera, PVC, metal, etc**, son elementos livianos modulares, desmontables, sin función estructural y empleados normalmente como tabiquería, con una amplia variedad y surtido: paneles ciegos, acristalados o mixtos. Lo solución mas común es la mampara modular con doble panel y con una estructura interior de aleaciones ligeras o de madera, que se oculta, donde se incluye el material aislante e instalaciones.

1.3.7. ESCALERAS

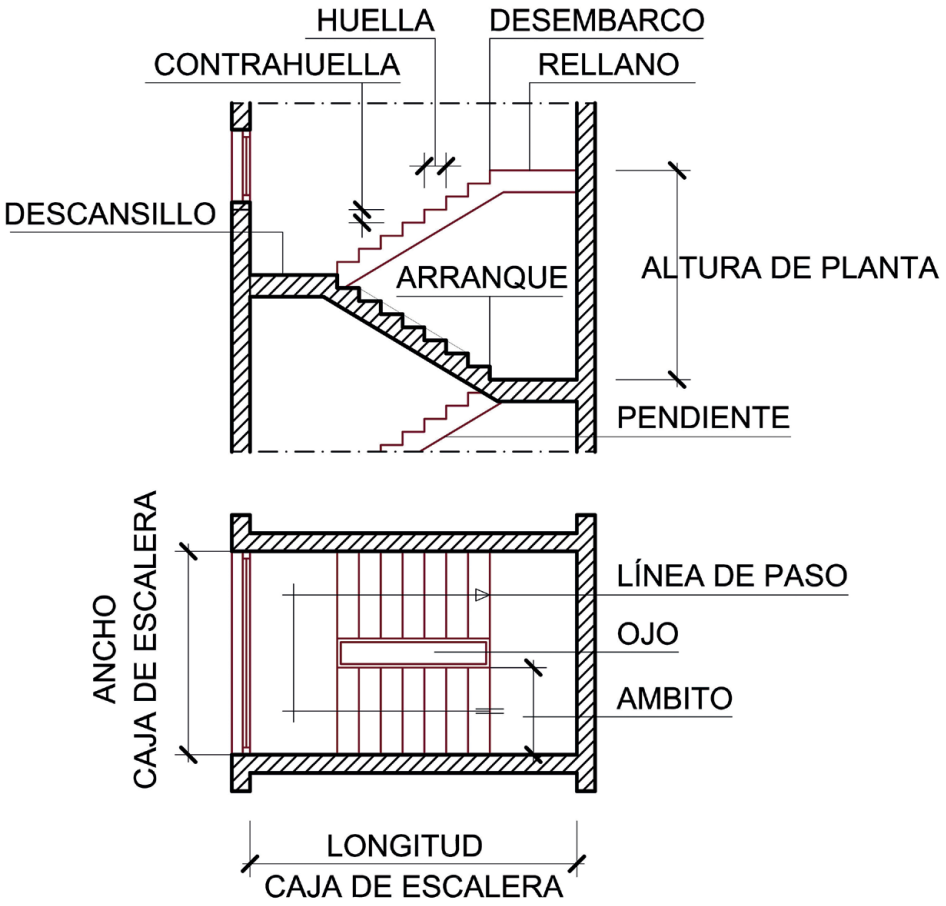
La conexión en los edificios de dos planos situados a distinto nivel se realiza mediante elementos inclinados:

- **Escaleras,** con planos horizontales equidistantes llamados escalones.
- **Rampas, s**uperficies continuas planas con pendiente moderada.

Nomenclatura de elementos de una escalera:

- **Caja de escalera**, espacio en el que se encuentra y desarrolla la escalera. Puede estar delimitada con cerramiento (compartimentada) respecto al resto del edificio o abierta.
- **Zanca**, elemento resistente que sostiene los escalones o peldaños de la escalera. El apoyo inferior se denomina arranque y el apoyo superior desembarco.
- **Escalón o peldaño**, cada una de las partes de un tramo de escalera que sirven para subir o bajar por ella.
- **Huella**, plano horizontal del escalón o peldaño en que se apoya el pie.
- **Contrahuella**, plano vertical del frente de un escalón o peldaño. Si dicho plano se materializa se denomina tabica.
- **Arista**, línea que forman en el mismo escalón la huella y contrahuella. Para reforzar la arista saliente, en ocasiones dispone de un elemento llamado **mamperlán** de distinto material.
- **Tramo**, parte de la escalera comprendida entre planos horizontales. La altura por unidad de longitud del tramo respecto de la horizontal se denomina pendiente.
- **Ámbito,** ancho del tramo de la escalera.

- **Meseta**, planos horizontales de acceso a la escalera coincidentes con los forjados.
- **Descansillo**, planos horizontales intermedios entre tramos.
- **Ojo de la escalera**, espacio libre entre los tramos de la escalera.
- **Barandilla**, elemento de protección contra caídas a distinto nivel.



Elementos de una escalera.

1.3.7.1. TIPOLOGÍAS DE ESCALERAS SEGÚN EL CTE DBSI

- **Escalera no protegida**, escalera abierta sin compartimentación,
- **Escalera compartimentada**, escalera que dispone de compartimentación como los sectores de incendio en que se encuentra.
- **Escalera protegida,** escalera de trazado continuo desde su inicio hasta su desembarco en planta de salida del edificio que, en caso de incendio, constituye un recinto suficientemente seguro para permitir que los ocupantes puedan permanecer en el mismo durante un determinado tiempo. El recinto es destinado exclusivamente a circulación, está compartimentado del resto del edificio mediante elementos separadores EI 120 y dispone como máximo de dos accesos en cada planta, los cuales se realizan a través de puertas EI2 60-C5.

- **Escalera especialmente protegida,** escalera que reúne las condiciones de escalera protegida y que además dispone de un vestíbulo de independencia diferente en cada uno de sus accesos desde cada planta. La existencia de dicho vestíbulo de independencia no es necesaria cuando se trate de una escalera abierta al exterior, ni en la planta de salida del edificio, cuando se trate de una escalera para evacuación ascendente, pudiendo la escalera en dicha planta carecer de compartimentación.

    - **Escalera abierta al exterior:** escalera que dispone de huecos permanentemente abiertos al exterior que, en cada planta, acumulan una superficie de 5A m^2, como mínimo, siendo A la anchura del tramo de la escalera, en m.

    - **Vestíbulo de independencia,** recinto de uso exclusivo para circulación situado entre dos o más recintos o zonas con el fin de aportar una mayor garantía de compartimentación contra incendios y que únicamente puede comunicar con los recintos o zonas a independizar, con aseos de planta y con ascensores. Sus paredes serán EI 120. Sus puertas de paso entre los recintos o zonas a independizar tendrán la cuarta parte de la resistencia al fuego exigible al elemento compartimentador que separa dichos recintos y al menos EI2 30-C5.

1.3.7.2. ESTRUCTURA DE LAS ESCALERAS

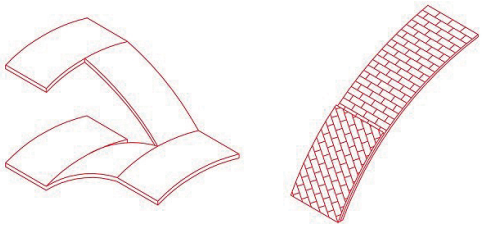
Los materiales empleados pueden ser: madera, fábrica pétrea o de cerámica, hormigón o acero, además de la combinación de ellos.

En función del comportamiento resistente de la zanca y los escalones, se distingue las siguientes tipologías:

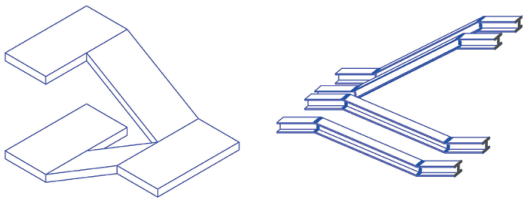
- **Escalones resistentes**. No disponen de zanca, se disponen: empotrados en una pared como las escaleras de apoyo lateral en uno o dos lados, en un macizo central como las escaleras de caracol o suspendidos como las escaleras de peldaños colgados.

- **Zanca resistente y escalones apoyados**. Los tramos se forman por una superficie resistente de hormigón armado (losa) o de fábrica (correa) formando una bóveda de varias hojas (roscas) de ladrillo, sobre las que se dispone los escalones.

- **Zanca y escalones resistentes.** La zanca se dispone de forma lineal en el centro o en ambos lados, apoyando en ella los escalones.



Zanca de escalera de ladrillo (correa).



Zanca de escalera de hormigón armado y acero.

1.3.8. CUERPOS VOLADOS

Los cuerpos volados son aquellos elementos constructivos que, siendo solidarios con la edificación, sobresalen por fuera de alineación, o fuera del volumen edificado principal, careciendo de soporte o apoyo directo sobre el terreno. Pueden ser abiertos como terrazas y balcones o cerrados como miradores, también pueden ser no accesibles como aleros y cornisas.

Pueden formarse por prolongación de los propios elementos estructurales desde los forjados a modo de extensión de los mismos, por volado de las fábricas o por adición de una estructura complementaria para sujetarlos.

1.3.9. FALSOS TECHOS

Los falsos techos se ejecutan para dar un acabado a la cara inferior del forjado, generalmente dejando una cámara: para el alojamiento de instalaciones o para bajar los techos cuando las plantas tienen una determinada altura, como es el caso de las últimas plantas de sistemas tradicionales en los que se busca un techo plano.

Entre los sistemas empleados, encontramos:

- **Cañizo enlucido de yeso**, formados por un entramado de cañas partidas y atadas entre sí, que se clavan a rastreles o directamente sobre las viguetas de madera y posteriormente se enlucen con pasta de yeso.
- **Listones de madera enlucidos de yeso,** formados por listones de madera que se clavan a rastreles o directamente sobre las viguetas de madera y posteriormente se enlucen con pasta de yeso.
- **Placas de escayola fijas**, formados por placas de escayola suspendidas con tirantes de alambre, caña o esparto con escayola, formando un único plano (cielo raso).
- **Placas de cartón yeso,** formados por placas de cartón yeso fijadas a una subestructura ligera mediante tornillería.
- **Placas desmontables,** formados por placas de distintos materiales: escayola, fibras, plásticos, etc., y suspendidas de una subestructura ligera por medio de distintos sistemas.

1.3.10. INSTALACIONES

Las instalaciones son un componente más de las edificaciones, dado que sin ellas no podrían cumplir con la función para la que han sido diseñados y no tendrían las condiciones de habitabilidad necesarias.

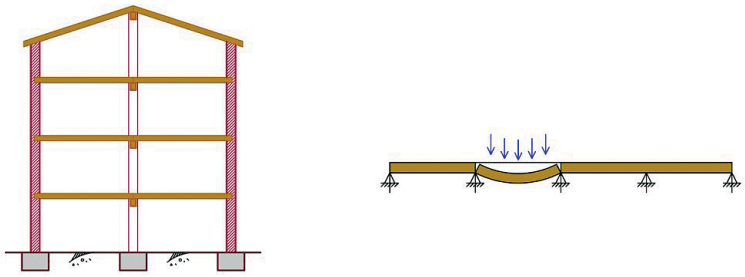
Aunque no es objeto del tema el desarrollo de las instalaciones, sí se enumeran las posibles instalaciones que puede disponer un edificio:

- **Instalaciones de suministro:** agua fría, electricidad y gas.
- **Instalaciones térmicas:** climatización (calefacción, refrigeración y ventilación) y producción de agua caliente.
- **Instalación de evacuación y saneamiento.**
- **Instalaciones de telecomunicación**: telefonía y telecomunicaciones.
- **Instalaciones de comunicación vertical:** ascensores, montacargas, escaleras mecánicas y rampas.
- **Instalaciones de seguridad:** protección contra incendios, robo e intrusión y detección de gases.
- **Instalaciones de energía solar.**

1.4. SISTEMAS ESTRUCTURALES SEGÚN LA EDAD DE LAS EDIFICACIONES

1.4.1. SISTEMAS ESTRUCTURALES TRADICIONALES

Se define como sistema estructural tradicional a aquel que, aun pudiendo emplear los materiales derivados de la primera revolución industrial (acero, vidrio y hormigón), mantiene un esquema estructural que se fundamenta en la disposición de unos muros de carga en las fachadas anterior y posterior, uno o varios pórticos interiores paralelos a ellas mismas, y la utilización de las medianeras y de las cajas de escalera, e incluso de alguna tabiquería interior, como elementos de arriostramiento del conjunto.



Esquema de estructura tradicional.

Se trata de estructuras fundamentalmente isostáticas dónde cada vano o crujía trabaja independientemente de los restantes, ya que las condiciones de enlace entre ambos no garantizan su continuidad, Ilustración.

1.4.1.1. LA CIMENTACIÓN

La cimentación está constituida por zapatas aisladas bajo las pilastras o pilares de los pórticos interiores, y por zapatas corridas para los muros de fábrica de fachada, medianeras o caja de escalera, sin arriostramiento entre ellas.

El material utilizado es la mampostería en seco o con algún tipo de mortero de cemento natural o artificial, sin que se tome ninguna precaución especial en la superficie de contacto con el muro de fábrica, para evitar las humedades de capilaridad.

Antiguamente también se ejecutaban con ladrillo macizo tomado con mortero, como si fuera una prolongación del muro desde la rasante hasta el fondo de la cimentación.

1.4.1.2. MUROS DE CARGAS

Los muros de carga se localizan en edificios entre medianeras en las dos fachadas, tanto la recayente a la calle como la del patio de manzana, siendo ésta generalmente de menor espesor y con disposiciones constructivas más inseguras, en ambos casos sin cámara de aire. En edificios aislados se localizan en todo el perímetro. Los materiales suelen ser:

- **Ladrillo macizo,** aparejado a sogas y formando un muro de pie y medio a dos pies de espesor o mayor, en función de las alturas, como norma general, dos pies en planta baja y entresuelo y pie y medio en las superiores. El ladrillo está recibido a torta y restregón, con mortero de cal, o morteros a base de cementos naturales de endurecimiento rápido, muy comunes desde comienzos del siglo XIX; durante la primera década del siglo XX ya se generalizo el uso de mortero de cemento portland.

- **Bloques de piedra,** aparejados a sogas de diferentes espesores, recibidos a hueso o con algún tipo de mortero, en la formación del muro en las plantas bajas o en todo el paramento. Estos muros en ocasiones

no son homogéneos y se forman mediante la disposición de una hoja exterior y otra interior con algún relleno de argamasa en el interior.

- **De tapial,** siendo corriente el uso de líneas de refuerzo, bien horizontales (verdugadas) o bien verticales (rafas), que ayudan a rigidizar el conjunto.

1.4.1.3. MEDIANERAS Y TABIQUES DE ARRIOSTRAMIENTO

Las medianeras son realizadas de ladrillo macizo al igual que las fachadas y por lo general, de pie y medio de espesor sin cámara de aire. Las pilastras de refuerzo están dispuestas coincidiendo con los pórticos para recibir las vigas de éstos.

Los tabiques de arriostramiento son también de ladrillo macizo. Se disponen en dirección paralela a la fachada, conectando las medianeras y cajas de escalera, con los pilares de los pórticos interiores.

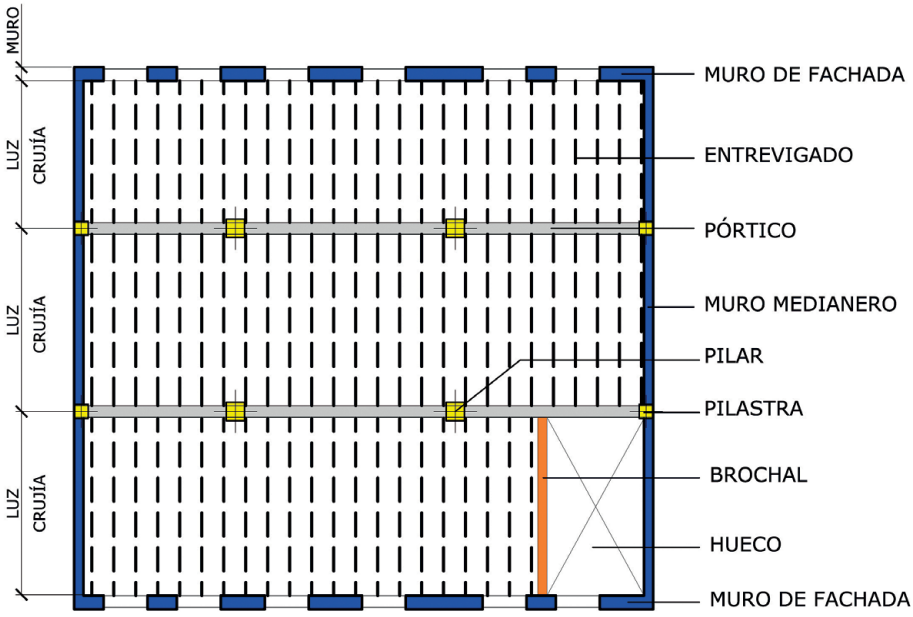
1.4.1.4. PÓRTICOS INTERIORES

Los pórticos interiores, están formados por pilares de sillería o ladrillos macizos, trabados con los muros de medianería, la caja de escalera o los patios interiores, para obtener mayor rigidez de conjunto. En el caso de pilares aislados, se trata de elementos de gran dimensión.

Desde mediados del siglo XIX se utilizaban columnas de fundición en edificios públicos y con posterioridad en edificios con carácter comercial, así como en aquellos donde se quería reducir el espacio ocupado por los gruesos pilares de la estructura de fábrica.

Las vigas son de madera y posteriormente de acero, generalmente apoyadas directamente en los pilares y salvo vanos de reducida luz, las vigas son discontinuas en cada tramo.

En ocasiones los pórticos se constituían como un muro aligerado por huecos importantes mediante arcos y pilares, arcos de ladrillo macizo o sillería.



Elementos de una estructura tradicional.

1.4.1.5. LA CAJA DE LA ESCALERA

La caja de la escalera, actúa como un elemento rígido que arriostra el conjunto, construida como un muro de carga de fachada, pero de menor espesor, en el caso de ser de fábrica de ladrillo con un espesor medio de un pie.

La estructura de la escalera se realiza con una bóveda tabicada de ladrillo de 2 ó 3 roscas, sobre las que se dispone el peldañeado de ladrillo y posterior acabado.

1.4.1.6. LOS FORJADOS

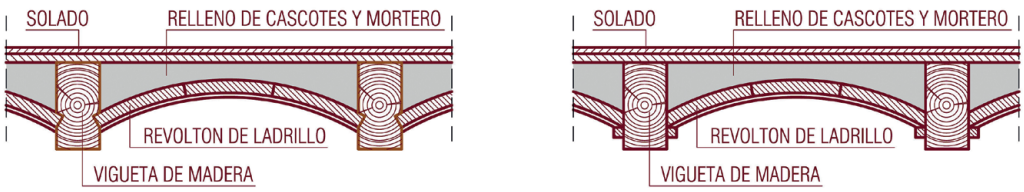
Los forjados están formados por viguetas de madera, generalmente de chopo o pino melis (mobila), hasta que alrededor de 1.900 comienza a ser sustituido por el acero laminado. En algunas construcciones, se emplearon unas viguetas realizadas in situ, mediante piezas cerámicas (viguetas de violín) que se unían con mortero y en las que se introducía una armadura también recibida con mortero, en una hendidura que tenía la pieza en la parte inferior.

Las viguetas dispuestas perpendicularmente a la fachada, se apoyan sobre las vigas de madera que constituyen los pórticos interiores; en el caso de crujías extremas, apoyan sobre la viga de madera del pórtico más cercano, y por el otro extremo, se introducen en el muro mediante la apertura de un hueco (mechinal). En determinadas ocasiones sobre el muro y bajo el apoyo de las viguetas con éste, se disponía una viga para arriostramiento y distribución de cargas.

El entrevigado se soluciona mediante un revoltón de ladrillo, formado por una o dos roscas de ladrillo tomadas con yeso, recibido en las viguetas mediante una entalladura en la parte inferior del lateral o mediante un ejión clavado, caso de viguetas de madera, o sobre el ala inferior caso de viguetas de acero laminado. En otros casos mediante un relleno de yeso con cascotes de ladrillo sobre un encofrado curvo (cimbra), con la forma del revoltón, Ilustración.

El espacio entre las viguetas y la bóveda (seno) se rellenaban con cascotes de ladrillo y mortero de cal. Es de hacer notar que en esta solución no aparece la capa llamada núcleo en el forjado romano, es decir, lo que hoy sería asimilable a una capa de comprensión.

En algunos forjados, la aparición inicialmente de la bovedilla de yeso y con posterioridad de cerámica, han sustituido el revoltón aumentado la ligereza del mismo.



Forjados con viguetas de madera.

1.4.1.7. LOS CUERPOS VOLADOS

Cuerpos volados, hasta principios de siglo XX, balcones y miradores se solucionaban mediante un vuelo reducido de unos 50 cm, construido mediante losas de piedra natural voladas, que se empotraban en el muro de fábrica 1/3 de su longitud. Cuando se querían alcanzar vuelos mayores, se prolongaba el forjado de

esa planta, constituyéndose como un forjado con revoltón. En otras ocasiones en los balcones se disponía una estructura metálica independiente del forjado, formada por la barandilla y los elementos de sujeción del solado, anclada a los muros.

Los aleros de la cubierta se formaban por prolongación de los pares de la cubierta o por el vuelo sucesivo de hiladas de ladrillo macizo sobre las que apoyaban los pares para evitar el vuelco.

1.4.1.8. LA CUBIERTA

La cubierta en la construcción tradicional, ha sido tratada como una piel independiente de la estructura, separada netamente de lo que es el edificio en sí, por la interposición de un espacio dedicada a almacenamiento o uso marginal (cambra), generalmente en construcciones rurales; en otros casos como edificios religiosos, existe una falsa cubierta que cubre los espacios interiores mediante bóvedas generalmente y sobre esta, una cubierta tradicional de estructura de madera.

Los tipos de cubiertas en función de la forma de sus elementos, es la siguiente:

- **Cubiertas con elementos lineales**, las cubiertas disponen de uno o varios planos inclinados, generalmente dos, sustentadas en general por estructuras de madera denominadas de par y picadero, par e hilera, cuchillos de par y pendolón o el cuchillo español simple, sobre las que se disponen las correas o cabios de madera y un tablero tablas de madera (ripia), cañizo o de piezas cerámicas y que sirve de soporte al material de cobertura: teja curva, plana, etc.

- **Cubiertas con elementos curvos**, la cubierta se realiza con elementos curvos como bóvedas de directriz recta y cúpulas de directriz curva, formados ambos por unos nervios que dan resistencia al conjunto y un relleno entre ellos (plementería). Sobre ellas se dispone el material de cobertura.

1.4.2. LAS ESTRUCTURAS DE ENTRAMADO

Las estructuras de entramado son estructuras mixtas, formada por un armazón de madera (armadura) y un relleno de fábrica (ladrillo, adobe, mampostería, yeso, etc.) que aporta rigidez en el plano frente a las acciones verticales y horizontales, integradas en planos verticales, horizontales e inclinados; la madera aporta ligereza y resistencia, son una evolución de las estructuras murarias hacia las porticadas.

La introducción de elementos de madera en los distintos planos, hace que además de soportar los esfuerzos de compresión de las fábricas, soporten esfuerzos de flexión y tracción.

En el Manual del Albañil del Arquitecto D. Ricardo Marcos y Bausa (1879) de dice: "Las fábricas de entramado, son aquellas en las cuales entra la madera como elemento principal de construcción, la que proporciona la fuerza y trabazón que en gran manera poseen, sirviendo los materiales de albañilería en ellas usados, como de cerramiento de los diversos huecos o compartimentos que dejan los maderos, si bien contribuyen a aumentar también su solidez".

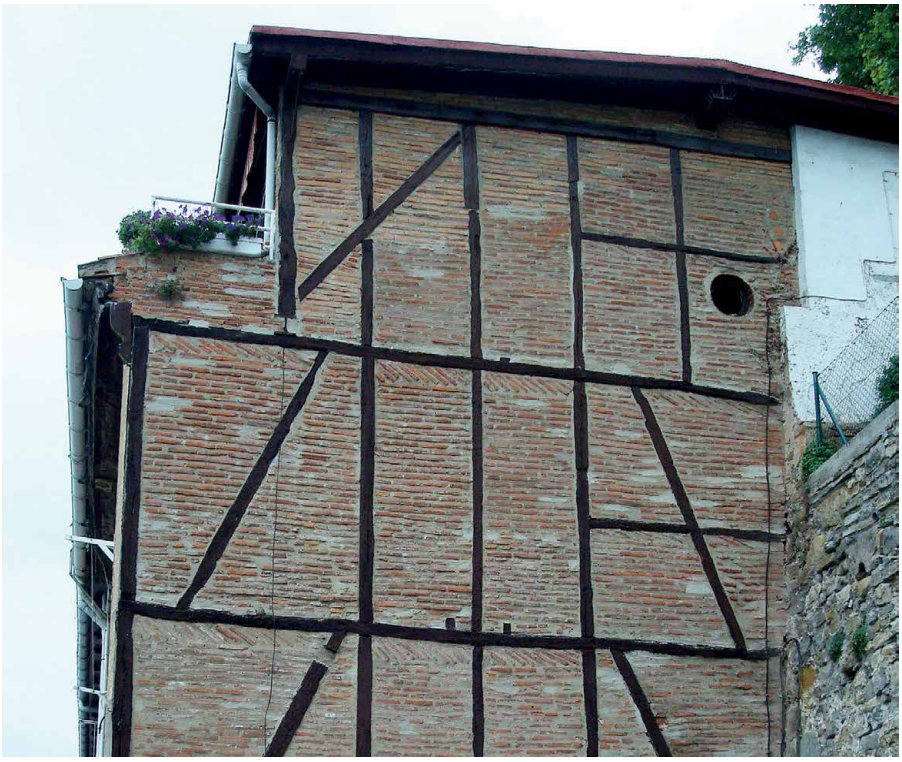
Hay tres clases de entramado:

- **Vertical**, para construir los muros y apoyos a plomo, que en último término sufren toda la carga de la edificación.

- **Horizontal**, que forma los pisos a nivel en las diferentes alturas en que se subdividen los edificios.

- **Inclinado**, que da origen a las armaduras de las cubiertas de los mismos, con la inclinación necesaria, a fin de que las aguas de lluvia no se estanquen y los perjudiquen.

Existen términos específicos para denominar a elementos que componen este tipo de estructuras y que luego en las estructuras porticadas tienen su sinónimo por ser elementos con idéntica función.



Estructura de entramado de madera.

1.4.2.1. LA CIMENTACIÓN

La cimentación es similar a las de las estructuras tradicionales, pero para proteger la madera de las humedades del terreno, introduce bajo cada elemento, una base de fábrica de ladrillo o una piedra en forma troncopiramidal.

1.4.2.2. EL ENTRAMADO VERTICAL

El entramado vertical (telar) lo componen la madera (armadura), la fábrica de materiales pesados (cuajo) y el revestimiento (guarnecido). Los elementos resistentes de madera forman una trama, reforzada en sus huecos por fábrica. Son sistemas no definidos claramente de forma estática. La disposición de entramados verticales en direcciones opuestas es lo que le da capacidad frente a empujes horizontales.

Los forjados le transmiten las cargas a las carreras y estas a los pies derechos, siendo el cuajo el que confina y acodala las piezas verticales.

Las piezas de madera que se insertan en los entramados verticales son las siguientes:

- **Pie derecho**, elemento vertical que transmite las cargas entre forjados y conforma la retícula del muro.
- **Cornijal**, pie derecho de esquina ubicado entre dos muros entramados.

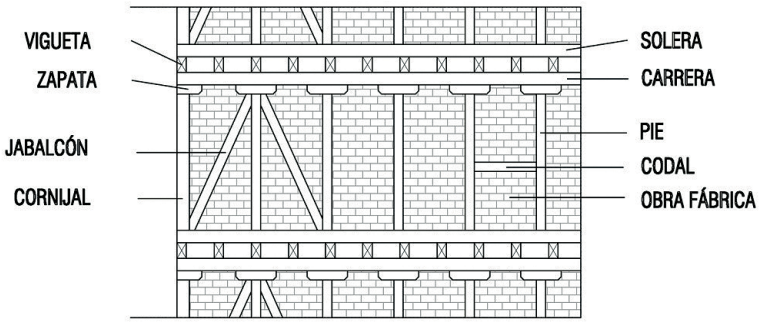
- **Carrera**, elemento horizontal sobre el que apoyan las cabezas de las viguetas de los forjados transmitiendo. Junto a los pies derechos, conforma la retícula del entramado.

- **Solera**, elemento horizontal que apoya sobre las cabezas de las viguetas de los forjados para recibir las cargas de los pies derechos.

- **Zapata**, elemento horizontal que se interpone entre la carrera y el pie derecho. Aumenta la superficie de apoyo y acorta la luz de la carrera entre pies derechos.

- **Jabalcón**, elementos inclinados que rigidizan el conjunto y acortan la luz del vano de las carreras.

- **Codal**, elemento horizontal entre pies derechos que los acodala.



Elementos de un entramado vertical.

1.4.2.3. EL ENTRAMADO HORIZONTAL

Los entrados horizontales (forjados) lo componen las viguetas, que en ocasiones se refuerzan con trozos de vigueta dispuestos perpendicularmente a las mismas (zoquetes) en varias líneas, llegando a formar un artesonado formando una cuadrícula. Sobre las viguetas un relleno abovedado de yeso y cascotes o mortero con cascotes, en ocasiones aligerado con botes cerámicos o bien un relleno entre las viguetas sujeto por las cuerdas tomizas de las viguetas. Las viguetas se apoyan sobre las carreras (riostras o zunchos) que se disponen sobre las líneas de carga (pórticos o muros).

1.4.2.4. LOS CUERPOS VOLADOS

Los cuerpos volados se conformaban por prolongación de las viguetas sobre las carreras de los entramados verticales.

1.4.2.5. EL ENTRAMADO INCLINADO

El entramado inclinado (estructura de cubierta) se conforma con elementos de madera por cualquiera de los siguientes sistemas constructivos: a la molinera, encabriado, de par y picadero, de par e hilera, etc., sobre los que se disponía el material de cobertura.

1.4.2.6. LA ESCALERA

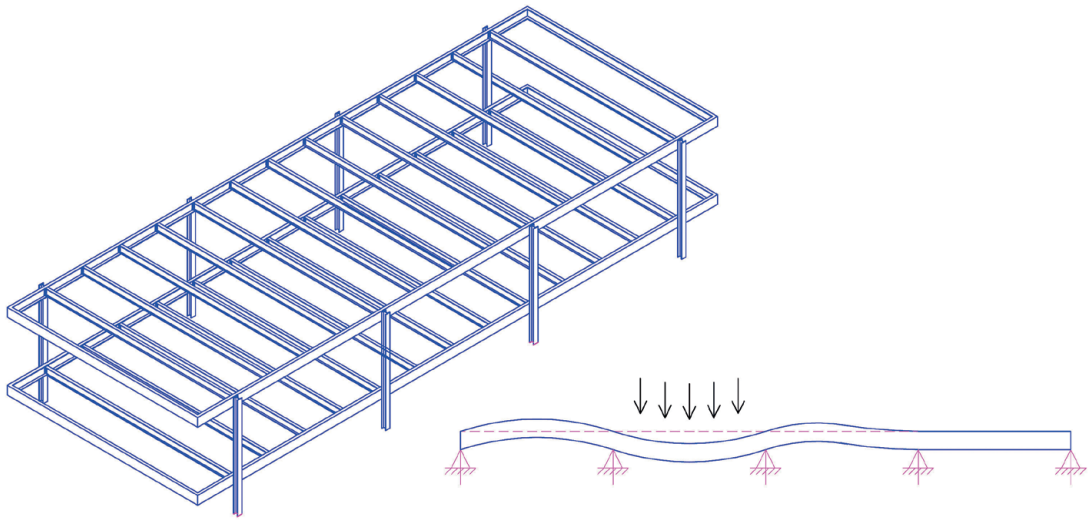
La parte resistente se conforma mediante un entramado de madera ligero que da atado a las diferentes líneas de carga (pórticos).

1.4.3. SISTEMAS ESTRUCTURALES RECIENTES

Se define como sistema estructural reciente a aquel, que emplea los materiales derivados de la Revolución Industrial (acero, vidrio, hormigón, etc.) y que mantiene un esquema estructural que se fundamenta en la disposición de pórticos paralelos a fachada generalmente, de hormigón armado, acero o mixtos, obteniendo plantas totalmente libres y la separación entre los elementos estructurales y los de cerramiento.

En España se generaliza estos sistemas constructivos con la llegada en los años 30 del Movimiento Moderno, que supone una nueva tecnología constructiva.

Se trata de estructuras fundamentalmente hiperestáticas, donde cada vano trabaja conjuntamente con los adyacentes, aumentando la seguridad frente al agotamiento y colapso, y admitiendo una redistribución de esfuerzos entre ellos; por lo que, en este tipo de estructuras, las condiciones de apoyo y enlace entre los diversos elementos que las forman, son más exigentes que en las isostáticas.



Esquema de estructura reciente hiperestática.

A continuación, se describen los sistemas estructurales de hormigón armado y acero, en muchos casos encontraremos que las edificaciones responden a una mezcla de los diversos sistemas por cuestiones varias.

1.4.3.1. ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO

El descubrimiento del cemento artificial en 1.824 por el inglés Joseph Aspdin, supone un avance importante en los sistemas constructivos, que a partir del año 1.845 comienza a producirse de forma industrial y a emplearse en todo el sector.

Durante la segunda mitad del siglo XIX, se comienza a introducir en el hormigón en masa unas armaduras de acero, surgiendo el denominado hormigón armado, no generalizándose en toda Europa la construcción de edificios con este nuevo material, hasta que en 1.906 aparece en Francia el primer reglamento oficial para la ejecución y utilización del mismo.

En Valencia la primera construcción de este nuevo material se ejecuta por primera vez en 1.907 en el puente de la pasarela de la Exposición, con motivo de la exposición regional Valenciana de 1909, empleándose con normalidad a partir del año 1.920.

Las estructuras de hormigón armado basan su funcionamiento como tales, en ciertas propiedades de ambos materiales: hormigón y acero. De forma resumida cabe destacar que el trabajo conjunto de ambos materiales se desarrolla a partir de determinadas propiedades, como: adherencia acero-hormigón, resistencia a compresión del hormigón, resistencia a tracción del acero, semejanza de los coeficientes de dilatación lineal de ambos, así como, de propiedades reológicas.

Existen algunas características del hormigón que dificultan la predicción de su comportamiento posterior como son: heterogeneidad del material, fisuración con pequeñas tensiones de tracción, presencia de fenómenos de retracción y de deformaciones diferida en el tiempo (fluencia), así como, gran influencia de los procesos constructivos y de las cargas que recibe durante la construcción.

1.4.3.1.1. LA CIMENTACIÓN

La cimentación se realiza tanto del tipo superficial como profundas, a base de hormigón armado, en función de las necesidades.

La existencia de sótanos de varias plantas, introduce la cimentación con muros pantalla que junto con la losa de cimentación contribuyen a conformar el denominado vaso de cimentación.

1.4.3.1.2. LOS PÓRTICOS

Los pórticos están formados por pilares y vigas de hormigón armado realizado in situ generalmente, o mediante elementos prefabricados en naves industriales, tipología que se está introduciendo en la actualidad en todo tipo de construcciones.

Hasta los años 70 se solían construir los pórticos en primer lugar y luego apoyar los forjados sobre ellos o embebidos en las vigas hormigonados en dos partes. Con posterioridad, se realizan las vigas de los pórticos junto con los forjados, quedando embebidas en los mismos (forjados planos), de ahí que queden en un mismo plano y no sean visibles las vigas cuando se ha terminado la construcción.

La mayoría de uniones entre pilares y vigas se materializan como nudos rígidos (empotramientos), salvo apoyos sobre ménsulas que suelen ser articulados.

1.4.3.1.3. LOS FORJADOS

Los forjados son muy variados tanto por las disposiciones constructivas como por los materiales, en general se usan tanto los unidireccionales, como los bidireccionales, las losas o las placas prefabricadas, empleando elementos de relleno como bovedillas: de yeso los primeros forjados, cerámica, hormigón o poliestireno expandido; o mediante bloques. Realizan el atado de los pórticos en las distintas plantas del edificio.

Esquema de estructura tradicional.

Este tipo de forjados ya incluye la denominada capa de compresión, que consta de una capa de hormigón con una armadura dispuesta en dos direcciones de pequeño diámetro (mallazo) para un mejor reparto de cargas entre los elementos lineales resistentes: viguetas o nervios.

El tipo de forjado más extendido hoy en día en el área geográfica próxima es el unidireccional, formado por semiviguetas resistentes pretensadas, entrevigado de bovedillas cerámicas, relleno de senos de hormigón y sobre ello, una capa de compresión.

1.4.3.1.4. LOS CUERPOS VOLADOS

Los voladizos y los aleros se ejecutan por prolongación del forjado desde los pórticos próximos a la fachada del edificio, bien con la misma tipología o mediante una losa de menor espesor que el forjado en función del vuelo.

1.4.3.1.5. LA CUBIERTA

Las cubiertas se ejecutan mediante forjados planos e inclinados similares a los de las plantas inferiores, sobre los que se dispone el elemento de formación de las mismas.

1.4.3.1.6. LAS ESCALERAS

Las escaleras se ejecutan mediante zancas de hormigón armado sobre las que se dispone el peldañeado, hormigonado a la vez que la correa o ejecutando a posteriori con fábrica de ladrillo.

1.4.3.2. ESTRUCTURAS METÁLICAS

Siendo el hierro conocido desde la antigüedad, no es empleado en construcción como tal, hasta finales del siglo XVIII. En este siglo las construcciones tradicionales empleaban los siguientes materiales metálicos:

- **Hierro fundido**: Material frágil y de poca resistencia a tracción, por lo que se empleaba en columnas.
- **Hierro forjado**: Material dúctil y con una resistencia similar a tracción y a comprensión, empleándose generalmente en elementos solicitados a tracción.

A mediados del siglo pasado empieza a laminarse el hierro (1850) y aparece el convertidor Bessemer, para la obtención del acero en 1855. Este hecho supone la aparición del acero laminado en perfiles, material que por presentar buenas características como: alta resistencia por igual en todas las direcciones principales (isotropía) y posibilidad de ensamblar unos elementos con otros fácilmente, mediante roblonado, soldadura o tornillería, hacen que sea un material muy empleado desde su aparición.

El primer edificio que se construye en valencia de perfiles metálicos es el llamado edificio "Camaña Laymón o casa de hierro" en 1901, sito en la calla de la Paz.

Las estructuras de acero tienen un mayor empleo en edificios industriales, siendo poco frecuente el uso en edificios de viviendas.

1.4.3.2.1. LA CIMENTACIÓN

La cimentación se realiza tanto del tipo superficial como profundas, a base de hormigón armado, en función de las necesidades, al igual que las de hormigón armado.

1.4.3.2.2. LOS PÓRTICOS

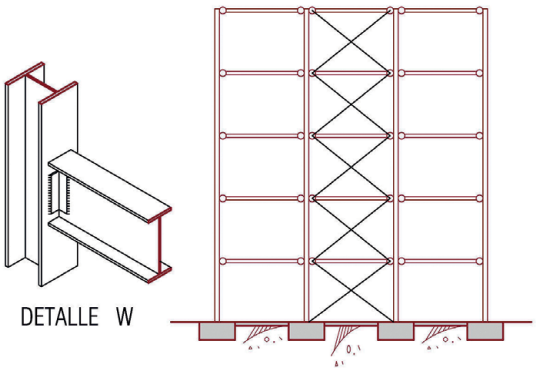
Los pórticos se ejecutan a partir de una amplia gama de perfiles laminados o la unión de ellos, tanto en pilares como en vigas. La disposición de las estructuras metálicas en un edificio tiene desde el punto de vista estructural, gran analogía con los de hormigón armado.

Cuando las estructuras metálicas, generalmente muy flexibles, se pueden ver sometidos a empujes horizontales, se disponen elementos de arriostramiento, generalmente mediante triangulaciones del mismo material (cruces de San Andrés).

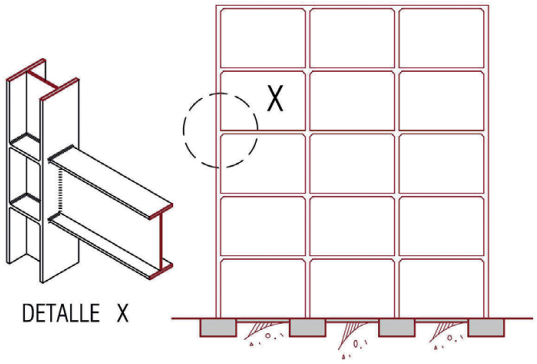
Dentro de las estructuras metálicas hay diversos sistemas de pórticos, según sean articulados o rígidos.

- **Articulados**: las vigas están articuladas sobre los pilares, siendo isostáticas. Tiene el inconveniente de que debe disponerse elementos estructurales (cruces de San Andrés) para resistir los esfuerzos horizontales y la estructura no se convierta en un mecanismo, Ilustración.

- **Rígidos**: la unión de las vigas y pilares se ejecuta de forma rígida (empotramiento), pudiendo resistir los esfuerzos horizontales. Son estructuras hiperestáticas, Ilustración.



Esquema de pórtico articulado.



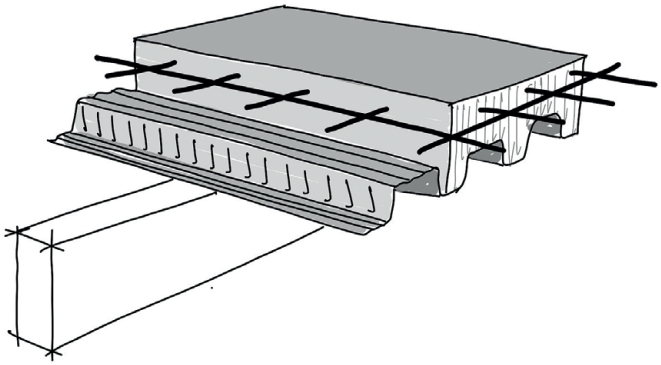
Esquema de pórtico rígido.

1.4.3.2.3. LOS FORJADOS

Los forjados se ejecutan en muchas ocasiones se disponen Igual que los empleados en estructuras de hormigón armado. Actualmente está muy extendido el llamado forjado de chapa colaborante, en el que la chapa que se dispone en la cara inferior absorbe las tracciones y el hormigón las compresiones, reforzados ambos por armadura en algunos casos y con un mallazo en la cara superior.

1.4.3.2.4. LOS CUERPOS VOLADOS

Los voladizos y los aleros se ejecutan por prolongación del forjado desde los pórticos próximos a la fachada del edificio, bien con la misma tipología o mediante una losa de menor espesor que el forjado en función del vuelo.



Forjado de chapa colaborante.

1.4.3.2.5. LA CUBIERTA

Las cubiertas se ejecutan mediante forjados planos e inclinados similares a los de las plantas inferiores, en edificios en altura.

En edificios de uso industrial la estructura de cubierta es a base de cerchas o pórticos de acero sobre las que se dispone las correas también de acero laminado y el material de cubertura.

1.4.3.2.6. LAS ESCALERAS

La escalera se ejecuta mediante zancas perfiles de acero sobre las que se dispone el peldañeado.

2. PATOLOGÍA ESTRUCTURAL DE LAS EDIFICACIONES

Etimológicamente el término "patología" procede del griego: Logos (Tratado, discurso) y Pathos (Enfermedad, dolencia), en términos médicos, se llama patología a la ciencia que estudia las enfermedades o desórdenes que acontecen en el organismo; en construcción podríamos definirla como el estudio de las diversas lesiones que se manifiestan en toda edificación.

La patología de la construcción está íntimamente ligada y de forma inversa a la calidad, y si bien en esta última se ha avanzado mucho y se progresa cada vez más, no se ha disminuido los casos patológicos en la misma proporción, aunque el descenso ha sido notable.

Realmente las lesiones en las construcciones son fenómenos tan viejos como los edificios de los que forman parte.

2.1. CONCEPTOS BÁSICOS

Las edificaciones no son eternas, prueba de ello es la poca cantidad de ellas que han aguantado el paso del tiempo. Existen múltiples factores que condicionan la no perdurabilidad de las construcciones en general, entre las que podríamos citar:

- **La concepción del diseño de la estructura**, tanto en la disposición de sus elementos como en el dimensionado.
- **La durabilidad** de los materiales empleados.
- **El conocimiento impreciso** de las propias condiciones de utilización de los materiales.
- **La propia lesión** que el que proyecta, ejecuta o utiliza la edificación, introduce en los diferentes componentes.
- **Agentes inherentes a la edificación**, como agentes meteorológicos, incendios, sismos, inundaciones, etc.

La durabilidad de una edificación dependerá en gran medida de los cuidados que se le han prestado durante las fases de proyecto, construcción y durante el resto de su vida mediante un adecuado mantenimiento.

De todos es conocido que desde que comienza en servicio un edificio o incluso durante la fase de construcción, se ven aparecer en alguna parte de él lesiones que se manifiestan generalmente mediante fisuras, cuya importancia en la mayoría de los casos es escasa y cuyo origen es variado, casi siempre relacionado con el fraguado de hormigones, morteros y yesos; retracciones, humedades y pequeños asientos.

Estas fisuras cuya incidencia fundamental es más que nada sobre el aspecto estético de la construcción, no son en principio preocupantes si comprueban que la estructura ha sido correctamente concebida y ejecutada. En caso de fisuras de hormigón visto, éstas, aunque no sean de importancia, sí que pueden hacer que las humedades accedan con facilidad a las armaduras y produzcan oxidación, afectando a la durabilidad.

Sin embargo, hay otras fisuras que dan a entender incluso al profano, que el problema que muestran con su presencia puede ser trascendente, bien por su forma, por su situación, por su amplitud o por la velocidad en que se manifiestan.

Tanto en unas como en otras, son muestra evidente de un proceso que conduce al deterioro del edificio. En el caso de las primeras, aun no teniendo una importancia inicial, su falta de tratamiento puede conducir a situaciones que son el origen de un envejecimiento prematuro; en cuanto a las citadas en segundo lugar, constituyen el indicio de algún problema más o menos grave.

El problema principal tras la fisuración, es que se puede producir una variación importante del reparto de cargas y tensiones, bien a lo largo del tiempo o bien de forma más o menos precipitada, esta nueva distribución de cargas produce desequilibrios en el conjunto que, si no son capaces de absorber la estructura y los cerramientos, conducen progresivamente al deterioro y colapso de la estructura.

Estas variaciones estáticas dan origen a lesiones en la edificación que pueden afectar a su propia estabilidad, desembocando en el denominado estado de ruina, que en su grado más avanzado ocasiona el desalojo de sus ocupantes y la inhabitabilidad del inmueble por peligro de derrumbamiento.

Las causas que producen tales situaciones son tan diversas que puede decirse que cada edificio afectado tiene las suyas, casi nunca es una sola si no la combinación de varias de ellas, y la forma del desarrollo del proceso es también un tanto variada. Esto hace que el diagnóstico exacto sea realmente un tanto complejo y la duración del estado de equilibrio, imposible de precisar, ni siquiera con una cierta aproximación. La mayor parte de los daños que presenta una estructura son de tipo evolutivo.

Sobre la complejidad del diagnóstico, cabe señalar una advertencia de un error que se suele dar en la práctica: en las inspecciones sobre lesiones en los edificios, cada técnico actuante tiende a buscar las causas dentro del campo de su especialidad (cimentaciones, estructura, etc.), dando un mayor énfasis casi sin proponérselo, a lo que es materia de su especialidad. Esto tiene una ventaja cuando en la inspección concurren técnicos de diferentes especialidades y es que puede emitirse un diagnóstico previo sobre un problema que en general obedece a un conjunto de causas.

Lo expuesto nos da a entender que una visión global, exige tener en cuenta multitud de factores que originan ese desequilibrio de tensiones en la estructura y las formas en que se desarrolla. Para conseguirlo, únicamente se dispone en las actuaciones de urgencia de indicios externos bastantes imprecisos con los que hay que determinar la situación de las edificaciones.

Las lesiones objeto de la patología se manifiestan no sólo en la estructura, sino a través del resto de elementos constructivos, instalaciones e incluso percibidos por los propios usuarios en el caso de oscilaciones, vibraciones o cualquier otro tipo.

2.2. CAUSAS DE LAS LESIONES

Como se ha comentado, la causa de las lesiones que puede ocasionar el desequilibrio estructural de un edificio y posterior colapso, no es única, sino un conjunto de ellas, que se pueden agrupar en los siguientes apartados:

- Uso de explotación: en condiciones normales y en condiciones desfavorables.
- Modificaciones del suelo y acción de las aguas freáticas.
- Influencias externas (incendios, inundaciones, vientos, explosiones, humedades, ataques de hongos e insectos xilófagos, agentes atmosféricos, etc.).
- Movimientos sísmicos o acciones similares de tipo oscilatorio.
- Errores: de proyecto, de calidad de materiales y de ejecución.

- Causas inevitables.

Las causas de uso de explotación representan fenómenos generalmente inevitables de degradación fruto del envejecimiento de los materiales, pero en estos casos, hay que tener en cuenta, que la vida de la estructura estará muy relacionada con la calidad del proyecto de los materiales y de la ejecución. Los defectos que presente la estructura, consecuencia de lesiones originadas en fase de proyecto o de ejecución, van a tener una influencia enorme en la intensidad de los daños debidos al envejecimiento, haciendo que éste pueda ser muy rápido y que la vida de aquélla sea corta. El mantenimiento de la estructura y la vigilancia periódica de la misma, van a contribuir favorablemente a su conservación en estado normal, y debe de comenzar simultáneamente con la puesta en servicio de la construcción.

Las estructuras no son todas iguales, difieren, aparte de en su concepción tipológica y resistente, en su durabilidad, teniendo cada una de ellas una vida útil máxima, en ocasiones, difícil de determinar.

Los requisitos que han de cumplir el conjunto de elementos que componen la estructura, son los de ser suficientemente resistentes para soportar las cargas con un determinado coeficiente de seguridad y, sin llegar al agotamiento, tener una rigidez y estabilidad adecuada, que les permita resistir cualquier posible distorsión. Si estas condiciones se cumplen tendremos estructuras sanas, si por el contrario, falla alguna de estas condiciones, las estructuras presentarán problemas patológicos.

Las causas por modificaciones del suelo y acción de las aguas freáticas, influencias externas (incendios, inundaciones, vientos, explosiones, humedades, ataques de hongos e insectos xilófagos, agentes atmosféricos, etc.) y movimientos sísmicos o acciones similares de tipo oscilatorio, son totalmente imprevisibles en la mayoría de los casos.

Las causas por explotación inadecuada y errores en las que las fuentes de daños son debidas a defectos de cálculo (hipótesis, falta de precisión de resultados, errores acumulados, falta de coincidencia de la teoría con la realizada, etc.), de los materiales o de ejecución, considerados aisladamente o en conjunto, o a una explotación inadecuada, representan el porcentaje mayor de daños evitables.

Las sobrecargas eventuales sobre las estructuras, no producen en general daños a no ser que pasen de determinados límites y se llegue al agotamiento de la estructura, esto es debido a la contribución de seguridad que proporcionan los coeficientes de mayoración de las acciones y de minoración de las resistencias que se adoptan en los cálculos. Los daños aparecidos como consecuencia de excesos de carga dependen de la intensidad de los mismos y de la duración de la acción. Normalmente estas causas producen lesiones que suelen avisar por ser progresivas con el tiempo.

A veces los efectos debidos a sobrecargas excesivas no se manifiestan de forma inmediata, sino cuando han pasado meses, e incluso años, de la puesta en servicio de la estructura. Esto puede ser debido a que el efecto de la sobrecarga se ha superpuesto sobre otro que tenga una evolución progresiva con el tiempo como puede ser: un efecto de fluencia, una corrosión de armaduras, un envejecimiento de los materiales, ataques de insectos xilófagos, etc.

2.3. MANIFESTACIONES PATOLÓGICAS

La principal forma de manifestarse en un edificio las lesiones es mediante la aparición de **fisuras y grietas**.

Como manifestaciones complementarias, que contribuyen a aportar datos del origen de las lesiones y la situación del estado de la edificación, se incluyen las siguientes:

- **Deformaciones.**

- **Desagregaciones.**
- **Desplomes y pandeos.**
- **Disgregaciones.**
- **Separaciones de elementos estructurales.**

2.3.1. FISURAS Y GRIETAS

Todo movimiento de un edificio presenta alguna manifestación en forma de fisuras y grietas, debido a la rigidez y fragilidad de la mayoría de los materiales que lo conforman.

La capacidad de fisuración de determinados materiales de construcción puede ser considerada como una característica negativa y que, a su vez, representa un índice de apreciación positivo, ya que indica su esquema de comportamiento a través de las fisuras y en consecuencia, permite apreciar preliminarmente el nivel de riesgo que presenta el elemento dañado.

Toda fisura y grieta supone una interrupción en la transmisión de esfuerzos de una parte a otra de la estructura y si la fisura aumenta de longitud y profundidad, el espacio de interconexión de tensiones es cada vez menor, con lo que éstas se concentran peligrosamente en una zona pequeña, manteniéndose difícilmente el equilibrio inicial.

Con la evolución de las técnicas constructivas, se hace cada vez más difícil el estudio de las fisuras y grietas en los propios elementos estructurales, al quedar la mayor parte de ellos ocultos por elementos, tales como: revestimientos formando elementos decorativos no adheridos a la estructura, gran cantidad de falsos techos, etc., así como, por el uso extendido de los forjados planos en los que las vigas y viguetas quedan embebidas. Por eso es necesario el estudio del conjunto del edificio, así como el de los elementos que ocultan las estructuras como las tabiquerías y cerramientos.

En el caso de fábricas de ladrillo o mampostería sin revestir, cuando la fisuración no es muy importante o cuando la resistencia del mortero es inferior a la de los materiales que la forman, las fisuras siguen las llagas (juntas verticales) y tendeles (juntas horizontales) de la fábrica, y solamente son apreciables a una distancia próxima del paramento.

2.3.1.1. CONCEPTO DE FISURA Y GRIETA.

El concepto de fisura y el de grieta es utilizado con mucha frecuencia de forma aleatoria, por lo que conviene establecer la distinción entre ambos:

- **Grieta,** toda abertura que surge en un elemento generalmente superficial (tabique, muro, etc.) que afecta a todo su espesor.
- **Fisura,** toda abertura que afecta solamente a la superficie de un elemento o a su acabado superficial, del tipo que sea.

Algunos autores distinguen las fisuras y las grietas por su amplitud, siendo en ocasiones difícil de distinguir de qué se trata, debido a que las fisuras/grietas suelen partir de cero hasta un valor máximo y no son de amplitud uniforme salvo excepciones.

2.3.1.2. CLASIFICACIÓN DE LAS FISURAS Y GRIETAS

Según la afección a elementos estructurales:

- **No afectan a la resistencia de la estructura**, suelen ser superficiales y, por lo tanto, el único peligro que existirá cuando se produzcan, será la posible destrucción de los materiales que la conforman por medio de agentes atmosféricos, vapores o sustancias nocivas al introducirse en las fisuras.

- **Afectan a la resistencia de la estructura**, suelen ser más profundas que las anteriores, llegando en ocasiones a extenderse a toda la sección de un elemento estructural, siendo un reflejo de una lesión y dando en general, una clara correspondencia entre el tipo de grieta y el esfuerzo que la produce.

Según la actividad que presentan:

- **Vivas**, son las que están sometidas a movimientos y especialmente a cambios en su amplitud y longitud; y que progresan con el paso del tiempo, indicando que la lesión no se ha estabilizado. Se manifiestan con los bordes limpios y se aprecia en la fisura el color vivo del material recién fisurado.

- **Muertas**, son las que no sufren progresión, cualquiera que haya sido su origen e indican que el movimiento se ha estabilizado. En este tipo se encuadran las que aparecen durante la construcción y en el periodo inicial de vida del edificio, tanto las debidas al efecto de retracción como las que desde su aparición actúan de juntas de dilatación y que acusan el movimiento a lo largo de las estaciones del año. Estas se manifiestan con los bordes y el interior de la fisura sucios.

- **Mixtas**, son aquellas que, como consecuencia de un nuevo estado de desequilibrio en la estructura, se forman una serie de fisuras en los extremos de las que se consideraban muertas. Se debe de considerar la totalidad de la grieta como un elemento de observación del movimiento general.

La aparición a simple vista de las fisuras denominadas vivas o muertas, es el indicio racional que permite únicamente tomar conciencia del problema al comenzar la inspección, manifestando que la lesión es reciente o no, sin restar por ello importancia.

Cuando a simple vista no quede claro de qué tipo de grieta se trata, se podrá obtener información, mediante la rotura de uno de los lados de la fisura para observar el interior del otro lado de la grieta, o introducir una lámina de papel en la misma y observar la coloración que adquiere.

2.3.1.3. CONTROL DE FISURAS Y GRIETAS

Para comprobar la progresión de una fisura o grieta desde el punto de vista de la urgencia, puede ser útil cualquiera de los procedimientos siguientes y que se muestran en la Ilustración, destacar que en este caso nos importa saber si tiene evolución y como se desarrolla, no es necesario un registro exhaustivo de amplitudes temporizadas:

- Realizar una marca en forma de cruz con un lápiz o elemento punzante en el extremo de las fisuras, si al cabo de un tiempo la fisura ha rebasado la marca, es señal de que está evolucionando.

- Encajar en la fisura la punta de una aguja, si al cabo de un tiempo cae, es señal de que está evolucionando.

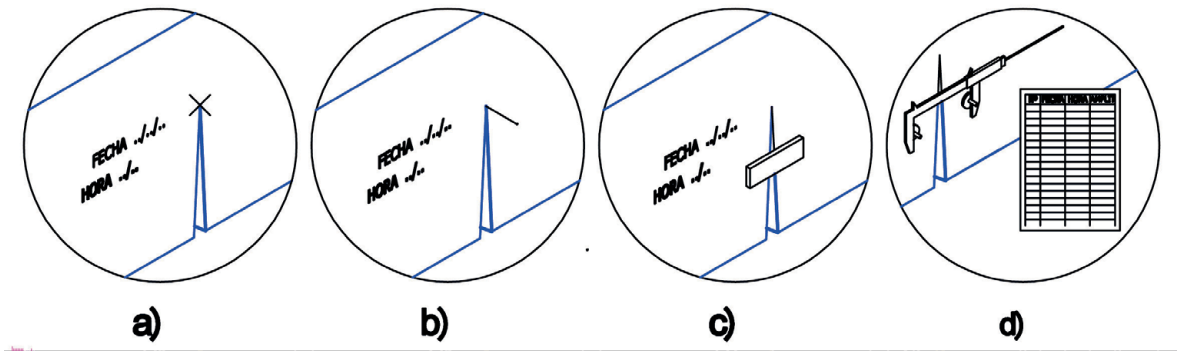
- Realizar unos testigos de yeso muy finos de 2 o 3 mm. de espesor. Es un procedimiento en que hay que tener en cuenta la humedad del elemento en que se dispone, ya que si se entumece el yeso se dificulta la rotura. Si al cabo de un tiempo se rompe el testigo, es señal de que está evolucionando. Sistema poco adecuado, aunque es el de más fácil empleo.

- Colocar a ambos lados de la fisura formando una línea perpendicular a ella unos clavos con arandela y resalto plano, que permiten además de detectar un movimiento, el realizar un registro intermitente de su progresión mediante un calibre o pie de rey, posibilitando de esta forma el control del movimiento de la fisuración con el tiempo. Su precisión es suficiente, del orden de 0.05 a 0.1 mm. El único inconveniente es que no manifiesta de un simple vistazo si existe progresión, al menos que no se efectúe la medición y se contraste con las anteriores, para lo cual se deberán de registrar todas las mediciones indicando la fecha, la hora y la amplitud de la fisura en cada medición que se efectúe. Sistema poco adecuado en inspecciones de urgencia.

- Colocar una regla graduada sobre una corredera, fijadas ambas partes por separado a cada lado de la fisura (fisurómetro), de esta forma se obtiene una lectura directa.

Los procedimientos a, b y c indicados en la Ilustración detectan la evolución del movimiento inmediato a su aplicación, debiendo aplicarlos de nuevo cada vez que se nos produzca un nuevo movimiento.

Indistintamente del procedimiento que se emplee, es conveniente que se indique junto a él, la fecha y la hora en que se puso, ya que nos servirá de utilidad tanto para realizar un seguimiento y evolución de las lesiones durante la inspección de urgencia, como para una posterior inspección detallada.



Métodos de control de fisuras y grietas.

Cuando las fisuras sean de pequeña entidad que es imposible apreciarlas a simple vista, en estos casos, un procedimiento para observarlas sería el siguiente: mojar el paramento donde se sospeche que existe este tipo de fisuras y esperar a que se seque la superficie, quedando la fisura húmeda durante algún tiempo y mostrando una coloración distinta del resto del material.

2.3.2. DEFORMACIONES

En este apartado se quiere hacer referencia a las deformaciones de elementos horizontales, tales como vigas y forjados, Ilustración.

Las deformaciones en elementos planos también nos pueden dar una idea del estado en que se encuentran las edificaciones y en general, obedecerán a un exceso de cargas, a

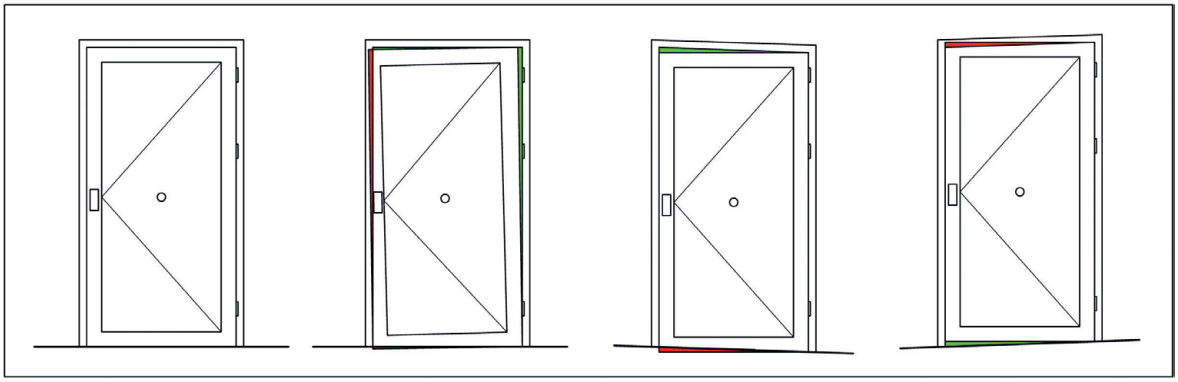
Deformación de viga cumbrera.

una merma en las secciones de las viguetas, a contraflechas en los encofrados o a un descenso de los mismos, etc.

Hay que tener en cuenta que la deformación de un elemento estará condicionada por las cargas que reciba, así como, por la mayor o menor rigidez y flexibilidad que tenga, por lo que elementos de hormigón presentarán niveles de seguridad inferiores a elementos de acero o madera con las mismas deformaciones, que siempre serán mayores en estos últimos antes de producirse el agotamiento de la pieza.

Cuando la deformación de un forjado o viga de hormigón se deba a un descenso de los encofrados durante la fase de encofrado y vertido del hormigón, se aprecia por la falta de fisuración en vigas y viguetas, al contrario de los que ocurre cuando es por otro motivo. Si la deformación se produce durante la fase de fraguado del hormigón, nos aparecerán unas fisuras en la cara inferior que no forman una línea recta y que sigue los contornos del árido.

En muchas ocasiones la deformación de forjados afecta a los paramentos que están en contacto por abajo o arriba según caso, así como a los elementos de carpintería y huecos situados en dichos paramentos, Ilustración.



Deformación de huecos de puertas.

2.3.3. DESAGREGACIONES

La desagregación de los materiales de construcción, es causada fundamentalmente por la mala calidad de los materiales que con el paso del tiempo se deterioran, o por la existencia de un ataque químico sobre los mismos.

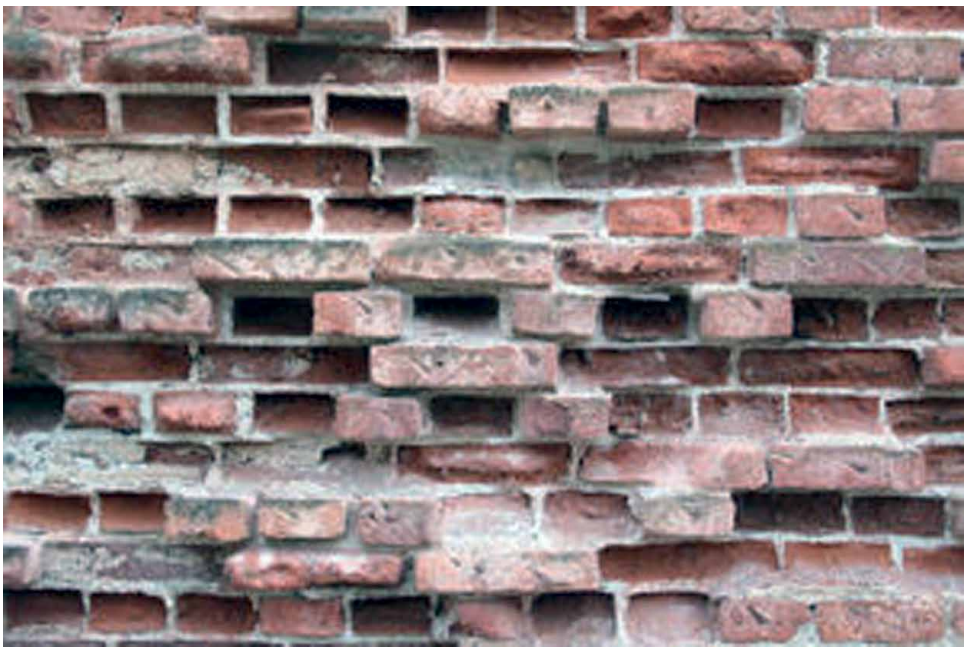
El fenómeno de la desagregación se inicia en la superficie de los materiales con un cambio de coloración en general, seguido de un aumento en el espesor de las fisuras entrecruzadas que aparecen por este motivo y de un abarquillamiento de las capas externas debido a los aumentos de volumen que experimenta y, finalmente, de la desintegración de la masa del mismo, Ilustración.

Como consecuencia de la desagregación, los materiales pierden su cohesión al destruirse el conglomerante, perdiendo por tanto aquellos sus resistencias iniciales y acabando por convertirse en una masa incoherente. En la desagregación de hormigones y morteros, el cemento va perdiendo su carácter de conglomerante quedando, por lo tanto, los áridos libres de la unión que les proporciona la pasta.

Quizá la causa principal de las desagregaciones, sean los sulfatos y los cloruros. Si el hormigón y los morteros no están fabricados con un cemento adecuado al medio en que va a estar expuesto, si no se

han tomado las precauciones debidas de protección, si no son suficientemente compactos, etc., no es de extrañar que aparezcan lesiones de muy difícil curación.

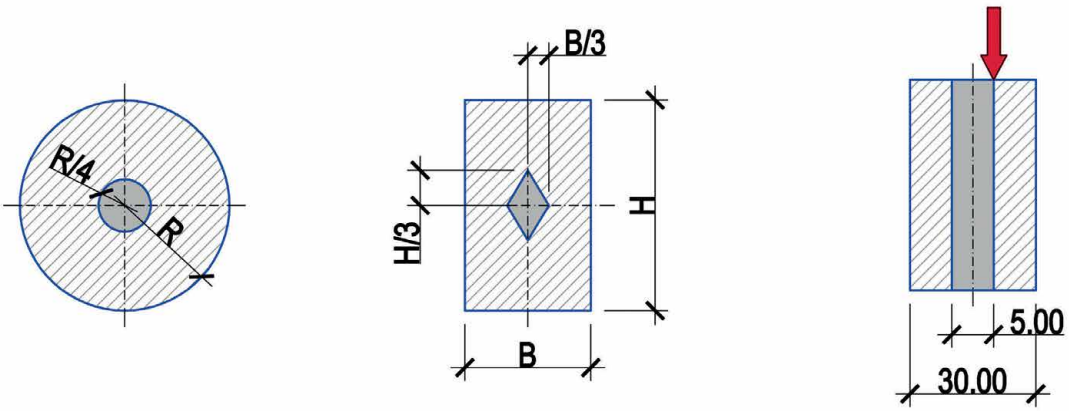
Las desagregaciones deben de ser preocupantes y motivo de alarma por los graves efectos a que pueden dar lugar sobre los elementos estructurales y especialmente sobre las cimentaciones.



Desagregación de ladrillos macizos.

2.3.4. DESPLOMES Y PANDEOS

Los desplomes y pandeos se manifiestan en los elementos sustentantes verticales demasiado cargados, elementos que reciben empujes o que están sometidos a continuas humedades. Pueden apreciarse o no a simple vista, en éste último caso sin revestir en general mayor importancia. Siempre que sean importantes y que conlleven una fisuración en las zonas adyacentes, es preciso conocer la desviación del soporte o muro sobre su eje o plano vertical, teniendo en cuenta que la resultante de cargas esté contenida en el núcleo central de la sección, para que no aparezcan tensiones de tracción, Ilustración.



Núcleo central.

La gravedad de los desplomes y pandeos, radica en que frecuentemente la causa originaria sigue actuando y es de temer su progresión por empujes, exceso de cargas, etc., a la vez que la distribución de esfuerzos sobre la base de sustentación sufre modificaciones por transformar el trabajo a compresión de un elemento vertical en flexión compuesta, dada la aparición simultánea de esfuerzo de tracción y compresión sobre dicho elemento vertical, que en la mayoría de los casos no está preparado para absorber estos esfuerzos cuando son importantes.

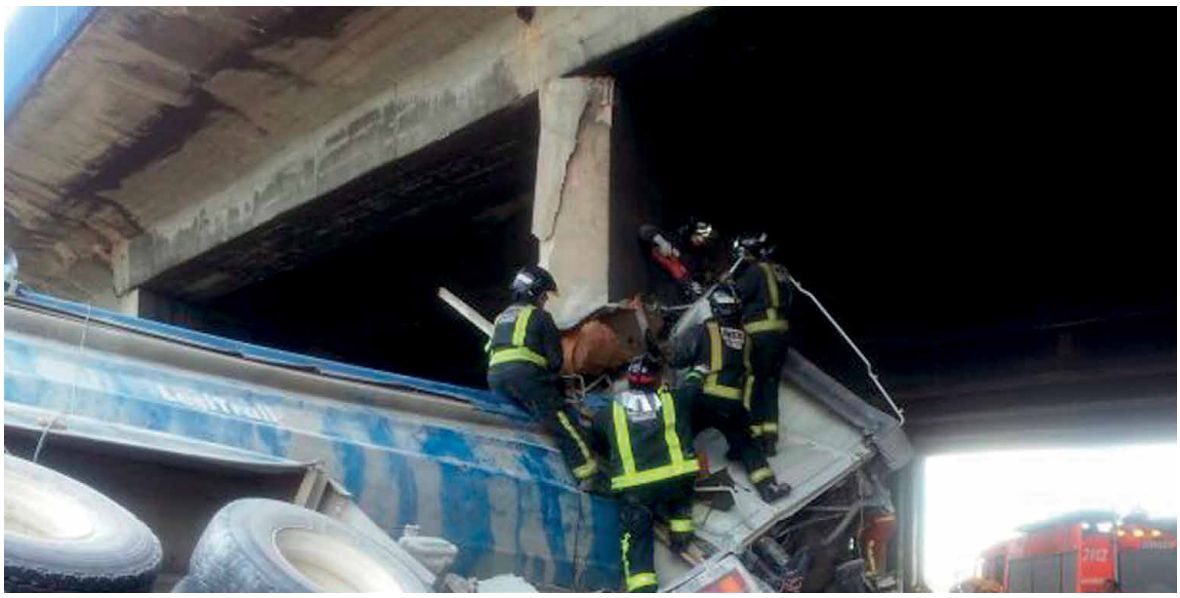
Pandeo de pilar.

2.3.5. DISGREGACIONES

La disgregación de los materiales de construcción, tiene su origen en esfuerzos internos que dan lugar a fuertes tracciones que no son capaces de soportar. Cuando la tensión de tracción sobrepasa a la tensión de rotura, se producen fisuras que pueden enlazarse entre sí, haciendo que salte el material que se encuentra entre ellas.

Uno de los motivos más frecuentes de disgregación es la corrosión de armaduras, que mediante la presión ejercida por la capa de óxido de éstas sobre los materiales que las contienen, dan lugar a un fuerte estado tensional que termina haciendo saltar el hormigón o mortero de recubrimiento.

Otro motivo que da lugar a disgregaciones puede ser un fuerte estado tensional producido por cargas excesivas que dan lugar a apreciables deformaciones en elementos estructurales o por impactos, Ilustración.



Disgregación por impacto.

El material disgregado es un material sano que conserva sus características de origen en general, pero que ha sido incapaz de soportar los esfuerzos anormales que sobre ellos han actuado. Ello se observa por que la rotura ha afectado tanto a los áridos como a la pasta cementante.

En ocasiones, las disgregaciones son producidas por un efecto de desagregación interna de los materiales, reconociéndose por la falta de cohesión y que la rotura solamente afecta a la pasta aglomerante, siendo en éste caso muy peligrosas al indicarnos que la resistencia del elemento en que se ha producido la disgregación está mermada.

2.3.6. SEPARACIONES DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

La separación de elementos estructurales se presenta en general, en sistemas estructurales isostáticos sin suficientes elementos de arriostramiento y donde la unión entre elementos estructurales se confía únicamente al rozamiento en las uniones entre elementos verticales y horizontales.

Entre las causas que provocan estas lesiones cabe destacar las siguientes: giros y rotaciones como consecuencia de movimiento de las cimentaciones, empujes de arcos, bóvedas y del terreno, empujes por dilataciones y deformaciones excesivas de elementos horizontales, etc.

También se puede dar en elementos estructurales de fábrica, compuestos de varias hojas, en los que por falta de ligazón entre ambas o por la existencia de cargas excéntricas que no son capaces de redistribuir, hace que se separen las mismas (deshojar).

Las vigas merecen una especial atención en estos casos, ya que suelen ver reducida la longitud de entrega; agravándose en el caso de vigas de madera con posible ataque en cabeza de insectos xilófagos o pudriciones. Esta reducción de entrega, también tiene un agravante en vigas de grandes solicitaciones y deformaciones excesivas, ya que, al reducir el momento de empotramiento en la unión con el elemento vertical, aumenta el momento en el vano y la deformación de la viga y se transmite un empuje en el apoyo, contribuyendo con ello a aumentar la separación inicial, Ilustración.

Empuje por deformación de viga.

2.4. CLASIFICACIÓN DE LAS LESIONES

Las clasificaciones que se establecen para las lesiones son muy variadas en función de los motivos en que se quieran agrupar, en este documento se establece una clasificación que recoge las lesiones que afectan mayormente a elementos estructurales, no siendo objeto el análisis de otro tipo de lesiones que no tengan trascendencia estructural.

Estas lesiones se nos van a presentar mayormente mediante la aparición de fisuras o grietas, además del resto de formas complementarias: deformaciones, desagregaciones, desplomes y pandeos, disgregaciones o separaciones de elementos. En cualquier caso, lo que observamos inicialmente son daños como consecuencia de la aparición de defectos por alguna causa.

Las lesiones que afectan a elementos estructurales se agrupan en dos, atendiendo a las razones de inspección, con la finalidad de inspeccionar desde lo general a lo particular: en un grupo se clasifican las lesiones que se manifiestan afectando al conjunto o parte de un edificio y que provienen tanto de la cimentación como de la propia estructura; y otro grupo, en que se clasifican las lesiones que se manifiestan en los diversos sistemas estructurales y que afectan a los elementos que las forman, las lesiones por sismo se tratan en tema aparte, por lo que se establece la siguiente clasificación:

CLASIFICACIÓN DE LAS LESIONES			
LESIONES QUE SE MANIFIESTAN EN EL CONJUNTO DEL EDIFICIO.			
ORIGINADAS EN LA BASE DE LA CIMENTACIÓN		ORIGINADAS EN LA ESTRUCTURA	
▪ Asientos. ▪ Desplazamientos.	▪ Esponjamientos. ▪ Rotaciones.	▪ Aplastamientos. ▪ Deformaciones. ▪ Desplazamientos.	▪ Pandeos. ▪ Rotaciones.
LESIONES QUE SE MANIFIESTAN EN LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES.			
ESTRUCTURA DE ACERO		ESTRUCTURA DE FÁBRICA	
▪ Corrosión. ▪ Deformaciones. ▪ Desgarro laminar.	▪ Incendio. ▪ Rotura frágil. ▪ Rotura por fatiga.	▪ Compresión. ▪ Cortante. ▪ Empujes. ▪ Humedades.	▪ Incendio. ▪ Pandeo. ▪ Torsión.
ESTRUCTURA DE HORMIGÓN ARMADO		ESTRUCTURA DE MADERA	
▪ Afogarado. ▪ Anclaje. ▪ Compresión. ▪ Corrosión. ▪ Cortante. ▪ Flexión. ▪ Flexión compuesta.	▪ Humedades. ▪ Incendio. ▪ Punzonamiento. ▪ Rasante. ▪ Retracción. ▪ Torsión. ▪ Tracción.	▪ Compresión. ▪ Cortante. ▪ Flexión. ▪ Hongos.	▪ Incendio. ▪ Insectos Xilófagos. ▪ Meteorización. ▪ Tracción.

2.4.1. LESIONES QUE SE MANIFIESTAN EN EL CONJUNTO DEL EDIFICIO

Existen algunos tipos de lesiones tales como: asentamientos, desplazamientos, esponjamientos del terreno, rotaciones, etc., que se manifiestan en el conjunto del edificio o parte del mismo y que nos darán información acerca de su posible causa.

En general no será sencillo a simple vista determinar en función del tipo de fisuras que se manifiesten en el edificio, el origen de las mismas, tanto si se encuentra en la cimentación, en la propia estructura o por cualquier otra circunstancia. Esto hará necesario recurrir a un análisis pormenorizado del conjunto de elementos que componen la estructura, de forma individual.

En este apartado se hace una distinción entre las lesiones originadas en la base de la cimentación y las originadas en la propia estructura.

2.4.1.1. LESIONES ORIGINADAS EN LA BASE DE LA CIMENTACIÓN

2.4.1.1.1. ASIENTOS

Las lesiones por asiento provienen del descenso del plano de apoyo del edificio o parte de él, formando un capítulo muy amplio entre los tipos de lesiones, por ser los casos frecuentes y variados.

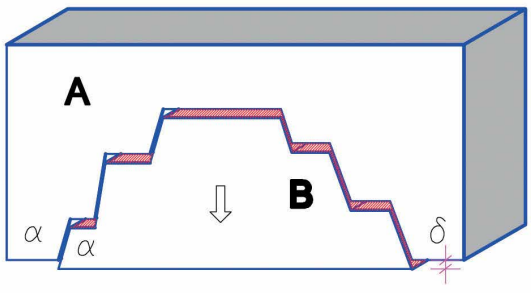
Un descenso de diferente valor entre el plano de apoyo de una parte de la cimentación con respecto de otra (asiento diferencial), es un caso particular de la incidencia de un esfuerzo de flexión en un sistema complejo, constituido por materiales y elementos de distintas rigideces, como muros de cerramiento de gran rigidez compuestos por elementos de poca resistencia a flexión como el ladrillo, así como por jácenas de poca rigidez. En ocasiones, junto al asiento tiene lugar una ligera rotación o desplome del elemento que cede.

En la primera fase de la deformación por asiento, todo el esfuerzo es resistido por los elementos de cerramiento, que una vez que hayan fallado, las solicitaciones pasarán sobre los elementos estructurales. Cualquier tipo de edificio con independencia del tipo de estructura, presentará síntomas muy parecidos.

Las lesiones sobre elementos superficiales se ajustarán sensiblemente a los recorridos de las isostáticas de compresión en la flexión, es decir, perpendiculares a las de tracción.

Las discontinuidades de construcción, las zonas de menor resistencia y la presencia de vigas y zunchos, suelen implicar modificaciones sensibles a los casos generales.

En general los asentamientos producen una rotura de los muros de cerramiento que descienden en el mismo plano vertical en que se encontraban. En la Ilustración, se indica como ejemplo un asiento central de un muro, donde se puede observar como toda una zona **B** ha cedido en sentido vertical, formando las líneas de fisura un arco de descarga natural en la zona **A**, y se observa que las grietas verticales tienen muy poca abertura frente a las horizontales, manteniéndose ambas zonas en un mismo plano cuando no existen empujes sobre la zona asentada.



Lesión de asentamiento central de un muro, arcos de descarga.

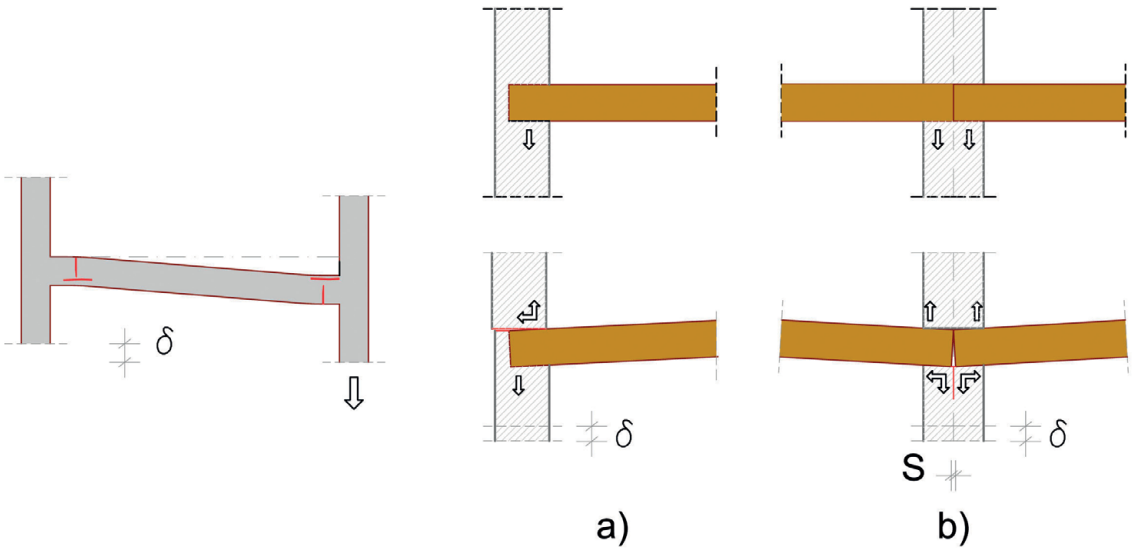
En los apartados siguientes se analizarán las manifestaciones de las lesiones de asientos en muros y tabiques, que no son las únicas, por lo que a continuación se expondrán las lesiones que causan en los elementos estructurales como consecuencia de estos asientos y que son comunes a todos los casos de asientos (también se suelen dar en caso de acortamientos de pilares):

- En pórticos de hormigón armado, se producen en las vigas que están unidas al pilar que cede, fisuras de tracción en la cara inferior o de compresión en la superior, todas ellas en la zona próxima al nudo, al contrario de cómo se producen en el extremo contrario, con fisuras de tracción en la cara superior o de compresión en la inferior, Ilustración.

- En pórticos de estructura con sistema tradicional donde las vigas no son continuas en los nudos, se pueden manifestar las siguientes lesiones cuando los asientos son importantes:

    - En ambos extremos de la viga que cede junto al pilar o muro, se introducen momentos que tienden a desorganizar el nudo, Ilustración.

    - En la cabeza del pilar que cede, como consecuencia del asiento cuando los extremos opuestos al nudo de las vigas se encuentran fuertemente unidos, se produce una tracción por parte de ambas vigas que tienden a desgarra el pilar en dos, cuando es de fábrica de mampostería irregular o se ha suplementado la sección y en ambos casos en pilares de dimensiones importantes, manifestando una fisura en ambas caras paralelas al pórtico, anchas en la cabeza del pilar y capilares hacia el centro del pilar, Ilustración.



Lesión por asentamiento en pórticos y sistemas tradicionales.

2.4.1.1.1.1. EL CONCEPTO DEL MARCO

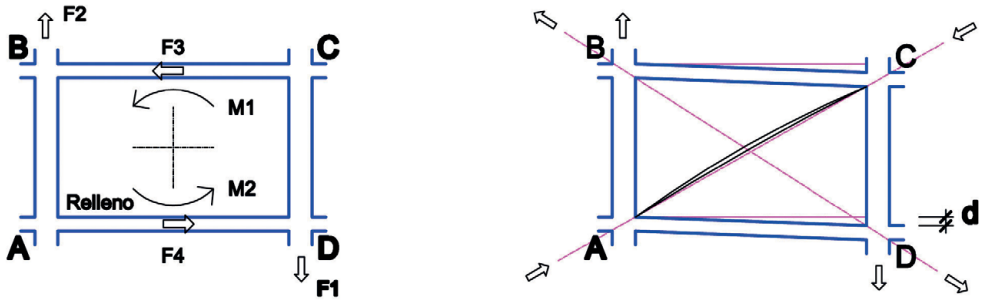
El concepto de marco es la base para entender las lesiones que se manifiestan en los cerramientos como consecuencia de un descenso o ascenso de un pilar de un pórtico.

Se denomina marco al rectángulo comprendido en un plano vertical, limitado en su perímetro por elementos horizontales como vigas, zunchos, forjados, etc., y por elementos verticales como pilares, pilastras, muros de carga o cerramiento, pudiendo estar a ras de suelo o a determinada altura.

Este concepto es de importancia ya que en general, va a ser el relleno interior del marco donde se manifiesten las fisuras, como consecuencia de la deformación del contorno debido a alguna lesión, y es precisamente el lugar donde podemos obtener información de las causas de las lesiones, independientemente de los problemas que se puedan dar en los elementos de la estructura.

Supongamos que en el marco de la Ilustración, existe un asiento en el extremo, esto supone la existencia de una fuerza F_1 en dicha dirección, por lo que en la dirección del extremo **A-B**, aparecerá otra fuerza F_2 que trata de equilibrar la anterior, de igual cuantía y de sentido contrario. El sistema resultante se encuentra en equilibrio de fuerzas verticales, pero al no estar situadas en el mismo eje se produce un giro, que para equilibrarlo es necesario introducir dos momentos iguales M_1 y M_2 producidos por las fuerzas F_3 y F_4 de igual valor, situadas en la zona inferior y superior del marco, que en realidad van a actuar por rozamiento entre el relleno y los elementos horizontales del perímetro. El grado de rozamiento entre el relleno y su perímetro, así como la resistencia del relleno, son los que van a influir para que se produzcan unas fisuras u otras.

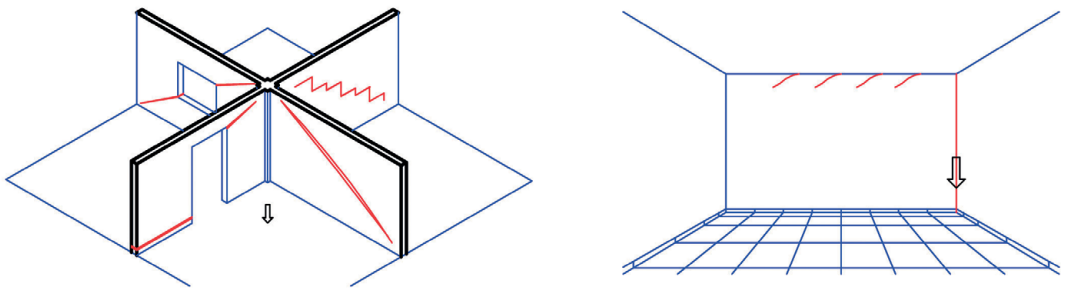
Las grietas son el resultado de la rotura de los materiales del relleno del marco por tracción, y se manifiestan en la línea de la isostática de máxima compresión. En la práctica estas líneas de rotura aparecen en forma de parábola, más o menos abierta, con la parte cóncava hacia el punto donde se ha aplicado la fuerza que ha desequilibrado el sistema, Ilustración.



Fuerzas que actúan sobre el marco y esfuerzos sobre el relleno.

En función del tipo de relleno del marco y de la magnitud del movimiento se pueden dar distintos tipos de grietas, Ilustración.

- Grietas parabólicas que siguen la mínima sección del muro que se opone al movimiento.
- Grietas parabólicas que afectan a todo el paramento, fraccionándolo limpiamente.
- Grietas escalonadas siguiendo la forma parabólica que afectan a todo el paramento, fraccionándolo por las llagas y tendeles de la fábrica.
- Grietas horizontales por despegue del paramento del forjado y verticales en los encuentros con otros o con pilares.
- Grietas por cortante inclinadas 45° con los encuentros.



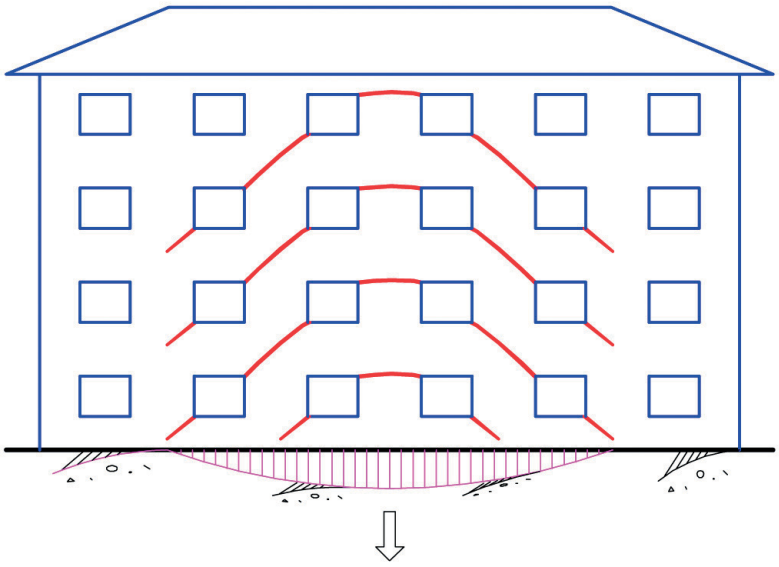
Lesiones manifestadas en los rellenos del marco.

2.4.1.1.2. ASIENTO CENTRAL

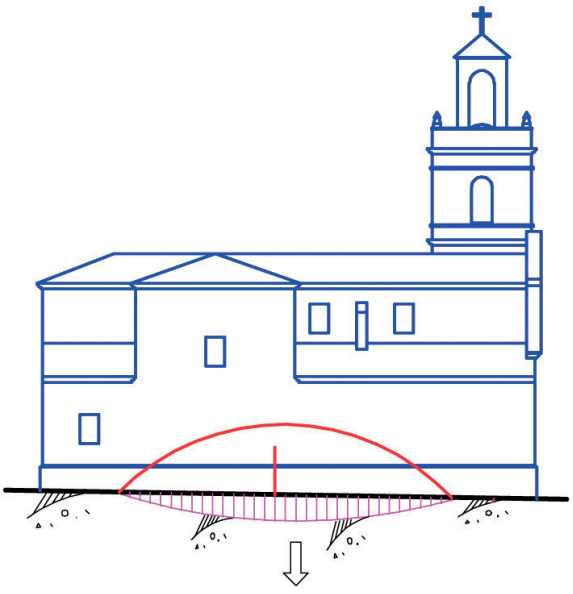
La forma que adopta un asiento central de un edificio con paramento aligerado por huecos, es la producida por el fenómeno, que da lugar a compresiones en las plantas superiores y tracciones en las inferiores a nivel de la cimentación, manifestándose distintos tipos de grietas, Ilustración:

- Grietas por la formación de un arco de descarga natural sobre la zona que ha cedido siguiendo las líneas de menor sección del paramento, anchas en la parte central y capilares en los extremos.

- Grietas verticales en la parte inferior central de la zona que ha cedido del paramento, anchas en la parte inferior y capilares en la superior, cuando el fenómeno sea de importancia.



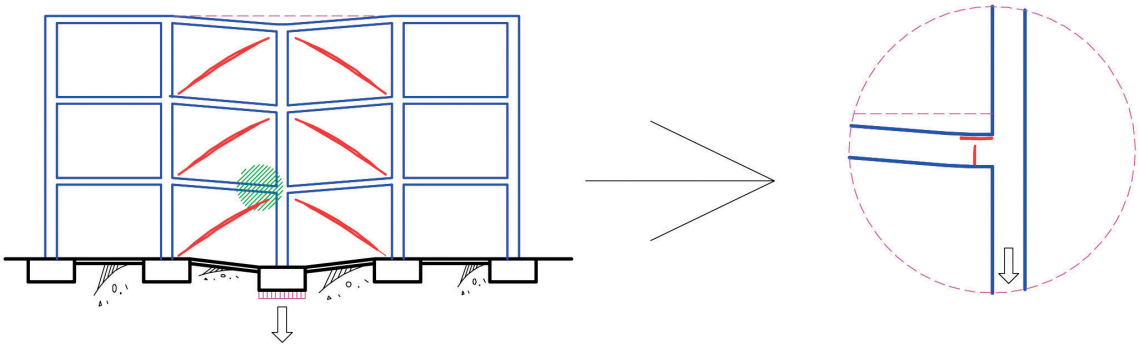
Lesiones de asentamiento central de un muro aligerado por huecos.



Lesiones de asentamiento central de un muro ciego.

Sobre un muro sin huecos en que ha cedido la parte central, el apoyo rígido queda en los extremos del mismo, manifestándose unas grietas debidas a la formación del arco de descarga sobre la zona que ha cedido, anchas en la parte central y capilares en los extremos, Ilustración.

Sobre una estructura de pórticos de hormigón armado o acero con relleno de los marcos, aparecen unas fisuras parabólicas en los paramentos adyacentes al pilar que cede y en todas las plantas, que siguen una diagonal teórica entre la parte superior del pilar que cede en esa planta y la base de los pilares laterales, con la concavidad hacia el pilar que cede, siendo ancha en la parte central y capilar en los extremos.



Lesiones de asentamiento central de un pórtico.

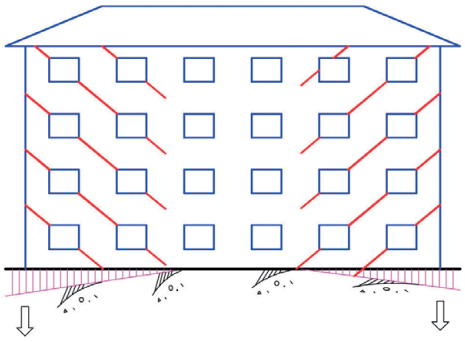
2.4.1.1.3. ASIENTO DE EXTREMOS

La forma que adopta un asiento de dos extremos de un edificio con paramento aligerado por huecos, es la producida por el fenómeno que da lugar a tracciones en las plantas superiores y compresiones en las inferiores a nivel de la cimentación, manifestándose distintos tipos de grietas, Ilustración:

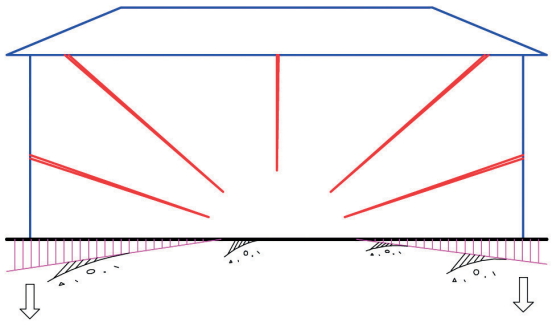
- Grietas en forma curva siguiendo las líneas de menor sección del paramento que se opone al movimiento, con centro aproximado en el encuentro del muro de cerramiento con la cimentación, repitiéndose en ambos extremos en función de la diferencia de asiento entre ambos.

- Grietas verticales en la parte superior central del paramento, anchas en la parte superior y capilares en la inferior, cuando el fenómeno sea de importancia.

Sobre un muro sin huecos en que han cedido los extremos, el apoyo rígido queda exclusivamente en la parte central del mismo, manifestándose una serie de grietas radiales concentradas en ese punto, y que conforme se alejan hacia los extremos ascienden y son más anchas, Ilustración.



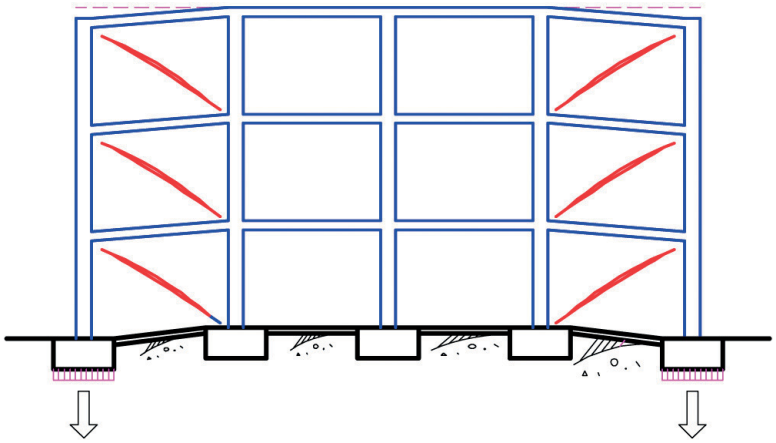
Lesiones de asentamiento de extremos de muro aligerado por huecos.



Lesiones de asentamiento de extremos de muro ciego.

Sobre una estructura de pórticos de hormigón armado o acero con relleno de los marcos, aparecen unas grietas parabólicas en los paramentos adyacentes al pilar que cede y en todas las plantas, que siguen una diagonal teórica entre la parte superior del pilar de esquina en esa planta y la base de los

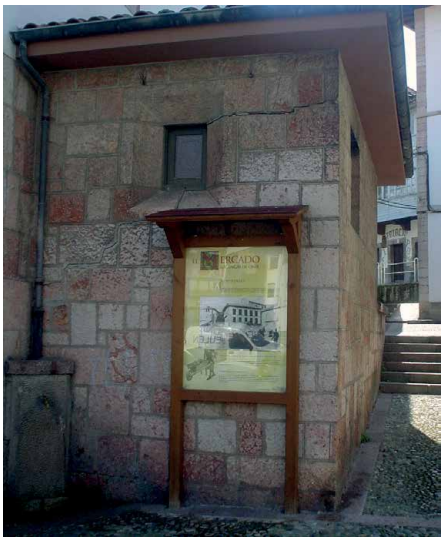
pilares laterales, con la concavidad hacia el pilar que cede, siendo ancha en la parte central y capilar en los extremos.

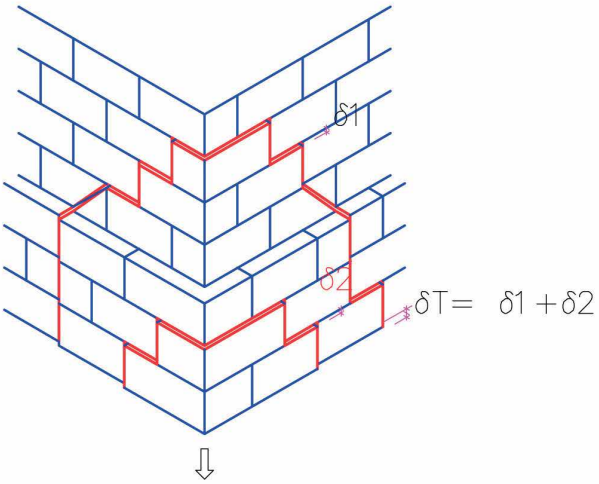


Lesiones de asentamiento de extremos de un pórtico.

2.4.1.1.4. ASIENTO DE ESQUINA

El desplazamiento vertical de una esquina de un muro, se manifiesta mediante una serie de grietas horizontales abiertas de igual amplitud en los distintos asientos localizados y de unas fisuras verticales que se encuentran cerradas con una ligera inclinación contraria hacia el lado del cedimiento. Cuando se producen distintos asientos, la suma de las distintas grietas horizontales intermedias corresponden al total del movimiento por asiento, Ilustración.





Lesiones de asentamiento de esquina en un muro.

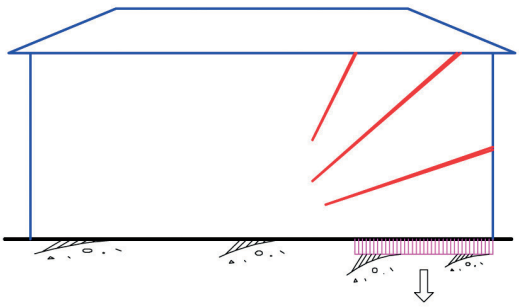
Sobre un paramento macizo en que se ha producido un asiento de esquina, aparecen distintos tipos de grietas, Ilustración:

- Grietas verticales en la parte alta cercana al centro del paramento, con inclinación hacia la esquina que cede, aumentando la inclinación al acercarse más a esta y siendo anchas en la parte superior y capilares en la inferior.

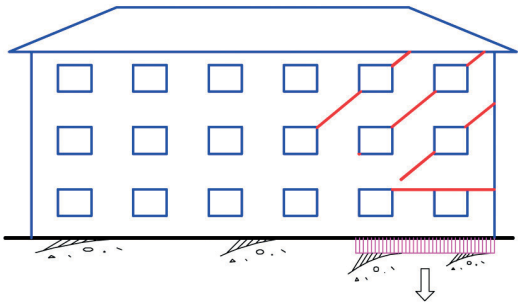
- Grietas inclinadas en forma de S en la parte superior de la esquina, anchas en la parte central y capilares en los extremos.

- Grietas horizontales cercanas al suelo, ancha en la esquina y capilar en el extremo, con aparición más tardía que el resto. Generalmente aparecen cuando el asiento es muy rápido.

Si el paramento está aligerado por huecos, las grietas son similares a las descritas anteriormente, siguiendo las líneas de menor sección del paramento, afectando a esquinas opuestas de los huecos, Ilustración.

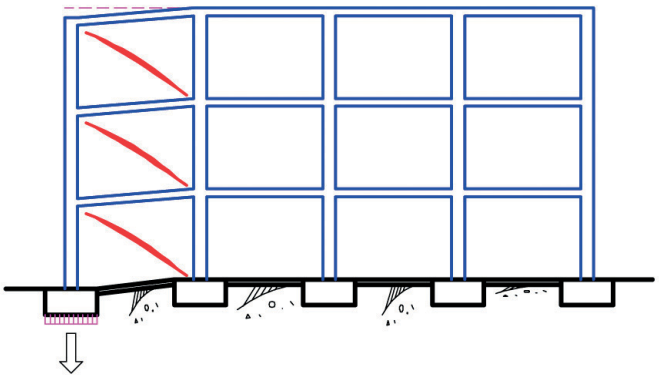


Lesiones de asentamiento de la esquina de muro ciego.



Lesiones de asentamiento de la esquina de muro y muro aligerado por huecos.

Sobre una estructura de pórticos de hormigón armado o acero con relleno de los marcos, aparecen unas grietas parabólicas en los paramentos adyacentes al pilar de esquina que cede y en todas las plantas, que siguen una diagonal teórica entre la parte superior del pilar de esquina en esa planta y la base de los pilares laterales, con la concavidad hacia el pilar que cede, siendo ancha en la parte central y capilar en los extremos, Ilustración.



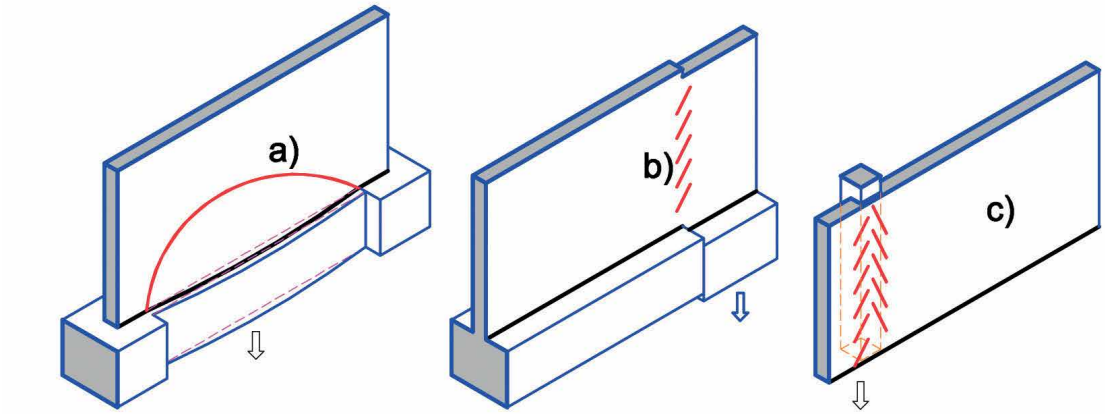
Lesiones de asentamiento de la esquina de un pórtico.

2.4.1.1.5. ASIENTO PUNTUAL

El asiento puntual en la base de cimentación de un paramento con cimentación corrida, se manifiesta mediante la formación de arcos de descarga naturales, Ilustración.

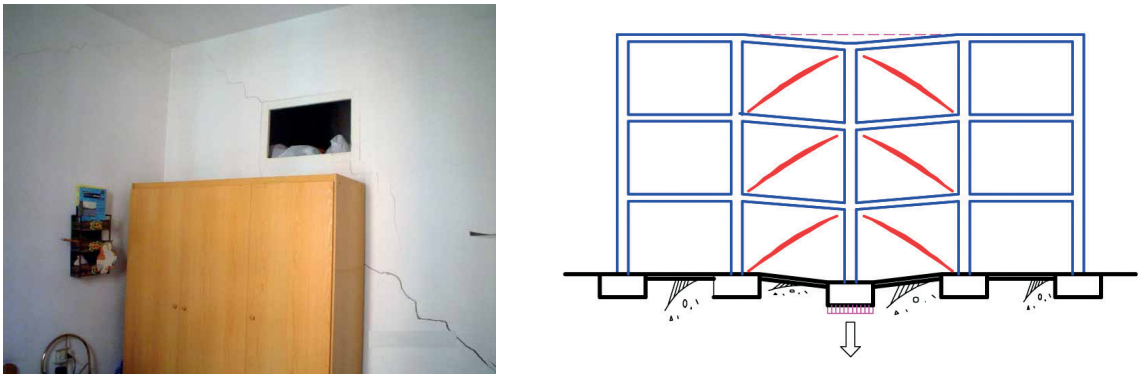
Si el asiento se debe a una importante carga, se manifiesta mediante fisuras de cortante inclinadas 45° con la vertical a los lados de la fracción del paramento que cede. Ilustración.

Si el asiento se produce en un pilar que tiene el cerramiento pasante por delante del mismo, se manifiesta mediante fisuras de cortante inclinadas 45° con la vertical entre el pilar y el cerramiento. Ilustración.



Lesiones de asentamiento puntual en un paramento.

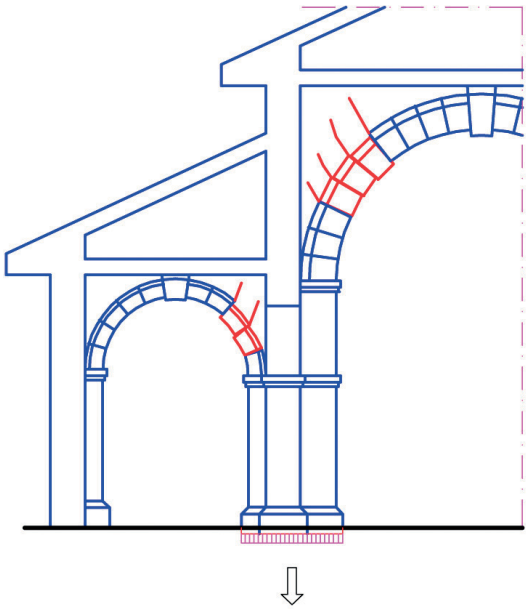
El asiento de un pilar interior del edificio, se manifiesta en los paramentos que tienen encuentro con el pilar mediante grietas de forma parabólica que siguen una diagonal teórica que une la parte superior del pilar que cede con la parte inferior del otro extremo del paramento, con la parte cóncava hacia el pilar, siendo anchas en la parte central y capilares en los extremos.



Lesiones de asentamiento de un pilar interior de un pórtico.

El asiento de un pilar sobre el que se apoyan unos arcos, se manifiesta de acuerdo a la Ilustración:

- Escalonamiento de las dovelas que forman los arcos situadas próximas al pilar por haber resbalado entre sí.
- Grietas en el relleno del trasdós del arco cuando exista, que parten ligeramente inclinadas en la vertical del encuentro de dos dovelas que han cedido, anchas en la parte inferior y capilares en la superior.



Lesiones de asentamiento de un pilar que soporta arcos.

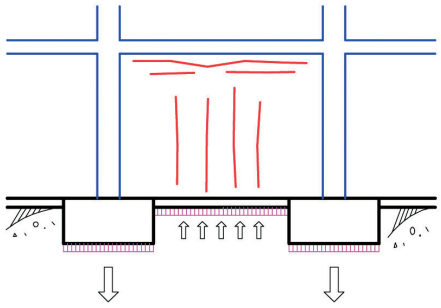
2.4.1.1.6. ASIENTO DEL CONJUNTO

Este tipo de asiento es poco frecuente en la edificación y las lesiones se manifiestan en los elementos circundantes al edificio más que en el propio edificio. Este cedimiento afecta rompiendo las canalizaciones de acometida al edificio tales como: agua, desagüe, gas, etc. así como, al despegue de aceras y rampas de conexión del edificio con la vía pública y de la medianera cuando son independientes.

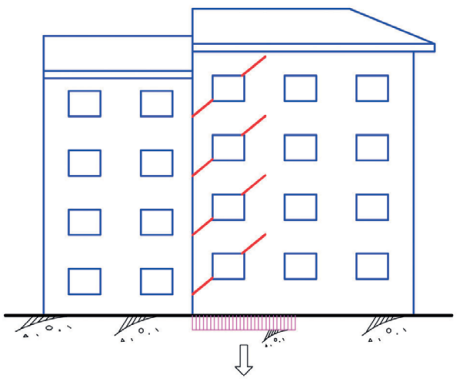
En el asentamiento de un edificio puede ocurrir que desciendan los pilares en mayor medida que la solera de planta baja, manifestándose mediante grietas en la tabiquería interior, en los que según la altura y composición de los mismos se dan los siguientes tipos:

- Grietas verticales por aplastamiento en el centro de los tabiques.
- Grietas horizontales en la parte central del tabique debidas al pandeo de los mismos cuando son esbeltos.
- Grietas horizontales por aplastamiento en tabiques delgados o en zonas que se ha debilitado como por ejemplo la realización de rozas.

Cuando el edificio que asienta comparte la medianera con el edificio colindante, la lesión se manifiesta en la fachada mediante la aparición de grietas de cortante inclinadas unos 45ª con la vertical que parten del encuentro de ambos edificios en la medianera con sentido ascendente hacia el que asienta, anchas en la parte inferior y capilares en la superior.



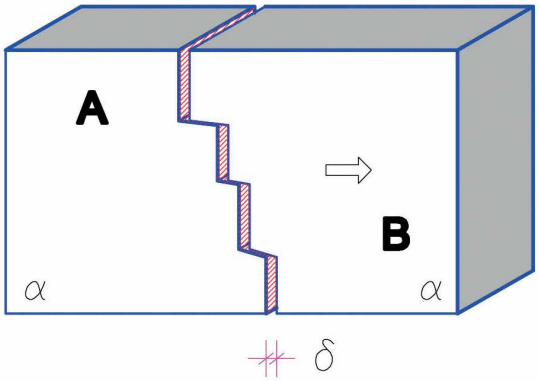
Lesiones en tabiquería interior por asentamiento de edificio.



Lesiones en fachada por asentamiento edificio con medianera.

2.4.1.1.7. DESPLAZAMIENTOS

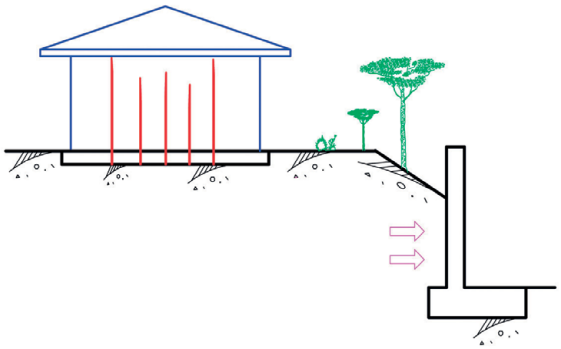
El desplazamiento de un muro como consecuencia de un empuje horizontal, se manifiesta mediante grietas verticales con igual amplitud en todas ellas en función del desplazamiento y grietas horizontales que se encuentran cerradas, pero con cierta inclinación hacia el lado desplazado, Ilustración. Cuando el desplazamiento va unido a una rotación, la amplitud de las grietas verticales no es constante.



Lesiones por desplazamiento de muro.

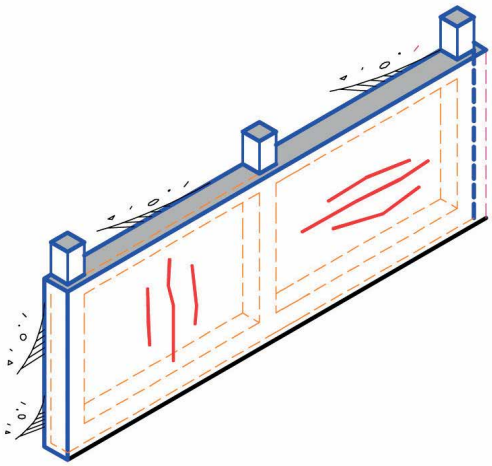
En edificios con muros de carga con falta de arriostramiento horizontal en el que el plano de apoyo ha deslizado, se manifiesta mediante grietas verticales que parten del encuentro del muro con la cimentación, anchas en la parte inferior y capilares en la superior, Ilustración.

En muros de sótano que reciben empujes del terreno, se manifiesta mediante las siguientes grietas, Ilustración:



Lesiones por movimiento del terreno en muros.

- Grietas verticales en el intradós del paramento comprendido entre pilares debido a la flexión del mismo.
- Grietas horizontales en el intradós del paramento comprendido entre los forjados debido al pandeo del mismo.
- Fisuras de compresión en el forjado en la primera hilada de bovedillas cuando las viguetas están dispuestas de forma paralela al muro, con abarquillamiento y rotura del enlucido inferior del forjado y del solado en la cara superior del mismo.



Lesiones por empuje en un muro de sótano.

2.4.1.1.8. ESPONJAMIENTOS

Los esponjamientos del terreno que se producen generalmente en terrenos expansivos, se manifiestan en los paramentos de las edificaciones mediante grietas perpendiculares a las que se producirían en caso de asiento, hecho que puede inducir a error el determinar el origen, sin la observación de otros elementos tales como aceras, soleras, etc., que sufrirán abombamientos en las zonas próximas y grietas por tracción en la cara superior. Este fenómeno no es muy frecuente.

El empuje del terreno en la parte central de un edificio con paramento aligerado por huecos produce el fenómeno que sucede en el caso de un cedimiento de sus extremos, dando lugar a tracciones en las plantas

superiores y compresiones en las inferiores a nivel de la cimentación, manifestándose distintos tipos de grietas, Ilustración:

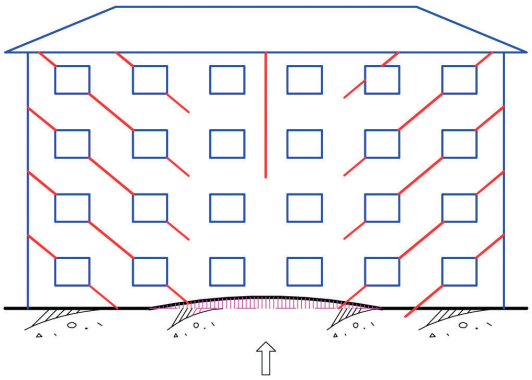
- Grietas en forma curva siguiendo las líneas de menor sección del paramento que se opone al movimiento, con centro aproximado en el encuentro del muro de cerramiento con la cimentación, repitiéndose en ambos extremos en función de la distancia de los extremos a que se produce el empuje.

- Grietas verticales en la parte superior central del paramento, anchas en la parte superior y capilares en la inferior, cuando el fenómeno sea de importancia.

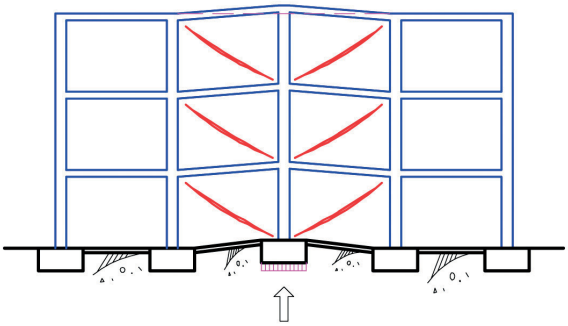
El empuje que sufre una estructura de pórticos de hormigón armado o acero con relleno de los marcos en un pilar interior del pórtico, se manifiesta mediante grietas parabólicas en los paramentos adyacentes al pilar que asciende y en todas las plantas, que siguen una diagonal teórica entre la parte inferior del pilar en esa planta y la superior de los pilares laterales, con la concavidad hacia el pilar que asciende, siendo ancha en la parte central y capilar en los extremos.

Si el empuje afecta a pilares no consecutivos de una estructura, se manifiesta mediante grietas similares a las descritas anteriormente y que pueden ser confundidas con las de asiento de los pilares que queda entre los que han ascendido, Ilustración.

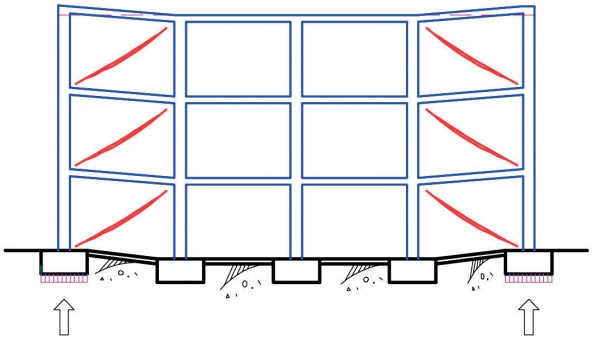
Un caso típico de esponjamiento, es el debido a la acción de raíces de árboles cercanos a la edificación, que dan lugar a diferentes tipos de grietas, en general, se manifiesta mediante fisuras verticales de aplastamiento en la parte baja del muro que se está sometiendo a empuje, así como, alguna fisura vertical en la parte superior del muro debido a las tracciones, siendo anchas en la parte superior y capilares en la inferior. Si el esponjamiento afecta a una zona próxima a la esquina, se manifiesta mediante una grieta en el muro perpendicular al que asciende, que se origina en la parte inferior de la esquina y que asciende según se aleja de dicho punto, ancha en la parte inferior y capilar en la superior, Ilustración.



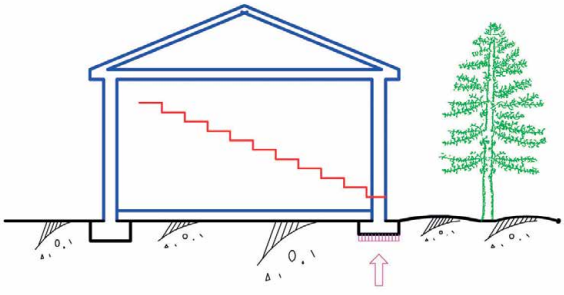
Lesiones por empuje vertical en el centro de un muro aligerado por huecos.



Lesiones por empuje vertical en un pilar central de un pórtico.



Lesiones por empuje vertical en los pilares extremos de un pórtico.



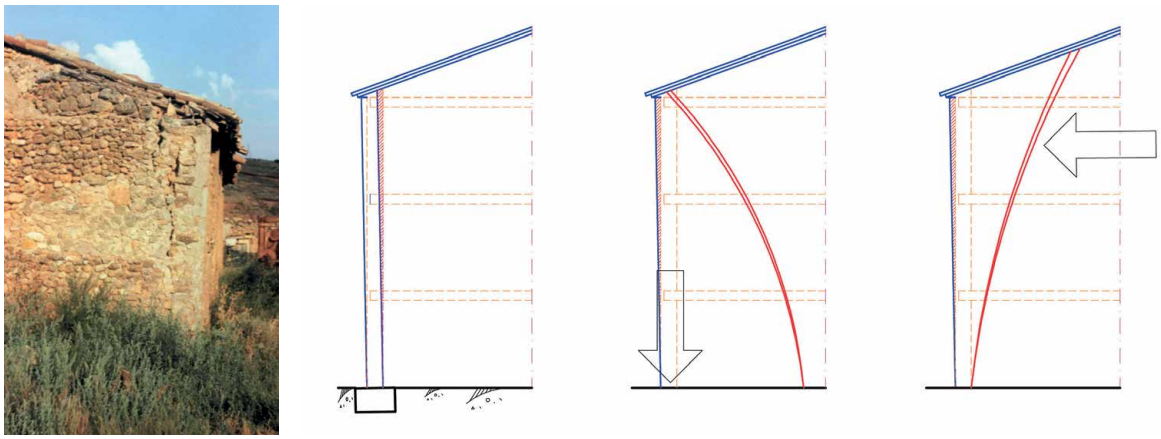
Lesiones por empuje vertical de las raíces de los árboles.

2.4.1.1.9. ROTACIONES

La rotación es la desviación de ciertos elementos constructivos de su plano vertical. El ángulo descrito por el elemento que gira es el ángulo de rotación. Este tipo de lesiones suele aparecer en edificios y elementos que no disponen de suficiente arriostramiento horizontal, así como, en aquellos que reciben empujes o cargas importantes no simétricas.

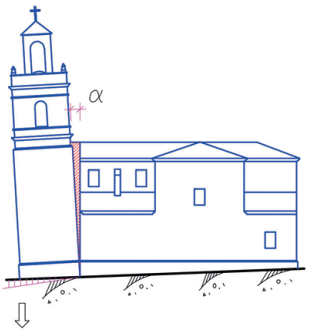
Cuando se produce una rotación sobre un muro, se observan las siguientes lesiones, Ilustración:

- Grietas en las fachadas laterales (perpendiculares al eje de giro) de forma parabólica que parten de la parte superior del muro que gira y que se separan del mismo de forma descendente, con la concavidad hacia la base del muro que gira, siendo anchas en la parte superior y capilares en la inferior.
- Pérdida de verticalidad de los muros exteriores.
- Separación de forjados en la entrega de los apoyos que no debe de confundirse con la separación que ocurre cuando existe excesiva deformación de las viguetas. En ocasiones cuando el enlace está bien ejecutado y resiste el esfuerzo de tracción, se traslada la separación al extremo opuesto de los forjados, debiendo observar en este caso la separación del paramento desplomado con los perpendiculares a él, para determinar si la rotación se debe a un empuje de la construcción.
- Grietas en la unión del muro con la tabiquería interior, más anchas en la parte superior.
- Grietas en el entrevigado del forjado cuando este es paralelo al muro que gira.
- Grietas horizontales en el intradós del muro próximas a la zona de giro, con amplitud uniforme a lo largo de ellas.



Lesiones de rotación de un muro de fachada.

En determinadas ocasiones se produce una rotación del conjunto del edificio. Este caso es frecuente cuando se construye un edificio de pequeña entidad junto a una de mayor, al estar el terreno consolidado en la proximidad del edificio construido por la edificación anterior, estas lesiones se manifiestan mediante una grieta en la unión de ambos edificios, más ancha en la parte superior que en la inferior, Ilustración.

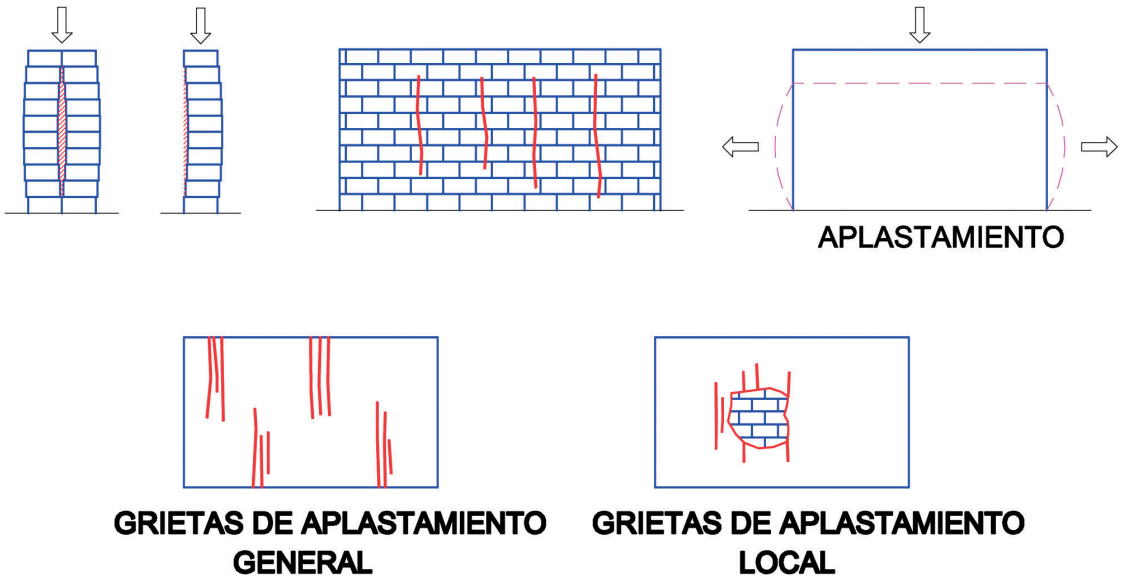


Lesiones de rotación de edificio.

2.4.1.2. LESIONES ORIGINADAS EN LA ESTRUCTURA

2.4.1.2.1. APLASTAMIENTOS

Los aplastamientos se producen al someter a un elemento de la estructura a una mayor carga de compresión de la que es capaz de soportar; esto hace que el elemento sufra un acortamiento en vertical y un ensanchamiento en horizontal en forma de bombeo o pandeo, con manifestación de grietas verticales inicialmente y algunas horizontales con posterioridad, Ilustración.

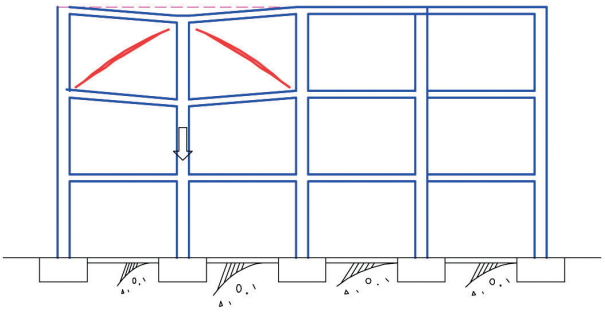


Lesiones de aplastamiento en muros.

Una estructura de pórticos de hormigón armado o acero con relleno de los marcos, que ha sufrido un acortamiento de uno de sus pilares en plantas intermedias, manifiesta distintos tipos de grietas, Ilustración:

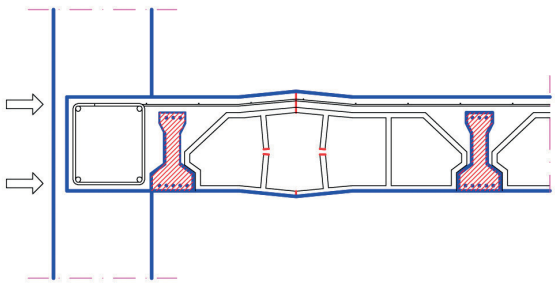
- En las plantas superiores al pilar que se ha acortado, aparecen grietas de forma parabólica que siguen una diagonal teórica que une la parte superior del pilar superior al que se acorta, con la parte inferior de los adyacentes, con la parte cóncava hacia el pilar acortado, siendo anchas en la parte central y capilares en los extremos, y similares a las de un cedimiento.

- Fisuras de aplastamiento en los paramentos adyacentes al pilar, así como en el mismo, en su planta.



Lesiones de acortamiento de un pilar interior de un pórtico.

En un forjado de viguetas, dispuestas paralelas a la dirección de un muro de contención o de



Lesiones de aplastamiento de un forjado.

un muro de medianera que sufren empujes, se manifiestan fisuras de aplastamiento concentradas en la zona de menor espesor coincidiendo con la parte central del entrevigado en las bovedillas, Ilustración.

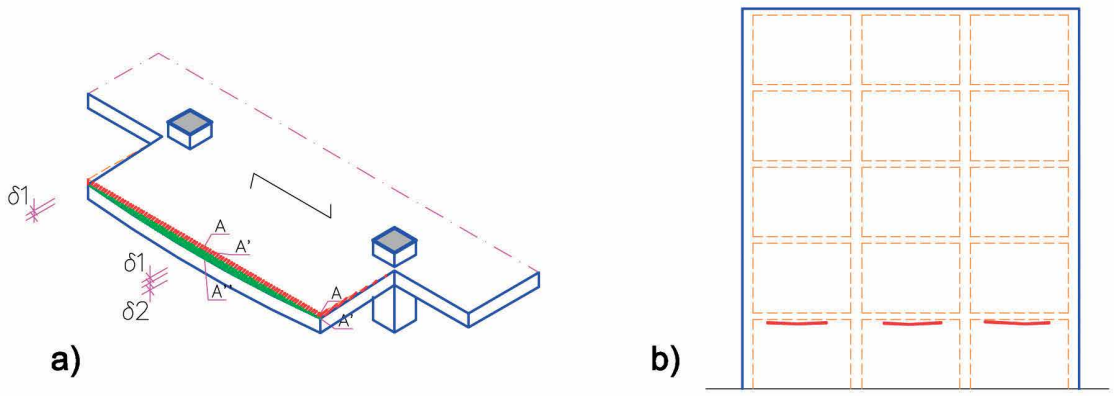
2.4.1.2.2. DEFORMACIONES

La deformación de vigas y forjados es una de las causas más frecuentes de las fisuras y grietas en los cerramientos y tabiques.

En general afectan a los paramentos que están en contacto con ellos o, indirectamente a través de los forjados que se apoyan en los mismos, a otros paramentos que descansan sobre éstos. En el caso de tabiques que presentan menores rigideces que los cerramientos o medianeras, la aparición de fisuras es más rápido.

La deformación de estos elementos es, en general, un tanto variable debido a que se acumulan las deformaciones de los distintos elementos que los forman. En el caso de un voladizo, Ilustración, en el que se aprecia que mediante la deformación de las vigas laterales el punto **A** pasa a la posición **A'**, y por la deformación del zuncho desciende nuevamente a la posición **A",** sumando el descenso correspondiente a ambas deformaciones. Por tanto dando origen a lesiones combinadas.

Otro caso frecuente de lesiones, es la deformación acumulada de zunchos de borde de una estructura de pórticos, sobre los que descansan los cerramientos exteriores, que se manifiesta en los cerramientos de planta baja por la aparición de aplastamientos y desconchados en los mismos, en las zonas centrales de los vanos y marcando claramente las zonas de pilares por la inexistencia de éstas lesiones, Ilustración.



Acumulación de deformaciones.

2.4.1.2.3. DEFORMACIONES DE VIGAS

La deformación de una viga que ha adquirido una determinada flecha, se manifiesta en los paramentos situados por encima o bajo ella, mediante las siguientes lesiones, en función de la deformación que adquiere:

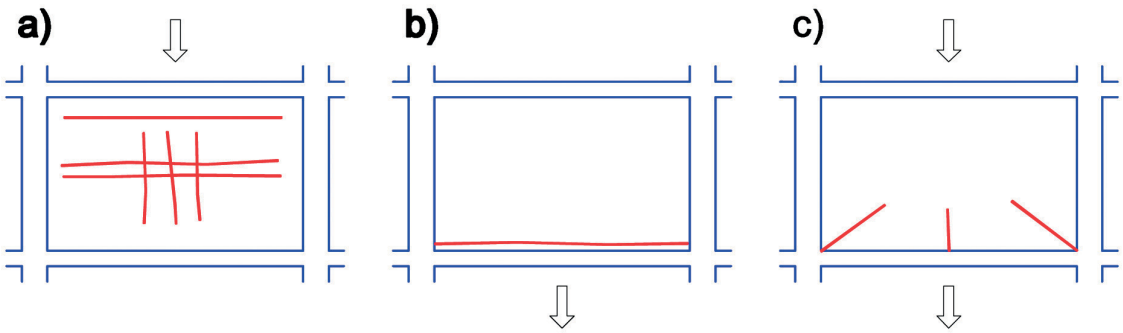
- La deformación de una viga que afecta a un tabique situado debajo de ella le produce en aplastamiento o un pandeo en función de las rigideces del mismo, apareciendo fisuras verticales en el centro del vano en la parte inferior en caso de aplastamiento o fisuras horizontales en el centro del mismo en el caso de pandeo, Ilustración.

  En determinadas situaciones, cuando el tabique dispone de alguna hilada que se ha debilitado por la ejecución de alguna roza o cualquier otro motivo, se produce un aplastamiento a lo largo de esa hilada,

que se manifiesta mediante una fisura horizontal coincidiendo con ese punto y con desprendimiento del enlucido o abombamiento.

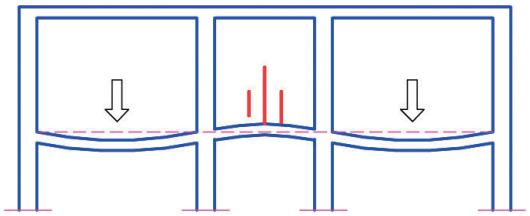
- La deformación de una viga que afecta a un tabique situado sobre ella, produce una separación de ambos elementos que se manifiesta mediante una grieta horizontal a lo largo del vano sin llegar a los extremos, anchos en el centro y capilares en los extremos y situados a nivel de solado o a una determinada altura, Ilustración.

- La deformación de las vigas superior e inferior que delimitan un paramento y que lo hacen con la misma flecha, producen grietas inclinadas en el mismo que parten de la base de los extremos y que ascienden hacia el centro, anchas en la parte central y capilares en los extremos, Ilustración.



Lesiones en paramentos por deformación de vigas.

En determinadas situaciones en que se produce una flecha negativa en las vigas se manifiesta mediante grietas similares a las de la Ilustración, según el caso que corresponda.



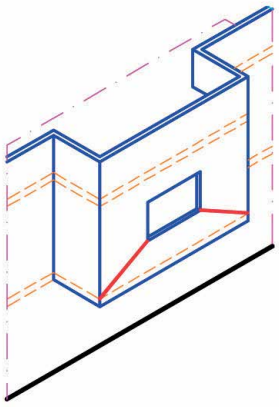
Viga con continua con flecha negativa.

La deformación por flecha de una viga o zuncho paralelo a un voladizo, se manifiesta mediante grietas que forman arcos de descarga naturales, anchas en la parte central y capilares en los extremos, Ilustración.

La deformación de las vigas de un voladizo, producen el giro del mismo que se manifiesta mediante distintos tipos de grietas, Ilustración:

- Grietas parabólicas que se inician próximas al encuentro del inicio del voladizo con la fachada y que ascienden según se acercan a la fachada del voladizo, con la concavidad hacia el borde del mismo.

- Grietas horizontales, a lo largo de toda la fachada del voladizo, con igual amplitud en toda ella coincidiendo con la cara inferior del forjado superior o por un punto de la fachada coincidiendo con el de menor sección. Cuando la deformación es debida a empujes de los forjados superiores, la grieta se puede marcar en la fachada, pero en esta situación es capilar.



Lesiones en paramento por deformación de zuncho de borde.

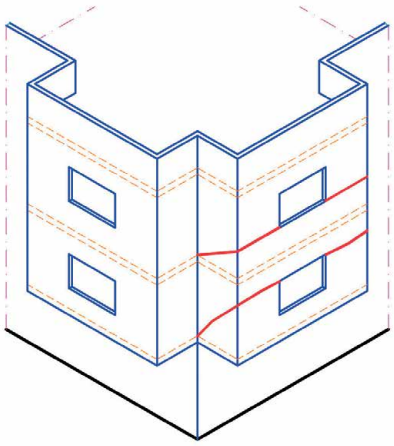
- Si la deformación afecta a alguna de las vigas o viguetas del forjado, aparecen grietas en la cara inferior del mismo al lado de la que cede y a lo largo de toda ella.

En caso de una viga que está sometida a una torsión generalmente impuesta por la deformación de otros elementos, tales como viguetas, losas, etc., y situada en fachada, se manifiesta mediante las siguientes lesiones, Ilustración:

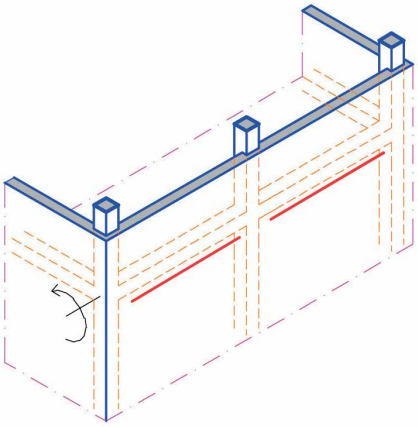
- Grietas horizontales en fachada coincidiendo con la cara inferior de la viga, anchas en el centro y capilares en zonas próximas a los pilares, que se cierran hacia el interior de la fachada.

- Posibles aplastamientos en la zona del interior de la fachada coincidiendo con la cara inferior de la viga o pandeos de los cerramientos.

- Lesiones de las descritas por flexión de vigas, cuando además de la torsión se suma una flexión que es el caso general.



Lesiones en voladizos por deformaciones.



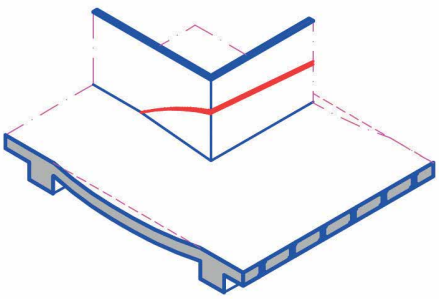
Lesiones en paramentos por torsión de vigas.

2.4.1.2.4. DEFORMACIONES DE FORJADOS

La deformación de forjados que adquieren una determinada flecha, se manifiesta en los paramentos situados por encima y por debajo de él mediante lesiones similares a las de deformación de vigas. Se da en general, dos tipos de grietas, en función de la posición del tabique con respecto al forjado y del tipo del mismo, Ilustración.

- Cuando los forjados son bidireccionales o unidireccionales con nervios o viguetas paralelas o los paramentos, grietas en forma parabólica que se inician en estos desde la parte baja en zonas próximas a las vigas y que ascienden al acercarse al centro del vano del forjado, anchas en este último punto y capilares en las zonas próximas a las vigas.

- Cuando los forjados son unidireccionales y los paramentos son perpendiculares a las viguetas, las grietas se manifiestan en posición horizontal, a una determinada altura y a lo largo de todo el tabique, siendo más ancha cuanto más cerca está del centro del vano del forjado.



Lesiones en paramentos por deformaciones de forjados.

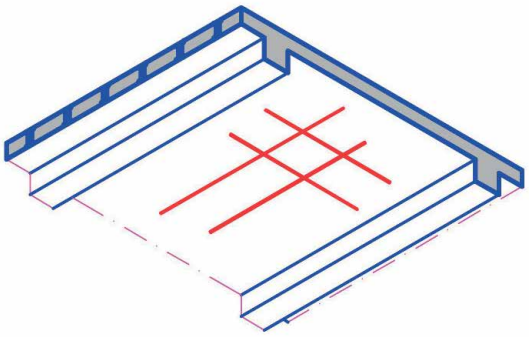
Así mismo, en los propios forjados estas deformaciones se manifiestan en distintas posiciones, Ilustración:

- Fisuras en la cara inferior del forjado paralelas a las viguetas generalmente por deformación diferencial entre ellas.

- En ocasiones, fisuras en la cara inferior del forjado, perpendiculares a las viguetas, próximas al centro del vano por deformación del conjunto, cuando es importante.

- Grietas en la cara superior del forjado sobre la viga central de dos vanos contiguos, y paralela a ésta, por insuficiencia de armadura de negativos; esta grieta es más común en forjados apoyados sobre jácenas realizadas previamente.

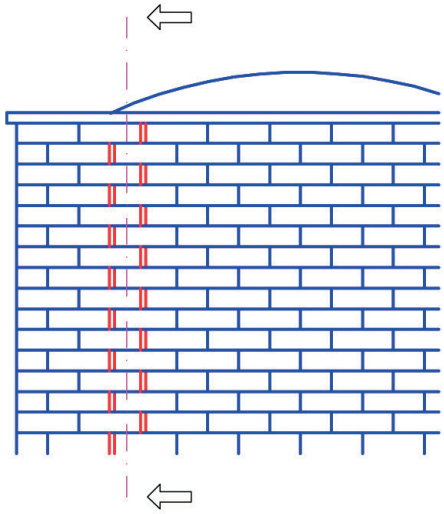
- Rotura de las bovedillas de entrevigado y caída de las mismas, así como, descorchadas en el enlucido, cuando las deformaciones son importantes.



Lesiones en cara inferior de forjados por deformación de éstos.

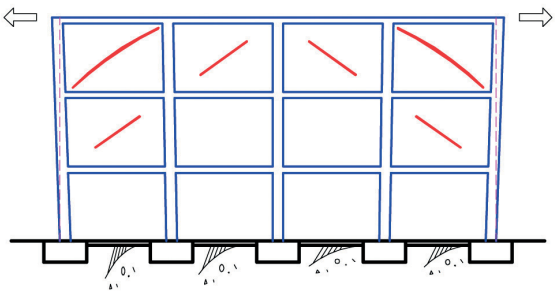
2.4.1.2.5. DESPLAZAMIENTOS

En algunas edificaciones, mayoritariamente en aquellas de fábrica de sillería, se producen algunos desplazamientos debidos a empujes de vigas de cubierta inclinadas, aprieto de bóvedas y cúpulas, etc., que se manifiestan mediante fisuras que siguen una línea vertical teórica con tramos horizontales cerrados y verticales con la misma abertura, Ilustración.



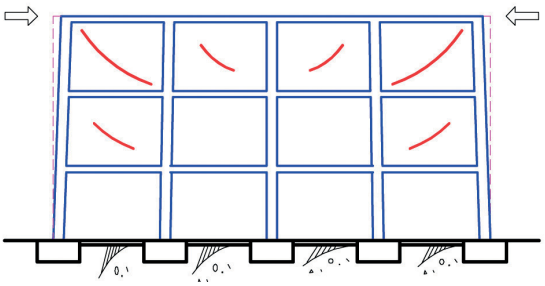
Lesiones de desplazamiento de un muro.

Un caso habitual de desplazamiento, es la dilatación de una estructura de pórticos de hormigón armado o acero con relleno de los marcos, que se manifiesta mediante grietas parabólicas en los paramentos de las plantas superiores cercanos a los extremos, que siguen una diagonal teórica entre la parte inferior de los pilares extremos y la parte superior de los pilares laterales interiores, con la concavidad hacia estos últimos, siendo ancha en la parte central y capilar en los extremos. Esta grieta se manifiesta con menor dimensión en los marcos laterales a la esquina, Ilustración.



Lesiones de dilatación de un pórtico.

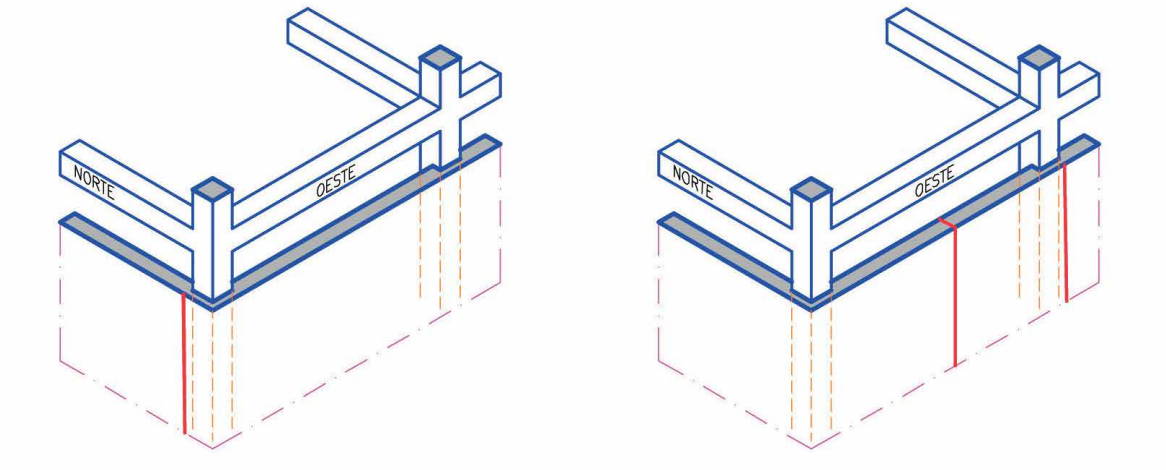
La contracción de una estructura de pórticos de hormigón armado o acero con relleno de los marcos, se manifiesta mediante grietas parabólicas en los paramentos de las plantas superiores cercanos a los extremos, que siguen una diagonal teórica entre la parte superior de los pilares extremos y la parte inferior de los pilares laterales interiores, con la concavidad hacia estos últimos, siendo ancha en la parte central y capilar en los extremos. Esta grieta se manifiesta con menor dimensión en los marcos laterales a la esquina, Ilustración.



Lesiones de contracción de un pórtico.

La dilatación y contracción de un pórtico, se manifiesta en algunos casos mediante la aparición de una grieta vertical en la esquina en el plano perpendicular al que dilata, caso frecuente en la esquina de una fachada orientada a Oeste con otra

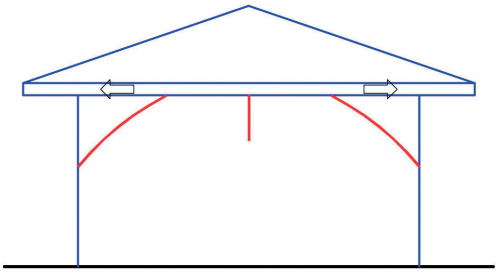
orientada al Norte, la grieta se produce en esta última por dilatar menos que la fachada Oeste, afectando a lo alto a toda la esquina, así como por alguna grieta vertical en el plano que contrae coincidiendo con la línea de menor sección que se opone al esfuerzo de tracción a que está sometida, afectando a lo alto de todo el muro, Ilustración.



Lesiones en paramentos de dilatación-contracción de un pórtico.

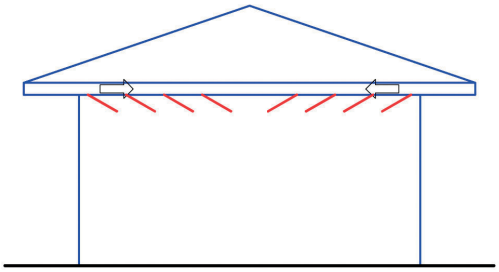
La dilatación de forjados o losas sobre paramentos fuertemente unidos, se manifiesta mediante grietas de distintos tipos, Ilustración:

- Grietas verticales en la parte central superior del paramento, anchas en la parte superior y capilares en el extremo.
- Grietas inclinadas de cortante que aparecen de las zonas próximas al centro del paramento y que descienden según se acercan a los extremos, pudiendo ser varias las que se produzcan.



Lesiones por dilatación de forjados.

La contracción de forjados o losas sobre paramentos fuertemente unidos, se manifiesta mediante grietas inclinadas de cortante que parten de los extremos y que descienden hacia el centro del paramento, pudiendo ser varias las que se produzcan, Ilustración.

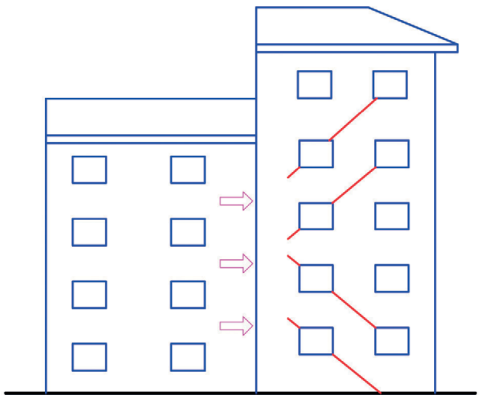


Lesiones por contracción de forjados.

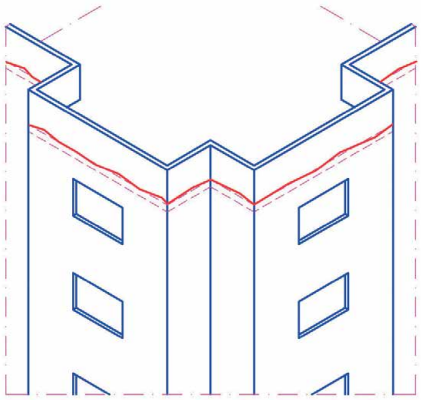
Un edificio que recibe un empuje del colindante por asiento o por cualquier otra causa, se manifiesta mediante las grietas radiales concentradas en el punto de mayor empuje, y que conforme se alejan hacia el extremo opuesto se inclinan hacia la parte superior e inferior del edificio, siendo anchas en el centro y capilares en los extremos, Ilustración.

Un caso muy frecuente de lesión debido a la dilatación-contracción del forjado de la última planta de un edificio con cubierta plana, es la que se manifiesta por el desplazamiento del antepecho de la cubierta mediante una grieta horizontal a lo largo de él. En función de si se produce a la altura de la cara inferior

del forjado o de la superior, su origen es diferente; en el primer caso debido al empuje del forjado y, en el segundo, de los elementos de formación de la cubierta, Ilustración.



Lesiones de empuje del edificio colindante.

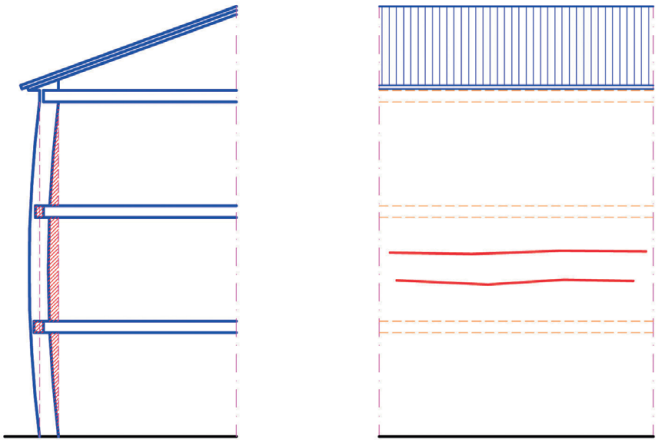


Lesiones de dilatación-contracción del último forjado.

2.4.1.2.6. PANDEOS

Este tipo de lesiones es frecuente en elementos cargados que sufren empujes en puntos intermedios, así como, en elementos fuertemente cargados a flexo-compresión o con mucha esbeltez. En este caso la cimentación no suele estar afectada.

En el caso de elementos pandeados, se manifiestan mediante las siguientes lesiones, Ilustración:



Lesiones de pandeo de un muro.

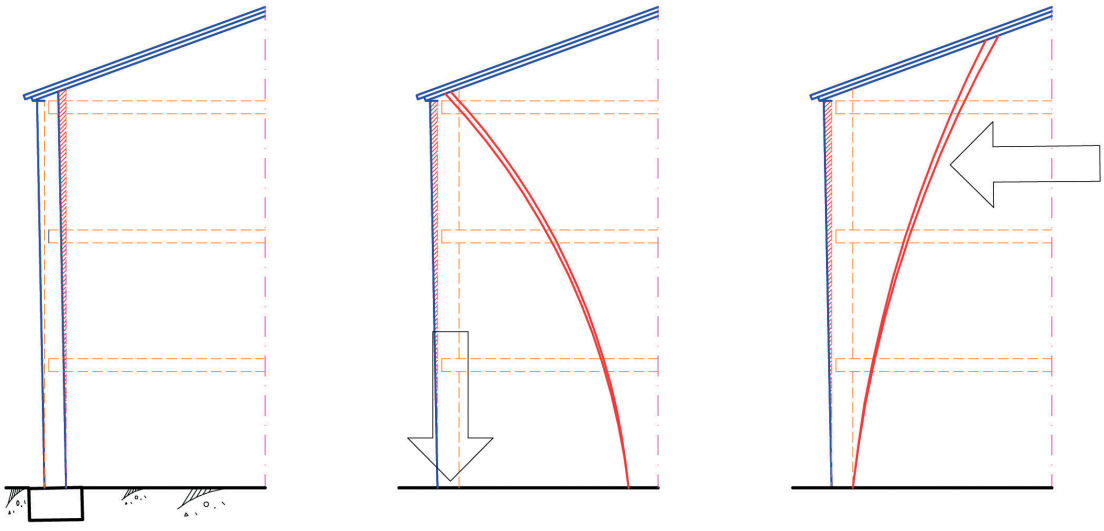
- El elemento pandeado aun manteniendo la verticalidad en los extremos, adquiere un abarquillamiento con la parte cóncava hacia el lado del elemento que produce el empuje o hacia el lado del elemento que está imponiendo el momento de giro o perpendicular al eje del radio de giro mínimo de la sección.
- Grietas verticales en el encuentro del elemento pandeado y los tabiques que están en la parte cóncava del mismo.
- Fisuras de aplastamiento en el encuentro del elemento pandeado y los tabiques que están en la parte convexa del mismo.
- Fisuras horizontales en la cara convexa del elemento pandeado por estar sometida a tracción, coincidiendo con el punto de mayor deformación, que se van cerrando hacia el centro del espesor del mismo.
- Grietas horizontales paralelas al elemento pandeado si es un muro, en los forjados con viguetas paralelas al mismo.
- Pérdida de entrega de las vigas y viguetas en el muro que pandea cuando disponen de buen enlace en el extremo opuesto.

2.4.1.2.7. ROTACIONES

Las rotaciones en general son debidas a empujes por fallos de elementos estructurales como: arcos, deformaciones de vigas, etc., así como, a la rotura o fallo de los elementos de arriostramiento horizontales como el caso de pudriciones en cabeza de vigas.

Las rotaciones de elementos originadas en la estructura no siempre afectan a la cimentación, manifestando las siguientes lesiones, Ilustración.

- Grietas en las fachadas laterales (perpendiculares al eje de giro) de forma parabólica que parten del punto de giro y que se separan del muro que gira de forma ascendente, con la concavidad hacia el punto donde recibe el empuje, siendo anchas en la parte superior y capilares en la inferior.
- Pérdida de verticalidad de los muros exteriores.
- Separación de forjados en la entrega de los apoyos, que no debe de confundirse con la separación que ocurre cuando existe excesiva deformación de las viguetas. En ocasiones cuando el enlace está bien ejecutado y resiste el esfuerzo de tracción, se traslada la separación al extremo opuesto de los forjados, debiendo observar en este caso la separación del paramento desplomado con los perpendiculares a él, para determinar si la rotación se debe a un empuje de la construcción.
- Grietas en la unión del muro con la tabiquería interior, más anchas en la parte superior.
- Grietas en el entrevigado del forjado cuando este es paralelo al muro que gira.
- Grietas horizontales en el intradós del muro próximas a la zona de giro, con amplitud uniforme a lo largo de ellas.



Lesiones de rotación por acciones de empuje interiores.

2.4.2. LESIONES QUE SE MANIFIESTAN EN LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

2.4.2.1. ESTRUCTURAS DE ACERO

En este apartado se tratará de las lesiones producidas en elementos metálicos de acero por ser el que fundamentalmente nos vamos a encontrar, salvo algún elemento de atirantado de hierro y algún pilar de fundición, utilizados en edificaciones antiguas.

2.4.2.1.1. CORROSIÓN

En los aceros, en función de la naturaleza de las reacciones que intervienen en la corrosión, se puede clasificar a ésta en dos distintas:

- **Corrosión química**: Consecuencia del ataque del metal por reacciones químicas en el medio ambiente. Las reacciones químicas se desarrollan en la interfase entre el metal y el medio corrosivo, y los productos de la corrosión se desarrollan en toda la superficie expuesta, ejerciendo una acción protectora, aunque no total, porque el depósito forma una capa porosa y el proceso no se detiene.

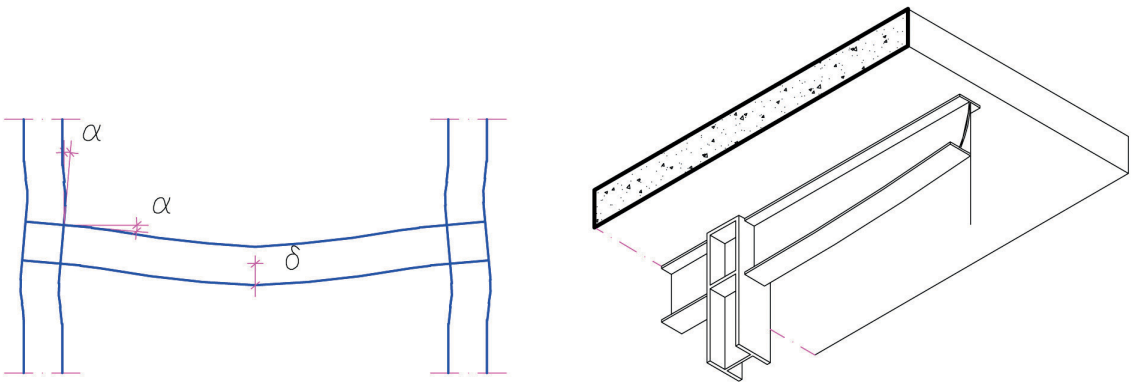
- **Corrosión electroquímica**: Como consecuencia de la aparición de corrientes eléctricas. Los potenciales más negativos forman las regiones anódicas, lugar donde se depositan los productos de corrosión y no se oponen a la prosecución del ataque. Al ser un proceso localizado, hace que la corrosión se efectúe en ciertos puntos de la superficie, formando cráteres.

Independientemente del tipo de corrosión, sus efectos se traducen en una pérdida de sección y en el caso de piezas compuestas o de uniones, debido al aumento de volumen que experimentan los óxidos, se producen abombamientos e incluso rotura de uniones.

2.4.2.1.2. DEFORMACIONES

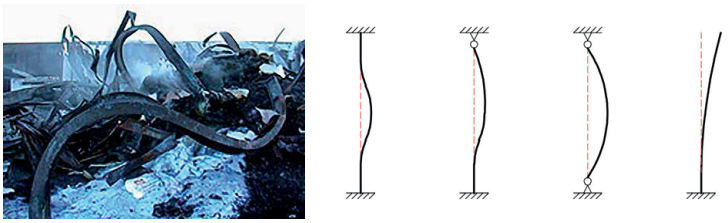
Es un caso frecuente también de lesiones debido a que en muchos casos es la deformación la condición de cálculo más restrictiva por encima de la resistencia, apareciendo tanto en los elementos como en los nudos.

- **Deformaciones de vigas**: En general se manifiestan por la existencia de una flecha y un determinado giro del nudo cuando es rígido. Cuando esto ocurre puede aparecer abolladura en el ala o en el alma. En ocasiones se manifiesta un pandeo lateral en vigas que sufren compresiones, así como en vigas de voladizo, Ilustración.



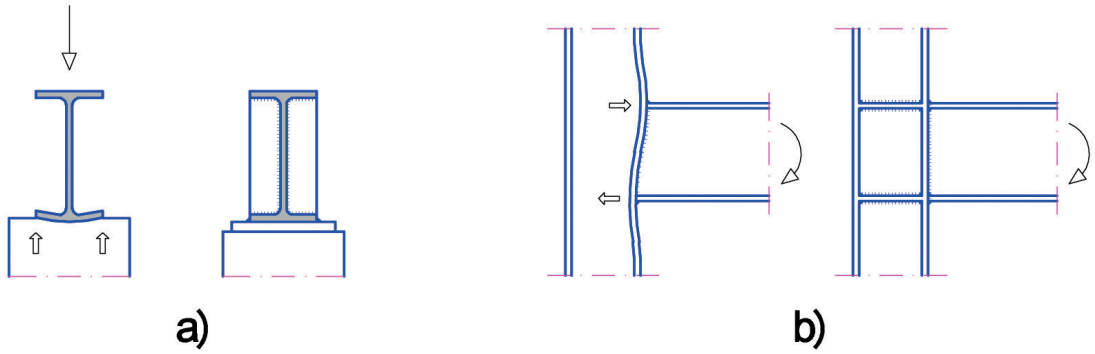
Lesiones por flexión y pandeo lateral de viga.

- **Pandeos de pilares**: La deformación de pilares que se da generalmente, en la direccion perpendicular al radio de giro mínimo (menor inercia mecánica) o en la dirección del pórtico, cuando los radios de giro de la pieza son iguales, Ilustración.



Deformación por pandeo de un pilar.

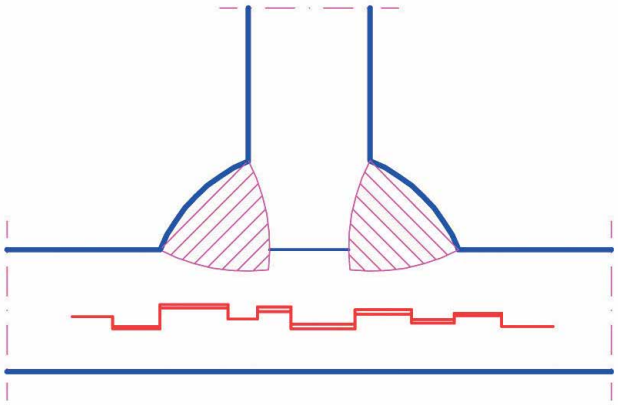
- **Deformaciones de nudos:** Deformaciones que se manifiestan en las alas de los perfiles tanto de los pilares como de las vigas, según posiciones y situaciones como las de la Ilustración.



Deformaciones de perfiles. a) en apoyo. b) en nudo rígido.

2.4.2.1.3. DESGARRO LAMINAR

El desgarro se produce en uniones soldadas como consecuencia de la deformación en la dirección del espesor de las chapas, provocadas por la contracción del material de aportación, pudiendo ocasionar la rotura frágil. Se manifiesta mediante unas fisuras escalonadas, siendo las fisuras perpendiculares al esfuerzo más amplias que las paralelas, Ilustración.



Desgarro laminar del acero.

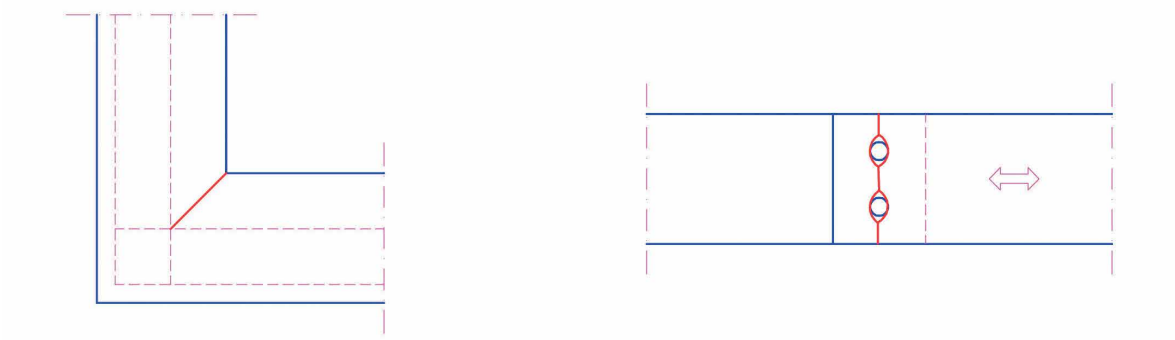
2.4.2.1.4. ROTURA FRÁGIL

Es una rotura que se produce de forma súbita sin manifestación alguna aparente, y suele darse en zonas próximas a uniones soldadas en aquellas estructuras sometidas a esfuerzos alternativos o a acciones dinámicas con mayor frecuencia.

2.4.2.1.5. ROTURA POR FATIGA

La rotura por fatiga, es la que se produce en el material cuando está sometido a esfuerzos variables con el tiempo. La rotura por fatiga se inicia a partir de anomalías superficiales como son: ángulos entrantes, entalladuras o inclusiones, produciendo unas fisuras que se propagan hacia el interior de la pieza, hasta que la sección no es capaz de resistir los esfuerzos y rompe bruscamente, sin ninguna modificación aparente de la misma.

En otras ocasiones, estos esfuerzos variables afectan a los elementos de las uniones, fundamentalmente roblones y tornillos, sobre los que producen un desgaste de unión, una pérdida de apriete de la unión o la rotura de la pieza que comienza por un ovalado del agujero del roblón o tornillo y la posterior rotura de la pieza, Ilustración.



Lesiones de fatiga del acero.

2.4.2.2. ESTRUCTURAS DE FÁBRICA

Son el tipo de estructuras empleadas tradicionalmente desde la antigüedad. Constituidas por piezas de piedra natural (mampuestos, sillares, etc.), piedra artificial, cerámica (ladrillos) o conglomerados (bloques), ajustadas y generalmente enlazadas con algún tipo de mortero. Este tipo de estructuras trabaja fundamentalmente a esfuerzos de compresión.

2.4.2.2.1. FLEXIÓN

Las fábricas son elementos rígidos que admiten poca deformación frente a la rotura y tienen una capacidad muy limitada frente a la tracción, por lo que los elementos sometidos a flexión podrán presentar roturas frágiles.

2.4.2.2.1. COMPRESIÓN

Como es sabido, un elemento estructural sometido a compresión axil, se acorta en esa dirección y se ensancha en las normales a ella.

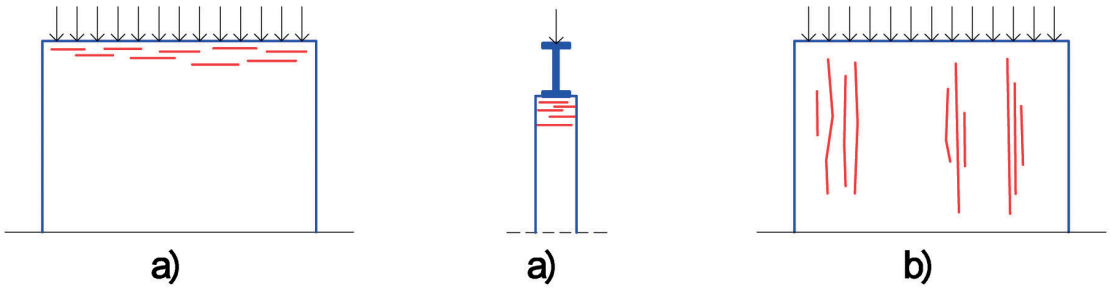
Las compresiones causan en estos elementos aplastamientos localizados cuando es debido a acciones puntuales, o generalizadas cuando la acción se extiende a todo el elemento.

Existen tres tipos de fisuras debidas a esfuerzos de compresión en función de los elementos de fábrica que se vean afectados:

- **Aplastamiento del mortero,** se acorta el espesor de las juntas situadas bajo el punto de aplicación de la carga, manifestándose mediante la aparición de plegados horizontales en los enfoscados y expulsando posteriormente la pasta, Ilustración.

- **Aplastamiento de las piezas**, se acortan las piezas dilatando en dirección transversal, manifestándose mediante la aparición de fisuras verticales. En algunos casos las fisuras se inician a 45° del encastre y posteriormente toman una dirección vertical, Ilustración.

- **Aplastamiento de mortero y piezas**, se manifiesta mediante fisuras que se entrelazan y unifican fracturándose los componentes del muro o columna y apareciendo el efecto de pandeo, o desdoblamiento del muro, por lo que el colapso puede ser inmediato.



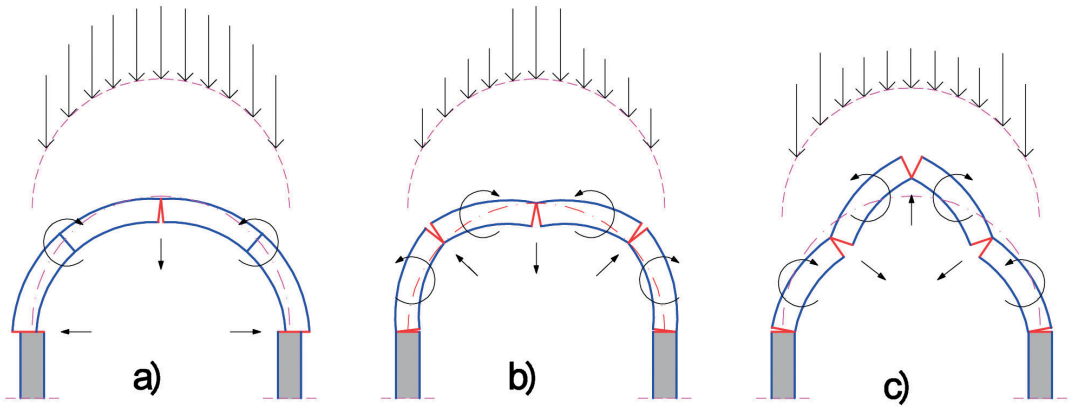
Lesiones por aplastamiento, a) del mortero, b) de las piezas.

Cuando las cargas actúan sobre arcos o cúpulas de una forma no compensada, producen lesiones que se manifiestan mediante la desorganización de las dovelas en una forma determinada, según la posición de los esfuerzos:

- **Cargas repartidas / movimiento del arranque,** cuando la carga repartida que soporta el arco es importante o cuando los arranques se han desplazado, se manifiesta mediante una fisura en la clave abierta en el intradós, que hace que aumenten los empujes en el arranque, Ilustración.

- **Carga en la clave del arco**, se manifiesta mediante un descenso de las dovelas superiores y de la clave, y grietas alternas entre dovelas, así como, con un empuje en la zona de arranque del arco, Ilustración. Si el estribo aguanta y no mueve por el arranque, es posible que expulse el arco hacia los riñones.

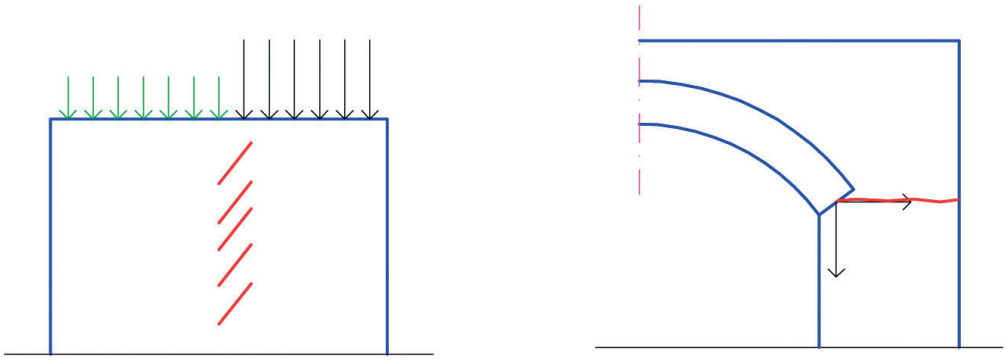
- **Carga en los riñones del arco**, se manifiesta mediante un descenso de las dovelas de los riñones y un peraltado de las dovelas entorno a la clave, y grietas alternas entre dovelas, así como, con un empuje en la zona de arranque del arco, Ilustración.



Lesiones por compresión en arcos.

2.4.2.3.3. CORTANTE

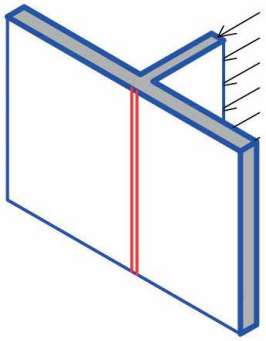
Este tipo de lesiones no es muy generalizada y se suele dar en elementos que reciben cargas diferenciales longitudinales; por ejemplo, en los que existe un cedimiento local o en aquellos que reciben empujes horizontales puntuales como el caso de un apoyo de un arco. Se manifiestan mediante una serie de fisuras inclinadas con respecto a la dirección de los esfuerzos cuando la traba es importante, o mediante una fisura paralela a la dirección del esfuerzo cuando la traba es insuficiente, Ilustración.



Lesiones por cortante de un muro.

2.4.2.2.4. EMPUJES

Cuando un muro recibe un empuje perpendicular al mismo, se manifiesta mediante una grieta vertical en la cara opuesta a la que recibe el empuje que se cierra hacia el centro del muro, coincidiendo con el punto del empuje, Ilustración.



Lesiones por empuje transversal a un muro.

2.4.2.2.5. HUMEDADES

La humedad queda reflejada en las fábricas por una franja o zona oscurecida, con el borde exterior de color blanquecino debido a las sales. La acción de la humedad es especialmente importante en las fábricas de tapial.

En general causa las siguientes lesiones:

- Disgregaciones del mortero y de las piezas debido a la cristalización de las sales en el interior de las fábricas.
- Redondeado de los cantos de las piezas.
- Abombamientos.
- Desprendimientos de los revestimientos.

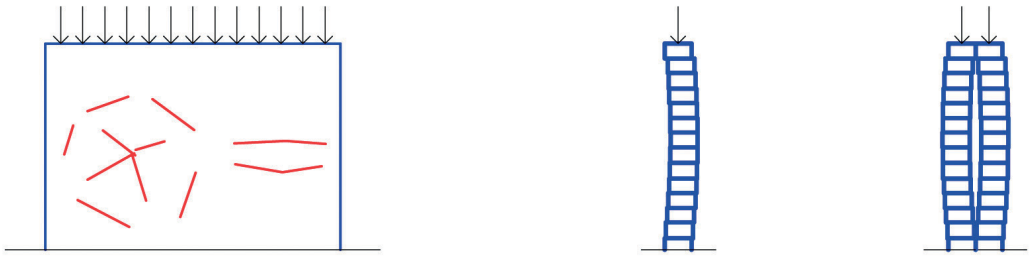
En algunas construcciones rurales en determinadas zonas, se ejecutaban pilares de piedra irregular con morteros de yeso o simplemente con yeso, muy susceptibles a la humedad y que han originado algún siniestro importante.

2.4.2.2.6. PANDEO

Las obras de fábrica solicitadas a compresión axil, son muy susceptibles al descentramiento de su directriz rectilínea o de su plano director. El pandeo es debido en general, a la acción de una excentricidad de la carga sobre la fábrica, excesiva esbeltez, falta de traba entre las hojas de un muro compuesto, así como a la acción de un empuje por causas varias.

Se manifiesta mediante las siguientes lesiones, Ilustración:

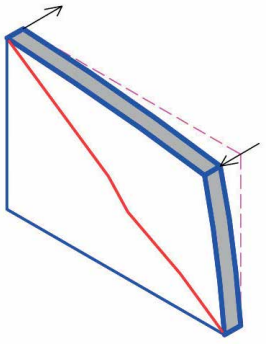
- **Fraccionamiento del muro en dos** hojas biconvexas, y más a menudo cóncava la interior y convexa la exterior.
- **Abombamientos** que sobresalen del paño del muro, en alzado más o menos circular y superficie cóncava separada por una línea de inflexión de otra convexa. En la corona interior y debido a la existencia de tracciones, las fisuras suelen ser de directriz circular y en la central, por el contrario, los esfuerzos de compresión las convierten en radiales.



Lesiones por pandeo de un muro.

2.4.2.2.7. TORSIÓN

Este tipo de lesión no es muy frecuente en fábricas, y se presenta cuando las solicitaciones son de distinto sentido como el caso de un muro que recibe un empuje en la parte superior de un extremo. Se manifiesta la lesión mediante una grieta que parte de la zona bajo el empuje y que asciende hacia el otro extremo superior del muro, cerrada en la parte exterior a la del empuje y abierta en la interior, Ilustración.



Lesiones de torsión en un muro.

2.4.2.3. ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE HORMIGÓN ARMADO

En los elementos de hormigón armado existen dos tipos de lesiones que se manifiestan generalmente mediante fisuras, totalmente diferenciadas según la fase en que se presenten, durante el fraguado y principio de endurecimiento o cuando el hormigón está totalmente endurecido y ha alcanzado la resistencia característica esperada.

Las lesiones en las estructuras de hormigón armado se deben fundamentalmente a las siguientes causas:

- En hormigón en fase de fraguado y principio de endurecimiento: afogarado, retracción hidráulica y retracción Térmica. El árido en la zona de fisuras no está fracturado.

- En hormigón endurecido: anclaje, compresión, corrosión, cortante, flexión, flexión compuesta, humedades, incendio, Punzonamiento, rasante, sismo, torsión y tracción. El árido en la zona de fisuras está fracturado.

Cuando se empezó a usar el hormigón armado, a principios del siglo XX, se pensaba que éste no fisuraba en servicio, y era verdad, en las primeras décadas no se fisuraba en servicio, debido a varias causas:

- En muchas estructuras no se da la sobrecarga de uso con la que se han calculado, ni siquiera una fracción de ella. Por lo tanto, nunca estaban trabajando a la tensión límite para la que habían sido calculados.

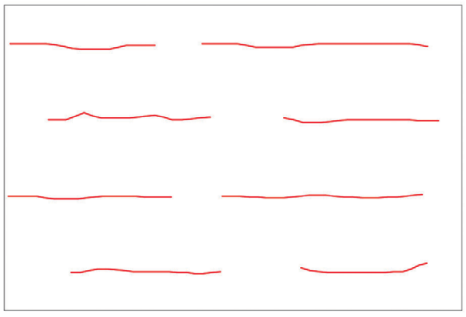
- Los métodos de cálculo eran extraordinariamente conservadores.

- El empleo de acero ordinario liso, que aunque tenía menos adherencia y pudiendo conducir a una mayor fisuración, como el módulo de elasticidad del acero hoy por hoy es independiente en todas las clases de su límite elástico, pues se alarga aproximadamente la mitad que los actuales, por lo que conducía a una fisuración mucho menor.

Con el paso de los años, a partir de los años 50 y el empleo de métodos de cálculo más afinados, el empleo de aceros de alta resistencia y de hormigones de mayor resistencia característica, se ha observado que el hormigón armado sin haber estado sometido a cargas, también se ha fisurado. Este tipo de fisuración no suele verse a simple vista, pero sí con otros procedimientos como la microscopia.

2.4.2.3.1. AFOGARADO

Cuando sobre la masa del hormigón se produce un secado superficial enérgico en las primeras horas de la puesta en obra y cuando el hormigón no ha terminado de fraguar, se produce una evaporación superficial del agua que contiene y por lo tanto una contracción de la masa que conlleva a la aparición de unas fisuras.

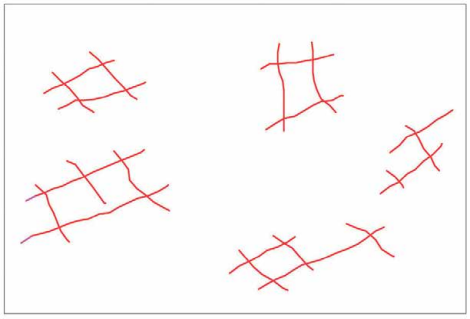


Fisuras de afogarado en elementos de espesor variable.

Las fisuras de afogarado se presentan casi siempre en superficies horizontales, a mayor superficie de exposición y a menor espesor del elemento, corresponde mayor probabilidad de que ocurra el fenómeno. Estas fisuras son normalmente anchas y poco profundas, pueden tener poca importancia estructural y mucha trascendencia en cambio, del tipo estético, Ilustración.

Si el elemento es de espesor variable como ocurre con un forjado, las fisuras se localizan en las zonas más delgadas, en las que es mayor la importancia relativa de las contracciones por secado prematuro.

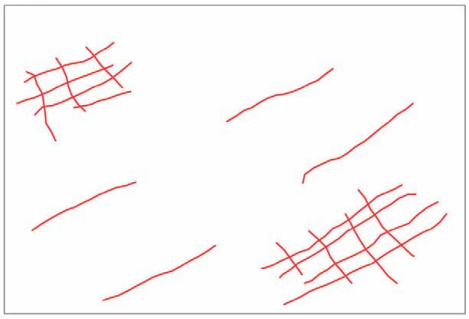
Si el elemento tiene espesor uniforme, sin direcciones preferentes, las fisuras suelen distribuirse aleatoriamente, vienen a cortarse casi siempre con ángulos aproximadamente rectos. Ello se debe a que, antes de aparecer una fisura, la superficie del hormigón se encuentra sometida a equitracciones y al surgir una fisura, la tracción que le es normal queda anulada, pero se mantiene la paralela, la cual puede originar una nueva fisura perpendicular a la anterior. Se distinguen de las anteriores porque sigue la formación como una piel de cocodrilo, Ilustración.



Fisuras de afogarado en elementos de espesor uniforme.

Se puede afirmar que, si dos fisuras se cortan según un ángulo muy agudo, al menos una de ellas no es de afogarado-retracción.

A veces hay zonas en las que aparecen concentraciones fuertes de fisuras formando lo que se denomina un "nido de fisuras" y que, en general, son debidas a la mayor concentración en esas zonas de pasta rica en cemento, que se secará más rápidamente que el resto de la superficie, Ilustración.

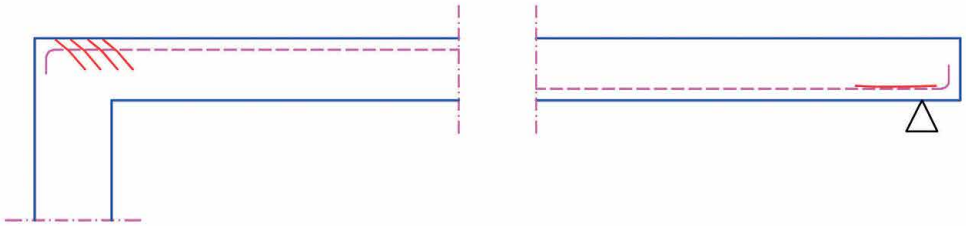


Fisuras de afogarado. "nido de fisuras.

Las fisuras de afogarado no tienen el aspecto de una rotura limpia, ya que al encontrase el hormigón en estado plástico, rodean el árido adoptando formas onduladas. Suelen aparecer en las primeras horas del hormigonado y tienen una profundidad del orden de 20 a 40 mm, pudiendo alcanzar los 100 mm, e incluso atravesar todo el espesor de losas delgadas.

2.4.2.3.2. ANCLAJE

Esta lesión se produce en zonas en que las armaduras presentan insuficiencia de anclaje, generalmente en barras que trabajan a tracción, aunque también se suelen dar en barras que trabajan a comprensión que tienden a rasgar el hormigón que se encuentra en el extremo. Las fisuras se manifiestan generalmente paralelas a las armaduras y algunas con una cierta inclinación y próximas también a la armadura, siendo más frecuentes en barras de esquina. Cuando la falta de adherencia es en barras de comprensión, caso de solape de armaduras de pilares, por ejemplo, además de las fisuras comentadas aparecen aplastamientos en el hormigón en extremo de barra, Ilustración.



Fisuras de anclaje en elementos de hormigón armado.

2.4.2.3.3. COMPRESIÓN SIMPLE

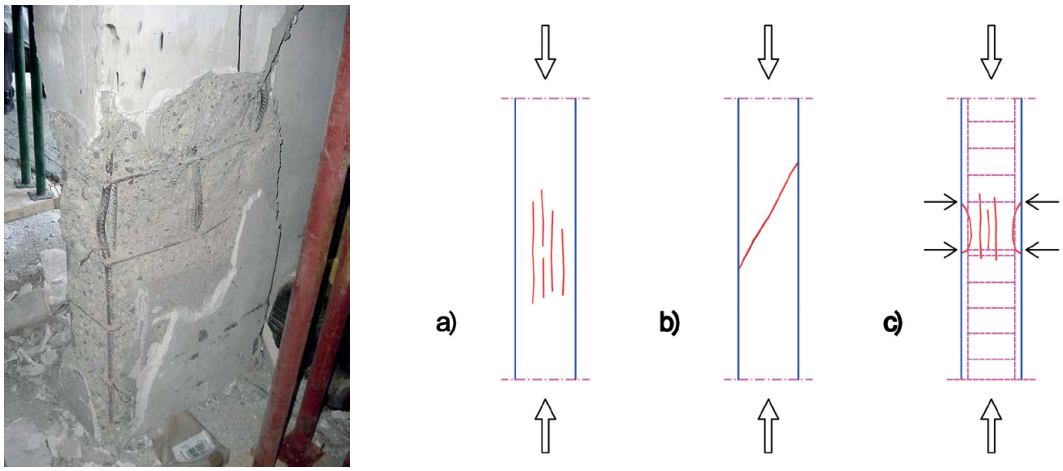
Las fisuras de compresión son sin duda alguna las más graves que hay en patología y las que han proporcionado la inmensa mayoría, no de los accidentes, pero sí la inmensa mayoría de los accidentes

graves. Casi todos los hundimientos han sido debidos a piezas en compresión centrada o con muy poca excentricidad.

La rotura de un elemento por compresión simple provoca diferentes formas de fisuración, según la esbeltez del elemento y el grado de coacción transversal que tenga en sus extremos.

Las formas de manifestarse son las siguientes:

- **Fisuras paralelas a la dirección del esfuerzo muy finas**, con un trazado irregular debido a la heterogeneidad del hormigón, en ocasiones dejan de ser paralelas cortándose en ángulos agudos, Ilustración.
- **Fisuras inclinadas con las caras del pilar**, aunque este tipo es muy raro que se dé, solamente ocurre a veces en hormigones muy secos, generalmente con resistencias muy altas, así como en aquellos fuertemente armados, Ilustración.
- **Fisuras paralelas a la dirección del esfuerzo** similares a las anteriores, así como otras formando ángulos, en elementos en que aparece una compresión normal a la dirección de la compresión principal. Esto suele ocurrir en alguna zona de un pilar en la que los estribos presentan una mayor separación en el resto. Suele ir acompañado de la expulsión del recubrimiento en esa zona y de pandeo de armaduras, Ilustración.



Fisuras de compresión simple en un pilar.

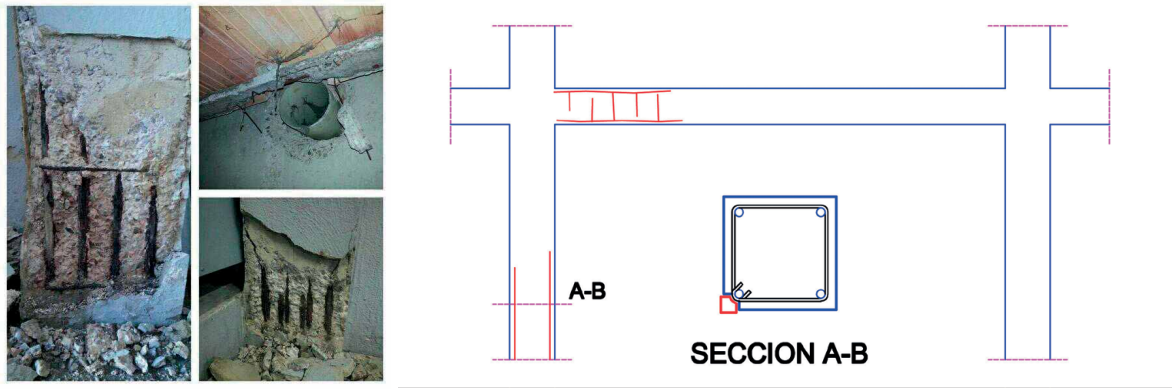
Hay que tener en cuenta que, en los pilares, la aparición de fisuras de compresión es muy peligrosa, siendo generalmente fisuras de prerrotura y precursoras de un hundimiento inmediato de la zona afectada.

En los pilares zunchados puede aparecer una fisuración de los recubrimientos con desprendimiento de parte de los mismos. Este síntoma, en sí, no es peligroso, pero conviene observar las deformaciones experimentadas por el pilar para ver si ha afectado al resto de la estructura, dado que, la deformación diferencial de pilares zunchados y sin zunchar en un mismo pórtico, puede motivar serias fisuraciones en las vigas que soportan.

2.4.2.3.5. CORROSIÓN

Este tipo de fisuras es muy frecuente en la gran mayoría de construcciones, producidas por la corrosión de la armadura y consiguiente expansión del óxido, creando tracciones en el hormigón que rodea las armaduras. Las fisuras se manifiestan próximas y paralelas a las armaduras alcanzando una anchura de hasta 0,5 mm., o más, con cambios de coloración en la misma e incluso en el entorno de la fisura debido

a las sales del óxido. Los labios de la fisura se suelen encontrar en diferentes planos. Cuando la corrosión afecta a barras de esquina, se desprende el recubrimiento de la misma cuando el estado de corrosión es importante, Ilustración.



Fisuras de corrosión de elementos de hormigón armado.

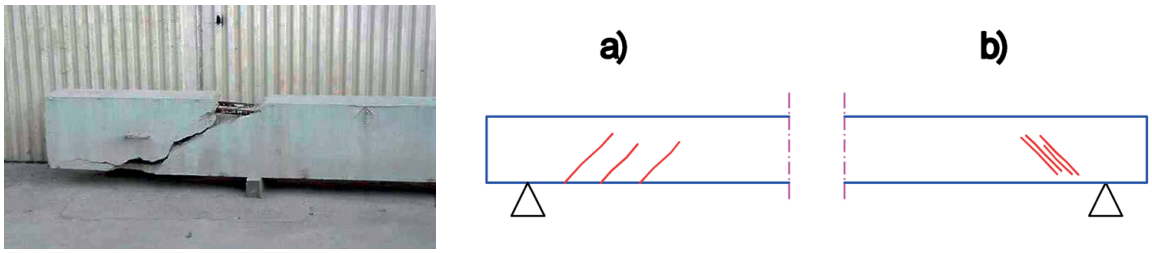
2.4.2.3.5. CORTANTE

Las fisuras de esfuerzo cortante se producen en elementos sometidos a flexión, en dirección paralela a las isostáticas de comprensión y normal a las de tracción, localizadas en los extremos. El colapso de elementos por cortante suele ser con pocas deformaciones previas.

Se distinguen dos tipos de esfuerzo cortante:

- **Por excesiva tracción diagonal**: Se manifiestan mediante fisuras inclinadas con un ángulo de 45° con la directriz de la pieza, que aumenta la inclinación cuando el momento es importante, con ancho variable siendo anchas en la parte inferior y capilares en la cabeza comprimida. En algunos casos, llegan a aparecer varias paralelas entre sí con una separación apreciable. En el caso de ménsulas cortas las fisuras pueden llegar a ser prácticamente verticales, Ilustración.

- **Por excesiva comprensión diagonal**: Se manifiesta mediante fisuras inclinadas con un ángulo de 45° con la directriz de la pieza, con una anchura de 0,05 a 1 mm. constante en toda su longitud, alcanzando los bordes de la pieza y son varias las fisuras que se manifiestan, similares a las de rotura de un pilar por comprensión., Ilustración.



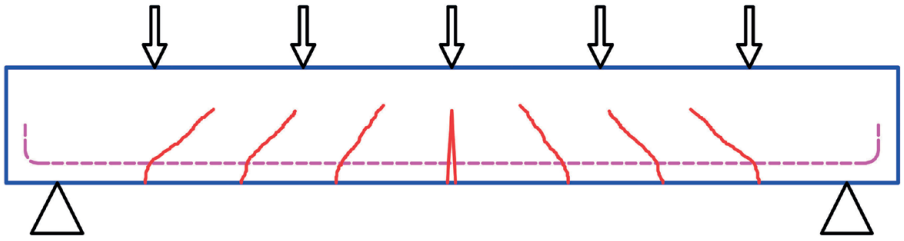
Fisuras de cortante: a) por tracción diagonal, b) por comprensión diagonal.

2.4.2.3.6. FLEXIÓN SIMPLE

Las fisuras de flexión simple son las más conocidas y frecuentes en los elementos de hormigón armado, en general avisan con tiempo, no siendo por tanto índice de un peligro inminente y por consiguiente dando tiempo

para tomar medidas sobre la causa que la han motivado. Puede darse el caso, de que si la armadura de tracción no ha superado su límite elástico, las fisuras se cierren y desaparezcan al cesar la causa que las produjo.

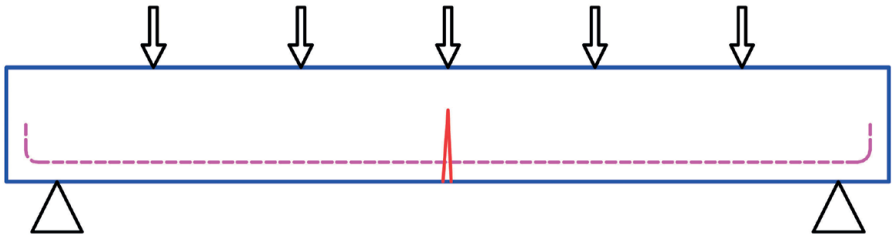
En general se manifiestan apareciendo en las proximidades de las armaduras sometidas a tracción, progresando verticalmente hasta la línea neutra, a la vez que su armadura va disminuyendo, para al final incurvarse buscando el punto de aplicación de las cargas y desapareciendo en la zona de compresión, Ilustración.



Fisuras de flexión simple en una viga.

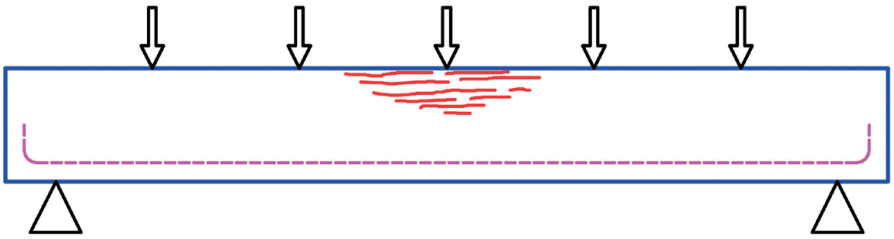
Las fisuras suelen ser más anchas y separadas cuando se ha empleado acero ordinario como armadura de tracción, por el contrario, suelen ser estrechas y abundantes cuando se ha empleado acero corrugado o de alta adherencia.

Cuando la pieza solicitada a flexión simple, dispone de poca cuantía de armadura o se hormigona con un hormigón de resistencia superior a la de cálculo, con lo cual, la respuesta que da la armadura es menor que la del bloque de tracción, se presenta la denominada rotura agria o rotura frágil. En este caso la manifestación de la lesión al perder el hormigón la capacidad de aviso mediante la fisuración, no hay quien vea la fisura, de pronto la pieza se parte y además normalmente en dos trozos, la pieza suena metálica en ese momento, Ilustración.



Fisuras de flexión simple en una viga con rotura frágil.

Otro caso distinto se produce cuando se da una cuantía de acero elevada o cuando el hormigón es de resistencia característica inferior a la de cálculo. El acero se alarga muy poco y el que se agota es el hormigón por compresión. Se manifiesta en general por la aparición de grietas de compresión en las fibras más comprimidas de la pieza, pudiendo aparecer fisuras, de aspecto idéntico al igual que las de flexión simple, en función de los componentes de la viga, Ilustración.

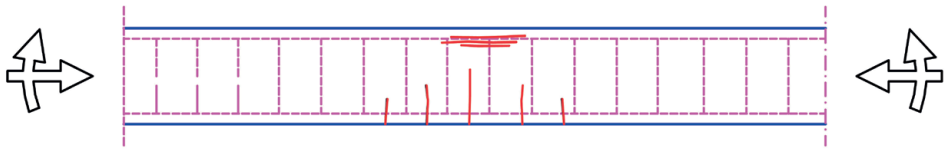


Fisuras de flexión simple en una viga por aplastamiento del hormigón.

2.4.2.3.7. FLEXIÓN COMPUESTA

En soportes esbeltos o en elementos planos que reciben compresiones, se dan varios tipos de fisuraciones en función del esfuerzo dominante, compresión o flexión, como son:

- Si el dominante es el esfuerzo axil y no el de momento flector, en definitiva, si la excentricidad es pequeña, la lesión se manifiesta al igual que en un elemento sometido a compresión, mediante la aparición de fisuras de comprensión simple, Ilustración.
- Si el dominante es el momento flector, la lesión es igual que la de flexión mediante la aparición de fisuras de flexión simple, Ilustración.
- Cuando ambos esfuerzos son de importancia, se manifiestan mediante la aparición de fisuras junto a una cara del soporte a la mitad de la luz o en la cara superior de la viga, así como con otras fisuras en la cara traccionada hasta el bloque comprimido, Ilustración.



Fisuras de flexión compuesta en elementos de hormigón armado.

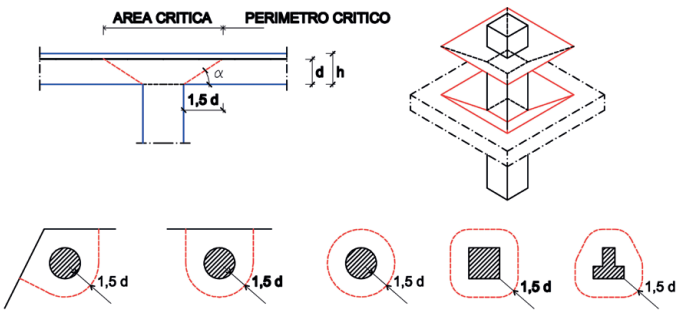
2.4.2.3.8. HUMEDADES

La acción de la humedad tanto del terreno como de atmósferas contaminadas o ambientes marinos, son causa de lesiones que inicialmente no son preocupantes, sobre todo, cuando los hormigones son de buena calidad. Las lesiones que producen se manifiestan de la siguiente forma:

- Disgregaciones de hormigones por la formación de criptoeflorescencias al cristalizar en el interior las sales.
- Carbonatación del hormigón y despasivación de las armaduras frente a la corrosión.
- Corrosión de armaduras.

2.4.2.3.9. PUNZONAMIENTO

Los fallos por punzonamiento en placas, son en general del tipo frágil y han sido origen de numerosos hundimientos. Se caracteriza por la formación de una superficie de fractura de forma troncopiramidal cuya directriz es el área cargada. Se manifiesta mediante fisuras de ancho variable, con diferentes planos según forma y posición del pilar, con un ángulo de 30 a 35° y en ocasiones la fisuración de la cara inferior no arranca de la inserción del pilar con la placa, sino algo más lejos, Ilustración.



Fisuras de punzonamiento.

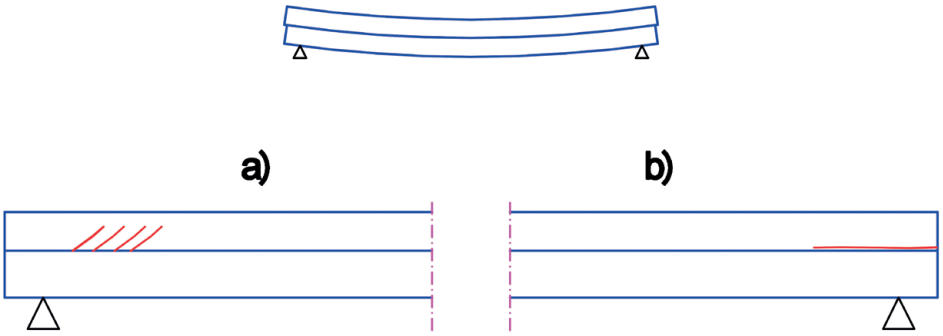
Este tipo de lesión también se suele dar en elementos de cimentación, siendo la forma troncopiramidal invertida a la comentada para las placas.

2.4.2.3.10. RASANTE

En el caso de piezas compuestas de hormigón prefabricado y de hormigón "in situ", especialmente en hormigón pretensado, se produce un esfuerzo rasante entre ambas piezas, que se manifiesta caso de superar ciertos límites, mediante fisuras de dos tipos, Ilustración:

- Fisuras de ancho entre 0,05 a 2 mm, con un ángulo de 45° aproximadamente con la directriz de la pieza y en general son varias.

- Fisura de ancho variable, que comienza en el extremo de la unión de ambas piezas y se prolonga a través de ella hacia el centro de la pieza, similares a los de retracción en este mismo tipo de piezas.



Fisuras de esfuerzo rasante en piezas compuestas.

2.4.2.3.11. RETRACCIÓN

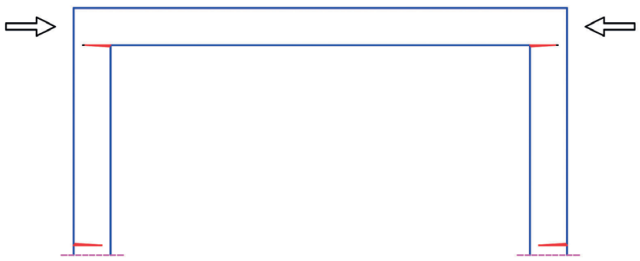
Durante el proceso de fraguado, el hormigón disminuye de volumen cuando tal proceso se verifica en el aire, y aumenta si se verifica en el agua. Al primer fenómeno se le denomina retracción.

La retracción es una deformación impuesta que provoca tensiones de tracción y por consiguiente fisuras cuando se encuentra impedido el libre acortamiento del hormigón, por ello tiene tanto más influencia cuanto más rígida es la estructura.

La disposición de armaduras supone una disminución de la retracción para el hormigón, que hace, que en lugar de formarse pocas fisuras y anchas, se formen muchas y finas.

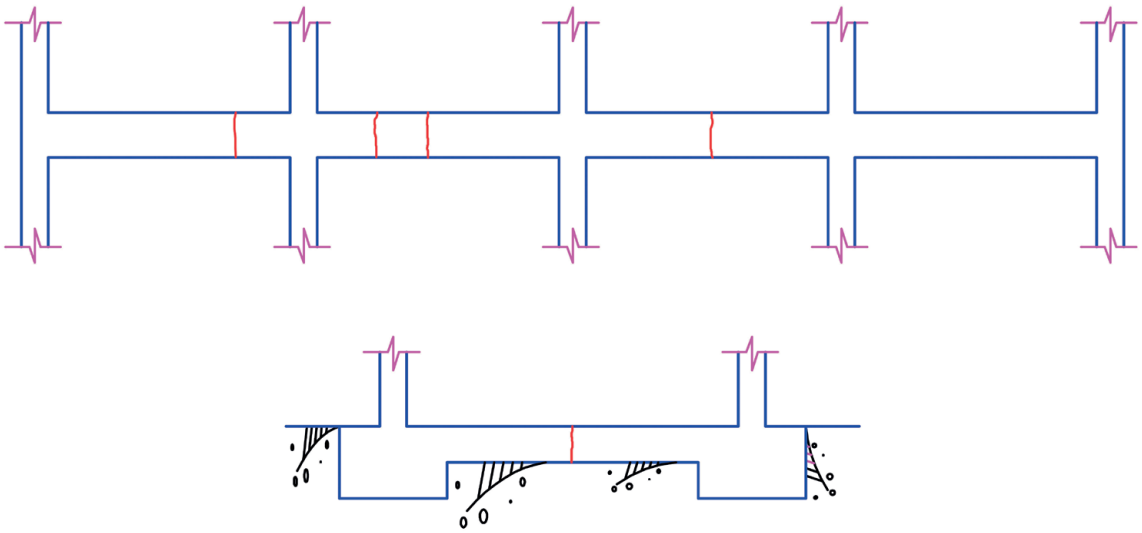
Hay que tener en cuenta que en este fenómeno juega un papel importante, no solo la rigidez del elemento estructural considerado, sino también la del conjunto estructural que a él afecta, pudiendo darse el caso de que en vez de producirse la fisura en el elemento que se acorta, se produzca en los otros que están unidos a él.

- **Fisuras de retracción en pórticos,** en vigas de gran longitud con fuerte sección y muy armadas unidas a pilares esbeltos, las fisuras se manifiestan en la cabeza y pie de los pilares y con mayor intensidad en los pilares extremos, Ilustración.



Fisuras de retracción en pórticos.

En vigas de media y gran luz en las que se han hormigonado los diferentes pórticos sin dejar la correspondiente junta de retracción y que se encuentran coaccionados por pilares de gran rigidez, así como en vigas riostras de atado de macizos de cimentación, suelen aparecer fisuras que se manifiestan cortando a las vigas de forma perpendicular a la sección, con igual anchura en la parte superior que en la inferior, visiblemente no se cierran y no tienen posición predominante, Ilustración.

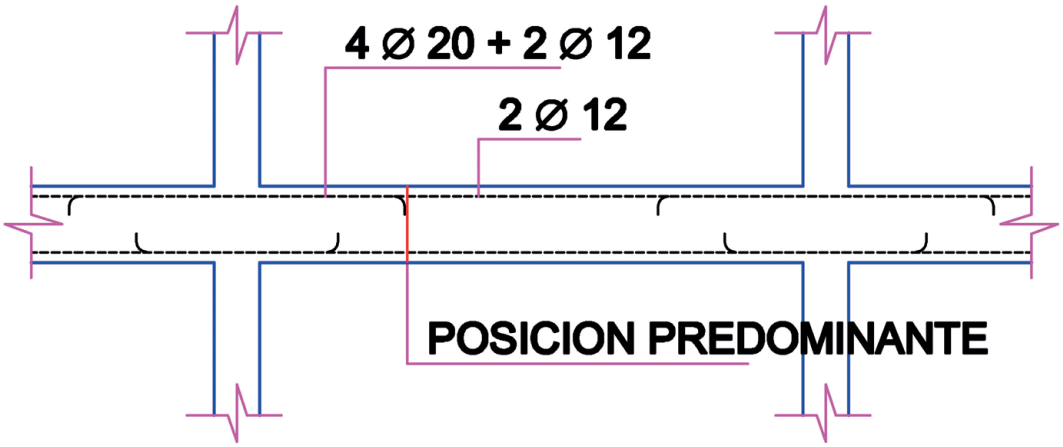


Fisuras de retracción en vigas de pórticos y riostras.

En ocasiones son simplemente fisuras perimetrales y está el corazón de la viga sin dañar, como ocurre en elementos muy armados en los que las propias armaduras son las que coaccionan los movimientos del núcleo de las piezas, en este caso no creará más problemas que el puramente psicológico. La capacidad resistente de la viga se habrá alterado muy poco, aunque la fisura afecta a toda la sección de hormigón.

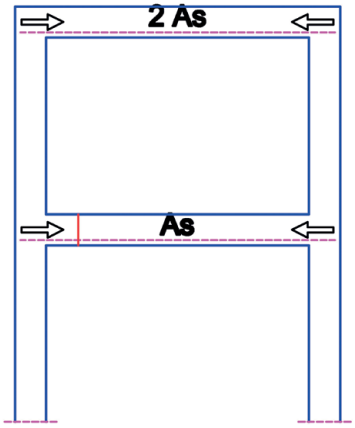
En el caso de que la grieta haya seccionado la pieza entera, con el cambio térmico estacional la estructura se moverá, sobre todo cuando se enfría, y por lo tanto dañará los enlucidos, aunque se repasen.

Hay veces que las fisuras indican una posición predominante, como es el caso cuando se corta de golpe mucha armadura en una viga, pues en este caso lo probable es que la fisura de retracción se localice en ese punto, porque, aunque geométricamente el canto es constante, mecánicamente este tiene un cambio brusco y la retracción tiende a localizarse ahí, Ilustración.



Fisuras de retracción en viga con corte brusco de la sección de la armadura.

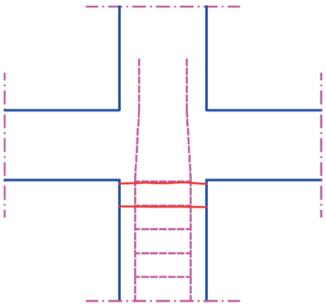
Un ejemplo de comportamiento diferencial en lo que a retracción se refiere, es el caso de un pórtico de un vano y dos vigas a diferente nivel, en que la viga superior con mayor rigidez y mayor armadura que la inferior, retraerá menos que ésta, dando lugar a que sea ésta la que se fisure, Ilustración.



Fisuras de retracción en pórtico con vigas de diferentes rigideces importantes.

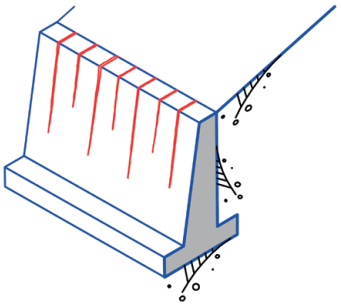
La retracción en elementos verticales es menos peligrosa en cuanto a la formación de fisuras se refiere. Sin embargo, puede motivar un cuadro de fisuras importante que funcionan hiperestáticamente con ellas, dando lugar en el caso de retracciones diferentes en los distintos elementos verticales (cuando un pilar es de doble altura o diferentes hormigones) a un estado tensional en vigas y forjados que puede ser tan importante como el producido por un asiento diferencial.

Otro caso que se da últimamente es un tipo de grietas en cabeza de pilares en la parte superior del tronco que se hormigona, son grietas normalmente de poca penetración, y que en general son debidas a un problema de retracción plástica, al retraer el hormigón que se encuentra por debajo del estribo y quedar impedido el del que se encuentra por encima del mismo, produciendo la fisura, Ilustración.



Fisuras de retracción en cabeza de pilares.

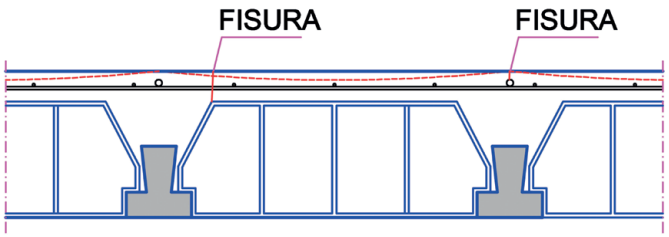
- **Fisuras de retracción en muros**: Los muros son estructuras muy propicias a la formación de fisuras de retracción que se localizan en la coronación de los mismos, que es la zona que se encuentra libre y seca, pues la zona enterrada no sufre retracción prácticamente. Las fisuras van descendiendo desde la coronación del muro hacia el terreno a la vez que van cerrándose hasta llegar a desaparecer. Son fisuras verticales y equidistantes, separadas entre sí, pudiendo aparecer con el tiempo una segunda familia de fisuras intermedias. Los muros que no dispongan de armadura de retracción, tienen pocas fisuras y amplias, en vez de muchas y finas cuando se dispone de ella, Ilustración.



Fisuras de retracción en un muro de contención.

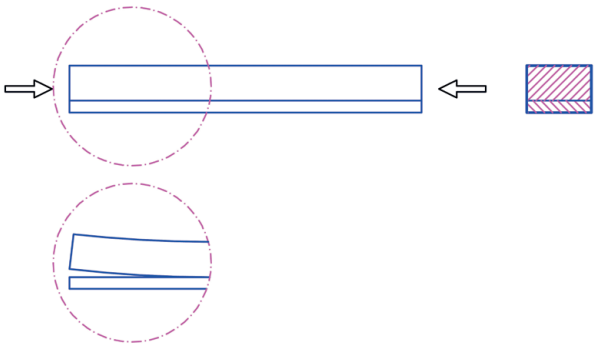
- **Fisuras de retracción en forjados**: En el caso de forjados y losas, cuando el hormigón retrae lo hace libremente en las zonas en que no hay armadura, en cambio, el hormigón que está encima de las barras de la armadura no puede bajar porque tiene la barra debajo, lo que ocurre es que se incurva sobre la barra y naturalmente como ya empieza a tener cierta rigidez, aparecen unas fisuras en la posición de la armadura.

  También es frecuente la aparición de fisuras en la capa de compresión de los forjados, que se localizan frecuentemente en los ángulos de las bovedillas o en los espesores mínimos de la capa de compresión, Ilustración.



Fisuras de retracción en forjados.

- **Fisuras de retracción en piezas compuestas**: Cuando se ejecuta una viga compuesta, en la que la parte inferior se dispone un perfil metálico o una viga prefabricada de hormigón pretensado, si no se han dispuesto los suficientes conectores o estribos según caso, como consecuencia de la retracción del hormigón que se ha colocado in situ, se crea en el elemento prefabricado un momento exterior que le hace tomar flecha, aumentando las retracciones en la cara de unión de ambos materiales, y en particular tiene una tendencia a despegarse de los extremos, con lo cual se inicia una grieta que puede ser propagación de rasante.



Fisuras de retracción en piezas compuestas.

Este tipo de fisuras son difícil de ver, ya que se encuentran en la unión de ambos elementos y es de pequeña amplitud, Ilustración.

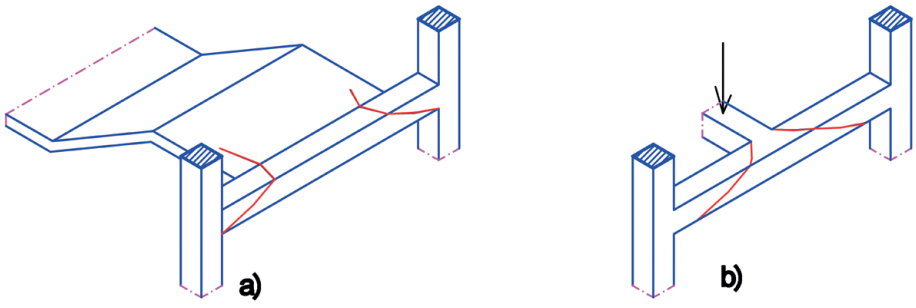
2.4.2.3.12. TORSIÓN

En las construcciones podemos encontrar elementos en los que podemos establecer dos tipos de estados tensionales a torsión:

- **Torsión de compatibilidad**: Debida a la necesidad de compatibilizar las deformaciones mediante rotaciones angulares de la pieza considerada con las contiguas, siendo el caso más frecuente.

- **Torsión de equilibrio**: En este caso los pares torsores son necesarios para asegurar el equilibrio. Son las más peligrosas.

Las fisuras en general suelen ser muy finas e incluso en determinadas situaciones difíciles de apreciar, se manifiestan en forma helicoidal sobre el eje de la pieza, pudiendo aparecer varias fisuras que presentan la misma inclinación en cada una de las caras, Ilustración.

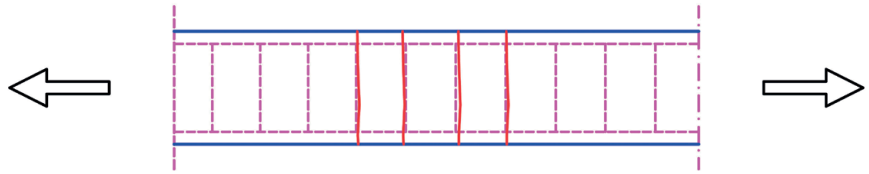


Fisuras de torsión: (a) de compatibilidad y (b) de equilibrio.

2.4.2.3.13. TRACCIÓN SIMPLE

Este tipo de fisuras son poco frecuentes en piezas de hormigón armado, por impedirlas las armaduras en general. Sin embargo, cuando las deformaciones de éstas son importantes, aparecen fisuras que se manifiestan con un trazado normal a las barras principales, atravesando la sección de una parte a otra y de

ancho variable de una a otra, se forman más o menos simultáneamente y suelen ubicarse en los lugares de emplazamiento de los estribos. Suelen aparecer de forma súbita, Ilustración.



Fisuras de tracción simple en un pilar.

2.4.2.4. ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE MADERA

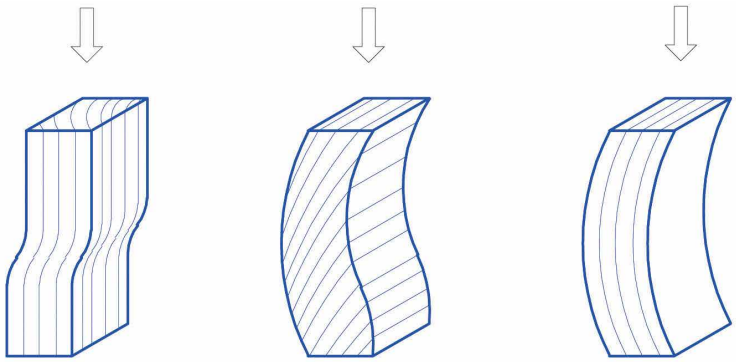
La madera ha sido el material de construcción por excelencia, usado desde la prehistoria hasta la fecha actual y único material hasta el siglo XIX resistente a las tracciones y compresiones.

Es un material vivo y, por tanto, con una vida limitada en función de las situaciones a que ha estado sometida y que da origen a numerosas lesiones.

2.4.2.4.1. COMPRESIÓN

Se distinguen dos tipos de compresión en función de la dirección del esfuerzo con la de las fibras de la madera:

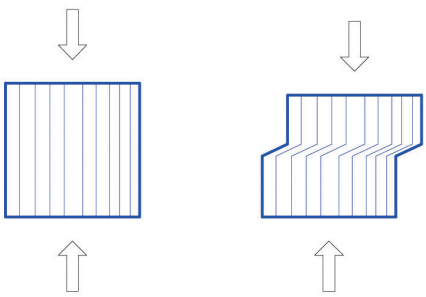
- **Compresión axial**: Es el caso más generalizado y en general estas lesiones se manifiestan mediante pandeos en que las fibras en dirección aproximadamente perpendicular a los anillos de crecimiento, Ilustración.



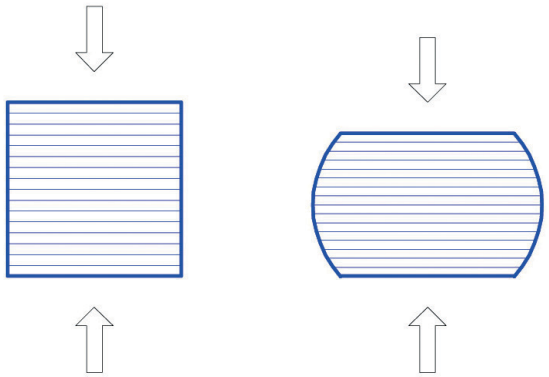
Lesiones por pandeo de pies derechos de madera.

Si el elemento es poco esbelto, la compresión hace que las fibras se separen en haces, produciendo grietas longitudinales que dan origen a columnillas de madera que quiebran por pandeo deslizándose, Ilustración.

- **Compresión radial**: Las lesiones se manifiestan mediante un aplastamiento de las fibras, que en primera instancia se deforma por la acción de la carga y posteriormente sufre una deformación sin aumentar la carga, Ilustración.



Lesiones por compresión axil.

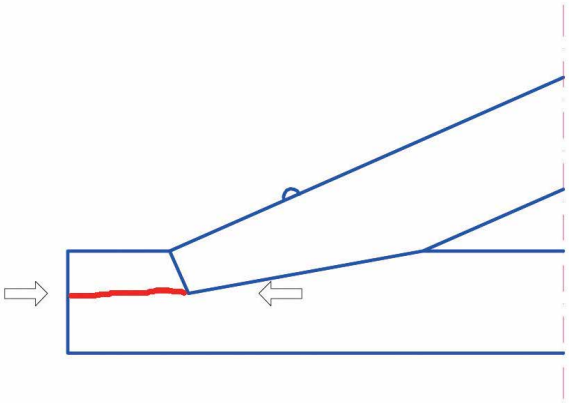


Lesiones por compresión radial.

2.4.2.4.2 CORTANTE

Generalmente no se da la rotura por cortante en sentido perpendicular a las fibras al presentar una resistencia muy alta, rompiéndose por otros defectos.

Cuando el cortante actúa en dirección de las fibras, se manifiesta mediante un deslizamiento entre las capas de la madera, Ilustración.



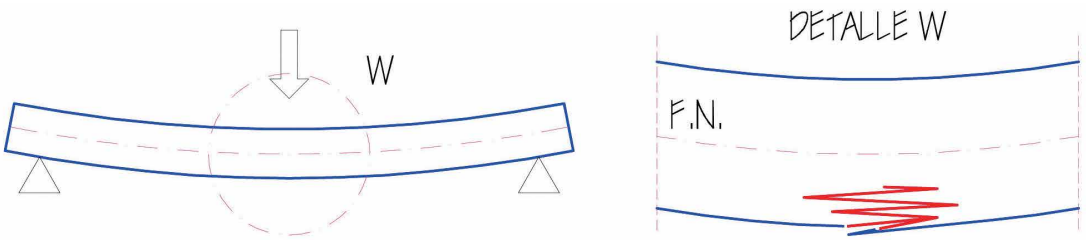
Lesiones de cortante.

2.4.2.4.3. FLEXIÓN

Los elementos sometidos a flexión disponen las fibras perpendiculares a la acción de las cargas. Las lesiones de un elemento sometido a flexión se manifiestan de la siguiente forma, Ilustración.

- Aplastamientos de la madera en las zonas de compresión.
- Rotura de la madera con desgarro en zonas de tracción.
- Deslizamiento entre capas horizontales por esfuerzo rasante.

Si la fisura se manifiesta sin formar astillado, de forma más o menos perpendicular a la viga, es síntoma de rotura frágil como por pudrición, ataque de insectos xilófagos, etc.



Lesiones de flexión.

2.4.2.4.4. HONGOS

Cuando en la madera se dan unas determinadas condiciones adecuadas a la vida de los hongos, éstos se desarrollan a expensas de la madera destruyéndola. Estas condiciones son las siguientes: humedad entre 20 y 28 %, aire en pequeñas cantidades, temperatura entre 2°c y 45°c, falta de luz y alimento: Celulosa, lignina y almidones.

Los tipos de hongos se agrupan en dos grupos en función de las alteraciones que producen en la madera:

- **Hongos cromógenos**: Producen cambios cromáticos. Atacan a las maderas frondosas y coníferas, siendo éstas más susceptibles. Se alimentan de las sustancias de reserva preferentemente de la albura, sin afectar a la pared celular, no afectando por tanto a la resistencia estructural.

  En España los más importantes son los que se manifiestan mediante una coloración de la madera "gris azulada", madera cárdena, de las coníferas y el "pasmo" de la madera de haya, en que aparece un veteado con finas líneas negras y una coloración pardo rojiza. Producida por hongos Denteromicetos y por algunos Ascomicetos Pireniales Esferiáceos.

- **Hongos de pudrición**: Producen pudriciones y alteraciones de las propiedades físicas y mecánicas.

  - Pudrición blanca, corrosiva o deslignificante, se da en maderas coníferas y frondosas, fundamentalmente tropicales y afecta tanto a la albura como al duramen. Se manifiesta por medio de un complejo celulósico más o menos blanquecino, raramente uniforme y con frecuencia alveolado o fibroso sin resistencia de ningún tipo.

  - Pudrición parda o cúbica: se da en todo tipo de maderas y afecta a la albura. Se manifiesta mediante una coloración parda o parda rojiza que se descompone finalmente en trozos cúbicos o irregulares. Por su aspecto externo se pueden diferenciar dos tipos de pudrición: Seca y húmeda.

2.4.2.4.5. INSECTOS XILÓFAGOS

Estos insectos necesitan también de unas determinadas condiciones para que la vida se pueda desarrollar: humedad, aire, temperatura entre 0°c a 45°c y alimento.

Se manifiestan mediante la llamada madera picada, en la que se presentan agujeros y galerías en su interior, que pueden llegar a reducir de forma importante la sección del elemento afectado. Cuando la madera es vieja o lleva años en estado de abandono, podemos encontrar diversos ataques asociados.

Los ataques más frecuentes son por:

- **Carcoma**, agujeros de salida (1,5-2 mm. ø), galerías en todas direcciones de sección circular sin taponar por el serrín, algo granuloso y basto. Heces en forma ovoide, parecidas a un puro.

- **Polilla de la madera**, agujeros de salida ligeramente ovalados (1 - 1,5 mm. ø). Serrín muy fino casi impalpable, harinoso, que tapona las galerías. La madera puede aparecer totalmente deshecha salvo una fina capa exterior.

- **Termita**, atacan cualquier madera, quedando desecha, con láminas interconectadas y una ligera capa externa. Realizan galerías longitudinales sin serrín; puede haber heces en las no usadas, agujeros taponados con tierra, cámaras nidales y túneles de tierra hasta la madera atacada. Ruido imperceptible.

2.4.2.4.6. METEORIZACIÓN

La madera expuesta a la acción de la lluvia, hielo o más generalmente a cambios de humedad y temperatura, así como a la acción de los rayos ultravioleta del sol, envejece con relativa rapidez, que lo manifiesta mediante los siguientes efectos:

- Cambios de coloración, que primero amarillea, aclarando las maderas oscuras y con posterioridad adquieren un color grisáceo.
- Desfibrado por falta de lignina.
- Hinchamientos con la humedad que al secar contrae y aparecen las fendas.

2.4.2.4.7. TRACCIÓN

Las maderas se someten a esfuerzos de tracción siempre actuando el esfuerzo en dirección paralela a las fibras. La madera se comporta como un material frágil a este esfuerzo, por lo que con muy escasa deformación plástica, aparece la rotura rápidamente mediante un desgarrado de las fibras que la forman. Es más frecuente que falle por las uniones que se utilizan para hacer que el material trabaje a este tipo de esfuerzos, dada la complejidad de ello.

3. COMPORTAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS FRENTE LA ACCIÓN DEL FUEGO

3.1. CONCEPTOS Y NORMAS RELACIONADAS CON EL COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES

3.1.1. CURVA DE FUEGO NORMALIZADA

El tiempo de resistencia al fuego, en muchos reglamentos para edificación, se basa en una prueba del comportamiento al calor según una curva acordada internacionalmente, de tiempo-temperatura definida en la ISO 834, que no representa ningún tipo de fuego natural. Se caracteriza por una temperatura ambiente que crece continuamente con el tiempo, pero a una intensidad reducida. La curva normalizada tiempo-temperatura es la curva nominal definida en la norma UNE EN 1363:2000 para presentar un modelo totalmente desarrollado por un sector de incendio:

Está definida por la expresión:

$$\Theta_g = 20 + 345 \log 10\,(8\,t + 1)\ [ºC]$$

siendo:

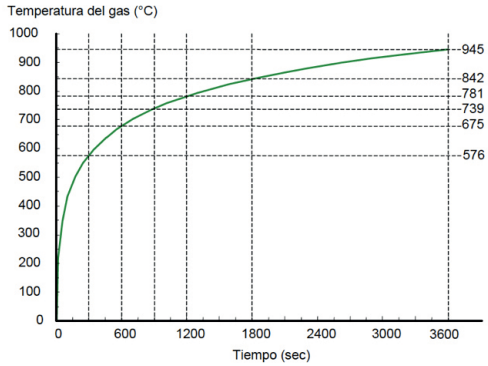
Θ_g temperatura del gas en el sector [°C];

t tiempo desde la iniciación del incendio [min].

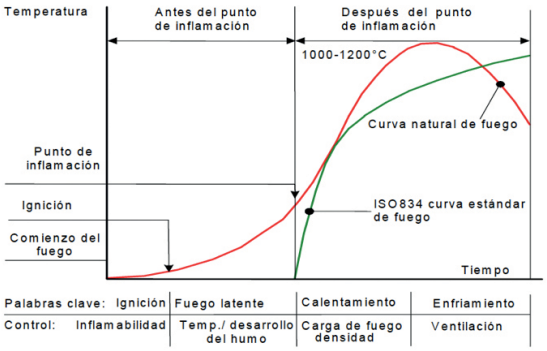
La curva normalizada tiempo-temperatura supone, aproximadamente, las siguientes temperaturas:

Tiempo t, en minutos	15	30	45	60	90	120	180	240
Temperatura en el sector Θg , en °C	740	840	900	950	1000	1050	1100	1150

Esta se ha convertido en una curva estándar que se usa para pruebas de elementos en horno. El valor mencionado del tiempo de resistencia al fuego no indica, por lo tanto, el tiempo real en el que un elemento de un edificio pueda resistir, sino que es una comparación relativa, e indica la severidad del fuego bajo el cual un elemento puede resistir.



Curva temperatura atmosférica en curva estándar de fuego ISO 834.



Fases de un fuego natural comparando temperaturas atmosféricas con la curva estándar de fuego ISO 834.

3.1.2. REACCIÓN AL FUEGO DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

El RD842/2013 clasifica los productos de la construcción y los elementos de construcción en función de sus propiedades de reacción y resistencia al fuego. El Código Técnico emplea la siguiente clasificación para determinar el comportamiento de un material frente la acción del fuego en función de su contribución al desarrollo del mismo, anulando las antiguas clases **M0**, **M1**, **M2**, **M3** y **M4**.

La clasificación teniendo en cuenta la contribución a la propagación del fuego es:

A1	No combustible; sin contribuir al fuego en grado máximo.
A2	No combustible; sin contribuir al fuego en grado menor.
B	Combustible con contribución muy limitada al fuego.
C	Combustible con contribución limitada al fuego.
D	Combustible con contribución media al fuego.
E	Combustible con contribución alta al fuego.
F	Sin clasificar, sin comportamiento determinado.

Indicadores adicionales de la opacidad del humo:

s1	Baja opacidad.
s2	Opacidad media.
s3	Alta opacidad.

Indicadores adicionales de caída de gotas o partículas inflamadas.

d0	No las produce.
d1	Las produce en grado medio.
d2	Las produce en grado alto.

Según su aplicación se utilizan subíndices: **FL** para materiales de suelos, **L** para materiales de aislamiento de tuberías y conducciones en general, **CA** para cables eléctricos y **ROOF** para cubiertas.

Los índices principales que indican la contribución a la propagación del fuego (**A1**, **A2**, **B**, **C** y **D**), los índices de opacidad de los humos producidos (**s1**, **s2** y **s3**) y los de caídas de gotas o partículas inflamadas (**d0**, **d1** y **d3**); son más desfavorables en orden creciente; así **C** es más desfavorable que **B**; **s3** más que **s2** y **d1** más que **d0**.

3.1.3. CARACTERÍSTICAS DE COMPORTAMIENTO DE RESISTENCIA AL FUEGO

En cuanto a la resistencia al fuego de los materiales de construcción según la norma UNE-EN 13501-2 los clasifica y define de la forma siguiente:

R	Capacidad Portante	Es la capacidad del elemento constructivo de soportar, durante un periodo de tiempo y sin pérdida de estabilidad estructural, la exposición al fuego en una o más caras, bajo acciones mecánicas definidas.
E	Integridad	Es la capacidad que tiene un elemento constructivo con función separadora, de soportar la exposición solamente en una cara, sin que exista transmisión del fuego a la cara no expuesta debido al paso de llamas o gases calientes que puedan producir la ignición de la superficie no expuesta o de cualquier material adyacente a esa superficie.
I	Aislamiento	Es la capacidad del elemento constructivo de soportar la exposición al fuego en un solo lado sin que se produzca la transmisión del incendio debido a una transferencia de calor significativa desde el lado expuesto al no expuesto. La transmisión debe limitarse de forma que no se produzca la ignición de la superficie no expuesta, ni de cualquier material situado en inmediata proximidad a esa superficie. El elemento también debe constituir una barrera para el calor suficiente para proteger a las personas próximas a él.
W	Radiación	Es la aptitud de un elemento constructivo para soportar la exposición al fuego en una sola cara de forma que se reduzca la posibilidad de transmisión del fuego debida a una radiación significativa de calor a través del elemento, o bien desde la cara no expuesta a los materiales adyacentes. El elemento también puede necesitar proteger a personas próximas. Un elemento que cumple el criterio de aislamiento también se considera que cumple los requisitos W para el mismo periodo.
M	Acción Mecánica	Es la aptitud de un elemento para soportar impactos y representa el caso en el que un fallo estructural o de otro componente en un incendio provoca un impacto sobre el elemento considerado.

C	Cierre Automático	Es la aptitud de una puerta o de cierre de hueco para cerrar automáticamente, compartimentando por tanto una abertura. Se aplica a elementos se mantienen abiertos y que deben cerrarse en caso de incendio.
S	Estanqueidad ante el humo	Es la aptitud de un elemento para reducir o eliminar el paso de gases o del humo de un lado a otro del elemento.
G	Resistencia al fuego de hollín	Se aplica a las chimeneas y sus productos asociados y es la capacidad de resistir el fuego de hollín.
K	Aptitud de protección ante el fuego	Es la aptitud que tiene un revestimiento de pared o de techo para proporcionar protección frente a la ignición, carbonización y otros daños del material que se encuentra detrás del revestimiento, durante el periodo de tiempo especificado.
Ink Slow	Curva de calentamiento lento	Cuando también se ha evaluado adicionalmente la respuesta de un producto a la curva de calentamiento lento
Sn	Fuego semi-natural	Cuando el comportamiento ante el fuego semi-natural es un requisito reglamentario adicional.
ef	Fuego externo	Cuando el comportamiento se determina para la curva de exposición al fuego externo y no para la curva normalizada. (EI 60-ef).

3.1.4. DECLARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE RESISTENCIA AL FUEGO

3.1.4.1. PERIODOS DE CLASIFICACIÓN

Se declaran en minutos y serán 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240, 360.

3.1.4.2. DECLARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO

En general, las clases deben expresarse como sigue:

Para elementos portantes:

REI $_{TT}$: Capacidad portante, integridad y aislamiento.

RE $_{TT}$: Capacidad portante e integridad.

R $_{TT}$: Capacidad portante.

Para elementos no portantes:

EI $_{TT}$: Capacidad de integridad y aislamiento.

E $_{TT}$: Capacidad de integridad.

3.1.4.3. PRESENTACIÓN DE CLASIFICACIÓN

La clasificación se presenta de acuerdo a la siguiente plantilla:

R	E	I	W		t	t	-	M	C	S	IncSlow	sn	ef	r

En función de estos parámetros los materiales se clasificarán en función de las exigencias que se les soliciten, como se observa en las siguientes tablas de ejemplo.

1. *Elementos portantes sin funciones de separación contra el fuego*

Productos	Paredes, suelos, tejados, vigas, columnas, balcones, escaleras, pasarelas.									
Norma(s)	UNE-EN 13501-2+A1; UNE-EN 1365, partes 1 a 6; UNE-EN 1992-1-2; UNE-EN 1993-1-2; UNE-EN 1994-1-2; UNE-EN 1995-1-2; UNE-EN 1996-1-2; EN 1999-1-2 (véase apartado 3.3 de este anexo).									
Clasificación: -										
R	15	20	30	45	60	90	120	180	240	360
Comentarios	-									

2. *Elementos portantes con funciones de separación contra el fuego*

Productos	Paredes									
Norma(s)	UNE-EN 13501-2+A1; UNE-EN 1365-1; UNE-EN 1992-1-2; UNE-EN 1993-1-2; UNE-EN 1994-1-2; UNE-EN 1995-1-2; UNE-EN 1996-1-2; EN 1999-1-2 (véase apartado 3.3 de este anexo).									
Clasificación: -										
RE		20	30		60	90	120	180	240	360
REÍ	15	20	30	45	60	90	120	180	240	360
REI-M			30		60	90	120	180	240	360
REW		20	30		60	90	120	180	240	360
Comentarios	-									

Anexo 3 del RD 842/2013 de 31 de octubre.

3.2 COMPORTAMIENTO AL FUEGO DE LAS ESTRUCTURAS TRADICIONALES

Como ya se ha visto anteriormente, las estructuras tradicionales tienen un comportamiento primordialmente isostático en el que sus nudos estructurales suelen ser apoyos con un nivel bajo de empotramiento, esto va a condicionar su comportamiento frente a las acciones externas y la acción de los incendios.

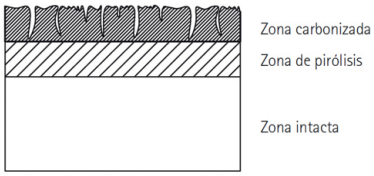
3.2.1. COMPORTAMIENTO AL FUEGO DE LA MADERA

Cuando en un incendio la madera se expone a altas temperaturas, su humedad disminuye en la zona en la que la temperatura la afecta directamente, produciéndose la evaporación del agua que contiene la madera. Esto se puede observar por la sudoración que aparece en su superficie. A partir de que la madera le afecta una temperatura aproximada de 270°C, comienza el desprendimiento de vapores que, en caso de seguir incrementándose la temperatura, son susceptibles de arder. Este proceso, llamado pirolisis de la madera, produce su descomposición en gases según las temperaturas alcanzadas.

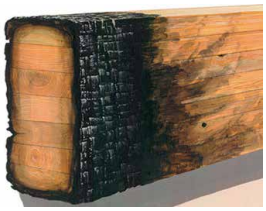
La madera y sus productos derivados están formados principalmente por celulosa y lignina, que, al ser compuestos de carbono, hidrogeno y oxígeno, hacen de ella un material combustible. A pesar de su combustibilidad, si la madera no se somete a llama directa, ésta no comenzará a arder hasta que no alcance aproximadamente los 400°C. Aun siendo expuesta a llama directa, no se producirá la ignición hasta que no llegue a temperaturas en torno a los 300°C.

En general, la madera presenta un buen comportamiento frete la acción de un incendio, debido a que su conductividad térmica es muy baja. Gracias a esto, la combustión, alimentada por el oxígeno, se desarrollará únicamente en la superficie de la pieza.

Tras la combustión de la superficie se origina una capa exterior carbonizada, que protege a otra capa interior contigua en la que se produce la pirolisis. Por último, en el interior de la pieza, queda la madera sin afectar por el fuego.



Zonas afección madera.



Zonas afección madera.

La **pirólisis** es la descomposición química de materia orgánica y todo tipo de materiales, excepto metales y vidrios, causada por el calentamiento a altas temperaturas en ausencia de oxígeno. Involucra cambios simultáneos de composición química y estado físico, los cuales son irreversibles. La pirólisis extrema, que solo deja carbono como residuo, se llama **carbonización**.

El Código Técnico indica que la **velocidad de carbonización** para maderas sin protección, se considerará constante durante todo el tiempo de exposición al fuego y su valor se determinará de acuerdo con la siguiente tabla.

Tabla E.1. Velocidad de carbonización nominal de cálculo, βn, de maderas sin protección

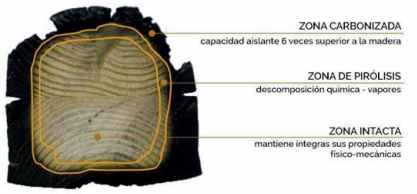
	β_n (mm/min)
Coníferas y haya	
Madera laminada encolada con densidad característica ≥ 290 kg/m^3	0,70
Madera maciza con densidad característica ≥ 290 kg/m^3	0,80
Frondosas	
Madera maciza o laminada encolada de frondosas con densidad característica de 290 kg/m^3 (1)	0,70
Madera maciza o laminada encolada de frondosas con densidad característica ≥ 450 kg/m^3	0,55
Madera microlaminada	
Con una densidad característica ≥ 480 kg/m^3	0,70

(1) Para densidad característica comprendida entre 290 y 450 kg/m^3, se interpolará linealmente

Tabla velocidad de carbonización según DB-SI.

Esta consideración se aplica a efectos de cálculo, pero como ya se ha visto, la capa carbonizada actúa como aislante térmico con lo que, en realidad, la velocidad de carbonización no será constante, sino que disminuirá conforme aumente la capa carbonizada.

Viguetas de madera afectadas por incendio.



Zonas sección madera afectada incendio.

La función de aislamiento que realiza la capa carbonizada, del orden de unas seis veces superior a la de la madera a temperatura ambiente, permite que el interior de la pieza se mantenga a una temperatura mucho menor, manteniendo sus propiedades físico-mecánicas invariables a su estado original. De esta forma, la pérdida de capacidad portante del elemento de madera se debe, principalmente, a la reducción de su sección inicial y no tanto al deterioro de las propiedades del material.

A modo de ejemplo, teniendo en cuenta los valores que establece el CTE DB SI, un elemento estructural de madera afectado por un incendio y en el que cuando se llega han pasado 20 minutos, en el caso de una madera conífera maciza habría sufrido una profundidad de carbonización de 16mm en las caras expuestas. El resto de la sección de madera mantendrá las características mecánicas originales.

El comportamiento de la madera en caso de incendio puede variar dependiendo de otros factores como los que se apuntan a continuación:

- *El estado de conservación la madera*. Independientemente de las características de la madera, un factor muy importante será el estado en el que se encuentre, ya que en numerosos edificios de construcción tradicional los elementos estructurares de madera se encuentran en muy mal estado debido a pudriciones, ataques de xilófagos o deformaciones, que incidirán directamente en la resistencia final de los elementos estructurales.

- *La relación entre la superficie y el volumen de la pieza*. Las secciones estrechas y con aristas vivas aumentan esta relación, conduciendo a un comportamiento frente al fuego menos favorable. Por ejemplo, en piezas de pequeña escuadría resulta más fácil la ignición y la propagación de la llama.

- *La densidad de la madera*. En función del tipo de madera y sus densidades, se comportan frente al fuego de forma diferente. Si la densidad es alta, comienza a arder con menos facilidad y la combustión es más lenta.

- *El contenido de humedad*. En edificación, la mayoría de las estructuras de madera presentan un contenido de humedad que varía entre el 8% y el 15% aproximada- mente, lo que implica que por cada tonelada de madera deben evaporarse entre 80 y 150 Kg de agua antes de que entre en combustión. No obstante, este factor no se considera en la velocidad de carbonización debido a la poca variación del contenido de humedad que se da en la práctica.

- *La existencia de fendas*. Las hendiduras en el sentido de las fibras de la madera incrementan los efectos del fuego. La madera laminada, que apenas contiene fendas, presenta una velocidad de carbonización menor que la madera maciza.

3.2.1.1. VIGAS DE CARGA

Se suelen realizar con secciones de madera de considerable espesor y van apoyadas en los pilares o muros de carga, transmitiendo las cargas que reciben a los elementos de sustentación vertical. Su comportamiento frente a la acción del fuego es bueno si la viga está en buenas condiciones. Si la viga se encuentra en condiciones deficientes, ya sea por excesiva flecha, ataque de xilófagos o por otras circunstancias, el riesgo de colapso será mayor. Como ya se ha visto, la ventaja del comportamiento de la madera frente a la acción del fuego es la creación de una capa protectora de madera quemada, que protege del fuego a la madera interior.

3.2.1.2. VIGUETAS DE MADERA

Las vigas de carga reciben las acciones del forjado a través de las viguetas. Estas suelen ser de madera, pero de una sección mucho menor que las vigas. Las viguetas, que de la misma forma que las vigas, van apoyadas directamente en las vigas de carga, y reciben las cargas directamente del pavimento o a través del entrevigado, realizado generalmente a base de revoltones de yeso o ladrillo que completan la sección del forjado.

En general las viguetas de los forjados se pueden considerar que funcionan independientemente, puesto que no disponen de continuidad resistente. De esta forma en el caso de los forjados tradicionales de vigas y viguetas de madera se pueden producir colapsos parciales de viguetas de madera, con la probabilidad de que se produzcan desprendimientos que puedan ocasionar riesgos a la hora de realizar intervenciones.

La diferencia de este sistema de forjados a los actuales, es que en éste pueden colapsar viguetas independientes y, por el contrario, en los forjados actuales con capa de compresión, las viguetas no funcionan independientemente, sino que forman una unidad estructural con el forjado.

3.2.2. COMPORTAMIENTO AL FUEGO DE LAS ESTRUCTURAS DE FÁBRICA

En general, las estructuras de fábrica debido al uso de los materiales pétreos con los que habitualmente se construyen, suelen tener un buen comportamiento frente a la acción del fuego. Se pueden incluir en este apartado tanto los **muros** como los **pilares de fábrica** en los que generalmente el sistema constructivo y los materiales coinciden en un mismo edificio.

Como referencia el CTE DB SI Anejo F "Resistencia al fuego de los elementos de fábrica" la siguiente tabla indica las resistencias que ofrecen las fábricas en función del espesor y los materiales con que están realizadas:

Tabla F.1. *Resistencia al fuego* de muros y tabiques de fábrica de ladrillo cerámico o sílico-calcáreo

Tipo de revestimiento		Espesor e de de la fábrica en mm						
		Con ladrillo hueco			Con ladrillo macizo o perforado		Con bloques de arcilla aligerada	
		40≤e<80	80≤e<110	e≥110	110≤e<200	e≥200	140≤e<240	e≥240
Sin revestir		(1)	(1)	(1)	REI-120	REI-240	(1)	(1)
Enfoscado	Por la cara expuesta	(1)	EI-60	EI-90	EI-180	REI-240	EI-180	EI-240
	Por las dos caras	EI-30	EI-90	EI-120	REI-180	REI-240	REI-180	REI-240
Guarnecido	Por la cara expuesta	EI-60	EI-120	EI-180	EI-240	REI-240	EI-240	EI-240
	Por las dos caras	EI-90	EI-180	EI-240	EI-240	REI-240	EI-240 RE-240 REI-180	REI-240

(1) No es usual

Tabla F.2. *Resistencia al fuego* de muros y tabiques de fábrica de bloques de hormigón

Tipo de cámara	Tipo de árido	Tipo de revestimiento	Espesor nominal en mm	*Resistencia al fuego*
Simple	Silíceo	Sin revestir	100	EI-15
			150	REI-60
			200	REI-120
	Calizo	Sin revestir	100	EI-60
			150	REI-90
			200	REI-180
	Volcánico	Sin revestir	120	EI-120
			200	REI-180
		Guarnecido por las dos caras	90	EI-180
		Guarnecido por la cara expuesta (enfoscado por la cara exterior)	120	EI-180
			200	REI-240
Doble	Arcilla expandida	Sin revestir	150	EI-180
		Guarnecido por las dos caras	150	RE-240 / REI-80

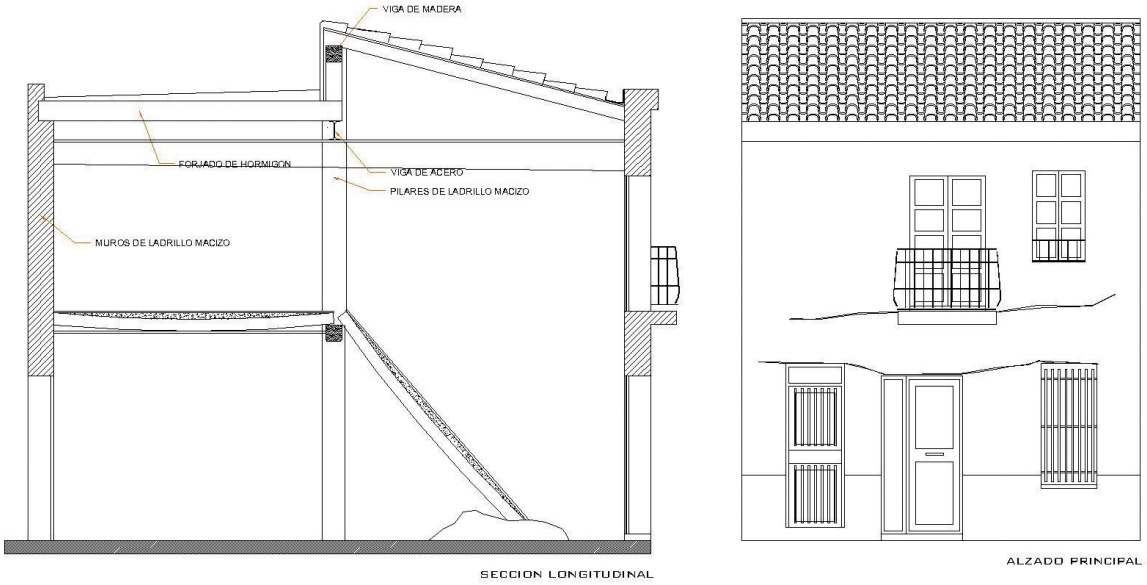
Tabla resistencias fabricas CTE SI.

En las ciudades importantes o capitales coexisten edificaciones de bajas alturas con edificaciones de 4 o 5 alturas que disponen de *muros de carga de ladrillo macizo*. Son muros bastante estables ya que se componen de un material resistente y, la composición del muro resulta homogénea, prolongándose su durabilidad a lo largo de las décadas. En zonas más rurales, o zonas de construcciones de edificios de 1 a 3 alturas, se encuentran también *muros de carga realizados de mampostería* siendo muros de menor calidad cuya composición más heterogénea y materiales de peor calidad, hacen que la degradación y la disminución de la resistencia vaya en aumento con el paso del tiempo.

En general, la acción de un incendio no suele afectar en gran medida al comportamiento de los muros, aunque su resistencia a la acción del fuego dependerá de:

- El material de que este realizado.
- Del espesor propio del muro.
- De su esbeltez.
- De las cargas que soporte.
- De la densidad de carga térmica que exista en el recinto.
- De su estado de conservación.

Los **muros de carga** por si solos es difícil que colapsen, sin embargo, pueden darse casos especiales que provoquen su colapso. En algunas ocasiones el colapso de un forjado intermedio hace que aumente la esbeltez del muro al eliminarse el arriostramiento que produce el forjado en el muro, con lo que la estabilidad estructural del muro se reduce considerablemente, pudiendo producir el colapso del mismo.



Colapso de forjado provoca pandeo de muro y aumento de esbeltez en muro y pilar.

En otras situaciones, los muros pueden verse arrastrados por otros elementos estructurales, ya sea hacia su interior o su exterior. No obstante, si las uniones entre muros y vigas o forjados son apoyadas, habrá menor probabilidad de que el muro sea arrastrado.

Pilares de ladrillo: Las estructuras tradicionales suelen disponer de muros de carga en fachadas, ya sea delantera o trasera, y pilares de ladrillo intermedios, que completan los elementos estructurales verticales de este tipo de estructuras. Su comportamiento frente la acción del fuego suele ser buena, aunque no se debe olvidar que es un elemento estructural totalmente isostático, con lo que puede ser arrastrado fácilmente por otro elemento estructural conectado a él y que sufra colapso. En los pilares apoyarán las vigas de carga, que generalmente se dispondrán de forma paralela a la fachada, si bien por motivos de diseño se pueden encontrar vigas perpendiculares a los muros de carga ubicados en fachada. Estas vigas apoyan en los pilares ocupando una parte importante de su sección con lo que, en ocasiones, cuando estas cabezas de vigas se queman, produce una reducción importante de la sección resistente del pilar, pudiendo colapsar.

3.3 COMPORTAMIENTO AL FUEGO DE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO

En este apartado se describe el comportamiento de los materiales que configuran el hormigón armado, por un lado, el acero y por el otro el hormigón. Finalmente se describe cómo afecta el fuego al conjunto "hormigón + acero".

3.3.1. COMPORTAMIENTO DEL ACERO FRENTE LA ACCIÓN DEL FUEGO

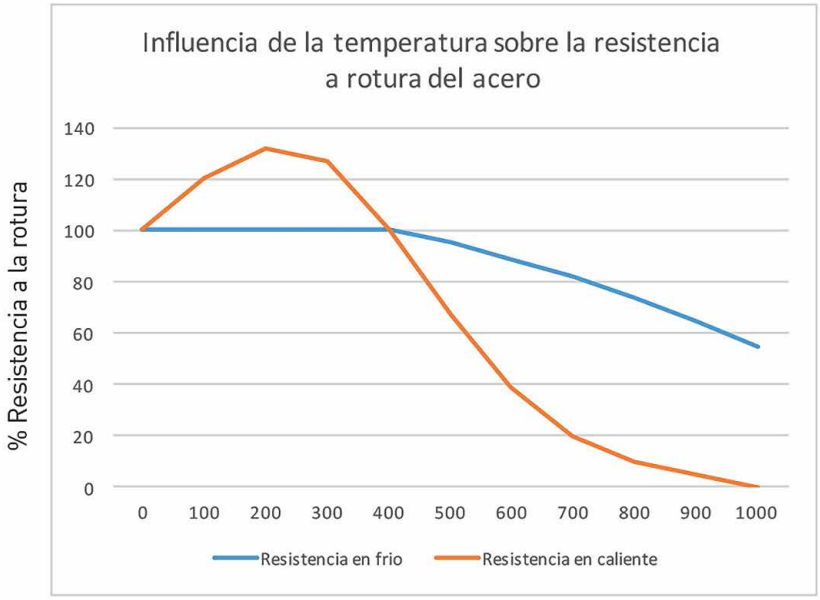
El acero, así como muchos materiales varían sus propiedades mecánicas disminuyendo con el aumento de la temperatura. En la Grafica **33,** se observa la variación de la resistencia mecánica de un acero, en este caso se trata de un acero suave, ensayado a diferentes temperaturas, así como las del mismo acero que ha sido sometido a las mismas temperaturas, pero que se han ensayado a rotura después de hacerlo enfriar hasta llegar a la temperatura ambiente.

Como se puede observar, el acero dulce calentado desde 400ºC hasta 800ºC y posteriormente enfriado lentamente al aire libre presenta una resistencia final que varía ligeramente de la resistencia inicial. A partir de temperaturas que sobrepasen los 800ºc, el acero ve incrementada su reducción de resistencia en frío y llegando a temperaturas más elevadas, del orden de 1000ºC se producen unas reducciones de resistencias mecánicas que llegan a alcanzar hasta el 25 por 100 de la resistencia inicial en frío.

Es importante conocer el comportamiento del acero a altas temperaturas, así como la **resistencia residual** a temperatura ambiente, para poder actuar con seguridad en las posibles acciones post incendio.

En la Grafica **33** se muestra como la resistencia del acero caliente cuando sobrepasa los 400ºC llega a ser menor que la resistencia del mismo cuando se ha enfriado, y también se aprecia el decremento rápido hasta los 800ºC en la que la resistencia queda prácticamente nula.

Todos estos cambios son motivados por la alteración estructural interna que sufre el acero cuando la temperatura sobrepasa los 400ºC, dando lugar a que los granos aumenten de tamaño con lo cual disminuye la tensión de rotura, aumentando los alargamientos. Cuando la temperatura sobrepasa los 723ºC, las transformaciones son mayores al transformarse la ferrita y perlita en austenita.



Influencia de la temperatura sobre la resistencia del acero.

Es muy importante considerar que estos aceros **dulces o laminados** recuperan, prácticamente, sus propiedades primitivas cuando se enfrían.

3.3.1.1. VALORACIÓN DE TEMPERATURAS CRÍTICAS PARA ACEROS DE ARMAR

Cuando por efecto de la elevación de temperatura en un elemento estructural la resistencia mecánica disminuye hasta el punto de igualarse a los esfuerzos a que está sometida, su estabilidad deja de estar asegurada, a esta temperatura se le llama **temperatura crítica**.

El CEB (Comité euro-internacional del Hormigón) propone como definición del comportamiento a la temperatura considerada critica los siguientes valores dados en la siguiente tabla:

Estructura	Naturaleza del acero	Temperatura crítica °C	% Disminución resistencia	
			25%	50%
HORMIGÓN ARMADO	SUAVE	550	600	650
	SEMIDURO	550	500	600
HORMIÓN PRETENSADO	ALAMBRE	450	500	550
	CABLE	300	350	400

Temperaturas críticas del acero.

3.3.1.2. FACTORES QUE CONDICIONAN EL CALENTAMIENTO DEL ACERO DEL HORMIGÓN ARMADO

Los principales factores que condicionan el calentamiento del acero del hormigón armado son:

- La intensidad del calentamiento
- La masa de la pieza, es decir, la relación volumen-superficie expuesta al fuego, de esta forma cuanto mayor sea la masa, más despacio se calentará el hormigón.
- La presencia de pantallas que aseguren la protección del acero frente a las elevaciones de temperaturas.
- El recubrimiento de las armaduras forma una barrera de vital importancia a la hora de retrasar el calentamiento de las armaduras, será el recubrimiento y su espesor el elemento que mantendrá las armaduras por debajo de las temperaturas críticas.

La elevación de las temperaturas en el hormigón armado también afecta de una forma importante a la adherencia entre el hormigón y el acero. Hertz realizó unos ensayos pull-out y obtuvo los siguientes resultados:

- Hasta 300 y 400°C la disminución de la adherencia sigue una ley muy parecida a los cambios de resistencia del hormigón,
- A 400°C la relación tensión adherencia-resistencia se reduce a un 65 por 100,
- A 600°C la relación tensión adherencia-resistencia se reduce a un 35 por 100,
- Entre 600 y 800°C la adherencia prácticamente desaparece.

3.3.2. COMPORTAMIENTO DEL HORMIGÓN FRENTE LA ACCIÓN DEL FUEGO

Cuando un elemento de hormigón está sometido a la acción del fuego, sus componentes sufren modificaciones importantes. Así, el agua libre o capilar incluida en el hormigón empieza a evaporarse a los 100°C, retardando de esta forma, el calentamiento del mismo.

Entre 200° y 300° C la pérdida de agua capilar es completa sin que se aprecie aún alteración en la estructura del cemento hidratado y sin que las resistencias disminuyan de forma apreciable.

De 300° a 400°C se produce la pérdida de agua de gel del cemento, teniendo lugar una sensible disminución de las resistencias y apareciendo las primeras fisuras superficiales en el hormigón.

A los 400°C, una parte del hidróxido cálcico procedente de la hidratación de los silicatos se transforma en cal viva.

Hacia los 600°C, los áridos que no tienen todos los mismos coeficientes de hidratación térmica se expanden fuertemente y con diferente intensidad, dando lugar a tensiones internas que empiezan a disgregar el hormigón. Muchas veces esta expansión esta incrementada por transformaciones estructurales dentro de ciertos áridos.

Si se analizan los áridos desde el punto de vista mineralógico se observa que; los de tipo cuarzoso, como el granito y el gneis se fisuran por encima de 500° C por la acción del aumento volumétrico que experimenta el cuarzo al cambiar de estructura con el valor; los no cuarzosos como el basalto, no experimentan daños por la acción del calor; los ligeros debido a su estructura vítrea, se comportan muy bien frente a las altas temperaturas, mientras que los ligeros artificiales, como arcillas expandidas, escorias, etc. , tienen una reacción frente al fuego muy similar a la de los áridos no cuarzosos; hay que tener presente que las temperaturas a las que han sido formados son muy superiores a las del incendio.

3.3.2.1. CAMBIOS DE COLORACIÓN DEL HORMIGÓN CON EL AUMENTO DE LA TEMPERATURA

El hormigón en el proceso de elevación de temperatura va sufriendo una serie de cambios de coloración, especialmente si los áridos son silíceos, que puede servir de índice de las pérdidas de resistencia.

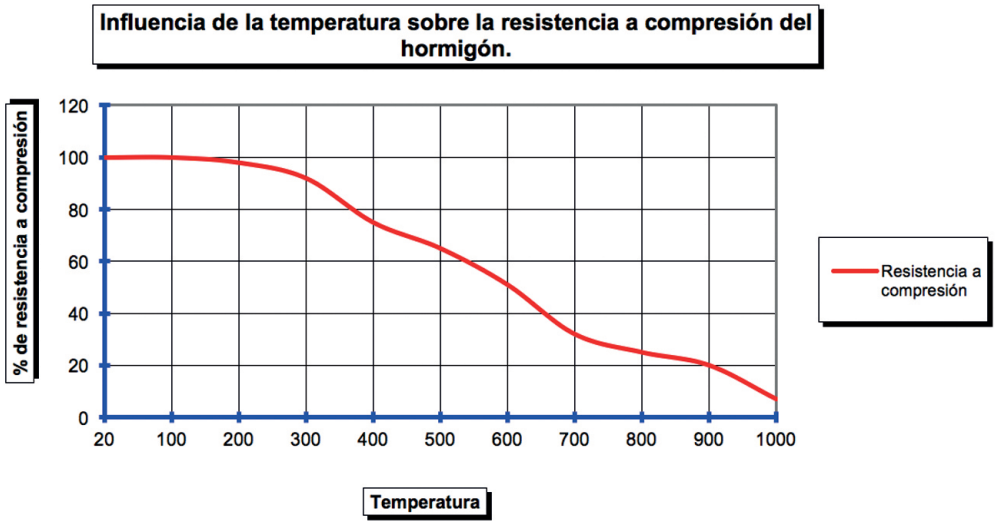
- Así a 200°C el color del hormigón es gris y no hay cambio apreciable de condiciones, existiendo una ligera disminución de la resistencia a compresión que a los 300°C puede valorarse por término medio en un 10%, decreciendo progresivamente a partir de esta temperatura.

- De 300° a 600°C el color cambia de rosa a rojo bajando la resistencia a compresión hasta valores de un 50% de su valor primitivo, el módulo de elasticidad puede descender hasta quedar en un 20 % y la resistencia a tracción llega a tener un valor prácticamente despreciable.

- Entre 600° y 950°C el color cambia de nuevo a un segundo gris con puntos rojizos que es el índice de friabilidad y alta succión de agua, siendo la resistencia a compresión muy pequeña.

- De 950° a 1.000°C el color cambia a amarillo anaranjado o ante y el hormigón empieza a sinterizarse.

- Entre 1.000° y 1.200°C el hormigón sufre la sinterización, su color se torna amarillo claro y sus resistencias son totalmente anuladas, creando sólo un material calcinado y blando.



Influencia de la temperatura en la resistencia del hormigón.

Los cambios descritos anteriormente son permanentes y las observaciones de color pueden ser hechas, lo mismo al día siguiente del incendio que, a varias semanas e incluso varios meses de su extinción. Sin embargo, si la estructura ha estado sometida a temperaturas superiores a los 600°C y después actúa sobre ella el agua, la coloración puede cambiar e inducir a error debido a los depósitos de limo que pueden producirse.

Si la temperatura del hormigón sobrepasa los 500°C, este puede experimentar una rehidratación que puede hacerle recuperar hasta el 90% de su resistencia inicial al cabo del año.

El siguiente cuadro da una idea de cómo influye la temperatura sobre la coloración y pérdida de resistencia en el hormigón.

Temperatura °C.	Color del hormigón.	Resistencia residual en % de la resistencia inicial.	Módulo de elasticidad en % del módulo inicial.
20	Gris	100	100
200	Gris	95	70
300	Rosa	95	50
400	Rosa	80	38
500	Rosa	75	35
600	Rojo	55	20
900	Gris rojizo	10	0
1000	Amarillo anaranjado	0	0

Coloración del hormigón y variación de resistencias.

3.3.3. COMPORTAMIENTO DEL HORMIGÓN ARMADO FRENTE AL FUEGO

El hormigón armado está formado por dos elementos, el acero y el hormigón, habrá que considerar por tanto dos temperaturas críticas. Si se tiene en cuenta que, de los dos materiales, el más sensible al calor es el acero, de ahí la importancia que tiene el proteger a este mediante recubrimientos de hormigón apropiados o capas aislantes térmicas.

A parte del comportamiento frente a la acción del fuego que van a tener el acero y el hormigón de forma individual, cuando se unen para formar el hormigón armado, el fuego les afecta debido a la interacción acero-hormigón. Una acción que va a influir en el comportamiento de los elementos estructurales de hormigón armado va a ser la diferencia de dilatación térmica del acero y del hormigón a altas temperaturas, y otro factor de vital importancia va a ser la disminución de la tensión de adherencia acero-hormigón a altas temperaturas.

3.3.3.1. DIFERENCIA DE DILATACIONES DE LOS DISTINTOS MATERIALES

En el hormigón armado el efecto de la variación de temperatura sobre los componentes hormigón y acero no suele dar lugar a la aparición de tensiones cuando las temperaturas son normales, debido a que el coeficiente de dilatación térmica de ambos materiales es muy similar: $1{,}2 \cdot 10^{-5}$ mm·(mm°C)$^{-1}$ para el acero y $1{,}0 \cdot 10^{-5}$ mm·(mm°C)$^{-1}$ para el hormigón.

Sin embargo, cuando las temperaturas son elevadas ambos coeficientes se separan tanto que el coeficiente de dilatación térmica del acero puede llegar a ser 30 veces superior al del hormigón haciendo que se produzcan tensiones importantes que hagan saltar los recubrimientos.

El acero, al quedar directamente expuesto al calor se dilata, disminuye su límite elástico y su tensión de rotura, su temperatura se aproxima a la crítica y sobreviene el fallo alrededor de los 500°C dependiendo del tipo de acero.

En el caso de pilares, las barras al dilatarse pandean y hacen saltar los recubrimientos dando lugar a que la resistencia del pilar disminuya tanto que puede ocasionarse el fallo o colapso.

En el caso de forjados sometidos a la acción del fuego por su cara inferior, se producen dilataciones en esta cara que provocan que el forjado se curve, se desprendan bovedillas y que incluso se produzcan grandes huecos centrales de tipo circular o elíptico.

3.3.3.2. COMPORTAMIENTO DE LA ADHERENCIA DE LAS ARMADURAS-HORMIGÓN A ALTAS TEMPERATURAS

3.3.3.2.1. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA TENSIÓN DE ADHERENCIA A ALTAS TEMPERATURAS

La tensión de adherencia de las armaduras con el hormigón vendrá influenciada por unos factores comunes a todos los casos, y otros factores específicos dependientes de las altas temperaturas.

Como factores que siempre influyen en la tensión de adherencia de las armaduras están:

- Diámetro de la armadura: Es obvio que a mayor diámetro de las armaduras dispondrá de un mayor aumento de superficie de contacto armadura-hormigón, lo cual proporcionará una mayor tensión de adherencia por unidad de longitud de redondo.

- Resistencia del hormigón: La resistencia del hormigón va a ser un factor determinante en la tensión de adherencia ya que va a ser la resistencia del aglomerante del hormigón el que va a impedir que la armadura se desplace y pierda su adherencia. En las características propias de cada hormigón, también influirá la granulometría, un factor siempre importante para que la resistencia del hormigón sea óptima. En general, la buena confección del hormigón, buena dosificación, resistencia característica, granulometría, colocación, vibrado, y curado dará un buen hormigón con buenas tensiones de adherencia.

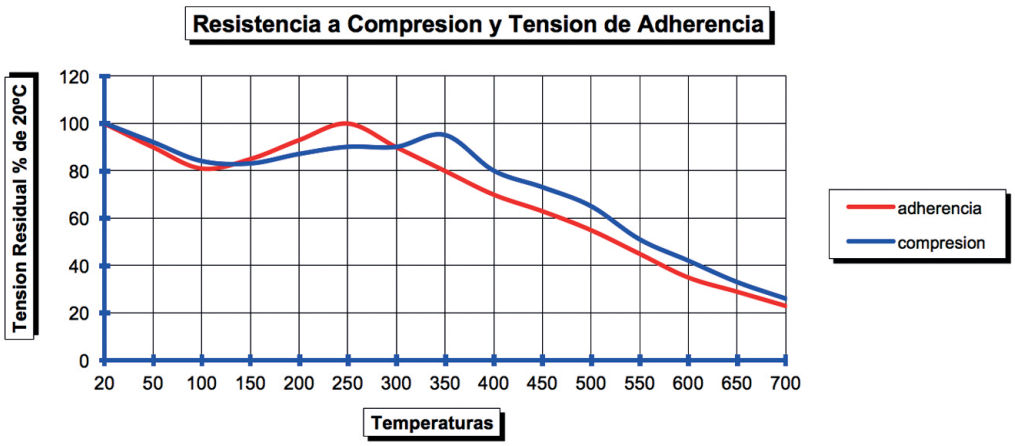
Como factores que influyen cuando se le aplican grandes temperaturas, se puede citar:

- La temperatura: La variación de temperatura va a ser un factor muy importante que influirá en el fallo de la tensión de adherencia de un modo definitivo. En el proceso de elevación de temperatura del hormigón, el recubrimiento de las armaduras es la primera parte que sufre la acción de las elevadas temperaturas, este hormigón conforme va aumentando la temperatura va perdiendo prestaciones mecánicas y de resistencia, con lo cual la tensión de adherencia de las armaduras va en decremento, en el momento que la temperatura afecta a las armadura, de forma que empiezan a dilatar, esta comprime al hormigón circundante, y la tensión de adherencia experimenta un incremento en su valor. Cuando la compresión es de tal magnitud, que el recubrimiento de las armaduras comienza a fisurarse es cuando la tensión de adherencia comienza a descender hasta el punto que las armaduras quedan a la vista, este fenómeno ocurre con las armaduras corrugadas, con las lisas la curva de tensión de adherencia es siempre descendente.

3.3.3.2.2. VARIACIÓN DE LA TENSIÓN DE ADHERENCIA CON EL AUMENTO DE LAS TEMPERATURAS

En la siguiente gráfica se muestra la comparación entre la tensión de adherencia y la resistencia a compresión del hormigón. Las curvas representadas, muestran un rápido descenso de la resistencia a partir de los 300°C realizándose unos cambios en el hormigón a causa de la pérdida de humedad (deshidratación del silicato de calcio hidratado en la pasta de cemento) y los movimientos térmicos (contracción de la pasta de cemento y expansión de los áridos). La liberación de la humedad libre no dedicada a hidratar los componentes del hormigón solo afectaría a la contracción del mismo.

Otra característica de las curvas es la depresión que acusan de 100° a 150°C. Como se ve en la siguiente gráfica el resultado de la adherencia y de la resistencia disponen de una similar variación.



Resistencia a compresión y tensión de adherencia.

3.3.3.2.3. CONCLUSIONES FINALES RELATIVAS A LA ADHERENCIA

La temperatura tiene una influencia directa sobre la tensión de adherencia armaduras-hormigón, la cual disminuye en relación directa al aumento de la temperatura.

Como la tensión de adherencia de las armaduras también está íntimamente relacionada con la resistencia a compresión del hormigón, este pierde resistencia al aumentar la temperatura y la tensión de adherencia disminuye.

Hay que aclarar la depresión que sufre la tensión de adherencia alrededor de los 150°C y el aumento que se produce a los 250°C; en cuanto al hormigón este va perdiendo resistencia a compresión progresivamente

a causa del aumento de las temperaturas, si no afectaran más transformaciones, la curva de tensión de adherencia seguiría una tónica descendente continua, pero como la dilatación de las armaduras también afecta a la compresión del hormigón circundante de las armaduras, su resistencia a compresión aumenta. Esta es la causa de la primera depresión de la tensión de adherencia y la posterior elevación, para finalmente, cuando el hormigón ya no soporta la tensión que le produce la dilatación de las armaduras, esta falla y pierde resistencia de forma continuada.

En definitiva, estructuras con mayores recubrimientos mantendrán más tiempo una buena tensión de adherencia entre las armaduras y el hormigón.

3.3.4. TABLAS RESUMIDAS DEL COMPORTAMIENTO DEL HORMIGÓN ARMADO

	100°C		200°C	
ACEROS	Armar	Pretensar	Armar	Pretensar
Resistencia (%)	118%	100%	130%	100%
Módulo de elasticidad (%)	100%	100%	97%	80%
Expansión térmica.(‰)	1‰	1‰	2‰	2‰
Tensión de adherencia (%)	80%		95%	
Patologías	Cuando el acero sufre un incremento de temperatura hasta llegar a 100°C la resistencia en el no disminuye prácticamente, no afectará prácticamente en el comportamiento del acero.		Cuando el acero alcanza la temperatura de 200°C, la resistencia del acero, aún sigue aumentando en el acero de armar, en el de pretensar se mantiene. Cabe destacar que la tensión de adherencia comienza a aumentar ya que la dilatación de las armaduras presionan el hormigón circundante y aumenta la tensión de adherencia.	
HORMIGONES (silíceos)				
Resistencia a compresión	93%		86%	
Coloración	GRIS		GRIS	
Módulo de elasticidad(%)	92%		86%	
Conductividad térmica (2.5kcal/m.h.°C a 20°C)	2.25		1.85	
Calor especifico (0.22 kcal/ kg.°C a 20°C)	0.24		0.26	
Coef. difusión térmica (1.4 mm^2/s a 20°C)	1.2		0.91	
Expansión térmica(‰)	1.1		2.1	
Patologías	El hormigón a medida que se eleva su temperatura comienza a perder resistencia a compresión, módulo de elasticidad, conductividad térmica, aumenta el calor específico, disminuye la difusión térmica y se empieza a producir la expansión térmica del hormigón. Todo esto se produce porque el hormigón, empieza a perder el agua libre o capilar, a la vez empieza a perder densidad y disminuyen sus mecánicas			

Tablas resumidas del comportamiento del hormigón armado

	300°C		400°C	
ACEROS	Armar	Pretensar	Armar	Pretensar
Resistencia(%)	120%	100%	100%	100%
Módulo de elasticidad(%)	85%	70%	75%	53%
Expansión térmica.(‰)	3.3‰	3.3‰	5.2‰	4‰
Tensión de adherencia(%)	90%		70%	
Patologías	La resistencia del acero ya empieza a disminuir, pero con poca intensidad, realmente no se aprecia, el módulo de elasticidad ha disminuido, pero si no alcanzase mayor temperatura el acero recuperaría el módulo de elasticidad inicial. Lo que empieza a disminuir es la tensión de adherencia, en este momento la dilatación del acero empieza a romper ligeramente el hormigón del recubrimiento que a la vez ya ha perdido resistencia.		A partir de los 400 grados la resistencia del acero va a disminuir vertiginosamente, esto es motivado por la alteración estructural interna que sufre el acero cuando sobrepasa los 400°C. Hay que destacar el peor comportamiento de los aceros pretensados, que siempre se comportaran peor que los aceros de armar. También a estas temperaturas el recubrimiento de las armaduras puede comenzar a fallar y a desprenderse, debido a la pérdida de resistencia del hormigón y al empuje que le proporcionan las armaduras dilatadas. Si se producen las pérdidas de recubrimientos, y el fuego afecta directamente a las armaduras estas, debido a su gran coeficiente de conductividad térmica alcanzan rápidamente temperatura y sobreviene el fallo del acero.	
HORMIGONES (silíceos)				
Resistencia a compresión	80%		60%	
Coloración	ROSA		ROSA	
Módulo de elasticidad(%)	77%		66%	
Conductividad térmica (2.5kcal/m.h.°C a 20°C)	1.7		1.3	
Calor específico (0.22 kcal/kg.°C a 20°C)	0.27		0.29	
Coef. difusión térmica (1.4 mm2/s a 20°C)	0.79		0.58	
Expansión térmica(‰)	3.9		5.7	
Patologías	Cuando en el hormigón llega de 300 a 400°C se produce la pérdida de agua de gel de cemento teniendo lugar una sensible disminución de las resistencias y comienzan a aparecer las primeras fisuras superficiales en el hormigón. Cuando el hormigón llega a estas temperaturas toma una coloración rosácea que nos va a servir para saber en una inspección visual que la temperatura se encuentra entre estos rangos. Cuando se llega a los 400°C una parte del hidróxido cálcico procedente de la hidratación de los silicatos se transforma en cal viva.			

Tablas resumidas del comportamiento del hormigón armado

	500ºC		600ºC	
ACEROS	Armar	Pretensar	Armar	Pretensar
Resistencia (%)	60%		40%	
Módulo de elasticidad (%)	60%	40%	42%	22%
Expansión térmica.(‰)	6.5	5.2	9.1	6.4
Tensión de adherencia (%)	55		35	
Patologías	Como se puede apreciar cuando el acero alcanza temperaturas del orden de 500 o 600ºC la resistencia disminuye en gran proporción. El acero ya ha alcanzado o ha sobrepasado la temperatura critica, según el tipo de acero, en la cual el acero falla, pasa a un estado plástico, de forma que en los soportes las armaduras se pandean entre los cercos perdiendo el soporte toda la resistencia a compresión.			
HORMIGONES (silíceos)				
Resistencia a compresión	42%		30%	
Coloración	ROSA		ROJO	
Módulo de elasticidad(%)	60%		40%	
Conductividad térmica (2.5kcal/m.h.ºC a 20ºC)	---		---[1]	
Calor especifico (0.22 kcal/ kg.ºC a 20ºC)	---[1]		---[1]	
Coef. difusión térmica (1.4 mm2/s a 20ºC)	---[1]		---[1]	
Expansión térmica(‰)	8		13	
Patologías	Cuando el hormigón alcanza esta temperatura los áridos, que no tienen todos los mismos coeficientes de dilatación térmica, se expanden fuertemente y con diferente intensidad dando lugar a tensiones internas que empiezan a disgregar el hormigón. Los áridos silíceos son los que peor se van a comportar frente a altas temperaturas, estos se fisuran por encima de los 500ºC por la acción del aumento volumétrico que experimentas el cuarzo al cambiar de estructura			

[1] Ya no se disponen de datos, ya que, a estas temperaturas, el hormigón silíceo ya ha fallado, a diferencia de otros hormigones como son el de áridos ligeros y calizos que soportan mejor la temperatura.

Tablas resumidas del comportamiento del hormigón armado

3.3.5. NIVELES DE PATOLOGÍAS DEL HORMIGÓN ARMADO

Cuando se produce un incendio en un edificio las temperaturas alcanzadas en el incendio pueden diferir de un lugar a otro del incendio, ya que, en cada recinto, se dan unas circunstancias y características completamente distintas.

A raíz de esto o en función de las temperaturas alcanzadas en los distintos recintos, se van a distinguir varios niveles de patologías del hormigón armado producidas por el fuego.

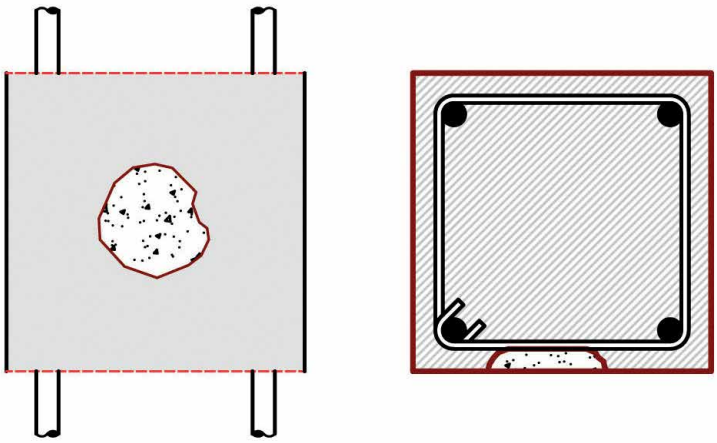
A la hora de hacer una evaluación de los daños se debe conocer con bastante claridad cuál es el nivel de patología que ha alcanzado el elemento estructural, ya que dará una orientación de cual ha podido ser la disminución de la resistencia del elemento estructural.

En los niveles, se hace referencia a patologías producidas en los soportes estructurales de hormigón armado, estos son los elementos estructurales más críticos, y que, en un momento dado, el fallo de un soporte puede provocar el colapso de toda la estructura de hormigón armado, mientras que el fallo de una viga es más difícil que produzca el colapso de la estructura.

El C.E.B. condiciona la urgencia de reparar una estructura de hormigón armado definiendo cinco niveles de patologías que los nombra A, B, C, D Y E.

A continuación, se define cada uno de los niveles de patologías.

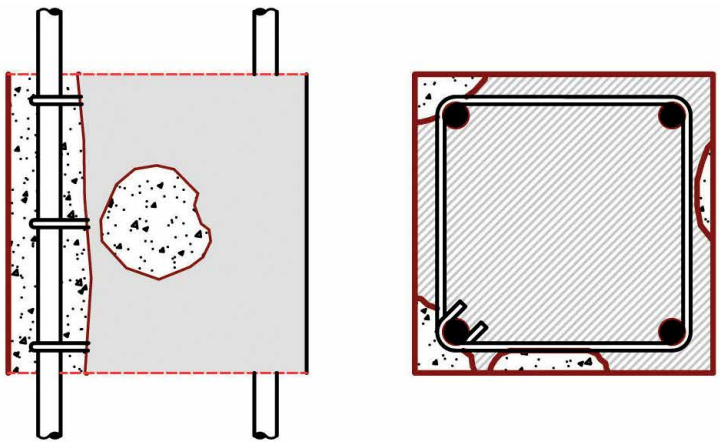
- **NIVEL A:**



Nivel patológico A.

En el nivel A no se presentan daños en los elementos estructurales, solo se aprecian algunos desprendimientos de los yesos de acabado y pequeñas roturas del hormigón. En este caso la coloración prácticamente no cambia, es gris o puede comenzar a tomar un tono rosáceo. En este caso la resistencia que puede perder el elemento estructural puede ser de un 10 a un 20%. La temperatura alcanzada puede haber llegado hasta los 350-400ºC.

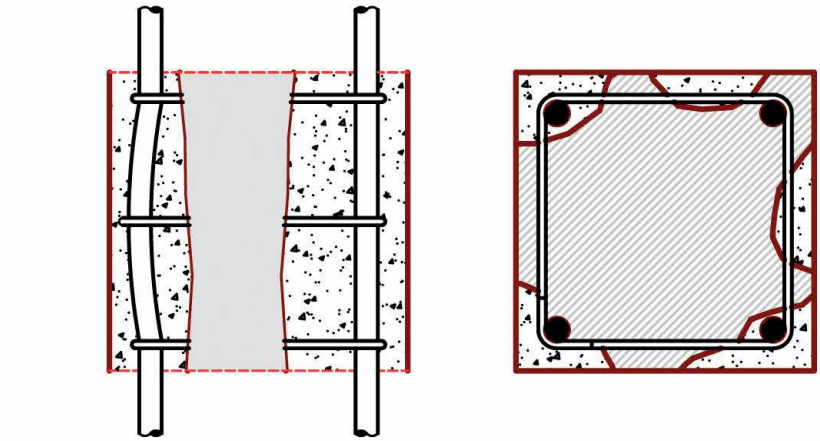
- **NIVEL B:**



Nivel patológico B.

En este nivel ya se aprecian unas pérdidas considerables de los yesos de acabado y pequeñas roturas del hormigón. Las superficies del hormigón ya presentan microfisuras y coloración variable de rosácea a gris rojizo. Se puede prever que en este caso el elemento estructural, puede llegar a perder una resistencia del 10 al 50%. La temperatura puede haber llegado en este caso a 600-650ºC.

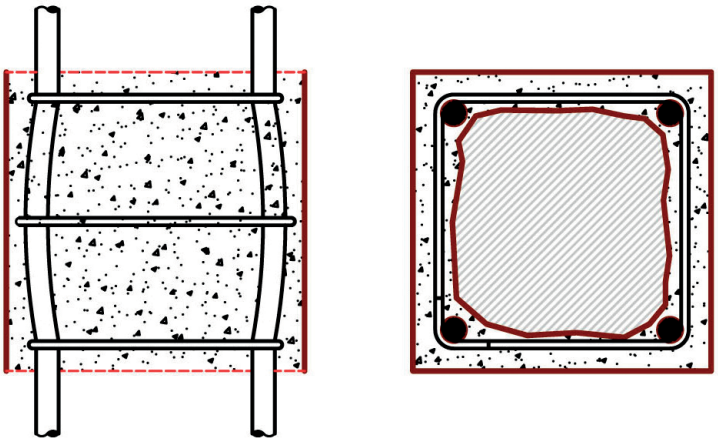
- **NIVEL C:**



Nivel patológico C.

En este nivel de patología se produce la pérdida total de los yesos de acabado. Se producen roturas importantes del hormigón que presentan superficies de color gris rojizo o ante. Las armaduras, permanecen adheridas al hormigón, no existiendo más de una barra que presente síntomas de pandeo. La reducción de resistencia puede llegar a ser de 40-60% de la resistencia inicial.

- **NIVEL D:**



Nivel Patológico D.

En este nivel, los daños son graves, las roturas y desprendimientos del hormigón dejan al aire prácticamente todas las armaduras. El número de barras principales pandeadas es superior a uno. Los pilares muestran signos de deformación. Pueden aparecer grietas de cortante de algunos milímetros de anchura. La coloración es plenamente de color ante y la resistencia ha quedado muy reducida, alrededor del 70-80% de la inicial.

- **NIVEL E:**

En este nivel se llega al colapso parcial de los elementos estructurales, en los cuales la resistencia ha desaparecido casi por completo, es el colapso del elemento estructural, cuando ya no puede soportar las cargas que se les transmiten.

Para otros elementos estructurales tales como vigas y losas o forjados, se pueden adoptar niveles de daños similares teniendo en cuenta que para niveles superiores al "**C**" pueden existir grietas de varios milímetros de anchura y las flechas pueden ser importantes. También hay que tener en cuenta que para el nivel "**C**" la superficie al aire de las armaduras puede llegar a ser del 10% mientras que para el nivel "**D**" esta superficie puede alcanzar el 50%.

3.4. COMPORTAMIENTO DE LOS SISTEMAS ESTRUCTURALES DEL HORMIGÓN ARMADO FRENTE LA ACCIÓN DE LOS INCENDIOS

En este punto se profundiza en el comportamiento de las estructuras de hormigón armado cuando son afectadas por un incendio en función del sistema estructural.

Dependiendo de los tipos de nudos y sistemas constructivos las estructuras de hormigón armado van a comportarse de forma diferente. Para diferenciar el comportamiento de estas estructuras, se agrupan en tres grupos:

- Estructuras de H.A actuales.
- Estructuras de H.A de 30-40 años.
- Estructuras de H.A prefabricadas.

3.4.1. ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO IN SITU REALIZADAS EN LA ACTUALIDAD

Las estructuras de hormigón armado in situ son las más usuales y las que se realizan en la mayoría de edificios. Son estructuras en las que el hormigón y el acero de armar se disponen según sus necesidades y se les hace adoptar la forma correspondiente en el lugar donde van a realizar su función. En la actualidad se usan hormigones de 25 o 30 $N{\cdot}mm^{-2}$ y acero de armar que suele tener unas resistencias mínimas de 280 $N{\cdot}mm^{-2}$. Con la colaboración de los encofrados se realizan los elementos estructurales como las cimentaciones, pilares, vigas y forjados.

La principal característica de las estructuras realizadas in situ es la unidad estructural ya que, sus nudos (encuentros de vigas y pilares) son empotrados. Esto no siempre ha sido así, a lo largo de la época de la construcción con hormigón armado se han usado distintos sistemas estructurales como más adelante se verá.

La unidad estructural de las vigas, pilares, forjados y viguetas es un aspecto de gran importancia a la hora de valorar la seguridad en la extinción de los incendios puesto que la posibilidad de colapso de alguno de sus elementos estructurales, depende en gran medida de esta unidad estructural.

¿Cómo se debe valorar la actuación en la extinción de un incendio en un edificio con una estructura actual de hormigón armado realizado in situ?

En numerosas ocasiones los Servicios de Bomberos han actuado en incendios en los que la estructura del edificio es de este tipo ¿Cuantas veces ha colapsado una estructura o parte de ella en un incendio?

La contestación seria pocas veces. Este tipo de estructuras de hormigón armado con vigas planas o descolgadas embebidas en los forjados y hormigonadas in situ tienen un carácter hiperestático y sus nudos son empotramientos perfectos consiguiendo un comportamiento estable y resistente frente las agresiones o acciones externas.

Descalce cimentación.

Este tipo de estructura funciona como una unidad de forma que, si el fuego afecta a un pilar de hormigón, disminuyendo su resistencia y produciendo su acortamiento debido a su pérdida de resistencia, los elementos estructurales más próximos reorganizan sus esfuerzos y absorben los esfuerzos que debería soportar el pilar afectado.

En la Ilustración se puede observar un pilar de un edificio de H.A actual el cual se ha quedado sin apoyo por un corrimiento de tierras. En este caso, se realizó una inspección por el interior del edificio y prácticamente no se habían producido fisuras, habiendo redistribuido la estructura sus esfuerzos y permaneciendo estable, lo cual confirma el carácter hiperestático de la estructura.

Fallo de pilar a compresión.

De la misma forma que en el caso anterior, en la Ilustración y la Ilustración el edificio en el que se produjo la rotura de este pilar, se produjo una reorganización de los esfuerzos y consecuentemente, se produjeron pequeños movimientos en los elementos estructurales colindantes que motivaron grietas en los cerramientos.

Si el fuego afecta a una viga plana de hormigón en la que sus armaduras quedan expuestas al fuego y la viga pierde resistencia, los forjados contiguos a la viga sujetan en cierta medida la viga evitando su desplome. No obstante, de la misma forma que los pilares, las vigas de hormigón armado disponen de una gran resistencia a la acción del fuego.

Grietas producidas por el movimiento de la estructura.

Si la acción del fuego afecta a un forjado en el que ya han desparecido los fondos de las bovedillas y hay dos, tres o cuatro viguetas que fallan por la acción del fuego, el forjado en si no suele colapsar ya que, si la construcción es actual, la capa de compresión sujetará las viguetas, con lo que se podrán desprender cascotes o partes de las mismas, pero no la vigueta completa.

En este caso, aunque se trata de una estructura de vigas descolgadas y una edad de alrededor de 30-40 años, se puede apreciar el fallo de alguna vigueta, sin que esto suponga el colapso del forjado. En el caso de que hubieran fallado varias viguetas sí que habría riesgo de colapso del forjado.

Viga y forjado afectado por incendio.

Para ver de alguna medida las resistencias que pueden tener los elementos estructurales que se ha comentado, se muestran los siguientes ejemplos:

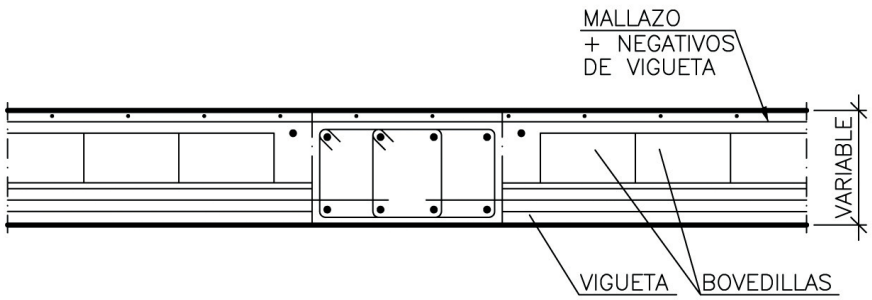
Un pilar de hormigón armado de 30x30 cm: dispone de una resistencia RF de 120 minutos si se le aplica la curva de carga de fuego normalizada, por sus cuatro caras. Si el incendio le afecta únicamente por una cara puede alcanzar resistencias de hasta 240 minutos.

Un forjado unidireccional de hormigón armado incluidas las vigas planas: según un ensayo realizado por la Asociación de Fabricantes de Elementos Estructurales Prefabricados, es de más de 280 minutos aplicándole la carga de fuego de la curva normalizada, lo cual aporta una idea de la seguridad con la que se puede actuar.

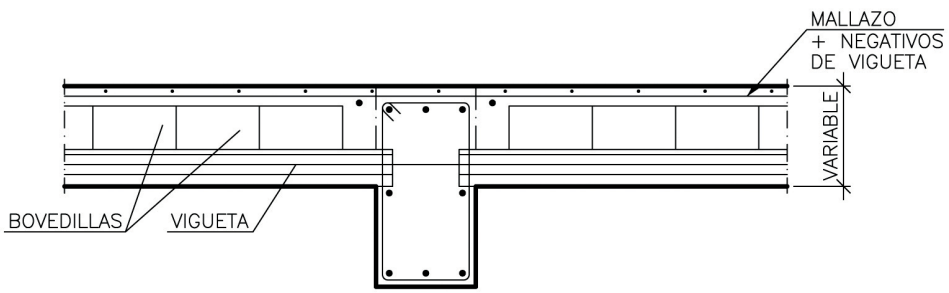
En definitiva; ¿Que precauciones se deben adoptar a la hora de intervenir en un incendio de un edificio con este tipo de estructura?

En realidad, va a ser el edificio con la estructura tipológicamente más resistente que se pueda encontrar. Es muy difícil que con una carga térmica media o elevada de una vivienda y un tiempo de respuesta medio, se pueda encontrar con algún riesgo estructural. No quiere decir esto que no puedan caer cascotes de los culos de bovedilla o revestimientos, pero colapso de partes estructurales es muy difícil que se produzcan.

A continuación, se muestran las secciones de los forjados con vigas planas o descolgadas que se realizan en la actualidad.



Forjado con viga plana.



Forjado con viga descolgada.

Como se ve en las imágenes, la diferencia principal de los forjados actuales a los de hace 30-40 años, es el empotramiento de los forjados en las vigas, produciéndose una unión entre los distintos elementos que componen el forjado.

Cabe reseñar que la carga térmica que se puede encontrar en una vivienda no tiene nada que ver con las cargas terminas que se puede encontrar en algunos almacenes en planta baja, con lo que en estos casos si puede haber riesgos de colapso, pero aun así debe de haber una gran carga térmica y sobre todo una exposición prolongada para que se produzca un colapso de algún elemento estructural en este tipo de estructura.

3.4.2. ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO DE 30-40 AÑOS

En este apartado se describe la diferencia entre las estructuras de hormigón armado de hace 30-40 años y las estructuras actuales.

En los años 60, 70 las estructuras de hormigón armado se construían con hormigones de 17,5 $N \cdot mm^{-2}$ y aceros de armar de menor resistencia que en la actualidad.

El sistema constructivo de las estructuras era de pilares, vigas colgadas y forjados apoyados en vigas; esto hace que las estructuras dispongan de menos rigidez en sus nudos. Además, según la época, los armados de las estructuras han ido mejorándose con el paso del tiempo, solucionándose problemas de diseño estructural que producían patologías (por ejemplo, las excesivas deformaciones en vigas y forjados).

En definitiva, las diferencias entre las estructuras de hace 30-40 años y las actuales son:

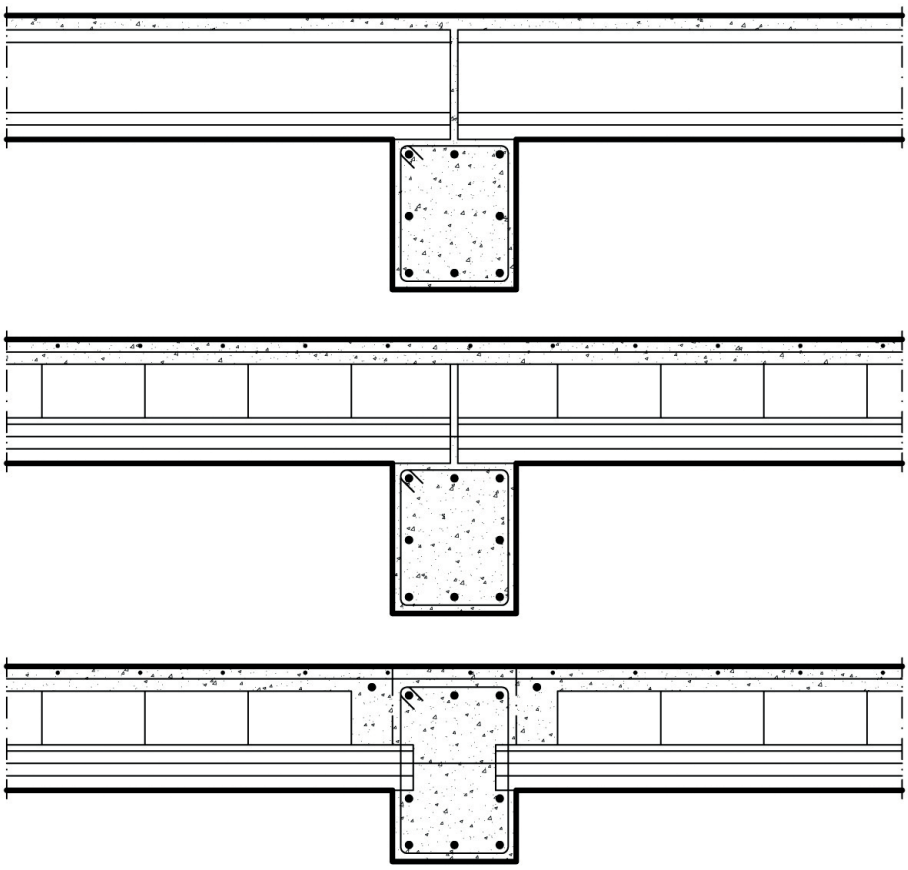
- Menor resistencia de los materiales que componen el hormigón armado.
- Diseño de las estructuras con nudos y unión entre sus elementos menos hiperestáticos que los actuales.
- Menores recubrimientos en las armaduras con lo que en un incendio las armaduras quedan expuestas al incendio más tempranamente que en las estructuras actuales.

Los materiales usados en la actualidad son materiales mucho más resistentes y de mejor calidad. El hormigón que en la actualidad se suele utilizar para la realización de les estructuras es de 25 o 30 $N \cdot mm^{-2}$ mientras que los que se hacían años atrás tienen unas resistencias de alrededor de 10 a 17,5 $N \cdot mm^{-2}$. Los áridos utilizados en la actualidad procedentes del triturado de rocas, son de mejor calidad que los que se usaban en los anteriores, obtenidos directamente de las graveras (áridos rodados). En definitiva, un hormigón de más calidad, mayor resistencia mecánica, mayor durabilidad lo que conlleva un mejor comportamiento frente a la acción del fuego.

Los aceros de armar utilizados en la actualidad son más resistentes y corrugados, lo que mejora el comportamiento de las estructuras de hormigón armado.

La tipología constructiva es un aspecto muy importante en la evolución de las estructuras de hormigón armado. Las estructuras de más de 30-40 años se realizaban con vigas colgadas, donde las viguetas de los forjados apoyaban. De esta forma el sistema estructural no era tan hiperestático como las estructuras actuales. En la actualidad, las estructuras disponen de nudos más hiperestáticos y las vigas planas o descolgadas embebidas en los forjados. Esta diferencia hace que, así como en las estructuras actuales es muy difícil que algún elemento colapse por la acción del fuego, en las estructuras de edad de 30-40 años

es más probable que algún elemento estructural colapse. Principalmente el motivo es que sus nudos o uniones son menos hiperestáticos.



Evolución de forjados.

Como se ve en la Ilustración se muestran tres tipos de uniones o soluciones constructivas entre forjados y vigas:

En el primer caso se trata de un forjado de viguetas autoresistentes simplemente apoyado sin capa de compresión armada. En este caso, la ausencia de capa de compresión armada en la parte superior de los forjados, hace que las viguetas trabajen con mayor independencia, favoreciendo el posible colapso de viguetas aisladas.

En el segundo caso el forjado se realiza con viguetas semirresistentes, apoyado en la viga, pero con capa de compresión armada lo que le da al forjado una unión que favorece el trabajo en forma de lámina.

En el tercer caso coincide la tipología de construcción actual, en el cual el forjado va embebido en la viga, formando una unidad estructural entre forjado y vigas con un nivel de empotramiento perfecto.

A continuación, se describen algunos casos de este tipo de estructuras afectadas por un incendio:

3.4.2.1. EJEMPLO 1: INCENDIO QUE AFECTA A LOCAL INDUSTRIAL

El primer ejemplo muestra imágenes de un incendio industrial con parte de estructura metálica para cubrir la nave y parte de estructura mixta de hormigón armado y acero y que conforman los espacios para

oficinas. El incendio se desarrolló con altas cargas térmicas y un tiempo de exposición prolongado de alrededor de 2-3 horas. Industria de principios de los 70 y su uso era almacén de naranja.

En la Ilustración se muestra una estructura de hormigón armado, realizada con vigas descolgadas, típica construcción de hormigón armado de los años 70, en la que los forjados apoyan sobre las vigas. Se observa que parte de la estructura es de acero lo cual complica el estudio del comportamiento del mismo. Se aprecia el desconchamiento de parte del recubrimiento de la armadura de la viga, así como las marcas que han empezado a realizar los cercos de la viga. Como se puede apreciar el forjado contiguo ha colapsado. Esto es motivado principalmente por la falta de unión estructural entre sus elementos.

En la Ilustración se observa una viga de hormigón desde su cara inferior. Es una viga en la cual se han perdido la totalidad de los recubrimientos de las armaduras, llegando incluso a pandear al producirse la dilatación de las mismas. El hormigón visible ha sido afectado en gran medida, apreciándose la disgregación en las capas que se pueden observar. Es una viga en la que las viguetas no apoyaban, (en la imagen siguiente se observa la disposición de las mismas). Es una viga que carece de resistencia. Seguramente, si el forjado apoyase directamente en la viga, ésta, habría colapsado.

La Ilustración muestra la misma viga que la imagen anterior desde otra perspectiva. Como se ha comentado las viguetas no apoyan en la viga y el estado de la misma es crítico. En realidad, se trata de una viga de gran canto con una inercia tal que en su cálculo sólo se ha dispuesto de una armadura con lo que no se dispondría mucha carga sobre ella, motivo por el cual puede seguir estable.

En la Ilustración se observa una viga y los forjados que apoyan en esta, que han sido afectados prolongadamente por la acción del fuego. Se puede observar la disgregación producida, con la consecuente pérdida de sección de hormigón en la viga. Las viguetas de los forjados han empezado a colapsar, como se observa a la parte derecha inferior de la imagen.

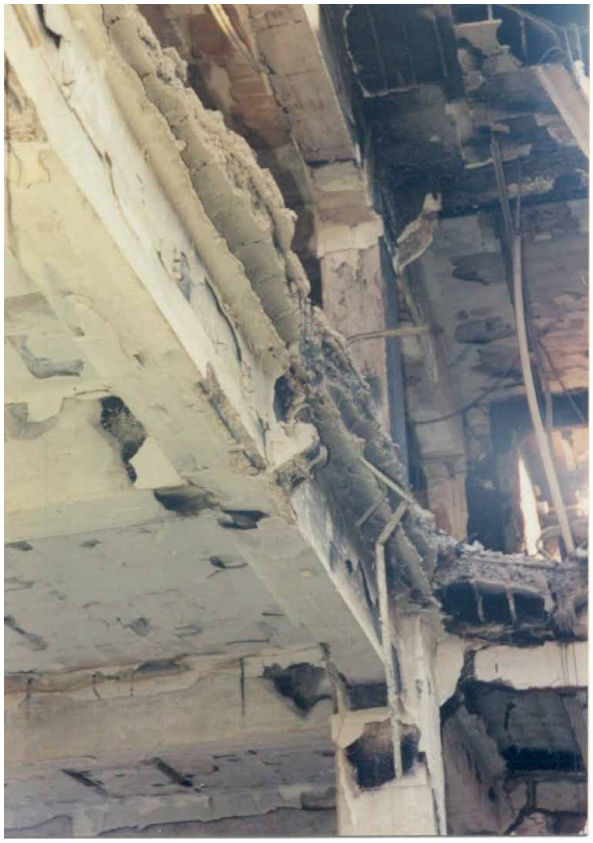
Forjado afectado por incendio.

Viga afectada por incendio.

Viga afectada por incendio.

Viga y forjado afectado por incendio.

Desconchamientos de viga.



Colapso de forjado por fallo de ménsula.

Colapso de forjado.

Curiosamente las bovedillas no han caído, síntoma de la protección que le han proporcionado los generosos revestimientos de yeso.

En la Ilustración, se observa una viga con un armado importante, el cual ha quedado al descubierto en una franja de la viga. El acero habrá sufrido dilataciones en ese tramo de viga, pero no ha llegado a afectar al resto.

En la Ilustración se observa parte de la estructura que sufrió colapso. Se trata de una parte de la estructura, que combina elementos de acero con elementos de hormigón. Evidentemente aquí se puede comparar los dos tipos de estructura, la que utiliza vigas de acero que es más fácil que colapse, y que las que disponen de todos sus elementos de hormigón que, aunque dañadas permanecen estables. Se observa el pilar de acero, el cual se ha deformado, produciendo importantes movimientos en la estructura.

En la Ilustración se puede observar la diferencia de resistencia entre un elemento estructural isostático y otro hiperestático. En el punto medio de la viga, existe una ménsula, en la que apoyaría una viga, continuación de la existente en la parte izquierda de la misma. El fallo de la viga apoyada en la ménsula, ha producido el colapso del forjado superior, en cambio el forjado que apoya en la viga empotrada no ha sufrido daños de importancia. Esta similitud se puede aplicar a las estructuras de hormigón armado totalmente hiperestáticas y las que no disponen de todas sus uniones empotradas.

3.4.2.2. EJEMPLO 2: INCENDIO DE UN GARAJE UN PRIMER SÓTANO

A continuación, se muestra un ejemplo de un incendio de un garaje en un edificio de viviendas ubicado en el primer sótano del inmueble. En este caso se trata de un forjado unidireccional con viguetas hormigonadas in situ. Este tipo de forjado no disponen de elementos prefabricados ya que las viguetas se hormigonan a la vez que el resto del forjado. En este caso las armaduras que se utilizan son corrugadas y no son pretensadas, con lo que sus diámetros van en general del 10 al 20 o 25.

Se trata de un incendio en un garaje de un edificio relativamente nuevo en el que se consumen dos vehículos totalmente, siendo la afección más importante en un área localizada alrededor y en la parte superior de los vehículos.

Como se observa el desarrollo del incendio ha sido suficientemente intenso como para hacer que las armaduras dilaten lo suficiente para reventar el recubrimiento de las mismas, en ese momento quedan totalmente expuestas al incendio, perdiendo toda su función resistente.

En la Ilustración se aprecia el efecto del Spalling, este efecto tiene lugar rápidamente, a los 100-150°C, como resultado del impacto térmico y el cambio de estado del agua intersticial. A medida que el agua se convierte en vapor y debido a la densa estructura del hormigón, el vapor no puede escapar eficientemente a través de su matriz, y la presión aumenta. Cuando la presión en el hormigón es superior a su resistencia, comienza el proceso de desprendimiento o spalling. Estas coqueras así producidas dejan al descubierto el hormigón "fresco", que queda expuesto a un calor intenso, lo que reproduce el proceso de deterioro y desprendimiento a mayor velocidad.

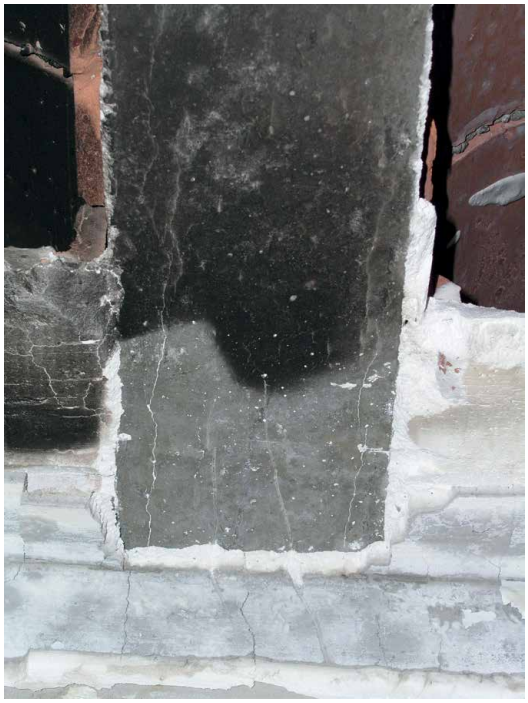
Incendio de vehículos en garaje.

Armaduras al descubierto afectadas.

Spalling producido en el muro de hormigón armado.

3.4.2.3. EJEMPLO 3: INCENDIO EN EDIFICO DE VIVIENDAS

Forjado afectado por incendio.



Detalle fisuración de la vigueta.

Se trata de una estructura de hormigón armado de vigas colgadas y forjados de viguetas de hormigón armado apoyados en las vigas, con entrevigado de bovedillas de cerámica. Durante la extinción del incendio, se apreció una alta densidad de carga térmica, comparándola con la carga térmica existente en otros incendios habituales de vivienda. Durante la inspección posterior al incendio, se detectó en el piso superior, un cierto mimbreo a la hora de caminar por encima del forjado, además de roturas parciales del pavimento y piezas del mismo sueltas. De hecho, la vecina del piso superior, llamó a bomberos para advertir del cierto movimiento, que detectaba al caminar en el forjado.

Después de realizar las pertinentes inspecciones, se comprobó que las consecuencias del incendio se produjeron por la falta de unidad estructural de los elementos del forjado y el escaso espesor de la capa de compresión. Por este motivo, los elementos del forjado se dilataron independientemente produciendo la separación de los mismos, con la consecuencia del mimbreo del forjado y la separación de las baldosas de terrazo.

Este efecto que se ha producido en este forjado, es difícil que se produzca en un forjado con una capa de compresión armada como las que se realizan en la actualidad.

Esta imagen ayuda a identificar el tipo de estructura de hormigón armado. El forjado va apoyado en la viga de canto, no existiendo una unión empotrada entre el forjado y la viga. También se observa que el entrevigado del forjado esta realizado de bovedillas cerámicas, las cuales, siendo frágiles, disponen del material cerámico adherido al hormigón, que tiene un buen comportamiento a la acción del fuego. En un principio con la imagen que se muestra, no se aprecian graves daños estructurales.

En la Ilustración, detalle de la vigueta se aprecia cierta fisuración en las cabezas de las mismas, pero no se puede asegurar de que sean producidas por el aumento de la temperatura, ya que se aprecia yeso en el interior de las mismas, lo que indica que las fisuras ya estaban cuando se aplicó el yeso, con lo que en esa zona la temperatura no ha afectado a afectar de forma importante a las armaduras.

En esta imagen se puede intuir las altas temperaturas que se han producido en el incendio, ya que el material cerámico ha comenzado a disgregarse, dejando a la vista la escueta capa de compresión que dispone el forjado. También se puede apreciar el tono rosáceo que el hormigón de las viguetas ha adquirido.

Detalle forjado afectado por incendio.

Viga y forjado afectado por incendio.

En la Ilustración también se detecta en el pilar el tono rosáceo del hormigón, pero el incendio no se ha prolongado el tiempo suficiente, para que las armaduras dilaten y puedan fisurar el hormigón que las recubre.

Se trata de una imagen general del forjado en la que también se detecta el tono rosáceo del hormigón, tanto en las viguetas como en algunas partes de vigas o pilares.

Como resumen en este incendio los elementos estructurales principales no sufrieron daños de importancia que afecten a su resistencia, únicamente el forjado quedó afectado ya que, al disponer de una reducida capa de compresión, quedaron elementos sueltos lo que producía mimbreo del forjado y movimiento de las baldosas del piso superior.

Pilar afectado por incendio.

3.4.3. ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO PREFABRICADO

En la actualidad están proliferando las estructuras prefabricadas de hormigón armado. En la mayoría de los casos se aplican a construcciones de naves industriales. No obstante, también suelen utilizarse en edificios públicos o edificaciones singulares, en los que por diversos motivos se ha usado una tipología de construcción prefabricada.

El motivo principal de diferenciar estas estructuras de hormigón armado es por la gran diferencia en su comportamiento a la hora de verse afectado por un incendio ya que su sistema constructivo difiere mucho de los vistos hasta ahora. Las uniones entre sus elementos estructurales se deben de realizar de forma que permita el montaje o ensamblaje de estos elementos en obra, solucionando en ocasiones los nudos con un bajo nivel de empotramiento o incluso utilizando simples apoyos, lo que afectará directamente al comportamiento de la estructura frente la acción del incendio. El nivel de empotramiento dependerá de las exigencias del proyecto por ejemplo si es necesario el cálculo frente a sismo o no.

Para empezar, se realiza una breve descripción de cómo son las estructuras prefabricadas, de qué elementos se componen y como son sus uniones.

Este tipo de estructuras se realizan por partes en fábricas, para luego montarlas en los lugares donde se van a construir los edificios. En general, la calidad de los hormigones es mayor que las estructuras realizadas in situ, usándose hormigones de 25 $N \cdot mm^{-2}$ a 40 $N \cdot mm^{-2}$, además al realizarse los elementos estructurales en fábrica, el control de calidad es mejor.

A continuación, se relacionan y describen varios tipos de elementos estructurales prefabricados y su comportamiento frente la acción de los incendios:

3.4.3.1. PILARES PREFABRICADOS

Se suelen realizar con hormigones de altas resistencias. Se empotran a las cimentaciones, pero sus encuentros con las vigas suelen ser apoyos a través de ménsulas integradas en los propios pilares. Sus puntos críticos son las uniones, que depende de cada fabricante usan unos métodos u otros para encastrar los pilares con las cimentaciones o pilares con otros pilares, dando resultados de nudos con un nivel de empotramiento menor que el de las estructuras realizadas in situ. Se muestran a continuación algunos ejemplos.

Soluciones encuentro zapata-pilar por "cáliz", "mecánica" y por "vainas".

Como se muestra en la primera solución el pilar se encastra en un alojamiento previsto para posteriormente rellenarlo con hormigones de alta resistencia, en la segunda se realiza una solución mecánica a base de tornillerías de alta resistencia y la tercera solución se basa en alojar las armaduras del pilar en unas vainas que se han previsto en la cimentación, rellenando con resinas o morteros especiales. Son soluciones que en general aportarán un alto grado de empotramiento.

Pilares prefabricados afectados por incendio.

Como se observa en la Ilustración, el comportamiento de los pilares prefabricados suele ser bueno ya que en general su grado de empotramiento a la cimentación es alto y el pilar en si como sección de hormigón tiene una alta resistencia a la acción del fuego. En las imágenes se observan desconchados de hormigón que dejan a la vista las armaduras que reducen su capacidad portante pero no llegan a disminuir su resistencia lo suficiente.

3.4.3.2. VIGAS PREFABRICADAS

De la misma forma que los pilares, se realizan con hormigones de alta resistencia. La principal diferencia entre las vigas prefabricadas y las vigas realizadas in situ es que en general, las vigas se pretensan adquiriendo la típica forma curvada que las hace comportarse de una forma más óptima frente a los esfuerzos a flexión que va a soportar. Este tipo de vigas es más sensible a la acción de los incendios, ya que las armaduras al estar pretensadas pierden antes su eficacia que las armaduras no pretensadas que se realizan en las estructuras habituales, con lo que si su resistencia se ve disminuida por la acción del fuego podrán colapsar con mayor facilidad.

Por otro lado, los encuentros pilares-vigas se realizan en ocasiones (sobre todo en construcción industrial) con simples apoyos en las ménsulas de los pilares con diferentes grados de empotramiento dependiendo de la solución técnica dada por el fabricante. Se muestran a continuación ejemplos de encuentros o nudos de los que dependerá la estabilidad de la estructura cuando se vea afectada por un incendio.

Como se observa en las imágenes de la Ilustración, en la primera imagen se observan dos vigas que apoyan e las ménsulas del pilar, una de las cuales simplemente apoyada y sujeta con un anclaje mecánico que evita su movimiento, pero que en el caso de sufrir la acción de un incendio, estos anclajes perderían su resistencia, dejando de realizar su función. En la segunda imagen se observan unas vigas apoyadas en las ménsulas que posteriormente van a ser hormigonadas junto con las losas alveolares formando una unidad vigas-forjado que le proporcionará un mejor comportamiento frente la acción de un incendio.

Encuentros pilar-vigas.

En el caso de las vigas y viguetas de las construcciones industriales Ilustración, las uniones suelen ser simples apoyos con algún movimiento impedido o sujeciones con anclajes metálicos que al ser afectados por un incendio dejarán de realizar su función no impidiendo el colapso de las viguetas.

Vigas y viguetas en cubiertas.

En las siguientes imágenes de la Ilustración, se observa el comportamiento que suelen tener estas viguetas, llegando a colapsar todas en las zonas donde la acción del incendio incide. Como se ha comentado, la temperatura anula la función de los anclajes metálicos quedando las viguetas sueltas, posteriormente la vigueta como elemento individual tiene una resistencia escasa a la acción de la temperatura ya que sus armaduras pretensadas dejan de realizar su función rápidamente y al perder la capacidad de trabajar a flexión colapsan. El hecho de que colapsen paños enteros indica la facilidad con que pueden llegar fallar.

Respecto a las vigas de gran canto, su colapso es más difícil. El incendio y las altas temperaturas hace que se produzcan desconchados y queden las armaduras inferiores expuestas, pero debido a su gran sección de hormigón hacen más difícil que se produzca el colapso.

También hay que tener en cuenta que cuando las viguetas y el revestimiento de la cubierta desaparecen, el calor se disipa con mayor facilidad afectando la temperatura en menor medida a estas vigas de gran canto.

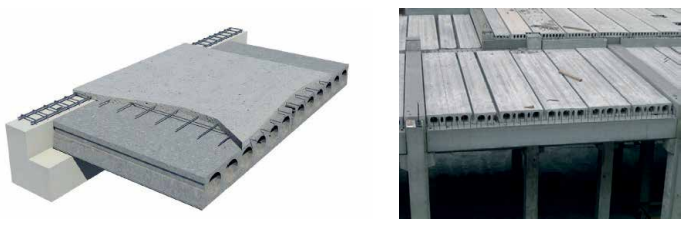
Cubiertas industriales afectadas por incendio.

3.4.3.3. LOSAS ALVEOLARES

Las losas alveolares son elementos estructurales diseñados para trabajar a flexión y se suelen utilizar para la realización de forjados. También se suelen utilizar para la realización de cerramientos de fachada cumpliendo unas exigencias distintas a las de forjado.

3.4.3.3.1. LOSAS ALVEOLARES PARA FORMACIÓN DE FORJADOS

De la misma forma que las viguetas, las losas alveolares cuando se usan para formar elementos estructurales horizontales, se pretensan para lograr un mejor comportamiento frente a esfuerzos a flexión. Asimismo, para armar las losas se utilizan alambres de alta resistencia en vez de armaduras. El comportamiento es similar al de las viguetas, son elementos que individualmente no tienen buen comportamiento a la acción del fuego, pero si se utilizan para la formación de forjados su comportamiento es bueno, ya que suelen ir hormigonados con la capa de compresión que da unidad a todos los elementos que conforman el forjado.



Losa alveolar para formación de forjado.

No obstante, en ocasiones en naves industriales se pueden encontrar trabajando individualmente sin capa de compresión resistente que les de unidad, con lo que su comportamiento frente la acción de un incendio sería peor.

Losas alveolares afectadas por incendio.

En las imágenes de la Ilustración, se observan losas alveolares afectadas por incendios. Como se aprecia las losas que suelen ser huecas en su interior, pierden parte del recubrimiento de los alambres pretensados dejando estos expuestos a la acción de la temperatura, y perdiendo rápidamente su función con lo que la losa pierde gran parte de su resistencia a flexión. En este caso formaban parte de un forjado con lo que la unidad del mismo impidió el colapso de losas individuales.

3.4.3.3.2. LOSAS ALVEOLARES EN PARAMENTOS VERTICALES

En este caso, los paneles de losas alveolares prefabricadas se utilizan para la realización de cerramientos o particiones interiores. También se utilizan cumpliendo las funciones de cerramiento y estructura (muros prefabricados), pero lo más habitual será que se ubiquen anclados a la estructura principal.

Depende de cómo se sitúen y su forma de sujeción, se distinguirán los que van trabados a la estructura y los que van superpuestos a la estructura y sujetos con anclajes, siendo esto un factor que afectará en gran medida a la estabilidad de las placas afectando a la seguridad de los Servicios de Bomberos en sus intervenciones en este tipo de edificaciones.

En el primer caso los paneles de cerramiento de fachada se ubican trabados con los pilares, con lo que el incendio degradará la placa produciéndole las patologías habituales de perdida de sección y perdida de resistencia de las armaduras, pero al estar trabados a la estructura, los paneles permanecerán estables. En consecuencia, a la hora de intervenir en un incendio proporcionarán seguridad y su colapso dependerá del fallo de la estructura, en este caso de los soportes donde está trabada.

Paneles trabados con la estructura.

En otros casos los panales van superpuestos a la estructura, pasando por delante de la misma y anclándose a esta con unos sistemas de anclaje que serán distintos en función del fabricante.

Paneles adosados a la estructura.

Estos paneles a diferencia de los que también tienen función estructural, no tienen una sujeción en su base con un alto nivel de empotramiento. Su estabilidad se basa en su apoyo en la parte inferior y su anclaje a la estructura con unos sistemas de anclaje metálicos regulables que permiten ajustar la colocación.

El inconveniente de estos anclajes es que cuando se ven sometidos a altas temperaturas, pueden dejar de realizar su función ya que el acero pierde su resistencia, dejando las placas inestables susceptibles de colapso hacia el exterior de la estructura.

Placas de revestimiento afectadas por incendio.

Como se observa en las imágenes de la Ilustración, en la primera se ha producido el colapso de los paneles de cerramiento que estaban anclados a los pilares o viga superior y los anclajes, con el incremento de la temperatura han fallado produciendo el colapso de todos los paneles, también se observa como en la parte de la nave que ha habido más temperatura los elementos de cubierta como las viguetas y el revestimiento han fallado siendo estos otro elemento crítico en las extinciones de las naves industriales como ya se había dicho anteriormente.

En la segunda imagen se observan los cerramientos que no han colapsado, pero sí que se observa el deterioro del hormigón afectado por las altas temperaturas produciendo fisuras y desconchado del mismo ya sea por deterioro del hormigón o dilatación de las armaduras.

3.4.4. COMPORTAMIENTO DE LAS FACHADAS DE LAS NAVES INDUSTRIALES AFECTADAS POR INCENDIOS

En el entorno de bomberos siempre ha habido discusión en la disyuntiva si las fachadas de las naves industriales caen hacia el exterior i hacia el interior. Como es lógico la contestación a esta pregunta no va a ser siempre la misma, en general va a depender de:

- El material con el que esté hecha la estructura.
- El tipo de estructura.
- El tipo de nudos de las estructuras.
- El tipo de fachada o cerramiento y como se conecta a la estructura.
- La incidencia de las altas temperaturas en la cara interior del cerramiento.

En definitiva, no se puede dar una única regla, aunque lo más razonable es que en las actuaciones en incendios industriales siempre se adopten las medidas de seguridad en previsión de que puedan colapsar las fachadas durante el desarrollo del servicio.

A continuación, se describen los comportamientos de estas fachadas en función de los factores vistos.

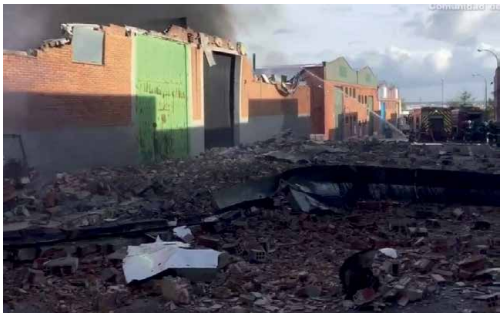
En el caso de **estructuras de acero de pórticos rígidos** con nudos empotrados, cuando las vigas horizontales se deforman por la acción de la temperatura, arrastran hacia el interior a los pilares de fachada. Si la fachada o cerramiento está bien trabada a los pilares caerá hacia el interior acompañando la deformación de los pilares de acero.

También puede ocurrir que el cerramiento de fachada no esté bien trabado a los pilares o incluso sea independiente, que se deforme la estructura hacia el interior quedándose la fachada sin elementos de apoyo y aumentando su longitud y esbeltez. En este caso sí que caerá probablemente hacia el exterior, ya que el calor que va a sufrir el cerramiento por su cara interior producirá dilataciones y estas empujarán el cerramiento hacia el exterior. Este es uno de los motivos principales por el que los cerramientos de fábrica ya sean de bloque o ladrillo cara vista suelen caer hacia el exterior.

Estructuras con nudos rígidos deformadas hacia el interior.

En el caso de estructuras de acero realizadas con cerchas, las cuales suelen tener nudos de muy bajo empotramiento, incluso apoyados con lo que la desconexión cercha-pilar es muy probable que se produzca, pudiendo la cercha al caer producir un empuje al pilar o cerramiento hacia el exterior.

En la Ilustración, se observan unas fachadas realizada ladrillo cara vista con una doble hoja, estando la estructura principal posicionada de forma paralela a esta fachada. Las altas temperaturas producidas en su cara interior han producido dilataciones en la cara interna empujando el cerramiento hacia el exterior y llegando los escombros a una distancia casi el doble de la altura de la fachada.



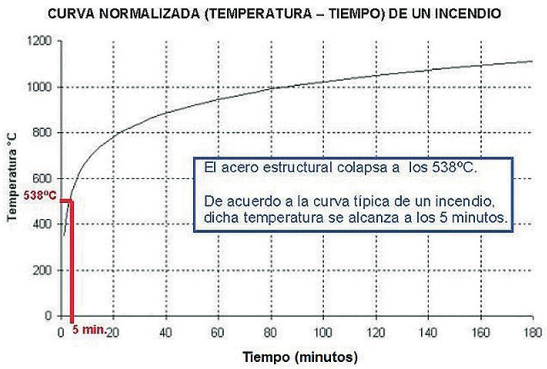
Fachadas de industria colapsada hacia el exterior.

Como conclusión en este apartado se debe tener en cuenta que van a ser varios factores los que determinen el posible colapso del cerramiento de la nave industrial hacia el interior o exterior, con lo que habrá que analizar los factores antes comentados y valorar el riesgo existente.

3.5 COMPORTAMIENTO AL FUEGO DE LAS ESTRUCTURAS DE ACERO

De todos es conocido el mal comportamiento de las estructuras de acero frente la acción de los incendios. En este se verán algunos conceptos e ideas que aclararán el porqué de este mal comportamiento.

Las propiedades mecánicas del acero no son las mismas a 20°C (temperatura que se suele considerar de referencia para el diseño de estructuras de acero), que las que pueda tener a 200°C, 400°C o a 1000°C. De hecho, y según ensayos realizados en base a la Norma NFPA 251 el acero estructural colapsa al alcanzar los 538°C. Así, y según la curva de la Grafica 36 siguiente, en un incendio tipo esta temperatura se alcanzaría aproximadamente a los 5 minutos de originarse.



Curva normalizada de fuego.

3.5.1. VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL ACERO CON EL INCREMENTO DE LA TEMPERATURA

Las propiedades mecánicas el acero, se ven modificadas conforme aumenta la temperatura de la forma que a continuación se describe:

3.5.1.1. VARIACIÓN DE LA DENSIDAD DEL ACERO

Con el incremento de la temperatura, los aceros mantienen su densidad, permaneciendo su valor en 7.850 kg/m^3.

3.5.1.2. VARIACIÓN DE LA RELACIÓN TENSIÓN-DEFORMACIÓN

Sin embargo, la correspondencia entre la tensión aplicada y la deformación obtenida se ve alterada con el aumento de la temperatura interna del perfil. En la Grafica 37, se muestran las variaciones correspondientes a un acero A-42-b sometido a temperaturas hasta 600°C de temperatura interna y aplicándole una tensión de 400 kg/cm^2 (40 N·mm^{-2}), obteniendo una misma deformación que aplicándole 2.600 kg/cm^2 (260 N·mm^{-2}) a 20°C.

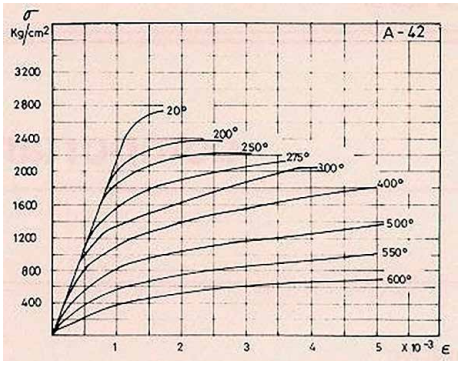


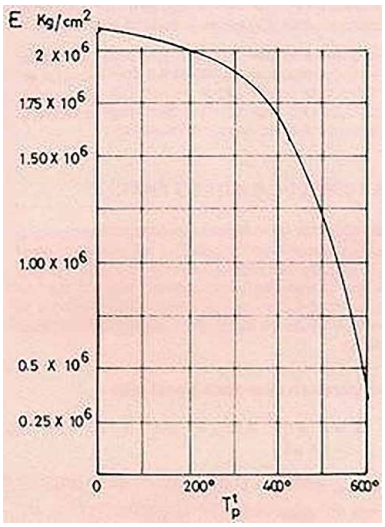
Diagrama tensión del acero.

3.5.1.3. VARIACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD

Es una propiedad intrínseca del material e indica la relación o proporcionalidad entre el esfuerzo a tracción aplicado y la deformación que sufre el acero. Este valor varía con el aumento de la temperatura, es decir que a mayor temperatura el módulo de elasticidad disminuye.

Se define el módulo de elasticidad como la pendiente de la curva tensión-deformación en la zona elástica. Es, por tanto, una medida de la rigidez del material, esto es su resistencia a la deformación elástica

En la Grafica 38 se observa la variación del módulo de elasticidad con el incremento de la temperatura reduciendo en consecuencia el módulo y la resistencia del material a ser deformado.



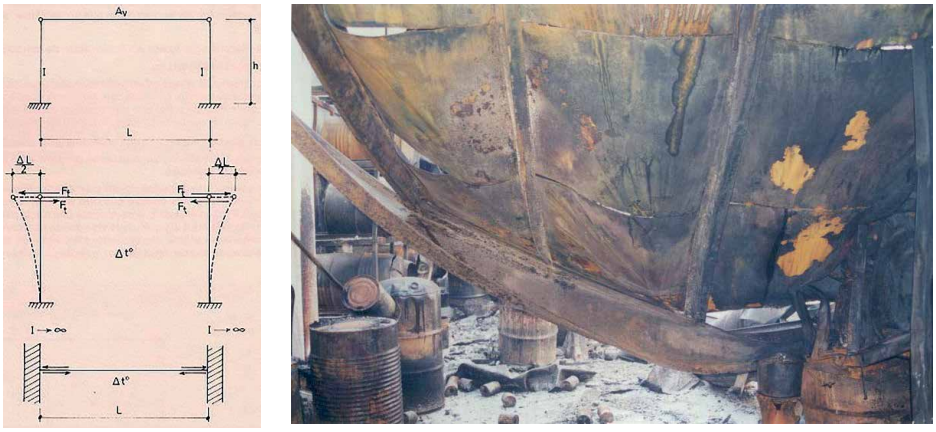
Variación del módulo elástico con el aumento de la temperatura.

3.5.1.4. DILATACIÓN TÉRMICA

Otro aspecto importante y que condicionará el comportamiento de las estructuras a la acción de los incendios es la dilatación del acero. Como es bien sabido, un aumento de la temperatura provoca un aumento en la longitud del mismo. Este aumento en la longitud puede valorarse por la expresión: dL = a dt° L, siendo **a** el coeficiente de dilatación, que para el acero vale aproximadamente 1,2 · 10-5 (es decir a = 0,000012).

Si existe libertad de dilatación no se plantean grandes problemas subsidiarios, pero si esta dilatación está impedida en mayor o menor grado por el resto de los componentes de la estructura, aparecen esfuerzos complementarios y empujes adicionales.

Así, por ejemplo, en el pórtico representado en la Ilustración, el dintel ha experimentado un incremento de temperatura dt° que le ocasiona un incremento total de longitud dL.



Variacion de la longitud con la dilatación térmica.

Como conclusiones respecto a lo expuesto:

- El acero es incombustible, pero el aumento de su temperatura supone importantísimas pérdidas en su capacidad mecánica.
- Suele denominarse **temperatura crítica** aquella en la que la capacidad mecánica del elemento estructural desciende por debajo de la necesaria para soportar las cargas que actúan sobre él.
- En contraposición, **carga crítica** es la que puede soportar un elemento estructural a una determinada temperatura y de acuerdo con el cuadro de capacidades mecánicas que presenta a esa temperatura.
- Que un elemento estructural de acero alcance la temperatura crítica en un tiempo determinado depende, además de factores que se consideran fijos (carga de fuego, aberturas, etc.), de la superficie que expone al fuego y de la sección o espesor del perfil, etc.
- Por este motivo, piezas de gran sección se muestran más estables (permanecen más tiempo en "pie") que piezas de poca sección, como suelen ser las cerchas, vigas de celosía, etc.
- A igualdad de sección, la absorción de calores más lenta en perfiles tubulares o en cajón que en secciones abiertas.
- La dilatación producida por la elevación de temperatura en elementos lineales puede contribuir al derrumbe o colapso de la estructura o cerramientos en contacto con la estructura.
- Otro aspecto importante que interviene en la estabilidad de la estructura considerada como conjunto es la continuidad de la misma.
- Una estructura de nudos rígidos o de vigas continuas resulta siempre más estable que otra puramente isostática. La razón está en que se produce una rótula plástica o articulación en el punto de la viga donde se alcanza la temperatura crítica, quedando posiblemente inutilizadas a efectos de uso posterior, pero permaneciendo en su sitio más tiempo que si se tratasen de vigas simplemente apoyadas.
- El acero enfriado recupera gran parte de su resistencia inicial, aunque es un problema delicado dictaminar si la estructura puede seguir en servicio.

3.5.2 COMPORTAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS DE ACERO EN LOS INCENDIOS

Como ya se ha visto, son estructuras que van a tener un mal comportamiento y en condiciones determinadas una rápida deformación de los elementos estructurales. Dependerá de otros factores como la protección de las estructuras, la carga de fuego o el sistema estructural (isostático o hiperestático) de la estabilidad de la misma.

Con este cúmulo de circunstancias en las actuaciones de los Servicios de Bomberos en incendios con estructuras de acero, se debería prever la inestabilidad estructural del edificio y adoptar las medidas correspondientes de seguridad a la hora de realizar la extinción.

La experiencia de los diferentes cuerpos de bomberos confirma el riesgo que existe en este tipo de edificios ya que en algunas ocasiones se han producido colapsos estructurales produciendo víctimas en las dotaciones de bomberos.

A continuación, se muestra un ejemplo en un incendio de un bajo con este tipo de estructura, en el cual existía una densidad de carga térmica importante.

La estructura del local se compone de pilares de hormigón armado, vigas de acero sin protección ante la acción del fuego y forjado unidireccional de hormigón armado apoyado en vigas de acero.

En el ejemplo se observa el mal comportamiento de la estructura frente la acción del fuego, principalmente por los siguientes motivos:

- El sistema estructural está basado en el apoyo del forjado en las vigas.
- Ausencia de protecciones.
- Importante carga térmica.
- Las grandes deformaciones que sufren las vigas de acero por la acción del incendio.

Estos factores van a propiciar que se produzcan unas patologías en la estructura, facilitando el colapso parcial o total de la misma. En este caso, se aprecia en las vigas de acero una deformación importante, provocada por la pérdida de resistencia de las mismas, por la acción del fuego. Estas deformaciones van a producir el movimiento de los forjados y la aparición de grietas de consideración, llegando a colapsar parte del mismo.

En este caso, aunque la densidad de carga térmica ha sido importante, el forjado no ha llegado a colapsar por completo, por el cierto empotramiento de las vigas en los pilares de hormigón, con lo que las vigas se han deformado aumentando su flecha, pero no se han llegado a soltar de los pilares, lo cual hubiera producido el colapso del forjado completo.

Incendio con estructura de acero.

Como se aprecia en la Ilustración, la densidad de carga térmica ha sido importante, y las vigas han estado expuestas a la acción del fuego, sin ningún tipo de protección. Los culos de las bovedillas han caído y los elementos cerámicos de los tabiques han sufrido importantes disgregaciones, señal de las altas temperaturas que se han producido en el interior.

En la parte superior derecha de la imagen se observa parte del forjado que ha colapsado, así como la reparación de los daños que se han producido en la cabeza del pilar debido a la deformación sufrida en la viga de acero.

Las deformaciones que por su cara inferior no se aprecian a simple vista, por la cara superior del forjado que muestra la Ilustración, se aprecia claramente la importante deformación que se ha producido en el forjado, produciendo grietas de dimensiones considerables y rotura del forjado.

Forjado . afectado por incendio.

4. COMPORTAMIENTO DE LAS EDIFICACIONES AL TERREMOTO

4.1. CONCEPTOS DE TERREMOTOS

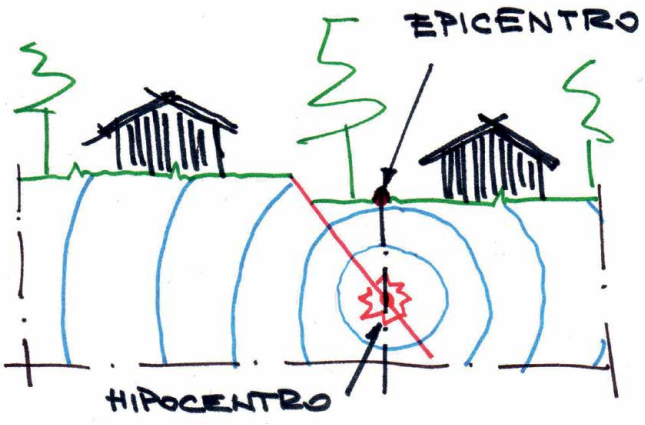
Un terremoto o sismo, es un fenómeno de origen natural que produce la sacudida brusca durante corto espacio de tiempo de la corteza terrestre (temblor de tierra), producido por la liberación de energía acumulada en forma de ondas elásticas, con gran poder de destrucción sobre grandes extensiones de terreno y difícilmente predecible.

El origen de los terremotos puede ser: volcánico, si se originan por actividad volcánica; tectónico, si se originan por el movimiento de la corteza terrestre al desplazarse las placas sobre las que se asientan los continentes muy lentamente unas respecto de otras, y antrópico, por la realización de grandes embalses o los ensayos de explosiones nucleares.

El punto de origen de un terremoto se denomina foco o **Hipocentro** y el punto de la superficie terrestre que se encuentra directamente sobre el hipocentro se denomina **Epicentro**.

El movimiento sísmico se propaga mediante ondas elásticas (similares a las del sonido) a partir del hipocentro. La propagación está condicionada por el medio en el que se desarrolla.

Se pueden identificar dos grandes grupos de ondas sísmicas, que a su vez derivan en otros tipos:

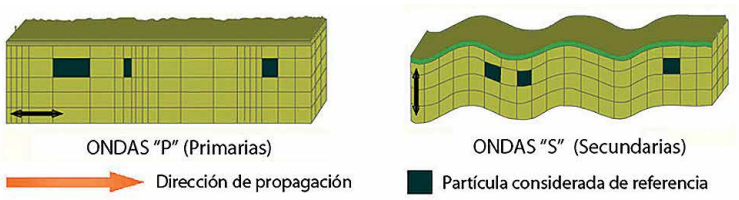


Hipocentro y epicentro.

- **Ondas internas***:* son las que se desplazan por el interior de las capas terrestres. Son menos dañinas que las externas.

  - **Primaria:** son aquellas que comprimen y posteriormente dilatan el suelo en reiteradas ocasiones de manera sucesiva en la dirección de propagación de la onda. Son capaces de propagarse atravesando cualquier tipo de cuerpo (líquido, sólido, o gaseoso), la velocidad con la que viajaran por tierra será mucho mayor que aquella con la que podrá desplazarse en el agua.

  - **Secundaria**: desarrollan un movimiento serpenteante en la dirección de desplazamiento. Son de menor velocidad que las ondas primarias, por lo que primero llegan las primarias y un tiempo después estas. Solamente se propagan por medios completamente sólidos y a comparación de las anteriores, son las que generan daños de mayor gravedad.

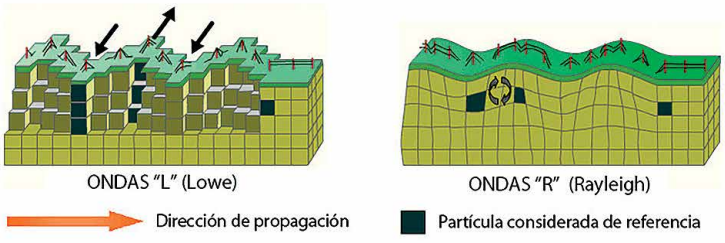


Ondas internas: Primarias y Secundarias- (Fuente. e-ducativa.catedu).

- **Ondas externas**: son también conocidas como superficiales y se trata de aquellas internas que suben y acaban desplazándose por la superficie terrestre.

  - **Onda Love**: se desplazan desde un lado al otro generando un movimiento de corte en forma horizontal sobre la superficie. Respecto a su velocidad, son relativamente más rápidas que las ondas Rayleighs, pero un poco más lentas que las secundarias. Sin embargo, a pesar de ser más lenta, una vez que empieza su propagación tardan más que las internas en disminuir su intensidad.

  - **Onda Rayleigh**: la tierra vibra con un movimiento elíptico respecto a la dirección de propagación de las ondas. Se producen por la suma de los movimientos de las ondas primarias y secundarias.



Ondas externas: Rayleigh y Love. (Fuente. e-ducativa.catedu).

4.2. CARACTERÍSTICAS DE UN TERREMOTO

4.2.1. MAGNITUD

La magnitud indica la medida del tamaño de un terremoto en función de la energía liberada, se mide con un instrumento llamado sismógrafo que registra en un papel (sismograma) el paso de las ondas. Debido a la diferencia en la velocidad de cada tipo de onda, lo primero que detecta el sismógrafo son las ondas primarias luego las secundarias y a continuación las externas o de superficie.

La escala más conocida es la escala de Richter ML, definida para ser usada en terremotos locales. Ésta es una escala logarítmica de modo que la magnitud de un sismo aumenta 10 veces de un grado al siguiente. Por encima de magnitud 6.0, los expertos consideran que estamos ante un terremoto "fuerte".

ESCALA RICHTER	
MAGNITUD	EFECTOS DEL TERREMOTO
Menos de 3.5	Generalmente no se siente, pero se registra.
3.5 - 5.4	A menudo se siente, pero sólo causa daños menores cerca de donde se produce.
5.5 - 6.0	Ocasiona daños ligeros a edificios.
6.1 - 6.9	Puede ocasionar daños severos en áreas muy pobladas.
7.0 - 7.9	Terremoto mayor. Causa graves daños.
8 o mayor	Gran terremoto. Destrucción total a comunidades cercanas.

Escala de Richter. Relación entre la magnitud y los daños de un terremoto.

4.2.2. INTENSIDAD

La intensidad indica la forma en que ha sido sentido un terremoto y el grado de daño que ha causado en un determinado lugar. Tiene en cuenta los efectos para las personas, los efectos para la naturaleza y los daños para los edificios.

La escala europea que mide la intensidad es la escala macrosísmica EMS-98, cuyos valores van desde el grado I hasta el XII de menor a mayor daño. Es una actualización de la escala M.S.K, incorpora una simple diferenciación en la resistencia de los edificios a las vibraciones ocasionadas por terremotos (vulnerabilidad), con el fin de proporcionar una forma robusta de diferenciar cómo pueden responder los edificios a las vibraciones provocadas por terremotos.

4.2.3. OTROS DATOS QUE CARACTERIZAN A UN TERREMOTO

- Hora a la que se produce.
- Coordenadas geográficas del epicentro.
- Profundidad del foco.
- Aceleración básica, expresa como x veces la aceleración de la gravedad. 0,24g es la aceleración básica de mayor magnitud utilizada por la norma española de construcción sismorresistente NCSE-2002 para España, y se localizan en el entorno de Granada.

- Aceleración del Suelo, que hace referencia al valor máximo de aceleración del movimiento del terreno registrado durante un terremoto.

- Velocidad del Suelo, que hace referencia al pico máximo de velocidad registrado durante un terremoto.

- Desplazamiento, es la diferencia de posición de un punto de referencia entre la posición inicial y la posición posterior al terremoto, cualquier punto afectado por un terremoto sufre un desplazamiento.

4.3. SERIE SÍSMICA

Existe una cadena de terremotos ligados genéticamente, que se suele producir en todo terremoto importante y que está compuesta generalmente por:

- **Terremoto principal**, que es el de mayor magnitud dentro de la serie sísmica.

- **Terremotos premonitorios**, sismos que anteceden al principal, por lo general de poca magnitud y en ocasiones no se producen.

- **Réplicas o temblores de asentamiento**: Sismos de menor magnitud que siguen al sismo principal. Se deben a la liberación de energía residual no liberada durante el sismo principal derivada a su vez de pequeños reasentamientos de la falla. Son más numerosos cuanto mayor sea la magnitud del sismo principal y se pueden prolongar durante periodos de semanas, meses e incluso años.

4.4. EFECTOS DE LOS TERREMOTOS

Los terremotos generan de forma directa muchos daños, tanto a las edificaciones como a las infraestructuras, pero de forma colateral generan en ocasiones mayores daños a la población como de habitabilidad, abastecimiento, atención sanitaria, etc.

En general los terremotos producen: movimientos de ladera, subsidencia, licuefacción del terreno, tsunamis, incendios y vibraciones del terreno.

4.4.1. MOVIMIENTOS DE LADERA

Los movimientos de ladera son desplazamientos de grandes volúmenes de material en forma de desprendimiento, vuelco o deslizamiento a favor de la pendiente, en laderas generalmente inestables.

En muchos casos tienen como causa principal la actividad sísmica mediante la cual, las ondas sísmicas provocan el movimiento del terreno en todas las direcciones, por lo que si este presenta determinadas características de saturación, pendiente y tipo de suelo se pueden generar este tipo de movimientos incluso con sismos relativamente pequeños.

4.4.2. SUBSIDENCIAS

Las subsidencias son movimientos verticales (hundimientos) que se manifiestan tanto de forma lenta como de forma súbita en la superficie del terreno por movimientos internos. En ocasiones alcanzan diámetros y profundidades considerables.

4.4.3. LICUEFACCIÓN

La licuefacción es un fenómeno de pérdida de consistencia del suelo de manera temporal, debido a una redistribución de las partículas del terreno que causa la salida del fluido (agua y barro) que rellena los huecos, a la superficie durante el movimiento sísmico. Se produce en suelos saturados, no consolidados, no cohesivos o fácilmente disgregables, principalmente arenosos y/o limosos.

El suelo de forma pasajera pierde resistencia y como consecuencia de ello se produce un desplazamiento del terreno que puede ser de varios tipos: flujos de tierra, flujo lateral, flotación o pérdida de la capacidad portante.

4.4.4. TSUNAMIS

El tsunami es una ola o serie de olas que se producen en una masa de agua cuando el terremoto hace que el fondo marino se mueva de forma brusca en sentido vertical, de modo que el océano es impulsado fuera de su equilibrio normal. Cuando esta inmensa masa de agua trata de recuperar su equilibrio, se generan las olas. El tamaño del tsunami estará determinado por la magnitud de la deformación vertical del fondo marino.

Sólo cuando el tsunami se aproxima a la costa, comienza a perder velocidad al disminuir la profundidad del océano, en ese momento la altura de las olas se incrementa de forma considerable hasta superar los 30 m., aunque lo habitual es de 6 a 7 m.

Por lo general, los tsunamis no están formados por una sola onda, sino por ondas sucesivas (tren de ondas), cuyos efectos devastadores se perciben principalmente en la costa, donde hay que tener en cuenta que antes de su llegada, normalmente el mar acostumbra a retirarse varios centenares de metros, como una rápida marea baja. Desde entonces hasta que llega la ola principal pueden pasar de 5 a 10 minutos. A veces, antes de llegar la cadena principal de tsunamis, pueden aparecer "microtsunamis" de aviso.

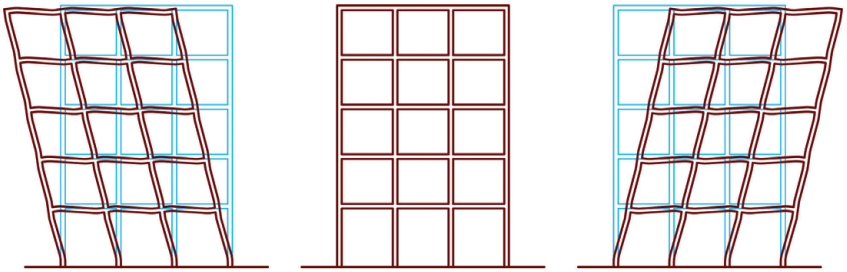
4.4.5. VIBRACIÓN DEL SUELO

La vibración del suelo es causada directamente por la acción de las ondas sísmicas y tiene las tres componentes principales en su dirección de propagación: dos horizontales y una vertical.

Ese movimiento vibratorio produce unas fuerzas de inercia que sacuden los edificios, haciéndolos vibrar y en algunas ocasiones también se generan fuerzas de rotación.

La vibración y el desplazamiento del suelo se transmiten a toda la estructura a través de sus elementos estructurales verticales (pilares y muros), y como consecuencia de ello, las principales masas de la misma (forjados), se moverán o desplazarán de forma relativa respecto al suelo.

Simplificando se puede afirmar que el terremoto genera fuerzas horizontales en los muros, pórticos y forjados de la estructura. La fuerza sísmica horizontal que sacude la base de la estructura se denomina cortante basal.

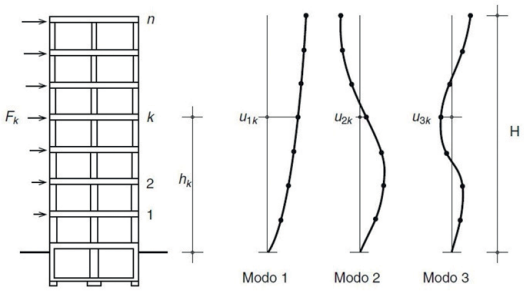


Movimiento vibratorio.

Cualquier estructura se puede asimilar a un péndulo invertido (oscilador) sometido a una vibración en la base. El péndulo describirá un movimiento oscilatorio que progresivamente se irá amortiguando hasta desaparecer, recuperando la posición de equilibrio inicial cuando cesa la acción vibratoria.

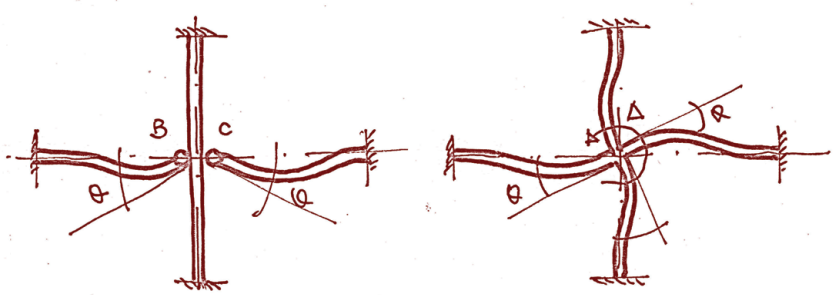
Los edificios cuando cesa el movimiento sísmico, tienden a adoptar su posición original debido a la elasticidad de los materiales, en este momento es cuando comienza un movimiento vibratorio y la estructura oscila deformándose a partir de su posición inicial. Todas las estructuras son elásticas, es decir, pueden deformarse y moverse recuperando después la posición inicial, incluso las de hormigón armado.

Las fuerzas a que es sometida la estructura dependen fundamentalmente da la masa del edificio y de la aceleración producida por el terremoto, F=m x a.



Modos de vibración en modelos planos de estructuras de pisos. (Fuente. NCSR 02).

Una estructura flexible absorbe cantidad de energía en fase elástica y después del sismo quedará sin daños, todos sus elementos retornaran a su posición de equilibrio sin romper o deformar, de ahí que sea muy importante la compatibilidad de deformaciones entre la estructura y el resto de elementos como tabiquería y cerramientos. Como inconveniente, la estructura se deformará en exceso, tanto que puede incluso golpear al edificio colindante o ser golpeado por éste. Además, en los nudos rígidos (empotramientos) aparecerán esfuerzos adicionales no previstos sobre las vigas y pilares, que pueden llegar a causar daños importantes.



Deformación de barras y giros en nudos: rígidos y articulados.

Por el contrario, una estructura rígida apenas se deformará frente a la acción del sismo. Las deformaciones se llevarán a cabo prácticamente en fase plástica cerca del punto de rotura y serán permanentes. Si además de rígida es poco dúctil, no soportará ni siquiera un sismo de pequeña magnitud.

4.5. LOS TERREMOTOS EN LA COMUNITAT VALENCIANA

La Comunitat Valenciana está situada en un área de actividad sísmica moderada a escala mundial, pero de relativa importancia en la Península Ibérica, incrementándose el riesgo hacia las comarcas más meridionales de nuestro territorio. La mayor peligrosidad sísmica se concentra en la comarca del Bajo Segura de la Comunidad. En el pasado, zonas de nuestro territorio se han visto afectadas por grandes terremotos, como el de Torrevieja, que el 21 de marzo de 1829 causó cientos de muertos y heridos y destruyó la mayor parte de las viviendas.

Los grados de intensidad sísmica que afectarían principalmente a las provincias de Valencia y Alicante, en caso de producirse los terremotos más graves esperados (para un periodo de retorno de 500 años), serían desde VI hasta X, (http://www.112cv.gva.es/riesgo-sismico).

4.6 DAÑOS EN LAS EDIFICACIONES

Los daños en las edificaciones se producen tanto en elementos estructurales como en los no estructurales, dependiendo en muchos de los casos de la compatibilidad de deformaciones y el grado de fijación entre ambos, el que determine la cantidad de daños.

En algunos casos los elementos no estructurales generan un mayor número de víctimas, como sucedió en el terremoto de Lorca (Murcia) el 11 de mayo de 2011.

4.6.1. DAÑOS NO ESTRUCTURALES

Los principales modos de fallo de los elementos no estructurales son:

- **Caída de elementos constructivos**, es la causa más heridos, sobre todo por aquellos que no se encuentran anclados a las estructuras como, hastiales, antepechos, recubrimientos, chimeneas, aleros, elementos ornamentales, etc.
- **Vuelco**, en elementos que dispongan de centros de gravedad altos: carteles, estanterías, particiones no ancladas en la cara superior, etc.
- **Deslizamiento de elementos apoyados** sobre los forjados o cubiertas: material de cobertura, chimeneas, etc.

Daños en elementos de cerramiento.

- **Balanceo**, en elementos suspendidos que se mueven como péndulos, como instalaciones.
- **Rotura de acometidas rígidas**: red de abastecimiento de agua y evacuación.
- **Rotura de vidrios.**
- **Caída de falsos techos.**

4.6.2. DAÑOS ESTRUCTURALES

La escala macrosísmica europea EMS-98 define la vulnerabilidad para expresar las diferencias en la forma en la que responden los edificios a las vibraciones ocasionadas por terremotos. Si dos grupos de edificios son sometidos exactamente a la misma vibración ocasionada por un terremoto y un grupo responde mejor que el otro, se puede decir que los edificios menos dañados poseen una menor vulnerabilidad sísmica que los edificios más dañados, o que los edificios menos dañados eran más sismorresistentes que los otros y viceversa.

En base a ello determina una clase de vulnerabilidad de la A (más vulnerable y menos sismorresistente) a la F (menos vulnerable y más sismorresistente), siguiente tabla.

TIPO DE ESTRUCTURA		Clase de VULNERABILIDAD					
		A	B	C	D	E	F
MAMPOSTERÍA	Paredes de peña viva/roca de cantera						
	Adobe (ladrillo de tierra)		P				
	Roca simple	X					
	Roca masiva		P		X		
	Unidades de roca manufacturada	X		X			
	Ladrillo no reforzado, pisos de H.A.		P		X		
	Reformado o confinado			X		P	
HORMIGÓN ARMADO	Armazón sin diseño sismorresistente (DSR)	X	P		X		
	Armazón con un nivel moderado de (DSR)		X	P		P	
	Armazón con un alto nivel de (DSR)			X	P		P
	Paredes sin (DSR)		X		P		
	Paredes con un nivel moderado de (DSR)			X		P	
	Paredes con un nivel alto de (DSR)				X		P
ACERO				X	P		P
MADERA			X	P		P	

Clase de vulnerabilidad más probable / *Rango probable* P / *Rango de casos excepcionales* E

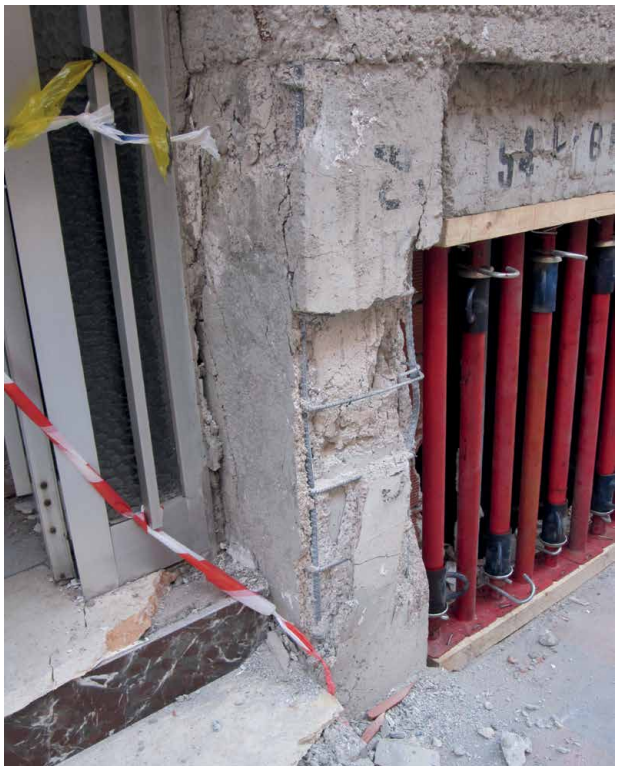
Clasificación tipos estructuras según vulnerabilidad. (Fuente. EMS-98).

La estructura de un edificio determina el tipo de respuesta frente al terremoto, pero existen algunas situaciones que la hacen potencialmente más peligrosas, como son:

- **Irregularidad y asimetría** geométrica tanto en planta como en alzado.
- **Distribución irregular de las masas y las rigideces,** favorecen los efectos de torsión.
- **Planta débil**, estructuras que presentan una planta con una rigidez lateral inferior a la de las plantas superiores. También llamado piso blando. Como las estructuras porticadas con plantas bajas diáfanas y pocos cerramientos laterales.
- **Pilares cortos**, pilares que tienen una menor longitud que otros por estar el muro en pendiente, por estar cautivo entre obras de fábrica, etc., y que experimentan un desplazamiento horizontal como el resto con una menor longitud, cosa que hace que esté sometidos a mayores esfuerzos horizontales.

- **Exceso de masa**, en edificios que presenta mayores cargas en las plantas superiores o repartidas de forma heterogénea.

- **Impacto entre edificios adyacentes** (efecto aplauso), cuando están muy próximos y presentan excesiva deformación horizontal y que es más problemática cuando no existe coincidencia en la altura de los forjados y éstos impactan sobre los pilares.



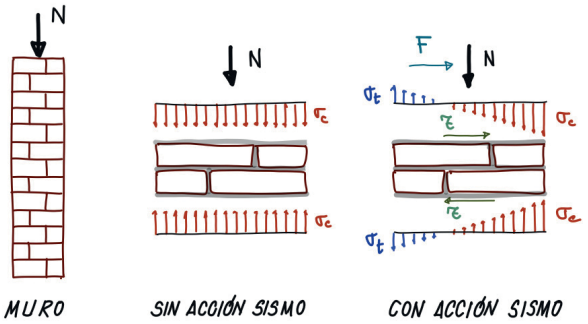
Daños por pilares cortos.

4.6.2.1. ESTRUCTURAS DE MUROS DE CARGA

Los muros de fábrica que no están reforzados interiormente con armaduras o no están recercados por pilares y vigas de hormigón armado (confinados), presentan un comportamiento deficiente ante un terremoto, que puede causar desde múltiples lesiones hasta derrumbamientos parciales o totales.

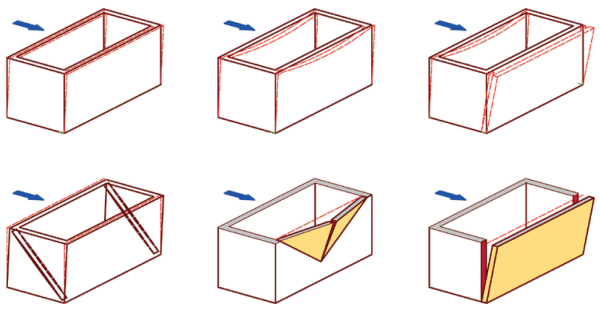
Los muros tienen un comportamiento distinto según la dirección de la acción del terremoto:

- **Acción perpendicular a la dirección del muro,** en este caso el muro que inicialmente está sometido a compresión pasa a trabajar a flexión, por lo que aparecen en la sección tensiones de tracción y cortante, produciendo: pandeos, desplomes e incluso colapsos.

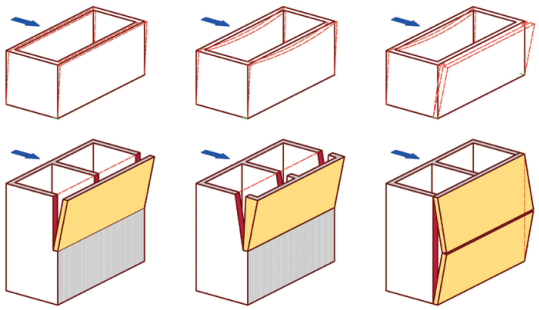


Variación del estado tensional en un muro con acción del sismo perpendicular al muro.

En los edificios con muros de carga perimetrales, el movimiento sísmico hace que los muros se curven en la parte central y tiren de los muros laterales de los que está, arriostrados, presentando distintas formas de daños según la constitución de los muros y los encuentros. Un fallo característico es el colapso de las esquinas que suele venir cuando las acciones horizontales son importantes en ambos sentidos.



Daños en muros de carga perimetrales.

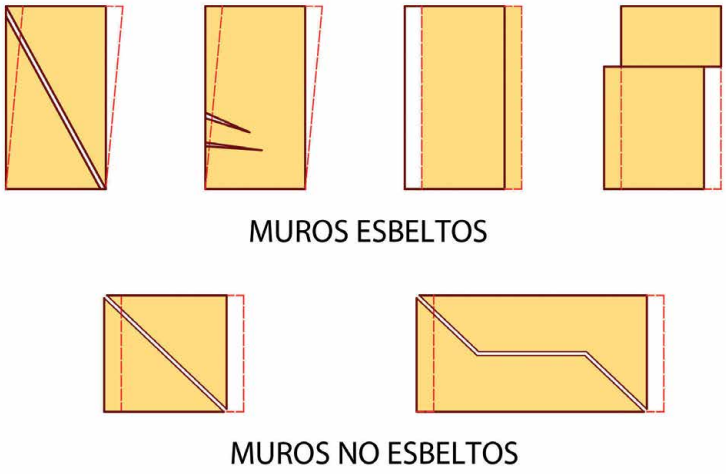


Daños en muros de carga perimetrales.

En este tipo de edificios son estructuras isostáticas, la acción del sismo puede llevar a situaciones en que exista pérdida de apoyo de los distintos elementos estructurales.

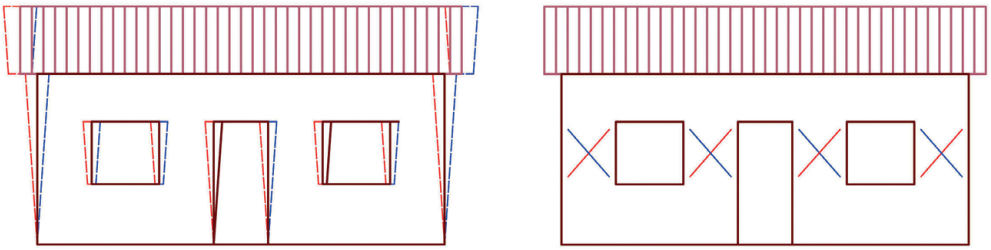
Desconexión muro-forjado por efecto del sismo.

- **Acción paralela a la dirección del muro,** en este caso el muro tiende a deformarse incrementándose una de las diagonales del muro y comprimiéndose la otra, lo que produce varios efectos: rotura de una de las diagonales, vuelco parcial o total, deslizamiento total o parcial del muro.



Efectos en muros, con acción del sismo paralela a los muros.

Cuando un edificio se ve sometido a la acción del sismo existe desplazamiento en ambos sentidos de una misma dirección, es por lo que la deformación de los muros lleva a la marca en aspa, debido a la compresión y tracción diagonal que soportan.

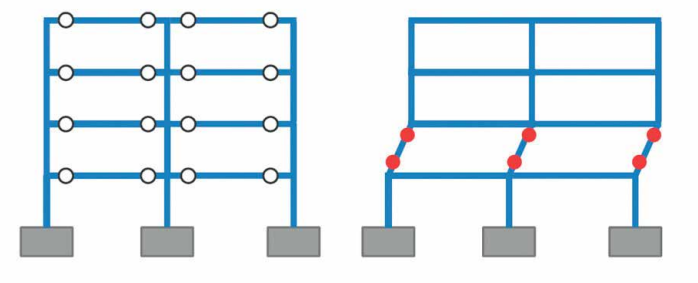


Daños en muros por acciones paralelas. Daños en aspa.

En ocasiones los muros sufren la separación de la hoja exterior y del interior (deshojado) lo que hace que el muro pandee por ambos lados y pierda capacidad mecánica, es una situación grave.

4.6.2.2. ESTRUCTURAS PORTICADAS

En este tipo de estructuras la resistencia frente al desplazamiento horizontal la aportan los nudos rígidos de las estructuras, generalmente hiperestáticas y los núcleos de rigidización; o mediante la colaboración de elementos de arriostramiento (cruces de San Andrés).

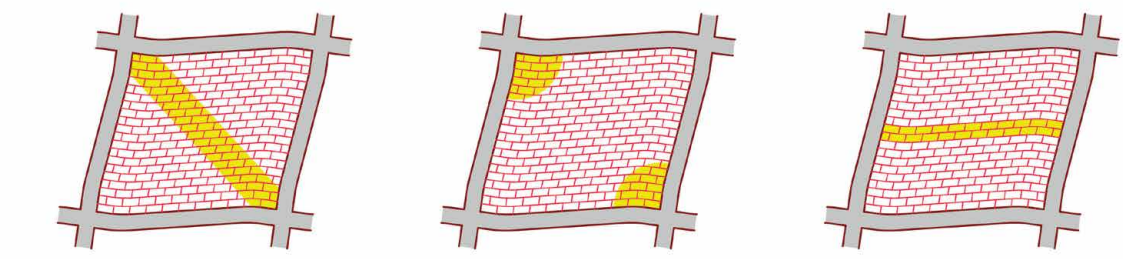


Formación de rotulas en estructuras porticadas.

Los elementos de cerramiento que rellenan marcos pueden fisurarse en forma de aspa o pueden caer, según el grado de fijación.

La aparición de rótulas plásticas en las vigas no supone el colapso del edificio, sin embargo, la formación de estas en los pilares, conlleva al colapso.

La interacción entre elementos no estructurales con la estructura como es el caso de los marcos de relleno entre pilares y vigas, genera empujes en las diagonales de los cerramientos que introducen grandes esfuerzos en los nudos, cuando tienen una rigidez importante.



Deformación de marcos.

También destacar que el movimiento que genera el terremoto en las estructuras con nudos rígidos, introduce esfuerzos tanto de cortante como de tracción o compresión en aquellas zonas que habitualmente no trabajan con el nuevo estadio de tensiones.

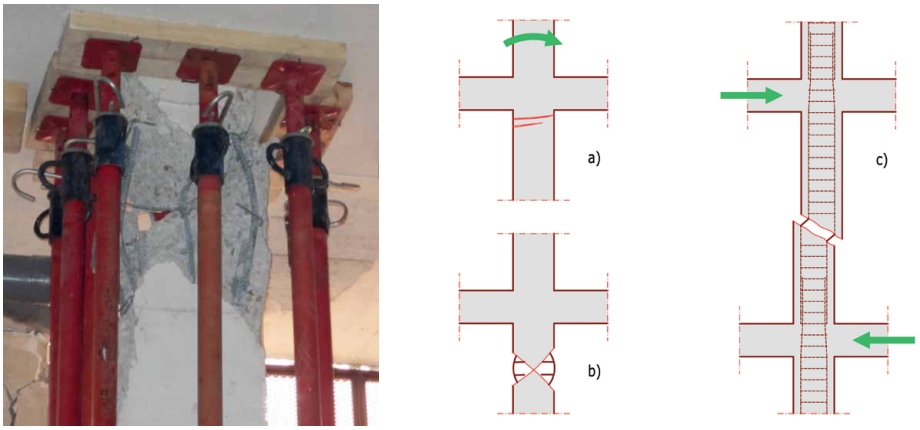
4.6.2.2.1. ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO IN SITU

La mayoría de las lesiones son como consecuencia de los desplazamientos a que se ve sometida la estructura.

- Los **soportes**, presentan las siguientes tipologías:
  - Fisuras ortogonales a la directriz en la cabeza del pilar con ancho considerable. En ocasiones estas fisuras llegan a alcanzar anchuras de 3 a 4 mm. que permitan ver la armadura.
  - Fisuras inclinadas respecto a la directriz en la cabeza del pilar en forma de aspa.

- Rotura en cabeza del pilar con expulsión de hormigón, pandeo de armaduras longitudinales y posible apertura de ganchos de cercos o rotura de estos.

- Corte completo del pilar con posible rotura de armadura longitudinal.

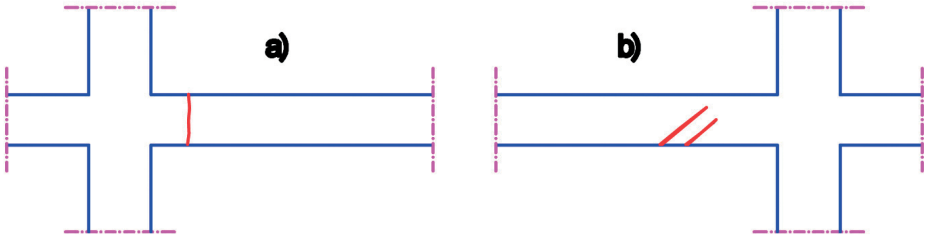


Lesiones por la acción del sismo en pilares.

- Las **vigas** presentan las siguientes tipologías:

  - Fisuras verticales próximas al nudo, seccionado generalmente toda la viga, de ancho variable pero generalmente constante en todo el canto.

  - Fisuras inclinadas con la directriz de la viga, de ancho variable y máxima apertura a nivel de la armadura de tracción.



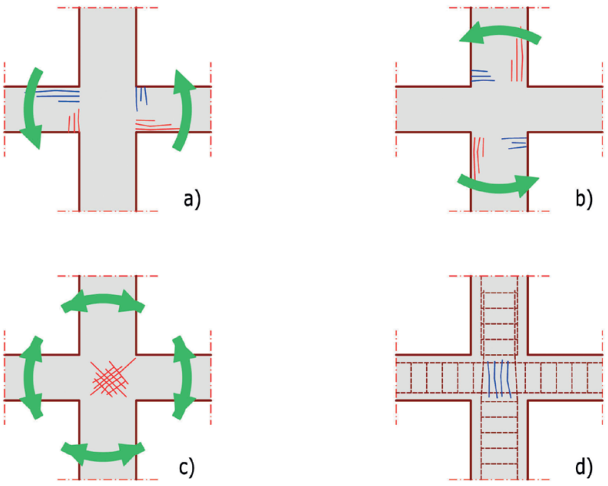
Fisuras por la acción del sismo en vigas.

- Los **nudos** presentan las siguientes tipologías:

  - Fisuras de flexión, generalmente varias y paralelas en caras opuestas de vigas a cada lado del nudo y zonas de fisuración fina o deslaminación del hormigón en caras opuestas de vigas a cada lado del nudo y diagonalmente a las anteriores.

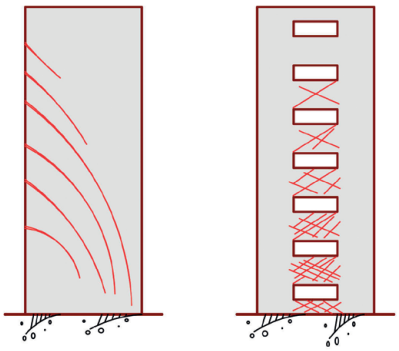
  - Fisuras de flexión, generalmente varias y paralelas en caras opuestas de pilares a cada lado del nudo y zonas de fisuración fina o deslaminación del hormigón en caras opuestas de pilares a cada lado del nudo y diagonalmente a las anteriores.

- Fisuras de ancho variable, ordenadas en dos familias en la dirección de las diagonales del nudo.
- Una o varias fisuras paralelas a la directriz del pilar de ancho importante entre 0,3 a 0,5 mm, similares a los de agotamiento en comprensión del hormigón del nudo.



Fisuras por la acción del sismo en nudos.

Las **pantallas** presentan fisuras de corte, inclinadas respecto a la vertical de la pantalla, con ancho importante. Cuando dispone de huecos las fisuras se concentran en las zonas situadas entre ellas. Estas fisuras se pueden manifestar en sentido perpendicular unas de otras cuando la incidencia del mismo es importante en ambos sentidos opuestos.



Fisuras por la acción del sismo en pantallas.

4.6.2.2.2. ESTRUCTURAS DE PANELES PREFABRICADOS

Este tipo de estructuras presentan problemas de caída de paneles o pérdida de apoyo en las ménsulas por pérdida de entrega o rotura de la misma, además de las lesiones que se han indicado para las de hormigón armado.

4.6.2.2.3. ESTRUCTURAS DE ACERO

Las estructuras de acero, absorben mayor cantidad de energía que el resto dada su ductilidad, lo que hace que experimente mayores desplazamientos sin sufrir grandes daños, con la excepción de los elementos no estructurales que están adosados a la estructura y que no presentan el mismo grado de elasticidad.

Los daños se centran mayormente en la deformación de los perfiles con forman los nudos por aplastamiento: abolladura de almas y pandeos; rotura por tracción de las uniones (soldadura, tornillos o remaches) o desgarros y pandeo de elementos de arriostramiento, etc.

5. INSPECCIONES Y MEDIDAS DE URGENCIA EN EDIFICACIONES

En la Ley de 7/2011, de 1 de abril, de la Generalitat, de los Servicios de Prevención, Extinción de Incendios y Salvamento de la Comunitat Valenciana, en su Título 2, articulo 4 punto d) establece que una de las funciones de los Servicios de Bomberos es "*Adoptar medidas de seguridad extraordinarias y provisionales, a la espera de la decisión de la autoridad competente, sobre el cierre y desalojo de locales y establecimientos públicos, y la evacuación del inmueble y propiedades en situaciones de emergencia mientras las circunstancias del caso lo hagan imprescindible, así como limitar o restringir por el tiempo necesario, la circulación y permanencia en vías o lugares públicos en los supuestos de incendio, catástrofe o calamidad pública.*"

Los servicios de bomberos se encargan de asistir a diversas situaciones de riesgo o urgencia que se producen en las edificaciones. En estas situaciones, para poder valorar el riesgo se realizan inspecciones urgentes con el objetivo de valorarlas y adoptar las medidas correctoras que fuesen necesarias para evitar estos riesgos.

De la misma forma que se establecen las funciones de los Servicios de Emergencias, se establece en la Ley, que será el personal de la escala de mando la que se le asigna la función de inspección para lo que deberán tener los conocimientos básicos para la toma inicial de decisiones. Evidentemente el personal incluido en las categorías de inspección asumirá las decisiones en ese sentido al nivel que le correspondan ya que le corresponde la dirección de los servicios a un nivel superior.

Las competencias del personal de las categorías de inspección en función si están en los Consorcios o en los Servicios Municipales pueden variar, ya que estos últimos, como Técnicos Municipales podrán tener competencias de realización de informes para desalojos y otras competencias de ámbito municipal.

En el ámbito de los Municipios que cubren los Consorcios serán los propios Técnicos Municipales de los ayuntamientos los que una vez adoptadas las medidas urgentes por los Servicios de Bomberos, asumirán la realización de los informes de su competencia y actuaciones posteriores correspondientes.

5.1. SERVICIOS DE INSPECCIÓN EN EDIFICACIONES

Son los servicios en los que se requiere la presencia de bomberos para realizar una inspección sobre un edificio o elemento parcial del mismo, en el cual se ha detectado una patología que produce un riesgo en la utilización del inmueble ya sea para los ocupantes del mismo o para terceros (edificios colindantes o vía publica).

Lo habitual es que una vez llegado el aviso del servicio, se desplace una unidad de bomberos a realizar una inspección preliminar, el mando del servicio valorará la patología, y en el caso de que sea de relativa importancia informará al Oficial/Inspector para que proceda a realizar inspección del inmueble.

En numerosos casos la valoración de los mandos de la primera salida de bomberos es suficiente para la realización del servicio, no siendo necesario el desplazamiento de un mando de mayor categoría.

A continuación, se relacionan distintos tipos de inspecciones que se suelen realizar en las edificaciones:

- **Inspección de elementos constructivos que afectan a vía pública,** en general no son de importancia, pero la misión principal es evitar el riesgo a vía pública. Suelen ser desconchados de fachadas, aplacados, partes de voladizos que fisuran por la rotura del hormigón, etc. El servicio habitual es el de saneado de fachada.

- **Aparición de grietas en diversas partes del inmueble,** en ocasiones debido a patologías innatas al inmueble (deformaciones estructurales) aparecen una serie de grietas principalmente en cerramientos y distribuciones interiores que producen la alarma de los vecinos. No suele ser una patología grave ya que las estructuras se deforman con el tiempo, no implicando ningún riesgo estructural.

- **Inspección de elementos estructurales**: Se trata generalmente de pilares, vigas, viguetas o forjados que sufren alguna patología y que han colapsado o presentan síntomas de colapso. En estos casos a parte de adoptar las medidas correctoras necesarias habrá que valorar el comportamiento de la estructura y prever la existencia o no de más elementos estructurales afectados. Según el tipo de patología, el tipo de estructura y su antigüedad se podrá prever la existencia de más patologías en el resto del inmueble.

- **Inspección posterior a un incendio**: Como ya sabemos la temperatura afecta a los materiales de construcción haciendo que pierdan resistencia. Después de cada incendio se deberá realizar una inspección a los elementos estructurales afectados para valorar si han perdido resistencia mecánica o estabilidad debiendo adoptar medidas correctoras en caso necesario con el objeto de asegurar la estabilidad e integridad del inmueble.

- **Inspección de edificios afectados por obras colindantes**: las afecciones más habituales se suelen producir en las demoliciones y excavaciones de los sótanos de los edificios.

    - *Demoliciones*: Hay que tener en cuenta que existen edificaciones antiguas que están conectadas a las colindantes, o comparten medianeras, evidentemente cuando demolemos uno de esos edificios el colindante queda afectado principalmente con grietas.

    - *Excavaciones*: En este caso se suelen producir las patologías más importantes ya que se producen asentamientos en las zonas de medianeras de los edificios. También la variación del nivel freático puede afectar a la estabilidad de los edificios colindantes a la zona de la excavación, incluso no es necesario que el edificio este colindante a la zona de variación del nivel freático.

- **Inspección de edificios afectados por obras propias**, en numerosas ocasiones y sobre todo en edificios antiguos con estructura de muros de carga, pilares de ladrillo y vigas y viguetas de madera o acero se producen deformaciones instantáneas al modificar distribuciones interiores de los edificios. Hay que tener en cuenta que este tipo de estructuras se deforma con el paso del tiempo, apoyándose las vigas y los forjados sobre los elementos que se encuentran en la parte inferior. Suelen ser los vecinos de las plantas superiores a donde se están ejecutando las obras los que sufren estos tipos de movimientos. Hay otros casos en los que las obras tocan algún elemento estructural casi siempre sin la dirección de un técnico competente. Hay que tener presente la problemática de las licencias de obras, que no se dispone de licencia, o simplemente están haciendo la obra sin ningún tipo de proyecto ni dirección técnica o han solicitado la licencia, pero no se les ha concedido. Este último caso es habitual ya que el otorgamiento de la licencia es costoso en cuanto a tiempo con lo que muchos propietarios no esperan a la obtención definitiva.

  La policía local no puede paralizar las obras si no es por una causa grave, sin embargo, con una orden de bomberos (Municipales) de paralización de las obras la policía sí que puede paralizarlas.

  En el caso de que **no exista riesgo** para los ocupantes del edificio o para terceros Bomberos no realizará la orden de paralización de las obras, pero policía sí que tramitará denuncia si no se dispone de la preceptiva licencia de obras.

  En el caso de **existir riesgo** para los ocupantes del inmueble o terceras personas se ordenará la paralización de las obras por el técnico competente. No obstante, a la paralización de las obras se adoptarán las medidas correctoras con el objeto de asegurar la estabilidad del inmueble.

- **Inspección de edificios afectados por explosiones**, las más habituales son las de gas. Pueden producirse en el interior o exterior del inmueble pudiendo producir en ambos casos efectos importantes en la estabilidad del inmueble. En general las estructuras de muros de carga serán más sensibles a las explosiones ya que absorberán más energía procedente de la onda expansiva, sin embargo, las estructuras de pilares de hormigón armado o de acero tienen la ventaja de que los elementos resistentes no tienen superficie para absorber la energía antes comentada, esta será absorbida por los cerramientos que en definitiva no son elementos estructurales.

Si son explosiones Interiores, son muy demoledoras, en estos casos la estabilidad de la estructura dependerá de:

- La intensidad de la explosión
- El estado de la estructura.
- El tipo de la estructura.
- El lugar de la explosión

Si son exteriores al inmueble, son menos demoledoras, aunque los factores antes indicados condicionaran la afección al edificio.

5.2. ACTUACIONES DE URGENCIA

Las actuaciones de urgencia van a ser necesarias para eliminar temporal o definitivamente el riesgo en las construcciones hasta que se adopten las soluciones definitivas.

El Servicio de Bomberos ejecutara las medidas correctoras en los casos en que exista un riesgo inminente para los ocupantes o terceros, en el caso de valorar que el riesgo no es inmediato se le requerirá a la propiedad que adopte urgentemente estas medidas correctoras y las mantengan hasta que den solución al problema.

Hay que tener presente que los Servicios de Bomberos son servicios de urgencias y de la misma forma las medidas correctoras se ejecutaran por parte del Servicio de Bomberos serán en los casos urgentes. Los Servicios de Bomberos no realizan obras de consolidación u otras actuaciones en casos que no sean urgentes.

A continuación, se describen las actuaciones de urgencia más habituales que realizan los Servicios de Bomberos, aunque por la diversidad de servicios que se pueden presentar, este tipo de actuaciones pueden ser de lo más variadas.

5.2.1. SANEADOS DE CONSTRUCCIONES

Son las operaciones que se efectúan, con la finalidad de eliminar de las construcciones todos aquellos elementos susceptibles de desprenderse y que amenazan peligro por la caída generalmente a vía pública. En algunas ocasiones, el saneado conlleva a la demolición de algún elemento, generalmente de pequeña entidad y concreto, a pesar de que las operaciones propias de demolición, por sus características, no se encuadran dentro de estas situaciones de urgencia que se efectúan en primera instancia.

Estas operaciones exigen en la mayoría de los casos medios de trabajo en altura, por lo que en general, aunque son costosas de efectuar por las dificultades que entrañan, son necesarias por razones de seguridad fundamentalmente cuando existe un peligro inminente, razones por las cuales en numerosas ocasiones se recurre a los Cuerpos de Bomberos, quienes por medio de autoescaleras y autobrazos, proceden a los saneados de forma inmediata.

El objetivo del saneado es la eliminación del riesgo inmediato, no se trata de realizar una actuación para dejar una fachada por ejemplo en perfecto estado. Es la propiedad la responsable de tener el edificio en óptimas condiciones y la última responsable en el caso de producirse daños a terceros, con lo que una vez eliminado el riesgo inminente será la propiedad la que adopte las medidas correctoras necesarias para en lo sucesivo evitar riesgos.

Fachada saneada.

5.2.1.1. REGLAS BÁSICAS PARA EL DESARROLLO DE UN SANEADO

A continuación, se indican unas reglas básicas con carácter general, a tener en cuenta en los desarrollos de un saneado:

- **Previas al saneado**: Las personas que intervengan en estas operaciones, dispondrán de los medios de protección personal adecuados de acuerdo a los procedimientos: mono de trabajo, casco, guantes, calzado de seguridad, arneses y anclajes de seguridad para trabajos en altura, así como, medios de protección colectivos como redes, cuando los trabajos lo permitan.

  Acotar y señalizar la zona en la que pueden caer cascotes o elementos desprendidos durante el saneado, y retirar de la misma aquellos elementos que puedan sufrir daños, como vehículos, o disponer de elementos de protección sobre ellos.

Saneado con vehículo de altura.

- **Durante el saneado**: Los saneados múltiples en una fachada, se comenzarán desde la parte superior hacia la inferior. Se evitará en lo posible el lanzar al vacío los materiales o elementos obtenidos durante el saneado.

  Si se procede al saneado de un elemento concreto, como por ejemplo una pieza de aplacado, se debe de observar la zona en torno a la misma, así como, el resto de elementos similares, principalmente cuando las causas que han motivado el desprendimiento no están claras y pueda ser un hecho generalizado.

  Los elementos decorativos y ornamentales que presenten un cierto interés arquitectónico, se retirarán a ser posible por piezas completas, sin fragmentarlas para su posterior recuperación. En edificios con un valor arquitectónico reconocido, se prestará especial atención en estas operaciones, que se efectuarán con minuciosidad y respetando al máximo posible los elementos que forman parte del conjunto.

  En ocasiones el edificio afectado dispone de un nivel de protección por el cual no es preceptivo realizar el saneado, en estas situaciones hay que limitar el riesgo con otro tipo de actuación y avisar a las autoridades competentes del riesgo y de la necesidad de adoptar medidas cautelares de urgencia.

5.2.2. APUNTALAMIENTO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES O CONSTRUCTIVOS

En ocasiones se reclama a los Servicios de Bomberos porque se ha producido una rotura de un elemento estructural o han aparecido grietas en alguna parte del edificio, que alertan a los propietarios de un posible riesgo estructural que puede haber en el edificio, o después de un incendio en el que un elemento estructural ha perdido gran parte de su resistencia, o tras una explosión de gas que ha dañado la estructura, o de un desplome parcial del inmueble por fallo de algún elemento estructural, etc.

No solo se dan casos de fallos de elementos estructurales, también se actúa sobre otros elementos constructivos como por ejemplo los cerramientos de fachadas con riesgo de desplome u otros elementos constructivos con riesgo en los que la solución para evitar el riesgo pase por su estabilización.

Apuntalamiento de muro de carga de fachada.

El objetivo final de la actuación será realizar una estabilización la estructura o elemento constructivo que evite riesgos y posibles daños a sus propietarios o a terceros.

Son diversos los métodos de estabilización que se explicarán en la parte correspondiente de este módulo.

Apuntalamiento por rotura de pilar a compresión.

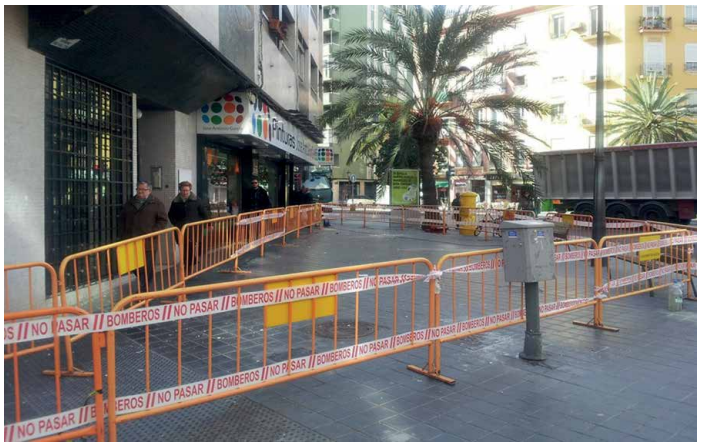
5.2.3. TAPIADO DE ACCESOS

Los Servicios de Bomberos, con el objetivo de evitar que personas puedan acceder a edificios, proceden a dar la orden del tapiado, de la que se encargará la propiedad. En el caso de que no se localice al propietario o no realice el tapiado inmediatamente, el municipio actuará de oficio clausurando el edificio con una puerta que realice su función con garantía o tapiando los accesos.

En general esta actuación está motivada por el riesgo existente en el interior del edificio, por su mal estado estructural o de algunos elementos constructivos. Suelen ser edificios abandonados o ruinosos en los que después de un incendio o colapso parcial no se puede garantizar la seguridad en su interior.

5.2.4. COLOCACIÓN DE VALLAS O CINTA DE PROTECCIÓN

Cuando en vía pública no es posible garantizar la seguridad con la actuación que el Servicio de Bomberos puede realizar o los daños son tan extensos que supone una actuación inviable, se procede a evitar el paso de viandantes por la zona de riesgo. Esta limitación se realiza con vallas de protección o cinta de balizar. En ocasiones es necesaria anclar las vallas al suelo para evitar que sean quitadas por terceros y establecer pasos para peatones.



Vallado de zona con riesgo de caída de cascotes.

5.2.5. COLOCACIÓN DE REDES DE PROTECCIÓN

Otra medida de urgencia cuando el saneado de una fachada no garantiza la seguridad o es una actuación extensa no adecuada para la actuación por los Servicios de Bomberos es la colocación de redes de protección que se encargan de proteger los elementos de las fachadas que están dañados y evitar que los cascotes que se desprendan caigan a vía pública.

Colocación de red de protección en fachada.

Es una actuación que entre otras es muy adecuada para los edificios catalogados o protegidos ya que evitamos que los cascotes que se puedan desprender a vía pública ya que quedan recogidos en la red para su posible posterior uso. Es una medida muy eficaz y que perdura hasta que se procede a la restauración de la zona afectada.

De la misma forma que en casos anteriores será la propiedad la que realice la actuación urgentemente y en el caso de que no sea así, el Ayuntamiento de oficio garantizará la seguridad en vía pública instalando la red con la colaboración del Servicio de Bomberos en el caso de que sea necesario.

5.2.6. COLOCACIÓN DE MARQUESINAS

El objetivo es similar al anterior, pero es una medida más elaborada y adecuada para situaciones que se van a prolongar en el tiempo. No es una actuación que suelen realizar los Servicios de Bomberos, ya que frente a una urgencia hay otras medidas más inmediatas que se pueden adoptar hasta que se instale la marquesina de protección.

En estos casos es el responsable de Bomberos el que recomienda a la propiedad o al Ayuntamiento que actúa de oficio la necesidad de instalar una marquesina de protección dadas las características de la situación.

5.2.7. LIMITACIÓN DE SOBRECARGAS

La adopción de esta medida en situaciones de urgencia no es muy frecuente, y tan solo se suele emplear en general, en casos de lesiones de deformaciones que afectan a algún vano de los forjados y que disponen de sobrecargas de fácil eliminación, o en los que se limita las sobrecargas a las existentes, sin añadir alguna más.

En algunos casos esta actuación consistirá en distribuir la sobrecarga existente de forma puntual en alguna zona, a una zona más extensa, con la finalidad de distribuir las cargas de forma más homogénea, sobre todo en forjados tradicionales que no disponen de capa de compresión con mallazo electrosoldado que actúa de reparto de cargas.

Este tipo de actuación será provisional, en tanto no se solucione las causas que han originado la lesión.

5.2.8. DESALOJOS

Cuando el estado de seguridad estructural de un edificio sea inadecuado, existan derrumbamientos o se prevean que puedan existir, se debe de proceder al desalojo del inmueble, para evitar daños a los habitantes del mismo, e incluso a los de los edificios colindantes o próximos, cuando se puedan ver afectados éstos.

En otras ocasiones, como en el caso de lesiones que son más alarmantes que preocupantes, así como, por necesidades de realizar un apuntalamiento parcial, para asegurar la estabilidad de un elemento, será necesario también un desalojo inicial preventivo, hasta que se resuelva la situación y se analice el grado de seguridad estructural existente, que permita el realojo de los habitantes o el desalojo definitivo.

No hay que olvidar, que esta decisión debe de estar motivada por razones de seguridad, y que la decisión va a ocasionar numerosos problemas a los habitantes del edificio, ya sean inquilinos o copropietarios, por tener que buscar un nuevo alojamiento provisional o definitivo, o por dejar de percibir las rentas del alquiler, en tanto no se resuelva la situación que lo han motivado. Estas razones no deben de influir en el técnico que toma la decisión del desalojo.

En situaciones de urgencia, los desalojos que se produzcan se deben de efectuar de forma provisional y como medida preventiva, hasta que tras una inspección más detallada se determine las deficiencias estructurales que se deben de subsanar, en cuyo caso será provisional, o el estado de ruina, en cuyo caso será definitivo el desalojo.

5.2.8.1. TIPOS DE DESALOJOS

Tipos de los desalojos, en función de la actitud de los habitantes del edificio ante el desalojo:

- **Voluntario,** cuando los habitantes del edificio aceptan la decisión del técnico que interviene, por su propia seguridad.

- **Forzoso**, cuando los habitantes del edificio no aceptan la decisión del técnico actuante por alguna razón como: no disponer de alojamiento provisional o temporal, problemas de carácter económico por falta de recursos, etc., propiciando en algunos casos un problema social importante, que tratan de paliar en parte los servicios sociales de los Ayuntamientos o Comunidades Autónomas.

  En este caso, para proceder al desalojo se debe de requerir la intervención de las autoridades municipales, generalmente a través de Policía Local cuando existan, quienes podrán realizar el desalojo de forma inmediata y preventiva, o directamente al alcalde, quien tiene las competencias para ordenar el desalojo, según la legislación vigente:

Si el procedimiento comentado no fuese posible por razón alguna y se considera necesario el desalojo con carácter de urgencia, se deberá de recurrir al juzgado de guardia con un informe de la situación que lo aconseja, y denunciar los hechos, para que el juzgado dé las órdenes oportunas para el desalojo si lo considera necesario.

Tipos de desalojos, en función de la duración de los mismos:

- **Provisional**: Son los que se realizan ante situaciones de ruina o de desequilibrio estructural de forma preventiva en tanto no se resuelva la situación que lo ha motivado, o aquellos que se efectúan de forma provisional en inspecciones de urgencia, hasta que se efectúe un análisis más profundo de la situación estructural del edificio. Los desalojos provisionales en determinadas situaciones se dilatan mucho en el tiempo.

- **Definitivo**: Son los que se efectúan ante situaciones de ruina inminente de la edificación mediante resoluciones de alcaldía. En este tipo de desalojo hay que tener en cuenta que en ocasiones se tarda un tiempo en demoler el edificio, por lo que será conveniente adoptar algunas medidas de urgencia sean necesarias para garantizar la seguridad provisional del edificio y permitir la retirada de enseres del mismo si fuese posible por razones de seguridad.

5.2.8.2. REGLAS BÁSICAS PARA EL DESARROLLO DE UN DESALOJO

Durante las operaciones de desalojo es necesario que estén presentes los servicios de Policía y de Bomberos, con la finalidad de garantizar el orden y controlar al personal que entra en el edificio y la de prevención y protección, respectivamente.

A continuación, se indican unas reglas básicas con carácter general, a tener en cuenta en los desarrollos de un desalojo:

- **Previas al desalojo**: La zona que se prevea afectada por un desprendimiento o derrumbamiento durante el desalojo, debe de ser señalizada e impedir el acceso a ella a toda persona ajena a los trabajos que se están desarrollando en ella.

  Los límites de esta zona de seguridad, estarán situados a una distancia como mínimo equivalente a 2/3 de la altura del edificio afectado.

  Se establecerá una zona situada fuera del alcance de un posible derrumbamiento o desprendimiento, cuando se prevea, para concentrar a las personas desalojadas y atender las necesidades de éstos propias de estas situaciones, principalmente un realojo provisional caso de ser posible, así como, informarles de la situación que se está produciendo.

- **Durante el desalojo**: Se efectuará de forma ordenada por parte de los habitantes del edificio, sin aglomeraciones, en el menor tiempo posible sin cargarse de objetos y enseres, y procurando de no producir fuertes vibraciones en las zonas afectadas por las lesiones.

  Si las lesiones son importantes en los recorridos de evacuación del edifico, se procederá a evacuar mediante el empleo de autoescaleras y autobrazos.

  El mando responsable de la intervención, se cerciorará de que todos los habitantes del edificio lo han abandonado y no existen vecinos que no han atendido a la orden de desalojo, por desconocimiento o por voluntad.

  Cuando alguna persona desalojada tenga necesidad de entrar en el edificio tras el desalojo por razón alguna, se procurará que lo hagan las personas mínimas necesarias, a ser posible de una en una, y acompañadas de agentes de la autoridad, por razones de seguridad, previa identificación siempre que sea posible.

BIBLIOGRAFIA

AGUILA GARCÍA A. (1995), Curso de patología, conservación y restauración de edificios. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid.

ANGUERA E. y TARRAGÓ E. (1953). La madera. Editorial bruguera.

BARBEROT E. (1927). Tratado práctico de edificación. Editorial Gustavo Gili.

BLAT LLORENS J. (1990). Construcción. Universidad politécnica de Valencia.

BESTRATEN S. HORMÍAS E. y ALTEMIR A. (2011). Construcción con tierra en el siglo XXI en Informes de la Construcción. Vol. 63.

CALAVERA J. (2006). Patología de estructuras de hormigón armado y pretensado. INTEMAC.

CALAVERA J. (2008). Proyecto y cálculo de estructuras de hormigón armado. INTEMAC.

CHING F.D.K. (1997). Diccionario visual de arquitectura. Editorial Gustavo Gili.

FERNÁNDEZ CÁNOVAS M. (1984). Patología y terapéutica del hormigón armado. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid.

FEODOSIEVR V.I. (1972). Resistencia de materiales. Editorial Mir.

GARCÍA CASAS I. (2006). "Las estructuras de entramado: composición y orígenes" en Revista electrónica nº 2 de RECOPAR.

GIN BLESA J. Comportamiento y evaluación patológica del hormigón armado frente al fuego. Proyecto final carrera. Universidad Politécnica de Valencia.

GRÜNTHAL G. (1998). Escala Macrosísmica Europea 1998. Comisión Sismológica Europea.

HEINO ENGEL. (2006) Sistemas de estructuras. Editorial Gustavo Gili S.L.

HEINRICH SCHMITT, ANDREAS HEENE. (2006). Tratado de construcción. Editorial Gustavo Gili.

HERNANDEZ ASENSIO M. (1995). Manifestaciones patológicas en sistemas estructurales. Tesina de Master. Universidad Politécnica de Valencia.

LOGEAIS. (1984). Patología en las cimentaciones. Editorial Gustavo Gili.

LÓPEZ COLLADO G. (1982). Ruinas en construcciones antiguas. Ministerio de Obras Públicas.

MARCOS y BAUSÁ R. (1879). Manual del albañil. Biblioteca Enciclopédica Popular Ilustrada.

MUÑOZ HIDALGO M. (1991) Prevención y soluciones en patología estructural de la edificación. Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Málaga.

SALVATORE, M. y HELLER R. (2005). Estructuras para arquitectos. Editorial Nobuko.

HUERTA FERNÁNDEZ S. (2004). Arcos, bóvedas y cúpulas. Instituto Juan de Herrera.

ORTIZ HERRERA, JESÚS (1989). La seguridad de las estructuras de acero ante el incendio. Ensidesa.

HERNÁNDEZ, LUQUE (1991) Recomendaciones para el reconocimiento sistemático y la diagnosis rápida de forjados con cemento aluminoso. Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña.

YUAN-YU HSIEN. (1986). Teoría elemental de estructuras. Prentice-hall.

FENELLOSA FORNER, ERNESTO (2005). Introducción a las estructuras de las edificaciones. Universidad Politécnica de Valencia.

MONFORT LLEONARD. (2007). Estructuras metálicas para edificios. Universidad Politécnica de Valencia.

España. **Real Decreto 997/2002**, de 27 de septiembre, por el que se aprueba la norma de construcción sismorresistente: parte general y edificación (NCSR-02). BOE núm. 244, de 11 de octubre de 2002, páginas 35898 a 35967.

España. **Real Decreto 1247/2008**, de 18 de julio, por el que se aprueba la instrucción de hormigón estructural (EHE-08). BOE núm. 203, de 22 de agosto de 2008, suplemento primero y segundo.

España. **Real Decreto 751/2011**, de 27 de mayo, por el que se aprueba la Instrucción de Acero Estructural (EAE). BOE núm. 149 de 23 de junio de 2011.

España**. Real Decreto 314/2006**, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación (CTE). BOE núm. 74, de 28 de marzo de 2006.

España. **Real Decreto 842/2013**, de 31 de octubre, por el que se aprueba la clasificación de los productos de construcción y de los elementos constructivos en función de sus propiedades de reacción y de resistencia frente al fuego. Ministerio de la Presidencia.

Valencia. **Ley de 7/2011**, de 1 de abril, de la Generalitat, de los Servicios de Prevención, Extinción de Incendios y Salvamento de la Comunitat Valenciana. Presidencia de la Generalitat Valenciana.

6. INTERVENCIÓN EN DERRUMBAMIENTOS

6.1. TIPOLOGIAS

Desde lo que podríamos denominar el inicio de la humanidad, los hombres han encontrado la necesidad de habilitar un espacio físico donde poder establecer un refugio para protegerse. Este espacio que en sus origines fueron las oquedades encontradas en las montañas, ha ido evolucionado según han ido pasando los siglos hasta llegar nuestra situación actual.

Esta evolución ha sido muy desigual en las distintas partes del mundo, pues va a ir siempre muy ligada a la industrialización y potencial económico de la zona, ciudad, país o incluso continente. De esta forma se pueden ver en la actualidad una amplísima variedad y diversidad de viviendas o edificaciones, que según sean los materiales utilizados en su construcción, así como su configuración o diseño, reaccionarán de una forma u otra ante los posibles agentes adversos que hagan ceder y caer su estructura.

Lo concluyente es que ya sea una chabola rudimentaria o el mejor rascacielos, todos pueden colapsar, aunque cada uno de ellos ante una fuerza externa habrá podido soportar mayores o menores esfuerzos antes de su desplome.

Al igual que el comportamiento de los materiales empleados en la construcción y su colocación puede variar mucho su resistencia, también estos van a influir en las consecuencias que provocarán sobre sus habitantes en el momento de la caída. Pues por pura lógica muy diferente es resistir sobre una persona la caída de una techumbre realizada con ramas y hojas de árboles, que tener que sobrevivir al derrumbe de toneladas y toneladas de hormigón.

Desde el punto de vista de los integrantes del servicio de emergencias, se tienen que centrar en el tipo de construcciones que por sus características haga que a las consecuencias de su caída se unan el tener que realizar unos laboriosos trabajos de localización y posterior rescate de sus habitantes. Por ello vamos a centrarnos en la construcción que podríamos denominar de la era moderna, en su mayoría realizadas con la unión de materiales pétreos, aglomerantes, metálicos y en algunos casos orgánicos. Construida además sobre una base de cimentación de la que saldrá una estructura, con unos cerramientos y una cubierta. Este tipo de construcción es la que se encuentra de una forma más habitual en las ciudades de los países más desarrollados, entre los que se incluye España. Partiendo de ahí y según su año de construcción se observarán un sin fin de variedades y evoluciones registradas en las últimas décadas, encontrándose cada vez con edificios con un mayor porcentaje dentro de su construcción de hormigón armado, consiguiendo con ello una mayor cohesión en todas sus partes. De esta forma se está consiguiendo una mayor resistencia ante los posibles asentamientos o deformaciones del terreno, que no afectan a una parte de la estructura en particular, sino que esta cesión reparte sus fuerzas entre toda la estructura, dando como resultado que lo que antes podía provocar lesiones graves, o incluso el colapso de este, con estos avances se ha conseguido mejorar su resistencia.

Pero se debe tener en cuenta que no todo han sido ventajas, pues el despegue de la construcción ha llevado consigo también a la búsqueda del abaratamiento y rapidez en la edificación, cosa que hace que se trabaje con mucho mejores materiales que dan unos mayores índices de resistencia, pero con ello se está reduciendo considerablemente las secciones de las estructuras, tanto en pilares como forjados, y con ello se reduce la resistencia de estos ante los efectos de pandeo y de torsión.

Aunque hay una gran diversidad de posibilidades, según su similitud las podríamos agrupar de forma generalizada por el tipo de construcción y por la causa del derrumbamiento.

6.1.1. CONSTRUCCIONES MIXTAS

En este grupo se engloban aquellas edificaciones que en su parte estructural llevan materiales orgánicos o metálicos unidos a materiales pétreos, es decir, que tienen vigas y o viguetas de madera o hierro, con una cimentación que puede ser por zapatas o por muros de carga. Este tipo de construcciones, pueden llegar a soportar fuertes movimientos estructurales sin llegar a su caída, porque la unión de estos materiales le da una cierta flexibilidad a la estructura. Pero tiene su fragilidad ante los fallos en su cimentación, la cesión de alguna de sus partes rápidamente hace perder toda la estabilidad del conjunto, pues la poca cohesión de la madera o hierro con el resto de materiales hace que se separen y se desplomen. Este tipo de derrumbamientos son característicos por la gran cantidad de polvo y pequeños escombros, pues se produce una fragmentación masiva de sus materiales debida a la falta de adherencia entre ellos.

6.1.1.1. POSIBILIDADES DE DERRUMBAMIENTOS

- Puede ceder una de las partes de apoyo de las vigas, con lo cual, se desploma uno de sus laterales, continuando el extremo opuesto apoyado en su base. Tendremos por ello un plano inclinado de vigas y escombro, con el resto de la estructura en mal estado y con un gran peligro de derrumbe secundario.

- En otras ocasiones el deterioro de las vigas puede provocar su rotura al no poder soportar las fuerzas ejercidas por el peso acumulado en la zona o bien el del propio peso de la estructura. En la mayoría de los casos se produce una rotura en la parte central de las vigas (en el caso de la madera). Esta rotura puede afectar solo a ese grupo de vigas o bien desencadenar una rotura del forjado en cadena entre las diferentes plantas. Por ejemplo: ante la rotura de estas vigas en la cuarta planta, provocar que el impacto del sobrepeso de la estructura colapsada sobre la tercera haga romper ésta, cayendo sobre la segunda, pero con el impacto y acumulación de pesos de las dos anteriores, llegado en cadena hasta acumularse en la parte firme de la planta baja. Si se tratara de la caída de una sola de las plantas, nos encontraríamos con la rotura central de una serie de vigas, pero apoyadas en sus extremos sobre las parte de la estructura, dejando dos planos inclinados formados por las vigas, y acumulación de escombros, por ello el centro estará ocupado por parte de las vigas y escombro. Si la caída ha sido en cadena por plantas, tendremos una gran acumulación de escombros y vigas en la planta baja situadas de manera indiscriminada, pero además trataremos con la complicación de que en la mayoría de los casos tendremos infinidad de restos de estructura inestables situados en cada una de las plantas, por lo cual habrá una continua caída de restos sobre la zona baja.

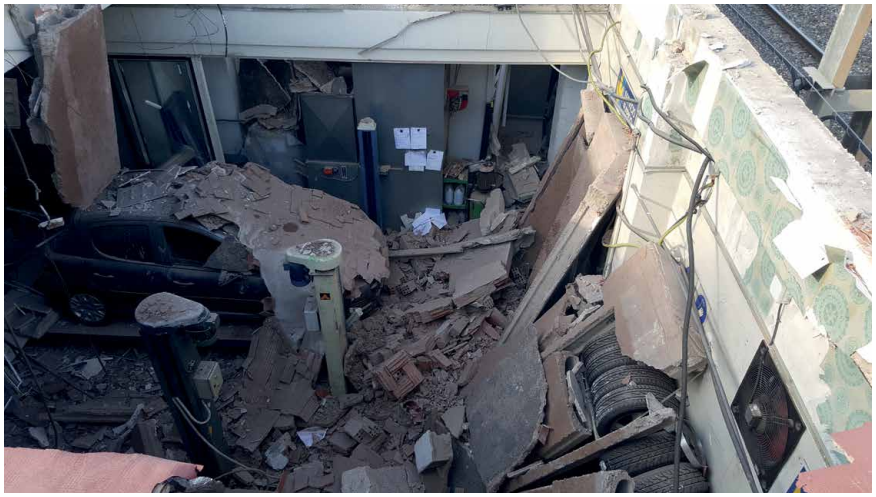
- Como tercera situación, se parte de la posición de que por cesión en la cimentación o fallo estructural provoca la separación de pilares o muros de carga, llevado consigo la inestabilidad general del inmueble, por ello el desplome es completo. Es característico por una gran acumulación de escombros de tamaño reducido, gran cantidad de vigas y diversidad de enseres de los habitantes. Los restos no solo afectan al terreno del inmueble, sino que llenan la práctica totalidad de la calle, habiendo la posibilidad de que las consecuencias del desplome afecten a vehículos y transeúntes, e incluso en algunos casos los edificios colindantes.

6.1.1.2. CAUSAS HABITUALES DE DERRUMBES

- Por abandono en el mantenimiento de la edificación, esta es una causa frecuente en los cascos antiguos de las grandes ciudades, con viviendas deshabitadas y abandonadas, con graves problemas en la cubierta, que deja pasar el agua de la lluvia, afectado ésta sobre el deterioro de sus materiales, hasta el punto de su colapso. En estos casos en su mayoría no suelen haber víctimas, pues están deshabitadas y casi siembre está delimitada la zona pues es un caso predecible, aunque

en situaciones hace necesaria la intervención para descartar esta posibilidad. Puede provocar un derrumbamiento general de una gran parte de la vivienda o derrumbe parcial de una parte del techo.

- Por la realización de grandes reformas: no siempre las reformas o modificaciones dentro de los edificios se llevan de forma correcta y con la supervisión y dirección de los arquitectos, esto lleva a la situación de que la modificación de elementos portantes de carga y estructurales, provocan el derrumbamiento de éste. Son frecuentes en estas situaciones el que se lleven consigo la vida de algunos de los trabajadores, al igual que un número indeterminado de heridos, por ello es más frecuente y necesaria la participación de los equipos de salvamento para su rescate.



- Por la construcción de edificaciones paralelas, esta ha sido una de las principales causas de derrumbamientos de este tipo de edificaciones dentro del área mediterránea española, durante los años de mayor expansión de la construcción. En su mayoría se trataba de edificaciones de cimentación por zapatas o muros de carga, en las que a su lado se procedía al vaciado para la cimentación de un sótano y en algunos casos dos de profundidad. El no realizar un buen apuntalamiento o bien un vaciado y cimentación de apoyo por capas es lo que provocaba que se quedara al descubierto no solo las zapatas afectadas, o muro de carga, sino que aparte se dejaba sin cohesión el suelo donde está soportando el peso el edificio, y por ello éste cede llevándose consigo parte o incluso la totalidad de mismo. Este tipo de derrumbamientos casi con toda seguridad llevan detrás de sí, un número variable de víctimas, pues estos edificios sí que están habitados y aunque en algunos casos las grietas que se han ido produciendo en las paredes ha provocado su desalojo, es demasiado frecuente el desplome

de estos de forma imprevista, afectando tanto a los habitantes como a los operarios de la construcción.

- Por explosiones de gas, esta es una de las situaciones en aumento, pues no solo cada día hay un mayor número de viviendas y por ello un aumento considerable de edificaciones en riesgo, sino que además está creciendo considerablemente las edificaciones con una fuente ilimitada de gas ciudad, que puede provocar grandes acumulaciones de este GLP y por ello grandes explosiones que infringirán graves daños estructurales a las edificaciones pudiendo llegar hasta su derrumbe. Son este tipo de construcciones son las más vulnerables a los efectos de una deflagración. En estos casos podremos encontrarnos con un elevado número de víctimas.

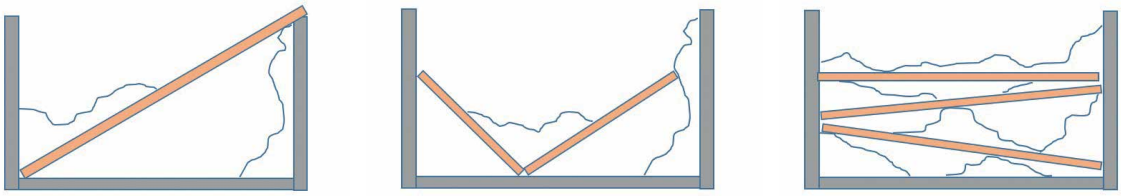
- Por graves incendios, no se pueden descartar, los daños que puede ocasionar sobre las partes estructurales las altas temperaturas provocadas por un incendio. La gravedad de estas lesiones dependerá de las temperaturas alcanzadas y de la composición de los materiales estructurales afectados, que harán que ante una misma temperatura podamos estar hablando de lesiones leves, o podemos llegar al colapso total del edificio. El tipo de construcciones de este apartado son muy vulnerables a los incendios, pues los materiales empleados tienen un comportamiento muy desigual ante una misma temperatura y por ello se desestabilizan con mucha facilidad provocando el desplome.

- Por terremotos, En el tipo de construcción de muros de carga, podemos encontrar que el derrumbamiento se provoque por el desplazamiento de la cimentación, o bien por el desplazamiento de las vigas de apoyo sobre los muros.

6.1.1.3. CLASIFICACIÓN BÁSICA

Tres tipos característicos de clasificación de derrumbamientos para este tipo de construcciones, pues por el tipo de materiales empleados, las configuraciones en su colapso suelen mantener este patrón.

- Derrumbamiento - Inclinado
- Derrumbamiento - En V
- Derrumbamiento - Total



6.1.2. CONSTRUCCIONES DE HORMIGÓN ARMADO. LA EVOLUCIÓN, EL MATERIAL EMPLEADO Y LA SISTEMÁTICA EMPLEADA, HACE QUE PASEMOS A UN TIPO DE CONSTRUCCIONES MÁS MODERNAS Y ESTAS SE ENGLOBAN EN:

- CONSTRUCCIONES UNIDIRECCIONALES SIMPLES: en este apartado podemos englobar aquellas estructuras construidas a base de hormigón armado, pero que disponen de una viga de carga sobre la que descansan y reparten fuerzas las viguetas y bovedillas. Se le denominan unidireccionales pues las fuerzas que soportan las viguetas van en dirección a la viga central que soporta la carga. Toda esta estructura va unida con el hormigón armado del recubrimiento de cada forjado. Esto hace que aunque las viguetas van descargadas sobre la viga, por lo tanto es independiente, el hormigón armado de la superficie hace que relativamente las viguetas de un lado y otro de la viga de carga se unan. Este tipo de estructuras las podemos identificar fácilmente por ver con claridad la viga de carga que va de pilar a pilar y sobresale de forma destacada del resto del techo. Son las edificaciones muy comunes aunque ya se ha dejado de utilizar este modelo constructivo. A diferencia de las construcciones mixtas, cada uno de los forjados del edificio están unidos como una sola base, por lo tanto ante un derrumbe tendremos grandes placas de hormigón y no escombro disgregado, aquí el escombro que podemos hallar es el utilizado en los cerramientos y tabiquería interior.

- CONSTRUCCIONES DE TECHO PLANO O RETICULAR: esta sería la edificación que se viene realizando en los últimos años, y por lo tanto va a ser cada día más frecuente el encontrarnos con este tipo de estructuras. Se caracterizan por la reducción en volumen de las vigas de carga y por ello su denominación de techo plano, pero además al ser todo el techo de hormigón armado integrado con las bovedillas y disponer de una retícula interior de varillas de hierro hace que las fuerzas que recibe el forjado se reparten de forma uniforme entre los pilares. Esta particularidad le da una rigidez importante a la estructura, que si además añadimos que cuentan prácticamente en su totalidad con una cimentación de losa, le hace soportar con inflexibilidad las posibles cesiones del terreno, por lo tanto se puede quedar al aire una parte de esa cimentación y esto no afectaría a la estabilidad del edificio pues el resto de la losa está repartiéndose la carga.

6.1.2.1. POSIBILIDADES DE DERRUMBAMIENTOS PARA ESTAS EDIFICACIONES

Estos dos tipos de construcciones realizadas de hormigón armado mediante pilares, tienen su punto débil en la esbeltez de estos, que por diferentes causas no pueden soportar el inestable peso de la estructura, y los efectos de pandeo o torsión hace que terminen por romper, llevando consigo la inestabilidad parcial de la estructura, o total provocando el colapso del edificio.

6.1.2.1.1. CAUSAS

Las causas que pueden provocar el derrumbamiento de este tipo de estructuras son muy variadas, y aunque tengan unos valores mucho más altos de resistencia que las explicadas en las construcciones mixtas, todas tienen posibilidad de desplomarse si recibe las fuerzas necesarias que dañen su estabilidad y materiales. Estas fuerzas pueden ser por causas antrópicas o causas naturales.

- ANTRÓPICAS. Los derrumbes que podemos denominar por causas antrópicas, son los grandes incendios, explosiones, atentados terroristas, mala construcción, inadecuado mantenimiento, impacto de vehículos, etc.

- NATURALES. Los derrumbes por desastres naturales: son inundaciones, corrimientos de tierra, erupciones volcánicas, avalanchas de nieve, etc. Pero especialmente a tener en cuenta son por terremotos, esta es una de las mayores consecuencias del derrumbe de las edificaciones, porque los movimientos que transmite sobre la edificación hacen que sus efectos sean devastadores, y por ello el número de edificios que colapsan o resultan seriamente afectados dentro de su área de acción es altísimo. Sin contar que al ser un fenómeno impredecible, el número de víctimas atrapadas o afectadas es en la mayoría de las situaciones enorme. No se puede descartar esta posibilidad en el territorio de la Comunitat Valenciana, pues aunque es muy frecuente en otras zonas del planeta, sí que ha afectado históricamente con gravedad distintas zonas de este territorio. Hay que conocer además que distintas comunidades españolas están situadas también sobre zonas potencialmente símicas y por ello con una alta posibilidad de sufrir un terremoto de gran intensidad.

Los terremotos se propagan mediante ondas a partir del hipocentro. Estas ondas son de tres tipos, longitudinales, transversales y superficiales, provocando movimientos sobre la cimentación de los edificios de forma ascendente, descendente y de oscilación lateral. Estos movimientos se transmiten a través de toda la estructura haciendo que se mueva en su totalidad.

6.1.2.2. CLASIFICACIÓN SEGÚN EL GRADO DE AFECCIÓN

Estas construcciones son afectadas de una forma totalmente diferente, pues su colapso depende directamente de como resistan los pilares a la fuerza externa, por ello vamos a ver las distintas variantes a encontrar.

6.1.2.2.1. DESAPARICIÓN DE UNA O VARIAS PLANTAS

Esta es una situación común después de haber sido afectado por un seísmo, y en algunos casos por una explosión, podemos ver un edificio más o menos dañado pero que aparentemente su estructura está bien, en cambio el pequeño montón de escombros que rodea el edificio esconde las plantas inferiores que han desaparecido. Han ido cediendo los pilares de las plantas que están soportando mayor peso y al tiempo van colapsando hasta llegar a su estabilización. Por lo tanto podremos encontrarnos el caso de que haya colapsado una, dos o tres plantas del edificio, que han ido quedando perfectamente solapadas una sobre otra, separadas solamente por un espacio de unos 40, 50 ó 60 cm. que es a lo que se ha podido reducir y compactar la tabiquería interior y mobiliario, esta altura puede ser aumentada en el caso de que los forjados dispusieran de vigas de carga. Las plantas que han quedado dañadas pero no colapsadas, pueden tener en su interior a sus habitantes, con una variedad importante de lesiones y por lo tanto según su grado se tendrán que proceder a su evacuación con la consiguiente dificultad de inestabilidad y la desaparición parcial de accesos.

Este lo podemos dividir en tres tipos:

- Cesión completa de los pilares de la o las plantas inferiores, el daño afecta a la unión de los pilares de la planta baja con la primera planta, esto hace que se hunda en un primer lugar y por el impacto y peso ceden también los pilares de la primera planta y/o segunda, pudiendo soportarlo el resto de las plantas.

- Cesión de los pilares traseros de la planta baja, han podido soportar los delanteros, pero los traseros se hunden en su totalidad, arrastrando e inclinando el edificio hacia atrás, normalmente eso también viene provocado por la caída completa del edificio que tiene a su espalda.

- Cesión desigual de los pilares de plantas inferiores, similar a la anterior, pero este pueden ser de forma aleatoria y pudiendo ser una o varias plantas, provocando la caída inclinada de una parte del edificio, quedando muy inestable.

6.1.2.2.2. CAÍDA LATERAL DEL EDIFICIO

Cuando el causante provoca la rotura de varios pilares de la planta baja y el resto de la estructura no puede soportar la estabilidad, este efectúa una caída lateral, bien sobre el edificio contiguo que puede frenar el desplome o puede que lo arrastre consigo, o bien lo más común es que su caída la realice hacia la calle. En el caso de que el desplome sea frenado y soportado en parte por el edifico contiguo, vamos a encontrarnos

con una estructura seriamente dañada e inestable, donde serán necesario realizar rescates en las distintas viviendas, donde algunas zonas de la estructura habrán colapsado y posiblemente puedan haber atrapados en el interior, el peligro en los trabajos de localización y rescate serán altísimo. Tener en cuenta la posibilidad de que en el momento del derrumbamiento se encontraran personas en la calle, bien como viandantes o en los distintos vehículos aparcados o en circulación.

6.1.2.2.3. DERRUMBAMIENTO SOBREPUESTO

En este caso la rotura de los pilares ha sido generalizada y por igual, provocando la caída in situ del edificio y el aplastamiento total de la estructura. Nos encontraremos con la superposición perfecta de los distintos forjados, con un aplastamiento generalizado de cerramientos y enseres de cada una de las plantas. Es bastante común este tipo de colapso, y nos dejará al igual que el desplome de varias plantas, una separación entre forjados algo desigual, dependiendo de los materiales que existan en el contenido de cada planta, muebles, electrodomésticos, etc. y por tanto frenen la presión y el peso de los forjados superiores.

6.1.2.2.4. DERRUMBAMIENTO SOBREPUESTO DE PLANTAS INTERMEDIAS

Se trata de la cesión total, parcial o desigual de los pilares de las plantas intermedias. Esto provoca el aplastamiento de una o varias plantas intermedias del edificio que no han podido soportar los efectos de pandeo y torsión provocados, añadiendo además el sobrepeso del impacto de caída. En caso de quedar personas atrapadas en su interior, los rescates son de extrema dificultad y riesgo, pues el edificio se queda en un estado de equilibrio extremo.

6.1.2.2.5. DESTRUCCIÓN TOTAL

En situaciones en las cuales el epicentro de un terremoto se encuentra situado en un área poblada, con una magnitud elevada y siendo muy superficial, hace que los efectos de destrucción se agraven de forma considerable, llegando a disgregar y destruir el hormigón armado. Esto provoca la destrucción total de manzanas de edificios, donde no veremos grandes placas de hormigón, pues éstas se han roto en multitud de pedazos.

Como se ha podido comprobar en estas imágenes, existen tantas tipologías de derrumbamientos como posibles combinaciones existen de cesiones de determinados pilares de un edificio, dependiendo del número de ellos afectados, así como el orden en el que cede cada uno de ellos, implicará y deformará la estructura para que se desplome de una u otra forma.

6.2. HUECOS DE SUPERVIVIENCIA

Un hueco de supervivencia es aquel espacio mínimo necesario para poder sobrevivir ante el colapso de un edificio. Este espacio va a ser diferente dependiendo del volumen de la víctima, pues no necesita el mismo espacio un bebe recién nacido como un adulto de 180 kg. Por ello cuando se hable de huecos de supervivencia siempre se realizará teniendo en cuenta el tamaño de la víctima a localizar en ese punto, lo que puede ser un espacio grande para unos, puede ser un espacio muy reducido para otros.

Ante una actuación con víctimas en un derrumbamiento, la premisa a tener en cuenta es que cualquier edificio que colapsa independientemente de la tipología del derrumbamiento, siempre va a generar huecos de supervivencia, y por ello siempre existe la posibilidad de que la víctima que se encuentra atrapada, este viva.

6.2.1. CLASIFICACIÓN

Para poder realizar una adecuada clasificación, estos se dividen en huecos de supervivencia grandes o huecos de supervivencia pequeños, identificables por su tamaño en referencia a la víctima a localizar, aunque en muchas ocasiones su identificación no es sencilla, pues no siempre se pude tener una visión clara de cómo está la total configuración del edificio colapsado.

6.2.1.1. HUECOS DE SUPERVIVENCIA GRANDES

Son aquellos en los cuales la víctima puede encontrarse en una posición donde puede tener una cierta movilidad dentro del atrapamiento. En algunos casos podrá incluso caminar o moverse con cierta facilidad y en otros tendrá un espacio más limitado. La evaluación primaria de espacio de supervivencia se realiza desde el exterior, y lo que a priori puede es un espacio grande, por ejemplo, una habitación que se ve desde el exterior prácticamente intacta, cuando se accede al interior, unos tabiques han caído sobre la víctima y ha quedado atrapada en un espacio pequeño.

6.2.1.2. HUECOS DE SUPERVIVENCIA PEQUEÑOS

Son aquellos en los cuales la víctima se encuentra prácticamente limitada de movilidad, tiene el espacio justo sin atrapamiento de las partes principales de su cuerpo que son, cabeza y tronco. En algunos casos podrá estar sin un atrapamiento directo de sus miembros, pero en otros podrá tener uno o varios miembros atrapados, pero independientemente de esto el derrumbamiento ha cubierto prácticamente todos los huecos libres y por ello le impiden la movilidad. Es por ello que ante un derrumbamiento la posición de mayor seguridad es colocarse en posición fetal, de esta forma se ocupa el mínimo espacio posible y además se protegen los brazos y piernas que si están extendidos fácilmente podrán quedar afectados o atrapados.

En un derrumbamiento de manera habitual se encuentran huecos de supervivencia grandes y pequeños de forma simultánea por las diferentes partes del edificio derruido, aunque en algunos casos no son fácilmente

identificables. Aquí se exponen diferentes ejemplos acompañados de imágenes para poder tener una mayor claridad de identificación.

- Como se puede ver en este caso los huecos no son siempre apreciables desde el exterior del edificio, pues la configuración de la caída del mismo puede dejar un exterior muy compacto por grandes placas de hormigón, pero grandes huecos en su interior.

- Otra situación es la que se puede apreciar en este tipo de derrumbamientos en los que aparentemente y de forma visual tenemos huecos grandes, pero que al recoger la información vemos que nos faltan plantas en la parte inferior, por lo que en esas partes del edificio tendremos espacios mínimos de supervivencia. Queda claramente apreciado en la, unos edificios de 4 pisos, donde existen espacios grandes en las plantas 4, 3 y 2, pero espacios pequeños en la 1 y el bajo.

- Existen configuraciones inversas, se encuentran espacios pequeños en las partes altas del edificio y grandes en las plantas inferiores, como se puede identificar en las fotos siguientes.

- En otros casos se dan combinaciones complejas en donde se simultanean espacios pequeños y grandes, en los que además influyen claramente los enseres internos para diferenciarlos, pero que pueden dar una referencia sobre las posibilidades de supervivencia, como se puede observar en las fotos siguientes.

- Finalmente existen derrumbamientos que van a dejar solo la existencia de espacios pequeños de supervivencia, aunque estas apariencias no nos dan la seguridad de que no exista vida debajo, pues la configuración interna del contenido, y la posición de la víctima, pueden generar la probabilidad de supervivencia.

6.3. SISTEMÁTICA DE ACTUACIÓN ANTE UN DERRUMBAMIENTO

Ante un derrumbamiento el primer punto a tener en cuenta es la seguridad de los medios intervinientes, por lo tanto las dotaciones que llegan en primer lugar realizan una primera valoración general para establecer el estacionamiento de los vehículos en lugar seguro, pero de buen acceso a las distintas necesidades, y previniendo la posible llegada de más dotaciones y vehículos, especialmente si prevé el emplazamiento de vehículos de altura.

6.3.1. ZONIFICACIÓN

El primer mando que llegue al lugar recabará una mínima información y realizara una observación muy rápida, para realizar una primera estimación de necesidades, las cuales las comunicará vía radio a su centro de comunicaciones. Establecerá un primer emplazamiento del PMA y una primera zonificación de riesgos:

- Zona Roja o Caliente: Es la zona que afecta a la totalidad del derrumbamiento y sus riesgos. En esta zona no puede haber vehículos y solo accederá el personal estrictamente necesario para realizar las distintas labores encomendadas y con el EPI adecuado.

- Zona Amarilla o Templada: Es la zona limítrofe al derrumbamiento, es relativamente segura y donde se emplazarán los vehículos de bomberos, estará el personal en espera para intervenir y será el lugar donde se establecerá en los primeros momentos el PMA.

- Zona Verde o Fría: Es la zona segura, donde no hay riesgo y se colocarán el resto de medios, se establecerá el perímetro de seguridad para evitar la entrada de personal que no esté relacionado directamente con la intervención. Si la intervención es de gran envergadura y por ello hace necesario constituir un PMA con los distintos integrantes de Sanidad, Seguridad, Logística, etc. éste se establecerá en esta zona.

6.3.2. NECESIDADES PARA LA TOMA DE DECISIONES

Cuando se llega al lugar donde se ha producido un derrumbamiento, el primer factor necesario, es conocer con seguridad si ha habido o no víctimas, pues ello marcará el rumbo de la sistemática de actuación. En la mayoría de los casos no va a ser sencillo de identificar con los primeros datos que nos lleguen, pues el caos, la inseguridad, el desconcierto, el miedo, etc. hace que los testigos, vecinos y transeúntes pueden pasar datos erróneos y versiones totalmente contradictorias, por ello va a ser necesario antes de tomar cualquier decisión de intervención, mantener la calma, y utilizar dos herramientas fundamentales, la información y la observación.

6.3.2.1. INFORMACIÓN

Se debe contrastar o bien tener la seguridad de que la persona que la hace llegar la conoce con veracidad. El valor de la fuente de información es fundamental, por ello hay que tener en cuenta al informador, valorando:

- El estado emocional. Como le ha afectado el incidente a la hora de valorar la veracidad de su información.

- El estado afectivo. Dependiendo del nivel de parentesco con los afectados, hay que tener en cuenta que esa información puede variar a nuestro favor o en contra, dependiendo de la situación. Si se trata de un parentesco directo sobre las víctimas o titularidad del inmueble nos ayudará con información muy concreta e importante, pero también nos introducirá un grado de presión emocional ante la toma de decisiones sobre los posibles rescates. Por ello en determinadas situaciones es mejor recurrir a informadores de un menor parentesco pero que conozcan detalles del edificio y sus habitantes.

- Rango del informador. El rango es el escalafón en que se clasifica la importancia de la información recibida de cada uno de los informadores, valorando en este caso lo que interesa de cada uno de ellos.

La información necesaria:

- La naturaleza del edificio afectado. Es decir, cuál era su utilidad o utilización antes de derrumbarse, viviendas, oficinas, almacenes, industria, etc. es fundamental para conocer mejor las necesidades y riesgos a tener en cuenta.

- El número posible de víctimas. No siempre es acertado, pero si empezará a servir de base para planificar estrategias a seguir.

- Los posibles peligros eventuales de ese edificio. Conocer la existencia o no de riesgos secundarios, electricidad, agua, gas, depósitos de combustible, productos industriales, etc.

- La composición o distribución del edificio o la vivienda. Es importante tener una configuración de donde y como se encontraba situado todo antes del derrumbe y poder valorar con mayor exactitud donde se encuentra después del colapso.

- La hora, edad, sexo y costumbres. Este conjunto de información nos va a ayudar para dos situaciones concretas:

- Estimar un número aproximado de víctimas. Con la combinación de hora, edad y costumbres, unido a la naturaleza del edificio, se puede valorar si a esa hora acostumbra haber gente y cuantas personas suelen estar presentes en el interior del edificio.

Ejemplo: Si el edificio que se ha derruido está siendo utilizado como colegio, el factor de la hora, y la costumbre es fundamental para determinar en número de personas en su interior. Si es a las 10 de la mañana y la costumbre es que se esté en horario escolar, lo lógico es que todos los alumnos estén en el interior. Ese mismo edificio a las 19:00 horas, si la costumbre en que no sean horas lectivas, el número de víctimas será mucho menos, o incluso nulo. Por ello hay que recoger información muy estricta sobre la costumbre, porque puede que ese día a esa hora se estén realizando actividades extraescolares, reuniones, etc.

También puede ayudar en gran manera a optimizar desde el primer momento las labores de búsqueda, pues con todos estos parámetros se puede prever la localización aproximada de la víctima. Conociendo la edad de la posible víctima, la hora del derrumbe, sus costumbres, la naturaleza del edificio y un posible croquis del mismo, se puede situar en un punto aproximado de la vivienda, y con ello reducir en gran medida la zona de posibilidades.

Ejemplo: Si se derrumba un edificio de viviendas a las 16:00h, y la persona a localizar es una mujer de 70 años, con esta información se necesita añadir que es lo que acostumbra a realizar a esas horas, algo muy común puede ser ver la televisión. Recogiendo la información concreta de donde acostumbra a verla y con la ayuda de la información de la distribución del edificio y vivienda, se puede situar con cierta precisión la posición del lugar donde poder localizarla.

6.3.2.2. OBSERVACIÓN

Recabada toda la información necesaria, se debe revisar la configuración de la estructura o zona colapsada, especialmente para realizar una valoración de estabilidad de la misma, así como sus posibles peligros. Si existen víctimas desaparecidas, se establecerán y preverán los posibles huecos de supervivencia, verificando además las posibilidades de acceso a las determinadas zonas.

Detalles importantes a tener en cuenta en la observación:

- Estado en que ha quedado la estructura
- Estabilidad estructural y de los materiales unidos a ella.
- Estado de los edificios o viviendas limítrofes
- Estado de los accesos hasta la zona afectada
- Visualización de los posibles accesos al edificio y sus zonas.
- Estudio de posibles huecos de supervivencia.
- Visualización de grietas o partes importantes de la estructura que puedan indicar posibles riesgos de desplome.
- La existencia o no de vecinos, personas u otros equipos de rescate por la zona caliente.
- Visualización del estado de cableados eléctricos sobre los escombros.
- Visualización de posibles escapes de agua o gas en la zona derruida.
- Comprobación de la dirección primaria del viento en la zona afectada.

Con la información que se ha recibido y con lo que se ha podido ver y revisar, ya se puede establecer una estrategia de trabajo y al tiempo se podrán estimar los medios de localización, rescate, atención sanitaria, apuntalamiento, etc. que se vayan a necesitar.

6.3.3. INTERVENCIÓN

De forma general, hay que diferenciar entre la intervención ante un derrumbamiento puntual, o en el caso de tener que actuar ante una catástrofe producida por un terremoto, pues aunque la metodología puede ser igual, existen muchos otros factores a tener en cuenta. En una catástrofe en primer lugar los medios de que se disponen para actuar son insignificantes delante del trabajo a realizar, los accesos a los distintos lugares pueden estar cortados, las herramientas son mínimas, existe el peligro de nuevas réplicas del seísmo, pueden existir fugas de gas o de productos tóxicos, gran número de heridos demandando ayuda, limitaciones para la población y rescatadores de alimentos y agua, problemas en las comunicaciones, etc. Todo esto agrava la presión sobre el equipo de rescate y hace que se tengan que tener en cuenta otros factores añadidos, teniendo que establecer unas prioridades de intervención a la hora de iniciar los trabajos de localización, pues lo importante es optimizar el tiempo y los recursos humanos y materiales de que se dispone. Para ello la estrategia a plantear, es que ante un mismo esfuerzo para localizar y rescatar, se buscará la máxima recompensa posible, es decir, si se dedica el trabajo a localizar a los

posibles supervivientes de una vivienda unifamiliar, se puede prever que toda la recompensa sea el rescate de los miembros de esa familia que pueden estar dispersos en el interior de la misma, pero si ese mismo trabajo se destina hacia la búsqueda y el rescate de las posibles víctimas atrapadas en un hospital, un colegio, un centro comercial, etc. las posibilidades de rescatar a un número mayor de víctimas aumentarán en gran medida ante un mismo esfuerzo. Por ello en estos casos es necesario utilizar la información y la observación para realizar un triaje de la zona de trabajo, priorizando aquellos edificios que den mayores garantías de éxito para el rescate de víctimas, eligiendo edificios de mayor concentración de personas o aquellos que los espacios de supervivencia que lo configuran aumenten las posibilidades de encontrar personas vivas en su interior.

Es muy importante desde la llegada al lugar el poder controlar el caos existente, y evitar el que se proceda de forma incontrolada a la búsqueda indiscriminada de las víctimas. Ante estas situaciones establecer el control de las labores a realizar es fundamental para garantizar el éxito de los trabajos y evitar aumentar el número de heridos o fallecidos. Al tiempo que se recopila la información necesaria, se organiza la retirada de la zona afectada de todo personal que de forma incontrolada este por el escombro.

6.3.3.1. SIN VICTIMAS

Si se confirma que en el edificio o zona afectada no existen víctimas, los trabajos se centrarán en minimizar los riegos para evitar que eso suceda a partir de ese momento, por ello hay que verificar y cortar las posibles fuentes de riesgo:

- Acometidas de agua
- Cableados eléctricos
- Acometidas de gas
- En industrias, posibles fugas de productos peligrosos.

Valorar la estabilidad de la estructura y los posibles riesgos de desplome, y como pueden afectar estos a la vía pública o a los demás edificios.

Con todo ello se plantea la estrategia de trabajo, en ella se valorará el factor de riesgo para los equipos intervinientes en contraste con el resultado del trabajo a realizar. La no existencia de víctimas hace que la exposición al riesgo debe ser mínimo, pues fácilmente se pueden tomar decisiones de evacuar los edificios colindantes, cortar el tráfico, retirada de escombros por maquinaria pesada, balizar la zona, etc.

6.3.3.2 CON VÍCTIMAS

Ante la situación de rescatar a las víctimas de un derrumbamiento, la lógica debe marcar el orden y las prioridades del rescate. Por ello de forma habitual se procederá:

6.3.3.2.1. VÍCTIMAS DE SUPERFICIE

Son las que se deberán rescatar en primer lugar, pues son aquellas a las que se va a tener acceso de forma más rápida. Se tendrá en cuenta que el orden de rescate o extracción se realizará en el orden en que se va avanzando y encontrando, si se encuentra una víctima lesionada se rescata, no se puede dejar para seguir avanzando y adentrándose en el escombro con la finalidad de localizar a otra, lo importante es ir retirándolas al ritmo que se localizan, pues se encuentran en zona de alto riesgo, solo se efectuará un

triaje de evacuación si se encuentran en ese mismo lugar varias víctimas juntas, entonces su valoración se realizará según sus lesiones que será lo que establecerá su orden de rescate o evacuación.

6.3.3.2.2. VÍCTIMAS SEMIENTERRADAS O EN ZONAS DE ACCESO DIFICIL

Una vez finalizado el rescate de aquellas que han quedado en la superficie, la segunda prioridad será el rescate de aquellas que se encuentren semienterradas o en lugares de peor acceso, aquellas que necesitan de un trabajo más laborioso para su rescate y/o evacuación. Algunas su rescate será solo crearles un acceso para poder bajar de algunas partes altas que no han sido dañadas en exceso, pero si sus accesos. Otras han quedado parcialmente sepultadas por los restos del edificio y necesitarán de técnicas específicas de rotura, corte de hierro y/o retirada selectiva de los escombros que inciden en su atrapamiento parcial.

6.3.3.2.3. VÍCTIMAS OCULTAS

Son aquellas que no se pueden ver ni oír durante un rastreo primario, por lo tanto se desconoce el lugar exacto donde se encuentran y no se puede establecer contacto con ellas. Para este tipo de víctimas, hace necesario utilizar técnicas específicas de localización para poder localizarlas y herramientas adecuadas para conseguir rescatarlas.

6.3.4 SEGURIDAD

Aunque la intervención en este tipo de rescates entraña un alto índice de peligro, es primordial el minimizar los posibles riesgos, para ello se deben de tomar las siguientes precauciones:

- Utilizar el equipamiento de seguridad adecuado, utilizando un mínimo de protección personal, compuesto por:
  - Casco
  - Mono de intervención o traje de intervención.
  - Guantes anticorte.
  - Botas de intervención.
  - Gafas de seguridad.
  - Si hay que utilizar herramientas de corte o rotura, será necesaria la protección auditiva.
- ▪ Evaluar la solidez del suelo mientras se avanza sobre los restos del edificio. Una zona llena de escombros y partes estructurales tras el colapso del edificio, queda estable dentro de su inestabilidad, todo se sostiene en su posición de forma muy provisional, por lo que caminar por encima puede provocar movimientos en el escombro que pueden hacer perder el equilibrio al rescatador, por ello es importante no descargar todo el peso sobre escombros sin haber comprobado que se puede pisar con seguridad encima de ellos.
- Durante el avance de deberá procurar no provocar la desestabilización en que han quedado los escombros pues se producirán corrimientos muy peligrosos tanto para rescatadores como para la víctima.

- No debe caminar nadie solo por la zona afectada, siempre debe ir acompañado a una distancia de 3 o 4 metros, de forma que si sufriera un accidente uno de ellos el otro conocería su posición y podría rescatarlo o pedir ayuda.

- Se evitará caminar por debajo de partes de la estructura que estén inestables y ofrezcan peligro de caída.

- Si el rescatador debe introducirse por galerías o grietas en el escombro, debe ir atado a una cuerda guía, por un lado porque en el interior se pueden encontrar infinidad de galerías que pueden hacerle perder la orientación a la hora del regreso, y por otro lado porque en caso de que sufriera un accidente su localización sería rápida.

- A la hora de la retirada de escombros, nunca se debe mover cualquier parte de la estructura que esté soportando el peso de escombro o parte del forjado, pues provocaría el colapso en esa zona.

- Cuando el rescatador se adentra en la zona de escombros, siempre debe prever una posible vía de escape. Es decir una posible vía rápida de salida en caso de que se produzca una situación de riesgo inminente. Es estos casos es importante reconocer los posibles riesgos en la salida precipitada de la zona de trabajo, y por ello tendrá en cuenta el dejarla libre de herramientas o medios que esté utilizando. Además prever que si se encuentra realizando una galería intermedia entre forjados y se da el aviso de evacuación o bien se produce una réplica del terremoto, debe realizar un cálculo rápido de probabilidades de causa efecto, pues debe calcular el tiempo que le cuesta de salir de la galería contando con el tiempo que tardarán las partes del resto de edificio en caer, pues hay que valorar que es probable que en el momento de la salida de la galería coincida con la caída de escombros y por ello sea posiblemente mejor quedarse en el interior de esa zona más o menos segura de trabajo, y colocarse en posición fetal para ocupar el mínimo espació posible, y esperar hasta que pase el riesgo.

- Es primordial cuando se trabaja en un derrumbamiento en que toda la zona es casi siempre de riesgo, el que se sitúen vigías que controlen en todo momento de forma visual las partes de la estructura inestables que estarán sobre los rescatadores, de forma que puedan avisarles en el caso de que detecte la posibilidad de desprendimientos. Existen en la actualidad medios tecnológicos controladores de estabilidad, que pueden ayudar en este trabajo. Estos aparatos disponen de un sistema de medición láser que detecta una diferencia de distancia desde el aparato al punto del edificio al que se dirige el láser de 5mm, con ello ante el menor movimiento de la estructura salta una alarma acústica que avisa a los rescatadores. Eso sí, la utilización de estos aparatos no elimina la figura del vigía, sino que le ayuda para disponer de una mayor seguridad.

- Siempre que se suponga que pueden haber víctimas atrapadas, la retirada de escombros será efectuada de forma manual, y cada una de las piezas de escombro que se retire será transportada hasta el exterior, pues la colocación de escombro sobre la superficie ya de por si inestable podría provocar un mayor aplastamiento del edificio y un reparto desigual de cargas. Para este tipo de labores si es posible se puede ayudar con la colocación de una grúa que mantiene justo a la altura a los rescatadores una saca de un metro cúbico suspendida a su lado, para que el escombro que se va retirando se introduce en la saca que es retirada por la grúa cuando es necesario. De esta forma se minimizan los riesgos al reducir considerablemente el número de rescatadores sobre los escombros.

- En los casos que se deba efectuar algún tipo de galería entre forjados para llegar a la víctima, o cuando la inestabilidad de los restos de estructura así lo necesiten por la seguridad de rescatadores y atrapados, se deberán efectuar los apuntalamientos necesarios de dichas zonas.

- En este tipo de intervenciones se debe introducir la figura del responsable de seguridad, esta figura normalmente recae sobre el mando directo de la maniobra a realizar, aunque siempre se puede asignar esta figura a otro de los componentes cuando la toma de decisiones en ese punto implique

un índice de concentración alta que pueda hacer perder la visión de la seguridad. Esta figura es el responsable de velar por la seguridad de los rescatadores, evaluando el riesgo y los medios que se utilizan. Si se emplean herramientas de corte supervisará que se utilicen las protecciones necesarias, si van a acceder a un espacio confinado supervisar que se haga una lectura de gases para evitar posibles explosiones o falta de oxígeno en su interior, si se realizan maniobra de rotura de hormigón, prever acumulaciones de polvo en el lugar de trabajo para la utilización de máscaras y/o extractores, etc. Es decir, desde una posición menos vinculada al trabajo directo, evitar y minimizar al máximo los riesgos de forma directa de los rescatadores e indirecta de las víctimas.

- El mando establecerá un criterio de rotaciones y relevos durante las laboriosas y duras maniobras de rescate, teniendo en cuenta que de forma habitual este tipo de intervenciones se alargan en el tiempo. La duración del tiempo de trabajo máximo por cada periodo de rotación se establecerá temiendo en cuenta la dureza del trabajo que se está realizando, la temperatura ambiente, el tamaño del espacio confinado, el tipo de herramienta que se emplea, la calidad del aire en la zona de trabajo, etc. es decir todos aquellos factores que van en contra del estado físico del rescatador. El observar el ritmo de trabajo también ayuda para determinar el estado físico, pero lo importante es que se realice la rotación antes de que se llegue al agotamiento o a la ralentización del ritmo de trabajo, pues hay que prever que las rotaciones pueden ser continuas. Es mucho más efectivo trabajos cortos y recuperaciones rápidas, que un trabajo largo hasta el agotamiento, pues su recuperación va a ser cada vez más lenta y de peor calidad, mermando considerablemente la calidad, la eficiencia y sobre todo la seguridad en el trabajo.

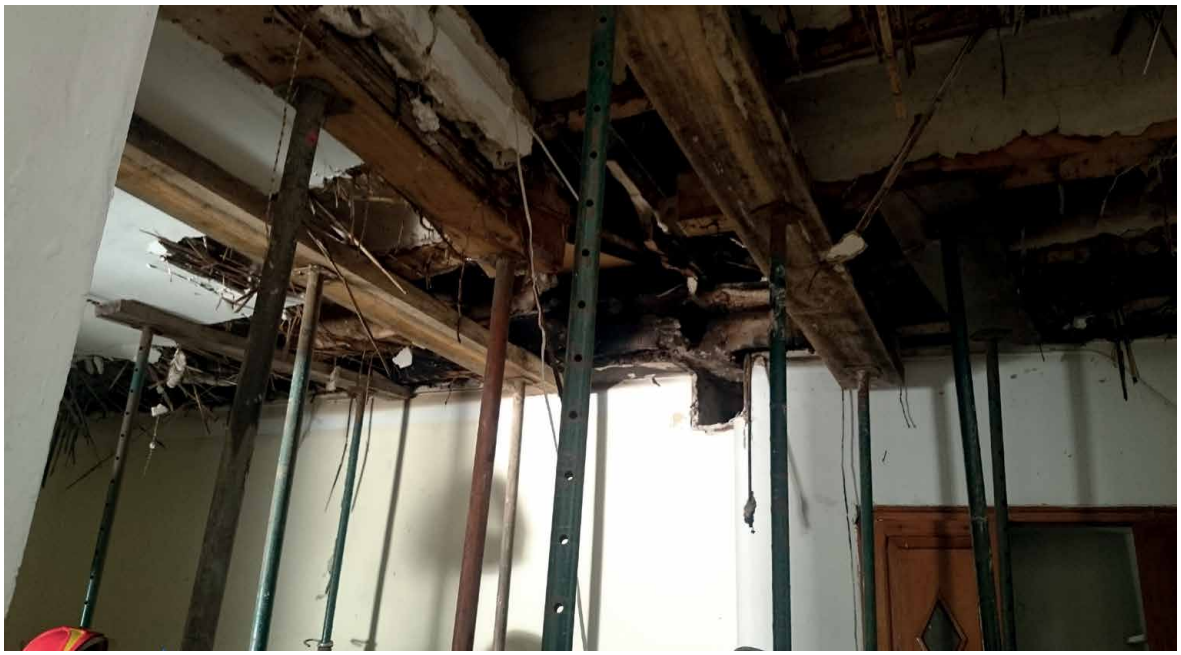
7. APEOS

7.1.1. INTRODUCCIÓN

Dentro de sus muchas definiciones el Real diccionario de la lengua, define la acción de apear, como sostener provisionalmente con armazones, maderas o fabricas el todo o parte de un edificio, construcción o terreno.

Los apeos se pueden definir como estructuras auxiliares anexas que se instalan con carácter temporal, por diferentes motivos, ejecución, reforma, mantenimiento o situación de urgencia de una parte de la estructura o edificación, con objeto de absorber o liberar de cargas a ese elemento estructural.

En general, estos sistemas trabajan a compresión, si bien, también se pueden dar soluciones con apeos atirantados mediante tirantes de acero. El concepto de apear o apuntalar lo podemos considerar un sinónimo, cabe hacer una distinción en cuanto a la urgencia, los apuntalamientos son considerados apeos de urgencia, donde la planificación y ejecución no nos permite una distribución muy analítica de las cargas, ya que hay un riesgo de colapso inminente, siendo en muchas ocasiones necesarias una posterior revisión de los mismos.



Incendio oculto en viga, Saneado y apeo de viga. (Fuente. 2016 UREC. CPBV.).

En la profesión de bombero por regla general si hay un bien que escasea en la toma de decisiones, es el tiempo, en pocas situaciones dispondremos de tiempo suficiente para poder meditar cual es la solución más acertada. Por lo que cuando vayamos a servicios donde haya que valorar la estabilidad estructural de un edificio, será en una situación de urgencia y tendremos que recurrir a apuntalamientos. Esto no significa que valga cualquier cosa, los apuntalamientos deben de cumplir con su objetivo, las condiciones mínimas que debe cumplir son:

- Resistencia y estabilidad ante las cargas a transferir.
- Simplicidad y rapidez en el montaje.
- En algunos casos la habitabilidad del inmueble.

En cuanto a una clasificación de sistemas de apeos, la diferente relación entre peso, volumen y capacidad resistente de cada material constructivo repercute en la ejecución de sistemas de apeo hasta llegar a establecerse dos grandes grupos de sistemas:

- Sistemas pesados: Aquellos en el peso de su material interviene de modo fundamental en el sistema de equilibrio. Estos se ejecutan a partir de la manifactura de material de cantería o de albañilería, constituyen refuerzos de gran durabilidad por lo que están más en ámbito de los refuerzos que de los apeos.

- Sistemas ligeros: Son los que la magnitud de su peso carece de incidencia en el sistema de equilibrio. Se ejecutan con elementos de madera y metálicos.

El objeto de este manual es el desarrollo de los sistemas ligeros.

7.1.1.1. SISTEMAS LIGEROS DE APEOS

Dentro de estos sistemas podemos distinguir los siguientes:

- **Sistemas metálicos tradicionales:** La aparición del hierro fundido permitió efectuar determinadas estructuras arquitectónicas en la rejería española. En el siglo XVI, la fabricación de piezas como, cadenas, áncoras, pasadores, clavos, etc iban destinados a reforzar elementos constructivos de madera.

  Con la aparición del acero la industria metalúrgica inicia un proceso de perfeccionamiento en la utilización del acero para la ejecución de vigas y columnas. Las acciones más comunes con este tipo de material son el grapado de grietas en muros para contrarrestar las zonas traccionadas, también los sistemas atirantados basados en su capacidad de transmisión de los esfuerzos a tracción. No podemos considerarlos como soluciones de urgencia, ya que además del material muy específico que no se dispone en los SPEIS, las técnicas para su utilización tampoco son conocidas por nuestros servicios.

- **Sistemas metálicos industrializados:** Son el conjunto de elementos metálicos cuya combinación permite configurar una estructura útil como apeo. El sistema comprende tubos cilíndricos de acero unidos por bridas o el sistema soldier, en España se comercializan actualmente dos sistemas de características similares, el Super Slim Soldier y el MK- II Soldier. Una de sus características es que presentan una gran variedad de piezas que permiten emplearlo de forma muy diversificada en apeos. Por contra como desventaja es su coste elevado, no son habituales en los SPEIS.

- **Sistemas de madera y mixtos madera-metal:** Son los sistemas más utilizados por los SPEIS, la facilidad en el corte y taladro de la madera, así como la unión de piezas con clavos, tornillos, bridas, permite adaptar diferentes estructuras para apuntalar los elementos estructurales de una edificación, en general, son `piezas rectas que trabajan a compresión, aunque la madera absorbe bien esfuerzos de tracción y flexión. Otra de sus ventajas es su bajo coste en comparación con un sistema metálico son del orden ½ a 1/6 más económico.

  Los sistemas mixtos madera - metal, son también muy utilizados en los SPEIS, comprenden básicamente tablones de madera combinados con puntales telescópicos, son muy versátiles y muy fáciles de ensamblar, pudiendo realizar todo tipo de combinaciones para apuntalar tanto elementos verticales, como horizontales de la edificación.

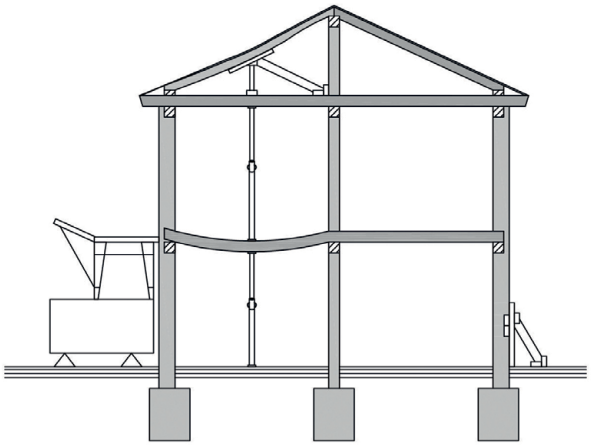
  Los sistemas de madera y mixtos son los que utilizaremos en nuestros servicios, por lo que serán los que veremos con más profundidad en este manual.

7.1.1.2 TIPOLOGÍA DE APEOS SEGÚN SU FUNCIÓN

Una primera clasificación de apeos puede ser en relación a la función que desempeña en la estructura y al periodo de utilidad o vida del apeo. Estas serán los siguientes:

- **Apeo de urgencia:** Complementa la estructura dañada, destinado para una solución a corto plazo, anula un riesgo inminente de colapso del elemento deteriorado. Además cumple otra misión de dar seguridad al personal que se adentra en el inmueble para realizar cualquier otra operación. Los sistemas mixtos son ideales para estas situaciones ya que son ligeros, muy fáciles de ensamblar.

Hundimiento Apeo y rescate víctima. (Fuente. Benetuser 2015 CPBV).



Apeos y Refuerzos alternativos. (Fuente. Jesús Espasandin López y J. Ignacio García Casas).

En la imagen se aprecia una actuación de urgencia, donde como consecuencia de un hundimiento del terreno se produjo un socavón de 4 metros de profundidad dejando al aire el pilar de fábrica de ladrillo, en este servicio hubo que realizar un rescate de la propietaria del inmueble que se precipito por el agujero cayendo a un pozo paralelo que comunicaba con el socavón a 8 metros de profundidad.

El apeo de urgencia que se realizó, por un lado, calza el apoyo del pilar y por otro lado vemos otra línea de puntales que tienen la misión de liberar las cargas que el pilar soporta.

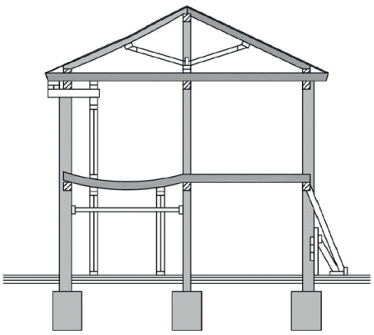
Este apuntalamiento cumple con el objetivo al que está destinado, estabilidad estructural del elemento y seguridad del operativo para realizar el rescate.

En esta otra imagen podemos observar diferentes lesiones en la estructura y las soluciones de urgencia que nos plantea. Por un lado, apreciamos en la cubierta unas grietas como apeo observamos una sopanda sujeta con mini puntal y jabalcón al muro intermedio, vemos que la línea de puntales llega a suelo firme al tiempo que apuntala el forjado del primer piso que también esta flexionado. En el canecillo se observa peligro de caída de algún cascote como solución se valla la zona para colocar un andamio con visera que eviten que caigan a la vía pública. Se observa una pequeña lesión en el muro se recurre a un apuntalamiento inclinado de madera con tornapunta.

- **Apeo complementario:** Técnicamente más complejo que el anterior, debe de garantizar la estabilidad de la estructura a medio o largo plazo, hasta que se tome una solución definitiva, deberá de tener como objetivo en la medida de lo posible asegurar la habitabilidad del inmueble.

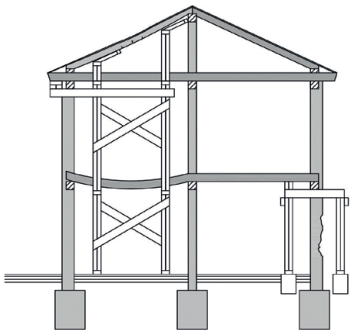
En la imagen se observa que para las mismas lesiones, se dan soluciones más elaboradas que las anteriores, por un lado se elimina la línea de puntales que pasa por todo el edificio, esto se consigue mediante una apeo

de doble jabalcón atirantado en la parte superior, para evitar la caída de cascotes se realiza mediante una viga aguja que atraviesa el muro y apuntala el canecillo, por otro lado el forjado dañado del primer piso se instalan dos hileras de pies derechos de madera acodalados a los muros. Por último, la solución al muro descarnado se prolonga el apeo inclinado en abanico hasta el encuentro del forjado del primer piso. Con estas acciones conseguimos ganar en la habitabilidad del inmueble.



Apeos y Refuerzos alternativos.
(Fuente. Jesús Espasandin. J. Ignacio García Casa).

- **Apeo supletorio:** Toda solución que se plantee en este tipo de apeos debe de ir encaminada hacia una reparación del elemento dañado, incluso debe permitir sustituir elemento estructural deberá dejar libre la parte afectada para poder acceder a ella. Es importante saber que el apeo debe ser capaz de suplir la estructura dañada hasta el punto que el inmueble mantenga la estabilidad.



Apeos y Refuerzos alternativos.
(Fuente. Jesús Espasandin. J. Ignacio García Casas).

Se observa una doble hilera de pies derechos de abajo hacia arriba arriostrados mediante cruce de San Andrés que le confiere mayor estabilidad, como se ve a diferencia del anterior todas las partes dañadas están accesibles para poder acometer cualquier acción sobre ellas. En la parte de la cubierta vemos libre la parte afectada, lo mismo podemos ver en el apeo del muro donde se plantea un apeo con una viga aguja que atraviesa el muro con dos pies derechos ensamblados.

Por último, dentro de esta clasificación entraríamos en el segmento de los refuerzos que no son objeto de este manual. Decir que podemos distinguir dos tipos:

- **Refuerzos de recuperación:** Se realizan con material pesado de albañilería, o vigas metálicas, tienen carácter permanente.

- **Refuerzos de demolición:** Tienen como objeto dotar a la parte del edificio que se mantiene la estabilidad perdida por la demolición una parte del mismo

7.1.1.3. CLASES DE DURACIÓN Y CLASE DE SERVICIOS

En los sistemas de apeos ligeros con madera hay todo un compendio de normas UNE que establecen unas clases duración de carga y clases de servicios en referencia a las condiciones ambientales que esta el apeo. Como es lógico la norma penaliza el tiempo, a mayor permanencia más restrictiva es la norma en cuanto a la capacidad de carga del sistema o elemento.

En cuanto a las clases de duración, se establece lo siguiente;

CLASES DE DURACIÓN	ORDEN DE DURACIÓN ACUMULADA DE LA CARGA	EJEMPLOS INDICATIVOS
PERMANENTE	Mas de 10 años	Peso propio de la estructura Construcciones e instalaciones fijas Sobre carga de tabiquería
LARGA	De 6 meses a 10 años	Sobrecarga de almacenamiento
MEDIA	De 1 semana a 6 meses	Sobrecarga de uso sin almacenamiento
CORTA	Menos de 1 semana	Carga de nieve Carga de viento
INSTANTANEA	Algunos segundos	Acción sísmica

Dada la importancia que tiene el grado de humedad para los valores de la resistencia de la madera, los apeos deberán asignarse a una de las clases de servicio siguientes, en función de las condiciones ambientales que se tenga previsto estar:

CLASES DE SERVICIO	CONDICIONES AMBIENTALES PREVISTAS			Ejemplos de tipo de ambientes
	Contenido de humedad de los materiales correspondientes a una temperatura.	Humedad relativa en el aire que solo puede excederse unas pocas semanas al año	Humedad de equilibrio higroscópica media	
1	20± 2°C	65%	< 12%	Estructuras bajo cubierto y en ambiente de interiores
2	20± 2°C	85%	< 20%	Estructuras bajo cubierta pero abiertas al exterior
3	Condiciones Ambientales que conduzcan a contenidos de humedad superiores a los anteriores al de la clase de servicio 2			Estructuras de madera a la intemperie, en contacto con el agua o el suelo, pasarelas, embarcaderos, pérgolas.

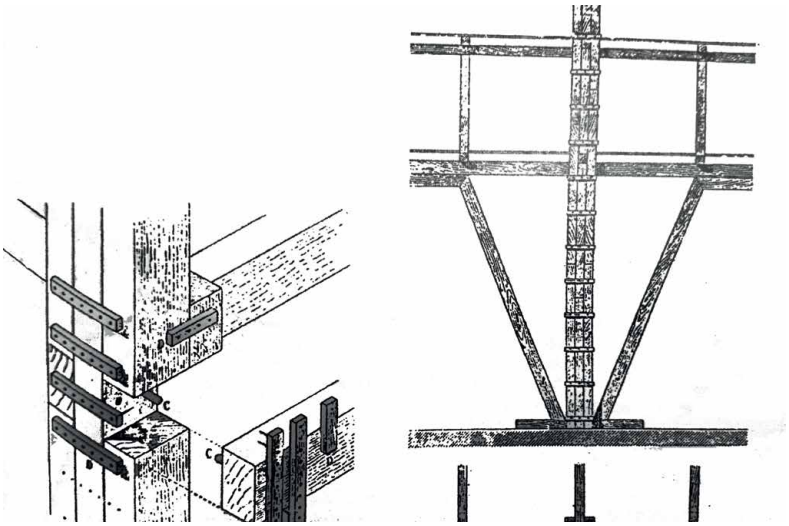
En definitiva, los bomberos deberemos de ser capaces de realizar apeos de urgencia o complementarios, con una clase de duración media o corta, indistintamente en cualquier clase de servicio.

7.1.2. MATERIALES Y RESISTENCIAS

Los materiales empleados en los apeos ligeros de madera o mixtos son básicamente madera de pino común y puntales telescópicos de acero.

7.1.2.1. MADERA EN APEOS

Durante miles de años el hombre ha manipulado la madera para que sirviera a sus necesidades, aún en nuestros días tipologías ancestrales se siguen utilizando. Fue de los primeros materiales utilizados en la construcción de viviendas, herramientas de caza, fabricación de utensilios. En la antigua Roma se sentaron los principios en los que convergen las antiguas carpinterías rápidas militares con las estructuras de los apeos actuales



Apeos y Refuerzos alternativos.
(Fuente. Jesús Espasandin. J. Ignacio García Casas).

La técnica de ensamble de piezas de madera para la ejecución de construcciones se mantuvo sin apenas variaciones desde la época romana hasta el siglo pasado.

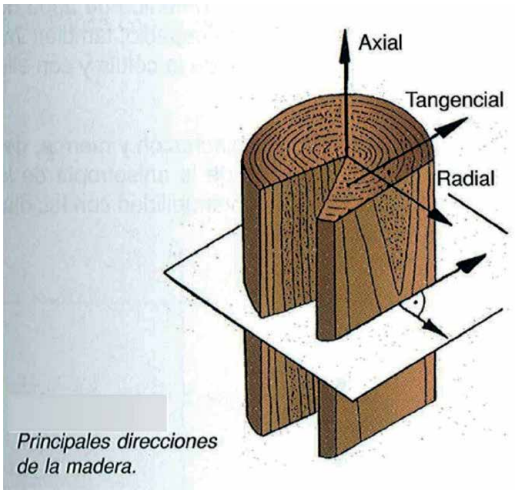
Sistema utilizado por Giusepe Valadier para apear las ruinas del anillo exterior del Coliseo.

7.1.2.1.1. ANISOTROPÍA DE LA MADERA

La madera tiene carácter anisótropo ya que se comporta de diferente manera según en la dirección que se somete a un esfuerzo en relación a la dirección de sus fibras.

Las tres direcciones principales para las cuales el comportamiento mecánico y físico se aprecian diferencias importantes como vemos en la imagen, son:

- Axial: Igual dirección a la del crecimiento del árbol.
- Radial: Perpendicular al eje de crecimiento árbol y pasando por el centro de éste.
- Tangencial: Perpendicular a los dos anteriores.



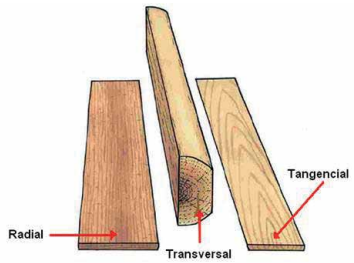
Anisotropia de la Madera. (Fuente. Internet).

Podemos considerar irrelevante la diferencia de resistencias entre los planos radial y tangencial, por contra llama la atención el comportamiento tan desigual que tiene la madera para un mismo esfuerzo según sea la posición paralela o perpendicular al sentido de sus fibras, es decir, axial frente radial o tangencial, por ejemplo, en un esfuerzo de compresión perpendicular a sus fibras soporta una cuarta parte que si trabajara en sentido paralelo.

Si esto lo trasladamos a un apeo vertical observamos que una durmiente o sopanda recibe los esfuerzos a compresión en sentido perpendicular a sus fibras y un pie derecho en paralelo.

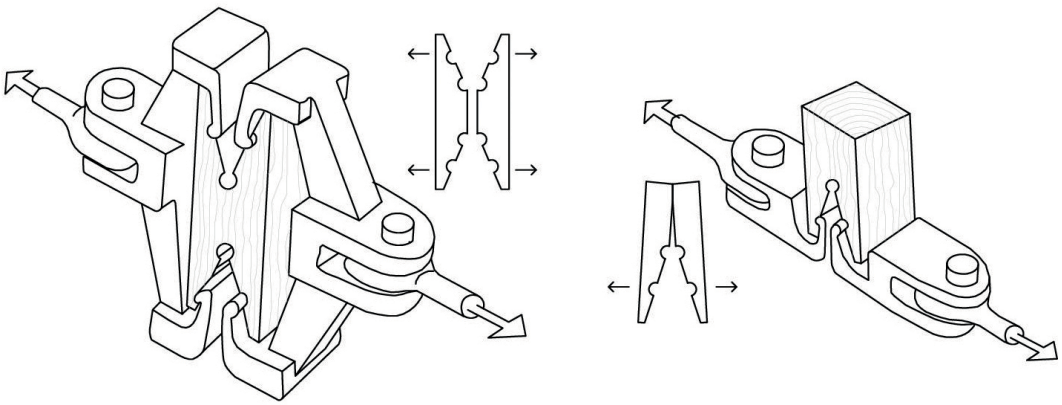
Aun es más llamativo las diferencias de trabajar a tracción en sentido perpendicular a las fibras (radial), resiste unas 40 veces menos que a compresión en paralelo a sus fibras (axial).

Pero el peor comportamiento de la madera sin duda es el llamado de **hienda**, que es una fuerza de tracción en cabeza del tablón o fuste, de una manera más gráfica lo que hace un hacha cuando le pegamos observamos que la madera se abre en sentido de sus fibras.



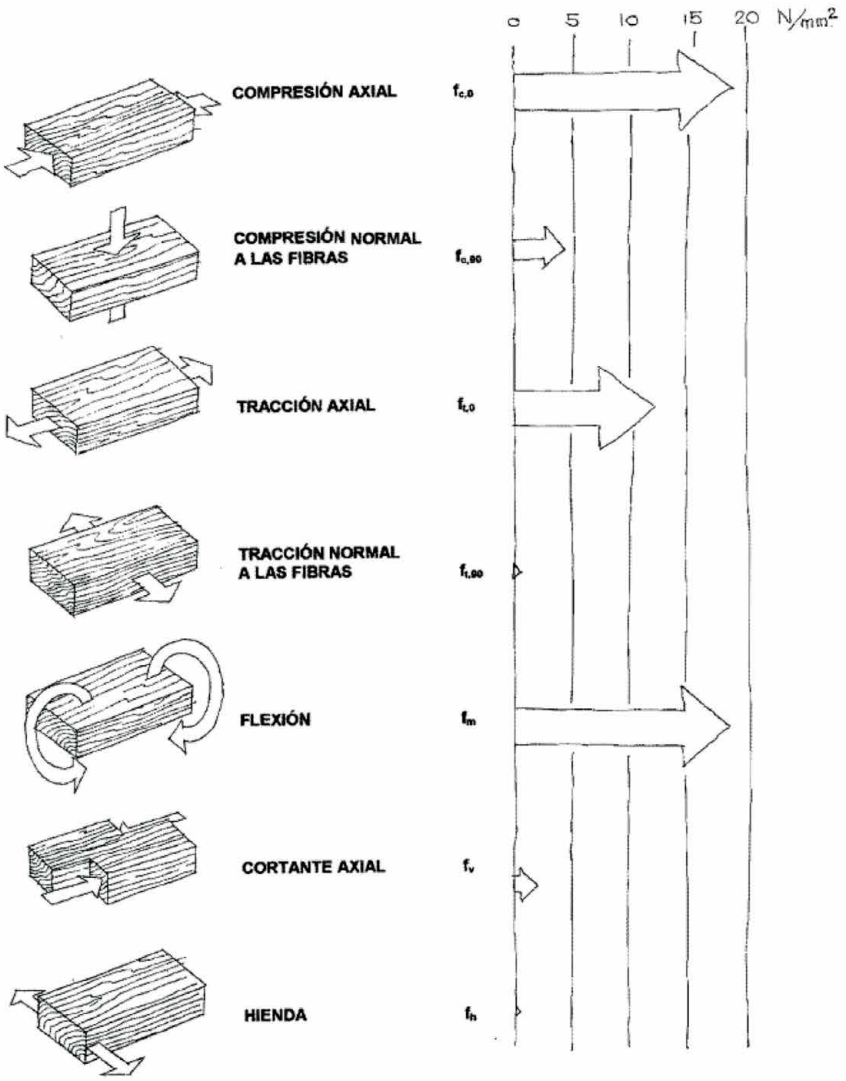
Direcciones de la madera. (Fuente. Internet).

Este comportamiento habrá que tenerlo en cuenta en algunas situaciones de los apeos como veremos más adelante.


Prueba ensayo de tracción y de hienda. Apeos y Refuerzos alternativos.

Muy buen comportamiento de la madera en dirección a sus fibras (axial), ya sea en compresión como en tracción, sin embargo, en sentido axial la madera no soporta bien el esfuerzo de cortante.

A flexión tiene un muy buen comportamiento superando incluso las resistencias a compresión axial.



Apeos y Refuerzos alternativos. (Fuente. Jesús Espasandin López y J. Ignacio García Casas).

7.1.2.1.2. HIGROSCOPICIDAD, CARÁCTER ORGÁNICO DE LA MADERA

Otras características de interés de la madera y que pueden tener influencia en su capacidad de resistencia son la higroscopicidad y su composición de carácter orgánico.

- **Higroscopicidad:** La madera por ser materia de origen orgánica tiene una proporción de agua a ésta se le denomina **agua de constitución**, sin ella la madera se descompondría. Dependiendo de las condiciones ambientales esta proporción puede sufrir variaciones, cuando este agua es absorbida quedando contenida en sus fibras decimos que es **agua de impregnación**, o bien puede tratarse de agua contenida en las cavidades celulares una vez que se han saturado sus fibras, decimos que es **agua libre,** no tiene influencia en sus propiedades mecánicas.

La humedad de impregnación tiene mucha importancia en la resistencia de la madera, pudiendo descender a la mitad, dependiendo si ésta aumenta (12% normal) hasta el punto de saturación (30%), además de otras repercusiones al aumentar el volumen de la misma y aparición de fendas en el proceso inverso de desecación.

- **Carácter orgánico:** Al tener origen vegetal la madera nos plantea una serie de problemas, ya que es más susceptible de sufrir procesos orgánicos de descomposición, vamos a exponer tres problemas más típicos:

1. No hay dos piezas iguales, por su forma de crecimiento, especie, existencia de nudos, fendas, inclinación de fibras, etc. Es preciso establecer una clasificación que nos permita establecer unas resistencias atribuibles a cada pieza o especie.

2. La madera está expuesta a procesos de degradación por servir de alimento a otros organismos como hongos y xilófagos.

3. El corte, condiciones, forma de apilado, afectan a cuestiones como deformaciones o formación de gemas que tienen influencia en su capacidad de resistencia.

7.1.2.1.3. ESCUADRÍAS MÁS EMPLEADAS

En apeos la madera utilizada en España es de las consideradas blandas, más concretamente pino de baja calidad. Dependiendo de la escuadría tendrá una función u otra en el apeo, pudiendo tener una función estructural o auxiliar.

Maderas blandas. (Fuente. Google.).

Con función estructural tenemos;

- **Vigas:** cuando tienen una sección de 15 x 20 a 25 x 35 cm y una longitud de 4 a 10 mts.
- **Viguetas:** tienen una sección rectangular también, menores que las vigas, van desde 8 x8 a 15 x 15 cm con una longitud de unos 5 mts.
- **Tablones:** Tienen una sección rectangular que van desde espesores de 5 a 10 cm y anchuras de 10 a 30 cm, con longitudes de 2 a 10 mts.
- **Rollizos:** De sección circular pueden tener función estructural como codales o puntales, tienen que tener un mínimo de 15 cm de diámetro

Con funciones auxiliares, como ensamblaje de piezas, arriostrar, etc., tenemos;

- **Listones:** Sección rectangular que van desde 5 x 8 cm o 1,5 x 2,5 cm, 4 x 6 cm y longitudes variadas desde 2 mts.
- **Tablas:** Son piezas aserradas en las que predomina el ancho sobre el canto o espesor. Van desde 2 a 5 cm de canto a 20 a 40 de ancho.
- **Virotillos:** son rollizos de menor diámetro se utilizan para rellenar huecos de reducidas dimensiones

Las escuadrías más comunes son tablones de 7-7,5 x 20- 22 cm de sección y longitudes de 4 mts y tablilla de 2,5 x 20- 22 cm y longitudes variadas son las utilizadas en apeos. De hecho, como veremos en el siguiente apartado todas las tablas de resistencia están tomadas con esa referencia. Hay otra escuadría utilizada en algunos SPEIS, como es el tablón de 7´5 x 15 cm de sección, tiene dos ventajas muy claras:

1. Por un lado aligeramos el peso del apeo, importante en la manipulación de los tablones, se pierde capacidad de carga, pero éstos suelen trabajar sobre dimensionados y además trabajan embridados por lo que esta cuestión no es determinante.

2. Además uniendo dos tablones los hace más fácil el ensamblaje ya que adquieren la forma cuadrada

7.1.2.1.4. RESISTENCIA DE LA MADERA:

Según las normas UNE-EN 338, UNE-EN1912 y UNE 56544 establecen para las maderas de coníferas y chopo, una clasificación que permite encuadrar cada madera aserrada en una clase Resistente dentro de la siguiente serie:

C14, C16, **C18**, C22, C24, C27, C30, C35 y C40

La madera utilizada en apeos en nuestro país es tradicionalmente el pino de baja calidad:

Clase Resistente C18

Calidad ME-2

Que pertenecen a las especies arbóreas; pino silvestre, pino pinaster, pino insignis, pino laricio, todas de procedencia de España.

En la norma UNE-EN 338 establece una resistencia para esta clase de madera según el cuadro siguiente:

Tabla 3 – Clases resistentes para madera de frondosas basadas en ensayos de flexión de canto: valores de resistencia, rigidez y densidad

	Clase	D18	D24	D27	D30	D35	D40	D45	D50	D55	D60	D65	D70	D75	D80
Propiedades de resistencia en N/mm²															
Flexión	$f_{m,k}$	18	24	27	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
Tracción paralela a la fibra	$f_{t,0,k}$	11	14	16	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48
Tracción perpendicular a la fibra	$f_{t,90,k}$	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Compresión paralela a la fibra	$f_{c,0,k}$	18	21	22	24	25	27	29	30	32	33	35	36	37	38
Compresión perpendicular a la fibra	$f_{c,90,k}$	4,8	4,9	5,1	5,3	5,4	5,5	5,8	6,2	6,6	10,5	11,3	12,0	12,8	13,5
Cortante	$f_{v,k}$	3,5	3,7	3,8	3,9	4,1	4,2	4,4	4,5	4,7	4,8	5,0	5,0	5,0	5,0
Propiedades de rigidez en kN/mm²															
Módulo de elasticidad medio en flexión paralela a la fibra	$E_{m,0,mean}$	9,5	10,0	10,5	11,0	12,0	13,0	13,5	14,0	15,5	17,0	18,5	20,0	22,0	24,0
Módulo de elasticidad característico en flexión paralela a la fibra (5% percentil)	$E_{m,0,k}$	8,0	8,4	8,8	9,2	10,1	10,9	11,3	11,8	13,0	14,3	15,5	16,8	18,5	20,2
Módulo de elasticidad medio perpendicular a la fibra	$E_{m,90,mean}$	0,63	0,67	0,70	0,73	0,80	0,87	0,90	0,93	1,03	1,13	1,23	1,33	1,47	1,60
Módulo de cortante medio	G_{mean}	0,59	0,63	0,66	0,69	0,75	0,81	0,84	0,88	0,97	1,06	1,16	1,25	1,38	1,50
Densidad en kg/m³															
Densidad característica (5% percentil)	ρ_k	475	485	510	530	540	550	580	620	660	700	750	800	850	900
Densidad media	ρ_{mean}	570	580	610	640	650	660	700	740	790	840	900	960	1020	1080

NOTA 1 Los valores dados en esta tabla para la resistencia a tracción, resistencia a compresión, resistencia a cortante, módulo de elasticidad característico en flexión, módulo de elasticidad transversal medio y módulo de cortante medio se han calculado utilizando las ecuaciones dadas en la Norma EN 384.

NOTA 2 Las propiedades relacionadas en esta tabla son aplicables a la madera que presente un contenido de humedad que corresponde a una temperatura de 20 °C y una humedad relativa del 65%, lo que equivale a un contenido de humedad del 12% para la mayor parte de la especies.

NOTA 3 Los valores característicos de resistencia a cortante son para madera sin fendas, de acuerdo a la Norma EN 408.

NOTA 4 La resistencia a la flexión de canto puede utilizarse también en el caso de flexión de tabla.

(Fuente. UNE-EN-338).

A esta resistencia inicial hay que descontarle unos coeficientes en relación al tipo de servicio que realiza, clase de duración, multiplicando la resistencia por el coeficiente que indica la tabla siguiente :

MATERIAL	CLASE DE SERVICIO	CLASE DE DURACIÓN DE CARGA				
		Permanente	Larga	Media	Corta	Instantánea
Madera aserrada o laminada encolada	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90

Además habrá que aplicar el coeficiente de seguridad que se aplica a la madera que es de 1,3 dividiendo el resultado anterior.

En el siguiente cuadro resumen podemos ver todas las resistencias a los diferentes esfuerzos o formas de trabajar que tiene la madera una vez reducidos.

Los datos expresados en la norma son N/mm² para converger en Kg/cm² solamente lo multiplicamos por 10 y tendremos el valor en esa unidad de presión.

RESISTENCIA DE CALCULO	CLASE DE SERVICIO	RESISTENCIAS DE CALCULO APLICABLES A LA CLASE DE MADERA C18 EN N/mm² Para una clase de duración de la carga				
		Permanente	Larga	Media	Corta	Instantánea
Flexión	1 y 2	8,31	9,69	11,08	12,46	15,23
f_{md}	3	6,92	7,62	9,00	9,69	12,46
Tracción paralela	1 y 2	5,08	5,92	6,77	7,62	9,31
$f_{t,0,d}$	3	4,23	4,65	5,50	5,92	7,62
Tracción perpendicular	1 y 2	0,14	0,16	0,18	0,21	0,25
$f_{t,90,d}$	3	0,12	0,13	0,15	0,16	0,21
Compresión paralela	1 y 2	8,31	9,69	11,08	12,46	15,23
$f_{c,0,d}$	3	6,92	7,62	9,00	9,69	12,46
Compresión perpendicular	1 y 2	2,22	2,58	2,95	3,32	4,46
$f_{c,90,d}$	3	1,85	2,03	2,40	2,58	3,32
Cortante	1 y 2	0,92	1,08	1,23	1,38	1,69
$f_{v,d}$	3	0,77	0,85	1,00	1,08	1,38

Vista la tabla podemos extraer alguna conclusión, como se ha comentado anteriormente, en los sistemas de apeos la piezas se ensamblan en la mayoría de los casos para que trabajen a compresión, llama la atención las diferencias de trabajar en el sentido de las fibras o en perpendicular. Aplicando esta resistencia a dos piezas de un apeo vertical, vemos que una durmiente trabaja a compresión perpendicular y un pie derecho (Puntal de madera) trabaja a compresión paralela este último se apoya sobre las durmientes, por lo que el factor limitante en este caso serán las durmientes.

Otra cuestión que debemos tener en cuenta en los tablones es que son piezas **esbeltas** de poca sección y muy largas, con lo que están expuestas al esfuerzo del pandeo, cuando más largo es un tablón menos resistente es. Esta relación entre la sección de un tablón y su longitud se le llama **Coeficiente de esbeltez**. Tradicionalmente para calcular la resistencia a compresión axial de un tablón de madera, se tomaban como referencia inicial unos coeficientes de trabajo expresados en Kg/ cm² que se establecieron mediante unas pruebas de ensayo, en este caso nos pueden servir los expresados en la tabla anterior.

Para hallar el coeficiente de esbeltez de un tablón se divide la longitud del mismo entre el canto del tablón o lado más corto, a ese coeficiente se le aplica una tabla de reducción o rondelet, con lo que ya tenemos la resistencia por unidad de sección del tablón, seguidamente hallamos el área del pie derecho y tendríamos la resistencia del pie derecho.

$$\text{Coeficiente de Esbeltez} = \frac{\text{Largo del tablón en cm}}{\text{Lado más corto del tablón en cm}}$$

TABLA DE REDUCCIÓN DE RESISTENCIA o RONDELET							
Esbl.	Coef. Reduc.	Esbl.	Coef.Reduc.	Esbl.	Coef.Reduc	Esbl.	Coef.Reduc
1	1	26	0,47	42	0,25	58	0,097
12	0,83	28	0,44	44	0,22	60	0,083
14	0,77	30	0,41	46	0,19	62	0,076
16	0,72	32	0,38	48	0,16	64	0,069
18	0,66	34	0,36	50	0,15	66	0,062
20	0,61	36	0,33	52	0,13	68	0,055
22	0,55	38	0,30	54	0,12	70	0,043
24	0,50	40	0,27	56	0,11	72	0,041

Después de tantos coeficientes y tablas en este apartado, vamos a realizar un ejemplo de cálculo con este método tradicional que se ha utilizado en diferentes manuales de apeos para bomberos de un pie derecho para saber cuál sería la carga máxima a la podría trabajar en un supuesto apeo,

Ejemplo: Estimar la carga que puede soportar un pie derecho madera tipo C18 con una sección de 7 x20 cm, teniendo que cubrir una luz de suelo a techo de 270 cm. Se sabe que el estado del inmueble es ruinoso y que estará a la intemperie

Datos:

- Clase de servicio 3

- Clase de duración: Permanente.

Resolución:

1. La resistencia inicial dadas estas condiciones según la tabla una vez aplicados los coeficientes de clase de servicio, duración y el de la madera, sabiendo que un pie derecho trabaja a compresión en paralelo sería **6,92 N/ mm²**, si lo queremos en Kg/cm² lo multiplicamos por 10 por lo que tendríamos una resistencia de **69,2 Kg/ cm²**

2. La luz a cubrir por el tablón es de 270 cm, a estos les descontamos los 14 cm del canto de la durmiente y sopanda y nos da una luz de 256 cm, le aplicamos el coeficiente de esbeltez:

C. Esbeltez :256 / 7 = **36,57**

3. Con la esbeltez vamos a la tabla de reducción y tenemos un factor de reducción de 0,33, lo aplicamos;

69,2 x 0,33 = **22,8 Kg / cm²**

4. Quedaría hallar el área del tablón para saber el peso que podría soportar dicho tablón:

7 x 20 cm = 140 cm²

140 cm² x 22,8 Kg /cm² = **3192 Kg**

Como vemos este método sencillo de cálculo de resistencia de un pie derecho en realidad tampoco se utiliza, pero si sirve para saber lo que puede aguantar un tablón de madera a una distancia tipo entre 250 cm y 300 cm que viene a ser la luz a cubrir en cualquier apeo vertical. Los bomberos en

situaciones de emergencia para estimar cargas, utilizamos **reglas nemotécnicas**, en este particular, cuando utilizamos pies derechos en apeos verticales si es sobre una jácena los pies derechos trabajan en parejas embridados, si es sobre un forjado donde se ponen diferentes líneas de pies derechos el peso se reparte mejor pueden trabajan en solitario, en este último caso, la regla es un puntal o pie derecho **1000 Kg.** Recordar que en este caso, la parte más vulnerable podrían ser las durmientes y sopandas que trabajan a compresión perpendicular y según la tabla tendrían una resistencia de 2,2 N/ mm^2 que son **22 kg/cm^2** un poco menos que la resistencia del tablón aplicada la esbeltez, pero al utilizar esta regla el sistema no trabaja ni mucho menos al límite.

Por último decir que en los anexos se expondrán tablas resumen sobre resistencias de diferentes elementos de un apeo que pueden servir de referencia a la hora de planificar un apeo.

7.1.2.2. PUNTALES METÁLICOS

Dentro de los sistemas ligeros de apeos contamos con una opción muy versátil como son los sistemas madera – metal, en ellos se utilizan los puntales telescópicos.

Constituidos por dos tubos de acero de distinto diámetro, cada uno de los cuales lleva en un extremo una placa cuadrada taladrada de reparto. El tubo de menor diámetro se desliza por el interior del mayor.

Trabajan a compresión, con respecto a la madera su capacidad de carga es más limitada, pero tienen un manejo más sencillo a la hora de ensamble de piezas, no hace falta cortar las piezas ya que se ajustan a diferentes medidas dentro de un rango, tampoco hay que acuñar para templar el puntal se realiza con la rosca, se pueden utilizar tanto en apeos verticales, inclinados realizando la función de un tornapunta o en posición horizontal como si fueran un codal de madera ya que todas esas posiciones trabajan a compresión.

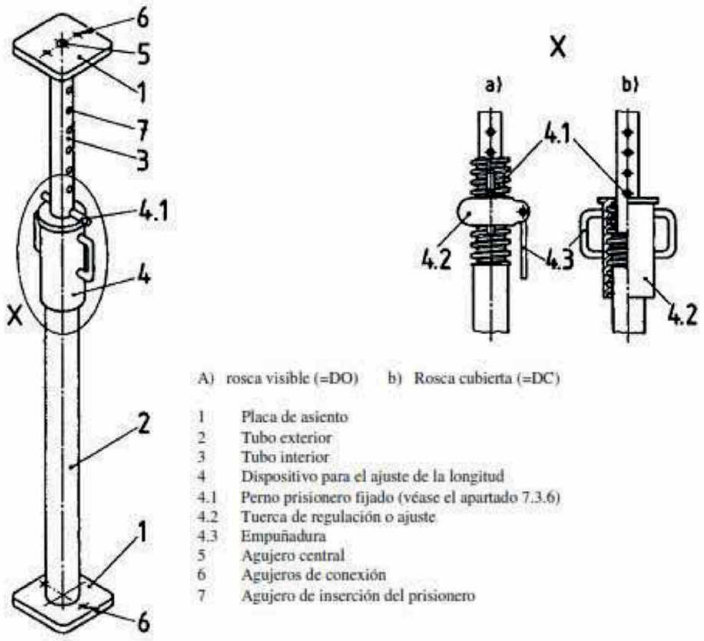
Entibación ligera de urgencia utilizando puntales telescópicos, Rescate de un animal atrapado. (Fuente. UREC. CPBV 2016).

7.1.2.2.1. RESISTENCIA DE LOS PUNTALES METÁLICOS

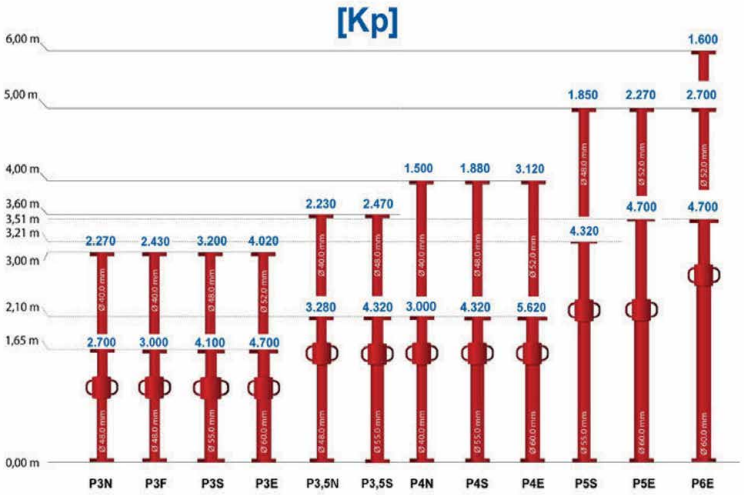
Las propiedades mecánicas que deben cumplir los puntales metálicos vienen recogidas en la norma UNE-EN- 1065.

Se comercializan en tres diámetros de tubo exterior 48mm, 55mm y 60mm, con alturas plegados que van desde 0,60mts a 3,50 mts pudiendo alanzar alturas 6,00 mts desplegados.

Los de 48mm más indicados para cargas ligeras y 55 o 60mm para cargas medias o altas. En cuanto a la capacidad de carga de los puntales, dependerá de cada fabricante, material, etc, pero podemos decir que un puntal que tenga que cubrir una luz de 2,50mts a 3,00 mts que es la altura más común de suelo a techo en viviendas, oscila entre 1100Kg los de 48mm, 1600Kg los de 55mm y 2000Kg los de 60mm. En la tabla siguiente vemos las cargas de rotura de los puntales, se recomienda aplicar un coeficiente de 2 o 2,5 para estimar la carga de trabajo.



Puntales telescópicos Norma. (Fuente. UNE-EN-1065).



Cargas de Rotura de los puntales metálicos. (Fuente. www.Fermar.es).

7.1.3. HERRAMIENTAS EN APEOS

La herramienta utilizada en apeos es muy común en oficios relacionados con la manipulación de la madera como son la carpintería y la construcción, en general es pequeña herramienta manual, de corte y suministro eléctrico que nos sirve para realizar acciones como medir, cortar, nivelar y unir piezas de madera- madera o madera -metal. A continuación, describimos una relación de herramienta más empleada:

- **Herramienta de corte y rotura:**
  - Radiales pequeñas con discos de recambio de hierro y cemento
  - Martillos rompedores eléctricos con rotor
  - Sierras de sable
  - Sierras Circulares
  - Motosierras

- **Herramienta de suministro eléctrico:**
  - Mangueras de 50 metros para tendido eléctrico
  - Regletas multi-enchufes
  - Grupos electrógenos móviles o portátiles
  - Bidones de gasolina
  - Focos focos de iluminación y sus trípodes

- **Herramienta y útiles más comunes:**
  - Escaleras extensibles
  - Piquetas de acero de 1,20m
  - Sierras de arco para madera
  - Serruchos de poda
  - Martillos de encofrador
  - Pata de cabra
  - Alicates encofrador
  - Niveles de burbuja o plomadas
  - Escuadras
  - Falsas escuadras
  - Macetas
  - Cinceles
  - Punzones o piquetas
  - Llaves inglesas
  - Azadas
  - Palas
  - Gatos de fijación
  - Capazos
  - Catalanas
  - Mazas de 3Kg y de 5 Kg
  - Picos
  - Medidor Laser
  - Escantillón
  - Flexómetros extensibles
  - Bridas metálicas
  - Cajas de herramientas para herramienta manual

Herramienta común. (Fuente. Google Internet).

- **Material fungible:**
  - Rollos de cinta balizadora
  - Rollo de alambre
  - Lápices de carpintero
  - Clavos de diferentes medidas
  - Rollos de cinta americana o similares
  - Bridas de plástico
  - Yeso
  - Cuñas de madera de la sección utilizada
  - Mangos de repuesto de mazos, picos, etc

7.1.4. ACTUACIONES EN APEOS DE EMERGENCIAS

Las intervenciones relacionadas con derrumbes o inestabilidad estructural de edificios en los SPEIS, dentro del global de los servicios que se realizan no son de las más frecuentes, si consultamos estadísticas podemos decir que son residuales, lo cual no les resta importancia, ya que hablamos de poder salvar el patrimonio personal de una familia que ha estado toda una vida para adquirirlo.

Los motivos son muy diversos, pero en general en edificaciones antiguas se ven más afectados con episodios de fuertes lluvias, donde las filtraciones de agua afectan a elementos estructurales de madera hace que si no tienen un buen mantenimiento pueden sufrir lesiones que vea comprometida su estabilidad, en fuertes vientos también pueden afectar a muros u otros elementos de la edificación, otra causa en este tipo de edificaciones son los incendios donde sí afecta a la estructura. En las estructuras más modernas con hormigón armado los problemas suelen ser de otro tipo, uno de los más frecuentes suele estar relacionado con las fugas de gas, pueden provocar deflagraciones de gran capacidad destructiva.

Otro problema que tienen este tipo de servicios es que al ser poco recurrentes hay poco adiestramiento del personal, en ocasiones las soluciones no son fáciles de ejecutar, bien por falta de materiales necesarios, bien porque técnicamente hace falta formación y conocimiento en manejo de útiles y procedimientos poco entrenados. Es poco habitual que de manera ordinaria una dotación de bomberos disponga del material para ejecutar un apeo, las decisiones más habituales son balizar, evacuar el inmueble. Cuando se tiene que afrontar una emergencia donde se tiene que decidir si hay que realizar o no un apeo en una edificación, es importante buscar un apoyo técnico por personal cualificado en la toma de decisiones, bien sea del servicio o de fuera del mismo, en este sentido, la figura del arquitecto o aparejador municipal es importante implicarlo en la toma de decisiones, ya que uno de las claves es hacer una buena diagnosis de las lesiones, para poder acertar en la planificación de un apeo.

7.1.4.1. EVALUACIÓN Y TOMA DE DECISIONES

Como en cualquier proceso de toma de decisiones debe haber una fase inicial de recogida de información y un posterior análisis de la misma.

Un mando de bomberos el mayor hándicap que tiene a la hora de decidir una acción u otra es el poco tiempo de que dispone ya que son situaciones que no se puede reflexionar mucho por ser en sí de emergencia, todo ello refuerza la importancia de esta fase inicial en disponer de una buena información.

Para poder tomar una buena decisión y determinar en este caso si resulta necesario apuntalar o no, deberemos realizar un proceso mental que analice toda la información que recibimos, en este proceso podemos distinguir las siguientes fases:

- **Inspección:** Es el reconocimiento previo de la zona dañada y del edificio en su conjunto, tendremos en cuenta
    - Elementos dañados
    - Incidencias en otros elementos
    - Materiales con que se ha construido
    - Distinguir si es un elemento estructural
    - Cargas que soporta
    - Condiciones de estabilidad, grietas, roturas.
    - Incidencias con edificios colindantes

Toda esta información se podrá apuntar en un bloc de notas donde realicemos un croquis de la zona y anotemos los datos anteriores

- **Evaluación del apeo:** Realizada la fase de inspección y recogida de información, se podrá evaluar la necesidad o no del apuntalar, por lo que tendremos que determinar:
- ¿Si es necesario apuntalar?
- ¿Lugar donde hay que ejecutarlo?
- ¿Qué tipo de apuntalamiento?
- ¿Materiales y herramientas necesarios?

7.1.4.2. EJECUCIÓN DE UN APEO. GENERALIDADES

La ejecución de un apeo requiere tener presente el empleo correcto de las piezas que lo componen, ya que debe conseguirse construir una estructura con piezas sueltas que van a trabajar casi siempre como uniones articuladas. Las acciones a realizar y forma de llevar a cabo serían las siguientes:

- **Dimensionamiento:** El número de las piezas de cada sistema de apeo, la cantidad de estos y su separación así como el tamaño de los durmientes, han de elegirse teniendo en cuenta que han de transmitir todas las cargas del edificio que se va a apear al terreno, por lo tanto ha de tenerse en cuenta la resistencia del material del apeo para poder calcular el número de puntales que nos va hacer falta, emplazamiento, esto con la práctica acaba haciendo a ojo una vez que se sabe cuál es la resistencia de los tablones, etc. en cualquier caso procuraremos siempre trabajar con un alto coeficiente de seguridad aumentando el número de puntales que en teoría nos hagan falta.
- **Toma de medidas y cortes:** Una vez determinado todo lo referente a la geometría del apeo, procederemos a determinar las dimensiones de las piezas mediante el empleo de una varilla telescópica, que nos permita saber in situ la longitud real del elemento, así como la inclinación del corte si es necesario.

A la longitud obtenida por la varilla habrá que deducir dos gruesos de tablón de la sopanda y durmiente, más un margen de dos centímetros para el acuñado.

Los cortes se realizarán previo trazado con una escuadra de carpintero, evitando en lo posible encuentros que disminuyan la sección de la madera como son los efectuados en ángulo o cruce.

- **Embridado de tablones:** Los tornapuntas, pies derechos de madera como norma general procuraremos que nunca trabajen solos, sino en grupos de dos o tres tablones embridados, a fin de prevenir pandeos anormales de la pieza por nudos u otros defectos de la madera.

Por norma colocaremos tres bridas, una en el centro y otra en cada extremo.

- **Sujeción de los durmientes:** Además de buscar una zona apropiada del suelo, debe prepararse aquella con cajeado que impida el deslizamiento del durmiente, esto se consigue mediante unas riostras que nos unan todos los durmientes o bien mediante unos codales contra la pared, de esta manera aseguraremos una mayor estabilidad al apeo.

- **Piezas en contacto directo con muros:** En vigas aguja, sopandas y otras piezas que recogen directamente el esfuerzo de los muros, sobre todo cuando el apeo sea metálico, se debe colocar como elemento de contacto una pieza de madera para evitar cizallamientos.

- **Montaje de un apeo:** Una vez obtenidas todas las piezas se procede a clavar la sopanda a dos de los pies derechos, se eleva el conjunto hasta situarlo sobre el durmiente, se aploma prosiguiendo con el montaje del resto de elementos, pies derechos, cuñas, riostras, etc.

- **Aplomado de las piezas:** Las piezas verticales deben de quedar completamente aplomadas para que su trabajo sea eficaz, cuando es necesario colocar varios pies derechos en fila, han de estar perfectamente alineados.

- **Acuñado del apeo:** Para poder colocar en su posición los pies derechos o tornapuntas, se cortan estos ligeramente más cortos de la distancia necesaria. El pequeño hueco se maciza entre el durmiente y el pie derecho, con parejas de cuñas enfrentadas que se aprietan a la vez y sirven para templar el apeo y ajustarlo.

- **Fijación de piezas:** En apeos de madera aun cuando todas las piezas queden sujetas entre si, han de clavarse con clavos para asegurar las uniones y evitar pequeños movimientos debidos a la humedad y las variaciones térmicas, que en algunas ocasiones pueden llegar a desplazar totalmente las piezas de su sitio.

- **Arriostramiento:** Los apeos deben siempre arriostrarse triangulando al conjunto de pies derechos o tornapuntas con riostras, piezas alargadas y de poca sección que trabajan a tracción, se fijan las piezas principales formando cruces de San Andrés para evitar su desplazamiento y hacerlas trabajar en conjunto.

7.1.4.3. ZONIFICACIÓN DE EMERGENCIA

Como en cualquier otra emergencia coger el hábito de zonificar el área más próxima al incidente es necesario para poner un nivel de orden dentro de ese caos inicial que son las emergencias en los primeros momentos de actuación. Cuando vamos a un servicio con peligro de colapso de edificios parece complicado establecer un área determinada de manera genérica ya que como es obvio cada servicio tiene sus peculiaridades, pero si podemos establecer tres niveles de zonificación como en otras emergencias del ámbito de bomberos, tráficos, mercancías peligrosas, incendios urbanos, etc:

- **Zona de Caliente:** También conocida como zona de intervención, es la zona más próxima al incidente, en este caso el inmueble afectado, solamente podrán estar el personal interviniente. En estas emergencias determinar un radio de la zona no parece la más razonable. En cada caso el mando deberá hacer una pequeña evaluación de la posible afectación en el caso más desfavorable y estimar el área que afectaría en caso de colapso del edificio. En ella el personal interviniente se expondrá el menor tiempo posible, para realizar acciones puntuales como, análisis de zona afectada o elemento a apuntalar, toma de medidas, etc. Evitaremos hacer cualquier acopio de material y de vehículos en esta zona.

- **Zona Templada:** También llamada zona de socorro y apoyo, la más próxima a la de intervención, en ella permanecerá todo el dispositivo de intervención que no tenga una misión directa en la zona caliente. Será donde se habiliten puntos de depósito de material y útiles que gastaremos en el servicio, se realizarán acciones como corte de madera, preparación y ensamble de pequeñas piezas o cualquier otra acción auxiliar, en definitiva, haremos todo lo posible del apeo en esta zona para estar en la zona caliente el menor tiempo posible donde haremos el ensamble final de todas las piezas.

En esta zona lo más alejada de la caliente se establecerán los vehículos, personal sanitario si lo hubiera, así como el PMA si se establece.

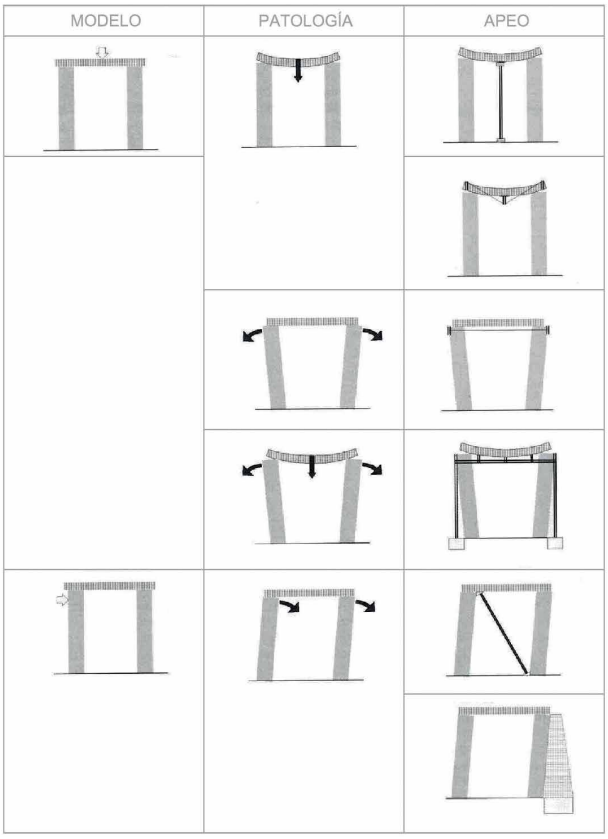
- **Zona Fría:** Será la más alejada del incidente contigua a la templada, destinada para toda persona ajena a la emergencia, personal evacuado, prensa, etc, tendrá que estar balizada con respecto de la templada y deberá haber un control de accesos por agentes de Policía a la zona templada.

7.1.5. APEOS EN ELEMENTOS HORIZONTALES:

Los elementos horizontales en la edificación son las vigas, forjados, voladizos, diseñados para trabajar a flexión. En estos elementos en general se estabilizarán con apeos verticales, aunque veremos que siempre hay variantes o soluciones diferentes para un mismo elemento.

En la imagen vemos diferentes soluciones para una misma lesión, en la primera solución vemos un apeo de urgencia para una viga flexionada, el puntal se planta en el punto equidistante a los apoyos o su máximo momento flector, la segunda opción vemos una solución con tirantes que contrarresta la parte flexionada.

El segundo ejemplo vemos como para un elemento como una viga, realmente el problema se nos plantea en los apoyos ya que éstos se abren en la misma dirección, pero sentido opuesto dejando la viga con peligro de perder los apoyos, las soluciones que se nos ofrece es la unión mediante un tirante que tira de los apoyos hacia dentro.

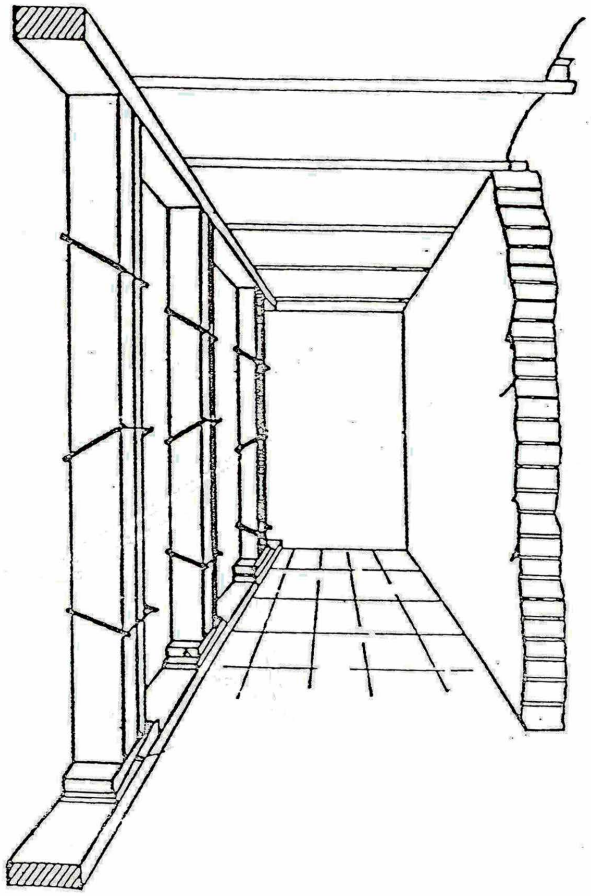


Apeos y refuerzos. (Fuente. Jesús Espasandin. J. Ignacio).

En la tercera lesión vemos la estructura que recibe un empuje horizontal, vemos dos soluciones distintas una con apeo ligero inclinado que lo contrarresta y la segunda opción con un refuerzo de fábrica que contrarreste el empuje

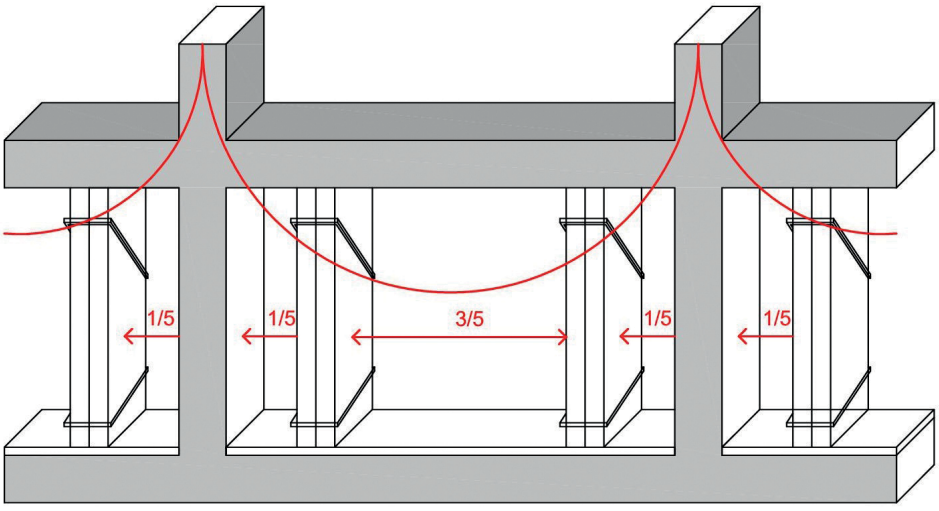
7.1.5.1. APEOS EN FORJADOS

Los apeos en los forjados son de los más comunes y sencillos de realizar, se ejecuta con puntales o pies derechos de madera, sopandas y durmientes. Como vemos en la imagen hay que identificar la dirección de las viguetas para colocar las líneas de puntales perpendicular a la dirección de las viguetas, hay veces que esto será fácil de ver, pero en otras ocasiones no es tan obvio ver la dirección de las viguetas, en forjados reticulares o bidireccionales esta cuestión no es importante.



Manual Edificación. (Fuente. CPBV).

Habrá que estimar los pesos propios de los elementos constructivos y sobrecargas para poder saber los puntales necesarios, recordar una regla nemotécnica utilizada "un puntal 1000Kg", en cuanto a la distribución de los puntales, cuando el forjado está muy flechado o flexionado una línea de puntales puede cubrir la parte más central o equidistante a los apoyos también llamado **máximo momento flector,** además otra referencia para colocar líneas de puntales son los momentos flector cero situado en las 1/5 de la luz entre los apoyos a vigas o muros.



Manual Curso de Apeos. (Fuente. ENPC).

Los apeos siempre se llevarán a suelo firme nunca se dejarán por acabados en un piso intermedio sobrecargando otro elemento, como norma general empezaremos de abajo hacia arriba, en cualquier caso deberemos hacer coincidir las líneas de puntales en sentido vertical para evitar el esfuerzo de cortante.

En la ejecución y toma de medidas habrá que tener en cuenta cuando trabajemos con pies derechos de madera, la medida de la luz del forjado de suelo a techo además de descontar los cantos de la durmiente y sopanda descontaremos 2 o 3 cm para asegurarnos que el pie derecho pasa por toda la línea de puntales, esto es porque los elementos horizontales cuando están flexionados la luz puede variar unos centímetros de diferencia de los apoyos a la parte central.

Se aplomarán para asegurarnos la verticalidad de los pies derechos y los templaremos con un acuñado como vemos en la imagen, los encuentros de los pies derechos con las durmientes los acabaremos uniendo con tablillas en los laterales con unas tachas.

Acordarse de que hay que embridar cuando trabajemos con parejas de tablones con un mínimo de tres uniones.

Práctica apeos verticales. (Fuente. UREC del CPBV 2015).

Para darle mayor estabilidad al sistema se arriostrarán los pies derechos con tablilla en cruz de San Andrés y se acodalarán las durmientes a los muros contiguos

Hundimiento tejado casa unifamiliar sobrecargando forjado y viga lesionada. Se apea de urgencia la viga y forjado con puntales metálicos.

7.1.5.1. APEOS EN VIGAS

Lo más habitual será un apeo vertical con pies derechos en parejas embridados, durmientes y sopandas, cuando se utiliza esta opción las consideraciones son parecidas a la de los forjados, vamos a verlas.

Se puede apear directamente sobre la viga o liberar de cargas la misma apeando en los forjados que descansan sobre ella, en este caso la línea de puntales se pondría lo más próxima a la viga a descargar. Se tendría que ver el área de influencia de la viga para estimar la carga que soporta, así poner los puntales o pies derechos necesarios.

Como se aprecia en la imagen donde se simula una lesión en la viga, podemos ver los encuentros de la sopanda y durmiente que se fijan al pie derecho con tachas la tablilla

Por otra parte, vemos como en esta práctica se colocan unas bridas en la parte superior, realmente faltarían dos uniones más una en la parte central y otra en la parte inferior.

Por último, se colocan unas riostras en cruz de San Andrés para darle mayor estabilidad al apeo

Práctica apeos verticales. (Fuente. UREC del CPBV).

Cuando además del mal estado de una viga se prevean movimientos laterales la opción anterior no será suficiente, habrá que recurrir a otra variante llamada apeo **en asnillas,** se trata de un sistema más complejo de ejecutar ya que en lugar de pies derechos se trabaja con tornapuntas que descansan sobre una durmiente atirantada que anula la posibilidad de estos movimientos.

Como se aprecia en la imagen los encuentros superiores a la viga son embarbillados también llamados en **Boca de Perro**, tienen su particularidad para la toma de medidas y no siempre salen a la primera si no tienes práctica en la ejecución de apeos.

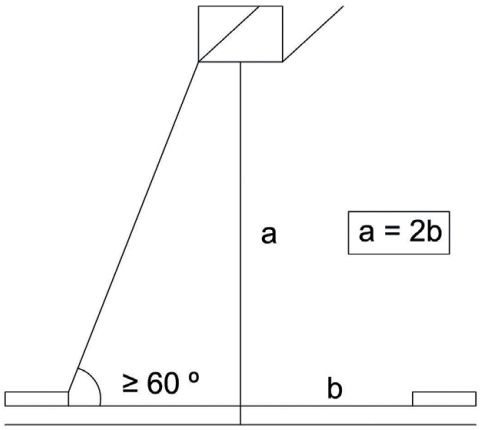
Por otra parte, también se aprecia el encuentro inferior de la tornapunta con la durmiente, éste es el tradicional o **Pico de Flauta**, más adelante trataremos el tema de los encuentros en apeos inclinados, mencionar solamente que habrá que fijar bien los ejiones de la durmiente para evitar el deslizamiento de las tornapuntas.

Como se aprecia en la imagen tanto los tornapuntas o pies derechos cuando trabajan sobre una viga que es un punto de reunión donde se concentra mucha carga deberán de trabajar en parejas, además los tornapuntas tendrán que estar con una inclinación de manera que el ángulo que forman en el encuentro inferior con la durmiente esté en el rango de **60 a 75°**, en este apeo en particular deberá estar más próximo a

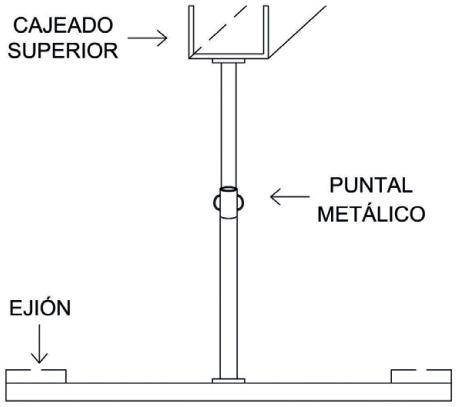
Práctica apeo en viga. (Fuente. UREC del CPBV 2015).

los **75º**, así el tornapunta estará menos inclinado y trabajará mejor para soportar las cargas verticales, por otra parte los ejiones también aguantarán mejor la carga, para ello bastará con respetar una relación de distancia como se indica en el siguiente croquis:

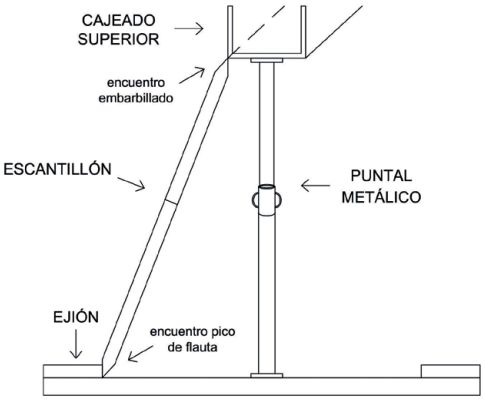
En las siguientes imágenes se describe las fases de ejecución de este apeo:



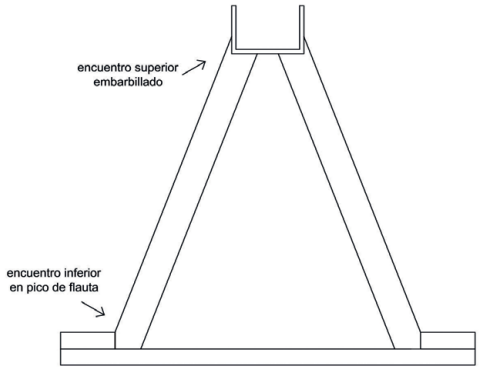
Esquema Apeo en Asnillas. Autores.



Fase 1ª de ejecución. Cajeado superior a viga con durmiente atirantada y puntal metálico provisional en el centro de la durmiente. Autores.

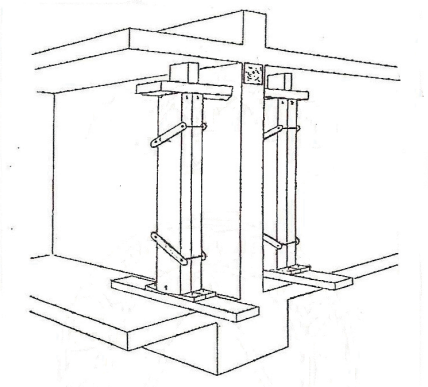


Fase 2ª Toma de medidas de la tornapunta con escantillón. Autores.



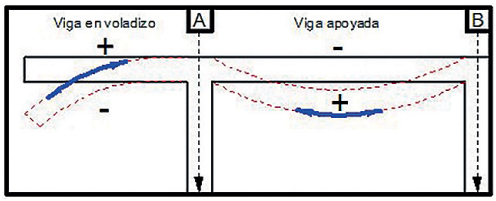
Fase 3ª Realizados los tornapuntas y ensamblados con la viga y la durmiente, se retira el puntal metálico provisional. Autores.

Si sobre la viga hay un muro que descansa sobre ella y no podemos apear directamente sobre la viga por estar en mal estado, habrá que trabajar directamente sobre el muro liberando de cargas a la jácena Esta opción se realizaría mediante una viga aguja que atravesará el muro por unos puntos donde recoge las cargas del muro y forjados, transmitiendo las mismas hasta suelo firme por los pies derechos como se vemos en la siguiente imagen.



Apeo Muro con Viga aguja con objeto de liberar de cargar a la jácena. (Fuente. Manual Curso Apeos ENPC).

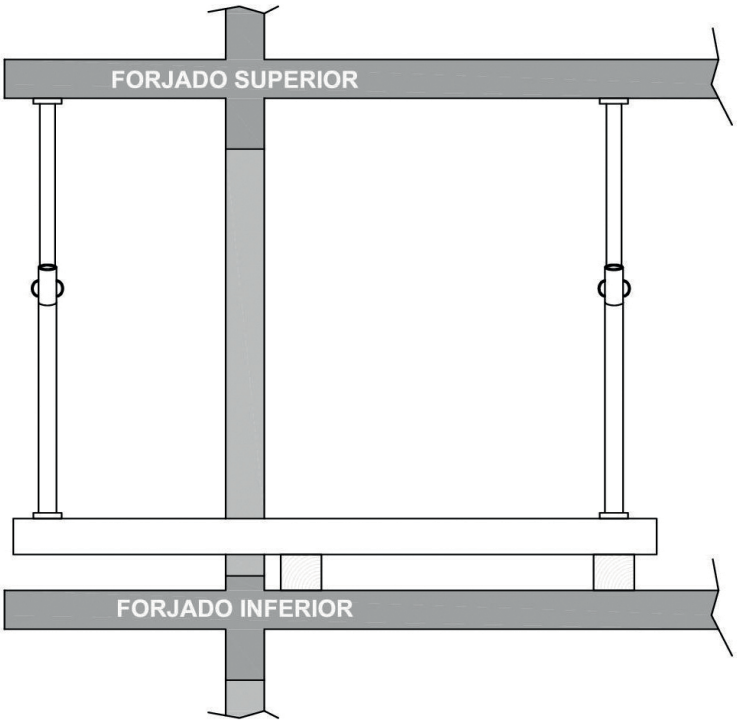
7.1.5.3. APEO EN VOLADIZOS



Flexión en un voladizo. (Fuente. Internet).

Los voladizos en la construcción son elementos horizontales que trabajan a flexión y que están sujetos al edificio por un lado manteniendo el otro al aire. A diferencia de los forjados su momento flector máximo estará situado en la cara superior más central. Cuando tenemos que apear un voladizo en un piso intermedio, el problema que nos plantea es evitar los apoyos en el forjado inferior ya que también trabaja como tal, una manera de realizar un apeo sin tener que llevarlo a suelo firme es hacer que la durmiente trabaje como una palanca y transmita las cargas al forjado superior

En el siguiente esquema se aprecia lo indicado anteriormente:



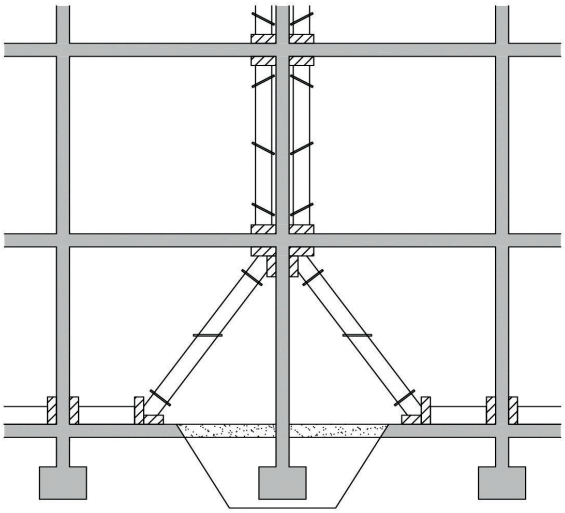
Apeo voladizo. (Fuente. Manual Edificación del CPBV).

7.1.5.4. APEO DE CIMENTACIONES

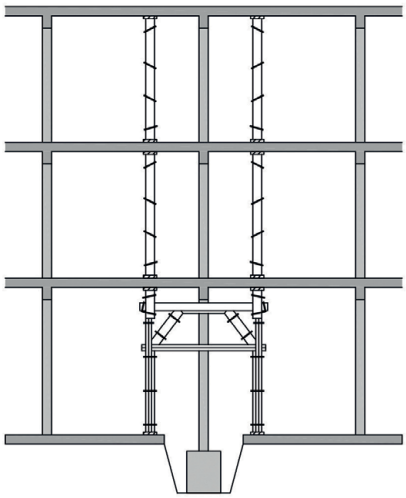
Cuando es necesario recalzar, sanear o reparar una zapata, dado que es el elemento al que le llegan las cargas para trasmitirlas al terreno, han de desviarse estas cargas liberando así a la zapata quedándose ésta con las que pudieran corresponderla a su peso propio y al del pilar o muro que sustente.

Para conseguir lo anterior, será necesario descargar las vigas y forjado correspondiente al nudo en el que se encuentre la zapata. Normalmente se llevará a cabo mediante postes, rollizos, puntales o pies derechos como elemento verticales y durmientes y sopandas como horizontales con sus correspondientes riostras y tornapuntas si fueran necesarios como elementos inclinados.

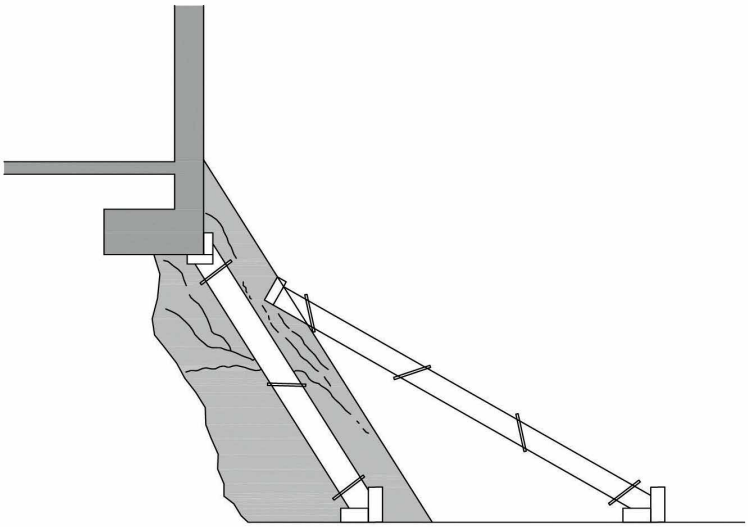
A continuación, vemos esquemas de posibles soluciones para reforzar cimentaciones:



Apeo cimentación con desvío de cargas con tornapuntas. (Fuente. Manual Edificación CPBV).



Apeo cimentación descarga de pilares mediante puente aguja .1 cimentación a intervenir.2 pilar a descargar. 3 pie derecho. jabalcón. 5 puente. 6 tirante. 7 codal. Apeos y Refuerzos Alternativos.



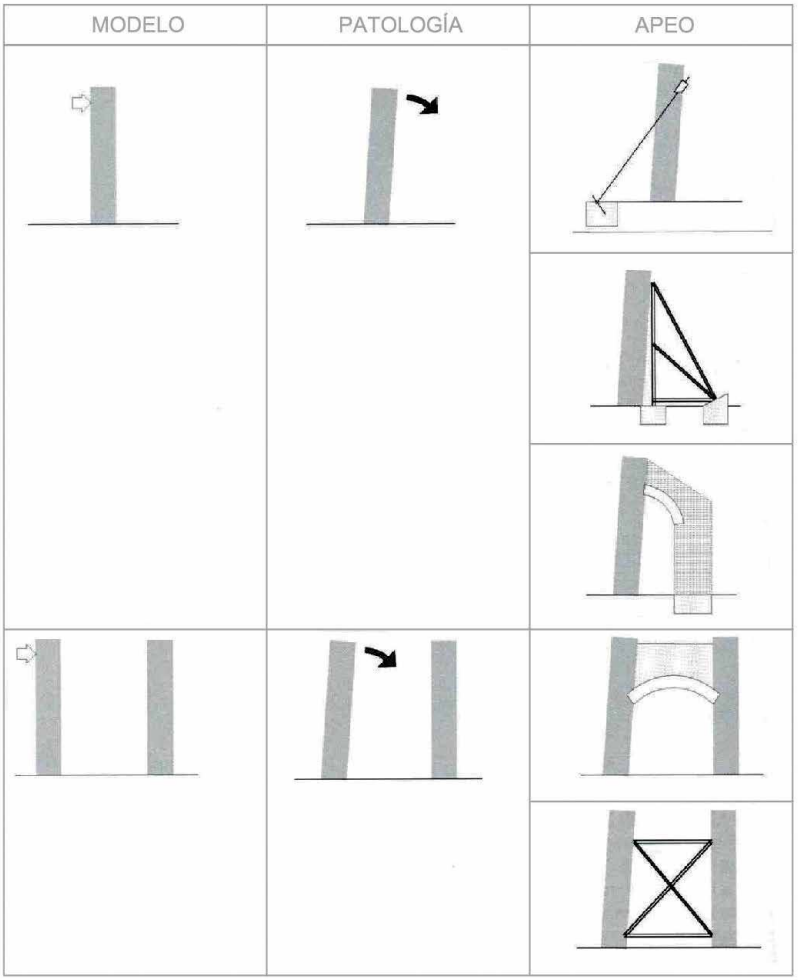
Apeo cimentación descalza. (Fuente. Manual Edificación CPBV).

7.1.6. APEOS EN ELEMENTOS VERTICALES

Los elementos verticales en la edificación son los muros, pilares y fachadas, éstas últimas aunque tengan función de cerramiento y no estructural lo consideraremos a efectos de apeos como elemento vertical, como hemos visto en el apartado 1.5 no hay solución única para un apeo siempre hay diferentes alternativas, pero si podemos decir que las soluciones más fáciles de ejecutar en elementos verticales son los apeos inclinados. Hay ocasiones que se utilizan combinaciones en un mismo apeo con elementos inclinados y elementos verticales.

Como se ve en la imagen las tres primeras soluciones para la misma lesión que evite el vuelco del muro, en la primera una un tirante que tracciona el muro, en la segunda un apeo inclinado que trabaja a compresión y la última vemos un refuerzo de fábrica.

La segunda lesión se trata de dos muros o fachadas próximas, se plantea dos posibles soluciones, la primera un refuerzo de fabrica abovedado y la segunda más posible de ejecutar como apeo de urgencia un acodalado de muros.



Apeos y Refuerzos Alternativos.

7.1.6.1. APEOS EN MUROS DE CARGA O FACHADAS

Los apeos en estos elementos vendrán condicionados por la altura sobre todo cuando tengamos que trabajar en muros de fachadas, normalmente habrá que apear los forjados que descasan sobre ellos con apeos verticales y soluciones de apeos inclinados mediante tornapuntas en el exterior cuando la altura permita plantear estas soluciones. Si se trata de edificaciones de alturas superiores 3 plantas será complicado dimensionar estos apeos en la vía pública además encontrar madera con la longitud suficiente para poder abordar dicho apeo por el exterior, en estos casos las soluciones pasan por atirantar los muros de fachada desde el interior, también se recurre a eslingas de nylon que abracen la fachada. Otros elementos que deberemos apear en los muros son los huecos de ventanas y puertas ya que son puntos vulnerables de los muros, así haremos que se comporte el muro más solidario y estable.

Cuando se trata de muros de carga o fachadas donde no hay apenas empujes laterales como puede ocurrir en los muros de contención, lo que no interesa es dimensionar el apeo de manera que apoyemos el encuentro del tornapunta lo más alto posible, es decir para evitar el vuelco del muro, para ello hay un ángulo de trabajo que forma la durmiente en su encuentro con el tornapunta será entre **60° – 75°**, recordar que es mejor habituarse a trabajar en las emergencias con normas nemotécnicas, por lo que dependerá de los procedimientos internos de cada servicio, pero es bueno normalizar un ángulo de trabajo y trabajar siempre con el mismo, por ejemplo en CPBV se trabaja en estos casos con un ángulo de 60°.

Los elementos que forman parte de los apeos inclinados básicamente son los siguientes;

- **Durmientes**: elementos horizontales que recibe las cargas del tornapuntas y las transmite al suelo.
- **Tornapuntas**: Puntal inclinado que recibe las cargas de la zapata mural y las transmite a la durmiente.
- **Zapata Mural**: Elemento vertical que está en contacto con el muro trasmite las cargas a la tornapunta.
- **Ejiones**: Pequeños topes de madera que sirven de unión para ensamblar las piezas del apeo

La zapata mural la prolongaremos hasta suelo siempre que sea posible y la uniremos a la durmiente un pequeño taco de madera o ejión mediante clavos, además tendremos en cuenta que cuando entra en carga el apeo inclinado el tornapunta tiende a empujar la zapata mural hacia arriba por lo que habrá que fijarla al muro mediante una piqueta o cualquier otro sistema que evite ese deslizamiento en su extremo superior.

En las siguientes imágenes podemos ver diferentes variantes de apeos inclinados con madera:

- **Apeo Inclinado simple:**

Habrá dimensionar el apeo de manera que la relación de distancia de la durmiente descontando los ejiones es el **60 por ciento** de la zapata mural para trabajar en el rango de **60°- 75°** en este caso más próximo a los **60°.**

Por otro lado, observamos que se trabaja con encuentros en **pico de flauta**.

Habría que tener en cuenta la fijación de los ejiones como punto vulnerable del apeo, ya que el esfuerzo de cortante en la unión de estos con la zapata mural y durmiente es importante. Como soluciones para mitigarlo bastaría con atarlo al muro mediante una aguja metálica y en el encuentro inferior fijarlo bien con unas piquetas. En la imagen esta cuestión no se tiene en cuenta ya que no es un apeo real, sino una acción formativa.

Apeo Inclinado Simple arriostrado. Autores.

- **Apeo Inclinado en Abanico:**

En esta variante se observa que desde el encuentro inferior de la durmiente salen dos tornapuntas y diferentes alturas del muro.

La relación de distancia entre la durmiente y la zapata mural sería igual que en caso anterior.

El ejión intermedio de la zapata mural como referencia se podría colocar de manera que la tornapunta trabajara a 45°, para ello simplemente colocaría en la zapata mural a la misma distancia que la durmiente.

Esta variante se utiliza para trabajar a mayor altura que el simple.

- **Apeo Inclinado en Paralelo:**

A diferencia de la variante de en abanico se observa que los encuentros inferiores no son compartidos.

Esto hace que puedan realizar por separado, incluso sin compartir durmiente, como dos apeos simples a diferentes alturas, con los tornapuntas en paralelo.

En la imagen se aprecian distintos tipos de encuentros, en realidad se realizarían en pico de flauta y estarían embridados.

El apeo que se ve en la imagen es el resultado de una acción formativa práctica, donde el objeto es coger destreza en la toma de medidas y traslado de ángulos en los tornapuntas.

Estos mismos apeos se pueden realizar con sistemas de madera – metal, en este caso los tornapuntas son los puntales metálicos. La diferencia con respecto a los de madera donde se da forma al tornapunta con pico de flauta para que trabaje inclinado, en este caso al ser metálicos se le da forma a los ejiones para que los apoyos en los encuentros coincidan trabajando a unos ángulos determinados.

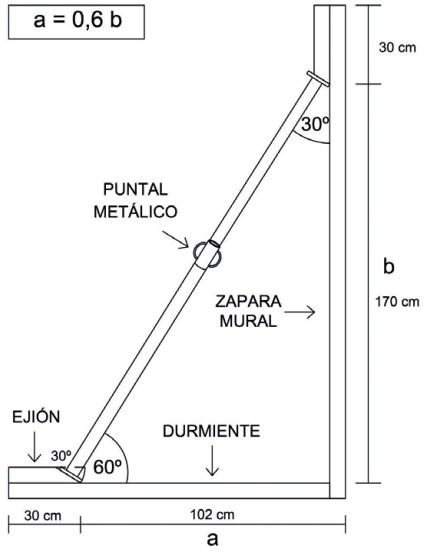
A continuación, se ve gráficamente el siguiente croquis de un apeo inclinado para muros de cargas de fachadas sin empujes laterales donde el tornapuntas metálico trabaja en un ángulo **de 60°** con respecto de la durmiente.

Apeo Inclinado en Abanico. Autores.

Apeo Inclinado en Paralelo. Autores.

- **Apeos Inclinados con puntales metálicos:**

A diferencia de los de madera es que al darle forma a los ejiones el esfuerzo de cortadura que sufren éstos en las uniones con la zapata mural o durmiente se minimiza mucho. En prácticas se han realizado pruebas de presión sobre estos y los ejiones han aguantado, en cambio ésta misma prueba cuando los ejiones trabajan a 90° con la durmiente o zapata mural sí que saltan con el esfuerzo de cortante.



Esquema Apeo inclinado con puntales metálicos. Autores.

Apeo Inclinado Simple metálico. Autores.

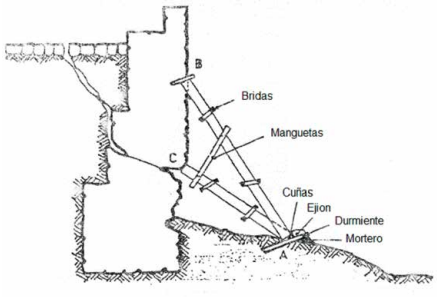
Apeo Inclinado metálico en abanico. Autores.

7.1.6.2. APEOS EN MUROS DE CONTENCIÓN O EMPUJE

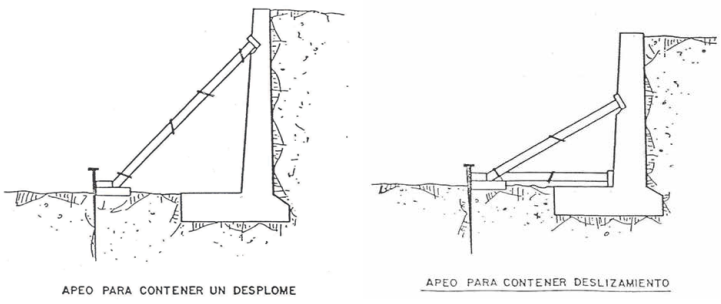
Estos muros están diseñados para contener los empujes horizontales de las tierras que contienen, por lo que interesará inclinar el tornapunta con un ángulo inferior con respecto a los muros de carga, en este caso el ángulo de trabajo del tornapunta con respecto a la durmiente será de **45°,** para ello lo único que habrá que hacer en la toma de medidas es que la durmiente y la zapata mural tenga la misma longitud o aproximada.

Cuando además hay riesgo de deslizamiento del muro se acodalará por la parte inferior a nivel rasante, realmente cuando se mantiene el diseño de apeo inclinado visto en los anteriores ejemplos la misma durmiente hace de codal a nivel rasante, por lo que no habría más asegurar un buen anclaje con piquetas en el encuentro trasero del suelo.

A continuación, mostramos algunas soluciones a este tipo de apeos.



Apeo en Abanico de un muro con riesgo de deslizamiento. (Fuente. Manual Edificación CPBV).

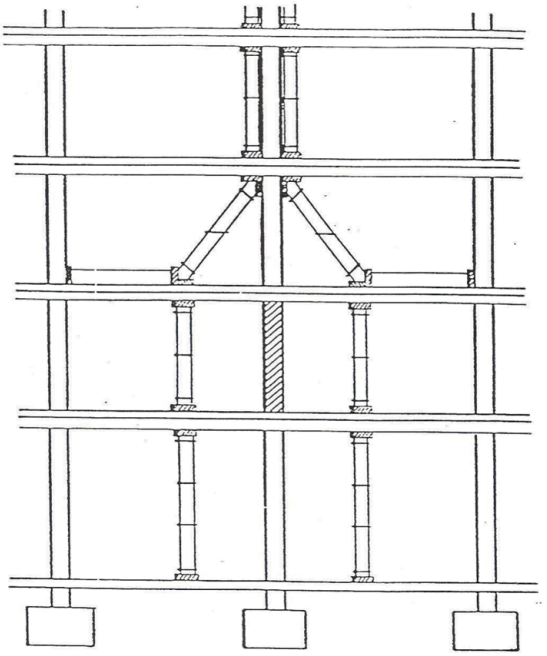


Apeo en muros de contención. (Fuente. Manual Edificación CPBV).

7.1.6.3. APEOS EN PILARES

El pilar es elemento transmisor de cargas inmediatamente superior a las zapatas. Para liberarlo será necesario apear las vigas y forjados que le afecten mediante pies derechos, prolongando el apeo por los pisos inferiores hasta el firme. Si se trata de un pilar en planta intermedia, será necesario recoger las cargas de los pilares situados por encima del afectado, ya que es probable que las vigas apeadas no resistieran el esfuerzo cortante a que estarían sometidas. Habrá que tener en cuenta a la hora de diseñar el apeo que se tiene que reparar el pilar por lo hay dejar espacio suficiente para poder trabajar en la reparación del pilar.

Por lo que podemos concluir que cuando tengamos que apear un pilar siempre tendremos que considerarlo como una pieza además del tramo afectado los superiores e inferiores.



Apeo de Pilar intermedio. (Fuente. Manual Edificación CPBV).

7.1.6.4. APEO VOLANTE, ACODALADO DE MUROS

Este tipo de solución está muy indicado en fachadas o muros muy próximos en el que uno de ellos pueda tener alguna lesión que indica su apuntalamiento. En este caso aprovecharemos esa proximidad para que la otra fachada o muro nos sirva de apoyo.

Otra ventaja de este tipo de apeo es que es volante, esto quiere decir que no se apoya en el suelo la fuerza del apeo se transmite horizontalmente de manera convergente, por lo que se mantiene sin apoyos a nivel rasante, esto permite la libre circulación si así se estima de personas y tránsito.

Acodalado de muros. (Fuente. Internet Google).

Los elementos de que se compone este apeo además de los ya mencionados en otros apeos inclinados como la zapata mural, aquí participan los:

- **Codales:** Son piezas escuadradas o rollizos trabajan a compresión para mantener fija la separación entre dos elementos verticales ya sean de la construcción o del apeo.

- **Jabalcones:** Son elementos inclinados más pequeños que los tornapuntas recogen las cargas y las transmiten no directamente, sino a través de otras piezas, horizontales o verticales. Pueden ser igualmente escuadrados o rollizo.

En este apeo los jabalcones formarán un **ángulo de trabajo de 45°** en sus encuentros tanto en el codal como en la zapata mural, además trabajarán preferentemente de canto y no planos.

En el dimensionamiento y toma de medidas se tendrá en cuenta el ángulo de trabajo antes mencionado, para ello se colocarán tres ejiones en las zapatas murales, además los dos de los extremos se pondrá uno intermedio como apoyo del codal. En la toma de medidas del codal tendremos en cuenta de descontar dos o tres centímetros para poder templar con un juego de cuñas.

Para que los jabalcones trabajen a 45°, en el codal la parte central se embridaran dos ejiones uno por cada cara del codal y formaremos triángulos rectángulos equiláteros donde los catetos son la parte del codal y la zapata mural, mientras la hipotenusa el jabalcón

En la siguiente imagen se puede apreciar lo descrito anteriormente:

En la imagen se pueden apreciar pequeños errores de ejecución ya que son acciones formativas donde los objetivos son distintos, como por ejemplo toma de medidas, adquirir destreza en el corte, etc.

Apeo volante. Acodalado de muros. Autores.

7.1.6.5. ENCUENTROS, ENSAMBLAJE DE PIEZAS

En los apeos con elementos inclinados como jabalcones, tornapuntas de madera o bien metálicos, los encuentros o uniones tienen una especial importancia, ya que pueden ser puntos vulnerables del sistema si no se ejecutan bien.

Por una parte, cuando trabajamos con ejiones con la función tope final hay que tener en cuenta el esfuerzo de cortadura que soporta la unión de dos secciones de tablón unido por tachas. La unión por clavos permite una ejecución más rápida que otros métodos de unión y una eficacia mayor de la que se puede presuponer. Lo importante es respetar unas normas de ejecución que darán una mayor calidad al ensamblaje de las piezas.

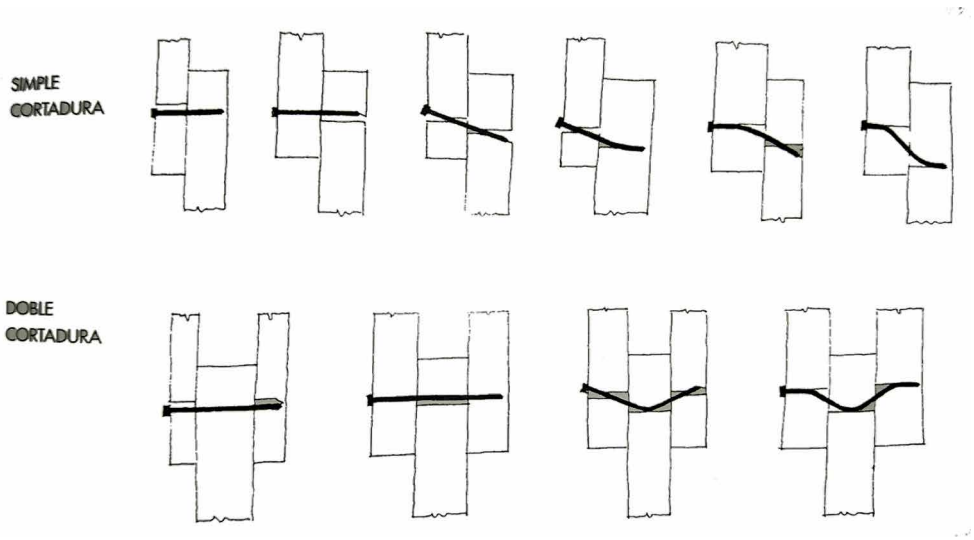
Por un lado, tenemos la elección de clavos que tienen que tener la sección suficiente para soportar el esfuerzo, por otro lado tenemos las distancias que respetar entre clavos y bordes de las piezas, así como la profundidad a la que tienen que penetrar.

Las normas que regulan las uniones con clavos son UNE-EN 26891 y 28970, el presente manual no pretende complicar con datos demasiado técnicos en cuanto a cálculos y fórmulas para estimar la capacidad de carga, ya que son especialmente complejas y no vamos a entrar a ese nivel de detalle, en los anexos se expondrán unas tablas resumen de uso rápido.

Los clavos más utilizados en apeos para uniones de piezas de madera son los siguientes:

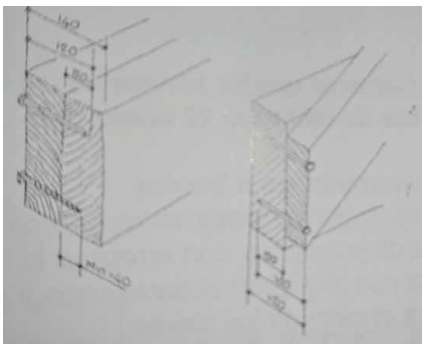
- **Clavo de 6mm de diámetro y 120mm** de longitud para uniones de tablones de 70x 200mm de sección.
- **Clavos de 6 mm de diámetro y 100mm** de longitud para uniones de tablón de 70 x200mm a tablilla de 50 x 150 mm de sección.

- **Clavos de 4 mm de diámetro y de 80- 100 mm** de longitud para uniones de tabloncillo de 50 x150mm o tablilla de menos sección.



Apeos y Refuerzos alternativos.

En cuanto a la penetración y clavado de clavos unas consideraciones para minimizar el efecto de hienda o rotura de la pieza al abrir una beta en las fibras. Se clavarán perpendicular a las fibras, es una buena costumbre matar la punta de la tacha con un golpe de martillo así la punta es más roma y minimiza la apertura de fibras, además del clavado con una ligera inclinación a la perpendicular. La longitud del clavo debe ser tal que penetra en la última pieza 2/3 del grosor de la pieza.

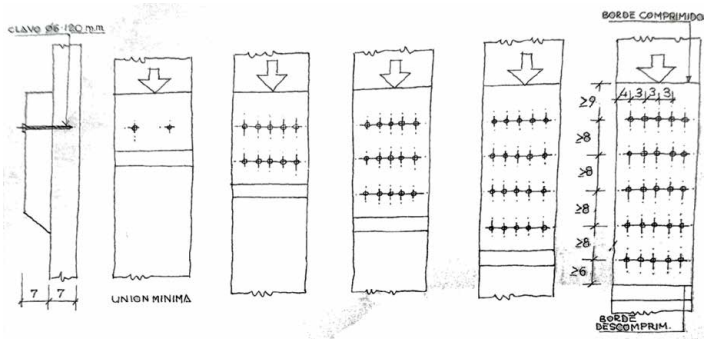


Apeos y refuerzos alternativos.

Siguiendo con las reglas nemotécnicas como se ha comentado anteriormente con los ángulos, es bueno también dimensionar unos ejiones a una medida estándar de manera que respetando las distancias entre líneas de clavos y bordes podamos clavar un número de puntas donde la capacidad de carga asegure la resistencia de éstos. Ejiones en ciertas posiciones de un apeo como pueda una durmiente atirantada de un apeo en asnillas deben de tener un mínimo de 15 clavos por lo que el ejión deberá tener una longitud de 30 cm para respetar las distancias. En el CPBV se han normalizado a una esa medida. En la siguiente tabla se indican unas resistencias de ejiones dependiendo del número de clavos.

CAPACIDAD DE CARGA EN KN DE EJIONES CLAVADOS SIN PRETALADRO						
Duración de Carga	Clase de Servicio	2 Clavos	10 Clavos	15 Clavos	20 Clavos	25 Clavos
PERMANENTE	1 y 2	2,2	10,8	16,2	21,6	27,0
	3	1,7	8,6	13,0	17,3	21,6
MEDIA	1y 2	2,8	13,9	20,8	27,8	34,7
	3	2,2	11,1	16,7	22,2	27,8

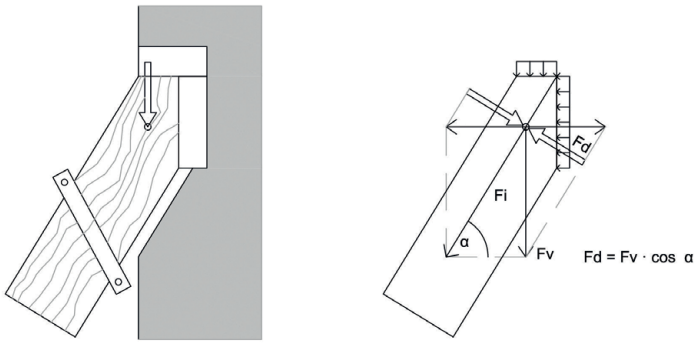
En la siguiente imagen se pueden ver las distancias entre filas de clavos y a bordes cargados cuando se utilizan clavos sin pretaladro.



Apeos y Refuerzos Alternativos.

En las uniones de piezas inclinadas hay algunas alternativas de realizar estos encuentros, las más utilizadas o conocidas por su fácil ejecución:

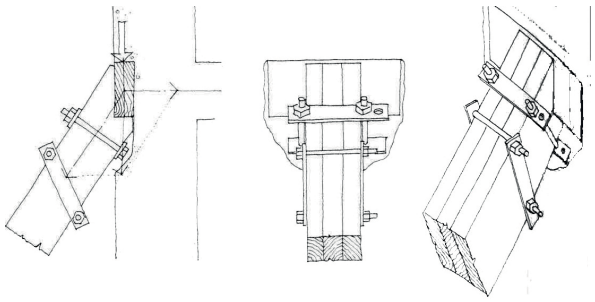
- **Pico de Flauta:** Es el más utilizado, donde el ejión forma un ángulo recto con la pieza a la que esta ensamblada y el tornapunta o jabalcón se le da la forma para que se encastre dentro de ellos.



Encuentro Pico de flauta. Apeos y Refuerzos Alternativo.

Pico de flauta. Autores.

- **Embarbillado o Boca de Perro:** Esta opción se utilizará como alternativa de la anterior ya que tiene el problema que el tornapunta abraza al ejión, esto hace que esté sometido a tensiones perpendiculares a la dirección de sus fibras en cabeza (hienda) que es como peor trabaja la madera, por lo que cuando utilicemos esta opción, habrá que tomar unas precauciones. Nunca trabajaran en solitario un tornapunta, independientemente de las bridas que pongamos para unir las parejas o tríos de tornapuntas, en cabeza lo más próximo al encuentro embarbillado colocaremos una brida perpendicular a las fibras para minimizar el efecto de la hienda.



Encuentro embarbillado. Apeos y Refuerzos Alternativos.

Encuentro embarbillado. Autores.

En la imagen se observa el encuentro embarbillado realizado en una práctica de un apeo de viga en asnillas, donde la opción del pico de flauta no es viable y se recurre a ésta

- **Encuentros con puntales metálicos:**

Encuentros con puntales metálicos. Autores.

7.1.7. APEOS EN ZANJAS, ENTIBACIONES

Son apeos horizontales destinados a la contención de los terrenos en zanjas o excavaciones, corrimientos de tierras, pozos, etc. Como norma general se deberá asegurar la estabilidad del terreno mediante entibaciones cuando la profundidad de la excavación se mayor de 1,30m

Se realizan mediante tablón como parte estructural y tablilla de menos sección como panel se pueden acodalar mediante tablón de la misma sección y bien con rollizos, en estos casos si se dispone de puntales metálicos cortos con los que se pueda trabajar son muy útiles.

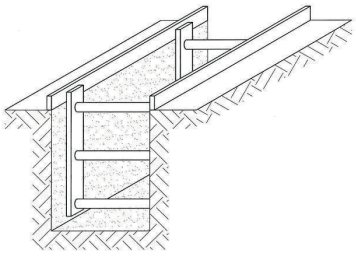
Hay que destacar la disposición de las cuñas en los cabeceros, se pondrán de manera que cuando te apoyes sobre un codal el sistema se comprima y no se suelte el codal.

En función del terreno se realizará un tipo u otro de entibación, podemos distinguir tres tipos

7.1.7.1. ENTIBACIÓN LIGERA

Se realizará esta opción cuando el terreno cohesionado tipo rocoso, o cuando la situación no admita demora por rescate de personas que hayan quedado sepultadas.

Se realizan en base a cabeceros y codales, en la siguiente imagen vemos la disposición del sistema.

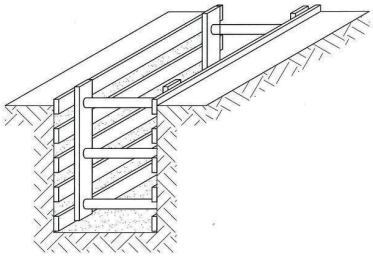


Entibación ligera. (Fuente. Internet).

7.1.7.2. ENTIBACIÓN SEMICUAJADA

Para terrenos menos cohesionados que los anteriores, el panel de tabla será cubierto el 50% del terreno.

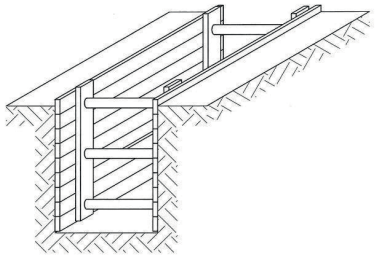
El sistema es el mismo que la ligera, mediante tablas, cabeceros y codales, en cuanto a la disposición del panelado también se puede poner vertical y los cabeceros en sentido horizontal.



Entibación Semicuajada. (Fuente. Internet).

7.1.7.2. ENTIBACIÓN CUAJADA

Para terrenos sin ningún tipo de cohesión, gravas, arenas, etc. Se revestirá la totalidad del terreno mediante tablas en sentido horizontal que trabajaran flexionados y cabeceros verticales apoyados en los codales.



Entibación Cuajada. (Fuente. Internet).

7.1.8. APEOS EN BÓVEDAS

Los arcos y las bóvedas son sistemas comprimidos transmiten las cargas entre sus dovelas.

Las soluciones que se plantean pueden ser variadas, dependiendo donde tenemos la lesión, si es en la clave del arco o en sus dovelas.

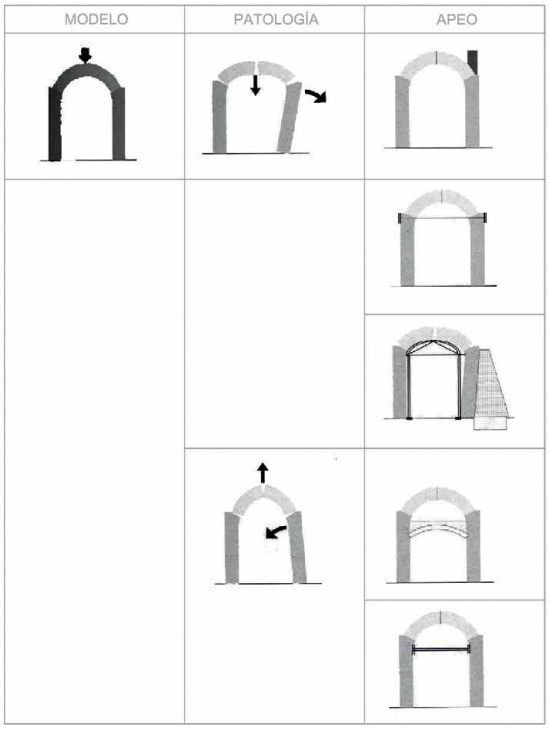
Las cimbras son los sistemas de apeos para huecos terminados en arco y bóvedas.

Se procurará apear de manera que se pueda quedar espacio para el paso de personas y materiales

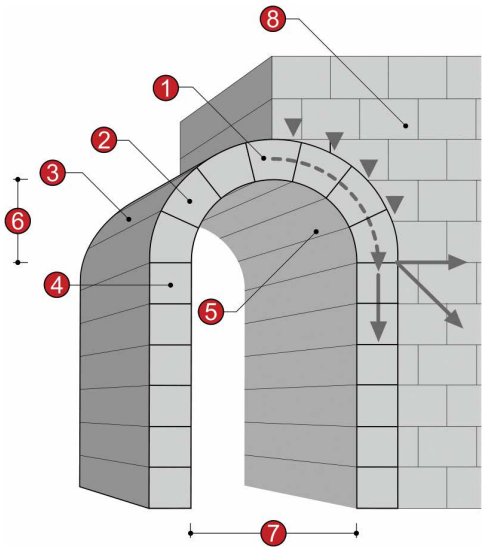
Según la imagen:

1 Clave, 2 Dovela, 3 Estrados, 4 Imposta, 5 Intrados, 6 Flecha, 7 Luz, 8 Contrafuerte

A continuación, se presentan diferentes soluciones a este tipo de estructuras.

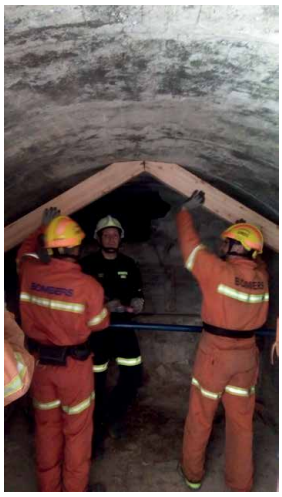


Actuaciones en bóvedas Apeos y Refuerzos Alternativos.



Descripción de las partes de una bóveda. Internet.

Cimbra realizada por Bomberos Italianos en terremoto de L´Aquila.



Apeo en Bóveda por lesión en Clave. Autores.

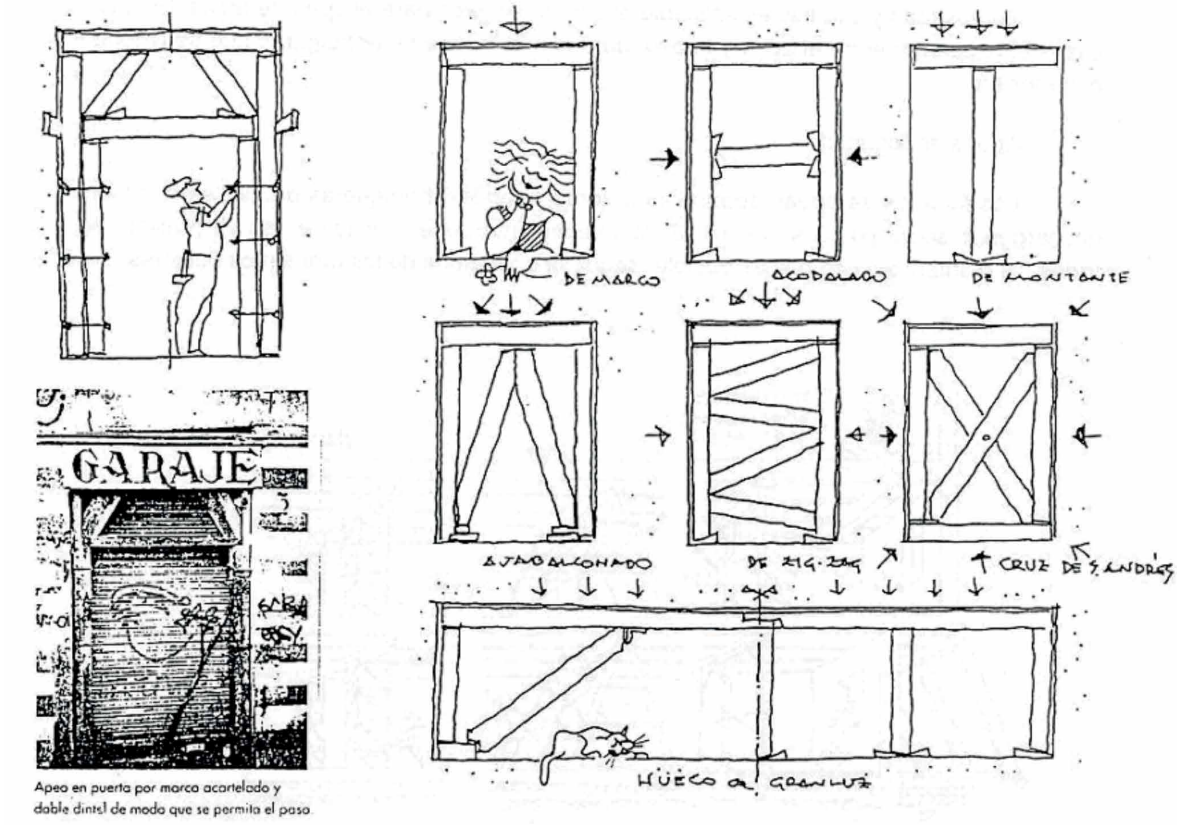
Como se puede ver en las imágenes los dos sistemas de apeos hay una parte del sistema vertical y la otra inclinada, el encuentro entre ambas partes es la imposta del arco o bóveda que es donde finaliza la parte abovedada.

7.1.9. APEOS EN HUECOS, VENTANAS, PUERTAS

Los huecos de los muros en fachadas son puntos de discontinuidad en la transmisión de cargas por ello se pueden considerar como puntos vulnerables en los muros. Se suelen manifestar en forma de grietas las lesiones en zonas próximas a ellos.

Estos huecos son puertas o ventanas, dependiendo del tamaño de ellos se plantean diferentes soluciones.

En la imagen se pueden ver diferentes soluciones dependiendo del sentido del esfuerzo donde está orientado



Recercados en huecos. (Fuente. Internet).

TABLAS RESUMEN DE RESISTENCIA

PIEZAS CONSTITUIDAS POR 2 TABLONES DE 20-7 cm EN MADERA C18

CAPACIDAD DE CARGA A COMPRESIÓN AXIAL CON PANDEO EN kN

CARACTERÍSTICAS DE LA PIEZA			TIPO DE UNIÓN					
			BRIDA		PAREJA DE PERNOS			
			Duración de carga		Duración de carga			
			MEDIA		PERMANENTE		MEDIA	
Altura total cm	Nº de uniones	Distancia entre uniones cm	Clase de servicio		Clase de servicio		Clase de servicio	
			1 ó 2	3	1 ó 2	3	1 ó 2	3
100	3	40	277	226	94	75	146	117
150	3	65	94	77	26	21	41	33
	4	43	176	144	62	49	96	77
200	3	90	39	32	11	9	18	14
	4	60	75	61	26	21	40	32
	5	45	113	92	43	34	63	50
250	4	77	40	33	13	11	21	17
	5	65	51	41	18	15	28	23
	6	46	78	64	33	27	48	38
300	4	93	24	20	8	6	12	10
	5	70	36	29	13	11	20	16
	6	56	48	39	20	16	29	23
	7	47	59	48	26	21	37	29
	8	40	70	57	32	26	45	36
350	5	83	23	19	8	7	13	10
	6	66	31	25	12	10	18	15
	7	55	38	31	17	13	24	19
	8	47	46	37	21	17	29	23
	9	41	53	43	25	20	35	28
400	5	95	16	13	6	5	9	7
	6	76	21	17	8	7	12	10
	7	63	26	21	11	9	16	13
	8	54	31	25	14	11	20	16
	9	47	36	29	17	14	24	19
	10	42	41	33	19	16	27	22
450	6	86	15	12	6	5	9	7
	7	72	18	15	8	6	11	9
	8	61	22	18	10	8	14	11
	9	54	25	20	12	9	16	13
	10	48	29	23	14	11	19	15
	11	43	32	26	16	12	21	17
500	6	96	11	9	4	3	6	5
	7	80	13	11	6	5	8	7
	8	69	16	13	7	6	10	8
	9	60	19	15	9	7	12	10
	10	53	21	17	10	8	14	11
	11	48	24	19	11	9	16	13
	13	40	29	23	14	11	19	15

PIEZAS CONSTITUIDAS POR 3 TABLONES DE 20-7 cm EN MADERA C18

CAPACIDAD DE CARGA A COMPRESIÓN AXIAL CON PANDEO EN kN

CARACTERÍSTICAS DE LA PIEZA			TIPO DE UNIÓN					
			BRIDA		PAREJA DE PERNOS			
			Duración de carga		Duración de carga			
			MEDIA		PERMANENTE		MEDIA	
Altura total cm	Nº de uniones	Distancia entre uniones cm	Clase de servicio		Clase de servicio		Clase de servicio	
			1 ó 2	3	1 ó 2	3	1 ó 2	3
100	3	40	593	482	165	132	274	219
150	3	65	206	168	44	36	76	60
	4	43	427	348	115	92	196	157
200	3	90	84	68	18	14	32	25
	4	60	204	166	50	40	83	67
	5	45	337	274	94	75	158	126
250	4	77	102	83	25	20	43	35
	5	65	179	146	51	41	82	66
	6	46	260	212	81	65	124	99
300	4	93	62	50	14	12	25	20
	5	70	105	85	30	24	49	39
	6	56	147	119	49	39	76	61
	7	47	195	159	69	55	105	84
	8	40	247	201	92	73	136	108
350	5	83	68	55	18	15	30	24
	6	66	99	81	31	25	49	39
	7	55	129	105	45	36	69	55
	8	47	155	126	58	46	88	70
	9	41	188	153	76	61	112	90
400	5	95	47	38	12	10	21	17
	6	76	68	56	21	17	33	27
	7	63	91	74	31	25	48	38
	8	54	112	91	41	33	62	50
	9	47	134	109	53	42	78	63
	10	42	154	125	64	51	93	74
450	6	86	49	40	15	12	23	19
	7	72	64	52	21	17	33	27
	8	61	79	64	28	23	43	35
	9	54	95	77	37	29	54	44
	10	48	110	90	45	36	65	52
	11	43	126	102	53	42	77	61
500	6	96	36	29	11	8	17	14
	7	80	48	39	16	13	25	20
	8	69	59	48	21	17	32	26
	9	60	71	58	27	22	40	32
	10	53	83	67	33	27	49	39
	11	48	93	76	39	31	57	45
	13	40	116	94	51	41	73	58

PIEZAS CONSTITUIDAS POR 4 TABLONES DE 20-7 cm EN MADERA C18

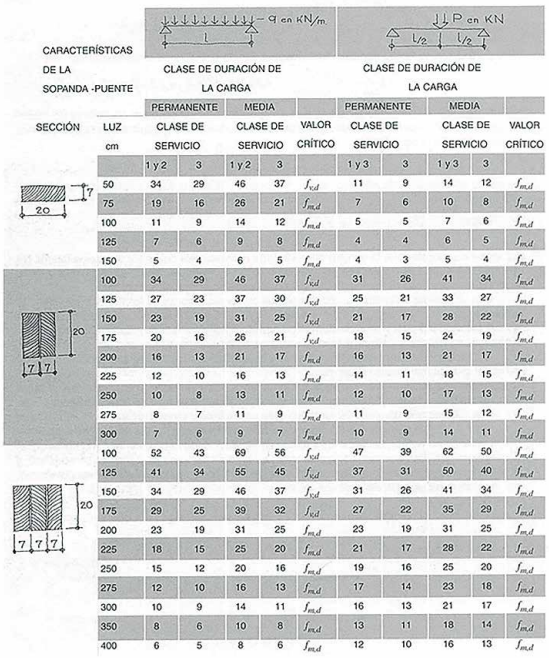
CAPACIDAD DE CARGA A COMPRESIÓN AXIAL CON PANDEO EN kN

CARACTERÍSTICAS DE LA PIEZA			TIPO DE UNIÓN					
			BRIDA		PAREJA DE PERNOS			
			Duración de carga		Duración de carga			
			MEDIA		PERMANENTE		MEDIA	
Altura total cm	Nº de uniones	Distancia entre uniones cm	Clase de servicio		Clase de servicio		Clase de servicio	
			1 ó 2	3	1 ó 2	3	1 ó 2	3
200	3	90	96	78	18	14	32	26
	4	60	258	210	54	44	94	75
	5	45	461	375	110	88	174	139
250	4	77	127	104	27	22	48	38
	5	65	251	204	58	46	98	78
	6	46	387	315	98	79	157	126
300	4	93	77	63	15	12	27	22
	5	70	142	116	33	27	58	46
	6	56	230	187	59	47	97	78
	7	47	320	261	88	70	140	112
	8	40	419	341	123	98	188	150
350	5	83	94	76	21	16	36	29
	6	66	145	118	37	30	63	50
	7	55	202	164	57	46	94	75
	8	47	260	212	78	62	124	99
	9	41	338	275	107	86	165	132
400	5	95	65	53	14	11	24	19
	6	76	102	83	25	20	42	34
	7	63	142	115	39	31	65	52
	8	54	181	147	56	45	89	72
	9	47	223	182	75	60	117	94
	10	42	268	218	94	75	143	115
450	6	86	73	59	17	14	30	24
	7	72	102	83	27	22	45	36
	8	61	131	106	38	30	62	50
	9	54	162	132	52	41	82	65
	10	48	192	156	66	53	102	82
	11	43	222	181	81	65	124	99
500	6	96	54	44	13	10	22	17
	7	80	76	62	20	16	33	27
	8	69	98	80	28	22	46	37
	9	60	123	100	38	31	61	49
	10	53	148	120	50	40	77	62
	11	48	170	138	60	48	92	74
	13	40	215	175	84	67	125	100

TIPO DE PIE DERECHO Y DURMIENTE	CAPACIDAD DE CARGA DE DURMIENTES DE PIES DERECHOS EN kN			
	DURACIÓN DE CARGA			
	PERMANENTE		MEDIA	
	CLASE DE SERVICIO		CLASE DE SERVICIO	
	1 ó 2	3	1 ó 2	3
1 TABLÓN	46	38	61	49
2 TABLONES	66	55	88	71
3 TABLONES	93	78	124	101
4 TABLONES	124	104	165	134
1 TABLONCILLO	26	22	35	28
2 TABLONCILLOS	43	36	57	46
3 TABLONCILLOS	50	42	66	54

CAPACIDAD DE CARGA DE SOPANDAS DE TABLONES

TIPO DE CARGA



CARACTERÍSTICAS DE LA SOPANDA -PUENTE		q en kN/m (L)					P en kN (L/2, L/2)				
		CLASE DE DURACIÓN DE LA CARGA					CLASE DE DURACIÓN DE LA CARGA				
		PERMANENTE		MEDIA			PERMANENTE		MEDIA		
SECCIÓN	LUZ	CLASE DE SERVICIO		CLASE DE SERVICIO		VALOR CRÍTICO	CLASE DE SERVICIO		CLASE DE SERVICIO		VALOR CRÍTICO
	cm	1 y 2	3	1 y 2	3		1 y 3	3	1 y 3	3	
20 × 7	50	34	29	46	37	$f_{v,cl}$	11	9	14	12	$f_{m,cl}$
	75	19	16	26	21	$f_{m,cl}$	7	6	10	8	$f_{m,cl}$
	100	11	9	14	12	$f_{m,cl}$	5	5	7	6	$f_{m,cl}$
	125	7	6	9	8	$f_{m,cl}$	4	4	6	5	$f_{m,cl}$
	150	5	4	6	5	$f_{m,cl}$	4	3	5	4	$f_{m,cl}$
20 / 7 7	100	34	29	46	37	$f_{v,cl}$	31	26	41	34	$f_{m,cl}$
	125	27	23	37	30	$f_{v,cl}$	25	21	33	27	$f_{m,cl}$
	150	23	19	31	25	$f_{v,cl}$	21	17	28	22	$f_{m,cl}$
	175	20	16	26	21	$f_{v,cl}$	18	15	24	19	$f_{m,cl}$
	200	16	13	21	17	$f_{m,cl}$	16	13	21	17	$f_{m,cl}$
	225	12	10	16	13	$f_{m,cl}$	14	11	18	15	$f_{m,cl}$
	250	10	8	13	11	$f_{m,cl}$	12	10	17	13	$f_{m,cl}$
	275	8	7	11	9	$f_{m,cl}$	11	9	15	12	$f_{m,cl}$
	300	7	6	9	7	$f_{m,cl}$	10	9	14	11	$f_{m,cl}$
20 / 7 7 7	100	52	43	69	56	$f_{v,cl}$	47	39	62	50	$f_{m,cl}$
	125	41	34	55	45	$f_{v,cl}$	37	31	50	40	$f_{m,cl}$
	150	34	29	46	37	$f_{v,cl}$	31	26	41	34	$f_{m,cl}$
	175	29	25	39	32	$f_{v,cl}$	27	22	35	29	$f_{m,cl}$
	200	23	19	31	25	$f_{m,cl}$	23	19	31	25	$f_{m,cl}$
	225	18	15	25	20	$f_{m,cl}$	21	17	28	22	$f_{m,cl}$
	250	15	12	20	16	$f_{m,cl}$	19	16	25	20	$f_{m,cl}$
	275	12	10	16	13	$f_{m,cl}$	17	14	23	18	$f_{m,cl}$
	300	10	9	14	11	$f_{m,cl}$	16	13	21	17	$f_{m,cl}$
	350	8	6	10	8	$f_{m,cl}$	13	11	18	14	$f_{m,cl}$
	400	6	5	8	6	$f_{m,cl}$	12	10	16	13	$f_{m,cl}$

GLOSARIO DE TERMINOS DE APEOS

Elementos Verticales

Puntal: Rollizo o postes de teléfonos que generalmente se aplican solos y su misión es transmitir las cargas que recibe de la sopanda a la durmiente.

Pies derechos: Es un puntal como el anterior, pero con sección rectangular, suelen trabajar embridadas pero también lo pueden hacer en solitario, su misión es transferir las cargas a la durmiente.

Virotillos: Rollizos de pequeño diámetro y longitud, para utilizar huecos de reducidas dimensiones, aunque la mayoría de las veces constituyen un elemento segundario de un apeo.

Zapatas murales: Piezas escuadradas adosadas o encajadas en un muro, para transmitir las cargas a los tornapuntas.

Elementos Horizontales

Sopandas: Piezas que se acoplan en contacto directo bajo de forjados, vigas, dinteles, trabajan a flexión y su misión es transmitir las cargas que reciben a los puntales.

Durmientes: Piezas escuadradas que descansan sobre el piso y reparten las cargas sobre este, que reciben de los puntales o tornapuntas.

Puentes: Piezas cortas que ejercen básicamente misiones de separación o de arriostramiento entre piezas verticales.

Codales: Son piezas escuadradas o rollizos trabajan a compresión para mantener fija la separación entre dos elementos verticales ya sean de la construcción o del apeo

Agujas: Piezas que perforan un muro, sosteniéndolos, y que trabajan a flexión apoyándose en pies derechos.

Elementos inclinados

Tornapuntas: Son puntales inclinados, transmiten las cargas del elemento apeado a la zona de apoyo (Durmientes), pueden ser escuadrados o de rollizo.

Jabalcón: Recogen las cargas y las transmiten no directamente, sino a través de otras piezas, horizontales o verticales. Pueden ser igualmente escuadrados o rollizo.

Riostras: Piezas escuadradas de poca sección, destinadas a mantener la estabilidad y disposición geométrica del conjunto. También se les puede llamar manguetas.

Material auxiliar

Bridas: Pares de pletinas enlazadas con tornillos, utilizadas para unir piezas resistentes por yuxtaposición.

Cuñas, ejiones, muletillas: Pequeñas piezas para retacar enlaces y entregas, o para evitar deslizamientos de unas piezas sobre otras.

Puntas, clavos: Sirven para fijar las uniones de los ensambles y evitar desplazamientos.

BIBLIOGRAFIA

Espasandín López, Jesús y Garcia Casas, Igancio (abril 2009). **Apeos y Refuerzos Alternativos.**

Normativa

- **UNE- EN 338** Madera Estructural Clases Resistentes
- **UNE- EN1065** Puntales telescópicos Regulables de acero. Especificaciones ,, diseño y evaluación por cálculos y ensayos
- **NTP – 719** Encofrado horizontal. Puntales telescópicos de acero
- **FTS PC 003. 01** Trabajo en Zanjas y Sistemas de Entibaciones Colegio Oficial de Arquitectos y Arquitectos Técnicos de Madrid

Publicaciones y recomendaciones

- Junio 2005**. I Jornadas de la Investigación en la Construcción.** Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Análisis de las técnicas de diagnóstico de la madera estructural.

Proyecto Fin de Carrera

- Vivo Parra**,** Francisco Javier (Mayo 2011) **Apeos y Apuntalamientos de Emergencia.**

Manuales

- Noviembre 2003**. Curso de Apeos y Apuntalamientos. Escuela Nacional de P. civil**
- Octubre 1996**. Manual de Edificación. Consorcio Provincial Bomberos Valencia**
- Martínez Alzamora, Rafael. (Mayo 1998). **Curso de Reciclaje para Bomberos. Edificación. Apeos y Derribos. Consorcio Provincial Bomberos de Valencia.**
- Pérez Ibáñez, Ramón (Septiembre 2006). **Diploma de especialización Profesional Universitario en Servicios de Prevención, Extinción de incendios y Salvamento. Universidad de Valencia.**

- Agradecimiento a **José Vte Pallardó Lozoya. Bombero del CPBV y Arquitecto,** por su colaboración en la edición de imágenes.

8. LOCALIZACIÓN DE VÍCTIMAS

LA LOCALIZACIÓN DE VICTIMAS

Después del derrumbamiento de un edificio sean cuales sean sus peculiaridades, la prioridad pasa por la necesidad de rescatar a las víctimas que ha dejado por su caída. Se pueden encontrar víctimas en la superficie del escombro o atrapadas entre los restos por algunas de sus extremidades, éstas son rescatadas con menor o mayor dificultad, pero en realidad su localización es bastante sencilla, pues se pueden ver o escuchar sus peticiones de ayuda. El principal problema surge cuando finaliza este trabajo y es necesario localizar a aquellas víctimas con las que no existe ningún contacto, o la peculiaridad de desconocer si quedan más víctimas atrapadas en el interior. Ante esta situación en principio solo quedaría la retirada manual de todos los escombros hasta que apareciera la víctima, o bien se haya retirado la totalidad de los restos del edificio, cosa que garantizaría que no queda nadie debajo. Esta solución que a priori puede parecer descabellada es la que se hacía con anterioridad a empezar con técnicas adecuadas de localización.

Ante esta situación, debemos conocer que existen herramientas específicas que podrán ayudar en las arduas tareas de localizar a las víctimas que han quedado sepultadas bajos los restos de un edificio, pues de su adecuada utilización dependerá la vida de éstas, y como no la de los rescatadores que la están exponiendo trabajando en situaciones de máximo riesgo durante la retirada de escombros.

No es lo mismo efectuar una retirada generalizada de escombros, que retirar los que están situados en el punto localizado de la víctima. Ni son iguales los trabajos de rescate si la persona atrapada esta con vida, o si antes de empezar en la retirada de escombros se sabe que la víctima ha fallecido. Los riesgos, e incluso el procedimiento del rescate serían totalmente diferentes si pudiéramos tener de antemano esta información.

Para facilitar a los equipos de rescate este trabajo de localización, existen una serie herramientas específicas, que son las siguientes:

8.1. LOS PERROS DENOMINADOS DE RESCATE O SALVAMENTO

Son una herramienta fundamental para la localización de las víctimas atrapadas y ocultas entre los amasijos de hierro y escombro en que queda un edificio cuando se desploma.

La agilidad y equilibrio del perro le dan unas características muy adecuadas para desplazarse con facilidad y rapidez por los restos del edificio, recorriendo en pocos minutos la totalidad del área afectada en busca de las posibles víctimas. Nos aventajan en rapidez a la hora de desplazarse por las ruinas, pero además al repartir su poco peso en sus cuatro patas, no desestabilizan el escombro a su paso como haríamos nosotros, y además durante la búsqueda se está exponiendo al perro en el trabajo de localización, y no a un número alto de rescatadores retirando escombros de manera indiscriminada.

Su principal cualidad es su olfato, y se caracteriza por disponer de hasta 800 veces más glándulas odoríferas de las que tenemos nosotros, aunque la peculiaridad que le hace idóneo para este trabajo es la capacidad para discriminar los olores, cualidad ésta de la que carecemos los humanos, pues nuestro olfato se satura con un olor dominante. A diferencia de los humanos, el perro tiene la capacidad de separar todos los olores y de entre ellos elegir el que quiere, es decir, en un edificio derruido existirá una acumulación importante de olores, alimentos, productos de limpieza, vehículos y sus combustibles, el polvo residual, etc. para los humanos con toda seguridad solo podrán percibir el fuerte olor del polvo que hay en el ambiente o algún

que otro olor dominante como pueden ser los restos de los productos de limpieza, etc. Pero la capacidad de discriminación del perro hace que aparte de estos olores pueda detectar el olor de la ropa, de los plásticos, del mobiliario, del cableado eléctrico, etc. en definitiva una sinfín de olores y vapores que emanan de entre el escombro, entre todos ellos se encuentra el olor característico de la raza humana, compuesto por las partículas en descomposición de nuestra piel, la transpiración, la respiración, etc. en definitiva un olor concreto que al perro se le ha enseñado a identificar. Estos vapores específicos son trasportados por el aire que filtra a través del escombro, de forma que fluye al exterior.

8.1.1. COMPOSICIÓN

Los grupos especiales de localización con perros de rescate, están integrados por equipos caninos o cinológicos. Cada equipo está compuesto por un guía y su perro, denominados así, pues forman un equipo indisoluble, dado que entrenan y trabajan de forma conjunta durante años para conseguir la efectividad necesaria.

8.1.2. PROCEDIMIENTO DEL TRABAJO DE LOCALIZACIÓN

Los perros de rescate trabajan por venteo, es decir cogen los olores que les trae las corrientes del aire que salen de entre los escombros y las siguen hasta detectar el punto de mayor concentración de salida de olor, marcando mediante el ladrido esta posición. Este nos indica un punto concreto de entre toda la zona, en ese instante es el guía quien estudiando la dirección y velocidad del viento y la configuración del escombro, dará las indicaciones pertinentes sobre la posible localización de la víctima.

8.1.2.1. CONSIDERACIONES A TENER EN CUENTA

- Dado que los perros trabajan mediante el olfato y que lo que tienen que localizar es el olor humano, se les facilitará al máximo su labor despejando el área a registrar de rescatadores, dejando la zona de escombros libre.

- El guía después de valorar la configuración del escombro y área a registrar, decidirá el punto de inicio. Preferiblemente iniciará el trabajo situando al perro de forma que el aire le dé a la cara, es decir recibiendo el máximo de viento posible para que le ayude en su búsqueda. Soltará al perro para que trabaje de forma autónoma, guiado solo a distancia para que pase por aquellas zonas que estime necesarias, de forma que coja todas las corrientes de aire posible que le hagan identificar el punto de localización de la víctima.

- Una vez registrada la totalidad de la zona por un primer perro, haya localizado o no, se pasará un segundo perro de confirmación, que realizará el mismo procedimiento y repasará el trabajo realizado por el primer perro. En caso de que marque los mismos puntos que el perro anterior, se podrá garantizar que en esos lugares se encuentran las víctimas. Si por el contrario el marcaje mediante ladridos, no diera como resultado la misma localización, o el pase de los dos perros diera resultados negativos en la toda la zona, se procede a trabajar mediante el mismo procedimiento con un tercer perro que ratificará el trabajo.

- El Jefe del Grupo de Localización canina, sacará todas las conclusiones sobre el trabajo de los distintos equipos, para identificar y marcar el punto exacto por donde tienen que empezar a trabajar los rescatadores.

- Finalizado el trabajo de localización, los equipos caninos, se mantendrán en la zona para las pertinentes fijaciones de punto o rumbo de trabajo, es decir, los rescatadores irán retirando el escombro, una vez eliminadas unas ciertas capas, un equipo canino entra en esa zona y efectúa una búsqueda. De esta forma el perro irá guiando mediante los sucesivos marcajes la dirección de la retirada de escombros hasta la llegada a la víctima.

- Una vez rescatada la víctima, se procederá a una nueva búsqueda por esa zona, para verificar que no queda ninguna víctima más, pues puede darse el caso de que existan dos víctimas muy juntas pero separadas por una pared, al no poder tener la visual, y el perro en su marcaje inicial si están muy juntas efectúa el marcaje de víctima, pero es incapaz de indicarnos que hay dos juntas. Por ello el último trabajo final nos dará esa información que garantice que no existen más víctimas a rescatar.

8.1.2.2. LIMITACIONES

Los perros, como cualquier persona o herramienta, tienen sus limitaciones, necesitan de tiempos de descanso pues no pueden estar trabajando de forma permanente, pueden sufrir lesiones o enfermedades que les impidan continuar, y como seres que respiran no pueden trabajar en ambientes faltos de oxígenos o con gases contaminantes. Además como su localización es por medio del olfato, es imprescindible que la víctima atrapada no se encuentre en un lugar estanco que impida la salida de su olor a la superficie, aunque esta circunstancia en derrumbamientos rara vez se da, pues la disgregación de los materiales deja grietas y oquedades en el conjunto del escombro. Más bien esta circunstancia se suele dar cuando se trata de corrimientos de tierra húmeda, como el ocurrido en el terremoto de El Salvador, en enero de 2001, donde el corrimiento de toda una ladera de montaña sepulto más de la mitad de una población. La tardanza en poder llegar los equipos caninos a la zona, provocó que tanto los vecinos supervivientes, como los equipos de rescatadores que iban llegado, se pusieran a caminar y trabajar por toda la zona intentando rescatar a los posibles supervivientes, esta circunstancia, hizo que se compactara toda la capa superior cerrando cualquier vía de entrada o salida de aire, motivo por este que dificultó por un lado la supervivencia de los atrapados y por otro la localización mediante la utilización de los cánidos. Finalmente la utilización de los canes fue efectiva mediante el rascado de toda la superficie con maquinara pesada, de esta forma se conseguía regenerar la salida de olores y por ello la localización posterior de los cadáveres.

8.1.2.3. LOCALIZACIÓN DE CADÁVERES

Dentro de las distintas especialidades caninas, se encuentran también los perros localizadores de cadáveres, e incluso los especialistas en localización de restos óseos. Pero este tipo de perros son utilizados por la policía para situaciones muy concretas, por ello difícilmente se va a contar con este tipo de perros para trabajos de rescate.

La finalidad primordial de un equipo canino de rescate es la localización de las víctimas vivas, y para ello son entrenados, pero en su entrenamiento y mediante la localización de un sin fin de personas diferentes, con olores corporales diferentes, con transpiración diferente por estrés, miedo, cansancio, etc. hace que el perro tenga que centrar mucho más el olor, llegando a asociar el olor característico que identifica a la especie humana. Esta peculiaridad hace que aunque sean entrenados para la localización de vivos, si durante la búsqueda encuentran un fallecido, en él existe también el olor que lo distingue como de la raza humana, la diferencia es que los olores que rodean a éste no son el de la respiración, transpiración, etc. sino el de la putrefacción que empieza a generarse desde el mismo momento de morir. Esto hace que el perro tenga una atracción por marcar pues hay un olor conocido, pero le asusta el olor que lo envuelve, de esta manera el perro realiza una serie de movimientos y reacciones características que dan a entender al guía que lo que está localizando es una víctima muerta. En grandes catástrofes suele suceder que pasados los primeros días y cuando el índice de víctimas fallecidas y sepultadas es alto, éstas entran en un grado de descomposición elevado y generalizado, está cantidad de olor fuerte de la putrefacción general, hace que el perro la discrimine y se centre en exclusiva a la búsqueda de víctimas vivas. Llegados a este punto, el olor es tan marcado que en realidad el perro ya no es necesario para conocer el punto de salida de olor de un cadáver.

8.1.3. CONCLUSIONES

La utilización de este tipo de equipos de localización, no solo se realiza para encontrar la víctima atrapada, sino que además son utilizados de forma habitual, para el descarte de esta posibilidad. Es decir, ante cualquier derrumbamiento, en el cual exista la simple duda de que debajo de los escombros se encuentre una persona, bien en el interior del edificio o con la posibilidad de que se hallara transitando en ese preciso momento por la acera afectada, se requiere un trabajo de descarte de posibilidades, de esta forma se garantiza la no existencia de personas en la zona concernida, todo esto antes de proceder a la retirada de escombros por medio de maquinaria pesada. Pues se ha dado el caso de que en alguna de estas situaciones, se ha procedido de forma precipitada a la retirada de los escombros por medio de maquinaria pesada, con las consecuencias de haber seccionado algunos cuerpos en estas maniobras.

Durante muchos años los equipos caninos están siendo una herramienta fundamental a nivel internacional para la localización de las víctimas atrapadas, aun contando con la impresionante evolución tecnológica que se ha vivido en los últimos años, no se ha podido generar una herramienta que pueda sustituirlos en estos trabajos. En algunos campos se han podido diseñar herramientas que completan su trabajo, y que pueden ayudarnos en algunos casos a centrar de forma más exacta la posición de la víctima, entre estas podríamos destacar, los geoestereófonos, las micro-cámaras y el escáner.

8.2. MEDIOS ELECTRÓNICOS DE ESCUCHA

A lo largo de los años, la evolución tecnológica en el campo de la localización, ha conseguido que actualmente podamos disponer de herramientas cada vez más efectivas, aunque por desgracia con ciertas limitaciones, tanto en las posibilidades de utilización, como en la rapidez de la localización.

8.2.1. DESCRIPCIÓN

Dentro de los distintos medios electrónicos de escucha podemos destacar los geoestereófonos. Existen varios países y marcas que diseñan y fabrican este tipo de aparatos, pero aunque estéticamente son muy diferentes y su instrumental es parecido, su base de funcionamiento es el mismo. La finalidad de éstos es poder localizar a la víctima escuchando su voz o bien los sonidos que pueda emitir dando golpes, rascando, etc. De forma global y sencilla podríamos decir que estos aparatos amplifican estos sonidos para que el especialista que lo maneja pueda identificarlos, y de esta forma centrar su posición.

Estos aparatos han evolucionado de forma importante en los últimos años, pasando de disponer de dos sensores sísmicos y uno acústico, que se montarán según las necesidades o posibilidades de la búsqueda a realizar, a los más actuales de 6 sensores que son al tiempo acústicos y sísmicos. Algunas marcas están apostando por eliminar cables y hacerlos inalámbricos, aunque en estos momentos podernos encontrarnos en situaciones, donde teléfonos móviles, emisoras, etc. pueden provocar algunas pequeñas interferencias, que no son sencillas de identificar.

Los sensores sísmicos detectarán y transmitirán todas aquellas vibraciones, que se puedan transferir a través del escombro, tanto las producidas por la víctima, como las ocasionadas por trabajos de rescate colindantes, animales, agua, viento, etc. por lo tanto es trabajo del especialista en su manejo, el poder filtrar todos estos sonidos y distinguir el que posiblemente esté realizando la víctima para ser localizada. Los acústicos recibirán una amplificación de los sonidos producidos y transmitidos por la víctima, pero también de todo lo que exista a su alrededor, así como sonidos ambientales del tráfico lejano, otros equipos trabajando, etc. por ello todos los aparatos de estas características disponen de teclas de introducción de filtros de frecuencia, alta, media o baja, que hacen eliminar ciertas interferencias o sonidos externos a la víctima. Va a ser necesaria una gran destreza y capacidad de discriminación del especialista, para poder identificar el sonido propio de la víctima.

Cada uno de los sensores de estos aparatos, tiene un radio de cobertura dependiendo de la marca o modelo del aparato utilizado, y de ello dependerá la táctica o técnica a emplear para la búsqueda, aunque en su mayoría estaríamos hablando de unos 10 metros de radio sobre cada sensor, teniendo además en cuenta que realiza un trabajo circular, es necesario colocarlos a una distancia en la que se solapen los alcances para evitar dejar puntos ciegos para la detección. Los sensores que disponen para su conexión de cable, para evitar errores, suelen tener la longitud máxima permitida de separación de sensores.

Otro factor fundamental a tener en cuenta en la utilización de estos sensores, es la configuración de la estructura colapsada y el tipo de material empelado, pues la transmisión de las vibraciones que emite la víctima, dependiendo del material y la configuración de continuidad va a influir en la información recibida. No es lo mismo colocar un sensor sobre una placa compacta de hormigón armado, que está unida mediante los pilares del mismo material a las distintas placas y estructuras del edificio, que colocarlo sobre restos de tabiquería y materiales disgregados del edificio.

Estos sensores van unidos mediante cableado independiente hasta el aparato principal. Cada uno de ellos lleva una tipificación bien por nombre, número o color, para poder identificarlos de forma clara y saber qué información recibimos de cada uno de ellos.

8.2.2. PROCEDIMIENTO DE TRABAJO

Para realizar una búsqueda mediante este tipo de aparatos, es necesario disponer de un ambiente libre de sonidos, pues a mayor contaminación acústica mayor dificultad de discriminación sonora para la identificación de la víctima. Además si se parte de la idea de que para poder localizar a la víctima, esta debe emitir sonidos, está claro que solo podremos localizar a personas vivas y por supuesto conscientes.

Existe otro detalle a tener en cuenta, y es la posibilidad bastante frecuente de que la víctima pasado el primer momento del derrumbamiento, y unido al sonido ambiental exterior que le sucede, es decir, gritos, lloros, sirenas, vehículos, movimiento de gente por el escombro, etc. entre en un letargo de supervivencia, es decir desconecta todos aquellos sentidos que el cuerpo identifica que no son necesarios, si siempre está viendo lo mismo, cierra los ojos, si no necesita tocar nada, mejor quedarse quieto, que si el sonido es monótono y constante, mejor desconectar, es una maniobra del subconsciente para ahorrar el máximo combustible de su cuerpo, pues no sabe cuánto tiempo tiene que estar atrapado sin poder salir. Por lo tanto si de alguna forma desconecta el oído, no podrá diferenciar entre unos sonidos u otros, por ello es casi imposible que pueda atender a las llamadas o indicaciones que se le puedan hacer desde el exterior para atraer su atención y con ello localizarle.

Por todo esto es primordial que el conseguir el silencio absoluto antes de cada ciclo de búsqueda, al detener de forma clara ese sonido ambiental se consigue que la víctima despierte de ese letargo y preste atención para ver que está sucediendo, esto que parece que no tiene una lógica clara lo estamos comprobando con frecuencia cada vez que nos quedamos dormidos con la TV enchufada, si alguien se acerca y sube el volumen no afectará a nuestro sueño, pero si la apaga, automáticamente nos despertamos. Este tipo de reacción es el que se debe de aprovechar de la víctima, pues al hacer el silencio, ésta despertar del letargo, momento fundamental para realizar una serie de golpes rítmicos con intensidad sobre algún punto de la estructura, dado que el sonido se transmite mucho mejor a través de golpes que de voces, y además teniendo en cuenta que para este tipo de localización es mejor que la víctima responda también con pequeños golpes rítmicos sobre la superficie que se encuentre, pues por un lado va a suponer un menor esfuerzo de comunicación, evitamos que trague polvo, y además es más sencillo reconocer esos golpes rítmicos o arañazos que las voces para estos aparatos. Inconscientemente la víctima al oír ese sonido tiende a contestarlo, imitando dando golpes rítmicos sobre la superficie en la que se encuentra. De esta forma se consigue por un lado minimizar los sonidos a percibir por el especialista y por otro que la víctima realice unos sonidos más fácilmente identificables.

8.2.2.1. SENSORES

En este punto ya se dispone de los sensores colocados en su sitio, en la distancia aconsejada por el fabricante pero teniendo en cuenta que sean puntos de buena transmisión sonora, como ya se ha comentado pero que es importante incidir, es decir, partes de la estructura por donde el sonido y las vibraciones se transfieran de forma fiable, forjados, pilares, vigas, etc. evitando su colocación directa sobre escombro de poca cohesión. Transfiere mejor el sonido el hierro que el hormigón, pero éste es mejor que la tierra o arena, por ello es importante reconocer el material sobre el que se coloca el sensor, un detalle sobre este tema importante es que a primera vista podríamos pensar que la madera es mala transmisora de sonidos o vibraciones, pero no es el caso, el problema de ésta es su continuidad, pues normalmente se trata de vigas o tablones entrelazadas con restos de construcción que cortarán o frenaran la transmisión de sonidos.

8.2.2.2. RASTREO

El procedimiento del rastreo es secuencial, partiendo de una posición inicial, se va avanzando colocando los sensores en los puntos estratégicos, buscando identificar el sonido que emite la víctima. En cada uno de estos cambios de posición de sensores, se debe iniciar la escucha efectuando la llamada característica.

En el momento que en alguno de los sensores se detecta un sonido que puede ser identificado como de la víctima, se procederá a ir centrando el recorrido del resto de sensores y por lo tanto la búsqueda hacia esa dirección y efectuando rotaciones según la diferencia de intensidad de sonido entre un sensor u otro, hasta que se pueda escuchar perfectamente igual el sonido emitido en ambos sensores, o bien que la distancia entre ellos ya sea razonablemente corta, punto este que indica que la víctima está localizada y centrada en esa posición.

A mayor número de sensores mayor rapidez de trabajo.

Si se compara este procedimiento de búsqueda con los perros de rescate, está muy claro que es mucho más lento y dificultoso, pero es ideal para trabajarlo de forma combinada. Una vez localizada la salida de olor por el perro, si se trata de una placa de forjado, se puede saber que la víctima se encuentra debajo de esa placa, pero si es de grandes dimensiones no será fácil identificar en qué punto exactamente. Ahí entra el trabajo del aparato de escucha, pues será más fácil centrar y marcar un punto mucho más exacto, con la ventaja de no haber tenido que realizar diferentes secuencias de búsqueda por la totalidad del edificio derruido.

8.2.2.3. SENSOR ACÚSTICO

Estos aparatos suelen disponer de sensor acústico aislado, dependiendo del modelo, suele tener unas dimensiones similares al de los sensores sísmicos, o totalmente diferente en otras marcas, pero dotados de un micrófono y un altavoz bastante potentes, unido este mediante un cableado al aparato principal. De esta forma puede ser utilizado introduciéndolo en las cavidades del escombro para escuchar y hablar con la víctima una vez establecido el contacto.

Esto puede utilizarse tanto para su localización, como durante los trabajos de desescombro, de esta forma se mantiene la comunicación con la víctima y puede informar de lo que ve o de las consecuencias que le están provocando los trabajos que se están realizando. Existe otro detalle importantísimo referente a la comunicación, es la necesidad de mantener en todo momento este vínculo de unión entre víctima y rescatador, desde el primer contacto hasta su rescate la comunicación no puede cesar. La persona atrapada ve como única posibilidad de salida esa voz que le escucha y responde, si se detiene esa vía, teniendo en cuenta que este tipo de rescates es muy laborioso y las labores se pueden prolongar durante horas, la víctima que se veía rescatada y con una subida fuerte de adrenalina y esperanza, caerá en una sensación de abandono y desesperación que en la mayoría de los casos llega a provocarle la entrada en coma.

8.3. MINI-CÁMARAS O MICRO-CÁMARAS

Además de los distintos medios de localización expuestos, existen infinidad de ellos, pero es importante centrarse en aquellos que mejor podrán ayudar para la adecuada localización y rescate de la víctima.

Las mini y micro-cámaras, pueden ser indicadas para la localización mediante la introducción de estas en las distintos huecos que ha dejado la configuración del edificio en su derrumbe. Mediante estas herramientas solo se puede tener acceso visual a aquellos puntos donde el escombro lo permita, y el control visual de cada espacio lleva a determinar que el procedimiento de búsqueda por este medio es muy lento, por lo que

aunque en un momento dado puede ser utilizada para una búsqueda generalizada, en realidad su adecuada aplicación es como complemento en el rescate.

Su utilización es muy efectiva para adelantar la visión de lo que tenemos detrás del escombro a retirar, o para ver el efecto que produce aquello que movemos sobre la víctima o sobre su espacio. Por ello podríamos denominarla como una herramienta complementaria dentro de las operaciones de búsqueda y rescate.

En este campo la tecnología ha evolucionado rápidamente, realizando equipos cada vez más pequeños, con cámaras más reducidas, con mayor movilidad y articulación, con mayor resolución de imagen en la oscuridad, dotadas de iluminación, etc. En la actualidad se puede llegar a disponer de cámaras complementada en su extremo con micrófono y altavoz, dotadas además de visión de infrarrojos, con pértiga extensible y articulada a distancia, y con la posibilidad de grabar las imágenes para poder valorarlas a posteriori, o incluso con medidor laser de temperatura. Todo esto las puede hacer ser más versátiles, pero aun así disponen de muchas limitaciones.

Existen modelos con el cabezal de la cámara fijo, otros con cabezal articulado que gira 90 grados, otros con cabezal fijo pero giro de la óptica de la cámara con movimientos de 180 y 360 grados. Cada uno de los sistemas da unas ventajas a la hora de mejorar las labores de trabajo, pero independientemente de la cámara que se utilice la técnica a emplear es siempre la misma.

8.3.1. PROCEDIMIENTO DE TRABAJO

Cuando se introduce la cámara por una grieta o agujero se va a encontrar con una serie de limitaciones, la configuración de los restos en el interior del hueco a revisar dificultará por un lado la visión y por otro la movilidad de la cámara, por ello sin una táctica adecuada de trabajo va a ser muy complicado que no quede ningún espacio por visualizar. Para ello se utiliza la siguiente técnica:

Se introduce la cámara justo hasta el punto de sobrepasar el grosor del material que lo limita, forjado, tabique, etc. se realiza una visualización desde ese punto. Se seguirá introduciendo hasta que penetre la

articulación de rotación, en ese punto se inclinará el objetivo a 45 grados, y se realizará una rotación de visualización completa de 360°.

Finalizado este punto, se pasa a colocar el objetivo en una inclinación de 90°, para continuar con la visualización completa de 360°. Esto garantiza la revisión al completo de esa zona.

Si existen obstáculos que limiten la visión o la profundidad es amplia se irá introduciendo y repitiendo la sistemática de búsqueda en cada uno de los puntos.

8.4. LOCALIZACIÓN POR MEDIO DE DETECTORES ESCÁNER

Es el último de los sistemas desarrollados para la localización, utiliza señales de banda ultra ancha para medir distancias y detectar el mínimo cambio de distancia entre el aparato y el punto detectado, por lo que cualquier movimiento que realice la víctima es detectado y lo indica en la pantalla. En la detección, indica además a la profundidad a la que se encuentra. A priori puede parecer el aparato perfecto, pero tiene muchas limitaciones en su uso real.

8.4.1. LIMITACIONES

- El agua. Se puede dañar si está lloviendo, pero es que la humedad puede provocar errores en el marcaje y además solo con pocos milímetros de agua las hondas ya no dan la indicación correcta.
- El hierro. Las planchas metálicas impiden el paso de las hondas, y una gran cantidad de hierro en la estructura también dificulta los trabajos de detección.
- Animales u objetos en movimiento. En el radio de trabajo los movimientos que puedan estar realizándose ajenos a la posible víctima también serán identificados por lo que puede dar errores importantes.
- Tiempo. Realiza lecturas de unos 15 metros cuadrados desde su posición, la lectura la realiza en profundidad de 3 en 3 metros hasta la distancia máxima de 30 metros, en espacio abierto. Esta lectura suele tardar entre 4 y 5 minutos. La lectura se debe realizar varias veces consecutivas y cambiando un poco de posición el aparato para dar un resultado fiable.

8.4.2. PROCEDIMIENTO DE TRABAJO

Por todo ello es un aparato electrónico más a disposición de los equipos de rescate para ayudar en la localización de víctimas atrapadas, tiene un gran potencial, pero hay que conocer bien sus limitaciones, realizar una buena lectura de la estructura colapsada y sus materiales.

Como todos los demás medios electrónicos descritos es un proceso lento de trabajo para realizar un rastreo general de la zona, pero es una buena herramienta complementaria al trabajo de los equipos caninos.

Una de las ventajas sobre los detectores de sonido, es que no necesita del silencio, ni que la víctima responda, por lo tanto podría localizar a víctimas inconscientes siempre y cuando se encuentren en una posición que la respiración y/o los latidos del corazón puedan ser detectados por el aparato.

El proceso de trabajo con este detector se realiza mediante cuadriculas de unos 15 metros cuadrados, haciendo varias lecturas en cada una de ellas, de esta forma se va cambiando de cuadrícula en cuadrícula

hasta que se termina la zona a registrar. Uno de sus ventajas es que se puede utilizar para lecturas en vertical sobre una placa de hormigón o zona de escombros, pero además se puede colocar para lectura en horizontal entre los distintos forjados colapsados.

8.5. LOCALIZACIÓN POR MEDIOS DE FORTUNA

Aunque lo adecuado sería utilizar las herramientas anteriores, no siempre los servicios de emergencia van a poder contar con ellas en un primer momento, por ello es importante saber qué hacer para localizar a los posibles supervivientes sin disponer de equipos o medios especializados.

8.5.1. PROCEDIMIENTO DE TRABAJO

En este tipo de situaciones donde las dotaciones que llegan en primer lugar se encuentran con que tiene víctimas desaparecidas entre el edificio derruido, pero no disponen de herramientas específicas de localización, lo más adecuado es emplear algunos de los sentidos, es decir la vista, el oído y la voz, uniéndolo a la lógica del trabajo como si de los aparatos de escucha y visión se dispusiera. A falta de sensores y cámaras se dispone de rescatadores que asumirán su función.

A todo ello unimos la información y la observación, para poder plantear el procedimiento adecuado de trabajo según la configuración del edificio derruido.

8.5.1.1. EDIFICIO O ZONA DAÑADA O SEMIDERRUIDA

El edificio o zona está dañada o semiderruida, pero con grandes espacios de supervivencia, es decir que se pueden encontrar con una distribución clara de las viviendas teniendo que registrar su interior para intentar localizar a los desaparecidos. Estos se pueden encontrar a la vista o semienterrados bajo pequeñas capas de escombros.

En este caso se utilizará la técnica de rastreo siguiendo un orden establecido a derechas, iniciando el trabajo desde un punto y registrando habitáculo por habitáculo empezando por el primero de la derecha, rastreando su interior también hacia derechas, tomado como referencia las paredes. Visualizando los escombros y

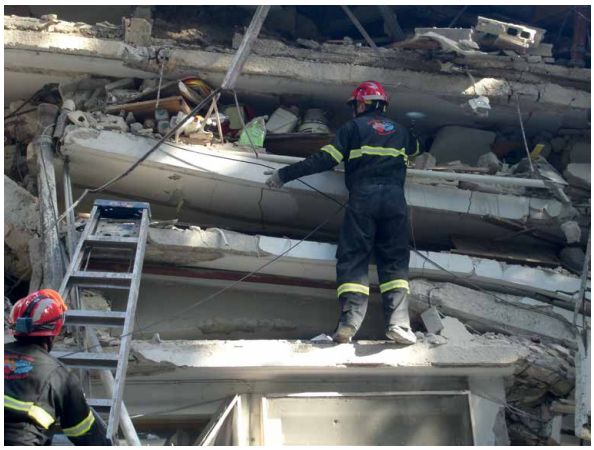
enseres para identificar la presencia de alguna víctima, se podrán apartar o levantar con cuidado algunos muebles o escombros para poder ayudar en la visualización de la víctima.

En caso de que exista un mayor volumen de escombros o enseres, se debe llamar y escuchar a la víctima para ayudar en su localización.

En este tipo de derrumbamientos, es muy habitual que se encuentren en situación de inestabilidad acentuada, por lo que el rastreo se debe de realizar con el mínimo de rescatadores necesarios para evitar grandes riesgos.

8.5.1.2. EDIFICIO CON LA CESISÓN DE TODOS LOS PILARES

Derrumbamiento por la cesión de todos los pilares, por lo que las placas de forjados se encuentran superpuestas unas encima de otras. El rastreo se realizará situando a los rescatadores bordeando el edificio pegados lo máximo posible a sus laterales, situados a una distancia entre ellos de entre 2 y 3 metros.



Será necesario el silencio pues el método a utilizar será la llamada y escucha de la víctima, el mando dará la orden y todos a la vez llamarán a la víctima para intentar que responda.

Se realizará repitiéndolo en cada una de las plantas aplastadas entre forjados, empezando por la inferior e ir subiendo hasta la última, evitando moverse de la vertical marcada por cada uno de los componentes.

En el momento que alguno escuche algo, él no se mueve y los que tiene a su lado si no han escuchado nada reducirán distancia con él, de forma que entre los tres puedan identificar con la mayor exactitud posible la localización de la víctima.

Es importante tener en cuenta que si se desconoce el número total o se sabe que hay más de 1 desaparecido, en caso de localización, uno de los rescatadores se queda con la víctima, pero hay que intentar terminar con el trabajo entreplantas de rastreo de esa zona antes de proceder a los trabajos de rescate, de forma que se puedan asegurar de que no existe nadie más en la zona de trabajo del rescate.

8.5.1.3. GRANDES ACUMULACIONES DE ESCOMBROS

Cuando la zona derruida a registrar a quedado con gran acumulación de escombros, pero bastante abierta. Primera foto, segunda foto y tercera foto. Se distribuyen a los rescatadores por el perímetro del escombro a rastrear, de forma que la separación entre cada uno de ellos permita tener un contacto visual y verbal sin dificultad, entre 2 y 3 metros.

Se conseguirá el silencio en la zona y a la orden del mando se efectuaran en conjunto dos llamadas consecutivas hacia la víctima, después se escucha en silencio, si nadie recibe una respuesta, se avanza entre dos y tres metros hacia el interior, dependiendo de la dificultad del escombro y se repite la secuencia.

En el momento que alguien escucha algo, aunque sea insignificante, éste no se mueve y son los demás los que seguirán en su avance hacia él.

Se irán repitiendo las secuencias hasta el momento en que tres del equipo de localización escuchen la respuesta, momento éste en que hemos centrado su posición.

Si durante el avance del rastreo los intervinientes encuentran una oquedad, pueden mirar, llamar y escuchar desde su interior, pero lo importante es que sea un trabajo coordinado y al unísono, para evitar llamadas a destiempo que distorsionen el trabajo.

9. MANIPULACIÓN DE VÍCTIMAS EN DERRUMBAMIENTOS

9.1. ACLARACIONES

Es muy importante indicar, que aunque de forma general la recogida o manipulación de las víctimas en bomberos mantiene una línea que busca la seguridad de la víctima por encima de muchos otros factores, dependiendo de cada especialidad concreta, excarcelación, rescate en altura, desescombro, etc. se van a encontrar factores diferenciadores entre ellos, que van marcados por las condiciones, espacio, materiales, lesiones, etc. característicos de cada una de ellas. Por ello cuando se habla de una determinada maniobra de manipulación de una víctima, dependiendo de la especialidad van a encontrarse diferentes indicaciones de ejecución, que en ningún momento son contradictorias, sino complementarias afines a la especialidad.

9.2. REGLAS GENERALES DE LA MANIPULACIÓN DE LA VÍCTIMA

Cuando se habla de la manipulación de una víctima en derrumbamientos, se quiere incidir sobre el condicionante que va a marcar el escenario en el que se encuentra y por ello las distintas maniobras con peculiaridades muy concretas para garantizar la seguridad en estos ambientes.

Una característica que va a marcar las condiciones de la manipulación y el rescate, es la disponibilidad de herramientas o medios, por ello es importante diferenciar entre la intervención para el rescate de una víctima en un derrumbamiento o la situación de encontrarse con el tener que efectuar el rescate de una cantidad importante de víctimas de una catástrofe, disponiendo de un número muy reducido de herramientas o medios. Para el primer caso se dispondrá de material para elegir, camillas de diferentes tipos, tablas espinales, ferno, collarines, etc. pero para el segundo caso los medios que pueden llegar al lugar puede que sean reducidos y no exista posibilidad de elección de herramientas, o incluso puede llegar el momento en el que se deban utilizar puertas como improvisadas tablas espinales, o prendas de ropa enrolladas como improvisados collarines. Pero todo esto no puede marcar una diferencia en la calidad de la manipulación, sino que el rescatador debe adaptarse a los medios pero manteniendo la efectividad en la seguridad a la víctima y eligiendo la maniobra más adecuada para cada una de las situaciones.

9.2.1. PUNTOS A TENER EN CUENTA

- Evitar el movimiento de la columna vertebral, desde la región cervical a la sacra.
- Controlar el movimiento de las extremidades que puedan tener daños o fracturas.
- Minimizar los movimientos y desplazamientos.
- Impedir que la maniobra a realizar pueda agravar cualquiera de las lesiones de la víctima.

9.2.2. CONTROL CERVICAL

El control cervical se llevará a cabo desde el momento que se llegue y pueda establecerse el contacto de forma física con la víctima, hasta su evacuación final. Es decir, que o bien debemos controlarlo físicamente sujetándolo con las manos durante todo el tiempo, o bien poner los medios y herramientas necesarias para conseguirlo (collarín, dama de elche, etc.) Sea de la forma que sea lo importante es conseguir evitar cualquier mínimo movimiento de la cabeza que pudiera dañar a la víctima con posible daño medular.

9.2.2.1. TRACCIÓN CERVICAL

Dado que no es sencillo poder determinar con exactitud que la víctima no tiene lesiones cervicales producidas por el accidente, siempre se optará por la colocación del collarín, lo que se debe tener en cuenta que es prácticamente imposible su colocación sin realizar algunos movimientos de la cabeza de la víctima, por ello es imprescindible para garantizar el que estos movimientos no puedan agravar sus lesiones, el realizar una adecuada tracción cervical.

Para realizar está tracción es importante la colocación adecuada de las manos para la sujeción de la cabeza, como se puede observar en la imagen siguiente, estas deben realizar una mayor presión sobre las palmas de las manos que sobre los dedos, pues el apoyo de los dedos es más directo sobre puntos concretos y solo es una ayuda, la presión sobre ellos es muy dolorosa para la víctima.

Una adecuada tracción no se limita a realizar una pequeña sujeción de la cabeza, sino hay que tener en cuenta que para recolocar la cabeza y poner el collarín puede que tengamos que hacer movimientos importantes y por ello la fuerza de tracción debe ser la necesaria para liberar al máximo la presión cervical en los movimientos. Es importante que todo rescatador practique y conozca la fuerza necesaria a realizar de tracción, pues va a ser similar en la mayoría de las víctimas. Para conocer y practicar esta fuerza, se puede realizar sobre una víctima ficticia, la cual se debe poner de cubito supino y en estado de relajación muscular, a partir de ahí colocando las manos para realizar la tracción estiramos de forma recta hasta que

podemos observar un ligero movimiento de la punta de los pies, esa fuerza que consigue mover la punta de los pies es la que indica que la tracción es correcta, y por ello es esa fuerza la que tenemos que memorizar para aplicarla en las tracciones sobre una víctima real.

Durante la colocación del collarín, la tracción se debe mantener hasta el final, por ello es necesario ir desplazando las manos según se va colocando para evitar molestar en su colocación, pero ello no debe menguar la fuerza de tracción. Estos cambios los podemos ver en las siguientes imágenes.

9.2.3. ORDENES DE MANIPULACIÓN

Para poder realizar unas buenas y efectivas maniobras de manipulación y rescate de la víctima, es imprescindible que estas maniobras y sus movimientos se realicen de forma unificada, a velocidad constante y perfectamente sincronizados en tiempo.

Para ello el mando debe indicar a los rescatadores perfectamente la maniobra a realizar, sus posibles pasos y dificultades a encontrar, de forma que todos sepan exactamente que se va a realizar.

El mando además indicará a cada uno su posición y papel a desarrollar en la maniobra, buscado según sus cualidades la posición más idónea de colocación.

Las órdenes a emplear para el **inicio de la maniobra** serán las siguientes:

- PREPARADOS PARA... Indicando para que se deben preparar, arrastrar, elevar, desplazar, etc. En este punto los rescatadores valoran si se encuentra preparados para la maniobra, en caso que no estén aún en la posición correcta para ello indicarán NO o STOP, para detener el proceso de órdenes hasta que se esté apunto y se avisa de ello para empezar la secuencia de órdenes.

- TENSIÓN, momento en que la totalidad de rescatadores implicados en la maniobra ejercen un primer punto de tensión y rigidez para preparar el movimiento.

- YA, orden de inicio de la maniobra.

Estás órdenes deben respetar una secuencia de tiempos estables, manteniendo un tiempo aproximando de 2 segundos de intervalo entre ellas, de forma que garantice que todos la han comprendido y preparado, pero además transmite una tranquilidad de tiempos que haga que la maniobra se realice con movimientos muy lentos. Si la secuencia de órdenes se da de forma rápida la respuesta puede ser desigual y da a entender y provocar movimientos y desplazamientos rápidos.

Durante la realización de la maniobra:

Si durante la realización de la maniobra y sus movimientos, tanto el mando como cualquiera de los rescatadores detectan en un momento dado un problema hacia la víctima o hacia él mismo, dará rápidamente la orden de STOP, para que la maniobra se paralice en ese punto y se valore su continuación.

Una orden habitual y necesaria en algunas maniobras en la introducción de la tabla debajo de la víctima que hemos elevado por ello, en el momento adecuado se dará la orden de METER TABLA, para que el que este asignado la coloque en su posición.

Órdenes a emplear para el **final de la maniobra:**

Si la maniobra que se está realizando implica una elevación de la víctima, a la hora de depositarlo en la posición correcta necesitará también de unas órdenes que garanticen que baje al tiempo y ritmo. En este caso ya no es necesario indicar las palabra preparados y tensión, pues todos están preparados y en tensión pues están soportando el peso de la víctima. Para ello se emplearán las siguientes:

- BAJAMOS, se indica la maniobra a realizar, normalmente será bajar, pero puede que se necesite indicar alguna información mayor, como Bajamos desplazando a derecha de la víctima, o cualquier indicación que se crea oportuna para mejorar el desplazamiento.

- YA, orden de inicio de la acción.

9.3. MANIPULACIÓN DE VÍCTIMAS EN ESPACIOS ABIERTOS

En esta especialidad, es frecuente encontrar o localizar víctimas en superficie, o bien que se han tenido que retirar objetos o materiales que las cubrían de forma parcial, pero todo ello teniendo en cuenta que para su manipulación se va a poder disponer de un espacio relativamente amplio de trabajo, aunque por la configuración del derrumbamiento lo habitual es encontrar ciertos obstáculos que no se pueden eliminar y que pueden dificultar la maniobra. Por ello es necesario disponer de un abanico de técnicas diferentes para elegir en cada situación aquella que mejor se adapte al escenario y las lesiones de la víctima.

Hay que destacar que en este tema no se va a entrar en cuanto a las primeras maniobras de exploración del estado de la víctima, ni en los pasos a seguir, pues se da por obvio que se explica perfectamente en otras partes de este temario. Se parte del supuesto que se le han realizado las primeras exploraciones y ahora lo necesario es su manipulación para colocarla sobre una tabla espinal.

Para todas estas maniobras los rescatadores llevarán guantes de látex, nitrilo o vinilo de protección y por encima unos guantes anticorte que no se quitarán durante toda la maniobra, si por necesidad e higiene fuera necesario manipular partes lesionadas de la víctima y por ello fuera necesario hacerlo en contacto directo con guantes de látex, nitrilo o vinilo, éstos se colocarían por encima de los anticorte, pues el trabajo en escombros conlleva un riesgo altísimo de cortes, al no poder proteger toda la superficie de trabajo. La porcelana y el gres son dos elementos comunes en la construcción y cuando se rompen dejan aristas afiladas y cortantes que no siempre están visibles, por ello cuando colocamos las manos por debajo de la víctima para su manipulación podemos encontrarnos con estos materiales y provocarnos graves heridas en las manos.

9.3.1. TÉCNICAS DE ELEVACIÓN DE VÍCTIMA

Son aquellas que hace necesario que para poder colocar a la víctima sobre la tabla espinal es imprescindible su elevación compacta. Las podemos dividir en:

9.3.1.1. MANIOBRA DE ELEVACIÓN BÁSICA

Se trata de elevar en bloque a la víctima, lo justo para poder colocar la tabla por debajo de ella, sin que este movimiento de elevación pueda agravar ninguna de sus posibles lesiones. La altura de elevación va a depender directamente del escombro que se encuentre debajo de ella, pues si es una superficie limpia, la tabla se deslizará fácilmente, por lo que la altura necesaria será de unos 8 cm., pero si existe escombro bajo ella, el desplazamiento es más complicado y la altura será aproximadamente unos 8 cm por encima de los vértices más elevados.

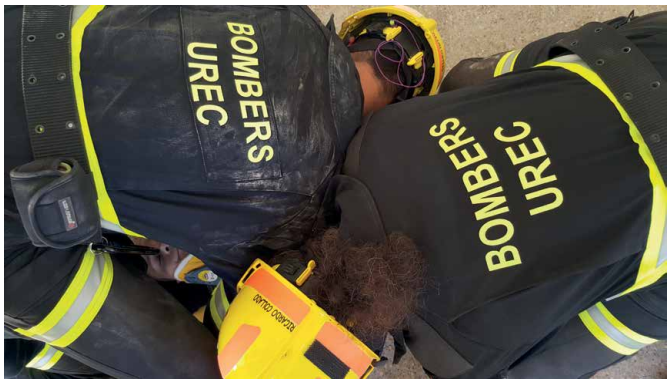
9.3.1.1.1. DECÚBITO SUPINO

Para esta maniobra son necesarios 5 componentes del equipo de rescate, y su colocación es primordial para el éxito de la misma.

- CABEZA. El rescatador se sitúa con una rodilla en el suelo y sujetando la cabeza de la víctima. Según se puede observar en la siguiente imagen. Junto con otro rescatador le colocan el collarín efectuando la tracción correspondiente. Finalizado este paso cambia la posición de las manos para proceder a la maniobra de elevación, las colocará introduciéndolas por los dos lados de la nuca en forma de V, hasta que se toquen en el inicio de la espalda, después cierra los antebrazos para poder sujetar con ellos la cabeza. Realiza un apriete con los antebrazos, **en ningún momento** los colocará por debajo de la cabeza, pues está seguirá estando apoyada en el suelo. Esta posición le garantiza estabilidad y además mantiene un contacto con las manos sobre la espalda, por lo que notará a la perfección la elevación de la misma y así podrá acompañarlo elevando la cabeza de la víctima a la par. Quien sujeta la cabeza será además el que dé las órdenes de elevación y bajada de la víctima. Si se dispone, será el sanitario el que se encargue de esta posición.

- HOMBROS. El encargado de esta posición se colocará con las piernas abiertas sobre la víctima, un pie a cada lado de la misma, con los hombros de la víctima colocados justo a la línea de las rodillas del rescatador. Quedando de espaldas a la cabeza de la víctima. En la siguente foto. Desde ahí pasará a cogerle los hombros por el exterior, sujetándolos firmemente. Se evitará en todo momento ayudarse cogiéndose intencionadamente de la ropa de la víctima para tener mayor agarre, pues nada nos puede garantizar que no se rompa al hacer sobre ella toda la fuerza de elevación. La sujeción se realizará según se puede ver en la siguente foto.

- CINTURA. Se le denomina cintura, aunque en esta posición de maniobra el punto de agarre del rescatador no va a ser la cintura, sino desplazará las manos más hacia abajo para coger directamente de las nalgas. en la siguente foto. Este punto es muy importante dado que hay que tener en cuenta que si la fuerza de elevación la realizamos justo desde la cintura estaremos forzando la columna en una posición antinatural y por ello podemos provocar o agravar lesiones. El rescatador se colocará con las piernas sobre la víctima, un pie a cada lado de la misma, de frente al que sujeta los hombros, de forma que al coger a la víctima busquen los dos apoyarse hombro con hombro, para conseguir por un lado la estabilidad y por otro el tener un punto de apoyo que les dé un punto más de fuerza conjunta. En la siguente foto.



- PIERNAS. Es una de las partes más importantes de sujeción de esta maniobra, pues son frecuentes las lesiones no visibles de estas extremidades, que una mala manipulación puede provocar fuertes dolores a la víctima y que provocará movimientos inesperados de ésta que agravarían con ellos posibles lesiones medulares. Por ello es fundamental realizar una manipulación pensando siempre en estas posibles lesiones. La colocación del rescatador será mirando en dirección a la cabeza, con una rodilla en el suelo para tener estabilidad y dejando espacio para que al elevar la punta de los pies de la víctima pasen por detrás sin tocar las piernas o el culo del rescatador. Para una buena sujeción de las piernas

se debe de pasar un brazo por debajo de las dos piernas de la víctima a la altura de los muslos, y el otro brazo se pasa de la misma forma, pero a la altura de los gemelos. Cada uno de los brazos sujetará las dos piernas. Para elevarlas las abrazará sobre su pecho. Se puede ver en la primera foto y segunda foto.

- TABLA. Uno de los rescatadores es el responsable de la colocación de la tabla debajo de la víctima en el momento que es elevada, para ello estudiará a priori el tipo de escombro que se va a encontrar y la posibilidad de introducción, si va a ser por los pies o por la cabeza de la víctima, en caso de poder elegir siempre se buscará la posición más favorable que es por los pies. La colocación se hará teniendo en cuenta que la tabla debe llegar para el apoyo correcto de la cabeza, en el caso que la víctima sea muy alta y no quepa en su totalidad sobre la tabla es preferible que sobresalgan los pies de la misma.

- MANIOBRA. Antes de empezar en la maniobra se mira como le quedan situados los brazos en referencia a la maniobra, para que no molesten o tropiecen con la entrada de la tabla, lo normal es si se puede colocarlos apoyados sobre su cintura. Si se encuentra en estado inconsciente se le pueden atar para que no le caigan y puedan entorpecer la maniobra. Una vez colocados todos en posición, a la orden del que se encuentra en cabeza, se realiza la elevación de la víctima en bloque de forma muy lenta, cuando se ha levantado la altura adecuada, el de cabeza da la orden de tabla, momento en que se introduce la

tabla hasta la posición correcta, en ese momento se da la orden de bajada, se efectúa de manera muy lenta y todos al tiempo. Finalizada la maniobra se debe de efectuar el atado de la víctima a la tabla y la inmovilización mediante dama de elche de la cabeza para garantizar que no habrá ningún movimiento durante su traslado.

9.3.1.1.2. DECÚBITO PRONO

No es la forma habitual de evacuación de una víctima, pero pueden darse varias circunstancias que harán necesario este tipo de evacuación, son:

- **El estado de la víctima.** Se puede observar que la víctima que se encuentra boca abajo, a vomitado en algún momento o lo hace en nuestra presencia, y en esa posición se encuentra respirando de forma adecuada, por lo tanto si no existe personal sanitario en ese punto que pueda atenderla y solucionar un problema de asfixia por atragantamiento si le damos la vuelta, lo mejor es evacuarla en esa posición.

- **La situación de riesgo en que se encuentra.** Si la víctima se encuentra en una zona de máximo riesgo de seguridad y el tiempo es primordial para su evacuación, se realiza su manipulación y colocación en tabla en la posición exacta en que se encuentra, y ya en zona segura se procederá a rotación.

Son necesarios 5 rescatadores, y van a existir modificaciones en cuanto a la forma de agarre o colocación de éstos en referencia a la posición de decúbito supino.

CABEZA. Se colocará en la misma posición que se ha explicado en decúbito supino, pero se van a encontrar diferencias en cuanto al agarre, la primera es que no se le puede colocar de forma adecuada el collarín en esa posición, y por lo tanto la manipulación deberá ser si cabe más rigurosa. Lo normal es que la víctima se encuentre boca abajo con la cabeza ladeada a derechas o izquierdas y con una mano apoyada debajo de esta para tener una posición de estabilización más cómoda, aunque si la víctima en el primer momento de quedarse en esa posición se ha quedado inconsciente, o bien las heridas o atrapamientos de los brazos se lo han impedido, se encontrara con la cabeza ladeada pero sin el apoyo de la mano. Dependiendo de esto implicará una colocación distinta de las manos sobre la cabeza para garantizar una adecuada manipulación.

- **Cabeza ladeada hacia la derecha de la víctima sin tener la mano colocada debajo de ésta.** Para esta posición, la entrada de las manos se realizara en V como en maniobras anteriores, pero la mano derecha se introducirá hasta tocar con los dedos el primer hueso del tórax, para encontrar un punto de referencia sobre el cuerpo a elevar, y se presiona con el antebrazo a la parte de la cabeza que tenemos en esa posición. La mano izquierda también la introducimos hasta el mismo punto aproximadamente, la diferencia es que en ese lado se encuentra la cara, por ello la palma de la mano y los dedos se abren y buscan diferentes puntos de apoyo sin tapar la boca y la nariz, apoyando el antebrazo contra la frente de la víctima y haciendo fuerza de apriete hacia el otro antebrazo, con lo que se consigue una sujeción segura.

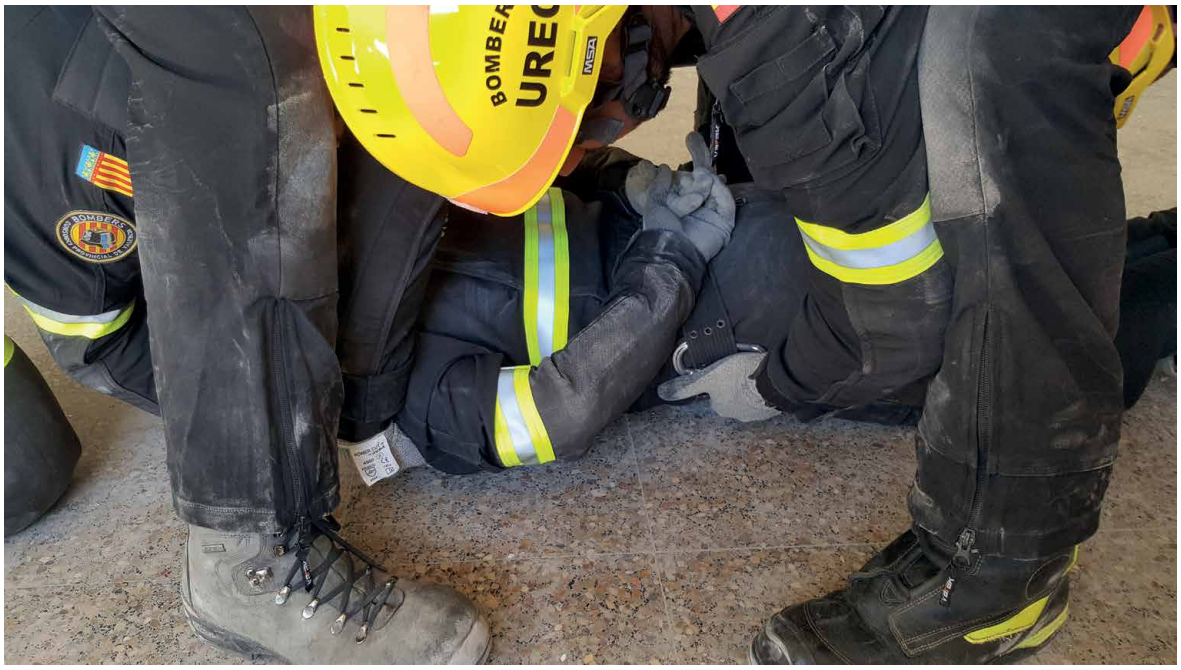
- **Cabeza ladeada hacia la izquierda de la víctima sin tener la mano colocada debajo de ésta.** En esta posición la colocación de las manos será totalmente a la inversa de la posición anterior, pues la derecha tendrá ahora la cara de la víctima. Se mantendrán exactamente los mismos condicionantes.

- **Cabeza ladeada de la víctima con alguna de las manos situadas debajo de la misma.** Aquí se pueden encontrar cuatro variantes, dependiendo del lado que se sitúe la cabeza y de que mano tenga debajo de ésta, por ello la colocación de las manos variará sensiblemente en cada una de ellas, la parte más importante a tener en cuenta es que la mano que se encuentre con la mano apoyada bajo la cabeza debe colocarse introduciendo los dedos debajo de su muñeca para poder tener un punto de sujeción, la palma apoyará en frente o cráneo dependiendo de posición, la otra mano se colocará exactamente como queda explicado en cabeza ladeada sin apoyo de la mano.

HOMBROS. La posición de colocación es la misma que decúbito supino. En esta situación, al encontrarse la víctima boca abajo, las condiciones de agarre cambian dependiendo de la posición de los brazos, si tiene los

dos extendidos se coge de ambos hombros, pero si tiene alguno de los brazos apoyando la cabeza, a ese lado se cogerá de la axila.

CINTURA. La posición de colocación es la misma que decúbito supino. Aquí la diferencia se encuentra en los puntos de agarre, pues ahora si es la cintura el punto adecuado y seguro para la elevación, buscando si se puede para coger los huesos de la cadera. Como en la maniobra anterior se buscará el apoyo de uno de los hombros con el que está situado en la posición de hombros.



PIERNAS. La posición de colocación es la misma que en decúbito supino, la diferencia va a estar en que se dificulta algo más conseguir una adecuada colocación de las manos, pues ahora los cuádriceps están apoyados directamente sobre el suelo y la introducción del brazo se debe realizar con más cuidado para evitar movimientos innecesarios.

TABLA. Se realizará teniendo en cuenta los mismos detalles que en la posición anterior, pero además para la comodidad de la víctima en su transporte en esta posición, la tabla se introduce hasta que pase de los pies, de forma que la punta de éstos cuelgue por delante de la tabla, consiguiendo así una posición más estable.

MANIOBRA. Los pasos a seguir son los mismos que en decúbito supino, pero en este caso los brazos de la víctima no llegan a ser tan gran problema y se puede optar por asegurarlos a la espalda o bien mantenerlos colgando durante la maniobra. Al no poder colocarle el collarín, en su desplazamiento hasta zona segura se debe realizar con la sujeción manual de cabeza.

9.3.1.2. MANIOBRA DE ELEVACIÓN Y DESPLAZAMIENTO LATERAL

En esta maniobra la víctima debe ser elevada y desplazada para bajarla sobre la tabla que está situada a su lado.

Los motivos de utilización pueden ser varios, fundamentalmente puede ser por la configuración del escenario donde se encuentra la víctima, que va a limitar la entrada de la tabla tanto por pies como por cabeza, esto va a impedir utilizar la técnica anterior. Otro de los condicionantes que puede llevar a utilizar está técnica es el número de rescatadores disponibles, dado que para esta técnica son necesarios 4 en diferencia a los 5 de la anterior, pues no se necesita a nadie para introducir la tabla.

Sus posiciones son:

TABLA. En este caso se sitúa la tabla plana en la posición correcta y al lado de la víctima, lo más pegada posible a ella.

CABREZA. Las posiciones de colocación de las manos son idénticas a las maniobras anteriores dependiendo de la posición en que se encuentre, la gran diferencia está en la colocación del rescatador, aunque su posición sigue siendo con una rodilla apoyada en el suelo para disponer de estabilidad, debe tener en cuenta que desplazamiento va a sufrir la víctima hasta su posición final sobre la tabla. Por ello debe colocarse con las

piernas más abiertas y la rodilla de apoyo debe coincidir con el lugar de colocación de la tabla. Antes de la maniobra, éste se debe colocar en la posición final de tabla simulando la llegada, para de ahí sin mover las piernas pasar a la posición inicial ya cogiendo a la víctima, de esta forma se garantiza la realización de todo el movimiento continuo.

HOMBROS. La colocación será similar a las demás maniobras descritas anteriormente, la diferencia está en que la apertura de piernas será mayor, pues ahora una de las piernas estará junto a la víctima, pero la otra debe sobrepasar la tabla.

CADERA. Seguirá la dinámica de esta posición de maniobras anteriores, pero también debe realizar la apertura de piernas correspondiente pasando una de las piernas al otro lado de la tabla.

PIERNAS. Es una de las posiciones más complicada para esta maniobra, dado que también debe prever el movimiento completo hasta la tabla, por lo tanto respetando las directrices anteriores de esta posición debe poder llegar una pierna al otro lado de la tabla. Dependiendo de cada persona, su tamaño y elasticidad, podrá llegar con la rodilla en el suelo o tendrá que ponerse de pie y agacharse lo suficiente para poder realizar la maniobra con seguridad. En la siguente foto.

MANIOBRA. Aunque no deje de ser una maniobra de elevación, va a tener un movimiento de desplazamiento con la víctima y por ello un mayor riesgo, así que el índice de concentración en su realización debe ser mayor, pero sobretodo los tiempos que se marquen desde cabeza y teniendo en cuenta que cuanto más lenta se realice la maniobra mayor calidad tendrá. Así como las maniobras anteriores se realizan en dos tiempos, elevar y descender, esta solo se debe realizar en un tiempo, pues se está trabajando en un estado de equilibrio peor y detenerse en el desplazamiento implicaría que cada uno de los rescatadores podría hacerlo en un punto diferente, por ello para evitar cualquier tipo de error se realiza de forma directa. A la orden de PREPARADOS para elevar y desplazar hasta la tabla, TENSIÓN, YA, se inicia un movimiento de elevación lo justo para salvar la altura de la tabla con seguridad, y al tiempo un desplazamiento lento hasta la misma, para terminar dejándola lentamente. Aunque parezca que tenga cierta dificultad en su realización, si se realiza de forma lenta y coordinada los resultados sobre la víctima son de gran calidad.

9.3.1.3. MANIOBRA DE ELEVACIÓN CON CAIDA DE TABLA

El espacio nos va a marcar en la mayoría de las ocasiones el tipo de maniobra a utilizar, para ello el abanico de posibilidades debe ser amplio, para ello es esta maniobra, que se emplea fundamentalmente para cuando se dispone de un espacio muy limitado en todos sus lados, es decir no puedo entrar la tabla ni por los lados, ni por cabeza, ni por pies. Para hacerse una idea muy esquematizada de la situación, sería como si la víctima estuviera metida en una fosa como las realizas en tierra para sepultar a alguien, en ella las medidas son ajustadas por todos los lados, por lo que solo nos queda la utilización de esta técnica para su extracción de forma segura.

Para la colocación de todos los rescatadores, es la misma que en la maniobra de elevación básica, a diferencia que la tabla se coloca ya de lado posada en el suelo junto a la víctima y apoyada a las piernas de los rescatadores.

En esta técnica hay tres modalidades de colocación de la tabla, dependiendo del tipo de tabla (si es más llana o más curvada), del tipo de terreno (si está limpio y se desliza con facilidad, o no), y del número de rescatadores.

Es importante tener en cuenta que para el buen desarrollo de esta técnica, a la víctima hay que elevarla bastante más que en otras maniobras, dado que necesita disponer de un ángulo importante de entrada de la tabla.

SITUACIÓN 1. Son solo 4 rescatadores y el terreno es limpio y se desliza con facilidad, además la tabla es bastante curvada. En esta situación al elevar a la víctima, solo con un pequeño movimiento de las piernas en las que se encuentra apoyada la tabla, esta se desliza y cae situándose debajo de la víctima, por lo tanto se procede a su descenso.

SITUACIÓN 2. El terreno no está limpio, y por ello la tabla no se deslizaría, pero pueden ser 5 o 6 rescatadores. En este caso, una vez se ha elevado a la víctima, son el o los rescatadores sobrantes los que desde la posición exterior colocan la tabla en su posición correcta debajo de la víctima.

SITUACIÓN 3. Se encuentra con que el terreno no está limpio, y se da por hecho que no va a poder deslizar, pero además o por limitaciones de espacio o por disponibilidad solo hay 4 rescatadores. En esta situación, no existe más remedio que la colocación recaiga sobre el rescatador que sujeta las piernas. Éste colocará

el brazo que se encuentra junto a la tabla de forma cruzada por debajo de las dos piernas de la víctima, de forma que cuando se las eleve, pueda sujetarlas de forma momentánea con solo ese brazo. El otro brazo se utiliza para ayudar en la elevación, pero después de forma rápida se pasa por debajo de las piernas y se coge del extremo inferior de la tabla, tirando de ella hasta su colocación. En esta maniobra, no siempre va a quedar la tabla perfectamente alineada, pero como los rescatadores tienen la perspectiva de la visión de la misma, solo tienen que realizar un descenso orientado hacia la posición correcta, pues se está hablando de desviaciones de pocos centímetros.

9.3.2. TÉCNICA DE LADEADO DE VÍCTIMA

Es una maniobra más para el abanico de posibilidades que se pueden encontrar, pero aunque segura, es menos confortable para la víctima que las descritas en anterioridad, por ello será la última opción a tener en cuenta, aunque por motivos de espacio, o situación del escombro y víctima hace que en ocasiones sea imprescindible su utilización.

Esta maniobra busca el ladeado de la víctima para colocar la tabla pegada a su espalda y retroceder hasta su posición inicial, quedando la víctima situada sobre la tabla.

Para realizar este giro de forma correcta hay que evaluar al máximo las posibles lesiones, para determinar hacia qué lado le vamos a dar apoyo, evitando tener que descargar el peso sobre hombro, cadera o brazo con lesiones.

Eligiendo el lado sin lesiones se prepara a la víctima colocando el brazo sobre el que se va a girar, pegado a su cuerpo hasta la altura del hueso de la cadera, girando después apoyando su mano sobre la pelvis, de esta forma cuando este de lado apoyará en el suelo el hombro, parte del brazo, la cadera y la pierna, haciendo que se encuentre en un plano horizontal y alineado de toda la columna vertebral.

Son necesarios 4 rescatadores, y sus posiciones son:

CABEZA. Es una de las posiciones más complicada en esta maniobra, pues se va a realizar un cambio de posición de la víctima, pasando normalmente de decúbito supino a estar completamente apoyada sobre su lateral, por ello al tener que realizar el giro manteniendo la cabeza perfectamente alineada al tronco, hace que sea necesario que el rescatador deba realizar un giro con el cuerpo y brazos y al tiempo no perder la visual de la maniobra en ningún momento. Para ello debe colocarse como en la posición de maniobra de elevación de víctima pero la rodilla que apoya será hacia la cual se dirigirá el eje de giro, para poder disponer de la movilidad de rotación necesaria.

HOMBRO-CINTURA y ESPALDA-PIERNA. Los dos rescatadores de estas posiciones se colocarán al lado de la víctima hacia donde se va a realizar la rotación. Se pondrán con una rodilla en el suelo para darles estabilidad, uno de ellos agarrará con su mano izquierda el hombro más alejado de la víctima, y con su derecha la unión entre la nalga y muslo también más alejado. El otro cogerá a la víctima de la espalda baja, del lado más alejado y de entre la rodilla y pierna más alejada. Ambos se van a encontrar con los brazos entrecruzados en la parte central del cuerpo de la víctima, esto se realiza para repartir cargas y para mantener una mayor rigidez en la maniobra.

Cuando indica la orden el que se encuentra en cabeza, tiran de manera lenta y coordinada hacia sí mismo, de forma que se quede la víctima casi totalmente apoyada en su costado. Momento este en el cual el cuarto rescatador coloca la tabla pegada a su espalda. Ya con un apoyo claro de la víctima sobre el lateral y la espalda, deben realizar el movimiento de rotación a la inversa, pero para ello deben cambiar la posición de las manos,

pasando a buscar los mismos puntos pero del lado que tiene la víctima apoyado en el suelo, haciendo a la orden, fuerza hacia arriba en el giro, para contrarrestar el efecto de la gravedad que ofrece el cuerpo, consiguiendo de esta manera que en la rotación la víctima no resbale y se quede fuera de la tabla.

TABLA. Para esta maniobra el responsable de la colocación de la tabla se encuentra a la espera de que la víctima sea puesta de lado por el resto de rescatadores, momento éste en el cuál coloca la tabla perfectamente pegada contra la espalda de la víctima, con los brazos hace fuerza hacia la víctima, y pone uno de los pies de apoyo en la parte media de la tabla, todo para evitar que resbale la tabla o que ceda hacia él antes de la orden de inicio. A la orden de rotación de regreso, mantiene una fuerte presión de empuje hacia el ángulo de apoyo de la tabla, al tiempo que va sacando el pie y bajando la tabla, para que de forma muy lenta finalmente la tabla llegue hasta el suelo y la víctima quede colocada perfectamente encima de ella.

9.4. MANIPULACIÓN DE VÍCTIMAS EN ESPACIOS CONFINADOS

En derrumbamientos es habitual que existan víctimas a rescatar en espacios confinados, bien porque se encuentren en cavidades generadas por el escombro, o bien están en cavidades que se han tenido que generar por los propios equipos de rescate para acceder a ellas. Estas cavidades o huecos de rescate van a tener infinidad de formas y posibilidades de espacio para poder realizar una adecuada manipulación, pero en la mayoría de ellos siempre van a ser muy reducidas, o por limitación de altura, o por limitación de espacio a los lados, aunque con frecuencia, sobre todo en los espacios generados por rescatadores se van a unir las dos limitaciones.

El factor que va a marcar siempre este tipo de manipulaciones, es que prima la seguridad y el confort de la víctima sobre la de los rescatadores, por ello las maniobras buscan la efectividad y la seguridad en la manipulación, teniendo en cuenta que para hacerlo posible en el espacio en que se encuentra, los rescatadores van a tener que colocarse en posiciones complicadas e incomodas, por ello aunque la maniobra final debe realizarse de forma muy lenta como siempre, el posicionamiento de los rescatadores debe realizarse de la forma más rápida posible para evitar estar demasiado tiempo esperando la colocación de todos en una posición muy complicada.

Para estas maniobras hay distintos factores en referencia a los rescatadores, que ayudan o perjudican el desarrollo de la maniobra, son:

ALTURA. La altura de los rescatadores influirá en muchos de los escenarios confinados, por ello cuanto más alto sea un rescatador mayores dificultades va a encontrar para poder efectuar un posicionamiento adecuado.

VOLUMEN. Ya sea por excesivo musculo o apreciada obesidad, el volumen que ocupan cada uno de los rescatadores es importante, por ello en espacios confinados pueden hacer un mejor trabajo aquellos con un menor volumen y una mayor elasticidad.

Aunque no siempre se puede conseguir disponer de unos efectivos 100% perfectos para el espacio disponible, si ayuda y por ello es primordial una adecuada distribución de los rescatadores teniendo en cuenta sus características y las del escenario a trabajar.

9.4.1. TECNICAS DE ELEVACIÓN DE VÍCTIMA

Como ya se ha explicado en este apartado, la comodidad y seguridad de la víctima es un objetivo prioritario, por ello se priorizarán las maniobras de elevación de la víctima e introducción de tabla, que son las que dan unos mayores índices de seguridad ante lesiones de gravedad, aunque ello lleve a que sea necesario colocarse en posiciones incomodas para poder realizar este tipo de maniobras.

9.4.1.1. MANIOBRAS DE ELEVACIÓN BÁSICA REDUCIDA

Se parte del supuesto más desfavorable, con poca altura y poco espacio alrededor, teniendo en cuenta que se va a necesitar de un mínimo de espacio para poder realizarla, éste será de un mínimo de 60 cm total de altura y de unos 30 cm por cada lado de la víctima.

Las posiciones de colocación de los rescatadores son las mismas que se han descrito para las maniobras de elevación básica en espacios abiertos, pero con la peculiaridad de que existe un mínimo espacio para su realización, teniendo una dificultad para el acceso y colocación en las posiciones marcadas y por supuesto una gran limitación de altura para maniobrar a la víctima.

ACCESO. Con una zona tan reducida, queda perfectamente claro que una vez en el interior no van a ser posibles grandes cambios de posición o giros para colocarse en la posición correcta, por ello la forma de acceder es primordial.

En el momento los rescatadores llegan a la visual de la víctima, el mando establece un orden de posiciones teniendo en cuenta las características concretas del espacio y rescatadores. La posición de la víctima va a determinar el orden de acceso, entrando en primer lugar el que tenga asignada esa posición de la víctima, pero el acceso se debe realizar de espaldas o de frente según como debe ser su colocación, pues una vez en el sitio no va a tener espacio para ningún giro. Dado el poco espacio disponible a los lados de la víctima, entrar hasta el punto de colocación no es una tarea fácil, y más teniendo en cuenta que no se debe tocar, ni apoyar sobre la víctima. La única forma adecuada para acceder es pasando completamente estirados por encima de la víctima, colocando un brazo y una pierna a cada lado de la misma para dar la altura suficiente al cuerpo para poder avanzar sin tocarla, la espalda del rescatador avanza prácticamente pegada al techo del espacio disponible, quedando entre ambos unos pocos centímetros de separación, avanzando hasta llegar al punto de su colocación.

COLOCACIÓN. La limitación de altura hace imprescindible que en todas las posiciones los rescatadores tengan que poner una rodilla en el suelo, pero colocando el cuerpo un poco de lado para que el arco que deja la pierna sin arrodillarse sea en el que quede la víctima. Con el poco espacio disponible la disposición es fundamental, para el que se encuentra en cabeza no es relevante si toma la decisión de apoyar la rodilla derecha o izquierda, como si por espacio debe apoyar las dos, o incluso estar completamente tumbado, depende de espacio, comodidad y seguridad, son el resto de los rescatadores los que deben de mantener

una secuencia de colocación, es decir que si el de la posición de hombros apoya en su colocación la rodilla derecha en el suelo, forzosamente el de la cintura tendrá que apoyar la izquierda y el que tiene que elevar las piernas, apoyará la rodilla derecha. De esta forma se aprovecha el poco espacio disponible y se contrarrestan las fuerzas a la hora de la elevación.

MANIOBRA. Una vez se ha accedido y colocado en las posiciones correctas, las órdenes y los movimientos son exactamente los mismos que en la maniobra de elevación en espacios abiertos, la diferencia es que la limitación de altura hace que solo se pueda elevar a la víctima unos pocos centímetros, los que va a permitir el arco que genera la pierna que no está arrodillada y la diferencia de altura entre el pecho del rescatador y el cuerpo de la víctima, pues en esa posición la fuerza de elevación va a ser siempre, excepto para el de la cabeza, hacia el pecho del rescatador.

9.4.1.1.1. DECÚBITO SUPINO

Son necesarios 5 rescatadores

Teniendo en cuenta las características especiales en cuanto al acceso y la colocación los puntos de agarre van a ser:

- CABEZA. El rescatador se sitúa con una rodilla en el suelo, con las dos o acostado, dependiendo del espacio, y sujetando la cabeza de la víctima. Según se puede observar en la siguente foto. Junto

con otro rescatador le colocan el collarín efectuando la tracción correspondiente. Finalizado este paso cambia la posición de las manos para proceder a la maniobra de elevación, las colocará introduciéndolas por los dos lados de la nuca en forma de V, hasta que se toquen en el inicio de la espalda, después cierra los antebrazos para poder sujetar con ellos la cabeza. Realiza un apriete con los antebrazos, **en ningún momento** los colocará por debajo de la cabeza, pues está seguirá estando apoyada en el suelo. Esta posición le garantiza estabilidad y además mantiene un contacto con las manos sobre la espalda, por lo que notará a la perfección la elevación de la misma y así podrá acompañarlo elevando la cabeza de la víctima a la par. Quien sujeta la cabeza será además el que dé las órdenes de elevación y bajada de la víctima. Si se dispone, será el sanitario el que se encargue de esta posición.

- HOMBROS. El encargado de esta posición se colocará sobre la víctima, con una rodilla en el suelo a un lado y el otro pie apoyado en lado opuesto. Quedando de espaldas a la cabeza de la víctima. Según la siguente foto. Desde ahí pasará a cogerle los hombros por el exterior, sujetándolos firmemente. Se evitará en todo momento ayudarse cogiéndose intencionadamente de la ropa de la víctima para tener mayor agarre, pues nada puede garantizar que no se rompa al hacer sobre ella toda la fuerza de elevación.

- CINTURA. Se le denomina cintura, aunque en esta posición de maniobra el punto de agarre del rescatador no va a ser la cintura, sino desplazará las manos más hacia abajo para coger directamente de las nalgas. Este punto es muy importante dado que hay que tener en cuenta que si la fuerza de elevación la realizamos justo desde la cintura estaremos forzando la columna en una posición antinatural y por ello podemos provocar o agravar

lesiones. El rescatador se colocará sobre la víctima pero sin tocarla, con la rodilla contraria al rescatador de hombros apoyada en el suelo a un lado de la víctima y apoyando el pie al lado contrario, de frente al que sujeta los hombros, de forma que al coger a la víctima busquen los dos apoyarse hombro con hombro, para conseguir por un lado la estabilidad y por otro el tener un punto de apoyo que les dé un punto más de fuerza conjunta.

- PIERNAS. Es una de las partes más importantes de sujeción de esta maniobra, pues son frecuentes las lesiones no visibles de estas extremidades, que una mala manipulación puede provocar fuertes dolores a la víctima y que provocará movimientos inesperados de ésta que agravarían con ellos posibles lesiones medulares. Por ello es fundamental realizar una manipulación pensando siempre en estas posibles lesiones. La colocación del rescatador será mirando en dirección a la cabeza, con la rodilla contraria al rescatador que sujeta la cintura en el suelo para tener estabilidad y dejando espacio para que al elevar la punta de los pies de la víctima pasen por detrás sin tocar las piernas o el culo del rescatador. Para una buena sujeción de las piernas se debe de pasar un brazo por debajo de las dos piernas de la víctima a la altura de los muslos, y el otro brazo se pasa de la misma forma, pero a la altura de los gemelos. Cada uno de los brazos sujetará las dos piernas. Para elevarlas las abrazará sobre su pecho. Se puede ver en la siguiente foto

- TABLA. Uno de los rescatadores es el responsable de la colocación de la tabla debajo de la víctima en el momento que es elevada, para ello estudiará a priori el tipo de escombro que se va a encontrar y la posibilidad de introducción, si va a ser por los pies o por la cabeza de la víctima, en caso de poder elegir siempre se buscará la posición más favorable que es

por los pies. La colocación se hará teniendo en cuenta que la tabla debe llegar para el apoyo correcto de la cabeza, en el caso que la víctima sea muy alta y no quepa en su totalidad sobre la tabla es preferible que sobresalgan los pies de la misma. En la siguente foto.

- MANIOBRA. Antes de empezar en la maniobra se mira como le quedan situados los brazos en referencia a la maniobra, para que no molesten o tropiecen con la entrada de la tabla, lo normal es si se puede colocarlos apoyados sobre su cintura. Si se encuentra en estado inconsciente se le pueden atar para que no le caigan y puedan entorpecer la maniobra. Una vez colocados todos en posición, a la orden del que se encuentra en cabeza, se realiza la elevación de la víctima en bloque de forma muy lenta, cuando se ha levantado la altura adecuada, que va a ser justo la que nos permite el espacio, el que se encuentra en cabeza da la orden de tabla, momento en que se introduce la tabla hasta la posición correcta, en ese momento se da la orden de bajada, aunque en la mayoría de los casos no es necesario dar esta orden, pues la entrada de la tabla es tan ajustada que pasa rozando la espalda de la víctima, por ello a la orden más que bajar lo que se realiza es dejar de hacer fuerza. Todos los movimientos se deben de realizar de manera muy lenta y todos al tiempo. Finalizada la maniobra se debe de efectuar el atado de la víctima a la tabla y la inmovilización mediante dama de elche de la cabeza para garantizar que no habrá ningún movimiento durante su traslado.

9.4.1.1.2. DECÚBITO PRONO

Son necesarios 5 rescatadores, y van a existir modificaciones en cuanto a la forma de agarre o colocación de éstos en referencia a la posición de decúbito supino.

CABEZA. Se colocará en la misma posición que se ha explicado en decúbito supino, pero se van a encontrar diferencias en cuanto al agarre, la primera es que no se le puede colocar de forma adecuada el collarín en esa posición, y por lo tanto la manipulación deberá ser si cabe más rigurosa. Lo normal es que la víctima se encuentre boca abajo con la cabeza ladeada a derechas o izquierdas y con una mano apoyada debajo de esta para tener una posición de estabilización más cómoda, aunque si la víctima en el primer momento de quedarse en esa posición se ha quedado inconsciente, o bien las heridas o atrapamientos de los brazos se lo han impedido, se encontrara con la cabeza ladeada pero sin el apoyo de la mano. Dependiendo de esto implicará una colocación distinta de las manos sobre la cabeza para garantizar una adecuada manipulación.

- **Cabeza ladeada hacia la derecha de la víctima sin tener la mano colocada debajo de ésta.** Para esta posición, la entrada de las manos se realizara en V como en maniobras anteriores, pero la mano derecha se introducirá hasta tocar con los dedos el primer hueso del tórax, para encontrar un punto de referencia sobre el cuerpo a elevar, y se presiona con el antebrazo a la parte de la cabeza que tenemos en esa posición. La mano izquierda también la introducimos hasta el mismo punto aproximadamente, la diferencia es que en ese lado se encuentra la cara, por ello la palma de la mano y los dedos se abren y buscan diferentes puntos de apoyo sin tapar la boca y la nariz, apoyando el antebrazo contra la frente de la víctima y haciendo fuerza de apriete hacia el otro antebrazo, con lo que se consigue una sujeción segura.

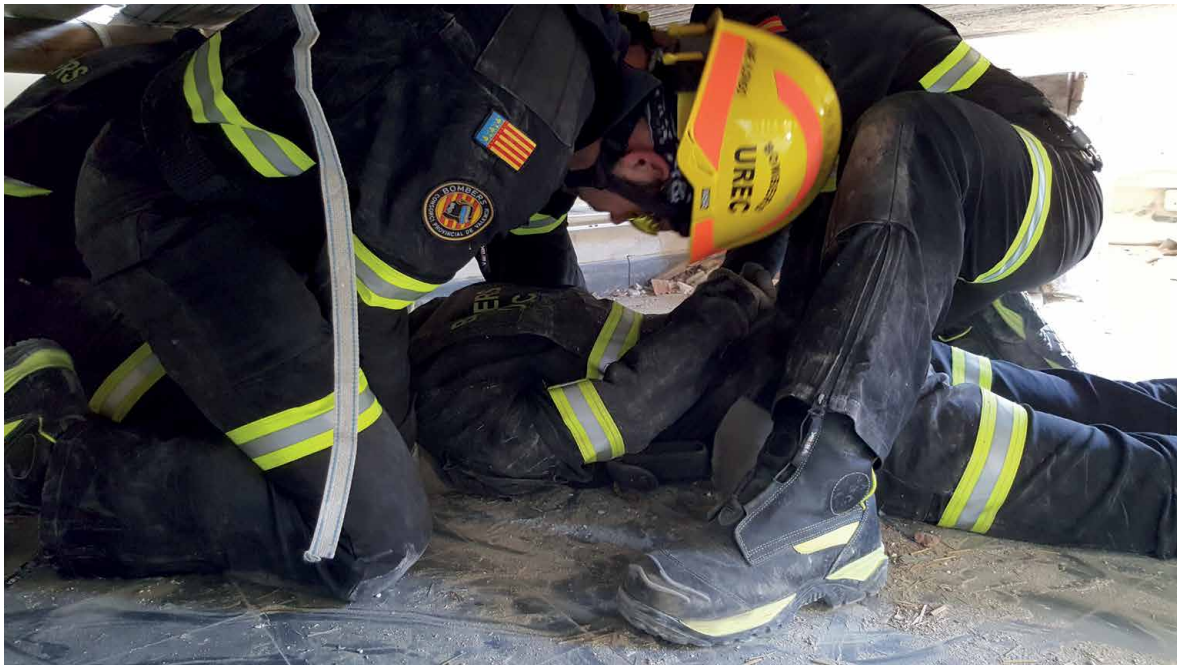
- **Cabeza ladeada hacia la izquierda de la víctima sin tener la mano colocada debajo de ésta.** En esta posición la colocación de las manos será totalmente a la inversa de la posición anterior, pues la derecha tendrá ahora la cara de la víctima. Se mantendrán exactamente los mismos condicionantes.

- **Cabeza ladeada de la víctima con alguna de las manos situadas debajo de la misma.** Aquí se pueden encontrar cuatro variantes, dependiendo del lado que se sitúe la cabeza y de que mano tenga debajo de ésta, por ello la colocación de las manos variará sensiblemente en cada una de ellas, la parte más importante a tener en cuenta es que la mano que se encuentre con la mano apoyada bajo la cabeza debe colocarse introduciendo los dedos debajo de su muñeca para poder tener un punto de sujeción, la palma apoyará en frente o cráneo dependiendo de posición, la otra mano se colocará exactamente como queda explicado en cabeza ladeada sin apoyo de la mano.

HOMBROS. La posición de colocación es la misma que decúbito supino en espacio confinado. En esta situación, al encontrarse la víctima boca abajo, las condiciones de agarre cambian dependiendo de la

posición de los brazos, si tiene los dos extendidos se coge de ambos hombros, pero si tiene alguno de los brazos apoyando la cabeza, a ese lado se cogerá de la axila. En la siguente foto.

CINTURA. La posición de colocación es la misma que decúbito supino en espacio confinado. Aquí la diferencia se encuentra en los puntos de agarre, pues ahora si es la cintura el punto adecuado y seguro para la elevación, buscando si se puede para coger los huesos de la cadera. FOTO 58.52. Como en la maniobra anterior se buscará el apoyo de uno de los hombros con el que está situado en la posición de hombros.



PIERNAS. La posición de colocación es la misma que en decúbito supino en espacio confinado, la diferencia va a estar en que se dificulta algo más conseguir una adecuada colocación de las manos, pues ahora los cuádriceps están apoyados directamente sobre el suelo y la introducción del brazo se debe realizar con más cuidado para evitar movimientos innecesarios. En la siguente foto.

TABLA. Se realizará teniendo en cuenta los mismos detalles que en la posición anterior, pero además para la comodidad de la víctima en su transporte en esta posición, la tabla se introduce hasta que pase de los pies, de forma que la punta de éstos cuelgue por delante de la tabla, consiguiendo así una posición más estable.

MANIOBRA. Los pasos a seguir son los mismos que en decúbito supino en espacio confinado, pero en este caso los brazos de la víctima no llegan a ser tan gran problema y se puede optar por asegurarlos a la espalda o bien mantenerlos colgando durante la maniobra. Al no poder colocarle el collarín, en su desplazamiento hasta zona segura se debe realizar con la sujeción manual de cabeza.

9.4.1.2. MANIOBRA DE MÍNIMA ELEVACIÓN

Es una maniobra a realizar cuando se cumplen los siguientes condicionantes:

- Muy poca altura disponible, la mínima necesaria es de 40 cm.
- Disponibilidad de espacio a los lados, se necesita un mínimo de 80 cm a cada lado de la víctima.
- Suficientes rescatadores para su realización. El número adecuado es de 8 rescatadores, aunque en caso de extrema necesidad se puede realizar con 6, realizando la maniobra en dos movimientos.

ACCESO. El espacio solo va a permitir entrar arrastrándose hasta el punto exacto de colocación. La peculiaridad es que excepto el de cabeza y tabla, el resto deben hacerlo entrando boca arriba, pues el espacio impedirá después poder rotar hasta su colocación final.

Para una adecuada ejecución son necesarios los siguientes puntos de colocación.

CABEZA. Su forma de colocación va a ser completamente acostado, pues el espacio no va a permitir otra posición. La colocación de las manos y forma de agarre es idéntico a las explicadas en las distintas maniobras de elevación. En la siguente foto.

HOMBRO-ESPALDA. Para esta maniobra va a necesitar la colocación de un rescatador acostado a cada lado de la víctima y que cogerá con una mano el hombro y con la otra la parte media de la espalda.. La forma de colocación y agarre es fundamental para garantizar poder realizar la fuerza suficiente de elevación. Para ello el brazo situado en contacto con el suelo se coloca en la parte media de la espalda de la víctima, así podrá

hacer palanca con el suelo. El otro brazo le cogerá el hombro según la posición que se puede apreciar en la siguente foto. La posición del cuerpo es boca hacia arriba ladeado hacia la víctima, pero un poco en oblicuo para dejar espacio para la colocación del rescatador de espalda-glúteo. Puede servir de ayuda el apoyar la cabeza en el suelo para poder hacer de punto de apoyo de fuerza.

ESPALDA-GLÚTEO. La colocación es la misma que hombro-espalda con la diferencia de los puntos de colocación de las manos que en este caso son, la parte baja de la espalda con el brazo situado en el lado alto y en el glúteo de la víctima el brazo que está apoyado en el suelo. También se colocarán a ambos lados y en oblicuo para dejar espacio al que se colocará en muslo y gemelo.

MUSLO-GEMELO. La colocación es similar a las anteriores, pero cogiendo con el brazo pegado al suelo el gemelo de la víctima y con el otro la parte alta del muslo. En esta posición solo hay que dejar espacio entre los dos rescatadores para el paso de la tabla.

TABLA. Para la introducción de la tabla el rescatador habrá previsto su introducción a la zona de acceso en la orientación adecuada según la posición en que se encuentra la víctima. El acceso será arrastrándose boca abajo y desde el punto adecuado esperará la orden para su colocación.

MANIOBRA. Una vez todos colocados en sus posiciones y a la orden de PREPARADOS para elevar, TENSIÓN, YA, se realiza la elevación, con el detalle que al estar repartido el peso de la víctima entre bastantes rescatadores y la poca altura disponible, un exceso de fuerza podría hacer golpear a la víctima sobre el techo, por ello debe de realizarse una elevación lenta y controlada. En la siguente foto.

En el caso de que solo se disponga de 6 rescatadores para esta maniobra, se mantendrán las posiciones de cabeza y tabla, las modificaciones se realizan en el resto, se pasa a realizar la maniobra en dos fases. En la primera es para elevar y colocar las piernas encima de la tabla, introduciéndola justo hasta la altura de los glúteos de la víctima, pero sin sobrepasar este punto, para ellos los rescatadores de ambos lados bajan lo más posible para ayudar en las piernas hasta su colocación. Para la segunda fase la colocación es ya es igual a la de maniobra de 8 rescatadores, lo que se prescindiría de los de las piernas, dado que ya se encuentran éstas encima de la tabla. Como detalle importante a tener en cuenta, es que la introducción de la tabla ofrecerá más resistencia por el roce de las piernas, por lo que este rescatador deberá emplear un esfuerzo añadido para su colocación correcta.

9.4.2. TÉCNICA DE LADEADO DE VÍCTIMA REDUCIDA

Esta maniobra es necesaria especialmente en espacios reducidos donde la víctima se encuentra situada de forma longitudinal a una pared o montón de escombros, esto ofrece la dificultad de no poder realizar una maniobra de elevación.

Esta maniobra busca el ladeado de la víctima para colocar la tabla pegada a su espalda y retroceder hasta su posición inicial, quedando la víctima situada sobre la tabla.

Para realizar este giro de forma correcta hay que evaluar al máximo las posibles lesiones, teniendo en cuenta que va a tener que realizar el giro hacia el lado opuesto de la pared u objeto que lo limita, evitando tener que descargar el peso sobre hombro, cadera o brazo con lesiones, si no fuera posible se podría estudiar realizar otro tipo de maniobra.

Se prepara a la víctima colocando el brazo sobre el que se va a girar, pegado a su cuerpo hasta la altura del hueso de la cadera, girando después apoyando su mano sobre la pelvis, de esta forma cuando este de lado apoyará en el suelo el hombro, parte del brazo, la cadera y la pierna, haciendo que se encuentre en un plano horizontal y alineado de toda la columna vertebral.

Son necesarios 4 rescatadores, aunque es mejorable con 5, y sus posiciones son:

CABEZA. Es una de las posiciones más complicada en esta maniobra, pues se va a realizar un cambio de posición de la víctima, pasando normalmente de decúbito supino a estar completamente apoyada sobre su

lateral, por ello al tener que realizar el giro manteniendo la cabeza perfectamente alineada al tronco, hace que sea necesario que el rescatador deba realizar un giro con el cuerpo y brazos y al tiempo no perder la visual de la maniobra en ningún momento. Para ello debe colocarse como en la posición de maniobra de elevación de víctima pero la rodilla que apoya será hacia la cual se dirigirá el eje de giro, para poder disponer de la movilidad de rotación necesaria.

HOMBRO-CINTURA y ESPALDA-PIERNA. Los dos rescatadores de estas posiciones se colocarán al lado de la víctima hacia donde se va a realizar la rotación. Se pondrán con una rodilla en el suelo para darles estabilidad, uno de ellos agarrará con su mano izquierda el hombro más alejado de la víctima, y con su derecha la unión entre la nalga y muslo también más alejado. El otro cogerá a la víctima de la espalda baja, del lado más alejado y de entre la rodilla y pierna más alejada. Ambos se van a encontrar con los brazos entrecruzados en la parte central del cuerpo de la víctima, esto se realiza para repartir cargas y para mantener una mayor rigidez en la maniobra.

Cuando indica la orden el que se encuentra en cabeza, tiran de manera lenta y coordinada hacia sí mismo, de forma que se quede la víctima casi totalmente apoyada en su costado. Momento este en el cual el cuarto rescatador coloca la tabla pegada a su espalda. Ya con un apoyo claro de la víctima sobre el lateral y la espalda, deben realizar el movimiento de rotación a la inversa, pero para ello deben cambiar la posición de las manos, pasando a buscar los mismos puntos pero del lado que tiene la víctima apoyado en el suelo, haciendo a la orden, fuerza hacia arriba en el giro, para contrarrestar el efecto de la gravedad que ofrece el cuerpo, consiguiendo de esta manera que en la rotación la víctima no resbale y se quede fuera de la tabla.

TABLA. Para esta maniobra el responsable o responsables de la colocación de la tabla, pues en algunas situaciones es mejor manejarla entre dos, la colocan descansando justo al lado de la víctima y pegada completamente a la pared u obstáculo, quedando a la espera de que la víctima sea puesta de lado por el resto de rescatadores, momento éste en el cuál la mueve o mueven colocándola perfectamente pegada contra la espalda de la víctima, con los brazos hace fuerza hacia la víctima para evitar que resbale la tabla o que ceda hacia él antes de la orden de inicio. A la orden de rotación de regreso, mantiene una fuerte presión de empuje hacia el ángulo de apoyo de la tabla, para que de forma muy lenta finalmente la tabla llegue hasta el suelo y la víctima quede colocada perfectamente encima de ella.

9.5. MANIOBRA PARA LA EVACUACIÓN DE LA VÍCTIMA POR SUPERFICIES INESTABLES

Una adecuada manipulación de la víctima es fundamental para garantizar la seguridad de la víctima, pero es siempre el paso previo a su evacuación, que en un derrumbamiento va a contar con tener que desplazarse por los restos producidos de la caída del edificio, estos restos forman una superficie desigual e inestable, por lo que caminar por ellos es complicado y arriesgado, pero hacerlo cargado con el peso de la víctima y con

la reducción de visión por la tabla o camilla, añadido a que son 4 o 6 rescatadores los que están caminando cogidos de ella, hacen la misión excesivamente peligrosa por el riesgo de caída. Así que es necesario utilizar una técnica que facilite esta labor evite al máximo el riesgo de los implicados.

Para esta maniobra es necesario emplear un mínimo de 6 rescatadores, pero no existe un máximo, pues cuantos más rescatadores participen más rápida y segura será la evacuación.

9.5.1. EJECUCIÓN DE LA MANIOBRA.

Con la victima colocada sobre la tabla, con las medidas de protección cervical adecuada y asegurada mediante las sujeciones pertinentes, cuatro de los rescatadores se colocan 2 a cada lado de la tabla, distribuidos de forma uniforme para el reparto de pesos.

A la orden del mando o rescatador más próximo a la cabeza de PREPARADOS para levantar tabla, TENSIÓN, YA. Levantan la tabla con la víctima, los dos rescatadores sobrantes se colocan en los extremos hacia donde debe avanzar la tabla, en una posición estable y a una distancia desde donde sin forzar puedan llegar con el brazo contrario a coger la primera asa de la tabla. Cuando están preparados dan la orden de avance de la tabla, PASA TABLA, momento en el que todos cambian de posición sus manos para que la tabla con la víctima avance y cambie su colocación de forma que queden libres los rescatadores traseros al avance. Al quedar sin tabla, caminan por el escombro con las manos libres y con una visión completa, desplazándose con seguridad hasta colocarse delante de la tabla para iniciar una nueva colocación y avance, de esta forma sucesiva de pasos y rotaciones se consigue desplazar a la víctima teniendo en cuenta que quien soporta el peso de tabla y víctima no se mueve, solo caminan los que están libres.

9.5.2. DETALLES A TENER EN CUENTA.

Para mejorar la ejecución y la seguridad se tendrá en cuenta lo siguiente:

- Los rescatadores que están sujetando la tabla deben de estar uno frente al otro y a la distancia justa de separación de la tabla, una mayor separación daría inestabilidad y una mayor sobrecarga forzada de trabajo lumbar.

- Cuando existe un desnivel a salvar, la cabeza de la víctima siempre se situará en la parte más elevada del escombro, para que siempre se desplace a nivel o un poco sobre nivel.

- En caso de tener que realizar un giro completo de dirección de la víctima para poder situar en el desplazamiento la cabeza en posición correcta, se situarán los 6 rescatadores cogidos a la tabla, 3 por cada lado, en el momento de la rotación, el mando dará la orden de giro a derechas o izquierdas, entonces se inicia la rotación, teniendo en cuenta que los dos situados justo en el centro de la tabla no caminan, realizan la rotación prácticamente sobre el mismo punto y son el resto los que hacen el giro caminando. Esto da estabilidad al giro y evita que si alguno de los rescatadores que están caminando provoca un movimiento inestable, el resto podrán mantener la estabilidad y compensar el movimiento.

10. HERRAMIENTA ELÉCTRICA DE ROTURA

Principales herramientas eléctricas utilizadas por los servicios de rescate son:

- La Radial
- Sierra Sable
- Martillo rompedor
- Martillo combinado

Como herramientas eléctricas deben seguir las pautas y normas básicas de seguridad que rigen para toda herramienta eléctrica.

1. **Indicaciones generales de seguridad:**

En el puesto de trabajo:

- Mantenga limpio y bien iluminado su puesto de trabajo.
- No utilice la herramienta eléctrica en un entorno con peligro de explosión, en el que se encuentren combustibles líquidos, gases, material en polvo.
- Mantenga alejados a los niños y otras personas de su puesto de trabajo al emplear la herramienta eléctrica.

Seguridad eléctrica:

- El enchufe del aparato debe corresponder a la toma de corriente utilizada. No es admisible modificar el enchufe. No emplee adaptadores en aparatos dotados con una toma de tierra.
- Evite que su cuerpo toque partes conectadas a tierra como tuberías, radiadores, cocinas y refrigeradores.
- No exponga las herramientas eléctricas a la lluvia y evite que penetren líquidos en su interior.
- No utilice el cable de red para transportar o colgar el aparato, ni tire de el para sacar el enchufe de la toma de corriente. Mantenga el cable alejado del calor, esquinas cortantes o piezas móviles.
- Al trabajar con la herramienta eléctrica en la intemperie utilice solamente cables de prolongación homologados para su uso en exteriores.

Seguridad de personas:

- Esté atento a lo que hace y emplee la herramienta eléctrica con prudencia. No utilice la herramienta eléctrica si estuviese cansado, ni tampoco después de haber consumido alcohol, drogas o medicamentos.

- Utilice un equipo de protección y en todo caso unas gafas de protección.
- Evite una puesta en marcha fortuita del aparato. Cerciórese de que el aparato esté desconectado antes conectarlo a la toma de corriente.
- Retire las herramientas de ajuste o llaves fijas antes de conectar la herramienta eléctrica.
- Sea precavido. Trabaje sobre una base firme y mantenga el equilibrio en todo momento.
- Lleve puesta una vestimenta de trabajo adecuada. No utilice vestimenta amplia ni joyas. Mantenga su pelo, vestimenta y guantes alejados de las piezas móviles.
- Siempre que sea posible utilizar unos equipos de aspiración o captación de polvo, asegúrese que estos estén montados y que sean utilizados correctamente.

Trato y uso cuidadoso de herramientas eléctricas:

- No sobre cargue el aparato. Use la herramienta para el trabajo a realizar.
- No utilice herramientas con un interruptor defectuoso.
- Saque el enchufe de la red antes de realizar un ajuste en el aparato, cambiar de accesorio o al guardar el aparato.
- Guarde las herramientas fuera del alcance de los niños y de las personas que no estén familiarizadas con su uso.
- Controle si funcionan correctamente, sin atascarse, las partes móviles del aparato.
- Mantenga los útiles limpios y afilados.
- Utilice herramientas eléctricas, accesorios, útiles, etc. De acuerdo a estas instrucciones y en la manera indicada específicamente para este aparato.

Servicio:

- Únicamente haga reparar su herramienta eléctrica por un profesional, empleando exclusivamente piezas de repuesto originales.

2. **Indicaciones de seguridad especificas del producto.**

En el puesto de trabajo:

- Procure una buena iluminación de la zona de trabajo.
- Procure que el lugar de trabajo se encuentre adecuadamente ventilado (peligros presencia de polvo).

Seguridad eléctrica:

- Antes de comenzar a trabajar compruebe si en la zona de trabajo existen cables eléctricos o tuberías de agua y gas, por ejemplo, con la ayuda de un detector de metales.

- Compruebe con regularidad el cable de conexión de la herramienta y encargue a un profesional en la materia que lo sustituya en caso de presentar daños. Inspeccione regularmente el alargador.

- Por lo tanto, lleve a revisar periódicamente al servicio técnico la herramienta sucia, sobre todo si se ha usado con frecuencia para cortar materiales conductivos.

- Si trabaja con una herramienta eléctrica en el exterior asegúrese de que la herramienta esté conectada a la red mediante un interruptor de corriente de defecto (RCD) con una corriente de desconexión máxima de 30 mA.

Seguridad de personas:

- Utilice protección para oídos.

- Mantenga la herramienta firmemente cogida con ambas manos por las empuñaduras previstas. La herramienta puede calentarse durante su empleo, utilice guantes.

- Utilice mascarilla cuando trabaje con piezas que generen polvo.

- Efectué pausas durante el trabajo, así como ejercicios de relajación y estiramiento de los dedos para mejorar la circulación.

- Coloque el cable de red, el alargador y el tubo de aspiración por detrás de la herramienta a fin de evitar tropezar con ellos.

10.1. RADIAL

INSTRUCCIONES TÉCNICAS PARA LOS TRABAJOS CON MÁQUINAS RADIALES (AMOLADORAS)

OBJETO:

Puesto que la máquina radial es una herramienta de corte que funciona a gran velocidad, siendo una de las máquinas más peligrosas, se hace necesario tomar medidas especiales de seguridad que reduzcan el riesgo cuando se usa.

El objeto del presente apartado es el de establecer normas e instrucciones para las tareas y trabajos, con máquinas radiales (amoladoras), en las condiciones adecuadas de seguridad.

Cumplir con las instrucciones y normas de seguridad

- La comprobación y mantenimiento básico de la máquina

- La comprobación del estado de los Epis antes del uso

- Utilización correcta, mantenimiento y aviso en caso de pérdida o rotura

- Paralización del trabajo en caso de riesgos o dudas sobre las medidas preventivas

- El conocimiento de los manuales de instrucciones de la máquina

No realizar reparaciones ni anular las carcasas y protecciones de la máquina. Las amoladoras y las mini amoladoras son máquinas eléctricas portátiles que se utilizan para cortar,

Los trabajos de materiales en superficies grandes, o los trabajos intensivos en superficies duras, se suelen realizar con radiales y discos grandes que permiten, por ejemplo, cortes más rectos y limpios.

Para trabajos ligeros, o cuando no se tiene una buena accesibilidad con la máquina, es muy útil recurrir a las mini amoladoras.

Se deberán usar SIEMPRE conforme al manual de instrucciones de utilización y seguridad facilitado por el fabricante.

Además de su tamaño, se deben tener en cuenta las prestaciones de la máquina.

Las amoladoras o radiales y las mini amoladoras que disponen de control electrónico de velocidad se adaptan mejor al trabajo con diferentes materiales y permiten utilizar una gran variedad de discos y accesorios.

Según qué tipo de disco se use se tendrá en cuenta la velocidad a la que está recomendada su uso no debiéndose utilizar discos cuya velocidad de utilización sea inferior a la velocidad en vacío de la Máquina. En ningún caso se debe utilizar si no tiene puesta la protección del disco.

Solo se podrá utilizar en buenas condiciones climatológicas, así como de buena visibilidad

Requisitos de la Radial:

- Que tenga Marcado CE
- Que tenga certificado de Conformidad
- Que tenga manual de instrucciones en castellano
- Debe ser liviana, de fácil mantenimiento y ergonómica: de uso profesional
- Permitirá cambiar el disco de corte en función del material con el que se pretenda trabajar

Instrucciones básicas sobre los trabajos con máquinas radiales antes de comenzar a trabajar

- Colóquese los equipos de protección individual indicados en la presente instrucción.
- Conocer, en su caso, las instrucciones de seguridad para la realización de trabajos con este tipo de máquina.
- Comprobar que la realización de otros trabajos cercanos no puedan generar riesgos (huecos, zanjas, etc.), en la realización simultánea con nuestro trabajo y de que existen las protecciones colectivas necesarias.
- Asegurarse que, en la realización de trabajos con la radial, quedan lejos los materiales combustibles, sustancias inflamables, cables eléctricos, etc.
- Disponer de extintor de incendios en los trabajos donde exista riesgo de incendio.
- Tener accesible botiquín de primeros auxilios.

10.1.1. TIPOS DE RADIALES UTILIZADAS EN TAREAS DE RESCATES

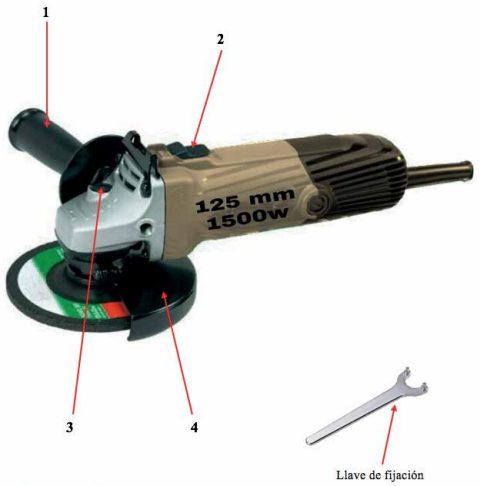
a. Radial de disco de 230 mm

b. Mini radial de disco 125 mm

c. Mini radial de disco de 115 mm

Por sus características de maniobrabilidad, peso, tamaño y facilidad de uso, la más utilizada es la Mini radial de 125 mm de 1500 vatios de potencia.

1. Mango auxiliar
2. Conmutador de control
3. Bloqueo de eje
4. Protector de disco
5. Llave fijación de disco



1- Mango auxiliar
2- Conmutador de control
3- Bloqueo de eje
4- Protector de disco

ELECCION DE DISCOS SEGÚN LA TAREA A REALIZAR DEPENDERA DE:

- **El material donde vamos a trabajar y la finalidad del trabajo.**
  - Dependiendo del material donde trabajaremos y si vamos a cortar o desbastar nos decantaremos por un disco u otro.
- **El uso que le vamos a dar.**
  - A la hora de escoger, es muy importante el uso que le vamos a dar, ya que existen discos de muchas calidades.
- **La capacidad máxima de trabajo.**

Debemos asegurarnos que la capacidad máxima de trabajo del disco es superior a la capacidad de trabajo de nuestra máquina.

Diferentes Tipos de discos para mini radial de 125 mm

Existen 3 tipos de disco adecuados para tareas con nimi radiales:

- **Discos abrasivos**
  - Los de metal, que se utilizan para cortar y desbastar todo tipo de metales.
  - Los de piedra, que se utilizan para cortar todo tipo de materiales de construcción pétreo.
  - Los universales multicorte, que permiten cortar todo tipo de materiales, con el fin de no tener que cambiar cada vez de disco.

El grosor de estos discos es muy importante. Dependiendo de su uso se utilizara para cortar o para desbastar. Podemos encontrar discos desde 0,8 hasta 8 mm o superior. Los discos más finos se utilizan para cortar materiales duros como el acero inoxidable, y los discos más gruesos (a partir de 6 mm.) se utilizan para desbastar.

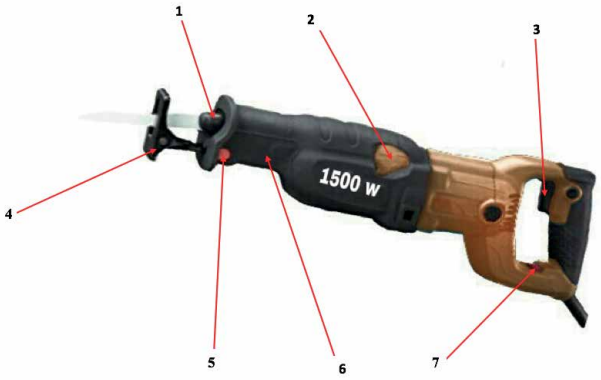
- **Discos de diamante**
  - Son discos fabricados en acero y con unas pastillas de diamante en su parte más externa. Se utilizan para cortar materiales de gran dureza con velocidad y precisión.

10.2. SIERRA SABLE ELECTRICA DE RED DE 1500 W

Las nuevas sierras de sable reúne cuatro características deseables en una herramienta eléctrica de corte: potencia, versatilidad, precisión y seguridad, lo que hace de ella una herramienta muy útil para el corte y demolición de materiales en trabajos de gran exigencia. Adaptar a cada material de manera correcta tanto la potencia necesaria como el consumible adecuado revierte en un beneficio para el usuario desde el punto de vista de la versatilidad y adecuación del proceso de corte.

- **Elementos de mando y componentes de la herramienta:**

1. Bloqueo de útiles/porta útiles.
2. Interruptor de acción pendular.
3. Conmutador de control.
4. Zapata de presión.
5. Tecla para la regulación de la zapata de presión.
6. Zona de sujeción delantera (protección de manos).
7. Regulador del número de carreras.



Gracias al funcionamiento pendular puede aumentarse el rendimiento de corte en materiales blandos, como los derivados de la madera, etc.

La importancia de disponer en cada momento de un consumible adecuado para cada material nos obliga a especializar aún más la gama de hojas de sierra sable.

Indicaciones especiales de seguridad para sierras de sable.

- Aparte siempre la herramienta del cuerpo cuando esté cortando con ella.
- No ponga nunca las manos delante de la hoja de sierra.
- No corte cuando desconozca lo que se encuentra en la capa inferior.

- Para garantizar un trabajo óptimo y seguro, la zapata de presión debe presionarse contra la pieza de trabajo.
- Desconecte la herramienta para su transporte.
- Utilice siempre longitudes de hoja de sierra que sobresalgan al menos 40 mm (H) de las dimensiones de la pieza de trabajo para evitar contragolpes fuertes.
- Para evitar un sobre calentamiento de la herramienta cuando se utilice el adaptador para el corte de conductos (accesorios) y en especial cuando el diámetro del conducto sea muy grande, deben trabajarse con una presión moderada y una velocidad de corte apropiado.
- Las virutas producidas al serrar y especialmente las metálicas pueden alcanzar temperaturas muy elevadas.
- No utilice nunca la herramienta sin llevar puesta la protección de las manos.
- Antes de comenzar a trabajar determine la categoría de peligrosidad del polvo que se genera al trabajar.
- Trato y uso cuidadoso de herramientas eléctricas:
- Sujete con firmeza la pieza a cortar.
- Asegúrese de que los útiles presentan el sistema de inserción adecuado para la herramienta y estén enclavados en el porta útiles conforme a las prescripciones.
- En el caso de corte de corriente: desconecte la herramienta y extraiga el enchufe.
- Hay que evitar que el alargador este enchufado en una toma de corriente múltiple y que al mismo tiempo estén en funcionamiento varias herramientas.
- Equipo de seguridad personal (EPI).
- El usuario y el personal que se encuentre en las proximidades deben llevar protección para los ojos, para los oídos, mascarilla ligera y guantes protectores durante la utilización del aparato.

Puesta en servicio:

- Como norma general antes de utilizar cualquier herramienta lea el manual de instrucciones y normas de seguridad.
- Utilizar EPIS.
- Utilizar alargadores con secciones trasversal mínima recomendada y longitudes de cable máxima:

Tension de red	Sección del conductor	
	1´5	2´5 mm²
110 -120v	20 m	40 m
230 v	50 m	100 m

- **Si el corte genera excesiva vibración:**
  - Reduzca la presión ejercida sobre el elemento a cortar.
  - Varíe el ángulo longitudinal y/o transversal de ataque de la hoja de corte.
  - Modifique la velocidad de carrera.
  - Cambie el selector orbital.
  - Reduzca al mínimo el desplazamiento de la zapata.
  - Seleccione una hoja de corte de menor grosor.
  - Seleccione una hoja más corta.
  - Aumente el número de carreras.
  - Elija otro tipo de hoja de corte con dentado diferente.
  - Mejore la sujeción del elemento a cortar.
- **En caso de atrapamiento de la hoja:**
  - Detener la herramienta.
  - Bloquear el seguro de accionamiento (si es posible), desconectar.
  - Accionar el sistema de cambio de hoja.
  - Liberar la herramienta.

CUIDADO Y MANTENIMIENTO.

- Cuidado con los útiles.
  - Mantener la herramienta limpia, especialmente los gorrones empotrables, portátiles para garantizar el funcionamiento perfecto del
  - El extremo de la hoja de corte de la sierra de sable siempre ha de quedar libre en su inmersión. Carrera, es decir, no puede impactar contra ningún elemento. Excepción corte por
  - Si se ha hecho uso intenso de la herramienta, se recomienda una inspección realizada por el servicio técnico de la marca de la herramienta.
  - Las reparaciones eléctricas solo pueden llevarlas a cabo un técnico electricista especializado.
  - No utilizar nunca la herramienta si ésta tiene obstruidas las ranuras de ventilación. Limpiarlas cuidadosamente con un cepillo seco.
  - Limpiar regularmente la herramienta con un trapo ligeramente humedecido.
  - Mantener las empuñaduras de la herramienta siempre libres de grasas y aceites.

- No utilizar ningún producto de limpieza que contenga silicona.

- Mantenimiento.
  - Comprobar regularmente que ninguna de las partes exteriores de la herramienta esté dañada y que todos los elementos de manejo se encuentren en perfecto estado de funcionamiento.
  - No usar la herramienta si alguna parte está dañada o si alguno de los elementos de manejo no funcionan bien.
  - En caso necesario, encargar la reparación de la herramienta al servicio técnico de la marca de la herramienta.
  - Las reparaciones de la parte eléctrica sólo puede llevarlas a cabo un técnico electricista especializado.
- Control después de las tareas de cuidado y mantenimiento.
  - Una vez realizadas las tareas de cuidado y mantenimiento debe comprobarse si la protección de las manos y la zapata de presión están colocadas y funcionan sin problemas.

El componente esencial de la sierra sable es la hoja de sierra sable. Es muy importante una elección adecuada de la misma antes de iniciar la maniobra.

Los tres tipos basicos de sierras son las de :

Dentados grandes para madera.

Dentado medio para madera con clavos

Dentado pequeño para metal.

10.3. MARTILLO DEMOLEDOR

Es un derivado martillo no rotatorio del martillo rotor. Ofrece un único modo operativo designado para picar y romper materiales cuando no sea preciso perforar orificios.

Aunque los martillos eléctricos tienen menos potencia que los martillos neumáticos, son más livianos, necesitan poco manteniendo, de fácil transporte y fácil almacenaje. Por ello, lo que les falta

en versatilidad lo compensa con su gran capacidad de golpe, ya que son un 35 % más potente que los martillos combinados.

Los martillos demoledores eléctricos varían de peso, de 6 a 30 Kg. El tamaño más adecuado para un equipo de rescate es el de 10 kg. Siendo este el más polivalente para trabajar en paredes y suelos. Muy indicados para trabajos en interiores y lugares remotos o de difícil acceso.

MARTILLO COMBINADO

En el caso de los martillos combinados, éstos tienen las dos funciones, la de picada y la de perforación. Son válidos para los dos tipos de trabajo, tanto para demoliciones como para perforación con broca. El único problema es que este tipo de martillos combinados pierde picada en relación con los martillos expresamente picadores.

Éstos son recomendados para trabajos tanto de perforación como para demoliciones, no siendo para éstas últimas el martillo ideal.

10.4. MARTILLO COMBINADO / MARTILLO DEMOLEDOR

Visualmente los martillos combinados y demoledores solo se diferencian en que los primeros están dotados de un selector de modo de trabajo y un variador de velocidad. Ubicados en lugares diferente según marca

Martillo Combinado

1. empuñadura adicional en "D".
2. casquillo de bloqueo
3. interruptor ON/OFF.
4. Selector modo trabajo (rotación/percusión). Solo presente en Martillo Combinado
5. Variador de velocidad*. Solo presente en martillo combinado

10.4.1. DIFERENTES TIPOS DE CINCELES Y SUS USOS

La adquisición de un cincel también está condicionada a una serie de factores que dependen de ciertos parámetros. Veamos tres de los principales.

a. **Tamaño del trabajo a realizar**

Si vamos a trabajar en un área grande o pequeña podemos elegir un cincel grande de punta, que a la sazón puede producir menor cantidad de escombro. Un cincel pequeño arranca trozos de menor tamaño, perforando áreas pequeñas y provocando grandes desmoronamientos. En cambio, uno más grande arranca áreas de mayor tamaño, o bien permite extraer el material con las manos después de romperlo.

b. **Resistencia del material**

La resistencia del material a demoler tiene un gran impacto en la elección del cincel. Si el material es débil, un cincel grande de punta roma se adaptará perfectamente a esa tarea. Si el material es resistente, el trabajo puede comenzarse con un cincel de punta pequeño, ya que de esta manera se ejerce más presión sobre una menor cantidad de espacio, lo que facilita la perforación del material.

c. **Área a demoler**

Ciertas áreas a demoler son fáciles de atacar, por ejemplo, las paredes completamente abiertas o un piso que no presenta ningún tipo de obstrucción. Si el trabajo se encuentra en un área complicada, la demolición puede verse dificultada. Los cinceles de pala angosta, de corte frío y de punta tipo lápiz funcionan mejor en áreas inusuales, ya que su forma larga y delgada facilita la rotura del material en áreas pequeñas u ocultas.

La elección de los cinceles puede afectar drásticamente su eficiencia cuando se trabaja con un material particular. Por ejemplo:

- Los cinceles de pala ancha pueden arrancar mejor trozos grandes de mampostería, por ejemplo, cuando se está demoliendo una pared.
- Los cinceles de pala angosta, por su parte, pueden picar secciones más pequeñas.
- Los electricistas, por ejemplo, usan cinceles pequeños para abrir canaletas en el hormigón, mientras que los cinceles de punta pueden partir rocas fácilmente.
- Antes de usar un cincel debemos evaluar cuidadosamente el área de trabajo para lograr los mejores resultados en el menor tiempo posible.

Cincel de pala angosta

Cincel de pala ancha

NORMAS DE SEGURIDAD EN USO DE MARTILLOS ELECTRICOS

- No hacer esfuerzo de palanca con el martillo en marcha. Los esfuerzos se deben realizar únicamente en el sentido del eje del martillo.
- No hacer funcionar el martillo en vacío

- Evitar usar la máquina de forma continuada por un mismo operador durante los periodos de tiempo. Organizar la tarea teniendo en cuenta los elevados niveles de vibración emitidos por la máquina.

- Agarrar la empuñadura con la menor fuerza posible, siempre compatible con un uso seguro. No apoyar sobre el martillo otra parte del cuerpo distinta de las manos abdomen, etc.)

- Cuando se trabaje en ambientes fríos, se recomienda utilizar guantes para mantener las manos lo más calientes posibles, ya que se reducirán los efectos de las vibraciones.

- No dejar el martillo hincado en el suelo, pared o roca.

- No transportar la máquina funcionando o con el dedo en el interruptor o palanca de accionamiento.

- No tocar la herramienta durante ni inmediatamente después de haber finalizado el trabajo. Esperar un tiempo prudencial hasta que se haya enfriado.

- En caso de trabajar cerca del borde de estructuras, el usuario se asegurará con una línea de vida, así como a la herramienta.

11. MANIOBRAS DE RESCATE

11.1. INTRODUCCIÓN

Escenario de maniobras de rescate. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.).

Como bomberos en nuestro trabajo cotidiano tendremos que realizar rescates en entornos urbanos, en muchas ocasiones no podremos utilizar las vías normales de evacuación de los inmuebles, bien por estar inutilizadas por el efecto del incendio, deflagración o cualquier otro motivo que haga imposible el rescate por esa vía. En estas situaciones debemos improvisar otras vías de evacuación , normalmente se utilizan las fachadas de los edificios, en tales situaciones nuestra primera opción para realizar el rescate será mediante los vehículos de altura AEA o ABA , son vehículos especialmente diseñados para realizar estas acciones , el problema que nos encontramos a menudo es que no siempre podemos utilizar esta opción , ya que estos vehículos tienen también sus limitaciones y necesitan de unas condiciones de espacio mínimas para poder trabajar que no siempre se cumplen para poder utilizarlos con garantías .En estos casos utilizaremos las llamadas técnicas de rescate , que son maniobras donde utilizando material de rescate como cuerdas , poleas, camillas , escaleras portátiles, etc, podremos poner a salvo a las personas que tengan que ser rescatadas de estas situaciones.

Dentro de estas maniobras de rescate un elemento muy utilizado en nuestra profesión son las escaleras portátiles , por su versatilidad , permiten salvar pequeños desniveles de hasta 6 metros ascendente o descendente; también para trabajar de manera horizontal en zonas poco seguras (pisos o tejados poco estables) o salvar una obstáculo en sentido horizontal; pueden ser utilizadas como bípodes con vientos e improvisar un punto elevado desde donde realizar un descenso o ascenso para un rescate .En resumen , bien utilizadas son una herramienta con una gran variedad de opciones.

La principal tarea de los equipos de rescate, independientemente de la situación en la que nos encontremos, es el auxilio de las víctimas, realizando los rescates de la manera más segura tanto para la víctima como para los propios rescatadores.

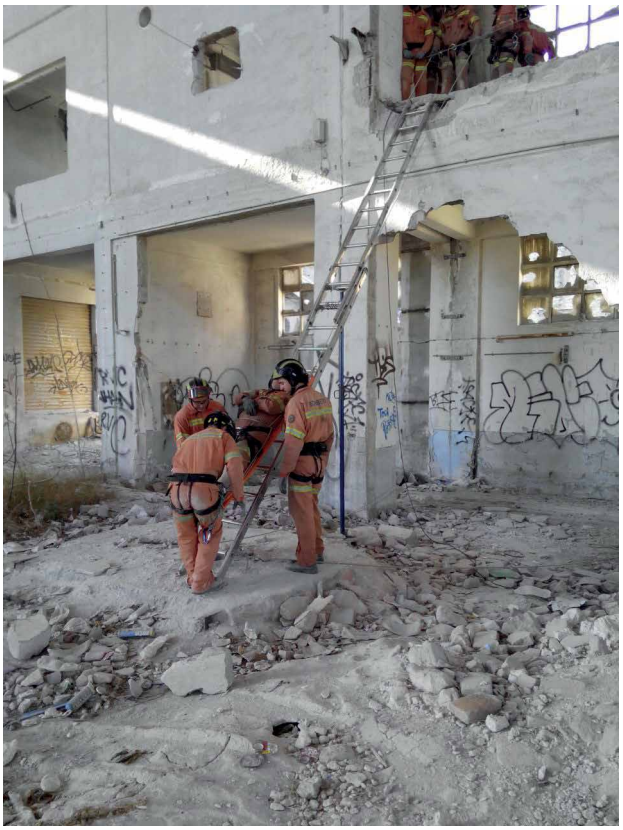
A continuación, pasamos a explicar las diferentes maniobras de rescate, dependiendo del escenario ante el que nos encontremos, la situación y posibles lesiones de la persona a rescatar, utilizaremos un tipo de maniobra u otra. La propuesta que se hace para realizar las maniobras es con una dotación tipo de 5 componentes, situación que puede ser adaptada a los protocolos internos de cada servicio.

11.2.1 MANIOBRA DEL TOBOGÁN

El Tobogán es una maniobra básica en las tareas de rescate de salvamento y desescombro. Dicha maniobra se utiliza para salvar desniveles mediante una escalera extensible, sobre la que se coloca la camilla o tabla de rescate con la víctima. El descenso o ascenso de la víctima se realizará desde la parte superior del tobogán por los rescatadores. En esta maniobra, estará condicionada al estado de la víctima rescatada, en ciertas lesiones de cadera o columna vertebral, habrá que tomar medidas en cuanto a la inmovilización para no agravar la lesión.

La altura también es un factor limitante ya que los tramos de escalera más comunes son de 4 metros, teniendo en cuenta que debemos dejar que se solape un mínimo de un metro de escalera, la altura real de un rescate con esta técnica será un máximo de seis metros o dos pisos.

El principal elemento interviniente en la maniobra del Tobogán será la escalera extensible, la cual deberá cumplir con los requisitos mínimos de seguridad y salud establecidos por el Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo y por el Real Decreto 2177/2004, de 12 de noviembre, por el que se modifica el Real Decreto 1215/1997.



Tobogán. (Grupo U.R.E.C, 2017, s.p.)

NÚMERO DE INTERVINIENTES: Para realizar la maniobra del Tobogán serán necesario como mínimo 5 intervinientes, 1 Sargento, 1 Cabo y 3 Bomberos.

DESCRIPCIÓN DE LA TAREA: El Tobogán se ejecutará siguiendo los siguientes pasos:

- Despliegue de la escalera dependiendo de la altura a salvar.
- Colocación de la escalera.
- Fijación de la escalera en su parte inferior mediante estacas o atado.
- Colocación y fijación del puntal metálico en el centro de la escalera para evitar un excesivo pandeo.
- Ascenso por la escalera y acceso a la víctima
- Fijación de la escalera en su parte superior mediante atado a un punto fijo o elemento constructivo.
- Colocación y posterior atado de la víctima a la camilla o tabla de rescate.
- Atado de las cuerdas de descenso a la camilla o tabla de rescate.
- Situado de la camilla o tabla de rescate en la escalera.
- Descenso de la camilla o tabla de rescate junto con un bombero que acompaña en todo momento a la víctima y salva el paso entre los dos tramos de la escalera.
- Recepción de la camilla o tabla de rescate por los socorristas que se encuentran en la parte inferior.

Colocación escalera Tobogán. (Grupo U.R.E.C., 2015, s.p.).

Fijación puntal. (Grupo U.R.E.C., 2015, s.p.).

Detalle fijación puntal. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.).

Detalle fijación puntal. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

Anclaje inferior escalera. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

TAREAS A REALIZAR:

Tabla. Tareas a realizar en la maniobra del tobogán.

	Trabajos:
Sargento	▪ Identificación de la zona de peligro y de la víctima a evacuar ▪ Cálculo del tramo desplegable de la escalera. ▪ Recepción de la camilla con la víctima. ▪ Dirige la tarea a realizar por los bomberos ▪ Controla la seguridad de la intervención
Cabo	▪ Apoya al Sargento en la identificación de la zona de peligro y de la víctima a evacuar. ▪ Ayuda al Sargento a realizar el cálculo del tramo desplegable de la escalera. ▪ Atado del puntal a escalera. ▪ Accede junto con el B1 y B2 a la víctima. ▪ Colocación de la víctima en la tabla de rescate y posterior atado junto con el B1 y B2. ▪ Atado de las cuerdas de descenso junto con el B1 ▪ Descenso de la camilla junto con el B1 ▪ Controla la seguridad de la intervención

	Trabajos:
Bombero 1	▪ Fijación de la escalera mediante estacas o atado apoyado por el B3 ▪ Accede junto con el Cabo y el B2 a la víctima. ▪ Colocación de la víctima en la tabla de rescate y posterior atado junto con el Cabo y B2. ▪ Atado de la cuerda de descenso junto con el Cabo. ▪ Descenso de la camilla junto con el Cabo.
Bombero 2	▪ Transporta el material a la zona de trabajo junto con el B3. ▪ Accede a la víctima junto con el Cabo y el B1. ▪ Colocación de la víctima en la tabla de rescate y posterior atado junto con el Cabo y el B1. ▪ Desciende junto con la víctima por la escalera.
Bombero 3	▪ Transporta el material a la zona de trabajo junto con el B2 ▪ Apoya al B1 en la fijación de la escalera mediante estacas o atado. ▪ Recepción de la camilla con la víctima

(Fuente. Elaboración propia.)

Acceso a la víctima. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

Descenso víctima. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

Atado camilla nido. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

Atado tabla rescate. (Elaboración propia, 2015)

MATERIAL UTILIZADO: La maniobra del Tobogán requerirá como mínimo de los siguientes materiales:

- 1 Escalera extensible.
- 1 Puntal Metálico.
- 1 Coordino de atado de 4 mm para fijar el puntal con la escalera.
- 2 Estacas metálicas.
- 1 Cuerda de atado de la escalera.
- 1 Camilla o tabla de rescate.
- 1 Arnés de araña o un coordino de 8 mm para fijar a la víctima a la camilla o tabla de rescate.
- 2 Cuerdas de descenso de la camilla o tabla de rescate.

11.2.2 MANIOBRA DE LA BISAGRA

La finalidad de la Bisagra es muy similar a la maniobra del Tobogán, explicada en el punto anterior. Se utiliza para salvar desniveles, con la diferencia de que en este caso se utilizará para el rescate de aquellas víctimas que posean lesiones que por recomendación médica tengan que mantener su posición horizontal. Los rescatadores situados en la parte superior serán los encargados de mantener la posición horizontal de la víctima mientras que los de la parte inferior mantendrán e inclinarán la escalara y serán los encargados de recibir a la víctima.

Bisagra. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

La limitación de esta maniobra vendrá condicionada por la altura de los tramos de la escalera utilizada, como en el tobogán también debemos dejar un metro de solape en los tramos, así como al entorno próximo donde se recepciona la escalera, pero será complicado realizar esta maniobra a más de seis metros. De la misma manera que en la maniobra del tobogán la escalera deberá cumplir con los requisitos mínimos de seguridad y salud establecidos por el Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo y por el Real Decreto 2177/2004, de 12 de noviembre, por el que se modifica el Real Decreto 1215/1997.

NÚMERO DE INTERVINIENTES: El número mínimo de socorristas será de 5 miembros, 1 Sargento, 1 Cabo y 3 Bomberos para realizar la maniobra de la Bisagra.

DESCRIPCIÓN DE LA TAREA: Para ejecutar la maniobra de la Bisagra se deberán de llevar a cabo los siguientes puntos:

- Despliegue de la escalera dependiendo de la altura a salvar.
- Suplementar, en el caso de que se necesario, el apoyo de la escalera.
- Colocación de la escalera.
- Ascenso por la escalera y acceso a la víctima.
- Colocación y posterior atado de la víctima a la camilla o tabla de rescate.
- Atado y cosido de las cuerdas de descenso a la camilla.
- Situado de la camilla o tabla de rescate en la escalera.
- Descenso de la camilla o tabla de rescate.
- Recepción de la camilla o tabla de rescate por los socorristas que se encuentran en la parte inferior.

Figura 13. Colocación escalera Bisagra. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

TAREAS A REALIZAR:

Tabla. Tareas a realizar en la maniobra de la bisagra.

	Trabajos:
Sargento	▪ Identificación de la zona de peligro y de la víctima a evacuar ▪ Cálculo del tramo desplegable de la escalera. ▪ Realiza el descenso de la escalera junto con el B2 y B3. ▪ Recepción de la camilla con la víctima. ▪ Dirige la tarea a realizar por los bomberos ▪ Controla la seguridad de la intervención
Cabo	▪ Apoya al Sargento en la identificación de la zona de peligro y de la víctima a evacuar. ▪ Ayuda al Sargento a realizar el cálculo del tramo desplegable de la escalera. ▪ Accede junto con el B1. ▪ Colocación de la víctima en la tabla de rescate y posterior atado junto con el B1. ▪ Cosido y atado de las cuerdas de descenso junto con el B1 ▪ Descenso de la camilla junto con el B1 ▪ Controla la seguridad de la intervención
Bombero 1	▪ Accede junto con el Cabo y a la víctima. ▪ Colocación de la víctima en la tabla de rescate junto con el Cabo. ▪ Cosido y atado de la cuerda de descenso junto con el Cabo. ▪ Colocación de la víctima en la escalera. ▪ Descenso de la camilla junto con el Cabo.
Bombero 2	▪ Transporta el material a la zona de trabajo junto con el B3. ▪ Realización del suplemento de apoyo de la escalera con el B3, si procede. ▪ Colocación de la escalera. ▪ Realiza el descenso de la escalera junto con el Sargento y el B3. ▪ Recepciona la camilla.
Bombero 3	▪ Transporta el material a la zona de trabajo junto con el B2. ▪ Realización del suplemento de apoyo de la escalera con el B2, si procede. ▪ Colocación de la escalera. ▪ Realiza el descenso de la escalera junto con el Sargento y el B2. ▪ Recepciona la camilla.

(Fuente. Elaboración propia.)

Inicio maniobra Bisagra. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

Descenso víctima. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

Recepción víctima. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

Atado camilla nido. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

Atado tabla rescate. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

MATERIAL UTILIZADO: El material empleado en la maniobra de la Bisagra será el siguiente:

- 1 Escalera extensible.
- Tablones de madera para realizar el suplemento de la base de la escalera.
- 1 Cuerda de atado de la escalera.
- 1 Camilla o tabla de rescate.
- 1 Arnés de araña o un coordino de 8 mm para fijar a la víctima a la camilla o tabla de rescate.
- 2 Cuerdas de descenso de la camilla o tabla de rescate.

11.2.3 PASO DE GRIETA

El Paso de Grieta es una maniobra empleada en Salvamento y Desescombro para desplazarse de forma horizontal sobre una escalera. Mediante esta maniobra se podrá tanto acceder a una posible víctima así como realizar su rescate.

La limitación de esta maniobra dependerá también de la escalera utilizada. De la misma manera que en las maniobras anteriores la escalera deberá cumplir con los requisitos mínimos de seguridad y salud establecidos por el Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo y por el Real Decreto 2177/2004, de 12 de noviembre, por el que se modifica el Real Decreto 1215/1997.

Paso de grieta. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

NÚMERO DE INTERVINIENTES: El número mínimo de rescatadores para realizar esta maniobra será de 5, 1 Sargento, 1 Cabo y 3 Bomberos.

DESCRIPCIÓN DE LA TAREA: Para la ejecución de la maniobra del Paso de Grieta seguiremos los siguientes pasos:

- Localización de la víctima.
- Conocer la longitud del hueco a salvar con la escalera lanzando una cuerda.
- Desplegado de la escalera y atado de la parte central de la misma.
- Posicionar la escalera.
- Anclaje de la escalera.
- Paso de los rescatadores a la víctima.
- Colocación de la víctima en la camilla o tabla de rescate y posterior atado.
- Atado de los vientos a la camilla o tabla de rescate.
- Evacuación de la víctima.

Colocación escalera Paso de Grieta. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

Atado de escalera. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

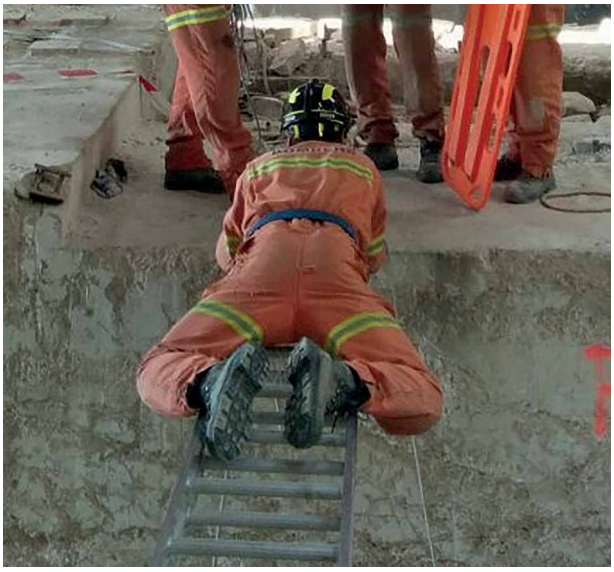
TAREAS A REALIZAR:

Tabla. Tareas a realizar en la maniobra de la bisagra.

	Trabajos:
Sargento	▪ Identificación de la zona de peligro y de la víctima a evacuar ▪ Cálculo del tramo desplegable de la escalera. ▪ Recepción de la camilla con la víctima. ▪ Dirige la tarea a realizar por los bomberos ▪ Controla la seguridad de la intervención
Cabo	▪ Apoya al Sargento en la identificación de la zona de peligro y de la víctima a evacuar. ▪ Ayuda al Sargento a realizar el cálculo del tramo desplegable de la escalera. ▪ Accede junto con el B1 Y B2. ▪ Colocación de la víctima en la tabla de rescate y posterior atado junto con el B1. ▪ Cosido y atado de las cuerdas de descenso junto con el B1 ▪ Controla la seguridad de la intervención
Bombero 1	▪ Accede junto con el Cabo y el B2 a la víctima. ▪ Colocación de la víctima en la tabla de rescate junto con el Cabo. ▪ Cosido y atado de la cuerda de descenso junto con el Cabo. ▪ Colocación de la víctima en la escalera.

	Trabajos:
Bombero 2	▪ Transporta el material a la zona de trabajo junto con el B3. ▪ Accede junto con el Cabo y el B1 a la víctima. ▪ Colocación de la escalera. ▪ Colocación de la víctima a la escalera.
Bombero 3	▪ Transporta el material a la zona de trabajo junto con el B2. ▪ Colocación de la escalera. ▪ Atado de los peldaños de la escalera. ▪ Recepciona la camilla.

(Fuente. Elaboración propia.)



Acceso a la víctima. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

Evacuación víctima. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

MATERIAL UTILIZADO: El material empleado en la maniobra de la Bisagra será el siguiente:

- 1 Escalera extensible.
- 1 Cuerda de atado de la escalera.
- 1 Camilla o tabla de rescate.
- 1 Arnés de araña o un coordino de 8 mm para fijar a la víctima a la camilla o tabla de rescate.
- 2 Cuerdas para manejo de la camilla o tabla de rescate.

11.2.4 TRÍPODE CON VIENTOS

Esta maniobra se utiliza para improvisar un punto elevado como anclaje de fortuna cuando el entorno no nos permite otra opción, aunque se les llama trípode con escaleras, como se observa en la imagen la escalera realmente es un bípode donde se fija con dos vientos contrapuestos.

Trípode con escaleras Grupo U.R.E.C 2017

Con esta maniobra podremos acceder mediante técnicas de ascenso y descenso vertical normalizadas en cada servicio a pozos, zanjas o cualquier desnivel bajo rasante para realizar un rescate mediante ese punto elevado de anclaje que nos da esa disposición de la escalera.

NÚMERO DE INTERVINIENTES: Para realizar esta maniobra serán necesarios al menos por 5 rescatadores, 1 Sargento, 1 Cabo y 3 Bomberos, de manera que bajen dos rescatadores al encuentro con la víctima y el resto del equipo se queda en la parte superior para realizar la extracción del equipo y víctima.

DESCRIPCIÓN DE LA TAREA: Los pasos a seguir en la maniobra de ascenso/descenso con escaleras son los siguientes:

- Localización de la víctima.
- Localización del orificio por el que se va a proceder al rescate.
- Preparación de la escalera mediante los atados superiores, intermedio e inferior.
- Colocación de las dos cuerdas con la función de vientos.
- Preparación mediante cintas de anclaje o similar del punto de anclaje elevado.
- Presentación del sistema en el lugar del rescate buscado la vertical del punto elevado con el hueco a descender
- Acabar de montar el sistema de cuerdas, poleas para realizar el descenso de los rescatadores para acceder a la víctima

- Valoración estado de la víctima para realizar la evacuación mediante camilla nido o triangulo de evacuación.
- Ascenso o descenso de la víctima
- Evacuación.

TAREAS A REALIZAR:

Tabla. Tareas a realizar en la maniobra de la bisagra.

	Trabajos:
Sargento	▪ Identificación de la zona de peligro y de la víctima a evacuar ▪ Selecciona punto de colocación del bipode de la escalera. ▪ Recepción de la camilla con la víctima. ▪ Dirige la tarea a realizar por los bomberos ▪ Controla la seguridad de la intervención
Cabo	▪ Apoya al Sargento en la identificación de la zona de peligro y de la víctima a evacuar. ▪ Coordina el montaje del sistema de la escalera como bípode. ▪ Desciende al encuentro de la víctima junto con el B1. ▪ Valoración estado víctima, determina método de rescate (Camilla, pañal de rescate, etc..) ▪ Colocación de la víctima en la tabla de rescate y posterior atado junto con el B1. ▪ Cosido y atado de las cuerdas de descenso junto con el B1 ▪ Controla la seguridad de la intervención desde la parte inferior
Bombero 1	▪ Transporta el material a la zona de trabajo ▪ Accede junto con el Cabo y a la víctima. ▪ Ayuda al cabo en la valoración de la víctima ▪ Colocación de la víctima en la tabla de rescate junto con el Cabo. ▪ Cosido y atado de la cuerda de descenso junto con el Cabo. ▪ Colocación de la víctima en la escalera.
Bombero 2	▪ Transporta el material a la zona de trabajo junto con el B3. ▪ Montaje de la escalera en disposición de bipode. ▪ Colocación de los vientos y montaje del punto de anclaje en la parte superior del bípode. ▪ Recepciona la camilla en la parte superior
Bombero 3	▪ Transporta el material a la zona de trabajo junto con el B2. ▪ Montaje de la escalera en disposición de bípode con B2 ▪ Colocación de los vientos y montaje del punto de anclaje en la parte superior del bípode ▪ Recepciona la camilla en la parte superior

(Fuente. Elaboración propia.)

Atado intermedio del bípode. Grupo U.R.E.C 2017

Sistema acabado con rescatador descendiendo. Grupo U.R.E.C 2017

MATERIAL UTILIZADO: Para la realización de la maniobra de ascenso/descenso 4 puntos necesitaremos:

- 1 Camilla o tabla de rescate.
- 1 Triángulo de evacuación.
- 4 Cuerdas de 15 a 20 metros para atados y vientos.
- 2 Cuerdas de rescate
- 2 Sacas con material diverso de escalada: mosquetones, poleas, descensores ID, etc..
- 1 Escalera extensible
- 1 Tablón para fijación intermedia

11.2.5 ASCENSO Y DESCENSO POR 4 PUNTOS

A diferencia de las maniobras explicadas anteriormente, este tipo de maniobra requiere una menor elaboración para evacuar a la víctima, pero no por ello es más sencilla, ya que requiere de una elevada coordinación entre los socorristas, así como un mayor esfuerzo físico y estar acostumbrados a trabajar en equipo.

Simplemente se atarán a las cuatro esquinas de la camilla o tabla de rescate las cuerdas que serán sujetas por los socorristas, los cuáles realizarán las maniobras de ascenso o descenso. En el caso de utilizar el triángulo de evacuación, se anclarán directamente a este.

NÚMERO DE INTERVINIENTES: La maniobra de ascenso/descenso 4 puntos será realizada al menos por 5 rescatadores, 1 Sargento, 1 Cabo y 3 Bomberos para realizar la maniobra de la Bisagra.

Ascenso/Descenso 4 Puntos.
(Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

DESCRIPCIÓN DE LA TAREA: Los pasos a seguir en la maniobra de ascenso/descenso 4 puntos son los siguientes:

- Localización de la víctima.
- Localización del orificio por el que se va a proceder al rescate.
- Colocación y atado de la víctima en la camilla o tabla de rescate.
- Atado de las 4 cuerdas en las esquinas de la camilla o tabla de rescate.
- Ascenso o descenso de la camilla o tabla de rescate con la víctima.
- Evacuación de la víctima.

- En el caso de utilizar un triángulo de evacuación:
- Localización de la víctima.
- Localización del orificio por el que se va a proceder el rescate.
- Colocación del triángulo de evacuación a la víctima.
- Anclaje de las cuerdas al triángulo de evacuación.
- Ascenso o descenso de la víctima.
- Evacuación.

TAREAS A REALIZAR:

Tabla. Funciones en la maniobra del ascenso/descenso 4 puntos.

	Trabajos:
Sargento	▪ Identificación de la zona de peligro y de la víctima a evacuar ▪ Recepción de la camilla con la víctima. ▪ Dirige la tarea a realizar por los bomberos ▪ Controla la seguridad de la intervención
Cabo	▪ Apoya al Sargento en la identificación de la zona de peligro y de la víctima a evacuar. ▪ Accede a la víctima junto con el resto de bomberos. ▪ Colocación de la víctima en el triángulo de evacuación junto con el B1. ▪ Atado de su cuerda de descenso al triángulo de evacuación. ▪ Descenso del triángulo de evacuación junto con el resto de bomberos. ▪ Controla la seguridad de la intervención
Bombero 1	▪ Accede a la víctima junto con el Cabo y el resto de bomberos. ▪ Colocación de la víctima en el triángulo de evacuación junto con el Cabo. ▪ Atado de su cuerda de descenso al triángulo de evacuación. ▪ Descenso del triángulo de evacuación junto con el Cabo y resto de bomberos. ▪ Evacuación de la víctima.
Bombero 2	▪ Transporta el material a la zona de trabajo junto con el B3. ▪ Atado de la víctima al triángulo de evacuación junto con el B3. ▪ Atado de su cuerda de descenso al triángulo de evacuación. ▪ Descenso de la camilla junto con el Cabo y resto de bomberos. ▪ Evacuación de la víctima.
Bombero 3	▪ Transporta el material a la zona de trabajo junto con el B2. ▪ Atado de la víctima al triángulo de evacuación junto con el B2. ▪ Atado de su cuerda de descenso al triángulo de evacuación. ▪ Descenso del triángulo de evacuación junto con el Cabo y resto de bomberos. ▪ Evacuación de la víctima.

(Fuente. Elaboración propia.)

Descenso rescatador. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

Descenso rescatador. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

Ascenso víctima. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

MATERIAL UTILIZADO: Para la realización de la maniobra de ascenso/descenso 4 puntos necesitaremos:

- 1 Camilla o tabla de rescate.
- 1 Triángulo de evacuación.
- 4 Cuerdas.

Triángulo de evacuación. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

12. MANIOBRAS DE FUERZA

GENERALIDADES

Cuando se produce un terremoto, la caída de un edificio o un corrimiento de tierra, nos encontramos con situaciones en las que para poder rescatar a las víctimas sea necesario el mover o desplazar un número de cargas elevadas y pesadas en las que tendremos que utilizar una serie de técnicas apropiadas para tal.

Levantamiento de cargas. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

Para levantar dichas cargas nos apoyaremos siempre que podamos en maquinaria pesada (grúas, retroexcavadoras, palas mixtas), pero en muchas otras ocasiones, debido que la localización de la carga se encuentra en un punto inaccesible en el que no sea posible utilizar dicha maquinaria, utilizaremos las maniobras de fuerza.

Definiremos las maniobras de fuerza como aquellas maniobras que nos permiten amarrar, sostener y desplazar cargas inertes con la ayuda de aparejos elegidos en función del esfuerzo a realizar.

MATERIALES DE ELEVACIÓN, EMPUJE Y TRACCIÓN

1. MATERIALES DE ELEVACIÓN Y EMPUJE. COJINES NEUMÁTICOS

Los cojines neumáticos son unos elementos preparados para inflarse con aire a presión y ofrecer una gran resistencia capaz de elevar, separar o estabilizar cargas.

Las principales ventajas que nos ofrecen los cojines neumáticos son las siguientes:

- Mínimo espacio para poder ser colocados.
- Relativo poco peso.
- Buena resistencia a los malos tratos.
- Gran capacidad de elevación.

Por el contrario, la principal desventaja que nos ofrecen son la gran cantidad de elementos que se necesitan para poder utilizados.

Para la utilización de los cojines neumáticos se necesitarán:

- Botella de aire.

- Manorreductor.
- Órgano de mando.
- Acoples.
- Latiguillos.
- Cojines neumáticos.
- Protectores.

Antes de la utilización de estos tendremos que tener en cuenta algunos aspectos que pasaremos a comentar a continuación:

- Se deberá realizar una comprobación del buen estado de los cojines y demás accesorios.
- Nos aseguraremos de que la cantidad de aire existente en la botella será suficiente para el inflado de éstos a su máxima presión de trabajo.
- Comprobaremos la solidez del suelo. Además, colocaremos una durmiente y una sopanda para la protección de los cojines, así como para crear una superficie adecuada de trabajo.
- Debemos de tener en cuenta la estructura a elevar, ya que en el caso de que existan puntos calientes, objetos punzantes o cortantes, se deberán de proteger los cojines.
- Montaremos el equipo según la secuencia de montaje:
  - Botella.
  - Manorreductor.
  - Órgano de mando.
  - Mangueras.
  - Cojines.

Una vez montado y colocado el equipo:

- Se procederá al inflado de los cojines observando el comportamiento de la carga a elevar.
- Iremos calzando la estructura elevada a medida de que esta se vaya levantando. Para ello podremos utilizar tacos, cuñas, puntales, etc.

Otra de las consideraciones a tener en cuenta en los cojines de alta presión es que estos se pueden apilar. Para ello, inflaremos siempre primero el cojín que se encuentre en la parte inferior y a continuación el superior.

En el caso de que sean de distinto tamaño, colocaremos el de mayor tamaño en la parte inferior. Sumaremos la altura de ambos cojines pero tendremos que tener en cuenta que la fuerza de elevación será la correspondiente al más pequeño.

Cojines neumáticos de alta presión. (Grupo U.R.E.C., 2015, s.p.)

2. MATERIALES DE TRACCIÓN. TRÁCTELES.

El tráctel es una herramienta portátil cuya principal función es la de traccionar y elevar cargas mediante un cable. Su funcionamiento se basa en el arrastre del cable de forma rectilínea por dos mordazas.

Tráctel. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

Tráctel. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

Los principales modelos utilizados son los siguientes:

Tabla. Tipos y características de trácteles.

TIPO	ELEVACIÓN	TRACCIÓN	PESO
T – 7	750 kg	1250 kg	7 kg
T – 13	1500 kg	2500 kg	17 kg
T – 35	3000 kg	5000 kg	26 kg

(Fuente. Elaboración propia.)

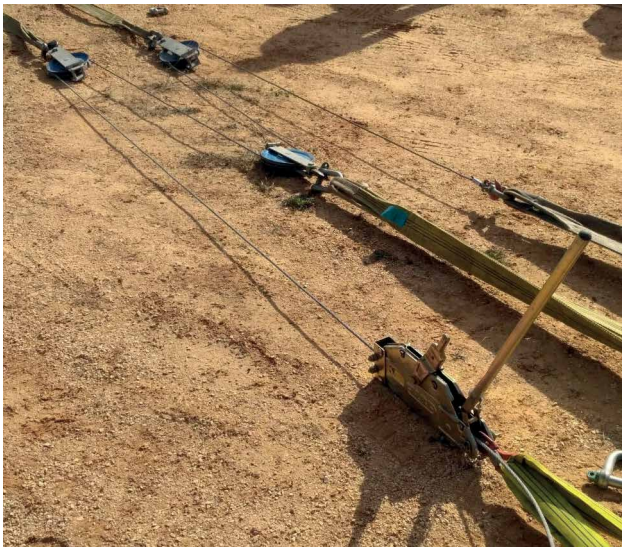
Las partes de las que se compone un tráctel son las siguientes:

- Gancho o bulón de amarre.
- Palanca marcha adelante.
- Palanca marcha atrás.
- Empuñadura o desembrague.
- Entrada de cable.
- Cable.
- Palanca telescópica.

Para comenzar a utilizar el tráctel tendremos que tener en cuenta algunos aspectos:

- El punto al cuál anclaremos el tráctel será capaz de soportar y resistir la carga.
- Que la herramienta es capaz de elevar o arrastrar la carga deseada. Además, se tendrá en cuenta el rozamiento de esta con el terreno en el caso de que vayamos a arrastrar la carga.
- El tráctel deberá de estar correctamente alineado a la carga. Para ello, se podrá utilizar una eslinga o cable de acero entre el punto de anclaje y el tráctel.

- El cable tendrá que estar completamente estirado con el fin de evitar la formación de bucles y torsión del mismo.
- El tráctel se encontrará en la posición de desembrague.
- Colocaremos el cable por el orificio opuesto al del sistema de anclaje. A continuación, tiraremos de este hasta llegar al elemento que deseamos mover.
- Pondremos el tráctel en la posición de embrague.
- Fijaremos el tráctel al punto de arrastre, bloqueando el sistema de anclaje.
- Por último, colocamos la palanca telescópica.



Maniobra con tráctel. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

Maniobra con tráctel. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

ACCESORIOS DE TRACCIÓN

1. CUERDAS

Conjunto de hilos entrelazados que forman un solo cuerpo largo y flexible que sirve para atar, suspender pesos, etc.

Cuerdas. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

2. CABLES

Cordón de alambres tranzados.

Cable. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

Cable. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

3. ESLINGAS

Maroma provista de ganchos para levantar grandes pesos.

Eslingas. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

4. CADENAS

Serie de muchos eslabones enlazados entre sí, normalmente metálicos, que sirve principalmente para atar, sujetar o adornar.

Cadenas. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

POLEAS Y POLIPASTOS

Una polea es un mecanismo que consiste en una rueda giratoria de borde acanalado, por el que se desliza una cuerda o cadena y que sirve para mover o levantar cosas pesadas.

Los diferentes tipos de polea que podemos encontrar son:

- Polea normal cerrada.
- Polea sencilla con lateral abatible.
- Polea doble, con dos roldanas.
- Polea sencilla, con abertura superior.
- Polea con freno.

Polea. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

Un polipasto es un aparejo de dos grupos de poleas, siendo uno fijo y otro móvil.

Los polipastos pueden ser de diferentes tipos:

- Polipasto simple, en el cuál se utiliza una sola cuerda.
- Polipasto compuesto, donde se utilizan dos o más cuerdas.

Polipasto. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

Para conocer la fuerza de tracción que aparece en cada ramal o sobre cada polea tendremos en cuenta que en una polea aparece la suma de las tensiones de los ramales que pasan por ella, aparte de que se deberá de incrementar un 10 % por rozamiento cada vez que un ramal pasa por una polea. En el caso de calcular un polipasto compuesto, se descompondrá en polipastos simples, los cuáles se calcularán de forma separada.

Polipasto. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

A la hora de elegir un tipo de polipasto u otro tendremos en cuenta las siguientes consideraciones:

- El polipasto simple es más fácil de realizar y necesita menos material que el polipasto compuesto.
- El polipasto compuesto nos permite distribuir mejor los esfuerzos de tracción, pudiendo utilizar varios puntos de fijación de menor resistencia.

PUNTOS DE ANCLAJE

1. VEHÍCULOS

A la hora de buscar un punto de anclaje fijo, podemos encontrar en nuestros propios vehículos un punto seguro. Un vehículo de peso (P) parado y frenado, ofrece una resistencia de:

$$R = K / P$$

Siendo los valores del coeficiente K:

- Cemento seco → 0.80
- Alquitrán seco → 0.70
- Arcilla seca → 0.55

- Alquitrán mojado → 0.50
- Alquitrán grasiento → 0.20

Anclaje Vehículo. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

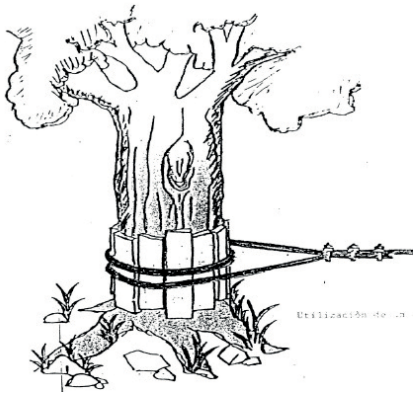
2. ÁRBOLES

En muchas ocasiones, podemos utilizar los árboles que encontramos en nuestro entorno como puntos fijos. La resistencia que éstos ofrecen dependerá de:

- El tipo de especie.
- Del diámetro del árbol.
- De su propio estado.
- De la natural del terreno.

Cuando vayamos a realizar los amarres en árboles, se deberán de considerar las siguientes medidas de seguridad.

- Se amarrará lo más cerca posible al pie del árbol.
- Protegeremos al árbol, colocando trozos de madera o de plancha que repartan la presión.
- Se utilizarán varios árboles cuando sean necesarios.



Anclaje árbol. (MAQUETACIÓN)

3. EDIFICACIONES

Unos buenos puntos de anclaje son los que elementos estructurales que nos proporciona una edificación como pueden ser pilares, vigas, zunchos, etc. Para ello tendremos que ver que estos no sufren ningún tipo de patología o deterioro.

Anclaje Edificación. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

Anclaje Edificación. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

También podremos utilizar respiraderos, casetones de ascensores e incluso, en algunas ocasiones, puertas o ventanas si se tratan de una construcción de hormigón.

Anclaje Edificación. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

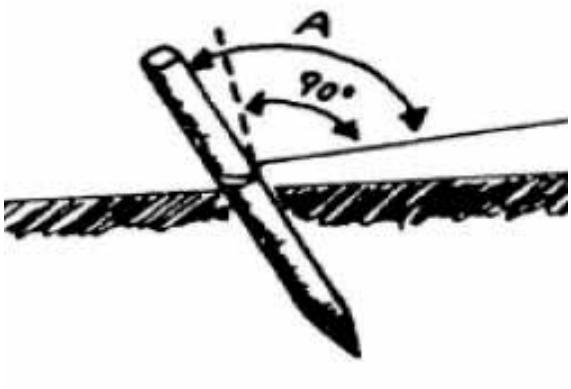
Anclaje Edificación. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

4. ANCLAJES DE FORTUNA

El principal elemento que utilizaremos para la ejecución de anclajes de fortuna son las estacas. La resistencia de trabajo de un punto fijo constituido por una estaca será del orden de 200 a 400 kg. A la hora de realizar un punto fijo mediante estacas tendremos que tener en cuenta que:

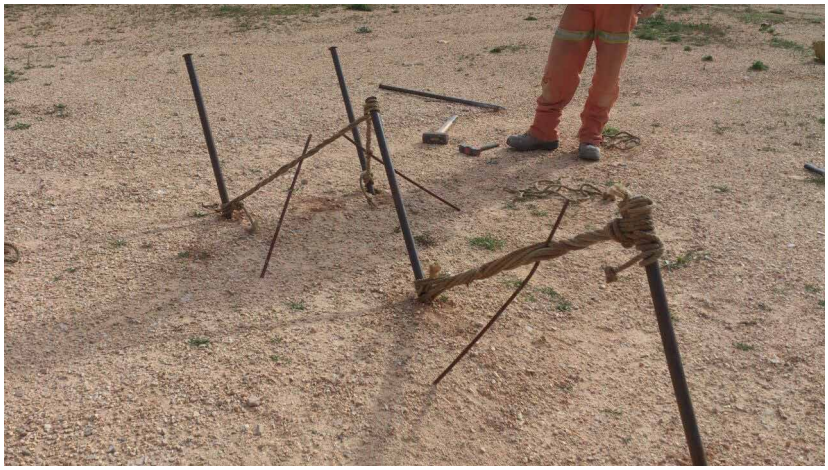
- Las estacas deberán de tener una cierta inclinación hacia atrás.
- Cuando vayamos a utilizar más de 3 estacas, estas deberán unidas entre sí mediante cuerdas, cadenas o placas.

Figura 21. Colocación de estacas. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)



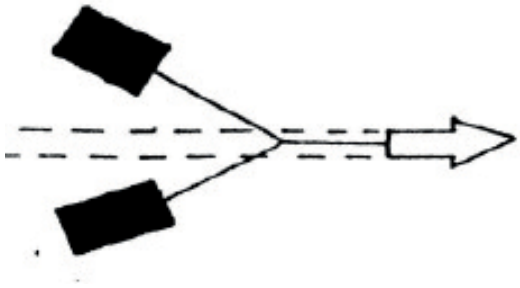
Esquema anclaje estaca. (MAQUETACIÓN).

Para conseguir que un punto fijo consiga una resistencia determinada será necesaria combinar varios elementos. Es por este motivo por el que se materializará en el suelo una línea que indique la dirección del esfuerzo, así como alinear los diferentes elementos que componen el montaje.



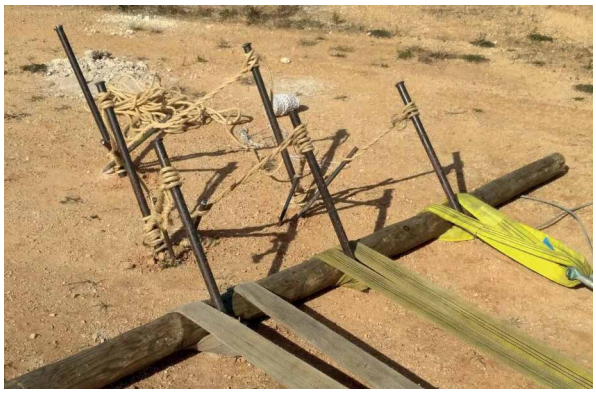
Colocación de estacas. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

Esquema dirección anclaje. (MAQUETACIÓN).

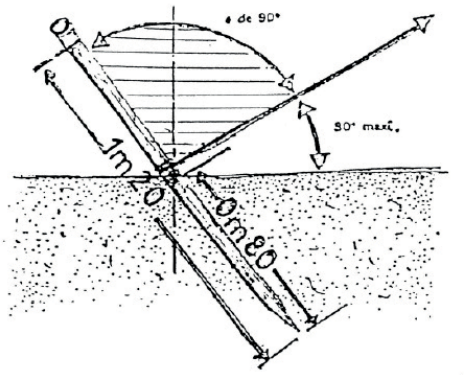


Esquema dirección anclaje. (MAQUETACIÓN).

Cuando se ejecute el montaje con varios elementos en V, se dispondrán simétricamente a la dirección el esfuerzo. En este caso, el ángulo de abertura será inferior a 60º.



Colocación de estacas. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)



FEsquema dirección piqueta. (MAQUETACIÓN).

Los materiales empleados en la realización de este tipo de anclajes serán:

- Estacas, bien metálicas o de madera.
- Cuerdas.
- Placas o rollizos de madera.
- Cadena.

MANIOBRAS BÁSICAS

1. MÁSTIL

El Mástil es una maniobra de fuerza la cuál utilizaremos para elevar cargas de hasta un máximo de 1000 kg. Este estará formado por un rollizo de madera y un tablón atado en su parte superior en el que colocaremos la polea para levantar la carga.

Levantamiento de cargas. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

En esta maniobra es muy importante la disposición de los vientos, ya que son los encargados de equilibrar el propio mástil. Por ello pasamos a definir la distancia de anclaje de los vientos y de la separación de éstos en función de la longitud "h":

- Contravientos: 2h
- Vientos laterales: 2h
- Vientos traseros: 2h

El mástil lo conformarán los siguientes elementos:

- Rollizo: Elemento de madera, de forma cilíndrica, cuyo eje longitudinal prevalece sobre el transversal, teniendo este una gran esbeltez.
- Tablón: Pieza de madera, plana, alargada y rectangular, de caras paralelas, más alta o larga que ancha.
- Vientos: Cuerda larga que se ata a un elemento para mantenerlo derecho en alto o moverla con seguridad hacia un lado.
- Polea: Rueda acanalada en su circunferencia y móvil alrededor de un eje. Por la canal o garganta pasa una cuerda o cadena en cuyos dos extremos actúan, respectivamente, la potencia y la resistencia.

NÚMERO DE INTERVINIENTES: Para la realización de la maniobra del mástil, la dotación mínima necesaria será de 1 Sargento, 1 Cabo y 5 Bomberos.

DESCRIPCIÓN DE LA TAREA: Una vez decidida que maniobra realizar y que la situación es subsanable con dicha maniobra procederemos a su ejecución. En primer lugar, definiremos cuáles son las zonas de trabajo e identificaremos cuál es la carga a desplazar. Las zonas de trabajo quedarán definidas de la siguiente forma:

- Zona Caliente: área de la maniobra y perímetro de seguridad a valoración del mando. Sólo podrán acceder a la zona caliente con el EPI adecuado.
- Zona Templada: área de ubicación del material y del personal operativo que no esté involucrado en las operaciones de rescate.
- Zona Fría: zona de ubicación de vehículos y donde ya no exista ningún tipo de riesgo para las personas.

A continuación, desplazaremos el material a la Zona Templada y comenzaremos con el montaje de la maniobra.

El atado del tablón al rollizo como punto de anclaje superior se iniciará con la realización de un ballestrinque en el tablón. A continuación se fijará al rollizo pasando 4 vueltas tanto en sentido horizontal como vertical por ambos lados del rollizo, para su posterior estrangulación y este quedará cerrado realizando de nuevo un ballestrinque sobre el lado opuesto del tablón. El diámetro mínimo de cuerda que utilizaremos para el atado del tablón con el rollizo será de 8 mm.

Una vez ejecutada la cabecera del mástil colocaremos la polea que utilizaremos para traccionar la carga con la eslinga, las cuál tendrá la función de punto de anclaje superior. A continuación fijaremos el tráctel.

El siguiente paso será el de colocar los contravientos, vientos laterales y vientos traseros. Para ello utilizaremos tres cuerdas independientes, de 20 metros de longitud como mínimo, las cuáles irán sujetas a la parte superior del rollizo atadas con un ballestrinque que realizaremos en la parte media de la cuerda. Los diferentes vientos irán anclados a puntos de anclaje descritos anteriormente (vehículos, árboles, partes de edificación o bien a anclaje de fortuna). En el peor de los casos un bombero podrá realizar la función de mantener el mástil. Para ello pasará la cuerda por detrás de su cuerpo y éste dejará caer su propio peso en sentido contrario al de la carga.

Realizadas estas operaciones, ya se podrá acceder a la Zona Caliente para emplazar el mástil y comenzar con la maniobra. La primera labor será hacer el agujero en el que irá anclado el mástil. A continuación éste se elevará y se irá equilibrando con los vientos para que no pierda su verticalidad y ceda en alguna dirección no recomendada. Finalizado el levantamiento y equilibrado del mástil se acuñará sobre el terreno para mayor seguridad. Durante estas operaciones se da el mayor riesgo y peligro para todos los intervinientes, debido a la difícil manipulación del mástil sobre el terreno inestable. Es por ello que todos permanecerán atentos a la maniobra y a las indicaciones del mando.

Por último se procederá al levantamiento de la carga. Es en este momento cuando se procederá a fijar la carga con los sistemas de anclaje oportunos para su posterior elevación. Para ello nos apoyaremos en cables de acero, eslingas o cadenas, los cuáles irán sujetos al tráctel y polea. Para la elevación de la carga todos los intervinientes en la operación permanecerán en la Zonas Templada a excepción del encargado de manipular el tráctel que permanecerá en la Zona Caliente. El mando responsable de la operación será el encargado de controlar el movimiento de la carga así como del mástil.

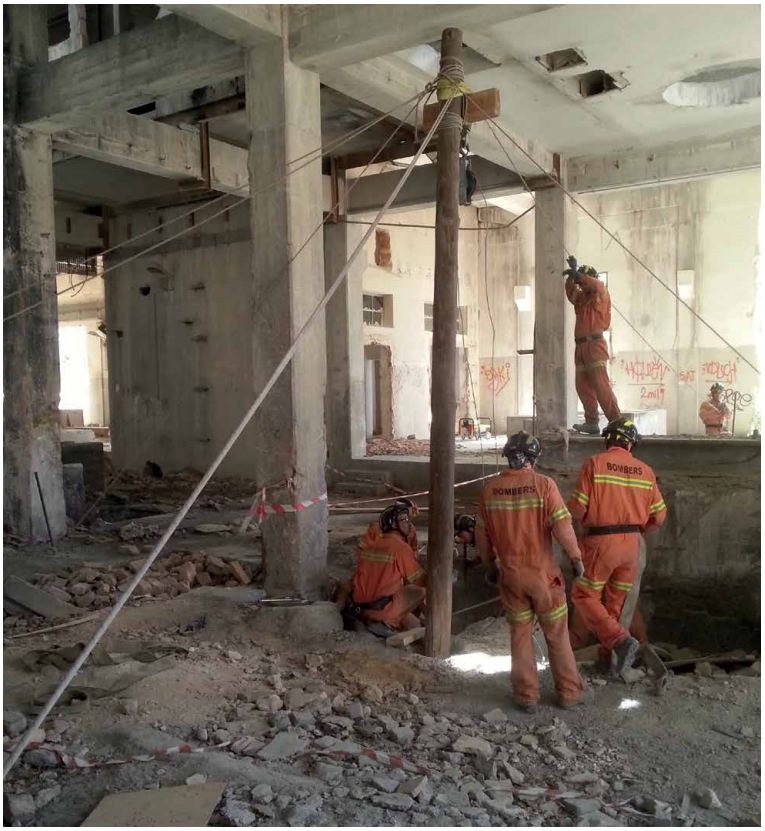
Los pasos a seguir a la hora de ejecutar la maniobra del mástil serán los siguientes:

- Identificación de la carga a levantar.

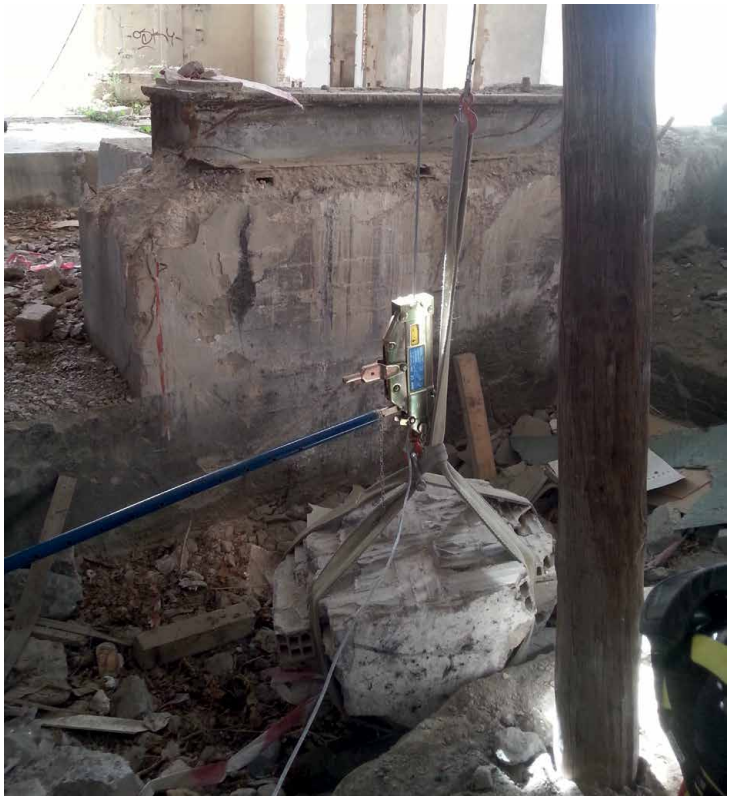
- Traslado de material a la zona de trabajo.
- Atado del tablón al rollizo de madera.
- Colocación de las eslingas superiores para el posterior fijado de la polea y tráctel.
- Fijación del contraviento, vientos laterales y vientos traseros.
- Ejecución del agujero dónde irá situado el mástil
- Levantamiento del mástil y equilibrado mediante los vientos.
- Acuñado del mástil en el terreno.
- Levantamiento de la carga.

Cabecera mástil. Atado rollizo a tablón. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

Cabecera mástil. Colocación de polea. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)



Ejecución de los vientos. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)



Colocación del tráctel. Elevación de carga. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

MATERIAL UTILIZADO: Para realizar la maniobra del mástil utilizaremos los siguientes elementos:

- Rollizo de madera de 25 cm de diámetro mínimo.
- Tablón de madera.
- Eslingas.
- Polea.
- Tráctel.
- Cuerda de atado del rollizo y del tablón.
- Cuerda para el contraviento, vientos laterales y vientos traseros.
- Cuñas de madera.
- Sierra de sable.
- Azada.
- Pico.
- Flexómetro.

2. CABRA LIGERA

Cabra Ligera. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

De la misma manera que en la maniobra anterior, utilizaremos la Cabra Ligera amarrar, sostener y desplazar cargas con la diferencia de que en este caso el peso máximo que nos permite levantar es superior, pudiendo levantar cargas que oscilen entre los 1200 y 1500 kg. Dicha maniobra estará formada por tres rollizos de madera los cuáles los uniremos en forma de triángulo.

La cabra ligera la conformarán los siguientes elementos:

- Rollizo: Elemento de madera, de forma cilíndrica, cuyo eje longitudinal prevalece sobre el transversal, teniendo este una gran esbeltez.
- Tablón: Pieza de madera, plana, alargada y rectangular, de caras paralelas, más alta o larga que ancha.
- Vientos: Cuerda larga que se ata a un elemento para mantenerlo derecho en alto o moverla con seguridad hacia un lado.
- Polea: Rueda acanalada en su circunferencia y móvil alrededor de un eje. Por la canal o garganta pasa una cuerda o cadena en cuyos dos extremos actúan, respectivamente, la potencia y la resistencia. (Diccionario Real Academia Española, 2015)

NÚMERO DE INTERVINIENTES: Para la ejecución de la maniobra de la cabra ligera, el personal mínimo necesario estará conformado por 1 Sargento, 1 Cabo y 3 Bomberos.

DESCRIPCIÓN DE LA TAREA: Conocido cuál es el problema a resolver y que somos capaces de resolverlo con dicha maniobra comenzaremos con su ejecución. La primera tarea a realizar será la de definir cuáles son las zonas de trabajo e identificación de la carga a desplazar. El mando será el encargado de definir las zonas de trabajo que quedarán de la siguiente manera:

- Zona Caliente: área de la maniobra y perímetro de seguridad a valoración del mando. Sólo podrán acceder a la zona caliente con el EPI adecuado.

- Zona Templada: área de ubicación del material y del personal operativo que no esté involucrado en las operaciones de rescate.

- Zona Fría: zona de ubicación de vehículos y donde ya no exista ningún tipo de riesgo para las personas.

A continuación, desplazaremos el material a la Zona Templada y comenzaremos con la ejecución de dicha maniobra.

Comenzaremos con la unión de los rollizos de madera en su parte superior para la creación de un punto de anclaje. Para ello, ataremos una cuerda de 8 mm en la parte superior de uno de los rollizos, a unos 50 cm, utilizando un nudo ballestrinque. A continuación realizaremos 4 pasadas en sentido horizontal uniendo ambos elementos y finalizaremos estrangulando dicha cuerda en su parte central junto con otro nudo ballestrinque en el otro rollizo. Una vez unidos, se abrirán en forma de V invertida para colocar el travesaño.

Para el atado del travesaño a los rollizos se comenzará con la ejecución de un nudo ballestrinque en uno de los lados del travesaño. A continuación se fijará al rollizo pasando 4 vueltas tanto en sentido horizontal como vertical por ambos lados del rollizo, para su posterior estrangulación y este quedará cerrado realizando de nuevo un ballestrinque sobre el lado opuesto del rollizo. El diámetro mínimo de cuerda que utilizaremos para el atado del tablón con el rollizo será de 8 mm. Esta operación se realizará en dos ocasiones, una para cada rollizo vertical.

En el momento que tengamos terminada la cabecera de la cabra ligera se colocará la polea, la cuál será la encarga de traccionar la carga junto con el tráctel. Ésta la fijaremos o bien con eslingas, cables, cadenas o incluso con una cuerda. A continuación fijaremos el tráctel al travesaño.

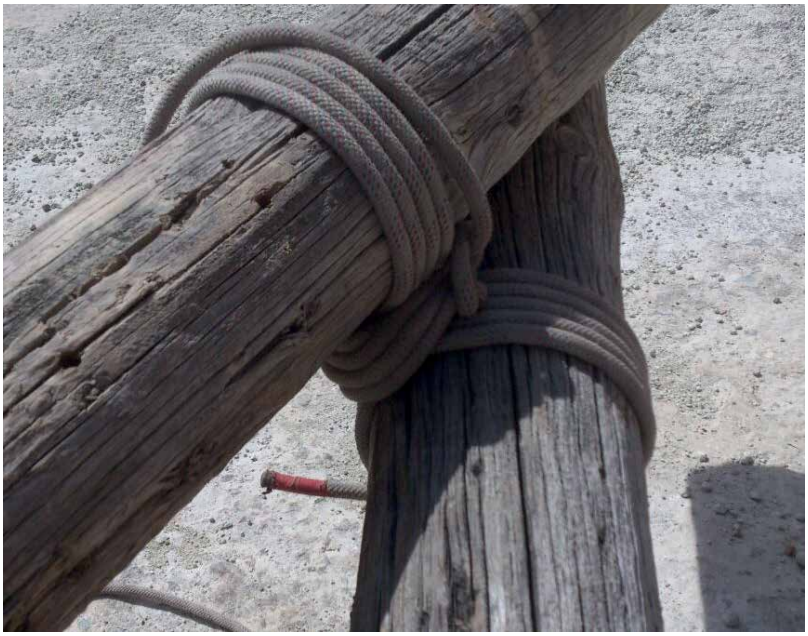
Seguiremos nuestra operación con la colocación de los vientos. Los vientos los realizaremos con dos cuerdas independientes, con una longitud mínima de 20 metros. Dichos vientos irán amarrados a la parte superior de los rollizos, fijados con un nudo ballestrinque que ejecutaremos en la mitad de la cuerda. Los 4 vientos irán sujetos a los diferentes puntos de anclaje que ya conocemos. De la misma manera que en la maniobra del mástil, si no disponemos de un punto de anclaje seguro será el propio bombero que, adoptando la posición correcta de sujeción (paso de la cuerda por detrás del cuerpo dejando caer el peso en sentido contraria a la de la carga), será el encargado de mantener el viento.

Es a partir de este momento cuando ya se podrá entrar en la Zona Caliente para colocar la cabra ligera y empezar la maniobra. La primera tarea a realizar será la de hacer los agujeros en los que irá anclada la cabra ligera. El siguiente paso será elevar y equilibrar la cabra ligera con los vientos para que esta no pierda su verticalidad y se desplace hacía alguna dirección no indicada. Terminada esta operación, ambos rollizos se fijar al terreno mediante cuñas para proporcionar una mayor estabilidad y seguridad a la estructura. Indicar que esta es una de la partes de mayor dificultad en la ejecución de la maniobra, debido al manejo de la cabra ligera por una superficie inestable y llena de escombro. Por este motivo, todos los intervinientes en la realización de la maniobra permanecerán muy atentos a las indicaciones del mando.

Para finalizar se realizará el desplazamiento de la carga. Dicha carga irá fijada con los diferentes sistemas de anclaje (cables de acero, eslingas o cadenas) para su posterior manipulación mediante la polea y el tráctel. Durante la manipulación de la carga todos los intervinientes permanecerán en la Zona Templada excepto el encargado de accionar el tráctel que se encontrará en la Zona Caliente. El mando responsable de la maniobra será quien vigile tanto el movimiento de la carga como de la cabra ligera.

A continuación, pasamos a describir los pasos necesarios para la elaboración de la maniobra de manera esquemática:

- Identificación de la carga a levantar.
- Traslado de material a la zona de trabajo.
- Atado de la parte superior de los rollizos.
- Atado del travesaño a los rollizos.
- Colocación de las eslingas superiores para el posterior fijado de la polea y tráctel.
- Fijación de los vientos laterales.
- Ejecución de los agujeros donde irá situada la cabra ligera.
- Levantamiento de la cabra ligera y equilibrado mediante los vientos.
- Acuñado de los rollizos.
- Levantamiento de la carga



Cabecera cabra ligera. Atado rollizos. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

Cabecera cabra ligera. Colocación de polea. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

Cabra Ligera. Ejecución de los vientos. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

Cabra Ligera. Colocación tráctel. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

Elevación de carga. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

MATERIAL UTILIZADO: Los materiales necesarios para elaborar la cabra ligera son:

- Rollizos de madera.
- Eslingas.
- Polea.
- Tráctel.
- Cuerda de atado.
- Cuerdas para los vientos.
- Cuñas de madera.
- Sierra de sable.
- Azada.
- Pico.
- Flexómetro.

3. TRÍPODE DE FORTUNA

A diferencia del Mástil o de la Cabra Ligera, las cuáles las utilizaremos principalmente para la elevación y desplazamiento de cargas pesadas, la maniobra del Trípode la emplearemos para poder tener un punto alto en el cuál podremos colocar un sistema de poleas mediante el que podamos colocar a un bombero para que pueda acceder a pozos o huecos de forjados de menor tamaño con la finalidad de encontrar a una víctima y que esta sea rescatada mediante el uso de la tabla de rescate o camilla por el mismo hueco por el que ha entrado el bombero. El equipo de rescate que se encuentra en el exterior será el encargado de sacar la tabla con el sistema de poleas.

Trípode. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

En un momento puntual, esta maniobra también nos serviría para elevar cargas de menos peso.

El trípode estará formado por los siguientes elementos:

- Puntales metálicos: Elemento metálico cuya función es la de recibir cargas. En este caso, su función es la de conformar la estructura sobre la que se colocará la polea.
- Cuerda de atado: Cuerda mediante la cual se procede al ensamblaje de los puntales.

- Polea: Rueda acanalada en su circunferencia y móvil alrededor de un eje. Por la canal o garganta pasa una cuerda o cadena en cuyos dos extremos actúan, respectivamente, la potencia y la resistencia.

NÚMERO DE INTERVINIENTES: La dotación mínima que podrá realizar esta maniobra estará compuesta por 1 Cabo y 3 Bomberos.

DESCRIPCIÓN DE LA TAREA: La primera tarea a realizar será la de identificar el orificio de trabajo, así como la de definir las zonas de trabajo, las cuáles se establecerán bajo el siguiente criterio:

- Zona Caliente: área de la maniobra y perímetro de seguridad a valoración del mando. Sólo podrán acceder a la zona caliente con el EPI adecuado.
- Zona Templada: área de ubicación del material y del personal operativo que no esté involucrado en las operaciones de rescate.
- Zona Fría: zona de ubicación de vehículos y donde ya no exista ningún tipo de riesgo para las personas.

A continuación desplazaremos el material a la Zona Templada y comenzaremos con el montaje de la maniobra.

Empezaremos atando los puntales. Para ello realizaremos un nudo ballestrinque a unos 20 cm del fin del puntal, pasando a continuación 4 pasadas en sentido horizontal en ambas direcciones y estrangulando las zonas centrales para terminar el atado con otro ballestrinque en el puntal contrario. Dicho atado se realizarán con un coordino de 4 mm de diámetro.

El siguiente paso será abrir el trípode y arriostrar mediante una cuerda y nudos ballestrinque la parte inferior para evitar que ésta se abra.

A continuación, se realizará el punto de anclaje superior mediante cintas planas, mosquetones y poleas.

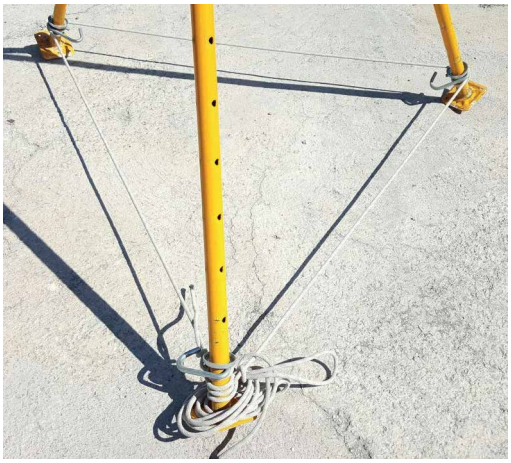
Ejecutadas todas estas operaciones, ya se podrá entrar en la Zona Caliente para colocar el trípode y empezar con la maniobra de rescate. Los rescatadores encargados de acceder a la víctima, así como la propia víctima, será descendidos y elevados por el resto de los intervinientes que participen en esta maniobra desde la cabecera del trípode.

Los puntos a seguir para realizar un trípode de una manera correcta y segura son los siguientes:

- Identificación del orificio por el que se va a acceder a la víctima.
- Transporte de material.
- Fijación superior de los puntales metálicos.
- Apertura del trípode.
- Colocación de la cuerda inferior para evitar que el trípode se abra.
- Colocación en la parte superior de las cintas junto con el sistema de poleas.
- Emplazamiento del trípode sobre el orificio de acceso.

Cabecera trípode. Atado puntales. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

Cabecera trípode. Atado puntales. Colocación polea. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)



Arriostrado inferior. (Grupo U.R.E.C., 2017, s.p.)

MATERIAL UTILIZADO: El material mínimo necesario para poder ejecutar esta maniobra será:

- 3 Puntales telescópicos.

- Coordino de 4 mm para el atado superior de los puntales.
- Cuerda para el fijado inferior del trípode.
- Cinta plana.
- Mosquetón.
- Polea.