

# BREVE RESUMEN DE

# LA INGENIERIA CIVIL



Alberto Villarino Otero  
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

## PRÓLOGO

La obra esta especialmente diseñada para la docencia de la asignatura de "ingeniería Civil" de la titulación Ingeniería Técnica de Topografía de la Escuela Politécnica Superior de Ávila, con el fin de que el ingeniero técnico topógrafo aprenda los conceptos y temas mas importantes en dicho campo.

Debido a que la ingeniería civil engloba un campo extensísimo, es evidente que la obra constituye un breve resumen, intentado tratar los temas de mayor relevancia y con los cuales el ingeniero topógrafo tendrá contacto directo en su vida profesional. También sirve de referencia a otros ingenieros tales como: el ingeniero industrial, el ingeniero de la edificación, el ingeniero agrónomo, y el arquitecto ya que su ámbito de trabajo, es probable, que en algún momento, tengan un contacto directo con la ingeniería civil y precise de unos conocimientos básicos.

La obra se estructura en nueve temas. En el primer tema "maquinaria de obra civil", se explican los tipos de maquinas con las que se llevan acabo los obras civiles. En el segundo tema "materiales de construcción" se estudian las características y propiedades de las materiales que intervienen en las obras de ingeniería civil.

En el tercer tema se desarrolla la tipología básica de muros, así como la introducción de los diferentes tipos de estados, en los que se puede encontrar el terreno y los coeficientes de seguridad de un muro. Se añade una colección de nueve problemas para la comprensión definitiva de los conceptos anteriores.

El tema cuarto se tratan los métodos constructivos de las cimentaciones, tanto superficiales, como profundas. En el tema cinco "carreteras", se explican los conceptos básicos en cuanto a los elementos de las carreteras, así como los tipos de capas necesarios en la construcción de los firmes.

En el tema seis se estudian las funciones y elementos característicos de los tipos de presas. En el tema siete "puentes" se desarrolla la tipología básica de puentes, haciendo referencias continuas a puentes históricos, así como los métodos constructivos mas importantes para su construcción.

El tema ocho pretende ser un pequeño resumen de la teoría y cálculo de estructuras, mediante el cual se descubran los tipos más importantes de estructuras y el cálculo de los esfuerzos a los que se encuentran sometidas.

Por ultimo el tema nueve engloba los aspectos más importantes en cuanto al desarrollo de un proyecto.

Y finalmente desear que la obra sea de interés para los que decidieron hacer de la ingeniería su vida y su profesión y agradecer a los autores de otros libros que han hecho posible esta obra.

Alberto Villarino Otero

Ávila Febrero 2010

ALBERTO VILLARINO OTERO

ISBN: En Tramitación  
Depósito legal: En Tramitación

## ÍNDICE

	Página
<b>1. MAQUINARIA DE OBRA CIVIL .....</b>	<b>5</b>
1.1 MOVIMIENTO DE TIERRAS .....	5
1.2 MAQUINARIA DE EXCAVACIÓN Y EMPUJE .....	6
1.3 MAQUINARIA DE EXCAVACIÓN Y CARGA .....	8
1.4 MAQUINARIA DE CARGA Y ACARREO .....	13
1.5 MAQUINARIA DE ACARREO .....	14
1.6 MAQUINARIA DE COMPACTACIÓN.....	17
1.7 MAQUINARIA DE ELEVACIÓN .....	21
<b>2. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.....</b>	<b>23</b>
2.1 LA CAL.....	23
2.2 EL YESO.....	29
2.3 MATERIALES CERÁMICOS. LADRILLOS Y TEJAS.....	37
2.4 MATERIALES BITUMINOSOS.....	48
2.5 CEMENTO .....	55
2.6 HORMIGON.....	70
<b>3. MUROS .....</b>	<b>94</b>
3.1 INTRODUCCIÓN .....	94
3.2 DESIGNACIONES o NOMENCLATURA .....	95
3.3 TIPOS GENERALES DE MUROS DE CONTENCIÓN .....	96
3.4 FORMAS DE AGOTAMIENTO.....	108
3.5 EMPUJE DEL TERRENO SOBRE LOS MUROS .....	111
3.6 DIAGRAMAS DE EMPUJES .....	114
3.7 COEFICIENTES DE SEGURIDAD.....	115
3.8 DRENAJE .....	116
3.9 IMPERMEABILIZACIÓN.....	117
3.10 PROBLEMAS.....	118
<b>4. CIMENTACIONES .....</b>	<b>127</b>
4.1 PRINCIPIOS GENERALES.....	127
4.2 TIPOLOGIA DE LAS CIMENTACIONES .....	128
<b>5. PRESAS.....</b>	<b>141</b>
5.1 INTRODUCCIÓN.....	141
5.2 TIPOS DE PRESAS .....	142
5.3 ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS Y ESTRUCTURAS AUXILIARES .....	148

<b>6.CARRETERAS</b> .....	156
6.1 TIPOS DE CARRETERAS .....	156
6.2 VARIABLES DEL TRÁFICO POR CARRETERA. ESTUDIOS DE TRÁFICO .....	157
6.3 TRAZADO EN PLANTA Y ALZADO. SECCIÓN TRANSVERSAL.....	161
6.4 CONSTRUCCIÓN DE CARRTERAS. TIPOS DE FIRMES .....	168
<b>7.PUENTES</b> .....	191
7.1 DEFINICIONES Y CONCEPTOS GENERALES.....	191
7.2 TIPOLOGÍA DE PUENTES .....	193
7.3 PROCEDIMIENTOS CONSTRUTIVOS .....	217
<b>8. TEORIA Y CÁLCULO DE ESTRUCTURAS</b> .....	234
8.1 INTRODUCCIÓN.....	234
8.2 SISTEMAS DE FUERZAS.....	237
8.3 CONDICION DE EQUILIBRIO DE UN SÓLIDO RÍGIDO.....	241
8.4 ESFUERZOS MECÁNICOS.....	242
8.5 CÁLCULO Y REPRESENTACIÓN DE ESFUERZOS EN PIEZAS SIMPLES .....	246
8.6 CLASIFICACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS .....	248
8.7 ESTRUCTURAS TÍPICAS.....	251
8.8 MÉTODOS DE ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS ARTICULADAS ISOTÁTICAS .....	254
8.9 PROBLEMAS.....	261
<b>9.PROYECTOS</b> .....	266
9.1 INTRODUCCIÓN.....	266
9.2 TIPOS DE PROYECTOS .....	267
9.3 DOCUMENTOS DE UN PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN.....	269
<b>10.BIBLIOGRAFIA Y WEBGRAFIA</b> .....	282

# 1. MAQUINARIA DE OBRA CIVIL

## 1.1 MOVIMIENTO DE TIERRAS

Se denomina movimiento de tierras al conjunto de operaciones que se realizan con los terrenos naturales, a fin de modificar las formas de la naturaleza o de aportar materiales útiles en obras públicas, minería o industria. Las operaciones del movimiento de tierras en el caso más general son:

- Excavación
- Carga
- Acarreo
- Descarga
- Extendido
- Humectación o desecación
- Compactación
- Servicios auxiliares (refinos, saneos, etc.)

La excavación puede ser:

**Desmante:** el desmante es el movimiento de todas las tierras que se encuentran por encima de la rasante del plano de arranque de la construcción.

**Relleno:** se realiza cuando el terreno se encuentra por debajo del plano de arranque de la construcción.

Los materiales se encuentran en la naturaleza en formaciones de muy diverso tipo, que se denominan **bancos, en perfil** cuando están en la traza de una carretera, y en **préstamos** fuera de ella. Los terrenos ya sean suelos o rocas más o menos fragmentadas, están constituidos por la agregación de partículas de tamaños muy variados. Entre estas partículas quedan huecos, ocupados por aire y agua. Si mediante una acción mecánica variamos la ordenación de esas partículas, modificaremos así mismo el volumen de huecos.

Es decir, el volumen de una porción de material no es fijo, sino que depende de las acciones mecánicas a que lo sometamos. El volumen que ocupa en una situación dada se llama volumen aparente. Por esta razón, se habla también de densidad aparente, como cociente entre la masa de una porción de terreno, y su volumen aparente

$$D_a = M/V_a$$

A modo orientativo los volúmenes aparentes en la excavación de tierras son:

1m<sup>3</sup> banco=1,20-1,25 m<sup>3</sup> cargada=1,1,-1,20 m<sup>3</sup> vertida=0,95-1,0 m<sup>3</sup> compactada

Al excavar el material en banco, éste resulta removido con lo que se provoca un aumento de volumen, éste hecho, ha de ser tenido en cuenta para calcular la producción de excavación y dimensionar los medios de transporte necesarios. En todo momento se debe saber si los volúmenes de material que se manejan corresponden al material en banco (Banco, Bank, B) o al material ya excavado (Suelto, loose, S).

Se denomina **factor de esponjamiento** (Swellfactor) a la relación de volúmenes antes y después de la excavación. El factor de esponjamiento es menor que 1.

$$Fw = V_B / V_s = D_B / D_s$$

A modo de ejemplo la tierra seca tiene un factor de esponjamiento de 0,80 y el granito fragmentado de 0,60. Los medios necesarios para realizar los movimientos de tierras varían con la naturaleza del terreno a excavar, que desde este punto de vista se puede clasificar en:

- Terrenos sueltos, flojos o duros, que pueden excavar a mano o por medios mecánicos
- Terreno de tránsito, que requiere el uso del ripper para una inicial desintegración
- Rocas blandas, duras o muy duras, que requieren el uso de explosivos

## 1.2 MAQUINARIA DE EXCAVACIÓN Y EMPUJE

### EL TRACTOR

Los tractores son máquinas especialmente diseñadas para ejercer acciones de empuje o de tracción existen dos tipos:

1. Tractores sobre ruedas, utilizados para arrastre de traillas
2. Tractor sobre cadenas (dozer)

Las **ventajas** de los tractores de **cadenas** se pueden sintetizar en:

- Poca presión al terreno ( terrenos con agua ya que tiene poca capacidad de soporte)
- Grandes esfuerzos de tracción
- En general donde la adherencia de la máquina es importante
- En espacios pequeños y difíciles por su capacidad de maniobra

En cuanto al equipo de trabajo, los tractores pueden estar provistos de hoja de empuje recta (Bulldozer) y escarificador (ripper)

**1. Con hoja frontal recta (Bulldozer):** Para excavaciones superficiales empujando el material excavado a distancias pequeñas, normalmente hasta 20m y como máximo hasta 100m.

Aplicaciones:

- Explanaciones en carreteras, aeropuertos
- Limpieza de monteras en canteras
- Limpieza y desbroce de terrenos (apertura de caminos en selvas, destocoado de árboles)
- Extendido de tierras, por ejemplo un terraplén.

**2.Con escarificador (ripper):** para fragmentar las rocas y preparar el terreno para su arranque mediante la hoja empujadora del tractor



**LA MOTONIVELADORA**

Máquina provista de una cuchilla larga dotada de una gran flexibilidad de movimientos que mediante mandos hidráulicos puede adoptar muy diferentes movimientos

El **equipo de trabajo** esta formado por:

- Barra de tiro: Se mueve por cilindros hidráulicos y brazos de elevación. Soporta la corona y la hoja vertedera.
- Corona: Debajo de la barra de tiro. Tiene un dentado en forma circular. Se mueve a derecha e izquierda y la hoja puede girar 360°.
- Hoja vertedera: Es el elemento primordial de trabajo, permite el movimiento de elevación y descenso respecto del suelo, giro en el plano horizontal, variación del ángulo respecto del terreno y desplazamiento lateral fuera de la máquina.
- Puede llevar además una pequeña hoja de empuje frontal y escarificador en la parte trasera

Sus **funciones principales** son:

- Extendido de materiales descargados por camiones (nivelación y refino)
- Mezcla de materiales descargados
- Estabilización se suelos in situ
- Excavación de cunetas y canales



- Nivelación de taludes
- Conservación de pistas y caminos
- Limpieza de terrenos, quitando la capa vegetal con escarificadores y hoja
- Refino de fondos de excavaciones en desmonte, para su posterior compactación
- Limpieza de arcenes



### 1.3 MAQUINARIA DE EXCAVACIÓN Y CARGA

#### ALA CARGADORA

Es una máquina autopropulsada equipada con cuchara frontal y un sistema de brazos por cilindros hidráulicos, existen dos tipos de palas cargadoras sobre ruedas y cadenas

Las **funciones principales** son:

- Cargar materiales sueltos de abajo arriba
- Transportarlos a distancias mínimas
- Descargarlos sobre tolvas de poca altura o sobre medios de acarreo, camiones o dumpers



Pala cargadora

## EXCAVADORA

Máquina de movimiento de tierras diseñada para excavar. Los movimientos del equipo de trabajo se realizan a través de cilindros hidráulicos. Existen dos tipos de ruedas y cadenas

El equipo de trabajo esta formado por pluma brazo y cazo. Según el trabajo que realicen existen distintas aplicaciones

**-Empuje frontal:** trabaja alejándose de la máquina y hacia arriba. Se utiliza para excavar bancos de altura o cargar un frente de una cantera.

**-Empuje retro (retroexcavadora):** trabaja acercándose a la máquina. Se aplica en excavaciones por debajo de la línea de apoyo de la máquina (cimientos, zanjas para tuberías,refino de taludes).

**-Equipo bivalva:** La cuchara está formada por dos mordazas que se abren y cierran girando alrededor de un eje horizontal; suspendida del brazo de la máquina, se deja caer abierta sobre el material a excavar, en el cual se hincan los dientes; al levantarse se cierran las mordazas, cogiendo dentro de ellas el producto excavado. Se emplea especialmente en las extracciones bajo el agua y en la carga de materiales apilados o sueltos y en la ejecución de pozos y pantallas.



## RETROCARGADORA (=RETROPALA)

Es una máquina autopropulsada sobre ruedas con un bastidor especialmente diseñado para montar a la vez un equipo de carga frontal y otro retroexcavación trasero de forma que puedan ser utilizados alternativamente.

Se trata de una máquina muy versátil y rentable que trabaja el mayor número de horas en una obra, esto es debido a su facilidad de transporte en el modelo sobre ruedas que es el más normal, y a los equipos que lleva.

En apertura de zanja se realiza la doble función de abrir la zanja con la retro y rellenarla después con la cuchara frontal. Reemplaza el cazo de la retro por un martillo demoledor, cuando encuentra en una zanja hormigón, pavimentos asfálticos u otro material no excavable fácilmente así como en trabajos urbanos levanta firme y pavimentos.



Retroexcavadora

## DRAGALINA

La dragalina es una máquina excavadora de grandes dimensiones utilizada en minería y en ingeniería civil para mover grandes cantidades de material. Es especialmente útil en lugares inundados por ejemplo para la construcción de puertos. Excava por arrastre. Por su forma de trabajar se comprende que no lo hace en condiciones favorables más que con tierras sueltas, siendo ideal para las excavaciones bajo el agua.

El equipo de trabajo de la dragalina está formado por:

- La estructura principal, en forma de caja, que tiene movimiento rotatorio. Aquí reside el motor, diésel o eléctrico, y la cabina de mando.
- El brazo móvil o mástil que soporta la pala cargadora.
- La pala cargadora que está sujeta verticalmente al brazo principal y horizontalmente a la estructura principal a través de cables y cuerdas.
- Cables, cuerdas y cadenas que permiten la maniobra del proceso de excavación.

El proceso de carga y descarga a pesar de la dimensión de la estructura es relativamente rápido. La cantidad de material que puede ser removida en cada ciclo de excavación depende del volumen de la pala que puede llegar a los 30 - 60 metros cúbicos. Ésta máquina es transportada con grandes remolques, ya que ella sola solo puede recorrer varios metros. Por tanto, el coste total se eleva por el transporte. Sale rentable solo cuando necesitamos excavar muchos metros cúbicos de tierra en grandes superficies.



Dragalina

## DRAGA

Una draga es una embarcación utilizada para excavar material debajo del nivel del agua, y elevar el material extraído hasta la superficie. Estas operaciones se pueden realizar en canales navegables, en puertos, dársenas o embalses. La selección de la draga viene influenciada por el tipo de material a extraer, la cantidad, la profundidad del fondo, el acabado que se quiera conseguir y la economía. Existen dos grandes grupos, las dragas mecánicas y las dragas de succión.

### Dragas Mecánicas

La draga de cuchara: está compuesta por una grúa giratoria que va montada encima de un pontón. La grúa lleva una cuchara bivalva que puede alcanzar grandes profundidades (50 metros) y extrae materiales con gran precisión en sitios reducidos. Usa un sistema de fijación de *spuds* que son unos pilares que se hincan en el fondo o con anclas. El terreno preferible es el suelo granular, suelto o algo cohesivos debido a la baja disolución que provocan, además la cuchara es intercambiable lo que facilita la extracción de otros materiales. Sus inconvenientes son una baja producción en comparación con otras dragas y la irregularidad del fondo lo que implica la necesidad de un sobredragado, es decir dragar por debajo de la cota contratada. Todo esto implica que el coste por metro cúbico excavado es más elevado.

La draga de pala de carga frontal: está constituida por un fuerte brazo que puede realizar una excavación frontal, elevar la carga, girar el brazo y depositar el material sobre gánguil. Esta draga se fija al fondo con tres *spuds*, dos en proa y uno en popa. La capacidad del cazo oscila entre 3 y 5 metros cúbicos aunque

en Estados Unidos se fabrican hasta de 20 metros cúbicos. Las ventajas es que excava muy bien rocas blandas y arcillas duras y además según excava se abriendo a sí misma un canal.

La draga retroexcavadora o *backhoe dredger*: es en esencia una draga montada sobre un pontón que se fija al fondo y una retroexcavadora encima. Excavan bien materiales duros hasta profundidades de 24 metros. Los rendimientos son menores para excavaciones de arena. Sus inconvenientes es la baja producción y el acabado irregular del fondo si el control de la obra es mala.

La draga de rosario o draga de tolva continua o de cangilones: formada por una cadena de cangilones montada sobre un robusto castillete. La escala de cangilones atraviesa el pontón y se hunde en el fondo para excavar el material. Después lo eleva y lo vuelca sobre el mismo pontón. Las ventajas de estas dragas son que dragan de forma continua, que la dilución que crean al excavar no es muy importante y que se puede controlar con precisión la profundidad a la que se excava. Sin embargo son muy costosas, ocupan demasiado sitio, ya que al posicionarse necesitan mucho espacio para extender los anclajes y no son apropiadas para el trabajo en aguas someras o cuando el espesor a trabajar es pequeño. Todo esto ha hecho que estas dragas estén cayendo en desuso.

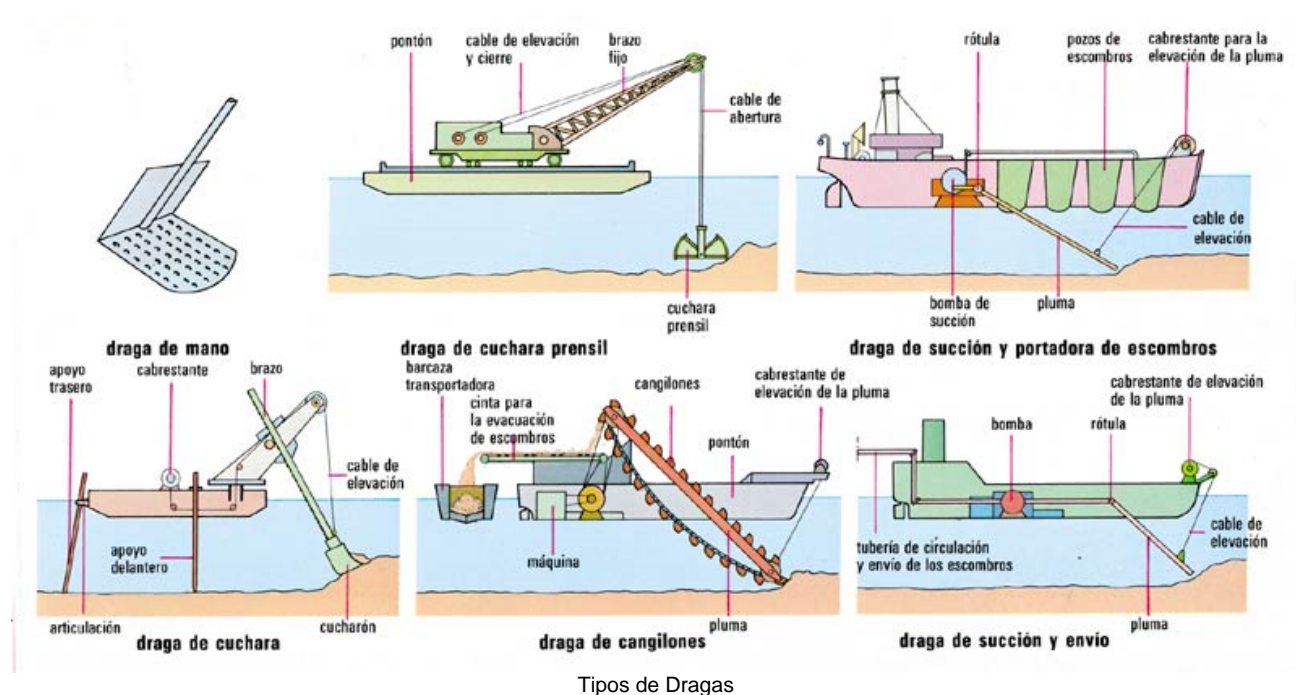
La draga de remoción consiste en una embarcación que carga una cuchilla que va alisando el fondo. Se usan cuando el dragado ha dejado un fondo irregular para nivelar.

### **Dragas de Succión**

La draga de succión estacionaria consiste en una embarcación que porta una tubería conectada a una bomba que absorbe el material del fondo. Existen a su vez dos tipos:

De succión y envío o impulsora simple que consiste en una embarcación que carga la bomba y que lleva la tubería que puede llegar hasta otro barco de transporte de material o algún sitio de destino del material como una playa.

De succión y portadora o autoportadora contiene la bomba y transporta además el material dragado hasta el destino. Es apropiada para dragar materiales granulares y el acabado del fondo es irregular.



## 1.4 MAQUINARIA DE CARGA Y ACARREO

### TRAILLAS Y MOTOTRAILLAS

Las traíllas son máquinas utilizadas para el movimiento de tierras, que realizan las siguientes funciones: arranque, carga, transporte, descarga y nivelación de suelos tales como arena, arcilla, tierra e incluso zahorras, dependiendo de los distintos modelos de máquinas.

La traíllas pueden ser de dos **tipos**:

1. Autopropulsadas son las llamadas mototraíllas. Éstas pueden tener un solo motor delantero o dos motores uno delantero y otro trasero
2. Remolcadas por tractores de cadenas, estas son las traíllas propiamente dichas

Los elementos del **equipo de trabajo** de traílla o mototraílla son:

-**Elemento tractor:** es el que mueve a la máquina y en él está situado el motor y la cabina del conductor, pueden tener uno o dos motores.

-**La caja,** abierta por su parte superior, está provista en su borde de ataque de una cuchilla recambiable dotada de movimiento ascendente y descendente. Tiene dos compuertas, una delantera, de tipo "sector" que sirve para cargarla, mantener la carga y descargarla, y otra trasera, placa de descarga "eyector" que sirve para empujar la carga al efectuar la operación de descarga.

-**La suspensión** es la unión entre caja y el elemento tractor, tiene forma de cuello de cisne. El sistema asegura conjunción y estabilidad entre ambas partes, proporcionando una gran independencia de

movimientos, que constan fundamentalmente de una caja que se puede subir o bajar, provista de una cuchilla para excavar; la caja lleva dos compuertas: una delantera, con movimiento de giro, que sirve para retener el material durante el transporte, y otra, trasera, que se utiliza para empujarlo en la descarga. Las compuertas se manejan desde el tractor hidráulica o eléctricamente.



Trailla empujada



Mototrailla

## 1.5 MAQUINARIA DE ACARREO

### CAMION DUMPER

Se denomina camión dumper al vehículo autopropulsado sobre grandes ruedas, con caja abierta y muy resistente. Se utiliza para transporte de grandes volúmenes de acarreo de tierra o roca. Consta de tres ejes, dos traseros de tracción y uno delantero de dirección. Puede circular por pistas de obra en mal estado y por carretera. Pueden transportar una carga por carretera de aproximadamente 13 Tn siendo mayor cuando el transporte es por las pistas de obra (18-28 Tn)



Camión Dumper

## SEMIRREMOLQUE BASCULANTE O BAÑERA

Consta de una cabeza tractora que tiene un punto de apoyo y una caja que puede transportar hasta 24Tn. Se utiliza para el transporte de aglomerados, arenas, gravas, asfalto, etc.



Semirremolque Basculante

## DUMPER EXTRAVAL RIGIDO

Consta de una caja que tiene en el frente posterior forma de "V" para bajar el centro de gravedad y evitar el vuelco. No se le permite circular por carretera. Pueden transportar aproximadamente 75 Tn



Dumper Extraval Rígido



## DUMPER EXTRAVAL ARTICULADO (LAGARTO)

Se utilizan en obras de mucha producción. Pueden llevar una carga entre 22 -36 Tn



Dumper Extravial Articulado

## MOTOVOLQUETE

El autovolquete o motovolquete autopropulsado (también llamado simplemente *dumper* del inglés) es un vehículo utilizado en la construcción destinado al transporte de materiales ligeros, y consta de un volquete, tolva o caja basculante, para su descarga, bien hacia delante o lateralmente, mediante gravedad o de forma hidráulica. Además posee una tracción delantera o de doble eje, siendo las traseras direccionales. Se distingue sustancialmente del camión volcador o *dumper truck* por su configuración: el motovolquete autopropulsado generalmente tiene el contenedor de carga en la parte frontal delante del conductor, mientras que el camión volcador lo tiene en la parte trasera, detrás de la cabina del conductor. Como el puesto de conducción está ubicado detrás del volquete, sobre las ruedas traseras, se hace necesario colocar de forma adecuada la carga, para permitir la visibilidad. La capacidad de volquete oscila habitualmente de los 0,5 a 1,5 m<sup>3</sup> (de 1 a 3 T).



Motovolquete

## 1.6 MAQUINARIA DE COMPACTACIÓN

Los materiales transportados hasta su lugar de empleo, deben ser extendidos y compactados. La extensión se realiza normalmente con motoniveladora en capas de reducido espesor (20 a 30 cms.), a las que se aporta agua para facilitar su compactación, la cuál se realiza por medio de los elementos apropiados.

Para la compactación, pueden emplearse:

### RODILLOS LISOS

Existe un modelo que tiene un rodillo liso y neumáticos (mixto); y existe otro, tandem, que tiene dos rodillos lisos. El peso del rodillo depende del tipo de suelo a compactar. Sus pesos oscilan desde 4 a 12 toneladas.



Rodillo Mixto



Rodillo Tadem

### RODILLO PATA DE CABRA (PIES TAMPING)

En la superficie del rodillo tienen una serie de pequeños troncos de pirámide que se hincan en el terreno y así compactan. No conviene que se hincen en exceso porque entonces el cilindro podría llegar a estar en contacto con el suelo, y se incrementaría notablemente la potencia necesaria para su arrastre.

Combina el efecto de masado producido por las patas, con el impacto (efecto dinámico) originado por su alta velocidad, que produce una cierta rotura del material, cuando éste está en forma de bolos. Si la humedad es excesiva, las patas al remover el terreno originan una aireación en los huecos que dejan.



Rodillo Pata de Cabra

### **RODILLOS DE NEUMÁTICOS (AUTOPACTOR)**

Se emplean fundamentalmente para la compactación de mezclas bituminosas, pues su superficie lisa produce un batido de la capa superficial que hace subir al betún.



Rodillo de neumáticos

## RODILLOS Y PLACAS VIBRANTES

Las placas vibrantes fueron la primera aplicación de la vibración para la compactación. Son muy útiles para compactar pequeñas superficies, p.e. zanjas, porque son muy manejables y llegan donde no pueden entrar rodillos pesados.

Hoy en día, todos los rodillos, tanto los lisos como los de pata de cabra, se fabrican con un dispositivo que permite poner en marcha la vibración con lo que se incrementa muy notablemente la capacidad de compactación



Placa vibrante



Rodillo Vibrante

ALBERTO VILLARINO OTERO

## DISPOSITIVOS QUE ACTUAN POR PERCUSION O IMPACTO

Para apisonar zonas difíciles, p.e. pequeñas zanjas, rincones próximos a obras de fábrica, etc., donde no es posible entrar con los rodillos convencionales, se emplean los métodos de percusión: pisones automáticos o el dispositivo denominado "rana".

El pisón automático, con un peso que llega a los 100 kg., tiene en su parte superior un pequeño motor de explosión que hace que se eleve automáticamente sobre la explanación al producirse las explosiones; un hombre puede guiarlo fácilmente cuando está en el aire.

La "rana" tiene el mismo fundamento, se diferencia del pisón en que es más grande y más pesada; se llega a los 1.000 kg. y como consecuencia su rendimiento es más elevado.

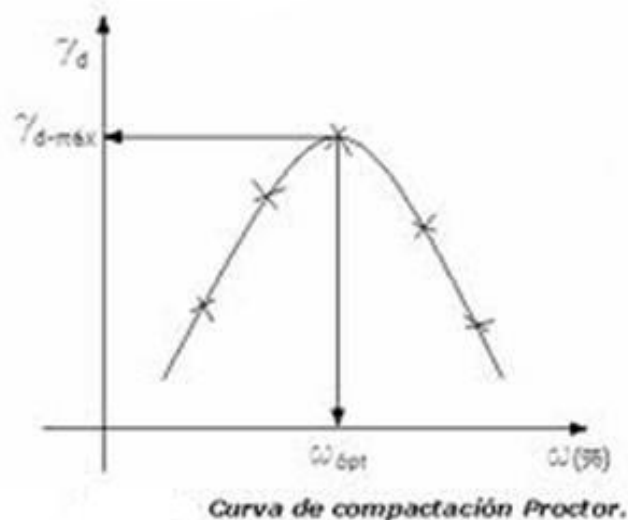


Hoy en día los rodillos se fabrican autopropulsados, habiendo quedado prácticamente en desuso los remolcados. El espesor de la capa a compactar varía según el tipo de compactador a emplear y del suelo a compactar, pero suele ser aproximadamente por término medio de 30 cms. En la compactación de un suelo juega un papel muy importante la cantidad de agua que contiene.

Si se apisona un suelo seco, para llegar a la máxima consolidación habrá que encajar las distintas partículas, venciendo sus rozamientos mutuos; necesitaremos una cierta energía de compactación; si el suelo tiene una pequeña cantidad de agua, ésta formará una película alrededor de las partículas que actuará como lubricante; el esfuerzo de compactación que precisaremos para obtener la máxima densidad seca será menor que en el caso de un suelo seco.

Si poco a poco vamos aumentando la proporción de agua para un mismo esfuerzo de compactación iremos obteniendo densidades crecientes hasta una cierta humedad, a partir de la cual la densidad seca empezará a decrecer; el agua, después de haber alcanzado el espesor máximo alrededor de las partículas irá ocupando el sitio del aire de los huecos hasta llegar a la saturación y será necesario expulsar o comprimir el agua libre que el suelo contenga, para llegar a la compactación, lo que resulta más difícil que expulsar o comprimir el aire. Existe pues una humedad óptima para obtener una compactación máxima con una determinada energía de compactación.

Fue PROCTOR, en 1933, quien descubrió la relación densidad-humedad en la compactación y sugirió el ensayo denominado "Proctor Normal", que posteriormente con el progresivo aumento de las cargas fue ajustado obteniendo el "Proctor Modificado". El grado de compactación a lograr se define en los Proyectos, mediante la indicación del porcentaje que debe alcanzar el suelo compactado referido a unos ensayos estandarizados: Proctor Normal o Proctor Modificado. En obra, se comprueba el grado de compactación alcanzado mediante la medida de la densidad, que se realiza por el método de la arena o bien mediante el empleo de isótopos radioactivos.



## 1.7 MAQUINARIA DE ELEVACIÓN

Para la elevación de cargas, se emplean las grúas que, en esencia, constan del cabrestante y de un elemento llamado pluma, normalmente triangular, con un lado comprimido y otro tendido, en cuyo extremo existe la polea de cambio de dirección del cable que va de éste punto al tambor del cabrestante. Los cuatro movimientos de la grúa son: elevación de la carga, elevación de la pluma, giro del conjunto, traslación del conjunto.

La variedad de tipos de grúas es grande, desde la grúa fija, con solo el primer movimiento, hasta la grúa móvil con los cuatro movimientos mecanizados.

### GRUA TORRE

La grúa torre constituida como su nombre indica por una torre de altura suficiente para dominar la obra, en cuya parte superior están la pluma y un contrapeso, y en la parte inferior lleva un lastre y se apoya en una vía por la que se desplaza.

### GRUA MÓVIL SOBRE PÓRTICOS

Manejo de grandes volúmenes en puertos

### GRUA MÓVIL SOBRE CAMIÓN

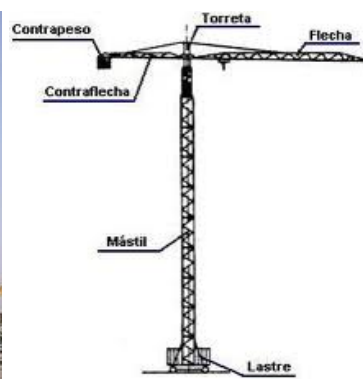
Para obras que necesitan de la elevación de materiales de una manera esporádica, p.e. colocación de vigas en puentes,

### BLONDIN

Equipo de trabajo consistente en un sistema de elevación mediante cables. Está compuesto por dos pilares autoestables o atirantados, que se apoyan en el suelo, unidos por un cable portador sobre el cual se desplaza un carro. Se utiliza para el transporte de hormigón en cubilote en la construcción de presas.



Grúa pórtico



Grúa Torre



Grúa sobre camión



Blondin



Blondin

ALBERTO VILLARINO OTERO

## 2. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

### 2.1 LA CAL

Los materiales ligantes son aquellos materiales que por medio de una transformación física, química o físico-química son capaces de unir entre sí otros materiales. Se clasifican en 2 grandes grupos:

**Aglomerantes:** Son aquellos ligantes que para unir otros materiales sufren una reacción física bien sea la evaporación de disolventes, de agua, enfriamiento, etc. Algunos de estos materiales son: el barro, asfalto, betún, brea, resinas, pegamentos, silicona, plásticos y pinturas.

**Conglomerantes:** para unir materiales sufren una reacción química llamada fraguado. Se subdividen en:

Aéreos: si sólo fraguan en el aire. A este grupo pertenecen la cal aérea y el yeso

Hidráulicos: fraguan en el aire y en el agua. En este grupo se incluyen la cal hidráulica y el cemento

### TIPOS DE CALES

La cal es uno de los materiales de construcción más antiguos ya que la más remota utilización de la cal de que se tiene noticia cierta es de unos 4000 años antes de Jesucristo en el revestimiento de las pirámides de Egipto. Se sabe que en la Muralla China se empleó ampliamente el mortero de cal. Conoció el pueblo romano con más perfección el proceso de fabricación. Vitrubio estableció especificaciones para el uso de la cal en morteros, en enlucidos y en carreteras, en base a las cuales se construyó la Vía Apia. La mayor contribución de los romanos a la tecnología de la cal fue la adición a la cal viva de cenizas volcánicas ricas en sílice, con lo cual se obtenía un material que fraguaba bajo el agua a diferencia de la cal viva sin ninguna adición, que no fraguaba más que al aire.

Durante siglos se ha considerado como caliza impura, inadecuada para la fabricación de cal, la que contenía arcilla, hasta que en el siglo XVIII, en Inglaterra, se comprobó que con esta caliza se obtenía una cal de mayor calidad. Vicat, en la segunda década del siglo XIX, definió la teoría de la hidraulicidad afirmando que, cuando la caliza contiene una cierta proporción de arcilla íntimamente mezclada, da lugar, por cocción, a una cal hidráulica. Incluso llegó a fabricar una cal hidráulica artificial mezclando la arcilla y la caliza y cociendo después dicha mezcla. Por modificaciones y mejoras sucesivas del experimento de Vicat, se llegó al cemento Portland. Este destronó a la cal hidráulica, adquiriendo rápidamente la hegemonía que hoy tiene en el campo de los conglomerantes.

Se llama **cal** a todo producto, sea cual fuere su composición y aspecto físico, que proceda de la calcinación de piedras calizas. Como consecuencia de las variaciones de composición de la roca de partida pueden obtenerse una serie de cales, que varían desde las cales muy puras; altamente cálcicas, hasta altamente hidráulicas, con contenidos de óxido de calcio de un 50% y aún menos. Así obtenemos dos tipos fundamentales de cales:



**Cales aéreas:** Cales que se componen principalmente de óxido e hidróxido de calcio y magnesio, los cuales endurecen lentamente al aire por la acción del  $\text{CO}_2$  de la atmósfera. No presentan propiedades hidráulicas, es decir, no endurecen con el agua y se obtienen a partir de rocas calizas con contenidos en carbonatos superiores al 95%.

Cuando a una caliza más o menos pura la sometemos a una cocción ( $900-1000^\circ\text{C}$ ) se verifica la siguiente reacción  $\text{CO}_3\text{Ca} + \text{calor} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{CaO}$

El carbonato cálcico  $\text{CO}_3\text{Ca}$  se descompone, dando anhídrido carbónico  $\text{CO}_2$ , que es gaseoso y se desprende junto con los humos del combustible, y óxido de calcio  $\text{CaO}$

Denominándose al  $\text{CaO}$  **cal viva**, cuando se presenta en terrones, recibe el nombre de **cal en terrones**. La cal viva es un producto inestable, por tener gran avidez para el agua, con la que reacciona de la siguiente manera:  $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2 + 15.100 \text{ calorías}$

Produciéndose hidróxido cálcico  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  o **cal apagada**, desprendiéndose calor, elevándose la temperatura a unos  $160^\circ \text{C}$ ., pulverizándose y aumentando considerablemente de volumen aparente. Esta avidez para el agua es tan grande que absorbe el vapor de agua de la atmósfera y la de las sustancias orgánicas, produciendo efectos cáusticos. Cuando el agua añadida ha sido la indispensable para formar el hidróxido se denomina **cal en polvo** siendo un producto polvoriento. Si una vez formada la cal en polvo se sigue añadiendo agua se forma **cal en pasta**

La **cal apagada o hidratada** en pasta tiene la propiedad de endurecerse lentamente en el aire, enlazando los cuerpos sólidos, por lo cual se emplea como aglomerante. Este endurecimiento recibe el nombre de fraguado, y es debido primeramente a una desecación por evaporación del agua con la que se formó la pasta, y después, a una recarbonatación por absorción del anhídrido carbónico del aire:  $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 = \text{CO}_3\text{Ca} + \text{H}_2\text{O}$ , formándose carbonato cálcico y agua, reconstituyendo la caliza de que se partió

Esta reacción es muy lenta, pues empieza a las veinticuatro horas de amasar la pasta y termina al cabo de los seis meses, por lo que las obras en que se emplea tarda mucho en secarse y adquirir la solidez definitiva. Se verifica sólo en aire seco; en el húmedo, con mucha dificultad, y no se realiza dentro del agua, pues la disuelve, no sirviendo para obras hidráulicas. Por otro lado, al fraguar experimenta una contracción o disminución de volumen, que unida a la que experimenta por el peso propio de la obra, produce asentamientos y grietas.

Las calizas naturales casi nunca son la especie química carbonato de calcio, pues le acompañan otros cuerpos como la arcilla, magnesia, hierro, azufre, álcalis y materias orgánicas, las cuales al calcinarse, de no volatilizarse, comunican a la cal propiedades que dependen de la proporción en que entran a formar parte en la piedra caliza y se clasifican en cales grasas, magras e hidráulicas.

**Cal grasa:** Si la caliza primitiva contiene como máximo un 5% de óxido de magnesio, la cal que se produce al calcinarse se le denomina cal grasa y al apagarse da una pasta fina trabada y untuosa, blanca, que aumenta mucho de volumen, permaneciendo indefinidamente blanda en sitios húmedos y fuera del contacto del aire, y en el agua termina por disolverse.

**Cales magra:** son las que proceden de calizas que contienen más de un 5% de óxido de magnesio. Al añadirles agua forman una pasta gris poco trabada, que se entumece menos y desprende más calor que las cales grasas. Al secarse en el aire se reducen a polvo, y en el agua se deslíen y disuelven. Por estas malas cualidades no se usan en construcción.

**Cal hidráulica:** Material conglomerante, pulverulento e hidratado que se obtiene calcinando calizas que contienen arcillas (sílice y alumina), a una temperatura casi de fusión, para que se forme el óxido cálcico libre necesario para permitir su hidratación y, al mismo tiempo, deje cierta cantidad de silicatos de calcio deshidratados que den al polvo sus propiedades hidráulicas. Las cales hidráulicas, después de amasadas con agua, se endurecen en aire, y también en el agua, siendo ésta última propiedad la que las caracteriza.

Según las normas españolas las cales se **clasifican** en:

Cal aérea tipo I: Se emplean en revocos (enfoscados), blanqueos y morteros en general

Cal aérea tipo II: Se emplea en trabajos toscos, en morteros para sentar fábricas y para fábricas de ladrillos silico-calcáreos

	CaO+MgO (mínimo)	Co <sub>2</sub> (mínimo)
TIPO I	90 %	5%
TIPO II	60%	5%

Las cales hidráulicas se clasifican en 3 tipos:

	SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O (mínimo)	CO <sub>2</sub> máximo
Cal hidráulica I	20%	5%
Cal hidráulica II	15%	5%
Cal hidráulica III	10%	5%

SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O= silicatos, aluminatos y ferritos

Las cales a emplear en la estabilización de suelos vienen definidas por la Norma UNE-EN 459-1 "Cales para la construcción. Parte 1: Definiciones, especificaciones y criterios de conformidad". Se trata de Norma armonizada para las Cales para la Construcción, incluyendo, por supuesto, las obras de ingeniería civil. Para la estabilización de suelos, se emplean las cales aéreas.

Según esta norma, estas presentan las siguientes formas:

**Cales clase Q:** Cales aéreas viva constituidas principalmente por óxido de calcio (CaO) y de magnesio (MgO), producidos por la calcinación de caliza. Dentro de este tipo se encuentran la CL 90-Q y la CL 80-

Q. Donde el número 90 indica un 90% mínimo de CaO + MgO y <5% de MgO y el número 80 indica 80% mínimo de CaO + MgO y <5% de MgO

**Cales clase S:** Cales aéreas apagadas o hidratadas, resultantes del apagado controlado de las cales vivas. Están compuestas principalmente por hidróxido de calcio  $[Ca(OH)_2]$ . Dentro de este tipo se encuentran la CL 90-S y la CL 80-S

En España, se matiza la aplicación de cales en ingeniería civil con los requisitos suplementarios marcados por las Normas UNE 80 502 "Cales vivas o hidratadas utilizadas en la mejora y/o estabilización de suelos" y el Art.200 "Cales para estabilización de suelos" del PG-3. Por otro lado, deberá tenerse en cuenta también la "Instrucción para la recepción de cales en obras de estabilización de suelos (RCA-92)".



## PROCESO DE FABRICACIÓN DE LA CAL

El proceso de fabricación de las cales consiste en las siguientes etapas:

### 1º Elección de materias primas

Dentro de los distintos tipos de piedras calizas

### 2º Explotación de canteras

Sondeos, explotaciones en galería o a cielo abierto, Arranque mediante explosivos, etc

### 3º Trituración previa

En general el material obtenido en cantera varía enormemente: desde granos de 1 mm. hasta fragmentos de 30-40 cms. Antes de pasarlo al horno se requiere un machaqueo previo, el cual puede ser seguido o no de una molienda, según el tipo de horno que se disponga.

#### 4º Calcinación

La temperatura más corriente de cocción de la cal aérea es de 900-1000°C. La temperatura más corriente de cocción de la cal hidráulica es del orden de 1200°C. Se utilizan distintos tipos de hornos intermitentes (rudimentarios y de cuba) y continuos (verticales y rotatorios)

#### 5º Apagado de la cal

Sistemas de apagado:

- Al aire
- Por aspersión
- Por fusión
- En autoclaves
- Hidratadores mecánicos

La **velocidad de hidratación** depende de los siguientes factores:

- De la composición química de la cal viva
- De las cantidades físicas de la cal viva
- De la temperatura de cocción de la caliza

#### 6º Cribado, almacenaje y expedición

La cal viva no puede almacenarse durante mucho tiempo porque se apaga fácilmente al aire. Se envasa en sacos o recipientes lo más impermeables y herméticos posible. Las cales hidráulicas se someten a cernido tras el apagado, suele venderse en terrones, aunque algunas veces se suministra molida a la finura deseada por el cliente. La cal hidratada puede suministrarse en polvo o en pasta, con las mismas precauciones que se ha citado antes, para evitar su carbonatación, requiere varias precauciones para su conservación. Debe conservarse en almacenes muy secos y sin contacto alguno con el aire. Es frecuente su envasado en sacos de papel.

### **PROPIEDADES DE LAS CALES**

#### Hidraulicidad

Es la relación entre los silicatos y aluminatos respecto al óxido de calcio

Índice de hidraulicidad=  $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ [arcilla]} / \text{CaO} + \text{MgO} \text{ [caliza]})$ . (tantos por ciento, peso, de los distintos componentes, antes de la cocción).

De menor a mayor índice de hidraulicidad:

- Cal aérea
- Cal débilmente hidráulica
- Cal medianamente hidráulica
- Cal hidráulica normal
- Cal eminentemente hidráulica

### Densidad

La densidad real de la cal aérea es del orden de 2,25 kg/dm<sup>3</sup>. Para las cales hidráulicas oscila entre 2,5 y 3,0 kg/dm<sup>3</sup>. La densidad de conjunto de las cales puede estimarse en torno al 0,4 kg/dm<sup>3</sup>. para las cales aéreas y de 0,5 a 0,9 kg/dm<sup>3</sup>. para las hidráulicas

### Fraguado

El fraguado de la cal es un proceso químico; consiste en la evaporación del exceso de agua empleado en amasar la pasta, seguido de una sustitución del agua por el CO<sub>2</sub> de la atmósfera, pasando de nuevo del hidróxido al carbonato cálcico. Como el anhídrido carbónico seco no reaccionaría con el hidróxido cálcico seco, es necesario que exista algo de humedad presente. El tiempo de fraguado de las cales aéreas no se especifica en las normas españolas, pero puede afirmarse que se trata de un conglomerante de fraguado lento. En las cales hidráulicas no solo se produce la carbonatación del hidróxido cálcico sino también la hidratación de los silicatos y aluminatos presentes. El fraguado de cualquier tipo de cal hidráulica no debe comenzar antes de 2 horas ni terminar después de 48 horas.

## **APLICACIONES DE LA CAL**

Tiene un amplio campo de utilización en muchos ámbitos, los más importantes en construcción son el darle trabajabilidad a los morteros y para el esgrafiado, nos centraremos en los usos de la cal en la construcción

### Morteros

Unión de agua+ conglomerante +árido fino

El mortero está destinado a unir una serie de elementos pequeños (piedras o ladrillos) para constituir una unidad de obra con características propias. Durante la evaporación del agua de una pasta de cal, se produce una contracción elevada que fácilmente da lugar a grietas. Esta retracción puede reducirse mediante la adición de arena a la pasta, es decir, no utilizando pasta de cal sino morteros de cal. Si se añade poca arena la retracción será alta; si se añade mucha arena bajarán la plasticidad y la resistencia

### Revocos y Enfoscados

Se denomina revoco al revestimiento exterior de mortero de agua, arena y cal o cemento, que se aplica, en una o más capas, a un paramento enfoscado previamente. El enfoscado es una capa de mortero empleada para revestir una pared o un muro. En los enfoscados se utiliza mortero de cemento, aunque ocasionalmente se puede añadir también algo de cal. El enlucido es una de las últimas unidades de obra que se realizan, por lo que no interesa que su fraguado sea lento, pues retrasaría el uso de la obra.

### Recubrimientos / Blanqueos

La cal se usa para blanquear como pintura al temple

### Estabilización de suelos en carreteras

### Fabricación de Ladrillos silico-calcáreos

Son ladrillos constituidos por cal y arena, donde sus componentes se mezclan íntimamente con una cantidad precisa de agua, se moldean por prensado y se someten a un tratamiento de vapor de agua a presión

## 2.2 EL YESO

### TIPOS DE YESOS

El yeso ha sido conocido y utilizado desde la más remota antigüedad, principalmente en países de clima seco. Su origen puede ser Oriente Medio. También los egipcios utilizaron el yeso con gran profusión como muestra la pirámide de Keops después Grecia y Roma y más tarde al pueblo árabe. El yeso es protagonista de la decoración en la España bajo dominio de los árabes como se puede observar en la Alhambra de Granada o el Alcázar de Sevilla. Su fabricación, hasta bien entrado el siglo 20, resultaba costosa, actualmente se han mejorado los sistemas de fabricación.

La **pedra de yeso o aljez** se encuentra en la naturaleza y está compuesta por sulfato cálcico dihidrato  $\text{SO}_4\text{Ca} + 2\text{H}_2\text{O}$

Esta roca es la única materia prima para la fabricación del yeso. Éste se obtiene por deshidratación parcial de dicha roca que, sometida a temperatura no mayor de 170°C, pierde molécula y media de agua, formándose el sulfato cálcico hemihidrato  $\text{SO}_4\text{Ca} + 1/2\text{H}_2\text{O}$ . Se obtiene así el **yeso cocido o deshidratado**, el cual, amasado con agua, una vez pulverizado, se rehidrata formando de nuevo el **dihidrato**. Al amasar el yeso con agua en debida proporción se obtiene una pasta más o menos trabada y untuosa que se endurece rápidamente, a este endurecimiento se le conoce como fraguado. Si la temperatura es mayor que 170°C, el dihidrato llega a perder toda el agua de cristalización obteniéndose la **anhidrita soluble**  $\text{SO}_4\text{Ca}$ , que es muy inestable y que pasa fácilmente a hemihidrato al absorber el agua atmosférica.

Si la temperatura es aún mayor se forma otro tipo de anhidrita: la **anhidrita insoluble**, que es estable y que no fragua si no se añaden determinados acelerantes o catalizadores a la reacción. Si la temperatura es aún mayor, se forman los yesos hidráulicos. La anhidrita insoluble se encuentra en la naturaleza, pero en mucha menos cantidad que el aljez..



Afloramiento de Aljez

Se pueden clasificar los yesos dependiendo de diferentes criterios:

### **Clasificación según las condiciones de cocción**

A medida que la temperatura de cocción va aumentando se van obteniendo productos diferentes que, si bien es verdad que todos son sulfato cálcico, sus propiedades y, por tanto, sus usos, son distintos

#### Hemihidrato- $\alpha$

- De 120-170°C
- Se obtiene en autoclave
- Para su formación es indispensable que se produzca una atmósfera saturada de vapor de agua
- Es más compacto que el beta
- Tiene mayor compactidad y mejores características constructivas y resistentes, así como mayor resistencia a tracción y compresión que los yesos  $\beta$
- Necesita un tiempo de fraguado menos que otros yesos
- Tiene multitud de cristales muy finos y presenta un aspecto sedoso brillante

#### Hemihidrato- $\beta$

- Aspecto terroso
- Mayor solubilidad y, por tanto, menos estable
- Mayor contenido energético y tiempo de fraguado, con un aspecto terroso y no cristalino
- Mayor tiempo de fraguado
- Fabricación en calderas

### **Clasificación según la normativa (pliego RY-85, derogado por Real Decreto 1371/2007)**

#### Yeso grueso de construcción (YG)

Procede del aljez impuro. Esta fabricado en hornos de baja calidad, por lo que contiene cenizas y restos de la combustión. Contiene, al menos, un 75% de Hemihidrato. Constituido por: Sulfato cálcico hemihidratado y Anhidrita II artificial (obtenida por cocción de aljez entre 300-600°C) y con la posible incorporación de aditivos reguladores del fraguado. Antiguamente este yeso se llamaba negro, moreno o

tosco. Suele emplearse para pasta de agarre en la ejecución de tabicados, en revestimientos interiores y como conglomerante auxiliar en obra.

#### Yeso fino de construcción (YF)

Procede del aljez más puro. Está fabricado en hornos de alta calidad y no contiene restos de los productos de la combustión. Tiene una granulometría más fina que el yeso grueso, con al menos un 80% de hemihidrato. Está constituido fundamentalmente por sulfato cálcico hemihidrato y anhidrita II artificial, de granulometría más fina que el anterior, con la posible adición de aditivos reguladores del fraguado. Suele emplearse en enlucidos, refinados o blanqueo sobre revestimientos interiores (guarnecido o enfoscados). Antes, este yeso se llamaba blanco.

#### Yeso Prefabricado (YP)

Está constituido fundamentalmente por sulfato cálcico hemihidrato y anhidrita II artificial, con una mayor pureza y resistencia que los yesos de construcción (YG y YF). Suele emplearse para la ejecución de elementos prefabricados para tabiques.

#### Escayola

Procede del aljez más puro. No presenta restos de los productos de la combustión, y tiene un molido final de mayor finura. Se emplea en molduras, decoración de interiores, techos, tabiques prefabricados y otras industrias. La Normativa las clasifica en dos tipos, indicando su resistencia mínima a flexotracción en  $Kp/cm^2$

-E-30: Está constituida fundamentalmente por sulfato cálcico hemihidrato con la posible incorporación de aditivos reguladores del fraguado y con una resistencia mínima a flexotracción de  $30\text{ kp/cm}^2$ . Suele emplearse en la ejecución de elementos prefabricados para tabiques y techos.

-E-35: Es la escayola especial. Está constituida fundamentalmente por sulfato cálcico hemihidrato con la posible incorporación de aditivos reguladores del fraguado, con mayor pureza que la escayola E-30 y con una resistencia mínima a flexotracción de  $35\text{ kp/cm}^2$ . Suele emplearse en trabajos de decoración, en la ejecución de elementos prefabricados para techos y en la puesta en obra de estos elementos.

En los tipos que se acaban de definir, excepto en el YP, además de la clase normal existe una clase lenta, denominada así en función de los períodos de trabajabilidad. En la designación se añadirá una L, separada por una barra. YG/L ; YF/L ; E-30/L ; E-35/L



## PROCESO DE FABRICACIÓN DEL YESO

### 1º Obtención Materia Primas

El sulfato cálcico dihidrato abunda mucho en la naturaleza, en España. Es una roca blanca cuando no está contaminada por impurezas y, en general, presenta colores claros.

### 2º Explotación en Canteras

Como el yeso es un material muy barato, también lo han de ser todas las operaciones que comprende su fabricación. Así pues, es casi obligado que la piedra de yeso aflore a la superficie para que se pueda explotar a cielo abierto. El tipo de explotación depende de las características particulares de cada una: Arranque manual, a máquina, con explosivos, etc., en función del volumen de fabricación. Según el sistema de deshidratación que se vaya a seguir, puede variar el grado de trituración de la roca cruda. Según las dimensiones que se hayan de obtener se utilizan:

- Machacadoras: hasta dimensiones de 2 a 3 cm
- Molinos de martillo: material más fino
- Trituradoras de martillo: factores de reducción muy elevados de hasta 20

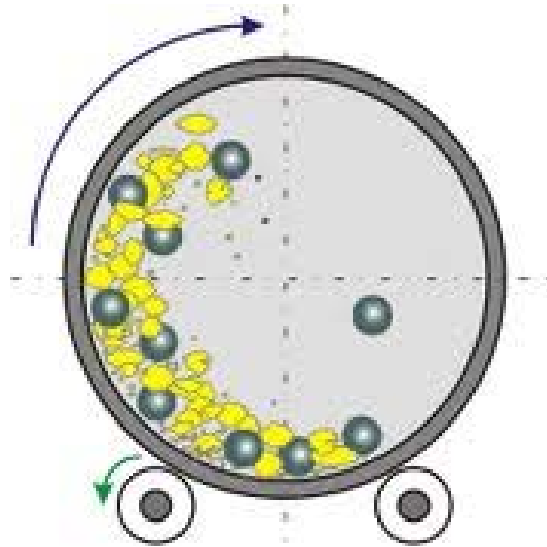
### 3º Deshidratación, Calcinación o Cocción

El objeto de la cocción es la obtención del hemihidrato del sulfato cálcico o bien de las formas anhidras del mismo. Los productos obtenidos fraguan por adición de agua, regenerando el dihidrato, debiendo el yeso a este fenómeno su carácter de conglomerante. Los hornos utilizados para la cocción del yeso se dividen en dos grandes grupos según que el yeso esté en contacto directo con los gases de combustión pudiendo ser: hornos fijos (de tipo rudimentario de cuba, de colmena), hornos rotatorios y de parrilla móvil. Sin contacto directo con los gases de combustión: hornos fijos (de panadero, autoclaves, calderas) y hornos rotatorios.

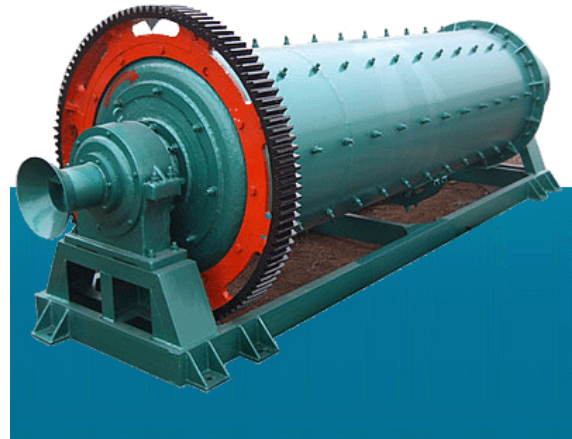
### 4º Molienda, Almacenamiento y Ensacado

La molienda después de la cocción, suele hacerse con molino de martillos o de bolas, si interesa obtener mucha finura en el producto terminado. Aunque el sistema de deshidratación requiera la molienda previa del material, generalmente hay que hacer, después de la calcinación, una molienda de refino. El yeso molido suele almacenarse en silos cerrados y aislados de la humedad, con objeto de evitar la hidratación.

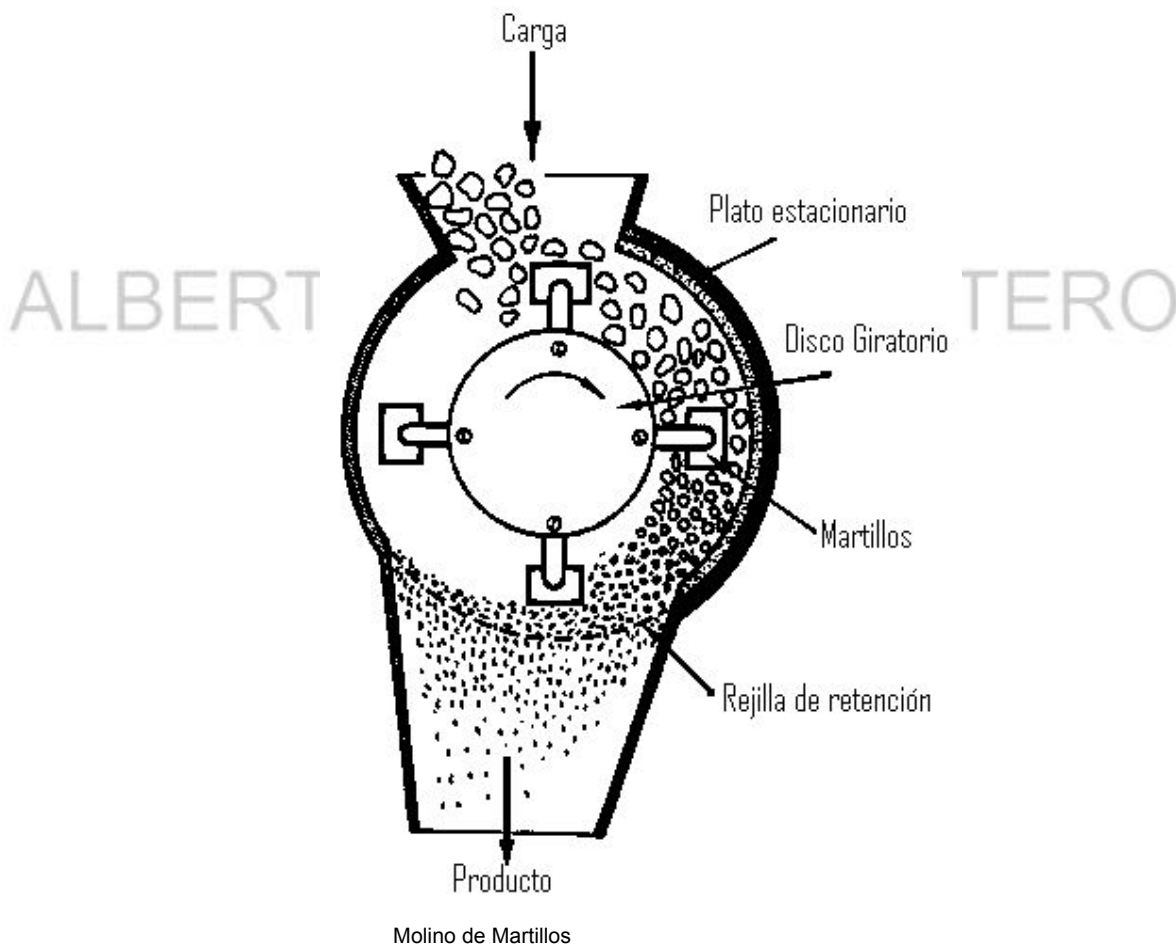
A veces es conveniente e incluso necesario realizar una homogeneización de distintas partidas de yeso, fabricadas en distintas fechas o en distintos hornos, lo cual se lleva a cabo mediante sistemas mecánicos o neumáticos. El ensilado del yeso da lugar a su estabilización con la consiguiente mejora de la calidad. En la mayor parte de las fábricas modernas se utilizan máquinas ensacadoras automáticas, las cuales llenan sacos de papel de cierre también automático. Se ha comprobado que el yeso se conserva bastante mejor en sacos de papel que en sacos de yute, en los que la permeabilidad al aire húmedo es mayor.



Molino de Bolas



Molino de Bolas



## PROPIEDADES DEL YESO

### Fraguado

Al amasar el yeso hemihidrato con agua endurece en un plazo breve. Este fenómeno se conoce con el nombre de fraguado del yeso. Una de las propiedades más características del yeso es la rapidez de su fraguado, esto obliga al operario a trabajar con apresuramiento y únicamente permite amasar de una vez pequeñas cantidades. Este problema se soluciona mediante el empleo de catalizadores que actúan sobre la velocidad del fraguado permitiendo regular la misma

### Expansión

Se produce una expansión como consecuencia del crecimiento rápido de los cristales durante el fraguado, es del orden del 0.3 a 1.5%.

### Absorción de Agua

El yeso es un material que no puede emplearse en lugares expuestos a la acción del agua (exteriores, etc.). Se ha venido atribuyendo este hecho a su considerable solubilidad en agua. La razón fundamental del fracaso del yeso ante el agua se encuentra en la rápida pérdida de resistencia que experimenta el material fraguado al absorber agua ávidamente a través de su red capilar. El efecto perturbador del agua absorbida con posterioridad al fraguado consiste en una acción lubricante de los cristales aciculares del dihidrato que disminuye la resistencia de rozamiento y, por tanto, la resistencia del material.

### Adherencia

En general, la adherencia de las pastas de yeso a las piedras, ladrillos, etc., es buena pero al hierro y al acero es mejor. La adherencia a la madera y a superficies lisas es deficiente. Puede decirse, en general, que la adherencia del yeso disminuye con el tiempo y, desde luego, con la presencia de humedad.

### Corrosión

El yeso produce corrosión en el hierro y en el acero, sobre todo en presencia de humedad. Así pues, cualquier elemento de estos materiales que deba estar en contacto con yeso debe protegerse por galvanización, pintado, etc.

## APLICACIONES DEL YESO

### Guarnecidos y Tendidos

Tal vez la mayor aplicación del yeso en la construcción es el revestimiento de paramentos más o menos irregulares que no han de quedar vistos. Para ello se aplica sobre el paramento una primera capa de yeso YG de a 15 mm. de espesor, y sobre ésta, una capa de yeso YF de 1 a 3 mm. La primera capa recibe el nombre de guarnecido y la segunda, el de tendido.

El guarnecido puede ser a buena vista o maestreado. En el primer caso se extiende con llana y que la superficie quede perfectamente plana depende de la habilidad y entrenamiento del albañil. También

puede extenderse por proyección y alisarse con reglas de madera. En el caso de un guarnecido maestreado, hay que hacer primero las maestras: éstas son fajas del espesor fijado y con sus superficies en un mismo plano que sirven de guía para el guarnecido. Se extiende a mano y se alisa con regla apoyándose en las maestras. Para el tendido suele emplearse una pasta más fluida que para el guarnecido y tanto más fluida cuanto menor tenga que ser su espesor. Se extiende con llana. El conjunto del guarnecido y el tendido constituyen el enlucido que no suele quedar visto sino recubierto por pintura, papel, corcho, etc.

### Molduras

Para éste trabajo se utiliza generalmente escayola. La operación denominada corrido de molduras consiste en hacer deslizar una terraja con el perfil deseado sobre unas guías. Al moverse la terraja sobre una masa de escayola recién colocada forma la moldura.

### Estuco

Se conoce con este nombre un recubrimiento para muros, brillante y lavable, que se extiende con la llana. Esta compuesto por escayola o yeso YF molido muy fino, amasado con agua que contiene gelatina, puede contener también pigmentos colorantes. Cuando se ha conseguido una superficie plana, se la de brillo mediante un bruñido con planchas de acero calientes o frotando las superficies con un paño impregnado en aceite de linaza y, posteriormente, con otro impregnado en aguarrás y cera.

### Morteros de Yeso

Para la fabricación de morteros ha de tenerse presente que cada partícula de arena debe quedar perfectamente envuelta por la pasta de yeso. No suelen usarse más que dos morteros: el 1:2 y el 1:3 (relación yeso: arena), ambos en peso. Puede afirmarse que partiendo de una relación 1:1, la resistencia a la compresión se reduce a la mitad cada vez que se duplica el contenido de arena

### Elementos prefabricados

Además de las molduras y de otros elementos decorativos, pueden fabricarse como elementos resistentes bloques de yeso, bovedillas para forjados y placas para tabiques. Está muy extendido el uso de placas de hasta 40x40 cms. y aún más, para la construcción de falsos techos. Con frecuencia estas placas están perforadas para conseguir un buen acondicionamiento acústico de los locales donde están colocadas. Se emplean también paneles constituidos por un emparedado de cartón-yeso-cartón, que responden a la denominación genérica de plasterboard.



Paneles de yeso



Moldura de escayola



Saco de yeso

## 2.3 MATERIALES CERÁMICOS. LADRILLOS Y TEJAS

La cerámica es la industria más antigua de la humanidad, es una idea genial del hombre y fecunda pues se ha desarrollado ampliamente a lo largo de la historia no sólo en cantidad sino en la variedad de productos, algunos de ellos, de importancia trascendental para las tecnologías modernas.

Surge la fabricación de ladrillos en aquellas zonas en que escasea la piedra y abunda la arcilla. Se entiende por material cerámico el producto de diversas materias primas, (principalmente arcillas) fabricándose en estado pulverulento o pastoso (para comunicarles fácilmente la forma) y adquiriendo la consistencia pétreo por procesos físico-químicos al cocer esas tierras arcillosas.

Se dividen en dos ramas:

- La Tejería: elabora materiales de construcción (ladrillos, tejas, tubos, etc..)
- La Alfarería: elabora cerámica fina (loza, porcelana)

Las **materias primas** para la obtención de estos productos son:

### Arcillas

La arcilla es la principal materia prima para la fabricación de ladrillos, tejas, piezas especiales, etc. Se trata de una roca que procede de la desintegración de otras rocas formadas por "minerales arcillosos" que, químicamente son silicatos de aluminio hidratados, los cuales se diferencian unos de otros en la relación sílice/alúmina, en la cantidad de agua de constitución y en la estructura que contienen. La acción continuada y perseverante de los agentes atmosféricos sobre estas rocas las descomponen y dan lugar a las arcillas que, frecuentemente, son transportadas por el agua o el viento a distancias más o menos largas.

A veces entre las arcillas se encuentran fragmentos de la roca de procedencia; otras veces se hallan minerales o rocas que entraron en contacto con la arcilla durante su transporte hasta el lugar de sedimentación. Con frecuencia se ven alteradas por acciones (temperatura, presión, etc.) ejercidas sobre ellas durante la consolidación. Puede comprenderse por ello que la variedad de arcillas es muy grande y con una gran gama de coloraciones, plasticidades, composición química, etc.

En general no se encuentran arcillas puras de cada tipo, sino mezcladas, aunque predomine un mineral determinado. Las arcillas más puras son las **caoliníticas**, las cuales, por presentar un elevado porcentaje de alúmina y, por lo tanto, un elevado punto de fusión, tienen después de cocidas propiedades refractarias. Las arcillas **montmorilloníticas** son las menos empleadas en cerámica. Las **ilíticas** son las más utilizadas, por ser las más abundantes.

Una de las principales características de las arcillas es la plasticidad. Se entiende por tal la propiedad de un cuerpo que puede deformarse bajo la acción de un esfuerzo y que permanece deformado después de

retirada la causa que ha producido dicho cambio. La plasticidad depende de muchas propiedades de las arcillas, y una de ellas es el contenido en agua. Si la arcilla está totalmente seca, no es plástica. Si se le añade agua, se observa un incremento de la plasticidad, que llegará a un máximo para un contenido de agua determinado. Si seguimos añadiendo agua, se obtiene un líquido más o menos viscoso pero toda idea de plasticidad habrá desaparecido. La estructura laminar de la arcilla y el pequeñísimo tamaño de las partículas también influyen en la plasticidad. Hay un cierto contenido de agua mínimo por debajo del cuál la arcilla deja de comportarse como una masa plástica y se convierte en un material friable. A éste contenido de agua se le denomina límite plástico de la arcilla. Como se ha dicho, al aumentar la cantidad de agua la arcilla se convierte en un material plástico hasta un contenido de agua determinado para el cuál la arcilla comienza a fluir como un líquido espeso. A este otro contenido de agua se le llama límite líquido. La diferencia entre ambos límites recibe el nombre de índice de plasticidad. La acción del calor sobre las arcillas es la base de la industria cerámica. Cuando un cuerpo moldeado en arcilla se somete a la acción del calor experimenta una serie de cambios que lo transforman en un elemento útil con una resistencia mecánica apreciable, una determinada impermeabilidad, una cierta resistencia al fuego, etc. .

Unos cambios son de naturaleza física (variaciones en la densidad, porosidad, fragilidad, plasticidad, resistencia a la compresión, color, etc.) y otros son de naturaleza química (deshidrataciones, descomposiciones, formación de nuevos compuestos, etc.) En la práctica las arcillas pierden el agua en dos fases: en la primera, llamada secado, no pierden más que el agua de amasado (agua que se añade a la arcilla para amasarla y moldearla), en tanto que en la segunda fase, durante el proceso de cocción, pierden el agua zeolítica (moléculas de agua intercaladas en los vacíos de la red cristalina) y el de constitución. Cuando se produce la eliminación del agua de constitución se rompe la estructura de la arcilla y el fenómeno deja de ser reversible perdiendo definitivamente la posibilidad de ser plástica.

### Desgrasantes

Se puede reducir la plasticidad mediante la adición de materias no plásticas que reciben el nombre de desgrasantes y que disminuyen la contracción y facilitan la salida del agua del interior de la masa, plásticas para hacer perder plasticidad evitando que se adhieran objetos en contacto con ellas y permita el moldeado correcto de los productos. Entre los desgrasantes normalmente usados figura el ladrillo molido procedente de los ladrillos rotos y que no debe ser extremadamente fino ni todo del mismo tamaño, las cenizas que quedan en el horno y con frecuencia arena, la cual debe ser de naturaleza silíceo, exenta de granos calizos y bastante fina.

### Fundentes

Para bajar el punto de fusión (serrín, alquitrán, grafito).

### Agua

Exenta de sales solubles para evitar que las sales queden en el ladrillo y aparezcan luego en forma de eflorescencias.

## PROCESO DE FABRICACIÓN DE LOS MATERIALES CERÁMICOS

1. Extracción
2. Preparación de la pasta
3. Amasado
4. Moldeo
5. Secado
6. Cocción

### 1.Extracción

Las canteras de arcilla, también llamadas barreros, suelen estar cerca de las fábricas, son explotaciones a cielo abierto y la extracción se realiza por medios mecánicos. Es necesario quitar una capa de material no apto para la fabricación de ladrillos.

### 2.Preparación de la pasta

La arcilla extraída en la cantera hay que convertirla en una masa adecuada para la operación de moldeo en forma de ladrillos, tejas, tubos, bloques. Para proceder al moldeo tiene que cumplir ciertas condiciones:

- Depuración
- Estado de división
- Homogeneidad de la pasta
- La cantidad de agua

Para que las pastas reúnan las condiciones necesarias de trabajabilidad y calidad, se les puede someter a uno o varios de los procesos siguientes:

- Meteorización
- Maduración
- Podrido
- Levigación
- Tamizado
- Lavado
- Preparación mecánica

### 3. Mezclado y Amasado

Consiste en conseguir una perfecta homogeneización de la materia prima, es decir, de las diversas arcillas que se vayan a utilizar, de éstas con los desgrasantes y de todos éstos elementos sólidos con el agua .Para ello disponemos de diversa maquinaria:

- Mezcladoras–amasadoras
- Amasadoras de doble eje
- Raspadores



-Molino de rulos

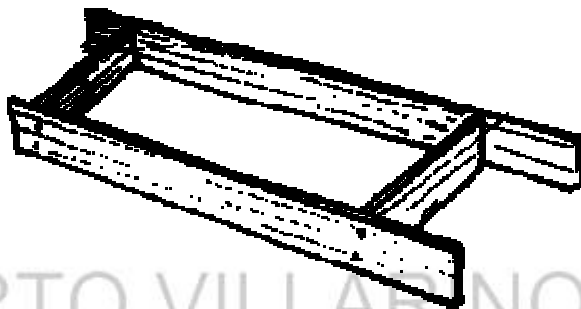
-Laminadores

#### 4. Moldeo

Lo que se consigue con el moldeo es dar al producto una configuración externa. El moldeo tiene repercusión en los procesos subsiguientes por lo que debe cuidarse y controlar su corrección. El moldeo se puede realizar de diversas maneras:

##### Moldeo a mano

Método rudimentario útil para producciones a pequeña escala o periódica. Su aspecto es más rugoso y más estético. La tierra se prepara en fosas mediante la adición de agua y un amasado con palas hasta que se suficientemente homogénea. En estado muy plástico y con mucho líquido se comprime en una gradilla.



Gradilla

##### Moldeo por Extrusión

Consiste en empujar una masa de arcilla para hacerla pasar a través de una boquilla formadora, es por tanto, un proceso utilizado para formar piezas que tengan una sección transversal constante: Se obliga a salir la pasta por una boquilla

##### Moldeo por prensas

Si las piezas a fabricar tienen relieves y superficies curvas (por ejemplo, tejas)

##### Prensado

Se utiliza para obtener un producto de apariencia impecable. Tiene la ventaja de que no necesita pasar por el secadero, pero tiene el inconveniente de la posible falta de homogeneidad debido a la dificultad de conseguirla cuanto más seca sea la tierra.

#### 5. Secado

Las piezas recién moldeadas si se cocieran se romperían por lo que hay que someterlas al proceso de secado. Consiste en la eliminación de la pasta de amasado, hasta reducirla a un 5%. Se realiza de forma

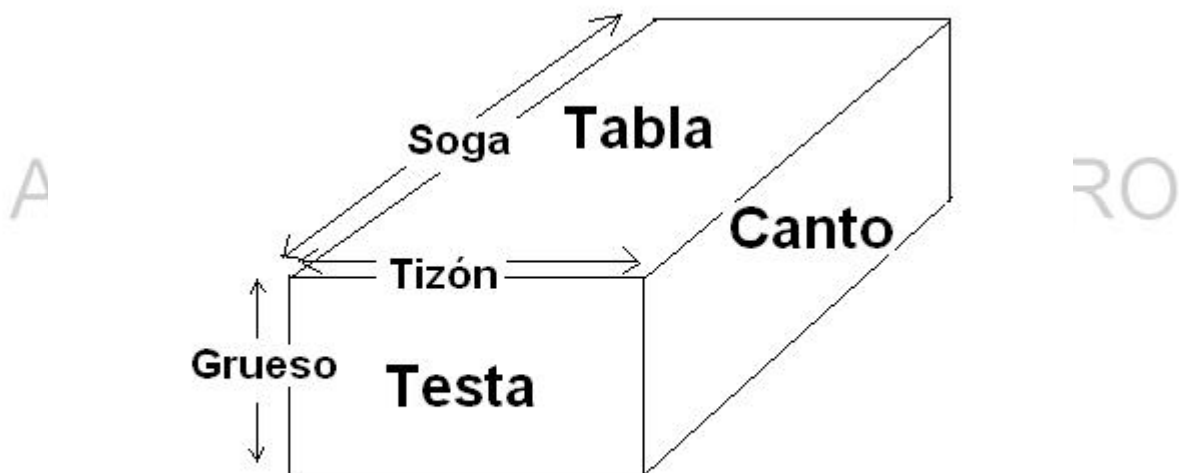
lenta y gradual, para evitar alabeos y resquebrajamientos. Industrialmente se utilizan cámaras secaderos, que consisten en unos locales en los que se hace pasar aire caliente procedente del calor de recuperación de los hornos.

## 6. Cocción

Cuando se cuecen las arcillas a altas temperaturas, se producen unas reacciones que provocan en el material una consistencia pétreo y una durabilidad que las hacen adecuadas para el fin que se las destina. La temperatura en los hornos y el tipo de éstos es variable en función del producto. Existen distintos tipos de hornos (hornos hormigueros, hornos continuos, etc...).

## **LADRILLOS**

Ladrillo de arcilla cocida, es toda pieza, generalmente ortoédrica, obtenida por moldeo, secado y cocción a temperatura elevada de una pasta arcillosa, que se utiliza en construcción. La denominación de las caras y aristas de un ladrillo es la que a continuación se muestra



Existen varias clasificaciones de los ladrillos, únicamente detallaremos las siguientes:

### **Clasificación por Cocción**

**Adobes:** Son los ladrillos secados al sol y que no han estado sometidos a la acción del fuego

**Santos:** Son los que por un exceso de cocción han sufrido una vitrificación, resultando deformados y negruzcos

**Escafilados:** Son los que por un exceso de cocción han sufrido un principio de vitrificación, resultando más o menos alabeados

**Recochos:** Son los que han estado sometidos a una cocción correcta

Pintones: Son los que por falta de uniformidad en la cocción presentan manchas pardas y manchas más o menos rojizas

Pardos: Son los que han sufrido una cocción insuficiente presentando un color pardo

Porteros: Son los que por su situación en las capas exteriores de los hornos de hormiguero apenas se han cocido

### **Clasificación por su forma, según la normativa de ladrillos**

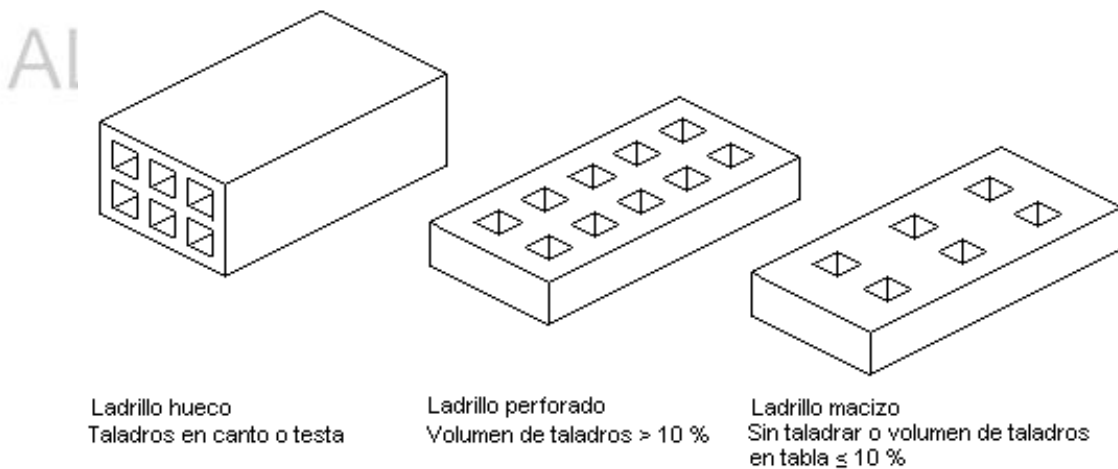
Existen tres tipos de ladrillo en función del tamaño, volumen y situación de las perforaciones y dos clases

#### **Tipos**

Macizos (M): Ladrillo totalmente macizo o con taladros en tabla, de volumen no superior al 10% (% sobre el volumen total). Cada taladro tendrá una sección de área no superior a  $2.5 \text{ cm}^2$  ( $\varnothing 1.78 \text{ cm}$  en perforación circular)

Perforados (P): Ladrillo con taladros en tabla, de volumen superior al 10% con la particularidad de que al menos tendrá tres perforaciones

Huecos (H): Ladrillo que tiene los taladros en canto o testa, siendo la sección máxima de cada perforación de  $16 \text{ cm}^2$



#### **Clases**

Clase V (ladrillo visto): ladrillos para utilizar a cara vista

Clase NV (ladrillo común): ladrillo común, para utilizar en fábricas que se revestirán

### **Disposición de la obras de ladrillo (aparejos)**

Los muros y tabiques se construyen colocando los ladrillos ordenadamente unos sobre otro uniéndolos con mortero. El sistema adoptado para conseguir la trabazón de toda la fábrica se denomina aparejo

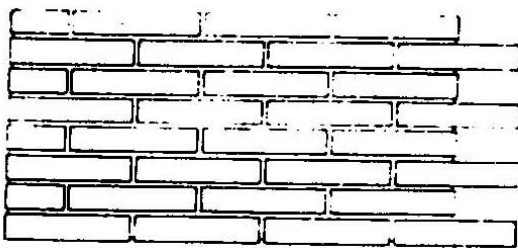
A sogá: cuando, apoyada la pieza sobre su tabla, la testa es normal al paramento, resultando las dimensiones de sogá paralelas al mismo.

A tizón: se apoya la pieza sobre su tabla, la testa es paralela al paramento, resultando las dimensiones de tizón paralelas al mismo.

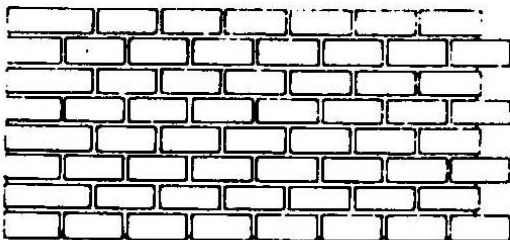
A sardinel o rosca: se apoya la pieza sobre su testa o su canto, la tabla es normal al paramento. Según la posición de la arista mayor, existen las variantes horizontal y vertical.

A panderete cuando, apoyada la pieza sobre su testa o su canto, las tablas definen el trasdós o intradós del elemento. También existen las variantes horizontal y vertical.

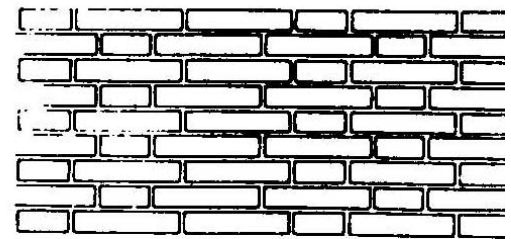
Triscadas: las que, en cualquiera de las posiciones anteriores, sufren un giro, quebrándose su paramento o su coronación.



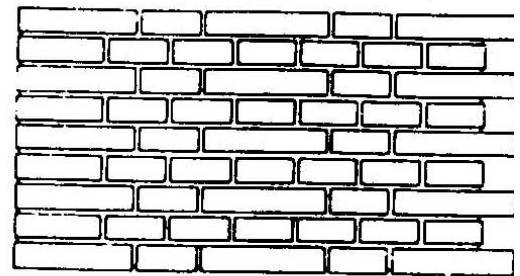
**a) APAREJO DE SOGAS**



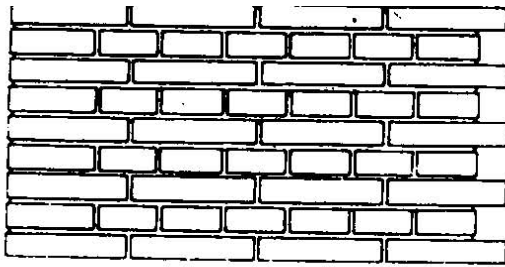
**b) APAREJO DE TIZONES**



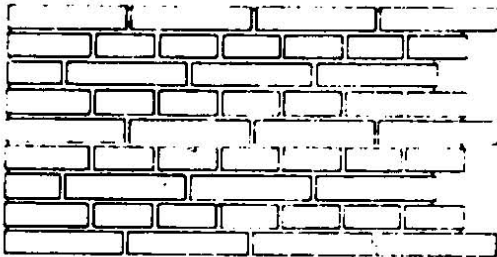
**g) APAREJO FLAMENCO O GÓTICO  
(doble o marco)**



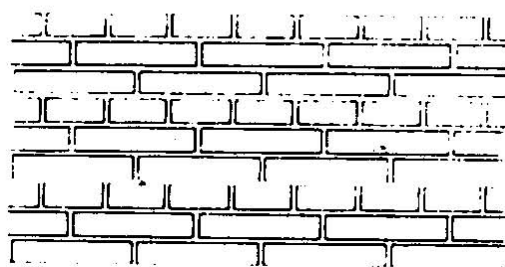
**h) APAREJO HOLANDES**



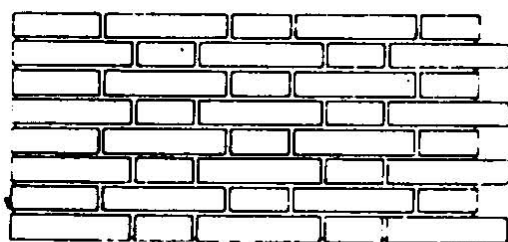
**c) APAREJO INGLES NORMAL**



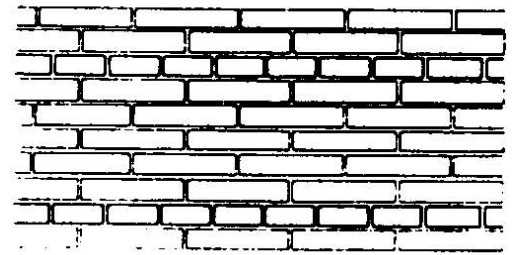
**d) APAREJO INGLES EN CRUZ O BELGA**



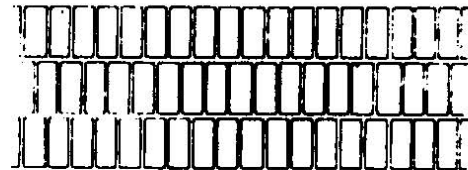
**e) APAREJO INGLES ANTIGUO**



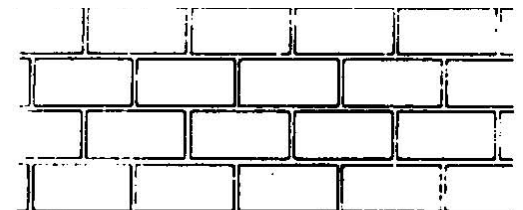
**f) APAREJO FLAMENCO  
O GOTICO (sencillo)**



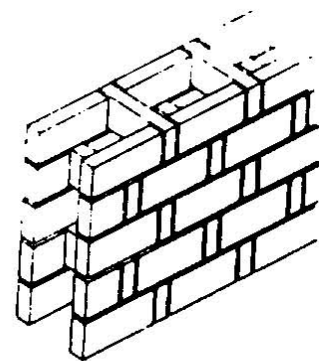
**i) APAREJO AMERICANO**



**j) APAREJO DE SARDINELES**



**k) APAREJO DE PANDERETES**



**l) APAREJO DE PANDERETES  
Y SARDINELES**

## **Propiedades de los Ladrillos**

### **Resistencia a la compresión**

De los macizos y perforados no debe ser inferior a  $100 \text{ kg/cm}^2$ . Los huecos no deben tener menor de  $50 \text{ kg/cm}^2$

## **TEJAS**

Son piezas de material cerámico destinadas a cobertura de edificios aprovechando su carácter impermeable, dotándolas de la forma idónea para que encajen entre ellas fácilmente

### **Tipos de tejas**

#### **Teja curva o árabe**

Forma de canal troncocónico. Peso aproximado de 2 kg, necesitándose 25 unidades para cubrir  $1 \text{ m}^2$



#### **Teja plana**

Con forma rectangular, de escudo o similares, y perfectamente plana o ligeramente curvada. En la cara inferior suele tener un resalto para su apoyo en los elementos de cubierta. Generalmente presenta orificios para ser clavada en listones de madera. De un largo de 42 cms. y un ancho de 25 cms



Encaje o de alicante: tiene un contorno sensiblemente rectangular, con espesor variable que da lugar a rehundidos y pestañas que permiten el encaje de unas piezas con las adyacentes



Teja mixta



### **Propiedades de las Tejas**

#### Permeabilidad

Propiedad importantísima en las tejas. Será tal que al cabo de dos horas no se produzca goteo

## OTROS PRODUCTOS CERÁMICOS

### Bovedillas

Son productos cerámicos utilizados como elementos prefabricados en forjados. Las bovedillas también se fabrican de hormigón.



### Azulejos

Son piedras destinadas al revestimiento de paredes. Se emplean en lugares donde la limpieza sea fundamental y frecuente (cocinas, salas de ordeño, aseos, etc.). Constan de dos capas, una gruesa, (bizcocho de arcilla seleccionada) y otra fina que es un esmalte y le proporciona a la pieza impermeabilidad y resistencia al desgaste

### Gres

Material cerámico cuya masa, a diferencia de los azulejos, es compacta y no porosa. Por la mezcla de arcillas muy seleccionadas capaces de vitrificar a bajas temperaturas. Extraordinaria compacidad, impermeables e inatacables por los ácidos. Se utilizan en depósitos o zonas que estén en contacto con zonas corrosivas. Muy resistente al desgaste.

### Loza

Son los productos cerámicos de fractura blanquecina. Después de cocido, porosos y absorbentes teniendo que ser recubiertos con un esmalte para hacerla impermeable y dura. Se utilizan en productos sanitarios (inodoros, platos de ducha, etc....)



## 2.4 MATERIALES BITUMINOSOS

Los materiales bituminosos son sustancias de color negro sólidas o viscosas, dúctiles, que se ablandan por el calor y comprenden a aquellos cuyo origen son los crudos petrolíferos como también a los obtenidos por la destilación destructiva de sustancias de origen carbonoso.

El betún es uno de los materiales de construcción más antiguos que existen; ya en Mesopotamia y en el valle del Indo (3.800 a. de c.), se empleaba el betún natural como material aglomerante en albañilería, en la construcción de caminos y en la impermeabilización de estanques y depósitos de agua.

Los primeros productos que se emplearon fueron betunes naturales pero en la actualidad el uso que se hace de éstos es muy reducido y casi la totalidad de los productos bituminosos empleados en la construcción proceden de la destilación del petróleo o de carbones. Los materiales bituminosos pueden dividirse en dos grandes grupos: betunes y alquitranes. Ambos presentan una serie de propiedades análogas y de diferencias muy significativas: los dos son termoplásticos y poseen una buena adhesividad con los áridos; sin embargo, la viscosidad de los alquitranes se encuentra más afectada por las variaciones de temperatura que la de los betunes y además su envejecimiento es mucho mayor que el de éstos.

### TIPOS DE MATERIALES BITUMINOSOS

#### BETUNES

Son mezclas de hidrocarburos naturales, o pirogenados (aquellos que se han sometido a tratamientos de calor), o de sus combinaciones y que pueden ser gaseosos, líquidos, semisólidos y sólidos, solubles por completo en sulfuro de carbono. Los hay naturales y artificiales. Los betunes naturales o nativos son líquidos viscosos o compuestos sólidos constituidos por mezcla de hidrocarburos y sus derivados no metálicos. Los betunes artificiales proceden del petróleo obteniéndose por: destilación, oxidación o cracking.

#### Betunes Naturales

Se encuentran en la naturaleza formando lagos (el de Trinidad), mezclados con arena o arcilla, y a veces impregnando rocas. Son poco abundantes y su extracción no presenta gran interés. El origen de estos betunes está en los petróleos que han subido a la superficie a través de fisuras y se han depositado allí; con el tiempo los materiales mas ligeros que lo componían se evaporaron, quedando los componentes de mayor viscosidad. Estos lagos se siguen explotando en USA y Sudamérica. Si estos betunes, los unimos a betunes artificiales, pues les confieren mejoras en cuanto a resistencias y durabilidad. A veces estos betunes impregnan rocas porosas y se las conoce como rocas asfálticas; y fueron el primer material bituminoso utilizado en pavimentación. (en Francia, Italia, País Vasco... podemos encontrar estas rocas).

### Betunes Artificiales

Se obtienen a partir del petróleo sometiendo al mismo, después de una destilación fraccionada a temperatura ambiente, en la que se recogen éteres y aceites ligeros, a otro proceso de destilación fraccionada en caliente y vacío para obtener aceites pesados y grasas sin que se produzca el cracking que se origina con temperaturas más altas.

Reciben el nombre de betunes asfálticos los naturales o nativos y los artificiales. Los betunes asfálticos preparados por destilación de hidrocarburos naturales se presentan como sólidos o semisólidos a la temperatura ambiente por lo que, para poder utilizarlos en obra, es preciso calentarlos a fin de reducir su viscosidad. Estos betunes se llaman también betunes de penetración ya que es el ensayo de penetración quien los caracteriza.

Las especificaciones españolas clasifican a los betunes por la penetración que dan en el ensayo normalizado de penetración, de aquí que a estos betunes se les denomine como "betunes de penetración". Las letras representan la palabra betún y los números que la siguen indican el intervalo en el cual debe estar comprendido el valor de la penetración, a 20°, expresado en décimas de milímetro. Se clasifican en los tipos: B 20/30, B 40/50, B 60/70, B 80/100, y B 150/200.

### Asfalto

Es un producto natural o preparado en el que el betún asfáltico está unido a materias minerales inertes.

### Betunes fluidificados o "Cutbacks"

Se obtienen mezclando los betunes duros con aceites ligeros (queroseno, gasolina, etc.). Tienen la ventaja de que no es preciso calentarlos para su utilización y los disolventes empleados tienen como misión únicamente favorecer la puesta en obra dado que posteriormente se eliminan durante el proceso de curado dando lugar al betún asfáltico de partida. Un paso más para favorecer la puesta en obra del betún, disminuyendo su viscosidad y para poder aplicarlo en tiempo lluvioso, con áridos húmedos e incluso con baja temperatura, consiste en emulsionarlo con agua. La emulsión con agua es, por otra parte, más económica que el empleo de fracciones ligeras del petróleo que se utilizan en los cutbacks.

Las especificaciones españolas definen dos grupos de betunes fluidificados: RC (curado rápido) y MC (curado medio). Los rápidos emplean como disolvente naftas o gasolinas muy volátiles, mientras que los medios utilizan petróleo o queroseno. Dentro de estos grupos hay seis tipos con proporciones decrecientes de fluidificantes y por tanto de viscosidad creciente. Los tipos 0 tienen hasta un 50% de fluidificante, mientras que los de tipo 4 tienen solamente un 17%. Los tipos son: RC 0 RC 1 RC 2 RC 3 RC 4 RC 5 MC 0 MC 1 MC 2 MC 3 MC 4 MC 5

### Emulsiones Bituminosas

Son mezclas de dos líquidos no miscibles, uno de los cuales se dispersa en forma de gotas muy pequeñas en el otro. Si se mezclan y agitan betún fundido y agua caliente se obtiene una emulsión, pero,

tan pronto como se deja a ésta en reposo las partículas dispersas empiezan a unirse haciéndose cada vez más grandes hasta que se produce la separación del betún y el agua, diciéndose en éste caso que la emulsión "se ha roto". A fin de lograr emulsiones estables, en las que se evite esta separación inmediata, se emplea un tercer producto llamado "emulsionante" o "emulgente" que al rodear a las partículas de betún impide su unión.

Al colocar en obra la emulsión y en contacto con los áridos se produce la rotura de la misma, es decir, las partículas de betún se vuelven a juntar formando una película continua que une al árido. Atendiendo a la facilidad de rotura de una emulsión al contacto con los áridos se clasifican en: emulsiones de rotura rápida, de rotura media y de rotura lenta; y atendiendo a la polaridad que el emulsionante proporcione a las partículas de betún se clasifican en: aniónicas o básicas (ph superior a 7) y catiónicas o ácidas (ph inferior a 7).

Las especificaciones españolas contemplan dos familias de emulsiones: las aniónicas (A) y las catiónicas (C). Estas, a su vez, se dividen en tres grupos según el tiempo de rotura de las mismas: rápida (R), media (M) y lenta (L)

Así existen a modo de ejemplo:

EAR 0: emulsión aniónica de rotura rápida con un contenido mínimo de betún del 45%.

EAR 1: emulsión aniónica de rotura rápida con un contenido mínimo de betún del 60%

ECR 2: emulsión catiónica de rotura rápida con un contenido mínimo de betún del 62%

Etc...

### ALQUITRAN

Son productos bituminosos semisólidos o líquidos que se obtienen por destilación, en ausencia de aire, de sustancias orgánicas que posean materias volátiles, fundamentalmente, hulla, lignito o madera. El alquitrán más empleado en la construcción es el de hulla obtenido como subproducto en las fábricas de gas ciudad

A la palabra alquitrán debe seguir el nombre de la materia de la que procede: hulla, esquistos, madera, etc., debiendo indicarse también el proceso de fabricación. Se denomina brea al residuo fusible, semisólido o sólido, negro o marrón oscuro, que queda después de la evaporación parcial o destilación fraccionada del alquitrán o sus derivados.

El alquitrán no se obtiene como producto, sino como subproductos. Normalmente estos carbones vegetales (hulla, antracita), los calentamos para que se desprendan los hidrocarburos que guardan en su interior y entonces obtenemos el gas ciudad. Este gas va por unas tuberías, y en las tuberías encontramos un residuo viscoso que es a lo que llamamos alquitrán en bruto. Este alquitrán se le somete a un proceso de destilación, donde vamos separando aceites de distinta finura, y al final nos va a quedar sólo la brea. Con la brea y con aceites de distintas densidades, vamos a obtener el alquitrán con el que vamos a trabajar.

Las especificaciones españolas consideran dos tipos de alquitranes, AQ y BQ, según los tipos de breas y aceites que entren en su composición. Los del tipo A contienen brea más dura y aceites más volátiles que los del tipo B. Se subdividen en subtipos, de acuerdo con la composición y viscosidad de los mismos; así p.ej., en el AQ-38, las letras indican su composición y el número la temperatura de equiviscosidad. (temperatura a la cual tienen la misma viscosidad). Se consideran los siguientes:

AQ-38 AQ-46 AQ-54 BQ-30 BQ-38 BQ-46 BQ-58 BQ-62

El análisis químico elemental de un producto bituminoso, bien sea betún o alquitrán, no indica nada sobre las propiedades de este producto; prácticamente todos los productos tienen una composición química parecida; debido a ello, para caracterizar a un producto bituminoso hay que hacerlo a través de sus propiedades físico-químicas.

## PROPIEDADES DE LOS BETUNES ASFÁLTICOS

### Penetración

Es una medida de la consistencia del producto. Se determina midiendo en décimas de mm la longitud que entra una aguja normalizada en una muestra con unas condiciones especificadas de tiempo, temperatura y carga. Esto mide si el producto es líquido, semisólido o sólido. La consistencia varía con la densidad, disminuyendo la consistencia al aumentar la densidad.

### Susceptibilidad Térmica

Es la aptitud que presenta un producto para variar su viscosidad en función de la temperatura. Los menos susceptibles son los oxidados, después los de penetración y los que más susceptibles son los alquitranes.

### Punto de reblandecimiento

Es una medida de la susceptibilidad térmica. El punto de reblandecimiento aumenta cuando aumenta la densidad y la penetración disminuye. Un ensayo para su medida es el de de anillo y bola (A y B) consiste en aumentar la temperatura, midiendo cuando la bola llega al fondo del recipiente arrastrando el producto bituminoso.



Ensayo anillo y Bola

### Índice de Penetración

Valor que da la susceptibilidad térmica de los betunes y se obtiene de otros dos ensayos: el punto de reblandecimiento y el de penetración.

### Envejecimiento

Los betunes se ponen en obra en estado plástico. Luego van endureciendo, aumenta la cohesión y crece la viscosidad y la dureza. Este fenómeno tiene lugar hasta llegar a una dureza determinada. A partir de ahí, la cohesión disminuye y el producto se vuelve frágil, muy sensible a los esfuerzos bruscos aplicados y a las deformaciones rápidas.

### Punto de Fragilidad Fraas

El ensayo se aplica a los materiales sólidos o semisólidos y consiste en someter a una película del material que recubre una placa de acero a ciclos sucesivos de flexión a temperaturas decrecientes. Se define como Punto de Fragilidad Fraas la temperatura en °C a la que, a causa de la rigidez que va adquiriendo el material, se observa la primera fisura o rotura en la superficie de la película.

## **APLICACIONES DE LOS MATERIALES BITUMINOSOS**

La principal aplicación de los materiales bituminosos y a la que se destina el mayor porcentaje de su producción, se realiza en el campo de la pavimentación de carreteras, formando lo que se ha dado en denominar firmes flexibles. Otra aplicación importante, por el gran papel que desempeña en la construcción aunque no por el consumo de productos, es la impermeabilización tanto de obras hidráulicas como de edificios.

### Pavimentos de carreteras

Se pueden considerar las siguientes aplicaciones de productos bituminosos a firmes de carreteras: riegos sin gravilla (de imprimación, riegos de adherencia, de curado, de adherencia), riegos con gravilla, lechadas bituminosas y mezclas bituminosas en frío o en caliente

### Impermeabilizaciones

Una de las aplicaciones más antiguas de los productos bituminosos ha sido la impermeabilización de obras frente al paso del agua procedente del terreno, de lluvia o contenida en depósito o tanques, así como en la protección de estructuras frente a la acción erosionante del agua en movimiento

### Impermeabilización de edificios

El agua puede penetrar en una construcción a través de juntas entre las piezas que forman la cubierta, a través de fisuras, por paredes batidas por las lluvias y el viento, y también las humedades pueden proceder del terreno y ascender por capilaridad en los muros o en los cimientos. La protección contra las humedades debe realizarse en la fase constructiva del edificio ya que "a posteriori" y una vez que han aparecido goteras y humedades es más difícil y aventurado realizar esta protección. La impermeabilización puede realizarse:

En masa: Mezclando con los demás componentes del hormigón tierra de diatomeas impregnada de asfalto o emulsiones asfálticas.

Pinturas asfálticas: Pinturas aplicadas en caliente de alquitrán o de betún, o pinturas aplicadas en frío de cutbacks o emulsiones. Es aplicable en superficies como: exteriores para la impermeabilización de terrazas, tejados, azoteas, paredes medianeras y en general todas las zonas exteriores que no estén sometidas a tránsito significativo y que por su situación se precise impedir el paso del agua. Puede aplicarse sobre cualquier superficie de albañilería exterior, baldosas, cemento, fibrocemento, piedra, etc., y sobre otros materiales como, espuma de poliuretano, galvanizados, zinc, aluminio, PVC, etc.

Membranas asfálticas prefabricadas: Son telas orgánicas o inorgánicas saturadas de un betún fluido y recubiertas por varias capas superficiales de un betún de mayor dureza pero que tenga la suficiente flexibilidad para que las membranas puedan enrollarse y desenrollarse sin fisurarse. En muchas ocasiones se terminan en la superficie exterior o vista con una lámina de aluminio, o con un arenado



Membrana asfáltica sobre azotea



Impermeabilización muro con pintura asfáltica

### Revestimiento e impermeabilización de canales

Tienen por finalidad impermeabilizar y proteger la superficie de la obra mediante la creación de una membrana continua que evite la pérdida de agua, crear una superficie resistente a la erosión que proporcione una pérdida de carga lo más reducida posible y estabilizar los márgenes de la obra. Hay dos tipos de impermeabilización de canales: uno consistente en la aplicación de hormigones asfálticos y en la realización de tratamientos impermeables.



### Impermeabilización de presas de tierra y escollera

Se reviste el paramento de aguas arriba por medio de una o dos capas de hormigón asfáltico de modo que se cree un revestimiento impermeable de unos 20 a 25 cms.

ALBERTO VILLARINO OTERO

## 2.5 CEMENTO

Hasta el siglo 18 los únicos conglomerantes usados fueron los yesos y las cales hidráulicas, es durante el siglo 19 y 20 cuando empieza a ser importante el interés por el cemento. El ingeniero inglés John Smeaton encuentra que el mortero formado por adición de puzolana a una caliza, con alta proporción de arcilla, era el que mejor resultado daba frente a la acción de las aguas marinas. Se confirmaba que la presencia de arcilla en las cales no sólo no las perjudicaba sino que las mejoraba haciendo posible el fraguado de la cal bajo el agua y que una vez endurecidas fueran insolubles.

Vicat fue un estudioso de la hidraulicidad de las cales que contenían arcillas y fruto de sus estudios son los primeros cementos naturales, precursores de los actuales Portland. En 1824, Joseph Aspdin, constructor de Leeds, en Inglaterra, daba el nombre de Portland y patentaba un material pulvurento que amasado con agua y con arena se endurecía formando un conglomerado de aspecto parecido a las calizas de la isla de Portland. No era exactamente como el Portland actual, este no llegaría hasta que Isaac Johnson molió finamente los nódulos sobrecocidos que quedaban a la salida del horno de Aspdin, con ello mejoró: las dosificaciones y aumentó las temperaturas de cocción hasta lograr la sinterización de la mezcla.

En el siglo 19 empieza a extenderse de manera extraordinaria el uso del cemento y en los inicios del siglo veinte se impone el cemento Portland a los naturales. El cemento Portland ha llegado a una gran perfección y es material industrializado de construcción de mayor consumo. Se puede decir que el cemento es el alma del hormigón, yendo destinada, prácticamente, toda su producción a enlazar piedras sueltas para crear el material pétreo que conocemos como hormigón.

Existen dos tipos de cementos: los cementos naturales y el cemento Portland. El cemento natural se presenta por calcinación de margas naturales a temperaturas medias, sin formación de fase líquida. La materia prima es intermedia entre cales hidráulicas y cemento Portland. Estos cementos naturales se trituran y muelen posteriormente por apreciarse mejores comportamientos en el producto final obtenido. El cemento Portland debido a su importancia será el tratado en este tema

### COMPONENTES DEL CEMENTO PORTLAND

El cemento Portland está formado, básicamente, por la molienda conjunta del producto de la cocción, hasta sinterización, de una mezcla de caliza (carbonatos cálcicos) y arcilla (silicatos de aluminio hidratado) que recibe el nombre de clinker y de un material empleado como regulador de fraguado que, generalmente, es yeso dihidrato. Los componentes principales del clinker son la cal, la sílice, el aluminio, y el hierro, en forma de óxidos.

Las margas presentan como principales contenidos los componentes calizos y componentes arcillosos en distintas proporciones, por lo que son utilizadas como principal materia prima. Otros productos de uso



se utilizan en el proceso de fabricación otros componentes como correctores de composición: arena, bauxita, mineral de hierro, pirita

Los componentes principales del cemento Portland son:

A) Clínker de cemento Pórtland (K)

El clínker de cemento Pórtland se obtiene por sinterización de una mezcla homogénea de materias primas (crudo, pasta o harina) conteniendo elementos, normalmente expresados en forma de óxidos,  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y pequeñas cantidades de otras materias.

B) Clínker de cemento Pórtland (K) empleado en cementos resistentes a los sulfatos y en cementos resistentes al agua de mar

Las especificaciones adicionales para los cementos comunes resistentes a los sulfatos y al agua de mar son, en cuanto a su clínker, las limitativas de su contenido de aluminato tricálcico y de la suma de sus contenidos de aluminato tricálcico y ferrito-aluminato tetracálcico.

C) Clínker de cemento de aluminato de calcio (K)

El clínker de cemento de aluminato de calcio es un material hidráulico que se obtiene por fusión o sinterización de una mezcla homogénea de materiales aluminosos y calcáreos conteniendo elementos, normalmente expresados en forma de óxidos, siendo los principales los óxidos de aluminio, calcio y hierro ( $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), y pequeñas cantidades de óxidos de otros elementos

D) Escoria granulada de horno alto (S)

La escoria granulada de horno alto se por obtiene enfriamiento rápido de una escoria fundida de composición adecuada, obtenida por la fusión del mineral de hierro en un horno alto y constituida al menos en dos tercios de su masa por escoria vítrea y que posee propiedades hidráulicas cuando se activa de manera adecuada. La escoria granulada de horno alto debe estar constituida al menos en dos tercios de su masa por la suma de óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ), óxido de magnesio ( $\text{MgO}$ ) y dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ). El resto contiene óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) junto con pequeñas cantidades de otros compuestos

La escoria granulada es una especie de arena (el aspecto y color son parecidos) que se obtiene por enfriamiento brusco en agua de la ganga fundida procedente de procesos siderúrgicos. Sus partículas son más o menos porosas y rechinan al aplastarlas con la mano. Al ser enfriada bruscamente en agua (temple) la escoria se vitrifica y se vuelve activa. Dado su contenido en cal combinada, la escoria no es una simple puzolana, sino que tiene de por sí propiedades hidráulicas, es decir, que es un verdadero cemento. Lo que sucede es que, por sí sola, la escoria fragua y endurece muy lentamente, por lo que debe ser acelerada por la presencia de algo que libere cal, como el clínker de Portland. Bastan muy pequeñas cantidades de este último componente para asegurar el fraguado y endurecimiento de la escoria molida.

#### E) Puzolanas (P,Q)

Las puzolanas son sustancias naturales de composición silíceo o sílico-aluminosa o combinación de ambas. Las puzolanas no endurecen por si mismas cuando se amasan con agua, pero finamente molidas y en presencia de agua reaccionan, a la temperatura ambiente normal, con el hidróxido de calcio disuelto  $[Ca(OH)_2]$  para formar compuestos de silicato de calcio y aluminato de calcio capaces de desarrollar resistencia. Estos compuestos son similares a los que se forman durante el endurecimiento de los materiales hidráulicos. Las puzolanas están compuestas esencialmente por dióxido de silicio reactivo ( $SiO_2$ ) y óxido de aluminio ( $Al_2O_3$ ). El resto contiene óxido de hierro ( $Fe_2O_3$ ) y otros óxidos. Las puzolanas deben prepararse correctamente, es decir, deben ser seleccionadas, homogeneizadas, secadas o tratadas térmicamente y pulverizadas, dependiendo de su estado de producción o de suministro.

Las puzolanas naturales (P) son normalmente materiales de origen volcánico o rocas sedimentarias con composición química y mineralógica adecuadas, Las puzolanas naturales calcinadas (Q) son materiales de origen volcánico, arcillas, pizarras o rocas sedimentarias activadas por tratamiento térmico.

#### F) Cenizas volantes (V, W)

Las cenizas volantes se obtienen por precipitación electrostática o mecánica de partículas pulverulentas arrastradas por los flujos gaseosos de hornos alimentados con carbón pulverizado. Las cenizas obtenidas por otros métodos no deberán emplearse en los cementos. Las cenizas volantes pueden ser de naturaleza silíceo o calcáreo. Las primeras tienen propiedades puzolánicas; las segundas pueden tener, además, propiedades hidráulicas

#### G) Esquisto Calcinado (T)

El esquisto calcinado, particularmente el bituminoso, se produce en un horno especial a temperaturas de aproximadamente 800 °C. Debido a la composición del material natural y al proceso de producción, el esquisto calcinado contiene fases del clínker, principalmente silicato bicálcico y aluminato monocálcico. También contiene proporciones mayores de óxidos puzolánicamente reactivos, especialmente dióxido de silicio, además de pequeñas cantidades de óxido de calcio libre y de sulfato de calcio. En consecuencia, en estado finamente molido, el esquisto calcinado presenta propiedades hidráulicas, como las del cemento Pórtland, así como propiedades puzolánicas.

#### H) Caliza (L, LL)

#### I) Humo de Sílice (D)

El humo de sílice se origina por la reducción de cuarzo de elevada pureza con carbón en hornos de arco eléctrico, para la producción de silicio y aleaciones de ferrosilicio, y consiste en partículas esféricas muy finas conteniendo al menos el 85% en masa de dióxido de sílice amorfo.

#### J) Componentes adicionales minoritarios

Los componentes adicionales minoritarios son materiales minerales naturales o derivados del proceso de fabricación del clínker. Estarán correctamente seleccionados, homogeneizados, secados y pulverizados, en función de su estado de producción o suministro. Los componentes adicionales minoritarios no

aumentarán sensiblemente la demanda de agua del cemento, no disminuirán la resistencia del hormigón o del mortero en ningún caso, ni reducirán la protección de las armaduras frente a la corrosión. Estos componentes suelen mejorar las propiedades físicas de los cementos (tales como la docilidad o la retención de agua). La información sobre los componentes adicionales minoritarios del cemento será facilitada por el fabricante cuando lo solicite el usuario

#### K) Sulfato de Calcio

El sulfato de calcio se añade durante la fabricación del cemento para controlar el fraguado. El sulfato de calcio puede ser yeso o anhidrita o cualquier, mezcla de ellos

#### L) Aditivos

Los aditivos son componentes no contemplados en los apartados anteriores, que se añaden para mejorar la fabricación o las propiedades del cemento. La cantidad total de aditivos en los cementos no excederá del 1% en masa del cemento (a excepción de los pigmentos); mientras que la cantidad de aditivos orgánicos no excederá del 0,5 % en masa del cemento, medida sobre el residuo seco.

### **CLASIFICACIÓN DE LOS CEMENTOS**

Los cementos que contempla la Instrucción española RC-08 son los siguientes:

- Cementos comunes
- Cementos especiales de muy bajo calor de hidratación
- Cementos de albañilería
- Cementos de albañilería blanco
- Cementos para usos especiales
- Cementos resistentes a los sulfatos
- Cementos resistentes al agua del mar
- Cemento de aluminato de calcio

Los cementos se clasifican en **tipos**, según sus componentes, y en **clases** según su resistencia. El número que identifica a la clase corresponde a la resistencia mínima a compresión, a veintiocho días, expresada en newtons por milímetro cuadrado ( $N/mm^2$ ). Se exceptúan los cementos para usos especiales en que dicha resistencia se refiere a los noventa días. Los porcentajes en masa de los distintos tipos de cemento excluyen el regulador de fraguado y los eventuales aditivos. Por otra parte, conviene no confundir los aditivos al cemento con las adiciones; éstas se refieren siempre a uno o varios de los siguientes constituyentes: escoria de horno alto (S), humo de sílice (D), puzolana natural (P), puzolana natural calcinada (Q), ceniza volante silícea (V), ceniza volante calcárea (W), esquistos calcinados (T), caliza (L y LL). Debido a la extensión del tema se comentarán únicamente los cementos comunes

## CEMENTOS COMUNES

### Cemento Portland

Los cementos Portland se obtienen por molturación conjunta de clínker Portland, una cantidad adecuada de regulador de fraguado y, eventualmente, hasta un 5 por 100 de adiciones. Se designará con las siglas CEM I, seguidas de la clase de resistencia (32,5 - 42,5 - 52,5) y de la letra (R) si es de alta resistencia inicial o de (N) si es de resistencia inicial normal. En estos cementos, la designación comenzará con la referencia a la norma EN 197-1.

Los cementos Portland con adiciones se vienen empleando en Europa, con gran éxito, por razones económicas. Por una parte, por el ahorro de energía que ello supone y, por otra, por el aprovechamiento de ciertos productos naturales y subproductos industriales. Los cementos Portland con adiciones tienen un comportamiento intermedio entre los Portland tipo I, por un lado, y los cementos de horno alto o puzolánicos, por otro. Estos cementos tienen las mismas clases resistentes que los cementos tipo I, se designarán con las siglas CEM II seguidas de una barra ( / ) y de la letra que indica el subtipo (A ó B) separada por un guión(-) de la letra identificativa del componente principal empleado como adición del cemento. A continuación se indicará la clase de resistencia (32,5-42,5-52,5), y seguidamente la letra R si se trata de un cemento de alta resistencia inicial o la letra N en el caso de ser de resistencia inicial normal.

ALBERTO VILLARINO OTERO

Tabla I: Cementos Comunes

Tipos	Denominación	Designación	Composición (proporción en masa <sup>1)</sup> )											Componentes minoritarios				
			Componentes principales										Caliza <sup>4</sup>					
			Clinker K	Escoria de horno alto S	Humo de sílice D <sup>2</sup>	Puzolana		Cenizas volantes		Esquistos calcinados T	L	LL						
			Natural P	Natural calcinada O	Silíceas V	Calizas W												
CEM I	Cemento pòrtland	CEM I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
	Cemento pòrtland con escoria	CEM II/A-S	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-S	65-79	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Cemento pòrtland con humo de sílice	CEM II/A-D	90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-P	80-94	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Cemento pòrtland con puzolana	CEM II/B-P	65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-Q	80-94	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-Q	65-79	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-V	80-94	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Cemento pòrtland con ceniza volante	CEM II/B-V	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM II/A-W		80-94	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
CEM II/B-W		65-79	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	0-5	
CEM II/A-T		80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0-5	
Cemento pòrtland con esquistos calcinados	CEM II/B-T	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	0-5	
	CEM III/A-L	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	0-5	
	CEM II/B-L	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	0-5	
	CEM II/A-LL	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5	
Cemento pòrtland con caliza	CEM II/B-LL	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	0-5	
	CEM II/A-M	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
Cemento pòrtland mixto <sup>3)</sup>	CEM II/B-M	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
	CEM III/A	35-64	36-65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
CEM III	Cemento con escorias de horno alto	CEM III/B	20-34	66-80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM III/C	5-19	81-95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM IV/A	65-89	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM IV	Cemento puzolánico <sup>3)</sup>	CEM IV/B	45-64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM V/A	40-64	18-30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM V	Cemento compuesto <sup>3)</sup>	CEM V/B	20-38	31-50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5

1) Los valores de la tabla se refieren a la suma de los componentes principales y minoritarios (núcleo de cemento).  
 2) El porcentaje de humo de sílice está limitado al 10%.  
 3) En cementos pòrtland mixtos CEM II/A-M y CEM II/B-M, en cementos puzolánicos CEM IV/A y CEM IV/B y en cementos compuestos CEM V/A y CEM V/B los componentes principales diferentes del clinker deben ser declarados en la designación del cemento (véase el apartado A1.1.2).  
 4) El contenido de carbono orgánico total (TOC), determinado conforme al UNE EN 13639, será inferior al 0,20% en masa para calizas LL, o inferior al 0,50% en masa para calizas L.

En estos cementos, la designación comenzará con la referencia a la norma EN 197-1

Ejemplo 1: Cemento Pórtland EN 197-1 CEM I 42,5 R, corresponde a un cemento de clase resistente 42,5 y alta resistencia inicial.

Ejemplo 2: Cemento Pórtland con caliza EN 197-1 CEM II/A-L 32,5 N, corresponde a un cemento con un contenido entre 6 % y 20 % en masa de caliza, de clase resistente 32,5 y resistencia inicial normal. En el caso del cemento Pórtland mixto (M) se indicará, además entre paréntesis, las letras identificativas de los componentes principales empleados como adición.

Ejemplo 3: Cemento Pórtland mixto EN 197-1 CEM III/ A-M(S-V-L) 32,5 R, corresponde a un cemento con un contenido entre 6 % y 20 % en masa de escoria granulada de horno alto (S), ceniza volante silíceo (V) y caliza (L), de clase resistente 32,5 y alta resistencia inicial.

Los cementos con escorias de horno alto, los cementos puzolánicos y los cementos compuestos se designarán con las siglas CEM III, CEM IV y CEM V, respectivamente, seguidas de una barra ( / ) y de la letra que indica el subtipo (A, B ó C). En el caso de cementos puzolánicos tipo IV o cemento compuesto tipo V, se indicará además, entre paréntesis, las letras identificativas de los componentes principales empleados como adición. A continuación, se reflejará la clase de resistencia (32,5-42,5-52,5) y seguidamente la letra R si se trata de un cemento de alta resistencia inicial o la letra N en el caso de ser de resistencia inicial normal. En estos cementos, la designación comenzará con la referencia a la norma EN 197-1.

Ejemplo 4: Cemento con escorias de horno alto EN 197-1 CEM III/B 32,5 N, corresponde a un cemento con escorias de horno alto, con un contenido entre 66% y 80% en masa de escoria granulada de horno alto (S), de clase resistente 32,5 y resistencia inicial normal.

En el caso del cemento común de bajo calor de hidratación, se debe añadir las letras LH al final de la designación correspondiente a un cemento común. En estos cementos, la designación comenzará con la referencia a la norma EN 197-1.

Ejemplo 5: Cemento Pórtland con caliza EN 197-1 CEM II/A-L 32,5 N-LH, corresponde a un cemento de bajo calor de hidratación, con un contenido entre 6% y 20% en masa de caliza, de clase resistente 32,5 y resistencia inicial normal.

#### Cemento con escorias de horno alto

Los cementos de escorias de horno alto de baja resistencia inicial se identificarán por el tipo y subtipo de cemento, de acuerdo con la tabla de abajo, a continuación se indicará la clase de resistencia (32,5, 42,5 y 52,5). Además se debe añadir la letra L con el fin de indicar la baja resistencia inicial. En estos cementos, la designación comenzará con la referencia a la norma EN 197-4.

Tipo	Denominación	Designación	Composición (% en masa) <sup>1,2)</sup>		
			Componentes principales		Componentes minoritarios
			Clínker	Escoria de horno alto	
			K	S	
CEM III	Cementos de escorias de horno alto	CEM III/A	35-64	36-65	0-5
		CEM III/B	20-34	66-80	0-5
		CEM III/C	5-19	81-95	0-5

<sup>1)</sup> Los valores de la tabla se refieren a la suma de los componentes principales y minoritarios.

<sup>2)</sup> Los requisitos para la composición se refieren a la suma de todos los componentes principales y minoritarios. El cemento final es la suma de los componentes principales y minoritarios más el sulfato de calcio y cualquier aditivo.

**Ejemplo 1:** Cemento de escorias de horno alto de baja resistencia inicial EN 197-4 CEM III/B 32,5 L, corresponde a un cemento de escoria de horno alto, con un contenido entre 66% y 80% en masa de escoria granulada de horno alto (S), de clase resistente 32,5 y de baja resistencia inicial. En el caso de que además sea de bajo calor de hidratación se deben añadir al final las letras LH.

**Ejemplo 2:** Cemento de escorias de horno alto de baja resistencia inicial y de bajo calor de hidratación EN 197-4 CEM III/B 32,5 L-LH, corresponde a un cemento de escoria de horno alto, con un contenido entre 66% y 80% en masa de escoria granulada de horno alto (S), de clase resistente 32,5, con baja resistencia inicial y bajo calor de hidratación.

Los cementos de horno alto de baja resistencia inicial tendrán una reducida resistencia inicial comparada con la de un cemento común de la misma clase de resistencia y podrán necesitar de algunas precauciones adicionales tales como la ampliación del tiempo de retirada del encofrado y un cuidado especial con climatología adversa. Estos cementos presentan poca retracción y un débil calor de hidratación, por lo que pueden ser utilizados sin riesgo en grandes macizos. A cambio y por la misma razón, son muy sensibles a las bajas temperaturas, que retardan apreciablemente su endurecimiento, por lo que no debe utilizarse por debajo de los +5° C. Los cementos siderúrgicos son más susceptibles de experimentar cambios de tonalidad más o menos irregulares después de endurecidos. El hormigón de cemento de escorias presenta una rotura de color verdoso característico. Quizá la idea más importante que debe retenerse en relación con estos cementos es que necesitan efectuar su endurecimiento en medio constantemente húmedo durante dos semanas al menos, dada su lentitud. Sus grandes enemigos son la sequedad y el calor.

No deben emplearse los de fabricación muy reciente, que presentan riesgos de retracciones elevadas. Por igual motivo y para evitar desecaciones prematuras y rápidas, hay que emplear bajas relaciones agua/cemento y vigilar el amasado, porque estos cementos dan morteros y hormigones un poco agrios que incitan a quien los amasa a echar más agua a la hormigonera. Un vibrado enérgico vence esta rigidez durante la puesta en obra.

Conviene utilizar dosificaciones amplias, bien amasadas, para evitar falta de homogeneidad y el riesgo de tener endurecimientos irregulares. En general es preferible una buena dosificación en cemento de

una categoría inferior a otra pobre de categoría superior. En resumen, puede decirse que los cementos siderúrgicos son delicados y exigen más precauciones en su empleo que los Portland. Son más resistentes que éstos a las aguas sulfatadas, las de mar y las muy puras; pero no deben utilizarse si la agresividad es grande.

#### Cemento puzolánico

Los cementos puzolánicos endurecen más lentamente, en especial en ambiente frío, y requieren en general más agua de amasado que el Portland normal; pero a largo plazo llegan a superar las resistencias de éste.

La ventaja de los cementos puzolánicos es que la puzolana fija la cal liberada en la hidratación del clínker, eliminando así un peligro en ambientes agresivos. Como el proceso liberación-fijación de cal se prolonga mucho en el tiempo, el cemento va ganando resistencias con la edad en mayor proporción que el Portland, al formarse nuevos compuestos resistentes de naturaleza muy estable.

Por las mismas razones, el cemento puzolánico confiere al hormigón una elevada densidad, disminuyendo su porosidad y haciéndolo más compacto, lo que aumenta su resistencia química. Todo ello lo hace recomendable para gran número de obras (canales, pavimentos, obras en aguas muy puras o ambientes medianamente agresivos, hormigonados bajo agua, obras marítimas, etc.). Los cementos puzolánicos son algo más untuosos y manejables que el Portland, por lo que mejoran la plasticidad del hormigón, resultando aptos para su empleo en hormigones bombeados. El color negruzco de las puzolanas oscurece de forma típica a estos cementos.

#### Cemento Compuesto

Sus características y aplicaciones son intermedias entre las correspondientes a los cementos tipo III y IV.

### **CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS CEMENTOS**

#### Finura de molido

Es una característica íntimamente ligada al valor hidráulico del cemento, ya que influye decisivamente en la velocidad de las reacciones químicas que tienen lugar durante su fraguado y primer endurecimiento.

Al entrar en contacto con el agua, los granos de cemento se hidratan sólo en una profundidad de 0,01 mm, por lo que, si dichos granos fuesen muy gruesos, su rendimiento sería muy pequeño al quedar en su interior un núcleo prácticamente inerte. Si el cemento posee una finura excesiva, su retracción y calor de fraguado son muy altos (lo que, en general, resulta perjudicial), el conglomerante resulta ser más susceptible a la meteorización (envejecimiento) tras un almacenamiento prolongado, y disminuye su resistencia a las aguas agresivas.



### Fraguado y endurecimiento

Cuando un cemento se amasa con agua en proporción del 20 al 35% en peso, se forma una pasta que mantiene su plasticidad durante un tiempo muerto después del cual la pasta empieza a rigidizarse rápidamente hasta que desaparece su plasticidad a la vez que va aumentando su resistencia de forma gradual. Este fenómeno es consecuencia de las precipitaciones sólidas o cristal que se producen durante las reacciones de hidratación y que dan lugar a un aumento progresivo de la viscosidad de la pasta.

Hay que distinguir dos fases:

#### Fraguado

La pasta pierde su plasticidad llegando a adquirir algo de resistencia. El fraguado va acompañado de desprendimiento de calor; al principio se observa una elevación fuerte de temperatura seguida de un fuerte descenso con un mínimo y luego, un pico que puede considerarse como el final del fraguado.

#### Endurecimiento

Ganancia progresiva de resistencias de una pasta fraguada. Como progresivo desarrollo de resistencias mecánicas queda regulado por la naturaleza y estructura de las películas coloidales que recubren los granos y que avanzan hacia el núcleo en la hidratación. Es frecuente confundir los términos fraguado y endurecimiento cuando en realidad son dos fenómenos distintos y hasta tal punto lo son que pueden existir cementos de fraguado lento y de endurecimiento rápido. En la velocidad de fraguado y endurecimiento entran en juego:

- Finura de molido del cemento
- Temperatura del agua de amasado
- Presencia o no de materias orgánicas e inorgánicas y aditivos

#### Resistencia mecánica

La aplicación fundamental del cemento es la fabricación de morteros y hormigones destinados a la construcción de elementos en los que, generalmente, la propiedad más interesante es sus resistencias mecánicas; por consiguiente, los cementos, junto con los áridos, tienen que conferírseles y esto lo logran porque al amasarlos con agua dan lugar a pastas que endurecen y tienen una gran cohesión y, cuya porosidad va disminuyendo a la vez que las resistencias mecánicas van creciendo con el paso del tiempo, presentando, además, estas pastas una gran adherencia con los áridos que componen el mortero y el hormigón.

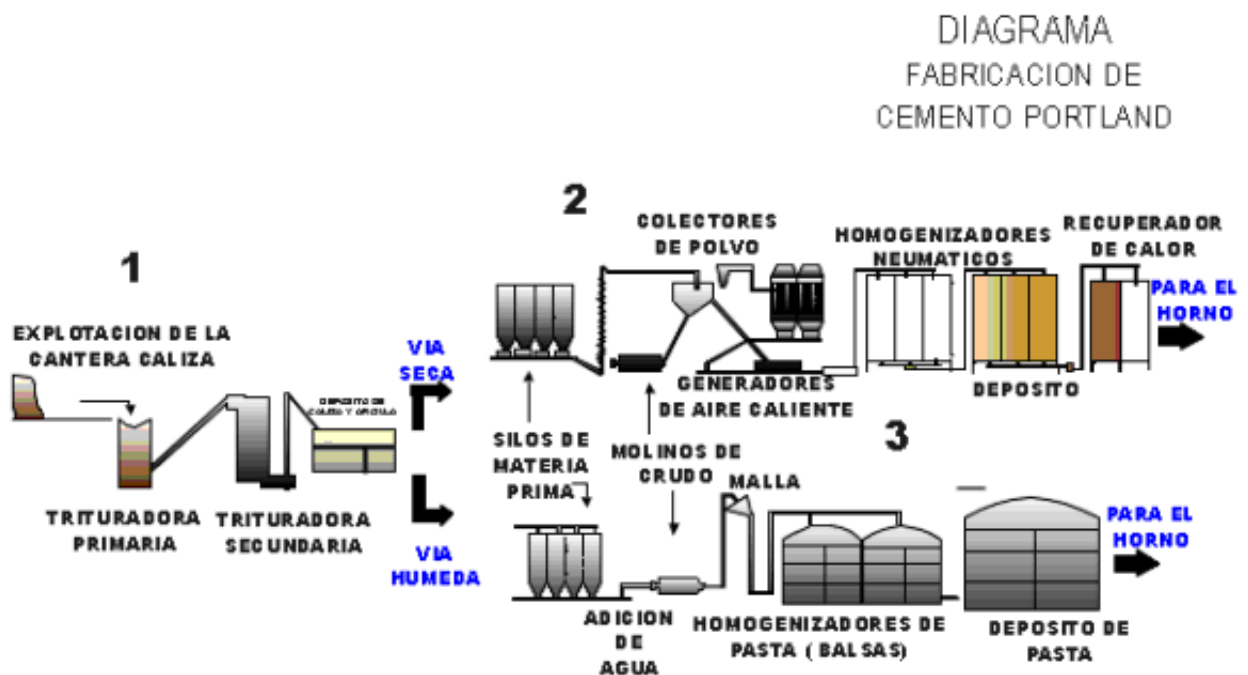
## PROCESO DE FABRICACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND

Materias primas + correctores->crudo->horno->clinker + yeso->cimento

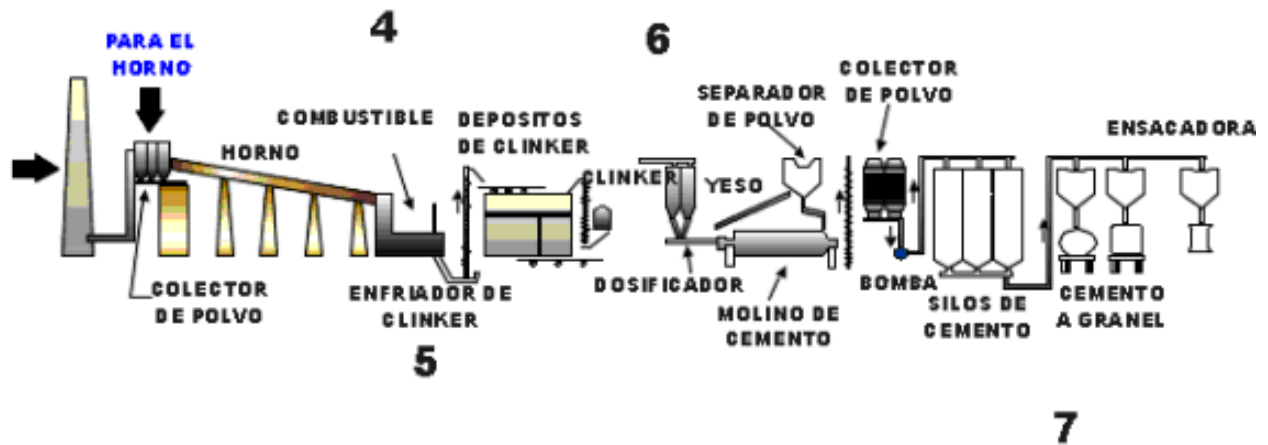
Para la fabricación del cemento Portland hay dos sistemas que se denominan de "vía seca" y de "vía húmeda", y que prácticamente sólo difieren en la preparación de la materia prima o crudo que penetra en el horno

En el sistema de **vía húmeda**, las materias primas se deslíen en unos tanques y la pasta homogeneizada resultante alimenta el horno; en el sistema de **vía seca**, el horno se alimenta con la materia prima seca y pulverulenta y, en algunos casos, con nódulos realizados con esta materia amasada con muy pequeña cantidad de agua. El primer sistema, que ha sido muy empleado hasta hace unos años, tiene algunas ventajas que no llegan a compensar el mayor consumo de combustible requerido para evaporar la gran cantidad de agua que lleva la pasta, que oscila entre el 35 y el 50%, y el mayor costo y dimensión de los hornos, de aquí que actualmente, la mayor parte del cemento que se fabrica se realice por vía seca.

La vía seca permite un ahorro energético de como mínimo el 15% sobre la vía húmeda; por otra parte, la calidad del cemento es similar y el problema que podría achacársele de mayor contaminación ambiental está hoy en día solucionado con los filtros electrostáticos de gran eficacia. En los últimos años se ha experimentado un gran avance en todo el proceso de fabricación del cemento, reduciendo el consumo energético y los costos, y mejorando la calidad y uniformidad de los productos obtenidos mediante la automatización de las plantas y el control continuo de la calidad.



## DIAGRAMA FABRICACION DE CEMENTO PORTLAND fase 2



### 1. Obtención y preparación de las materias primas

Su obtención se lleva a cabo en canteras o minas a cielo abierto, donde los materiales blandos como las arcillas se obtienen por excavación y los materiales duros como las calizas mediante perforación o voladura, taqueo y trituración.

Las materias primas extraídas en la cantera por voladuras, se trituran en machacadoras de mandíbulas hasta un tamaño de 20-25 mm. El material triturado debe secarse dado que su humedad dificulta la posterior molienda. Posteriormente la mezcla de materias primas y de correctores, en su caso, perfectamente dosificada para que el contenido en óxidos sea el preciso para el tipo de cemento que se ha de fabricar, y molido recibe el nombre de crudo y con ella se alimenta el horno.

### 2. Cocción

La cocción del crudo se realiza en hornos rotatorios ligeramente inclinados que están formados por un tubo cilíndrico de acero revestido interiormente de material refractario cuya longitud alcanza hasta 150 m y cuyo diámetro puede sobrepasar los 4.5m.

Produciéndose las siguientes reacciones:

Arcilla + calor → arcilla activada + agua

Caliza + calor → CaO + CO<sub>2</sub>

En el horno, el crudo se transforma por cocción, hasta la sinterización, en clinker.

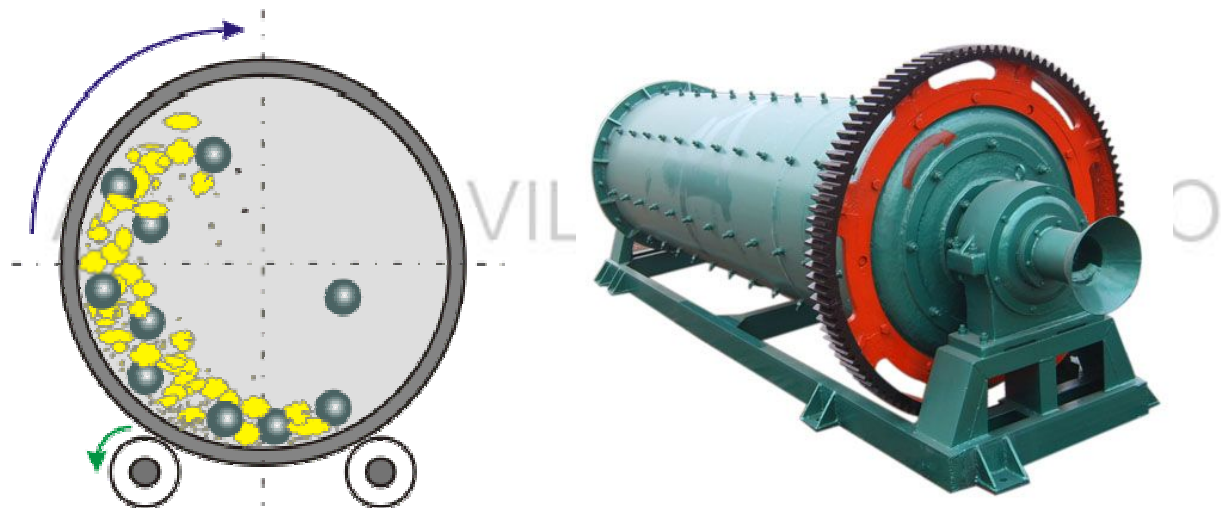
### 3. Molienda

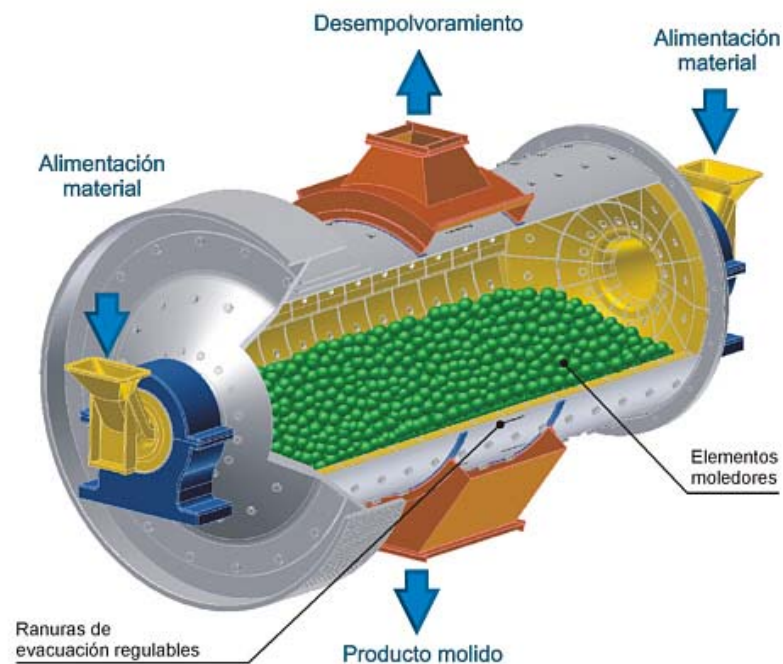
El clinker y el yeso (sulfato de calcio dihidrato) que actúa como regulador de fraguado se muelen conjuntamente a un grado de finura elevado en molino de cemento, la proporción de yeso a emplear depende del contenido de aluminato tricálcico.

Aparte de estos dos componentes fundamentales pueden adicionarse al molino puzolanas anaturales, cenizas volantes, humo de sílice, escorias siderúrgicas, caliza, etc... cuando se pretendan conseguir cementos de características especiales frente a determinados medios, así como mejorar el balance energético del proceso de fabricación.

Pueden añadirse también aditivos que en cantidades inferiores al 1% se pueden utilizar eventualmente para facilitar el proceso de fabricación del cemento, los aditivos no deben perjudicar las propiedades y comportamientos de los morteros y hormigones.

Los molinos de cemento son molinos de bolas que similares a los de crudo, llevan un estricto control de temperatura.





#### 4. Suministro, Recepción y Almacenamiento

Si se trata de sacos, éstos deben llevar impreso en una de sus caras el tipo y clases de cemento, así como la marca comercial y, eventualmente, las restricciones de empleo. La toma de muestras y los ensayos de recepción deben llevarse a cabo según indica la Instrucción española RC-08. Si el cemento posee un sello o marca de conformidad oficialmente homologado, la Dirección Facultativa puede eximirlo de los ensayos de recepción. Cuando el cemento experimenta un almacenamiento prolongado, puede sufrir alteraciones consistentes en la hidratación de sus partículas más pequeñas (meteorización), que pierden así su valor hidráulico. Esto se traduce en un retraso en los tiempos de fraguado y en una disminución de las resistencias mecánicas, especialmente las de compresión a cortas edades.

La meteorización del cemento se traduce también en un aumento de la pérdida al fuego, correspondiente a las partículas finas meteorizadas. Este ensayo es el que detecta la meteorización de forma más directa y cuantitativamente expresiva. A veces puede utilizarse un cemento ligeramente meteorizado, pero teniendo en cuenta sus nuevas características: su distinta granulometría, su retraso en el fraguado y su eventual pérdida de resistencias mecánicas. Al desaparecer los finos, disminuyen el calor de hidratación y la retracción en las primeras edades, requiriendo tanta más agua de amasado cuanto mayor haya sido el proceso de meteorización.



ALBERTO VILLARINO OTERO

## 2.6 HORMIGON

El hormigón, tal y como se conoce hoy día, es un material de construcción constituido básicamente por rocas, de tamaño máximo limitado, que cumplen ciertas condiciones respecto a sus características mecánicas, químicas y granulométricas, unidas por una pasta formada por un conglomerante (cemento) y agua. A este material básico y en el momento de su amasado, pueden añadirse otros productos o materiales para mejorar algunas características determinadas. El que al hormigón se le considere hoy como al rey universal de los materiales de construcción se debe a sus indiscutibles ventajas.

En primer lugar, es un material que permite conseguir piezas de cualquier forma por complicada que ésta sea, con la única limitación de la complejidad del molde y ello debido al carácter plástico que posee cuando se encuentra en estado fresco.

En segundo lugar, es un material con resistencias apreciables a compresión y que aunque posea ciertas resistencias débiles a tracción, permite aumentarlas apreciablemente valiéndose del acero que se puede colocar en su interior en los lugares adecuados, dando lugar al hormigón armado y pretensado.

En tercer lugar, presenta la ventaja sobre otros materiales resistentes de proporcionar piezas de un gran monolitismo, incluso en los nudos, haciendo que pueda prescindirse de juntas o uniones que, a veces, son zonas débiles.

Podríamos dar otras muchas razones de peso que justifican el lugar de privilegio que ocupa, pero quizás una de las más notable sea el que está formado por materiales abundantes y baratos por lo que es difícil suponer que en un futuro próximo le puedan salir competidores que le hagan perder el primer puesto.

Pero no todo son ventajas en el hormigón, pues a este material se le pueden poner serios inconvenientes. Es un material pesado con una relación peso/ resistencia elevada; comparando su resistencia a la tracción con la de compresión se observa una fuerte descompensación lo que habla muy mal de su isotropía; presenta cierta inestabilidad de volumen frente a acciones térmicas, hidráulicas o mecánicas que pueden figurarlo, eliminando así una de sus principales características: su monolitismo; por otra parte, el hormigón es sensible a determinados agresivos de tipo físico o químico, algunos de los cuales pueden llevarlo a la ruina en un tiempo relativamente corto.

De todas formas, los inconvenientes que presenta el hormigón no responden a valores fijos ya que muchos de ellos pueden reducirse tanto que hasta pueden llegar a anularse dependiendo mucho de la elección que se haya hecho de los materiales componentes, la calidad del proyecto del mismo, de su ejecución, puesta en obra, consolidación y curado. Las facetas negativas que pueden presentar un hormigón pueden eliminarse si se posee un amplio conocimiento de sus problemas y de las posibilidades que nos ofrecen los nuevos materiales y tecnologías.

Hace 5.000 años aparecen en el norte de Chile las primeras obras de piedra unidas por un conglomerante hidráulico procedente de la calcinación de algas. Los romanos dieron un paso importante al descubrir un cemento que fabricaban mezclando cenizas volcánicas con cal viva: cemento de puzolanas. El primer paso en el empleo de la actual materia prima de los cementos se dio en Inglaterra en 1756, al descubrirse que las calizas que poseían una proporción importante de arcillas proporcionaban morteros de mejores características. Puede decirse que el primer padre del cemento fue Vicat, que propuso en 1817 el sistema de fabricación que se sigue empleando en la actualidad: mezclas de calizas y arcillas dosificadas en las proporciones convenientes y molidas conjuntamente.

La primera patente para la fabricación de cemento fue otorgada en 1824 a Joseph Aspdin quien denominó al producto obtenido con el nombre de "cemento Portland" debido a que el color del hormigón logrado se parecía a la piedra natural de Portland, situada al sur de Inglaterra. A partir de 1845 se comienzan a fabricar objetos en los que se combina el hormigón y el acero surgiendo de esta forma el primer hormigón armado. Es en 1875 cuando se construye en Francia el primer puente de hormigón armado con una luz de 16,5 m., pero es a partir de 1890 cuando adquiere un impulso extraordinario su empleo. En España, ya en 1897, el ingeniero de Caminos José Eugenio Rivera, construye numerosas obras con hormigón. En 1910 se introduce la enseñanza del hormigón armado en la Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid. A principios de 1933, Freyssinet proyecta y construye los primeros postes prefabricados de hormigón pretensado para la transmisión de energía eléctrica.

Wright, Eduardo Torroja, Pier Luigi Nervi son figuras señeras en el empleo del hormigón armado y pretensado.

El hormigón, en su constante evolucionar, cada día ha ido perfeccionándose como consecuencia de la mejora experimentada por los materiales que lo componen y el avance de la tecnología. Los cementos especiales en la actualidad no se parecen en nada al cemento de Aspdin, las mejoras que han experimentado han sido muy importantes, no solo en cuanto a ahorro energético (actualmente un cemento requiere para su fabricación menos de la mitad de calorías por tonelada que la que se precisaba en 1940), sino que también en cuanto a sus características de composición y granulometría que han hecho que la evolución de sus resistencias a edades de 28 días sea más rápida que la de los cementos de hace sólo unos años.

Los áridos también han contribuido a la mejora de los hormigones: el conocer la reacción superficial que se produce entre ellos y la pasta de cemento ha dado lugar a una mejora importante de la adherencia entre estos materiales.

El empleo de superfluidificantes permite conseguir hormigones prácticamente autonivelantes pero que presentan unas altas características resistentes o bien, hormigones perfectamente trabajables con reducida relación agua/cemento y muy altas resistencias.



Los modernos vibradores permiten conseguir una amplia gama de frecuencias que hace que puedan entrar en vibración simultáneamente todos los gránulos del hormigón desde los áridos más gruesos hasta las partículas más finas; por otra parte, mediante el empleo simultáneo de compresión y vibración puede lograrse consolidar hormigones muy secos y conseguir resistencias muy elevadas.

El hormigón se ha impuesto de tal forma que hoy es imposible encontrar una construcción en la que no esté presente en alguna parte de la misma. Se puede decir que el hormigón es un material universal pues, en cualquier país, por pequeño que sea, existen áridos y materias primas para fabricar cemento y por tanto para hacer hormigón. Es de esperar que en un futuro próximo, el hormigón continúe perfeccionándose, mejorando sus características mecánicas y reduciendo, poco a poco, los defectos que como cualquier otro material de construcción posee con lo cual sus perspectivas de empleo serán cada vez más prometedoras.

A su favor juega el ser un material noble compuesto por otros muy abundantes y económicos, con una capacidad muy amplia de adquirir por moldeo una gran variedad de formas, con unas resistencias mecánicas buenas y que cada vez van incrementándose y con un consumo de energía de formación muy pequeño, frente a otros materiales de uso en construcción.

## **CLASIFICACION DE LOS HORMIGONES**

### **Por su Densidad**

Los hormigones estructurales pueden clasificarse por su densidad en

Ligeros .....de 1.200 a 2.000 kg/m<sup>3</sup>.  
Normales ..... de 2.000 a 2.800 kg/m<sup>3</sup>  
Pesados.....más de 2.800 kg/m<sup>3</sup>.

### **Por su composición**

Hormigón ordinario: Confeccionado con áridos pétreos (naturales y de machaqueo) con una curva granulométrica continua, teniendo áridos gruesos y finos, en proporciones adecuadas.

Hormigón sin finos: Son hormigones en los que no existe el árido fino o las fracciones más finas de este. Son porosos y filtran el agua.

Hormigón Ciclópeo: Es hormigón ordinario al que se le añaden, durante su puesta en obra, áridos de un tamaño mayor de 30cm de diámetro. Vertido en proporciones que no se pierda la compacidad aceptada. Se utiliza en cimentaciones, cuando estas son excesivamente profundas.

Hormigón Unimodular: Es un hormigón donde el árido es de un único tamaño, dando hormigones muy porosos.

Hormigón ligero: Hormigón donde el árido grueso es de baja densidad (pumita, escorias granuladas, arcillas expandidas, etc.).

Hormigón pesado: compuesto de conglomerante y árido de alta densidad. Se usa para estructuras o muros para impedir radiaciones.

Hormigón Refractario: Hormigón que resiste altas temperaturas, así como la abrasión en caliente. Se fabrica con cemento de aluminato de calcio y áridos refractarios.

### **En función de su Armado**

Hormigón en masa: Es un sistema constructivo, estructural o no, que emplea hormigón sin armadura o con esta en cantidad y disposición muy pequeña. Es apto para resistir compresiones.

Hormigón armado: Es un sistema constructivo generalmente estructural, donde el hormigón lleva incorporado armaduras metálicas a base de redondos de acero corrugado, con la misión de resistir los esfuerzos de tracción y flexión. De este modo se consigue un material resistente tanto a los esfuerzos de compresión como a los de tracción. Los esfuerzos de compresión son soportados por el hormigón. Los esfuerzos de tracción se resisten gracias a la armadura. La obtención de estructuras de hormigón armado se lleva a cabo del modo siguiente: se dispone un encofrado o molde con la forma del elemento de construcción que se desea conseguir, se introduce en él la armadura de acero y se vierte el hormigón fresco en el interior del encofrado, de modo que recubra y envuelva la armadura. Cuando el hormigón ha fraguado, se retira el encofrado y se obtiene el elemento. Así, en el caso de una viga, la armadura se sitúa en la zona inferior del elemento, que está sometida a esfuerzos de tracción, mientras que la masa del hormigón se acumula en la zona superior, sometida a esfuerzos de compresión. De este modo, las vigas soportan bien los esfuerzos de flexión, que, como se sabe, son el resultado de la combinación de esfuerzos de compresión y de tracción. Por otra parte, el recubrimiento del hormigón, una vez fraguado, garantiza la impermeabilidad de la estructura y, por lo tanto, la inoxidabilidad de la armadura de acero. Como la unión entre el hormigón y el acero es puramente mecánica, es conveniente que las barras de refuerzo estén retorcidas o posean salientes superficiales, con el fin de incrementar la adherencia y evitar el deslizamiento. El hormigón armado se emplea en todas las estructuras realizadas con hormigón tales como cimentaciones, tanto como de zapatas como de zanjas, arriostamiento o zunchos, pilares, jácenas, vigas y viguetas, etc.

Hormigón pretensado: Si los esfuerzos de tracción a los que se somete el hormigón armado son muy grandes, las barras de las armaduras pueden experimentar dilatación elástica, con lo que el hormigón que las recubre se rompe. Para mejorar la resistencia del hormigón a grandes esfuerzos de tracción, se tensan previamente las barras de acero con el fin de compensar la dilatación que pudieran experimentar. Así se obtiene el hormigón pretensado. El hormigón pretensado es una variedad de hormigón armado cuyas varillas han sido *tensadas* antes de que se produzca el fraguado del hormigón. Posteriormente se desarrolló el hormigón postensado, en el que las varillas se introducen en el hormigón y se tensan después de que éste ha fraguado. Sin embargo, la denominación *de* hormigón pretensado se ha generalizado para ambas técnicas.



## COMPONENTES DEL HORMIGÓN

Los componentes básicos del hormigón son cemento, áridos, agua y eventuales aditivos. Se estudiará cada componente en detalle a continuación,

## ALBERTO VILLARINO OTERO

### CEMENTO

El cemento ha sido estudiado en el apartado anterior. Los cementos que se pueden utilizar para la confección de hormigones son aquellos que cumplan la Instrucción para la Recepción de Cementos RC-08 así como las condiciones físicas, mecánicas y químicas que deben cumplir estos cementos

### AGUA

El agua es el segundo componente del hormigón, empleándose en el amasado del mismo y en el curado. El agua de amasado que participa en las reacciones de hidratación del cemento y además confiere al hormigón la trabajabilidad necesaria para una correcta puesta en obra.

El **agua de amasado** tiene las **misiones** de:

- Hidratar los componentes activos del cemento (participa en las reacciones de hidratación del cemento)
- Actuar como lubricante haciendo posible que la masa fresca sea trabajable por lo que confiere al hormigón la trabajabilidad necesaria para una correcta puesta en obra pero teniendo cuidado con el exceso de ésta pues provoca más porosidad y disminuye la resistencia. Si el agua empleada en el amasado del hormigón es la justa, tendremos hormigones poco trabajables, por eso hay que echar más

cantidad, de la estrictamente necesaria para hidratar el cemento, para obtener un hormigón trabajable. Como principal elemento hidratador del cemento, para lo cual se necesita una cantidad relativamente pequeña. Para hidratar un determinado peso de cemento sólo es necesario, desde el punto de vista químico, una cantidad de agua que varía entre 0'20 y 0'22 veces el peso de dicho cemento. Esto daría lugar a hormigones muy secos, difíciles de trabajar. Por lo que, a pesar de la disminución de resistencia que origina, la relación w/c (en peso) que empleamos debe ser mayor o igual a 0'3. La cantidad de agua de amasado debe limitarse al mínimo estrictamente necesario, ya que el agua en exceso se evapora y crea una serie de huecos en el hormigón que disminuye la resistencia.

El agua debe estar limpia y exenta de impurezas por encima de ciertos límites. Las aguas que son aptas para la bebida, excepto algunas aguas minerales, son aptas para el amasado del hormigón, aunque hay algunas no potables que pueden usarse en el amasado.

El **agua de curado** aportando la humedad necesaria durante las primeras edades de endurecimiento para compensar las pérdidas de agua por evaporación y permitir que se siga produciendo la progresiva hidratación del cemento que van dando lugar al aumento de resistencias mecánicas.

La EHE-08 dice prescribe que el agua utilizada, tanto para el amasado como para el curado del hormigón en obra, no deben contener ningún ingrediente dañino en cantidades tales que afecten a las propiedades del hormigón o a la protección de las armaduras frente a la corrosión. En general podrán emplearse todas las aguas sancionadas como aceptables por la práctica.

Deben cumplir una serie de limitaciones:

-**pH** Las aguas con  $\text{pH} > 5$  se pueden usar cementos ricos en cal. No obstante, no deben emplearse, pues producen modificaciones en el fraguado y endurecimiento, caída de resistencia y pérdida de durabilidad.

-**Sustancias disueltas (<15 gr/l)**. Se entiende por tal el residuo salino seco que se obtiene al evaporar el agua. De ellos los sulfatos y cloruros se estudian aparte. En terrenos con variación del nivel freático es recomendable bajar la limitación a 5gr/l.

-**Sulfatos (< 1 gr/l)**. El  $\text{SO}_3$

-**Cloruros (< 3 gr/l)**. Infiere en la oxidación de las armaduras. se suma al que contiene el cemento y los áridos, por lo que hay que tener precaución cuando se está cerca de las limitaciones en cualquiera de los materiales.

-**Hidratos de carbono (= 0)**. Retrasan o impiden el fraguado.

-**Sustancias orgánicas (< 15 gr/l)**. Son aceites, grasas, humus, restos orgánicos vegetales que reaccionan con la cal liberada. Puede emplearse un agua agresiva que produzca un 15% como máximo de pérdida de la resistencia a compresión comparado con un hormigón fabricado con aguas potables.

La utilización del agua de mar reduce la resistencia del hormigón, en un 15% aproximadamente. Por ello, su empleo, únicamente permitido en hormigón sin armaduras, debe condicionarse, no solo a que sean o no admisibles las manchas y eflorescencias que habitualmente originan su uso, sino también a que el

hormigón con ella fabricado cumpla las características resistentes exigidas. Se recomienda en estos casos la utilización de un cemento con características adicionales MR o SR.

## ÁRIDOS

Son productos granulares inertes, de naturaleza orgánica procedentes de las rocas y que interviene como componente del hormigón. Los áridos deben ser inertes y no modificar las características del hormigón, para lo cual no deben reaccionar con el cemento.

Aunque no toman parte en el fraguado y endurecimiento del hormigón, los áridos desempeñan un papel muy importante en las características de este material. En efecto, aproximadamente el 80% del volumen del hormigón está ocupado por áridos siendo el resto la pasta de cemento que rellena los huecos existentes entre ellos y que crea una capa que envolviendo a los gránulos los mantiene unidos.

Los áridos cumplen en el hormigón tres **funciones** fundamentales:

-Disminuye las retracciones propias de la pasta de cemento. En las primeras edades de endurecimiento el hormigón sufre una disminución de volumen (retracciones) tanto mayores cuanto mayor sea la cantidad de cemento empleado, pudiendo provocar, especialmente en elementos de gran volumen, grietas y fisuras que faciliten las vías de acceso para el ataque por corrosión de las armaduras y un debilitamiento mecánico del hormigón. Los áridos que intervienen en el hormigón evitan o disminuyen esta fisuración.

-Abaratar el costo del producto por unidad de volumen al ser un material muy barato, en comparación con el cemento. Al ser de menor coste que la pasta de cemento, se desprende que cuanto mayor sea el peso de los mismos más económico será el hormigón

-Ejercen una influencia muy positiva en las resistencias mecánicas, fluencia, abrasión e incluso durabilidad del hormigón.

Los áridos se pueden **clasificar** según su procedencia (o naturaleza) y según su tamaño:

### **Según Procedencia o Naturaleza**

**Aridos naturales:** proceden de la desintegración natural o artificial de rocas sin más transformaciones que las mecánicas de cribado, lavado...A su vez estos se clasifican según la composición (en función de la familia petrológica de procedencia) pueden ser silíceos, calizos, graníticos, basálticos, etc.Según el proceso mecánico que han experimentado para su suministro y uso, de machaqueo obtenidos por desintegración artificial mediante trituración, poseen superficies rugosas y aristas vivas) y rodados los que proceden de la desintegración natural y erosión de las rocas que son en general redondeados con superficies lisas sin aristas

Los áridos rodados proporcionan hormigones dóciles y trabajables con una cantidad de agua discreta. Los áridos de machaqueo dan hormigones más resistentes, ya que al ser angulosos se traban unos con otros, pero tienen menos trabajabilidad.

**Áridos artificiales:** fabricados con materias primas que sufren una transformación mecánica, térmica y química. Se clasifican según el proceso de obtención. En su designación debe figurar siempre referida al proceso de fabricación es el caso de las arcillas expansivas y las escorias siderúrgicas.

### Por su Tamaño

Los áridos deben tener un tamaño comprendido entre ciertos límites superiores e inferiores. Dentro de estos límites, las partículas se suelen dividir en varios grupos comprendidos entre diversos tamaños límites que, mezclándoles en las proporciones adecuadas dan lugar a un árido compuesto que tenga la máxima capacidad. La división más simple es en dos grupos que denominados árido fino y árido grueso.

La Instrucción española define como **árido fino o arena** a la fracción del mismo que pasa por el tamiz de 4 mm de luz de malla., siendo **árido grueso** la fracción del mismo que queda retenida en ese tamiz; dentro de esta clasificación aún se puede hacer una subdivisión: arena gruesa, de tamaño entre 4 y 2 mm.; arena fina, entre 2 y 0,08 mm.; y finos, inferior a 0,08 mm.

En los áridos gruesos también existe una subdivisión en grupos que reciben diversos nombres (piñoncillo, garbancillo, almendrilla, gravilla, grava, morro, etc.) según las distintas regiones, por lo que para evitar confusiones es preferible denominarles según los tamaños de sus límites extremos (árido 3/6, 6/12, 12/20, 20/40, etc).

La arena es el árido de mayor responsabilidad en los hormigones. No es posible hacer un buen hormigón con una arena mala. Las arenas procedentes de machaqueo son siempre buenas mientras no tengan exceso de finos, sean sanas y no estén descompuestas. En general, las variaciones de la granulometría de las gravillas y gravas influye poco en la resistencia de los hormigones a igualdad de relación agua/cemento; sin embargo, no ocurre igual con las variaciones en la granulometría de las arenas, pues dependiendo de la composición de estas las propiedades del hormigón variarán de forma notable. Un exceso de finos disminuye la calidad del hormigón en todos los aspectos.



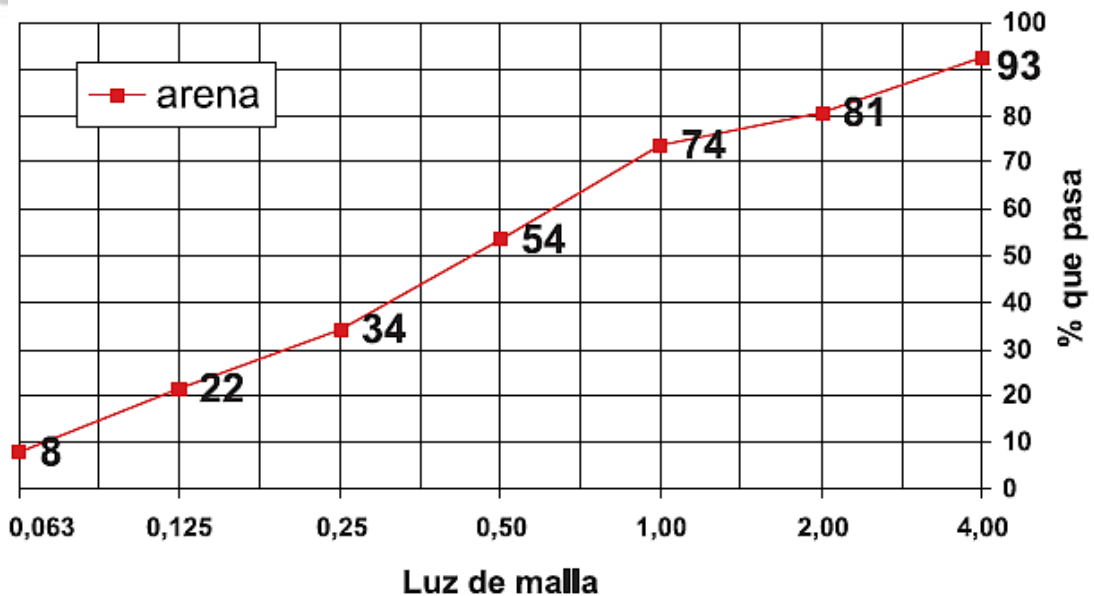
Tamiz

El **análisis granulométrico** de un árido consiste en determinar la distribución por tamaños de las partículas que lo forman, o sea, en separar al árido en diferentes fracciones de partículas del mismo tamaño, y hallar el porcentaje que entra en el árido cada uno de ellos. El estudio de la distribución por tamaños de un árido se hace cribándolo a través de una serie de tamices normalizados

Al realizar el análisis granulométrico se inicia el cribado por el tamiz mayor de la serie; una fracción del mismo pasará por él y otra quedará retenida, la fracción que pasa se somete a cribado por el tamiz inmediatamente inferior y así sucesivamente. La relación entre el peso retenido en cada tamiz con respecto al peso total de la muestra nos da el porcentaje retenido parcial por ese tamiz.

Los análisis granulométricos permiten determinar en que proporciones se han de mezclar los áridos para obtener una granulometría del árido resultante que se parezca lo más posible a una curva granulométrica ideal de compacidad máxima. Una vez realizado el tamizado de la muestra, los resultados obtenidos se representan en un gráfico (**curva granulométrica**) en el que en ordenadas se colocan es escala decimal los porcentajes que pasan acumulados por cada tamiz y, en abcisas y en escala logarítmica (a fin de que la separación entre los distintos tamices sea la misma dado que estos están en progresión geométrica de razón 2) la abertura de los tamices. Las curvas granulométricas además de ser muy útiles para la composición de áridos distintos, tienen la ventaja de permitir identificar rápidamente si estos tienen exceso de fracciones gruesas o finas, o la presencia de discontinuidades en la distribución por tamaños.

ALBERTO VILLARINO OTERO



## ADITIVOS

Aditivos son aquellas sustancias o productos que, incorporados al hormigón antes del amasado (o durante el mismo o en el transcurso de un amasado suplementario) en una proporción no superior al 5% del peso del cemento, producen la modificación deseada, en estado fresco o endurecido, de alguna de sus características, de sus propiedades habituales o de su comportamiento.

La fabricación de un hormigón con aditivos debe realizarse con un control adecuado de la cantidad de aditivo incorporado ya que un exceso importante puede tener consecuencias negativas en el hormigón resultante. Los aditivos se transportarán y almacenarán de manera que se evite su contaminación y que sus propiedades no se vean afectadas por factores físicos o químicos (heladas, altas temperaturas, etc.). El fabricante suministrará el aditivo correctamente etiquetado.

Los aditivos se pueden clasificar en los siguientes tipos:

### **-Aditivos que modifican la reología (estudio de la deformación y el fluir de la materia) del hormigón fresco**

Sustancias o productos que modifican o mejoran la trabajabilidad, (ductilidad, manejabilidad, docilidad...) del hormigón

-Plastificantes. ,Fluidificantes. ,Superplastificantes.

### **-Aditivos que modifican el fraguado y/o endurecimiento**

Aceleradores de fraguado: tienen como función principal reducir o adelantar el tiempo de fraguado (principio y final) del cemento que se encuentra en hormigón, masa o pasta.

Retardadores de fraguado: función principal, retardar el tiempo de fraguado (principio y final) del cemento que se encuentra en el hormigón.

Aceleradores de endurecimiento: desarrollan rápidamente la resistencia mecánica pudiendo disminuir tiempos de fraguado. Pueden provocar retracciones y disminuir las resistencias finales.

### **-Aditivos que modifican el contenido de aire**

Inclusores de aire

Generadores de gas

Generadores de espuma.

Desaireantes

### **-Aditivos que mejoran la resistencia a las acciones físicas**

-Anticongelantes (evitan la congelación del hormigón fresco)

-Hidrófugantes (reducen la permeabilidad del hormigón).



### **-Otros aditivos**

- Aditivos para el bombeo.
- Aditivos para proyección.
- Aditivos para inyección.
- Colorantes.

## **DOSIFICACION DE HORMIGONES**

Los métodos de dosificación de hormigones tienen por finalidad encontrar las proporciones en que hay que mezclar a los diferentes componentes de los mismos para conseguir mezclas que posean determinadas características de consistencia, compacidad, resistencia, durabilidad, etc.

No existe un método único de dosificación, sino que pueden dividirse en dos grupos fundamentales: uno que tiene como principal dato de partida la dosificación de cemento (Fuller, Bolomey, Faury) y otro definido por las resistencias mecánicas, especialmente la de compresión (A.C.I., La Peña).

## **FABRICACION, TRANSPORTE Y PUESTA EN OBRA DEL HORMIGON**

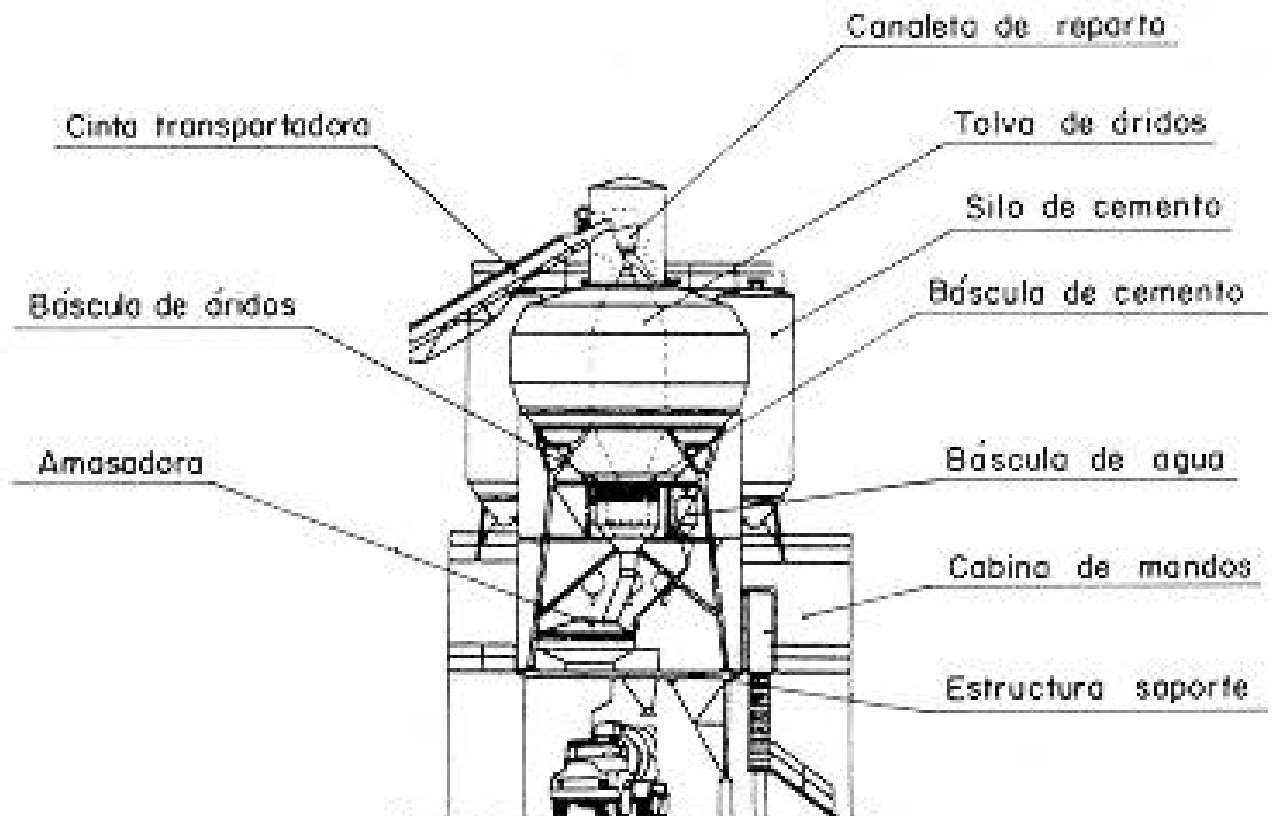
La fabricación del hormigón así como su puesta en obra, tiene una importancia capital en las características del producto obtenido.

Una vez determinada la dosificación adecuada según los criterios anteriores, se procede al amasado de los distintos componentes

El **amasado** del hormigón tiene por finalidad recubrir a los áridos de una capa de pasta de cemento y mezclar a todos los componentes hasta conseguir una masa uniforme. El amasado se realiza en mezcladores u hormigoneras. En pequeñas obras las hormigoneras más empleadas son las hormigoneras basculantes, pueden ser también de eje horizontal y de eje vertical. La mayor parte del hormigón utilizado en la construcción procede de plantas o centrales de hormigonado, que actualmente están muy automatizadas, con controles de calidad continuos.



Hormigonera basculante



Central de hormigonado



Una vez amasado el hormigón, hay que transportable hasta su lugar de empleo, pudiendo ser intermitente (carretillas, dumpers, camiones, blondines, grúas, etc.) o continuo (cintas transportadoras o bombeo).

ALBERTO VILLARINO OTERO

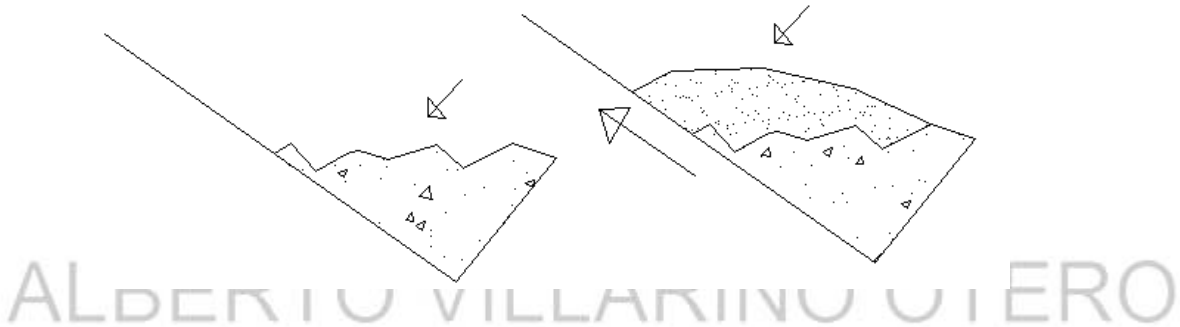


Camión hormigonera

Una vez situado el hormigón en el lugar de colocación se procede a su puesta en obra, siendo el medio más simple el vertido del hormigón desde el dispositivo de transporte al encofrado o lugar en que se vaya a colocar, pudiendo llegar a la colocación por bombeo.

Cualquiera que sea el método de puesta en obra del hormigón. Debe realizarse de manera que no se produzca la disgregación de la mezcla, tomando una serie de medidas:

- No se debe verter desde alturas superiores a 2 metros. a fin de impedir que se rompa la homogeneidad de la mezcla al caer más rápidamente el árido grueso que el resto de los componentes
- Se debe dirigir con canaletas que impidan el choque libre con encofrado o armaduras.
- Se vertirá por capas que se compactaran progresivamente.
- No se arroja con paletas o a gran distancia.
- El hormigonado inclinado se coloca el hormigón de abajo a arriba.



Camión bomba de hormigón



Cubilote de vertido de hormigón

Una vez extendido el hormigón, sea en una sola capa o en varias, hay que proceder a su consolidación, la cual puede realizarse mediante apisonado, picado con barra, vibrado, compresión simultánea con vibrado, etc.

El picado con barra: se realiza con una barra de 16 mm, con terminación redondeada, que se introduce repetidas veces de manera que atraviese la capa a consolidar y penetre en la inferior. Se emplea en hormigones de consistencia blanda y fluida, en obras de poca importancia, donde haya muchas armaduras en las que no se pueda emplear una masa seca.

Compactación por apisonado: se realiza por golpeo de un pistón repetidas veces. Las tongadas deben ser de poco espesor (-20cm), con consistencia plástica o blanda.

Vibrado: en general se exige el empleo de vibradores, lo cual permite el uso de hormigones con menor cantidad de agua. Mediante el vibrado se vencen las fuerzas cohesivas del hormigón transformándose el material en un fluido que se adapta perfectamente a las formas de los moldes. Estas fuerzas son mayores cuanto más seco es el hormigón. El vibrado no solo cierra y aprieta unos elementos contra otros, sino que reparte más uniformemente el agua. La vibración que se transmite es horizontal, quedando su acción limitada a la masa contenida en un tronco de cono. La distancia entre los puntos de inmersión debe ser la adecuada para producir en toda la superficie una humectación brillante, siendo preferible pinchar vibrando en muchos puntos poco tiempo que vibrar en pocos puntos con larga duración. El vibrador debe introducirse verticalmente de forma rápida y no mucho tiempo por riesgo de segregación y exudación en hormigones fluidos. Si el tiempo es muy reducido puede dar lugar a formación de coqueas. El vibrador se retirara de forma lenta para permitir que el orificio de salida se rellene.

## Tipos de vibradores

Internos: de aguja. Hormigones plásticos en grandes masas, cimentaciones y estructuras.

Superficie: pavimentación. Reglas y plataformas vibrantes. El espesor de la capa terminada no debe superar los 20 cm.

Exterior: acoplados a encofrados. Se usan en prefabricación con hormigones secos.



Vibrador de aguja



Vibrador de aguja



Pisón vibrante



Plancha vibrante

Aunque lo ideal en toda construcción de hormigón es que el hormigonado sea continuo y sin juntas a fin de obtener un monolitismo total, en la práctica, esto es muy difícil de conseguir y salvo excepciones, hay que dejar juntas de trabajo por muy diversos motivos (final de la jornada de trabajo, mal tiempo en época de heladas, falta de materiales, poca definición de la obra, suspensión por motivos económicos, etc.).

Dos son los problemas que presentan las **juntas de hormigonado** y que pueden ser causa de fallos: una es la elección de la zona donde hay que realizarlas (lejos de las zonas sometidas a tracciones y normales a los esfuerzos de compresión) y la otra, el tratamiento a dar a las mismas (limpieza con chorro de arena o agua o cepillo de alambre, humedecerlas, adhesivos de tipo epoxi).

Para conseguir un buen hormigón con las propiedades deseadas hay que curarlo en un ambiente adecuado, después de ponerlo en obra y al menos durante los primeros días de vida.

El **curado del hormigón** tiene por finalidad impedir la pérdida de agua por evaporación y controlar la temperatura del mismo durante el proceso inicial de hidratación de los componentes activos del cemento. El curado no solo trata de asegurar la evolución de resistencias, sino que además tiene como misión impedir que el agua se evapore y que la desecación provoque fisuras.

Existen diversos como el curado en húmedo donde se trata de compensar la pérdida de agua por evaporación mediante la aportación de agua externa (riego continuo, colocación de sacos mojados o bien en impedir dicha evaporación mediante la creación de barreras impermeables. O el curado al vapor. En prefabricación se emplean curados acelerados con vapor (bien a presión atmosférica o a alta presión), para conseguir resistencias iniciales altas a fin de disponer cuanto antes de los moldes, tener más espacio disponible para la fabricación y menos capital inmovilizado.

## **PROPIEDADES CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGÓN FRESCO**

Denominamos "hormigón fresco" al hormigón que por poseer plasticidad tiene la facultad de poder moldearse. El hormigón fresco tiene una vida que está comprendida entre el momento en que abandona la amasadora u hormigonera y aquél en que se inicia el fraguado del cemento, siendo ésta vida variable en función del tipo de cemento empleado, de la dosificación del agua, de la temperatura, del empleo de aditivos, etc. Las propiedades más características del hormigón fresco son : la consistencia, la docilidad y la homogeneidad

### **Consistencia**

Es la oposición que presenta el hormigón fresco a experimentar deformaciones, siendo por tanto, una propiedad física inherente al propio hormigón. La consistencia depende fundamentalmente de:

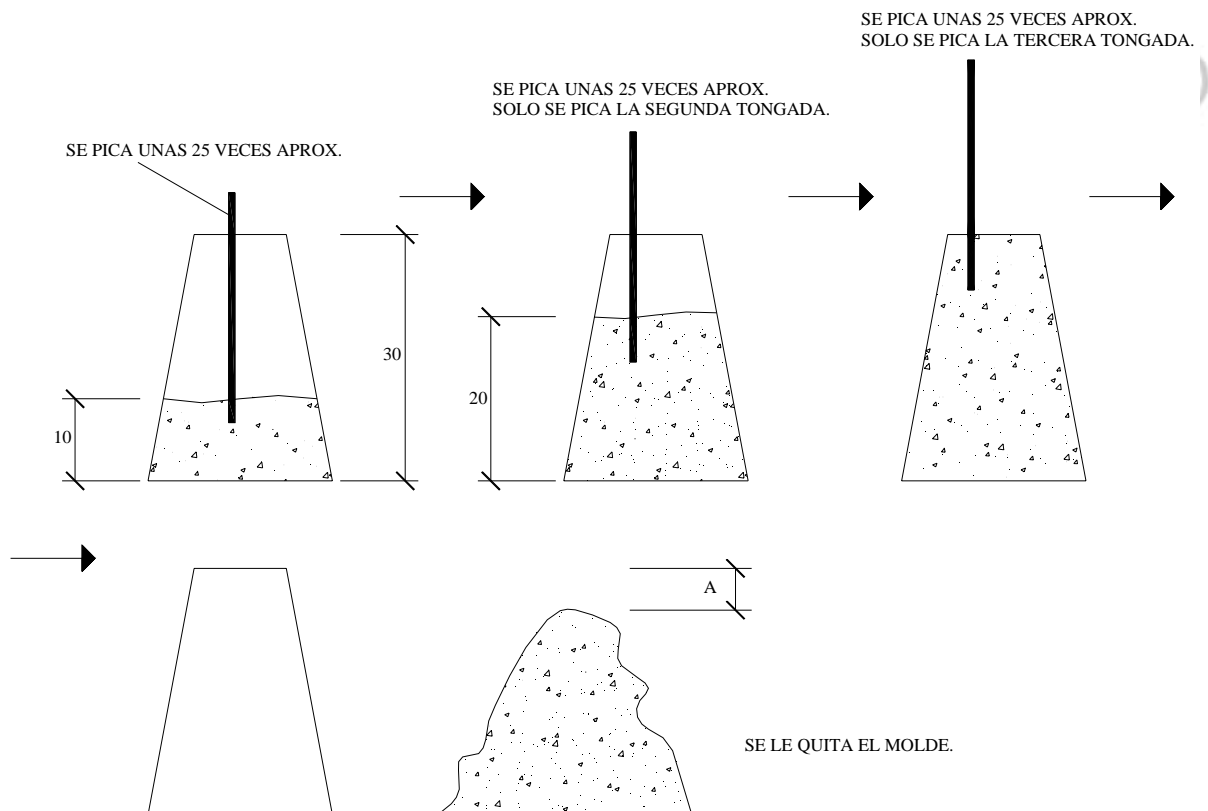
- Agua de amasado.
- Tamaño máximo del árido.

-Granulometría.

-Forma de los áridos (Rodados dan mas facilidad de adaptación que los de machaqueo) e Influye mucho el método de compactación.

La medida de la consistencia de un hormigón fresco puede realizarse por diversos métodos, siendo el más universal el empleo del cono de Abrams. Es un molde troncocónico metálico de 30 cm. de altura y de 10 y 20 cm. de diámetro inferior y superior respectivamente. Se llena de hormigón, se compacta con una barra de acero del 16, se enrasa superiormente y se retira el molde, midiendo el descenso de la superficie superior del hormigón. Este descenso, denominado "asiento" permite clasificar la consistencia de acuerdo con los valores siguientes:

Asiento (cm)	Consistencia
0-2	Seca
3-5	Plástica
6-9	Blanda
10-15	Fluida





## **Docilidad**

Es la facilidad con que cantidades dadas de áridos, cemento y agua se transforman en hormigón y después éste, es manejado, transportado, colocado y compactado en los moldes o encofrados con la mínima pérdida de homogeneidad, es decir, sin que se produzca segregación y exudación. La docilidad depende de:

- Cantidad de agua de amasado (+ agua, + docilidad)
- Granulometría (+ arena, + docilidad)
- Tipo de árido (+ redondeado, + docilidad)
- Contenido de cemento (+ cemento y + fino, + docilidad)
- Plastificante

En general, secciones pequeñas y muy armadas requieren hormigones de alta docilidad, mientras que, por el contrario, en estructuras masivas, de grandes secciones y sin armar pueden colocarse mezclas menos dóciles, aunque siempre se debe emplear la máxima docilidad compatible con el método de puesta en obra disponible.

Un hormigón poco dócil es propenso a segregar, a dar resistencias menores a las previstas y a dar superficies poco vistosas cuando se desencofra. Indiscutiblemente ambas propiedades: consistencia y docilidad, no son totalmente independientes sino que están relacionadas, lo que permite tomar la consistencia como un índice de la docilidad al ser de más fácil medida que ésta.

De la consistencia van a depender la mayor parte de las características del hormigón, como son: la cohesión, compacidad, densidad, resistencia, impermeabilidad, acabado superficial, etc. Debido a su importancia, los hormigones se solicitan a las plantas suministradoras, como mínimo, por su resistencia, consistencia y tamaño máximo del árido.

Es preciso tener en cuenta que si un hormigón posee una consistencia más fluida que otro, esto no quiere decir que sea más dócil que éste porque la docilidad viene ligada con el método de puesta en obra y consolidación y puede ocurrir que un hormigón de consistencia seca, pero que ha de ser vibrado, sea más dócil que otro de consistencia blanda que por ir colocado dentro de un encofrado estrecho de una pieza fuertemente armada se consolide picándole con barra.

## **Homogeneidad**

El hormigón es una mezcla de componentes sólidos muy diferentes y de un líquido, por consiguiente, tiene que ser un material heterogéneo; sin embargo, al decir que un hormigón debe ser homogéneo se indica que debe ser uniformemente heterogéneo, es decir, que en cualquier parte de la masa los componentes del hormigón deben estar perfectamente mezclados y en la proporción prevista al diseñar la muestra.

La mezcla adecuada de los componentes del hormigón y la homogeneidad de la masa se logra en la hormigonera, pero esta mezcla puede disociarse durante el transporte, el vertido y/o el compactado, dando lugar a que los elementos constitutivos tiendan a separarse unos de otros y a decantarse de acuerdo con su tamaño y densidad (segregación) o a que el agua se eleve hacia la superficie como consecuencia de la incapacidad de los áridos de arrastrarla con ellos al irse compactando creando una capa delgada, débil y porosa que no tiene resistencia ni es durable (exudación)

## **PROPIEDADES CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGÓN ENDURECIDO**

Las características físicas de un hormigón endurecido dependen no sólo de la propia naturaleza de éste sino, también, de su edad y de las condiciones de humedad y temperatura a que haya estado sometido.

La característica física o mecánica más frecuentemente medida en los hormigones es la resistencia a compresión, debido principalmente a que es muy fácil de determinar y a que muchas de sus otras propiedades están relacionadas con ella, por lo que es un índice de su comportamiento, además de que, generalmente, el hormigón va a trabajar a compresión y, por tanto, el conocer su resistencia frente a ésta sollicitación es de gran interés.

Hay casos en los que el hormigón ha de trabajar a flexión como ocurre en pavimentos; en éstos es la resistencia a flexotracción la característica fundamental y hasta tal punto es importante que los hormigones empleados en firmes de carreteras, aeropuertos o viales industriales, se definen por éste tipo de resistencia.

Otras características muy importantes en el hormigón son la densidad, que va a dar una idea muy apreciable sobre su comportamiento tanto físico como químico y, la impermeabilidad que va a determinar en gran parte la resistencia que presenta frente a agresiones de tipo físico y químico, es decir, su durabilidad.

### **Densidad**

La densidad de los hormigones es muy variable oscilando entre los 0,5 Tn/m<sup>3</sup>. de algunos hormigones celulares al valor próximo a 6 Tn/m<sup>3</sup>. que presentan los hormigones pesados de áridos de acero. En los hormigones tradicionales en masa, su valor suele estar próximo a 2,2 Tn/m<sup>3</sup>. y en los armados puede llegar hasta 2,5 Tn/m<sup>3</sup>. dependiendo de la cuantía del armado.

### **Resistencia a compresión**

El hormigón es un material que resiste a las sollicitaciones de compresión, tracción y flexión. La resistencia que presenta frente a los esfuerzos de compresión es la más elevada de todas, cifrándose en unas diez veces de la tracción, y es la que mayor interés presenta su determinación como hemos dicho anteriormente.

Los hormigones en masa y armados, regulados por la Instrucción española, se clasifican de acuerdo con su resistencia característica a compresión a 28 días, en kgf/cm<sup>2</sup>., en los tipos siguientes:

H-125, H-150, H-175, H-200, H-225, H-250, H-300, H-350, H-400, H-450, H-500

La resistencia a compresión del hormigón puede determinarse mediante ensayos destructivos o no destructivos. Los más utilizados son los primeros realizándose probetas cilíndricas que se conservan en condiciones análogas a las de obra y se rompen a 7 y 28 días.

En la resistencia influyen una serie de factores: los materiales empleados, la relación agua/cemento (es el factor que más influencia tiene en la resistencia de un hormigón), el tamaño máximo del árido, la forma y dimensiones de las probetas y la edad del hormigón (28 días es la edad que se toma para el cálculo estructural).

Se establecen las siguientes **tipos de resistencias**:

**Resistencia característica específica:** ( $f_{ck}$  o resistencia de proyecto): es el valor que se adopta en el proyecto para la resistencia a compresión, como base de los cálculos. Se define como aquel valor con el que existe una probabilidad de que el 95% de que se presenten valores individuales de resistencia de probetas mayores que  $F_{ck}$  (N/mm<sup>2</sup>).

**Resistencia característica estimada  $f_{c,est}$  o resistencia media  $f_{cm}$ :** es la media aritmética de los valores de rotura de un número finito de probetas.

### Retracción y entumecimiento

Son cambios de volumen que experimenta el hormigón y que tienen lugar independientemente de los movimientos debidos a los cambios de temperatura o a las sollicitaciones mecánicas externas a que esté sujeto el cambio.

La retracción es una contracción que se presenta durante el fraguado y primera época del endurecimiento del hormigón, especialmente, si se produce una falta de agua en el mismo; está vinculada a la disminución de volumen originada por la evaporación del agua contenida en el hormigón, actúa en el instante que se hormigona la pieza por el contrario, el entumecimiento es una expansión o aumento de volumen del hormigón como consecuencia de absorción del agua.

### Fluencia

Esta vinculada a una pérdida de humedad producida por la evaporación, al comprimirse por efecto de un axil, actúa el día de puesta en obra.

## TIPIFICACIÓN O DESIGNACION DE HORMIGONES

*T - R / C / TM / A*

T = HM (hormigón masa), HA (hormigón amasado), HP (hormigón pretensado)

R = resistencia característica específica(N/mm<sup>2</sup>) mínima 20 en HM, 25 en HA

C = letra inicial de la consistencia según el cono de abrams

TM = tamaño máximo del árido en mm

A = designación del ambiente

-Clase general de exposición relativa a la corrosión de armaduras: I, IIa, IIb, III, IV

- Clase de exposición relativa a otros procesos de deterioro distintos de la corrosión: Qa, Qb, F, H,

La resistencia mínima características no serán inferiores a:

- 20 N/mm<sup>2</sup> para HM

- 25 N/mm<sup>2</sup> para HA

Por ejemplo HM / 25 / P / 30 / I

## APLICACIONES DEL HORMIGÓN

### In situ

Formado sistemas estructurales en obras de edificación e ingeniería civil, tales como forjados, columnas pilares vigas, tableros de puentes cuerpos de presas etc.,,,,

### Prefabricados

En estructuras.

-Estructuras de edificación completas de nudos articulados o de núcleo rígido

-Uniones de pilares a cimentaciones

-Vigas para naves industriales (peraltadas)

-Correas

-Vigas de puentes

-Paramentos verticales en edificios y fachadas.

-Viguetas y bovedillas

-Losas alveolares

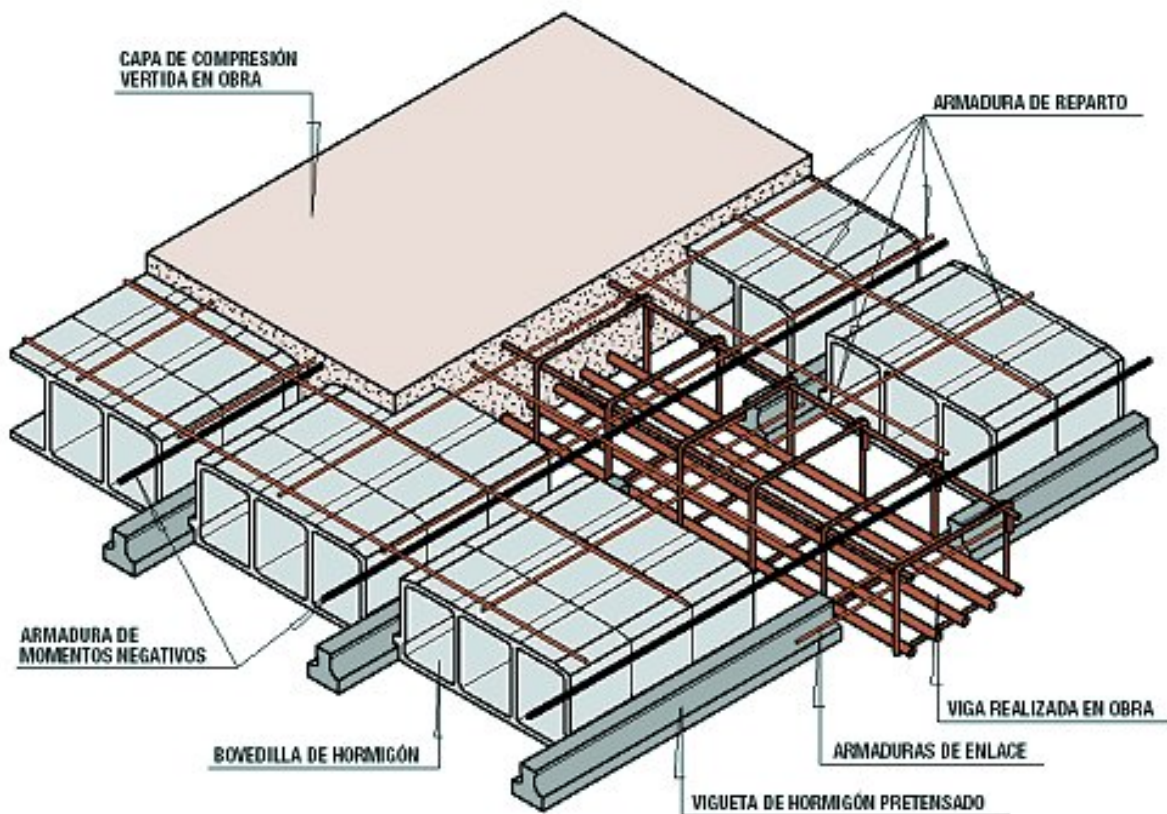
-Jácenas: viga horizontal, grande que sirve de soporte de otros elementos estructurales (vigas secundarias o viguetas).

-Bloques

-Tejas

-Adoquines

- Bordillos
- Baldosas para pavimentaciones exteriores
- Terrazos (baldosas para interior pulidas)
- Galerías de hormigón visitables para conducciones
- Tuberías de saneamiento de hormigón en masa o armado
- Accesorios para saneamiento como pozos de registro
- Muros de contención vegetalizables



Forjado viga bovedilla



Losa alveolar

ALBERTO VILLARINO OTERO

### 3. MUROS

#### 3.1 INTRODUCCIÓN

Se define como muro: "Toda estructura continua que de forma activa o pasiva produce un efecto estabilizador sobre una masa de terreno". El carácter fundamental de los muros es el de servir de elemento de contención de un terreno, que unas veces es un terreno natural y otras un relleno artificial (Figura 1a).

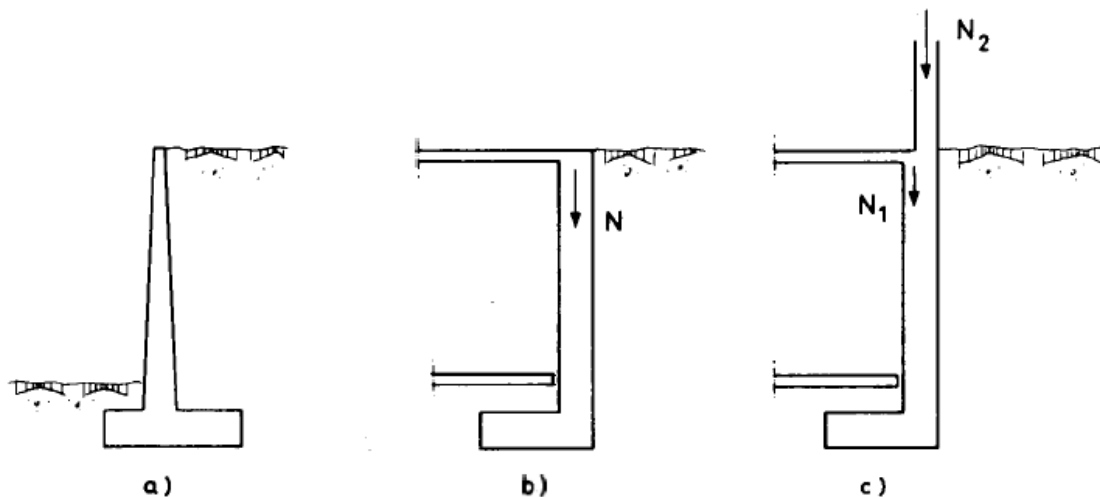


Figura 1

En la situación anterior, el cuerpo del muro trabaja esencialmente a flexión y la compresión vertical debida a su peso propio es generalmente despreciable. Sin embargo, en ocasiones el muro desempeña una segunda misión que es la de transmitir cargas verticales al terreno, en una función de cimiento. La carga vertical puede venir de una cubierta situada sensiblemente a nivel del terreno (figura 1b), o puede ser producida también por uno o varios forjados apoyados sobre el muro y por pilares que apoyen en su coronación transmitiéndole las cargas de las plantas superiores (figura 1c).

Las formas de funcionamiento del muro de contención (figura 1a) y del muro de sótano (figura 1b y 1c) son considerablemente diferentes. En el primer caso, el muro se comporta como un voladizo empotrado en el cimiento, mientras que en el segundo caso, el muro se apoya o ancla en él o en los forjados, mientras que a nivel de cimentación el rozamiento entre cimiento y suelo hace innecesaria casi siempre la disposición de ningún otro apoyo. El cuerpo del muro funciona en éste segundo caso como una losa de uno o varios vanos.

### 3.2 DESIGNACIONES O NOMENCLATURA

Tomando el caso más común de muro, emplearemos las designaciones que se indican en la figura 2

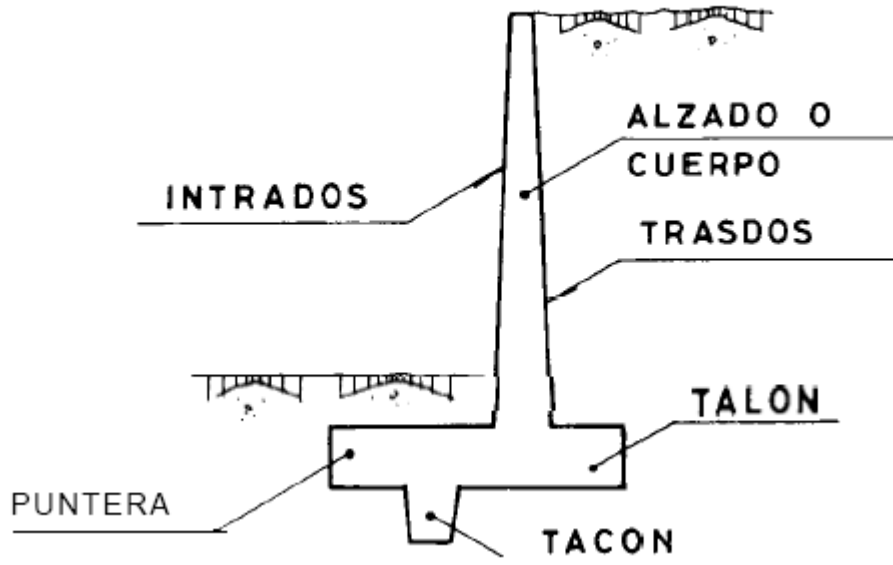


Figura 2

**Puntera:** Parte de la base del muro (cimiento) que queda debajo del intradós y no se introduce bajo el terreno contenido.

**Tacón:** Parte del cimiento que se introduce en el suelo para ofrecer una mayor sujeción.

**Talón:** Parte del cimiento opuesta a la puntera, queda por debajo del trasdós y bajo el terreno contenido.

**Alzado o cuerpo:** Parte del muro que se levanta a partir de los cimientos de este, y que tiene una altura y un grosor determinados en función de la carga a soportar.

**Intradós:** Superficie externa del alzado.

**Trasdós:** Superficie interna del alzado, está en contacto con el terreno contenido.



### 3.3 TIPOS GENERALES DE MUROS DE CONTENCIÓN

Los tipos más frecuentes se describen a continuación:

#### MURO DE GRAVEDAD

Son muros de hormigón en masa en los que la resistencia se consigue por su propio peso. Normalmente carecen de cimiento diferenciado (Figura 3a) aunque pueden tenerlo. (Figura 3b)

Su ventaja fundamental es que no van armados, con lo cual no aparece en la obra el tajo de ferralla. Pueden ser interesantes para alturas moderadas y aun eso, solo si su longitud no es muy grande, pues en caso contrario, y en definitiva siempre que el volumen de muro sea importante, la economía que representan los muros de hormigón armado justifica la aparición del tajo de ferralla.

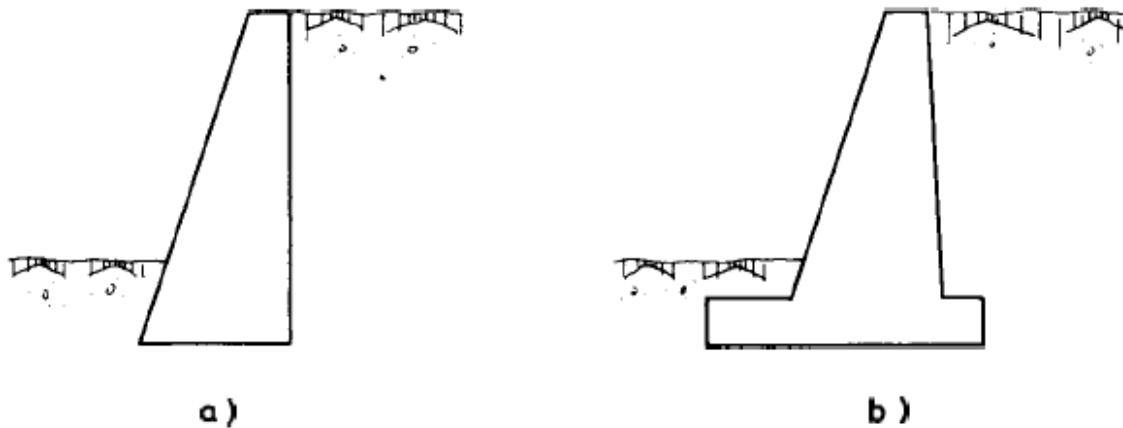


Figura 3

#### MUROS MÉNSULA (O EN L)

Son muros de hormigón armado. En estos muros el momento al vuelco, producido por el empuje de las tierras, es contrarrestado por el peso de las tierras sobre la zapata. La presión transmitida al cimiento suele ser reducida, por lo que su aplicación más conveniente es cuando la cimentación es mala.

Son los de empleo más corriente (Figura 4) y aunque su campo de aplicación depende, lógicamente, de los costes relativos de excavación, hormigón, acero, encofrado y relleno puede en primera aproximación pensarse que constituyen la solución económica hasta alturas de 10 ó 12 m.

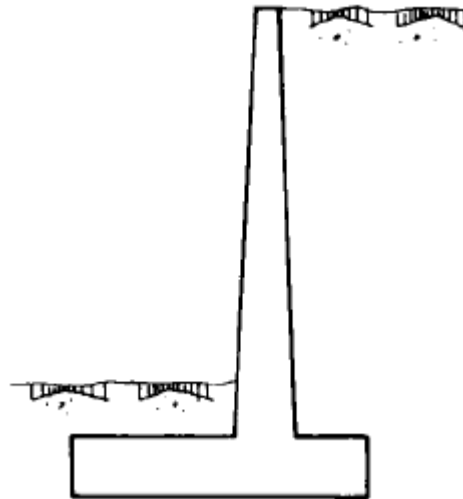


Figura 4

### MUROS DE CONTRAFUERTES

Constituyen una solución evolucionada de la anterior, en la que al crecer la altura y por lo tanto los espesores de hormigón, compensa el aligerar las piezas. Consiste en aligerar un muro de gravedad, suprimiendo hormigón en las zonas que colaboran muy poco en el efecto estabilizador

Esto conduce a ferralla y encofrados más complicados y a un hormigonado más difícil y por lo tanto más costoso, al manejarse espesores más reducidos. Sin embargo, a partir de los 10 ó 12 m. de altura es una solución que debe tantearse para juzgar su interés. Pueden tener los contrafuertes en trasdós (Figura 5a) o en intradós (Figura 5b), aunque la primera solución es técnica y económicamente mejor, por disponer el alzado en la zona comprimida de la sección en T que se forma. La segunda solución, al dejar los contrafuertes vistos produce además, generalmente, una mala sensación estética

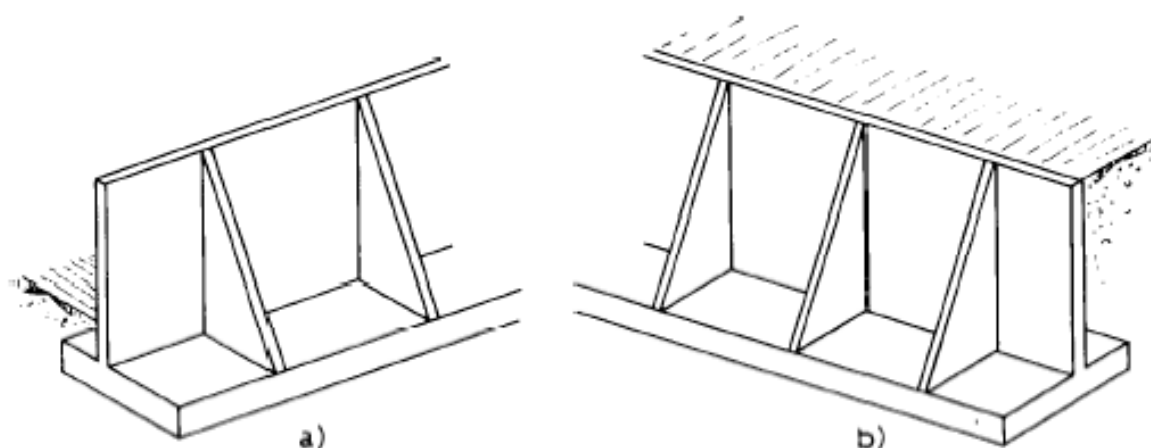


Figura 5

### MUROS DE BANDEJAS (O DE PLATAFORMAS ESTABILIZADORAS)

Su concepto es muy diferente del que origina el muro de contrafuertes. Aquí no se trata de resistir el mismo momento flector, aumentando el canto y aligerando la sección, sino de reducir los momentos flectores debidos al relleno mediante los producidos por la carga del propio relleno sobre las bandejas (Figura 6). Su inconveniente fundamental radica en la complejidad de su construcción. Puede resultar una alternativa al muro de contrafuertes para grandes alturas.

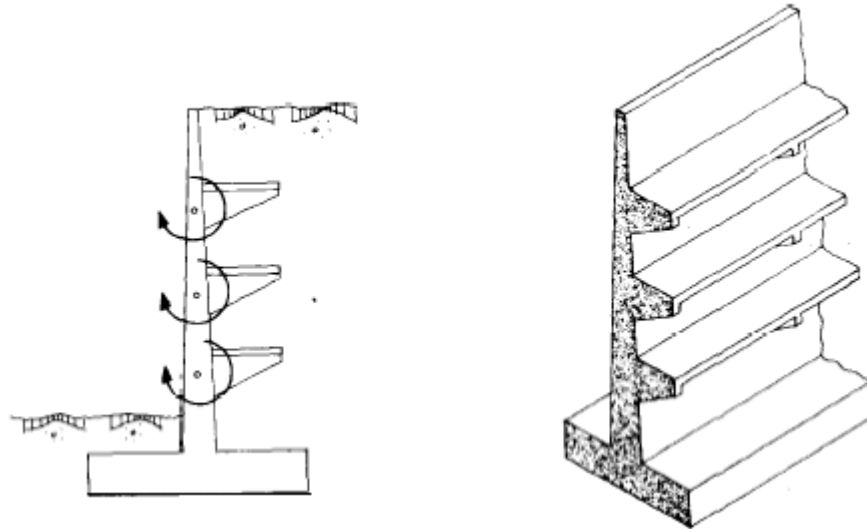


Figura 6

### MUROS ANCLADOS

Es un tipo de estructura mixta que elimina los problemas de estabilidad al vuelco, disminuye los momentos flectores que sobre él actúan y reduce las tensiones que actúan sobre el terreno de cimentación (Figura 7).

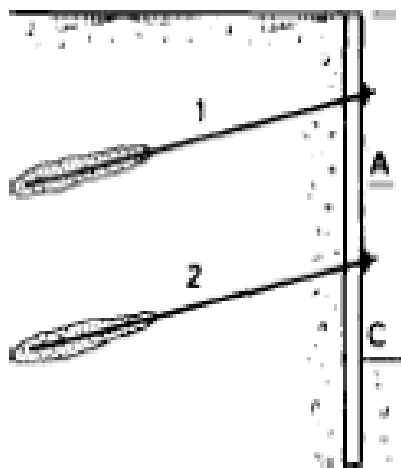


Figura 7

## MUROS DE GAVIONES

Los gaviones son elementos generalmente con forma de prisma rectangular que consisten en unas jaulas de mallazo galvanizado rellenas de un material de naturaleza granular tipo grava. Los diferentes elementos que constituyen el muro proyectado quedan unidos entre si mediante ligaduras de alambre. Es pues un tipo de muro que trabaja fundamentalmente por gravedad. (Figura 8) No sólo se fabrican de tipo rectangular. Las diversas casas comerciales presentan también en sus catálogos elementos cilíndricos y corazas o losas, dependiendo de la finalidad a la que se empleen.

Los tipos más corrientes de gaviones (paralelepípedos o rectangulares) tienen unos volúmenes que varían entre 0.5 y 5 m<sup>3</sup>, lo cual supone para un ancho de 1 m y una altura de 0.5 a 1 m, unas longitudes variables entre 1 y 5 m..Generalmente los muros de gaviones suelen ser de altura moderada (menor de 6-7 m), aunque se han construido de altura superior y han funcionado correctamente. La construcción de este tipo de muros es muy simple, colocando los distintos elementos con diferentes disposiciones e, incluso, escalonando el trasdós, el intradós, o ambos.

Las principales ventajas de los muros de gaviones son: su rápida y sencilla instalación, su elevada permeabilidad y que son unas estructuras flexibles que admiten asientos diferenciales del terreno importantes.



Figura 8

## MUROS PANTALLA

El sistema de muros pantalla consiste, esencialmente, en ejecutar una pared del hormigón, realizándola sin entibación. El equilibrio de la excavación se mantiene bien por sí misma o gracias al empleo de lodos bentoníticos, que rellenan completamente la excavación. Estos lodos son posteriormente desplazados por el hormigón, que se coloca mediante una tubería adecuada. El método se ha revelado como excepcionalmente útil y ha permitido el desarrollo de una serie de soluciones y procesos constructivos que no resultarían posibles o lo serían a muy elevado coste con los otros tipos de muro.

El **proceso de ejecución** comprende las siguientes etapas. (Nos referimos al caso más frecuente de empleo de lodos bentoníticos).

**1) Construcción de los muretes guía:** Estos muretes suelen ejecutarse en hormigón en masa o mejor en hormigón ligeramente armado (Figura. 9a) y tienen espesor del orden de 25 cm y profundidad de 0,70 a 1 m. Su separación es ligeramente superior al ancho teórico de la pantalla. La misión de estos muretes-guías es, precisamente, guiar a la máquina correspondiente en la excavación de la pantalla. La necesidad de disponer estos muretes, obliga en los casos en que la pantalla se dispone junto a una construcción existente (Figura. 9b), a retranquearla en una distancia igual al espesor del murete.

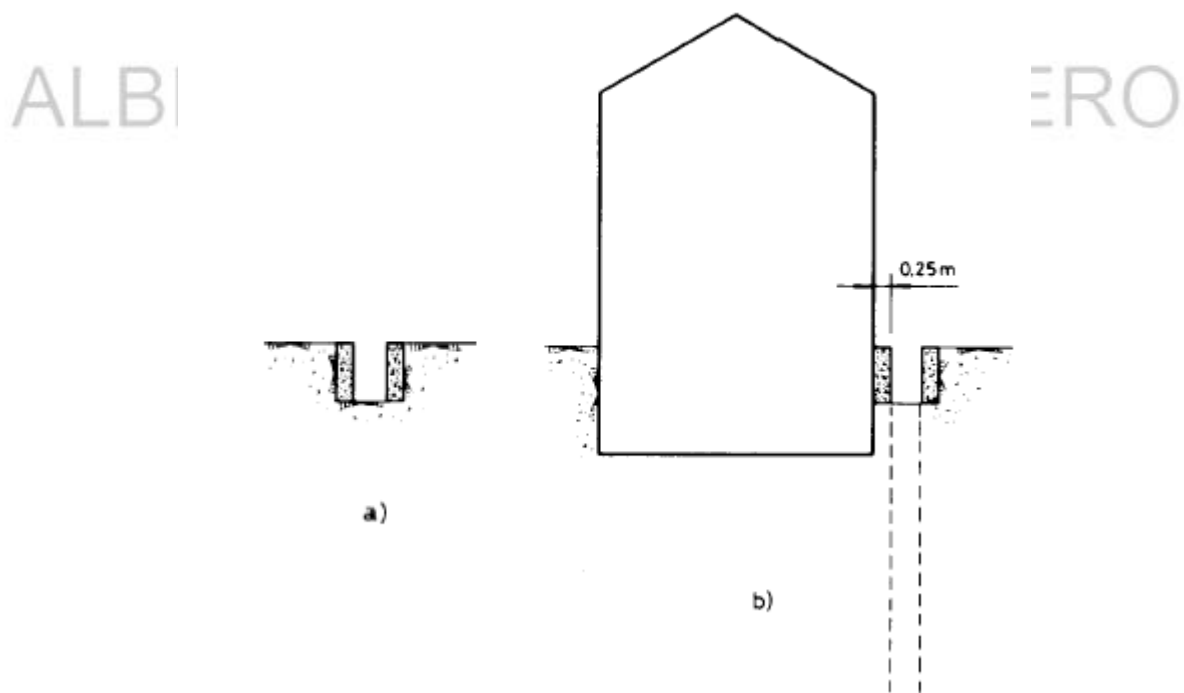


Figura 9

**2) Excavación:** Se realiza con máquinas especiales, provistas de cuchara y para mantener el equilibrio de las paredes de la excavación se reemplaza el suelo extraído por lodo bentonítico, que debe mantenerse siempre al nivel de los muretes-guía.

La excavación se realiza por paneles, mediante uno de los dos procedimientos indicados en la (Figura 10)

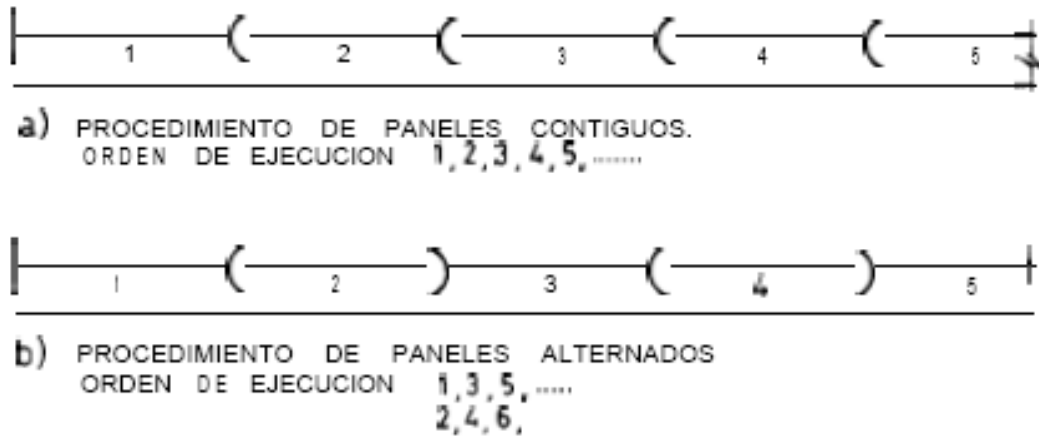


Figura 10

La longitud de panel suele oscilar de 3 a 5 m. El proceso de ejecución de un panel se indica en la figura 11. En la figura 11a) el panel está ya completamente excavado y lleno de lodo. En la figura 11 b) se colocan las juntas, que pueden ser de muy diversos tipos. En la figura 11c) se ha indicado la solución en tubos extraíbles.

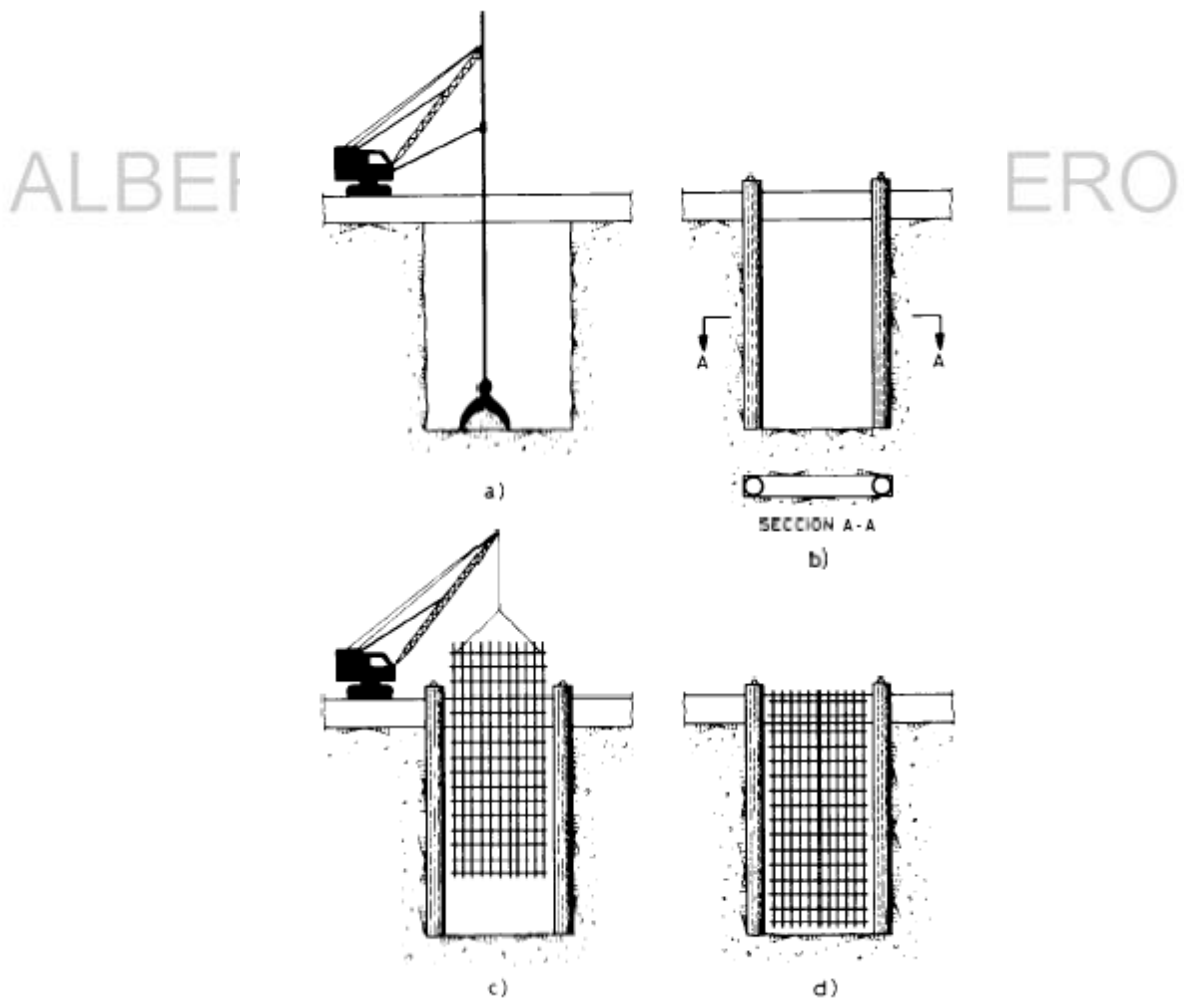


Figura 11

**3) Colocación de la armadura:** A continuación se introduce la jaula de armadura (Figura. 11 c y d) que deberá ir convenientemente rigidizada y usualmente se realiza con barras corrugadas. La jaula debe proyectarse de forma que mantenga recubrimientos del orden de 7 u 8 cm, dadas las posibles irregularidades de las paredes de la excavación. La separación mínima entre barras verticales debe ser de 10 cm, mejor 15 cm. Entre barras horizontales 15 cm, mejor 20 cm.

Dado que la jaula de armaduras se sumerge en el lodo bentonítico es esencial el empleo de barras corrugadas para no reducir excesivamente la adherencia. Si la pantalla ha de quedar con huecos, las reservas correspondientes pueden materializarse con poliestireno expandido o un material similar inerte. La tendencia a flotar de estos materiales hace que su fijación a la armadura de la jaula deba ser especialmente cuidadosa.

**4) Hormigonado:** Se realiza mediante tubería (Figura. 13 a y b)

**5) Extracción de juntas:** Si esta operación es necesaria se realiza antes de que endurezca mucho el hormigón. (Figura 14)

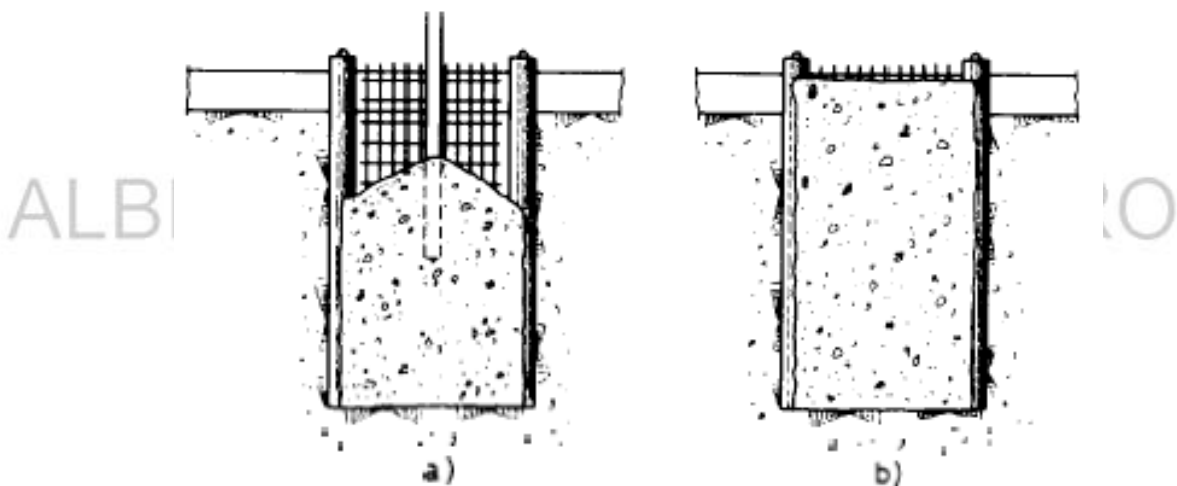


Figura 13

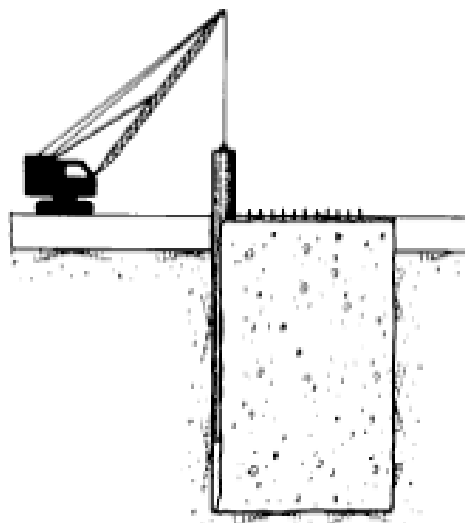


Figura 14

El campo de utilización es muy variado como se indicó anteriormente, tanto en edificación como en obras públicas. En la figura 15 se indica la aplicación de las pantallas al procedimiento conocido como «método del metro de Milán» por haberse empleado allí por primera vez.

En la figura 15a) se aplica a la construcción de un aparcamiento subterráneo en una calle. En una primera fase se ejecutan los dos muros pantalla. En la segunda fase se excava hasta el nivel AB y se colocan vigas y/o placas prefabricadas sobre las cuales se ejecuta inmediatamente el pavimento y se abre la zona al tráfico. En una tercera fase (Figura. 15 b) se construyen en túnel las plantas inferiores del aparcamiento.

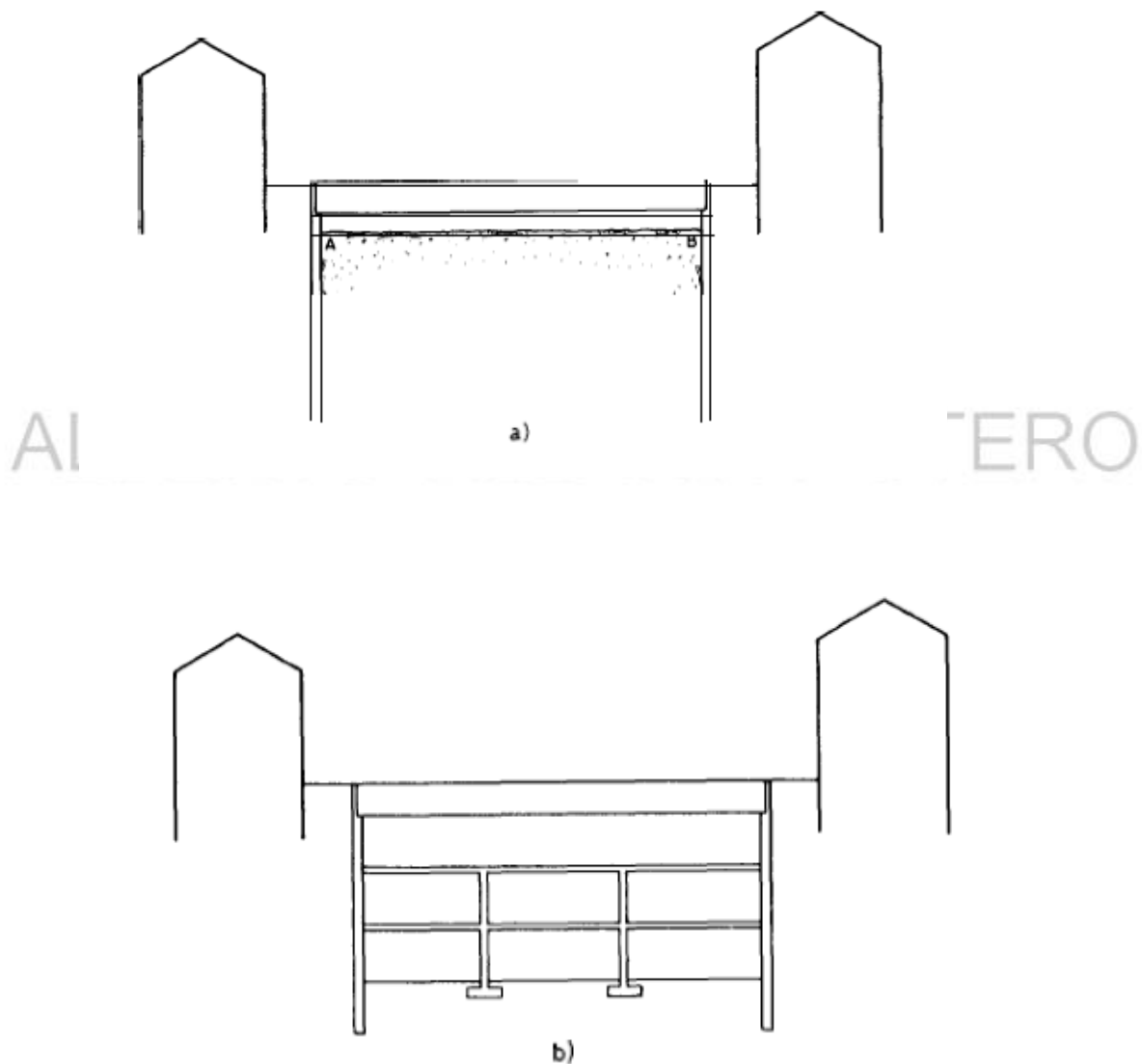


Figura 15



Un segundo ejemplo se indica en la figura 16, en la que se muestra la ejecución de una excavación de forma que las dos pantallas se van arriostrando mediante los forjados a medida que se ejecuta la excavación, de forma que los esfuerzos sobre las pantallas se mantienen en valores relativamente reducidos.

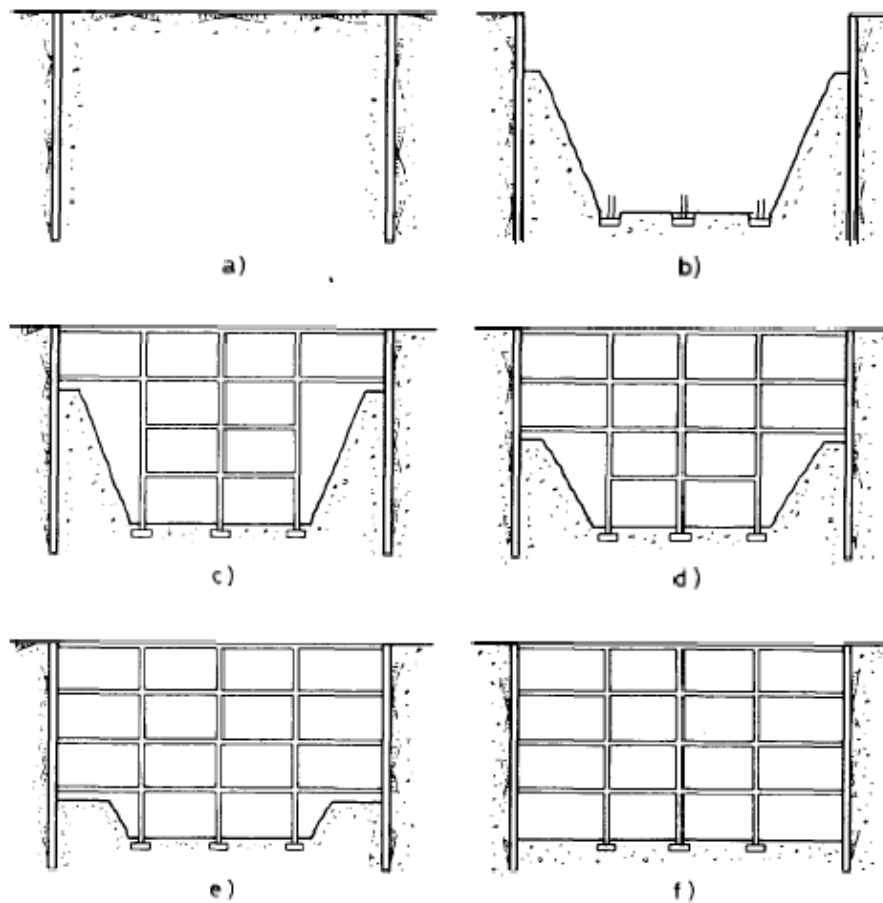


Figura 16

Una variante del método indicado en la figura 16 se indica en la figura 17. El recinto entre las pantallas se excava hasta el nivel AB y se realiza una serie de anclajes pretensados. Posteriormente se excava hasta el nivel CD y se realiza una segunda serie de anclajes. Una alternativa es el empleo de acodamientos metálicos provisionales entre pantallas, que resulta una solución más rígida que la de anclajes.

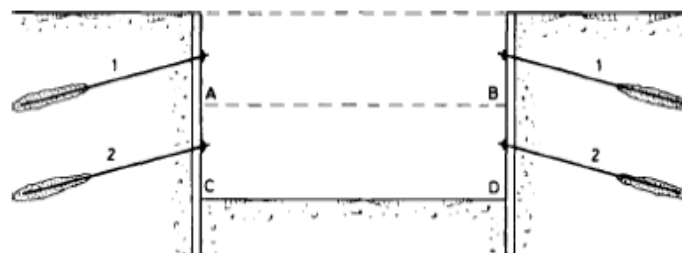


Figura 17

Otro ejemplo es la construcción del metro de Málaga (Figura 17)

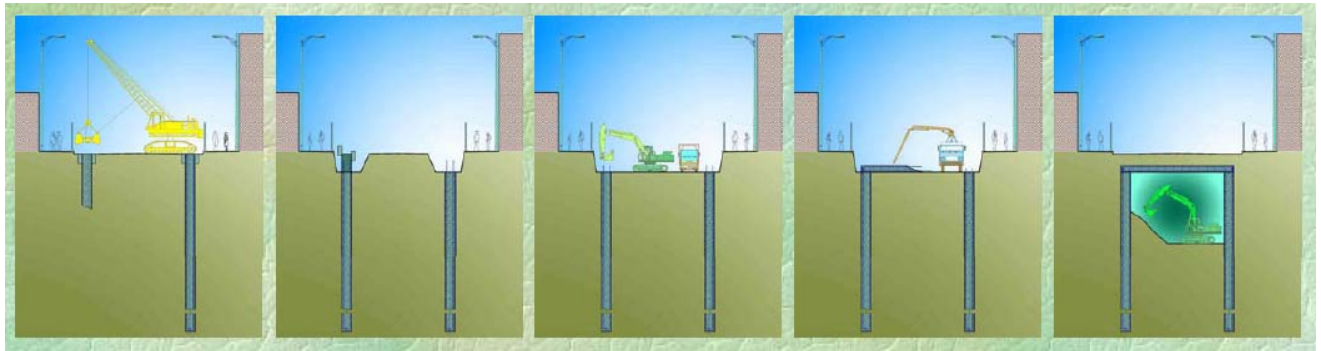


Figura 17

### MUROS PREFABRICADOS

Los muros prefabricados de hormigón son aquellos fabricados total o parcialmente en un proceso industrial mediante elementos de hormigón. Posteriormente son trasladados a su ubicación final, en donde son instalados o montados, con la posibilidad de incorporar otros elementos prefabricados o ejecutados en la propia obra. Existe una extensa variedad de este tipo de muros: muros completamente prefabricados, muros de pantalla prefabricada con tirante y zapata "in situ", muros de pantalla prefabricada y zapata "in situ", muros jaula (o de jardinería), muros de tierra armada, Muro de bloques aligerados, etc... Comentaremos en detalle en que consisten solo los siguientes:

#### Muro de Tierra Armada

Es un tipo de muro desarrollado por la empresa Tierra Armada, S.A., y esencialmente está construido por un paramento o piel formado por «escamas» prefabricadas a las que se enlazan armaduras que se anclan por rozamiento en el terreno (Figura 18) que se va terraplenando por tongadas. La combinación de las distintas piezas prefabricadas junto con la tierra compactada y las armaduras refuerzo dan como resultado un sistema estructuralmente resistente y estable debido a su gran peso propio.

Las escamas se prefabrican y luego se transportan y se colocan de acuerdo con la figura 19. Cada escama lleva pasadores metálicos y alojamientos para su enlace con las contiguas. El comienzo del montaje de las escamas se realiza a partir de una solera o murete de arranque. La ocupación requerida por este tipo de muro, que va a depender de las características geotécnicas del relleno, es muy superior a la que necesitan los muros de pantalla y contrafuerte.

Sus principales ventajas son las siguientes:

- Su construcción es fácil y rápida
- Su coste es inferior al de los demás sistemas alternativos (entre un 20 y un 50% menor) y suele quedar perfectamente definido de antemano, sin que posteriormente existan sorpresas.
- No tiene limitaciones prácticas, en longitud y altura.

Su construcción está particularmente recomendada en terrenos malos como cimentación



Figura 18



Figura 18

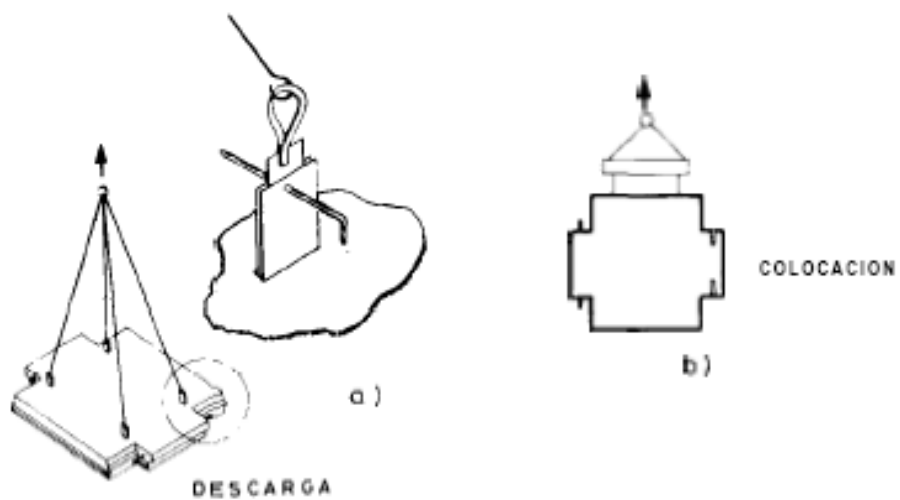


Figura 19

### Muros Jaula o Jardinera

Consisten en una estructura prefabricada de hormigón en forma de jardinera que se rellena de material tipo suelo (Figura 20) Existen diversas patentes hoy en día de este tipo de muros, fabricándose los elementos que los constituyen en una amplia gama de tamaños, con objeto de adaptarse a cualquier situación, por complicada que sea.

Se suele utilizar este muro en las vías de comunicación de gran capacidad de entrada a las grandes ciudades, debido a problemas de espacio y al buen aspecto estético que presentan si además se plantan diversas especies vegetales. Sus principales ventajas son la rapidez y la facilidad de su montaje, por lo que pueden estar especialmente indicados en aquellos casos en los que se requiera una estabilización inmediata.



Figura 20

### 3.4 FORMAS DE AGOTAMIENTO

En general el muro puede alcanzar los siguientes estados límites, de servicio o últimos.

**A) Giro excesivo del muro:** considerado como un cuerpo rígido (Figura. 20)

**B) Deslizamiento del muro** (Figura 21)

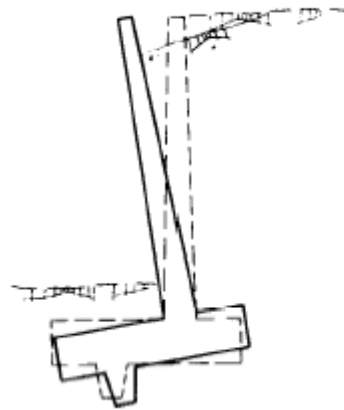


Figura 20

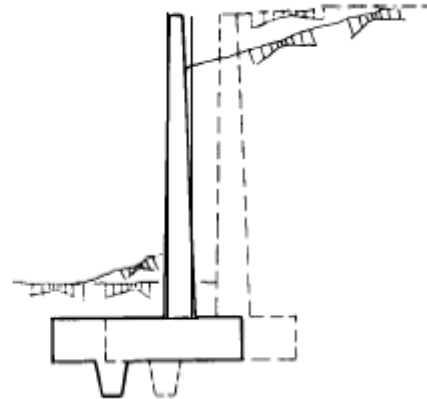


Figura 21

**C) Deslizamiento profundo de muro** (Figura. 22). Es debido a la formación de una superficie de deslizamiento profunda, de forma aproximadamente circular. Este tipo de fallo puede presentarse si existe una capa de suelo blando en una profundidad igual a aproximadamente a vez y media la altura del muro, contada desde el plano de cimentación de la zapata. En ese caso debe investigarse la seguridad frente a este estado límite, por los procedimientos clásicos.

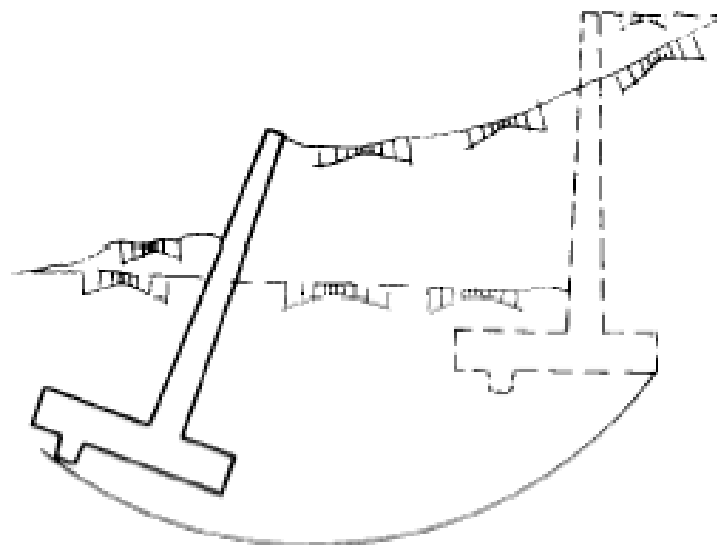


Figura 22

**D) Deformación excesiva del alzado** (Figura 23). Es una situación rara salvo en muros muy esbeltos, lo cual es un caso poco frecuente.

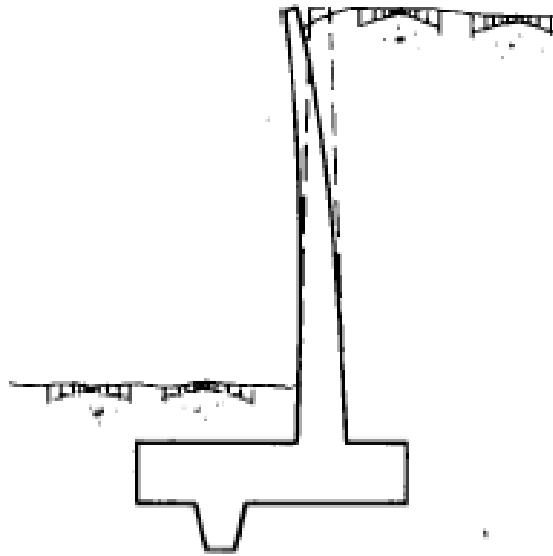


Figura 23

**E) Fisuración excesiva** (Figura 24). Puede presentarse en todas las zonas de tracción, y se trata de una fisuración especialmente grave si su ancho es excesivo, ya que en general el terreno está en estado húmedo y la fisuración no es observable.

ALBERTO VILLARINO OTERO

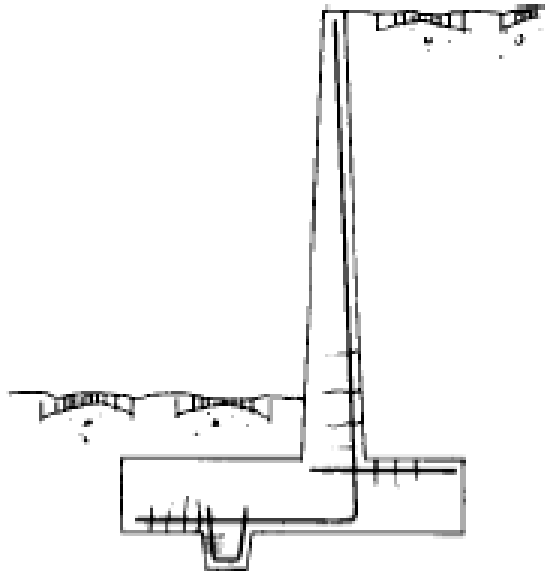


Figura 24

**F) Rotura por flexión** (Figura 25). Puede producirse en el alzado, la puntera o el talón. Como las cuantías en muros suelen ser bajas, los síntomas de prerrotura sólo son observables en la cara de tracción, que en todos los casos esta oculta, con lo cual no existe ningún síntoma de aviso.

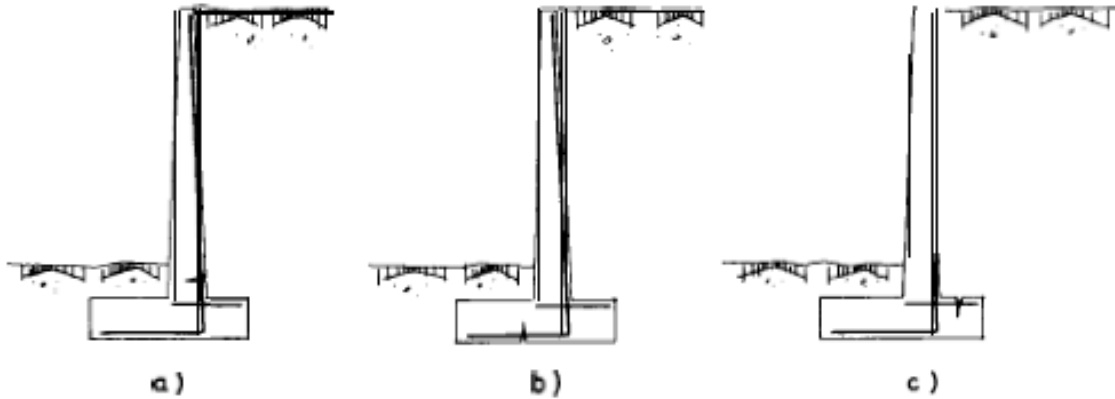


Figura 25

**G) Rotura por esfuerzo cortante.** Puede presentarse en alzado, puntera, talón o tacón (Figura 26)

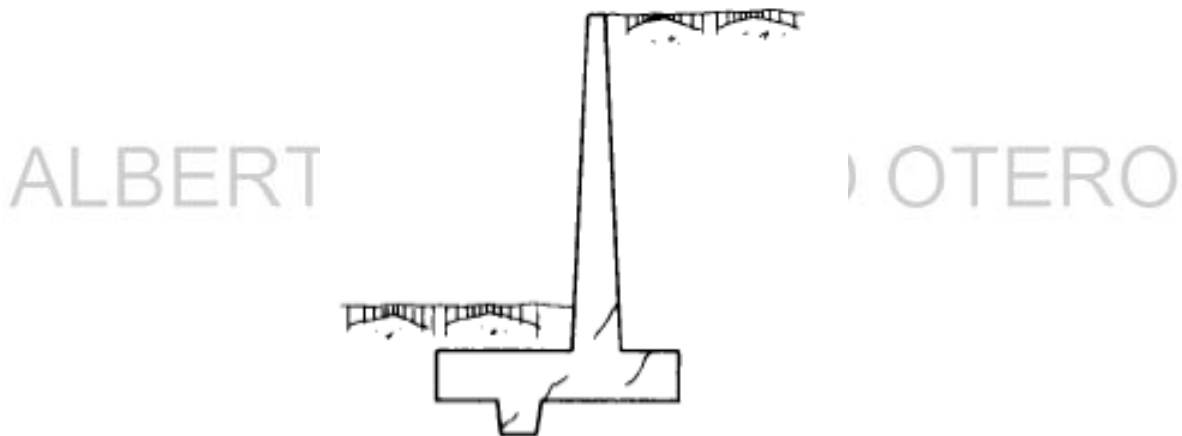


Figura 26

**H) Rotura por esfuerzo rasante.** La sección peligrosa suele ser la de arranque del alzado, AB (Figura 27) que es una junta de hormigonado obligada, en zona de máximo momento flector y máximo esfuerzo cortante.

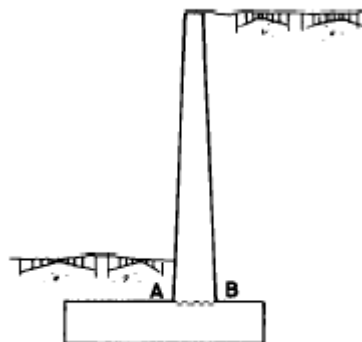


Figura 27

**I) Rotura por fallo de solape.** La sección peligrosa suele ser la de arranque de la armadura de tracción del alzado, donde la longitud de solape (Fig. 28) debe ser cuidadosamente estudiada, ya que por razones constructivas el solape se hace para la totalidad de la armadura en la zona de máximos esfuerzos de flexión y corte.

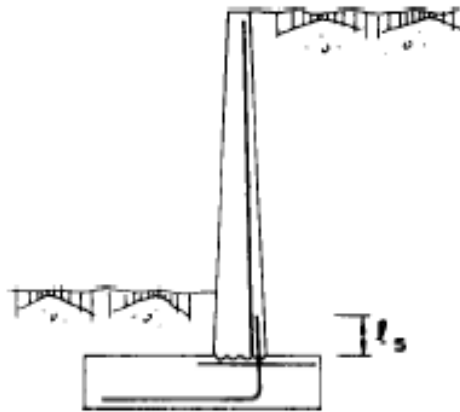


Figura 28

### 3.5 EMPUJE DEL TERRENO SOBRE LOS MUROS

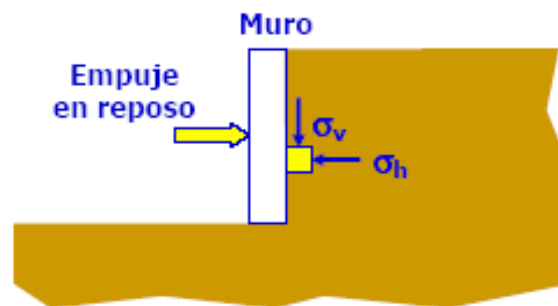
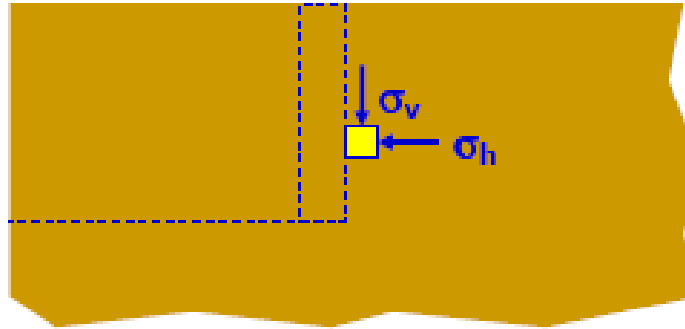
Sea un punto en el interior de un terreno seco a una profundidad "z" la tensión vertical del mismo se puede definir como,  $\sigma_v(z) = \gamma \cdot z$  (donde  $\gamma$  es el peso específico del terreno), esas tensiones verticales generaran unas tensiones horizontales que se relacionan mediante el coeficiente de empuje al reposo  $K_0 = \sigma_v / \sigma_h$ , que en suelos normalmente consolidados y arenas es  $K_0 = 1 - \text{Sen} \varnothing'$  (donde  $\varnothing'$  es el ángulo de rozamiento del terreno)

La presión del terreno sobre un muro está fuertemente condicionada por la deformabilidad del muro, entendiendo por tal no sólo la deformación que el muro experimenta como pieza de hormigón, sino también la que en el muro produce la deformación del terreno de cimentación.

Si el muro y el terreno sobre el que se cimenta, son tales que las deformaciones son prácticamente nulas, se está en el caso de **empuje al reposo**. Según la teoría de Rankine

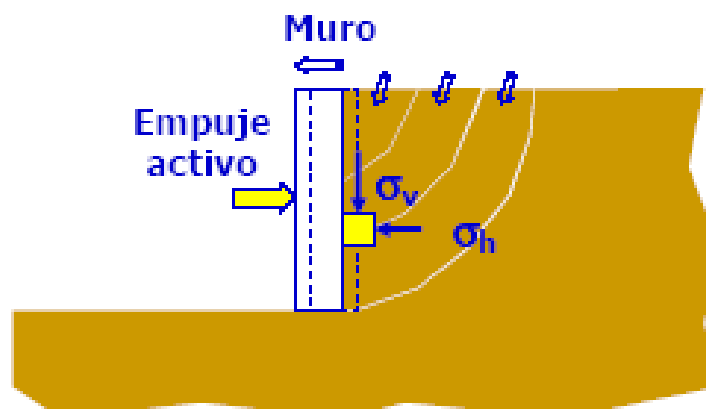
$K_a = \frac{1 + \text{Sen} \varnothing'}{1 - \text{Sen} \varnothing'}$  (donde  $K_a$  es el coeficiente de empuje al reposo) Algunos muros de gravedad y de sótano arriostrados pueden encontrarse en ese caso.



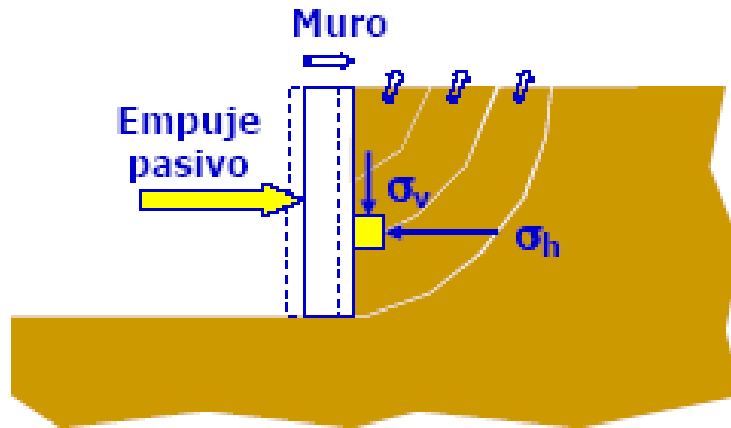


Si el muro se desplaza, permitiendo la expansión lateral del suelo se produce un fallo por corte del suelo y la cuña de rotura avanza hacia el muro y desciende. Las tensiones verticales no varían (dependen de la profundidad) • Las horizontales, empujes, disminuyen ya que el terreno situado a la derecha sufrirá una relajación disminuyendo su tensión horizontal.

El empuje se reduce desde el valor del empuje al reposo hasta el denominado valor de **empuje activo**, que es el mínimo valor posible del empuje. El cociente entre las tensiones se denomina ahora coeficiente de empuje activo  $K_a$  y es menor que  $K_0$ . Según la teoría de Rankine  $K_a = \frac{1 - \text{Sen}\phi'}{1 + \text{Sen}\phi'}$  Es el caso del empuje sobre muros que no tienen impedido el movimiento hacia el intradós (muros de gravedad, en "L", ...)



Por el contrario, si se aplican fuerzas al muro de forma que éste empuje al relleno, el fallo se produce mediante una cuña mucho más amplia, que experimenta un ascenso. Este valor recibe el nombre de **empuje pasivo** y es el mayor valor que puede alcanzar el empuje. Es el caso de pantallas ancladas en el terreno. El empuje al reposo es por tanto de valor intermedio entre el empuje activo y el empuje pasivo.

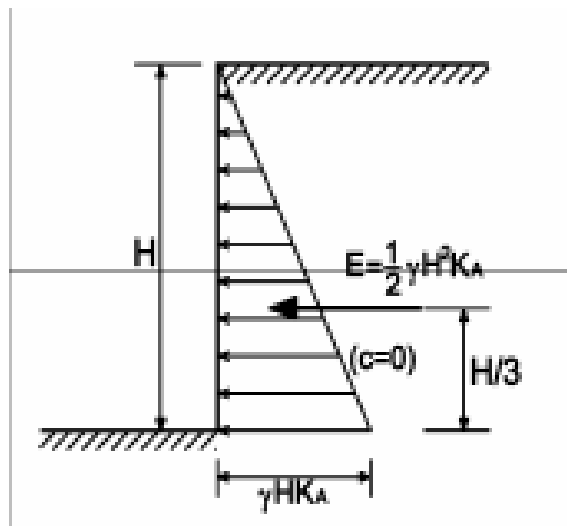


ALBERTO VILLARINO OTERO

### 3.6 DIAGRAMAS DE EMPUJES

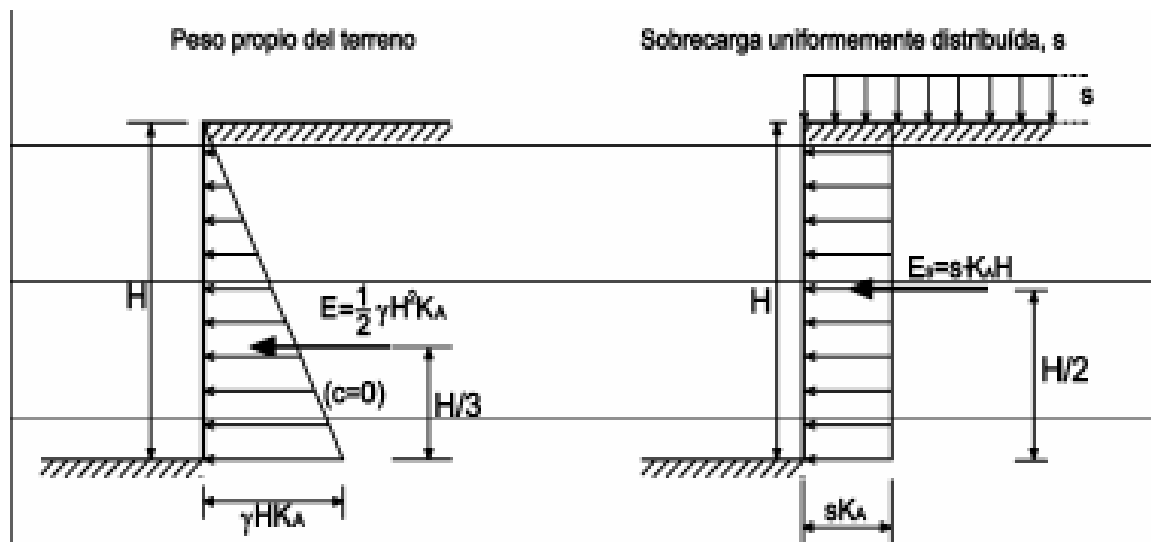
En el caso de existir únicamente el empuje del terreno la ley de empujes es triangular y su resultante esta situada a  $H/3$  des de la base del muro

$$e = K \cdot \sigma_v = K \cdot \gamma \cdot H \Rightarrow E = \frac{1}{2} \cdot K \cdot \gamma \cdot H^2$$



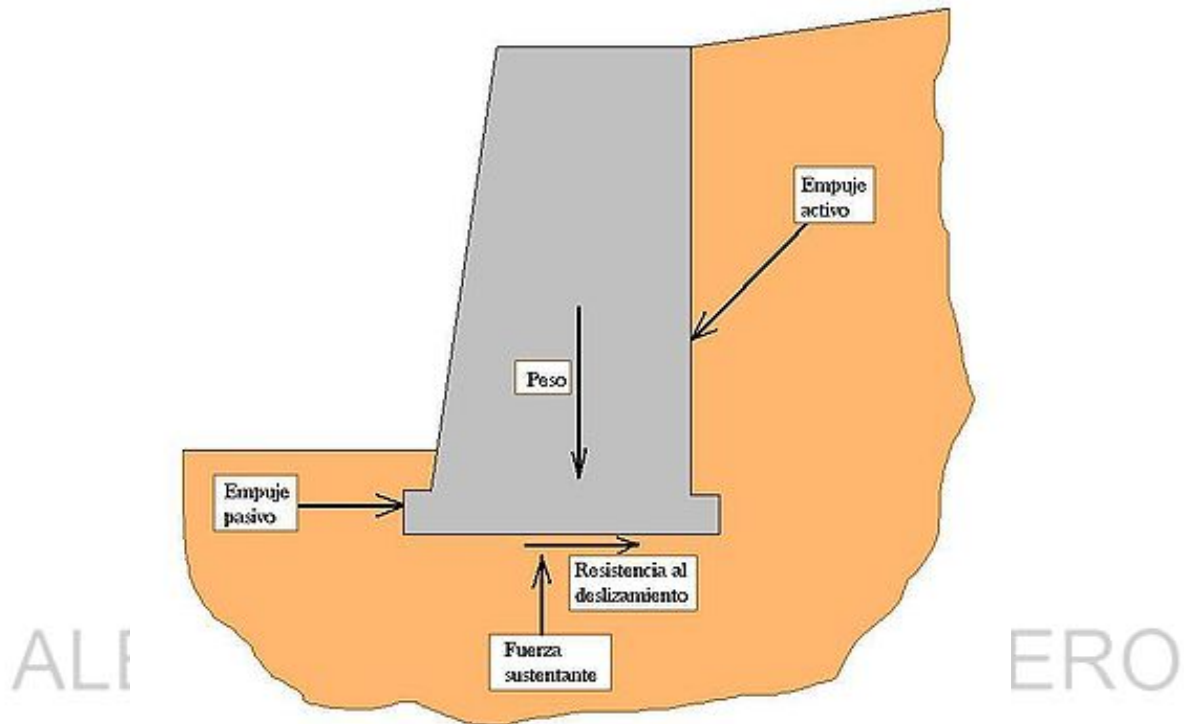
En el caso de la existencia de una sobrecarga en el terreno, se añade un término constante y el diagrama de empujes se hace trapezoidal por superposición:

$$e = K \cdot \sigma_v = K \cdot (\gamma \cdot H + s) \Rightarrow E = \frac{1}{2} \cdot K \cdot \gamma \cdot H^2 + K \cdot s \cdot H$$



### 3.7 COEFICIENTES DE SEGURIDAD

Siendo el muro de la figura Consideremos el muro de la figura sometido a un empuje E, siendo N la resultante de todas las cargas verticales



Su seguridad a vuelco será :

**Seguridad a vuelco:**  $C_{sv} = \text{Momentos estabilizadores} / \text{Momentos volcadores}$

**Seguridad a deslizamiento:**  $C_{sd} = (C + \sigma_N \cdot \text{Tg } \delta) / \sigma_T$

Donde:

C= Cohesión del terreno

$\sigma_N$ = Tensiones normales a la base del muro

Tg  $\delta$ = tangente del ángulo de rozamiento terreno-muro

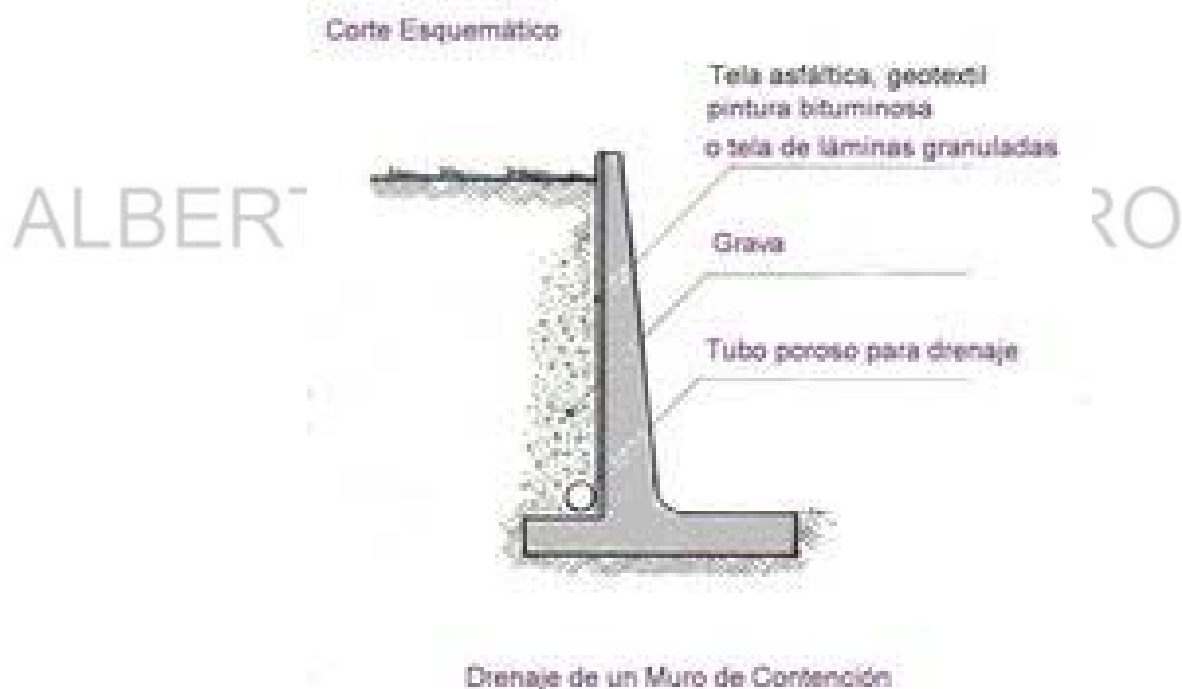
$\sigma_T$ =tensiones tangenciales ala base del muro

### 3.8 DRENAJE

Los empujes pueden triplicarse si no hay o no funciona el sistema de drenaje. Es necesario garantizar la posibilidad de establecimiento de la red filtrante de drenaje del relleno del trasdós.

La solución habitual es emplear tubos de hormigón sin finos o de placas de hormigón sin finos. En general, los tubos de hormigón sin finos basta con que estén rodeados de una arena limpia del tipo de la utilizable en hormigones. El relleno en sí ha de ser también permeable. Si el muro es muy alto o el relleno no muy permeable, pueden disponerse drenes verticales a 5 ó 6 m. de separación.

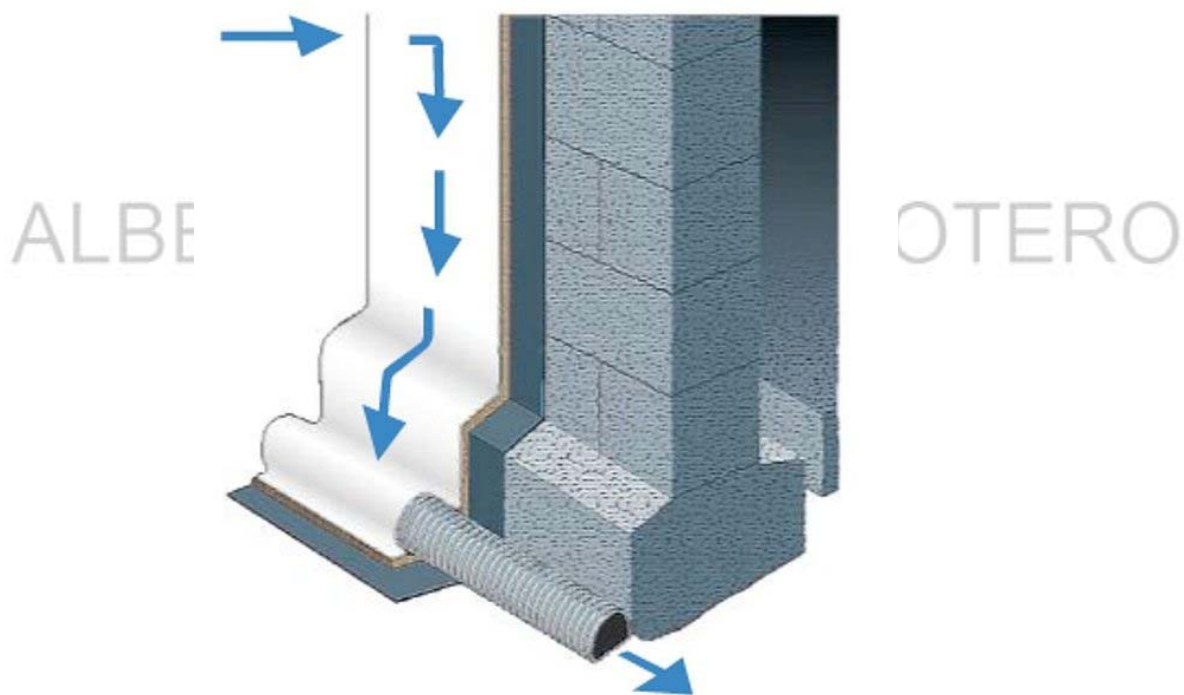
En casos especiales, puede recurrirse a la solución de revestir el trasdós con placas de hormigón sin finos adosadas a la impermeabilización. El coste del drenaje es muy bajo en el coste total del muro y sin embargo, su influencia sobre el valor del empuje y sobre la impermeabilización del muro son muy importantes.



### 3.9 IMPERMEABILIZACIÓN

Si no dispone, no es posible garantizar la impermeabilidad del muro, con los problemas estéticos y/o funcionales que ello supone y que deberán ser considerados y solucionados. Aunque esto no importe, la impermeabilización es siempre recomendable, salvo que las condiciones de fisuración estén completamente garantizadas.

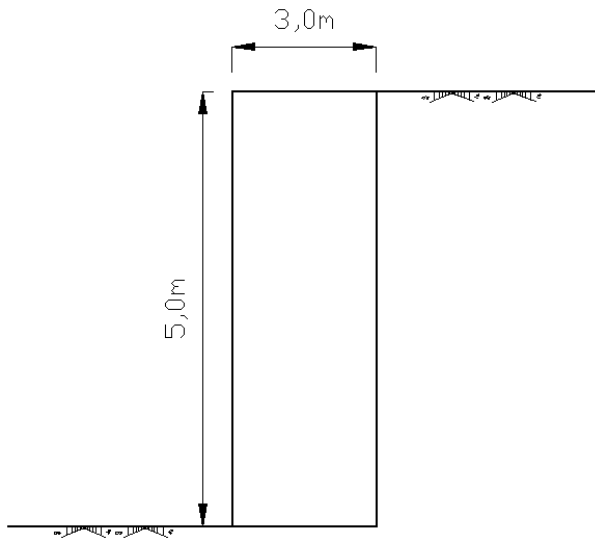
Una solución muy simple y muy económica es la de dar una pintura asfáltica sobre toda la superficie del trasdós. Cuando se desea una garantía alta de impermeabilidad, debe disponerse una lámina asfáltica. , si es de temer que durante la ejecución del relleno se dañe la impermeabilización, conviene protegerla con una capa de mortero. Junto a la coronación es conveniente disponer una cuneta de recogida y una capa de arcilla compactada y con ligera pendiente, que reduzca la entrada de agua de lluvia al relleno del trasdós.



### 3.10 PROBLEMAS

#### PROBLEMA N° 1

Dado muro de hormigón en masa de  $\gamma=2,2 \text{ t/m}^3$  de 5m de altura y 3m de ancho. El relleno del trasdós es un suelo de  $\gamma=2,1 \text{ t/m}^3$  cohesión  $0 \text{ T/m}^2$  y ángulo de rozamiento interno  $\phi = 30^\circ$ . El ángulo de rozamiento en la base del muro es  $\delta=22,5^\circ$ . Suponiendo empuje activo y ausencia de nivel freático, calcular el factor de seguridad al vuelco y al deslizamiento.

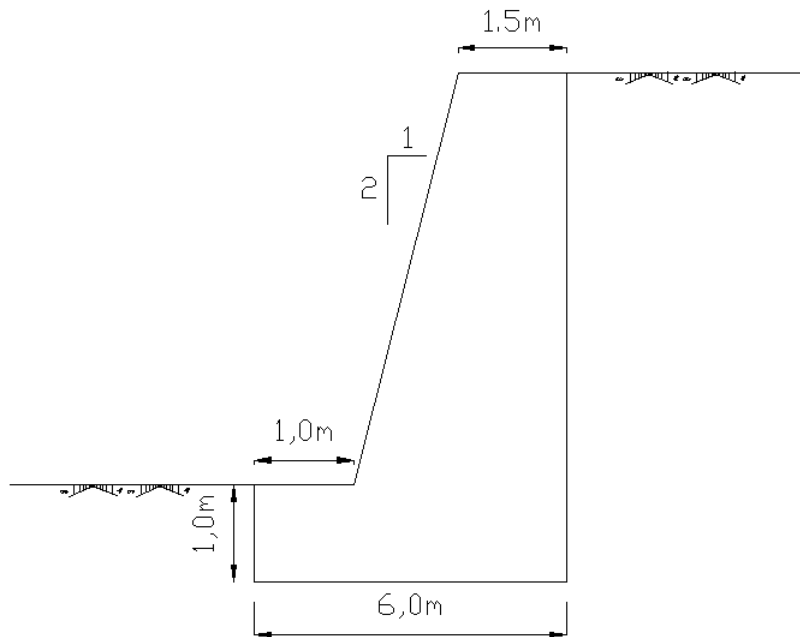


ALBERTO VILLARINO OTERO

Solución:  $C_{sv}=3,4$  y  $C_{sd}=1,56$

### PROBLEMA N° 2

Dado el muro de hormigón en masa de la figura de  $\gamma = 2,3 \text{ t/m}^3$  y sabiendo que el terreno en el trasdós tiene un  $\phi = 32^\circ$   $C=0 \text{ t/m}^2$  y  $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$  y en la puntera del muro el terreno tiene estos otros parámetros geotécnicos  $\phi = 30^\circ$   $C=0 \text{ t/m}^2$   $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ . Suponiendo empuje activo y pasivo, calcular el coeficiente de seguridad al vuelco.

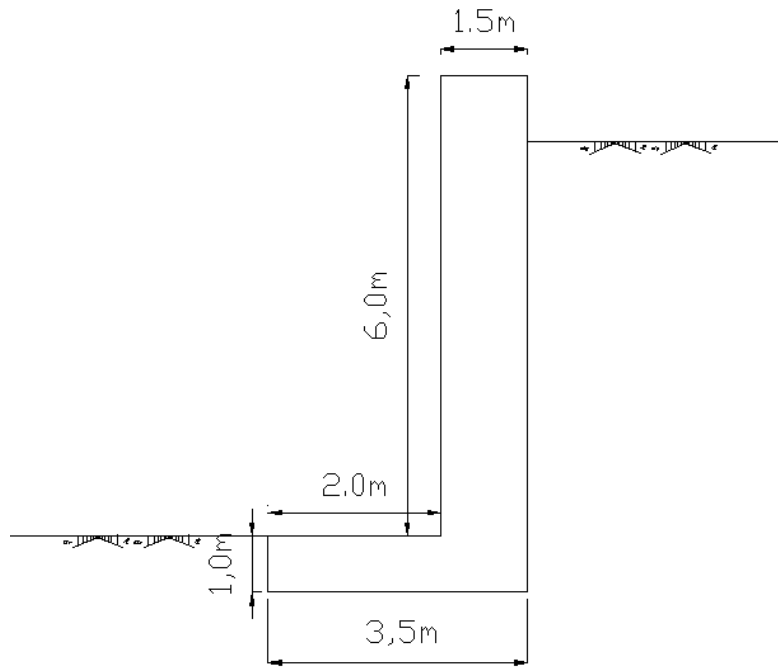


Solución:  $C_{sv} = 5,57$



PROBLEMA N° 3

El muro de hormigón en masa de la figura tiene un  $\gamma = 23 \text{ kN/m}^3$  y sostiene un suelo granular de  $\phi = 30^\circ$   $C = 0 \text{ t/m}^2$  y  $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$  y se encuentra a 5 m de la base de la cimentación del muro. El ángulo de rozamiento en la base del muro es  $3/4 \cdot \phi$  del suelo granular. Suponiendo empuje activo y pasivo, calcular el factor de seguridad al vuelco y al deslizamiento.



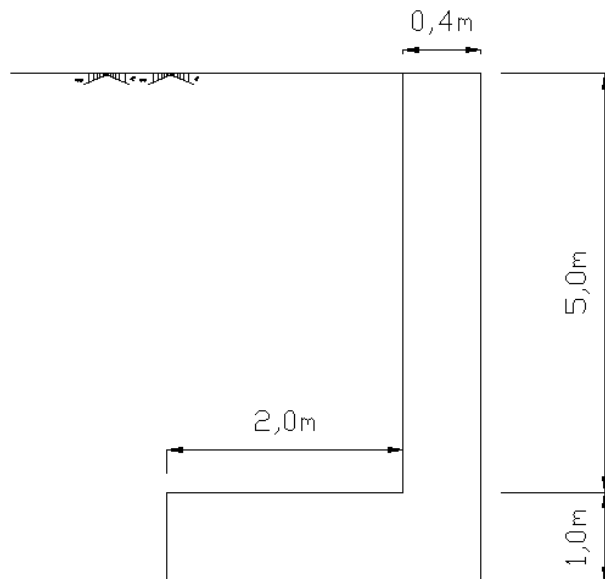
NO OTERO

Solución:  $C_{sv} = 5,75$  y  $C_{sd} = 2,48$



### PROBLEMA N° 5

Se pretende construir un muro de hormigón armado, cuya sección es la de la figura. El hormigón de la zapata es del tipo HA-20 con un  $\gamma_z = 2,2 \text{ t/m}^3$  y el del alzado es del tipo HA-30, con un  $\gamma_a = 2,3 \text{ t/m}^3$ . El terreno contenido por el muro tiene un coeficiente de empuje activo  $K_a = 0,3$  y  $\gamma = 1,52 \text{ t/m}^3$ . Calcular el coeficiente de seguridad al vuelco.

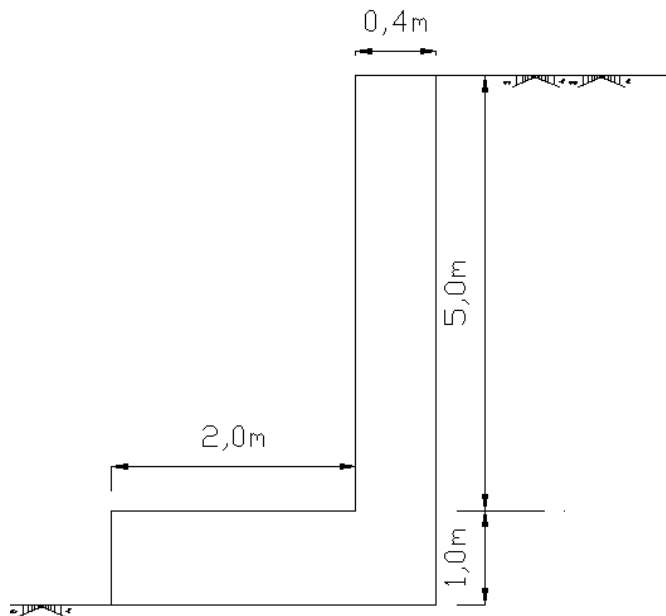


ALBERTO VILLARINO OTERO

Solución:  $C_{sv} = 1,74$

### PROBLEMA N° 6

Se pretende construir un muro de hormigón armado, cuya sección es la de la figura. El hormigón de la zapata es del tipo HA-20 con un  $\gamma_z = 2,2 \text{ t/m}^3$  y el del alzado es del tipo HA-30, con un  $\gamma_a = 2,3 \text{ t/m}^3$ . El terreno contenido por el muro tiene un coeficiente de empuje activo  $K_a = 0,3$ . Se desea conocer cual debe ser la densidad del terreno para que esté asegurada la seguridad al vuelco ( $C_{sv} = 1$ ).

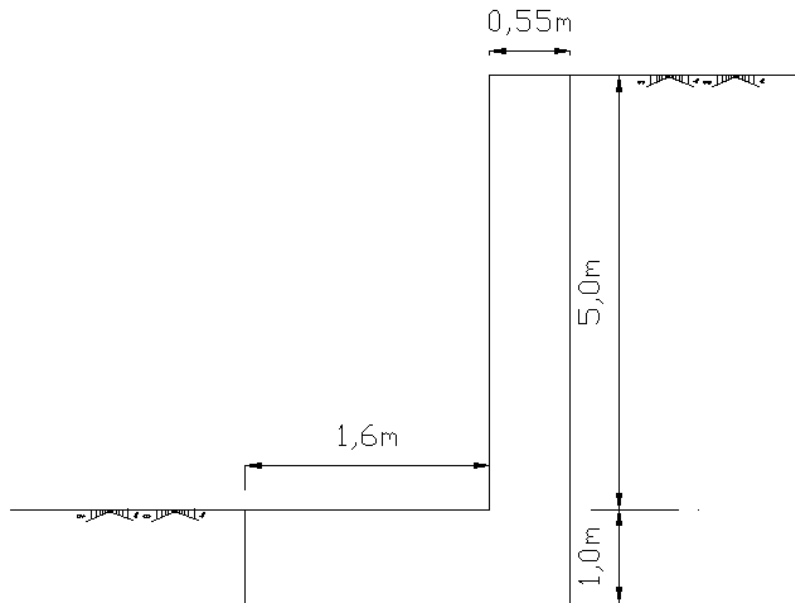


ALBERTO VILLARINO OTERO

Solución:  $\gamma = 1,52 \text{ t/m}^3$

### PROBLEMA N° 7

El un muro de hormigón armado de la figura esta compuesto por un hormigón tipo HA-30 con un  $\gamma_M = 2,5 \text{ t/m}^3$ . El terreno contenido por el muro tiene un coeficiente de empuje activo  $K_a = 0,3$  y  $\gamma_T = 1,8 \text{ t/m}^3$ . Sabiendo que en la puntera del muro existe un empuje pasivo correspondiente a un terreno de  $\phi = 30^\circ$   $C = 0 \text{ t/m}^2$ , se desea conocer cual debe ser la densidad de ese terreno para que esté asegurada la seguridad al vuelco ( $C_{sv} = 1$ ).

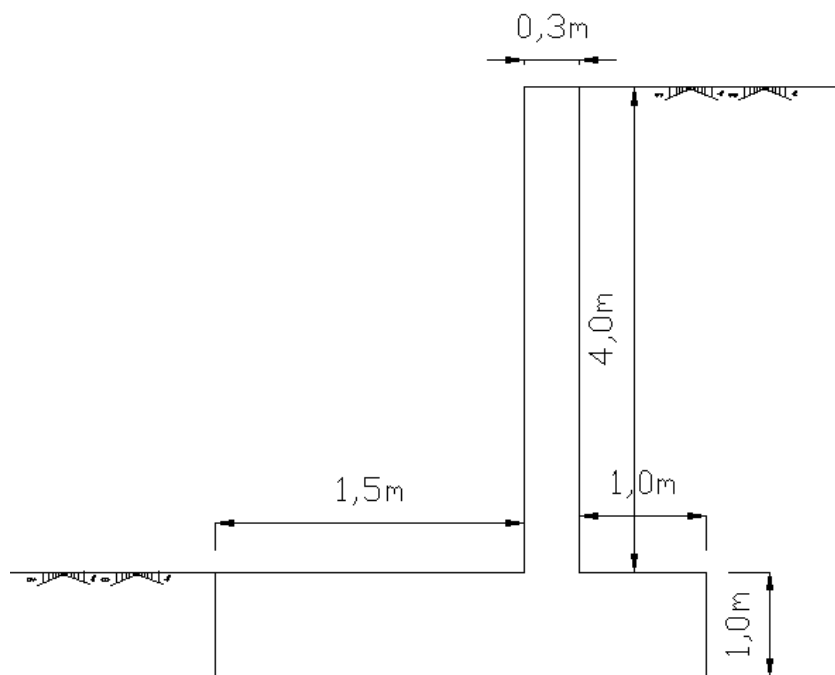


ALBERTO VILLARINO OTERO

Solución:  $\gamma = 1,52 \text{ t/m}^3$

PROBLEMA N° 8

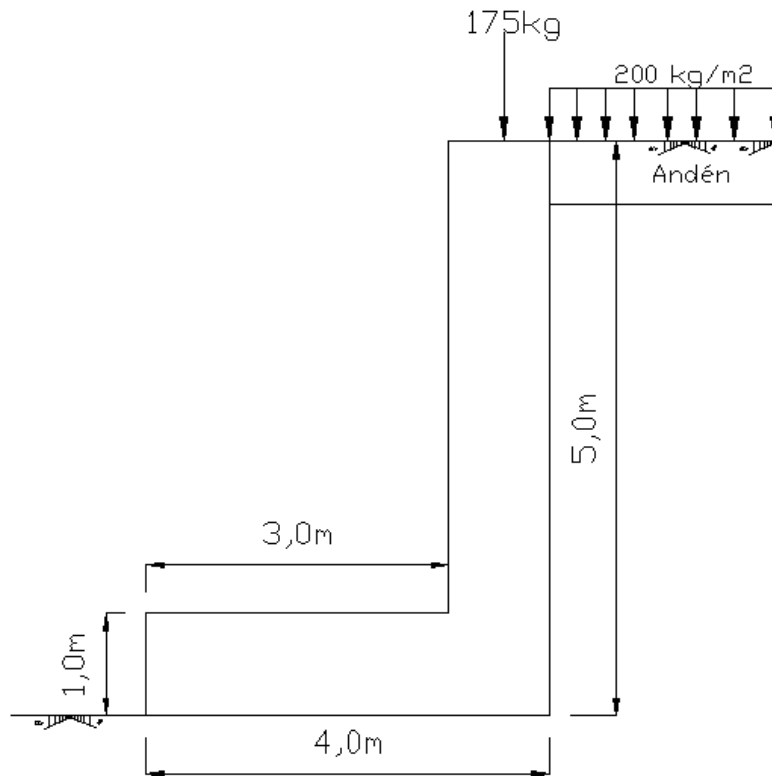
Se pretende construir un muro de hormigón armado, cuya sección es la de la figura. El hormigón de la zapata es del tipo HA-25 con un  $\gamma_z = 2,2 \text{ t/m}^3$  y el del alzado es del tipo HA-30, con un  $\gamma_a = 2,3 \text{ t/m}^3$ . El terreno contenido por el muro tiene  $\phi = 32^\circ$   $C = 0 \text{ t/m}^2$  y  $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$  y el terreno en la puntera del muro  $\phi = 30^\circ$   $C = 0 \text{ t/m}^2$  y  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ . El ángulo de rozamiento en la base del muro es  $3/5 \cdot \phi$  del terreno que sostiene el muro. Calcular el coeficiente de seguridad al deslizamiento.



Solución:  $C_{sd} = 1,44$

PROBLEMA Nº 9

Se pretende construir un muro de hormigón armado HA-25 con un  $\gamma = 2,2 \text{ t/m}^3$ , cuya sección es la de la figura, que contiene el terreno sobre el que se apoya un andén de una estación de tren. Las características de dicho terreno son  $\phi = 30^\circ$   $C = 0 \text{ t/m}^2$  y  $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ . La sobrecarga de uso sobre dicho andén correspondiente al tránsito de persona es de  $200 \text{ kg/m}^2$ , despreciándose la sobrecarga debida al pavimento del andén. En la coronación del muro se dispone una barandilla de acero cuya carga se estima como concentrada en la mitad de la coronación y de valor  $175 \text{ kg}$ . Considerar empuje activo y determinar si con todas las cargas actuantes el muro es seguro al vuelco.



NO OTERO

Solución:  $C_{sv} = 3,68$

## 4. CIMENTACIONES

### 4.1 PRINCIPIOS GENERALES

El **cimiento** es aquella parte de la estructura encargada de transmitir las cargas actuantes sobre la totalidad de la construcción al terreno. Dado que la resistencia y rigidez del terreno son, salvo raros casos, muy inferiores a las de la estructura, la cimentación posee un área en planta muy superior a la suma de las áreas de todos los pilares y muros de carga.

Una cimentación deberá **cumplir tres requisitos** fundamentales:

- a) El nivel de la cimentación deberá estar a una profundidad tal que se encuentre libre del peligro de heladas, cambios de volumen del suelo, capa freática, excavaciones posteriores
- b) Tendrá unas dimensiones tales que no superen la estabilidad o capacidad portante del suelo
- c) No deberá producir un asiento en el terreno que no sea absorbible por la estructura (asientos admisibles)

Muchos suelos, fundamentalmente los que tienen arcillas expansivas, varían mucho de volumen según su contenido de humedad. Dichos suelos deberán evitarse o recurrir a unas cimentaciones más profundas que apoyen en terrenos más estables

Otras veces, sin llegar al caso anterior, las alternancias de estaciones secas y húmedas o la proximidad de árboles caducifolios con riego o la rotura de conducciones de agua generan hinchamiento del suelo que puede producir el fallo de la estructura. Por ello conviene alejarla de todas las causas citadas como medida de precaución

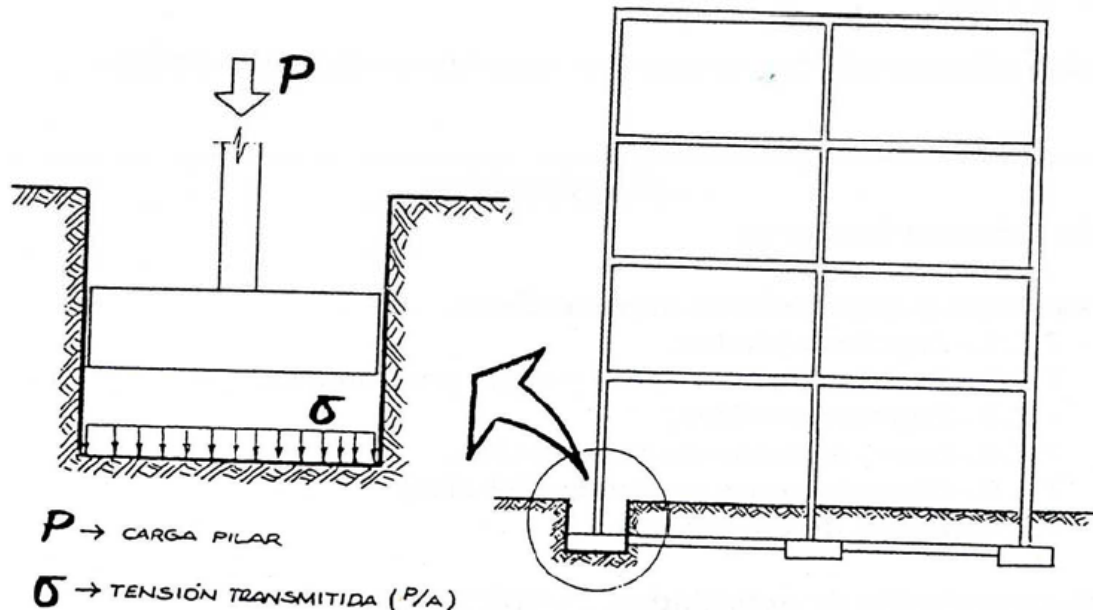
La exploración del terreno es necesaria para proporcionar al ingeniero proyectista datos sobre:

- a) La profundidad de la capa freática.
- b) Las diferentes capas del terreno conociendo su inclinación, espesor y características mecánicas (compresión simple, ensayo triaxial, etc.) y químicas (sulfatos, carbonatos, etc.).
- c) Muestras del suelo para conocer otras características mecánicas y la capacidad de asientos sobre suelos inalterados

El **firme** es el plano horizontal del estrato de terreno sobre el cual apoyamos nuestra cimentación, el cual debe ser capaz de soportar las tensiones transmitidas por la misma.

La **capacidad portante** de un terreno es la carga máxima (expresada en unidades de presión) que es capaz de soportar el terreno sin que se desencadene su rotura o asiento incontrolado de la construcción que descansa sobre el mismo. También se denomina carga de hundimiento, de rotura o última. La **carga admisible** es la carga de hundimiento dividida por un factor de seguridad.

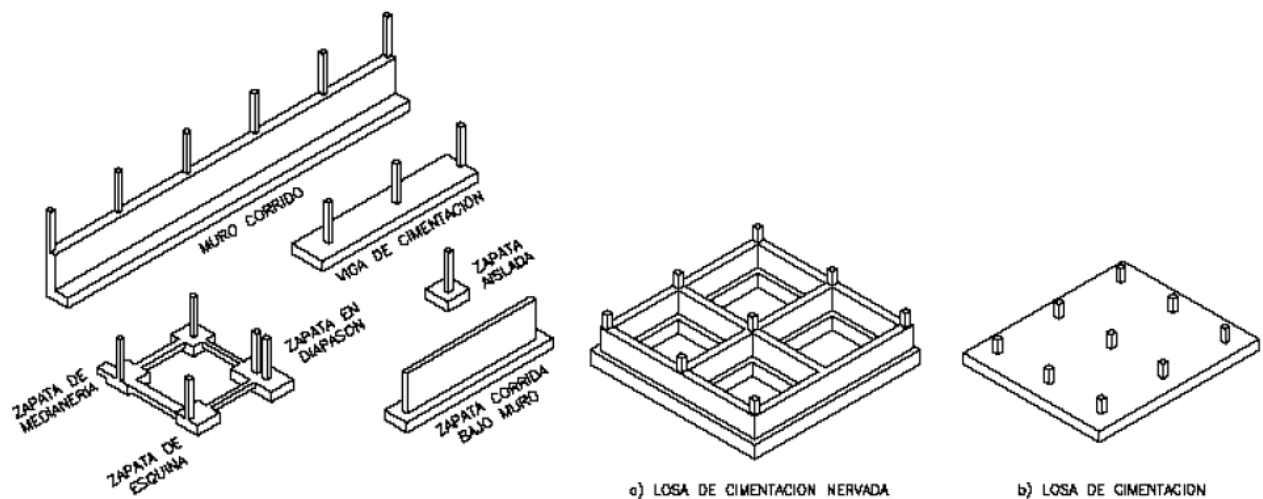




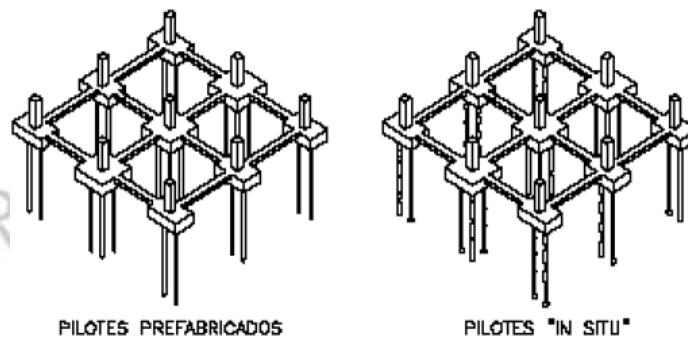
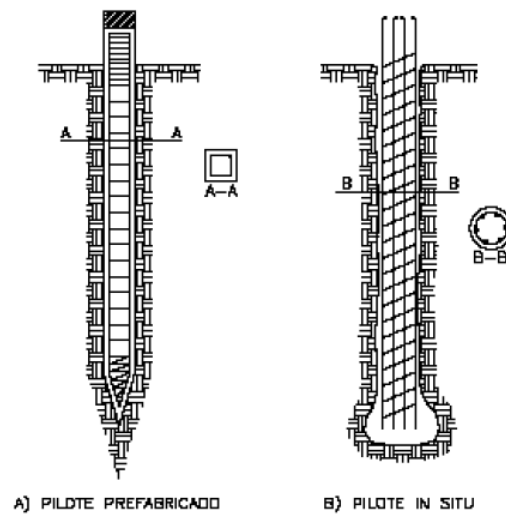
## 4.2 TIPOLOGIA DE LAS CIMENTACIONES

Las cimentaciones se clasifican en:

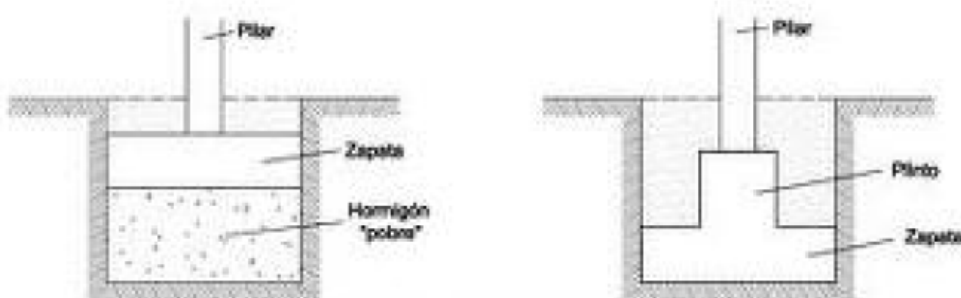
**Superficiales o directas:** cuando a nivel de la zona inferior de la estructura o próximo a él, el terreno presenta características adecuadas desde los puntos de vista técnico y económico para cimentar sobre él. La cimentación se realiza cercana a la superficie del suelo (profundidad aproximada desde 0,5m hasta los 4 metros) y se produce una repartición de cargas en al superficie. Es el caso de las **zapatas**, **losas (o placas)**, **vigas** y **muros**.



**Profundas:** cuando el nivel apto para cimentar está muy por debajo de la zona inferior de la estructura. Son elementos de gran longitud con respecto a su sección, que se hincan en el terreno o se construyen en una cavidad previamente excavada en el terreno. Es el caso de los **pilotes y micropilotes**



**Semiprofundas:** cuando el nivel de cimentación se encuentra a niveles intermedios de los casos anteriores es el caso de los **pozos de cimentación**.



Debido a la extensión del tema únicamente detallaremos los siguientes tipos:

## **CIMENTACIONES SUPERFICIALES**

### **Zapata aislada**

Son un tipo de cimentación superficial que sirve de base de elementos estructurales puntuales como son los pilares, de modo que esta amplía la superficie de apoyo hasta lograr que el suelo soporte sin problemas la carga que le transmite, en general son de planta cuadrada, pero en la proximidad de los lindes suelen hacerse rectangulares o circulares (figura 1a y 1b). Como excepción, se considera también como zapata aislada aquélla sobre la que cargan dos pilares contiguos separados por una junta de dilatación, tipo «diapasón» (Figura 1c) A todos los efectos de cálculo, en lo que sigue, ambos pilares se consideran como un pilar único con perímetro el circunscrito.

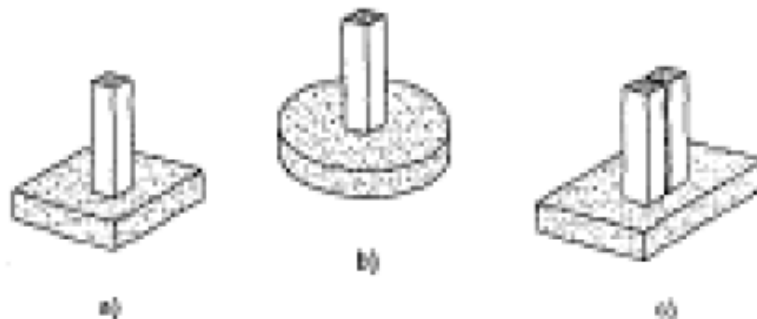


Figura 1

En cuanto a su construcción, antes de realizar la zapata, se ha de verter una capa de 10cm de hormigón de limpieza, el cual nos asegura una regularización de la superficie de contacto, que las tierras no entren en contacto con las armaduras, y facilita las labores de replanteo y colocación de las mismas. Dicho hormigón suele ser un HM-100 o HM-125, ya que no tiene ninguna función resistente.

Las armaduras deben tener un recubrimiento de 5cm para protegerlas de la oxidación y para que trabajen solidariamente con el hormigón, por lo que en su colocación, no las podemos dejar apoyadas en el hormigón de limpieza, sino que irán sobre unos separadores que me aseguren dicho recubrimiento.

### **Zapata Corrida**

Las zapatas corridas pueden ser bajo muros, o bajo pilares, y se define como la que recibe cargas lineales, en general a través de un muro, que si es de hormigón armado, puede transmitir un momento flector a la cimentación. Son cimentaciones de gran longitud en comparación con su sección transversal. Las zapatas corridas están indicadas cuando:

- Se trata de cimentar un elemento continuo
- Queremos homogeneizar los asientos de una alineación de pilares y nos sirve para arriostramiento

- Queremos reducir el trabajo del terreno
  - Para puentear defectos y heterogeneidades del terreno
  - Por la proximidad de las zapatas aisladas, resulta más sencillo realizar una zapata corrida
- Ver (Figura 2)

### **Zapata Medianera o Excéntrica**

La necesidad de su uso aparece en cuanto se disponen soportes junto a las lindes de propiedad del terreno en que se va a construir el edificio. Cuando tengamos pilares justo al borde de nuestro solar (medianera) como no podemos ocupar terreno del solar colindante, dispondremos la zapata de forma que el pilar descansa en su borde, en cuyo caso la denominaremos zapata medianera.

Al recibir la carga el pilar de forma excéntrica, esta carga crea un momento de vuelco que tiende a levantar a la zapata, pudiendo producirse una falta de equilibrio en la misma o la rotura del terreno. Es corriente que la dimensión paralela a la medianera sea el borde que la dirección perpendicular, lo cual reduce la excentricidad, pero no la elimina.

Para solucionarlo, se colocan en la dirección del vuelco (perpendicular a las medianeras) unas vigas de hormigón armado o **vigas centradoras** que unen las zapatas medianeras con las zapatas adyacentes, de forma que ambas trabajan solidariamente y de esta forma se evita el vuelco de la primera ya que dicho vuelco tendría que afectar todo el conjunto zapata medianera viga centradora-zapata centrada. Las zapatas de esquina, como tienden al vuelco en las dos direcciones, necesitarán de dos vigas centradoras que la unan a las zapatas medianeras adyacentes.

Aparte de estas vigas centradoras, existen las **vigas riostras, vigas de atado o zunchos de atado**, que son elementos de menor sección que las vigas centradoras cuya misión es unificar a toda la cimentación ante los posibles asientos diferenciales del terreno debido a su heterogeneidad. Ver (Figura 2).

### **Zapata de esquina**

Esta tipo de cimentaciones aparecen en los edificios, bien en las esquinas en que concurren dos medianeras o bien en las que concurren una medianera y una fachada en límites de vía pública. Son por tanto muy frecuentes en construcciones urbanas y en ciertos tipos de construcciones industriales. Ver (Figura 2).

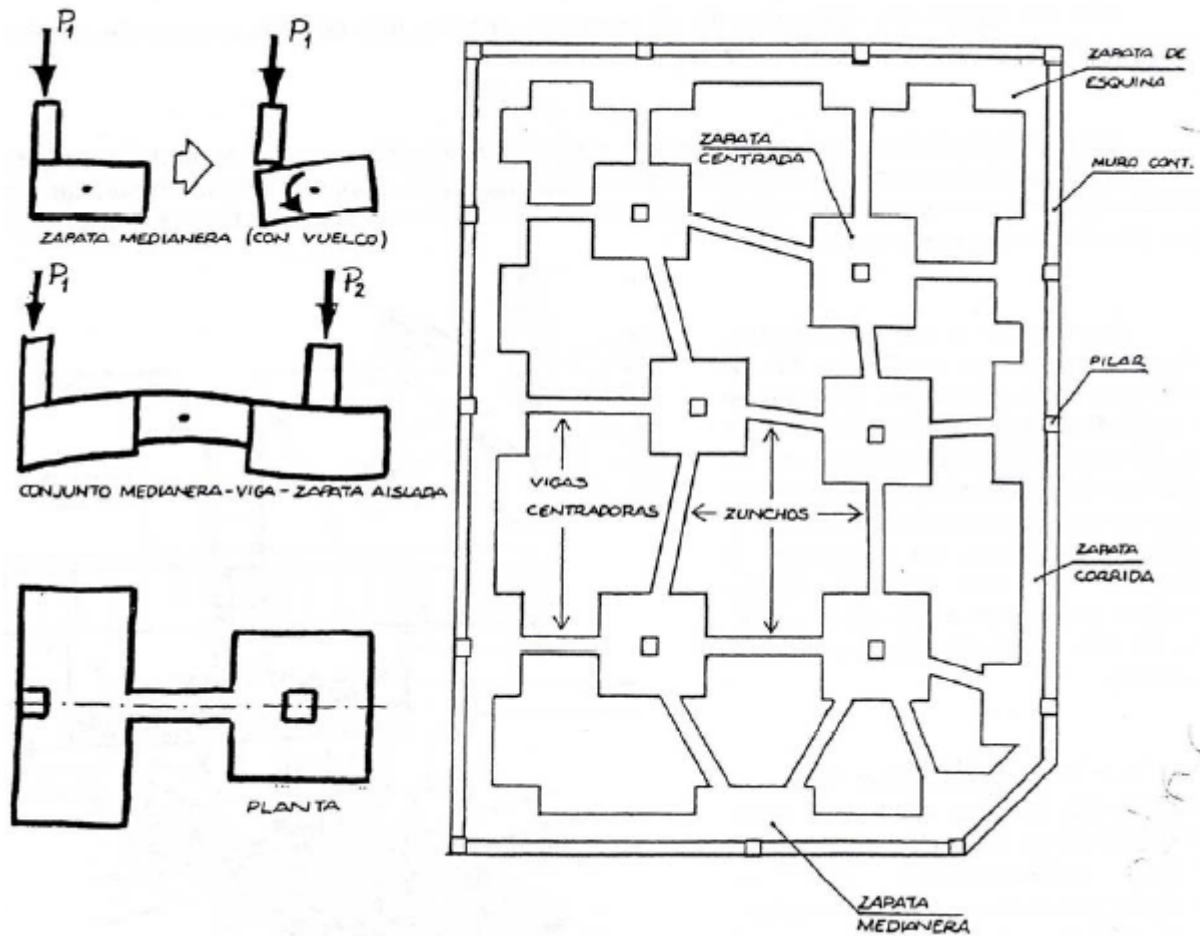


Figura 2

### Zapata Combinada

Se entiende por zapata combinada la que cimienta dos pilares. En general, es una buena práctica dimensionar el cimiento de forma que el centro de gravedad de su superficie en planta coincida con el de las acciones.

Esto puede conseguirse de varias formas (figura 3). Una de ellas consiste en construir la zapata de ancho constante, de forma que el centro de gravedad del rectángulo de la planta de la zapata coincida con el punto de paso de la resultante de las cargas de los dos pilares. Esta solución también se puede alcanzar con otras formas de planta, como por ejemplo la trapezoidal, pero tiene el inconveniente de complicar mucho la ferralla, al organizarla con barras de longitud variable, por lo que muy rara vez se recurre a esta solución. Actualmente, por motivos económicos, se tiende a dar a las zapatas combinadas canto constante,

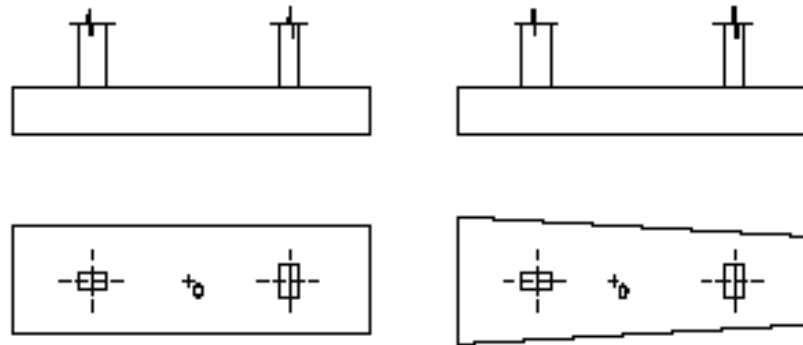


Figura 3

### **Viga de Cimentación**

Se entiende por viga de cimentación aquella sobre la que apoyan tres o más pilares. De nuevo aquí la sección transversal puede ser rectangular o bien adoptar la forma de T invertida con economía de hormigón y acero, pero con un mayor coste de encofrados y mano de obra. La tendencia actual es hacia secciones rectangulares, salvo en grandes cimentaciones, en las que las formas más complicadas pueden compensar desde un punto de vista económico.

### **Losa o placa de cimentación**

Tiene por objeto transmitir las cargas de la construcción al terreno distribuyendo los esfuerzos uniformemente. Es una buena solución cuando:

- La construcción posee una superficie pequeña en relación al volumen (rascacielos, depósitos, silos)
- El terreno tiene estratificación desigual y son previsibles asientos irregulares
- La superficie de cimentación que ocuparían las zapatas aisladas supere el 50% de la superficie de la construcción
- La capacidad portante del terreno es muy pequeña

## **CIMENTACIONES PROFUNDAS**

### **PILOTES**

El **sistema de pilotaje se utiliza** en los siguientes casos:

1. Cuando las cargas transmitidas por la construcción o estructura no se pueden distribuir adecuadamente en una cimentación superficial excediendo la capacidad portante del terreno
2. Cuando el terreno tiende a sufrir grandes variaciones estacionales por hinchamientos y/o retracción
3. Cuando la construcción o estructura esta situada bajo el agua o con la capa freática muy cerca del nivel de suelo

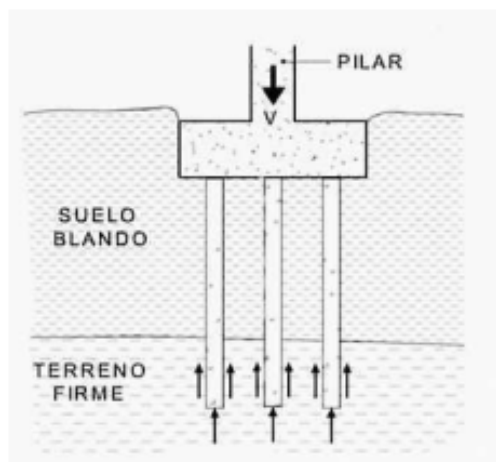
4. Cuando los cimientos están sometidos a tracción, tal como ocurre en edificios altos sometidos a cargas de viento, o estructuras que necesitan elementos sometidos a tracción para lograr la estabilidad, como estructuras de cables o cualquier estructura anclada al suelo

Estableceremos dos **tipologías de pilotes**:

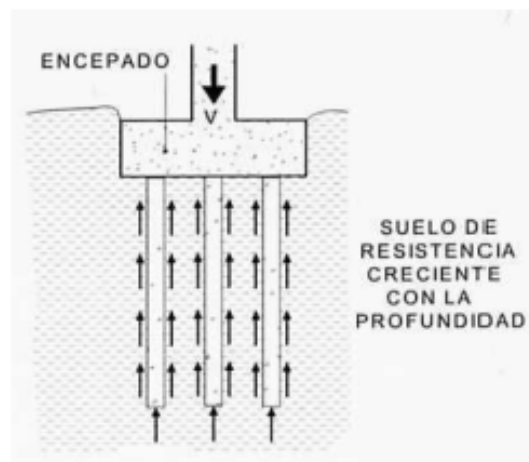
### 1) Según la forma de trabajar

**Pilotes que trabajan por punta (pilotes columna)** que son aquellos en los que la carga se transmite por la punta del pilote, esto sucede cuando esta empotrado en un terreno mucho más competente que el resto de terreno que está por encima de él.

**Pilotes que trabajan solo por fuste (pilotes flotantes)** son aquellos en los que la carga recibida por el pilote es transmitida al terreno por el rozamiento entre el terreno y el fuste del pilote



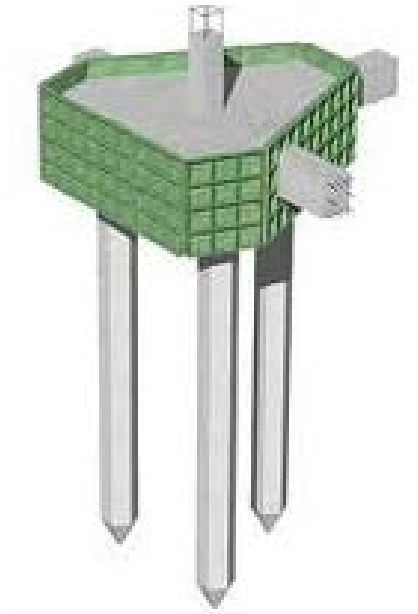
Pilote trabajando por punta



Pilote trabajando por fuste

Para completar la solución de pilotajes como sistema de cimentación profunda, debe de ejecutarse en la cabeza de los pilotes el elemento que denominamos **encepado**.

Definimos el encepado como una pieza prismática que une las cabezas de un grupo de pilotes que trabajan conjuntamente. Como caso particular, pueden existir encepados de un solo pilote. El encepado sirve de base al soporte que descansa sobre él, de forma análoga a lo que sería una zapata aislada. Se puede decir que es el elemento de transición entre la estructura y los pilotes, que por un lado reparte los esfuerzos del pilar a los pilotes del grupo y por otro lado sirve de enlace a las vigas de centrado y/o atado.



## 2) Según el procedimiento de ejecución

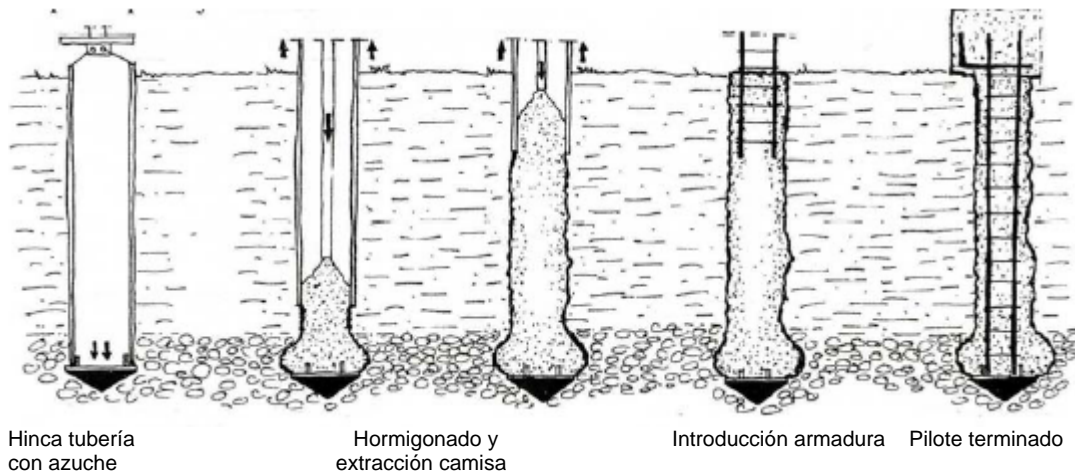
Se pueden clasificar en dos grandes grupos: **pilotes de desplazamiento**, cuando se introduce dentro del terreno un pilote de un determinado material y **pilotes de extracción**, cuando se extrae el terreno que posteriormente se rellenará con el material resistente

### Pilotes de desplazamiento

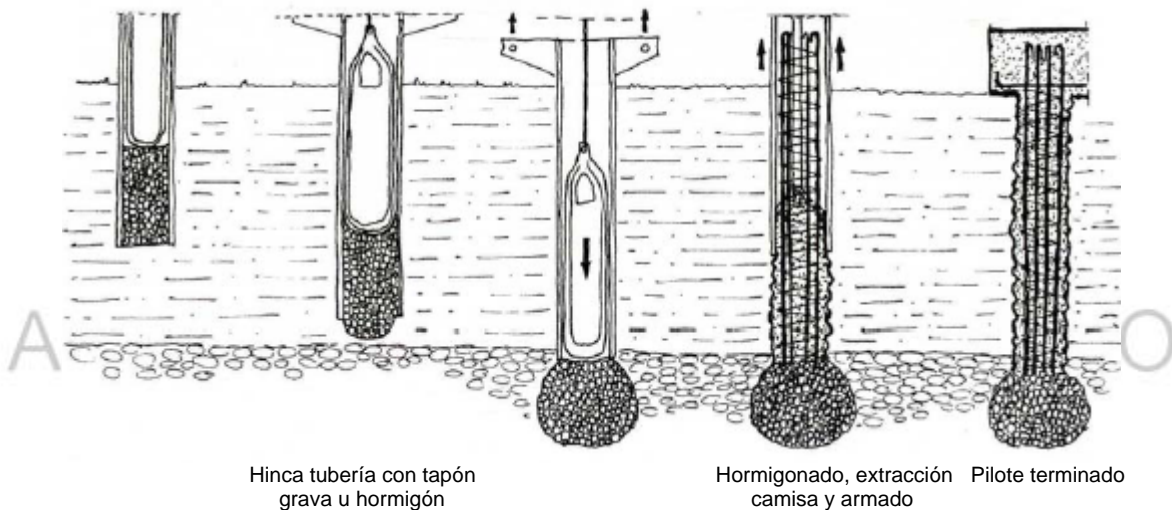
**Pilotes hincados prefabricados:** consiste en clavar literalmente el pilote en el terreno. Como no se extrae el terreno, este se compacta al clavarse el pilote, son en general caros y pueden no alcanzar la profundidad de cálculo si se encuentran una capa competente de terreno en su camino. El material utilizado es generalmente hormigón prefabricado pero en ocasiones pueden ser de madera y/o acero.

**Pilotes hincando una tubería y hormigonados in situ:** consisten en hincar una tubería a golpe de maza hasta alcanzar la profundidad de cálculo, alcanzada esta se introduce la armadura y se hormigona. Se ejecuta la hinca con una entubación que posee un azuche de punta cónica o plana en su extremo inferior, la entubación puede ser metálica o de hormigón, con golpes de maza o martillo se hinca desde la parte superior e la entubación y se encaja hasta la profundidad que se requiere para el pilotaje. La entubación que es cerrada en el fondo se deja perdida, si el cerramiento inferior es una pieza prefabricada (CPI-2 según la NTE). Si el cierre inferior es un tapón de gravas u hormigón (CPI-3 según la NTE), la entubación se puede recuperar, siempre después del armado y el hormigonado.





Esquema de ejecución del CPI-2

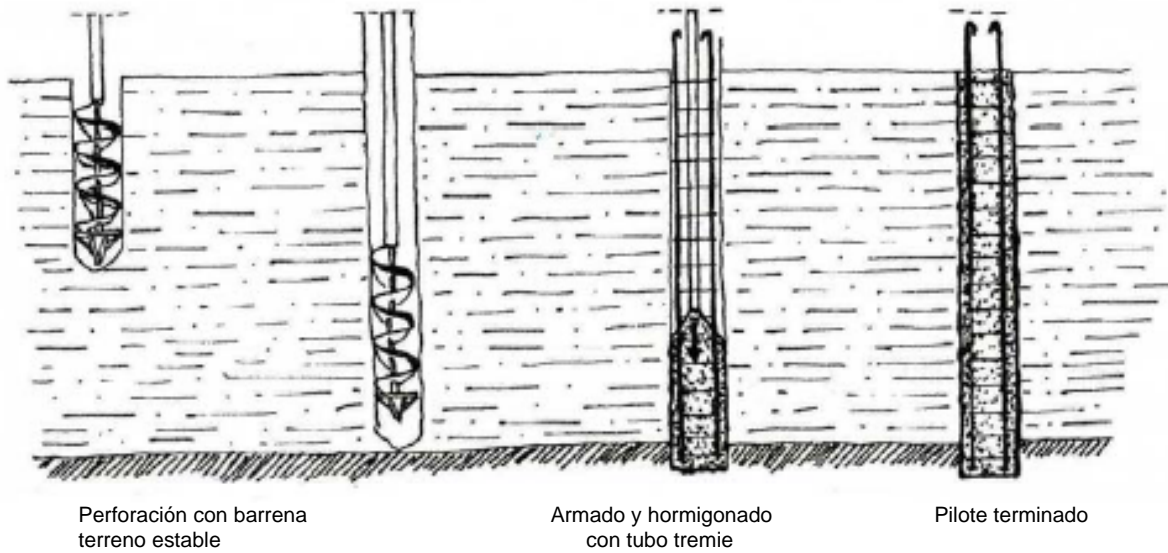


Esquema de ejecución del CPI-3

### Pilotes de Extracción

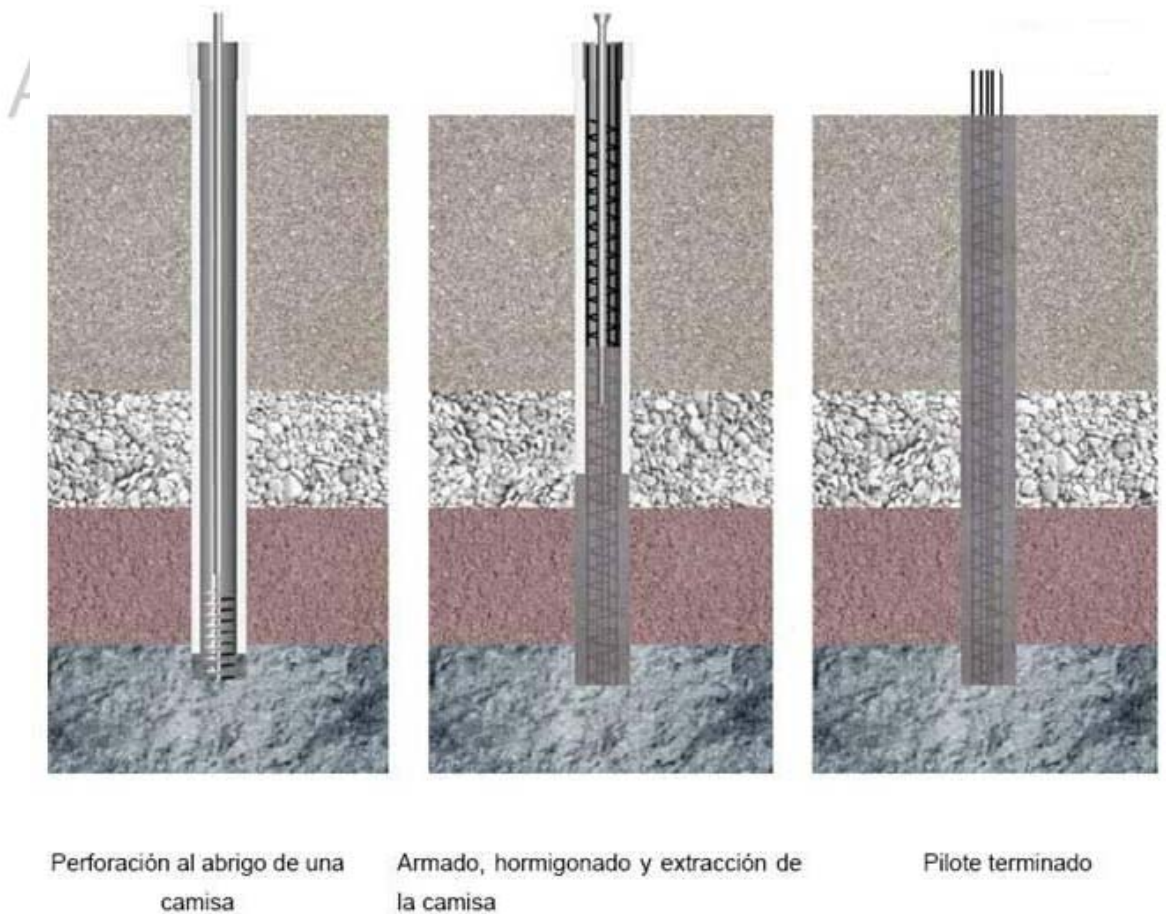
En función de la estabilidad de las paredes surgen distintos métodos de ejecución, la mayoría de los problemas de cimentaciones profundas se resuelven con alguno de estos tipos que a continuación se describen.

**Pilotes barrenados sin entubación (CPI-7):** consiste en perforar en terreno con una barrena o hélice, que es estable gracias a su cohesión interna, armar el pilote y hormigonar. Normalmente este tipo de pilotes se ejecutan en terrenos en los que no existe el agua. Es habitual que la presencia de nivel freático desestabilice el terreno y sea necesario recurrir a otra tipología de pilotes que se explicarán mas adelante, pero puede darse el caso en el que a pesar del agua el terreno sea estable (porque es muy compacto o es muy impermeable) si ocurre esto el pilote se perfora utilizando un cazo o bucket.



Esquema de ejecución del CPI-7

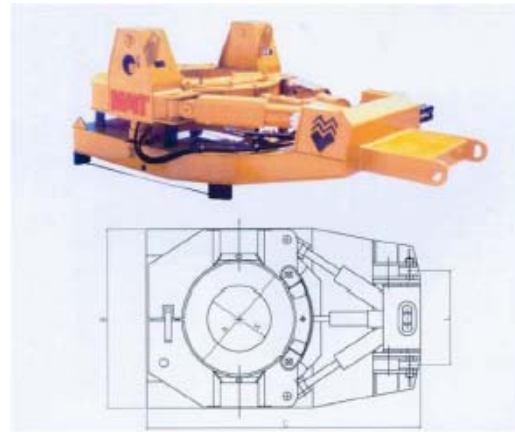
**Pilote encamisados o de extracción con entubación recuperable (CPI-4):** consiste en introducir un tubo metálico (llamado también camisa), que sujete las paredes inestables de la perforación. La longitud de la camisa debe cubrir la capa inestable y empotrar en la capa estable. La introducción y extracción de la camisa se realiza con vibradores (en terrenos granulares) y entubadoras o morsas.



Esquema de ejecución del CPI-4



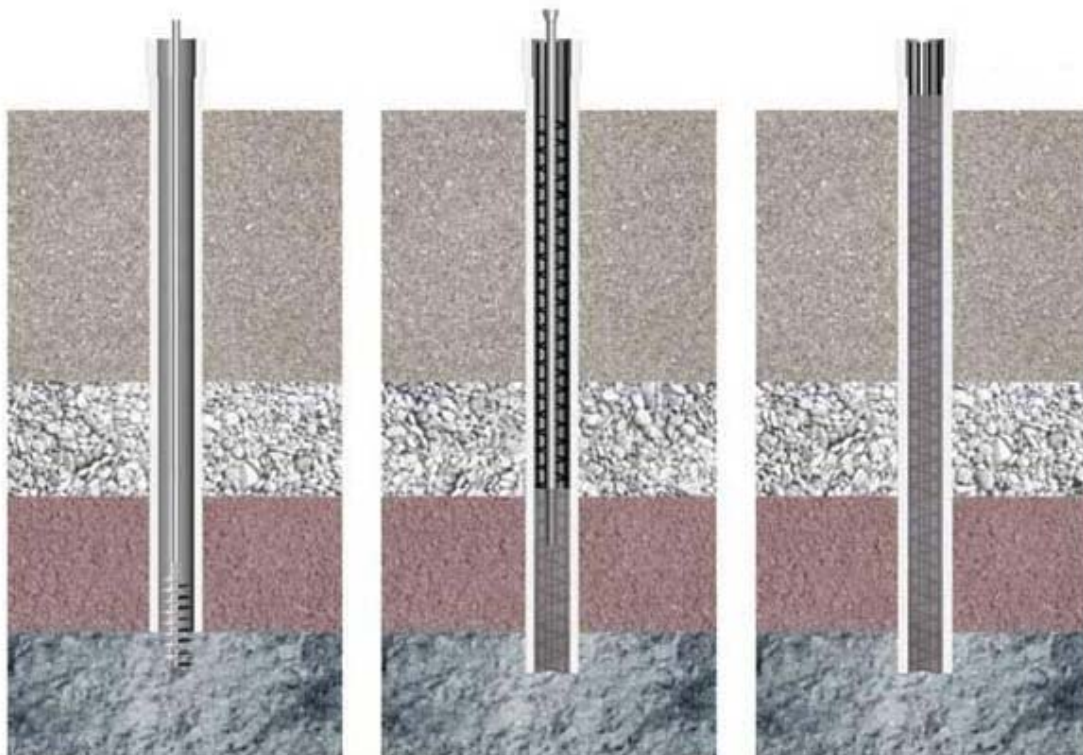
Barrena



Morsa

**Pilote con camisas perdidas o pilotes de extracción con camisa perdida (CPI-5):** consiste en introducir una camisa que contendrá el terreno durante la ejecución del pilote que quedará perdida, y que:

- Protegerá al hormigón de corrientes de agua subterránea o de terrenos muy agresivos químicamente
- Contendrá al hormigón dentro de la camisa sirviendo ésta de encofrado cuando el pilote atraviesa cavidades subterráneas, como galerías antiguas en las ciudades y karstificaciones en macizos rocosos



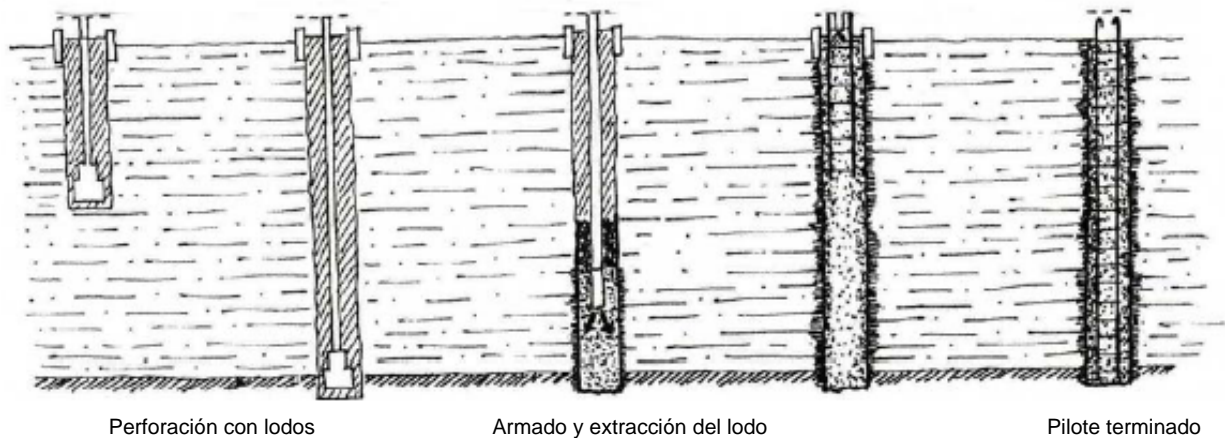
Perforación al abrigo de una  
camisa

Armado y hormigonado

Pilote terminado con la camisa  
perdida

Esquema de ejecución del CPI-5

**Pilotes con lodos o sin entubación con lodos tixotrópicos (CPI-6):** consiste en contener las paredes del terreno con un lodo mientras se perfora. El lodo tiene una densidad superior a la del agua, y se vierte a medida que se perfora el pilote, de forma que se establece una presión hidrostática superior en el interior de la perforación que impide que las paredes del terreno se desmoronen. Este tipo de terreno no se puede perforar con hélices o barrena ya que el detritus desecho, he impregnado de lodo resbala por la hélice, para extraer el terreno perforado se utiliza una herramienta llamado cazo o bucket.



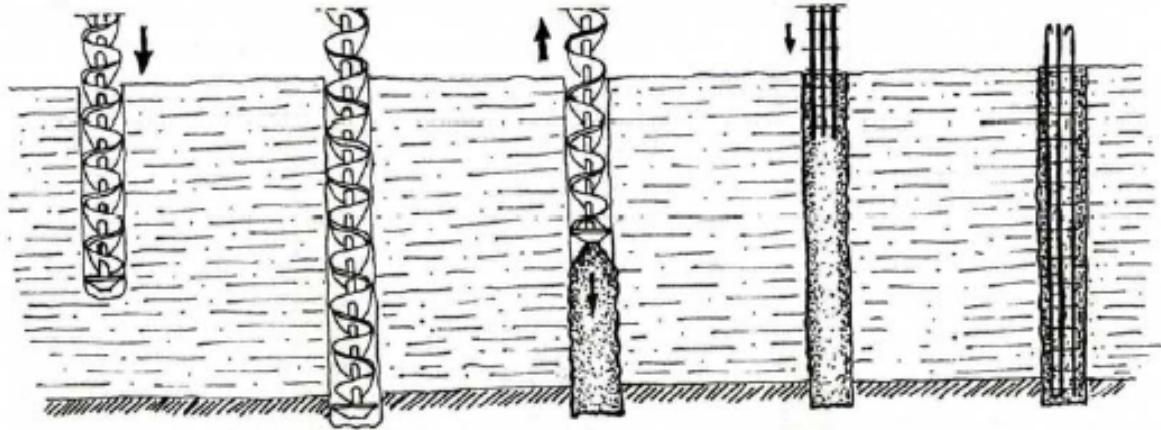
Esquema de ejecución del CPI-6

ALBERTO VILLARINO OTERO



Cazo o Bucket

**Pilotes con barrena continua o barrenados (CPI-8):** consiste en introducir una barrena hueca por rotación en el terreno, esta barrena es igual a la longitud del pilote. Durante la penetración de la barrena no se extrae el terreno.



Introducción a rotación de la barrena continua

Hormigonado a través del vástago de la barrena

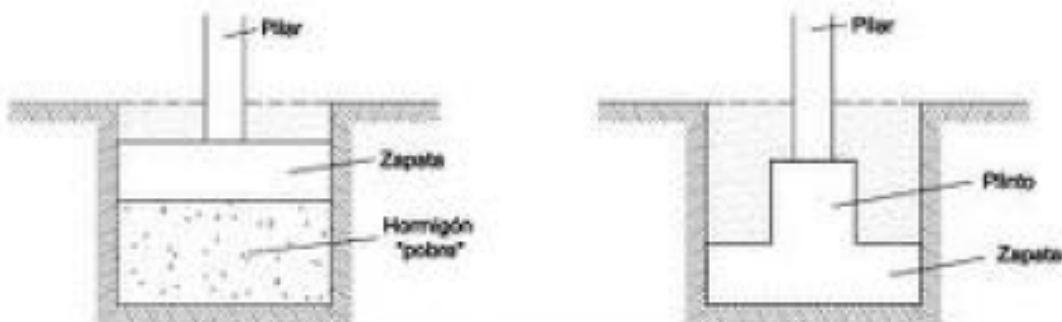
Hincado de la armadura

Pilote terminado

Esquema de ejecución del CPI-8

### POZOS DE CIMENTACIÓN

Los pozos de cimentación se plantean como solución entre las cimentaciones superficiales, (zapatas, losas, etc..) y las cimentaciones profundas. La elección de pozos de cimentación aparece como consecuencia de resolver de forma económica, la cimentación de un edificio cuando el firme se encuentra a una profundidad de 4 a 6 mts.



## 5. PRESAS

### 5.1 INTRODUCCIÓN

Una presa es una construcción que tiene por **objeto** contener el agua de un cauce natural con dos fines, alternativos o simultáneos, según los casos:

- Elevar el nivel para que pueda derivarse por una conducción (creación de altura)
- Formar un depósito que, al retener los excedentes, permita suministrar el líquido en los momentos de escasez (creación de embalse) o para amortiguar (laminar) las puntas de las crecidas

En general, en cuanto la presa tiene una cierta altura, existe un efecto de embalse, que suele ser predominante. De esto resulta que la función mecánica esencial de una presa es elevar el nivel natural del río, sea para conseguir ese fin estricto, o para obtener una capacidad de almacenamiento, de donde se deduce que la sobrecarga fundamental de la estructura será el empuje del agua, y éste empuje determina su concepto resistente.

Pero junto con ese objetivo esencial, hay que cumplir otro secundario y accidental que, a pesar de ello, es importantísimo y condiciona el concepto estructural y es la evacuación del agua sobrante. Los ríos son tan variables que solo podemos prever sus caudales con una cierta probabilidad, pero no con seguridad absoluta y por grande que sea un embalse, no podemos estar seguros de que no se presente una crecida excepcional que rebase su capacidad de almacenamiento. Y en los embalses normales, con capacidades para regular las aportaciones de un año normal, es más evidente aún que en los años de abundancia habrá caudales excedentes no almacenables. El problema se hace tanto más notorio, frecuente e importante, cuanto menor sea el embalse.

La evacuación de los caudales excedentes es pues inevitable, pero presenta además una característica: como los sobrantes no se presentan repartidos en un largo período sino por efecto de avenidas de duración relativamente corta (punta de días u horas) con caudales muy grandes, la evacuación de éstos plantea problemas de gran consideración por la envergadura de los caudales, unida a la circunstancia de que la elevación producida por la presa crea en el cauce una energía debida al desnivel, que ha de amortiguarse de alguna forma. El proyecto y la construcción de una presa, presentan problemas especiales que requieren gran conocimiento de varias ciencias y técnicas: elasticidad, geología, cimientos, hidráulica, propiedades y tratamiento de materiales, etc.

## 5.2 TIPOS DE PRESAS

Siendo la presa una estructura hidráulica, los distintos tipos posibles responden a las variadas formas de lograr las dos exigencias funcionales

- Resistir el empuje del agua.
- Evacuar los caudales sobrantes.

En cada caso, la importancia relativa de estas dos premisas, junto con las condiciones naturales del terreno (topográficas y geológicas) y las exigencias del uso del agua (situación de la central eléctrica, toma de riegos...) dan una serie de condicionantes que llevan a la elección de un tipo de presa más adecuado. De ahí la conveniencia de disponer de varios tipos para acoplarse mejor a los diferentes condiciones

Podemos establecer la siguiente **clasificación**:

1. En cuanto a sus **dimensiones** (según la 'Instrucción para el proyecto, Construcción y Explotación de Grandes Presas')

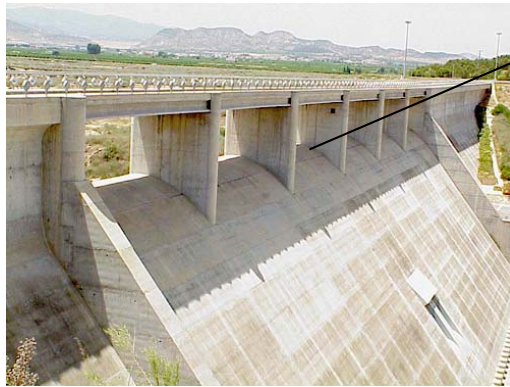
Grandes Presas: Cuando cumplan al menos una de las siguientes condiciones:

- Altura superior a 15 m., medida desde la parte más baja de la cimentación hasta la coronación.
- Altura comprendida entre 10 y 15 m., siempre que tengan alguna de las siguientes características: longitud de coronación superior a 500 m, capacidad de embalse superior a  $1\text{Hm}^3$  o capacidad de desagüe superior a  $2.000\text{ m}^3/\text{seg}$ .
- Aquellas que presenten dificultades especiales en su cimentación o sean de características no habituales.

Pequeñas Presas. El resto

2. En cuanto a la **situación del aliviadero**, éste puede estar:

- Sobre la misma presa (presas vertedero)
- Independiente de ella



Presa vertedero

Aliviadero



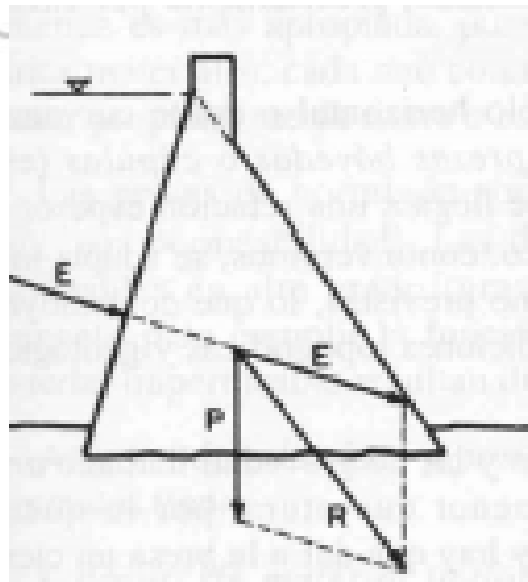
Aliviadero Independiente de la presa

En el primer caso, la estructura está directamente condicionada por el aliviadero; en el segundo, la estructura puede proyectarse con total independencia de aquel

3. En cuanto a la **forma de resistir el empuje hidrostático** pueden ser:

De **gravedad**: cuando el peso de la presa es notable y sirve para, al componerse con el empuje, dar una resultante adecuada y francamente interior a la base de la presa. Son las de mayor volumen de hormigón y requieren terrenos resistentes para su cimentación (terrenos rocosos a poca profundidad)

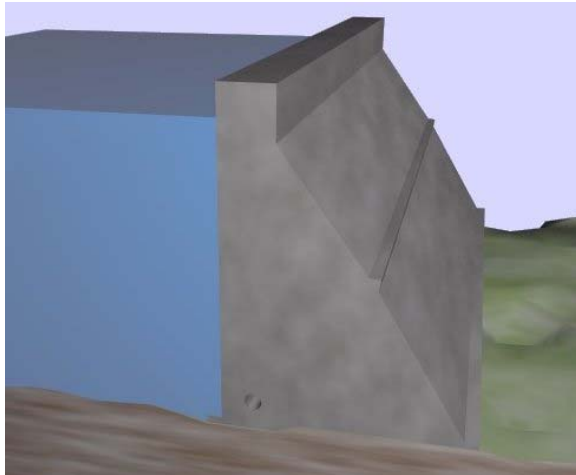
ALBERTO VILLARINO OTERO



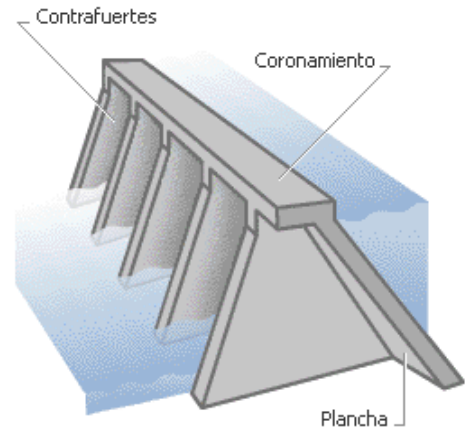
Las presas de gravedad pueden ser, a su vez, macizas o aligeradas. Las **macizas** suelen consistir en un perfil triangular con suma de taludes del orden de 0,75 a 0,80 (horizontal/altura) aguas abajo y algo más en terrenos difíciles o de alta sismicidad. Al triángulo se le superpone un trapecio, para el paso de la coronación y dejar un resguardo sobre el nivel máximo del embalse.



Las aligeradas tienen reducciones de hormigón, pretendiendo emplear mejor el material. Para equilibrar el peso que se quita con el aligeramiento, se le da un talud aguas arriba para disponer del peso adicional del prisma que gravita sobre él. Además se distribuye la masa de hormigón de forma que se logre un mayor momento de inercia en la sección horizontal. Las formas de aligeramiento pueden ser verticales (contrafuertes) u horizontales (galerías). Las más frecuentes son las de contrafuertes, quedando constituida la presa por una serie de contrafuertes resistentes por su peso en los que se apoya o va unida una pantalla que transmite a ellos el empuje del agua. Los contrafuertes pueden ser en forma de T, con la cabeza del contrafuerte en forma circular o con la cabeza en forma semihexagonal.

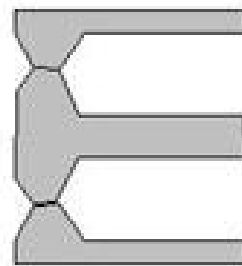
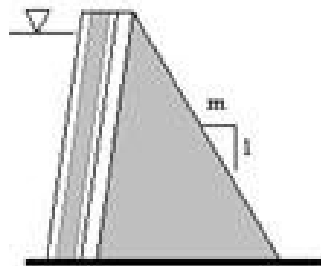


Presa de gravedad



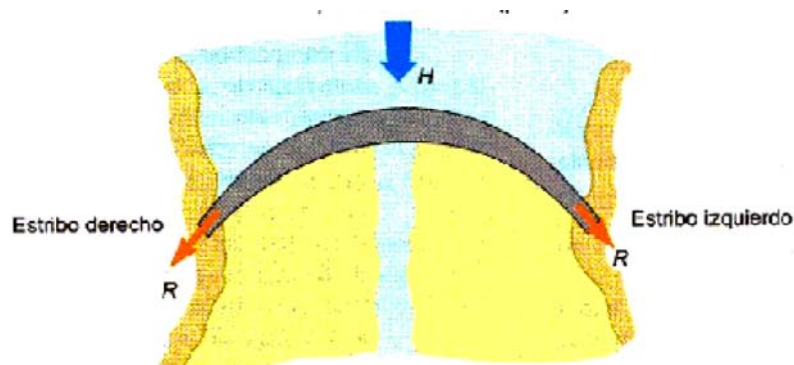
Presa de contrafuertes

ALBERTO VILLARINO OTERO



Cabeza semihexagonal de contrafuertes

De **arco**: utilizando una forma curva para la presa, al objeto de transmitir el empuje al terreno en dirección e intensidad adecuadas, por su forma geométrica resisten y transmiten las cargas tanto a los cimientos como a los estribos.



Las presas arco pueden tener curvatura sólo horizontal (arco-gravedad) o doble curvatura (bóveda)

En las presas arco gravedad la acción de la curvatura es insuficiente para resistir el empuje y hay que dar a la presa un cierto peso para que compense ese defecto. La estabilidad y resistencia se consigue por efecto del peso propio y del arco que transmite los esfuerzos a las laderas, por lo que se necesita un macizo rocoso resistente

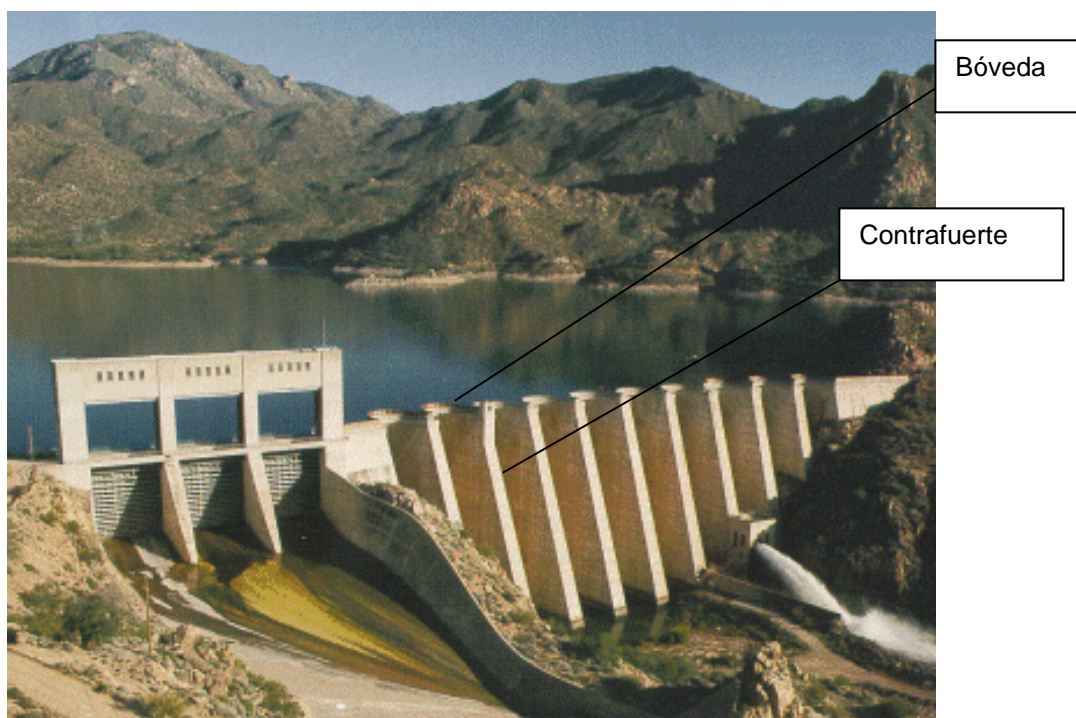


Presa arco-gravedad



Presas bóveda

Hay un tipo mixto, llamado de bóvedas múltiples, constituido por una serie de contrafuertes equidistantes de sección rectangular y unas bóvedas que apoyan sobre ellos, éstas son las que reciben el empuje y lo transmiten a los contrafuertes. Éste tipo viene a ser análogo al de contrafuertes, sustituyendo la pantalla o las cabezas de estos por bóvedas que permiten mayor separación y menor volumen.



4. En atención al **material empleado**, se clasifican en:

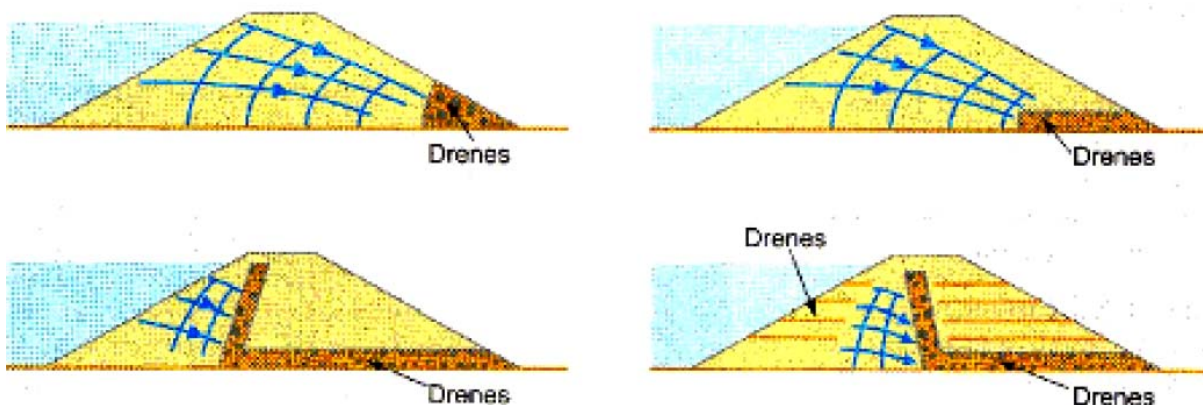
- Presas de fábrica que son exclusivamente de hormigón
- Presas de materiales sueltos

Las presas de materiales sueltos están formadas exclusiva o preferentemente por materiales naturales (piedras, gravas, arenas, limos, arcillas y suelo en general). Éstas presas suelen tener componentes permeables de alto grado (gravas, arenas, etc) por lo que necesitan un elemento para cumplir la función de impermeabilidad. Se usan los materiales tal y como se encuentran en la naturaleza sin más elaboración artificial que el apisonado o la adición de agua para la debida compactación. Es obvio decir que estas presas resisten por gravedad, aunque en casos muy excepcionales se curvan y se tiene en cuenta este efecto, pero este es siempre mucho menor que el del peso.

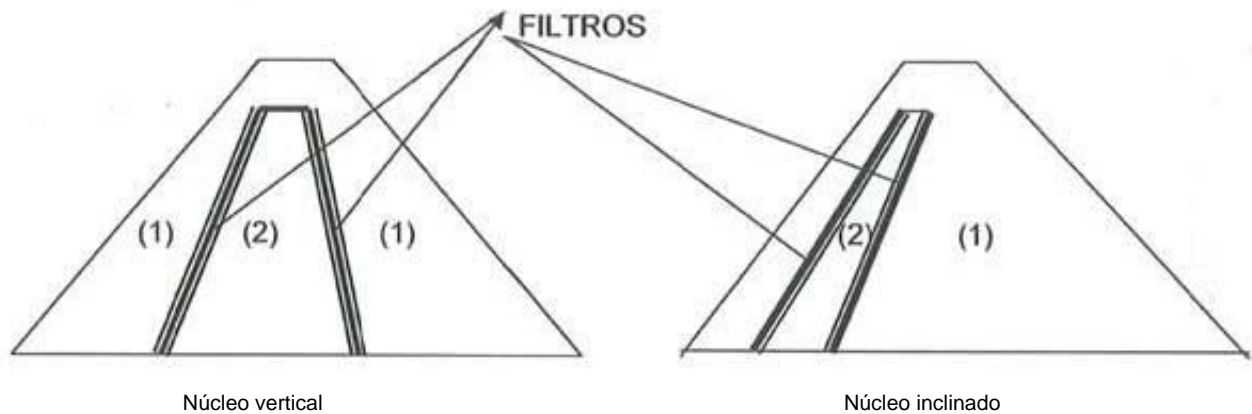
Toda presa debe ser estable, resistente e impermeable. Esta última condición se cumple casi automáticamente –supuesta una buena ejecución- en las presas de fábrica; pero en las presas de materiales sueltos hay que cuidar la impermeabilidad de una forma directa, pues esos materiales pueden no darla suficientemente. Y también por su efecto en la estabilidad y resistencia, pues las presiones intersticiales influyen en ellas de forma mucho más notable que en las de hormigón por doble motivo: por la corta o nula cohesión, que puede ser insuficiente para contrarrestar esas presiones internas; y, además, porque el agua filtrada, al mojar los materiales, disminuye su corta cohesión y el coeficiente de rozamiento.

Se pueden clasificar atendiendo a la posición del elemento impermeabilizador o pantalla impermeabilizadora:

Presas de material uniforme impermeable o presas homogéneas: Son las constituidas por un material único que forma el cuerpo de la presa y es impermeable (arcillas, limos, arenas+gravas). Su uso puede estar indicado en sitios donde predomina un material fácil de emplear y económico; mucho más indicado en presas de baja o moderada altura (20m. ó menos). Para el control de las filtraciones pueden disponer de distintos tipos de drenes en distintas posiciones.

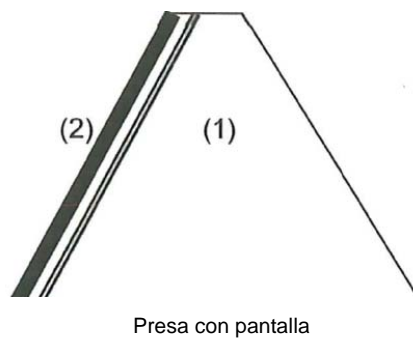


Presas de materiales heterogéneos con núcleo de material natural: son las más frecuentes y tienen la ventaja de emplear óptimamente los materiales próximos disponibles, distribuyéndolos según sus características. Los materiales más permeables se usan como elementos estabilizadores, por su peso, los más finos se usan para lograr un núcleo impermeable, otros se utilizan como elementos drenantes o para establecer capas de transición (filtros). El núcleo impermeable suele estar en el centro, en posición vertical o cercano a ella. En otras ocasiones se sitúa inclinado y aguas arriba.



(1) Espaldón (2) Núcleo

Presas de materiales heterogéneos con núcleos artificiales (pantallas y diafragmas): cuando no se encuentra cerca de la presa un material impermeable natural (arcillas o limos) hay que acudir a una pantalla artificial impermeabilizadora que se coloca sobre el talud aguas arriba o en el centro de la presa (diafragma). Las pantallas más usadas son las de hormigón armado y hormigón bituminoso, por otro lado los diafragmas más utilizados suelen ser de mezcla asfáltica. Los espaldones suelen ser de material todo uno o escollera.



(1) Espaldón (2) Pantalla

### 5.3 ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS Y ESTRUCTURAS AUXILIARES

#### DESVIO DEL RIO

Para construir la parte de presa que está en el cauce, es preciso desviar el río para trabajar en seco. Hay dos formas de dejar en seco la zona de obra:

- Desviando el río totalmente por un cauce artificial.
- Dejando en seco sólo una parte del cauce y concentrando el paso de la corriente por el resto, ejecutando así de forma sucesiva la obra.

En el caso del **desvío total del río** consiste en la ejecución de un cauce artificial, para lo cual hay que hacer una presa provisional que produzca el remanso suficiente para que el agua entre por el nuevo cauce, que es una conducción que transporta el agua desviada hasta un punto agua abajo de la obra.

La presa provisional de desvío se llama **ataguía**. A veces es necesario hacer otra aguas abajo de la obra a proteger, para evitar que las aguas desviadas puedan inundar aquella por retroceso. Esta segunda presa se llama **contraataguía** o ataguía agua abajo. En cauces de bastante pendiente, ésta puede hacer innecesaria la contraataguía, pero cuando la pendiente es suave es inevitable. La conducción de desvío se puede hacer en presión o sin presión.

#### DRENAJE EN PRESAS DE FÁBRICA

El hormigón es un material poroso (%huecos=6-12). Los poros no están aislados, sino unidos unos con otros, formando conductos por los que puede penetrar el agua si se le deja el tiempo necesario.

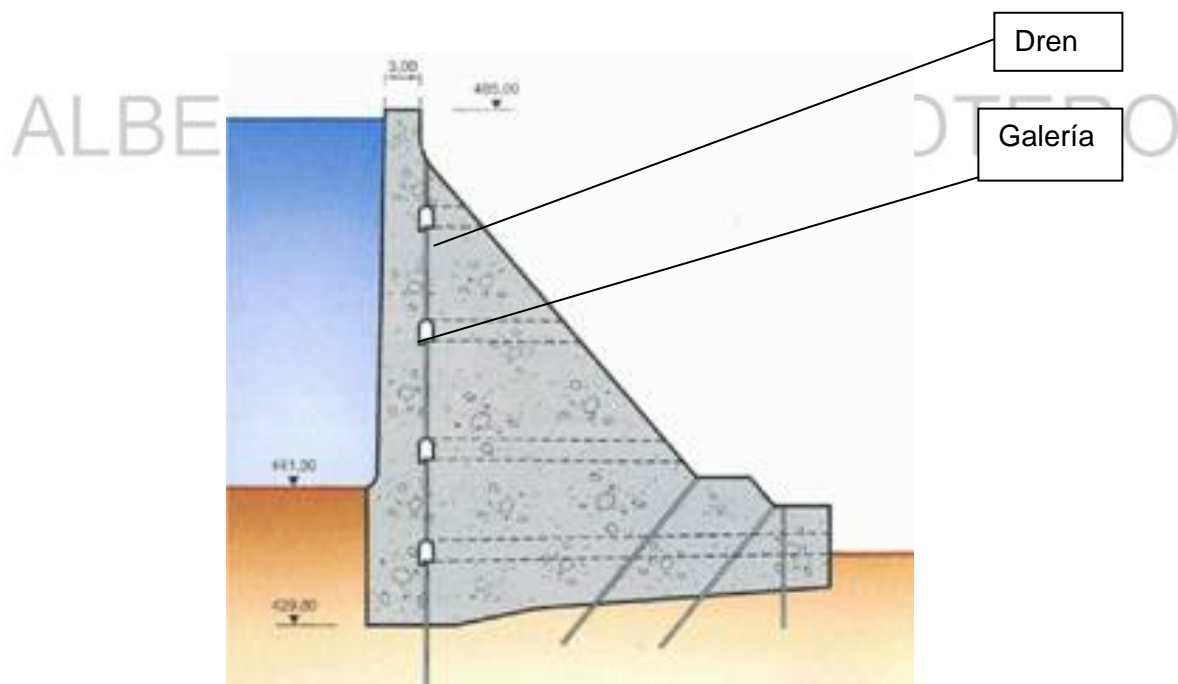
Al sumergir en agua un bloque de hormigón, el agua tardará en penetrar en los poros, pero dando un tiempo suficiente, el hormigón acabará saturándose. En ese momento, en los distintos huecos se establece la presión hidrostática (subpresión). Por lo que no es necesario que exista una grieta para que el hormigón adquiera presiones internas, su propia estructura porosa conduce a ello, siempre que de tiempo.

Cuando el agua se filtra a través de un dique permeable se forma en su interior una red ortogonal de líneas de corriente que marcan las trayectorias de las partículas de agua. Con el fin de minimizar esa presión intersticial se disponen a cierta distancia del paramento una serie de drenes verticales equidistantes entre sí, estos atraerán las líneas de corriente, que tienden a seguir el mínimo camino de filtración. El diámetro de los drenes no suele pasar de 20 cm., con un mínimo que suele ser de 7,5 cm (lo normal es poner los drenes a 2-2,5 m) y luego, si en alguna zona se ve necesario, se hacen unos drenes intermedios. Los drenes deben prolongarse bastante en la roca, llegando en algunos casos hasta una profundidad igual a la altura de la presa y, como mínimo, un 25 % de ella. Así se drena todo el apoyo de la presa y se asegura su estabilidad.

Si hiciéramos los drenes en uno o dos planos de arriba hacia debajo de la presa resultarían excesivamente largos para poderlos revisar y limpiar. Además, conviene tener un acceso al interior de la presa para observarla y, eventualmente, inyectarla; ambas necesidades nos llevan a establecer una serie de galerías horizontales a las que vayan a parar los drenes. Éstas galerías se ponen a distancias verticales de 15 a 30 m. Con esta equidistancia se puede lograr que los drenes estén perfectamente rectos entre cada dos galerías, con lo que el control de su limpieza es fácil. Los drenes se insertan en las galerías normalmente en su pared agua arriba, pero algunos prefieren hacerlo en clave, así se ven y limpiarían mejor, pero suelen ser más molestos porque el agua cae sobre los vigilantes

Las galerías sirven también para recoger el agua que filtra por los drenes; a estos efectos llevan unas cunetas. Naturalmente, las galerías han de tener una salida al exterior y por ellas sale el agua de filtración. Las dimensiones normales de estas galerías, son las suficientes para el paso de un hombre y es aconsejable hacer las galerías en forma oval, porque de esa forma se distorsionan menos las tensiones que habría en la zona ocupada por la galería.

Gracias a esta recogida de agua entre dos galerías no sólo se fracciona el caudal, sino que se sabe de donde procede e incluso se ve si uno o varios drenes dan una filtración excesiva.



## DRENAJE EN PRESAS DE MATERIALES SUELTOS

A partir de 6 u 8 metros de altura, conviene que las presas de tierra tengan drenaje para controlar la línea de saturación y los efectos de las filtraciones. La idea del dren va unida a la de filtro en presas de materiales sueltos, pues el efecto drenante supone una afluencia de agua filtrada hacia el dren y un incremento del gradiente de filtración, lo que lleva a una posibilidad de arrastre de finos y por lo tanto la colmatación del dren. Para impedirlo, hay que poner entre el dren y el material de la presa una capa de filtro. La misión del filtro es permitir el paso de agua impidiendo, al propio tiempo, el de las partículas finas que pudieran ser arrastradas por aquella. Los huecos deben ser suficientemente pequeños para no dejar pasar los finos.

## TOMAS DE EXPLOTACIÓN

Las tomas son las estructuras hidráulicas que nos permiten retirar el agua del embalse para conducirla por gravedad a la planta de tratamiento, estación de bombeo, abastecimiento o salto hidroeléctrico por lo tanto deben estar ubicadas de forma tal que permitan obtener el agua a varios niveles en el embalse y que a su vez retiren el agua por gravedad hacia su destino próximo y además asegurar su estabilidad y economía.

Por lo general para las presas de materiales sueltos las tomas son torres, llamadas torre-toma, que poseen orificios a diferentes niveles y cada uno tiene su correspondiente compuerta o válvula de paso. Su forma puede ser cilíndrica y en su interior contiene un pozo húmedo, que sirve para la captación, y un pozo seco que sirve para la inspección y operación. Las torre-tomas se localizan por lo general cerca del dique o presa y poseen un puente de acceso. En el caso de presas de hormigón las estructuras de las tomas se localizan en la presa misma. Cada toma debe estar equipada con una compuerta o con una válvula de cierre para su selección e independencia y todos los orificios de toma deben descargar en un receptor común de donde el agua pueda ser conducida más tarde al sitio de tratamiento o a los de almacenamiento y distribución.



Toma de Explotación

## ALIVIADEROS

El **aliviadero** es la obra más propiamente hidráulica de la presa, pues su misión es derivar y transportar el agua sobrante, anulando o reduciendo su energía al reintegrarla nuevamente al cauce, para evitar perjuicios a la propia presa y a los bienes y personas situados aguas abajo. Sin él la presa quedaría reducida a una pura estructura resistente. El aliviadero, con sus exigencias funcionales y de espacio, influye y hasta condiciona la estructura resistente, motivando muchas veces la elección de su tipo

Para concebir y proyectar los aliviaderos de una presa hay que plantearse tres problemas fundamentales:

- Crecida máxima previsible.
- Características del conjunto embalse-aliviadero-cauce aguas abajo más adecuadas para hacer frente a dicha crecida máxima y a otras más frecuentes.
- Reparto de caudales a evacuar entre los distintos aliviaderos (superficie, fondo y medio fondo).

En un elemento tan fundamental como el aliviadero tropezamos con un inconveniente grave: es difícil predecir la crecida máxima que ha de evacuar (diversos métodos utilizados: históricos, probabilísticos, hidrológicos y empíricos).

Un aliviadero está formado esencialmente por una toma, que sirve para derivar el agua del embalse, una conducción más o menos larga, que transporta el agua hasta el punto de restitución elegido, y la obra del reintegro del agua al río.

La **toma** puede ser de dos tipos: de labio fijo o con compuertas (de accionamiento mecánico o manual, o automáticas).

Una toma con **labio fijo** no podrá verter agua hacia el canal del aliviadero hasta que el nivel del embalse haya sobrepasado su umbral. La ventaja de este tipo de toma es que nos despreocupamos de su funcionamiento; el sólo se ocupa de verter cuando es necesario, y además colabora en moderar la avenida mediante el efecto amortiguador o laminador de la crecida. Con un aliviadero de labio fijo no pueden provocarse caudales superiores a los que hubiera dado el río. En cambio tiene el inconveniente contrario: no podemos actuar con anticipación a la avenida desaguando por el aliviadero para impedir que el agua alcance una cierta cota o para crear un volumen vacío de embalse que amortigüe aún más la crecida. Para gobernar a voluntad el aliviadero y controlar el nivel del embalse, tenemos que poner unas compuertas en la toma.

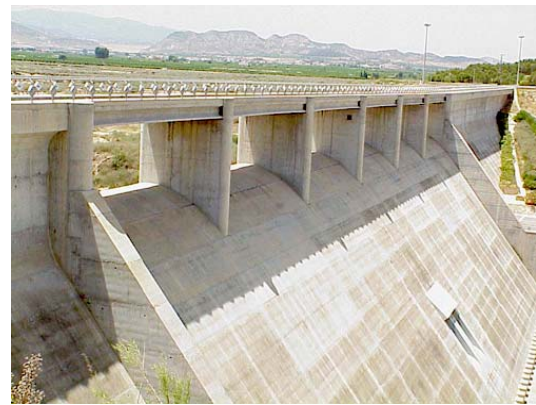
La toma con **compuertas** pueden dar paso al agua por encima (compuertas de sector), o por debajo, en este caso las compuertas pueden ser de segmento o planas; estas últimas con diversos sistemas de movimiento. Las compuertas pueden estar cerradas o abiertas, parcial o totalmente. Gracias a esto podemos desaguar por ellas el caudal que deseemos y bajar o subir el nivel del embalse según



desagüemos un caudal superior o inferior al que entre en él. La posibilidad que dan para evacuar caudales cuando se considere conveniente, se puede convertir en un grave defecto, si ésta facultad no se usa bien. En efecto, las compuertas pueden ser abiertas inoportunamente por cualquier causa pudiendo producir aguas abajo una crecida superior a la que hubiera dado el río. Para evitarlo la Instrucción prescribe una serie de condiciones que lo impiden.



Toma de aliviadero en labio fijo



Toma de aliviadero de compuerta sector

La **conducción** cumple una función de mero transporte desde la toma a la obra de restitución al río. Para cumplir con la máxima economía, se proyecta de manera que el agua lleve una elevada velocidad. La consiguiente pérdida de carga no importa, e incluso es favorable, puesto que la corriente tiene una gran cantidad de energía que hay que amortiguarla al final, por lo que la que se pierde en la conducción se resta a la obra de restitución. Los problemas de la conducción provienen de las altas velocidades, cuya pérdida de energía consiguiente es a costa de la erosión del revestimiento. La conducción puede ser en lámina libre (en canal abierto o en túnel) o en presión.

Una conducción en lámina libre tiene una gran flexibilidad para admitir caudales superiores al nominal, pues basta que la lámina de agua suba para que el desagüe aumente. Por tanto, si llegara a producirse una crecida superior a la máxima estimada, lo único que pasaría es que aumentaría consiguientemente el espesor de la lámina en el canal; si hay resguardo suficiente, como es lo normal, no se llegaría a producir vertido, pero si el resguardo no bastase, se produciría un desborde lateral que es muy probable no tenga gran importancia ni haga daños notables.

Si la conducción fuera en túnel, éste suele llevar también un cierto resguardo, pero en este caso el margen tiene un límite, pues a partir de una cierta altura, la sección de aire que queda es insuficiente para ventilar y la menor oscilación del nivel puede obstruir el paso del aire y poner el túnel en presión. A partir de ese momento el túnel funciona mal, con intermitencias, y si la altura de lámina siguiese aumentando, se pondría definitivamente en presión.

El túnel en presión es un sistema muy rígido, pues sólo sirve para una gama de caudales relativamente estrecha. Esto hace que su uso sea condicionado a que se empleen simultáneamente con otro u otros aliviaderos de funcionamiento más elástico.

El **reintegro** del agua al río, tiene una misión complementaria y contraria a la toma: devolver al río el caudal derivado por ésta. Pero así como en la toma el ingreso se hace en un régimen tranquilo la obra de reintegro recibe el agua de la conducción con gran velocidad y energía que hay que amortiguar en lo posible para que no produzca erosiones perjudiciales al cauce y a la propia obra de restitución o, acaso, a la misma presa. Este amortiguamiento de la energía puede conseguirse de dos formas

Creando un cuenco amortiguador, donde la corriente en régimen rápido ingresa a un cuenco en el que pasa a lento con la formación de un resalto. Esto conlleva una gran absorción de energía, que se transforma en turbulencia y calor

Por medio de un trampolín lanzador, En el caso de los trampolines su esencia de funcionamiento es utilizar la energía cinética de la corriente para lanzarla a distancia y alejarla segura erosión. Por eso su elemento esencial es una rampa que proporciona un ángulo de lanzamiento adecuado para que la trayectoria parabólica resultante de la inercia del agua y de la gravedad alcance la máxima distancia entre el borde del lanzamiento y la zona de caída.

El cuenco amortiguador es la solución más común al pie de las presas vertedero. El lanzamiento en trampolín es más propio de los aliviaderos separados de la presa. Pero estas reglas no son absolutas.

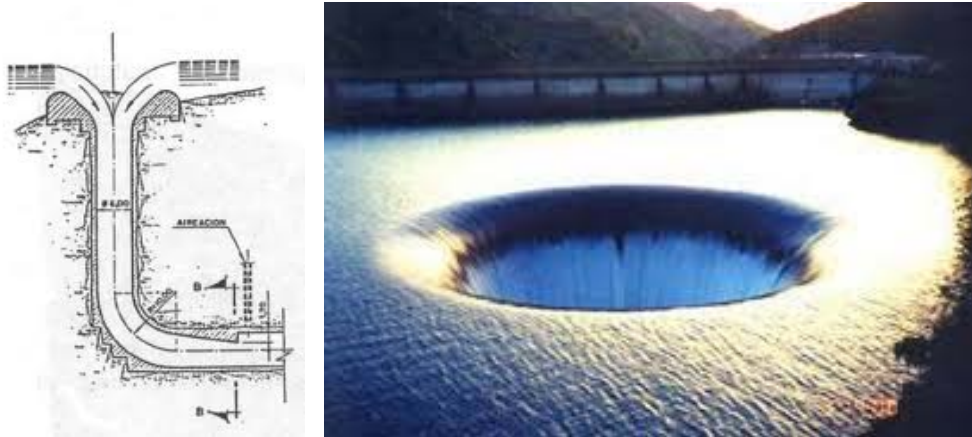


Cuenco amortiguador



Trampolín lanzado

Existe un tipo de aliviadero especial llamado en cáliz o morning glory donde el vertedero de entrada es de planta circular, normalmente de labio fijo, al que sigue un pozo vertical abocinado, un codo cercano a 90° y un túnel sub-horizontal. El tramo vertical puede hacerse en pozo, en torre o mixto, según la forma y características de la ladera y la situación más conveniente para el vertedero. La disposición en pozo es la más simple, en principio, pero puede requerir adaptaciones en la ladera para asegurar la alimentación. Tienen gran aplicación en las presas de materiales sueltos gracias a su independencia de ubicación respecto a la presa. La desventaja principal es la que acompaña al régimen a presión.



## DESAGÜES

Además del aliviadero de superficie, la presa debe tener otros desagües a ciertas profundidades. Pudiendo ser estos de diferentes tipos

Desagües de fondo son aquellos situados por debajo de las tomas de explotación, son de instalación obligada y sus funciones son:

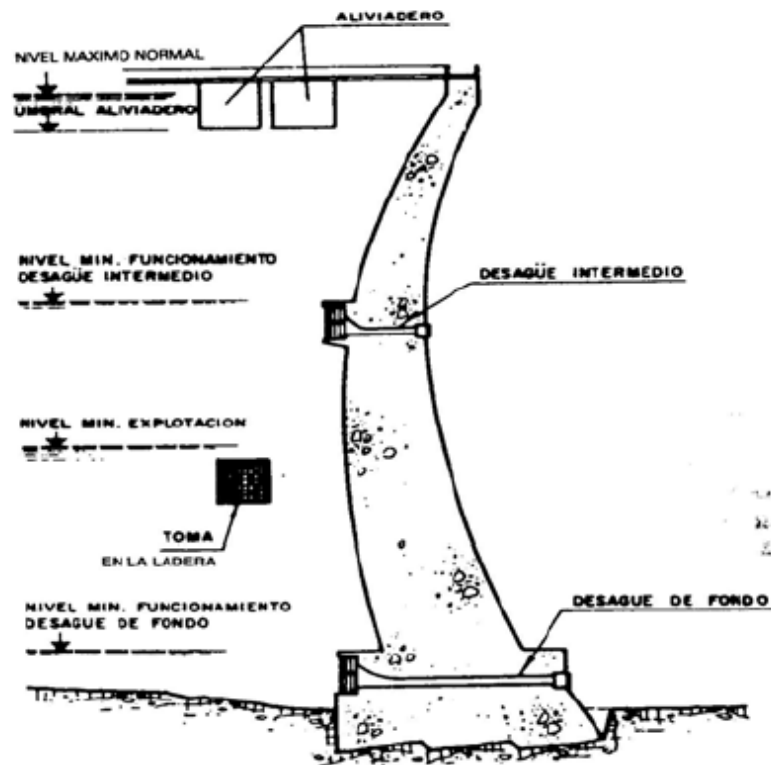
-Permitir bajar el nivel del embalse por debajo de las tomas de explotación para su revisión o cuando ocurre alguna anomalía importante en el comportamiento de la presa o del embalse. Ante un defecto de comportamiento de la estructura puede bastar un descenso relativamente moderado; si el defecto es grave, habrá que proceder a un vaciado importante, pero que muy rara vez será total.

Si se trata de una filtración importante, para lograr disminuirla sensiblemente será preciso bajar el embalse de forma notable, hasta cerca del nivel donde ocurre la filtración.

-Ayudar a realizar la operación de cierre del desvío del río en la fase final de la obra.

-Limpieza de los sedimentos acumulados en el fondo del embalse en la proximidad de la presa.

Los desagües intermedios (de medio fondo o profundos), que pueden existir o no, están más bajos que el aliviadero de superficie y más altos que las tomas de explotación. Tienen un carácter mixto y según los casos, se acercan más a la función de vaciado o a la de evacuación de avenidas, tanto en uno como en otro caso con carácter complementario del desagüe de fondo o del aliviadero y con importancia relativa variable.



ALBERTO VILLARINO OTERO

## 6. CARRETERAS

### 6.1 TIPOS DE CARRETERAS

Se consideran **carreteras** las vías de dominio y uso público proyectadas y construidas fundamentalmente para la circulación de vehículos automóviles. No tendrán la consideración de carreteras:

1. Los caminos de servicio, entendiéndose por tales los construidos como elementos auxiliares o complementarios de las actividades específicas de sus titulares.
2. Los caminos construidos por las personas privadas con finalidad análoga a los caminos de servicio.

Legalmente las carreteras se clasifican en España en:

- Autopistas
- Autovías
- Vías rápidas
- Carreteras convencionales

Son **autopistas** las carreteras que están especialmente proyectadas, construidas y señalizadas como tales, para la exclusiva *circulación de automóviles* y reúnen las siguientes características:

1. No tener acceso a las mismas las propiedades colindantes.
2. No cruzar a nivel ninguna otra senda, vía, línea de ferrocarril o tranvía y no ser cruzada a nivel por senda, vía de comunicación o servidumbre de paso alguna.
3. Constar de distintas calzadas para cada sentido de circulación, separadas entre sí, salvo en puntos singulares o con carácter temporal, por una franja de terreno no destinada a la circulación o, en casos excepcionales, por otros medios.

Son **autovías** las carreteras que, no reuniendo todos los requisitos de las autopistas, tienen calzadas separadas para cada sentido de la circulación y limitación de accesos a las propiedades colindantes.

Son **vías rápidas** las carreteras de una sola calzada y con limitación total de accesos a las propiedades colindantes.

Son **carreteras convencionales** las que no reúnen las características propias de las autopistas, autovías y **vías rápidas**.

Son áreas de servicio las zonas colindantes con las carreteras, diseñadas expresamente para albergar instalaciones y servicios destinados a la cobertura de las necesidades de la circulación, pudiendo incluir

estaciones de suministro de carburantes, hoteles, restaurantes, talleres de reparación y otros servicios análogos destinados a facilitar la seguridad y comodidad de los usuarios de la carretera.

## 6.2 VARIABLES DEL TRÁFICO POR CARRETERA. ESTUDIOS DE TRÁFICO

Para estudiar la circulación se emplean unas magnitudes que recogen los aspectos más importantes, las magnitudes empleadas más frecuentemente son : la intensidad, velocidad y densidad.

### INTENSIDAD

La intensidad es el número de vehículos que pasa a través de una sección fija de una carretera por unidad de tiempo (vehículos/hora o vehículos/día). Es la característica más importante de la circulación, ya que las demás están relacionadas con ella. Para su medición se emplean aforos.

La variación de la intensidad a lo largo del tiempo presenta gran importancia. Como valor representativo de la misma durante el período se suele adoptar la intensidad diaria (u horaria) media de todas las registradas.

Generalmente el período de aforo se extiende a un año, y se obtiene la intensidad media diaria (IMD) que es la magnitud más utilizada para caracterizar la intensidad en las carreteras y se puede definir como el número total de vehículos que ha pasado por una sección de la carretera durante el año , dividido por 365. La IMD define la importancia de las vías y permite su clasificación, empleándose también en otros estudios

### VELOCIDAD

Es más interesante estudiar valores medios de **velocidad** que los instantáneos o puntuales. Estos valores medios se pueden obtener de formas diversas. Existen los siguientes conceptos:

**Velocidad instantánea:** es la de un vehículo en un instante determinado.

**Velocidad de recorrido de un vehículo:** es la velocidad media conseguida por el vehículo al recorrer un tramo determinado. (longitud / tiempo)

**Velocidad media temporal (Vt):** Es la velocidad media de todos los vehículos que pasan por un punto fijo de la carretera durante un período de tiempo.

**Velocidad media espacial (Ve):** Es la velocidad media de todos los vehículos que, en un instante determinado, están en un tramo de carretera.

**Velocidad media de recorrido:** es la media de las velocidades de recorrido de todos los vehículos en un tramo de carretera.

### DENSIDAD

La densidad es el número de vehículos por unidad de longitud sobre una carretera. Esta magnitud raramente se mide directamente, ya que es posible calcularla a partir de medidas de velocidad e intensidad ya que la relación básica entre las tres magnitudes fundamentales es  $I=V_e \cdot D$  Siendo:

I: intensidad del tráfico

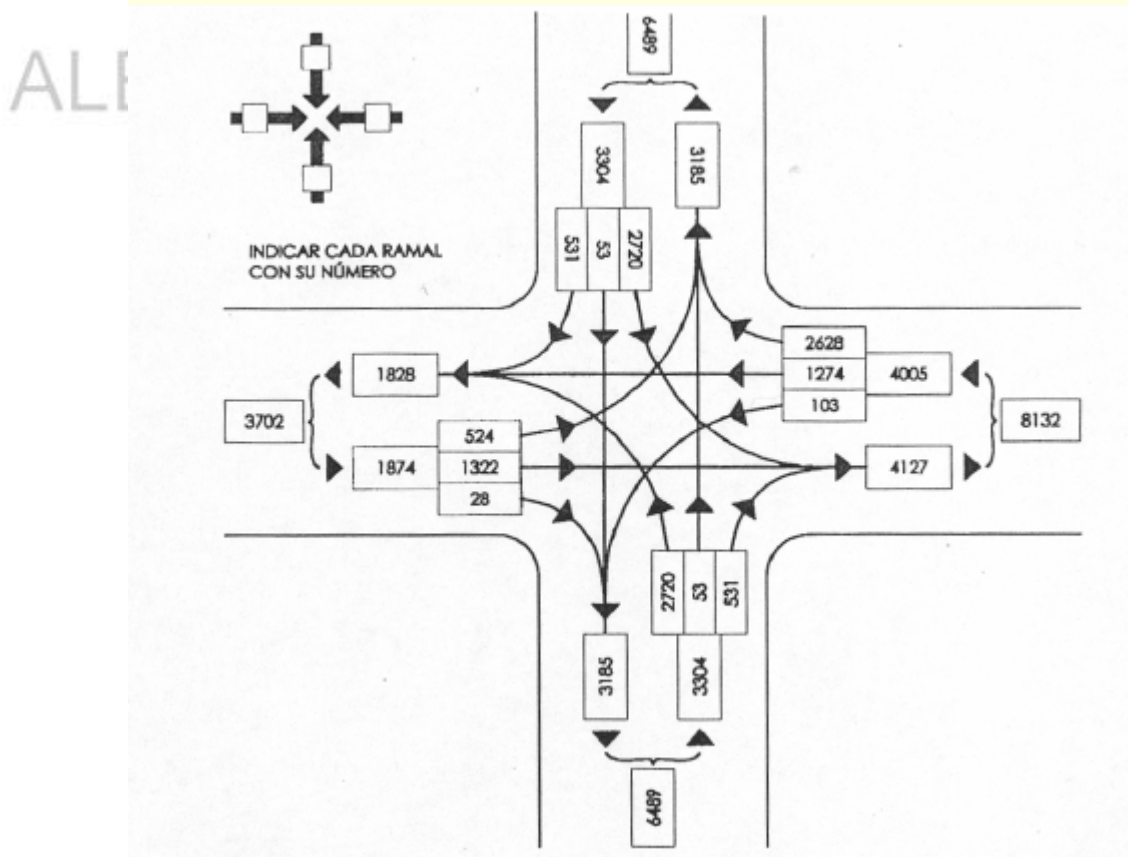
D: densidad del tráfico

Ve: velocidad media de la distribución espacial

Para conocer las características del tráfico es necesario realizar medidas y estudios en las carreteras existentes. Con los datos que se obtengan se mejora el planeamiento del tráfico, la explotación de las redes viarias existentes, la necesidad o no de regulaciones, y la investigación de los efectos de los elementos de la carretera en el tráfico.

El dato básico para la realización de cualquier estudio de planeamiento, proyecto y explotación de redes viarias es la intensidad de circulación. Para conocerla es necesario contar o aforar el número de vehículos que pasan por determinadas secciones de la red. Esta operación puede realizarse manualmente o por medio de aparatos especiales.

La realización manual consiste en situar un observador que cuente todos los vehículos que pasan por ella durante un periodo de tiempo determinado, para facilitar la tarea se utilizan generalmente unos impresos preparados con la clasificación de los vehículos que interesa contar. A veces se les proporciona también contadores manuales que el operador acciona cada vez que pasa un vehículo.



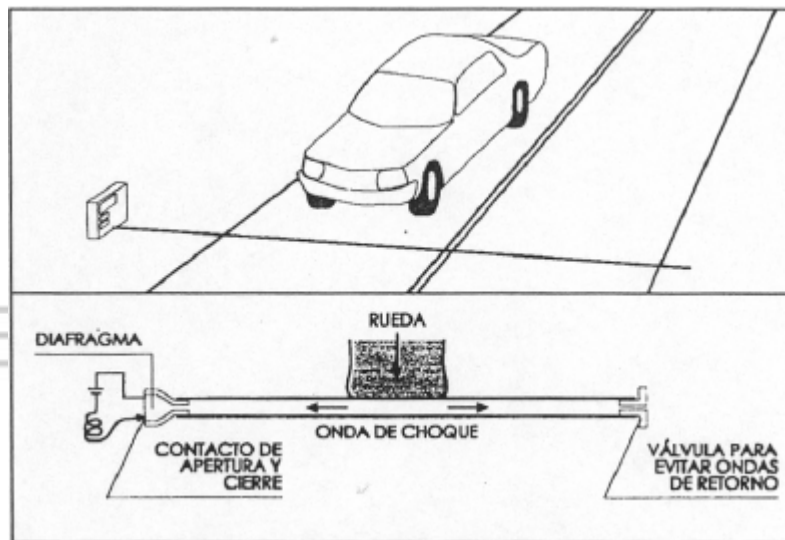
Esquema de intersección en cruz para toma de datos en aforos manuales

La mayor parte de aforos se realizan de forma automática empleando unos aparatos que son capaces de detectar el paso de los vehículos, contar el número de pasos detectados y registrar el número de pasos contados en un periodo de tiempo.

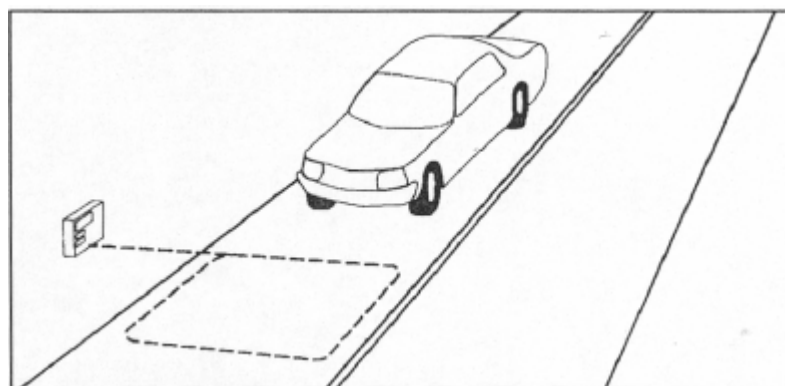
Tipos de **aforadores automáticos**:

- Detectores de lazo
- Detector de tubo de goma
- Detector de placas de reflexión magnética

Los resultados se almacenan en soporte magnético retirado periódicamente o se envían por línea telefónica a un centro del control de datos

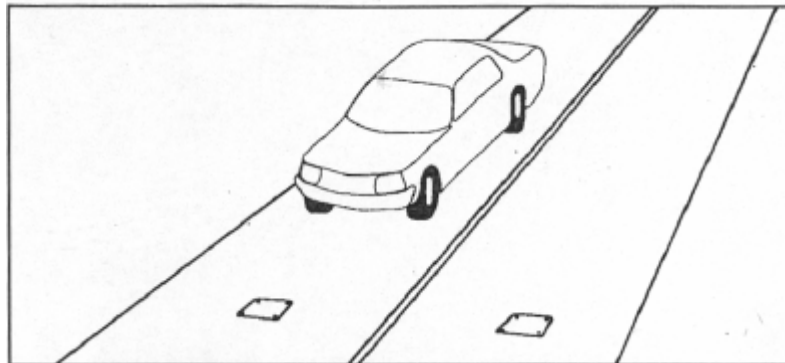


Detector de tubo neumático



Detector de lazo de inducción magnética





Detector de placas de reflexión magnética

1.Estación	287	Permanente	IMD Motos	23				
2.Provincia	SG		IMD Ligeros	2761				
3.Poblado más próx.	MADRONA		IMD Pesados	315				
4.Carretera	N 110	P.K. 199.2	IMD Autobuses	29				
5.Carril 1	PLASENCA	A	TOTAL	3128				
6.Carril 2	SORIA	D	IMD Extranjeros	18				
			IMD M. Peligrosas	6				
Mes	K	L	N	F	Coef. S(Ligeros)	0,981		
Enero	2,787	1,248	1,150	1,377	Coef. S(Pesados)	0,818		
Febrero	2,550	0,858	1,176	0,968	Coef.S(Total)	0,960		
Marzo	2,576	1,105	1,081	1,146	% de Coches	94,57		
Abril	2,540	1,144	1,208	1,326	% de Camionetas	5,04		
Mayo	2,561	1,024	1,103	1,084	% de Tractores	0,38		
Junio	2,501	0,970	1,135	1,056	% de Camiones sin R	73,47		
Julio	2,568	0,882	1,149	0,972	% de Camiones con R	26,52		
Agosto	2,506	0,805	1,132	0,874	H 30	309	%P 30	6,14
Septiembre	2,538	0,949	1,104	1,005	H 100	285	%P 100	9,12
Octubre	2,586	1,032	1,103	1,092				
Noviembre	2,478	1,054	1,088	1,100				
Diciembre	2,595	1,123	1,108	1,194				
Días Aforados	278	Nivel de Fiabilidad	3					

Datos obtenidos por una estación permanente de aforo

Las estaciones también se pueden clasificar según la duración de las medidas que realizan, así tenemos:

**Estaciones de aforo permanente:** En ellas se realiza un aforo continuado por medio de un contador automático, lo que permite conocer la intensidad de tráfico de todas las horas del año. Estas estaciones permiten un conocimiento de las variaciones del tráfico (diarias, semanales y estacionales), de la frecuencia de las intensidades horarias a lo largo del año y la obtención de las tendencias del tráfico a largo plazo.

**Estaciones de control:** tienen por objeto conocer las variaciones diarias, semanales y estacionales, para establecer unas leyes que puedan aplicarse a un grupo de estaciones similares y afines, se distinguen estaciones de control primario y secundario.

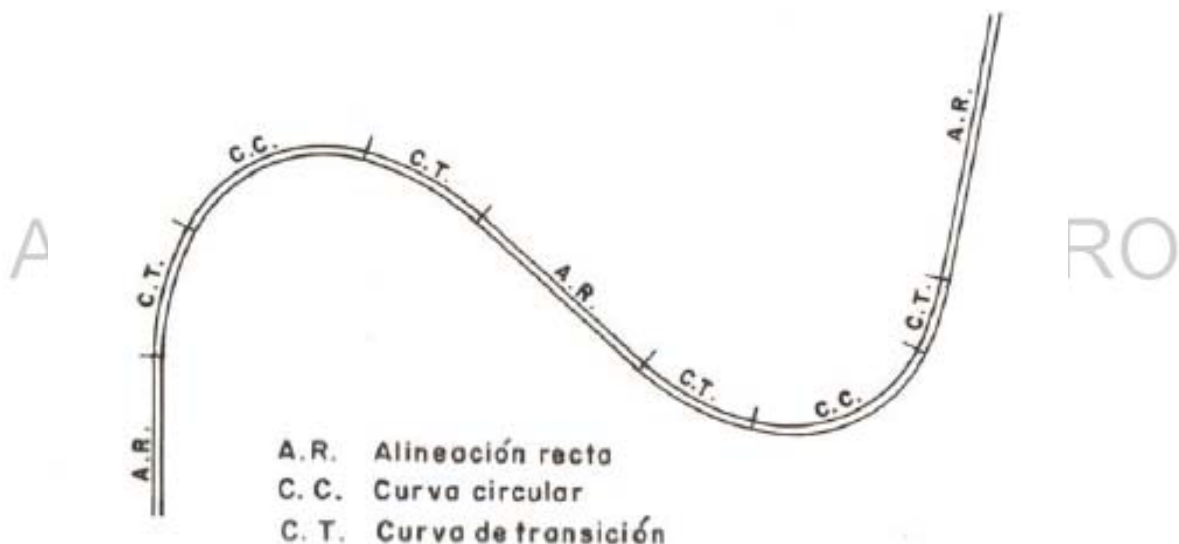
**Estaciones de cobertura:** Se realiza un aforo al año en día laborable y durante 16 horas (de 6 a 22 horas)

El objetivo principal de un plan de aforos es obtener el valor de la intensidad media anual IMD en todos los tramos de la red

### 6.3 TRAZADO EN PLANTA Y ALZADO. SECCIÓN TRANSVERSAL

#### TRAZADO EN PLANTA

La planta del camino está constituida por una serie de alineaciones rectas enlazadas por alineaciones curvas, formadas por marcos circulares con distintos radios, y unas curvas de transición que permiten una variación gradual de la curvatura



**Alineaciones rectas:** No se producen cambios de dirección y su radio de curvatura = 0. Resultan especialmente indicadas en los siguientes casos:

- En terrenos llanos
- Donde sea preciso adaptarse a algún condicionante externo que sea recto (una infraestructura, un corredor urbanístico, un valle de configuración recta)
- En las proximidades de los nudos, o de las conexiones con otras vías
- Donde resulte necesario detenerse, como en las estaciones de peaje
- En las carreteras de calzada única con dos carriles en las que, para adelantar a otros vehículos es preciso ocupar temporalmente el carril normalmente reservado a la circulación en sentido contrario

Para evitar problemas relacionados con el cansancio, deslumbramientos, excesos de velocidad, etc, es deseable limitar las longitudes máximas de las alineaciones rectas y para que se produzca una acomodación y adaptación a la conducción es deseable establecer unas longitudes mínimas de las alineaciones rectas.

Las longitudes mínima admisible y máxima deseable, en función de la velocidad de proyecto, serán las dadas por las expresiones siguientes:

$$L_{\min,s} = 1,39 \cdot V_p$$

$$L_{\min,o} = 2,78 \cdot V_p$$

$$L_{\max} = 16,70 \cdot V_p$$

Siendo:

$L_{\min,s}$  = Longitud mínima (m) para trazados en "S" (alineación recta entre alineaciones curvas con radios de curvatura de sentido contrario)

$L_{\min,o}$  = Longitud mínima (m) para el resto de casos (alineación recta entre alineaciones curvas con radios de curvatura del mismo sentido)

$L_{\max}$  = Longitud máxima

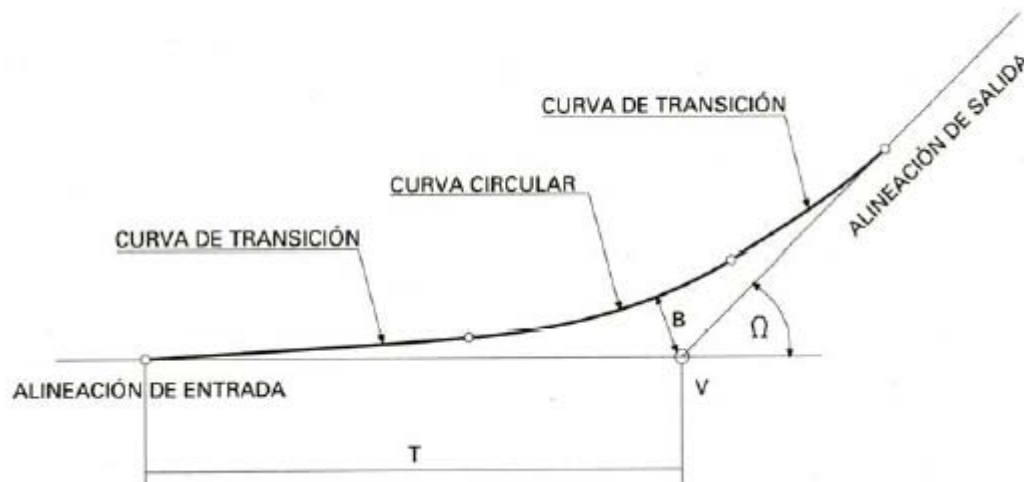
$V_p$  = Velocidad de proyecto (km/h)

**Curvas circulares:** alineaciones formadas por arcos de circunferencia, permiten realizar cambios de dirección, nos la define el radio, que nos determina el radio de curvatura y la longitud del tramo.

Otro elemento importante del trazado en planta es el peralte, que es la inclinación transversal, en relación con la horizontal, que se da a la calzada hacia el interior de la curva, para contrarrestar el efecto de la fuerza centrífuga de un vehículo que transita por un alineamiento en curva. Dicha acción está contrarrestada también por el rozamiento entre ruedas y pavimento.

El enlace entre las alineaciones rectas y las curvas circulares exige (salvo el caso de curvas de radios muy grandes) emplear un tercer tipo de alineación: las **curvas de transición**. Éstas tienen una curvatura variable con la distancia recorrida, con lo que suavizan las discontinuidades en la variación de la curvatura y el peralte.

Tanto la curvatura de la trayectoria (obtenida mediante el giro de la ruedas directrices) como el peralte varían paulatinamente a lo largo de una longitud de transición, desde un valor nulo en la alineación recta hasta un valor infinito en la curva circular. Con esta solución aumenta la comodidad en la conducción, pues el volante se gira paulatinamente.



La curva de transición más utilizada es la **clotoide**, su desarrollo es una espiral cuyo radio de inicio es el de la alineación que la precede y en su punto final debe tener el radio de curvatura de la alineación siguiente. Tiene la propiedad de que la curvatura varía proporcionalmente a la longitud recorrida. Su ecuación intrínseca es:  $R \cdot L = A$

Siendo:

R = radio de curvatura en un punto cualquiera

L = longitud de la curva entre su punto de inflexión (R = infinito) y el punto de radio R

A = parámetro de la clotoide, característico de la misma

La clotoide, como curva de transición, tiene la particularidad de que si se recorre a velocidad constante y se combina con una variación lineal del peralte se obtiene una variación de la aceleración centrífuga constante y además la clotoide es la curva de transición más sencilla de replantear en el terreno. Además, existen otras curvas de transición como la lemniscata de Bernoulli y los óvalos de Cassini.

### TRAZADO EN ALZADO

Los elementos que constituyen el trazado en alzado son las alineaciones verticales formadas por las rasantes en rampa ó pendiente y por los acuerdos entre las mismas.

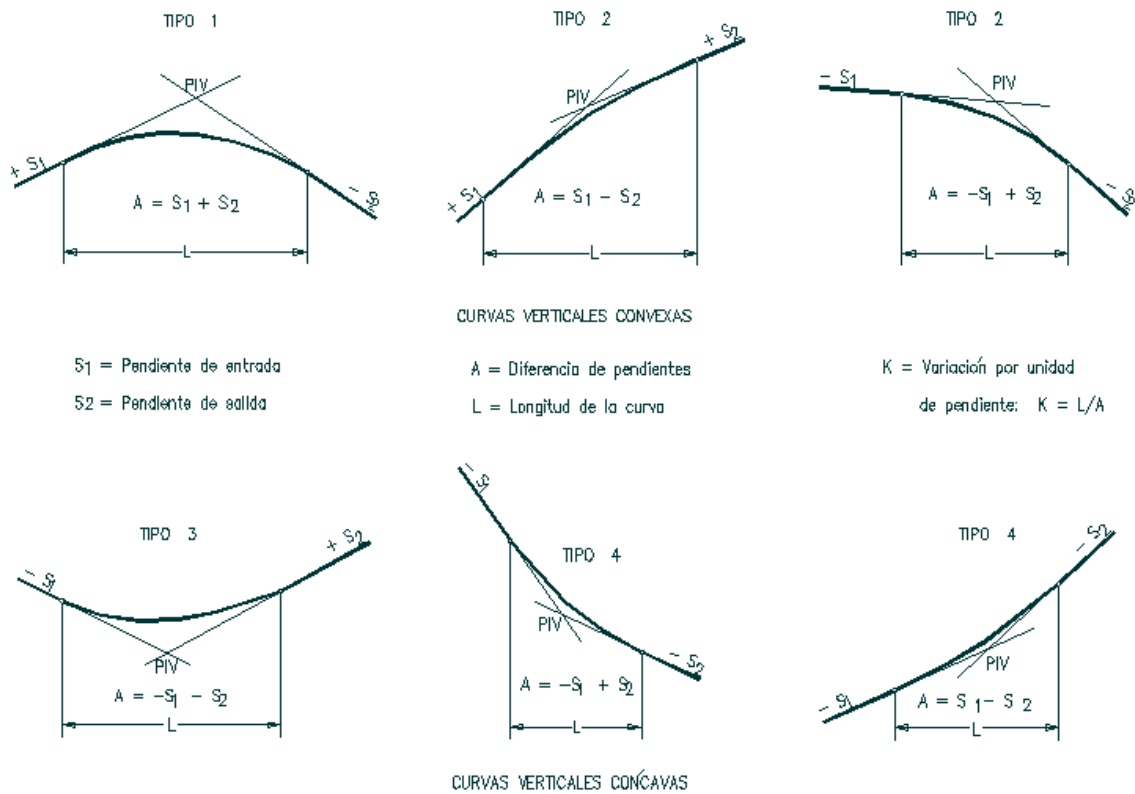
La **rasante** es el conjunto de segmentos, rectos o curvos, que definen el trazado en alzado de una carretera. La definición de rasante es bidimensional: relaciona la distancia 'S' recorrida a lo largo del trazado en planta (desde un origen de las distancias), con la cota 'Z' (referida a un plano horizontal de comparación). La inclinación de una rasante se mide por la tangente del ángulo que la recta tangente a ella forma con la horizontal, expresado en tanto por 100

$$i = 100 \cdot dz/ds$$

Los valores positivos de 'i' corresponden a las rampas (se sube en el sentido del avance), los valores negativos de 'i' corresponden a las pendientes (se baja en el sentido del avance).

La inclinación de la rasante depende principalmente de la topografía de la zona que atraviesa, del alineamiento horizontal, de la visibilidad, de la velocidad del proyecto, de los costos de construcción, de los costos de operación, del porcentaje de vehículos pesados y de su rendimiento en rampas.

Entre dos rasantes uniformes consecutivas con diferente inclinación hay que intercalar un segmento curvo y de inclinación variable, que suavice el paso de una a otra. Estos segmentos se denominan acuerdos verticales. Pudiendo ser los acuerdos verticales cóncavos o convexos. La curva más utilizada para los acuerdos verticales es una parábola de segundo grado de eje vertical.



## SECCIÓN TRANSVERSAL

En general la sección transversal de una carretera está integrada por:

La **calzada** que es la zona de la carretera destinada normalmente a la circulación de vehículos. La calzada se considera dividida en franjas longitudinales, cada una de las cuales permite la circulación de una sola fila de vehículos. Esas franjas se llaman carriles y se distinguen mediante líneas pintadas en el pavimento.

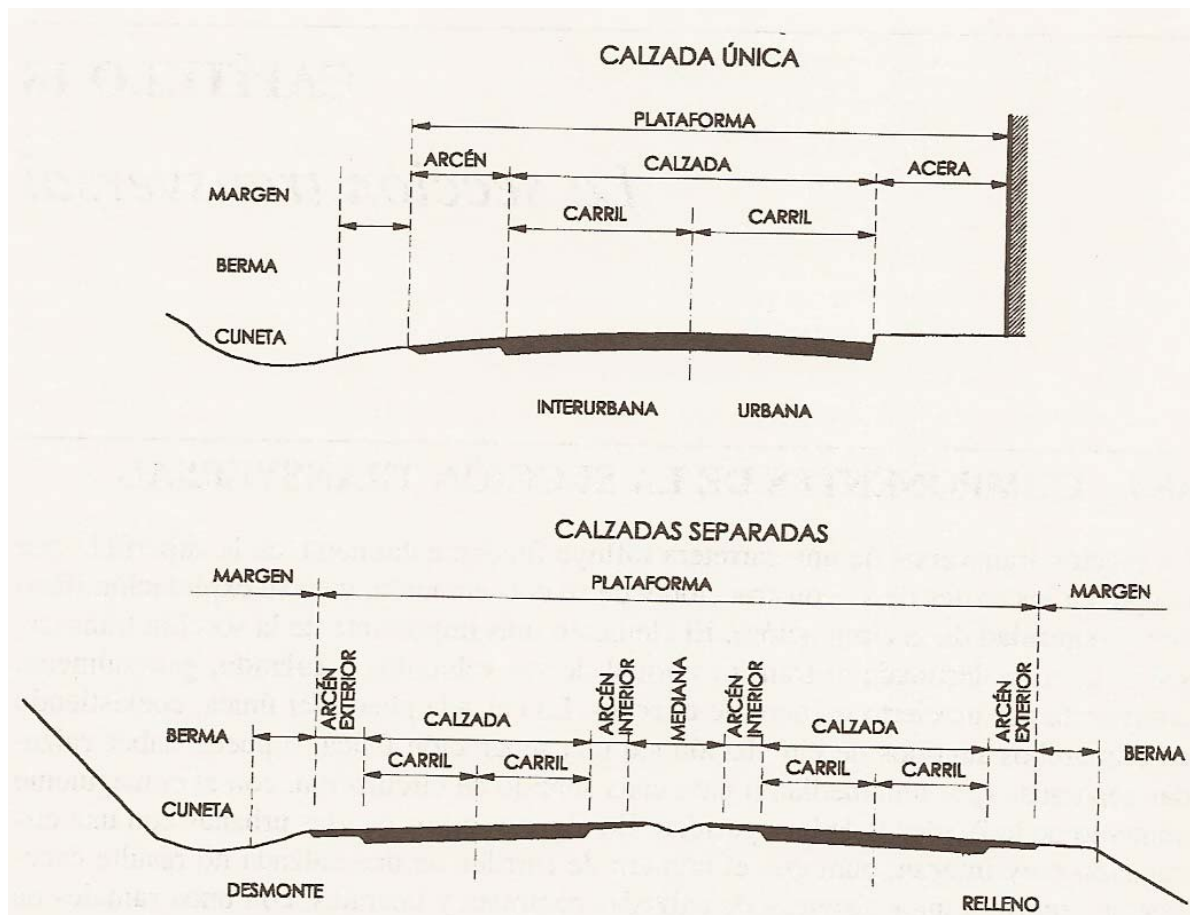
El **arcén**, que es la franja longitudinal no destinada a la circulación de vehículos, comprendida entre el borde exterior de la calzada y el borde de la plataforma, y que sirve para que los vehículos puedan realizar breves detenciones fuera de la calzada y que puedan rectificar su trayectoria en caso de salirse de ella.

**Berma**, o franja longitudinal de la carretera comprendida entre el borde exterior del arcén pavimentado y la cuneta o el terraplén. Es utilizada eventualmente para colocar la señalización, la iluminación, el balizamiento, las comunicaciones, las barreras de seguridad, etc.

**Cunetas**: permite la eliminación del agua de la forma más efectiva posible. Realizadas en el terreno o de hormigón. La sección transversal de la misma puede ser variable, siendo preferibles las secciones transversales con taludes suaves 1/6, fondos amplios y aristas redondeadas.

**Márgenes**: zonas exteriores a la plataforma y contiguas a ella.

Al conjunto de calzada y arcenes se les denomina **plataforma** de la carretera. La mayor parte de las carreteras y calles están formadas por una calzada única por la que circulan vehículos en dos sentidos opuestos. Las vías con mayor tráfico pueden disponer de dos calzadas separadas, una para cada sentido de circulación. La separación se realiza mediante una franja longitudinal no destinada a la circulación, que se denomina **mediana** y cuya anchura puede variar entre amplios límites.



Las dimensiones y los demás características de todos estos elementos de la sección transversal dependen del tipo de carretera, de su entorno, de la intensidad de la circulación. Algunas de las medidas (carril, arcén y berma) se recogen en la tabla siguiente

CLASE DE CARRETERA	Velocidad de Proyecto (km/h)	Carriles (m)	Arcén (m)		Bermas (m)		Nivel de servicio en la hora de proyecto del año horizonte
			exterior	interior	mínimo	máximo	
De calzadas separadas	120	3,5	2,5	1,0 - 1,5	0,75	1,5	C
	100	3,5	2,5	1,0 - 1,5	0,75	1,5	D
	80	3,5	2,5	1,0	0,75	1,5	D
De calzada única	Vías rápidas	100	3,5	2,5	0,75	1,5	C
		80	3,5	2,5	0,75	1,5	D
	Carreteras convencionales	100	3,5	1,5 - 2,5	0,75	1,5	D
		80	3,5	1,5	0,75	1,5	D
		60	3,5	1,0 - 1,5	0,75	1,5	E
		40 IMD > 2000	3,5	0,5	-	-	E
		40 IMD < 2000	3,0	0,5	-	-	E

Las características de la mediana se fijarán a partir del preceptivo estudio técnico-económico en el que se tendrán en cuenta el radio en planta, la visibilidad de parada (considerando los sistemas de contención de vehículos) y la necesidad de incrementar el número de carriles, en su caso, así como cualquier otra consideración que pueda intervenir en dicho estudio (apoyos de estructuras y de señalización; excavaciones y rellenos, drenaje, iluminación, coste de expropiaciones, etc).

En cualquier caso la anchura mínima de la mediana será:

-Cuando se prevea la ampliación del número de carriles a expensas de la mediana:

-Diez metros (10 m) si la velocidad de proyecto es 100 ó 120 km/h.

-Nueve metros (9 m) si la velocidad de proyecto es 80 km/h

-Cuando no se prevea la ampliación del número de carriles a expensas de la mediana (2 m).

-En casos excepcionales debidamente justificados (estructuras singulares) (1m)

Para poder evacuar la lluvia caída sobre la plataforma es necesario que esta tenga una inclinación transversal, por lo que ese bombeo del agua de la plataforma en recta se proyectará de modo que se evacuen con facilidad las aguas superficiales, y que su recorrido sobre la calzada sea mínimo.

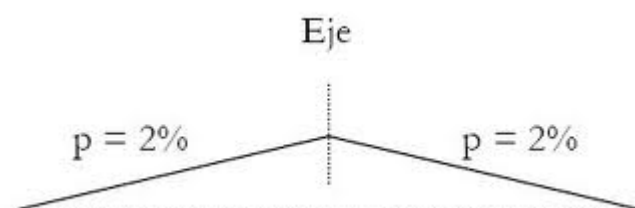
Para ello se utilizarán los siguientes criterios:

#### En carreteras de calzadas separadas

La calzada y los arcenes se dispondrán con una misma inclinación transversal mínima del dos por ciento (2 %) hacia un solo lado. En zonas en que la pluviometría lo aconseje, por la frecuencia o intensidad de las precipitaciones, podrá justificarse aumentar la inclinación transversal mínima al dos y medio por ciento (2,5 %). Las bermas se dispondrán con una inclinación transversal del cuatro por ciento (4 %) hacia el exterior de la plataforma.

#### En carreteras de calzada única

La calzada y los arcenes se dispondrán, con una misma inclinación transversal mínima del dos por ciento (2 %) hacia cada lado a partir del eje de la calzada. En zonas en que la pluviometría lo aconseje, por la frecuencia o intensidad de las precipitaciones, podrá justificarse aumentar la inclinación transversal mínima al dos y medio por ciento (2,5 %). Las bermas, se dispondrán con una inclinación transversal del cuatro por ciento (4 %) hacia el exterior de la plataforma.





En curvas circulares y de transición la pendiente transversal de la calzada y arcenes coincidirá con el peralte. Las bermas tendrán una pendiente transversal del cuatro por ciento (4 %) hacia el exterior de la plataforma.

Cuando dicho peralte supere el cuatro por ciento (4 %), la berma en el lado interior de la curva, tendrá una pendiente transversal igual al peralte, manteniéndose el cuatro por ciento (4 %) hacia el exterior de la plataforma en el lado exterior de la curva. En todos los casos se estudiará cuidadosamente el desagüe en el margen interior de la curva.

#### 6.4 CONSTRUCCIÓN DE CARRTERAS. TIPOS DE FIRMES

Las explanaciones u obras de tierra son las actuaciones de remodelación del terreno natural mediante la adición o retirada de materiales, de forma que se consiga una superficie de geometría y capacidad de soporte adecuadas para el apoyo del firme y del resto de la superestructura.

Las obras de tierra se clasifican en:

Desmontes: si es necesario retirar material

Rellenos: si es necesario aportar material

A media ladera: si son necesarias ambas operaciones en la misma sección transversal

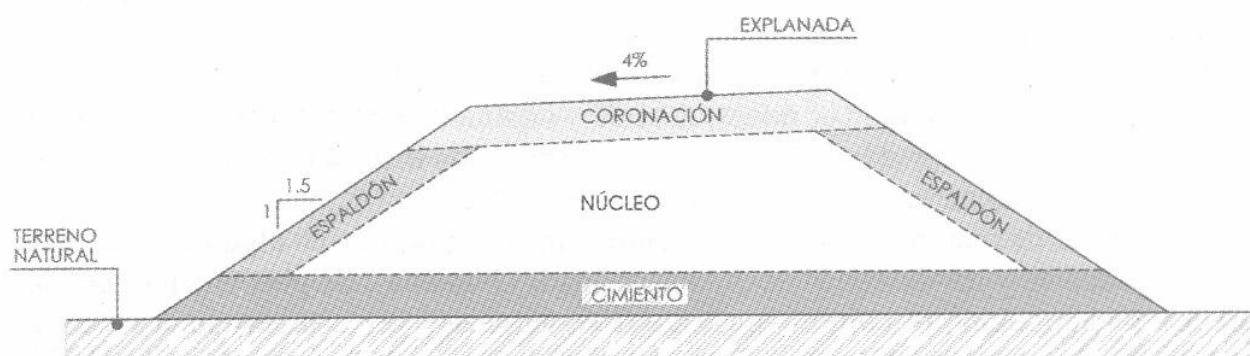
Dentro de los rellenos dependiendo el tamaño de las partículas tendremos:

Terraplén: si el tamaño característico de las partículas esta entre 0 y 10 cm

Pedraplén: si el tamaño característico de las partículas esta entre 10 y 60 cm

Todo uno: si el tamaño característico de las partículas esta entre 0 y 30 cm.

En un relleno pueden distinguirse varias zonas atendiendo a la función que cumplen los materiales constituyentes. Así tendremos:



**Cimiento:** se trata del material situado bajo la cota del terreno natural, la profundidad que se debe considerar es variable, pero puede cifrarse normalmente entre la altura del relleno y un tercio de ésta.

**Arranque:** son las primeras tongadas del relleno inmediatamente por encima del cimiento (1 a 2m). En esa zona puede ser necesario tomar precauciones especiales relacionadas con la geometría (si el relleno descansa sobre una ladera de forma que su apoyo no es horizontal) o con los materiales (si se espera la circulación de agua en el contacto entre el relleno y el cimiento)

**Núcleo:** es el material colocado entre el cimiento y la coronación en la zona central de la sección de relleno. Su altura es muy variable, ya que depende de la altura de relleno que se desee construir: puede llegar a ser de decenas de metros. Cuando se trata de un todo uno o un pedraplén, la parte superior del núcleo tiene una zona especial que se denomina transición, y que se construye de forma que la granulometría se va cerrando en tongadas sucesivas para que la coronación, que tiene que estar constituida por suelos (terreno de partículas de tamaño inferior a 1 decímetro), por razones de regularidad geométrica y continuidad de apoyo de firme pueda construirse y compactarse.

**Espaldones:** material que envuelve lateralmente al núcleo protegiéndolo de los agentes externos, especialmente de los meteorológicos.

**Coronación:** la zona que constituye la parte superior del relleno, generalmente con un espesor entre 0,5 y 1m. Su superficie constituye la explanada sobre la que asienta el firme de la calzada y de los arcenes. Lo que está por debajo de la explanada y que denominamos infraestructura y lo que está por encima de la explanada lo denominamos superestructura

Encima de la explanada se situaría el firme, estando constituido el **cimiento del firme** en general por los propios suelos o la roca de la traza, por un suelo de aportación o, al menos en su parte superior por un suelo estabilizado in situ, ocasionalmente el cimiento del firme puede ser el tablero de una estructura.

Tradicionalmente, se ha identificado el cimiento con la coronación del relleno o con la parte superior del fondo del desmonte, hasta una profundidad de unos 50 cm. En la actualidad, se tiende a englobar en el cimiento todo espesor de materiales bajo la explanada cuyo comportamiento pueda influir en el del firme. Aunque este espesor depende tanto de la naturaleza de los materiales como de la del firme, puede admitirse que está entre 1 y 2 m.

El cimiento del firme debe resistir tanto el peso propio de éste como las tensiones procedentes de las cargas del tráfico sin deformaciones diferidas apreciables. Estas deformaciones tienen dos limitaciones: una para el asiento general y otra, mucho más estricta para los asientos diferenciales, que podrían afectar a la regularidad superficial del pavimento y, en definitiva, a sus condiciones funcionales.



La **capacidad de soporte** del cimiento del firme es la resistencia a la deformación bajo las cargas del tráfico. Para determinar la capacidad de soporte se utilizan los ensayos CBR (en laboratorio) y los ensayo de carga con placa (in situ)

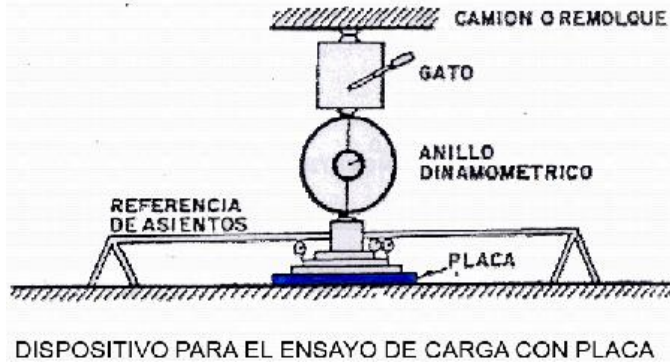
El **ensayo CBR** (California Bearing Ratio) es probablemente el ensayo más utilizado en todo el mundo para estimar la capacidad de soporte de los suelos constitutivos de los cimientos de los firmes. Se trata de un ensayo en el que el suelo se somete a la penetración de un vástago cilíndrico a una velocidad constante. El suelo compactado se sumerge en agua (para poder preveer la hipotética situación de acumulación de humedad en el suelo después de la construcción) y en el proceso de saturación se mide, además, el eventual hinchamiento del suelo a medida que se satura.

El resultado (índice CBR) es la capacidad de soporte del suelo comparado con la de una grava patrón, en porcentaje. El CBR es, pues, el porcentaje de la presión ejercida por un pistón sobre el suelo con relación a la presión ejercida por una muestra tipo cuando este pistón es introducido en la muestra de suelo con una velocidad de penetración constante.



Aparato del ensayo CBR

El **ensayo de carga con placa** consiste en la aplicación de unas ciertas cargas sobre una placa circular apoyada sobre la capa que requiere evaluar, ya sea de relleno, de coronación o de firme. Se mide entonces su respuesta a través de los asentamientos producidos. La relación presiones/ asentamientos está evidentemente relacionada con la capacidad de soporte del material existente hasta una cierta profundidad (aquella afectada por el bulbo de presiones)



Dependiendo de cómo se constituya el cimiento del firme se pueden obtener explanadas de diferente calidad, evaluada generalmente por su capacidad de soporte. En España, la normativa estatal de secciones de firme (norma 6.1-IC) establecen tres categorías de explanada, denominadas respectivamente E1, E2 y E3. Estas categorías se determinan según el módulo de compresibilidad en el segundo ciclo de carga ( $E_{v2}$ ), obtenido de acuerdo con la NLT-357 "Ensayo de carga con placa", cuyos valores se recogen en la tabla

CATEGORIA DE EXPLANADA	E1	E2	E3
$E_{v2}$ (MPa)	$\geq 80$	$\geq 120$	$\geq 300$

La formación de las explanadas de las distintas categorías se recoge en la tabla de abajo, dependiendo del tipo de suelo de la explanación o de la obra de tierra subyacente, y de las características y espesores de los materiales disponibles, según se definen en el artículo 330 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3). Para la correcta aplicación de la figura 1 se deberán tener en cuenta los siguientes criterios:

- Todos los espesores que se indican son los mínimos especificados para cualquier punto de la sección transversal de la explanada.
- Los materiales empleados han de cumplir las prescripciones contenidas en los correspondientes artículos del PG-3
- La tabla de abajo se estructura según el tipo de suelo de la explanación en el caso de los desmontes, o de la obra de tierra subyacente en el caso de los terraplenes, los pedraplenes o los rellenos todo-uno. Se consideran los siguientes tipos de suelo: inadecuados y marginales (IN), tolerables (0), adecuados (1), seleccionados (2), seleccionados con  $CBR \geq 20$  en las condiciones de puesta en obra (3) y roca (R). A los efectos de aplicación de esta norma, los pedraplenes (artículo 331 del PG-3) y rellenos todo-uno (artículo 333 del PG-3), salvo que se proyecten con materiales marginales de los definidos en el artículo 330 en el PG-3, serán asimilables a los suelos tipo 3.
- Para poder asignar a los suelos de la explanación o de la obra de tierra subyacente una determinada clasificación deberán tener un espesor mínimo de un metro (1m) del material indicado. En caso contrario, se asignará la clasificación inmediatamente inferior.

e) Salvo justificación en caso contrario, será preceptivo proyectar una capa de separación (estabilización in situ con cal en 15 cm de espesor, geotextil, membrana plástica, etc.) entre los suelos inadecuados o marginales con finos plásticos y las capas de suelo adecuado o seleccionado, para la formación de explanadas del tipo E2 y E3 en las categorías de tráfico pesado T00 a T2.

		TIPOS DE SUELOS DE LA EXPLANACIÓN (DESMONTES) O DE LA OBRA DE TIERRA SUBYACENTE (TERRAPLENES, PEDRAPLENES O RELLENOS TODO-UNO)				
		SUELOS INADECUADOS O MARGINALES (IN)	SUELOS TOLERABLES (0)	SUELOS ADECUADOS (1)	SUELOS SELECCIONADOS (2) y (3)	ROCA (R)
CATEGORÍA DE EXPLANADA	E1 $E_{v2} \geq 60 \text{ MPa}$					
	E2 $E_{v2} \geq 120 \text{ MPa}$					
	E3 $E_{v2} \geq 300 \text{ MPa}$					

**IN** Suelo inadecuado o marginal (Art. 330 del PG-3)

**0** Suelo tolerable (Art. 330 del PG-3)

**1** Suelo adecuado (Art. 330 del PG-3)

**2** Suelo seleccionado (Art. 330 del PG-3)

**3** Suelo seleccionado (Art. 330 del PG-3)

**S-EST 1** Suelo estabilizado in situ (Art. 512 del PG-3)

**S-EST 2** Suelo estabilizado in situ (Art. 512 del PG-3)

**S-EST 3** Suelo estabilizado in situ (Art. 512 del PG-3)

**HM-20** Hormigón espesor mínimo: 15 cm (Art. 610 del PG-3)

tipo de material

espesor mínimo en cm

suelo de explanación o de la obra de tierra subyacente

Formación de la Explanada

Materiales para la explanada se especifican en la tabla siguiente:

SÍMBOLO	DEFINICIÓN DEL MATERIAL	ARTÍCULO DEL PG-3	PRESCRIPCIONES COMPLEMENTARIAS
IN	SUELO INADECUADO O MARGINAL	330	- Su empleo sólo será posible si se estabiliza con cal o con cemento para conseguir S-EST1 o S-EST2.
0	SUELO TOLERABLE	330	- CBR $\geq 3$ (*). - En capas para formación de explanada: - Contenido en materia orgánica < 1%. - Contenido en sulfatos solubles (SO <sub>3</sub> ) < 1%. - Hinchamiento libre < 1%.
1	SUELO ADECUADO	330	- CBR $\geq 5$ (*).
2	SUELO SELECCIONADO	330	- CBR $\geq 10$ (*).
3	SUELO SELECCIONADO	330	- CBR $\geq 20$
S-EST1 S-EST2 S-EST3	SUELO ESTABILIZADO IN SITU CON CEMENTO O CON CAL	512	- Espesor mínimo: 25 cm. - Espesor máximo: 30 cm.
HM-20	HORMIGÓN DE RELLENO	610	- Espesor mínimo: 15 cm.

(\*) El CBR se determinará de acuerdo con las condiciones especificadas de puesta en obra, y su valor se empleará exclusivamente para la aceptación o rechazo de los materiales a utilizar en las diferentes capas que conforman las explanaciones y obras de tierra, de acuerdo con la figura 1. Para la capa de coronación de explanadas, el suelo adecuado definido como tipo 1 deberá tener el CBR  $\geq 6$  y el suelo seleccionado definido como tipo 2 dispondrá de un CBR  $\geq 12$ .

Las tipos de explanadas se pueden conseguir con distintos tipos de suelos mediante estabilización

La **estabilización de un suelo in situ** es la mezcla homogénea y uniforme de un suelo con cal o con cemento, y eventualmente agua, en la propia traza de la carretera, la cual convenientemente compactada, tiene por objeto disminuir la susceptibilidad al agua del suelo, aumentar la capacidad de soporte del suelo, controlar la erosión y los cambios de volumen. Con ello se pueden aprovechar suelos mediocres e incluso francamente inadecuados en el cimiento de los firmes.

La estabilización puede ser mecánica, por mezcla de dos o más suelos de diferentes características, a fin de obtener un suelo de características suficientes en cuanto a granulometría, plasticidad o impermeabilidad, etc. se refiere. Uno de los suelos es el existente en la traza y el otro es de aportación para mejorar sus propiedades. Se trata de una técnica de posibilidades muy limitadas y que en la actualidad se utiliza solo en vías de baja intensidad de tráfico.

Más a menudo, la estabilización se lleva a cabo incorporando aditivos que actúan física o químicamente sobre las propiedades del suelo. Los más utilizados son el cemento y la cal, pero también se emplean escorias granuladas, cenizas volantes, ligantes hidrocarburoados fluidos, cloruro sódico, cloruro cálcico, etc. En los procesos de estabilización con aditivos, el grado de estabilización que puede alcanzarse depende fundamentalmente del tipo de suelo, del aditivo utilizado, de la cantidad añadida (aunque algunos suelos de buena granulometría y reducida plasticidad pueden resultar muy modificados aun con proporciones muy bajas de aditivo) y, muy especialmente, de la ejecución.

Quando se trata únicamente de mejorar ligeramente las propiedades de un suelo por adición de una pequeña cantidad de aditivo, es usual hablar de "*suelo mejorado con...*"; en cambio, la mezcla que ofrece finalmente una resistencia y rigidez apreciables suele designarse como "*suelo estabilizado con...*". Las técnicas de estabilización propiamente dicha se aplican no solo en la formación de explanadas, sino también para construir capas de firme, en cuyo caso a veces se emplean los mismos suelos de la traza, pero en otras ocasiones se recurre a suelos de préstamo. Cuando la mezcla se va a destinar a capas de firme suele, en general, realizarse *en central*, mientras que para la formación de explanadas se realiza *in situ*.

En la **estabilización in situ con cal** se obtiene una mezcla de suelo, cal área (viva o apagada) y agua. Los suelos más apropiados para estabilizar con cal son los de granulometría fina, de plasticidad apreciable, y en particular, de elevada humedad natural. Según el tipo de suelo, se emplean proporciones (sobre la masa seca del suelo) del 2 al 7 por 100 de cal, si bien no se suele sobrepasar el 5 por 100. Los suelos estabilizados in situ con cal se emplean para:

- Formación de explanada tipo E1 y E2
- Construcción de terraplenes con suelos marginales o inadecuados
- Reducir la humedad de un suelo permitiendo transitar por él

Por su lado el material denominado **suelo estabilizado in situ con cemento** se obtiene por la mezcla de un suelo granular, suficientemente disgregado, con cemento, agua y eventuales adiciones seguida de una compactación y de un curado adecuados. Se emplean proporciones de cemento que, general, no superan el 6 por 100 sobre la masa seca del suelo. La normativa española considera dos tipos de suelos mejorados con cemento S-EST 1 Y S-EST 2 y un tipo de suelo estabilizado con cemento el S-EST 3. Los Suelos estabilizados in situ con cemento se emplean para:

- Formación de explanadas tipo E1, E2 y E3
- Mejorar las características de cualquier suelo, y especialmente su capacidad de soporte

CARACTERÍSTICA	UNIDAD	NORMA	TIPO DE SUELO ESTABILIZADO		
			S-EST1	S-EST2	S-EST3
<b>Contenido de cal o cemento</b>	% en masa de suelo seco		≥2	≥3	
<b>Índice CBR a 7 días(**)</b>		UNE 103502	≥6	≥12	-
<b>Compresión simple a 7 días(**)</b>	MPa	NLT - 305	-	-	≥1,5
<b>Densidad (Proctor modificado)</b>	% de la densidad máxima	UNE 103501	≥95(**)	≥97	≥98

(\*) Para la realización de estos ensayos, las probetas se compactarán, según la NLT-310, con la densidad especificada en la fórmula de trabajo.

(\*\*) Para la capa de coronación de la categoría de explanada E1 definida en la Norma 6.1- IC de Secciones de firme, este valor será del noventa y siete por ciento (97%).

La **ejecución de un suelo estabilizado in situ con cal o cemento** incluye las siguientes operaciones:

1. Caracterización del suelo en el laboratorio
2. Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo. La fórmula de trabajo indicará:

- La dosificación mínima de conglomerante
- El tipo de conglomerante a utilizar
- El contenido de humedad del suelo antes de la mezcla
- El contenido de humedad del suelo estabilizado en el momento de su compactación
- La compacidad a obtener, mediante el valor mínimo de la densidad del Proctor Modificado
- El índice CBR o Resistencia a Compresión Simple a 7 días exigible
- El plazo de trabajabilidad en el caso de suelos estabilizados con cemento

### 3. Preparación de la superficie existente

#### 4. Disgregación del suelo

El suelo se escarificara y disgregara hasta que no existan elementos ni terrones con tamaño superior a 80 mm.

#### 5. Humectación o desecación del suelo

La humedad del suelo deberá ser tal que permita que, con el quipo que se vaya a realizar la estabilización, se consiga el grado de disgregación requerido y su mezcla con la cal o cemento sea total y uniforme.

#### 6. Distribución del aditivo

La cal o cemento se distribuirán uniformemente mediante equipos mecánicos con la dosificación fijada en la formula de trabajo

#### 7. Ejecución de la mezcla

Inmediatamente después de la distribución del conglomerante deberá procederse a su mezcla con el suelo, todo el conglomerante se deberá mezclar con el suelo disgregado antes de haber transcurrido una hora desde su aplicación. Se deberá obtener una dispersión homogénea, lo que se reconocerá por un color uniforme de la mezcla y la ausencia de grumos. En obras complementarias (pistas de obra, caminos agrícolas, etc.) y de pequeñas dimensiones se puede realizar el mezclado mediante varias pasadas con aperos agrícolas: gradas de discos, arados de vertedera, chísels, rotocultores (rotabator), etc. Estos son baratos y disponibles en cualquier lugar del mundo. También puede realizarse la mezcla con la hoja de motoniveladora, pero sólo en obras secundarias donde se esté buscando el secado y/o un tratamiento leve del suelo. Para la estabilización con cal y cemento de capas soporte de infraestructuras civiles, cuyas especificaciones son muy exigentes por razones obvias de calidad, la maquinaria específica para realizar el mezclado son los “estabilizadores de suelos”, o equipos pulvimezcladores de eje horizontal.

#### 8. Compactación

En el momento de iniciar la compactación, la mezcla deberá estar disgregada en todo su espesor y su humedad será la correspondiente a la de la óptima del Ensayo Proctor Modificado. Se compactara hasta alcanzar la densidad especificada

#### 9. Terminación de la superficie

Dentro del plazo de trabajabilidad de la mezcla se podrá hacer un refinado con motoniveladora para conseguir la rasante y sección definida en los planos, y posterior recompactación de la siguiente corregida



## 10. Ejecución de juntas

Se dispondrán juntas transversales y/o longitudinales, en el caso de estabilizaciones con cemento, cuando el proceso constructivo se interrumpa más del tiempo de trabajabilidad de la mezcla

## 11. Curado y protección superficial

En los suelos estabilizados con cemento o con cal para formación de explanadas se aplicará un riego de curado para mantener la humedad del suelo estabilizado, y además se prohibirá la circulación de vehículos ligeros en los 3 primeros días y la circulación de vehículos pesados en los 7 primeros días. En el caso de estabilizaciones para ejecución de terraplenes con suelos marginales o inadecuados, o para reducir la humedad de los suelos, se podrá extender la siguiente capa de terraplén, inmediatamente después de la terminación de la superficie, prescindiendo en este caso del curado final. Antes de iniciarse la estabilización in situ del suelo será perceptiva la realización de un tramo de prueba, para comprobar la Fórmula de Trabajo y el funcionamiento de los equipos necesarios



Existen dos **métodos para la ejecución** de la disgregación, dosificación, distribución de la cal o cemento y del agua, y de mezclado en la estabilización de suelos:

**Por Vía Húmeda:** Para carreteras con categoría de tráfico T00 a T1 ó cuando la superficie a tratar sea superior a los 70.000 m<sup>2</sup>, será preceptivo el empleo de equipos que integren en una sola máquina las operaciones de disgregación, dosificación y distribución de la cal o del cemento y del agua, y de mezclado. El cemento o la cal se dosificarán como lechada. El equipo para su fabricación tendrá un mezclador con alimentación volumétrica de agua y dosificación ponderal del conglomerante.

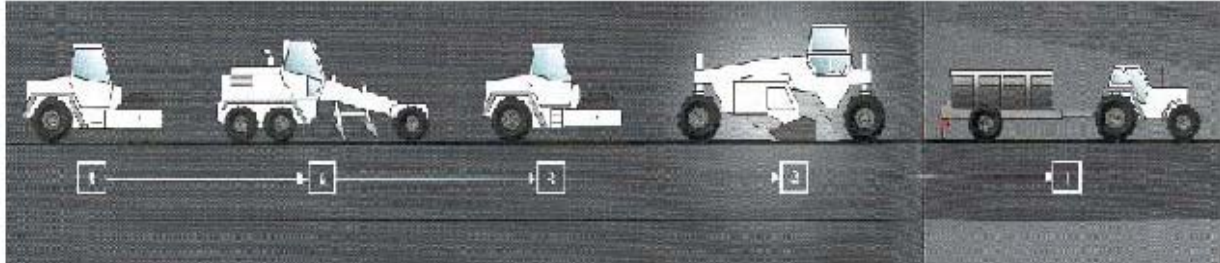
**Por Vía Seca:** Se realiza cuando la superficie a tratar sea inferior a 70.000 m<sup>2</sup> o cuando sea conveniente una reducción de la humedad natural del suelo. El cemento o la cal se dosificarán en polvo. La disgregación, la dosificación y distribución de cal o cemento y el mezclado se realiza con equipos independientes que realizan por separado las distintas operaciones.

El equipo de estabilización de suelos por vía seca está compuesto por

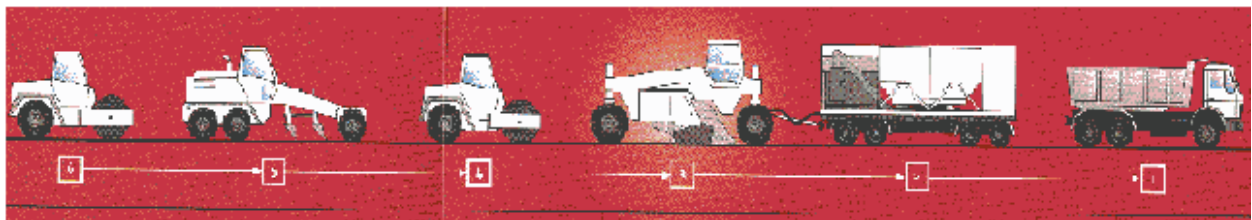
- Un Equipo de Riego de agua, en caso necesario
- Un Equipo de Aportación de Cal o Cemento (Camiones-Silo ó Tractor con Tolva)
- Un equipo para mezclar el suelo con la Cal o el Cemento (Estabilizador ó Rotobator)
- Una Motoniveladora para corregir el perfil de la mezcla
- Un compactador vibratorio de rodillo metálico o compactador de neumáticos

El equipo de estabilización de suelos por vía húmeda está compuesto por

- Un equipo de mezclado y estabilización de suelos
- Una motoniveladora para corregir el perfil de la mezcla.



Ejecución in situ por vía seca



Ejecución in situ por vía húmeda



Extendido de la cal por vía seca (tractor con tolva)



Equipo de mezcla del suelo con la cal (estabilizador)



Equipo de mezclado y estabilización (vía húmeda)

## TIPOS DE FIRMES

En el proyecto del firme intervienen como factores fundamentales el tráfico previsto de vehículos pesados y las características resistentes del cimiento, representadas habitualmente por la capacidad de soporte de la explanada

Los firmes suelen clasificarse en dos grandes grupos: firmes flexibles y firmes rígidos

Los **firmes flexibles** están formados por una serie de capas constituidas por materiales con una resistencia a la deformación que usualmente es decreciente con la profundidad. El aumento de las intensidades y cargas del tráfico llevó a los firmes **semirrígidos** con capas tratadas o estabilizadas con cemento y los **semiflexibles** con un espesor importante de 15 cm o más de mezclas bituminosas. Habitualmente los firmes semirrígidos y semiflexibles se incluyen dentro de los flexibles. Los firmes flexibles, semirrígidos y semiflexibles están compuestas por varias **capas** denominadas de abajo arriba pavimento, base y subbase respectivamente.

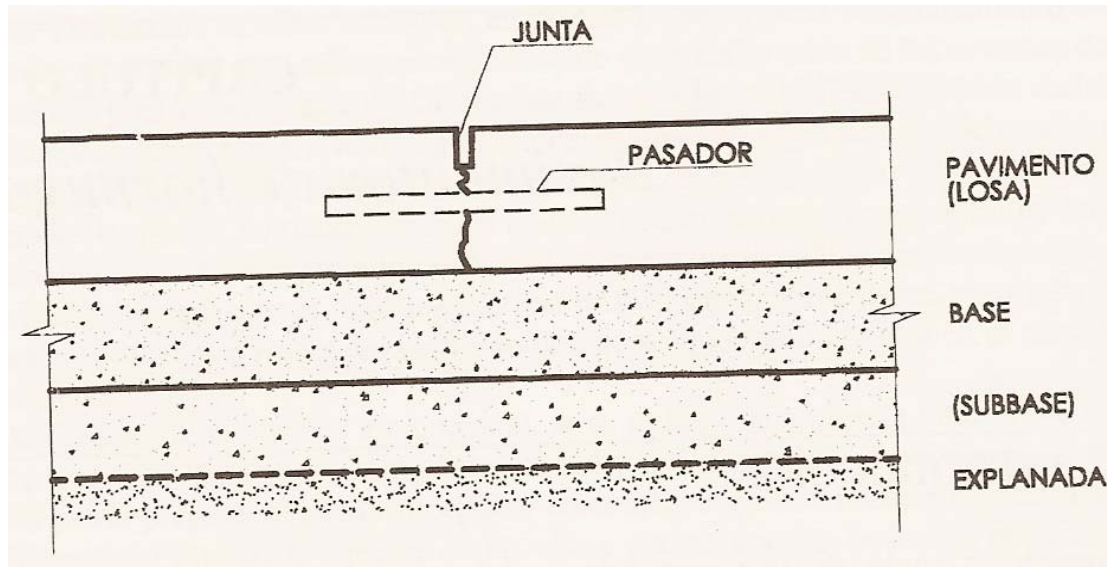
El **pavimento** es la parte superior del firme y la que recibe directamente las solicitaciones del tráfico. aporta las características funcionales y , desde un punto de vista estructural, absorbe los esfuerzos horizontales y parte de los verticales. Los pavimentos más habituales son los riegos con gravilla y las mezclas bituminosas. Las mezclas bituminosas se emplean en pavimentos de carretera para tráficos con intensidades medias o altas y en vías urbanas. Cuando el espesor del pavimento es superior a 8 cm, suele ejecutarse en dos capas denominadas respectivamente, capa de rodadura y capa intermedia, que presentan normalmente diferencias de composición, particularmente en lo que se refiere a la resistencia al pulimento del árido grueso. A veces la capa de rodadura es porosa para proporcionar una rápida infiltración del agua de lluvia.

La **base** es la capa del firme situada debajo del pavimento. Su función es eminentemente resistente, absorbiendo la mayor parte de los esfuerzos verticales. Para tráfico con intensidades medias y bajas se emplean bases granulares con gravas y arenas trituradas. Para tráfico con intensidades elevadas de vehículos pesados, se emplean materiales granulares tratados con un ligante o con un conglomerante, normalmente bases de mezcla bituminosa y bases de gravacemento, otras empleadas son las de gravaemulsión, gravaescoria, gravacenza y suelo cemento.

La **subbase** es la capa de firme situada debajo de la base y encima de la explanada. Esta capa puede no ser necesaria con explanadas de elevada capacidad de soporte. Su función es proporcionar a la base un apoyo uniforme y constituir una adecuada plataforma de trabajo para su puesta en obra y compactación. Se emplean subbases granulares constituidas por gravas y arenas rodadas o trituradas, suelo cemento, etc.

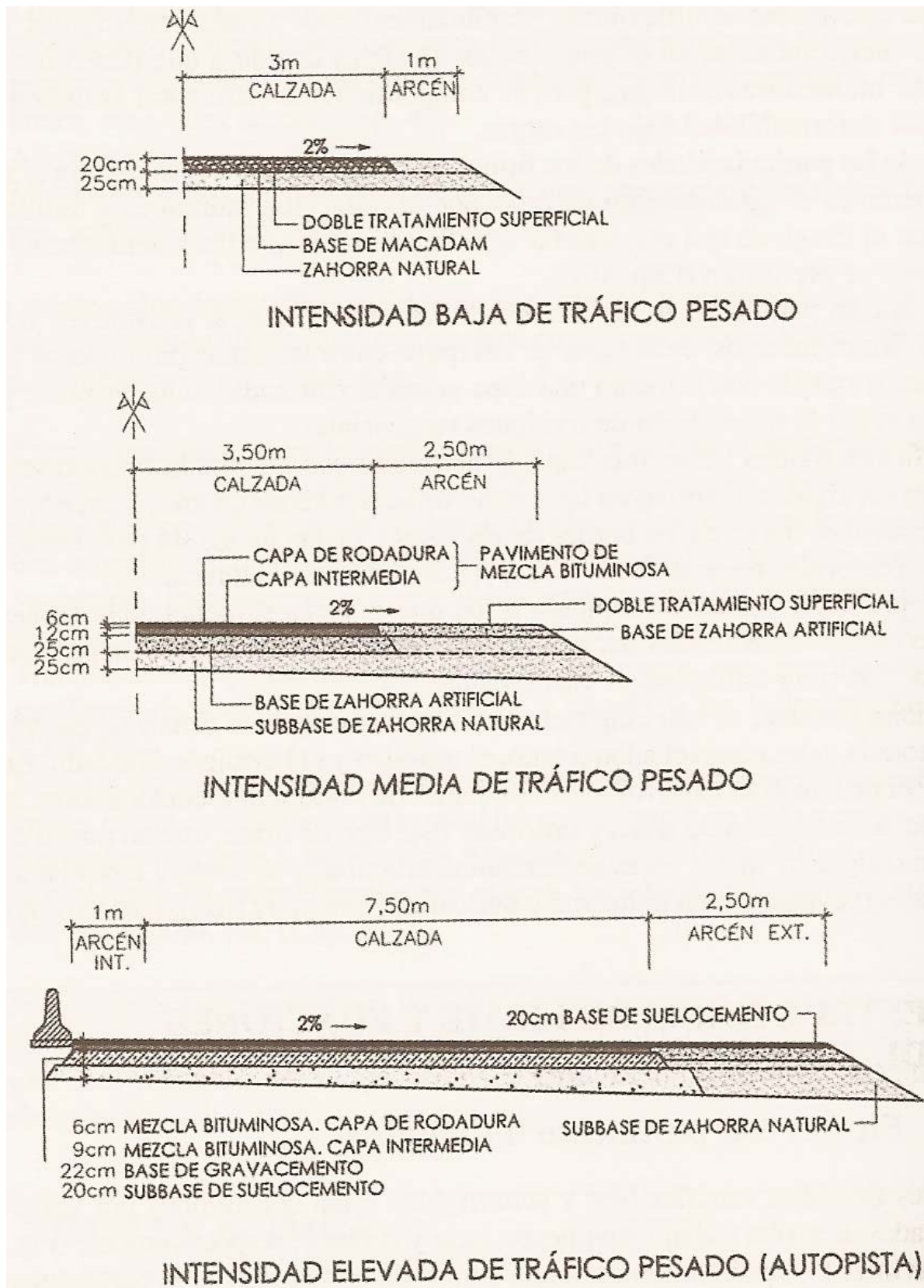
Los **firmes rígidos** tienen una capa de hormigón que asegura la función resistente. constan fundamentalmente de un pavimento de hormigón, con frecuencia también de una capa de base y a veces incluso una capa de subbase. El pavimento más empleado es el de hormigón vibrado en masa,

dividido por losas mediante juntas para evitar, por un lado, las fisuras que aparecerían por retracción del hormigón y por otro para facilitar el alabeo de las losas. También pueden ser de hormigón armado, empleándose barras de acero, cuya misión es mantener cosidas y cerradas las fisuras que aparezcan. Los firmes compuestos o mixtos, constituidos por una capa de hormigón cubierta por un pavimento bituminoso, son muy utilizados en vías urbanas.

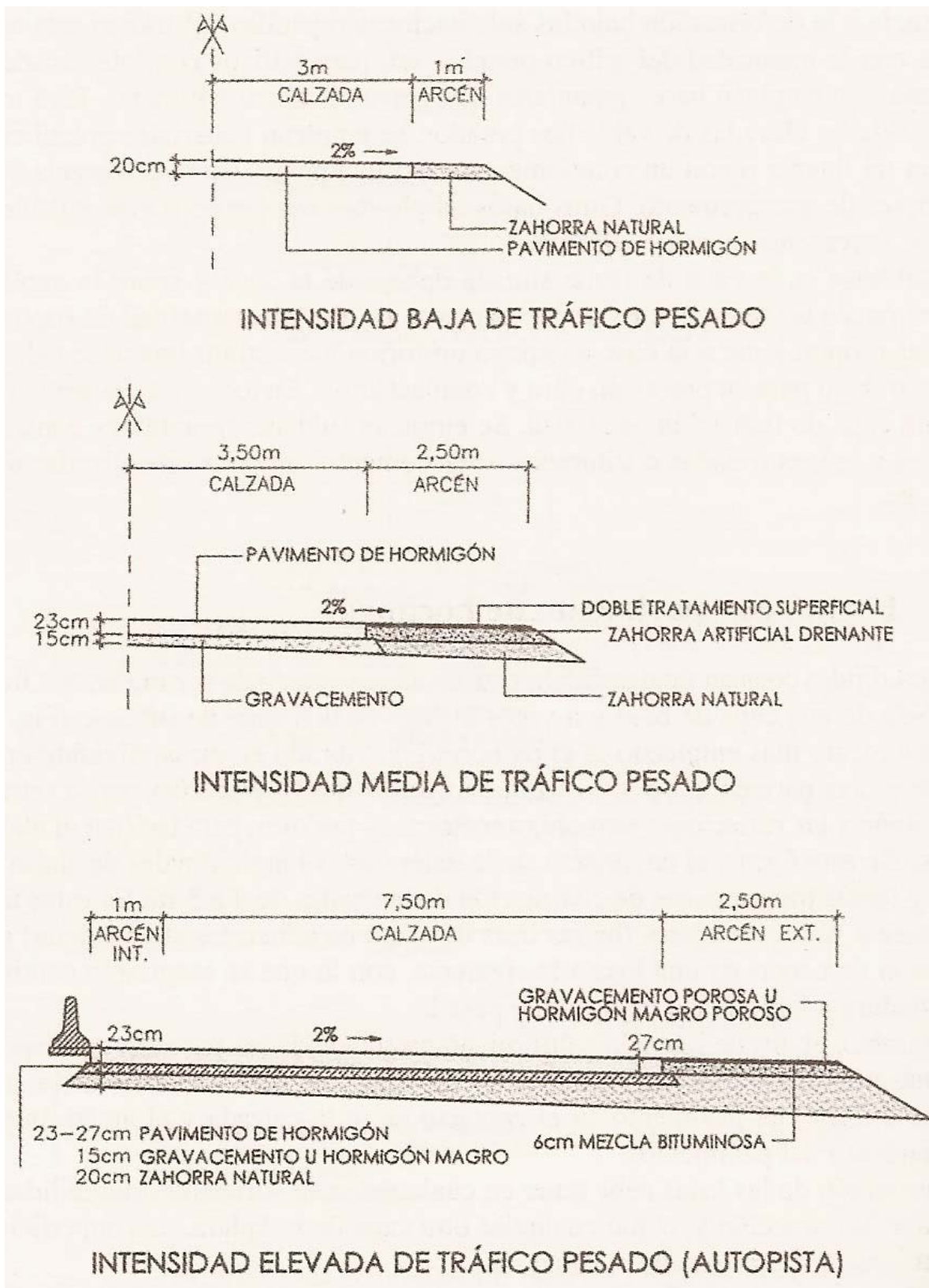


Pavimento de hormigón vibrado

ALBERTO VILLARINO OTERO



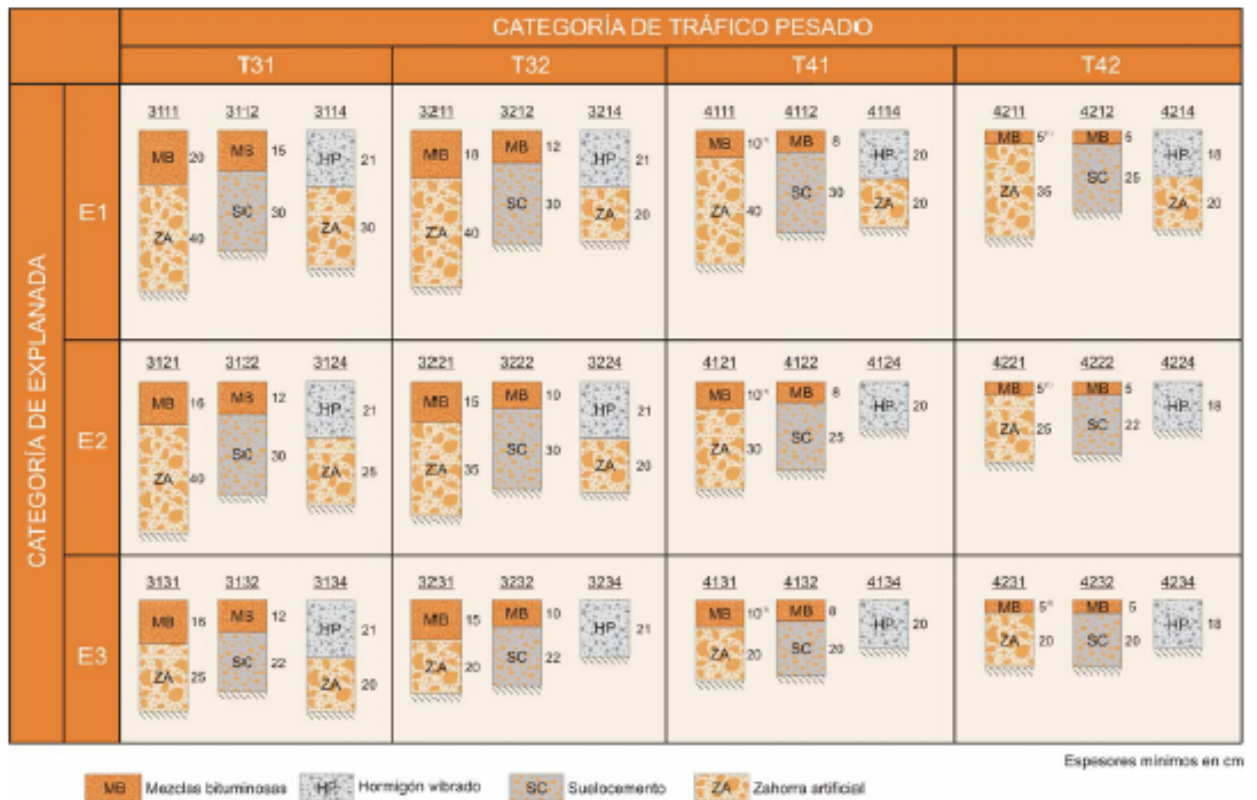
Secciones de firme con pavimento bituminoso



Secciones de firme con pavimento de hormigón



Catálogo de secciones de firme para las categorías de tráfico pesado T0 a T2, en función de la categoría de explanada



Catálogo de secciones de firme para las categorías de tráfico pesado T3 (T31 y T32) y T4 (T41 y T42), en función de la categoría de explanada



En alusión a las tablas anteriores se definen los siguientes materiales para capas de base y subbase:

**Zahorra natural:** es el material granular, formado por árido de tamaño diversos, de tal manera que los huecos dejados por los más gruesos, que constituyen el esqueleto mineral, van siendo rellenados por partículas más finas.

**Zahorra artificial:** es el constituido por partículas total o parcialmente trituradas, en la proporción mínima que se especifique en cada caso.

Los materiales para la zahorra artificial procederán de la trituración, total o parcial, de piedra de cantera o de grava natural. Para la zahorra natural procederán de graveras o depósitos naturales, suelos naturales o una mezcla de ambos.

**Macadam:** Esta constituido por áridos (50 a 100mm) obtenidos por trituración la granulometría de estos áridos es uniforme y para proceder al encaje de unas partículas con otras es necesaria una compactación muy enérgica. Los áridos forman un esqueleto cuyos huecos se rellenan por la parte superior de la capa, tras una humectación, mediante una arena denominada recebo. Salvo en algunas zonas en las que los contratistas han mantenido su utilización actualmente el macadam esta en desuso

**Suelo cemento:** se obtiene por la mezcla en central de un material granular con cemento, agua y eventuales adiciones seguida de una compactación y un curado adecuados.

## TIPOS DE PAVIMENTOS

Un **tratamiento superficial** es una técnica de pavimentación, cuyo objetivo es dotar al firme de unas ciertas características superficiales (textura, impermeabilidad, etc) sin aumento directo y apreciable de la capacidad resistente, ni en general tampoco de la regularidad superficial. Se trata de una capa delgada que forma una piel con un espesor a veces inferior a 1 cm y nunca superior a 4cm.

Los más significativos son los **riegos con gravilla** (monocapa y multicapa), que están compuestos por un riego con ligante bituminoso y aplicaciones de gravillas. El otro gran grupo lo forman las **lechadas bituminosas** (en inglés, "slurry seal"), que son mezclas fabricadas a temperatura ambiente con un ligante hidrocarbonado (emulsión bituminosa), áridos, agua y, eventualmente, polvo mineral de aportación y adiciones, cuya consistencia es adecuada para su puesta en obra y pueden aplicarse en una o varias capas. También entran dentro de la definición general las restantes mezclas bituminosas en capas de pequeño espesor o microaglomerados. Estos tratamientos deben proporcionar una superficie de rodadura rugosa, no pulimentable, impermeable y resistente a los esfuerzos horizontales causados por el tráfico. Son los más utilizados del mundo en pavimentos para vías de baja o media intensidad por su baja relación coste/durabilidad.

Existen otras técnicas consistentes en un único riego de ligante sin aplicación de gravilla **riegos sin gravilla** (en negro, antipolvo, de adherencia, de imprimación y curado) generalmente, suelen emplearse como tratamientos auxiliares o provisionales.

A continuación se explicarán los tipos de riegos sin gravilla

**Riego en negro:** es todo tipo de tratamiento que se realiza en vías de baja intensidad de tráfico sobre superficies de rodadura pobres en ligante, envejecidas y con una impermeabilidad pobre. Mediante su aplicación se consiguen paliar parte de estos deterioros y se “rejuvenece” el pavimento. Para no depositar un exceso de ligante sobre la superficie antigua, que la haría deslizante, el riego tiene que hacerse con ligantes muy fluidos, con una mínima dotación en función de la textura y grado de envejecimiento del pavimento. Los ligantes usuales en estos tratamientos son emulsiones aniónicas de rotura lenta o media diluidas en agua. Dentro de la definición de “riegos en negro” entran también los riegos antipolvo, que consisten en la aplicación de un ligante sobre la superficie de un camino no pavimentado para, de esta forma, evitar que el tráfico levante polvo. Estos tratamientos también protegen contra los efectos de la erosión y la humedad y pueden ayudar a conservar el firme durante un corto periodo de tiempo hasta que sea posible ejecutar un riego con gravilla. La eficacia de estos tratamientos es muy limitada.

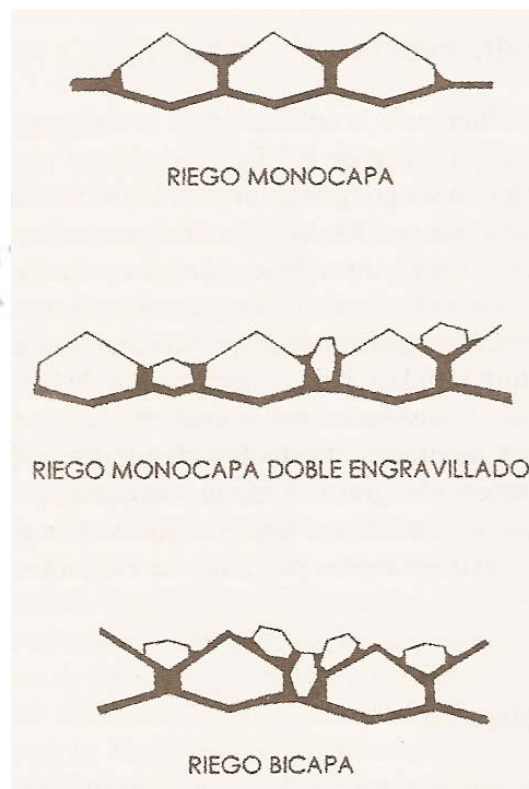
**Riego de imprimación:** es un tratamiento consistente en la aplicación de un ligante fluido sobre una superficie no tratada anteriormente mediante un conglomerante o ligante (ya sea capa granular o explanada). El principal objetivo que se persigue es que el riego penetre lo máximo posible (incluso si lo hace pocos milímetros) para preparar la superficie de apoyo y contribuir a la sujeción del tratamiento superficial o capa bituminosa posterior. Los más adecuados para estos fines son las emulsiones especiales de imprimación, pese a que también pueden utilizarse, aunque con menor eficacia, emulsiones de rotura lenta.

**Riego de adherencia:** es una pequeña cantidad de emulsión bituminosa (del orden de  $0,3 \text{ kg/m}^2$  de betún residual) sobre una superficie bituminosa o tratada mediante un conglomerante hidráulico con el fin de conseguir su unión con una capa bituminosa de ejecución posterior. Para estos fines, los ligantes deben tener una baja viscosidad y una rotura o curado rápidos, puesto que, de este modo, obtenemos un buen reparto con una pequeña dotación y, además, la extensión de la nueva capa se puede efectuar de forma más rápida. Las emulsiones de uso más extendido son emulsiones de rotura rápida y baja concentración de betún residual que, en ocasiones, se diluyen en agua para un mejor control de la uniformidad de la dotación. Pese a su carácter de riego auxiliar, la correcta ejecución de los riegos de adherencia y de imprimación es crucial para el buen comportamiento estructural posterior de los firmes.

**Riego de curado:** su finalidad es la de asegurar que, durante el fraguado y primer endurecimiento de las capas tratadas con conglomerantes hidráulicos (gravacemento, suelocemento, hormigón compactado, etc.), éstas conserven la humedad necesaria para dichos procesos. El objetivo es la formación de una delgada película que impermeabilice la superficie de la capa para evitar la pérdida de humedad por evaporación. Los ligantes utilizados son los mismos que se indican para riegos de adherencia. Por otra parte, para pavimentos de hormigón se utilizan productos especiales de colores claros, denominados productos filmógenos de curado.

Los **riegos con gravilla** son a los que, comúnmente, se les suele denominar como “riegos”, si ningún tipo de descripción adicional. Su composición es de un riego de ligante hidrocarbonado más la extensión de una gravilla de tamaño uniforme para lograr una capa de rodadura del mismo espesor que el tamaño de la gravilla empleada. Finalmente, mediante el apisonado se consigue un adecuado contacto del árido con el ligante y una buena distribución. Si sólo hay una única extensión de ligante y árido, se habla de **riego monocapa**, sin embargo, si estos procesos se hacen dos o más veces, con tamaños decrecientes de gravilla, se denominan **riegos bicapa o multicapa**.

Existen variantes de este proceso, como la técnica del **riego monocapa doble engravillado**, que consiste en la realización de un único riego de ligante seguido de la extensión sucesiva de una gravilla gruesa y otra fina para acodalar las partículas grandes de la primera. Por otro lado, están los **riegos sandwich**, donde se extiende, en primer lugar, una gravilla de tamaño apreciable directamente sobre el soporte para, inmediatamente, regarla con ligante y proceder al extendido de una gravilla de menor tamaño que la anterior, teniendo el árido más grueso la misión de “anclaje”. Son de aplicación en carreteras de baja intensidad de tráfico.



Los riegos con gravilla deben proporcionar en todos los casos una superficie de rodadura rugosa, no pulimentable, impermeable y resistente a los esfuerzos horizontales del tráfico. Por su baja relación coste/durabilidad, constituyen de hecho los pavimentos más utilizados en todo el mundo para tráficos de baja o media intensidad. En situaciones especiales, como zonas de frenado en vías de alta velocidad, curvas de radio reducido en autopistas y autovías, etc.), se han empleado, en ocasiones, tratamientos formados por un riego de resina epoxi y áridos artificiales.



Camión cuba con rampa de riego asfáltico



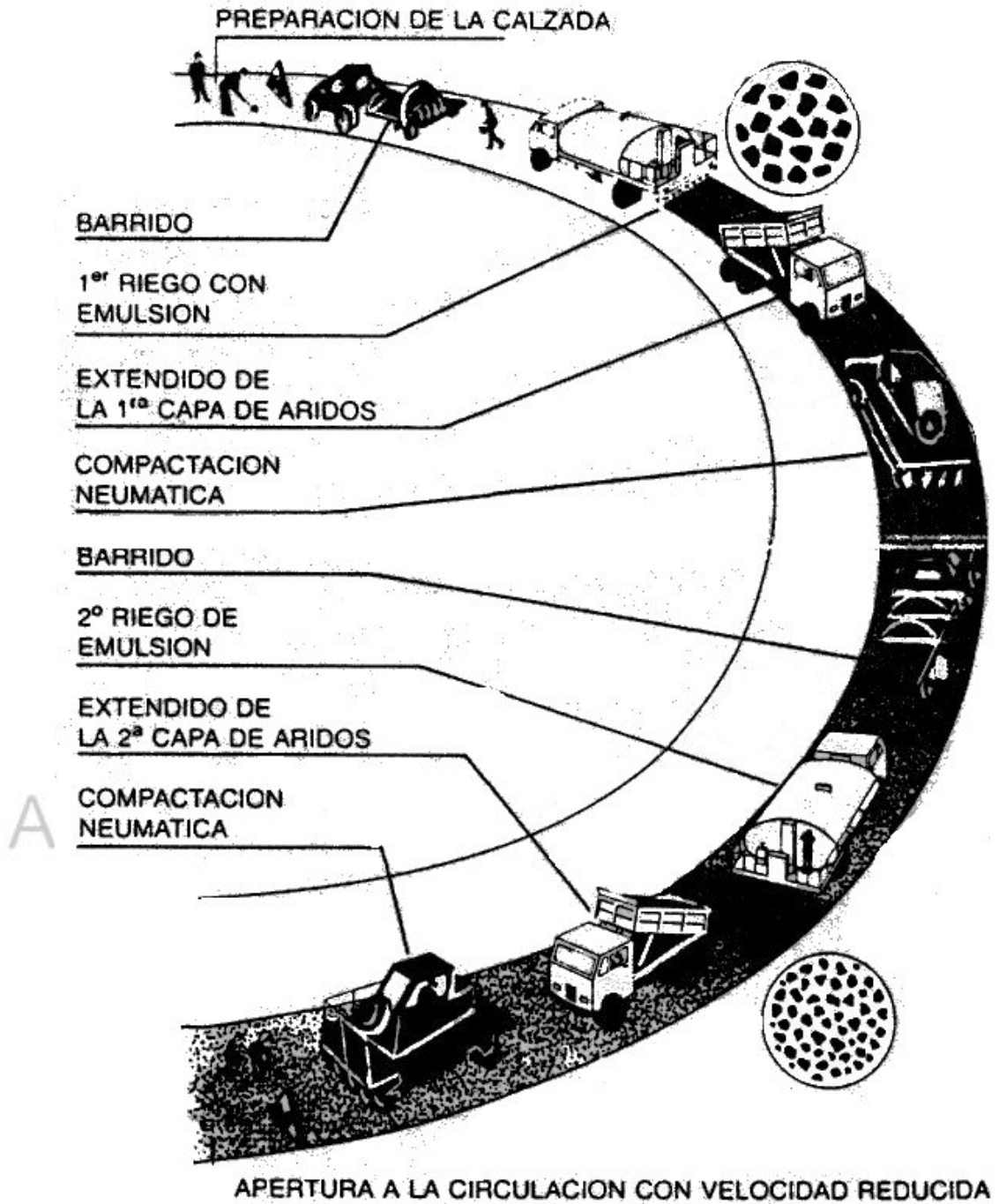
Camiones dumpers dotados de utensilio especial llamado gravilladora para repartir las gravillas artificiales



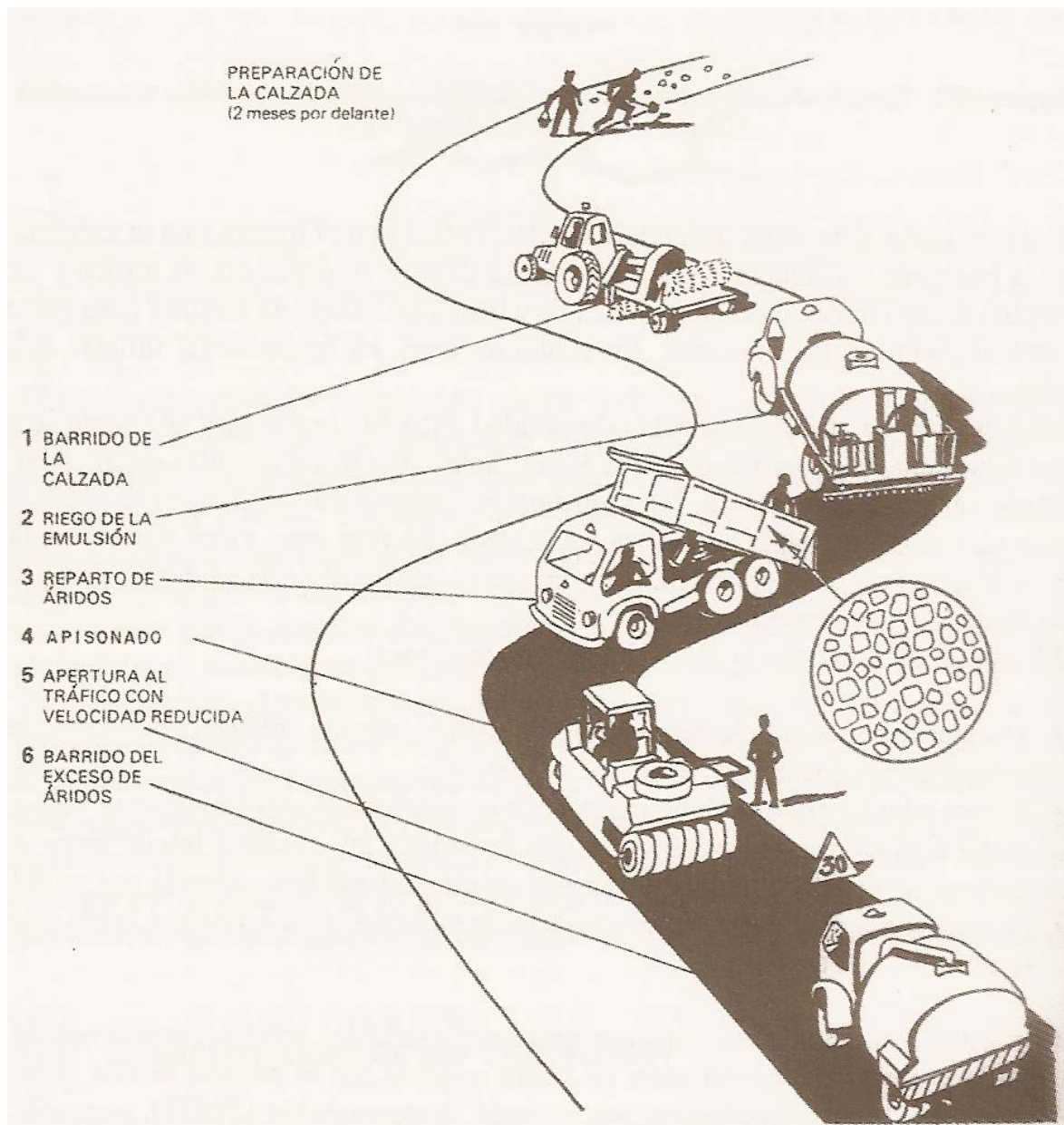
Rodillo compactador



Riego de emulsión



Ejecución riego bicapa



Ejecución riego monocapa

En el caso de vías de alta y media intensidad de tráfico se utilizan **mezclas bituminosas** que son hormigones en los que el material cementante es un ligante bituminoso, estando formadas, por tanto, por un conjunto de áridos con una granulometría muy estudiada a fin de conseguir la máxima compacidad y por un material bituminoso que envuelve a estos áridos creando una película adhesiva que los une. Se pueden dividir en dos tipos fundamentales: mezclas bituminosas en frío y mezclas bituminosas en caliente. A su vez, estas mezclas pueden clasificarse en: mezclas densas, semidensas, gruesas y abiertas.

Las mezclas bituminosas en caliente implica calentar el ligante y los áridos (excepto, eventualmente, el polvo mineral de aportación) y su puesta en obra debe realizarse a una temperatura muy superior a la ambiente (160° aproximadamente). La mezcla bituminosa en frío es la combinación de áridos y un ligante

bituminoso para realizar la cual no es preciso calentar previamente los áridos. La mezcla se extenderá y compactará a la temperatura ambiente. El ligante bituminoso al ser puesto en frío debe ser poco viscoso utilizándose por lo tanto emulsiones bituminosas y betunes fluidificados entre otro.

A continuación se muestran unas fotos de las pavimentadoras y camiones usados en el extendido de mezcla bituminosa



## 7. PUENTES

### 7.1 DEFINICIONES Y CONCEPTOS GENERALES

Por lo general, el término **punto** se utiliza para describir a las estructuras viales, con trazado por encima de la superficie, que permiten vencer obstáculos naturales como ríos, quebradas, hondonadas, canales, entrantes de mar, estrechos de mar, lagos, etc.

Por su parte, el término **viaducto** está generalmente reservado para el caso en que esas estructuras viales se construyan por necesidades urbanas o industriales (como los pasos elevados dentro de las ciudades o de los complejos industriales), o para evitar el cruce con otras vías de comunicación (como los intercambiadores de tránsito en las autopistas) además el viaducto se compone de gran número de vanos sucesivos. Una **pasarela** es una obra reservada a los peatones o dispuesta para soportar canalizaciones. Un **pontón** es un puente de dimensiones pequeñas (del orden de 3 a 10 metros).

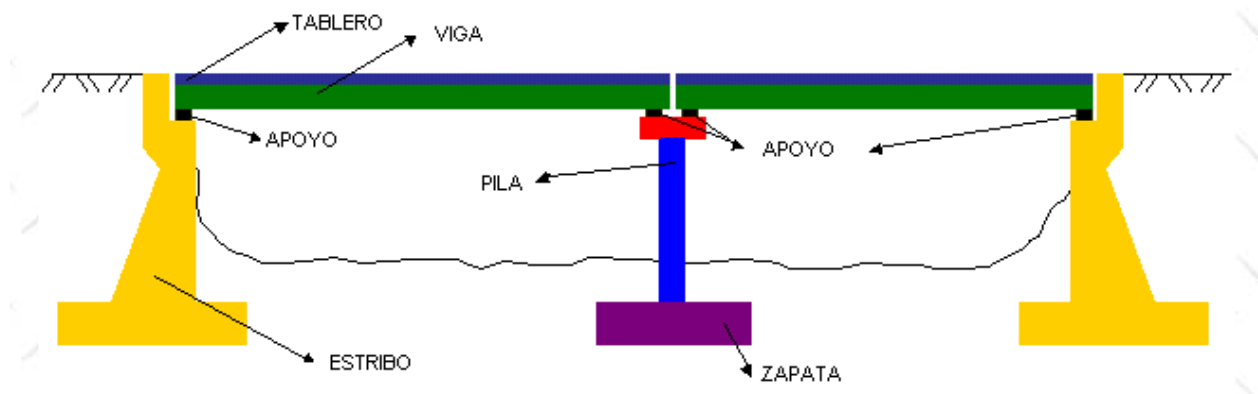
Los puentes constan fundamentalmente de dos partes: la superestructura y la infraestructura.

**Superestructura:** Es la parte del puente en donde actúa la carga móvil, y está constituida por:

- Tablero
- Vigas longitudinales y transversales
- Aceras y pasamanos
- Capa de rodadura
- Otras instalaciones

**Infraestructura o subestructura:** Es la parte del puente que se encarga de transmitir las solicitaciones al suelo de cimentación, y está constituida por:

- Estribos
- Pilas





**Pilas:** son los apoyos intermedios de los puentes de dos o más tramos. Deben soportar la carga permanentemente y sobrecargas sin asentamientos, ser insensibles a la acción de los agentes naturales (viento, riadas, etc.).

**Vigas longitudinales y transversales** son los elementos que permiten salvar el vano, pudiendo tener una gran variedad de formas como con las vigas rectas, arcos, pórticos, reticulares, vigas Vierendeel etc.

**Tablero:** soporta directamente las cargas dinámicas (tráfico) y por medio de las armaduras transmite sus tensiones a estribos y pilas, que, a su vez, las hacen llegar a los cimientos, donde se disipan en la roca o en el terreno circundante. Sobre el tablero y para dar continuidad a la rasante de la vía viene la capa de rodadura. Los tableros van complementados por los bordillos que son el límite del ancho libre de calzada y su misión es la de evitar que los vehículos suban a las aceras que van destinadas al paso peatonal y finalmente al borde van los postes y pasamanos.

**Apoyo:** son los elementos a través de los cuales el tablero transmite las acciones que le solicitan a las pilas y/o estribos. El más común de los apoyos es el neopreno zunchado, está constituido por un caucho sintético que lleva intercaladas unas chapas de acero completamente recubiertas por el material elastómero. Tienen impedido el movimiento vertical.

**Estribos:** situados en los extremos del puente sostienen los terraplenes que conducen al puente. A diferencia de las pilas los estribos reciben además de la superestructura el empuje de las tierras de los terraplenes de acceso al puente, en consecuencia trabajan también como muros de contención. Los estribos están compuestos por un muro frontal que soporta el tablero y muros en vuelta o muros-aletas que sirven para la contención del terreno.

**Vano:** cada uno de los espacios de un puente u otra estructura, comprendida entre dos apoyos consecutivos. La distancia entre dos puntos de apoyo consecutivos de los elementos portantes principales es la luz del vano; no hay que confundirla con la luz libre que es la distancia entre los paramentos de los apoyos, ni con la longitud del puente.

**Tajamar:** elemento extremo de la pila de un puente que adopta una forma de sección redondeada, almendrada o triangular para conducir suavemente la corriente de agua hacia los vanos para que disminuya el empuje sobre la obra y se facilite el desagüe



## 7.2 TIPOLOGÍA DE PUENTES

Los puentes los podemos clasificar según:

### 1. LA NATURALEZA DE LA VÍA SOPORTADA

- Puentes de carretera
- Puentes de ferrocarril
- Puentes-canal
- Puentes-acueductos

### 2. EL MATERIAL CONSTITUTIVO

#### DE MADERA

La madera es el material que utilizó el hombre para hacer sus primeras construcciones; un tronco de árbol sobre un río fue seguramente el primer puente artificial. Los puentes de madera son más fáciles y más rápidos de construir que los de piedra, y han resultado siempre más económicos; por ello, los primeros que construyó el hombre fueron de madera, y a lo largo de la Historia se han construido innumerables puentes de este material, muchos más que de piedra.

Los puentes de madera han planteado siempre problemas de durabilidad y por ello se han considerado siempre de una categoría inferior que los de piedra; generalmente se les ha dado carácter de obra provisional; se aspiraba a sustituirlos por uno de piedra en cuanto hubiera dinero para ello

Los dos problemas básicos de durabilidad de los puentes de madera son los siguientes:

- A) En primer lugar el propio material, que se deteriora con el paso del tiempo si no se cuida especialmente.
- B) En segundo lugar su vulnerabilidad al efecto de las avenidas de los ríos. Cada avenida extraordinaria se llevaba muchos puentes de madera, y por ello siempre ha habido una clara consciencia de su debilidad frente a las acciones destructivas del propio río

Hoy en día se siguen construyendo pasarelas de madera, aunque solamente en casos excepcionales, porque resultan más caras que las metálicas o las de hormigón que son los materiales que se utilizan normalmente hoy en día para hacer puentes.

#### METÁLICOS

- De fundición
- De hierro forjado
- De acero

El empleo del hierro significó una transformación radical en la construcción en general, y en los puentes en particular; sus posibilidades eran mucho mayores que las de los materiales conocidos hasta

entonces, y por ello se produjo un desarrollo muy rápido de las estructuras metálicas, que pronto superaron en dimensiones a todas las construidas anteriormente. Hoy en día sigue siendo el material de las grandes obras, y en especial de los grandes puentes, si bien el hierro que se utiliza ahora no es el mismo que se utilizó en los orígenes, porque el material también ha evolucionado significativamente; hay diferencia considerable de características y de calidad entre los aceros actuales, y el hierro fundido que se utilizó en un principio

El rápido desarrollo a principios del s. XIX de los puentes metálicos se debió básicamente a dos causas fundamentales

- A) En primer lugar, el nuevo material tenía muchas más posibilidades que los anteriores, porque su capacidad resistente era mucho más alta.
- B) En segundo lugar, se empezó a conocer con cierto rigor el comportamiento resistente de las estructuras, lo que permitió, a la hora de proyectar un puente, dimensionar sus distintos elementos cuantificando su grado de seguridad, y con ello ajustar al máximo sus dimensiones.

Los materiales derivados del hierro que se han utilizado sucesivamente en la construcción han sido, la fundición, el hierro forjado y el acero

A pesar de su mayor precio, el hierro fué sustituyendo progresivamente a la fundición en la construcción de puentes de arco a causa de sus mejores características mecánicas. Los grandes arcos metálicos aportaron una solución relativamente económica y muy espectacular para franquear a gran altura valles profundos y ríos anchos en los que las cimbras resultaban muy difíciles y costosas (160 m. de luz). Finalmente, la solución metálica es la única a plantearse para los puentes móviles: giratorios y levadizos.

Los primeros puentes grandes que se construyeron con hierro forjado fueron el de Conway, y el Britannia en los estrechos de Menai, dos puentes en viga cajón de grandes dimensiones para ferrocarril. A finales del s. XIX, cien años después de la iniciación de los puentes metálicos, se empezó a utilizar el acero para construir puentes. Conseguir que los materiales de construcción sean dúctiles y no frágiles, es uno de los logros importantes de su tecnología.

El acero se conocía mucho antes de que se empezara a fabricar industrialmente a finales del s. XIX, y de hecho se había utilizado en algún puente aislado; ejemplo de ello son las cadenas del puente colgante sobre el Canal del Danubio en Viena, de 95 m de luz, terminado en 1828. Pero era un material caro hasta que en 1856 el inglés Henry Bessemer patentó un proceso para hacer acero barato y en cantidades industriales, mediante un convertidor donde se insuflaba aire en el hierro fundido que reducía las impurezas y el contenido de carbono.

El primer gran puente cuya estructura principal es de acero es el de San Luis sobre el río Mississippi en los Estados Unidos, proyecto de James B. Eads en 1874, con tres arcos de 152+157+152 m de luz. Los dos grandes puentes de finales del s. XIX fueron también de los primeros que se hicieron con acero: el

puente de Brooklyn y el puente de Firth of Forth. Desde finales de s. XIX el acero se impuso como material de construcción sobre el hierro, y por ello, a partir de entonces, todos los puentes se han hecho de acero.

## DE HORMIGÓN

-Armado

-Pretensado

### Armado

El hormigón armado es una colaboración del acero y el hormigón, adecuado especialmente para resistir esfuerzos de flexión. El hormigón es muy adecuado para resistir compresiones y el acero en barras para resistir tracciones. Por ello las barras de acero se introducen en la pieza de hormigón, en el borde que debe resistir las tracciones, y gracias a la adherencia entre los dos materiales, las primeras resisten las tracciones y el segundo las compresiones.

Durante muchos años las barras de acero eran lisas, pero gracias a una serie de ensayos, se comprobó que la adherencia entre el acero y el hormigón, uno de los mecanismos básicos para que el hormigón armado funcione, mejoraba significativamente haciendo las barras corrugadas, es decir, con resaltes transversales, y así son las barras actuales.

Se imponen dos soluciones clásicas: los de vigas de alma llena, que podían ser vigas en T unidas por la losa superior, o vigas de cajón para las luces mayores; y los arcos, solución idónea para el hormigón, que es un material adecuado para resistir compresiones.

### Pretensado

El hormigón pretensado se puede considerar un nuevo material; su diferencia con el hormigón armado es que en éste la armadura es pasiva, es decir, entra en carga cuando las acciones exteriores actúan sobre la estructura; en el pretensado, en cambio, la armadura es activa, es decir se tesa previamente a la actuación de las cargas que va a recibir la estructura (peso propio, carga muerta y cargas de tráfico), comprimiendo el hormigón, de forma que nunca tenga tracciones o que éstas tengan un valor reducido. La estructura se pone en tensión previamente a la actuación de las cargas que van a gravitar sobre ella, y de ahí su nombre de hormigón pretensado. En definitiva, es adelantarse a las acciones que van a actuar sobre la estructura con unas contra-acciones que es el momento en que se tesan las armaduras; se pueden tesar antes de hormigonar la pieza, es decir, pretesarlas, o se les puede dar carga después de hormigonada la pieza, es decir, postesarlas.

El puente de Bendorf sobre el Rin; el de Castejón de 101 m de luz de 1967; el puente de Dorénaz sobre el Ródano, Suiza, de 45 m de luz central, 1933; el puente de Esbly, 74 m de luz, 1951 sobre el río Marne; etc. son ejemplos de puentes de hormigón pretensado

### Mixtos

La estructura mixta es una nueva forma de colaboración del acero y el hormigón, en este caso yuxtapuestos, no mezclados como en el hormigón armado y pretensado, pero sí conectados entre sí para que trabajen conjuntamente.

Una de las dificultades de los puentes metálicos fue durante mucho tiempo la materialización de la plataforma de rodadura de las carreteras. Inicialmente la mayoría de los tableros de los puentes metálicos eran de madera; cuando apareció el hormigón armado se utilizaron con frecuencia losas de hormigón; también había puentes con tablero abierto, hecho con una rejilla de pletinas metálicas ortogonales colocadas verticalmente para conseguir rigidez a flexión; este tipo de tablero se usaba mucho en los puentes móviles, pero es incómodo para el tráfico. A pesar de ello se ha utilizado en puentes bastante recientes.

Parte de la plataforma de rodadura del puente colgante de Lisboa sobre el Tajo, construido en 1966, es de este tipo. La innovación de la estructura mixta ha sido incorporar la losa de hormigón de la plataforma a la estructura resistente.

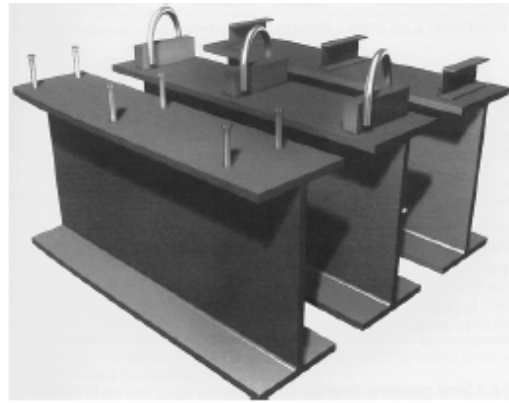
Una de las principales ventajas de los puentes mixtos, y por ello sustituyen a los puentes pretensados, incluso en luces pequeñas, es que su construcción se puede hacer igual que la de un puente metálico con las ventajas que esto representa por su mayor ligereza. Es más fácil montar un cajón metálico de 30 ó 40 m de luz que uno de hormigón; una vez montado el cajón metálico sólo queda hacer el tablero de hormigón, bien in situ, o bien prefabricado. Esta solución es clásica en pasos superiores sobre autopistas en funcionamiento.

El problema singular de las estructuras mixtas es la conexión entre el hormigón y el acero para asegurar que ambos materiales trabajen conjuntamente; para ello se debe transmitir el esfuerzo rasante que se desarrolla en la unión de un material a otro. Esta conexión se realiza normalmente con elementos metálicos, los conectores, que van soldados al acero y embebidos en el hormigón, al que se unen por adherencia.

Entre los grandes puentes mixtos se pueden citar los siguientes: puente Merstla sobre el río Meuse y sobre el canal Albert, el puente de Tortosa sobre el río Ebro, el puente sobre el río Caroní en Ciudad Guyana, Venezuela, para ferrocarril y carretera, tiene una luz máxima de 213 m; se terminó en 1992 y es actualmente el puente viga mixto de mayor luz.



Puente mixto



Tipos de conectores

### 3. EL TABLERO SEA FIJO O MÓVIL

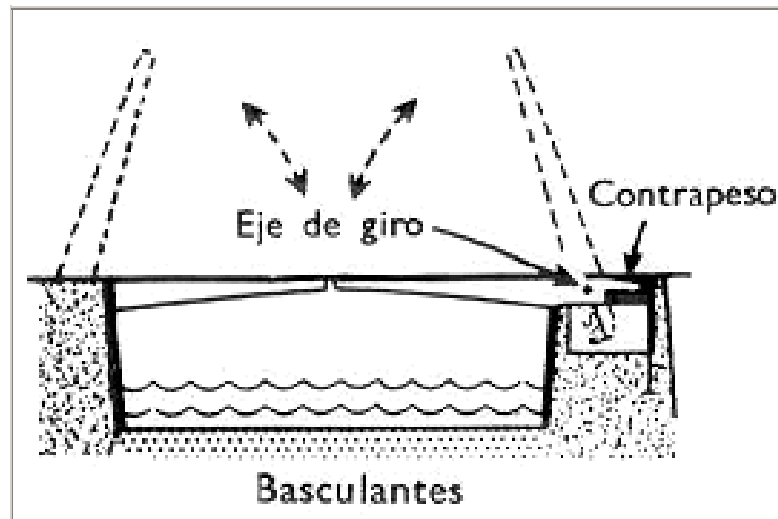
FIJOS

MÓVILES

Los puentes móviles son aquellos en que el tablero o parte de él es móvil, con tal de permitir el paso alternativo a dos tipos de tráfico muy diferente, generalmente el terrestre y el marítimo. De este modo cuando están cerrados permiten el paso de los vehículos rodados o ferrocarriles y cuando están abiertos permiten el paso de los barcos. La ventaja de los puentes móviles radica en que no es necesario construir un puente de gran altura para permitir el pasaje de los buques. Por otra parte, cuando la intensidad de tránsito sobre el puente es moderada o alta se producen largas colas de vehículos a la espera de que el puente vuelva a estar habilitado al tránsito. Otra desventaja es la espera que se produce en el tránsito de buques cuyas maniobras se complican en condiciones de mal tiempo o poca visibilidad.

#### Basculantes

Un puente basculante es un tipo de puente móvil que se construye sobre canales navegables a fin de facilitar el paso de embarcaciones por debajo sin necesidad de elevar la traza de la carretera. Están compuestos por 2 secciones que se abren en dirección perpendicular al plano del puente con la ayuda de contrapesos situados bajo la plataforma. Son los más clásicos de los móviles y los que más se utilizan actualmente.



El puente de la Torre de Londres, con una luz de 79 m, sigue siendo uno de los puentes basculantes más grandes del mundo; su movimiento se debe al giro del conjunto tablero-contrapeso sobre una rótula simple situada en el centro de gravedad del sistema, y se acciona mediante un sistema hidráulico. Este sistema es el que se utiliza hoy día en la mayoría de los puentes basculantes. El conjunto del puente es una estructura muy singular, porque sobre las pilas del tramo móvil hay unas torres neogóticas que soportan una pasarela superior que sirve para dar paso a los peatones con el puente abierto y para compensar los tramos colgados asimétricos laterales, cuya estructura resistente es rígida. Su singularidad hace de este puente una de las estampas más típicas de Londres, y el puente móvil más conocido del mundo. Este puente, con 100 años de vida, sigue todavía en servicio, aunque la maquinaria ha sido renovada en varias ocasiones; la última vez en 1972.



Puente de la Torre de Londres

### Levadizos

Un puente levadizo es un tipo de puente móvil que se puede levantar con la ayuda de una instalación mecánica para así permitir la entrada a través de un portón, o bien para permitir el tráfico marítimo a través de un cuerpo de agua. La parte que se mueve se gira a través de un eje horizontal o a modo de bisagra.



Puente Dffenébrücke en Mannheim, Alemania

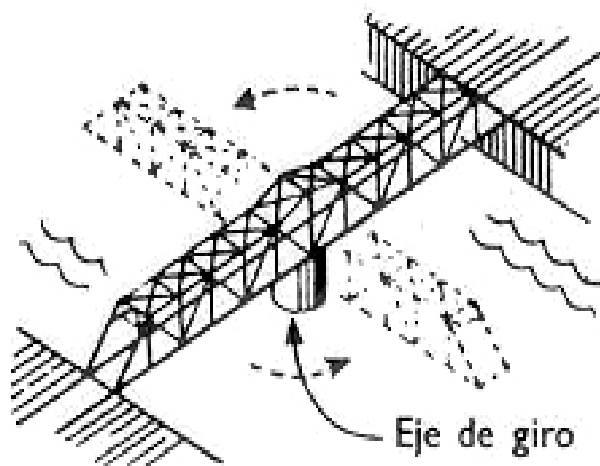


Puente de Erasmus en Rotterdam

### Giratorios

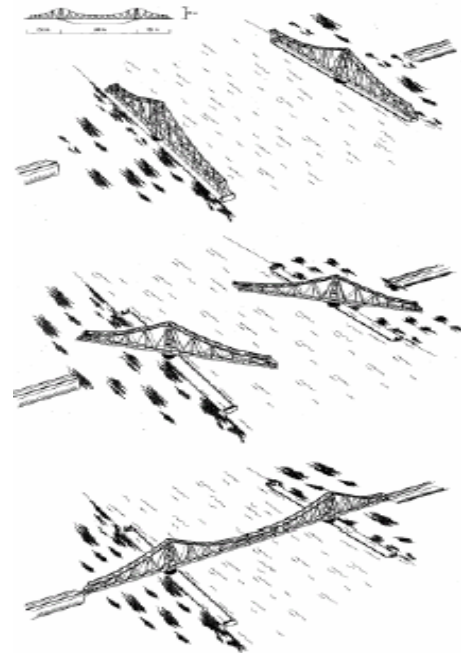
En los puentes giratorios de eje vertical caben dos posibilidades de apertura: o bien girar dos vanos simétricos sobre una pila situada en el centro del canal de navegación, aunque en algún caso excepcional puede estar situada en un borde; o bien girar dos semivanos con sus compensaciones, sobre dos pilas situadas en los bordes del canal. La maquinaria para el giro es siempre parecida; consiste en una cremallera circular sobre la que se mueve un piñón al que se aplica la fuerza motriz. El movimiento del piñón por la cremallera circular es lo que hace girar el puente. Generalmente toda la maquinaria está alojada en una gran pila circular. La estructura de la mayoría de los puentes giratorios de dos vanos simétricos es una viga continua de dos vanos con el puente cerrado, y un doble voladizo con el puente abierto.





### Giratorio

Vano simétrico sobre pila



Giro dos semivanos

El puente de Firdan sobre el canal de Suez en Egipto, es también de dos semivanos compensados, tiene 168 m de luz y es el mayor puente giratorio del mundo.

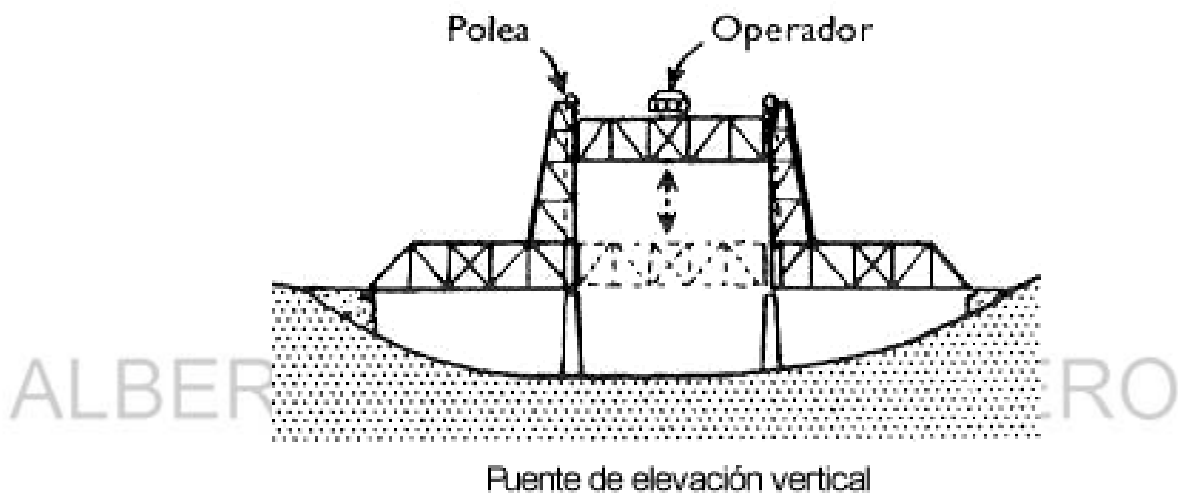
ALBERTO VILLARINO OTERO



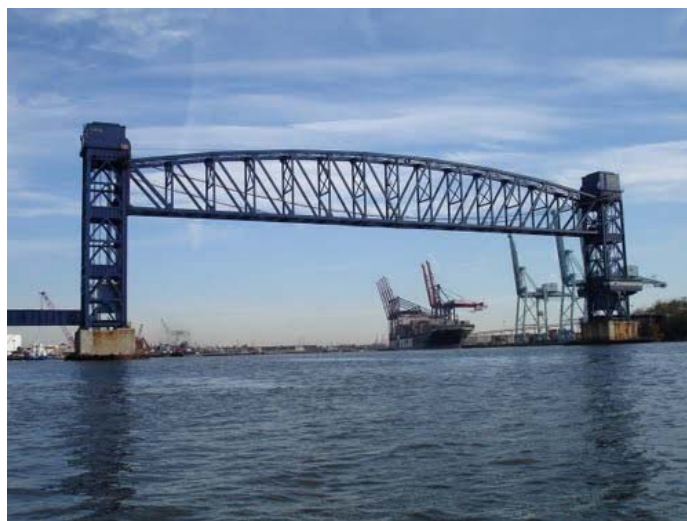
### De desplazamiento vertical

Los puentes de desplazamiento vertical son tableros simplemente apoyados, cuyos apoyos se pueden mover verticalmente para elevarlos a la cota que requiere el gálibo de navegación. Normalmente se elevan tirando de sus cuatro esquinas, y por ello requieren dos o cuatro torres, en las que se aloja la maquinaria de elevación y los contrapesos necesarios para equilibrarlos durante la maniobra de desplazamiento vertical. En algún puente de pequeña luz se han evitado las torres y los contrapesos, accionándolo mediante gatos hidráulicos situados bajo el tablero, y por ello, a puente cerrado nada evidencia su condición de móvil.

El puente de desplazamiento vertical es adecuado y resulta más económico que los demás para luces grandes y por ello los mayores puentes móviles son de este sistema.



El mayor de todos ellos es el Arthur Kill cerca de Nueva York, de 170 m de luz, y un gálibo de navegación de 41 m con el puente levantado; se terminó en 1959 y sustituyó a uno giratorio dos vanos de 76 m de luz

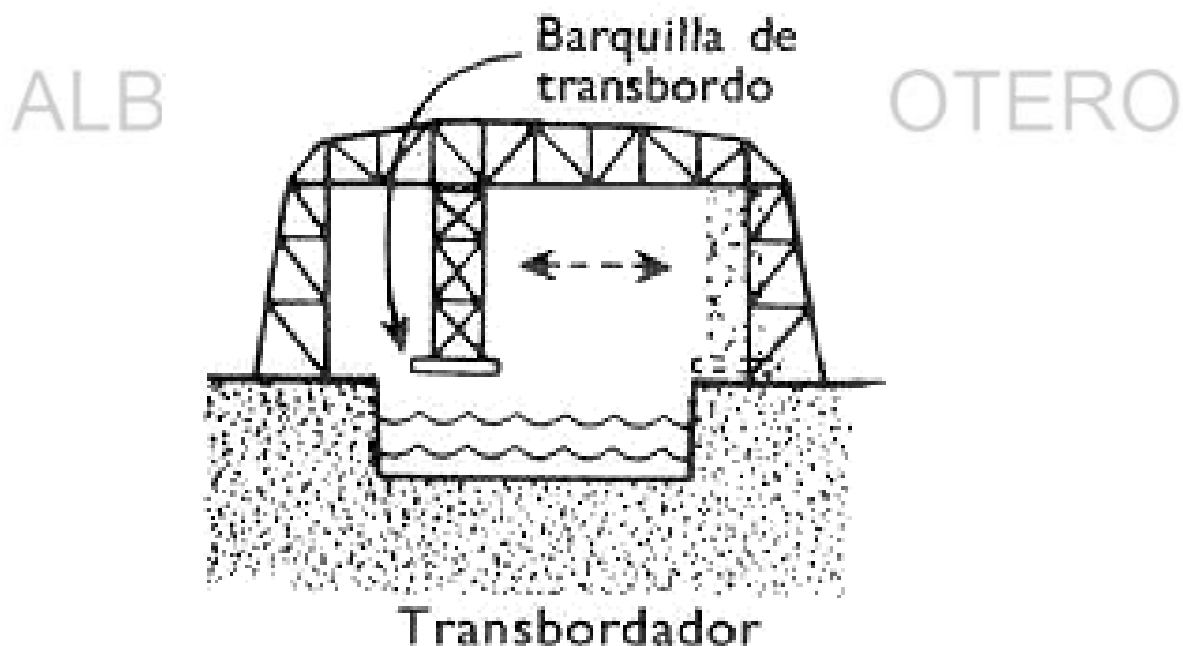


### Puente Transbordador

Un puente transbordador consiste en una viga fija, situada a la altura requerida por el gálibo, de la que se cuelga una plataforma móvil, generalmente mediante cables, que transporta los vehículos de una orilla a la opuesta; con esta solución se puede llegar a luces análogas a los puentes colgantes porque no se plantean problemas en la estructura fija, diferentes a los de los puentes normales. Este tipo de puentes son más económicos que un puente convencional para un mismo gálibo para el tráfico marítimo.

Los puentes transbordadores han estado y estarán siempre unidos al nombre del ingeniero francés Ferdinand Arnodin, porque fue el primero que patentó la idea, e intervino en la mayoría de los que se han construido. Sin embargo, realmente, quien inició este sistema fue el arquitecto español A. del Palacio en el transbordado sobre la ría del Nervión en Portugalete, cerca de Bilbao.

El puente transbordador es una forma diferente al móvil de resolver el conflicto que plantean dos corrientes de tráfico incompatibles: un tráfico de vehículos entre dos orillas situadas a poca altura sobre el agua, y un tráfico de barcos en el río o ría a salvar, que requiere un gálibo de navegación de gran altura. La solución que se ha utilizado normalmente para resolver este problema es el puente móvil de cualquiera de los tipos ya estudiados, pero si la luz es muy grande esta solución puede resultar difícil o imposible de hacer, y por ello surgieron los transbordadores.



En todo el mundo se conservan 8 ejemplares de los 20 que se construyeron, 3 de ellos en Reino Unido, concretamente en (Newport, Middlesbrough y Warrington), dos en Alemania (entre Osten y Hemmoor y entre Osterrönfeld y Rendsburg), uno en Francia (Rochefort), el Puente Transbordador Nicolás Avellaneda en el barrio bonarense de La Boca y finalmente el puente de Vizcaya, entre Portugalete y Guecho. Este último, que data de 1893, y aún está en servicio, es el más antiguo del mundo y, desde 2006, Patrimonio de la humanidad de la UNESCO.



Puente de Vizcaya

### Deslizantes (retractable o de desplazamiento horizontal)

Un puente retractable, deslizante o de desplazamiento horizontal es un puente móvil con una calzada que se mueve en sentido horizontal. La calzada se retira en dirección longitudinal para dejar paso a los navíos. Este tipo de puentes pueden encontrarse en Suecia y Noruega. Un ejemplo es el Ultunabron al sur de Uppsala en Suecia. Recientemente se ha construido en el puerto de Cardiff un puente de este tipo con una luz entre apoyos de 30,5 m y una compensación de 14 m; el voladizo de 30,5 m que se produce durante el movimiento, se equilibra con un relleno de hormigón alojado en las prolongaciones de las vigas laterales metálicas en cajón que soportan el puente. El movimiento se hace elevando el puente mediante gatos y trasladándolo sobre ruedas.



Calzada sobre rodillos del puente retractable en Uppsala

### Flotantes

Se apoyan sobre flotadores que pueden tener diversos tamaños. Consisten fundamentalmente en un tablero apoyado sobre una serie de elementos flotantes que sirven para mantenerlo en una situación más o menos fija. Estos elementos flotantes son muy variados tales como barcas, pontones cerrados, etc. Los primeros puentes flotantes fueron de odres o barcas y datan del Siglo V antes de Cristo. Ya desde esta fecha a nuestros días se vienen utilizando este tipo de puentes flotantes en ríos profundos o donde resulta difícil cimentar.



## 4.FUNCIONAMIENTO MECÁNICO

### PUENTES RECTOS O DE VIGAS

Un puente recto está constituido por una estructura de viga continua o losa continua. Se emplean vigas en forma de "I", en forma de caja hueca, etcétera. Se emplean en vanos cortos e intermedios.

Están formados fundamentalmente por elementos horizontales que se apoyan en sus extremos sobre soportes o pilares. Mientras que la fuerza que se transmite a través de los pilares es vertical y hacia abajo y, por lo tanto, éstos se ven sometidos a esfuerzos de compresión, los elementos horizontales tienden a flexionarse como consecuencia de las cargas que soportan. El esfuerzo de flexión supone una compresión en la zona superior de las vigas y una tracción en la inferior.

Los puentes de vigas de hormigón armado o de acero pueden salvar tramos de 20 a 25 m; para distancias superiores se utilizan mucho el acero y el hormigón pretensado y, cuando la longitud es considerable, las vigas son compuestas. Se han construido algunos puentes con vigas de hormigón pretensado, de sección en "I", que salvan tramos de hasta 48 m.

Existen diversas secciones transversales de los elementos horizontales, que pueden ser vigas y losas:

Para secciones de hormigón:

Viga Doble T y viga artesa: son prefabricadas y perfiladas para obtener la máxima inercia con el mínimo peso, se instalan en tramos biapoyados, se le da continuidad con una losa superior.



Viga Artesa

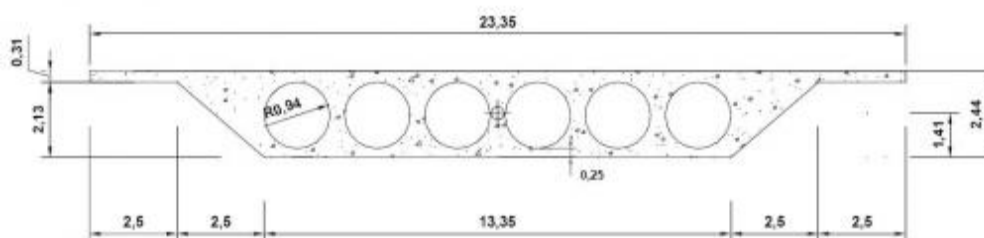


Viga Doble T



Puente de vigas prefabricadas

Losa aligerada: la construcción es in situ (cimbrando vano a vano o mediante autocimbra), tiene mayor facilidad para acomodarse a trazados en planta oblicuos. Nos permiten tener un único punto de apoyo las losas, y el tamaño de las pilas y su colocación es mucho menos exigente que en los de vigas. Como inconveniente su construcción es menos industrializada que los de vigas.



Cajón o Dovelas: son puentes contruidos vano a vano de unos 40 metros. También se construyen por empuje (cajón de canto constante).

Cajón prefabricado: se le da continuidad estructural y después se realiza la losa.



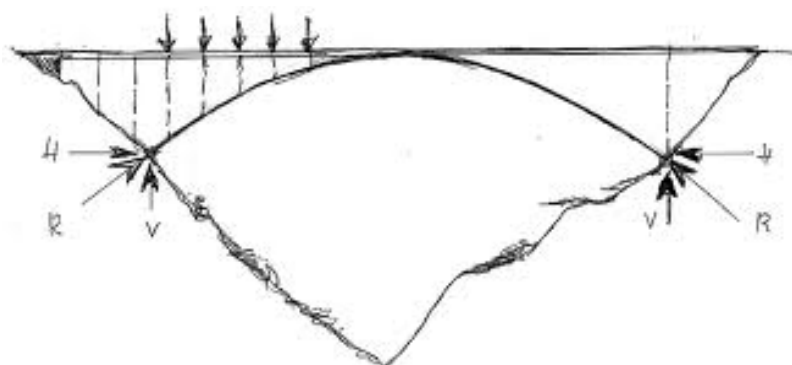
Para secciones de acero

Se utilizan vigas doble T y secciones cajón

#### PUENTES ARCO

Un puente de arco es un puente con apoyos a los extremos de la luz, entre los cuales se hace una estructura con forma de arco con la que se transmiten las cargas. Los puentes en arco trabajan transfiriendo el peso propio del puente y las sobrecargas de uso hacia los apoyos mediante la compresión del arco, donde se transforma en un empuje horizontal y una carga vertical. Se transmiten unas reacciones horizontales a los apoyos y, en consecuencia, el terreno de cimentación ha de ser capaz de resistir tales esfuerzos.

Cuando la distancia a salvar es grande pueden estar hechos con una serie de arcos, aunque ahora es frecuente utilizar otras estructuras más económicas. El rango óptimo esta comprendido entre 60 y 200 metros.



El tablero puede estar apoyado o colgado de esta estructura principal, dando origen a distintos tipos de puentes.

Se pueden clasificar en:

Arco con Tablero Superior



Puente de acero 'María Pía', (Oporto), Gustavo Eiffel, 1887. Longitud del vano central: 160 m.



Viaducto de hormigón de Teruel



Arco con Tablero Intermedio



Puente de Fremont, Portland (USA), 1973.  
Longitud del vano: 383 m.



Puente Lupu en Shangay es le puente arco mas grande del mundo inaugurado el 28 junio 2003

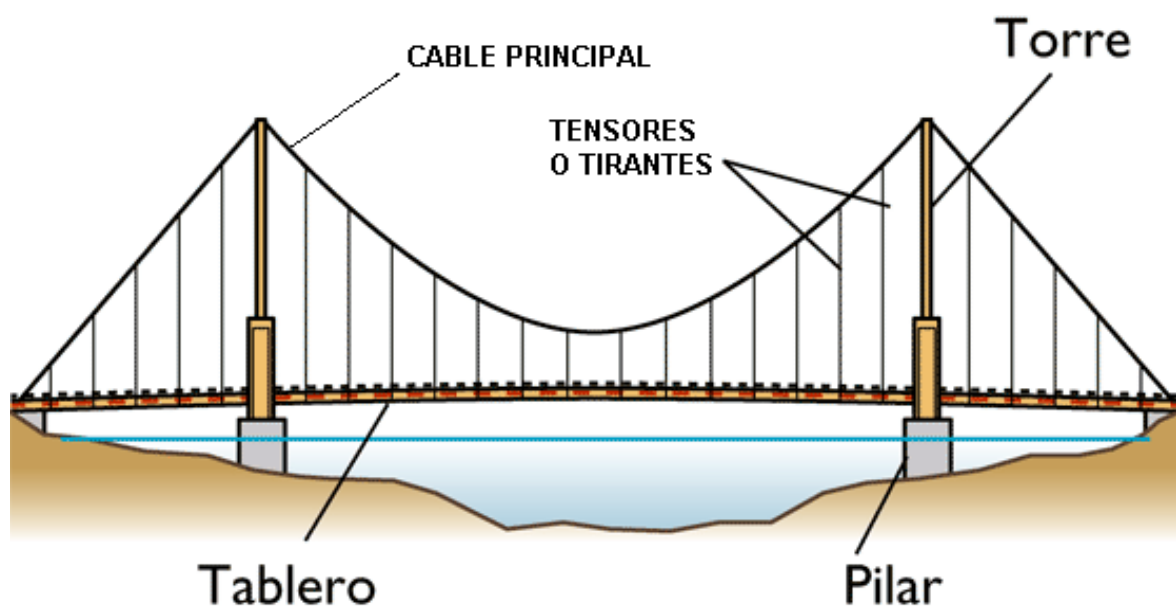
### Arco con Tablero Inferior (Bow-String)



Puente de Tangermünde sobre el Elba, (Alemania), F. Leonhardt.  
Longitud del vano: 185 m.

### PUENTES COLGANTES

Un puente colgante es un puente sostenido por un arco invertido formado por numerosos cables de acero (cable principal), del que se suspende el tablero del puente mediante tirantes verticales. El puente colgante es, igual que el arco, una estructura que resiste gracias a su forma; en este caso salva una determinada luz mediante un mecanismo resistente que funciona exclusivamente a tracción, evitando gracias a su flexibilidad, que aparezcan flexiones en él. Las fuerzas principales en un puente colgante son de tracción en los cables principales y de compresión en los pilares. Todas las fuerzas en los pilares deben ser casi verticales y hacia abajo, y son estabilizadas por los cables principales. El rango óptimo es partir de 350m.



El cable principal es un elemento flexible, lo que quiere decir que no tiene rigidez y por tanto no resiste flexiones. Si se le aplica un sistema de fuerzas, tomará la forma necesaria para que en él sólo se produzcan esfuerzos axiales de tracción; si esto no fuera posible no resistiría. Por tanto, la forma del cable coincidirá forzosamente con la línea generada por la trayectoria de una de las posibles composiciones del sistema de fuerzas que actúan sobre él. La curva del cable principal de un puente colgante es una combinación de la catenaria, porque el cable principal pesa, y de la parábola, porque también pesa el tablero; sin embargo la diferencia entre ambas curvas es mínima, y por ello en los cálculos generalmente se ha utilizado la parábola de segundo grado.

Los cables que constituyen el arco invertido de los puentes colgantes deben estar anclados en cada extremo del puente ya que son los encargados de transmitir una parte importante de la carga que tiene que soportar la estructura.

Las torres han sido siempre los elementos más difíciles de proyectar de los puentes colgantes, porque son los que permiten mayor libertad. Por eso en ellas se han dado toda clase de variantes. Las torres no plantean problemas especiales de construcción, salvo la dificultad que supone elevar piezas o materiales a grandes alturas. Las torres de los puentes metálicos se montan generalmente mediante grúas trepadoras ancladas a ellas, que se van elevando a la vez que van subiendo las torres. Las de los puentes de hormigón se construyen mediante encofrados trepadores.

El tablero suele estar suspendido mediante tirantes verticales que conectan con dichos cables y se usan estructuras de acero reticuladas para soportar la carretera.

Las ventajas de los puentes colgantes son:

- El vano central puede ser muy largo en relación a la cantidad de material empleado, permitiendo comunicar cañones o vías de agua muy anchos
- Pueden tener la plataforma a gran altura permitiendo el paso de barcos muy altos
- No se necesitan apoyos centrales durante su construcción, permitiendo construir sobre profundos cañones o cursos de agua muy ocupados por el tráfico marítimo o de aguas muy turbulentas. Siendo relativamente flexible, puede flexionar bajo vientos severos y terremotos, donde un puente más rígido tendría que ser más fuerte y duro.

Los inconvenientes

- Al faltar rigidez el puente se puede volver intransitable en condiciones de fuertes vientos o turbulencias, y requeriría cerrarlo temporalmente al tráfico. Esta falta de rigidez dificulta mucho el mantenimiento de vías ferroviarias.
- Bajo grandes cargas de viento, las torres ejercen un gran momento en el suelo, y requieren una gran cimentación cuando se trabaja en suelos débiles, lo que resulta muy caro.



Golden Gate Bridge, uno de los más famosos, y récord de longitud del vano central durante muchos años



Gran Puente del Estrecho Akashi Kaikyō. Tiene una longitud de 3.911 m y su vano central de 1.991 m es actualmente el más largo del mundo

## PUENTES ATIRANTADOS

Los elementos fundamentales de la estructura resistente del puente atirantado son los tirantes, que son cables rectos que atirantan el tablero, proporcionándoles una serie de apoyos intermedios más o menos rígidos.

Pero no sólo ellos forman la estructura resistente básica del puente atirantado; son necesarias las torres para elevar el anclaje fijo de los tirantes, de forma que introduzcan fuerzas verticales en el tablero para crear los pseudo-apoyos; también el tablero interviene en el esquema resistente, porque los tirantes, al ser inclinados, introducen fuerzas horizontales que generalmente se equilibran en el propio tablero porque su resultante, igual que en la torre, debe ser nula.. Por todo ello, los tres elementos, tirantes, tablero y torres, constituyen la estructura resistente básica del puente atirantado

En cuanto a la tipología, el puente atirantado admite variaciones significativas, tanto en su estructura como en su forma

- A) Longitudinalmente pueden tener dos torres y ser simétricos, o una sola torre desde donde se atiranta todo el vano principal
- B) Pueden tener dos planos de atirantamiento situados en los bordes del tablero, o un solo plano situado en su eje
- C) Pueden tener muchos tirantes muy próximos, o pocos tirantes muy separados
- D) Los tirantes paralelos llamado disposición en arpa y tirantes radiales, en abanico.
- E) Las torres se pueden iniciar en los cimientos, o se pueden iniciar a partir del tablero, de forma que el conjunto tablero-torres-tirantes se apoya sobre pilas convencionales
- F) Las torres pueden tener diversas formas; pueden estar formadas por dos pilas, por una sola, pueden tener forma de A, forma de H, de Y invertida, de A, de A cerrada por la parte inferior (diamante), una sola pila

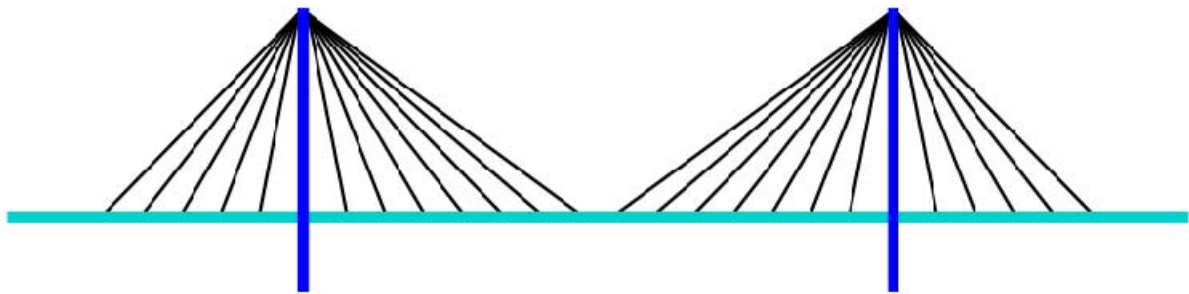


Una sola torre desde donde se atiranta todo el vano principal

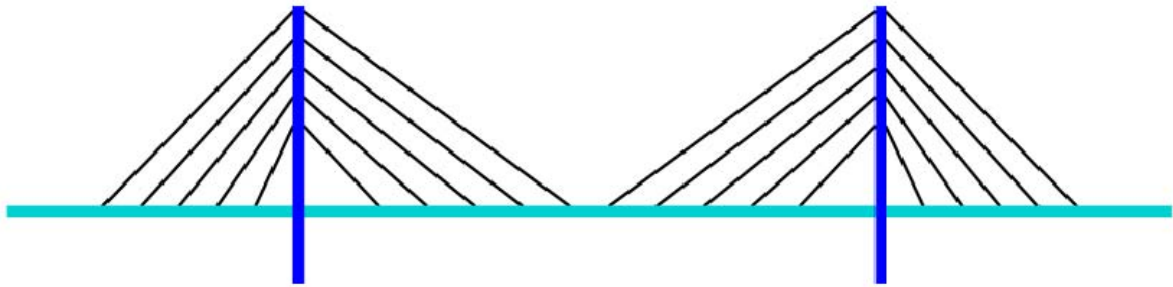
ALBERTO VILLARINO OTERO



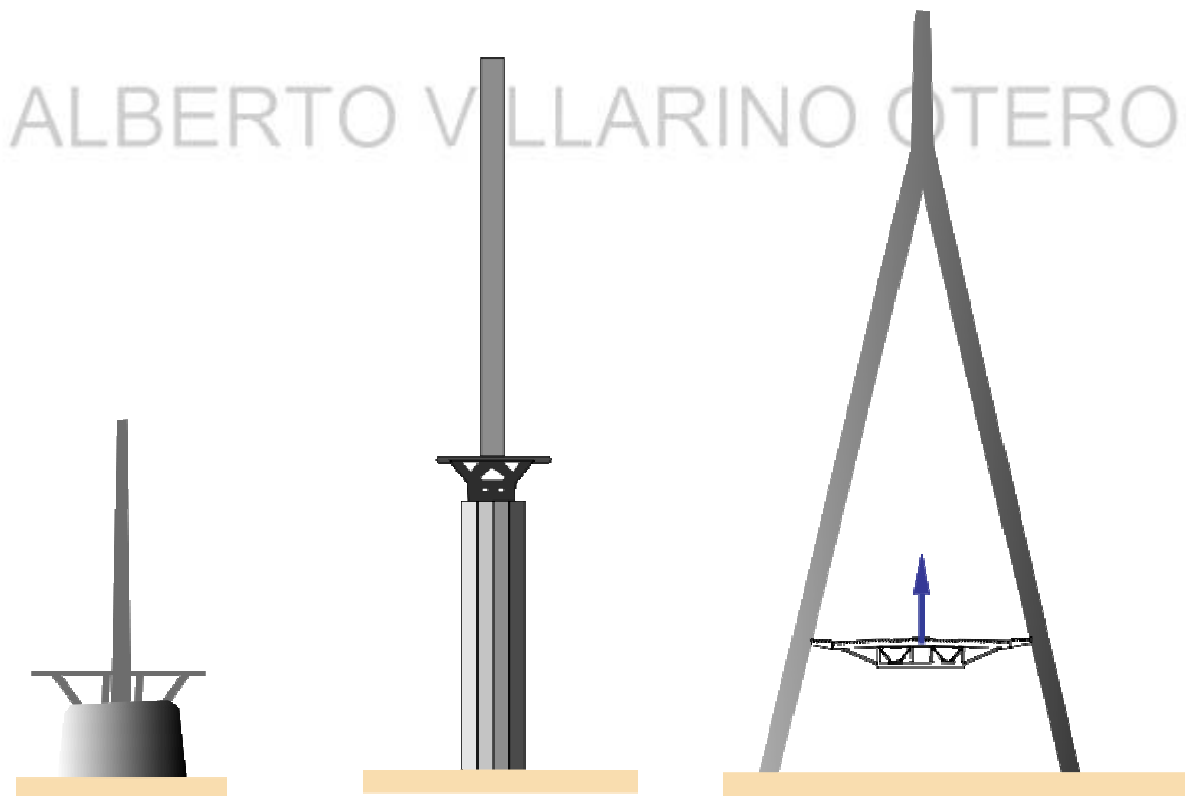
Dos torres en el Embalse de Barrios de Luna



Puente atirantado, diseño en abanico



Puente atirantado, diseño en arpa



Diferentes tipos de torres para puente atirantado

Los puentes atirantados, sobre todo si tienen varias torres, pueden parecer muy parecidos a los colgantes, pero no lo son. En la construcción, en un puente colgante se disponen muchos cables de pequeño diámetro entre los pilares y los extremos donde se anclan al suelo o un contrapeso, estos cables, son la estructura primaria de carga del puente. Después, antes de montar el tablero, se suspenden cables del cable principal, y más tarde se monta este, sosteniéndolo de dichos cables, para ello, el tablero se eleva en secciones separadas y se instala. Las cargas del tablero se transmiten a los cables, y de este al cable principal, y luego, a las torres, los contrapesos de los extremos, reciben una gran fuerza horizontal.

En los puentes atirantados, las cargas, se transmiten la torre o pilar central a través de los cables, pero al estar inclinados, también se transmiten por la propia sección, hasta el pilar, donde se compensa con la fuerza recibida por el otro lado, no con un contrapeso en el extremo, por ello, no requieren anclajes en los extremos.

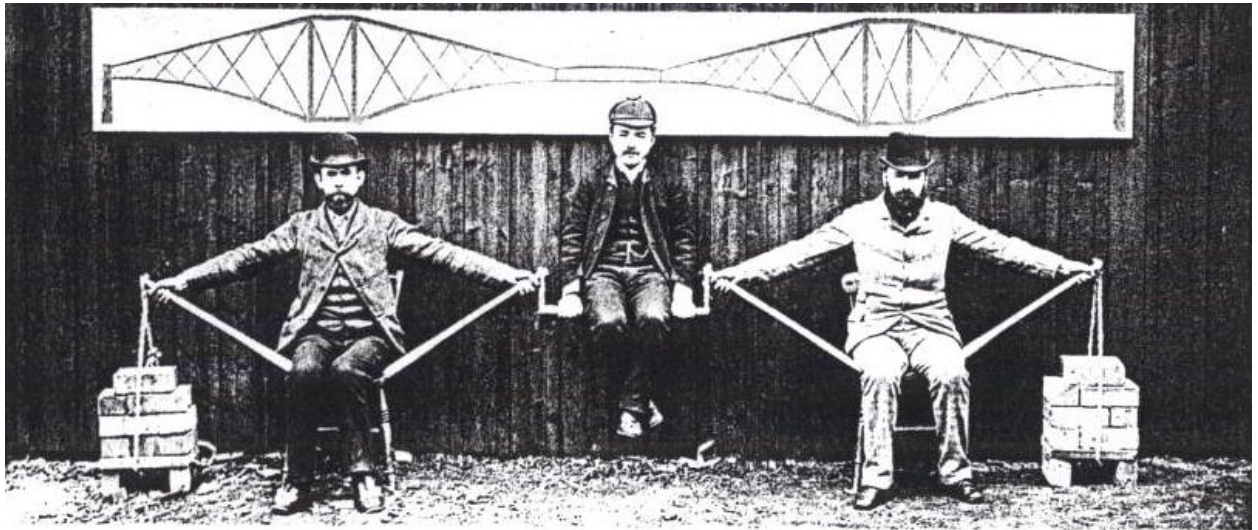
### PUENTE CANTILEVER (EN MÉNSULA O VOLADIZO)

Tienen especial aplicación en tramos muy largos. Reciben su nombre de los brazos voladizos (cantiléver) que se proyectan desde las pilas. Los brazos voladizos también pueden proyectarse hacia las orillas para sustentar los extremos de dos tramos suspendidos. Es posible realizar combinaciones variadas como las que incorpora el puente del Forth, ya que pueden utilizarse todos los sistemas de armaduras a excepción de la Howe.

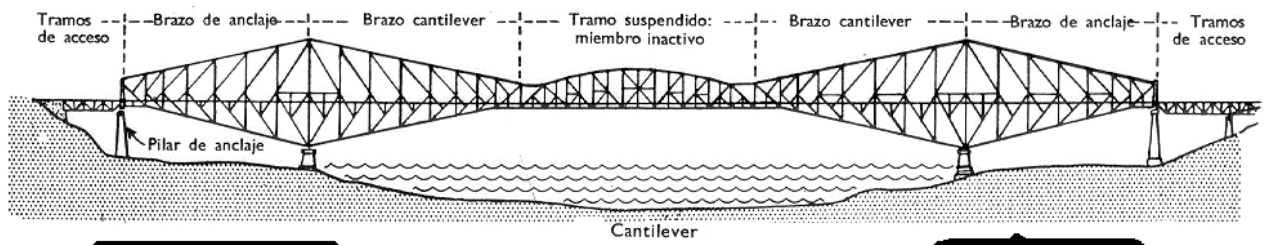
El principio del puente cantiléver puede aplicarse fácilmente a los puentes de armadura de acero y tablero superior. Existen viaductos de hormigón armado o de vigas armadas metálicas en cantiléver; puentes de armadura de hierro que combinan el principio cantiléver con el arco para formar el sistema conocido con el nombre de puente de arco cantiléver. El arco puede estar articulado en las pilas; en tal caso se asemeja a un puente de doble articulación, que puede convertirse en triple añadiendo otra articulación a la clave. El puente de Firth of Forth construido por John Fowler y Benjamín Baker entre los años 1881 y 1890 sobre el estuario del Forth cerca de Edimburgo inicia la estirpe de puentes complejos con más de un vano principal

La famosa fotografía de Benjamín Baker, en la que un modelo vivo figuraba el principio de voladizos en que se basa la solución al puente sobre el Forth. Cuando se pone una carga en la viga central, sentándose una persona en ella, los brazos de los hombres y los cuerpos de los hombres, de hombros abajo y los bastones entran en compresión. Las sillas representan las pilas de granito.





Fotografía Benjamin Baker



Partes de un puente Cantiléver

ALBERTO VILLARINO OTERO



El Puente de Forth, es un puente en ménsula para ferrocarril que atraviesa el Fiordo de Forth, en el este de Escocia 14 km del centro de Edimburgo

### 7.3 PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS

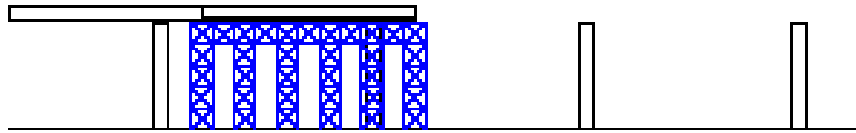
#### PUENTES DE VIGAS PREFABRICADAS DE HORMIGÓN O LOSAS ARTESA

Cada viga o losa se monta directamente, mediante el empleo de gruas, entre dos pilas y se colocan a una cierta distancia, constituyendo el soporte de la losa de hormigón que forma el tablero del puente.

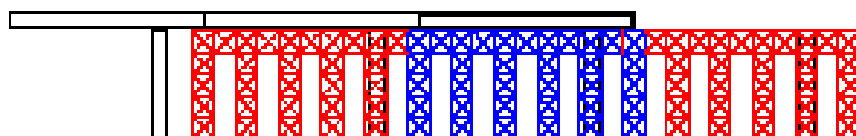
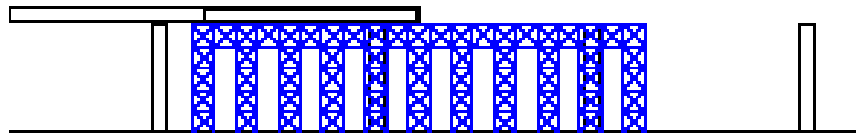
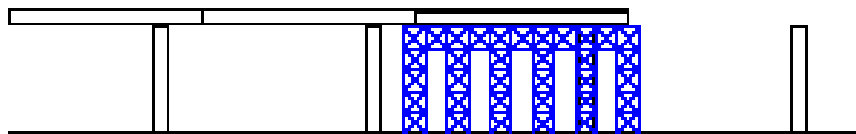


### Construcción con Cimbra Estática

Para puentes de pequeña altura (8-10m) hormigonados in situ. Ideal para pasos superiores. En caso de varios vanos la construcción se hace tramo a tramo. Una vez hormigonado un tramo se pretesa, descimbra y desencofra y se pasa al tramo siguiente



Un equipo de cimbra y un encofrado

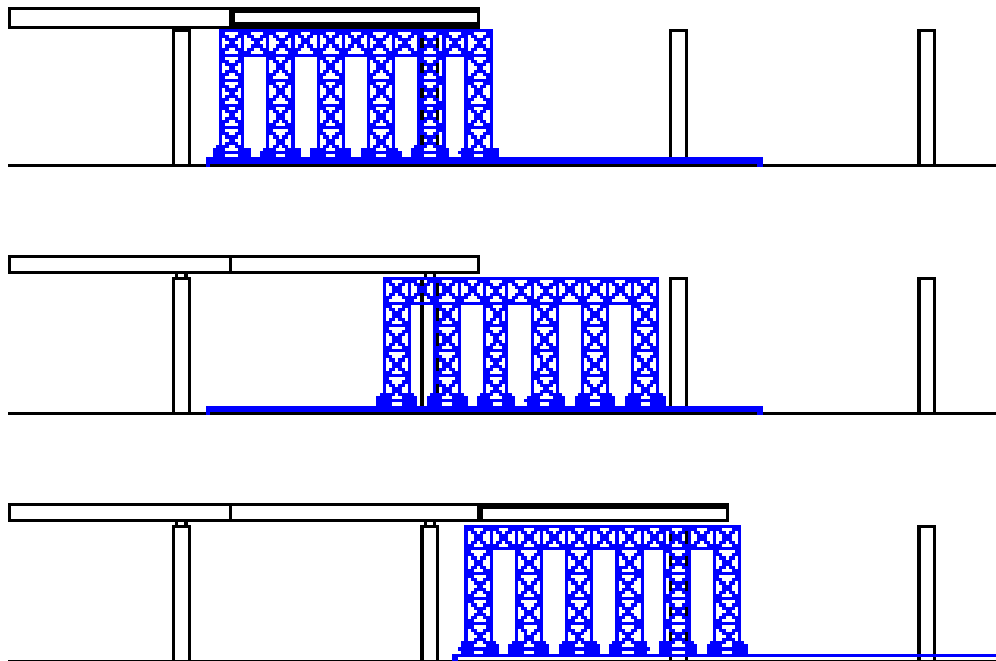


Dos equipos de cimbra y un encofrado



### Construcción con Cimbra Desplazable

Igual que le caso anterior pero ahora la cimbra se puede desplazar sobre elementos de rodadura



Movimiento de la cimbra y del encofrado sobre carril de rodadura inferior

### Cimbras Autoportantes o Autocimbras

Equipo de trabajo formado por una viga de lanzamiento que permite la ejecución de tableros de hormigón en puentes y viaductos de gran altura, con vanos de gran longitud, mediante un proceso constructivo autolanzable y sin necesidad de apoyarse en el terreno.



### **Avance en Voladizo**

El tablero se apoya en unos puntos fijos, a partir de los cuales se establece una progresión e la construcción de manera que se determine las estructuras parciales en voladizo autoportantes o ayudadas por elementos auxiliares, este procedimiento se puede llevar acabo mediante carro de avance o mediante vigas autolanzables.



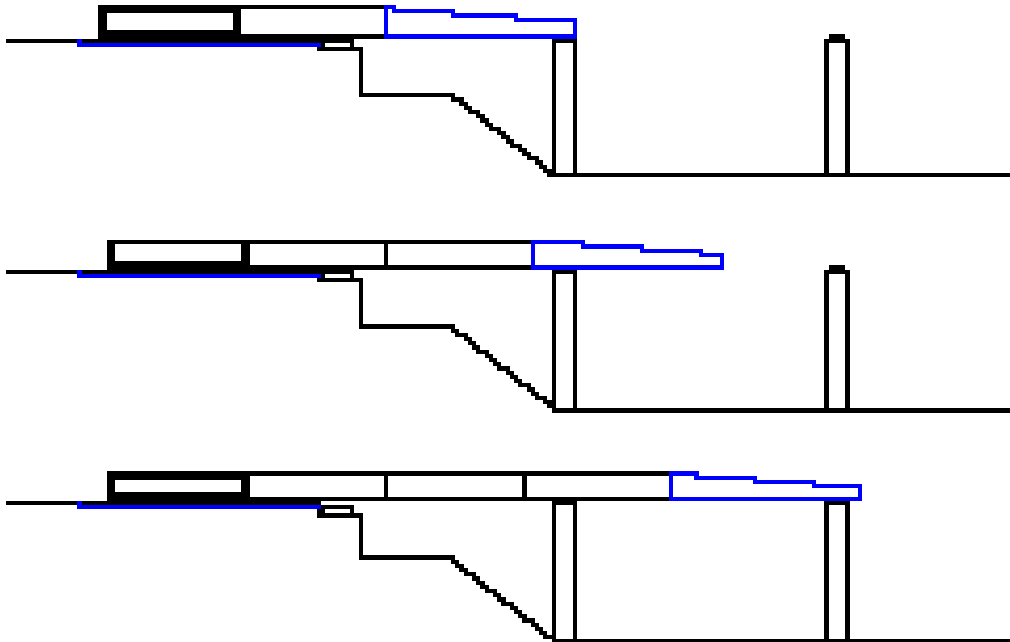
Carro de avance



Carro de avance

### Puente Empujados

Necesitan tener en planta un trazado recto o circular. Su fundamento económico reside en tableros que tengan optimizado el consumo de hormigón y en preparar un parque de fabricación fijo, en el eje del puente, donde se realizan las dovelas de 15 a 20 metros. Una vez endurecido y pretensado el hormigón se empuja hacia delante por medio de gatos, con lo que se libera el molde para realizar una nueva dovela.,el puente va discurriendo sobre las pilas, hasta su terminación, sin necesidad de cimbra que lo soporte. En el caso de tableros metálicos o mixtos el procedimiento es el mismo.



## PUENTES ARCO

Únicamente se comentarán los siguientes procesos:

### Construcción con Cimbra Estática



Vista general de cimbra y andamiaje



Detalle de sección en cajón del arco



Detalle de cimbra y encofrados

### Avance en Voladizo con Rigidización por Tirantes



Imagen de medio arco en voladizo con los tirantes a tracción



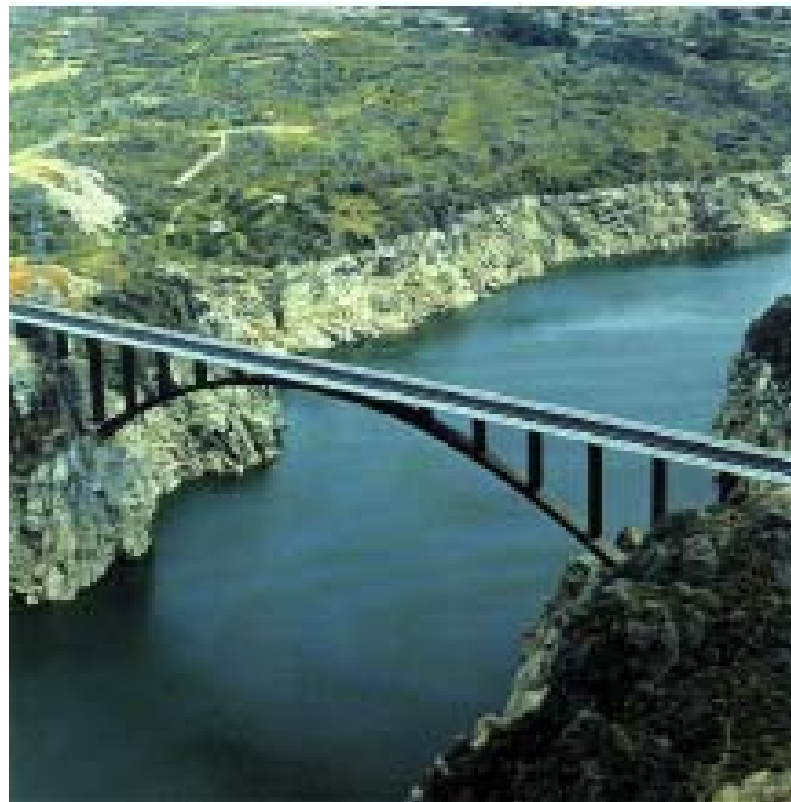
Imagen de los dos voladizos y la viga de lanzamiento de dovelas





ALBERTO VILLARINO OTERO

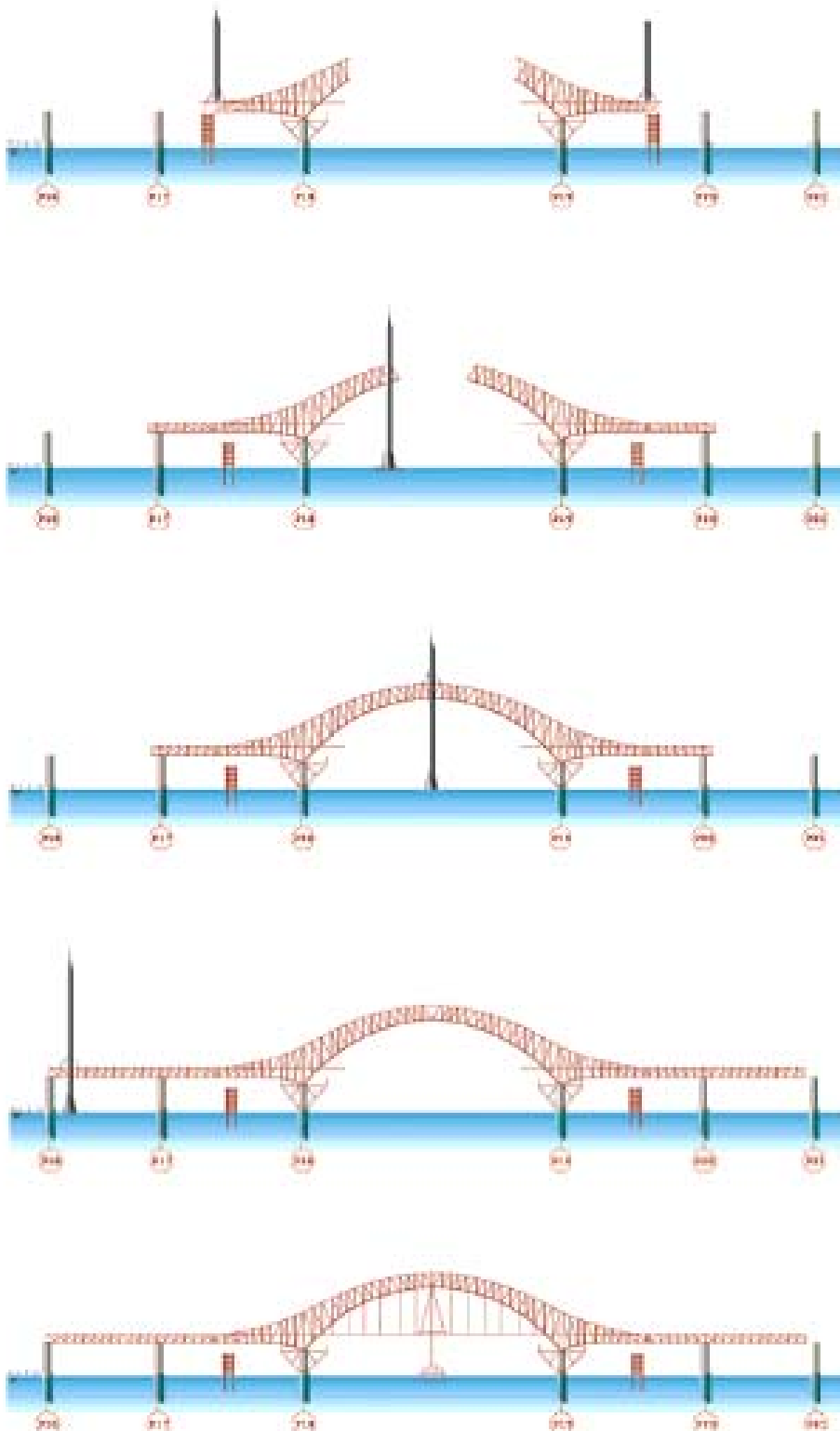
Lanzamiento y colocación de dovela del arco



Puente finalizado Arco de Ricobayo. Longitud del vano: 168 m.

### Construcción del Arco con Voladizos Compensados

Esquema de etapas de la construcción



RO



Colocación de dovelas del arco



Colocación de la dovela central del arco



Construcción de vanos de aproximación



Colocación del tablero y los tirantes



Puente Yeongjang, Corea del Sur. Longitud del vano: 180 m.

### Construcción del Arco con Estabilización por Tirantes

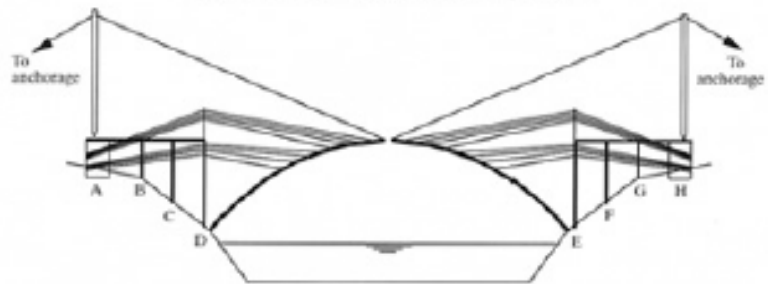
Esquema de las fases de construcción



(a) Erection of Segments No. 1 to 5 and 24 to 28



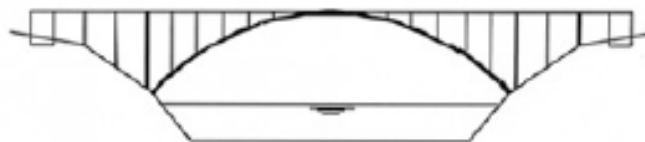
(b) Erection of Segments No. 6 to 11 and 18 to 23



(c) Erection of Segments No. 12 to 17 just before closure of arch rib



(d) Closure of arch rib and removal of tiebacks



(e) Erection of spandrel walls, spandrel columns and piers, and completion of bridge deck



Construcción del arco. Obsérvese la sección de hormigón del arco en cajón



Imagen del arco durante la construcción

## PUENTE COLGANTE

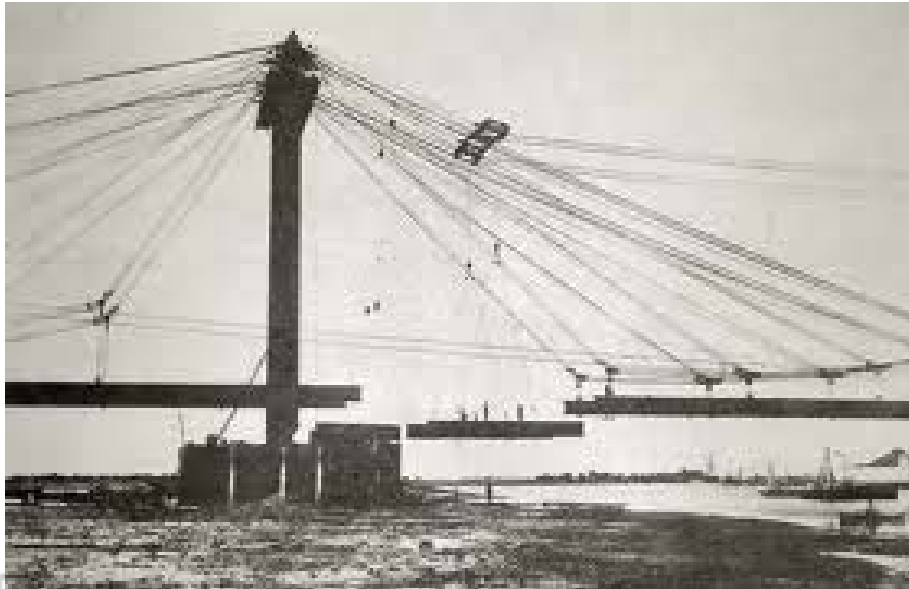
Las principales fases del proceso constructivo son:

1.Construcción de las Torres y Contrapesos: Por lo que se refiere a la construcción de las torres se montan generalmente mediante grúas trepadoras ancladas en ellas que se van elevando a la vez que van subiendo las torres. En cuanto a los contrapesos tampoco plantean especiales problemas. Su dificultad radica simplemente en la precisión que requiere la colocación de las piezas metálicas que sirven de anclaje a las piezas que forman el cable

2.Montaje de los Cables Principales: Es la fase de mayor complejidad pues es la tarea básica. Para montar los cables principales generalmente se lanzan primero unos cables auxiliares que sustenten los cables principales durante la fase de construcción.



3.Montaje del Tablero: Generalmente se realiza por voladizos sucesivos avanzando la ménsula desde un tirante al siguiente, del que se cuelga. El avance se hace simétricamente desde la torre hacia el centro del vano principal y hacia los extremos. Desde el tablero una vez construido se van montando piezas elevándolas mediante grúas situadas sobre él hasta cerrar el tablero en el centro del vano. Otros métodos para el montaje del tablero son la división del tablero en dovelas de sección completa que se llevan por flotación bajo su posición definitiva y se elevan a ella desde los cables principales mediante cabrestantes, una vez situadas en su situación definitiva se cuelgan de los tirantes.



ALBERTO VILLARINO OTERO

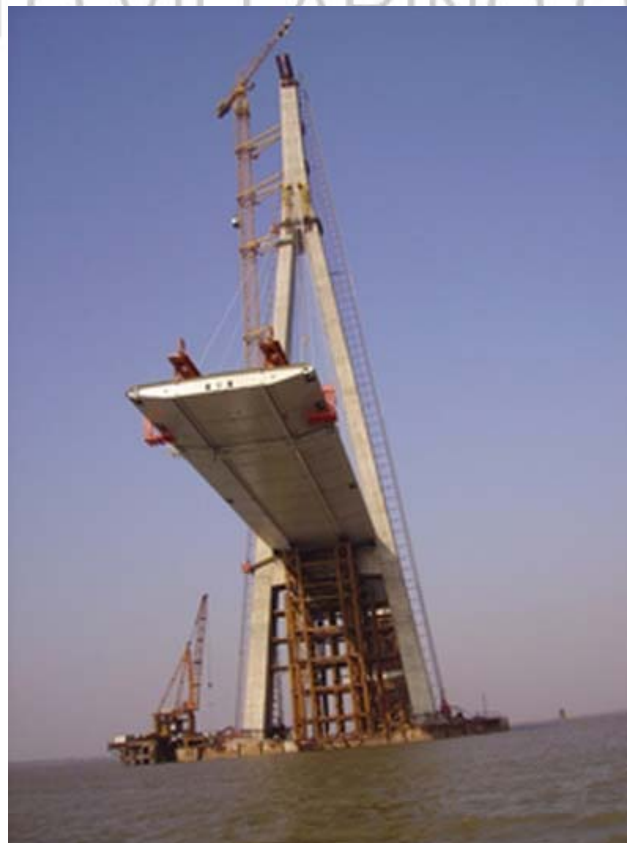
## PUENTE ATIRANTADO

Los procesos constructivos más habituales son los siguientes:

Voladizos sucesivos: Es el más conocido y en éste sistema las estructuras parciales que se van generando durante el proceso están atirantadas de la misma forma que el puente completo.



ALBERTO VILLARINO OTERO





### **Construcción sobre Apoyos Provisionales**

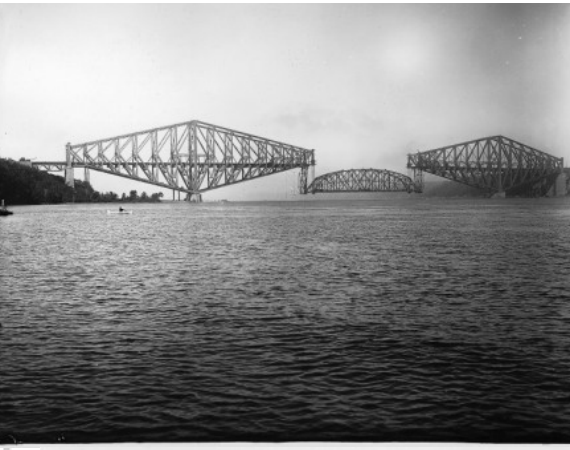
Consiste en construir el tablero completo del puente sobre un sistema de apoyos provisionales antes de atirantarlo. Terminado el tablero se montan los tirantes y se les va dando carga sucesivamente hasta dejar el puente en el aire.

### **PUENTE CANTILÉVER**

Las grandes estructuras cuyo principio es el sistema cantiléver, se construyen por la técnica de voladizos sucesivos, mediante ménsulas consecutivas que se proyectan en el espacio a partir de la ménsula previa.

Un ejemplo de este sistema constructivo es el puente de Quebec (Canadá) que está situado al oeste de la ciudad y cruza la parte inferior del río San Lorenzo. Se comenzó a construir en el año 1904 por Mr Cooper y por errores en el cálculo la parte central del puente se vino abajo en el año 1907. Tras el colapso intervinieron tres ingenieros: Vautelet, un ex ingeniero de la Canadian Pacific Railways, Maurice Fitzmaurice, de Gran Bretaña, que trabajó en la construcción del puente Forth, y Ralph Modjeski de Chicago. El puente se finalizó en agosto de 1917, después de haber sufrido otro accidente en el año 1916.

El puente está realizado con acero, es un puente en ménsula (cantilever) realizado con un sistema de pernos y articulaciones, se construía desde las pilas con elementos de unos veinte metros que venían montados y el tramo central se transportó y se levantó para apoyarlo en su posición definitiva. a secuencia de fotos siguiente (de izquierda a derecha y de arriba abajo) muestra el proceso constructivo.



## 8. TEORIA Y CÁLCULO DE ESTRUCTURAS

### 8.1 INTRODUCCIÓN

Puede definirse, en general, una **estructura** como conjunto de elementos resistentes capaz de mantener sus formas y cualidades a lo largo del tiempo, bajo la acción de las cargas y agentes exteriores a que ha de estar sometido.

La estructura soporta las **cargas** exteriores (acciones y reacciones), las cuales reparten su efecto por los diferentes elementos estructurales que resultan sometidos a diferentes **esfuerzos**, los cuales inducen un estado **tensional**, que es absorbido por el material que la constituye.

El estudio de las estructuras se lleva a cabo por dos disciplinas la Mecánica Racional y la Resistencia de Materiales. La **Mecánica Racional** estudia el modelo del sólido rígido, que es aquel que cumple que no se deforma y tiene resistencia infinita. Dentro de la Mecánica Racional a su vez existen varias disciplinas; una de ellas es la **Estática** que nos indica que el **sólido rígido** ante cualquier fuerza o momento tiene que cumplir las condiciones de equilibrio. Con lo que la Estática no nos proporciona ninguna información sobre los efectos que las acciones pueden producir sobre el sólido en concreto, como las deformaciones o como la capacidad de resistir tales esfuerzos.

Por lo que es la **Resistencia de Materiales** la que estudia el modelo del **sólido deformable** donde se tiene en cuenta los fenómenos de deformación y rotura, ya que cumple que tiene resistencia finita y que se deforma, además se les supone una serie de cualidades como son la isotropía, homogeneidad y continuidad

La Resistencia de Materiales se puede definir como la ciencia que trata del cálculo de la resistencia mecánica, rigidez y estabilidad de las piezas de una estructura. Entendiendo como:

**Resistencia mecánica:** las fuerzas internas máximas o tensiones que es capaz de desarrollar dicho cuerpo. Dependerá de las dimensiones del mismo y del material del que esté hecho.

**Rigidez:** la capacidad de oposición a las deformaciones.

**Estabilidad:** la capacidad de un elemento de oponerse a perturbaciones, manteniendo el equilibrio.

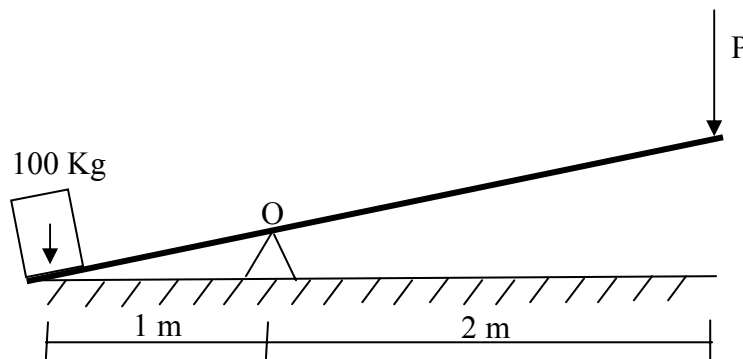
Es decir, que la resistencia de materiales nos permitirá determinar el material más adecuado, la forma y dimensiones más convenientes que hay que dar a los elementos de una construcción o máquina para que puedan resistir la acción de fuerzas exteriores que los solicitan, así como para obtener este resultado de la forma más económica.

Estudiando la resistencia mecánica conseguiremos diseñar los elementos del material y medida adecuadas para evitar su rotura.

Estudiando la rigidez, que se estudia cuantificando los esfuerzos interiores y las deformaciones, obtenemos las condiciones en las cuales la estructura o la pieza puede ser utilizada sin peligro de fallo.

Para terminar de explicar los conceptos anteriores se propone el siguiente ejemplo:

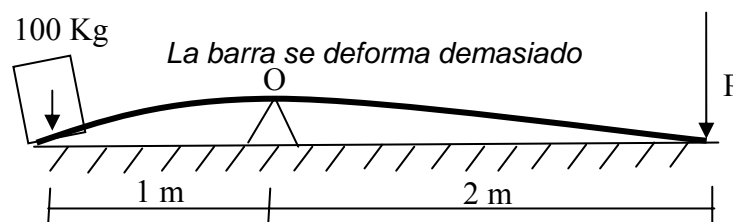
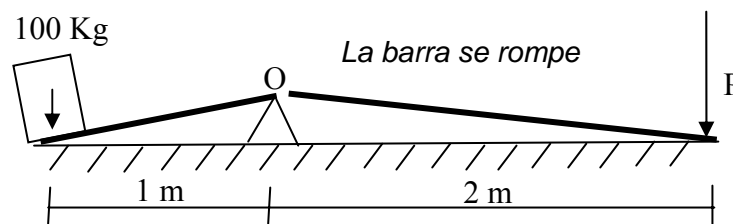
Se quiere levantar un cuerpo de 100 Kg de peso y para hacer menor el esfuerzo a realizar, se utiliza una barra, que a través de un apoyo intermedio O, se usará como una palanca. Se desea en un principio calcular el esfuerzo P que se deberá aplicar en el extremo de la barra



Suponiendo la barra utilizada, como rígida, es la Mecánica la que resuelve el problema. Así por la ecuación de equilibrio:

$$\sum M_o = 0 \quad P \cdot 2 = 100 \cdot 1 \quad \rightarrow \quad P = 50 \text{ Kg}$$

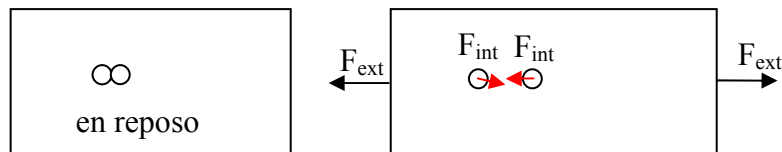
Pero la barra, en realidad, es un sólido deformable y como tal, podría ocurrir que se rompiese o que se deformase demasiado y por tanto no nos sirviese para elevar el peso de 100 Kg.



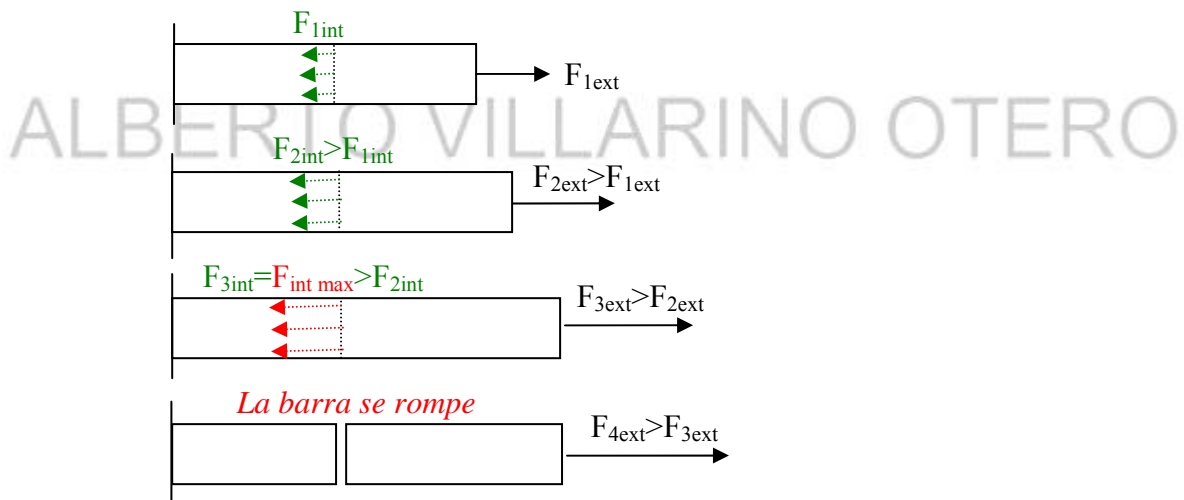
Será precisamente la Resistencia de Materiales la que nos ayude a dimensionar la barra a utilizar, para evitar que se rompa o que se deforme demasiado

Para que no se rompa la barra

Las **fuerzas exteriores** que aplicamos sobre los cuerpos, provocan en ellos **fuerzas interiores** o **tensiones** que se oponen a las exteriores. Ello es debido porque las fuerzas exteriores alteran las posiciones de reposo que mantenían las partículas elementales del interior del cuerpo y se desarrollan entonces fuerzas internas que tratan de recuperar las posiciones iniciales de las mismas



Al aumentar el valor de las fuerzas exteriores aumentará el valor de las fuerzas interiores y ello sucederá así hasta que éstas lleguen a su valor límite y ya no pueden crecer más. A partir de aquí el sólido romperá.



Se denomina **resistencia mecánica** de un cuerpo: "a las fuerzas internas máximas o tensiones que es capaz de desarrollar dicho cuerpo". Dependerá de las dimensiones del mismo y del material del que esté hecho.

Para que no se deforme demasiado la barra

En el ejemplo gráfico anterior, se observa que a medida que se va aumentando la fuerza externa, el cuerpo se va deformando más. Se tendrá que controlar que los sólidos no se deformen demasiado y dejen de ser útiles. Se denomina **rigidez** de un cuerpo: "a la resistencia que presenta a dejarse deformar"

Como conclusión final la Resistencia de Materiales permite calcular:

- Las **fuerzas internas o tensiones** (A través de ellas se controlará que los cuerpos no se rompan)
- Las **deformaciones** (A través de ellas se controlará que los cuerpos no se deformen demasiado)

La Resistencia de Materiales tiene importantes aplicaciones en todas las ramas de la ingeniería. Sus métodos los utilizan los ingenieros aeronáuticos y navales para el diseño y construcción de aviones y barcos, respectivamente; los ingenieros civiles, al proyectar puentes, presas y cualquier tipo de estructura, los ingenieros de minas, para resolver la necesidad de conocimientos de construcción que exige su profesión; los ingenieros mecánicos, para el proyecto y construcción de maquinaria y todo tipo de construcciones mecánicas como son los recipientes a presión; los ingenieros energéticos, para proyectar los diferentes componentes de un reactor; los ingenieros metalúrgicos, por la necesidad que tienen del conocimiento de los materiales actuales para la búsqueda de nuevos materiales; los ingenieros eléctricos, para el proyecto de máquinas y equipos eléctricos, y, en fin, los ingenieros químicos, para el diseño de instalaciones en industrias de su especialidad

## 8.2 SISTEMAS DE FUERZAS

Se denomina sistema de fuerzas al conjunto de las fuerzas que actúan en un sistema material cualquiera. Siendo las fuerzas asimilables a vectores aplicados en un punto. Los sistemas de fuerzas gozan de todas las propiedades de las sistemas de vectores aplicados y particularmente cuando las fuerzas asimilables a vectores deslizantes le son aplicables las teorías de los momentos, pares y reducción de sistemas de vectores. Un sistema de fuerzas puede sustituirse por otro equivalente que produzca el mismo efecto mecánico (igual resultante e igual momento). Las fuerzas que actúan en un sistema material se pueden clasificar en fuerzas exteriores e interiores.

### FUERZAS EXTERIORES

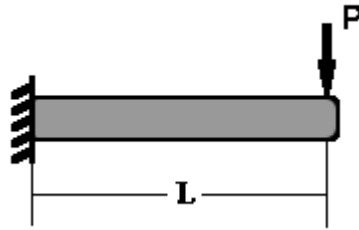
Las fuerzas exteriores son debidas a la acción de otros cuerpos sobre el sólido rígido considerado, siendo responsables del comportamiento externo del sólido rígido, es decir, provocarán el movimiento del sólido o harán que permanezca en equilibrio.

Las fuerzas exteriores se pueden clasificar a su vez en:

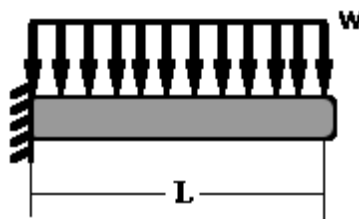
#### FUERZAS ACTIVAS O CARGAS

Son las aplicadas directamente a puntos del sistema material

Carga concentrada o puntual: está formada por fuerzas actuando en un punto definido, como por ejemplo, una fuerza aplicada o un momento aplicado. Están expresadas en unidades de fuerza o de momento (N, lb, kgf, N\*m, lb\*pie, kgf\*m, etc.).



Carga distribuida o repartida: son cargas por unidad de superficie. Se expresa en unidades de fuerza sobre unidades de longitud (N/m, lb/pie, kgf/m). La magnitud de la fuerza originada por esta carga es igual al área de la forma generada por la carga y se ubica en el centroide.



Carga permanente o concarga: son cargas que existen siempre manteniéndose constantes en magnitud y posición a lo largo del tiempo. Ejemplos de este tipo de cargas son el peso propio, los pavimentos, los materiales de cubrición de los techos.

Carga variable o sobrecarga: son cargas que pueden o no existir y cuya magnitud y posición puede ser variable a lo largo del tiempo. A su vez estas cargas dependiendo del elemento que las provoque se pueden dividir en: sobrecarga de uso y explotación (tránsito de personas, de vehículos), sobrecarga de nieve, acciones del viento, acciones sísmicas, térmicas, empujes del terreno, etc...

Los vectores son las herramientas matemáticas que permiten figurar una carga sobre una viga y son la representación de una acción que ocurre en la estructura real; por ejemplo una columna que descansa sobre una viga sería un caso de carga puntual. Un ejemplo para cargas distribuidas sería el peso propio de los elementos o una losa de piso de concreto soportada por una viga.

### FUERZAS REACTIVAS O REACCIONES

Son las que se originan en determinados puntos del sistema debido a las ligaduras o coacciones y que surgen cuando actúan fuerza activas. Las ligaduras o coacciones son dispositivos materiales que impiden total o parcialmente el libre movimiento de la sección de un sólido.

Al considerar la pieza genérica de una estructura, ésta estará sometida a una o varias ligaduras que la unen al resto de la misma o al suelo. En cada ligadura existe una reacción que, en general, estará formada por una fuerza y por un momento. Es condición necesaria para que la pieza esté en equilibrio

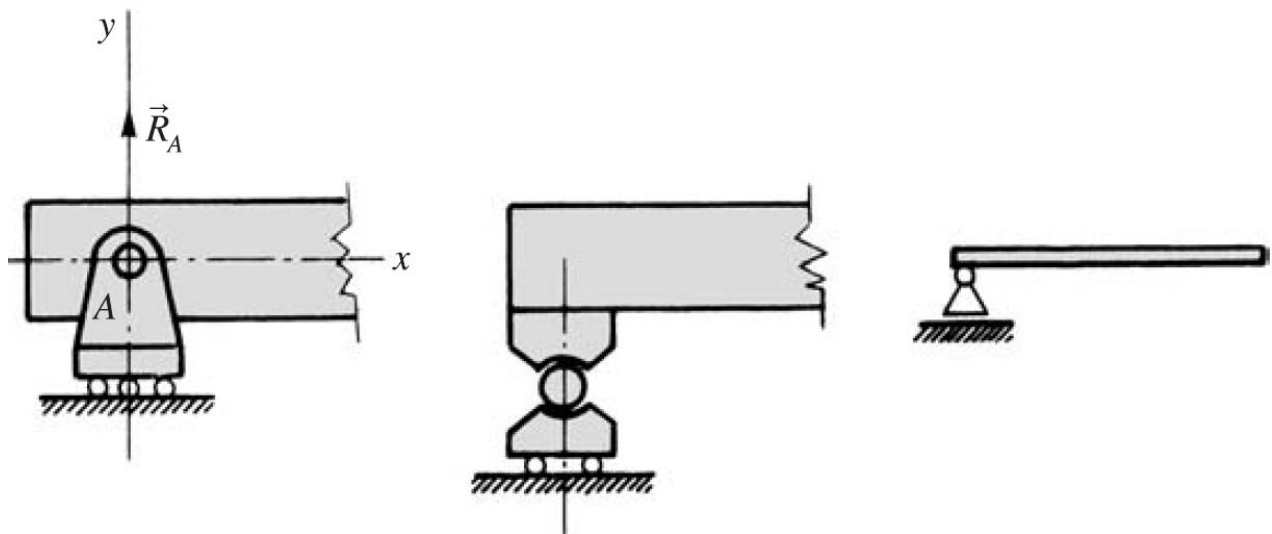
que el sistema de fuerzas constituido por las fuerzas directamente aplicadas y las reacciones verifiquen las condiciones generales.

Es evidente que la reacción dependerá de la sollicitación exterior y del tipo de vínculo. Una sección no sometida a ligadura alguna tiene, según sabemos, seis grados de libertad: tres posibles desplazamientos en las direcciones de los ejes coordenados  $x$ ,  $y$ ,  $z$  y los posibles giros alrededor de los mismos ejes.

A cada grado de libertad impedido por la ligadura corresponde una componente de la reacción: si está impedido el movimiento de la sección en la dirección de uno de los ejes, la reacción de la ligadura comprende una fuerza que tiene una componente en la dirección de ese eje. Si además está impedido el giro de la sección alrededor de alguno de los ejes coordenados mediante un empotramiento, por ejemplo, la reacción comprende un momento que tiene una componente en la dirección de ese eje, es decir, si está impedido el giro en alguno de los planos coordenados, forma parte de la reacción de la ligadura un momento en dirección perpendicular a ese plano.

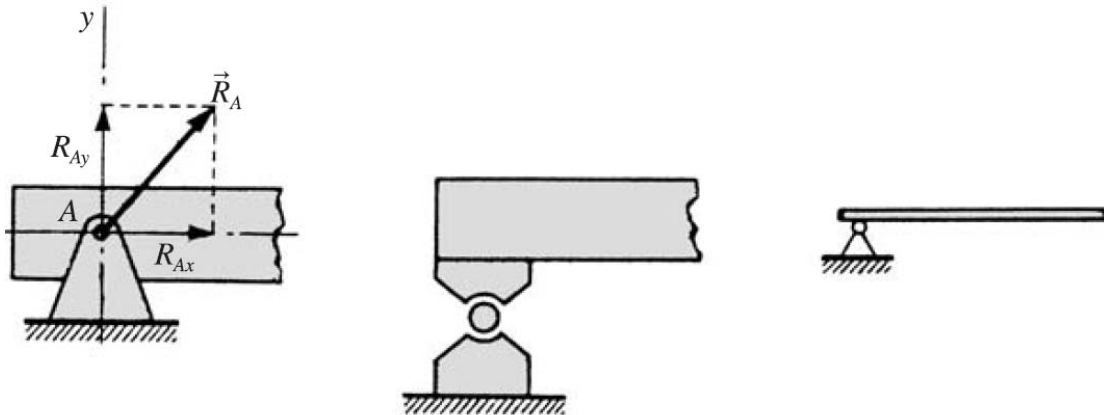
Las ligaduras se representan y simbolizan mediante apoyos pudiéndose clasificar en:

**Apoyo articulado móvil:** es libre el movimiento de la sección del vínculo en la dirección del eje  $x$ , así como el giro en el plano  $xy$ . La reacción se reduce a una fuerza perpendicular al posible desplazamiento del apoyo, equivale por tanto a una incógnita que es el módulo de la reacción  $R_y$ .

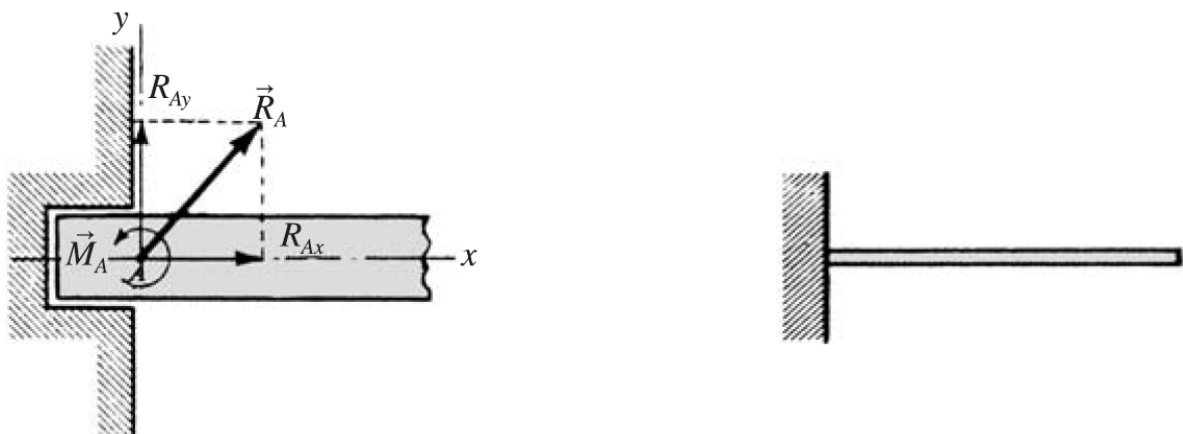




**Apoyo articulado fijo:** el desplazamiento está impedido tanto en la dirección del eje x como del eje y, pero el giro en el plano xy no lo está. La reacción en este caso es una fuerza  $R_x$  y  $R_y$ , equivale por lo tanto a dos incógnitas.



**Apoyo empotrado o empotramiento:** están impedidos los desplazamientos en las direcciones de los ejes x e y así como el giro en el plano xy quedando por lo tanto inmovilizada la sección de la figura. La reacción se compone de  $R_x$  y  $R_y$  y de un momento perpendicular al plano xy. Un empotramiento equivale pues a tres incógnitas.



## FUERZA INTERNAS

Las fuerzas exteriores que aplicamos sobre los cuerpos provocan en ellos fuerzas internas o tensiones que se oponen a las exteriores. Ello es debido a que las fuerzas exteriores alteran las posiciones de reposo que mantiene las partículas elementales del interior del cuerpo y se desarrollan entonces fuerzas internas que tratan de recuperar las posiciones iniciales de las mismas.

Las fuerzas internas se representan siempre como pares de fuerzas iguales y opuestas en cada punto del cuerpo, que no se tiene en consideración al plantar el equilibrio el cuerpo en su conjunto.

Aunque la distribución real de estas fuerzas en la sección puede ser complicada, es evidente que debe ser estáticamente equivalentes a las fuerzas exteriores que actúan sobre el cuerpo, se puede siempre

representar por una resultante R aplicada en el baricentro de la sección transversal junto con un par momento M

Las fuerzas internas tienen como misión mantener unidas entre sí todas las partículas de las que está formado el sólido rígido, y si nuestro sólido rígido está compuesto estructuralmente por varias partes, las fuerzas que mantienen la unión se definen también como fuerzas internas.

### 8.3 CONDICION DE EQUILIBRIO DE UN SÓLIDO RÍGIDO

Todo sistema de fuerzas puede sustituirse por una fuerza (resultante) y un par de fuerzas (momento resultante)

Para que un sólido esté en equilibrio tienen que estarlo todos y cada uno de los puntos materiales que componen el sólido. El punto material puede estudiarse como libre sometido a las fuerzas exteriores y a las interiores, pero éstas, por ser dos a dos iguales y opuestas se equilibran. Por tanto el equilibrio del sólido depende exclusivamente de las fuerzas exteriores (activas y reactivas).

Por lo que se expresa como condición necesaria y suficiente para que un sólido esté en equilibrio, que la resultante y el momento resultante respecto a un punto cualquiera del sólido de las fuerzas exteriores que actúan sobre él sea iguales a cero. Obteniéndose por tanto las ecuaciones de equilibrio también llamadas ecuaciones básicas de la estática:

1. La suma algebraica de fuerzas en el eje X que se denominan  $F_x$ , o fuerzas con dirección horizontal, es cero.  $\Sigma F_x = 0 \rightarrow \Sigma F_h = 0$

2. La suma algebraica de fuerzas en el eje Y denominadas  $F_y$ , o fuerzas con dirección vertical, es cero.  $\Sigma F_y = 0 \rightarrow \Sigma F_v = 0$

3. La suma algebraica de momentos M, o tendencias de giro respecto a un punto determinado en equilibrio, es cero.  $\Sigma M_{Pto} = 0$

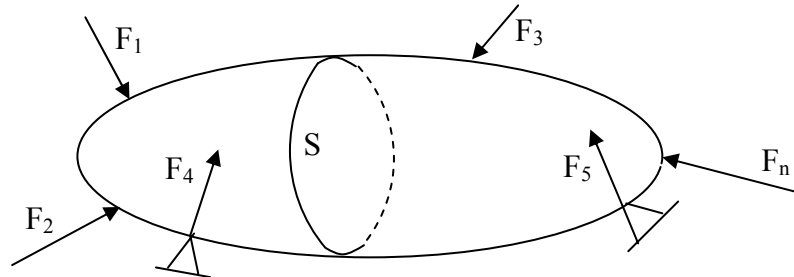
$$\Sigma F_x = 0 \quad \Sigma M_{Pto} = 0 \quad \Sigma F_y = 0$$

Estas ecuaciones expresan el hecho de que las componentes de las fuerzas externas en las direcciones x e y, así como los momentos de las fuerzas externas están en equilibrio. Por tanto, el sistema de fuerzas externas no impartirá ni movimiento de traslación ni de rotación al cuerpo rígido considerado.

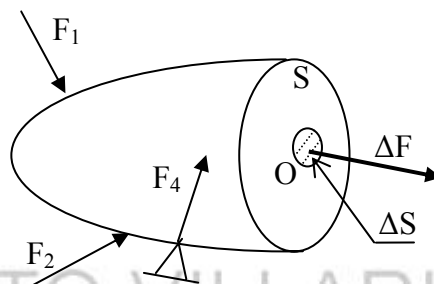
El uso de la condición de equilibrio en una estructura permite realizar el proceso analítico esencial en un problema estructural. En la etapa inicial se pueden conocer las fuerzas que se generan en los apoyos para hacer que la estructura este en equilibrio. Por medio de estas ecuaciones obtenemos el valor de las reacciones de las ligaduras.

## 8.4 ESFUERZOS MECÁNICOS

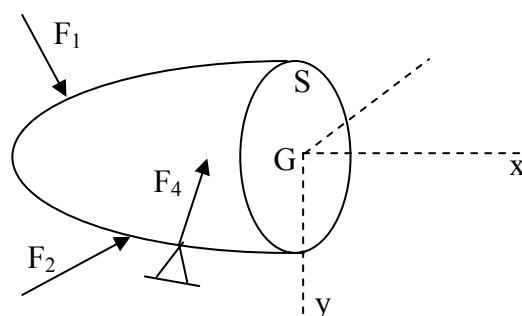
Consideremos un sólido sometido a un sistema de fuerzas exteriores y que se encuentra en equilibrio estático y elástico.



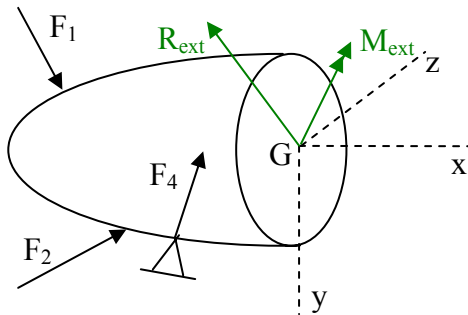
Si se desea conocer las Fuerzas Internas o Tensiones que aparecen en una superficie determinada  $S$ , seccionamos el sólido por dicha superficie y nos quedamos con una de las dos partes del mismo



El trozo de sólido seccionado no estará en equilibrio, a no ser que se restablezcan las acciones que el otro trozo ejercía sobre él. Estas acciones son precisamente las Fuerzas Internas o Tensiones que aparecerían sobre los puntos de la superficie  $S$  seccionada. Pues bien, para saber algo de ellas, hagamos lo siguiente:



Tomemos un sistema de ejes coordenados con origen en  $G$  (centro de gravedad de la sección  $S$ ), siendo el eje  $X$  perpendicular a la superficie  $S$  y con sentido positivo saliente de la misma y los ejes  $Y$  y  $Z$  los ejes principales de la sección  $S$ , con sus sentidos positivos de tal forma que formen un triedro directo. La acción de las Fuerzas Exteriores, actuando sobre este trozo del sólido, en el punto  $G$ , vendrán dadas por:  $R_{ext}$  y  $M_{ext}$ .



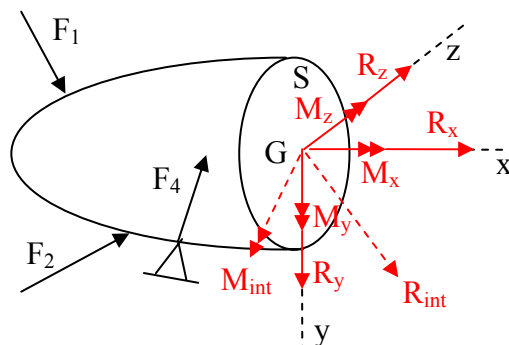
$R_{ext}$  = Resultante de las Fuerzas Exteriores

$M_{ext}$  = Momento resultante de las Fuerzas Exteriores respecto de G

Para que este trozo de sólido seccionado esté en equilibrio, el sistema de Fuerzas Interiores extendido a lo largo de la superficie S, (fuerzas que las partículas del otro lado de la superficie S que hemos apartado, estaban actuando sobre las partículas de la superficie S del lado del sólido que nos hemos quedado), producirán una acción en G dada por:  $R_{int}$  y  $M_{int}$  y se tendrá que cumplir que:



Por último, si proyectamos  $R_{int}$  y  $M_{int}$  sobre los tres ejes de referencia XYZ, nos darán 6 componentes:  $R_x$ ,  $R_y$ ,  $R_z$ ,  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_z$ ,



En efecto, refiriendo la resultante  $R$  sobre los 3 ejes de referencia cuyos vectores unitarios son  $i, j, k$  se tiene:

$$R = R_x i + R_y j + R_z k$$

A la componente  $R_x$  se le suele simbolizar por la letra  $N$  y a las  $R_y$  y  $R_z$  por  $V_y$  y  $V_z$

Cada una de esas componentes se les denomina esfuerzo y nos indica una forma de Trabajo o de sollicitación de la sección  $S$ :

**$N$** , llamado **esfuerzo normal**, por serlo a la superficie de la sección considerada, tiende a empujar o separar a ambas partes del prisma dando lugar a esfuerzos de compresión o tracción, respectivamente.

**$V_y$  y  $V_z$**  por estar en el mismo plano de la sección, efectúan la misma clase de esfuerzo y, por tanto, podemos obtener su resultante  $V = V_y j + V_z k$  que es la expresión de un esfuerzo que actúa tangencialmente a la superficie de la sección como si se tratase de deslizar la sección respecto de una muy próxima separándola o cortándola. Es por ello que esta componente de la resultante se denomina **esfuerzo tangencial o cortante**. Si el prisma se rompiese por la sección recta, el vector  $V$  nos indicaría la dirección en que saldrían despedidos los dos trozos del prisma.

**$M_T$**  actúa perpendicularmente al plano de la sección en la dirección de la línea media; portanto, tiende a hacer girar el sólido sobre sí mismo, creando un efecto de torsión. Se llama por ello a  **$M_T$  momento torsor**.

Análogamente, podemos proceder a descomponer el momento resultante  $M$  en la dirección perpendicular al plano de la sección y en otra componente contenida en dicho plano

$$M = M_T i + M_y j + M_z k$$

Como ya sabemos, el vector momento nos expresa una tendencia al giro. Expresado  $M$  en función de sus componentes  $M_T, M_y$  y  $M_z$ , veamos qué efecto produce cada una de ellas sobre el prisma.

**$M_y$  y  $M_z$**  tienden a obligar al sólido a girar lateralmente curvándolo en los planos  $xz$  y  $xy$ , respectivamente, flexionándolo, por lo que se denominan **momentos flectores**. Su resultante está contenida en el plano de la sección recta; es el **momento flector**

$$M_F = M_y j + M_z k$$

En resumen:

$R_x$  (fuerza normal)  $\rightarrow$   **$N$**  (TRACCIÓN – COMPRESIÓN)

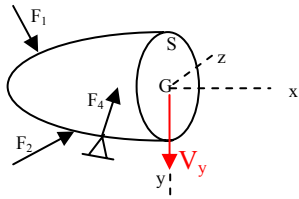
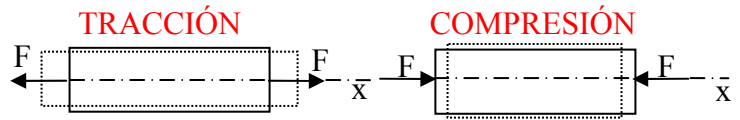
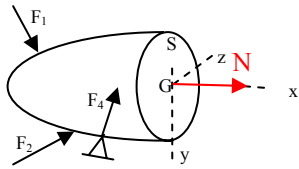
$R_y$  (fuerza cortante)  $\rightarrow$   **$V_y$**  (CORTADURA en eje  $Y$ )

$R_z$  (fuerza cortante)  $\rightarrow$   **$V_z$**  (CORTADURA en eje  $Z$ )

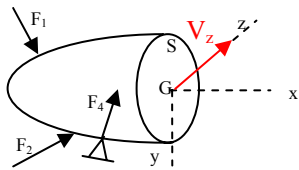
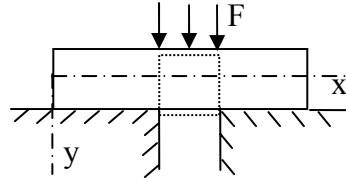
$M_x$  (momento torsor)  $\rightarrow$   **$T$**  (TORSIÓN)

$M_y$  (momento flector)  $\rightarrow$   **$M_y$**  (FLEXIÓN en plano  $XZ$ , alrededor del eje  $Y$ )

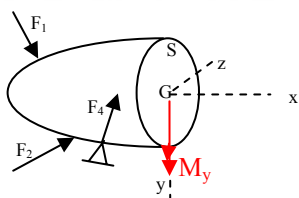
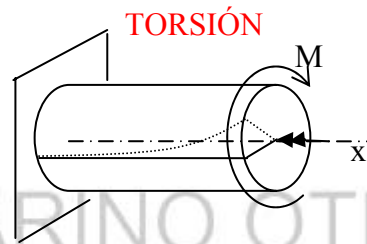
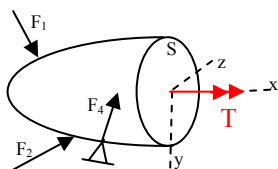
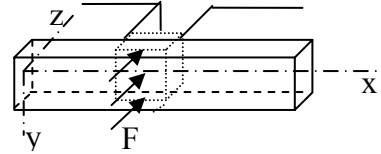
$M_z$  (momento flector)  $\rightarrow$   **$M_z$**  (FLEXIÓN en plano  $XY$ , alrededor del eje  $Z$ )



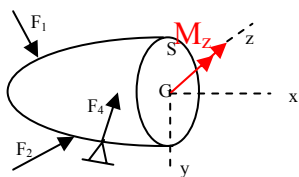
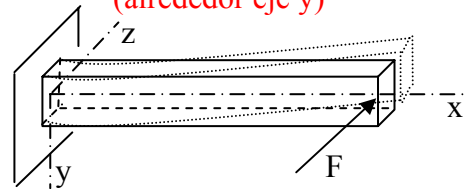
CORTADURA en eje Y



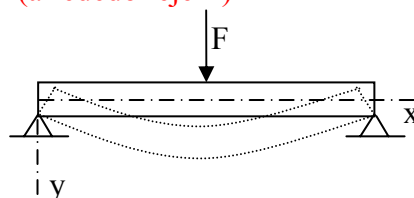
CORTADURA en eje Z



FLEXIÓN n plano XZ  
(alrededor eje y)



FLEXIÓN en el plano XY  
(alrededor eje Z)



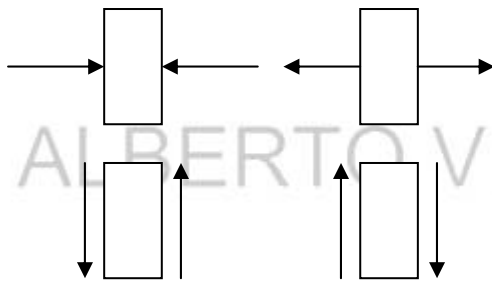
## 8.5 CÁLCULO Y REPRESENTACIÓN DE ESFUERZOS EN PIEZAS SIMPLES

Los esfuerzos anteriormente definidos serán en general, una función de la abscisa  $x$ , que determina la posición de la sección recta, en cada caso se considere. Así para tener una idea de la situación de una pieza bajo determinadas solicitaciones, es útil representar gráficamente el valor de cada uno de los esfuerzos a lo largo de toda la pieza. Esta representación gráfica será la de una función  $F=f(x)$ , donde  $F$  representa genéricamente a cualquiera de los esfuerzos definidos.

Para ello debemos establecer un convenio de signos para esfuerzos axiales, cortantes y momentos flectores. Es evidente que la resultante, así como el momento, de las fuerzas situadas a la derecha de una sección tiene igual módulo, igual dirección y distinto sentido que la resultante, o momento, de las que se encuentran a su izquierda, ya que el equilibrio estático exige que se verifique:

$$\Sigma F=0 \quad \Sigma M=0$$

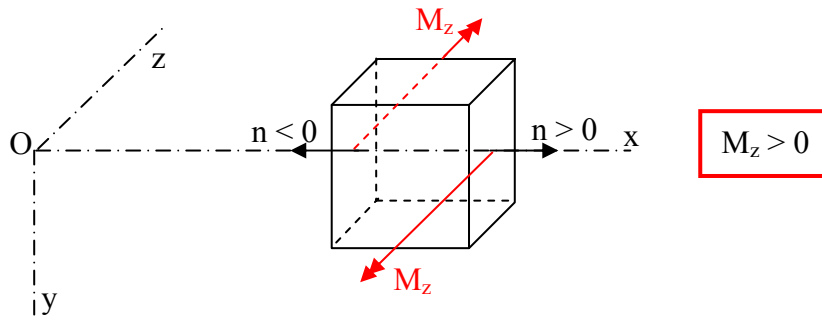
En este caso, será necesario adoptar un convenio para los signos de ambas magnitudes, con objeto de evitar ambigüedades.



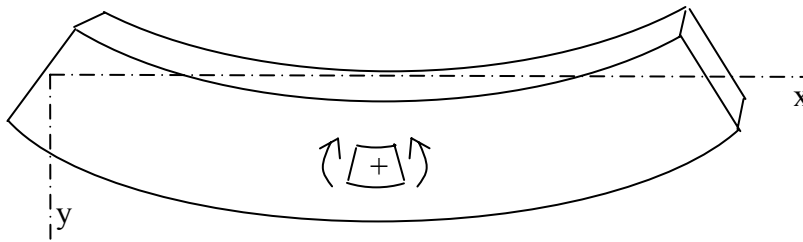
Los axiles son positivos cuando son tracciones y negativos cuando son compresiones.

Para el esfuerzo cortante, si la resultante de las fuerzas verticales situadas a la izquierda de la sección está dirigida hacia abajo, diremos que el esfuerzo cortante es positivo, siendo negativo en caso contrario.

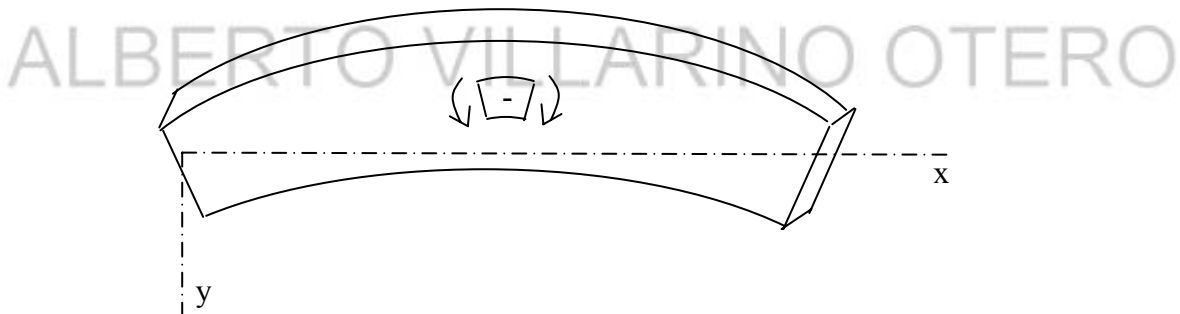
En una sección con normal exterior positiva ( $n > 0$ ), el momento flector  $M_z$  será positivo, cuando lleve el sentido contrario al del semieje  $OZ$  positivo. Será negativo en caso contrario. En el caso de una sección con normal exterior negativa ( $n < 0$ ) será al revés



$M_z > 0$  : la viga flexa (se dobla) hacia la parte positiva del eje y



$M_z < 0$  : la viga flexa (se dobla) hacia la parte negativa del eje y



Las Fuerzas Cortantes y los Momentos Flectores no son independientes sino que están relacionados entre sí ya que La Fuerza Cortante es la derivada del Momento Flector

Para llevar a cabo el cálculo y representación de esfuerzos se establecen los siguientes pasos:

1. Se toma un origen de referencia ( puede ser a la izquierda o a la derecha)
2. Calculamos las reacciones que imponen las coacciones de la pieza, para ello se impondrán la condición de equilibrio

$$\Sigma F = 0 \quad \Sigma M = 0$$

De estas ecuaciones se obtienen el valor de las reacciones que nos provocan las ligaduras

3. Se establece tantos tramos como estados de carga esté sometida la pieza.



4. En cada tramo para una distancia "x" se realizará un corte imaginario y se impondrá las condiciones de equilibrio obteniendo un  $N(x)$   $V(x)$  y  $M(x)$  en el caso de que existan los 3 tipos de esfuerzos, es decir un esfuerzo axial, cortante y momento flector que son los necesarios para equilibrar el provocado por las fuerzas exteriores, el signo se establece con el convenio indicado anteriormente

5. Esa función  $N(x)$   $V(x)$  y  $M(x)$  se representa gráficamente obteniendo los diagramas de esfuerzos

## 8.6 CLASIFICACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS

Únicamente clasificaremos las estructuras atendiendo a la movilidad de sus elementos y al criterio general de estabilidad

### SEGÚN LA MOVILIDAD DE SUS ELEMENTOS

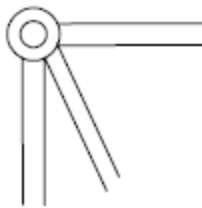
#### Estructuras rígidas o reticuladas

Formadas por piezas interconectadas en diversos puntos mediante soldadura, remaches o tornillos u otros procedimientos que no permiten el movimiento relativo entre las piezas al aplicar las cargas, por lo que no permiten el giro no pudiendo variar el ángulo que forman los elementos en la unión. Por lo que estas en estas estructuras sus nudos rígidos permiten la transmisión de momentos.

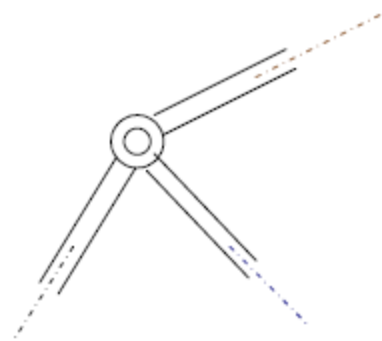


#### Estructuras articuladas

Formadas por elementos o barras unidos mediante rótulas (articulaciones) con lo que se permite el movimiento relativo entre la barras con lo que se permite el giro de una barra respecto a otra, en este caso la articulación no permite la transmisión de momentos. Si las cargas están aplicada directamente sobre los nudos, las barras trabajan a esfuerzo axial, es decir a tracción o compresión. Si las cargas actúan además sobre las barras, sus extremos están solicitados por axiles y cortantes



Posición inicial



Posición final

ALBERTO VILLARINO OTERO

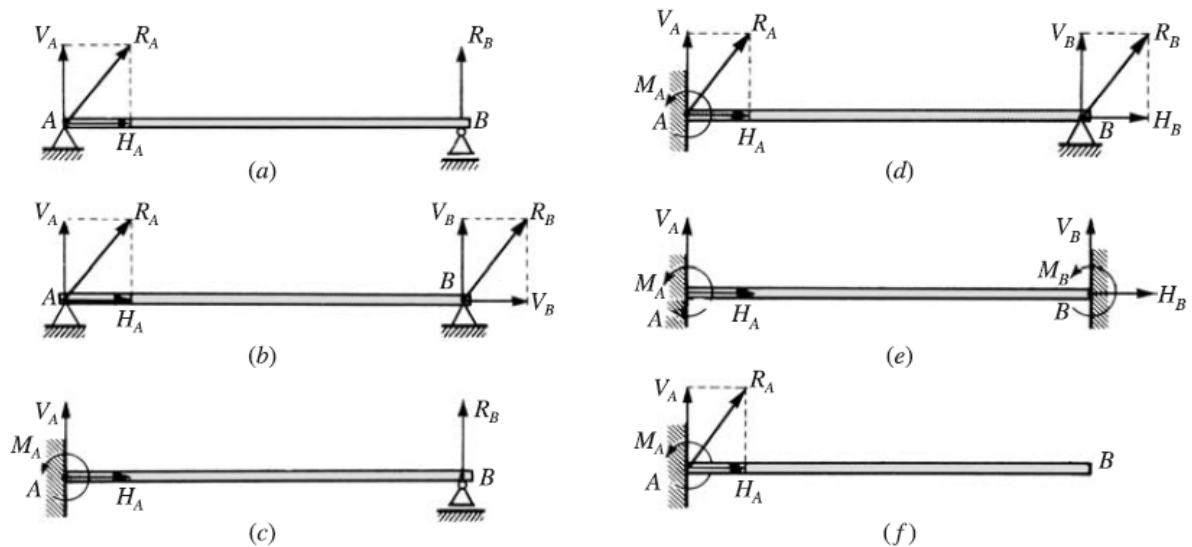
### SEGÚN EL CRITERIO GENERAL DE ESTABILIDAD

En una estructuras es necesario conocer completamente la sollicitación exterior, es decir, no sólo las fuerzas directamente aplicadas que, generalmente, serán conocidas, sino las reacciones de las ligaduras que son desconocidas.

Las ecuaciones que disponemos para determinar las correspondientes incógnitas son las, que expresan las condiciones de equilibrio de la pieza. Estas ecuaciones, que son seis en el caso general, permiten calcular otras tantas incógnitas. Por tanto, para poder determinar las reacciones de las ligaduras exteriores dentro del marco de la Estática, será necesario que el número de incógnitas de éstas no supere a seis para un sistema arbitrario de fuerzas directamente aplicadas.

En casos particulares de carga, como ocurre en las vigas con plano medio de simetría y las cargas contenidas en dicho plano, el número de ecuaciones disponibles disminuye a tres  $R_x = 0$  ;  $R_y = 0$  ;  $M_{Oz} = 0$  y, por tanto, también se reduce a tres el número de incógnitas posibles de las ligaduras para que el problema esté determinado aplicando las ecuaciones de equilibrio. Los sistemas tales que la sola aplicación de las ecuaciones de la Estática permiten determinar las reacciones de las ligaduras reciben el nombre de **sistemas isostáticos**.

Por el contrario, si existen ligaduras exteriores superabundantes, el número de incógnitas supera al de ecuaciones de equilibrio. Se dice entonces que se trata de un **sistema hiperestático**. Para la determinación de las reacciones será necesario hacer intervenir las deformaciones. En este último caso se llama **grado de hiperestaticidad** al exceso de incógnitas respecto al número de ecuaciones de equilibrio. Por ejemplo, en vigas rectas con plano medio de simetría, cargada en dicho plano, disponemos de las tres ecuaciones. Se pueden presentar los siguientes casos según sean los apoyos



a) Viga con un extremo articulado fijo (dos incógnitas) y el otro articulado móvil (una incógnita). Sistema, por tanto, isostático.

b) Viga con apoyos articulados fijos en ambos extremos (cuatro incógnitas). Sistema hiperestático de primer grado.

c) Viga empotrada en un extremo (tres incógnitas) y sustentada en el otro mediante apoyo articulado móvil (una incógnita). Sistema hiperestático de primer grado.

d) Viga empotrada en un extremo (tres incógnitas) y con apoyo articulado fijo en el otro (dos incógnitas). Sistema hiperestático de segundo grado.

e) Viga biempotrada (seis incógnitas). Sistema hiperestático de tercer grado.

f) Viga empotrada en un extremo (tres incógnitas) y libre en el otro. Se le suele denominar viga en voladizo. Sistema isostático.

## 8.7 ESTRUCTURAS TÍPICAS

A continuación se destacan algunos de las estructuras más usuales:

### VIGAS

Son elementos del tipo definido como barra, cuya función es soportar cargas en un vano. Dada la sencillez de sus componentes (uno solo) las diferencias de las vigas proviene de sus apoyos. Así distinguiremos:

Vigas simples: son las apoyadas únicamente en sus extremos teniendo viga biapoyada, viga biempotrada, viga apoyada y empotrada y viga en voladizo

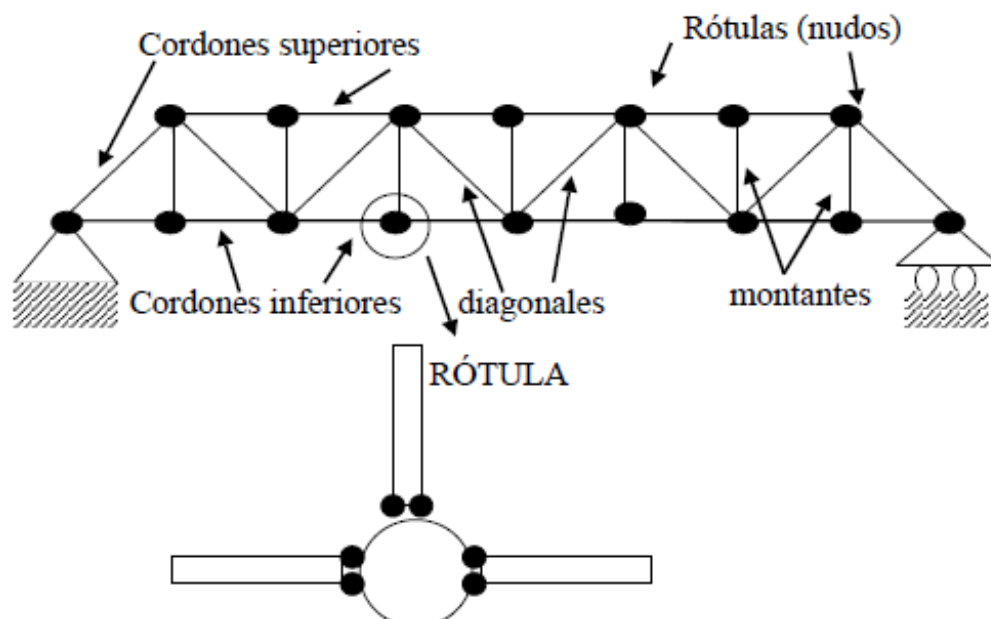
Vigas continuas: formada por "n" vanos iguales o desiguales

### CELOSÍAS

Es una de las formas estructurales más importantes, en general se puede definir como un conjunto de barras unidas por sus extremos formando nudos en los mismos, constituyendo normalmente estructuras trianguladas y articuladas. Se utilizan principalmente en construcciones con luces grandes, como almacenes y en general edificaciones con grandes espacios en su interior. Las celosías se pueden clasificar a su vez en vigas y cerchas

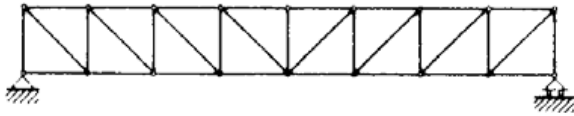
#### VIGAS EN CELOSÍA

Cuando necesitamos salvar luces importantes (a partir de 10 - 15 m por ejemplo), o necesitamos tener vigas de cantos importantes, puede resultar más económico utilizar estructuras articuladas en celosía que vigas de alma llena. Utilizadas en la construcción de puentes. Los elementos de una viga en celosía son los siguientes:

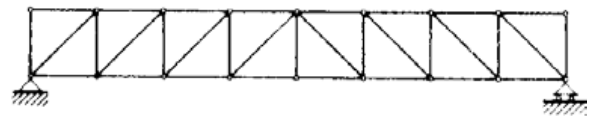


Existiendo diferentes tipos como:

a) *Viga Pratt*



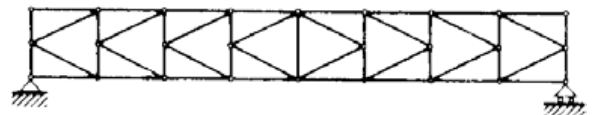
b) *Viga Howe*



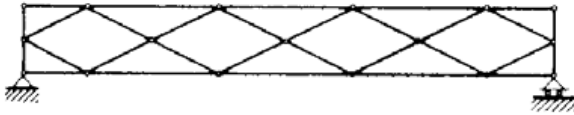
c) *Viga Warren*



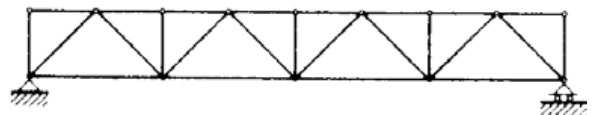
d) *Viga en K*



e) *Viga en rombo*



f) *Viga Warren con montantes intercalados*



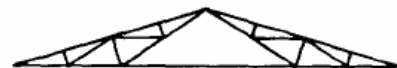
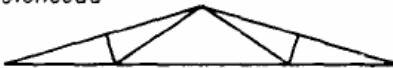
### CERCHAS

Se utilizan para cubiertas con faldones inclinados los cordones superiores siguen la inclinación de los faldones. Existen diversos tipos como:

a) *Tijera*



b) *Polonceau*



c) *Inglesa*



d) *Warren*



e) *Pratt*



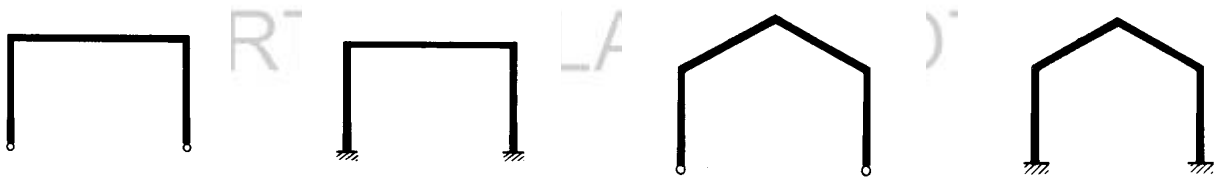
f)





## PÓRTICOS

Son estructuras formadas por un entramado plano de barras no colineales cuyos nudos son rígidos. Se utilizan en edificación y en estructuras industriales. A continuación se representan algunos ejemplos de pórticos sencillos:



## 8.8 MÉTODOS DE ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS ARTICULADAS ISOTÁTICAS

Para llevar acabo el análisis de una estructura existen multitud de métodos usando unos u otros dependiendo del tipo de estructura a analizar. Existe el método de las fuerzas, el de los desplazamientos o deformaciones, Hardy-Cross, método matricial, nudos, Ritter, etc. A continuación debido a la complejidad y extensión de alguno de los métodos explicaremos únicamente dos métodos para el análisis de estructuras articuladas isostáticas.

### METODO DE LOS NODOS O NUDOS

Una estructura articulada puede considerarse como un conjunto de barras y pasadores o nudos. Cuando es isostática, su análisis puede realizarse por los métodos que se exponen a continuación. Para ello hay que establecer el diagrama de sólido libre tanto para la estructura completa, como para cada barra y para cada nudo. La figura muestra el diagrama de sólido libre para una estructura completa, donde aparecen las cargas exteriores y las fuerzas de reacción en los apoyos. Las fuerzas sobre las barras son dos, una en cada extremo, y dirigidas en la dirección de dicha barra con sentidos opuestos. Por la ley de acción y reacción, las fuerzas ejercidas sobre los nudos (barras sobre nudos) serán iguales, pero de sentido contrario, a las fuerzas ejercidas sobre las barras (nudos sobre barras). El esfuerzo que aparece en cada barra se denomina esfuerzo axial, pudiendo ser de tracción cuando tiende a alargarla o de compresión cuando tiende a acortarla.

Cuando una estructura está en equilibrio, también lo estarán sus barras y sus nudos, por lo que podremos expresar las condiciones de equilibrio para toda la estructura completa, para cada barra y para cada nudo. De esta manera se muestran los diagramas de sólido libre correspondientes a las barras y a los nudos respectivamente.

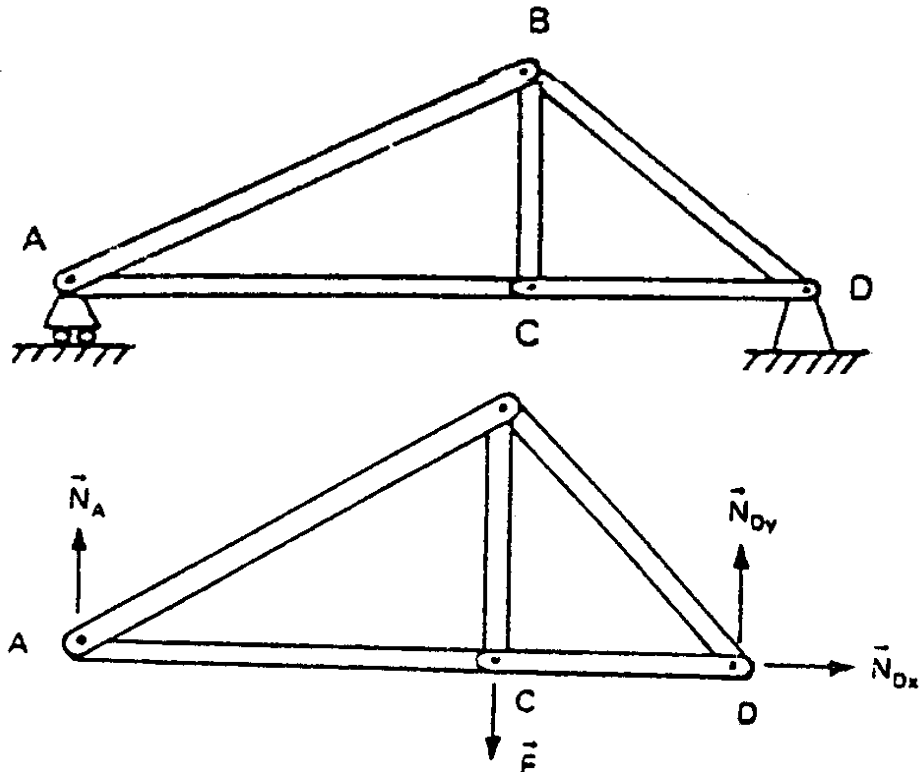
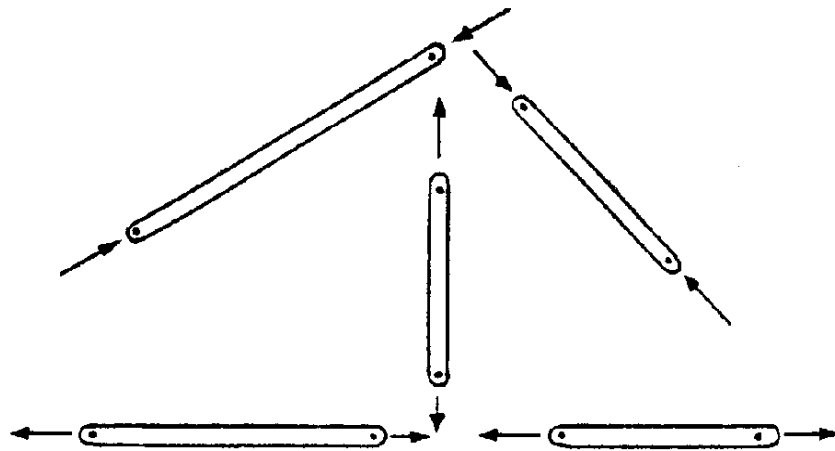


Diagrama de sólido libre para una estructura completa

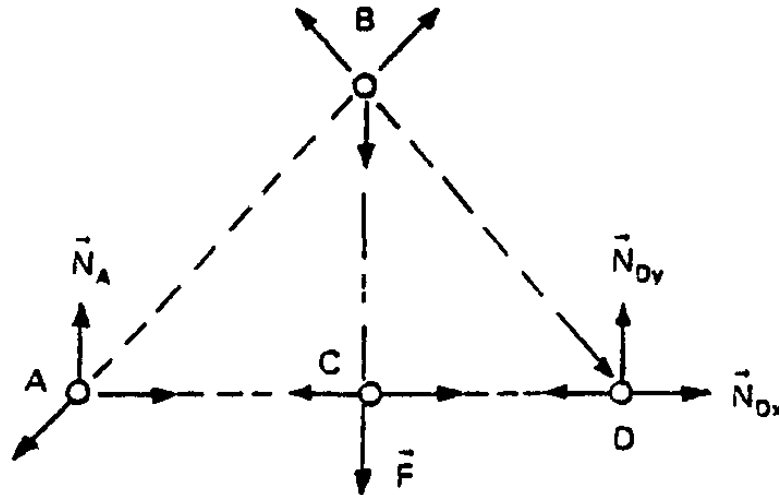
AL

ERO



Diagramas de sólido libre barras

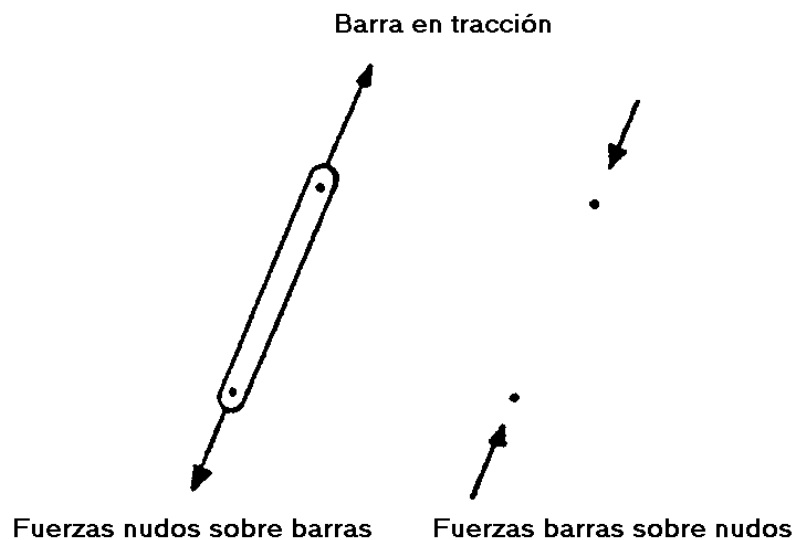




Diagramas de sólido libre nudos

El método de los nudos, es un método numérico que consiste básicamente en plantear las ecuaciones de equilibrio estático en cada nudo de la estructura. Para su desarrollo hay que realizar los siguientes pasos:

1. Calcular las fuerzas de reacción en los apoyos mediante las ecuaciones de equilibrio de toda la estructura considerada como sólido libre.
2. Plantear la ecuación de equilibrio para cada nudo y calcular la fuerza que ejerce cada barra sobre el nudo. La fuerza del nudo sobre la barra será igual y de sentido contrario, determinando así el valor de las dos fuerzas que actúan sobre la barra en sus extremos y si son de tracción o de compresión. Primeramente se supone que todas las barras trabajan a tracción (o compresión) y si el resultado obtenido es negativo significa que en realidad trabajan al revés, compresión (o tracción).



Dado que en cada nudo solo hay dos ecuaciones de equilibrio, es necesario empezar por un nudo que solo tenga dos barras y continuar el proceso siempre con nudos que, aunque tenga más de dos barras, solo en dos de ellas sean desconocidas las fuerzas.

Para explicar prácticamente tanto este método de análisis, se va a utilizar la estructura siguiente con la carga y dimensiones representadas, que presenta la ventaja de su sencillez y la particularidad de que tal y como está aplicada la carga, la barra "BC" no trabaja, es decir no está sometida a ninguna fuerza. Las barras no sufren ningún esfuerzo:

– Cuando sólo dos barras de diferentes direcciones coincidan en un nudo, y éste no está exteriormente cargado, ninguna de las dos barras sufre esfuerzo axial.

– Si tres barras coinciden en un nudo, y éste no está cargado, y dos de las barras tienen la misma dirección, la barra no colineal con las dos anteriores no sufre esfuerzo axial.

### 1. Cálculo de las reacciones

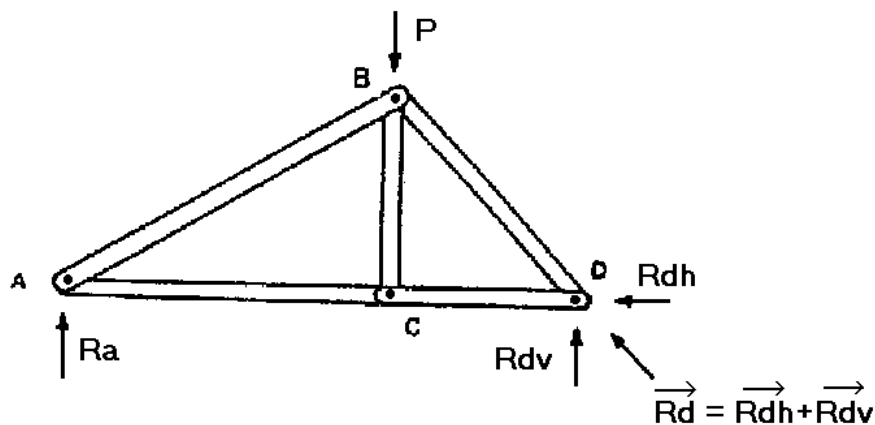
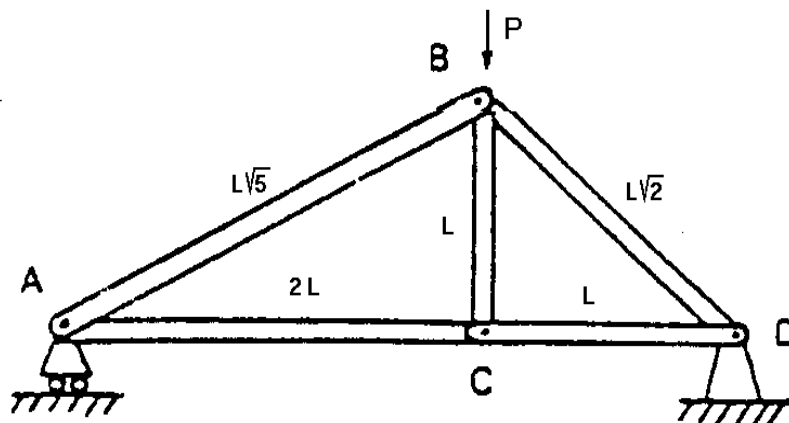
Planteamos las tres ecuaciones de equilibrio para toda la estructura considerada como sólido libre.

$$\sum F_h = 0 \quad R_{dh} = 0 \quad \rightarrow \quad R_d = R_{dv}$$

$$\sum F_v = 0 \quad R_a + R_d - P = 0 \quad \rightarrow \quad R_a + R_d = P$$

$$\sum M_d = 0 \quad R_a \cdot 3L - P \cdot L = 0 \quad \rightarrow \quad R_a = P/3$$

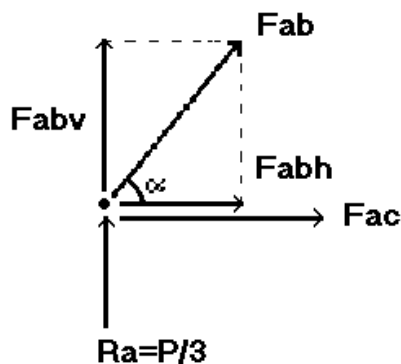
$$R_d = P - P/3 \quad \rightarrow \quad R_d = 2P/3$$



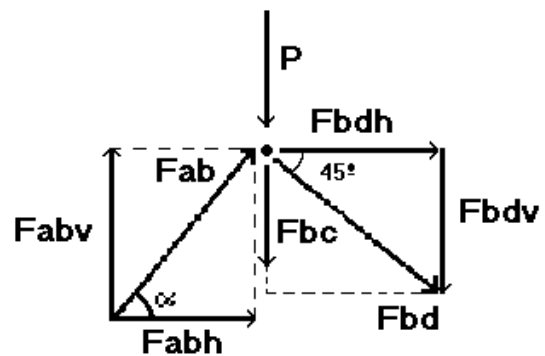
## 2. Cálculo del nudo A

Dado que en cada nudo solo hay dos ecuaciones de equilibrio, es necesario empezar por un nudo que solo tenga dos barras y continuar el proceso siempre con nudos que, aunque tengan más de dos barras, solo en dos de ellas sean desconocidas las fuerzas. Hemos supuesto que todas las barras trabajan a tracción, es decir que las fuerzas de las barras sobre los nudos salen de ellos.

### Nudo A



### Nudo B



## 3. Cálculo de los restantes nudos

A continuación se puede proceder al cálculo del nudo B, ya que conocida  $F_{ab}$ , solo tiene dos fuerzas desconocidas  $F_{bc}$  (Barra BC) y  $F_{bd}$  (Barra BD). Al plantear las dos ecuaciones de equilibrio podemos considerar ya  $F_{ab}$ , calculada anteriormente, con su sentido verdadero que es de compresión, al contrario de cómo se supuso inicialmente.

$$F_{bh} = F_{ab} \cdot \cos \alpha = P \sqrt{5} / 3 \cdot 2 / \sqrt{5} = 2P/3$$

$$F_{bv} = F_{ab} \cdot \sin \alpha = P \sqrt{5} / 3 \cdot 1 / \sqrt{5} = P/3$$

$$\sum F_h = 0 \quad F_{bh} + F_{bdh} = 0 \rightarrow 2P/3 + F_{bdh} = 0 \rightarrow F_{bdh} = -2P/3$$

$$F_{bdh} = F_{bd} \cdot \sin 45^\circ = F_{bd} / 2 \rightarrow \mathbf{F_{bd} = 2F_{bdh} = -4P/3} \text{ (- Compresión)}$$

$$\sum F_v = 0 \quad -P - F_{bc} - F_{bdv} + F_{bv} = 0 \rightarrow F_{bc} = -P - F_{bdv} + F_{bv}$$

$$F_{bdv} = F_{bd} \cdot \sin 45^\circ = -4P/3 \cdot 1/2 = -2P/3$$

$$\mathbf{F_{bc} = -P - (-2P/3) + P/3 = -P + 2P/3 + P/3 = 0} \text{ (No trabaja)}$$

Solo queda por determinar  $F_{cd}$  ya sea usando el nudo C o el D. Directamente observando el nudo C y dado que  $F_{bc} = 0$  la única forma de que esté en equilibrio es que  $F_{ac} = F_{cd}$ , luego:

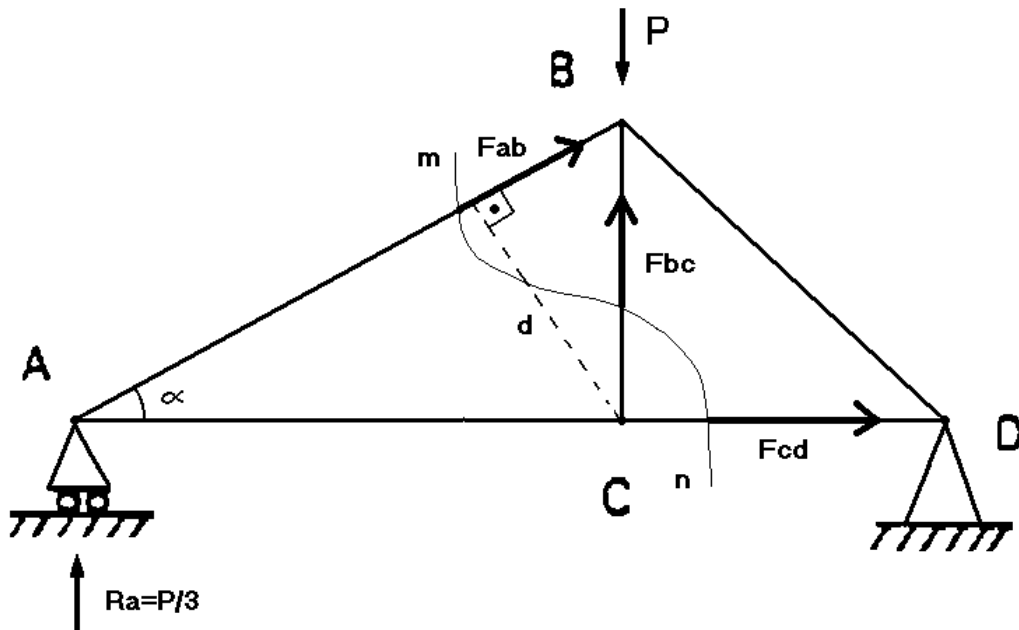
$$F_{cd} = F_{ac} = \frac{2P}{3} \text{ (+ Tracción)}$$

### METODO DE LAS SECCIONES O RITTER

El método de Ritter consiste en cortar la estructura por una sección que intersecte solo tres barras, segregar una de las dos partes en la que ha quedado dividida la estructura y aplicar a la otra las tres ecuaciones de equilibrio en la forma de tres ecuaciones de momentos. Es el método más efectivo cuando se desean conocer los esfuerzos en una o en pocas barras, sin analizar la totalidad de la estructura.

La estructura de la figura siguiente queda dividida en dos partes por la línea "mn" que corta tres barras, las AB, BC y CD. El trozo izquierdo estará en equilibrio bajo la acción de las fuerzas exteriores (fuerzas externas y reacciones) que actúan sobre él y de las acciones que la parte derecha segregada ejerce sobre la izquierda que es la que se analiza. De las acciones que la parte derecha ejerce a través de las barras, se conoce su dirección, faltando por determinar su intensidad y sentido, para lo que se dispone de tres ecuaciones de equilibrio en forma de tres ecuaciones de momentos respecto a tres puntos. Estos puntos se eligen de forma que resulten ser las tres intersecciones (A, B, C) de las barras cortadas (AB, BC y CD) tomadas dos a dos.

Se toma el criterio de que las fuerzas en las barras cortadas son positivas, es decir trabajan a tracción, cuando se alejan de secciones cortadas por la línea "mn", y así se suponen. La ecuación de momentos correspondiente determinará tanto la intensidad como el sentido de la fuerza de la barra, que será realmente de tracción cuando resulte + y de compresión cuando resulte -. A continuación, y según el siguiente dibujo, se resuelve la estructura planteada utilizando este método:



Tomando momentos respecto a los puntos A, B y C tenemos:

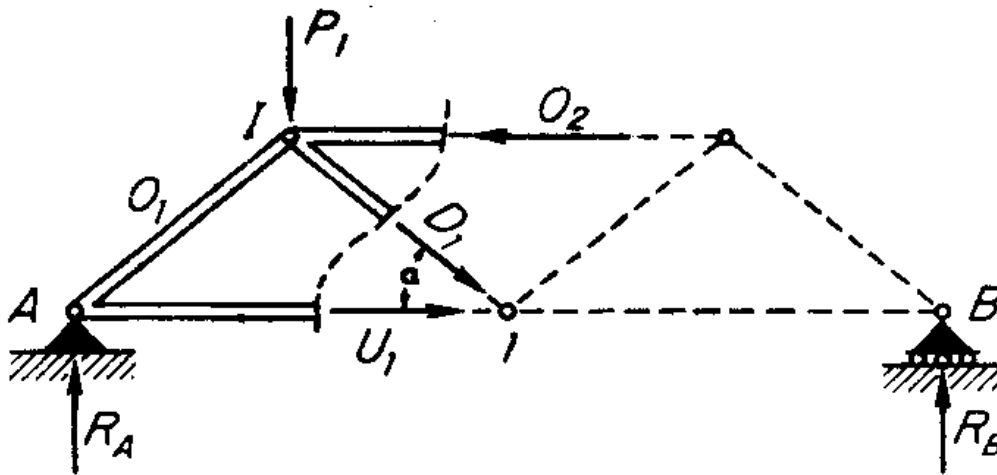
$$\sum M_a = 0 \quad -F_{bc} \cdot 2L = 0 \quad F_{bc} = 0$$

$$\sum M_b = 0 \quad R_a \cdot 2L - F_{cd} \cdot L = 0 \quad F_{cd} = 2R_a = 2P/3 \quad (+) \rightarrow \text{Tracción}$$

$$\sum M_c = 0 \quad R_a \cdot 2L + F_{ab} \cdot d = 0 \quad \text{siendo } d = 2L \cdot \text{sen} \alpha = 2L \cdot 1/\sqrt{5} \quad (P/3) \cdot 2L + F_{ab} \cdot 2L \cdot 1/\sqrt{5} = 0$$

$$F_{ab} = P \sqrt{5} / 3 \quad (-) \rightarrow \text{Compresión}$$

No siempre como en el caso anterior los puntos de intersección de las barras en los cuales se aplican las tres ecuaciones de momentos son nudos de la estructura; pudiendo resultar puntos alejados o incluso en el infinito como en el caso de dos barras paralelas. Entonces puede reemplazarse la tercera ecuación de momentos por una de proyección de fuerzas sobre la vertical. Así en la estructura representada a continuación, una vez determinadas las fuerzas en las barras "O2" y "U1" por ecuación de momentos alrededor de los puntos "1" e "I", como el punto de intersección de las barras "O2" y "U1" se halla alejado (en el infinito en este caso), se sustituye la tercera ecuación de momentos por otra de proyecciones de fuerzas sobre la vertical, obteniéndose:

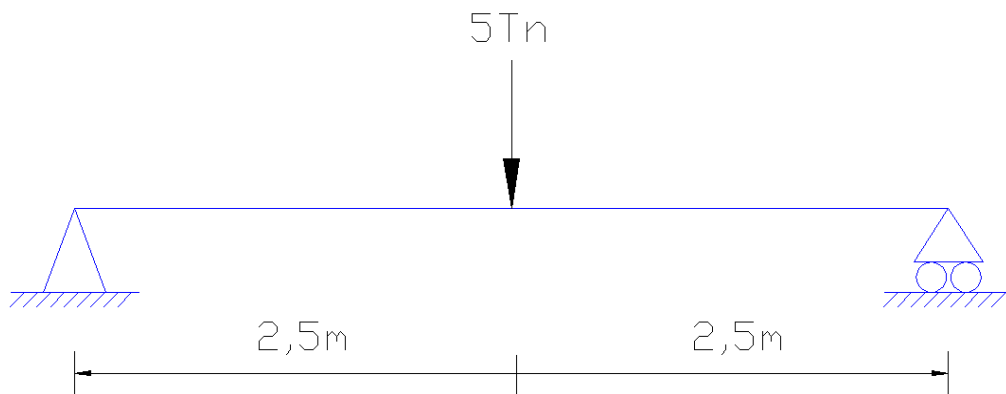


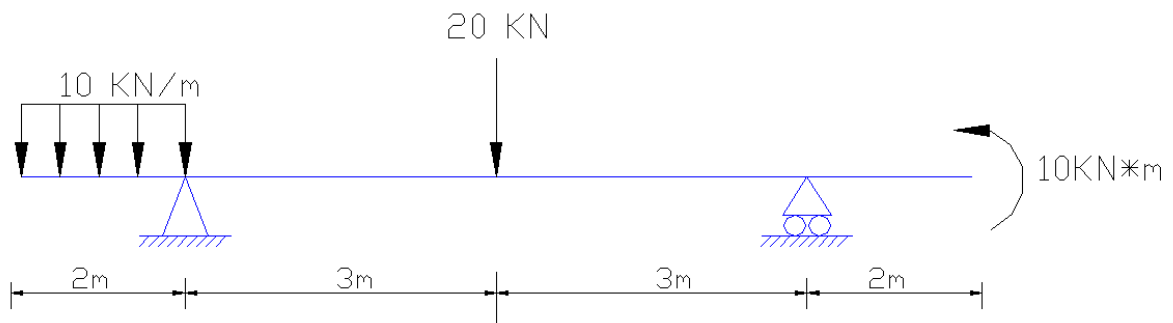
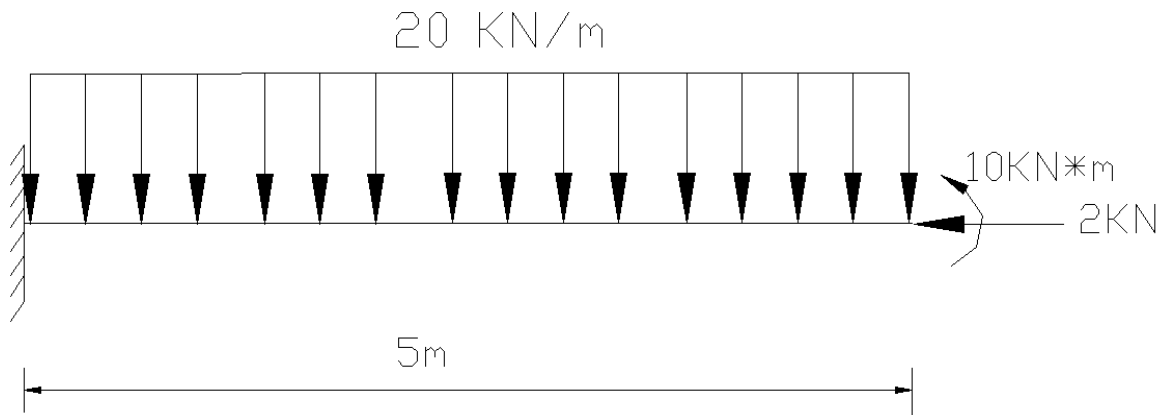
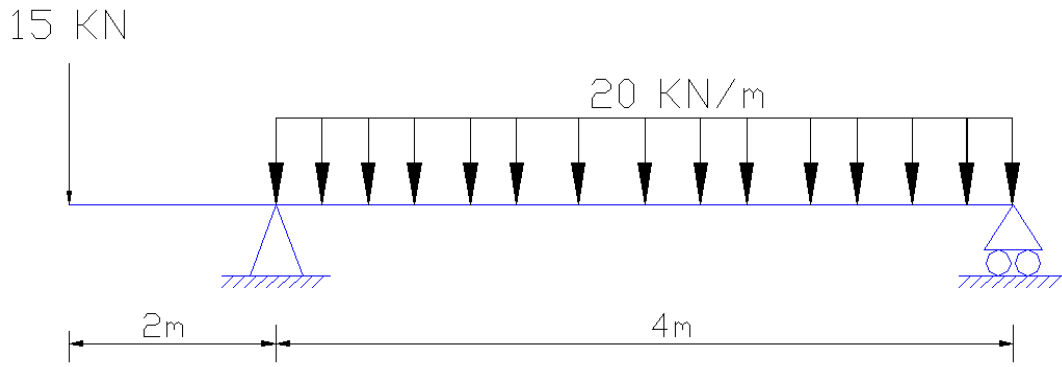
$$R_A - P_1 - D_1 \cdot \sin \alpha = 0; \quad D_1 = (R_A - P_1) / \sin \alpha$$

De todo lo expuesto se desprende que el método de Ritter no se puede utilizar si la sección corta a más de tres barras, ya que sólo se dispone de tres ecuaciones de equilibrio.

## 8.9 PROBLEMAS

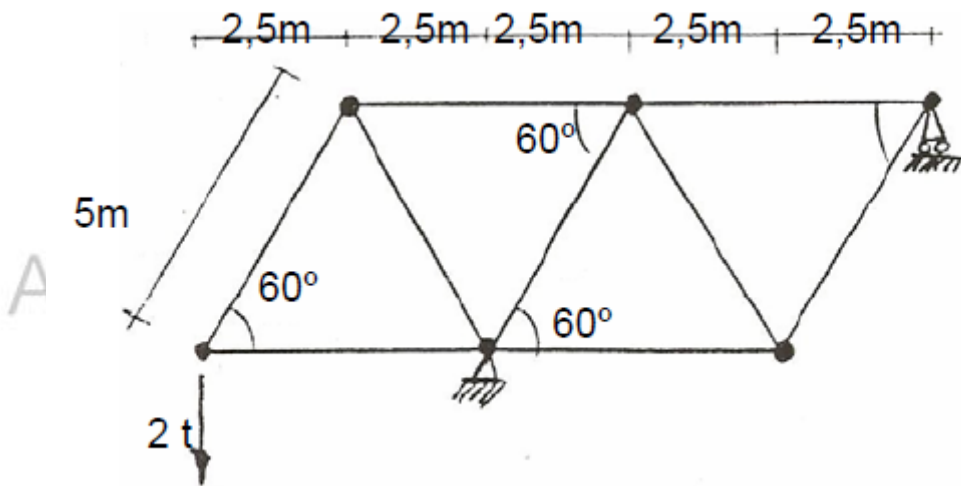
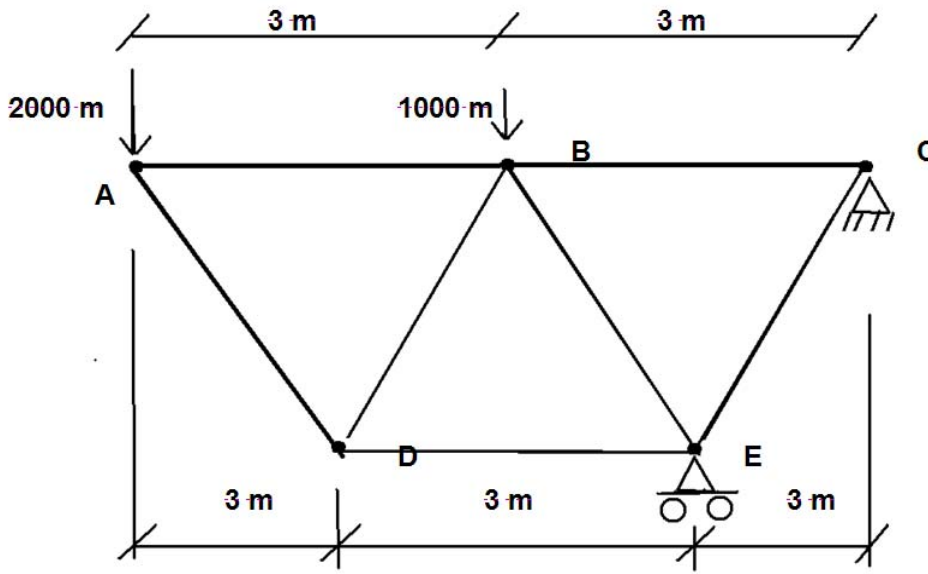
1. Calcular las leyes y diagramas de esfuerzos axiales, cortantes y momentos flectores de las vigas siguientes:



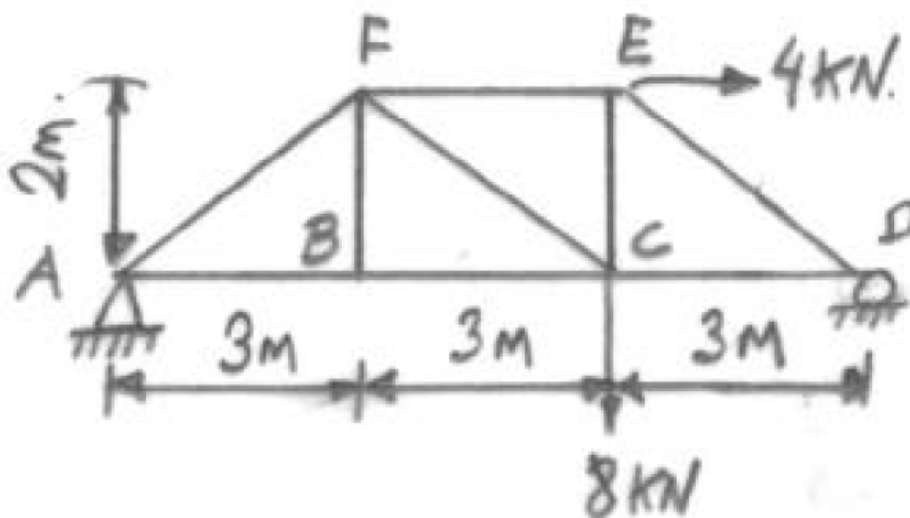








3. Calcular mediante Ritter el esfuerzo en la barra EF CF BC de la estructura articulada plana siguiente:



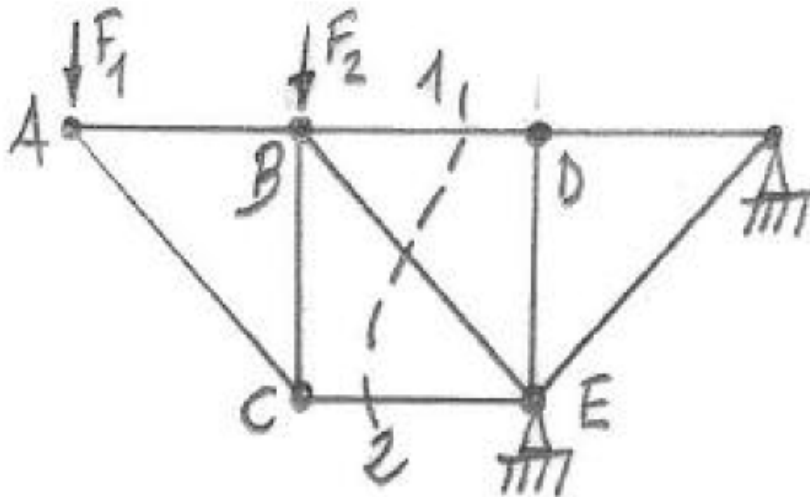
Solución:

$T_{BC}=8\text{KN}$  Tracción

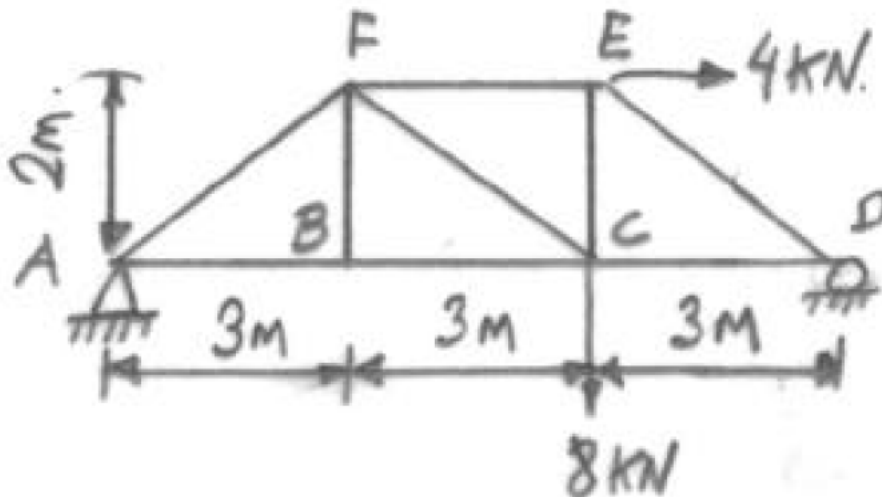
$T_{EF}=8\text{KN}$  Compresión

$T_{CF}=5\text{KN}$  Tracción

3. Calcular mediante Ritter el esfuerzo en la barra BD de la estructura articulada plana siguiente:



4. Calcular mediante Ritter el esfuerzo en la barra EF CF BC de la estructura articulada plana siguiente:



Solución

$T_{BC}=8\text{KN}$  Tracción

$T_{EF}=8\text{KN}$  Compresión

$T_{CF}=5\text{KN}$  Tracción

## **9.PROYECTOS**

### **9.1 INTRODUCCIÓN**

Según el instituto de ingenieros civiles de España un proyecto es: "El conjunto de documentos que definen una obra de tal manera que un facultativo distinto del anterior pueda dirigir con arreglo a los mismos las obras o trabajos correspondientes". Se trata de una definición que reduce el proyecto únicamente a una realidad documental, como veremos más adelante el concepto de proyecto es más amplio.

Los agentes que intervienen en el proyecto

1. El Promotor: es la persona física o jurídica, pública o privada que decide realizar el proyecto.

2. El Proyectista: es el técnico o los técnicos que elaboran toda la documentación del proyecto teniendo en cuenta la reglamentación y normativa aplicable en cada caso

3. Las empresas de ingeniería: agrupan a un equipo de técnicos en ocasiones multidisciplinar que permite abordar proyectos complejos o de considerable envergadura

4. La empresa Consultora: cuando se hace necesaria en la fase de estudios previos la elaboración de estudios especializados o complejos fundamentales para la viabilidad del proyecto (de mercado, económicos, impacto ambiental) se habrá de contar con la colaboración de Empresas Consultoras que aporten los especialistas y conocimientos necesarios para elaborarlos.

5. El constructor: es la persona física o jurídica que adquiere la responsabilidad de ejecutar efectivamente la obra ajustándose al proyecto. Puede llevar a cabo la subcontratación de parte de la ejecución de la obra o instalaciones a empresas subcontratadas.

6. El director de obra: es el técnico que dirige el desarrollo de la obra en sus aspectos técnicos, estéticos, urbanísticos y medioambientales y de acuerdo al proyecto, licencias y autorizaciones preceptivas. Puede ser otra persona distinta al proyectista. Elabora, en su caso, certificaciones parciales de obra y el certificado final de obra.

Además de los enumerados anteriormente hay otros agentes involucrados en el proyecto como: El coordinador de seguridad y salud, los colegios profesionales, los usuarios del proyecto, los suministradores de productos y equipos, las empresas de instalación, los laboratorios de ensayos de control de calidad, etc.

## 9.2 TIPOS DE PROYECTOS

- Estudios de planeamiento
- Estudios previos
- Anteproyectos
- Proyectos de construcción

### ESTUDIOS DE PLANEAMIENTO

Comprenden todos aquellos estudios que engloban las obras de un determinado tipo que se van a realizar en un territorio. Por ejemplo, el Plan Director de Carreteras.

#### Propiedades

1. Abarcan grandes regiones
2. Establecen prioridades
3. Extensa duración (décadas, etc.)
4. Manejan distintas variables y de muy diferente carácter (Poblacionales, económicas, físicas...)
5. Tiene una valoración económica global y cada obra su valoración particular.
6. No sitúan las obras en lugares concretos, sino en zonas

### ESTUDIOS PREVIOS DE SOLUCIONES

Analizan todas las posibles soluciones de una obra concreta para obtener cual es la idónea. Ejemplo: El trazado de una autovía, la ubicación de un puente, etc.

#### Propiedades

1. Se ubican en una zona concreta
2. Valora distintas variables (económicas, temporales, estructurales, ambientales)
3. Se ejecutan a grandes escalas (1/ 50.000 o similar)

#### Composición

- Memoria
- Planos
- Presupuesto estimativo y comparativo

### ANTEPROYECTOS

Define la solución técnica más apropiada para un tipo de obra, analizando no solo la ubicación exacta, sino un presupuesto estimado y un tiempo de ejecución. El anteproyecto no analiza los elementos al detalle pero si debe resolver la problemática que plantea cada uno de ellos, ahorrando así mucho tiempo

a la hora de redactar el proyecto. Ejemplo: Análisis de diferentes tipos de firmes en una carretera, tipología de diques a utilizar en una obra de protección costera, tipología de un puente.

### **Propiedades**

1. Se ubican en un lugar claro y concreto
2. Incluye cálculos detallados de los diferentes elementos.
3. Se define con exactitud la funcionalidad de los diferentes elementos que conforman la obra.
4. Debe incluir las mediciones detalladas y la valoración económica de las mismas.
5. Utiliza escalas pequeñas (1/2000 y 1/5000)
6. Analiza exhaustivamente y valora las expropiaciones necesarias

### **Composición**

- Memoria
- Anejos principales
- Planos
- Pliego de condiciones resumido
- Presupuesto incluyendo: mediciones, cuadro de precios nº1, presupuesto de ejecución material.

## **PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN**

Tiene como finalidad la ejecución de una obra, por lo que debe contener toda la información necesaria para la misma. Es complicado en un proyecto prever todas las necesidades de una obra y normalmente sería inútil ya que durante su ejecución pueden aparecer factores adicionales, pero cuanto mayor sea el grado de aproximación a la obra final, la construcción de la misma será mucha más sencilla. Un proyecto bien ejecutado debe coordinar aspectos como el plazo de ejecución, el presupuesto, el diseño y los posteriores cálculos.

### **Propiedades**

1. Fija con exactitud la ubicación de la obra
2. Los cálculos deben estar completamente detallados
3. Analiza exhaustivamente y valora las expropiaciones necesarias
4. Utiliza escalas pequeñas (1/2000 y 1/5000)
5. Analiza en profundidad los criterios de adopción de las soluciones constructivas empleadas
6. Calcula con exactitud los precios de materiales, salarios, etc.
7. Redacta un pliego de condiciones, en el que debe estar expuestas con claridad las características de los materiales las condiciones de ejecución de las obras

### **Composición**

1. Memoria (memoria descriptiva y anejos)
2. Planos
3. Pliego de condiciones técnicas

4. Presupuesto (mediciones, cuadro de precios nº1, cuadro de precios nº2, presupuesto de ejecución material, presupuesto de ejecución por contrata)

### 9.3 DOCUMENTOS DE UN PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN

Los proyectos de obra deberán comprender al menos:

Una **memoria** que en las condiciones que reglamentariamente se determinen, tendrá carácter contractual y recogerá las necesidades a satisfacer y los factores de todo orden a tener en cuenta. Los **planos** de conjunto y de detalle para que la obra quede perfectamente definida. El **Pliego de Prescripciones** Técnicas Particulares donde se hará descripción de las obras y se regulará su ejecución. Un **presupuesto** integrado o no, por varios parciales, con expresión de los precios unitarios y de los descompuestos, estado de mediciones y los detalles previstos para su valoración. Un **programa** de desarrollo de los trabajos, en tiempo y coste óptimos de carácter indicativo. Cuanta documentación venga prevista en normas de carácter legal o reglamentario.

#### MEMORIA

La finalidad de la memoria es exponer de manera clara y concisa las características del proyecto a cualquier persona, tanto técnica en la materia o no, de forma que constituya un resumen de todo el proyecto, asequible en un tiempo razonable, en un formato razonable y con una redacción clara. Debe tenerse en cuenta que habitualmente será utilizada como documento informativo inicial. Debe tener como propiedades: claridad, concisión, fácil lectura, completitud, estructuración, veracidad. Los documentos que la integran son la memoria descriptiva y los anejos a la memoria.

#### MEMORIA DESCRIPTIVA

Debe Contener una breve explicación de la necesidad de realización del proyecto y pasar revisión a los estudios y análisis realizados anteriormente y que contengan alguna relación o información relacionada con el alcance del proyecto.

Así mismo debe contener una breve explicación de cada uno de los anejos, sin expresar ningún tipo de cálculo, pero expresando con claridad y concisión las principales características de los materiales empleados y la metodología empleada. Debe ser de rápida y fácil lectura y debe permitir al lector tener una idea global de todo el proyecto. A continuación se expone un ejemplo de los apartados que tendría una memoria descriptiva de un proyecto de un puerto deportivo:

1. Objeto del proyecto
2. Análisis del emplazamiento (situación geográfica, climatología, vientos, oleaje, flora y fauna, condiciones geológicas)
3. Antecedentes históricos
4. Justificación del proyecto

5. Descripción de las obras (dragado, diques, rampa de varada de embarcaciones, aparcamientos, parque, vial de acceso desde la carretera al puerto, redes de abastecimiento de saneamiento, de alumbrado, etc)
6. Plazo de ejecución de obras
7. Plazo de ejecución de obras
8. Clasificación de los contratistas
9. Presupuesto (solo indicar a cuanto asciende el coste de la obra)

### ANEJOS A LA MEMORIA

Contienen un diverso conjunto de estudios. Algunos de ellos se referirán:

#### **Anejo de datos de partida**

Previamente a la realización de los cálculos necesarios para el dimensionamiento de la solución adoptada es preciso concebir esa solución, que vendrá condicionada por multitud de aspectos cuyo conocimiento solo será posible mediante una previa y exhaustiva recogida de información y la realización de estudios oportunos. El proyectista tiene desde el primer momento una serie de condicionamientos que encauzan y limitan su actividad que pueden nacer de: el planteamiento de la propiedad, en base a sus necesidades y al planteamiento económico efectuado, consecuencia del marco legal existente, etc.. Los anejos de datos de partida estarán, por consiguiente, constituidos por los estudios necesarios para:

1. La determinación de las necesidades a cubrir, a partir del análisis de la demanda futura
2. El conocimiento del terreno que quedará plasmado en el correspondiente anejo topográfico
3. El conocimiento del suelo y subsuelo que quedará plasmado en los anejos que incluyan los informes geológico y geotécnico
4. Vegetación
5. Clima
6. Acceso
7. Posibilidades de suministro
8. Análisis de los materiales a emplear y posibilidades constructivas
9. El conocimiento de aspectos específicos según sea la naturaleza del proyecto recogido en los anejos correspondientes (estudios de tráfico, de oleaje y corrientes marinas, hidrológicos y de avenidas, acciones del viento y sísmicos, procesos de fabricación, etc...)

Es frecuente que algunos de los anejos de datos de partida estén constituidos por estudios o informes efectuados por profesionales o empresas especializadas. También suelen incluir planos ( que no tienen el carácter de planos del proyecto). Es fundamental que quede reflejada la procedencia de tal información

## **Anejos de cálculo**

En este bloque se incluirán el conjunto de estudios y cálculos necesarios para el dimensionamiento de los distintos elementos de la obra. Por el dimensionamiento no debe entenderse solo el relativo a los aspectos estático-resistentes, sino también a los aspectos funcionales:

- Dimensionamiento de superficies, volúmenes y diámetros
- Trazados
- Dimensionamiento de instalaciones y redes de servicios
- Cálculos estructurales

Cada uno de estos estudios deberá figurar en un anejo por separado, deberá quedar constancia expresa de: método de cálculo, las hipótesis simplificadas que se hagan, acciones de cálculo, características de los materiales, programa o programas de cálculo empleados, etc. Irán acompañados de los esquemas y croquis para facilitar la exposición y para la identificación de los elementos que se calculan.

## **Otros anejos a la memoria**

Existen otros estudios que es preciso efectuar y que pueden tener cabida como anejos a la memoria de un proyecto

- El programa del posible desarrollo de los trabajos, de carácter indicativo
- El estudio de las expropiaciones a efectuar
- El estudio de servicios afectados, modificaciones de dichos servicios y coste posible de dichas modificaciones
- El Presupuesto para Conocimiento de la Administración
- El Presupuesto de las Obras en Terrenos de Dominio Público, obligatorio en aquellos proyectos que van a ser objeto de concesión
- El estudio de impacto ambiental, obligatorio en ciertos tipos de proyectos, de acuerdo con la legislación vigente
- El estudio de seguridad y salud, aunque, por su extensión se incluye a veces como quinto documento del proyecto

## **PLANOS**

El documento N° 2 planos tiene por misión la definición gráfica de la obra a realizar, siendo por tanto vinculante para el contratista, por lo que tiene carácter contractual

Así los planos se refieren a:

- El conjunto de la obra (emplazamiento, plantas generales, etc)
- La definición de los distintos elementos de la obra
- La definición de los detalles constructivos



Deberán ser lo suficientemente descriptivos para que de ellos puedan deducirse las mediciones que servirán de base a las posteriores valoraciones. Las normas UNE establecen varios tipos de formatos de hojas, de las cuales la más utilizada para los planos del proyecto es la serie "A" que tiene las siguientes características:

-La superficie de cada plano es igual a la mitad de la del inmediato superior

-La relación entre el lado menor (x) y el lado mayor (y) de cada plano es:  $x/y = 1/(2^{1/2})$

La serie A parte de un formato de base (A0), de superficie 1 metro cuadrado. Las dimensiones, en mm, de los distintos formatos de la serie son:

A0 841 x 1189

A1 594 x 841

A2 420 x 594

A3 297 x 420

A4 210 x 297

El formato mas utilizado en los planos el proyecto es el A1, aunque a veces los formatos alargados (AO alargado) se emplean en la representación de obras lineales (trazado de carreteras, ferrocarriles, tuberías, etc)

Son escalas típicas en planos de detalle: 1:10 – 1:20 – 1:50 – 1:100

Y en planos de definición general: 1:100 – 1:200 – 1:500 – 1:1000 -1:2000 – 1:5000

En todos los planos debe figurar, de modo expreso, la escala adoptada. En caso de representación única o cuando todos los dibujos existentes en la hoja estuvieran a la misma escala convendrá indicar ésta en el cajetín del plano. En caso contrario, al pie de cada dibujo deberá figurar la escala empleada. Ésta puede ser numérica o gráfica. Conviene incluir las dos, teniendo la última gran interés en el caso de que el plano vaya a ser sometido posteriormente a ampliaciones o reducciones.

A pesar de que por la mera inclusión de la escala en el plano puede determinarse la dimensión de cualquier elemento, es sin embargo obligatorio acotar todas las dimensiones haciendo constar, numéricamente, la magnitud real de cada una de ellas. En la confección de los planos no solo existe una representación gráfica (delineación) sino también de escritura (rotulación). Tal es el caso de la inscripción de las cotas, confección del cajetín, títulos de los distintos dibujos y una serie de cuadros expositivos.

Constituye el cajetín la tarjeta de presentación del plano. En los formatos "A" suele colocarse en el ángulo inferior derecho de la hoja, mientras que en los formatos alargados suele hacerse a modo de franja cubriendo toda la parte inferior de la misma. No suelen aplicarse reglas fijas en cuanto a las dimensiones y forma del cajetín ni tampoco en la que respecta a su contenido. Aun con todo, como mínimo debe figurar en él:

- Título del proyecto
- Número y título de la hoja
- Escala, si es ésta común a todo el plano
- Fecha, nombre del autor del proyecto y firma

Con independencia de los cajetines, es fundamental introducir en los planos una serie de cuadros expositivos, que complementan lo definido gráficamente o hacen hincapié en aspectos tratados en otros documentos del proyecto, favoreciendo así la relación entre ellos y la comprensión del mismo

Son aspectos típicos a tratar, mediante estos cuadros:

- La definición de las características a cumplir por ciertos materiales y los niveles de control que vayan a exigirse. La inclusión de este cuadro es obligatoria en todos los planos en los que se representen elementos de hormigón armado o pretensado.
- La definición de una determinada secuencia de ejecución (p.e. el programa de tesado)
- Y, en general, cualquier aspecto que convenga resaltar en el plano, como tolerancias de ejecución, tamaño de los cantos de los distintos mantos de un dique, composición de un filtro, capas de un firme, etc.

Los **tipos de planos** de un proyecto pueden resumirse en tres grandes grupos:

1. Planos de situación cuya misión es indicar la ubicación de la futura obra. Dependiendo de cual sea ésta, suele iniciarse la serie con un plano a nivel provincial, incluso regional o nacional. A continuación se adjuntará un plano a nivel provincial (E: 1/25000 – 1/50000) en el que queden reflejados los núcleos de población próximos, las comunicaciones existentes, las posibles ubicaciones de canteras vertederos, etc. Habrá que dejar constancia de la situación de la futura obra.

2. Plano generales o de replanteo, que tienen la misión de definir la obra en su conjunto y en cuanto a sus partes integrantes. Es fundamental que en estos planos quede totalmente definida la ubicación de la misma. En estos planos que serán dibujados sobre soporte topográfico deberá haber información suficiente sobre aspectos como accesos a la obra, terrenos a ocupar, zonas de excavación y rellenos. En este grupo se incluye la planta general de la obra, plantas de las distintas partes y alzados de las mismas. En obras longitudinales los planos generales están constituidos por la planta y el perfil longitudinal. Las escalas éstas suelen estar comprendidas entre 1:1000 y 1:5000

3. Planos para la construcción (y planos de detalle), en los que los diferentes elementos de que consta la obra deben ser definidos con la precisión y detalle suficientes para ser construidos. Suelen ser escalas

adecuadas las comprendidas entre 1:100 y 1:500. En ocasiones es preciso dibujar ciertos elementos (estructurales instalaciones) a escala mayor, dando origen a los planos de detalle (E: 1/10- 1/50)

## **PLIEGO DE PRESCRIPCIONES**

Este documento suele ser el N°3 del conjunto de documentos del proyecto después de la memoria con sus anejos y de los planos y precediendo al presupuesto. Coloquialmente también se llama pliego de condiciones.

La organización de un pliego de prescripciones suele ser la siguiente, en el caso más general:

- Prescripciones administrativas
- Prescripciones técnicas
  - Pliego de prescripciones técnicas generales (PPTG)
  - Pliego de prescripciones técnicas particulares (PPTP)

### **Prescripciones administrativas**

Hacen referencia a la organización de la obra, funciones de los intervinientes ( administración , contratista, consultor de calidad, proyectista y supervisores, responsabilidades, relaciones con terceras personas). Actas de replanteo o de inicio de los trabajos y todas aquellas circunstancias que sin ser puramente técnicas pueden influir en el plazo, precio o calidad de la obra.

En muchos casos estas prescripciones administrativas no forman parte del proyecto y se imponen al contratista en los pliegos de bases del proceso de licitación, por lo que surten el mismo efecto que si estuvieran en el pliego de prescripciones, que es un documento contractual.

### **Pliego de prescripciones técnicas generales**

Recoge todas las normas, instrucciones, recomendaciones y directrices técnicas que afectan a los proyectos generales del mismo tipo del que es objeto del proyecto, y que por ser conocidas y publicadas de una forma oficial, no necesitan ser copiadas íntegramente, si no citadas o resumidas en sus partes más destacadas

### **Pliego de prescripciones técnicas particulares**

Es el verdadero pliego de condiciones que incluye 5 apartados:

- Prescripciones de materiales
- Prescripciones de ejecución de obra
- Prescripciones de aceptación final
- Prescripciones de medición y abono
- Prescripciones de tratamiento de no conformidades

-También podría agregarse otro área, el control de calidad, que recoge el número de ensayos y la frecuencia de realización de los mismos indicando la norma por la que se rigen o que se aplica

Debido a que la memoria no es un documento contractual, hay que incluir en el pliego una descripción de las obras que determine cuales son las unidades de obra a realizar

## **PRESUPUESTO**

El presupuesto es el cuarto documento del proyecto, tiene una doble finalidad:

1. A la Propiedad, le proporciona una idea aproximada del coste de la futura obra
2. Sirve de base a la licitación

El presupuesto consta de tres partes: mediciones, cuadros de precios y presupuestos

### **Mediciones**

Es muy importante que las mediciones sean reales:

1. No olvidarse elementos a medir
2. No repetir mediciones en diferentes apartados
3. No introducir errores aritméticos

Para que las mediciones sean correctas debe existir:

1. Correspondencia con los planos
2. Correspondencia con las unidades de obra
3. Correspondencia con las formas previstas de medición en obra

Unidades adoptadas en las mediciones:

-Unidades (ud): elementos de fabricación normalizada arquetas prefabricadas, puntos de iluminación, apoyos de neopreno, aparatos sanitarios, elementos de calefacción, piezas especiales, etc.

-Metros lineales (m): elementos longitudinales tubería de diámetro dado, zanja de sección prefijada, alféizares, cunetas, peldaños, rodapiés, barandillas, conductos, etc.

-Metros cuadrados (m<sup>2</sup>): elementos predominantemente planos superficie a encofrar, forjados, cubiertas, mezcla bituminosa de espesor dado, tabiques y muros de sección inferior a 1 pie, etc.

-Metros cúbicos (m<sup>3</sup>): elementos predominantemente prismáticos excavación en un determinado tipo de terreno, de hormigón de características fijas, muros de más de 1 pie de espesor, etc

-Kilogramos (kg): acero perfiles normalizados, redondos para el hormigón armado, etc

Es fundamental establecer una división de las mediciones en capítulos y subcapítulos. Por ejemplo, en un abastecimiento de aguas a una población, se podrían distinguir los siguientes capítulos:

1. Captación
2. Conducción a planta de tratamiento
3. Planta de tratamiento
4. Conducción al depósito
5. Depósito
6. Red de distribución

Y cada uno de estos capítulos podría dividirse en los siguientes subcapítulos:

1. Demoliciones
2. Explanaciones
3. Cimentación y drenaje
4. Estructuras
5. Cerramientos
6. Cubiertas
7. Instalaciones

Cada subcapítulo estará compuesto por diversas unidades de obra, que podrán repetirse en otros subcapítulos. Dentro de cada subcapítulo, cada unidad de obra deberá tener un único resultado final de medición, que será suma de todas las mediciones de los distintos elementos de esa unidad en ese subcapítulo. Ese valor final es el que se incorporará al documento de presupuestos.

### **Cuadro de precios**

En este apartado se enumeran los precios adoptados para las distintas unidades de obra del proyecto. Es el único documento contractual del presupuesto. Los precios aquí indicados son el factor por el que se multiplicarán los volúmenes de obra realmente ejecutados.

Existen dos cuadros de precios:

- El Cuadro de Precios Nº 1
- El Cuadro de Precios Nº 2

### El Cuadro de Precios Nº 1

- Precios (en cifra y letra) para las distintas unidades de obra previstas
- Precios de las partidas alzadas de abono íntegro
- Todos deberán coincidir en orden, numeración y nombre con el Anejo de Justificación de Precios

#### Ejemplo de presentación

Nº de la Ud. de obra	Ud. de medida	Designación de la Unidad	Precio en cifras (€)	Precio en letras (Euros)
02.05	m3	Desmante en roca Desmante en roca de la explanación, con empleo de explosivos, incluso transporte de los productos de la excavación a vertedero o lugar de empleo, a cualquier distancia.	7,36	Siete euros con treinta y seis céntimos

### El Cuadro de Precios Nº 2

-Sólo será aplicable cuando:

1. Como consecuencia de la resolución del contrato, surja la necesidad de abonar al contratista unidades de obra cuya ejecución haya quedado incompleta y, por tanto, no sea de aplicación el precio global que figura en el cuadro de precios nº 1
2. Durante la ejecución del contrato, surja la necesidad de establecer modificaciones al proyecto que impliquen la creación de nuevas unidades de obra y, por tanto, el establecimiento de nuevos precios
3. Así lo contemple la legislación de contratos públicos (o las cláusulas de contratos privados), existe la posibilidad de abono al contratista en concepto de anticipos por acopio de materiales o instalaciones y maquinaria ubicadas en la obra

-Esta constituido por la partición de los precios de las unidades de obra en una serie de partidas (en base al Anejo de Justificación de Precios)

#### Ejemplo de partición

02.05	m3	Desmante en roca Desmante en roca de la explanación, con empleo de explosivos, incluso transporte de los productos de la excavación a vertedero o lugar de empleo, a cualquier distancia.	7,36 €
		Material	1,43 €
		Maquinaria	5,05 €
		Mano de Obra	0,88 €

-Ciertas unidades de obra y las Partidas Alzadas de Abono íntegro no admiten descomposición. Aparecerán con la expresión 'sin descomposición'

## PRESUPUESTOS

### Presupuesto Ejecución Material (P.E.M)

Es la suma de los productos de los volúmenes a ejecutar de las distintas unidades de obra por los correspondientes precios unitarios, más las partidas alzadas. Se compone de capítulos y subcapítulos, según figure en las mediciones. Conserva el orden, la numeración, la designación y la medición de las Mediciones.

Recoge los precios del Cuadro de Precios N° 1

N° de Orden	N° de la Ud de obra	Designación de la Unidad	Medición	Ud.	Precio Unitario (€)	Presupuesto (€)
03.04	02.05	Desmante en roca Desmante en roca de la explanación, con empleo de explosivos, incluso transporte de los productos de la excavación a vertedero o lugar de empleo, a cualquier distancia.	3417,2	m3	7,36	25150,59

Así obtenemos el Presupuesto de un subcapítulo:

Presupuesto parcial = suma de los Presupuestos de subcapítulo. Presupuesto parcial de Partidas Alzadas

P.E.M = Prestos. parciales + Presto. de Seguridad y Salud + Presto. para Control de Calidad

Coletilla final: 'Asciende el Presupuesto de Ejecución Material a la citada cantidad de (en letra y cifras) euros' Indicando lugar, fecha y firma. Resumen del P.E.M por capítulos que se adjunta en la Memoria Descriptiva del proyecto

### Presupuesto Ejecución por Contrata (P.E.C)

Es la suma de:

- Presupuesto de Ejecución Material (PEM)
- Gastos Generales de la empresa (GG)
- Beneficio Industrial (BI)
- Impuesto sobre el Valor Añadido (IVA)

#### Gastos Generales de la empresa (GG)

- Derivados del desarrollo de una actividad empresarial y de las tasas de la administración
- Suponen un 13–17% del PEM

### Beneficio industrial (BI)

- Es el beneficio del empresario
- Supone un 6% del PEM

### Impuesto sobre el Valor Añadido (IVA)

- Supone un 18% de la suma de (PEM + GG + BI)

## **Presupuesto Por Administración**

Las obras realizadas por administración tienen un carácter excepcional

El Presupuesto por Administración es la suma de:

- Presupuesto de Ejecución Material (PEM)
- Gastos de Colaboración (GC)
- Impuesto sobre el Valor Añadido (IVA)

### Gastos de colaboración (GC)

- Suponen un 5% del PEM

### Impuesto sobre el Valor Añadido (IVA)

- Supone un 18% de la suma de (PEM + GC)

## **OTROS PRESUPUESTOS**

Sólo en ocasiones. No se incluyen en el documento presupuesto sino en la memoria, adjuntando los cálculos necesarios en Anejos a la misma.

## **Presupuesto para conocimiento de la Administración**

Es preceptivo en proyectos de obras del estado. Su finalidad es dar una idea del coste total que supondrá para la Administración abordar la ejecución de una determinada obra.

Está constituido por:

- Presupuesto de ejecución de la obra (por contrata o por administración)
- Coste de restablecimiento de servicios y servidumbres singulares
- Coste previsible de las expropiaciones
- Coste de redacción del proyecto

## **Presupuesto de obras en terrenos de dominio público**

La ejecución de obras en terrenos de dominio público debe ser objeto de una concesión. El concesionario abona un canon evaluado como porcentaje sobre el P.E.M. de las obras ubicadas en dichos terrenos. Si las obras están ubicadas parcialmente en terrenos de dominio público deberán



efectuarse las mediciones correspondientes a esa parte y con ellas obtener el presupuesto de obras en terrenos de dominio público, sobre el que se calculará el correspondiente canon.

ALBERTO VILLARINO OTERO

## **10.BIBLIOGRAFIA Y WEBGRAFIA**

- MOVIMIENTO DE TIERRAS-PROCEDIMIENTOS GENERALES DE CONSTRUCCIÓN. Juan Tiktin Ferreiro. Editorial: E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos de Madrid Año 1997
- MUROS DE CONTENCIÓN Y MUROS DE SOTANO. J. Calavera. Editorial: Intemac Año 2000
- TRATADO BASICO DE PRESAS : GENERALIDADES. PRESAS DE HORMIGON Y DE MATERIALES SUELTOS. ALIVIADEROS. Eugenio Vallarino. Año 2006
- INGENIERIA DE CARRETERAS (VOLUMEN I Y II) .Carlos Kramer y Varios autores.Editorial:S.A. Mc Graw-Hill / Interamérica de España Año 2009
- APUNTES CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE MATERIALES. Alberto Villarino Otero. Escuela Politécnica Superior de Ávila
- INSTRUCCIÓN DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL EHE-08.VARIOS AUTORES. Ed: Catálogo de publicaciones del Ministerio de Fomento Año 2008
- INSTRUCCIÓN PARA LA RECEPCIÓN DE CEMENTOS (RC-08). Varios Autores. Ed: Catálogo de publicaciones del Ministerio de Fomento Año 2008
- RESISTENCIA DE MATERIALES. Juan Ortiz Berrocal. Ed : Mc Graw-Hill Año 1990
- APUNTES RESISTENCIA DE MATERIALES ITOP. Jaime Santo Domingo. Ed: Escuela Politécnica Superior de Zamora.
- INSTRUCCIÓN DE CARRETERAS. Ministerio de Fomento
- <http://www.galeon.com/puentes>

ALBERTO VILLARINO OTERO