



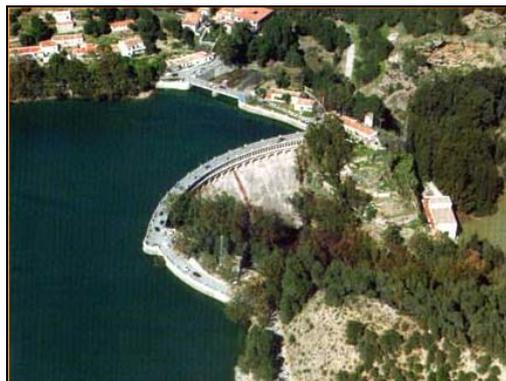
**Puente colgante**

### **2.2.2. PRINCIPALES RIESGOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE PRESAS**

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 su nivel para que pueda derivarse por una conducción (creación de altura) con el fin de regular su caudal.
- Formar un depósito que, al retener los excedentes, permita suministrar el líquido en los momentos de escasez (creación de embalse).

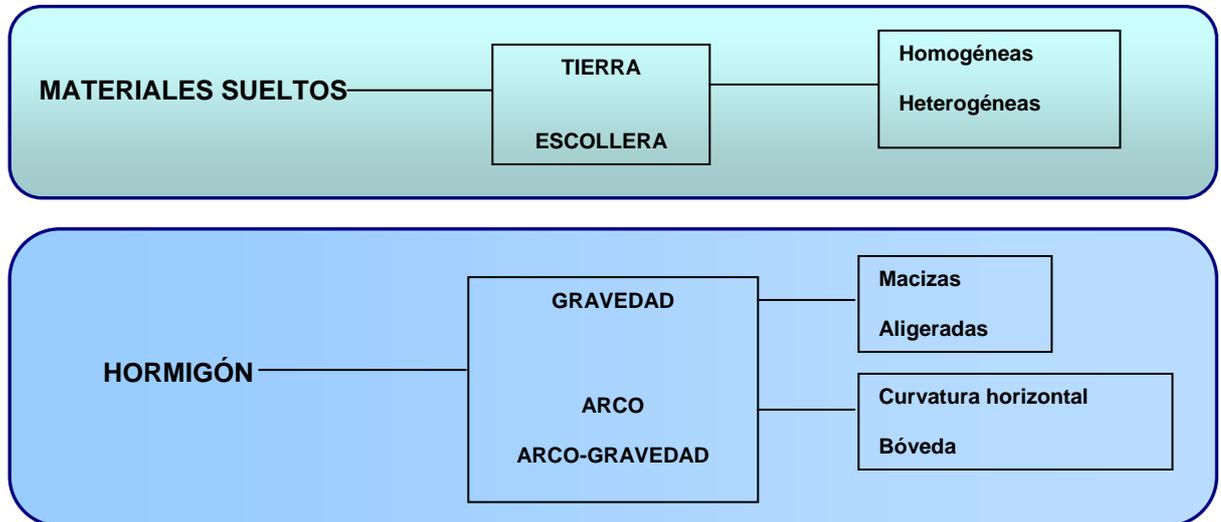
Toda presa debe cumplir una doble función: ser impermeable y ser estable ante el empuje del agua.



**Presa de Conde Guadalhorce**

## Tipos de presas

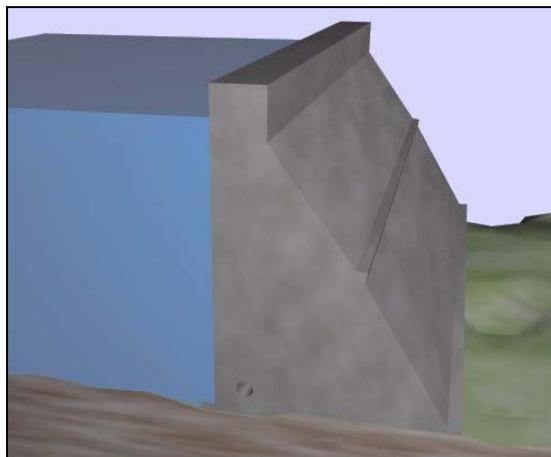
Se pueden distinguir muchos tipos de presas, pero los dos grandes grupos, atendiendo al material empleado, son: las **presas de materiales sueltos** y las **presas de hormigón**. La elección de una u otra dependerá de la topografía y de las condiciones del terreno.



a) Las **presas de hormigón** son las que se realizan fundamentalmente con hormigón, con o sin armaduras de acero.

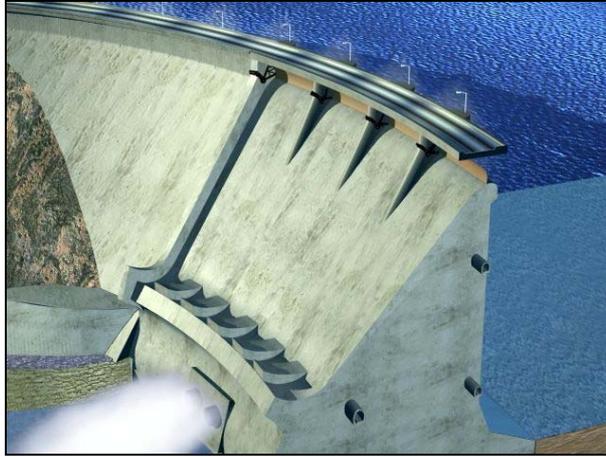
Se distinguen tres tipos:

- Presas de gravedad. Son aquellas que esencialmente resisten por su peso propio, sin intervenir la forma arqueada.



**Esquema de presa de gravedad**

- Presas de arco. Las presas en arco transmiten el empuje (cargas verticales y horizontales) hacia su cimentación y sus estribos por el efecto “arco”. Pueden tener curvatura sólo horizontal o doble curvatura, que es lo más normal. A estas últimas se les denomina también **presas bóveda**.



**Presa bóveda**

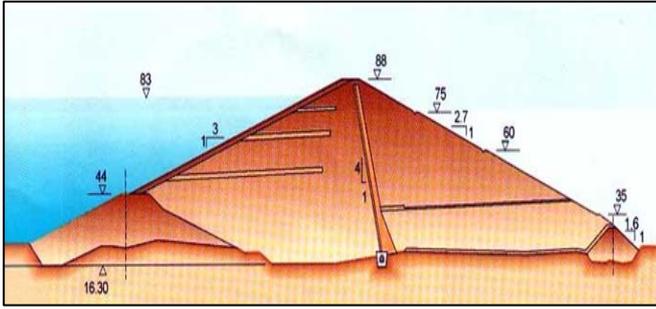
- Presas de arco-gravedad. Combinación de los dos tipos anteriores. La acción de la curvatura es insuficiente para resistir el empuje y hay que dar a la presa un cierto peso para que compense ese defecto.

b) Las **presas de materiales sueltos** están constituidas por materiales provistos por la naturaleza que no sufren ningún proceso químico de transformación, siendo tratados y colocados mediante procedimientos de compactación propios de la mecánica de suelos, actuando por gravedad. En su composición intervienen piedras, gravas, arenas, limos y arcillas, admitiendo la siguiente clasificación:

- Presas de escollera. Cuando más del 50 % del material está compuesto por piedra.
- Presas de tierra. Cuando son materiales de granulometrías más pequeñas.

Atendiendo a la zonificación:

- Homogéneas. Todo el material que componen las presas de materiales sueltos tiene las mismas características, pudiendo tratarse de materiales más o menos impermeables (arcillas o limos). Requieren pendientes muy tendidas para que los espaldones resulten estables ante las diferentes acciones que puedan presentarse.

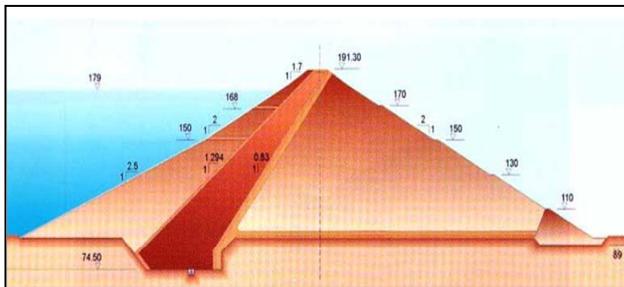


**Presa homogénea**

- Heterogéneas. Son las más comunes, y en su construcción se colocan diferentes materiales zonificados con núcleo impermeable (normalmente arcilla), y materiales más permeables a medida que nos alejamos del centro de la presa. Así, una parte cumple la impermeabilidad y el resto tiene las condiciones de resistencia para satisfacer la estabilidad del conjunto. Permiten taludes con más pendiente, de manera que la presa ocupa menor superficie.

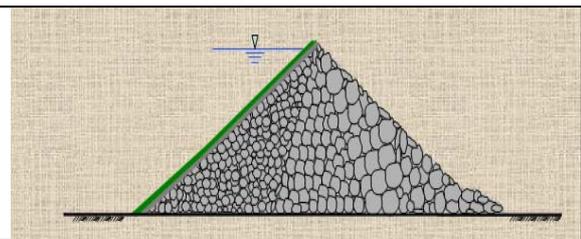
Las presas heterogéneas pueden tener dos tipologías constructivas diferentes:

- Un núcleo impermeable (arcilla o limo), en el interior de la presa o bien en el centro de la presa (vertical o cuasivertical) o cerca del paramento aguas arriba (inclinado).



**Presa heterogénea de núcleo central**

- Una pantalla impermeable cubriendo la superficie del espaldón de aguas arriba. Ésta puede conseguirse mediante pantallas de hormigón o tela asfáltica.



**Presa heterogénea de pantalla impermeable**

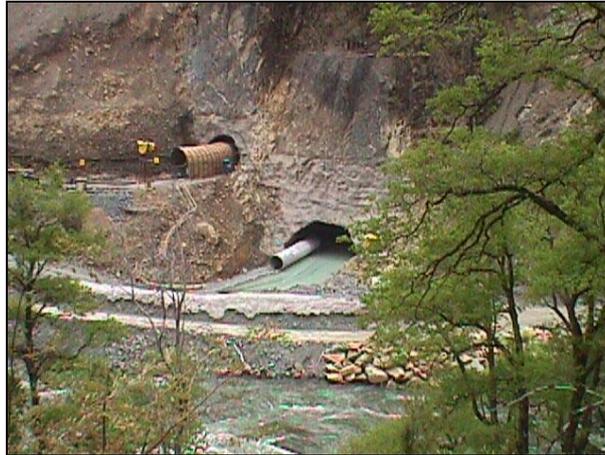
## **Método constructivo**

En la construcción de una presa se distinguen las siguientes actividades:

### 1. Desvío del río

Para construir la parte de la 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. Consiste en la ejecución de un cauce artificial, para lo cual hay que hacer una presa provisional, denominada **ataguía** (o azud) que produzca el remanso suficiente para que el agua entre por el nuevo cauce, que es una conducción (canal abierto o tubería) que transporta el agua desviada hasta un punto aguas abajo de la obra. Además, la ataguía contendrá las aguas que no quepan por la conducción.



**Túnel de desvío de la Presa de Ralco (Chile)**



**Ataguía de piedra de la Presa de las Tres Gargantas (China)**

- 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.

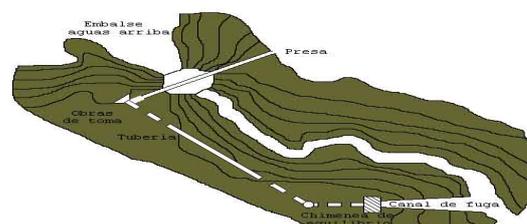
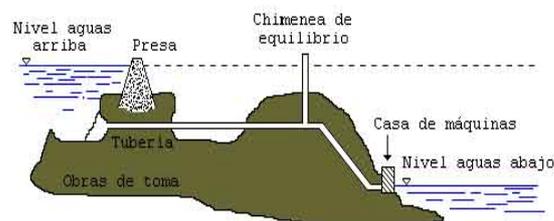
## 2. Obras auxiliares

Para la construcción de presas es necesario transportar grandes cantidades de material de construcción, en muchos casos a través de terrenos muy irregulares o montañosos. Por ello, resulta necesario construir carreteras y puentes de acceso provisionales, así como en algunas ocasiones túneles, o incluso realizar trabajos de rellenos de pendientes, etc.

Además, dependiendo de la función que debe cumplir la presa, deben construirse también diferentes vías para la circulación del agua -en su mayoría subterráneas-, incluso las respectivas estructuras de entrada y salida de agua.

Estas obras incluyen:

- Torres de toma de agua y túneles de abastecimiento para los proyectos de abastecimiento de agua.
- Galerías aguas arriba y aguas abajo.
- Tuberías forzadas.
- Chimeneas de equilibrio.
- Galerías para la sala de turbinas y para los transformadores de centrales hidroeléctricas.

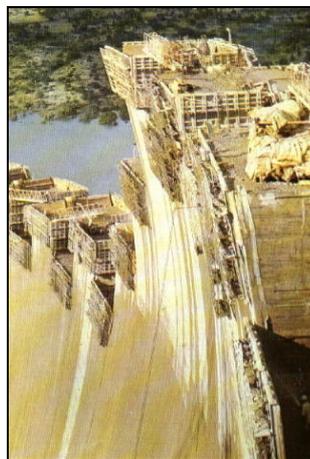


### 3. Construcción de la presa propiamente dicha

El método constructivo es diferente en función del tipo de presa:

- Presas de hormigón. Los métodos constructivos empleados son básicamente dos:

a) **Método convencional**. Se ejecutan secciones individuales en forma de bloques, y se hormigonan formando “castilletes”, cuyo tamaño está en función de las consideraciones relativas a la construcción y del calor de fraguado que se debe esperar. En este caso, los factores decisivos son: la temperatura del hormigón durante la puesta en obra, el porcentaje de cemento, el sistema de refrigeración del hormigón y las condiciones climáticas en el sitio de las obras, al poder afectar a la temperatura de fraguado y de refrigeración.



**Construcción mediante bloques**

En la ejecución deben realizarse interrupciones, por lo que se forman las denominadas **juntas de construcción**, que son prácticamente horizontales. Además de ellas están las denominadas **juntas funcionales**, ejecutadas para evitar la producción de grietas (con posibles fugas y disminución de la resistencia) en los procesos de retracción y dilatación del hormigón. Estas juntas se crean en la presa según planos ortogonales a su eje longitudinal, y hacen que la obra quede dividida en bloques con cierta independencia entre sí. Una vez terminada la presa, cuando actúa el peso propio, y antes de llenar el embalse, se inyecta suspensión de cemento en las grietas existentes entre los bloques para conseguir así la estructura monolítica.

**b) Método de hormigón compactado con rodillo vibrante (RCC o “Rollcrete”)**. En esta forma de construcción el hormigón se transporta hasta la superficie de la presa mediante camiones o bandas de transporte. A continuación, se distribuye allí con bulldozer y se compacta con rodillos vibratorios. El grosor de un manto de hormigón es de entre 30 y 50 cm. Para asegurar la estanqueidad a ambos lados de la presa (paramentos), éstos se construyen de hormigón según el método convencional. Adicionalmente se coloca mortero de cemento entre los mantos horizontales de hormigón compactado con rodillos.

Con este método se consigue ahorrar cemento y que el calor de fraguado sea menor - evitando así las juntas funcionales- y por tanto es más económico que el anterior.



**Ejecución de la presa de Ralco (Chile)**

- Presa de materiales sueltos:

a) **De núcleo interior.** Las presas de materiales sueltos se ejecutan colocando mantos de 30 a 50 cm de espesor, formados por materiales de relleno de diferentes granulometrías, escogidos, tratados previamente -en caso de ser necesario- y compactados, importante operación para evitar asientos y obtener la máxima resistencia. Dado que el grado de densidad óptimo depende del contenido de agua del material, los trabajos de compactación deben interrumpirse durante la lluvia. En casos de precipitaciones fuertes, puede incluso resultar necesario, en casos aislados, volver a retirar el material ya colocado y compactado antes de poder colocar el siguiente manto.

**b) Pantalla impermeable**

- De hormigón. El elemento impermeable es una placa de hormigón en la superficie de la presa en contacto con el agua del embalse. La pantalla está constituida por placas en forma de cuadrilátero o triángulo, cuyas uniones se realizan con juntas impermeables (mediante chapas onduladas de cobre o algún producto bituminoso), y que permitan el movimiento independiente de cada placa.

Al pie de la presa, en el lado de aguas arriba, la placa está unida con un muro de arrostramiento de hormigón que constituye la transición entre el subsuelo de la roca y la placa de hormigón impermeable.

El defecto fundamental de la pantalla de hormigón es la gran diferencia de deformabilidad entre ella y el material del dique, lo cual ocasiona que sea muy sensible a los posibles asentamientos de la presa, pudiendo quedar el muro sin apoyo. Por esta razón, las presas son armadas en dos direcciones.

- Asfáltica: La pantalla impermeabilizante es una capa bituminosa que se coloca en la superficie del lado de aguas arriba de la obra.

La ventaja de este material reside en que, además de ser impermeable, es flexible, por lo que se adapta muy bien a los asentamientos de la presa. A esto hay que añadir que las posibles grietas que puedan aparecer se reparan fácil y rápidamente, cerrándose por sí solas gracias a la plasticidad del material.



**Ejecución de la capa asfáltica en la Presa de Ralco**

El método de construcción es similar al de las presas de escollera con superficie de hormigón, con la diferencia de que se empieza con la capa de asfalto una vez que el cuerpo de la presa alcanza su altura definitiva. La pantalla suele hacerse en varias capas, con un espesor de 30 a 50 cm, y ha de apoyarse en una superficie plana de hormigón poroso o asfáltico. El apisonado se hace con rodillos movidos desde la coronación.

## **RIESGOS**

- Tanto el proyecto como la construcción de una presa presentan problemas especiales que requieren gran conocimiento de varias ciencias y técnicas: Geología, Hidráulica, cimientos, propiedades y tratamiento de materiales, etc., por lo cual requiere -quizá más que ninguna otra obra- la colaboración de varios especialistas y un trabajo de equipo.

En conclusión, la planificación y el proyecto son especialmente relevantes para la presa, para las obras correspondientes y para el sistema de desviación del río.

➤ Desvío del río. En el diseño y determinación de las dimensiones de los elementos de desvío, el problema fundamental es el caudal tope que ha de ser desviado. La determinación de dicho caudal ha de realizarse sobre el siguiente dilema:

- Si nos quedamos cortos, las avenidas superiores a la capacidad del desvío verterán por la obra de derivación y pasarán por el antiguo cauce natural, inundando la obra que se está ejecutando.
- Si, para evitar esto, hacemos un desvío muy amplio, el coste puede ser excesivo.

Generalmente, la capacidad de desagüe de los túneles de desviación se orienta por un evento de crecida con un periodo de retorno de 30 a 50 años, para con ello evitar la inundación durante la construcción.

Por tanto, en esta fase de la construcción de una presa los dos riesgos principales son, por un lado, las posibles inundaciones de la obra debidas a crecidas del caudal por lluvias (son muy sensibles a los riesgos de la naturaleza) al no ser contenidos dichos caudales por los elementos de desvío; y por otro, los riesgos derivados de las explosiones necesarias para derribar las ataguías construidas de forma provisional.



**Dos momentos de la demolición (con explosivos) de una de las ataguías en la presa de las Tres Gargantas (China)**

➤ Obras auxiliares. Debido al carácter provisional de las carreteras de acceso, a éstas no se les aplica ninguna capa de recubrimiento, lo que significa que están expuestas a la lluvia y a eventuales inundaciones.

En general, las obras provisionales (carreteras, puentes, rellenos, etc.) están muy afectadas tanto por lo posibles movimientos de tierras que se pueden producir -por ejemplo por fuertes precipitaciones- como por los riesgos de la naturaleza (terremotos, etc.).

➤ Los almacenes de material y la maquinaria de construcción están altamente expuestos a los corrimientos de tierras si se encuentran en las proximidades de pendientes susceptibles a este peligro.

- Presas de materiales sueltos. Este tipo de presas no soportan ser sobrepasadas por una crecida, tanto en la fase de construcción como en la de explotación, ya que se podría reducir la poca cohesión que tienen entre sí los materiales que las componen y producirse un derrumbe de parte del muro, así como zonas de filtración. De ahí la importancia de realizar un buen estudio de las precipitaciones históricas del río en la fase de realización del proyecto.

La junta al pie de obra es uno de los elementos más importantes en la ejecución de este tipo de presas con pantalla de hormigón, siendo su correcta formación indispensable para la estanqueidad de la presa.

En ellas es posible la erosión interna en las zonas de unión entre el material impermeable del núcleo de la presa y las estructuras de hormigón integradas (desagüe de fondo, etc.). Para evitar este fenómeno, debe planificarse y ejecutarse con especial cuidado.

- Presas bóveda. Son muy esbeltas y pueden adoptar formas muy audaces y complejas, lo que les permite ser muy altas y de poco espesor. Esta complejidad implica una gran habilidad y experiencia de sus constructores, que deben recurrir a sistemas constructivos poco comunes y a la utilización de maquinaria de construcción costosa. Por ello, cualquier error tanto en la planificación como en el proyecto puede suponer futuros siniestros.

Generalmente, debido a las grandes cargas transmitidas al terreno por el efecto “arco”, se debe recurrir a extensos trabajos de cimentación.

El hormigón puede alterarse por presencia de agentes meteorológicos o ambientales, aumentando su resistencia de forma proporcional a su espesor. Si se aumenta el espesor, para economizar gastos, puede llevar a ser menos exigentes con la calidad del material.

La presa bóveda debe ser monolítica, por lo que se requiere que para este tipo de presa la cerrada (terreno en el que se ubica la presa propiamente dicha) sea resistente y poco deformable, recurriendo si es necesario a técnicas de mejora del terreno (inyecciones, etc.).

- Aunque los daños por incendio no son uno de los principales peligros en estos proyectos, los almacenes de materiales, los talleres y la maquinaria de construcción deben disponer de los equipos de extinción de incendios correspondientes.
- En cuanto al vaso (terreno que actúa de cuenco receptor del agua) y a la cerrada, se les exige ser impermeables, por lo que es necesario evitar en la medida de lo posible las fugas. Por ello, es imprescindible realizar un buen estudio del suelo para conocer sus características y comportamiento mecánico. Por ejemplo, las calizas que pueden tener cavernas sería un mal terreno, mientras que una marga o un granito -siempre que no esté diaclasado- presenta un buen comportamiento.

## 2.2.3. PRINCIPALES RIESGOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS

### Fases de la construcción

La construcción de un edificio consta de varias fases:

#### 1. Obra principal

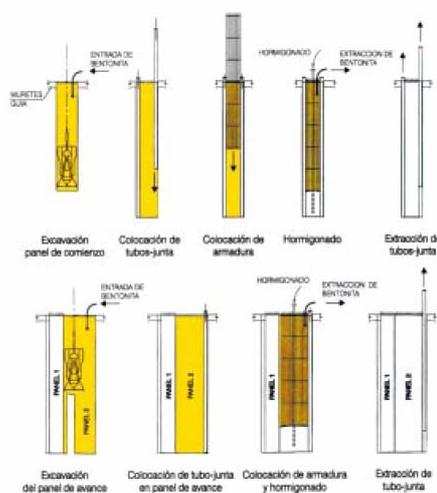
Entendiendo como tal el conjunto de elementos diseñados y ejecutados para garantizar la estabilidad del edificio:

- **Cimentación.** Parte de la estructura cuya función es transmitir al suelo la cargas producidas por la edificación.

Los edificios, y más en el caso de los de gran altura, transmiten al terreno importantes cargas. Para evitar que se produzcan asentamientos irregulares, estas cargas deben ser absorbidas por el terreno mediante la cimentación, la cual debe apoyarse en terreno de alta resistencia (roca o similar).

Por tanto, en función de las cargas a transmitir y dependiendo de las características y comportamiento (capacidad portante) del terreno, se distinguen distintos tipos de cimentación:

TIPOS DE CIMENTACIÓN	
SUPERFICIAL	Zapatas
	Losas
SEMIPROFUNDA	Cajón flotante
PROFUNDA	Pilotes
	Muros pantalla



**Ejecución de muro pantalla**

- **Estructura.** Conjunto de elementos resistentes que confieren la estabilidad del edificio:

- Pilares.
- Vigas
- Forjados
- Muros de carga
- Estructura de la cubierta.

## 2. Obra secundaria

Entendiendo como tal los acabados generales:

- Cerramientos. Es usual en este tipo de edificios los muros cortina, que suelen estar compuestos por una estructura de aluminio -elegido por su peso ligero- sobre los que se montan cristales.
- Revestimientos
- Tabiquería
- Solados
- Alicatados
- Techos, etc.



**Torres Petronas (Kuala Lumpur)**

## 3. Instalaciones

Las instalaciones principales de las que dispone un edificio son:

- Fontanería
- Saneamiento
- Agua caliente
- Climatización
- Calefacción
- Gas
- Electricidad
- Comunicación (telefonía, ADSL, etc.).

## **RIESGOS**

- **Robo.** Este riesgo adquiere importancia, debido a que elementos como los sanitarios o los tubos de cobre están muy solicitados. Este riesgo supone cada día mayores pérdidas económicas.
  
- **Caída de rayo.** Se debe prestar atención a transformadores, cuando el edificio supera en altura a los colindantes, grúas, mástiles, puesto que durante al fase de construcción no se dispone de pararrayos.
  
- **Incendio.** Es uno de los principales riesgos en la edificación, tanto en la fase de construcción como en la posterior fase de utilización. Adquiere mayor importancia aún cuando se trata de un edificio de gran altura. Los costes que suponen los siniestros debidos a un incendio suelen ser elevados. Además, en el caso de edificios de gran altura este hecho se agrava por la dificultad que conlleva llegar a pisos a partir de una cierta altura. Por todo ello hay que tenerlos muy presentes.



**Torre Windsor (Madrid) tras el incendio**

Entre los materiales inflamables en la construcción de una obra destacan los siguientes:

- Equipos auxiliares de construcción (andamios, encofrados, etc.)
- Máquinas de construcción (retroexcavadoras, etc.)
- Materiales de construcción (maderas, plásticos, revestimientos, pinturas, etc.)
- Embalajes (papel, cartón, etc.)
- Almacenes provisionales
- Lubricantes (grasas, combustibles, detergente de limpieza, etc.)
- Vegetación
- Equipos y muebles ya instalados

Entre las múltiples causas que pueden provocar un incendio, destacan:

- Sistema de seguridad deficiente (ausencia de responsable, suplente, etc.).
- Negligencia: Tirar colillas sin apagar, uso inapropiado de la calefacción en el interior del edificio, etc.
- Trabajos en caliente sin permiso.
- Acumulación de residuos (papel, etc.).
- Conexiones eléctricas deficientes.
- Almacenamiento de material en el interior del edificio (embalaje, madera, elementos inflamables) por todas las plantas.
- Reducción de instalaciones de seguridad por falta de tiempo y ahorro de costes.
- Efecto chimenea del núcleo central (muro central de hormigón que presentan muchos edificios de gran altura, que estructuralmente permite absorber los esfuerzos horizontales del viento, y además se utiliza para ubicación de las instalaciones), así como en patinillos y huecos en general.
- Falta de preparación del personal.
- Ambiente climatológico (viento, etc.).
- Desconocimiento del sitio para los bomberos.

En consecuencia, resulta imprescindible -sobre todo en edificios de gran altura- la adopción de protecciones preventivas contra incendios desde un principio, así como la existencia de responsables de seguridad en la obra e instruir a todo el personal sobre las medidas básicas de extinción mediante curso de formación.

Medidas preventivas durante la construcción son:

- Existencia de responsables de seguridad en la obra.
- Instruir a todo el personal sobre las medidas básicas de extinción mediante curso de formación.
- Información a cuerpos de bomberos y visitas periódicas.
- Planes de emergencia.
- Orden y limpieza.
- Retirada periódica de residuos y de materiales acumulados, limitando su cantidad y estableciendo medidas de seguridad tales como: distancias entre materiales, muros cortafuegos, etc.
- Mantenimiento.
- Extintores portátiles en cantidades suficientes.
- Aprovisionamiento de agua de extinción (tuberías, columna seca, depósitos provisionales, etc.).
- Eliminación diaria de los productos inflamables del interior de las plantas en construcción.

- Si se realizan trabajos de soldadura o similares, se deben tomar medidas de precaución, disponer de permiso en caliente, contar con una persona con formación en extinción de incendios en el momento que se realice la operación, así como la posterior supervisión.
  - Vallar el recinto para evitar su propagación.
- Error de diseño/materiales defectuosos. Estos se deben fundamentalmente a una mala planificación del proyecto, uso incorrecto de programas de cálculo informáticos, errores en la elección de materiales o en la ejecución, al emplearse en el proyecto nuevos sistemas constructivos y no estar el constructor familiarizado con tales sistemas, o bien por falta de detalles constructivos, etc., que puede provocar que no se ejecute con precisión.
- Errores en la cimentación. Es importante un buen estudio geotécnico donde se estudien las características y comportamiento del terreno (capacidad portante, posibilidad de asientos, etc.).

Hay terrenos en los que asentar el edificio puede suponer mayores riesgos, entre otros:

- Terrenos blandos o de rellenos. El principal riesgo es que se produzcan importantes asientos diferenciales no controlados.
- Terrenos expansivos con suelos arcillosos. Pueden estar mezclados con arenas o limos y presentan la propiedad de experimentar grandes variaciones de volumen al disminuir o aumentar su grado de humedad. El problema se deriva de que las deformaciones no son homogéneas ni proporcionales al grado de humedad, y pueden ejercer una gran presión sobre el edificio -generalmente en forma de movimientos ascensionales-, pudiendo llegar a levantarlo o producir asientos en caso de una disminución de la humedad. Son especialmente peligrosos en climas cálidos, donde sufren expansiones y retracciones cíclicas de tipo estacional.
- Terrenos kársticos. La karstificación es un proceso que se produce en las rocas compuestas de sal, yeso (sulfato de calcio hidratado) y carbonatos de calcio y de magnesio (calizas y dolomías) en donde el agua reacciona con estos minerales y los disuelve, guardando las proporciones debidas al tiempo, provocando un importante proceso de alteración a través de las fracturas y diaclasas en las rocas carbonatadas que contribuye al modelado de los macizos, provocando formación de cavidades, inestabilidades de taludes, dolinas, etc. Todo ello puede llevar, bien durante la fase de construcción o bien en la fase de explotación, al derrumbe total o parcial del edificio.



Además de en los terrenos, durante la **cimentación** se pueden producir errores en la ejecución que pueden ocasionar daños. Entre otros, destacan los siguientes:

#### Muros pantalla:

- En la realización de pantallas continuas pueden producirse incidentes debidos a un fallo en la correcta introducción de las jaulas-armadura en el profundo agujero hasta la profundidad prevista, debido a que éstas se queden trabadas en las paredes o la tubería integrada.
- Cortes de hormigonado en pilotes o pantallas que producen asientos diferenciales independientes de la estructura.



**Cuchara bivalva utilizada en la ejecución de un muro pantalla**

#### Pilotes:

- Si la elección del pilote no es la adecuada y éste no se adapta al terreno, se pueden producir fallos que se detectan bien durante la ejecución o bien una vez oculta la cimentación.
- Insuficiente longitud de pilotes, debido a que al realizarse los sondeos se pueden producir falsos rechazos en estratos duros pero con insuficiente potencia, no presentando la superficie capacidad portante para soportar las cargas o produciendo asientos.



### Introducción de la armadura de un pilote

- En la ejecución de los pilotes pueden producirse incidentes motivados por el fallo en los trabajos de izamiento de los tubos al final de la construcción (a menudo se vuelve a arrancar una parte de la armadura que se acaba de introducir). La consecuencia es una disminución de la capacidad portante del pilote, llegando incluso a tener que ser sustituido.
- Si el nivel freático es elevado y el pilote es hincado sin tubo, puede producirse un lavado del hormigón antes de que endurezca lo suficiente.
- También es posible que no se alcance la capacidad resistente prevista cuando se producen desviaciones en el eje vertical, debido a obstáculos o la mala ejecución en las perforaciones -que exceden las tolerancias de medidas admitidas-, lo que suele producirse para pilotes largos.

Como medida preventiva es conveniente comprobar la resistencia de los pilotes o muros mediante métodos como el de ultrasonido, etc.

- Para la excavación de sótanos, el edificio se estabiliza mediante muros de contención con sistemas provisionales para absorción de empujes. Al eliminar dichos sistemas provisionales a veces se olvidan los esfuerzos horizontales que éstos producen, aspecto importante en el caso de juntas de dilatación paralelas, etc.

La reparación de estos fallos suele ser costosa, superando en gran medida los costes de cimentación iniciales al tener que adoptarse medidas adicionales (sustitución de pilotes, inyecciones, etc.).

### Asientos:

Al ejecutar la obra no puede evitarse que se produzcan asientos. Sin embargo, el problema no son estos asientos en sí -pues suelen estar bajo control para que en el caso de que se excedan los límites admisibles se recurra a las medidas constructivas que los subsanen (juntas de dilatación, etc.)-, sino los asientos ocasionados por una mala ejecución (fuertes lluvias que producen corrimientos de tierras, mal estudio de la capacidad portante, errores de diseño etc.) que son las que pueden poner en peligro la estabilidad de la edificación.

La reparación de estos asientos suele ser muy costosa, teniéndose que recurrir en muchas ocasiones al derribo del edificio.



**Asientos en el terreno**

### ➤ Errores durante la ejecución de la estructura

#### • **Estructuras de hormigón:**

- Incorrecta disposición y anclaje de armaduras, sobre todo en uniones forjado-viga.
- Deficiencias en encofrados.
- Inadecuada puesta en obra de hormigones, por excesiva espera de hormigones preparados, densificación de armaduras, elevada relación agua-cemento...
- Fisuras de retracción en muros por falta de juntas, etc.



**Encofrado de una estructura de hormigón**

- **Estructuras de acero:**
  - Problemas de pandeo.
  - Abolladura.
  - Estabilidad durante el montaje.
  - Adecuada ejecución de las soldaduras y tolerancias de medidas que puedan producir colapsos estructurales.

➤ Terremotos. El comportamiento del edificio frente a un terremoto depende de factores como:

- La **simetría**. Un edificio simétrico (en cuanto a rigidez de materiales, distribuciones de huecos, etc.) se comporta mejor que uno asimétrico.
- El **tipo de estructura**. Estructuras rígidas (muros, etc.) hacen frente a las solicitaciones debidas a un sismo por medio de su alta resistencia a la deformación y transmisión de carga sísmica a través de su rigidez. La desventaja es que no presentan movilidad ni ductibilidad, dando lugar a grietas. Las estructuras de acero hacen frente a las solicitaciones soportando grandes deformaciones, por lo que las uniones también las soportan.

En general el comportamiento de las estructuras de acero es mejor que las de hormigón, puesto que no se desploman rápidamente ante un exceso de esfuerzos. Además, sus condiciones pueden ser mejoradas por medio de un refuerzo de la armadura. Al producirse un exceso de esfuerzos suele fallar el hormigón, con el riesgo de un posible derrumbamiento total.

- El **tipo de cimentación**. Cimentaciones profundas (pilotes, etc.) presentan mejor comportamiento que las superficiales (zapatas, losas, etc.). Aunque en terrenos blandos las losas pueden tener un buen comportamiento en cuanto al sismo, el riesgo de asentamientos es mayor que en el caso de cimentaciones como pilotes.
- El **tipo de suelo**. Un terreno de roca sana responde mejor a los efectos de un terremoto que en el caso de ser un suelo arenoso y saturado de agua o rellenos artificiales.
- Una **mala ejecución, mala calidad de materiales, etc.** también se manifiestan en caso de terremoto.

- Vientos. El viento es un aspecto que debe tenerse en cuenta en la construcción de edificios, adquiriendo especial importancia en el caso de edificios de gran altura.

Factores como la ubicación, forma (las fuerzas del viento se distribuirán de forma más irregular cuanto más irregular sea el edificio), aberturas en la parte inferior de la edificación o la existencia de edificios colindantes, influyen en la acción del viento sobre el edificio, acelerando la velocidad del viento, o suscitando turbulencias que producen un aumento de la presión eólica sobre éste, pudiendo ocasionar daños a los elementos estructurales y sus conexiones.

El viento puede producir el levantamiento de elementos más ligeros, y este fenómeno adquiere mayor importancia durante la fase de construcción.

La normativa de diseño de edificios frente a las cargas ejercidas por el viento varía dependiendo de la región. Esta normativa considera las fuerzas del viento como cargas estáticas. Sin embargo, en estructuras muy altas también están implicados los efectos dinámicos producidos por las oscilaciones en cuanto a dirección y fuerza que presenta el viento (ráfagas, vibraciones, efectos de vórtice, etc.). Estos efectos generan solicitaciones de gran magnitud.

Otro posible efecto que se debe considerar en edificios de cierta altura es el fenómeno de la resonancia (cuando la frecuencia del viento coincide con la frecuencia natural del edificio), ante el cual el edificio responde con vibraciones que pueden llegar a producir desde situaciones incómodas para el usuario -que pueden hacer que desaloje el edificio- hasta el derrumbamiento de la estructura.

- Otros riesgos:

- Terrorismo.
- Impacto desde el aire.
- Derribo. Éste precisa personal especializado. Al ser un proceso complejo requiere alta tecnología, así como un estudio pormenorizado de qué sistema emplear, una buena planificación y el estudio de edificios colindantes por las posibles afecciones que el derrumbe podría producir en ellas.



**Derribo de una planta de un edificio**

- Pérdida de beneficio. En muchos casos, el propietario del edificio quiere destinarlo a uso para oficinas, por lo que de antemano tiene pactado su alquiler. Un retraso en la terminación de las obras puede suponer un perjuicio económico por pérdida de beneficios, a los cuales el propietario en ocasiones no podrá hacer frente.



## 2.2.4. PRINCIPALES RIESGOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE CANALIZACIONES SUBTERRÁNEAS

### Fases de construcción

Las fases que componen este tipo de obra son:

1. Instalación y acopio de materiales.

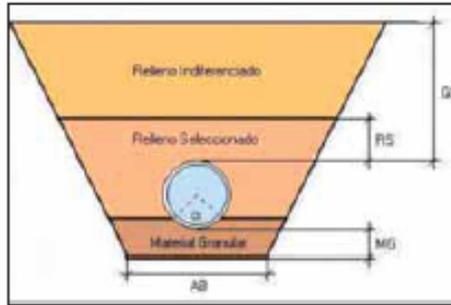


2. Replanteo.

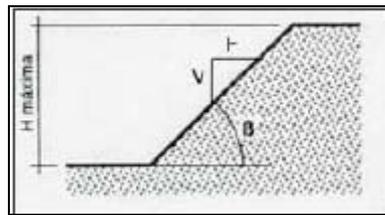
3. Movimiento de tierras. El trazado de las obras de conducción trata de adaptarse a la topografía del terreno natural, por lo que debe modificarse el perfil natural del suelo, siendo necesario en algunos casos rebajar las cotas cuando la cota de la conducción sea inferior al terreno original -lo que se denomina **desmontes**-, y, en otros casos elevarlas cuando la cota de la conducción sea superior a la del terreno original -lo que se denomina **terraplenes** o **rellenos**-. En todos los casos debe efectuarse lo que constituye propiamente un **movimiento de tierras**.



4. Excavación de zanja. Esta fase consiste en la excavación longitudinal cuya función primordial es la de contener canalizaciones de servicios y suministros. Debe calcularse y excavar la zanja de forma que asegure una correcta y fiable instalación de las canalizaciones.



En los márgenes de la excavación se originan los correspondientes **taludes**, los cuales se definen mediante su inclinación, valor generalmente expresado bien mediante la denominación H:V -indicando que por cada H metros en horizontal se eleva V metros en vertical- o bien en tanto por ciento -X% indica que por cada 100 metros en horizontal se elevan X metros en vertical-. La inclinación máxima de los taludes se calculará en función del tipo de terreno que atraviesa en cada momento (es decir, del ángulo de rozamiento interno del terreno). Así, terrenos rocosos permiten taludes más verticales (1:2 ó 1:3 -por cada metro horizontal se eleva 2 ó 3 metros-). Sin embargo, en terrenos compactos o fácilmente erosionables las pendientes de los taludes deben ser más tendidas (1:1 ó 2:1).



**Talud: H:V. Inclinación del talud**

Se considera peligrosa toda excavación cuya pendiente sea superior a su talud natural  $\beta$ , dato que se puede obtener del estudio geotécnico que acompaña al proyecto.

5. Fondo de zanja. Se excavará hasta la línea de rasante -sobre la que se apoya la conducción- siempre que el terreno sea uniforme (no queden al descubierto piedras, etc.), estable y tenga suficiente capacidad portante. En caso contrario, se deberá excavar por debajo de la rasante sobre la que se apoya la tubería para efectuar un relleno posterior (con arena suelta, grava, piedra machacada, etc.) compactado y regularización de la superficie.

6. Instalación de conductos:

- Transporte, manipulación y almacenamiento.
- Tendido de tubos.
- Unión de tubos.
- Anclajes y apoyos.
- Drenajes. Durante la instalación puede producirse estancamiento de agua o recorrido de venas de agua por el fondo de la zanja, lo que puede ocasionar desprendimiento del fondo de la zanja o la flotación de la conducción. Para evitar estas situaciones de riesgo se debe prever, en el caso de que la cota del nivel freático esté por encima del fondo de la zanja, la eliminación de agua por medio de drenes que permitan evacuar el agua hasta que el tubo haya sido instalado y rellenado la zanja hasta la altura suficiente.



**Transporte de tubos. Juntas de unión**

7. Relleno de zanja y compactación. Se debe rellenar la zanja una vez instalada la tubería compactando el terreno para evitar los asentos.



## 8. Reposición de firmes.



## **RIESGOS**

### **Riesgos durante la construcción**

- Desprendimiento, corrimientos de tierras en los taludes y asentamientos de tierras debidos, entre otras causas, a:
  - Deslizamiento de taludes debido a fenómenos atmosféricos o a una mala determinación del talud necesario.
  - Meteorización del terreno. Los terrenos se disgregan y pueden perder su cohesión bajo la acción de los elementos atmosféricos, tales como la humedad, sequedad, hielo o deshielo, dando lugar a hundimientos.
  - Falta de protección del talud. Por ejemplo, los derivados de fallos de funcionamiento de alguno de los elementos que componen la entibación, dimensionada para unas ciertas cargas máximas previsibles. Los materiales que hayan de acopiarse, los productos de la excavación que no hayan de retirarse de inmediato, las máquinas, camiones utilizados, etc., pueden presentar un problema de sobrecarga que puede dar lugar al mal funcionamiento de la entibación.
  - La existencia de tráfico rodado puede transmitir vibraciones, dando lugar a desprendimientos de tierras en los taludes.
  - Longitud y tiempo de frente abierto. Las zanjas abiertas están muy expuestas a los riesgos de la naturaleza. A mayor longitud más se agrava el riesgo al someter una mayor extensión de zanja abierta y durante un mayor tiempo a las inclemencias del tiempo.
  - Falta de capacidad portante y estabilidad del fondo de la zanja al no tomarse las precauciones necesarias.
  - La compactación de los materiales de relleno se realiza por tongadas (capas de pequeño espesor). Una deficiente compactación puede provocar hundimientos del terreno derivadas de un mal apoyo.

- Riesgo de lavados de finos (migración de finos). En terrenos con nivel freático alto, en condiciones saturadas, los finos del relleno o del fondo de la excavación pueden migrar al suelo vecino del fondo de las zanjas o paredes y viceversa. Cualquier migración o movimiento de las partículas de una zona a otra puede originar asentamiento del terreno y pérdida de apoyo necesario o del soporte lateral del tubo, o ambos.
- Riesgo de erosión de laderas por falta de las medidas protectoras necesarias (redes, muros, etc.).
- Riesgo de daños a las tuberías por golpes (abolladuras, fisuras, roturas, etc., debiendo ponerse especial cuidado en los bordes de las tuberías) y deformaciones causadas por mala sujeción o elevación durante la instalación de la tubería (transporte, manipulación, almacenamiento en obra y tendido) y compactación del relleno de la zanja.
- Riesgo de entrada de algún elemento (agua, lodo, tierras, animales, etc.) en las tuberías instaladas en la zanja en las ocasiones en que dicho tramo de tubería deba dejarse cierto tiempo expuesto.
- Riesgo derivado de la soldadura de las juntas, en el caso de ser necesario.
- Riesgo de fisuras o roturas, fugas o mal funcionamiento de las tuberías en caso de ejecución incorrecta de la unión de las juntas y colocación de la tubería sobre apoyos.
- Riesgo de movimiento de tuberías. Un inadecuado apoyo o anclaje, las largas distancias de tramos entre apoyos consecutivos, etc., pueden producir, en situaciones tales como inundaciones, etc., movimientos y flotación de las tuberías.

#### **Riesgos posteriores a la puesta en servicio de la canalización producidos durante el periodo de mantenimiento**

- Hundimiento del terreno debido a la migración de finos, mala evacuación de las aguas, un mal cálculo en proyecto, o errores durante la construcción.
- Daños y/o mal funcionamiento de las tuberías derivados de un mal diseño en el proyecto o errores en la construcción (mala ejecución de la unión de juntas, mala ejecución de anclaje de tuberías, etc.).
- Daños consecuenciales de errores de diseño durante la fase de proyecto.
- Daños consecuenciales de errores durante la fase de construcción.

## **Riesgos de la naturaleza**

- Lluvias extraordinarias, avenidas o inundación de agua (niveles freáticos elevados, infiltraciones, escorrentías superficiales, aguas subterráneas, fugas de otras tuberías existentes, etc.).
- Vientos huracanados, terremotos o movimientos de tierras, que puedan afectar a las operaciones de tendido y colocación de las tuberías.

## **Otros riesgos**

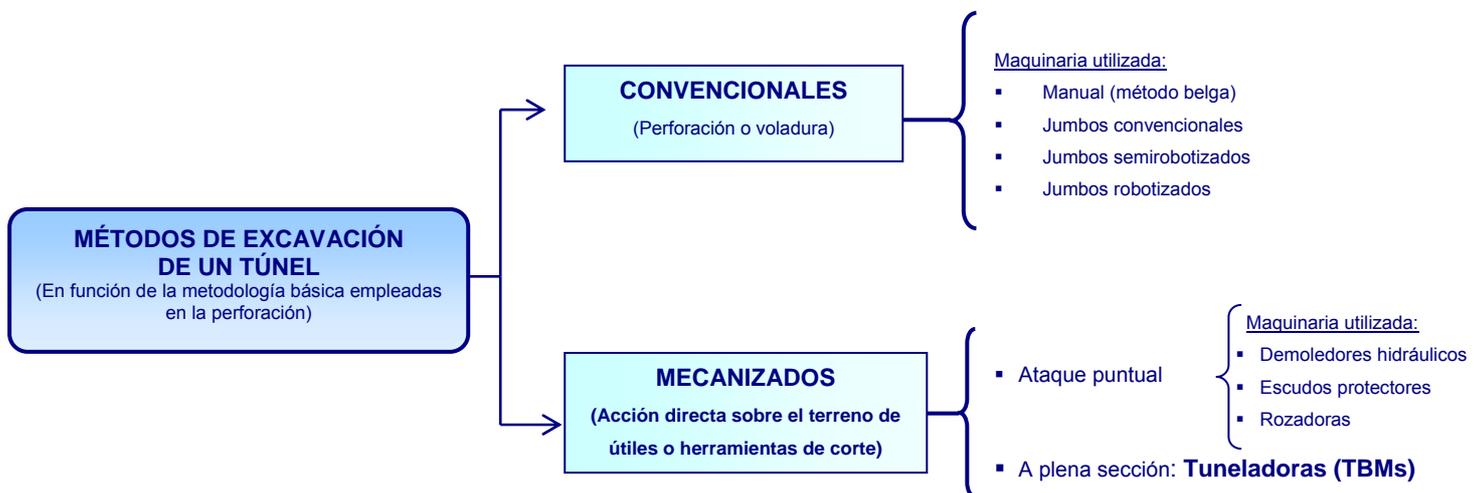
- Actos malintencionados.
- Robos.
- Incendio provocado por operaciones como soldaduras, etc.
- Colisiones, choques de vehículos, etc.
- Caída de materiales de obra (de tuberías durante su manipulación y tendido; de maquinaria, etc.), de piedras, materiales sueltos, etc.
- Daños a terceros durante la ejecución: caídas, vuelcos, atropellos de máquinas, derrumbes de terreno, problemas de inundaciones, desplome de edificios colindantes, rotura de canalizaciones en servicio, los efectos de la voladura que pueden provocar daños en obras preexistentes, contactos eléctricos, intoxicación o explosión al interceptar conductos de gas, etc.



## 2.2.5. PRINCIPALES RIESGOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES EJECUTADOS CON TUNELADORAS

Los trabajos de construcción de túneles consisten básicamente en ejecutar una estructura, el túnel, en el interior de formaciones naturales del terreno. A consecuencia de la heterogeneidad del terreno a atravesar (roca dura, roca blanda y suelos), de las limitadas dimensiones y accesibilidad al frente de trabajo y de las posibles afecciones (roturas, filtraciones, etc.) que puede ocasionar en su entorno (edificios colindantes, etc.), se plantea una problemática que implicará que se aplique el procedimiento de excavación que mejor se adapte al terreno en función de sus características y comportamiento (inestabilidad, abrasividad de la roca, etc.).

En consecuencia, el éxito en la construcción de un túnel se deberá a procedimientos de trabajo que permitan la obtención de unos rendimientos adecuados, manteniendo la estabilidad general del entorno afectado.



La excavación mecanizada logra esos objetivos, consiguiendo altos grados de mecanización y automatización del proceso mediante el sucesivo desarrollo de nuevas máquinas con nuevas tecnologías y la ayuda de técnicas constructivas complementarias.

Dentro de los procedimientos mecanizados de excavación de un túnel, el sistema de tuneladoras ofrece mayores posibilidades de desarrollo y expansión en comparación con otros métodos convencionales de excavación.

Este sistema de excavación consiste en la utilización de máquinas denominadas tuneladoras, conocidas habitualmente por las siglas en inglés TBM (*Tunnel Boring Machine*), integrales en tanto que son capaces por sí solas de excavar el túnel a sección completa (en general, la sección de la excavación es circular) a la vez que colaboran en la colocación de un sostenimiento provisional o definitivo para garantizar la estabilidad de la excavación, a la vez que retiran los escombros. La máquina avanza dejando detrás de sí el túnel terminado.

No existe una tuneladora “universal” que sirva para todo tipo de terreno. Por tanto, las tuneladoras deben adaptarse a las características del terreno y, según sea su comportamiento geotécnico, pueden presentar diferencias que se reflejan en el diseño y en las operaciones de la máquina.

Las tecnologías básicas a aplicar en función del tipo de terreno se pueden dividir en dos grandes grupos: **tuneladoras de roca dura (topos)** y **tuneladoras de rocas blandas o suelos (escudos)**. Durante los últimos años se han desarrollado modelos que podrían denominarse máquinas mixtas, al combinar elementos de los modelos mencionados con anterioridad.



## **RIESGOS**

El empleo de tuneladoras mejora la seguridad, aunque esto no significa que estemos exentos de riesgos. Aún con TBMs, la construcción de un túnel es una obra dinámica, en la que siempre ocurren imprevistos.

Además, se ha de tener en cuenta que se trata de una máquina de alto coste y que es un prototipo diseñado para responder a las necesidades de un terreno con determinadas características. Una inadecuada elección, el mal diseño de la tuneladora o un equipo humano no especializado en su manejo supone un fracaso, puesto que una vez comenzada la obra no se pueden realizar cambios en la máquina. En caso de atrapamiento, los trabajos de liberación son lentos, difíciles y peligrosos, y provocan paradas durante meses. Esta situación puede suponer, en algunos casos, un coste tan elevado que haga que el sistema deje de presentar ventajas. Por tanto, la versatilidad de las máquinas debe tenerse en cuenta en el momento de elegir las.

Para hacer una selección correcta de la tuneladora resulta imprescindible tener un conocimiento preciso y a tiempo de las características del terreno a atravesar para una definición correcta de dicho terreno, de tal modo que podamos establecer todas las medidas que prevengan la aparición de tipos de suelos imprevistos y evitar peligros que afecten tanto al equipo humano como a los medios técnicos.



**Corona (o clave) de una excavación subterránea. Terreno diaclasado**

No hay que olvidar que el trabajo se desarrolla bajo tierra (ambiente subterráneo), y además existe desplazamiento a medida que excavamos. Es por ello que se pueden presentar riesgos tanto durante la ejecución de la obra como una vez terminada. Así, en el estudio del terreno se deben tener en cuenta factores como:

- Posibilidad de asentamientos que pueden suponer un colapso del túnel, por lo que se intenta que por encima de éste haya suficiente montera.
- Posibilidad de presencia de agua que pueda suponer problemas en la excavación, como por ejemplo derrumbes.
- Pérdida de terreno que hace que en ocasiones aparezcan chimeneas.
- Bloqueo de la tuneladora en el terreno.
- La dureza y abrasividad de las rocas se traducen en una reducción importante del rendimiento y un aumento considerable del mantenimiento de la máquina. Por ejemplo, la reposición de los discos de corte que -debido a la abrasión del terreno- se desgastan con mayor facilidad. A consecuencia de ello, el procedimiento deja de ser económicamente rentable o incluso inviable.
- Presencia de gases.
- Posibilidad de producirse un incendio. Este riesgo se incrementa en túneles de gran longitud, y puede mitigarse si se van construyendo a la vez las necesarias vías de emergencia.
- Imposibilidad de realizar tratamientos del terreno desde el interior del túnel.



Las tuneladoras son máquinas complejas, que requieren para su manejo y buen funcionamiento de un equipo humano especializado que pueda sacar el máximo provecho de la tuneladora y tenga capacidad de reacción sobrada para encontrar soluciones a todos los problemas e imprevistos que puedan surgir.

El mantenimiento de una tuneladora es muy elevado, pero se compensa con el aumento del rendimiento que la utilización de ésta supone frente a otros métodos de excavación. En ocasiones, y debido a circunstancias ajenas a la excavación en sí, pueden producirse riesgos financieros (fundamentalmente Pérdida de Beneficio) debido a un retraso en la obra por problemas tales como aumento del tiempo invertido en recambios, atrasos logísticos y de abastecimiento, mantenimiento, etc. Por ejemplo, la tuneladora necesita ser abastecida de forma continuada con energía eléctrica, y un retraso en la logística del proceso supone largos tiempos de parada de la excavación por razones ajenas a la obra, que además pueden suponer un riesgo financiero.

La rutina en la tarea puede suponer un inconveniente, al olvidar el personal los riesgos presentados en el entorno de trabajo.