

# ANÁLISIS DE RIESGOS EN OBRA CIVIL TRANSFERENCIA AL MERCADO ASEGURADOR

Santiago Ortega Espinosa

**FINALISTA DE LA VI EDICIÓN**

PREMIO INTERNACIONAL DE INVESTIGACION EN GERENCIA DE RIESGOS JULIO SÁEZ



**ager**s

Asociación Española  
de Gerencia de  
Riesgos y Seguros

# ANÁLISIS DE RIESGOS EN OBRA CIVIL TRANSFERENCIA AL MERCADO ASEGURADOR

**Santiago Ortega Espinosa**

Finalista de la VI Edición. Premio Internacional  
de Investigación en Gerencia de Riesgos  
Julio Sáez.

**ISBN:** 978-84-09-21518-8  
**Depósito Legal:** M-16367-2020  
**Copyright:** DEP637344743364710499  
**Nota Legal - Copyright**

© 2020 AGERS, España. Todos los derechos reservados. Los contenidos de este trabajo (textos, imágenes, gráficos, elementos de diseño, etc.) están protegidos por derechos de autor y por las leyes de protección de la propiedad intelectual. La reproducción o divulgación de sus contenidos precisa la aprobación previa por escrito de AGERS y sólo puede efectuarse citando la fuente y la fecha correspondientes.

# SOBRE EL AUTOR

## SANTIAGO ORTEGA ESPINOSA

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos e Ingeniero Técnico de Obras Públicas por la Universidad Politécnica de Madrid (UPM).

50 años de experiencia profesional desarrollando su actividad en empresas de Ingeniería del Terreno y en el Sector Asegurador donde estuvo 28 años ligado al grupo Swiss Re, además de su faceta académica como:

Profesor Asociado de Universidad (UPM y Universidad San Pablo CEU, Escuelas de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos y Arquitectura respectivamente).

Profesor en el Swiss Insurance Training Center (SITC).

Profesor en AGERS, CEPREVEN, ICEA e INESE.

Colaborador asiduo en Cursos, Seminarios y Conferencias.

Co-Autor del Tratado Técnico Jurídico de la Arquitectura publicado por Editorial Aranzadi.

Participante activo en el desarrollo de la Ley de Ordenación de la Edificación.

Miembro de la Junta Directiva de la Mutua de Previsión Social del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Perito Judicial y Analista de Riesgos en Edificación y Obra Civil, desarrollando programas formativos y de evaluación.

Inició su carrera profesional en 1970 en empresas ligadas con estudios Geotécnicos y Cimentaciones Especiales, pasando al Sector Asegurador en 1981 al integrarse en el Grupo Swiss Re, donde ocupó la Dirección de diferentes Departamentos: Risk Management, Ingeniería, Siniestros, Special Lines y Contingency, representando a dicho Grupo en el Comité Técnico del Pool Español de Riesgos Medioambientales.

Desde el año 2009, realiza labores de asesoramiento técnico en el aseguramiento de obras civiles, realizando informes periciales en procesos judiciales y colaborando activamente en la organización de cursos especializados.



# PREÁMBULO

Sin ninguna duda la Obra Civil es motor de la economía de cualquier país desarrollado y sus Carreteras, Vías de Ferrocarril y Aeropuertos, que vertebran el sistema de transporte, sus Puertos que permiten el intercambio mundial de mercancías, sus Presas y Obras Hidráulicas que potencian los sistemas de abastecimiento de agua, de regadíos y de generación hidroeléctrica, y sus Infraestructuras Urbanas que hacen más fácil nuestra vida en la ciudad, son una muestra inequívoca del desarrollo logrado y de su integración en la economía global en la que nos vemos inmersos.

Sin ninguna duda también, la seguridad de las mismas es vital para nuestra supervivencia y los daños catastróficos que sus fallos pueden acarrear hacen que sean necesarios amplios conocimientos técnicos para su proyecto, construcción y conservación, desde la ingeniería del terreno hasta las diferentes estructuras, con la singularidad de que no puede haber nunca dos obras iguales al variar, al menos, la ubicación, los materiales y la mano de obra.

Por otra parte, su exposición a fenómenos de la naturaleza e incluso su contribución al desarrollo de grandes catástrofes, hace necesario y muy complejo el análisis de riesgos, labor esta que va desarrollándose poco a poco y muchas de las veces «a toro pasado», cuando vivimos pérdidas humanas y materiales que nos obligan a actuar para intentar minimizar en el futuro los daños anteriormente sufridos.

El Sector Asegurador también ofrece su contribución como base de datos sobre siniestros y causas en riesgos que han sido transferidos, y en consecuencia la unión de las bases técnicas de la Ingeniería y el Seguro, constituyen una perfecta simbiosis para colaborar en la mejora de nuestra sociedad intentando evitar en lo posible el riesgo futuro e incierto, el cual, lamentablemente, nunca puede evitarse.

Con estas bases se desarrolla este Libro que espera ser un grano más de arena que ayude a conformar la montaña precisa para el correcto Análisis de Riesgos en la Obra Civil, y ayude también a conocer las posibilidades de Transferencia que el Sector Asegurador ofrece tanto a promotores, públicos o privados, como a técnicos, constructores y usuarios finales.

# HISTORIA

Oí un día decir a mi buen amigo Gonzalo Iturmendi, que «si te mueres sin enseñar lo que sabes, no ha servido para nada» y esa pequeña frase se me quedó grabada, hasta el punto de que me ayudó a preparar una serie de cursos para todo aquel que estuviera interesado en el análisis de riesgos en obra civil.

Comencé mi andadura profesional hace más o menos 50 años y desde entonces he tenido la oportunidad de trabajar, sin un solo día de baja, en sectores tan diferentes como la Ingeniería del Terreno, el Seguro y la Enseñanza Universitaria, cóctel que, con una buena dosis de sentido común, permite ofrecer un producto muy particular y que espero pueda servir de ayuda para los jóvenes que empiezan su carrera profesional y para los no tan jóvenes que estén abiertos a compartir experiencias.

El Sector Asegurador ofrece sin duda una gran variedad de acciones formativas, sin embargo todo aquello relacionado con la Obra Civil, se considera marginal, “muy de especialistas” y sin un interés general, lo cual se intenta paliar con este Libro, donde el trabajo en obra, la gran enseñanza extraída de los innumerables siniestros tratados y el poso de rigor que deja la enseñanza universitaria, fraguada en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid y en el Politécnico Superior de la Universidad San Pablo CEU, Escuela de Arquitectura, me permiten abordar este reto con la mayor humildad pero al mismo tiempo con la mayor ilusión.

Se trata pues de poner negro sobre blanco, y con ayuda de documentación gráfica, una serie de vivencias que, a lo largo de estos 50 años de vida profesional, me han permitido un pequeño conocimiento sobre los riesgos en obra civil, lo que, unido a los desarrollos de coberturas aseguradoras para estudiar su transferencia, constituyen el objeto de esta Publicación, crítica en algunos puntos, y que espero pueda servir para compartir conocimientos.

Si la misma es capaz de prevenir un solo siniestro, habrá valido la pena.

## AGRADECIMIENTOS

Sería injusto no agradecer a todo el Sector Asegurador la oportunidad que me dio en su día de trabajar en un mundo tan apasionante, donde los conocimientos técnicos se entremezclan con la enseñanza de los inicios, permitiendo un aprendizaje continuo y variado, susceptible además de transmitirse entre los distintos riesgos, al poder recomendar acciones tendentes a evitar la repetición de experiencias pasadas.

Mi agradecimiento también a las dos Escuelas que me introdujeron en la Ingeniería Civil, primero la de Ingenieros Técnicos de Obras Públicas y posteriormente la de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, ambas de la Universidad Politécnica de Madrid, que me mostraron el camino, a veces duro, de un aprendizaje tutelado por excelentes profesionales donde la teoría y la práctica, abrían el camino para el posterior desarrollo profesional.

A todos los que han confiado en mi persona para la organización de Cursos y Seminarios, a la Universidad Politécnica de Madrid y a la Universidad San Pablo CEU que me abrieron sus aulas para impartir enseñanzas y que a su vez me permitieron aprender de los alumnos con el contacto diario, a los que se me acercaron para pedir mi modesta opinión para el análisis de riesgos y en general a todos aquellos con los que he compartido viajes, jornadas de trabajo y experiencias que han contribuido sin duda a la materialización de esta Obra.

Por último pero no lo menos importante, a mis padres Vidal y Ascensión, que emigrantes de un pequeño pueblo riojano, sacrificaron gran parte de su vida para que yo pudiera alcanzar lo que ellos, para sí mismos, no habían podido ni siquiera soñar, a mi mujer Rosa, que aguantó estoicamente los años compartidos de mi trabajo como Ingeniero Técnico de Obras Públicas con mis estudios de Ingeniería de Caminos y a mis hijos Rebeca y Santiago que también tuvieron que soportar viajes, preocupaciones y a veces sinsabores, pero que han hecho mi vida mucho más fácil.

Agradecer también a todo aquel que tenga la paciencia de leer este Libro, su tiempo y su dedicación, sintiéndome correspondido si al final, como es mi deseo, encuentren alguna utilidad para el desarrollo de su vida profesional.

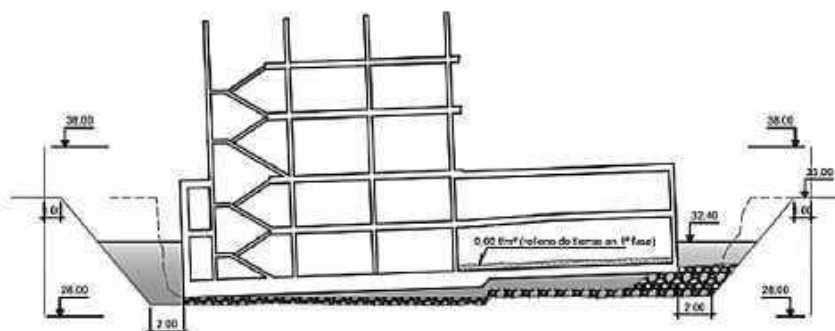
# ÍNDICE

1. EL RIESGO EN OBRA CIVIL. CONCEPTOS GENERALES .....	13
2. LA INGENIERÍA DEL TERRENO COMO PARTE DE TODA OBRA CIVIL .....	19
3. FENÓMENOS DE LA NATURALEZA Y SU REPERCUSIÓN EN LA OBRA CIVIL .....	43
4. ANÁLISIS DE RIESGO EN OBRAS CIVILES .....	49
4.1. Elementos Comunes. Cimentaciones y Muros de Contención .....	49
4.2. Obras Lineales. Carreteras, Ferrocarriles, Canales y Transporte por Tubería .....	66
4.3. Obras Hidráulicas: Presas. Balsas de Riego y Abastecimiento. Diques Mineros .....	91
4.4. Puertos .....	101
4.5. Ingeniería Sanitaria .....	110
4.6. Edificaciones Singulares .....	113
5. MAPA DE RIESGOS Y SU EVALUACIÓN .....	117
6. TRANSFERENCIA DE RIESGOS AL SECTOR ASEGURADOR .....	125
6.1. Seguro de Todo Riesgo de Construcción .....	127
6.2. Cobertura de Obra Civil Terminada .....	143
6.3. Seguro Decenal de Daños a la Edificación .....	147
6.4. Coberturas de Responsabilidad Civil. Explotación. Patronal, Cruzada, Profesional y Productos .....	151
7. LOS SINIESTROS COMO APRENDIZAJE .....	157
8. IMPORTANCIA DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN EL PROYECTO .....	161
9. DETERMINACIÓN DEL SINIESTRO MÁXIMO POSIBLE E INSPECCIÓN DE RIESGOS .....	165
10. EPÍLOGO Y DECÁLOGO .....	183
11. DOCUMENTACIÓN RECOMENDADA .....	185

# 1. EL RIESGO EN OBRA CIVIL. CONCEPTOS GENERALES

«Si algo puede salir mal, saldrá mal». Esta, que se considera como la Primera Ley de Murphy y que se conoce igualmente en su versión de «Todo lo que pueda pasar, pasará», es la máxima que debe imperar cuando nos enfrentamos al análisis de riesgos, sobre todo cuando estudiamos obras civiles y edificaciones.

Después de más de 40 años de profesión, me encontré con una estructura convertida en un barco, hecho no infrecuente cuanto estudiamos el efecto de la subpresión de acuerdo con el Principio de Arquímedes y que tenemos muy encuenta, normalmente, al estudiar el comportamiento global de cualquier obra bajo nivel freático, pero difícil de ver en la realidad diaria.



**Figura 1.1.** Levantamiento diferencial por efecto de subpresión

*Fuente:* Informe Pericial del Autor

El problema que refleja el esquema anterior se produce con una diferencia de nivel freático respecto a la base de la solera del edificio que apenas alcanza los dos metros de altura, y que queda compensado con el peso de una losa de hormigón armado de 50 cm y la estructura del edificio, al menos con dos forjados en la zona más desfavorable.

¿Qué pasó entonces para que se produjera un levantamiento diferencial función del distinto peso estructural y del empuje hidrostático?

Sencillamente, la obra se realizó con una excavación inicial en artesa, rebajando el nivel freático durante la construcción de la losa de cimentación y los muros perimetrales realizados con encofrado a dos caras, generando un recinto estanco y permitiendo posteriormente que el nivel freático, ya sin achique, alcanzase su cota natural.





**Figura 1.2.** Siniestro por subpresión

*Fuente: fotografía del Autor*

Sin embargo, y a raíz de fuertes lluvias y del desbordamiento del colector de pluviales que corría paralelo a la edificación, la artesa se llenó de agua y este efecto bañera generó un empuje ascendente superior al peso estructural de la zona de la edificación de solo dos sótanos, sin alcanzar el peso de la zona con plantas en altura en construcción, provocando el giro de la losa y finalmente su ruina funcional.

Partiendo por tanto de que el riesgo siempre existe, si tomamos el Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española podemos ver: **Riesgo es la contingencia o proximidad de un daño y también cada una de las contingencias que puede ser objeto de un contrato de seguro**, definiéndose la contingencia como aquello que puede o no puede suceder, y si sucede, tendremos un siniestro, es decir, la manifestación de ese riesgo aleatorio.

A la hora de analizar los riesgos, debemos sin embargo cuantificar los mismos y de esta forma hacemos su valoración como el producto matemático de la probabilidad de que se produzca un daño, por las consecuencias del mismo.

$$R = P \times C$$

Siendo:

P = Probabilidad de que se produzca un suceso

C = Consecuencias de dicho

El Riesgo de tener un accidente laboral leve en una obra es mayor que el de tener un accidente mortal ya que, aunque las consecuencias son mucho menores en el primer caso, su probabilidad es muchísimo mayor. Sin embargo, estaremos más preocupados por el segundo caso ante las consecuencias que el mismo puede conllevar, e incons-

cientemente tenderemos más a prevenir los accidentes mortales que a minimizar los accidentes leves, aunque su coste económico final sea superior.

Por este mismo motivo, tendremos más tendencia a transferir los riesgos de elevadas consecuencias, aunque su probabilidad sea baja, que los de alta probabilidad cuyo coste económico total puede ser alto, pero no así el individual. Valga como ejemplo el Seguro de Responsabilidad Civil Ilimitado, que prácticamente todos los conductores tenemos, y el Seguro de Todo Riesgo, que solo suscriben una parte de los mismos.

El Profesor de Economía de la Universidad de Yale Robert J. Shiller, publicaba en Expansión el 30 de enero de 2004 la siguiente reflexión:

***... «Para comprender completamente el riesgo debemos proyectar nuestra imaginación para pensar en todas las diferentes maneras en que las cosas pueden no funcionar, incluidos los elementos que no están en nuestra memoria reciente. Debemos protegernos contra falacias tales como pensar que un riesgo ya no existe sólo por-  
que durante décadas no ha mostrado su capacidad de causar daños».***

La televisión llena sus telediarios con incesantes noticias sobre inundaciones que en muchos casos suponen el arrastre de algunos coches y daños materiales en zonas ubicadas en las llanuras de inundación. Sin embargo, pocos recuerdan que, en 1962, Cataluña sufrió unas terribles riadas que causaron la muerte de casi mil personas, tal como refleja la noticia extraída de la web del Periódico ABC.



**Figura 1.3.** Hemeroteca de ABC

Habría que recordar también decenas de muertos en Valencia, Murcia, Biescas, País Vasco..., para ver que lo que ahora pasa no es nuevo y que la desinformación que se produce al convertir en noticias de primera página lo que simplemente es algo natural, conlleva a que olvidemos el riesgo «de verdad» que realmente tenemos en nuestra vida diaria.

Pero centrándonos en el tema de la Obra Civil, nos encontramos ante la posibilidad de riesgos bastante difíciles de evaluar ya que un simple motor de nuestros vehículos pasa innumerables controles en la cadena de producción y además se fabrica una serie ingente de ellos, todos con las mismas características. Sin embargo, en nuestro caso:

1. Cada proyecto es distinto del anterior encontrando siempre elementos diferenciales (suelo, clima, mano de obra...).
2. La innovación tecnológica es constante, tanto en maquinaria como en materiales.
3. La mano de obra es errática y poco cualificada en los niveles inferiores de la cadena.
4. El uso y mantenimiento no es, a veces, tan cuidadoso como la susceptibilidad que las mismas aconsejarían.

Y sin embargo las consecuencias que pueden acarrear fallos en infraestructuras son sin duda muy preocupantes. ¿Dónde están las ITV de las Obras Civiles?

Una Obra Civil tiene mucha similitud con una gran Orquesta donde el Proyecto se corresponde con la Partitura, el Proyectista con el Compositor, el Director de Obra con el Director de Orquesta, la Mano de Obra con los Músicos, los Materiales con los Instrumentos y el Jefe de Obra con el Regidor, teniendo algo en común que es el público, a la sazón el usuario, quien juzgará nuestro trabajo con aplausos o con pitos y donde además la Obra Civil juega con desventaja.

Es impensable que alguien se imagine dentro de la Orquesta Filarmónica de Viena a uno de sus músicos tocando de oído, pero ¿cuántos oficiales ferrallistas conocen la función del acero en el hormigón?, o ¿cuántos encofradores conocen el motivo por el cual es necesario dejar los recubrimientos?, o lo que es más importante, ¿cuánto personal cambia de trabajo simplemente por lo que en un momento determinado puede pagar la construcción?

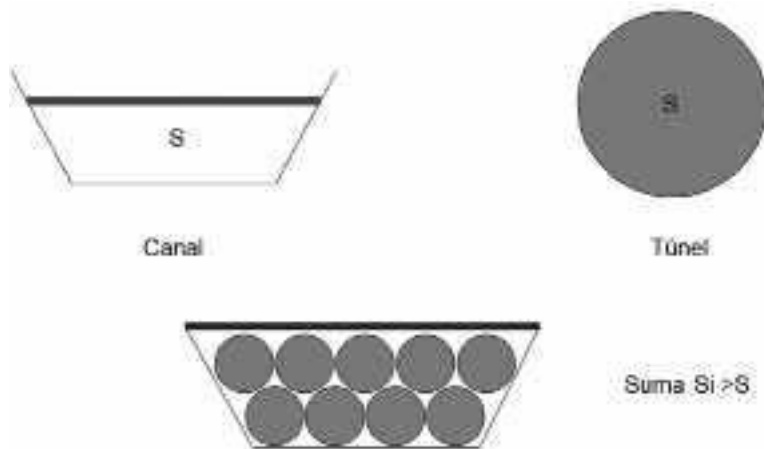
Para analizar correctamente el riesgo en Obra Civil podemos partir de un:

- Análisis determinístico. Basado en teorías científicas o formulaciones empíricas, con idéntico resultado si se parte de los mismos supuestos de partida, por ejemplo, corrosión.
- Análisis probabilístico. Basado en condiciones de probabilidad de ocurrencia de distintos escenarios de riesgo estimando sus consecuencias, por ejemplo, inundación.

- Análisis estadístico. Basado en la experiencia previa y en las estadísticas de accidentalidad que pudieran existir, por ejemplo, accidentes de trabajo.

Pero en todos los casos se precisan adecuados conocimientos técnicos y a poder ser respaldados por la experiencia, partiendo siempre de lo bueno y de lo malo, ya que los siniestros son fuente inagotable de enseñanzas sobre hechos que no deberíamos repetir.

Recuerdo al efecto que, durante los trabajos de construcción de una Gran Presa, se decidió colocar un pontón sobre el canal de desvío para aprovechar una superficie baldía y altamente conveniente para la instalación de laboratorios. Puesto que el resguardo del canal, de mucha mayor capacidad que el tramo del desvío en túnel, así lo permitía, se optó por esta solución ya que un puente se «comía», literalmente, el espacio.



**Figura 1.4.** Esquema de túnel y canal hidráulico

Lamentablemente, la solución no soportó la primera inundación, ya que una riada extraordinaria arrastra a su paso barro, ramas, piedras, troncos y cualquier material olvidado en el cauce, con lo cual, a las pocas horas el pontón generó la obturación del canal, el consecuente desbordamiento de la ataguía con el colapso de la misma al ser de materiales sueltos, la ruina de la obra realizada en la cimentación de la presa y también el colapso de la contrataguía, lo que produjo pérdidas millonarias, en las pesetas de entonces, e importantes retrasos en la ejecución de la obra.

Hay que mirar pues más allá de lo que parece simple desde el punto de vista técnico y analizar aquellas circunstancias que pueden acontecer, siendo la experiencia uno de los factores clave. Para ello hay que mirar bien y acordarse de lo que miramos.

Como un simple ejemplo puede preguntar el lector a su círculo de amistades cuántos arcos tiene la Puerta de Alcalá y a poder ser que la dibujen. Verán cómo se sorprenden con los resultados. Por si acaso no lo recuerdan bien, aquí está el original.



**Figura 1.5.** Puerta de Alcalá en Madrid

Por último, y para acabar este capítulo de conceptos generales, los riesgos podrán ser antrópicos, naturales e inducidos, y algunos de ellos serán evitables, otros controlables, muchos predecibles y en algunos casos inmanejables, lo que nos llevará a tener que dibujar un mapa de riesgos, con la premisa básica de que «si algo puede salir mal, saldrá mal». En consecuencia, debemos prepararnos para su minimización y posterior manejo con los medios que tengamos a nuestro alcance, lo que deberemos prever con los correspondientes Planes de Contingencia.



## 2. LA INGENIERÍA DEL TERRENO COMO PARTE DE TODA OBRA CIVIL

No hay ninguna obra civil que no tenga al terreno como apoyo de esta y por tanto dicho elemento se convierte, de facto, en uno de los factores de riesgo más importante, y a juzgar por los estudios de siniestralidad, en una de las principales causas de los daños imprevistos que se producen en las obras.

Ya el artículo 1591 del Código Civil recoge:

***El contratista de un edificio que se arruina por vicios de la construcción responde de los daños y perjuicios si la ruina tuviera lugar dentro de diez años, contados desde que concluyó la construcción; igual responsabilidad, y por el mismo tiempo, tendrá el arquitecto que la dirige, si se debe la ruina a vicio del suelo o de la dirección.***

Se equipara por tanto el vicio del suelo a cualquier otro vicio de proyecto o constructivo. Sin embargo, y a diferencia de los cálculos estructurales de cualquier proyecto donde el error humano puede estar presente, el suelo no tiene «vicios», ya que el vicio sigue estando en el proyectista que no ha sabido adecuar su obra a unas características del terreno que debería conocer en profundidad y que, lamentablemente, a veces no conoce.

Podemos resumir por tanto que el terreno que solemos llamar también suelo:

- Es inherente a toda obra civil y edificación.
- Es factor determinante para garantizar la estabilidad.
- Está íntimamente relacionado con la cimentación.
- No tiene vicios (los vicios parten en todo caso de la inadecuación de la estructura a las características del terreno).
- Precisa de un análisis previo que constituye el Informe Geotécnico.
- Necesita de conocimientos para analizar la interrelación suelo-cimiento.
- Es susceptible de mejoras.

El estudio y proyecto de cualquier cimentación como base de la obra exige, por un lado, un conocimiento previo de las características del terreno de apoyo y, por otro, la tipología de la obra prevista y del entorno donde se ubica. Estas características del terreno de apoyo se determinan mediante una serie de actividades que, en su conjunto, se denominan trabajos de campo y de laboratorio y cuyos resultados quedarán reflejados en el Informe Geotécnico que ha de reconocer la superficie ocupada con la

intensidad y profundidad suficientes como para tener un conocimiento de las características del terreno con una certeza razonable.

Aunque parezca mentira es complejo analizar la bondad de los estudios geotécnicos en cuanto al número de ensayos realizados sobre el terreno, ya que solo la experiencia del autor del estudio es capaz de adecuar las necesidades al objetivo final, siendo más importante su interpretación que la mera cuantificación previa.

Cuando era estudiante en la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid, después de haber terminado mis estudios de Ingeniería Técnica de Obras Públicas y llevar unos años de ejercicio pleno de mi Profesión en una empresa relacionada precisamente con la Ingeniería del Terreno, se resolvió un ejercicio de definición de trabajos de campo y laboratorio con dos soluciones distintas por dos profesores a cargo de distintos grupos de prácticas. Al preguntar por el motivo de las diferencias, la respuesta fue «es que XX los cobra y yo los pago».

Los dos eran excelentes profesionales y quizás los resultados del Estudio Geotécnico final no hubieran diferido mucho, pero si es cierto que, por desgracia, el tema económico prima a la hora de plantear las bases técnicas, lo que condiciona en muchas ocasiones el resultado final, el cual, reiterando lo dicho, dependerá principalmente de la experiencia y profesionalidad del Autor.

El Código Técnico de la Edificación en su Libro 3 de Seguridad Estructural. Cimientos, dice textualmente en el punto 3.1.6: **«La autoría del estudio geotécnico corresponderá al proyectista, a otro técnico competente o, en su caso, al Director de Obra y contará con el preceptivo visado colegial»**, punto con el que hay que manifestar discrepancias ya que ni el visado colegial representa ninguna garantía para la bondad del estudio, ni el Proyectista ni el Director de Obra tendrán en la mayoría de las ocasiones, los conocimientos y experiencia requeridos para la realización del Estudio.

El mismo documento culmina en su punto 3.4 «Confirmación del estudio geotécnico antes de la ejecución» con el siguiente párrafo: **«Una vez iniciada la obra e iniciadas las excavaciones, a la vista del terreno excavado y para la situación precisa de los elementos de la cimentación, el Director de Obra apreciará la validez y suficiencia de los datos aportados por el estudio geotécnico, adoptando en casos de discrepancia las medidas oportunas para la adecuación de la cimentación y del resto de la estructura a las características geotécnicas del terreno»**.

Este párrafo, criticado por el Autor de esta Monografía antes de la publicación del CTE, pone en manos del Director de Obra una responsabilidad que no debería asumir, ya

que ni tiene Rayos X en sus ojos para ver qué hay debajo del terreno excavado donde apoya la cimentación, ni probablemente los conocimientos necesarios para su interpretación.

Difícil tarea por tanto para analizar, desde el punto de vista del Riesgo, si el Estudio Geotécnico es o no adecuado y para ello solo es posible tener en cuenta:

- Que el CTE en su libro 3 Cimientos y en Capítulo 3. Estudio Geotécnico, establece los requisitos mínimos en cuanto a ensayos de campo y laboratorio, así como consideraciones a tener en cuenta para la redacción de dicho Estudio en Edificaciones.
- La Guía de Cimentaciones para Obras de Carreteras, editada también por el Ministerio de Fomento, aunque no es de obligado cumplimiento como el CTE, establece igualmente las directrices necesarias para un adecuado Estudio.
- La Norma ROM 0.5-05 Recomendaciones Geotécnicas para Obras Marítimas y Portuarias, es un compendio de conocimientos sobre Geotecnia y Cimientos utilizable no solo en Puertos, ya que puede extenderse a Obras Civiles en general.

Toda esta Normativa es de libre acceso en Internet y ayudará sin duda a la preparación técnica necesaria y sobre todo a poder evaluar la suficiencia de un Estudio Geotécnico, resumiendo seguidamente algunos fallos observados que igualmente permitirán un mejor análisis.

- Falta de cotas en los puntos de ensayo, lo cual puede motivar errores al determinar la cota de cimentación ya que, entre la fecha de realización del Estudio Geotécnico y la redacción del Proyecto, se han podido realizar excavaciones o rellenos que modifican la ubicación de la columna estratigráfica de los sondeos y penetrómetros.
- Escaso conocimiento del proyecto de la Obra a construir, siendo fundamental adecuar los reconocimientos de campo y laboratorio a las condiciones específicas de la misma.
- Insuficientes puntos de reconocimiento y escasa profundidad del terreno investigado respecto al bulbo de tensiones de la cimentación.
- Errores de aplicación a todo tipo de terrenos de formulaciones específicas para terrenos determinados, con formulaciones empíricas para el cálculo de asentos sin ensayos de laboratorio que los soporten.
- Excesivo uso de ensayos de compresión simple, por su menor precio, para la evaluación de la carga de hundimiento, así como falta de ensayos edométricos para el cálculo real de asentos o de hinchamiento en suelos expansivos.
- Empleo de Ensayos Lambe que proporcionan únicamente información cualitativa sobre el grado de expansividad de las arcillas, para cuantificar presiones de hinchamiento.
- Falta de información para el cálculo de empujes y de estabilidad de taludes, tanto en suelos secos como saturados.

- Recomendaciones ambiguas sobre la cimentación sin tener en cuenta toda la capa de terreno que puede verse afectada por la misma, con falta de conocimientos estructurales de algunos técnicos que realizan estudios geotécnicos.
- Abundancia de información repetitiva que, a veces, o no sirve de nada o nada tiene que ver con el estudio en sí, culminado con un intento de eludir responsabilidades con «el carácter puntual» o «el seguimiento necesario» a veces válido si el informe es correcto o inútil si es incorrecto.

Para ayudar al especialista en Evaluación de Riesgos, el cual no tiene necesariamente que ser especialista en suelos, se pasa seguidamente revista a una serie de conceptos prácticos que pueden desarrollarse con más profundidad con bibliografía especializada.

En primer lugar, los diferentes trabajos de campo para reconocimientos normales del terreno consisten en:

- Prospección geofísica.
- Calicatas.
- Sondeos mecánicos.
- Pruebas continuas de penetración estática o dinámica.
- Ensayos de placa de carga.
- Penetrómetros SPT, Presiómetros, Pruebas de Permeabilidad y Toma de Muestras en el interior de sondeos.
- Colocación de tubos piezométricos para el control del Nivel Freático.

En cuanto a los ensayos de laboratorio hay que destacar:

- Identificación organoléptica sobre las características de las muestras.
- Humedad y Densidad (seca, natural y saturada).
- Granulometrías y Límites de Atterberg, para determinar la conformación del suelo y su grado de plasticidad.
- Contenido de materia orgánica, sulfatos y carbonatos.
- Resistencia, deformabilidad y expansividad, mediante ensayos edométricos, cortes directos o triaxiales.
- Porosidad y permeabilidad.

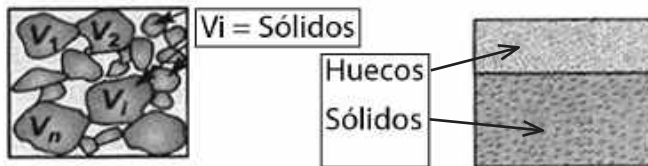
En base a los trabajos de reconocimiento en campo y a los ensayos de laboratorio tendremos un conocimiento de las muestras que nos permitirán entrar en el estudio del

terreno existente, aplicando los conocimientos que nos brinda tanto la Mecánica de Suelos como la Mecánica de Rocas.

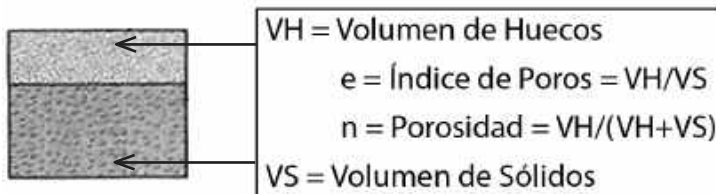
Si tomamos por ejemplo el perfil norte sur de la Comunidad de Madrid, nos encontramos con terrenos graníticos al Norte que por la acción de la nieve, las heladas, la lluvia y el viento se van alterando constituyendo depósitos con mayor o menor proporción de finos, arenas de miga y toscos, que van sufriendo transformaciones químicas variando por completo la geomorfología con las margas yesíferas del sur de la capital, encontrando gran cantidad de rellenos antrópicos a consecuencia de los procesos urbanísticos de las ciudades.

Es muy distinto por tanto ubicar la Obra Civil que normalmente se extiende por lugares poco poblados y en gran extensión como carreteras o ferrocarriles y que igualmente atraviesan terrenos diferentes, con obras urbanas y edificaciones que ocupan muy probablemente suelos cuaternarios correspondientes a llanuras de inundación de los sistemas fluviales en el que se asientan las ciudades. No obstante, hay una serie de conceptos básicos que nos ayudan a entender el comportamiento del terreno.

El suelo en general se conforma con una serie de partículas de distintas características geomorfológicas y de distinto tamaño, cuyos huecos están rellenos por aire o agua en distintas proporciones y que podríamos simplificar agrupando en el mismo volumen todos los sólidos y todos los huecos.



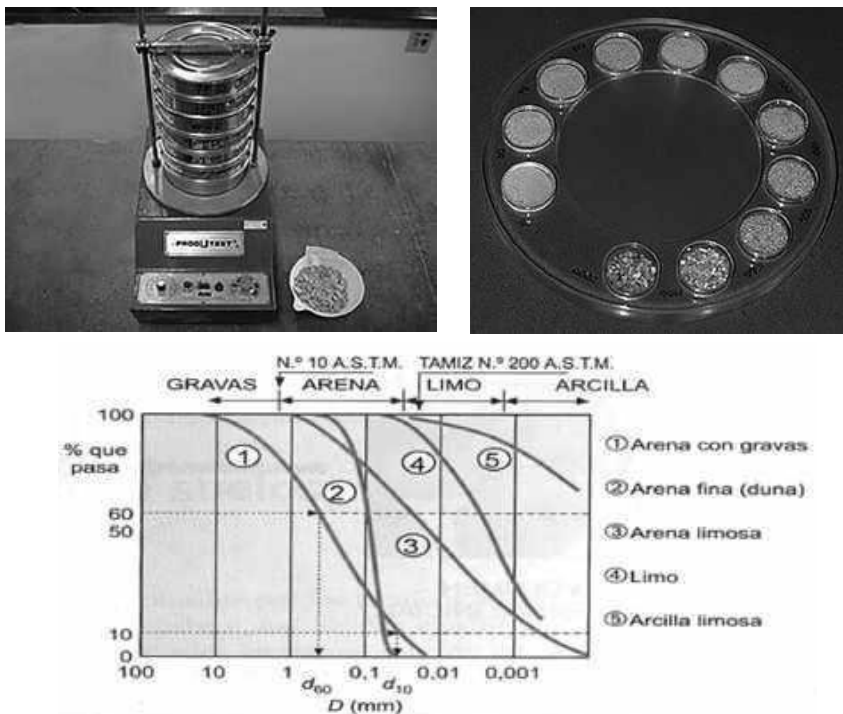
Con este simple esquema podemos obtener dos valores de gran importancia para entender la consolidación de los suelos y el efecto que este proceso tiene en los asientos de las estructuras que colocan sobre los mismos.



**Figura 2.1.** Volumen de huecos y volumen de sólidos



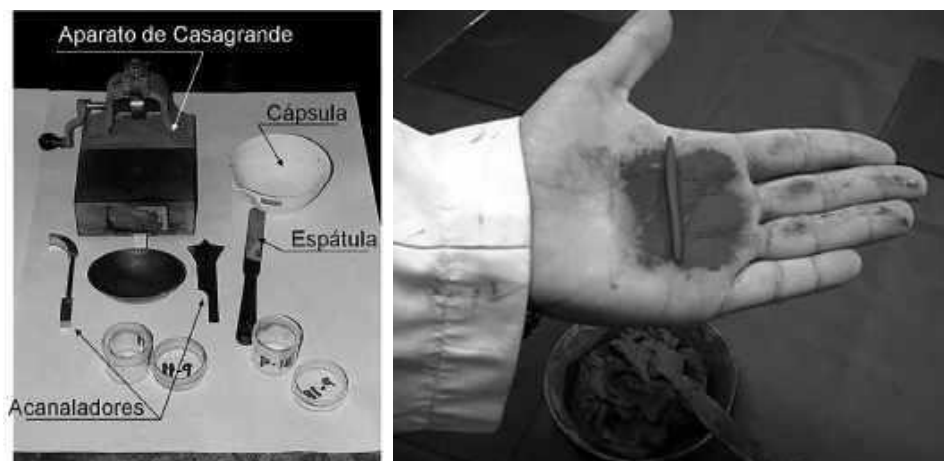
El tamaño de las partículas permite una primera clasificación en gravas ( $> 2 \text{ mm}$ ), arenas (entre  $2$  y  $0,06 \text{ mm}$ ), limos (entre  $0,06$  y  $0,002 \text{ mm}$ ) y arcillas ( $< 0,002 \text{ mm}$ ). El suelo se puede nominar también de forma combinada (gravas arenosas, arenas limosas, limos arcillosos, etc.), determinándose las proporciones mediante un sistema de cribas normalizadas que permiten obtener las correspondientes curvas granulométricas.



**Figura 2.2.** Curvas granulométricas de suelos ASTM

En un principio podemos pensar para nuestro análisis de riesgos que, cuanto más arcilloso es el terreno, mayores serán los problemas con lo que nos encontremos. Precisamente para analizar el comportamiento de la fracción fina del suelo se obtienen en laboratorio los límites de Atterberg que, de forma cualitativa, nos clasifican dicha fracción fina en función de los valores del Límite Líquido (LL) y del Índice de Plasticidad (IP) mediante el Gráfico de Plasticidad de Casagrande, valores que se obtienen amasando el suelo con agua y calculando su humedad en distintos estados:

- Límite líquido mediante el Aparato de Casagrande calculando la humedad cuando se cierra una hendidura realizada en la muestra con determinado número de golpes en la cuchara (fotografía izquierda).
- Límite Plástico calculando la humedad cuando se forman bastoncillos con la palma de la mano como los de la figura de la derecha.

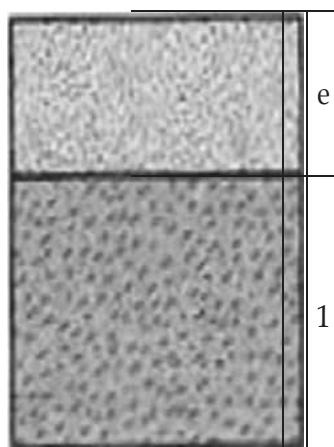


**Figura 2.3.** Carta de Plasticidad USCS

*Fuente:* Laboratorio UPM Caminos

Normalmente también, y de forma muy genérica, el terreno será peor entre la línea A y el valor 50 del LL (zona CH Arcillas de Alta Plasticidad), mejorará ligeramente en la MH (limos de alta plasticidad), y continuará la mejora en la zona ML (limos de baja plasticidad) y en la a zona CL (arcillas de baja plasticidad).

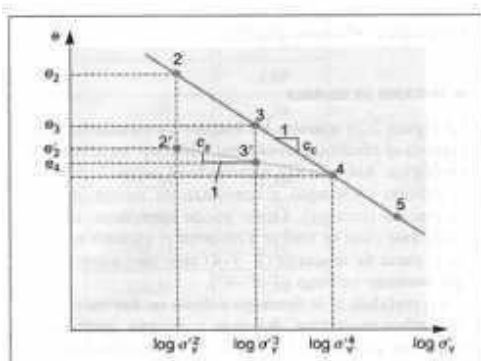
Otro punto de vital importancia para conocer el comportamiento del suelo es su capacidad para generar asientos baja carga constante, siendo para ello necesario partir del dibujo anterior:



**Figura 2.4.** Índice de poros de un suelo

«e» es lo que hemos denominado índice de poros, igual al volumen de huecos dividido por el volumen de sólidos y es obvio que si «apretamos» la muestra el volumen de sólidos permanecerá constante y lo que disminuirá será el volumen de huecos, permitiendo así calcular el asiento final del terreno, teniendo siempre en cuenta que el agua también es incompresible y para que se produzca el asiento el agua del terreno tendrá que ir desapareciendo lo que influirá en los tiempos de consolidación.

Si vamos incrementando presiones disminuirá «e» y, realizando las representaciones correspondientes en un gráfico semilogarítmico, tanto en el proceso de carga como de descarga, obtenemos los valores  $C_c$  y  $C_s$ , valores que se determinan en un aparato llamado Edómetro que va midiendo la variación del índice de poros según se van incrementando las presiones, pudiendo realizarse en condiciones drenadas y no drenadas.



$$e_2 - e_3 = c_c \times \log \frac{\sigma_v^3}{\sigma_v^2}$$

$$e_2 - e_3 = c_s \times \log \frac{\sigma_v^3}{\sigma_v^2}$$

**Figura 2.5.** Diagrama semilogarítmico tensión deformación

En estos conceptos básicos lo que nos interesa conocer es que es posible calcular los asentamientos esperados, así como los hinchamientos de suelos expansivos a través del ensayo edométrico, dependiendo del tiempo de consolidación del terreno y de su permeabilidad, definida esta como lo que tarda en desplazarse una partícula de agua en el terreno, midiéndose por tanto en dimensión de velocidad (m/seg).

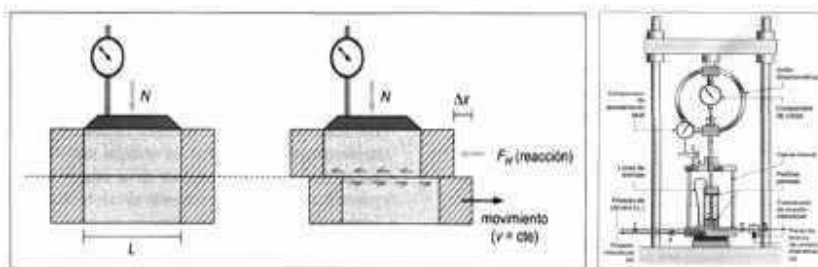
Cuanto mayor sea la permeabilidad, antes se generarán los asentamientos. Así, en gravas (coeficientes de permeabilidad  $k > 1$  cm/seg) estos serán prácticamente instantáneos ya que el agua no tardará nada en escapar al apretar el terreno y, sin embargo, en una arcilla (coeficiente de permeabilidad  $k = 10^{-8}$  cm/seg) el tiempo de consolidación se medirá en años, dependiendo también de las dimensiones del cimientado, de las presiones generadas y de la potencia del paquete de arcillas entre capas permeables. Un ejemplo llamativo para ilustrar el fenómeno de la consolidación lo tenemos en México DF, donde el asiento anual es centimétrico y obliga a curiosas medidas constructivas cuando la capacidad portante del terreno es inferior a las presiones que generan las grandes obras.

Por último, y para el cálculo de cimentaciones y estabilidad de taludes, es necesario conocer tres parámetros fundamentales: Densidad o Peso Específico, Ángulo de Rozamiento y Cohesión.

El Peso específico lo obtenemos como relación de Peso de la muestra dividido por el Volumen Total, siendo importante conocer:

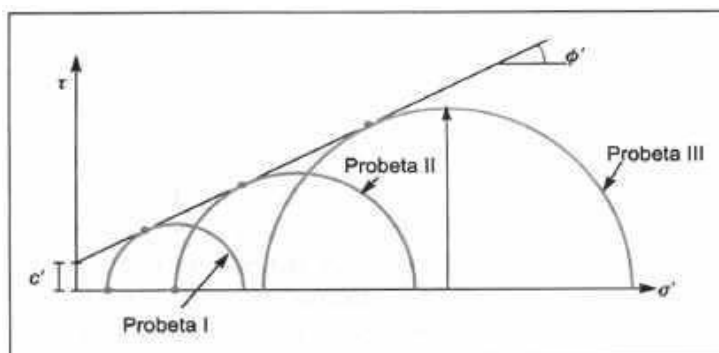
- Peso específico de las partículas sólidas, obtenido dividiendo el peso de las partículas sólidas por el volumen de sólidos y que suele estar entre 25 y 27 kN/m<sup>3</sup> (2,5 y 2,7 t/m<sup>3</sup>).
- Peso específico seco, obtenido dividiendo el peso de las partículas sólidas por el volumen total de la muestra, variable normalmente entre 13 y 19 kN/m<sup>3</sup> (1,3 y 1,9 t/m<sup>3</sup>).
- Peso específico saturado, obtenido dividiendo el peso de las partículas sólidas más el peso del agua ocupando en su totalidad el volumen de huecos por el volumen total, y que está comprendido normalmente entre 16 y 21 kN/m<sup>3</sup> (1,6 y 2,1 t/m<sup>3</sup>).

El Ángulo de Rozamiento es el ángulo de estabilidad del suelo y es mayor cuanto mayor es su granulometría, y la Cohesión es la cualidad por la cual las partículas del terreno se mantienen unidas en virtud de fuerzas internas, y normalmente es mayor cuanto más finas son las partículas, midiéndose en unidades de Fuerza / Superficie. Ambos valores se obtienen con los Ensayos de Corte Directo (fotografía izquierda) y los Ensayos Triaxiales (fotografía derecha).



**Figura 2.6.** Ensayo de corte y ensayo triaxial

En el primer caso se van calculando las tensiones tangenciales necesarias con distintos valores de la tensión normal, representando los resultados directamente y en el segundo se obtienen la representación mediante los círculos de Mohr.



**Figura 2.7.** Recta de Coulomb

Con estos valores obtenemos la recta de determina el criterio de rotura de Coulomb, que, como se ha comentado, nos permitirá calcular cimentaciones y deslizamientos:

$$\zeta = c' + (\sigma - u) \tan \phi$$

Siendo:

$\zeta$  = Resistencia al corte del terreno sobre un plano cualquiera.

$c'$  = Cohesión efectiva.

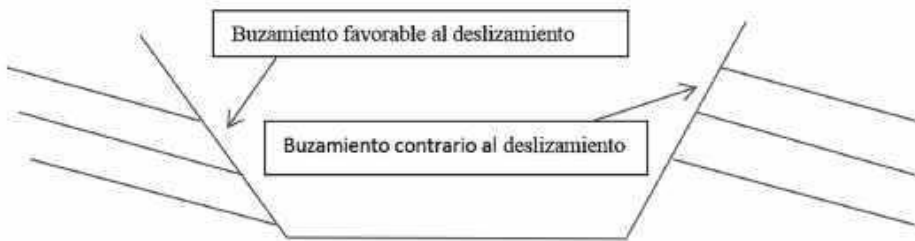
$\sigma - u$  = tensiones efectivas

$\phi$  = ángulo de rozamiento interno

**Figura 2.8.** Criterio de rotura de Coulomb

Con la información anterior conocemos los elementos básicos de la Mecánica de Suelos. Entrando sucintamente en la Mecánica de Rocas, mucho más compleja en cuanto a su comportamiento, interesa conocer para el análisis del riesgo algunos conceptos básicos.

Muy importante en la estabilidad de taludes en roca es conocer el buzamiento de los estratos, ángulo que forman con la horizontal los planos de estratificación del macizo rocoso tal como recoge el gráfico siguiente, ya que el comportamiento es muy diferente si la excavación se realiza a favor o en contra del buzamiento del terreno.



**Figura 2.9.** Comportamiento de una excavación frente a diferentes buzamientos

Además, pueden existir singularidades entre las que distinguimos como fundamentales las fallas y las diaclasas.

Las Fallas son roturas de la roca a lo largo de las cuales se han producido movimientos horizontales y verticales, generando planos de falla rellenos con material que se han ido integrando por la acción del agua o del viento, pudiendo alcanzar los desplazamientos de milímetros a metros.

Las Diaclasas son fracturas sin desplazamiento transversal detectable, es decir, solo hay un movimiento en el mismo plano, siendo frecuentes en todos los tipos de roca y variando de milímetros a centímetros, siendo menor, aunque también existe, el relleno de los intersticios.

En base a la resistencia a compresión de la roca, que puede variar entre 1 y 250 MPa, del RQD (Rock Quality Designation) obtenido tras la observación de los trozos mayores de 10 cm respecto al total de la perforación extraídos en un sondeo (y que suele figurar en los partes de ejecución de los mismos), de la separación entre diaclasas y de las características de las discontinuidades, Bieniawski desarrolló una clasificación objetiva del macizo rocoso que es seguido internacionalmente y que en su base se conoce como RMR (Rock Mass Rating). Aunque ha sido objeto de modificación por otros autores, en síntesis, nos ayuda para nuestra valoración de riesgos en base a las líneas finales de clasificación.

CLASIFICACION GEOMECANICA RMR (BIENIAWSKI, 1986)							
I	RESISTENCIA A LA MATRIZ ROCOSA IMPU	ROQ FOD DE CARGA PUNTUAL	I > 10	II-4	4-2	2-1	(CONFERENCIA) SIMPLE (4/10)
		CONEXION SIMPLE	<10	10-100	100-30	30-25	25-3
PUNTAJES			10	11	12	13	14
II	ROQ		00 % - 100 %	25 % - 50 %	50 % - 75 %	75 % - 100 %	<25 %
	PUNTAJES		30	37	43	49	55
III	SEPARACION DE DIACARA		> 2 m	0.8 - 2 m	0.2 - 0.6 m	0.06 - 0.2 m	< 0.06 m
	PUNTAJES		20	25	30	35	40
IV	ESTADO DE LAS DISCONTINUIDADES	LONGITUD DE LAS DISCONTINUIDADES	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m
		PUNTAJES	0	1	2	3	4
		ABERTURA	Nada	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm
		PUNTAJES	6	5	4	3	2
		REGULARIDAD	Muy Regular	Regular	Ligeramente Irregular	Irregular	Desregulada
		PUNTAJES	6	5	4	3	2
		RELLENO	Ninguno	Stiposo fino < 5 mm	Stiposo fino > 5 mm	Stiposo grueso < 5 mm	Stiposo grueso > 5 mm
		PUNTAJES	6	5	4	3	2
		ALTERACION	Intacta	Ligeramente Alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta
		PUNTAJES	6	5	4	3	2
V	AREA FRAGILIZADA	CAUDAL POR Hm DE TUNEL	Nada	< 10 l/min/m	10 - 25 l/min/m	25 - 125 l/min/m	> 125 l/min/m
		RELACION FRECUENCIA DE AGUATAMOR PRINCIPAL MAYOR	0	0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.3	> 0.3
		ESTADO GENERAL	Seco	Ligeramente Húmedo	Húmedo	Gravemente Húmedo	Agua Limpia
		PUNTAJES	10	9	8	7	6
CLASIFICACION		CLASE	I	II	III	IV	V
		CAUDAL	Muy Bajas	Bajas	Medias	Altas	Muy Altas
		PUNTAJES	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20

**Figura 2.10.** Clasificación de Bienawski del macizo rocoso (RMR)

Con estas ideas generales del terreno es más fácil enfrentarnos con el análisis de los problemas que puede conllevar en una obra. Aunque ha quedado claro que el suelo no tiene vicios, si es cierto que a veces:

- Es blando, lo que influye en su capacidad portante y en la generación de asentamientos.
- Es heterogéneo, con la problemática que conlleva para movimientos diferenciales dentro de la misma obra.
- Es metaestable, esto es, se mueve y lo hace tanto hacia abajo (asentamientos), como hacia arriba (expansividad).
- Es soluble, lo que provoca carstificaciones, principalmente tras la disolución de suelos calizos y yesíferos, estos últimos muy peligrosos al ser su resistencia mucho menor que la de las calizas.
- Es inestable, fenómeno muy importante capaz de generar simples deslizamientos en taludes o complejos deslizamiento de laderas.

Puede decirse también que el suelo es muy susceptible frente a fenómenos externos ya que:

- Se generan inestabilidades cuando se excava al lado.
- Es muy sensible a las modificaciones en el nivel freático.
- Puede colapsar si recibe cargas superiores a su capacidad resistente; incluso en terrenos con baja densidad seca ( $< 1,4 \text{ T/m}^3$ ) el colapso puede producirse por simple saturación (socavones).
- También responde negativamente cuando se excava en su interior mediante túneles o galerías, generando subsidencias que se reflejan por asientos de la superficie.
- Puede degradarse químicamente por contaminación del propio suelo o de sus acuíferos.
- Susceptible de importantes modificaciones si se rebaja artificialmente el nivel freático mediante pozos de extracción de agua, en caso de no disponerse filtros que eviten el arrastre de sus partículas más finas (lavado de finos).

La conjunción de uno o varios factores negativos conlleva normalmente problemas internos que lamentablemente se transmiten a las estructuras que descansan sobre ellos, siendo frecuentes:

- Problemas de asientos, totales o diferenciales e incluso colapsos estructurales, cuando se realizan cimentaciones sobre rellenos, siendo en este caso necesario un control exhaustivo de su compactación, con tongadas que se sitúen en el entorno de 30 cm y con realización de pruebas de carga sobre las mismas, existiendo un error clásico cuando se analiza la bondad del relleno en base a alcanzar entre el 95% y el 100% de la densidad obtenida mediante los ensayos Proctor Normal o Modificado, ya que lo único que sabemos es que se ha obtenido la mejor compactación que se puede obtener con ese terreno, sin que signifique que necesariamente que sea bueno.
- Asientos diferenciales cuando se realiza la cimentación en suelos heterogéneos o en capas compresibles con diferente potencia, lo cual distorsiona la estructura y causa grietas o fisuras en tabiquería. Normalmente se forman a  $45^\circ$  con la punta superior hacia la zona que ha sufrido el asiento.
- Hundimiento de suelos blandos si se sobrepasa su tensión de rotura. El problema de hundimiento va asociado a los asientos del terreno que al ser limitados nos llevan a la tensión admisible. Es muy importante determinar el bulbo de tensiones para saber en qué manera puede afectar a distintos estratos, lo cual se analizará al estudiar el riesgo en distintas tipologías de obra.
- Deformabilidad ya sea por asiento o por expansividad, siendo importante en este caso determinar época idónea de construcción, ejecución de saneamientos y riego de jardines, plantaciones arbóreas, oscilaciones de nivel freático naturales o provocadas por el hombre, con el fin de mantener la humedad lo más constante posible.
- Colapsabilidad que produce asiento brusco si se inunda el terreno, independientemente de las cargas actuantes, hecho que se refleja muy frecuentemente en las



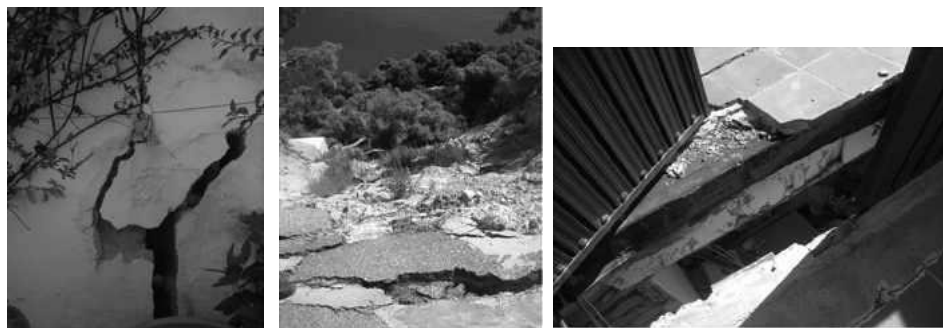
ciudades cuando se rompen colectores o tuberías de suministro que forman inmediatamente un socavón al saturarse el relleno.

- Carstificación con disolución de suelos resistentes, fundamentalmente calizas, capaces de generar estructuras abovedadas (cuevas), o de suelos blandos que generan, al no tener tanta capacidad resistente, el hundimiento superficial (dolinas).
- Erosión y desdensificación por lavado, arrastres o alteraciones del entorno, muy frecuentes cuando se realizan excavaciones rebajando el nivel freático o incluso se construyen pantallas para construcción de sótanos que generan un «efecto presa», desviando las escorrentías naturales.
- Deslizamientos, generalmente por excavaciones en pie de talud o construcciones sobre laderas inestables o en su límite de estabilidad, hecho este muy frecuente y difícil de prever ya que podemos estar observando durante un largo periodo de tiempo un talud estable, pero con coeficiente de seguridad próximo a 1, que se desestabilizará ante cualquier incidencia en el entorno. Lo curioso es que cuando los ingenieros calculamos con coeficiente de seguridad 1,5 como marca la normativa, se nos tacha de conservadores e incluso de ineptos.
- Subpresión con levantamiento de estructuras por empuje de agua, ya que un sótano estanco no deja de ser un barco sobre una bañera y el principio de Arquímedes se cumple de forma irrefutable.

Es conveniente, una vez vistos los problemas, ilustrar lo que ha sucedido para evitar que se produzcan nuevamente hechos similares en el futuro mediante algunos ejemplos gráficos.

## Deslizamientos

Comenzamos con un serio problema de deslizamiento de ladera que ha puesto en riesgo a una urbanización completa y cuya solución va más allá de reparaciones puntuales sobre viviendas más o menos afectadas, algunas en ruina total, ya que se precisa de una intervención conjunta que sea capaz de estabilizar la gran superficie afectada.



**Figura 2.11.** Efectos de deslizamientos de ladera

*Fuente:* fotografías tomadas por el Autor

Ya se puede observar que no se trata de simples grietas y el salto para poder entrar en una de las viviendas superaba los 60 cm, siendo por tanto necesario ser conscientes del riesgo que supone edificar en laderas cuya inestabilidad no haya sido minuciosamente estudiada, lo cual es siempre muy difícil debido a la heterogeneidad del terreno y, a veces, a su errático comportamiento.

## Rellenos

Otro riesgo importante es cimentar sobre rellenos, salvo que los mismos hayan sido realizados bajo unas condiciones constructivas muy precisas y se hayan realizado los pertinentes ensayos de compactación, lo cual no siempre está garantizado. En las fotografías que se adjuntan puede observarse una compactación superficial sobre un relleno más profundo que tardó en colapsar el tiempo necesario para que dicho relleno se saturase a consecuencia de los riegos del jardín y las lluvias más o menos extraordinarias.



**Figura 2.12.** Efectos de cimentaciones sobre rellenos mal compactados

*Fuente:* fotografías tomadas por el Autor

## Subpresión

La presencia de nivel freático hemos visto que produce, según el principio de Arquímedes, un empuje vertical ascendente igual al peso del fluido desalojado. Este hecho, siempre conocido, no es a veces solventado con la suficiente seguridad desde el punto de vista técnico. Si todo el edificio estuviera exento, sin ninguna coacción lateral, el edificio subiría o bajaría al igual que los barcos, al modificarse dicho nivel freático. Sin embargo, ocurre que si hay coacciones laterales por el empotramiento de las pantallas o el simple rozamiento de los muros con el terreno, puede pasar lo que refleja la siguiente fotografía, donde el movimiento de la zona central de la losa de cimentación respecto a sus bordes supera los 30 cm.



**Figura 2.13.** Efectos de la subpresión

*Fuente:* fotografías tomadas por el Autor

## Asientos Diferenciales

Mucho más usuales son los asientos diferenciales que se generan por asimetrías constructivas o por la heterogeneidad del terreno, lo que da origen a la fisuración de los elementos mas frágiles, como la tabiquería, marcando un ángulo de  $45^\circ$  y coincidiendo la zona donde se produce el asiento con la parte más alta de la fisura, reflejándose también en el descuadre de puertas y ventanas.



**Figura 2.14.** Efectos de asientos diferenciales

*Fuente:* fotografías tomadas por el Autor

## Arcillas Expansivas

Mención especial merece la existencia de arcillas expansivas que podemos definir las como suelos arcillosos cuya estructura mineralógica y fábrica les proporciona una capacidad importante de absorción de agua, con el consiguiente cambio de volumen.

El agua penetra entre las moléculas de la red cristalina, rompiendo o debilitando los enlaces y provocando un aumento de volumen. Si, posteriormente, se produce una desecación, el volumen disminuirá.

Este fenómeno ocasiona por tanto levantamientos si se satura el terreno o asentamientos si se deseca, siendo también los movimientos de tipo diferencial en función de las cargas actuantes y de la superficie de apoyo de la cimentación. En cualquier caso, es posible medir la presión real de hinchamiento en edómetro, inundando la muestra y controlando presiones, para el correcto dimensionamiento estructural.

Un fallo muy extendido es determinar la presión de hinchamiento mediante el ensayo Lambe, el cual es de tipo cualitativo y solo nos da una idea de la potencial expansividad en cuatro estadías: No Crítico; Marginal; Crítico, y Muy Crítico. En caso de resultados Crítico o Muy Crítico, es necesario determinar la presión de hinchamiento en edómetro, lo cual nos dará también una pista sobre la bondad o deficiencias de Estudio Geotécnico.

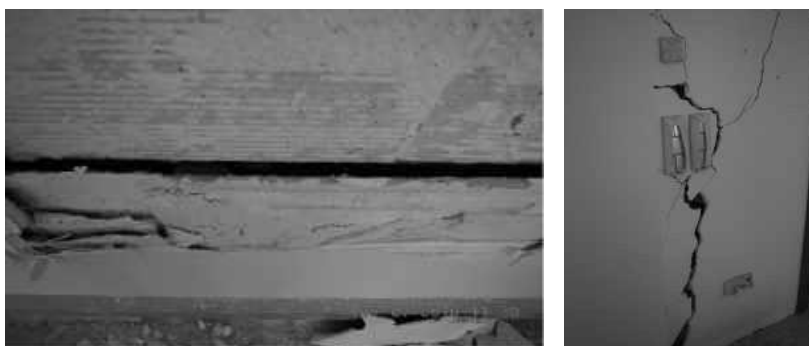
Lo importante para evitar problemas con arcillas expansivas es mantener la humedad natural del terreno, pudiendo observaren elsiguiente cuadro algunos parámetros que nos indican el grado de peligrosidad, y consecuentemente el riesgo que corremos al construir sobre ellas.

Grado	Expansividad	Finos (%)	Límite líquido	Índice Lámbbe (kPa)	Presión de hinchamiento (kPa)	Hinchamiento libre (%)
I	Baja	<30	<35	<80	<25	<1
II	Baja a media	30-60	35-50	80-150	25-125	1-4
III	Media a alta	60-95	50-65	150-230	125-300	4-10
IV	Muy alta	>95	>65	>230	>300	>10

**Figura 2.15.** Grados de expansividad y valores medios de parámetros geotécnicos

Un hecho muy interesante alrededor de este punto es la negativa influencia que algunas especies arbóreas tienen sobre cimentaciones en arcillas expansivas, ya que sus raíces penetran en el terreno absorbiendo humedad y generando por tanto su desecación, lo que es causa de asentos que posteriormente pueden invertirse en hinchamientos si dichos asentos provocan, por ejemplo, la rotura de colectores, destacando por su peligrosidad álamo, chopo, acacia, sauce y olmo.

Es muy importante por último tener en cuenta las dimensiones de la cimentación, ya que, al ser una presión, el empuje ascendente es directamente proporcional a la superficie y además cuanto mayor es la superficie más pequeña es la presión estructural que genera la edificación sobre la cimentación, siendo por tanto peor su comportamiento en losas o zapatas corridas. En las siguientes fotografías se observan los daños que se pueden llegar a producir.



**Figura 2.16.** Efectos de arcillas expansivas

*Fuente:* fotografías tomadas por el Autor

Aunque normalmente se consideran de especial riesgo las arcillas expansivas, no solo este efecto de expansividad debe centrarse en este tipo de terreno, ya que mucho más peligrosa es la anhidrita al absorber humedad y convertirse en yeso.

En la zona de la ciudad tarraconense de Montblanc, túneles del AVE Madrid Barcelona sufrieron gravísimos problemas al levantarse literalmente la contrabóveda y ser necesarios ímprobos trabajos para restituir la estabilidad, llegando incluso a detectarse movimientos ascensionales en viaductos que han hecho necesario el terraplenado del espacio entre pilas para protección del sustrato e incremento de peso.

La nueva carretera en construcción de Vals a Montblanc no ha tenido más remedio que recoger las negativas experiencias aprendidas del AVE y el túnel existente se ha dimensionado con sección circular en la zona de anhidritas y contrabóveda capaz de soportar tensiones de 6 MPa (60 kg/cm<sup>2</sup>), sustituyendo el viaducto existente en el mismo terreno por un terraplén de 50 metros de altura.

Dicho todo lo anterior, da la impresión de que casi tiene razón el Código Civil cuando menciona como Responsabilidad del Arquitecto o Ingeniero los «Vicios del Suelo» en su Artículo 1591, pero más que por vicios del suelo, por falta de profesionalidad del Técnico al no haber sabido conocerlo como se merece.

Además, el suelo es tan agradecido que vistos los problemas que puede presentar es susceptible de mejoras con técnicas tales como Sustitución de suelos, Precarga, Compactación dinámica, Inyecciones, Jet Grouting; Vibroflotación / Pilotes de grava, Pilotes de madera, Pilotes de compactación e incluso Congelación de suelos, conceptos que son seguidamente analizados.

## Cimentación sobrerellenos

Como norma fundamental para la minimización de riesgos deberían eliminarse los rellenos antrópicos en su totalidad bajo la base de cualquier obra civil o edificación, no

siendo suficiente estabilizar la capa superior ya que dejaríamos un riesgo latente que en cualquier momento podría «despertar». Por ello, la forma correcta de proceder es:

- Retirar sustratos inferiores de menor capacidad portante, sobre todo si se trata de rellenos antrópicos (vertidos por el hombre), a veces difíciles de distinguir ya que pueden proceder de excavaciones cercanas con similares características que el terreno natural.
- Buscar suelos de aporte seleccionados.
- Realizar la compactación por tongadas.
- Fijar un grado de compactación elevado ( $> 98\%$  Proctor), aunque se reitera que este ensayo solo proporciona la humedad óptima para alcanzar la mayor densidad sin que sea una etiqueta de que el terreno sea bueno.
- Pruebas de carga en sucesivas tongadas.
- Adecuación del cemento a las características del suelo mejorado.
- Adición en algunos casos de cemento o cal.

### Mejora de compactación mediante Precarga

Un método frecuente, sobre todo en la estabilización y compactación de terrenos ganados al mar, es la precarga, principio muy sencillo de entender ya que se trata de cargar el terreno con una sobrecarga superior a la que posteriormente tengan las obras civiles o las edificaciones y transcurrido el tiempo de consolidación, retirar sobrecarga e iniciar cimentación.

Se trata pues de una presión aplicada a la superficie donde se va a edificar antes de colocar la carga estructural, lo cual genera la disminución del índice de poros y el aumento consiguiente de la densidad, así como el incremento de la capacidad portante disminuyendo además los asentos. La precarga se realiza con la ayuda de rellenos de tierra o tanques de agua y permite acelerar la consolidación de suelos cohesivos blandos, siendo necesario estudiar previamente las características del suelo para calcular magnitud de asentos y tiempo estimado de consolidación.



**Figura 2.17.** Precargas

*Fuente:* fotografías tomadas de informes del Autor

Además de obras portuarias, es de aplicación para la mejora de terraplenes en obras lineales de larga duración, ya que es normal que los procesos de consolidación superen los dos años, pudiendo en este tiempo consolidarse los asientos mediante el incremento paulatino de la altura del terraplén.

## Compactación Dinámica, Inyección de Suelos y Vibrofolotación

Continuando con la mejora del terreno, intentando siempre disminuir el índice de poros e incrementar la consolidación del mismo, podemos aplicar la compactación dinámica, dicho en otras palabras aporrear el terreno con una maza con efecto doble de la compactación por presión y por la vibración que produce.

En realidad se trata de impactos de gran energía por caída libre de peso sobre el terreno, lo cual se realiza mediante la ejecución de una primera malla con mayor energía y separación entre puntos, y posteriores mallas secundarias con menores separaciones y energías de caída, siendo de mayor utilidad en suelos granulares permeables. En cualquier caso son necesarios estudios previos para el dimensionamiento y posteriores controles para analizar las mejoras conseguidas.



**Figura 2.18.** Compactación dinámica

*Fuente:* fotografías extraídas de la web de Menard España

Una técnica más sofisticada tanto en cuanto al conocimiento previo que se requiere, como por el tipo de maquinaria y materiales, la constituye la Inyección del terreno que se consigue mediante la introducción de materiales diversos, fundamentalmente cementos y silicatos, con aditivos y a presiones controladas para mejorar las características y el comportamiento del suelo, pudiéndose distinguir entre:

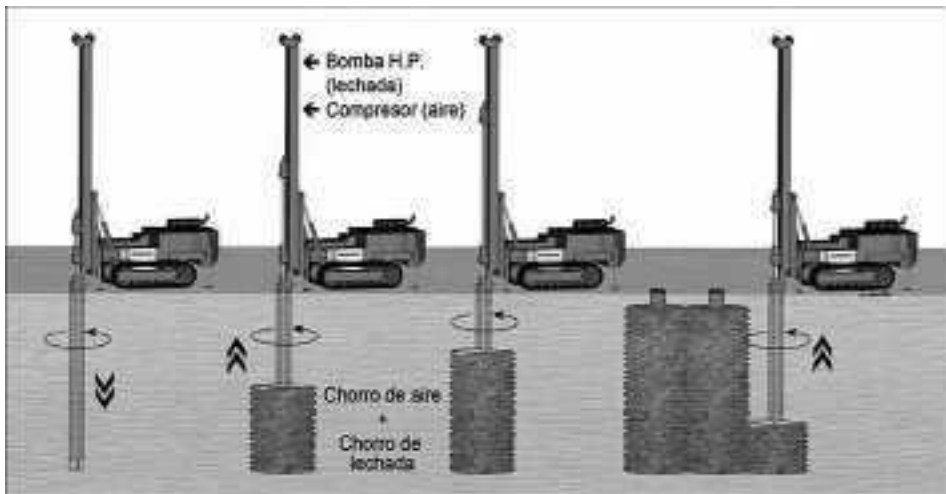
- Inyecciones de compactación, cuando se quiere conseguir el desplazamiento del terreno sin que sea necesario que el material inyectado se mezcle con él.
- Inyección de consolidación, relleno o impregnación, si lo que se desea es rellenar los poros o huecos del terreno.
- Inyección de impermeabilización para cierre de juntas o impermeabilización de suelos.

- Inyección de fracturación, cuando se produce la rotura del terreno por altas presiones y la posterior mezcla con el material inyectado.

Pueden inyectarse distintos tipos de mezcla: cemento-agua, morteros (cemento arena y agua), bentonita-cemento, cemento-silicato, suspensiones de arcilla, etc. Un amplio abanico que requiere de una muy considerable experiencia para definir las mezclas más convenientes en cada caso.

En 1979, tuve la ocasión de participar en un Proyecto Hispano Alemán para la construcción del Telescopio de la Loma Dilar en Sierra Nevada, donde, debido a los riesgos que provoca la zona sísmica en que se encuentra, era necesario una total compactación de la roca inyectando las fisuras existentes, fundamentalmente con morteros de cemento, arena y agua, consiguiendo finalmente que la admisión de agua, en perforaciones realizadas al efecto, con  $10 \text{ kg/cm}^2$  de presión fuese nula.

Una técnica de inyección a alta energía, todavía más sofisticada, la constituye el Jet Grouting, donde llega a romperse el terreno mezclándose con la lechada inyectada y formando una especie de pilote tal como se observa en la siguiente secuencia.



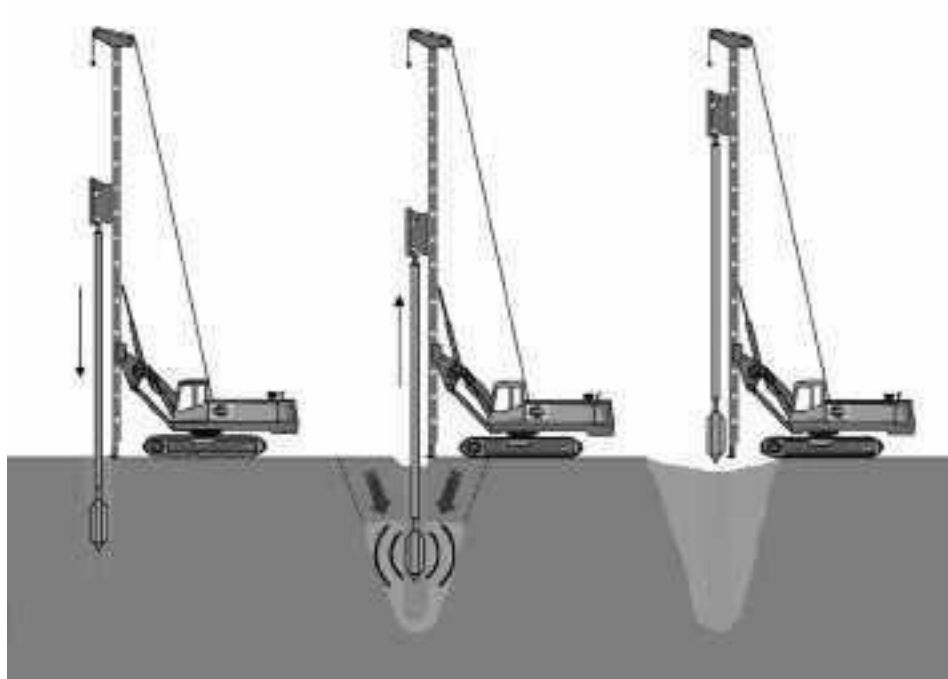
**Figura 2.19.** Jet Grouting

Fuente: fotografías extraídas de la web de Rodio Kronsa

Otra manera de compactar el suelo es la utilización de la Vibrocompactación, que consigue la densificación mediante vibración aumentando la capacidad portante y reduciendo asentamientos. Esta acción puede acompañarse de la introducción de grava en la perforación para compensar la pérdida de volumen, rigidizar el terreno y aumentar la permeabilidad.

Se ejecuta también mediante mallas con separación recomendable de 1,50 a 3 metros y diámetros en el entorno de 60cm, siendo igualmente necesario un control posterior.





**Figura 2.20.** Vibrocompactación

*Fuente:* fotografías extraídas de la web de Menard España

También existen técnicas de mejora mediante la ejecución de pilotes de compactación con tapón de gravas que aprieta el terreno y deja clavados estos elementos, técnica similar a la más rudimentaria de clavar rollizos de madera como una empalizada de pilotes que surte el mismo efecto, utilizadas en muchas ciudades antes de desarrollarse las cimentaciones profundas, por ejemplo en Calatayud, donde clavaban pino soria manteniéndose en buen estado la madera debido a un nivel freático alto y estable.

Incluso en trabajos muy singulares como en la Casa del Cordón de Burgos o en El Corte Inglés de Zaragoza, se utilizaron técnicas de congelación de suelos aunque en este caso no fuese tanto como mejora sino para permitir los trabajos bajo nivel freático, ya que una vez congelada el agua se permitía trabajar con seguridad por debajo de su nivel.

Por último también pueden utilizarse técnicas como microexplosivos con efecto similar a la vibración, y son usuales las estabilizaciones de suelos, con cal, cemento, escorias de alto horno e incluso productos bituminosos, técnicas que serán más desarrolladas al tratar el tema de conformación de terraplenes en obras lineales.

La gran ventaja que se observa en el estudio del terreno tal como se ha descrito en los párrafos anteriores, es la universalidad de nomenclaturas y criterios técnicos, que se

aplican igual en Madrid que en Sao Paulo. Como anécdota recuerdo la consulta que se me hizo para manifestar una primera opinión sobre las características del terreno donde se iba a construir un polígono industrial en la ciudad de Tianjin, China, y al recabar información solo se me facilitó un Estudio Geotécnico «EN CHINO».

Pues bien, la humedad también es W en chino, los SPT se transcriben de la misma manera, S sigue siendo sand y por tanto arena y C significa clay o lo que es lo mismo arcilla,... En resumen, puede, incluso en chino, interpretarse un estudio geotécnico, con una ligera ayuda para traducir la descripción de la estratigrafía y las recomendaciones correspondientes, que en mi caso recabé de estudiantes matriculados en la Escuela de Caminos con intercambios culturales.



### 3. FENÓMENOS DE LA NATURALEZA Y SU REPERCUSIÓN EN LA OBRACIVIL

Tanto en fase de ejecución como en fase de explotación, las obras civiles están particularmente expuestas a fenómenos de la naturaleza dada su ubicación «al aire libre». Por tanto la facilidad de que los fenómenos de la naturaleza afecten a las mismas es grande, analizándose aquí los riesgos de: Terremoto y Sunamis, Oleaje, Viento y Huracanes, Lluvia e Inundación asociada, Nieve, Hielo y Temperaturas extremas, y, aunque a veces mas por problemas antrópicos que por problemas de la naturaleza, los Incendios Forestales.

En sucesivos capítulos se analizará el comportamiento de las distintas Obras Civiles a estos Fenómenos. No obstante, es preciso fijar unas bases iniciales y algunos conceptos trascendentes para analizar los riesgos, sobre todo en cuanto a probabilidad de ocurrencia, ya que los riesgos de la naturaleza tienen un carater cíclico y se repiten con más frecuencia de la que deseáramos, distorsionando los datos reales los propios medios de comunicación cuando abren los telediarios anunciando como «noticia», temperaturas de 0º el 20 de Enero.

Es frecuente escuchar en casos extremos que «desde hace 30 años no se había producido algo similar», «no he visto en mi vida algo parecido» o «cuando yo era joven la nieve nos llegaba hasta la cintura todo el invierno, esto no es nevar». Por tanto es nuestra misión evitar afirmaciones subjetivas y centrar el estudio solo en bases técnicas objetivas que nos permitan en una primera estadía evaluar probabilidades.

Cuando en el año 1981 di mis primeros pasos en el Sector Asegurador, precisamente en el Departamento Risk Management del Grupo Swiss Re, había en el mercado asegurador, cláusulas tan incongruentes como: **«En ningún caso se considerarán garantizados los daños materiales ocasionados a los bienes asegurados por las influencias normales del clima»**. Obviamente había que preguntarse qué era normal y la subjetividad del término requería su objetivación, lo cual era factible introduciendo el concepto de Periodo de Retorno.

Sin ninguna duda, y a pesar de que se olvida con mas frecuencia de la deseada, el único dato fiable para evaluar las probabilidades de ocurrencia de fenómenos naturales, ya que se basa en soportes estadísticos e innumerables análisis matemáticos para su determinación, es el Periodo de Retorno, que podemos definir como el tiempo medio entre dos sucesos de idéntica o superior magnitud. Así, si decimos que el **Periodo de Retorno** para una precipitación de 54 mm en 24 horas en la ciudad de Madrid es de 10 años, quiere decir que dicha precipitación se repetirá con bastante probabilidad cada 10 años, pudiendo no obstante acaecer dos veces de forma casi consecutiva y estar 20 años sin volver a repetirse.

El Periodo de Retorno es un requisito fundamental para el dimensionamiento de las Obras Civiles, ya que un puente sobre un río debe garantizar que el caudal de agua con un periodo de retorno de 500 años pase sin ningún problema o, si así se decide, un dique de abrigo para un puerto debe garantizar su estabilidad frente a una ola de diseño con periodo de retorno por ejemplo de 1000 años.

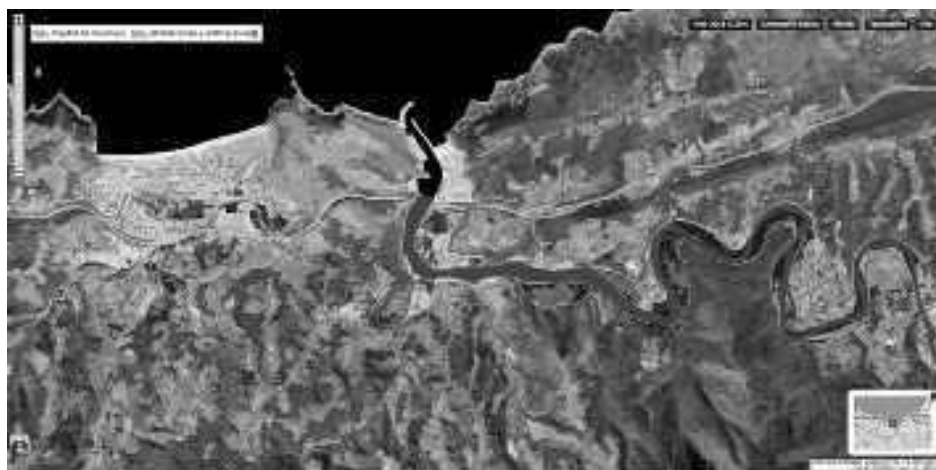
Es obvio que no se dispone de bases de datos que proporcionen registros de 500 o 1000 años. Pero, como se ha comentado, es posible mediante el conocimiento del comportamiento de caudales u oleajes en un más corto periodo de tiempo proyectar a futuro las previsiones mediante distribuciones como la de Gumbel (Emil Julius Gumbel 1891-1966). Por tanto hay fenómenos meteorológicos como la lluvia o las inundaciones asociadas que sin ningún género de dudas pueden determinarse probabilísticamente, y consecuentemente determinar con bastante fiabilidad si las lluvias caídas en un intervalo de tiempo superan las esperadas con un cierto Periodo de Retorno.

Afortunadamente disponemos de documentación que a nivel global nos alerta de los peligros de la naturaleza como por ejemplo el Mapa de Riesgos Naturales de Munich Re, de mapas que se circunscriben a países como los que ya hace muchos años publicaba el Instituto Geológico y Minero de España (ahora Instituto Tecnológico Geominero), e incluso de mapas locales como los Mapas de Peligrosidad y de Riesgo de Inundación de las Cuencas Internas del País Vasco, que se reproducen seguidamente.

Sin embargo, cada Obra Civil debe ser estudiada de forma pormenorizada, acompañando la información en los Anejos a la Memoria del Proyecto correspondiente, aunque nos basemos en cartografía existente.

Un factor importante a tener en cuenta es la interrelación del terreno con los fenómenos de la naturaleza, fundamentalmente terremoto e inundación, por lo que se consideran convenientes algunas observaciones al respecto.

Encuanto al terremoto, es muy importante la interacción «suelo-estructura» con gran influencia de los materiales que se encuentran entre la cimentación y el sustrato rocoso, lo cual puede provocar ampliación o amortiguamiento de las ondas y la modificación del espectro de respuesta, lo que da lugar a estudios puntuales de microzonificación en grandes ciudades ubicadas en áreas de alta sismicidad.



**Figura 3.1.** Ejemplos de mapas de Riesgos Naturales

Sin duda, el mayor problema en el comportamiento del terreno frente a sismo lo constituye la posible licuefacción de suelos, cuya explicación teórica es sencilla ya que en el capítulo anterior hemos visto que los cálculos de estabilidad se basaban en tensiones efectivas, es decir tensiones totales menos tensiones intersticiales por la acción del agua.

$$j' = j - u$$

Puesto que las ondas sísmicas provocan una aceleración «a» que se suma a la tensión intersticial, la expresión final bajo sismo se convierte en:

$$j' = j - u - a$$

Y si la suma de u y a es mayor que j, estaríamos en tensiones nulas con idéntico comportamiento que las arenas movedizas, provocando fenómenos como pérdida de

capacidad portante, asentamientos, desplazamientos laterales y deslizamientos, poniendo como ejemplo los colapsos estructurales que se produjeron en Niigata en 1975 o en el Puerto de Kobe en 1995.



**Figura 3.2.** Documentación gráfica en la web tras el terremoto de Kobe

Este fenómeno viene favorecido por la existencia de nivel freático alto, casi superficial, y con terrenos arenosos no plásticos y mal graduados. Por ejemplo Barcelona tendría exposición a licuefacción, mientras que Madrid sería muy difícil que sufriera el problema, realizándose estudios más en detalle en función de husos granulométricos, tensiones cíclicas y ensayos de penetración cuando se realizan microzonificaciones de ciudades como se ha comentado antes.

El suelo también tiene un comportamiento muy distinto cuando se encuentra seco o se encuentra saturado a efectos de deslizamiento de taludes y por tanto su influencia en la estabilidad de obras civiles frente a lluvias e inundaciones asociadas es muy importante.

En general, los suelos o rocas secas, salvo los de granulometría muy fina, son estables y con capacidad portante adecuada para las obras civiles, y es relativamente sencillo el dimensionamiento estructural si se parte de un adecuado conocimiento del terreno mediante un buen Estudio Geotécnico, siendo la saturación de agua de sus poros y la entrada de la misma por fisuras o diaclasas lo que suele ser causa de las inestabilidades que se producen, sobre todo en el caso de no haber considerado en los cálculos esta posibilidad de saturación.

La acción del agua en el terreno incrementa en primer lugar la tensión intersticial y en consecuencia, como venimos exponiendo, disminuyen las tensiones efectivas y además es posible que favorezca procesos químicos e incluso la disolución de parte de su matriz, como ocurre por ejemplo con las margas yesíferas del sureste de Madrid, provocando igualmente tensiones de arrastre y lavado de finos al circular por los intersticios naturales.

La tensión intersticial tiene siempre un comportamiento negativo disminuyendo el rozamiento entre partículas y las presiones efectivas, lo cual disminuye consecuentemente los coeficientes de seguridad necesarios para garantizar la estabilidad del te-

rreno y de las cimentaciones que descansan sobre él, pudiendo favorecer importantes subidas de nivel en zonas próximas a estructuras que generan una subpresión capaz por sí sola de arruinar estructuralmente una obra como hemos visto en puntos anteriores.

Puesto que existen normativas sismorresistentes, mapas de inundaciones, e incluso las estructuras pueden ser ensayadas a viento, con normativa específica también existente para establecer su velocidad de diseño, la misión para el analista de riesgos será la de comprobar que todo ello ha sido tenido en cuenta en proyecto y que por tanto su seguridad estructural está técnicamente estudiada, analizando comportamientos puntuales posteriormente.





## 4. ANÁLISIS DE RIESGO EN OBRAS CIVILES

### 4.1. Elementos Comunes. Cimentaciones y Muros de Contención

Antes de estudiar en detalle cada una de las tipologías de Obra Civil, se considera conveniente hacer un repaso de aquellos elementos estructurales que constituyen factor común en el Proyecto de las mismas, analizando los riesgos que conllevan y la forma de tenerlos presentes a la hora de su evaluación, considerando fundamentalmente las cimentaciones y los muros de contención.

Hemos hablado de la importancia del terreno (suelo) en toda obra y su interrelación con la estructura viene condicionada por la Cimentación, encontrando en el Diccionario de la Lengua las siguientes definiciones para la palabra Cimiento: «Parte del edificio que está debajo de tierra y sobre la que estriba toda la fábrica», y «Terreno sobre el que descansa un edificio».

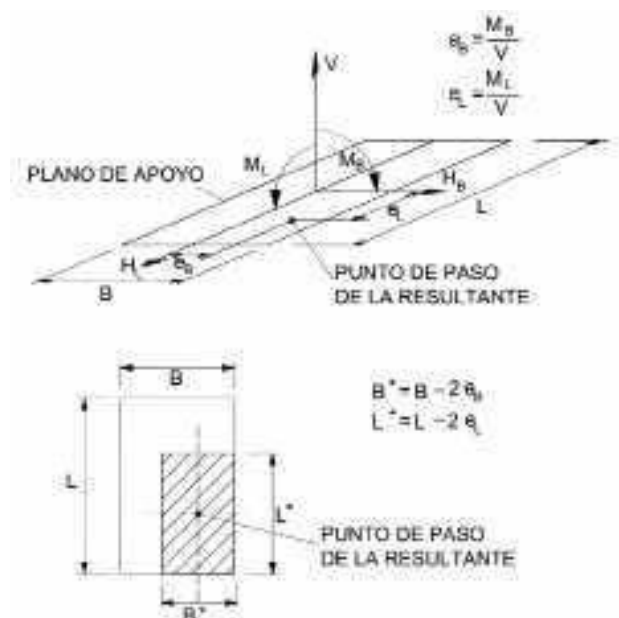
Habría que matizar que la cimentación no tiene necesariamente que estar debajo de la tierra, y que además hay alternativas de cimentación que no se encuadran totalmente en esta definición, por lo cual hacemos uso del Diccionario de la Construcción que define a los Cimientos como «Parte de una estructura normalmente debajo del nivel de la tierra que distribuye el peso de la estructura al suelo o a soportes artificiales».

En un primer análisis técnico, podemos clasificar las cimentaciones como:

- Cimentaciones superficiales
  - Zapatas
    - Aisladas
    - Combinadas. Emparrillados
    - Corridas
  - Losas
- Cimentaciones semiprofundas
  - Pozos
- Cimentaciones profundas
  - Pilotes
  - Micropilotes
  - Elementos portantes

Cuando el terreno presenta unas condiciones resistentes normales y las cargas estructurales son moderadas, lo usual es realizar una cimentación directa mediante zapatas

aisladas. Para su dimensionamiento se deben tener en cuenta tanto dichas cargas estructurales como obviamente la resistencia del terreno, pudiéndose utilizar el modelo de la zapata equivalente, previo centrado centrado de cargas.



**Figura 4.1.** Modelo de zapata equivalente

Fuente: Código Técnico de la Edificación. DB SE C Cimientos

No es objeto de esta exposición el dimensionamiento de las cimentaciones pero sí los riesgos intrínsecos a la misma, siendo necesario conocer la diferencia entre:

- Presión total bruta, definida como la carga total actuante incluyendo peso de la cimentación y acciones gravitatorias que actúan sobre ella, dividida por el área equivalente del cimiento.
- Presión total neta, equivalente a la presión total bruta menos la presión existente en el terreno antes de la excavación.
- Presión efectiva obtenida al tener en cuenta la presión intersticial (empuje hidrostático).

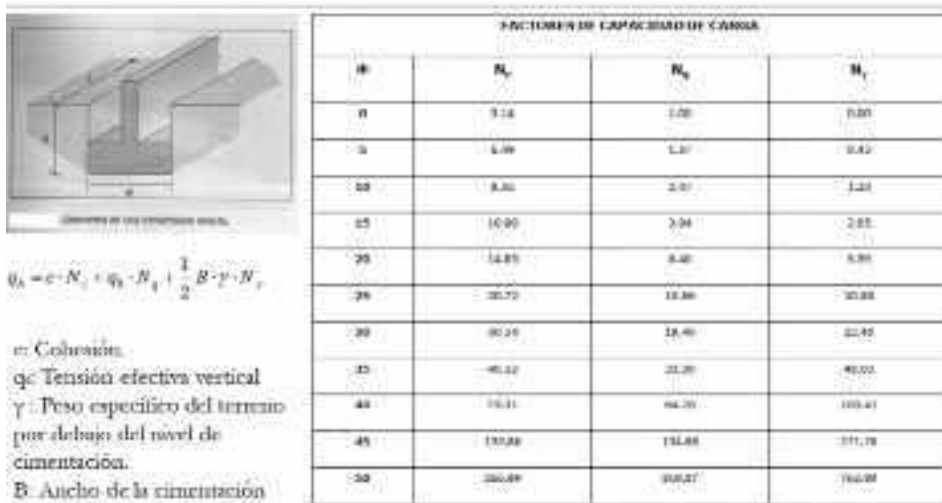
Y en cuanto a la resistencia del terreno:

- Presión de Hundimiento, definida como la resistencia característica del terreno.
- Presión Admisible definida como la Presión de Hundimiento dividida por el coeficiente de seguridad (3 normalmente aunque los Eurocódigos son mas complejos).

- Presión Admisible de Servicio que toma la presión admisible definida en el punto anterior pero limitada en su caso para que no se sobrepasen los asentamientos máximos admisibles (normalmente una pulgada).

Dicha presión de hundimiento depende, como ya habíamos comentado previamente, de los tres parámetros geotécnicos fundamentales: cohesión, ángulo de rozamiento y densidad, aplicando para su obtención la fórmula:

## Presión de Hundimiento

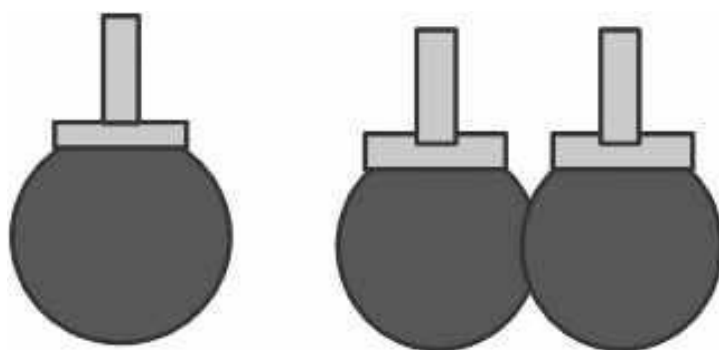


**Figura 4.2.** Presión de hundimiento del terreno

Es importante dejar constancia de que  $q_0$  (tensión efectiva vertical en el plano de apoyo de la cimentación), depende de la profundidad de la zapata; en consecuencia, si la misma no se empotra en el terreno, la capacidad portante es inferior, punto que debe ser tenido en cuenta en el análisis de riesgo ante posibles descalces por avenidas.

El concepto de la cimentación directa puede resumirse pues en que la presión ejercida sobre el terreno por las cargas estructurales debe ser inferior a la presión admisible de servicio, que ya tiene en cuenta los asentamientos tolerables. Sin embargo, es necesario realizar algunas puntualizaciones para nuestro análisis de riesgo, así:

- Para dimensionar las zapatas ha de contarse con todas las cargas estructurales de acuerdo con los Códigos Técnicos, no siendo necesaria su mayoración ya que se aplica el coeficiente de seguridad al propio terreno al dividir por 3 la presión de hundimiento.
- La profundidad estimada del bulbo de presiones es de aproximadamente dos veces el ancho de las mismas, debiéndose considerar la influencia de zapatas próximas que puedan producir solapes.



**Figura 4.3.** Bulbo de presiones inducido por zapatas de cimentación

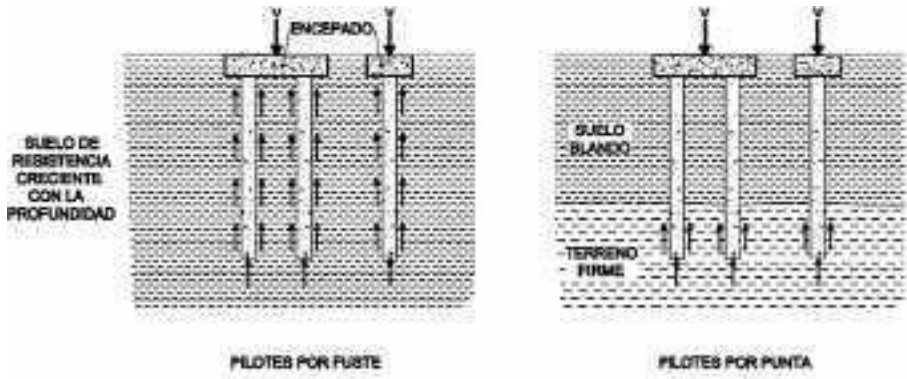
- En el caso de que existan subpresiones o hinchamiento de arcillas expansivas, hay que comprobar después del dimensionamiento con las condiciones anteriores, que el peso solo estructural, sin sobrecargas ni coeficientes de seguridad, es superior a la presión hidrostática sobre el fondo de la cimentación o la presión de hinchamiento de las arcillas, o en caso pésimo de las anhidritas si existen.
- Hay que tener en cuenta la posibilidad de asentamientos de tipo diferencial en estructuras asimétricas o suelos heterogéneos.

Teniendo en cuenta los puntos anteriores, no suelen presentarse problemas en cimentaciones directas, debiendo siempre evitar que se realicen cimentaciones sobre rellenos antrópicos aunque se hayan sustituido los metros superiores, y tener en cuenta posibilidades de socavación, modificación del nivel freático y lavado de finos por achiques de agua en las proximidades.

Si al realizar el dimensionamiento de las zapatas estas ocupan más del 50% de la superficie a edificar, o cuando existen importantes subpresiones difíciles de contrarrestar con solera, es conveniente realizar una losa de cimentación que recogerá toda la carga de la estructura. En este caso se mantienen los puntos anteriores para su dimensionamiento, debiéndose además tener en cuenta que, en el caso de presiones de hinchamiento, al ser mucha la superficie, el empuje ascendente puede ser considerable.

Aunque existe una solución intermedia de realizar zapatas semiprofundas (pozos de cimentación) cuando no se encuentra en superficie un terreno con suficiente capacidad portante, normalmente hay que recurrir a cimentaciones profundas en el sentido técnico del término, para dar solución a problemas derivados de esta situación. En este sentido, el Código Técnico de la Edificación considera que una cimentación es profunda cuando su apoyo inferior en el terreno está a una profundidad superior a 8 veces el diámetro o ancho de la misma.

Lo normal para la realización de cimentaciones profundas es la utilización de pilotes, los cuales pueden trabajar por fuste (pilotes flotantes) o por punta (pilotes columna), aunque la realidad es que casi siempre actúan por fuste y por punta de forma mixta, recogiendo seguidamente el esquema del propio CTE.



**Figura 4.4.** Pilotes por fuste y punta

*Fuente:* Código Técnico de la Edificación. DB SE C Cimientos

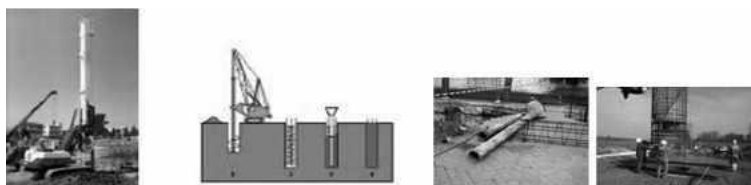
Aunque la cimentación profunda es incluso más segura que una cimentación superficial, los problemas, en cuanto a los riesgos asociados, vienen motivados por su tipología y ejecución, motivo por el cual es preciso analizar los tipos de pilote y los procedimientos usuales para la realización de las cimentaciones profundas.

En principio los pilotes pueden ser realizados in situ mediante la perforación del terreno y su posterior armado y hormigonado, o bien prefabricados, de hormigón, acero o madera, clavándolos en el terreno hasta conseguir la profundidad necesaria, con pros y contras en cada caso que analizaremos posteriormente.

Los pilotes in situ pueden ser realizados:

- Perforados sin entubación.
- Perforados con entubación.
- Perforados con lodos.
- Perforados con hélice continua.
- Pilotes de desplazamiento (hincando la tubería con ayuda normalmente de un tapón de gravas).
- Mixtos.

Los pilotes perforados sin entubación, con entubación o con ayuda de lodos que mantienen la estabilidad del terreno hasta su hormigonado, deben garantizar en todo momento la continuidad del hormigonado lo cual no siempre es sencillo, debiendo evitarse el corte ya que ello conlleva la inutilidad del pilote, iniciándose siempre la puesta en obra del hormigón desde el fondo de la perforación mediante una tubería dejada al efecto.



**Figura 4.5.** Ejecución de pilotes

*Fuente:* Composición del Autor con fotografías extraídas de la web

En estas ilustraciones vemos el tipo de maquinaria, cómo se va perforando, cómo se va colocando armadura y cómo se va hormigonando, siempre con ayuda de un tubo como el que se observa en la figura de la derecha. El hormigón cae por el tubo, va entrando por la parte inferior y va subiendo alrededor del tubo hasta que la presión ejercida por el propio hormigón impide que este siga subiendo, momento en el cual hay que extraer una parte de dicho tubo con la necesidad de que la punta se mantenga dentro de la zona hormigonada.

El riesgo está pues en extraer demasiado el tubo con lo cual se mezclaría el hormigón con la parte superior ya hormigonada que arrastra detritus de terreno, creando una junta debil que arruinaría el pilote y que desgraciadamente no se ve y que debe ser por tanto objeto de controles posteriores, como oportunamente analizaremos.

También presentan un elevado riesgo en la ejecución los pilotes perforados con hélice continua ya que durante todo el proceso es la propia hélice la que contiene el terreno y una vez terminada la perforación es el núcleo central de la propia hélice el que hace de tubo para la colocación del hormigón por la parte inferior, presentando el mismo problema, antes comentado, si se extraen tramos de hélice por encima de la cota por donde va el hormigonado en cada momento, requiriendose igualmente de controles posteriores.



**Figura 4.6.** Ejecución de pilotes con hélice

*Fuente:* fotografía extraída de la página web de Terratest

Esta tipología de pilote tiene también el inconveniente de que se realiza el hormigonado antes de colocar la armadura por lo cual esta debe introducirse a percusión o vibración, no alcanzando a veces el final del pilote, motivo por el cual no son adecuados cuando deban trabajar a flexión.

Por último, los pilotes de compactación con tapón de gravas son una buena alternativa técnica ya que mejoran la capacidad portante del terreno y permiten la ejecución del pilote por el interior de la tubería de hincia, aunque su uso no está generalizado por su dificultad para su realización en ciudades (el golpeo produce vibraciones y molestias en el entorno) y la imposibilidad de atravesar capas duras de insuficiente espesor para dejar el pilote sobre ellas.

Algo similar ocurre con los pilotes prefabricados hincados, ya que no garantizan alcanzar la profundidad necesaria de acuerdo con el Estudio Geotécnico y provocan importantes afecciones al entorno por la vibración que genera el golpeo.



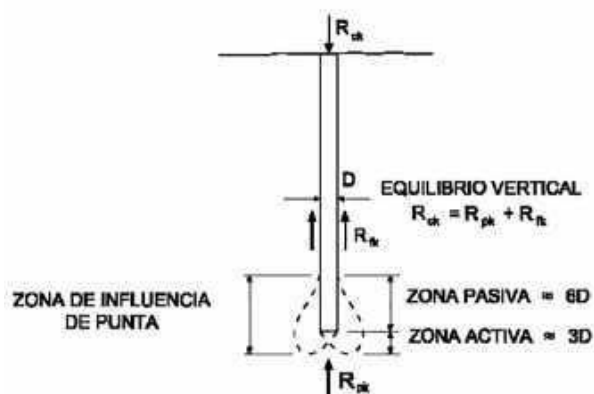
**Figura 4.7.** Pilotes prefabricados hincados

*Fuente:* fotografías tomadas por el Autor

Como se ve en la fotografía anterior, no todos los pilotes son hincados hasta la misma profundidad ya que la penetración depende de la heterogeneidad del terreno y pueden producirse desviaciones durante la hincia si aparecen planos inclinados de estratos más duros, existiendo tolerancia de ejecución hasta del 2%.

De acuerdo con el CTE debería garantizarse que el pilote tenga al menos una longitud de nueve diámetros en el terreno previsto como apoyo competente, tanto para pilotes in situ como para pilotes hincados.





**Figura 4.8.** Zona activa y pasiva en pilotes

Fuente: Código Técnico de la Edificación. DB SE C Cimientos

La medida real del riesgo de ejecución inicial, lo refleja el tope estructural de los pilotes:

Valores recomendados para el tope estructural de los pilotes

Procedimiento	Tipode pilote	Valores de j (Mpa)	
Hincados	Hormigón pretensado o postesado	0,30 ( $f_{ck} - 0,9 f_p$ )	
	Hormigón armado	0,30 $f_{ck}$	
	Metálicos	030 $f_{yk}$	
	Madera	5	
		Tipodeapoyo	
		Suelo firme	Roca
Perforados <sup>(1)</sup>	Entubados	5	6
	Lodos	4	5
	En seco	4	5
	Barrenados sin control de parámetros	3,5	–
	Barrenados con control de parámetros	4	–

**Figura 4.9.** Tope estructural de pilotes

Fuente: Código Técnico de la Edificación. DB SE C Cimientos

Donde se observa que aunque sea preceptivo utilizar hormigones de 25 MPa, en el mejor de los casos se permite solo alcanzar 6 MPa para calcular su tope estructural.

Normalmente se disponen grupos de pilotes para poder reequilibrar tensiones en caso de algún fallo de ejecución.

Mención especial merece pues lo que el CTE recoge en cuanto al control de ejecución preceptivo que además de exigir un parte por cada pilote que detalle de forma exhaustiva sus características, incluye:

- 6. Se pueden diferenciar dos tipos de ensayos de control:**
  - a) *ensayos de integridad a lo largo del pilote;*
  - b) *ensayos de carga (estáticos o dinámicos).*
- 7. Los ensayos de integridad tienen por objeto verificar la continuidad del fuste del pilote y la resistencia mecánica del hormigón.**
- 8. Pueden ser, según los casos, de los siguientes tres tipos:**
  - a) *transparencia sónica;*
  - b) *impedancia mecánica;*
  - c) *sondeos mecánicos a lo largo del pilote.*

**Además, se podrá realizar un registro continuo de parámetros en pilotes de barrena continua.**

- 9. El número y la naturaleza de los ensayos se fijarán en el Pliego de condiciones del proyecto y se establecerán antes del comienzo de los trabajos. El número de ensayos no debe ser inferior a 1 por cada 20 pilotes, salvo en el caso de pilotes aislados con diámetros entre 45 y 100 cm que no debe ser inferior a 2 por cada 20 pilotes. En pilotes aislados de diámetros superior a 100 cm no debe ser inferior a 5 por cada 20 pilotes.**

Aun así, es normal que en grandes Obras Públicas con pilotes mayores de un metro de diámetro, se coloquen dos tubos a lo largo de todo el pilote para la realización de ensayos de transparencia sónica y garantizar así la ausencia de juntas durante el proceso de hormigonado y, en caso de que las hubiera, poder proceder a su reparación mediante lavado e inyección posterior.

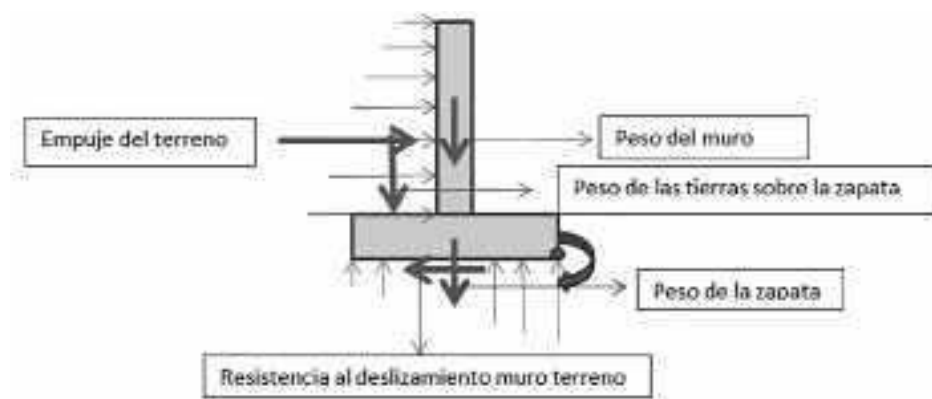
En el caso de pilotes hincados es posible que se produzca un falso rechazo sin alcanzar el sustrato de terreno previsto como necesario en el Estudio Geotécnico, lo cual constituye un riesgo muy alto de patologías posteriores (siniestro total en un riesgo con cobertura decenal de daños a la edificación). Además, durante el proceso de hincado de un pilote puede producirse el levantamiento de pilotes ya hincados en sus proximidades, lo que haría necesario un nuevo proceso de hincado de estos últimos.

Para terminar con este tema de cimentaciones profundas, hay que tener en cuenta también que:

1. Hay que considerar el Efecto Grupo que disminuye la capacidad portante de cada pilote individual cuando el grupo de pilotes no alcanza la necesaria separación entre ellos.
2. Puede generarse Rozamiento Negativo sobre los pilotes cuando se producen en superficie asientos de consolidación del terreno.
3. Hay que tener en cuenta los Empujes Horizontales causados por sobrecargas en las mediaciones de los pilotes, siendo necesario controlar obras de urbanización realizadas alrededor de los mismos.
4. El pilote trabaja fundamentalmente a compresión y ello hace que puedan producirse problemas de arrancamiento en el caso de existir tracciones.
5. Es necesario calcular convenientemente el encepado que une un grupo de pilotes con la estructura para garantizar la correcta transmisión de esfuerzos.

Otro elemento común en Obra Civil y Edificios Singulares lo conforman los muros de contención, ya sea para estabilizar taludes o para conformar pantallas perimetrales que permitan grandes excavaciones urbanas.

Los muros clásicos, conocidos también como muros de gravedad, fijan su estabilidad de acuerdo con la resistencia del terreno, la resistencia al vuelco, y la resistencia al deslizamiento, quedando el sistema de fuerzas reflejado en el siguiente croquis:



**Figura 4.10.** Sistema de fuerzas en muros de gravedad

*Fuente:* composición del Autor

Para garantizar la estabilidad al vuelco, el momento volcador que produce el empuje del terreno, mayorado con un coeficiente de seguridad de 1,8, debe ser igual a la suma de los momentos que producen el peso del muro, el peso de las tierras actuantes sobre la zapata y el peso de la zapata, minorado por 0,9. Además, la resistencia al desliza-

miento muro terreno debe ser mayor al empuje total mayorado por 1,5. Por otra parte, las tensiones del terreno que se reflejan en rojo en el esquema anterior no deben superar la tensión admisible de servicio.

Puesto que el proceso de cálculo es sencillo, la problemática en cuanto al riesgo que los muros conllevan deriva fundamentalmente de errores de cálculo de los empujes del terreno, de los empujes hidrostáticos que la acumulación de agua en su trasdós puede generar (efecto presa), y de la menor resistencia efectiva cuando se satura igualmente el terreno de apoyo por la acción del agua, además de la socavación de la cimentación (zapata del muro) que también produce el arrastre de agua, pudiendo establecerse por tanto que son estructuras muy sensibles a la acción de lluvias e inundaciones asociadas.

Bajo esta denominación de muros de gravedad, y aunque sean los muros de hormigón armado los más conocidos, existe una amplia gama de tipologías, resaltando para el análisis de riesgos, los muros de escollera, los muros de gaviones y los muros de suelo reforzado.

Los muros de escollera deben calcularse de acuerdo con la Guía para la Ejecución de Muros de Escollera del Ministerio de Fomento.



**Figura 4.11.** Ejemplo de muro de escollera

*Fuente:* fotografía tomada por el Autor

Los problemas asociados son idénticos a los anteriormente expuestos, siendo el agua el peor enemigo para su estabilidad.

Los muros de gaviones, conformados por verdaderas jaulas metálicas rellenas de piedras, son muros flexibles y por tanto susceptibles de deformación lo cual puede generar problemas en estructuras rígidas en sus proximidades. De hecho, la Monografía "Tipología de Muros de Carretera" del Ministerio de Fomento, analiza los Muros de Ga-

viones en su capítulo 7 como Muros Flexibles, calculando el equilibrio general como un muro de gravedad, destacando del mismo:

*«Están formados por la superposición de cajas de forma prismática, fabricadas generalmente de enrejado de alambre galvanizado, rellenas de rocas de pequeño tamaño. Al igual que los muros de escollera comenzó su utilización en las obras fluviales. Más tarde pasaron a emplearse en la construcción de estructuras de contención y sostenimiento para carreteras. Entre las características fundamentales de los gaviones se pueden destacar:*

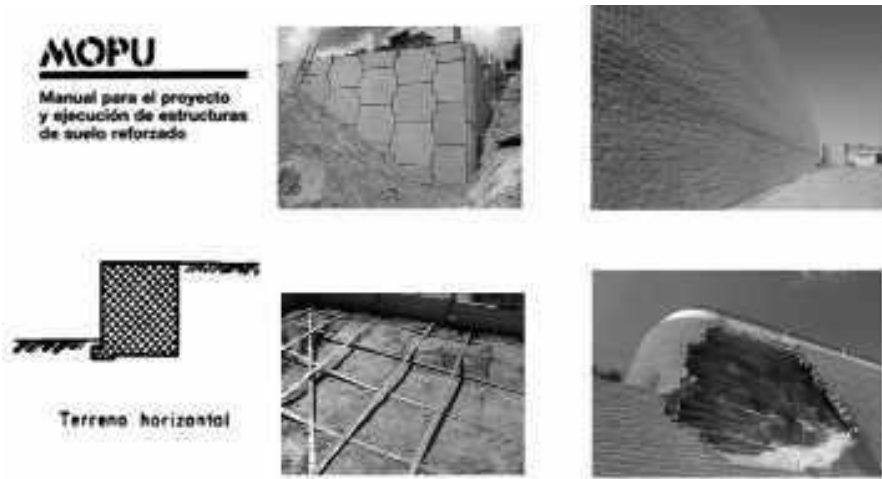
- *Posibilidad de construir macizos de gran volumen y peso, resistentes a ser desplazados, a partir de materiales de pequeñas dimensiones (piedras).*
- *Gran flexibilidad estructural al carecer de una piel rígida.*
- *Alta permeabilidad, lo cual posibilitará el flujo de agua a través de ellos, quedando refenidos los sedimentos.*
- *Construcción simple que no va a requerir equipos, ni mano de obra especializada.*
- *Resultan idóneos para aquellas zonas que presenten dificultades para transporte de otros materiales que no sean jaulas más y plegadas, y de alambre, y exista disponibilidad de rocas o cantos dados adecuados para el relleno de las jaulas.*
- *Buena integración con el medio ambiente, principalmente cuando transcurre un cierto periodo de tiempo en que los huecos se rellenan parcialmente de tierra, permitiendo de este modo el crecimiento de vegetación».*



**Figura 4.12.** Ejemplo de muros flexibles

Fuente: fotografía tomada por el Autor

Por último, los muros de suelo reforzado son igualmente muros de gravedad con una gran masa de terreno seleccionado, compactado y armado que además de su función de contención de tierras permite la circulación de vehículos por su parte superior, constituyendo por tanto una solución adecuada para terraplenes que deben quedar confinados.



**Figura 4.13.** Ejemplos de muros de suelo reforzado

*Fuente:* fotografías tomadas por el Autor

El riesgo que normalmente conllevan es la generación de asentamientos en caso de inadecuada compactación del suelo o de saturación de este por falta o mal funcionamiento del drenaje superior, así como problemas de inestabilidad del revestimiento en el caso de no fijarse convenientemente a las armaduras del suelo reforzado, tal como se observa en la fotografía de la derecha.

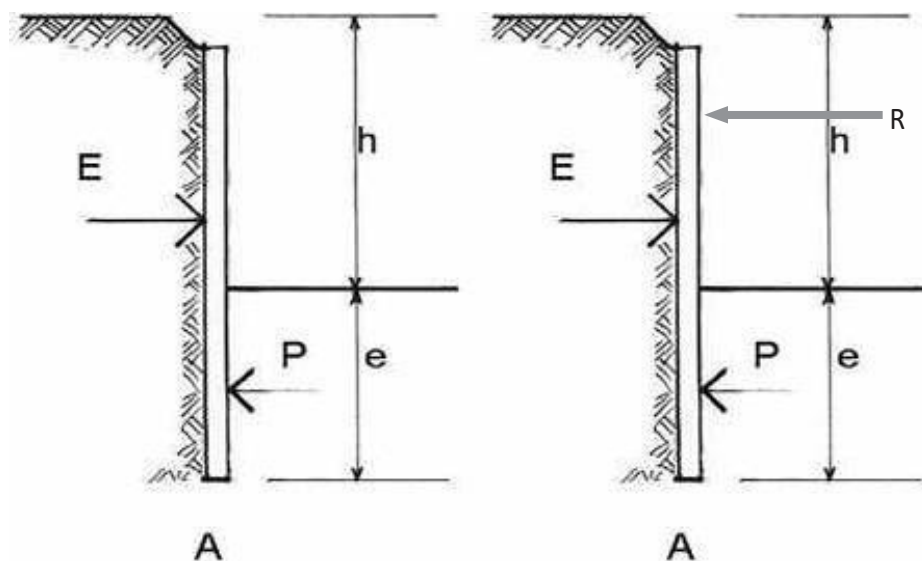
Otra tipología de elemento de contención la conforman los muros perimetrales para la excavación en zonas confinadas, fundamentalmente en ciudades y que normalmente se conocen como muros pantalla, recogiendo el Código Técnico de la Edificación tres tipologías distintas: Pantalla de Tablestacas, Pantalla Continua de Hormigón y Pantalla de Pilotes in situ.



**Figura 4.14.** Ejemplos de muros pantalla

*Fuente:* fotografías tomadas por el Autor

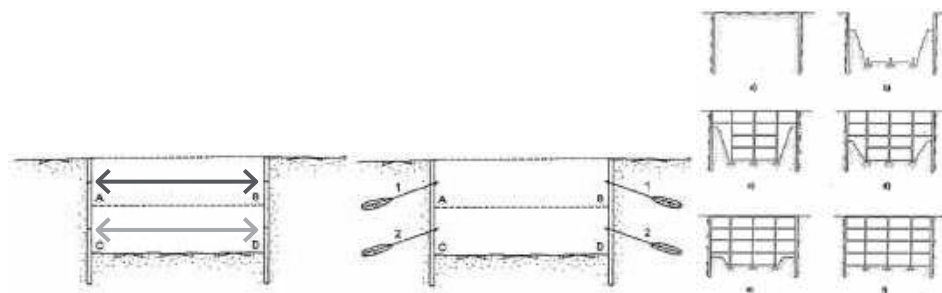
En principio la forma de trabajo es similar para todas las tipologías, pudiendo trabajar en ménsula, como pantallas autoportantes o bien acodadas en cabeza para minimizar las deformaciones, lo cual se hace necesario cuando existen edificaciones próximas que podrían verse afectadas.



**Figura 4.15.** Esquema de forma de trabajo de muros pantalla

La estabilidad dependerá siempre del empuje actuante (E), de la contribución del empuje pasivo (P) que se consigue mediante el empotramiento bajo la cota de excavación prevista, y de la resistencia estructural de la pantalla, siendo muy importante la compatibilidad de deformaciones, motivo por el cual suele introducirse la componente R que contribuye asimismo a la estabilidad y minimiza las deformaciones.

Esta componente R puede obtenerse por simple acodamiento, por anclajes al terreno o por sistemas estructurales más sofisticados.



**Figura 4.16.** Esquema de acodamiento, anclajes al terreno y acodamiento estructural

A veces se realizan estructuras provisionales de contención como se observa en las dos siguientes fotografías tomadas de las obras del bypass de la M-30 en Madrid, donde se acodoló superiormente con vigas sobre pilotes y a media altura mediante anclajes.

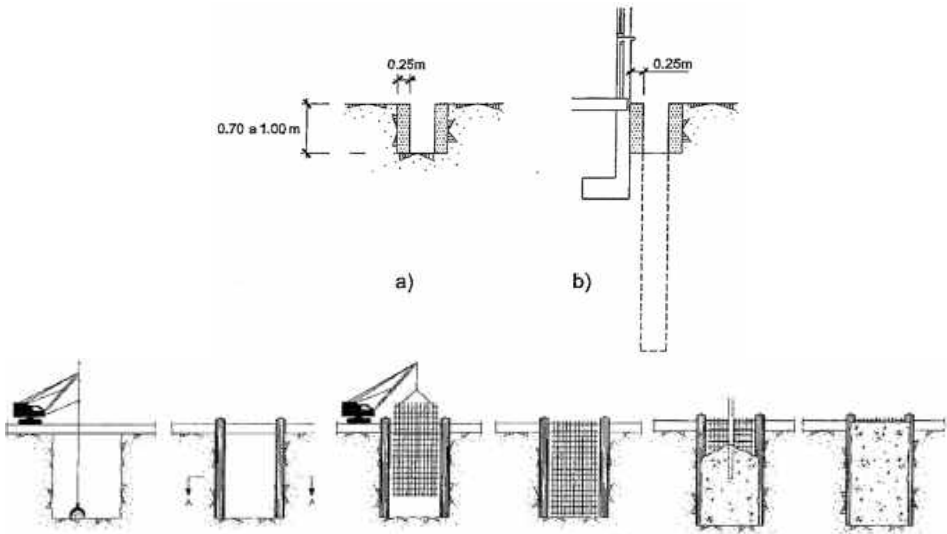


**Figura 4.17.** Ejemplos de estructuras provisionales de contención

*Fuente:* fotografías tomadas por el Autor

Sirviendo además las mismas para observar cómo debería quedar un pilote, ya que al estar empotrados en el terreno en obras de cimentación, no es posible normalmente su visionado directo.

En cuanto al riesgo durante su ejecución, volvemos a encontrarnos con la misma problemática desarrollada anteriormente para los pilotes ya que el proceso conlleva también la excavación, a veces realizada al amparo de lodos bentoníticos, la colocación de la armadura y el hormigonado, igualmente desde la parte inferior a la superior, partiéndose inicialmente de un murete guía para evitar desvíos de la pantalla.



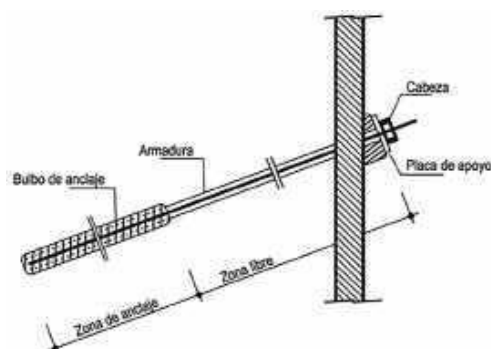
**Figura 4.18.** Ejecución de muros pantalla



Como ocurría en los pilotes, si durante la operación de hormigonado se levanta el tubo en demasía, se producirá una junta que en este caso, y si se produce en la zona a excavar, no es tan peligrosa como en aquellos ya que se visualizaría durante la excavación y podría corregirse.

Por último y al ser un elemento común para posibles arriostramientos de pantalla y estabilización de muros y taludes, vamos a hacer referencia a los anclajes al terreno, cuya ejecución viene muy bien definida en la «Guía para el Diseño y Ejecución de Anclajes al Terreno» del Ministerio de Fomento.

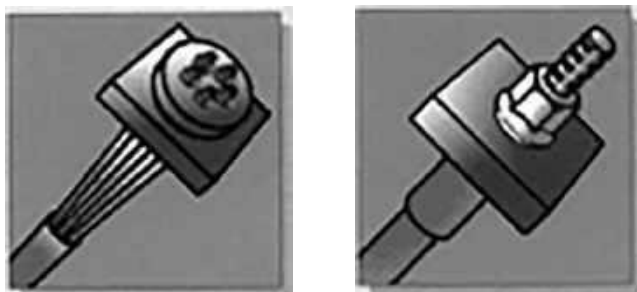
El anclaje es en realidad un elemento capaz de transmitir esfuerzos de tracción desde la superficie del terreno hasta una zona interior del mismo que llamamos bulbo, siendo sus partes fundamentales:



**Figura 4.19.** Partes de un anclaje

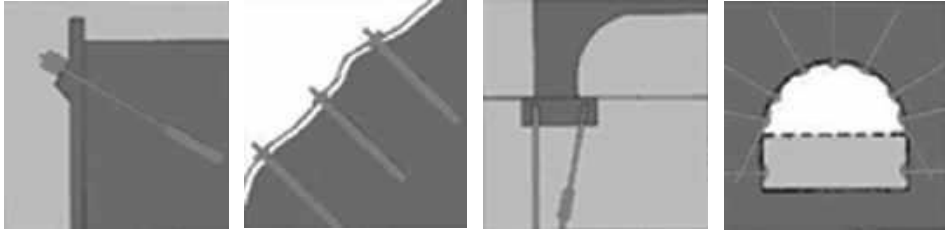
*Fuente:* Guía para el Diseño y Ejecución de Anclajes al Terreno

Durante el proceso de tesado se genera una tracción en la armadura y cuando se alcanza la magnitud deseada se procede a su anclado mediante la cabeza, ya sea con sistemas de cuñas o tuercas, consiguiendo así un esfuerzo sobre el muro que contrarresta el empuje, siendo siempre preciso que el bulbo se sitúe por detrás de la teórica línea de deslizamiento, al necesitar que dicho bulbo no se mueva.



**Figura 4.20.** Cabeza de anclaje mediante cuñas para cables (izquierda) y tuerca para barras (derecha)

Los anclajes los podremos utilizar para diversos usos tales como contención de empujesenmuros, estabilización de taludes, subpresiones ymomentosencimentaciones, o ensostenimiento de túneles ogalerías, tal comose especifica en loscroquis siguientes:

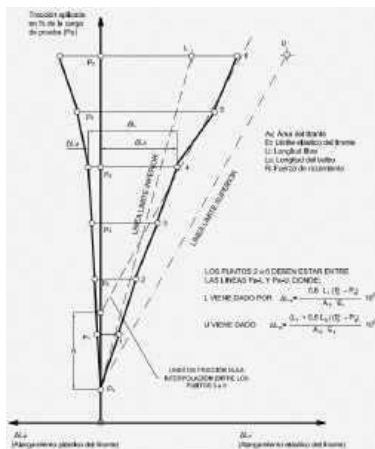


**Figura 4.21.** Aplicaciones de anclajes

*Fuente:* Guía para el Diseño y Ejecución de Anclajes al Terreno

Desde el punto de vista del Control del Riesgo, el anclaje es un elemento que introduce a priori un peligro elevado, ya sea durante la fase de ejecución de obra, como en su vida útil si se trata de anclajes definitivos o permanentes. Sin embargo, también podemos decir que es la unidad más sumisa y agradecida, ya que es la única que se prueba a su carga real antes de que pueda poner en riesgo a la estructura y además nos permite también un seguimiento exacto de su estado durante todo el tiempo que queramos.

El problema viene pues del error humano y sobre todo del necesario seguimiento y control ya que al poner en carga el anclaje es muy sencillo medir su deformación y por tanto saber si se encuentra en el rango previsto en función de la longitud libre, de las características de la armadura y de la tensión dada en cada momento, tal como recoge la mencionada Guía.



$$\Delta L = FxL / ExA$$

siendo :

F = Carga aplicada sobre el elemento

L = Longitud del elemento

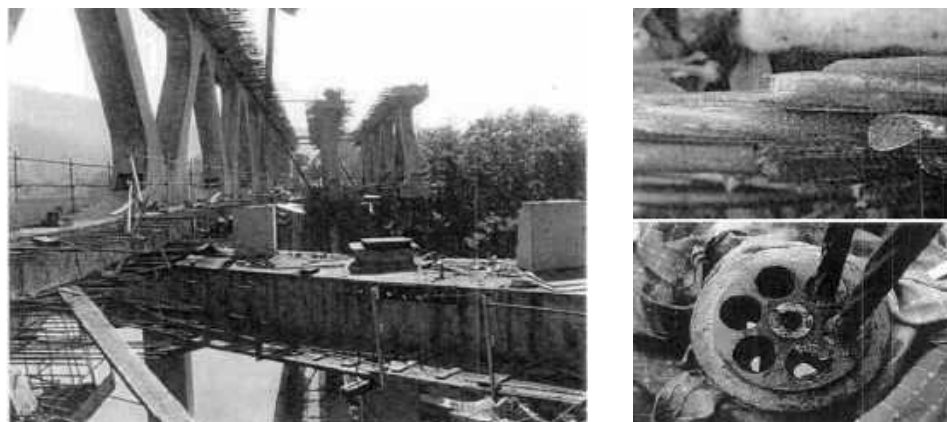
E = Módulo de elasticidad del acero

A = Área del elemento

**Figura 4.22.** Interpretación de pruebas de tesado en anclajes

El control del anclaje puede realizarse posteriormente con acciones de retesado o disponiendo células dinamométricas que, interpuestas entre el muro y la cabeza de anclaje, miden exactamente la tensión a la que están trabajando, siendo muy importante su protección contra la corrosión ya que al estar siempre en contacto con el terreno y trabajando a tracción, la pérdida de sección de la armadura puede conllevar roturas bruscas que podrían causar serios problemas a las estructuras a las que sirve de contención.

El deficiente cálculo de anclajes en cuanto a tensión y longitud necesarias y la falta de perpendicularidad entre la armadura y la placa de apoyo que distorsiona la necesidad de igualdad de tensión en todos los cables, son puntos de riesgo a considerar y pueden causar daños importantes, como en el caso de un puente en construcción que llevaba las tracciones durante el proceso constructivo a anclajes al terreno cuyos cables rompieron por la mencionada falta de perpendicularidad entre cables y placa de apoyo:



**Figura 4.23.** Ejemplos de fallos en anclajes

*Fuente:* Informe del Autor después de un siniestro

## 4.2. Obras Lineales. Carreteras, Ferrocarriles, Canales y Transporte por Tubería

Las obras lineales son aquellas donde una de sus tres dimensiones, la longitud, es muchísimo mayor que las otras dos, y por tanto entran dentro de ellas las vías de transporte, carreteras y ferrocarriles, así como canales y transporte por tubería, teniendo también como factor común la gran importancia que el terreno representa para las mismas, destacando como trabajos comunes:

- Labores de explanación y acondicionamiento del terreno.
- Excavaciones superficiales y en zanja, ya sea para drenajes o para colocación de tuberías y conducciones.

- Generación de desmontes y terraplenes para mantener cotas dentro de las tolerancias de cada tipología de obra.
- Cruce con estructuras existentes o singularidades geográficas (carreteras, canales, ríos,...).
- Necesidad de obras especiales, túneles y viaductos.

Todo ello constituye lo que se conoce como infraestructuras, siendo la superestructura lo específico de cada una de las tipologías. Así dispondremos firmes para carreteras o vías para ferrocarriles, aunque en esencia hay mucha similitud en los trabajos.

Como primera unidad es preciso analizar las llamadas Obras de Tierra entre las que encontramos excavaciones, explanadas, taludes, terraplenes, preparación de zanjas y drenajes, pudiendo aparecer terrenos muy diferentes ya que a veces estos son blandos (suelos), otras veces la dureza hace que deba utilizarse maquinaria especial para esquistos y roca blanda (lo que conocemos como terrenos ripables), en ocasiones la dureza de la roca precisa de la ejecución de voladuras para su excavación posterior y además podemos encontrar terrenos secos o bajo nivel freático, lo cual puede hacer necesario su rebaje previo.

Las obras se iniciarán con las excavaciones necesarias para alcanzar la rasante prevista en Proyecto, que a veces está por encima de la cota del terreno y que hará necesaria la realización de terraplenes para alcanzar la misma, siendo preciso igualmente sanear la capa superficial y analizar en detalle un mínimo de dos metros conocido como terreno natural subyacente. A esto se le llama muy ilustrativa la Web «Carreteros», que se basa fundamentalmente en el PG3 «Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes», del Ministerio de Fomento.

En los siguientes croquis, muy representativos, puede observarse la conformación de la base estructural, ya sea para carreteras, ferrocarriles o canales, ya que cambiaría únicamente la capa superior que en el caso de carreteras se denomina Firme, en ferrocarriles Vía y en canales sería su propio cimiento o solera y que posteriormente se estudiarán con mayor detalle.



**Figura 4.24 .** Disposiciones de una carretera en terraplén, desmonte y media ladera

Fuente: web carreteros.es

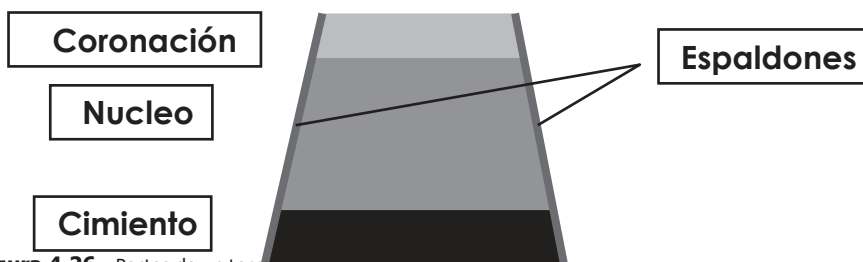


**Figura 4.25 .** Disposiciones de una carretera en terraplén, desmonte y media ladera

*Fuente:* web elhistoriador.es

Sin entrar en un desarrollo exhaustivo más propio de asignaturas específicas de Ingeniería Civil, sí es conveniente analizar los terraplenes y taludes, ya que suelen ser las unidades de obra donde se concentran los mayores riesgos.

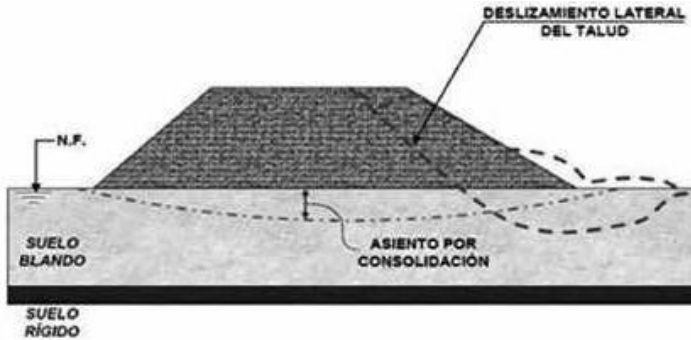
El terraplén podría definirse como la extensión y compactación por tongadas de materiales específicos (suelos) con destino a crear una plataforma donde se asiente el firme de la carretera, la vía del ferrocarril o la base del canal, pudiéndose distinguir entre:



**Figura 4.26 .** Partes de un terrapién

La coronación tiene un espesor recomendado de dos tongadas, con un mínimo de 50 cm, mientras que para el cimiento se recomienda un metro de espesor, utilizándose preferentemente suelos existentes en la propia obra o en sus proximidades, con las condiciones y grado de compactación que fije el Proyectista, estableciéndose no obstante una clasificación en el PG3 que distingue: Suelos seleccionados, Suelos Adecuados, Suelos Tolerables, Suelos Marginales, y Suelos Inadecuados, todo ello en función de su Granulometría, Contenido en Materia Orgánica y Sales Solubles, Límites de Atterberg, Colapsabilidad y Expansividad.

Los principales problemas se reflejan en el siguiente croquis, donde pueden observarse principalmente asientos por consolidación y deslizamiento de taludes:



**Figura 4.27 .** Ejemplos de fallos en terraplenes por asentamientos de consolidación y deslizamiento de taludes

Hay que tener en cuenta además que al ser la densidad del terreno próxima a  $2 \text{ T/m}^3$ , un terraplén de 20 metros de altura equivale prácticamente en peso a un edificio de 40 plantas, y que por tanto es muy importante determinar la capacidad portante del sustrato de apoyo, siendo a veces necesarios tratamientos especiales como vibroflotación, pilotes de grava, inyecciones e incluso precarga, realizándose en este último caso el terraplén en fases para que se vaya consolidando el terreno durante el tiempo total de duración de la obra, hasta la construcción del firme, de la vía o de la solera del canal.

Puesto que el principal problema es como siempre el agua, son muy importantes los drenajes a los que dedicaremos un comentario posterior, yes muy conveniente proteger con escollera el pie de talud en la posible zona de inundación, debiendo calcular la estabilidad con suelo saturado hasta al menos esa cota.

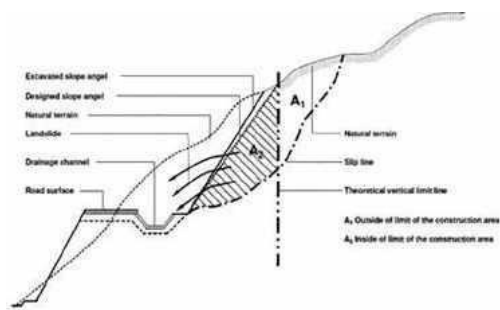
Si peligrosos son los terraplenes, un riesgo aún mayor representan los taludes ya que en ocasiones son naturales y en ocasiones condicionados por la propia topografía del terreno, tal como puede observarse en la siguiente fotografía donde la parte inferior es talud de obra y la parte superior es la propia ladera.



**Figura 4.28.** Ejemplo de taludes de desmonte

Fuente: fotografía del Autor

La estabilidad del talud dependerá de los parámetros geotécnicos de las distintas capas que conforman el talud o la ladera, de su altura, de su inclinación y de las posibilidades de afectación por el agua que vuelve a ser el factor determinante en la mayoría de las causas de siniestros, los cuales son por desgracia frecuentes.



**Figura 4.29.** Inestabilidad de taludes de desmonte

Es por ello también frecuente ver distintos tipos de protección en los taludes:



**Figura 4.30.** Ejemplos de protección de taludes

*Fuente:* fotografías tomadas por el Autor

La heterogeneidad del terreno y la influencia del agua complican extraordinariamente los cálculos y, a pesar de los avanzados programas existentes en el mercado, todavía se diseñan los taludes en base a su proyección vertical y horizontal. Así tendremos



taludes 1H:1V, 2H:1V, 3H:1V, 1H:2V, 1H:3V..., sin que aparezca la inclinación del talud con grados sexagesimales, comprobando posteriormente su estabilidad en base a parámetros facilitados en estudios geotécnicos específicos o sancionados por la práctica y el comportamiento de suelos similares.

Vista la importancia del agua, tanto en terraplenes como en taludes, es fundamental para minimizar el riesgo de inestabilidades realizar adecuados drenajes, tanto longitudinales como transversales, recogiendo al efecto lo mencionado en la Norma 5.2 1C del Ministerio de Fomento:

***El drenaje superficial de las carreteras comprende:***

- ***La captación o recogida de las aguas procedentes de la plataforma y sus márgenes, de las estructuras y de los túneles, mediante elementos específicos.***
- ***La conducción y evacuación de dichas aguas, así como las provenientes del drenaje subterráneo de la carretera, a cauces naturales, sistemas de alcantarillado o a la capa freática.***
- ***La restitución de la continuidad de los cauces naturales interceptados por la carretera, mediante su eventual acondicionamiento y la construcción de puentes u obras de drenaje transversal (ODT).***

Las especificaciones en cuanto al dimensionamiento de drenajes son función de las precipitaciones de diseño, las cuales vienen definidas por su Período de Retorno que la misma norma establece como **«el periodo de tiempo expresado en años, para el cual el caudal máximo anual tiene una probabilidad de ser excedido igual a  $1/T$ »** (nada que ver con conceptos aseguradores de comparar lluvias con las acaecidas en los diez últimos años y menos aplicando fechas concretas, tal como oportunamente se analizará).

En base a dicho Período de Retorno se establecen unos mínimos para el dimensionamiento de los drenajes:

- ***Drenaje de plataforma y márgenes: veinticinco años ( $T = 25$  años), salvo en el caso excepcional de desagüe por bombeo en que se debe adoptar cincuenta años ( $T = 50$  años).***
- ***Drenaje transversal: se debe establecer por el proyecto en un valor superior o igual a cien años ( $T \geq 100$  años) que resulte compatible con los criterios sobre el particular de la Administración Hidráulica competente.***

Cuando se dimensionan los puentes, el periodo de retorno de cálculo es al menos de 500 años, debiendo analizarse en base a dicho caudal las posibilidades de socavación de las cimentaciones y la resistencia estructural del propio puente.

El drenaje longitudinal (drenaje de plataforma y márgenes) se soluciona con las cunetas que recogen las aguas de la plataforma y las llevan hasta un cauce natural aguas



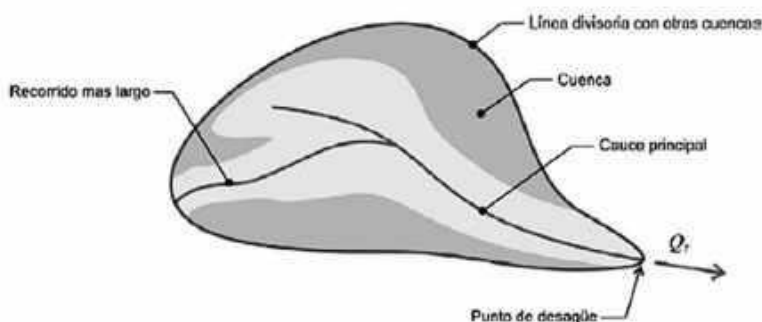
abajo o a un estanque de tormentas dimensionado al efecto, siendo de vital importancia las cunetas de guarda que se construyen en la parte alta de los taludes para recoger las escorrentías en coronación.



**Figura 4.31.** Cunetas de guarda en coronación de talud

*Fuente:* fotografías tomadas por el Autor

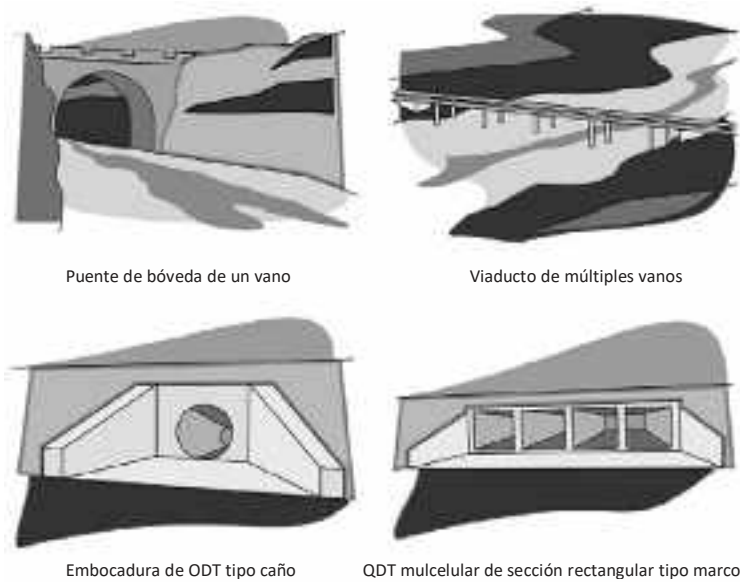
Si importante es el drenaje longitudinal, tanto o más lo es el drenaje transversal, ya que tiene que recoger el agua de las cuencas vertientes en las que se sitúa la Obra Lineal, siguiendo igualmente lo que recoge la mencionada Norma.



**Figura 4.32.** Ejemplo de cuencas principales y secundarias

Se deben por tanto calcular los caudales en base a la superficie de la cuenca y a las lluvias esperadas con el periodo de retorno de diseño, siguiendo los pasos que igualmente marca la Norma y debiendo figurar los mismos en los Anejos a la Memoria del correspondiente Proyecto, existiendo a veces estudios específicos de la Confederación Hidrográfica correspondiente u Organismos similares en otros países, que pudieran ser aprovechados.

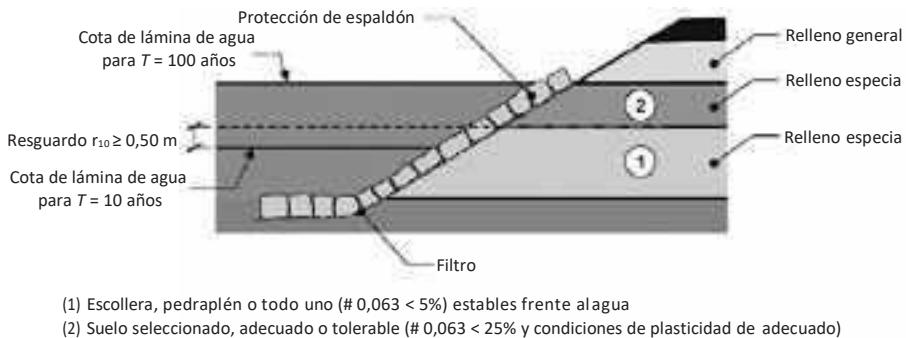
Pueden servir de ejemplo los esquemas siguientes:



**Figura 4.33.** Ejemplo de puentes y obras de drenaje transversal

Fuente: web carreteros.es

Las secciones de los correspondientes Puentes y Obras de Drenaje Transversal tienen que ser suficientes para garantizar la evacuación de los caudales de diseño previstos. Además, es conveniente, a la hora de analizar los riesgos, observar que en obras de relleno (terraplenes), se protege todo el talud al que puede llegar el agua para de esta forma evitar deslizamientos, frecuentes cuando esta recomendación no se lleva a cabo.



**Figura 4.34.** Zonificación de rellenos alcanzados por láminas de agua

Fuente: web carreteros.es



**Figura 4.35.** Protecciones de talud en obras de drenaje

*Fuente:* fotografías tomadas por el Autor

Es muy importante en cualquier caso que las Obras de Drenaje Transversal sean en todo su perímetro macizas, ya sean de hormigón o acero, y tengan una base sólida. Por ello, el comportamiento de estructuras en marco es mejor a efectos de riesgo que el de estructuras tubulares, las cuales es recomendable que apoyen en el terreno mediante una cimentación adicional que evite la socavación a lo largo de la generatriz de apoyo inferior.



**Figura 4.36.** Ejemplos de obras de drenaje en marco y tubulares

*Fuente:* fotografías tomadas por el Autor

A medio plazo también representan menos riesgo las Obras de Drenaje de hormigón que de acero, siendo oportuno reflejar parcialmente un artículo sobre el particular recogido en la Revista FreyssinetNews.



**Figura 4.37.** Reparación y refuerzo de obras de drenaje

*Fuente:* Revista Freyssinet News

Dicho lo anterior, y teniendo en cuenta la necesidad de que los drenajes estén bien dimensionados y contruidos, el riesgo verdadero está en el mantenimiento de los mismos, ya que a veces se encuentran total o parcialmente obstruidos y por tanto dejan de cumplir la misión para la que fueron dispuestos.



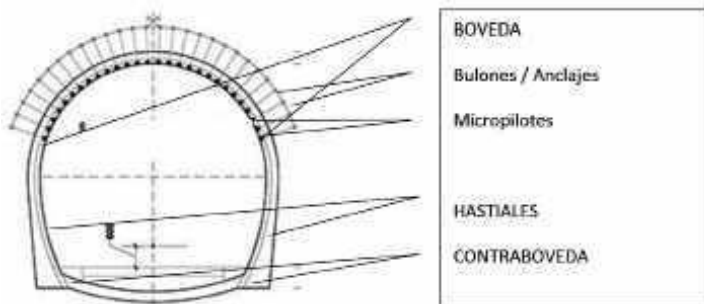
**Figura 4.38.** Fallos en obras de drenaje transversal

Fuente: fotografías tomadas por el Autor

Vistas las Obras de Tierra, las Obras Lineales también tienen en común la necesidad de estructuras para salvar vaguadas y desniveles por lo cual se pasa a continuación un repaso somero a túneles y viaductos, analizándolos en este orden ya que, en parte, el Túnel también es una obra en tierra.

En realidad, el Túnel es **«unavíasubterránea abierta artificialmente paraelpaso de personas y vehículos»**. Aunque la tradición sitúa sus inicios en el paso de vías ferroviarias a través de sistemas montañosos, la realidad es que se ha extendido su uso en todo el desarrollo urbanístico de grandes ciudades (con metros y túneles viarios) e incluso túneles sumergidos como el del Canal de la Mancha.

Podemos afirmar que un túnel es una obra de riesgo elevado, tanto de daños a la propia obra como a maquinaria y lo que es más importante a personas, con una afección no menos trascendente sobre su entorno, dependiendo dicho riesgo del terreno, del sistema constructivo, y de los bienes de terceros que pueden verse implicados, fundamentalmente durante su construcción, utilizándose la siguiente terminología:



**Figura 4.38.** Partes de un Túnel

- Bóveda es la parte superior en arco.
- Contrabóveda es la parte inferior, normalmente cóncava, donde se asienta la solera.
- Hastiales son los laterales del túnel entre la bóveda y la contrabóveda.
- Bulones son barras metálicas introducidas en el terreno perpendicularmente a la sección para su cosido, fundamentalmente en la zona de bóveda, que a veces se sustituyen por anclajes tal como se ha comentado con anterioridad.
- Micropilotes son tubos metálicos inyectados introducidos en sentido de avance para contribuir al sostenimiento, fundamentalmente al inicio del túnel (lo que se denomina «emboquille»).

Para el sostenimiento durante la construcción se utilizan normalmente cerchas metálicas, aplicándose a veces hormigón proyectado (gunita), siendo las dovelas elementos prefabricados de hormigón que conforman la protección de hastiales, bóveda, y contrabóveda, muy utilizadas cuando la perforación se realiza con tuneladora, constituyendo las mismas el sostenimiento final del túnel. A veces hay que inyectar el terreno para posibilitar su excavación y sostenimiento.

Se denomina Montera a la distancia existente entre la parte superior del túnel y el terreno en superficie en la vertical del punto considerado, siendo las Subsidiencias los asientos del terreno provocados por alteraciones tensionales en su equilibrio interno durante el proceso de excavación.

En cuanto al terreno a perforar podemos encontrarnos con roca sana, con perforación con precorte y explosivos que en ocasiones no necesita ni revestimiento, roca alterada que precisará de maquinaria especial y sostenimiento para el avance, y suelo más o menos compacto que normalmente precisará de entibación continua. Sin embargo, la mayor dificultad y consecuentemente el mayor riesgo lo genera su heterogeneidad a lo largo del túnel ya que sus longitudes son kilométricas, siendo frecuentes fallas geológicas de espesores métricos y rellenas con sedimentos blandos que ocasionan problemas en el avance y a veces el hundimiento del frente, lo que se llama chimenea.

Detectar las fallas no es sencillo dada la dificultad y costo de los sondeos desde superficie, ya que la montera se mide normalmente en cientos de metros y hay que atravesar terrenos duros que dificultan la perforación. Por tanto, es frecuente basarse más en estudios geológicos que en estudios geotécnicos concretos y, aunque es posible la realización de sondeos desde el frente de avance, para ello es necesario en muchas ocasiones interrumpir la perforación del túnel para su realización, lo que siempre es muy costoso y conlleva demoras en la terminación. No obstante, es más conveniente una demora que una chimenea, que puede provocar pérdidas incalculables de tiempo y dinero.

También representa un elevado riesgo para la perforación la aparición de agua, a veces en acuíferos confinados con presiones elevadas, que ocasiona la inestabilidad de suelos arenosos haciendo necesarios trabajos previos de inyección y potentes equipos de bombeo para mantener la perforación en condiciones aptas para el trabajo. En ocasiones aparecen también suelos expansivos, arcillosos y yesíferos (anhidritas), que incrementan las tensiones y provocan inestabilidades de gran magnitud.

El túnel es pues una «obra viva», ya que se sabe cuándo se comienza, pero no cuando se acaba, e igualmente puede ser presupuestada pero difícilmente se conoce su valor final.

Entre estas dos fotografías ha pasado mucho tiempo y, aunque se mantiene un elevado riesgo de daños materiales, se ha disminuido drásticamente la pérdida de vidas humanas:



**Figura 4.39.** Construcción tradicional y mecanizada de túneles

A la hora de analizar convenientemente los riesgos es necesario tener en cuenta la tipología del túnel, ya sea:

- A cielo abierto («Cut and Cover» o Falso Túnel), realizado al amparo de una excavación inicial, con taludes estables o con ayuda de pantallas continuas o de pilotes, que permite la construcción de una estructura porticada o abovedada que posteriormente se cubre de tierras por el exterior, reconstruyendo así el paisaje original. Su riesgo es menor pero no son pocos los siniestros acaecidos por asimetría de cargas durante el relleno final.
- En mina, con excavación subterránea y riesgo elevado de ejecución.
- Túnel sumergido con sofisticados sistemas de ejecución y consiguiente exposición a diversidad de peligros.

Los túneles a cielo abierto se encuentran en medio rural y en medio urbano, aunque suelen ser en estos últimos casos donde los encontramos con más profusión.





**Figura 4.40.** Falso túnel con pantalla de pilotes inicial (izda.) y excavación para falso túnel urbano (dcha.)

En cuanto a los túneles en mina, que sin duda constituyen el grueso de los construidos en obra civil, podemos definirlo como una obra oscura, incómoda para trabajar y con elevado riesgo de accidentes, tanto por desprendimientos del terreno como por atrapamientos por movimiento de maquinaria y camiones.

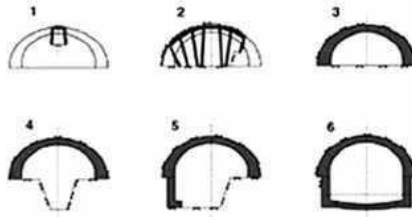


**Figura 4.41.** Excavación de túneles en avance y destroza

Como se observa en la fotografía anterior, y salvo excavaciones en roca sana que permitan el trabajo a sección completa, se comienza realizando la bóveda (lo que se de-

nomina «avance»), para posteriormente ejecutar los hastiales y la contrabóveda (lo que se conoce como «destroza»).

Seguidamente se muestra un croquis con la secuencia de actuación de acuerdo con el conocido como Nuevo Método Austriaco, una de las formas más comunes de excavación, y que, con ligeras diferencias, es representativo para la gran mayoría de los túneles en suelos o roca blanda.



**Figura 4.42.** Secuencia de excavación por el Nuevo Método Austriaco

Fuente: web [ceres.udc.es](http://ceres.udc.es)

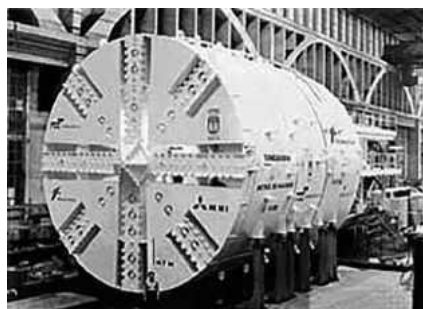
En función de la dureza del terreno se emplearán simple excavadoras, escarificadoras o martillos jumbo, lo que condicionará la velocidad de avance y hará necesario el correspondiente tipo de sostenimiento definido en proyecto.



**Figura 4.43.** Ejemplos de perforación con excavadoras, escarificadoras o martillos jumbo

Otra forma de perforar, normalmente más sofisticada y segura, la constituye el uso de tunelarodas que realizan el avance a sección completa y que van colocando las dovelas según avanza la perforación.





**Figura 4.44.** Cabeza perforadora y parque de dovelas en excavación mediante tuneladoras

En cualquier caso, es muy importante controlar las subsidencias (asientos del terreno que se producen durante la perforación por su ajuste tensional), ya que dichos asientos, sobre todo en medio urbano, pueden afectar de forma importante a edificios del entorno e incluso a saneamientos y viales, destacando que dichas subsidencias:

- Son desplazamientos con carácter radial que se inician antes de que el frente de ataque llegue a la vertical del punto de medida y se terminan varios días o varios meses después de que el frente de ataque sobrepase la vertical del punto de medida.
- Pueden estimarse en proyecto con suficiente aproximación, pero nunca con exactitud, aunque sí pueden medirse con total seguridad disponiendo hitos topográficos a lo largo de la traza y realizando mediciones antes, durante y después de la ejecución de la perforación del túnel.
- Aunque nunca pueden evitarse, sí pueden minimizarse sus consecuencias adoptando medidas previas de mejora de suelos, refuerzo de estructuras y cimentaciones, e inyecciones entre terreno y dovelas en el caso de tuneladoras.

Otro riesgo para el entorno viene causado por la modificación de acuíferos que pueden variar considerablemente el nivel freático e incluso producir arrastre de finos y disolución de suelos solubles (yesos), al ser necesario bombear al exterior el agua filtrada hasta la perforación.

Por último, y aunque obviamente solo se realizan de forma puntual, hay que mencionar también los túneles sumergidos, poniendo como ejemplo el de Coatzacoalcos en el estado de Veracruz, México, una de las obras públicas más completas e interesantes que ha visitado y estudiado el autor desde el punto de vista de la gerencia del riesgo.



**Figura 4.45.** Túnel sumergido de Coatzacoalcos

*Fuente:* composición del Autor

Efectivamente y como se observa en la imagen anterior:

- Nos encontramos en su suelo deltaico de la desembocadura del río Coatzacoalcos en el Mar Caribe, con limos y arenas flojas y nivel freático desde superficie.
- Son necesarias pantallas continuas de hormigón y tablestacas metálicas de más de 30 metros de profundidad para conformar las rampas de entrada y salida.
- Es necesario realizar una trinchera estable en el fondo del río, con casi un kilómetro de longitud, donde alojar los cajones que conformarán el túnel sumergido.
- Dichos cajones de más de 100 metros de longitud, 25 metros de ancho y 12 metros de altura, con peso de 27.000 Toneladas cada uno, se construyen al amparo de un dique seco que debe mantenerse sin agua y en el cual se construyen simultáneamente los siete cajones que conforman el túnel como si de edificios de una urbanización se tratara.
- Una vez contruidos los cajones hay que inundar el dique para que dichos cajones floten, teniendo que remolcarlos y fondearlos en el punto exacto de la trinchera dejada al efecto.
- Posteriormente hay que realizar el lastre interior y el recubrimiento exterior con especial atención al sellado de las juntas entre cajones, las cuales llevan una junta Gina de impermeabilización, una junta Omega de presión y una junta armada de cortante por la sismicidad de la zona.
- Y para finalizar, hay que construir los viales y líneas de servicio por el interior.

En cualquier tipología de túnel, y a efectos de controlar y minimizar los riesgos, es necesario:

- Controlar los movimientos superficiales con topografía y extensómetros.
- Controlar los movimientos en el interior del terreno con inclinómetros y medidas de convergencia.
- Controlar las presiones del terreno e intersticiales, mediante presiómetros y piezómetros.
- Controlar los esfuerzos sobre elementos estructurales mediante células de carga.
- Controlar las vibraciones que se generan durante la perforación en intensidad y frecuencia mediante vibrómetros y sismógrafos.

Todo ello da idea de la peligrosidad de la construcción de túneles y, como veremos en posteriores capítulos, de las dificultades de la transferencia de riesgos, recomendando la lectura del «Code of Practice for Risk Management of Tunnel Works» realizado por técnicos de la International Tunneling Insurance Group y publicado en enero de 2006 en varios idiomas, entre ellos el español.

Además de los túneles, nos encontramos en la obra civil con la necesidad de construir puentes y viaductos, estructuras complejas pero que en su concepto inicial son muy simples, ya que un puente no deja de ser un tronco apoyado en las dos orillas del río y lo que habrá que hacer es encontrar un tronco más largo que la anchura del río y que sea capaz de soportar el peso que discurrirá por encima del mismo y obviamente no es posible encontrarlo para atravesar la bahía de San Francisco.



**Figura 4.46.** Puente Golden Gate de San Francisco

*Fuente:* fotografía del Autor

Aquí es donde debe de intervenir el Ingeniero Civil y su imaginación no deja de crear formas y soluciones diferentes que en sí son un reto continuo, intentando mayores longitudes y estructuras cada vez más esbeltas.

Para ello contamos con estructuras de madera, de acero, de hormigón, de materiales sintéticos que se desarrollan en los departamentos I+D+i de las grandes constructoras y en universidades especializadas, así como del material más tradicional que es la piedra, pudiendo partir de la ficción, aunque basada en un hecho real, de la película El Puente sobre el Río Kwai, estructura de madera que nos muestra las limitaciones en cuanto a grandes luces de este material pero que permite su construcción con materiales del entorno y con relativa sencillez.



**Figura 4.47.** Puentesobre el Río Kwai

Obviamente no es la madera el material más utilizado dada su durabilidad, motivo por el cual se utiliza normalmente:

- Acero, aleación de hierro y carbono en porcentaje inferior al 2%, o incluso materiales metálicos más ligeros, siéndola resistencia unitaria del material muy elevada (10 veces por encima de la del hormigón), soportando bien tracciones y compresiones, aunque con problemas de mayores deformaciones al precisarse de menor sección, lo que conlleva la necesidad de conformar la estructura en celosía, como el puente Luis I en Oporto, utilizando como elementos de unión soldadura, roblonado o atornillado.
- Hormigón, material conformado con cemento, árido y agua, que después de su fraguado adquiere una gran resistencia, soportando muy bien las compresiones pero con baja resistencia a la tracción, motivo por el cual se recurre a su armado al reforzarlo con barras o mallas de acero y que da origen al hormigón armado.



**Figura 4.48.** Puente Luis I en Oporto

*Fuente:* fotografía del Autor

A veces las armaduras, sean de barra o cable de acero, se ponen en tensión antes o después del fraguado lo que da origen al hormigón pretensado y postesado, con mejores características resistentes y que permiten mayores luces, siendo precisamente los avances tecnológicos los que confieren un riesgo añadido por la necesidad que tenemos como ingenieros de minimizar costos e incrementar prestaciones, pasando de hormigones clásicos de 25 MPa a hormigones de alta resistencia con más de 50 MPa y que pueden incluso superar los 100 MPa, utilizando también nuevas tipologías de armadura y procesos constructivos.



**Figura 4.49.** Viaducto de Puente la Reina

*Fuente:* fotografía del Autor

Las fotografías anteriores, tomadas en el viaducto de Puente la Reina en la Autovía del Camino, proyectado por el Profesor Javier Manterola, Catedrático de la UPM, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos, nos da una idea de cómo han «adelgazado» las clásicas pilas para convertirse en esbeltos pilares que soportan la doble calzada con doble vía y arcenes en cada sentido.

- Nuevos materiales. Dentro de los trabajos de investigación que se vienen realizando nos encontramos con vigas de fibra de carbono, fibras de carbono y vidrio, materiales poliméricos y un sinnúmero de posibilidades que día a día van surgiendo y que es difícil distinguir a simple vista de los más clásicos de hormigón.



**Figura 4.50.** Paso superior de hormigón sobre autovía

- Piedra, material clásico en la antigüedad y que tan excelente resultado dio a los romanos, perfectos conocedores de la estructura en arco, y que permite el trabajo solo a compresión a cuyo esfuerzo se da una gran respuesta por estos materiales.



**Figura 4.51.** Acueducto de Segovia

Una vez vistos los distintos materiales hay que pasar revista a las diferentes tipologías, cambiantes igualmente y a veces con el objetivo de incluir nuevos récords en el Libro Guinness, lo que también confiere un especial riesgo, aunque por desgracia sean estructuras consideradas normales las que más frecuencia siniestral suelen presentar.

La tipología más típica son los puentes con vigas sobre pilas y estribos, ya sean prefabricadas o in situ, con vigas isostáticas o hiperestáticas y luces que no suelen superar 250 metros con hormigones postesados, siendo muy diferentes los procesos constructivos ya sea mediante cimbrados, vigas lanzadas, apoyos provisionales hasta cerrar la clave y conseguir efecto arco, etc.



**Figura 4.52.** Ejemplos de construcción de puentes

*Fuente:* fotografías del Autor

Aunque la construcción de tableros realizados in situ mediante la ayuda de cimbras para la colocación del encofrado no ofrece grandes problemas técnicos, son relativamente frecuentes los colapsos de cerchas, ya que su cimentación no suele ser muy cuidada dado el carácter temporal de las mismas, y en consecuencia son suficientes periodos de lluvia o inundación para provocar asientos no tolerables que causan inestabilidades que hacen colapsar la zona en construcción. También ocurren a veces problemas en encofrados lanzados sobre la parte ya construida, a consecuencia de los elementos de anclaje, del incorrecto diseño o de la deficiente ejecución.

Otra tipología frecuente en la actualidad son los puentes atirantados mediante cables de acero protegidos que sustentan el tablero apoyándose en las pilas, sirviendo como ejemplo el Puente del Alamillo construido durante la Exposición Internacional Expo 1992 en Sevilla, o el Puente Morandi en Génova.



**Figura 4.54.** Ejemplos de puentes atirantados

*Fuente:* fotografías del Autor y hemeroteca



El montaje es técnicamente sencillo ya que los propios cables van sujetando el tablero debiendo cuidar muy especialmente las excentricidades que pudieran producirse a uno u otro lado de la pila sustentante, precisando de un mantenimiento continuo y un control tensional en periodo de explotación para evitar el lamentable colapso del Puente Morandi reflejado en la fotografía anterior.

Para grandes luces se usan tipologías de tableros sustentados por cables colgantes entre una y otra pila, de los que cuelgan a su vez cables verticales que sujetan el tablero, como puede observarse en el puente 25 de Abril de Lisboa.



**Figura 4.55.** Puente 25 de Abril de Lisboa

Una vez realizadas las pilas y colocados los cables portantes, el montaje no presenta grandes problemas técnicos y su comportamiento a largo plazo es adecuado, siempre que se establezcan y cumplan las necesarias medidas de mantenimiento.

Finalmente, y sobre todo en décadas pasadas, hay que hacer mención de los puentes en arco, con diferentes tipologías de tablero común con el puente, colgado o elevado.



**Figura 4.56.** Ejemplos de puentes arco

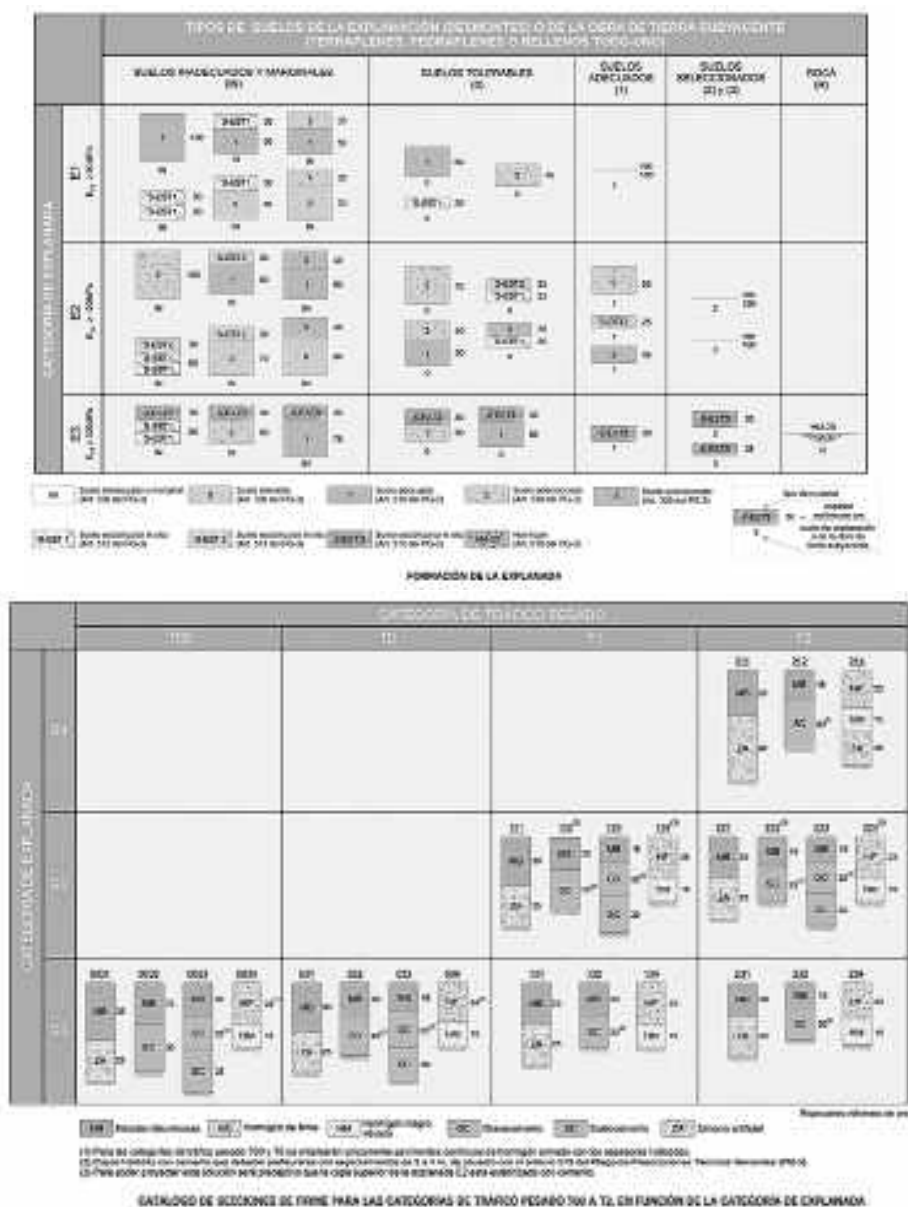
*Fuente:* internet

En este caso se busca siempre el beneficioso efecto arco, sobre todo si como los romanos consiguen el medio punto. El mayor riesgo se genera durante la construcción hasta conseguir cerrar la clave, lo que obliga a disponer de cerchas para su ejecución o estructuras provisionales que permitan absorber las tracciones generadas.

Ejecutada la infraestructura de la obra lineal es preciso proceder a colocar sobre ella la superestructura, ya sea el uso para viales, para ferrocarriles o para canales.



Como ejemplo se adjuntan las posibilidades para dimensionar explanadas y firmes.



**Figura 4.57.** Superestructura de carreteras

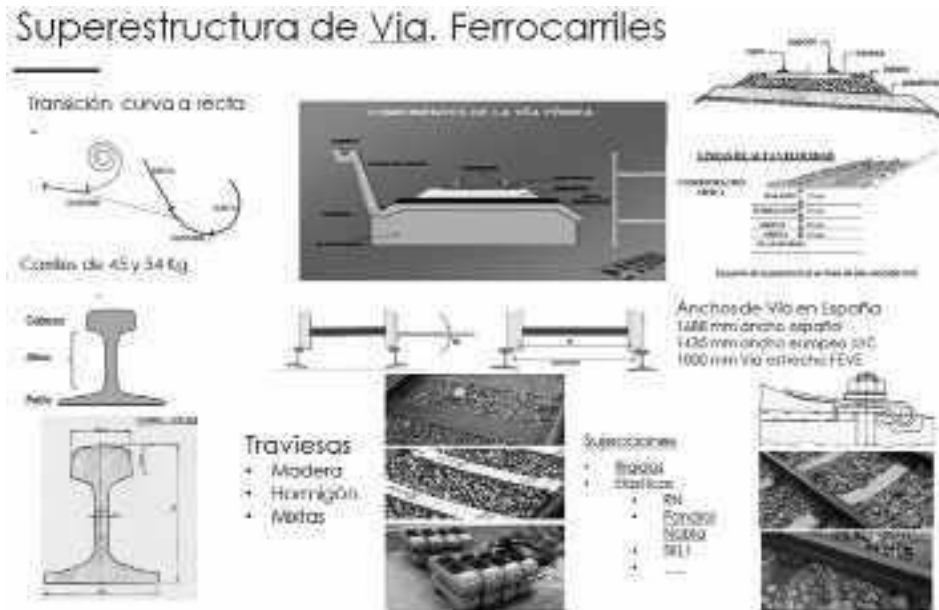
*Fuente:* Norma 6.1 IC

Se observa que es necesario fijar las características del tráfico en función del número esperado de vehículos pesados en 24 horas, estableciéndose tres categorías de ex-

planada de acuerdo con el Módulo de Compresibilidad en el Segundo Ciclo de Carga y facilitándose una serie de secciones para poder configurar la misma, continuando con las correspondientes secciones para el dimensionamiento del firme en función del tipo de tráfico pesado y características de la explanada.

El riesgo principal, más que en el dimensionamiento, está en la ejecución, tanto por inadecuación de los materiales como por deficiente compactación de los mismos, volviendo a ser determinante el correcto drenaje y la correcta clasificación del terreno base y del terreno de aporte.

En cuanto a ferrocarriles, se adjunta en el siguiente esquema las características de la superestructura.

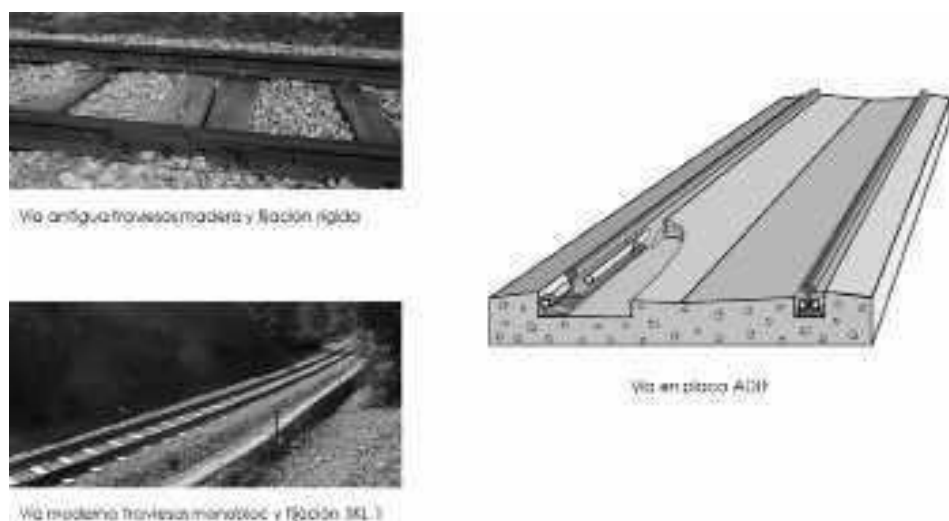


**Figura 4.58.** Superestructura de vía en ferrocarriles

*Fuente:* composición del autor

El riesgo principal sigue estando en la explanada y en la correcta puesta en obra del balasto, material de aporte con granulometría similar a las gravas, que cumple las funciones de distribución de presiones al terreno, de amortiguación de vibraciones y sobre todo de facilitar a la vía un adecuado drenaje.

A largo plazo y, por tanto, durante su explotación, hay que mantener adecuadamente la vía, sustituyendo el balasto cuando sea necesario, así como las traviesas, existiendo también la posibilidad de emplear vía en placa que no necesita ni balasto ni traviesas, que se sustituye en su conjunto por una losa de hormigón. El cuadro siguiente refleja una vía histórica, una vía moderna (ambas con balasto y traviesas), y una vía en placa.



**Figura 4.59.** Traviesas de ferrocarril y esquema de vía en placa

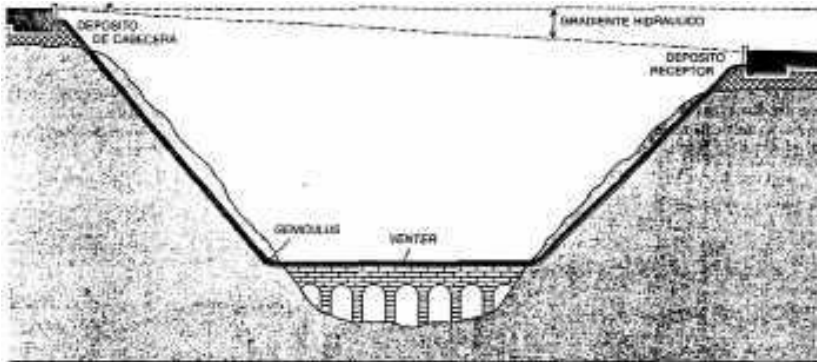
*Fuente:* composición del autor

En cuanto a los canales, es muy importante su impermeabilización, ya que, a la pérdida no deseada de agua, se acumula el riesgo de saturar el terreno de apoyo, lo que provocaría asentamientos diferenciales que producirían nuevas fisuras en la estructura y haría crecer el riesgo de forma exponencial.

Por último, y en cuanto a las Obras Lineales, tanto algunas conducciones de agua como las de gases y combustibles líquidos, son solventadas mediante transporte por tubería (acueductos, gaseoductos y oleoductos), en algunos casos a cierta presión mediante estaciones de bombeo, siendo el principal riesgo durante la construcción la excavación de zanjas, el cual es función de las características del terreno y de la profundidad de las mismas, siendo en muchos casos necesaria su entibación.

Además, son muy susceptibles a la acción de tormentas e inundaciones que producen problemas adicionales de inestabilidad, así como el arrastre del material excavado (en muchas ocasiones utilizado posteriormente como relleno), siendo preciso dejar un margen de seguridad para que el material acopiado no entre en la zanja arrastrado por el agua.

Junto con las estaciones de bombeo, son importantes los sifones que, a consecuencia del principio de los vasos comunicantes, permiten conducir el agua por vaguadas con la condición de que la estación receptora se encuentre a menor cota topográfica que la estación primaria, siendo el mayor riesgo para su funcionamiento correcto la decantación de sólidos en suspensión en las partes más bajas del recorrido, lo que se minimiza con decantadores previos al sifón para que el agua contenga la menor cantidad de impurezas.



**Figura 4.60.** Acueducto Romano de Tempul

### 4.3. Obras Hidráulicas: Presas. Balsas de Riego y Abastecimiento. Diques Mineros

Conectando con los Canales, Obra Lineal pero que evidentemente es también una Obra Hidráulica, estudiamos en este capítulo el riesgo ligado con la construcción y explotación de Presas, Balsas de Riego y Abastecimiento y Diques Mineros, obras que, aunque tienen en común la función de almacenar agua, son muy distintas en su forma de trabajo y son causas de importantes siniestros que además ponen en peligro vidas humanas.

El real Diccionario de la Lengua Española define Presa como **«Muro grueso de piedra u otro material que se construye a través de un río, arroyo o canal, para almacenar el agua a fin de derivarla o regular su curso fuera del cauce»**. Se trata de una definición muy acorde con nuestras correrías infantiles cuando en el más mínimo arroyuelo hacíamos una «presa» para bañarnos o para jugar con el agua y desviarla haciendo canalillos. La realidad es que la Ingeniería Civil tiene mucho de intuitivo en su concepto y mucho de ciencia en su materialización.

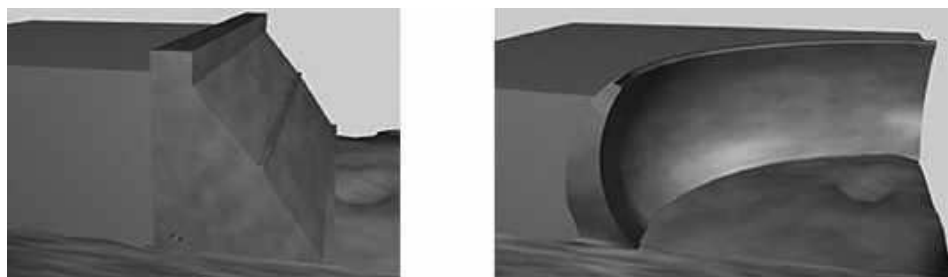


**Figura 4.61.** Imagen de presa para almacenamiento de agua

La terminología empleada normalmente pasa por:

- Cerrada. Lugar donde se ubica la presa.
- Presa. Muro de contención del agua que permite la subida de nivel y consiguiente embalsamiento en su trasdós.
- Vaso, embalse, represa. Empleadas para definir la superficie ocupada por el agua.
- Paramentos. Interior y Exterior. Superficies vistas de la presa aguas arriba y aguas abajo.
- Cimentación y estribos. Parte de la presa en contacto con el terreno.
- Coronación. Parte superior de la presa.
- Desagües. Aliviaderos, desagües de fondo, tomas. Elementos por los cuales se evacúa o desvía el agua ya sea para riego, consumo humano o generación hidroeléctrica.

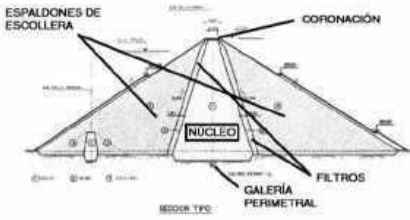
En función de cómo trabaja para contener el empuje del agua, las presas se dividen en presas de gravedad y presas estructurales arco bóveda. Las primeras son más intuitivas al basar su resistencia en su propio peso, y las segundas más técnicas ya que es la estructura la que soporta el empuje.



**Figura 4.62.** Ejemplo de presas de gravedad y arco bóveda

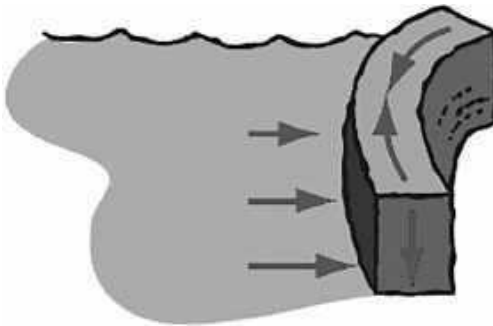
Además, y siguiendo la propia definición de presa como muro grueso de piedra u otro material, existen presas de Materiales Suelos, de Mampostería y de Hormigón, sirviendo en principio cualquier material siempre que se le dote de la impermeabilidad necesaria.

Las presas de materiales sueltos son en realidad terraplenes realizados con suelos de adecuadas características y próximos al lugar de ubicación, convenientemente dimensionados y dotados de una pantalla impermeable, la cual se materializa normalmente con un núcleo de arcilla convenientemente compactada o con una pantalla de hormigón que puede situarse igualmente en el núcleo o en el paramento aguas arriba.



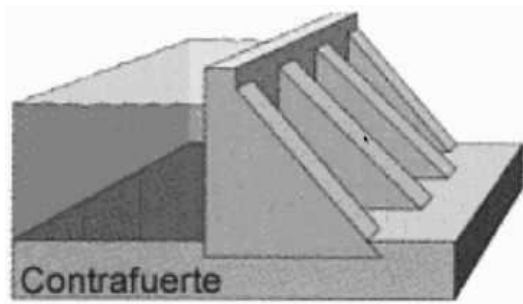
**Figura 4.63.** Sección tipo de una presa de materiales sueltos

Las presas arco y las presas bóveda (o las mixtas arco-bóveda), son en general estructuras de hormigón armado o pretensado que transmiten los esfuerzos a cimentación y estribos, lo que precisa de un terreno de adecuadas características geotécnicas para soportar las altas tensiones generadas, siendo además muy importante el proceso constructivo.



**Figura 4.64.** Esquema tipo de una presa arco y bóveda

Por último, hay que citar las presas de contrafuertes, asimilables a presas de gravedad aligeradas, siendo la cimentación amplia y transmitiéndose los empujes a la misma a través de contrafuertes de forma que se garantice la resistencia estructural y la estabilidad al vuelco.



**Figura 4.65.** Esquema tipo de una presa de contrafuertes

Como se observa en las distintas fotografías nos encontramos ante muros de contención con empuje hidrostático, y la problemática frente al riesgo, más que la estructura en sí misma, vendrá condicionada por el comportamiento del terreno tanto en la cimentación como en los estribos, o bien en la estabilidad de las laderas que conforma el embalse o represa.

Es necesario en primer lugar partir de la definición de Gran Presa, ya que las mismas están sometidas a condiciones específicas en cuanto a construcción y mantenimiento. Esta consideración la tienen las presas que cumplan, al menos, una de las siguientes condiciones:

- Altura superior a 15 metros, medida desde la parte más baja de la superficie general de cimentación hasta la coronación.
- Altura comprendida entre 10 y 15 metros, siempre que tengan alguna de las siguientes características:
  - Longitud de coronación superior a 500 metros.
  - Capacidad de embalse superior a 1.000.000 de metros cúbicos.
  - Capacidad de desagüe superior a 2.000 metros cúbicos por segundo.
- Podrán clasificarse igualmente como «grandes presas» aquellas que, aun no cumpliendo ninguna de las condiciones anteriores, presenten dificultades especiales en su cimentación o sean de características no habituales.

Para el correcto análisis del riesgo habrá que considerar:

- Proyecto:
  - Localización de la cerrada y características del terreno.
  - Régimen de avenidas.
  - Tipo de presa.
- Construcción:
  - Obras de desvío.
  - Estabilidad de laderas.
  - Control de drenaje, asentamientos, estabilidad.
- Explotación:
  - Control y supervisión.
  - Mantenimiento de los medios de evacuación y limpieza.

El primer punto a tener en cuenta será sin duda el régimen de avenidas, tanto por el aprovechamiento final del embalse, como por los problemas inherentes a la construc-



ción, debiéndose establecer caudales punta de avenida que en definitiva serán los más importantes para adecuar la construcción de la presa y diseñar desvíos durante la misma, así como para el cálculo del aliviadero y desagües de fondo.

El segundo punto, y no menoscabado, será definir la cerrada idónea para lo cual será preciso el adecuado estudio topográfico que permita evaluar la capacidad del embalse y un estudio geológico-geotécnico que facilite las características geotécnicas del terreno, tanto en su aspecto de capacidad portante como de permeabilidad del vaso. Igualmente importante en países y zonas de riesgo sísmico es tener en cuenta el grado correspondiente para aplicar la aceleración de diseño que garantice la estabilidad.

En función de las características geotécnicas del terreno, de la altura necesaria de la presa y de la existencia de adecuados materiales de préstamo, será necesario definir la tipología (materiales sueltos, hormigón, u otros materiales), y, en caso de hormigón, ver si es más conveniente una presa estructural o de gravedad, punto sin duda de mayor trascendencia por las distintas teorías en cuanto a la seguridad de las mismas.

El estudio medioambiental es por último trascendental para la ejecución de las presas, hasta el punto de que en la actualidad constituye sin duda uno de los condicionantes de los que depende la viabilidad del proyecto al influir en el hábitat que la rodea.

Muy importante en proyecto será el diseño de los posibles desvíos y proceso constructivo, siendo muy diferente de unas a otras tipologías. Así por ejemplo, en una presa de materiales sueltos sería factible la ejecución en dos fases, desviando el río a la mitad del cauce con una ataguía longitudinal, para posteriormente y mediante un túnel artificial en la parte ya construida, continuar con la segunda fase, pudiendo incluso prever una zona con dique fusible para el caso de gran avenida en el periodo final de ejecución.

Este proceso sería más complicado en presas de gravedad en hormigón y prácticamente imposible en tipologías de arco o bóveda, en donde se hace necesaria la ejecución de canales de desvío con ataguías y contra ataguías, cuyo periodo de retorno en cuanto al caudal de diseño será función de la optimización del binomio probabilidad / valoración de consecuencias, partiendo de la base de que en este tipo de presas, una vez realizada la cimentación y superada la cota de los desagües de fondo, los daños esperados son menores.

A la hora de definir el riesgo durante la construcción este punto del desvío del río es fundamental ya que su costo representa un elevado porcentaje del valor de obra y se tiende a periodos de retorno reducidos, siendo significativos los periodos de retorno que deben considerarse en proyecto y construcción, los cuales son:

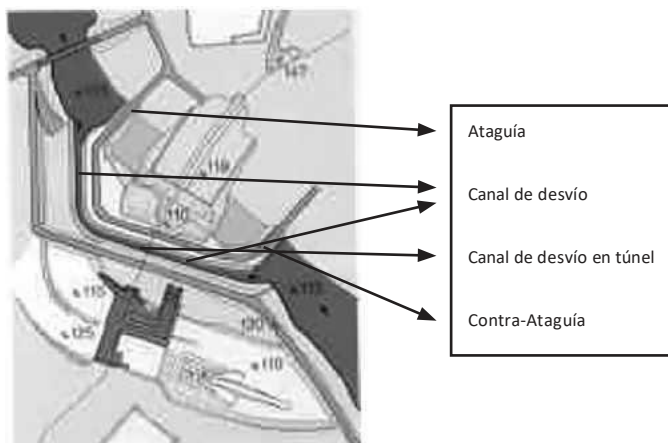
- **Avenida de Proyecto.** Es la avenida máxima a tener en cuenta en el dimensionamiento de los órganos de desagüe de la presa, funcionando el conjunto de las instalaciones con los resguardos hidráulicos adecuados. Su periodo de retorno será



mayor o igual a 1.000 años. En caso de que, por las condiciones singulares de su ubicación, pueda asegurarse que la presa siempre será de categoría C, el período de retorno puede reducirse hasta un valor no inferior a 500 años.

- **Avenida Extrema.** Es la avenida máxima a tener en cuenta en el dimensionamiento de los órganos de desagüe de la presa, sin llegar a producirse desbordamientos en ninguna de las instalaciones, salvo, excepcionalmente, en presas de fábrica. Para las presas de materiales sueltos la Avenida Extrema tendrá como mínimo un período de retorno de 10.000 años. Para las presas de fábrica ese período de retorno mínimo será de 5.000 años. En caso de que, por la singularidad de su ubicación, pueda asegurarse que la presa siempre se va a mantener en categoría C, el período de retorno puede reducirse hasta un valor no inferior a 1.000 años en presas de materiales sueltos y no considerarse en presas de fábrica.
- **Avenida de Construcción.** Es la máxima avenida a tener en cuenta para el dimensionamiento de las obras del sistema de desvío de los caudales del río durante la construcción de la presa. La probabilidad de que la Avenida de Construcción sea superada durante el período de construcción de la presa será como máximo del cinco por ciento, si la presa es de materiales sueltos, y del diez por ciento si la presa es de fábrica.

El esquema de una obra de desvío se esquematiza en el siguiente gráfico:



**Figura 4.66.** Esquema tipo de una obra de desvío

Fuente: composición del Autor

Como se viene comentando, en todos los proyectos de Ingeniería Civil el terreno juega un papel de suma importancia en el dimensionamiento. Más aún sucede en las presas, ya que hay que considerar :

- El peso propio que no tendrá que sobrepasar la carga admisible del terreno.
- La carga hidrostática que generará un empuje sobre el muro y las consecuentes acciones sobre cimentación y estribos.

- Las presiones intersticiales que provoca el agua en el terreno al saturarse en la altura de agua embalsada.
- Los efectos térmicos muy importantes por los volúmenes con los que se trabaja.
- el empuje de los sedimentos que se colmatan en la base del embalse y que producen un efecto adicional al empuje hidrostático.
- El efecto del oleaje y sea por viento, cuando la superficie del embalse es muy grande, o, lo que es más grave, por posibles deslizamientos de ladera que acarreen olas que pueden desbordar la presa.
- Los efectos sísmicos que deberán ser tenidos en cuenta como punto fundamental del dimensionamiento.
- El efecto del hielo dada la existencia de presas en alturas elevadas.

Tanto en ejecución como en explotación, las presas requieren de una auscultación y control continuos que permitan evaluar los caudales drenados y las filtraciones, las presiones intersticiales, las tensiones estructurales, las deformaciones, los desplazamientos y los asentamientos, todo ello con la información de estaciones meteorológicas que nos permitan controlar temperaturas y precipitaciones así como, en caso de actividad sísmica, los posibles movimientos que podrían generarse.

En las presas de materiales sueltos es necesario tener en cuenta que el desbordamiento en coronación puede suponer el colapso total, por lo cual es importante el dimensionamiento de los desvíos durante construcción y la aliviaderos en explotación, siendo un punto de vital importancia en toda tipología de presas el proceso de llenado, ya que hay que realizarlo de forma ordenada, controlando movimientos y procurando la continuidad en el proceso, sin perder de vista que un porcentaje de siniestros de alrededor del 40% se produce en esta fase.

Por último, la pantalla de impermeabilización en presas de materiales sueltos puede hacerse con pantallas intermedias de arcillas convenientemente compactadas o con pantallas de hormigón, existiendo en este caso la posibilidad de construir la pantalla en el paramento de aguas arriba «Concrete Face Rockfill Dam» (CFRD) en donde deben cuidarse especialmente las juntas de hormigonado para evitar filtraciones.

Estudio especial merecen las presas de hormigón compactado «Roller Compacted Concrete Dam» (RCC), en las que debe cuidarse el proceso de compactación por capas, la adecuación de dosificación cemento y puzolana normalmente usados como materiales, y la formación de grietas causadas durante la fase de hidratación por inadecuada dispersión del calor generado durante la misma. Hay que prever igualmente la mayor dificultad para la ejecución de galerías y la puesta en obra en condiciones meteorológicas adversas. Como continuación a las presas entendidas en la acepción usual de las mismas, hay que estudiar las Balsas de Almacenamiento de Agua, ya sea para riego o para abastecimiento, ya que las mismas entran dentro de la consideración de Grandes Presas siempre que cumplan los requisitos antes

expuestos. Sin embargo, la ejecución, y sobre todo el diseño, no suelen ser tan cuidados y son usuales problemas de estabilidad en fase construcción y de explotación.

La construcción de la balsa parte de la ejecución de desmontes y terraplenes para configurar el vaso, procurando utilizar los terrenos existentes y compensando volúmenes ya que es la única alternativa para que la construcción sea rentable, siendo necesaria normalmente una membrana impermeable para garantizar la estanqueidad.



**Figura 4.67.** Ejemplo de balsa de almacenamiento de agua

Puesto que es normal encontrar alturas del terraplén mayores de 15 metros y el perímetro también puede alcanzar los 500 metros, hay muchas balsas que tienen la consideración de gran presa y, al igual que ocurre en lo estudiado para terraplenes en carreteras, hay un riesgo elevado de deslizamientos, normalmente motivados por deficiencias en la impermeabilización e incluso en el mantenimiento.



**Figura 4.68.** Fallo de balsa de almacenamiento de agua

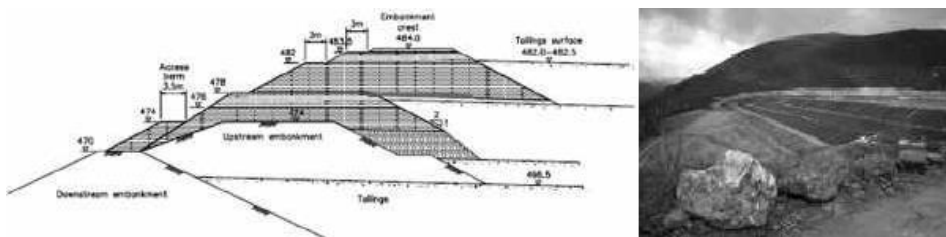
*Fuente:* fotografía del Autor

Los riesgos usuales en este tipo de obras son:

- Empleo de terrenos a veces clasificados como «marginales» para la ejecución del dique (terraplén).
- Generación de asentamientos de tipo diferencial, dado que hay zonas en desmonte y zonas en terraplén con diferentes alturas ajustándose a la topografía del terreno.
- Desplazamiento de las membranas impermeables a consecuencia de los movimientos diferenciales, lo que a veces produce el desgarre de juntas.
- Defectos de ejecución en las soldaduras de la membrana de impermeabilización, lo que se minimiza con dobles juntas y comprobación mediante aire a presión en el canal intermedio.
- Defectos en drenajes que impiden la correcta lixiviación de posibles fugas y escurrientías a través de los paramentos aguas arriba de los diques que normalmente no están impermeabilizados.
- Falta de mantenimiento y control adecuado en fase de explotación.

En este caso, el momento más peligroso a efectos de riesgo lo constituye el desembalse rápido, ya que los terraplenes pueden estar totalmente saturados y se pierde el empuje hidrostático que contrarresta el empuje de tierras, existiendo también idéntica problemática que en terraplenes de carreteras si hay presencia de yesos o suelos solubles, agravados por la posibilidad de fugas de agua que aceleran el proceso de disolución y pueden dar lugar a fenómenos de colapso.

Otra obra de elevado riesgo dentro de las obras hidráulicas, aunque no es solo agua lo que almacenan, son los diques mineros, importantes presas donde se depositan suelos residuales en la explotación minera, incluyendo los procesos de extracción del mineral, y que han sido y son causa de importantes siniestros que afectan considerablemente al entorno por contaminación y causan en demasiadas ocasiones pérdida de vidas humanas.



**Figura 4.69.** Ejemplo de diques mineros

El material que se deposita en una primera fase es una mezcla de suelo y agua, extrayéndose esta última mediante una adecuada red de drenaje que constitu-

ye el proceso de lixiviación, de forma que a largo plazo queda un residuo sólido autocompactado cuya densidad es elevada, estando contaminados tanto el agua como el suelo, con disolventes químicos utilizados en los procesos de extracción del mineral.

Al analizar el riesgo se observan importantes diferencias con presas convencionales ya que:

- El material depositado tiene una alta densidad que puede oscilar en el entorno de  $3 \text{ T/m}^3$ , lo cual puede ocasionar problemas de colapsos si se supera la capacidad portante del terreno de apoyo que conforma el vaso.
- Las exigencias de producción minera y la falta de vertederos provocan a menudo la necesidad de recrecimientos del dique, como refleja la fotografía anterior, que se apoyan en el terreno autocompactado.
- Normalmente la presa (dique) es de materiales sueltos, y por tanto susceptible a colapsar por desbordamiento, lo cual puede producirse por fuertes lluvias y recogida de las escorrentías hacia el valle donde se ubica el vaso.
- En caso de rotura el daño medioambiental es muy elevado, dependiendo de los productos químicos que se utilicen.
- El mantenimiento no es a veces tan amplio como debería, e incluso en ocasiones hay cierres de explotaciones que mantienen los diques sin el necesario control.

Para cerrar el tema, se adjunta la clasificación de presas en función de los daños potenciales que pudieren derivarse de su rotura:

- Categoría A. Presas o balsas, cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede afectar gravemente a núcleos urbanos o a servicios esenciales, así como producir daños materiales o medioambientales muy importantes.
- Categoría B. Presas o balsas, cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede ocasionar daños materiales o medioambientales importantes o afectar a un reducido número de viviendas.
- Categoría C. Presas o balsas, cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede producir daños materiales de moderada importancia y sólo incidentalmente pérdida de vidas humanas. En todo caso, a esta última categoría pertenecerán todas las presas y balsas no incluidas en las categorías A o B.

Relacionamos seguidamente la documentación oficial en España para la Seguridad de Presas que comprende:

- Artículo 123 bis Texto Refundido Ley de Aguas (RD 1/2001, de 20 de julio).
- Directriz Básica de Planificación de Protección Civil de 1994.

- Título VII del Reglamento de Dominio Público Hidráulico (RD 9/2008, de 11 de enero).
- Normas Técnicas de Seguridad de Presas, derogando la Instrucción para el Proyecto, Construcción y Explotación de Grandes Presas (1967) así como el Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses (1996).
- 1<sup>er</sup> Borrador: noviembre 2010. 2<sup>o</sup> Borrador: julio 2011.
- Norma técnica de seguridad para el proyecto, construcción y puesta en carga de presas y llenado de embalses.
- Norma técnica de seguridad para la clasificación de las presas y para la elaboración e implantación de los planes de emergencia de presas y embalses.
- Norma técnica de seguridad para la explotación, revisiones de seguridad y puesta fuera de servicio de presas.

#### 4.4. Puertos

El Diccionario de la Lengua Española define Puerto como **«Lugar en la costa o en las orillas de un río que, por sus características, naturales o artificiales, sirve para que las embarcaciones realicen operaciones de carga y descarga, embarque y desembarco, etc.»**.

En este caso el riesgo varía mucho entre puertos marítimos y fluviales y obviamente si los mismos tienen un origen natural con protección facilitada por la propia naturaleza, o son artificiales, más expuestos a viento y oleaje, aunque muchas veces los grandes puertos tengan su origen en puertos naturales.

En realidad, un puerto es la conexión tierra mar y a través de él deben realizarse operaciones de transporte, ya sea de mercancías o de pasajeros o simplemente de pesca, por ello la importancia que han tenido siempre desde los fenicios que construían verdaderas ciudades puerto, hasta nuestra época con puertos como el de Shanghai.

Evidentemente, y entrando en lo que a Obra Civil se refiere, presenta riesgos importantes tanto en construcción como en explotación, dada su gran exposición a los tres peligros más importantes que hasta ahora hemos ido analizando y que son, sin duda: el terreno, el agua y los fenómenos de la naturaleza.

Para el profano que se encuentra por primera vez con esta tipología de obra, es muy interesante leer la publicación del Ministerio de Fomento «Así se hace un Puerto», de acceso libre en la web y firmada por el Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos D. Eloy Pita Carpenter, entresacando de la misma algunas figuras que sin duda ayudarán a comprender mejor el tema, partiendo en primer lugar del esquema del puerto:



**Figura 4.70.** Partes de un puerto

*Fuente:* Así se hace un Puerto. Ministerio de Fomento

Lo más importante será en primer lugar preparar las defensas que garantizan el abrigo de las embarcaciones y por tanto poder realizar toda la operativa con la necesaria seguridad para las personas y los bienes, lo que se consigue mediante la construcción de diques que en la figura se señalan con el número 1.

La entrada al puerto, que figura con el número 2, se denomina bocana, y será muy importante definir su calado ya que de él dependerá las características de los barcos que pueden acceder al mismo, siendo igualmente importante sus dimensiones para permitir la maniobrabilidad.

Las zonas donde atracan los barcos, número 3, se denominan muelles, y deberán igualmente garantizar el calado suficiente para permitir el atraque, siendo su tipología muy variada como se verá seguidamente, enlazando con el número 4 que refleja los pantalanes que en realidad son igualmente muelles para el atraque de barcos, y con el número 5 con curiosa terminología, Duques de Alba, que son simples puntos fijos donde poder lanzar cabos de amarre, siendo los muelles la unión entre la superficie de agua (dársena) y la superficie terrestre.

Los números 6, 7, 8 y 9 son superficies en tierra, la mayoría de las veces ganadas al mar, donde se almacenan o trasiegan las mercancías, precisando también enlaces viarios o ferroviarios que serán la integración con el transporte terrestre, y siendo necesaria la infraestructura precisa de servicios para garantizar la operatividad, denominándose en general a todas las edificaciones e infraestructura los Tinglados del Puerto.

Comenzando por los diques, pueden clasificarse en dos categorías, reflejantes y rompeolas, en función de que reflejen la ola con un paramento vertical o produzcan su rotura con un talud de escollera convenientemente estudiado.





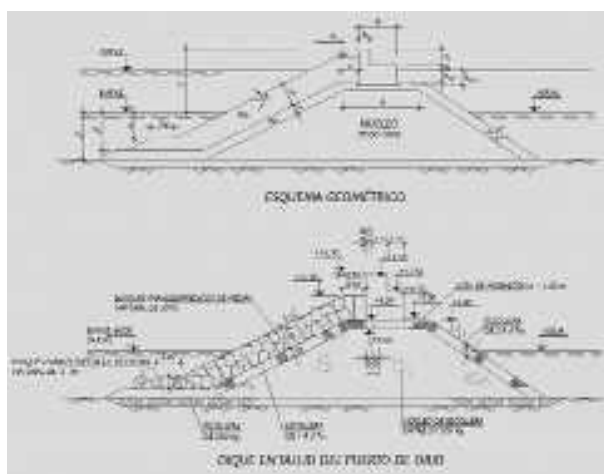
Los diques rompeolas, más usuales para los diques de abrigo, son en realidad simples terraplenes que deben estar dotados de una escollera de protección que disipe la energía del oleaje y garantice su estabilidad, lo que requiere de cálculos complejos, desde los planos de oleaje, el análisis multivariado o la simulación en laboratorios con oleaje de diseño, presentando además la dificultad de tener que trabajar bajo el nivel del mar.

Para todo el estudio de Puertos resultan de gran interés las Recomendaciones para Obras Marítimas «ROM», que se comenzaron a desarrollar en el año 1987 bajo la tutela de la Dirección General de Puertos y ahora de Puertos del Estado, Ministerio de Fomento, cuyo objetivo fundamental es la Normalización en el ámbito de la Planificación, Proyecto, Ejecución y Explotación, recomendando al menos la lectura de:

- ROM 0.0 Procedimiento General y Bases de Cálculo para el Proyecto de Obras Marítimas.
- ROM 1.0-09 Diques de Abrigo contra oscilaciones del mar.
- ROM 2.0-11 Obras de Atraque y Amarre. Criterios generales y Factores de Diseño.
- ROM 0.5-05 Geotecnia para las Obras Marítimas y Portuarias.

Todas ellas constituyen auténticos tratados de Ingeniería y permiten el cálculo en condiciones seguras, destacando por ejemplo que la ROM 0.5-05, a lo largo de 535 páginas recoge todos los conceptos geológicos, geotécnicos y de cimentaciones para aplicarlos posteriormente a cualquier tipología estructural de obra portuaria o de obra civil.

Solo como ejemplo, y habida cuenta de la gran variedad de posibilidades existentes para el diseño de diques en talud, se adjunta el esquema que figura en la ROM 1.0-09 sobre la tipología Iribarren con el dimensionamiento según la misma del dique del Puerto de Orio, el cual sirve como esquema para el análisis general de riesgos:



**Figura 4.73.** Dique en talud tipología Iribarren

Fuente: ROM 1.0-09

Como puede observarse se parte de un núcleo principal de escollera fina, en el caso de Orio de 5 a 500 kg, que se protege con escollera de mayor tamaño (1 a 3 ton) para terminar con el manto principal, normalmente bloques paralelepípedicos de hormigón que en Orio son de 30 ton, pero que en Langosteira (La Coruña) alcanzan 160 ton.



**Figura 4.74.** Manto principal en diques

*Fuente:* fotografías del Autor



El dimensionamiento de estos bloques tiene en cuenta no solo las dimensiones y peso, sino también la posición, ya que es necesario colocar los mismos en orientaciones definidas en tres dimensiones para optimizar su capacidad de minimizar la energía de la ola, existiendo negativos ejemplos del comportamiento de otros sistemas, fundamentalmente tetrápodos, en la Península Ibérica: Puertos de San Ciprian (España) y Sines (Portugal).



**Figura 4.75.** Tetrápodos y cubípedos

*Fuente:* fotografías del Autor



Durante la ejecución de los diques hay zonas en el avance que no están aún protegidas de los oleajes de diseño. En el caso de presentarse fuertes temporales, pueden causarse pérdidas en el núcleo y los mantos intermedios de escollera, motivo por el cual es normal suspender las labores de construcción del dique en los meses de noviembre a marzo, donde las alturas de olas son mayores, construyéndose para proteger el dique en este periodo los llamados morros de invernada, quedando durante estos periodos el dique protegido con su manto principal y el morro (frente de avance) con protección específica.



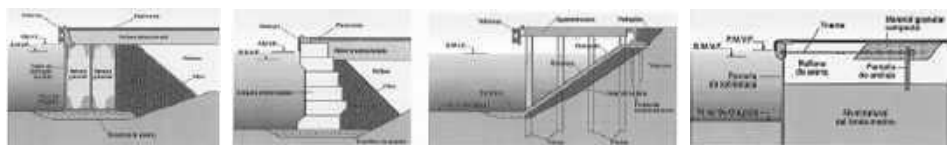
**Figura 4.76.** Morro de la invernada en el Puerto de Langosteira

Fuente: fotografías del Autor

Vistas las obras de abrigo, hay que analizar el riesgo en la construcción y explotación de los muelles, los cuales son definidos por el Diccionario de la real Academia de la Lengua como **«Obra de piedra, hierro o madera, construida en dirección conveniente en la orilla del mar de un río navegable, y que sirve para facilitar el embarque y desembarque de cosas y personas e incluso, a veces, para abrigo de las embarcaciones».**

Nos encontramos pues ante una obra protegida dentro de la dársena que conforman los diques de abrigo o de la protección natural de la costa en su caso, y por tanto de menor exposición durante su ejecución, aunque los calados necesarios para las grandes embarcaciones hacen necesarias obras muy importantes que obviamente deben ser analizadas desde el punto de vista del riesgo.

Sin duda uno de los puntos más importantes es que los muelles tienen, normalmente, en su trasdós los terrenos, ya sean naturales o ganados al mar, los cuales conforman la plataforma terrestre del puerto y en consecuencia se convierten en verdaderos muros que deben contener los empujes del terreno, siendo estables tanto al vuelco como al deslizamiento, configurándose de muy distintas maneras como recoge la publicación de Puertos del Estado «Así se hace un Puerto» antes mencionada.



**Figura 4.77.** Tipología de muelles

Fuente: Así se hace un Puerto. Ministerio de Fomento

Los muelles de cajones y bloques se inician normalmente en la dársena marina con agua en ambas caras, estando en esta fase el riesgo centrado en su construcción en el cajonero, en su remolque y en su posterior fondeo, debiendo la banqueta de tierras servir de apoyo para la transmisión de las cargas verticales al terreno.

Mayor riesgo representa el relleno de tierras en el trasdós (lado tierra) ya que el empuje del terreno es mayor que el empuje hidrostático y además la altura de tierras es mayor que el nivel de agua, debiendo resistir el muelle tanto a vuelco como a deslizamiento, y ser la presión admisible del terreno mayor que la que genera el peso del mismo.

Normalmente el relleno se realiza con una draga de succión tomando terreno del fondo marino y vertiéndolo en el trasdós del muelle, lo cual se conoce como relleno hidráulico. Este relleno está totalmente saturado y necesita normalmente años para su consolidación, pudiéndose acelerar el proceso mediante técnicas de precarga ya comentadas, pero que pueden generar empujes adicionales sobre el muelle debido a la sobrecarga que generan.

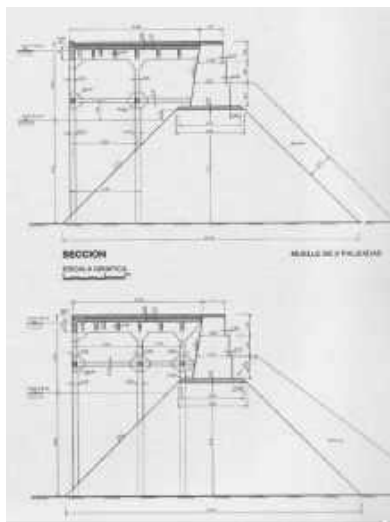
Un ejemplo del riesgo de este tipo de obras lo tenemos en el Puerto de Barcelona, donde el 1 de enero de 2007 colapsaron 16 de los 37 cajones que conformaban la nueva línea de muelles, superando los 600 metros de bloques de hormigón de 20 metros de altura, hundiéndose en el mar lo que obligó a su rescate y rehabilitación en algunos casos o demolición en otros, con daños materiales que superaron los 60 millones de Euros y pérdidas económicas por los retrasos de más de 200 millones de Euros.



**Figura 4.78.** Colapso de cajones en Puerto de Barcelona

*Fuente:* Informe de Siniestro

Los muelles sobre estructuras en talud, muy típicos de puertos naturales, rías, etc., no presentan especial riesgo en su ejecución existiendo una amplia diversidad en el Norte de España recogida en la publicación de Puertos del Estado «OBRAS DE ATRAQUE DE BLOQUES Y PILOTES EN ESPAÑA. FACHADA NORTE» de la cual se extrae como ejemplo el Puerto de Maliaño en Santander:



**Figura 4.79.** Puerto de Maliaño (Santander)

La acción del mar y la antigüedad de muchos de ellos hace necesario un mantenimiento adecuado y labores de control para analizar la necesidad de refuerzos puntuales, aunque la vida útil de los puertos viene reflejada en la ROM 2.0/11, Recomendaciones para el Proyecto y Ejecución en Obras de Atraque y Amarre, del Ministerio de Fomento.



**Tabla 2.4.7.1. Índices de Recuperación Económica (IRE) y vidas útiles mínimas ( $V_{\min}$ ) recomendadas para las obras de atraque y amarre en función de su uso**

USO	TIPO DE MERCANCÍA	ÍNDICE IRE <sup>a</sup>	VIDA ÚTIL MÍNIMA ( $V_{\min}$ ) <sup>b</sup> (AÑOS)
COMERCIAL	Grandes ligeros	$r_1$ ( $r_2$ ) <sup>1</sup>	Alto (Medio) <sup>1</sup>
	Grandes volúmenes	$r_2$ ( $r_3$ ) <sup>1</sup>	Alto (Medio) <sup>1</sup>
	Merchancía general	$r_1$	Medio
	Pasajeros	Ferri: $r_2$ ( $r_3$ ) <sup>2</sup>	Alto (Medio) <sup>2</sup>
		Cruceiros	$r_1$
PESQUERO		$r_1$	Bajo
NAUTICO-DEPORTIVO		$r_1$	Bajo
INDUSTRIAL		$r_2$ ( $r_3$ ) <sup>3</sup>	Medio (Alto) <sup>3</sup>
MILITAR		$r_1$	Alto

(1) El índice IRE podrá reducirse a  $r_1$  cuando el granel sólido o líquido no esté relacionado con el suministro energético o con materias primas minerales estratégicas y no se pueda disponer de sustitutos alternativos para su manipulación y almacenamiento.

(2) El índice IRE podrá reducirse a  $r_2$  cuando se pueda disponer de instalaciones alternativas.

(3) El índice IRE se elevará a  $r_3$  cuando la industria a la que sirve la obra de atraque esté asociada con la producción energética o con la transformación de materias primas minerales estratégicas.

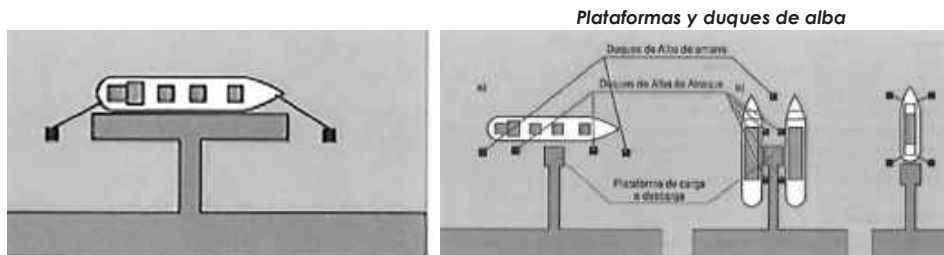
(4) Los índices  $r_1$  y  $r_2$  de la tabla se elevarán un grado por cada 25 M de inversión inicial de la obra de atraque.

**Figura 4.80.** Índices de Recuperación Económica y vidas útiles mínimas (ROM 2.0-11)

Por último, las pantallas ancladas son obras más singulares y solo es posible su ejecución en casos muy puntuales.

Además de los muelles para el atraque de barcos, existen también en los puertos pantalanes y duques de alba con una función parecida y consiguiendo mayores calados al

separarse del borde marítimo, por lo que se emplean con frecuencia para descarga de petroleros, graneles líquidos, etc.



**Figura 4.81.** Pantalanes y duques de Alba

Fuente: Así se hace un Puerto. Ministerio de Fomento

Su construcción tampoco representa un riesgo excesivo, apoyándose normalmente en cimentaciones mediante pilotaje y siendo usuales instalaciones de bombeo que deben estar convenientemente protegidas contra incendios, quedando en el recuerdo el siniestro ocurrido en el pantalán de CEPSA en la Bahía de Algeciras al incendiarse el petrolero Petrogen One en Mayo de 1985.

Por último, las construcciones portuarias ocupan en la mayoría de las ocasiones terrenos ganados al mar que precisan de un tiempo prudente de consolidación, necesiéndose muchas veces cimentaciones profundas empotradas en el sustrato natural y debiendo estar preparadas para soportar la agresividad del ambiente marino, lo cual precisa de un mantenimiento continuo y actuaciones programadas de conservación y mantenimiento.

Para terminar este capítulo de Obras Portuarias hay que mencionar algunos aspectos técnicos, los cuales parten siempre del oleaje para el diseño de estas, definido según la RAE como **«Onda de gran amplitud que se forma en la superficie de las aguas»**, viniendo la misma provocada por la acción del viento.

Al actuar este fenómeno atmosférico sobre la superficie del mar genera una fricción que causa pequeñas ondas que según se van ampliando en altura, crecen exponencialmente al presentar una mayor superficie expuesta, dependiendo la altura máxima de la velocidad del viento, de su persistencia en el tiempo y de su dirección. Es muy importante la distancia entre costas en dicha dirección, lo que se denomina «fetch», ya que las olas son de menor altura en un lago que en un mar cerrado, y mucho menores que en un océano.

Las obras marítimas se dimensionan en base a la altura de ola significativa, que se define como la media del tercio mayor, es decir, medidas todas las olas de un temporal en una boya determinada, se toma el tercio mayor y se extrae su media, lo que da lugar a la altura de ola significativa. Sin embargo, no solo es la altura de ola la que condiciona la energía que la obra marítima deberá soportar, ya que son igualmente importantes su longitud de onda, distancia entre dos cre-

tas consecutivas, y su periodo, tiempo que discurre entre el paso de dos crestas consecutivas.

Otra forma de generación de olas mucho más peligrosas por su magnitud y generación son las producidas por un tsunami, ola gigantesca producida por un maremoto o una erupción volcánica en el fondo del mar. En el gráfico siguiente se detalla su origen, observándose como una oscilación que se propaga bajo la superficie forma olas gigantes cuando disminuye la profundidad cerca de la costa.



**Figura 4.82.** Formación de un Tsunami. Conferencia de Vicente Negro Valdecantos (ETSICCP)

En resumen, los puertos son obras muy complejas en cuanto a su dimensionamiento, que requieren de una alta capacitación y experiencia (sobre todo para las obras de abrigo), y que por tanto deben ser calculadas por ingenieros muy expertos con ayuda de laboratorios especializados que permitan simulaciones a escala.

#### 4.5. Ingeniería Sanitaria

Bajo este concepto se engloban las obras que conforman el saneamiento de los lugares donde se desarrolla la actividad humana, fundamentalmente ciudades, principalmente para Abastecimiento y Distribución de agua potable y Eliminación de aguas residuales.



Las Obras que comprende la Ingeniería Sanitaria, pueden resumirse en Captación, Conducción, Depuración de Aguas Potables (ETAP), Almacenamiento, Distribución, Evacuación y Depuración de Aguas Residuales (EDAR). Engeneral se asemejan bastante en su conjunto, pero presentan riesgos bien diferenciados, debiendo hacer mención, como en tantas otras obras públicas, al Imperio Romano, con claros ejemplos de saneamiento en cientos de sus ciudades, como la ciudad romana de Dougga, Túnez, una de las mejores conservadas y donde se observan obras de captación, acueducto, cisternas, baños públicos, letrinas y una red de alcantarillas donde todavía es posible ver correr el agua.



**Figura 4.83.** Cisternas de Dougga

*Fuente:* fotografía del Autor

Desde el punto de vista del análisis de riesgos que la Ingeniería Sanitaria conlleva, hay que partir de la base de que la extensión de este tipo de obras es grande, siendo por tanto necesario tener una descripción geológica de la zona de implantación global, así como estudios geotécnicos detallados de elementos importantes, además de estudios hidrogeológicos, climatología, precipitaciones para distintos periodos de retorno, frecuencia e intensidad de tormentas y huracanes y también de la sismicidad de la zona.

Puesto que en capítulos anteriores hemos analizado obras de captación como presas y balsas de abastecimiento, así como obras lineales y transporte por tubería, centramos en análisis particularizado en los riesgos en Depósitos, Abastecimiento Urbano, Saneamientos y por último Estaciones Depuradoras (EDAR y ETAP), todo en cuanto a la parte de Obra Civil se refiere, sin entrar en los montajes industriales y procesos químicos que las mismas requieren.

El riesgo principal de los Depósitos de agua para abastecimiento de ciudades (lo mismo ocurre con las balsas) es que se encuentran en la parte alta de las mismas para poder realizar el abastecimiento por gravedad y minimizar así los costos de operación, razón por la cual su rotura puede generar avalanchas con riesgo de vidas humanas y daños materiales, sirviendo como ejemplo la rotura del Depósito de Melilla en Noviembre de 1997, que causó 11 muertos y gran cantidad de heridos y daños materiales.



Como Obra Civil su riesgo en construcción es bajo, debiendo prestar especial atención al terreno tanto en su capacidad portante como en las posibilidades de deslizamientos, viéndose también afectado por el viento dada su ubicación en altura y a la posible sismicidad de la zona.

El Abastecimiento Urbano y el Saneamiento, en cuanto a Obra Civil se refiere, tienen el factor común de la necesidad de zanjas para que tanto tuberías como colectores vayan enterrados. Sin embargo, las mismas no suelen ser de gran profundidad, y en cualquier caso debe tenerse en cuenta su protección durante la ejecución para evitar pérdidas de vidas humanas.

Durante su explotación es muy importante evitar posibles fugas toda vez que a veces el terreno afectado suele ser colapsable (normalmente rellenos) con lo cual la saturación de los mismos por el agua genera los socavones tan frecuentes en nuestras ciudades que se producen de forma súbita y que engullen a todo lo que se halla en su área de colapso, siendo también usual la afección entre distintos tipos de conducciones durante la apertura de zanjas para reparación o mantenimiento.

En cuanto a las Estaciones Depuradoras, ya sean de agua potable o de aguas residuales, tampoco presentan riesgos especiales en su obra civil, estando más expuestas en cuanto al riesgo de inundación las EDAR debido a su ubicación próxima a cauces fluviales en los cuales se vierten las aguas ya depuradas.

Mención especial merecen en este apartado las plantas desalinizadoras, tan antiguas casi como el universo ya que hay constancia de las mismas en el Siglo IV antes de Cristo en Grecia, aunque su posterior desarrollo en los tiempos actuales lleva a inversiones superiores a los 10.000 millones de dólares.

Su proceso lo podemos resumir en:

- Pretratamiento para separar sólidos.
- Desalinización.
  - Osmosis
  - Osmosis inversa
  - Electrodialisis
  - Procesos térmicos con utilización de vapor
- Postratamiento para ajustar PH en columnas de aireación.
- Toma de captación y emisario de eliminación de salmuera y productos químicos.

Desde el punto de vista de la Obra Civil, es este último punto el que conlleva un riesgo más especial toda vez que hay que realizar obras marítimas que a veces requieren

diques de protección durante su realización, estando sujetas a problemas de oleaje y movimientos del fondo marino, siendo sus elementos más importantes:

- Cámara de carga. Estructura de hormigón para captación de las aguas y posibilitar salida.
- Emisario en tierra, con posibilidad de excavación en zanja o en túnel.
- Emisario en mar, tramo submarino hasta descarga fondeado con ayuda de lastres en zanja dragada y con protección adecuada al medio.
- Difusores, que deben permitir la salida al mar sin entrada de agua.

Cuando el emisario en mar se realiza con protección de obras de abrigo, es importante fijar el periodo de ejecución, toda vez que la altura de ola significativa es muy diferente de invierno a verano y, dada la temporalidad de la obra y su corta duración, el dimensionamiento varía mucho y consecuentemente su coste, siendo preferible utilizar la ventana de abril a octubre o en su caso dimensionar las obras con alturas máximas anuales de ola significativa.

#### 4.6. Edificaciones Singulares

Aunque no constituyen en algunos casos una verdadera obra civil, sus especiales características estructurales y su mayor exposición desde el punto de vista del riesgo, hacen conveniente exponer una breve reseña a las edificaciones singulares, que bien por su altura, por sus dimensiones o por sus condiciones arquitectónicas se diferencian del conjunto de edificaciones tradicionales. A tal efecto se consideran grandes alturas, grandes luces, ubicaciones en lugares de especial riesgo tales como terrenos ganados al mar o laderas de montaña, y también aquellos de sensibilidad especial como Radiotelescopios o Torres de señalización o comunicación.

Los edificios en altura conllevan elevadas cargas a cimentación y por tanto precisan normalmente de losas de gran canto o de cimentaciones profundas, soluciones igualmente válidas tomando como ejemplo que las dos torres más al norte del conjunto de las cuatro torres de Castellana Norte en Madrid, con diseño estructural semejante y excavación común para las plantas sótano, están cimentadas con elementos de pantalla en un caso (Torre Cristal) y con losa de gran canto postesada en otra (Torre Espacio), siendo necesario en cualquier caso un estudio geotécnico muy cuidado y un control de ejecución acorde con la solución adoptada. Así, en el caso de la losa de gran canto, se estableció inicialmente el asiento diferencial esperado entre torre y aparcamiento, midiéndose periódicamente los asientos para realizar el postesado de la losa en base a los movimientos reales.

Otro punto importante es la estabilidad a viento con núcleos resistentes y ensayos en túnel de viento, no pudiéndose impedir movimientos en altura, perfectamente de-

tectables y que al ser previamente estudiados no suponen mayor riesgo estructural, pudiendo adoptarse igualmente diferentes soluciones para dar rigidez al núcleo resistente, volviendo al ejemplo de las cuatro torres ya mencionadas que se reflejan en la siguiente fotografía.



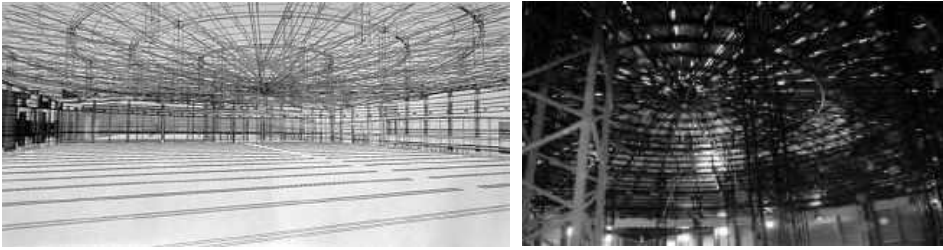
**Figura 4.84.** Construcción de las Torres de Madrid

*Fuente:* fotografías del Autor

La torre más al sur, primera en la figura de la derecha, basa su rigidez en la estructura exterior a modo de puente donde se embeben los dos núcleos de ascensores. Además sirve de soporte a las plantas técnicas de las que literalmente cuelgan cada uno de los tres módulos de oficinas, permitiendo un hall diáfano y menor densidad de pilares. Mientras, en las tres torres situadas más al norte la rigidez la proporciona el núcleo central donde se sitúan los ascensores, quedando a su alrededor el espacio para oficinas.

Hay que tener en cuenta también la necesidad de emplear materiales de alta resistencia, lo cual requiere de una adecuada fabricación y puesta en obra, siendo muy especial el riesgo de incendio debido a las plantas técnicas en altura y las instalaciones existentes en las mismas, debiendo recomendar la disposición de equipos de protección de incendios desde las fases iniciales de ejecución para permitir a los servicios de bomberos tanto el acceso como el aporte de agua a las plantas superiores mediante columnas secas.

También representan especial riesgo los edificios con grandes luces, naves, hangares, polideportivos, pabellones, etc. con gran sensibilidad a las deformaciones y a los asentamientos de tipo diferencial que podrían existir en cimentación, lo que traslada normalmente la problemática a las cubiertas, siendo además edificios muy sensibles por el uso público al que están destinados. A veces se toman soluciones muy innovadoras como la adoptada en uno de los pabellones de Ifema en Madrid, donde la cubierta apoya sobre pilares que también literalmente descansan sobre un conjunto de cables redundantes anclados a una viga borde, amodode auténticos «funambulistas», lo que permite una planta totalmente diáfana.



**Figura 4.85.** Pabellón de Ifema en Madrid

*Fuente:* imágenes de informes del Autor

Existen por último edificaciones de gran sensibilidad como el caso de radiotelescopios y torres de comunicación donde pequeños movimientos en cimentación, admisibles en cualquier otra construcción, distorsionan tremendamente el uso para lo que han sido construidos. Así, por ejemplo, durante la construcción del radiotelescopio en la Loma Dilar en Sierra Nevada, hubo que realizar un exhaustivo tratamiento del terreno mediante inyecciones para minimizar el posible efecto del sismo, dada la exposición de la zona.

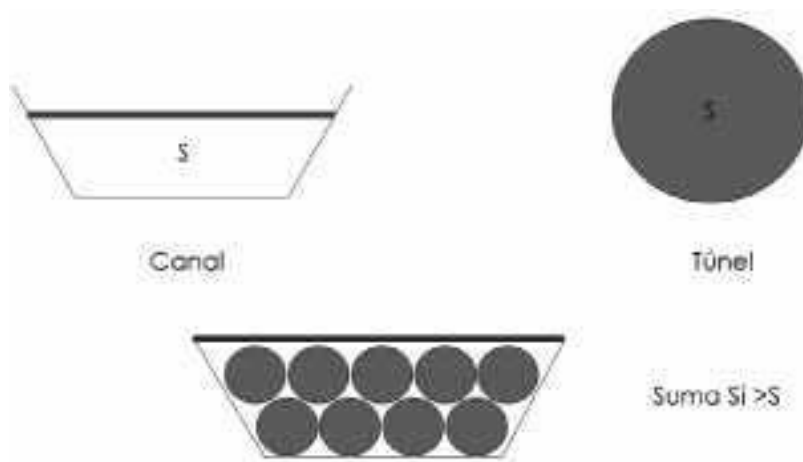
Se puede resumir por tanto que independientemente del riesgo normal de toda edificación, hay también un riesgo de diseño al estudiarse en la mayoría de las ocasiones soluciones novedosas con un riesgo intrínseco que requiere de Arquitectos e Ingenieros muy expertos.



## 5. MAPA DE RIESGOS Y SU EVALUACIÓN

Con todo lo anteriormente expuesto, sería conveniente que antes de iniciar cualquier obra civil, preferiblemente durante la fase de proyecto, se realizase un exhaustivo análisis de todas las fases constructivas para dibujar el Mapa de Riesgos y prevenir, dentro de lo posible, siniestros futuros, siendo necesario mirar más allá de lo evidente.

Así por ejemplo, si en el caso anteriormente comentado del canal de desvío se hubiera tenido en cuenta que ante una gran avenida los ríos no arrastran solo agua, y sí troncos, ramas, barro, lodo, piedras, etc., seguro que la decisión de construir el pontón no se hubiera tomado.



**Figura 5.1.** Presa de Rules

Se trata pues de inculcar a los profesionales de la construcción una sensibilidad al riesgo y sobre todo facilitar bases técnicas para su análisis, intentando que las mismas sean totalmente objetivas, aunque al ser necesarios conocimientos técnicos importantes siempre quede un hilo de subjetividad. Sin embargo, si se valoran muchos puntos se consigue que la media se aproxime bastante y que en consecuencia la evaluación final permita, en un rango de 1 a 5, clasificar los riesgos, valorar las recomendaciones para su mejora y si es necesario transferirlo a su justo precio al Sector Asegurador, punto este último muy importante y que posteriormente será desarrollado.

Durante los años 80 del pasado siglo, dentro del Grupo Swiss Re y con mi compañero Fernando Suarez del Villar, desarrollamos un método para la Evaluación Objetiva del Riesgo de Incendios, que se facilitó a diversas compañías aseguradoras y posterior-

mente fue acogido por el Pool Español de Grandes Riesgos, quien lo ajustó en base a grupos de trabajo en los que tuvimos la ocasión de participar, y que, durante muchos años, constituyó una herramienta muy eficaz para la valoración y la transferencias de los riesgos asumidos.

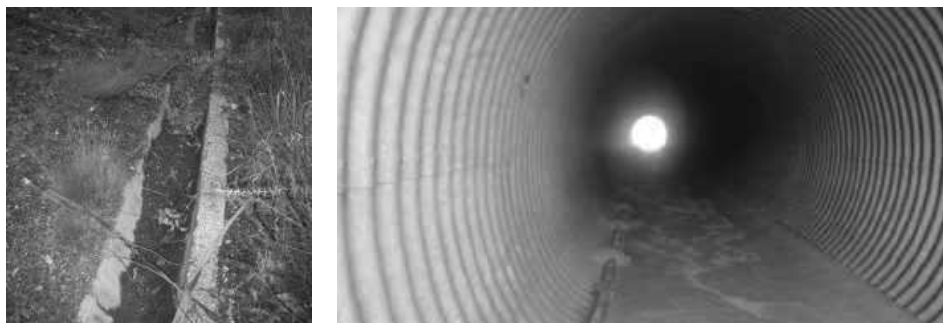
Dicho método partía de una valoración inicial basada en la clasificación de peligrosidad establecida por el Comité Europeo de Aseguradores a la cual se le aplicaba un ajuste por un factor de agravación en función de las peculiaridades de la industria a valorar, para posteriormente analizar las particularidades de su construcción, instalaciones, orden y limpieza existentes, protección contra incendios, recursos humanos y siniestralidad, obteniendo un valor K que venía dado por la expresión:

$$K = R \times C / F + I + L + P + H$$

Donde R es el Riesgo Intrínseco, C el factor de agravación y F, I, L, P y H los factores de construcción, instalaciones, orden y limpieza, protección contra incendio y recursos humanos más siniestralidad, obtenidos estos últimos a través de las ingentes recomendaciones que se repetían durante las visitas de inspección.

Cuanto más recomendaciones se hacían peor era el riesgo y por tanto no era difícil su evaluación, observando en el mapa de riesgos todo aquello que era susceptible de mejoras, lo que permitía además jugar con los distintos factores recomendando medidas hasta alcanzar el valor óptimo, teniendo siempre en cuenta el binomio costo/seguridad.

La experiencia demuestra que, a veces, el seguimiento de recomendaciones de bajo costo da óptimos resultados en cuanto a la minimización de la siniestralidad, y por el contrario hay medidas excesivamente costosas y que solo producirían mejoras insignificantes. Por tanto, es necesario siempre un equilibrio práctico en el que deben implicarse todos los agentes relacionados con el Riesgo y cuyo objetivo común es siempre minimizar la siniestralidad y sobre todo evitar catástrofes que pongan en peligro vidas humanas e importantes daños materiales.



**Figura 5.2.** La simple limpieza del drenaje longitudinal y la protección inferior de un drenaje transversal representan medidas de bajo costo que disminuyen drásticamente la probabilidad de fallo

Esta experiencia previa puede perfectamente trasladarse a la Obra Civil. En consecuencia, es posible realizar una evaluación del riesgo intrínseco, del factor de agravación y de los factores de mejora en base siempre al adecuado conocimiento de aquella, teniendo en cuenta que el análisis debe basarse en:

- Adecuado estudio del Proyecto para el necesario conocimiento del riesgo.
- Análisis de la Obra en Ejecución o bien de la Obra Terminada con el Proyecto «as built».
- Estructuración del Mapa de Riesgos de acuerdo con las características de la obra y su ubicación, con especial atención a los mapas de fenómenos climatológicos existentes en cada país.
- Estudio del entorno y su influencia en la construcción y en el mantenimiento de la Obra.
- Visita a la Obra para la obtención de la información necesaria y evaluación de recomendaciones.
- Estudio en gabinete, Valoración del riesgo y Estimación del Siniestro Máximo Posible (MPL), como posteriormente se desarrollará.
- Emisión de informes.
- Programación de la periodicidad de inspecciones de control.

Con este esquema es posible realizar una valoración objetiva de los riesgos, poniendo como ejemplo los factores que en mi vida profesional, como analista, utilizo en Autovías o Carreteras Convencionales, fácilmente trasladable a otras obras lineales, no facilitando los valores numéricos al no estar contrastados con otros técnicos y ser por tanto de aplicación personal, aunque los mismos quedan abiertos a cualquier persona interesada con conocimientos técnicos y experiencia que esté dispuesta a realizar las labores de contraste y desarrollar un método universalizado de forma conjunta.

Siguiendo lo antes comentado para la evaluación del riesgo de incendios en establecimientos industriales, es preciso en primer lugar analizar el Riesgo Intrínseco el cual dependerá de:

1. Longitud de la Carretera, Número de Calzadas y Vías de Circulación.
2. Obras de Tierra, con especial atención a:
  - a. Taludes, estableciendo alturas de hasta 5 metros, entre 5 y 10 metros, entre 10 y 20 metros, entre 20 y 40 metros y mayores de 40 metros, y considerando las longitudes respectivas.
  - b. Terraplenes, teniendo en cuenta idénticas ventanas en cuanto a alturas y longitudes.



### 3. Estructuras:

- a. Muros de contención, estableciendo también ventanas de altura de hasta 10 metros y superiores a la misma, midiendo su desarrollo en planta.
- b. Puentes y viaductos, para cuya valoración se tendrá en cuenta la superficie total del tablero, la luz máxima entre apoyos, la altura máxima y la tipología de los mismos.
4. Túneles, estableciendo su sección, su longitud, las características del terreno y la tipología del sostenimiento.
5. Firmes, igualmente con el número de calzadas y vías por calzada y su tipología.

Con las valoraciones otorgadas a cada uno de los conceptos anteriores queda definido el Riesgo Intrínseco (RI), que como se ve solo depende la propia morfología de la carretera.

Dicho Riesgo Intrínseco debe ser afectado por factores correctores, los cuales son a su vez función de:

1. Antigüedad (F1) de los diferentes tramos.
2. Factor de Geología y Geotecnia (F2) partiendo del corte estratigráfico de la traza y agrupando terrenos según la existencia de:
  - a. Suelos blandos, yesíferos o expansivos.
  - b. Suelos arenosos.
  - c. Suelos compactos y esquistos.
  - d. Roca blanda o carstificable.
  - e. Roca sana y compacta.

3.

Factor de Topografía (F3) distinguiendo:

- a. Terreno montañoso y accidentado.
- b. Terreno ondulado con vaguadas suaves.
- c. Terreno llano.
4. Factor de exposición a Riesgos de la Naturaleza (F4)
  - a. Terremoto.
  - b. Sunami.
  - c. Inundación.
  - d. Tormentas y Huracanes.
5. Factor de Exposición a Riesgos Antrópicos (F5)
  - a. Presas y Balsas.

- b. Aeropuertos y Ferrocarriles.
- c. Industria Pesada.
- d. Incendios Forestales.

Al multiplicar el Riesgo Intrínseco por los distintos factores, obtenemos el Riesgo Real (RR) que además de la propia morfología de la carretera tiene en cuenta su ubicación el terreno y los fenómenos de la naturaleza, además de causas antrópicas que puedan generar daños materiales.

$$RR = RI \times F1 \times F2 \times F3 \times F4 \times F5$$

Este riesgo real sería el de máxima exposición. Sin embargo, dos trazados idénticos en origen y en el mismo lugar, no tienen necesariamente que ser exactamente iguales ya que hay factores que pueden minimizar su valor en función del Proyecto, la Dirección de Obra y Proceso Constructivo, la aplicación de Periodos de Retorno elevados para obras de drenaje, la consideración en proyecto de normativas sismorresistentes y contra huracanes, el mayor o menor presupuesto en control, mantenimiento y conservación, etc.

Es por tanto necesario tener en cuenta una serie de puntos ligados a cada una de las unidades de obra, con objeto de minimizar el Riesgo Real, según siguiente esquema:

1. Proyecto y Ejecución de Obra (M1)
  - a. Proyecto completo y conocido, ajustado a normas internacionales y realizado por Ingeniería experta en Obra Civil.
  - b. Construcción realizada por empresa especializada y ajustada a Proyecto.
  - c. Asistencia técnica especializada durante fase de Proyecto y Construcción.
  - d. Existencia de Proyecto «as built».
2. Obras de Tierra (M2)
  - a. Estudio Geotécnico completo de acuerdo con Normas Internacionales de Carreteras.
  - b. Taludes dimensionados aplicando programas de estabilidad con cohesión, ángulo de rozamiento y densidad, obtenidos de ensayos de laboratorio.
  - c. Taludes protegidos con muros, escollera o tratamientos superficiales.
  - d. Terraplenes formados por pedraplén o suelos seleccionados con adecuada compactación.
  - e. Inexistencia de suelos cársticos, suelos colapsables o arcillas expansivas.
  - f. Inexistencia de niveles freáticos afectando a terraplenes.

### 3. Drenajes (M3)

- a. Cálculos hidráulicos de todas las cuencas existentes.
- b. Periodos de retorno de al menos 25 años para drenajes longitudinales, 100 años para drenajes transversales y 500 años para puentes.
- c. Existencia de cunetas de guarda en cabeza de taludes.
- d. Protección mediante escollera de zonas inundables de terraplenes.
- e. Drenajes transversales y pasos de fauna con solera de hormigón en todos los casos.
- f. Existencia de estanques de tormentas para recogida de drenajes longitudinales dimensionadas al menos con Periodo de Retorno de 25 años.

### 4. Estructuras (M4)

- a. Muros calculados según parámetros geotécnicos soportados por ensayos de laboratorio.
- b. Anclajes controlados mediante células depresión.
- c. Estructuras revisadas y renovadas con control periódico de cables a tracción.
- d. Cimentaciones profundas empotradas en terreno compacto o superficiales en terreno igualmente compacto.
- e. Inexistencia de problemas de socavación en cimentaciones o protección de las mismas.

### 5. Túneles (M5)

- a. Con dovelas o protección con hormigón de más de 30 cm de espesor.
- b. Inexistencia de fallas ni problemas durante ejecución y explotación.
- c. Inexistencia de suelos expansivos.
- d. Convergencias estabilizadas durante la fase de ejecución.
- e. Filtraciones controladas sin posibilidad de carstificaciones.

### 6. Fenómenos de la Naturaleza (M6)

- a. Exposición conocida y tenida en cuenta en Proyecto.
- b. Datos país actualizados y fiables.
- c. Inclusión en Proyecto del Anejocorrespondiente.
- d. Construcción sismorresistente con aplicación de estándares internacionales.

Hay otra serie de factores que también minimizan el riesgo y que no son de ninguna manera menos importantes como mantenimiento, conservación y control, lo cual es

fácilmente medible por el presupuesto anual previsto, el cual debe estar relacionado con el valor total de la obra.

1. Mantenimiento (M7)
  - a. Mantenimiento Predictivo con Agenda preestablecida y cumplimiento constatado.
  - b. Brigada propia de mantenimiento con actividades periódicas programadas.
2. Conservación (M8)
  - a. Brigada propia de conservación con actividades periódicas programadas.
  - b. Constatación fehaciente de limpieza de drenajes longitudinales y transversales.
  - c. Limpieza de maleza en los bordes de la carretera y cuidado forestal de los bosques en el entorno.
3. Control (M9)
  - a. Auscultación de taludes con inclinómetros.
  - b. Control de anclajes con células dinamométricas.
  - c. Control tensional de estructuras.
  - d. Control topográfico, al menos anual, de estructuras.
  - e. Cumplimiento de Normas Internacionales de Seguridad en Túneles.

Por último, es también preciso valorar las instalaciones propias para la explotación de la carretera, incluyendo salas de control y almacenes, donde el riesgo de incendios puede ser elevado (M10)

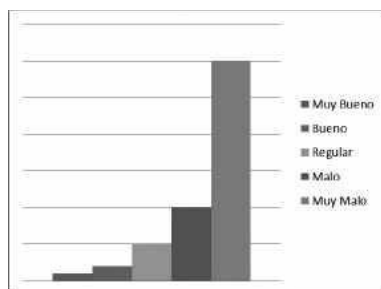
Todos estos factores, que pueden suponer una mejora del riesgo, tendrán un valor mayor que 1 o como mínimo 1 si se considera que no hay motivo para ello, llegando a un factor de Mejora Total MT que será:

$$MT = M1 \times M2 \times M3 \times M4 \times M5 \times M6 \times M7 \times M8 \times M9 \times M10$$

De esta forma es sencillo obtener una Valoración Objetiva del Riesgo VR que será:

$$VR = RI / MT$$

Obviamente esta Valoración Objetiva del Riesgo será mayor cuanto más largasea la carretera, y en consecuencia será necesario establecer un ratio por kilómetro cuyo valor nos determina en cinco estadías la consideración particular.



**Figura 5.3.** Valoración Objetiva del Riesgo

Este análisis es de vital importancia a la hora de transferir el riesgo, lo que lo hace igualmente necesario para la compañía aseguradora, la cual establecerá el precio de la póliza en función de la clasificación anterior.

## 6. TRANSFERENCIA DE RIESGOS AL SECTOR ASEGURADOR

El Riesgo es una constante en nuestra vida y la razón de ser de las Compañías Aseguradoras. El propio Diccionario de la Lengua lo define como: **«Contingencia o proximidad de un daño»** y también como **«Cada una de las contingencias que pueden ser objeto de un contrato de seguro»**. Si a ello le unimos que Contingencia es **«Cosa que puede suceder o no suceder»**, y tenemos en cuenta que Siniestro es la manifestación del riesgo aleatorio, tendremos en la coctelera todos los ingredientes para confirmar que Riesgo y Seguro tienen mucho que ver.

Como ya se ha comentado con anterioridad, desde el punto de vista Técnico, el Riesgo se define como el producto matemático de la probabilidad de que ocurra un suceso por las consecuencias del mismo:

$$R = P \times C$$

Dada la propiedad conmutativa de la multiplicación, podremos tener un riesgo elevado con alta probabilidad y bajas consecuencias, o con baja probabilidad, pero con altas consecuencias. Ante ello tendremos dos alternativas: asumir el Riesgo o intentar transferirlo, ambas igualmente válidas, y será decisión optativa del sujeto que debe soportar dicho Riesgo.

Si en mi cuenta corriente tengo un millón de Euros, podré optar por hacer un seguro de daños para mi coche o no hacerlo, ya que, en el peor de los escenarios, sufriendo un siniestro total, tendré el dinero suficiente para comprar un coche nuevo. Sin embargo, y si quiero garantizar el normal desarrollo de mi economía, no podría asumir las consecuencias de un atropello con víctimas, motivo por el cual intentaré transferir la responsabilidad civil a una compañía aseguradora, la cual debe siempre partir de la base de que todo aquello que es evaluable, es decir, que puede ser estudiado en cuanto a probabilidad de ocurrencia y consecuencias, es asegurable.

**«El contrato de seguro es aquél por el que el asegurador se obliga, mediante el cobro de una prima y para el caso de que se produzca el evento cuyo riesgo es objeto de cobertura, a indemnizar, dentro de los límites pactados, el daño producido al asegurado o a satisfacer un capital, una renta u otras prestaciones convenidas»**, siendo el Seguro **«una operación financiera por la cual una parte, el asegurado, mediante una remuneración, la prima, se hace prometer para sí mismo o para un tercero, en caso de realización de un riesgo, una prestación, por otra parte, el asegurador, quien asumiendo un conjunto de riesgos, los compensa conforme con las leyes de la estadística»**.

Desde la óptica de la Obra Civil, habrá siempre un dueño de la misma, ya sea de forma directa o mediante concesión, y ante la disyuntiva de sufrir un daño material tanto en el

proceso de construcción como en la fase de explotación, deberá analizar la conveniencia de retenerlo o de transferirlo, siendo lo usual estudiar probabilidad y consecuencias, como antes se ha comentado, analizando además la oferta de transferencia que el mercado asegurador pone al alcance de los potenciales asegurados, o incluso confeccionando su propio «traje a medida» que ofrecerá al mercado buscando comprador y precio.

Puesto que las obras se hacen a riesgo y ventura del Contratista, la industria aseguradora ha desarrollado coberturas durante todo el proceso de construcción ya que aquel necesitaba transferir su riesgo, ofreciendo productos alrededor del llamado Todo Riesgo de Construcción, quedando sin cobertura una vez acabadas las obras, cuando el Promotor era el Estado.

Sin embargo, el Régimen de Concesiones que se va imponiendo en la obra pública hace que en la actualidad sea necesario ofrecer también productos para Obra Civil Terminada, así como satisfacer las exigencias de algunas legislaciones en cuanto a garantías decenales (Ley de Ordenación de la Edificación en España), e incluso quincenales a tenor de la Ley de Contratos con las Administraciones Públicas que literalmente recoge en su Artículo 236: **«Si la obra se arruina con posterioridad a la expiración del plazo de garantía por vicios ocultos de la construcción, debido a incumplimiento del contrato por parte del contratista, responderá éste de los daños y perjuicios que se manifiesten durante un plazo de quince años a contar desde la recepción»**. Disposición que exige una puesta a punto de las coberturas aseguradoras.

Esquematizando por tanto lo anteriormente expuesto, los seguros de Interés en Obra Civil y Edificaciones Singulares los centramos en:

- Daños
  - Todo Riesgo de Construcción
  - Obra Civil Terminada
  - Seguro Decenal de Daños a la Edificación
- Responsabilidad Civil
  - Explotación
  - Patronal
  - Profesional
  - Cruzada
  - Productos

Los cuáles serán seguidamente analizados, enfocando dicho análisis en aquellas cuestiones técnicas que tienen que ver con la aplicación de todo lo anteriormente expuesto y con las controversias que la experiencia ha puesto de manifiesto entre asegurado y asegurador.

### 6.1. Seguro de Todo Riesgo de Construcción

Conocido normalmente por sus siglas, TRC en español y CAR (Construction All Risk) en inglés, dicho seguro nace prácticamente hace cien años, siendo la referencia que aparece en los datos históricos del seguro la construcción del puente Lamberth sobre el río Támesis, pero desarrollándose posteriormente después de la Segunda Guerra Mundial ante la avalancha de obras que hubo que acometer a consecuencias de la misma.

El primer punto a considerar es su propia definición, ya que, bajo el concepto de Todo Riesgo, todo debería estar cubierto. Sin embargo, existen una serie de cláusulas y condiciones que limitan la cobertura y por tanto Todo Riesgo no equivale a que todo daño es un siniestro, siendo por tanto necesario una lectura detallada de cada póliza suscrita para poder entender qué está y qué no está cubierto por la misma.

La póliza clásica de tipo Multirriesgo, conocida también como de riesgos nominados, establece punto a punto todas las garantías y sus condiciones de forma que, ante un evento siniestral, es el asegurado quien tiene que ver si el daño material sufrido entra dentro de las mismas y reclamar en consecuencia al asegurador, mientras que bajo la póliza Todo Riesgo será el asegurador quien, ante una reclamación por parte del asegurado, tendrá que analizar las exclusiones y condiciones existentes en la póliza para poder rechazar el mismo.

Curiosamente, y si comparamos el papel escrito en ambas pólizas, nos sorprenderíamos de su equivalencia por lo que en ambos casos hace falta una lectura muy detallada antes de proceder a la firma de las mismas, analizando con detalle si los objetivos de transferencia están convenientemente recogidos, salvaguardando así los intereses del asegurado.

Aunque la cobertura se ciñe en principio a los daños en la propia obra durante el periodo de construcción, normalmente se extiende la misma de forma temporal durante el llamado Periodo de Mantenimiento tal como posteriormente se detallará, pudiendo también asegurar bajo dicha póliza, la Maquinaria y el Equipo de Contratistas, usados durante la Construcción, así como la Responsabilidad Civil en sus distintos conceptos de Explotación, Patronal y Cruzada.

En un principio podríamos decir que la cobertura principal se extiende a:

***«Daños y/o pérdidas materiales, cuando unos y otros sean consecuencia directa de una causa accidental, imprevisible y sobrevenida súbitamente, cualquiera que sea su procedencia, salvo las exclusiones que se indican...»***

Aquí surgen las primeras diferencias al interpretar qué se entiende por accidental, qué se entiende por imprevisible y qué se entiende por sobrevenido súbitamente, dada la subjetividad de dichos términos y la ambigüedad que conllevan. Por ello se ha ido modificando la definición de cobertura pudiendo leer en alguna póliza:



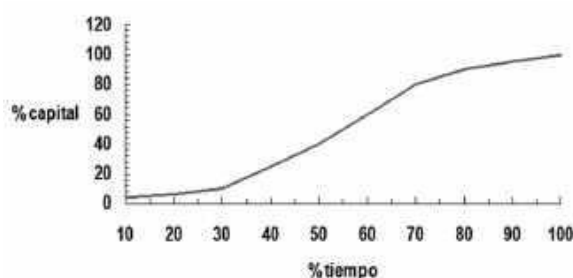
**«Este Seguro pagará el coste de la sustitución y/o reparación de cualquier elemento de los bienes asegurados y/o cualquier parte de ella que resulte físicamente perdida, destruida o dañada de manera alguna y por cualquier causa, que no esté excluido más adelante...»**

Lo cual obliga a una más correcta redacción de las exclusiones.

El segundo punto será fijar la Suma Asegurada que constituye el límite máximo de indemnización que se compromete a satisfacer el Asegurador, y que debería coincidir con el valor de la obra. De ahí la importancia que su determinación tiene, aunque como veremos a continuación es bastante sencillo desde el punto de vista técnico, siendo necesario partir en España de lo que al respecto de las pólizas de interés variable recoge la Ley de Contrato del Seguro:

**«Si por pacto expreso las partes convienen que la suma asegurada cubra plenamente el valor del interés durante la vigencia del contrato, la póliza deberá contener necesariamente los criterios y el procedimiento para adecuar la suma asegurada y las primas a las oscilaciones del valor del interés».**

En el caso de una Obra en Construcción está claro que su valor se incrementa con el tiempo, según se va desarrollando la misma, lo que refleja claramente un interés variable a lo largo del tiempo, que se resume en el siguiente gráfico:



**Figura 6.1.** Evolución del interés variable en una obra en construcción

Puesto que este valor del interés variable queda reflejado en el caso de la Obra Civil en las Certificaciones Mensuales a origen y en la Certificación Final, está claro que no debería haber ninguna controversia en la determinación de la Suma Asegurada y así dichas Certificaciones deberían formar parte de las condiciones de la Póliza la cual constituye el Contrato del Seguro.

¿Cuál es el motivo de las controversias que normalmente se plantean? Pues sencillamente que para fijar la Suma Asegurada inicial se parte del Presupuesto de Adjudicación, que normalmente representa una baja sobre el Presupuesto de Ejecución por Contrata, y posteriormente no se tienen en cuenta los trabajos adicionales que bien

mediante Proyectos Complementarios o Proyectos Reformados, forman parte del contenido de las Certificaciones, así como la aplicación final de la Formula de Revisión de Precios, lo que hace que el valor final de la obra, que no olvidemos se corresponde con la última certificación a origen, sea mayor que la suma asegurada inicial y que lejos de actualizarse periódicamente suele mantenerse para siempre.

Esta situación se palía a veces con una cláusula de Revisión Automática que permite incrementar la Suma Asegurada, normalmente en un 20%, pero que en estricta aplicación del Contrato del Seguro no tendría razón de ser si se incluyese la obligación de incorporar a la póliza las certificaciones mensuales, mostrándose además eficaz cuando hay un siniestro, pero no regularizándose, normalmente, cuando no lo hay.

Fijada la Suma Asegurada, la póliza contiene usualmente la aplicación de Franquicias que se definen como **«Cantidad por la que el asegurado es propio asegurador de sus riesgos y en virtud de la cual, en caso de siniestro, soportará con su patrimonio la parte de daños que le corresponda»**. Su objeto es ajustar la prima de seguro al evitar la declaración de pequeños siniestros de probabilidad más elevada, dejando la cobertura real a lo que pueda poner en riesgo la actividad del asegurado.

Conocida la Suma Asegurada y la Franquicia a aplicar, la póliza contiene una serie de exclusiones típicas de cualquier contrato de seguros general tales como: guerra, motín, conmoción civil, reacción o radiación nuclear, dolo o culpa grave del asegurado, moho, hongos, bacterias, existencia de asbestos o amianto,..., reiterando la necesidad de la lectura en profundidad de las más de 50 hojas que una póliza de este tipo suele tener, centrando el análisis como ya se ha comentado en cláusulas y condiciones sujetas a diferentes interpretaciones.

Normalmente las pólizas TRC cubrían las consecuencias de los errores de diseño pero excluyendo el propio error, con cláusulas clásicas como: «Errores de diseño, de cálculo o de plano; Defectos de los materiales o del proceso de fabricación; Ejecución de trabajos deficiente; Coste de rectificación de defectos en los materiales, diseños, planos, especificaciones o mano de obra», con la coletilla de que las exclusiones anteriores se refieren a los daños causados a los trabajos directamente afectados, pero no se extenderán a otras partes de la obra o bienes que hayan sufrido daños a consecuencia de accidentes causados por tales circunstancias.

En 1981, cuando inicié mi actividad aseguradora después de 10 años en la Ingeniería del Terreno, se presentó un litigio entre asegurado y asegurador que hubo de resolverse en los Tribunales y que, aunque aparentemente parecía sencillo, llegó hasta el Recurso de Casación en el Tribunal Supremo.

Se trataba de la construcción de un silo de cereales ejecutado con virolas ascendentes de hormigón armado, tomándose las oportunas probetas de hormigón para su posterior rotura en laboratorio a los 28 días, como era preceptivo siguiendo la Instrucción

de Hormigón Armado que correspondía, por la fecha de redacción del Proyecto, a la EH73, y obteniéndose resultados por debajo de los admisibles en una virola inferior cuando ya la construcción, después de cuatro semanas, había avanzado mucho.

Era necesario portantoreforzarla virolacorrespondiente yeserefuero fue reclamado por el asegurado, alegando que en caso de no reforzarlo el silo colapsaría y serían las consecuencias a cargo del asegurador, interpretación que en principio iba en contra de la condición antes mencionada al excluirse el **«Coste de rectificación de defectos en los materiales, diseños, planos, especificaciones o mano de obra»**. Sin embargo, el asegurado mantuvo su criterio y presentó Demanda en los Juzgados de Primera Instancia de Pamplona donde tenía su sede social.

La Sentencia no dejó lugar a dudas dictaminando que no había lugar a la reclamación contra la Póliza Todo Riesgo de Construcción basándose en la exclusión anterior. No obstante, se extendió a otros conceptos que fueron de gran ayuda para posteriores litigios, toda vez que el asegurado apeló a la Audiencia Provincial de Navarra que ratificó la Sentencia de Primera Instancia y entabló Recurso de Casación en el Tribunal Supremo y que no hizo más que confirmar el correcto proceder de las Instancias previas.

El primer concepto que fijaba la Sentencia era la consideración del Daño, exponiendo al efecto que:

***«Para que se produzca en el asegurador la obligación de indemnizar, es preciso que se produzca el daño, es decir una transformación en el mundo exterior cuya materialización se ha previsto como evento. En el caso de no haber daño, no hay indemnización».***

Continuaba además con la consideración de que una vez descubierto el error, los posibles siniestros futuros que a consecuencia del mismo pudieran ocurrir tampoco tendrían cobertura ya que se perdía la condición de accidental e imprevisible y el hecho futuro e incierto se convertía en muy probable, reconociendo sin embargo que los costos incurridos para el refuerzo debería reclamarlos dónde ya quién correspondiera (haciendo clara alusión a la Responsabilidad Civil de Productos) pero salvaguardando la póliza TRC.

Este mismo criterio sirvió de base para un caso similar ocurrido en 1982 con Demanda en los Juzgados de Primera Instancia y en la Audiencia de Barcelona, en el cual, y a consecuencia de fuertes lluvias, se produjo el deslizamiento de una serie de taludes, descubriendo errores de diseño en otros que a pesar de ello no habían sufrido daños. El asegurado reclamó sin embargo tanto los daños reales en los taludes deslizados, como en los que permanecían intactos a pesar de su deficiente dimensionamiento.

Se daba la circunstancia que la póliza tenía cobertura adicional para errores de diseño defendiendo el asegurador que aquellos taludes que no habían sufrido daños no eran

objeto de indemnización, ni tampoco las obras de mejora que se proponían ejecutando muros de contención que no estaban previstos en el proyecto inicial, criterio que consideró la Sentencia en el Juzgado de Primera Instancia y en el Recurso en la Audiencia de Barcelona, dando la razón al asegurador.

Se exponen estos antecedentes para analizar las coberturas actuales del error de diseño que fueron desarrolladas muy posteriormente (1996) por el London Engineering Group con sus cláusulas LEG 1, LEG 2 y LEG 3, que seguidamente se transcriben en su redacción original en inglés:

#### **LEG 1/96**

##### **Exclusion**

***«The Insurer(s) shall not be liable for: Loss or damage due to defects of material workmanship design plan or specification»***

#### **LEG 2/ 96**

***«The Insurer(s) shall not be liable for:***

***All costs rendered necessary by defects of material workmanship design plan or specification and should damage occur to any portion of the Insured Property containing any of the said defects the cost of replacement or rectification which is hereby excluded is that cost which would have been incurred if replacement or rectification of the Insured Property had been put in hand immediately prior to the said damage.***

***For the purpose of this policy and not merely this exclusion it is understood and agreed that any portion of the Insured Property shall not be regarded as damaged solely by virtue of the existence of any defect of material workmanship design plan or specification».***

#### **LEG 3/96**

***«The Insurer(s) shall not be liable for:***

***All costs rendered necessary by defects of material workmanship design plan or specification and should damage occur to any portion of the Insured Property containing any of the said defects the cost of replacement or rectification which is hereby excluded is that cost incurred to improve the original material workmanship design plan or specification.***

***For the purpose of the policy and not merely this exclusion it is understood and agreed that any portion of the Insured Property shall not be regarded as damaged solely by virtue of the existence of any defect of material workmanship design plan or specification».***

Resumiendo los puntos importantes, la LEG 1 prácticamente no se aplica dada su exclusión total que no es evidentemente lo que necesita el asegurado, siendo sin embargo usuales la LEG 2, bastante parecida a la anteriormente expuesta excluyendo error y cubriendo las consecuencias, y la LEG 3, que incluye además los costos de rectificación. No obstante, es necesario destacar que:

- En cualquier caso, se excluyen los costos de rectificación si no se ha producido el daño material, es decir, la constatación de un defecto que todavía no ha dado lugar a un daño no tienecobertura.
- Que tampoco quedan cubiertas las mejoras que se introduzcan sobre el proyecto inicial.
- Que en el caso de la LEG 2, más allá de la exclusión de rectificación del propio error, ***la Compañía deducirá todos los costes en los que el asegurado debiera haber incurrido, para rectificar el error, en la hipótesis de haber sido detectados antes de producirse el daño o pérdida consecuencia del mismo.***

Este último punto es de vital importancia a la hora de aplicar la cláusula a un siniestro determinado, ya que, si por ejemplo un edificio colapsa íntegramente a consecuencia de un error en el dimensionamiento de la cimentación, en pólizas clásicas del mercado español se excluiría el valor de la citada cimentación. Sin embargo, aplicando la LEG 2, se deducirían de la indemnización los costos del recalce que hubiera sido necesario para evitar el colapso, si dicho error de dimensionamiento se hubiera conocido con anterioridad al mismo.

Analizado el error de diseño, la segunda cláusula que más quebraderos de cabeza da a los suscriptores y peritos de siniestros es la que intenta fijar la cobertura a consecuencia de los llamados Fenómenos Naturales. Para su análisis se parte de la existente en 1981, cuando me incorporé al Sector Asegurador, y que literalmente decía:

***«En ningún caso se considerarán garantizados los daños materiales ocasionados a los bienes asegurados por las influencias normales del clima».***

Evidentemente, fijar la barrera entre lo normal y lo accidental, lo previsible y lo imprevisible es algo muy sutil y muy diferente si la misma la fija el asegurado o el asegurador, recordando al efecto que para una obra en Cantabria el asegurado opinaba que cualquier lluvia era anormal al desconocerse la misma en cuanto a magnitud y temporalidad, alegando que si hubiera conocido estos términos, no hubiera procedido a abrir zanjas para la colocación de la tubería de un oleoducto, lo que motivó la declaración de 50 siniestros en los dos años de duración de la obra.

Aunque está claro que todo el mundo sabe que en Cantabria llueve frecuentemente, hubo que discutir mucho para alcanzar un acuerdo final, lo que dio pie a la introduc-

ción de nuevas cláusulas que objetivasen la cobertura y que solo diesen lugar a una única interpretación, punto fácil de conseguir en base al Periodo de Retorno, concepto de aplicación en toda Obra Civil, ya sea para el dimensionamiento de obras de drenajes en carreteras, construcción de presas, estudio de oleajes en puertos, estudios de inundabilidad de zonas urbanas, y en un sinnúmero de diferentes tipologías para las que existen mapas e información suficiente para los técnicos proyectistas.

La instrucción 5.2-.1C para el Drenaje de Carreteras del antiguo MOPU (ahora Ministerio de Fomento), recoge textualmente:

**PERIODO DE RETORNO:** La selección del caudal de referencia (Capítulo 2) para el que debe proyectarse un elemento del drenaje superficial está relacionada con la frecuencia de su aparición, que se puede definir por su período de retorno: cuanto mayor sea éste, mayor será el caudal.

Se dice que el período de retorno de un caudal es T cuando, como media, es superado una vez cada T años. Sin embargo, el riesgo de que ese caudal sea excedido alguna vez en un cierto intervalo de tiempo—como, por ejemplo, la vida útil de una obra— depende también de la duración del intervalo. Así, un caudal que tenga un período de retorno de cincuenta años tiene una probabilidad de un 2 por 100 de que en cualquier año de dicho período aparezca al menos un caudal igual o mayor, pero la probabilidad de tal aparición en un período cualquiera de diez años consecutivos sube al 18 por 100; de veinticinco años, al 38 por 100; de cincuenta años, al 64 por 100; de cien años, al 86 por 100 y, en general, de C años al

$$1 - [1 - (1/T)]^C$$

Por lo cual la redacción de coberturas bajo este concepto fue tarea fácil y así surgió la cláusula de uso normal en las pólizas tradicionales de TRC:

***La Compañía solo indemnizará los daños ocasionados por o a consecuencia de fenómenos meteorológicos como lluvia, viento, nieve, avenidas, etc. cuando, de acuerdo con los datos recogidos por el Observatorio meteorológico más próximo a la zona siniestrada, se superen los «valores de referencia» correspondientes a un periodo de retorno de X años. El valor de referencia se establece:***

***Para Lluvias como la cantidad acumulada diaria máxima en el periodo de un año natural. Para resto de fenómenos se considerará el valor máximo en dicho periodo.***

El valor de X podría variar en base a las necesidades del asegurado, pero una vez fijado, su determinación está muy clara.

Como ejemplo consideramos el mismo que expuse en la Revista Gerencia de Riesgos que publica el Grupo Mapfre y en el que, tomando la Monografía del Ministerio de Fomento, Dirección General de Carreteras «Máximas lluvias diarias en la España Peninsular», podemos observar en Madrid una precipitación media diaria (Pmd) de 38 mm y un valor del Coeficiente de Variación Cv de 0,34.



Figura 6.2. Máximas lluvias diarias en la España Peninsular

Fuente: Ministerio de Fomento

Solo centrar en el siguiente cuadro con el Periodo de Retorno T deseado y dicho valor Cv, es posible calcular la precipitación esperada en el Periodo de Retorno considerado:

Máximas Lluvias Diarias en la España Peninsular

Cv	PERÍODO DE RETORNO EN AÑOS (T)							
	2	5	10	25	50	100	200	500
0.30	0.935	1.194	1.377	1.625	1.823	2.022	2.251	2.541
0.31	0.932	1.198	1.385	1.640	1.854	2.068	2.296	2.602
0.32	0.929	1.202	1.400	1.671	1.884	2.098	2.342	2.663
0.33	0.927	1.209	1.415	1.686	1.915	2.144	2.388	2.724
0.34	0.924	1.213	1.423	1.717	1.930	2.174	2.434	2.785
0.35	0.921	1.217	1.438	1.732	1.961	2.220	2.480	2.831
0.36	0.919	1.225	1.446	1.747	1.991	2.251	2.525	2.892
0.37	0.917	1.232	1.461	1.778	2.022	2.281	2.571	2.953
0.38	0.914	1.240	1.469	1.793	2.052	2.327	2.617	3.014
0.39	0.912	1.243	1.484	1.808	2.083	2.357	2.663	3.067
0.40	0.909	1.247	1.492	1.839	2.113	2.403	2.708	3.128
0.41	0.906	1.255	1.507	1.854	2.144	2.434	2.754	3.189
0.42	0.904	1.259	1.514	1.884	2.174	2.480	2.800	3.250

C <sub>v</sub>	PERÍODO DE RETORNO EN AÑOS (T)							
	2	5	10	25	50	100	200	500
0.43	0.901	1.263	1.534	1.900	2.205	2.510	2.846	3.311
0.44	0.898	1.270	1.541	1.915	2.220	2.556	2.892	3.372
0.45	0.896	1.274	1.549	1.945	2.251	2.586	2.937	3.433
0.46	0.894	1.278	1.564	1.961	2.281	2.632	2.983	3.494
0.47	0.892	1.286	1.579	1.991	2.312	2.663	3.044	3.555
0.48	0.890	1.289	1.595	2.007	2.342	2.708	3.098	3.616
0.49	0.887	1.293	1.603	2.022	2.373	2.739	3.128	3.677
0.50	0.885	1.297	1.610	2.052	2.403	2.785	3.189	3.738
0.51	0.883	1.301	1.625	2.068	2.434	2.815	3.220	3.799
0.52	0.881	1.308	1.640	2.098	2.464	2.861	3.281	3.860

**Tabla 7.1.** Cuantiles  $Y_t$ , de la Ley SQRT-ET max, también denominados Factores de Amplificación  $K_T$ , en el «Mapa para el Cálculo de Máximas Precipitaciones Diarias en la España Peninsular» (1997).

Así por ejemplo, para  $T=10$  años,  $K_t$  sería igual a 1,423, y por tanto la Precipitación para un Periodo de Retorno de 10 años sería  $1,423 \times 38 = 54$  mm.

De forma inversa, si tenemos constancia de que ha habido una precipitación de 54 mm, podríamos obtener  $K_t$  y en consecuencia el Periodo de Retorno correspondiente a esas precipitaciones.

Los mismos ejemplos pueden ser desarrollados con los datos que facilitan las Confederaciones Hidrográficas para Inundaciones o Puertos del Estado para el dimensionamiento de Obras de Abrigo en Puertos.

Pero cuando todo parecía funcionar de forma adecuada, surgen nuevos deseos de cobertura, fundamentalmente para los llamados Grandes Riesgos, que, apartándose del concepto purista del Periodo de Retorno, establecen:

***La determinación de las condiciones pluviométricas de referencia se realizará en base a la información disponible en los Centros Meteorológicos más próximos al lugar de la obra, referidas al periodo que se inicia 15 días antes de la fecha de acaecimiento de la pérdida o daño y finaliza 15 días después de ocurrido el mismo, durante los 10 años precedentes a la pérdida.***

***Consecuentemente sólo serán indemnizables las pérdidas o daños ocasionados por lluvias, avenidas o inundaciones debidas directamente a la lluvia, cuando la precipitación acumulada durante el día del siniestro, registrada en los mismos Centros Meteorológicos supere la precipitación máxima diaria registrada en el mismo periodo del año durante los 10 años precedentes a la pérdida, según se indica en la determinación de las condiciones pluviométricas de referencia.***



***No obstante lo indicado, si los daños resultantes del siniestro fueran ocasionados por condiciones climatológicas adversas ocurridas durante un periodo consecutivo de dos o más días desde el inicio del siniestro, este será indemnizable si la precipitación acumulada durante este periodo de dos o más días supera la precipitación máxima acumulada durante un idéntico periodo de tiempo (referido a 15 días antes y después de la fecha del inicio del siniestro) y tomándose como base los 10 años antes al siniestro.***

Aunque pueda pensarse que nada cambia, nada más lejos de la realidad, ya que:

- Se establece un periodo temporal de 30 días para comparar precipitaciones, lo cual nada tiene que ver con el concepto anual del periodo de retorno.
- Se compara con los diez años anteriores, cuando el periodo de retorno parte de datos estadísticos extrapolados a tiempo  $t$  mediante aplicaciones como la Ley de Gumbel.
- Se consideran periodos continuados de tiempo para los que se carece de estadísticas y que deben ser analizados en base a las informaciones que al respecto pueda facilitar AEMET (en España), pero lógicamente después de ocurrido el siniestro, ya que fijar escenarios a la hora de analizar el riesgo es una tarea irrealizable.

Se parte de la premisa básica de que todo aquello que puede ser evaluable es asegurable, perdiéndose por tanto con esta cláusula la posibilidad de evaluación previa del riesgo en cuanto a probabilidad de ocurrencia, dándose situaciones tan curiosas como que, con lluvias continuadas durante cuatro días no habría siniestro, y que tomando solo dos días sí lo habría, o que durante un periodo de seis meses se hayan producido tres siniestros con cobertura en póliza. Sin embargo, es un hecho que la cobertura es aceptada por algunas aseguradoras y en consecuencia y desde el punto de vista formal no hay ninguna objeción, aunque se mantenga la opinión técnica sobre la imposibilidad de evaluación previa.

Muy unida con esta cláusula está la llamada Cláusula de 72 horas, que en su redacción inicial decía:

***«A efectos de determinar el nº de siniestros en daños causados por temporales de larga duración, se considerará que constituye un único siniestro, los daños producidos durante un periodo continuado de 72 horas»***

Está claro que su aplicación determina el número de franquicias a considerar tras un siniestro por temporales de más de 72 horas, lo que originó su modificación según siguiente texto:

***«A efectos de la aplicación de franquicias toda ocurrencia de pérdida o daños causados por riesgos de la naturaleza tales como tormenta, tempestad, inundación y terremoto, o como consecuencia de colapso, hundimiento u otro movimiento de tierras relacionado con tales riesgos, procedente de una causa común que tenga lugar***

***durante un período de 72 horas consecutivas, tendrá la consideración de un solo acontecimiento y estará sujeta a la aplicación de una sola franquicia. El comienzo del período de 72 horas queda a juicio del Asegurado sin que se permita la concurrencia de dos o más períodos de 72 horas en caso de daños que se produzcan a lo largo de un período másextenso»***

Sin embargo, y a pesar de la redacción anterior de uso global en todo el mundo, la cobertura de lluvias antes expuesta, al introducir la posibilidad de considerar siniestros de mayor duración a consecuencia de lluvias sin interrupción durante un largo periodo de tiempo, distorsiona la aplicación de esta cláusula, dando lugar a la interpretación que sobre la misma ha hecho la Dirección General de Seguros, manifestando:

***«... A continuación procede ubicar en el tiempo la franquicia ya que los daños tienen una ubicación temporal y solo hay una franquicia, de manera que existirían dos beneficios para el asegurado, un primer beneficio derivado de la aplicación de una única franquicia y un segundo derivado de que el tomador decide donde la ubica»***

Antiguamente se decía que las pólizas tenían «espíritu», el cual se mantenía a pesar de posibles errores de redacción, pero ese espíritu se ha perdido y las condiciones que se pacten en póliza deben ser previamente analizadas por ambas partes para evitar conflictos de intereses.

Sin ninguna duda, tanto la cobertura de error de diseño como la de fenómenos de la naturaleza antes expuestas son las dos que más campo presentan para un análisis técnico. Sin embargo, es conveniente enumerar alguna otra cláusula usual por los matices que introducen y por las diferencias de interpretación que se han puesto en evidencia.

La Cláusula de Demolición y Desescombros, dice también textualmente:

***«Desescombros o demolición de la obra asegurada como consecuencia de un daño material indemnizable por la cobertura base. Tales gastos comprenden:***

- ***La retirada de escombros procedentes de la obra dañada; el traslado de los mismos, siempre que sea necesario, hasta el lugar más próximo en que sea permitido depositarlos, y la demolición de los restos de obra, cuando sea necesario para su reconstrucción.***
- ***La retirada de barro, agua, lodo y otros materiales que se hayan introducido en la obra asegurada procedentes del exterior».***

La discusión vivida en este caso derivaba del traslado de los escombros por la coetilla de «siempre que sea necesario», motivo por el cual unas vigas caídas a un río tras su colapso estructural permanecieron sin ser retiradas un largo periodo de tiempo por la controversia entre dos aseguradoras por si la cobertura estaba basada en la póliza TRC o en la de Responsabilidad Civil, cuando en realidad las dos deberían ser de aplicación, como finalmente ocurrió, produciéndose la concurrencia de seguros.

Otra cláusula muy difícil de cumplir (no hay más que visitar obras en construcción) es la de Medidas de Protección del Incendio:

**«La Compañía no responderá por pérdidas o daños causados directa o indirectamente por incendios:**

- **Los materiales de desecho, embalajes, madera, papel, etc. no se eliminan, al menos semanalmente, de los edificios y lugares de construcción o montaje, colocándolos a distancia suficiente o en lugar seguro para evitar la transmisión del incendio a la obra.**
- **El equipo contra incendios no se encuentra instalado y en funcionamiento, antes de iniciar el almacenamiento o montaje de maquinaria e instalaciones interiores.**
- **Se incumpla lo estipulado en el Proyecto de Seguridad e Higiene de la obra».**

En el mismo sentido de difícil cumplimiento en base a la experiencia, la cláusula de Cables y Tuberías Subterráneas, recoge:

**«Adicionalmente a los términos y condiciones de la póliza se conviene que, la Compañía solo indemnizará los daños o pérdidas causados a cables o tuberías subterráneas existentes (cables eléctricos o telefónicos, tuberías de agua, gas, alcantarillado, etc.) si:**

- **El Asegurado ha requerido y recibido de las autoridades públicas o de los propietarios de las mencionadas instalaciones, la posición exacta de todos los cables o tuberías existentes.**
- **El Asegurado ha comprobado su existencia y señalado su situación.**
- **El Asegurado ha tomado todas las medidas necesarias para evitar los daños o pérdidas a los cables o tuberías mencionados.**
- **En cualquier caso la indemnización se limitará a los costes de reparación del cable o tubería dañado, excluyéndose todo tipo de penalización o daño consecuencial».**

En cuanto al propio Tendido de Tuberías, la condición impuesta es:

**«Adicionalmente a los términos y condiciones de la póliza se conviene que:**

- **El material excavado será depositado a una distancia no menor de un metro del borde de la zanja.**
- **El tramo de zanja, dejado total o parcialmente abierto, no excederá en ningún caso de:**
  - **xxx metros por frente de trabajo.**
  - **xxx metros para toda la obra.**
- **Las tuberías deben ser ancladas para evitar su levantamiento o flotación, siendo cubiertas tan pronto como sea posible.**
- **Los extremos de los tubos deben ser provisionalmente tapados al final de cada jornada o en caso de riesgo inminente de inundación; el incumplimiento de esta**

***condición dará lugar a la pérdida del derecho de indemnización de los gastos de vaciado y limpieza interior de los tubos.***

- ***Se excluyen las pérdidas o daños resultantes de pruebas de presión en las que se excedan los rangos garantizados por el fabricante de los tubos.***
- ***No están cubiertas las pérdidas de fluidos y otros medios utilizados para las pruebas.***
- ***Son indemnizables los costes incurridos para la localización de fugas consecuencia de un daño asegurado:***
  - ***hasta el límite de ..... Euros por siniestro***
  - ***hasta el límite de ..... Euros para toda la duración de la póliza.***
- ***Se excluyen los daños producidos por contaminación de cualquier clase y por cualquier motivo».***

Una cláusula muy importante por la implicación que tiene en el análisis de los riesgos es la del Programa de Trabajo, que obliga al asegurado a comunicar posibles variaciones en el plan de obra el cual es determinante ante posibles daños por huracanes, embates del mar, avalanchas de nieve, y otros fenómenos naturales que, por su temporalidad, pueden causar mayores o menores daños en función de las veces que puedan presentarse y del estado de la obra en el momento del daño.

Evidentemente no es lo mismo hacer una obra marítima de abril a octubre o de noviembre a marzo, y lo mismo ocurre con afrontar un edificio en el Caribe con uno o con dos periodos de huracanes dentro del planing. Portanto, es necesario incluir en póliza:

***«El cronograma de avance de la obra, junto con los planos, documentos y especificaciones entregados por el Asegurado, forman parte de la póliza.***

***La Compañía no indemnizará los daños o pérdidas originados por un evento cuya probabilidad de ocurrencia resulta agravada por desviaciones en el programa de construcción que excedan de: xx semanas, a menos que dicha desviación haya sido comunicada y aceptada por la Compañía antes de producirse el siniestro».***

También por lo que implica en las obras, sobre todo en las de tipo lineal incluyendo los diques, cuando se analiza el riesgo, es la diferente exposición a fenómenos de la naturaleza de las distintas fases en que se divide la obra. Así, por ejemplo, los daños a la parte del avance del núcleo de un dique rompeolas está mucho más expuesta que la parte ya protegida con escollera, o la carretera protegida con el firme está mucho menos expuesta frente a lluvias que la parte que está en explanada.

Porello se introduce la cláusula de Tramo Abierto que limita longitudes de las distintas fases sin protección, limitando el siniestro, caso de producirse, al límite pactado en póliza. Por ejemplo, si a consecuencia de un temporal durante la construcción de un dique, se establece una distancia máxima de 200 metros entre el avance del núcleo y la zona de muelle totalmente protegida con el manto de escollera, y cuando ocurre el

siniestro dicha distancia es de 400 metros, solo se indemnizarían los 200 metros pactados, corriendo el resto a cargo del asegurado.

Otra cláusula de las llamadas limitativas viene impuesta por Desagües, ya que es normal fijar en póliza:

**«La Compañía no indemnizará:**

- *Gastos adicionales de desagüe incluso si las cantidades de agua inicialmente esperadas han sido excedidas.*
- *Gastos incurridos por la instalación de equipos adicionales para la eliminación de aguas subterráneas o de escorrentía.*
- *Pérdidas o daños debidos a fallos en el sistema de desagüe, si tales fallos se hubieran evitado con equipos de reserva suficientes.*
- *Gastos incurridos para reparar grietas y remediar filtraciones de agua».*

Por último, y por la implicación de las obras de tierra, incluyendo túneles, en las obras lineales, hay que prestar atención a la estabilidad de taludes ya que su probabilidad de ocurrencia es mucho más alta que la del resto de la obra y en consecuencia se incluye en la cobertura:

**«En relación con la ejecución de excavaciones, túneles, taludes o cualquier otra estructura o propiedad incorporada o relacionada con ellos, el Asegurador indemnizará los daños surgidos como consecuencia de accidentes, súbitos e imprevisibles con aplicación de las siguientes condiciones adicionales:**

- *En ningún caso serán indemnizables los costes de cualquier modificación, adición o mejora en los materiales, métodos o diseños, incluso si estas modificaciones surgen como consecuencia de un siniestro.*
- *El asegurador deducirá de la indemnización todos los costes, de investigación de terrenos, sostenimiento, consolidación, etc. en los que el Asegurado debiera haber incurrido para evitar el siniestro.*
- *Antes de proceder a la indemnización el Asegurado deberá facilitar al Asegurador, o sus representantes, copia de todas las investigaciones realizadas para verificar la adecuación de los procedimientos o el diseño, con el fin de facilitar la aplicación de las condiciones contractuales pactadas como consecuencia de un siniestro.*
- *La Compañía acepta que el cálculo de la indemnización que pudiera corresponder, se realizará en base al X % ( $X > 100$ ) de los precios unitarios establecidos en el proyecto y que han servido para establecer la suma asegurada, aplicados a la parte dañada, siempre que el valor resultante sea inferior o igual al coste efectivo de la reparación o reposición de los bienes dañados».*

Terminada la obra, entra en marcha el Periodo de Mantenimiento, normalmente de 12 meses aunque su duración puede variar, durante el cual se extiende la cobertura a los daños que sean consecuencia de errores durante la ejecución de la obra, lo que por

ejemplo excluye daños a consecuencia de fenómenos de la naturaleza, motivo por el cual la cobertura debe ser muy bien analizada por el gerente de riesgos.

Analizadas las coberturas de daños materiales, hay que hacer referencia a los daños consecuenciales que todo siniestro acarrea, ofreciendo cobertura el mercado asegurador para las llamadas pérdidas de beneficios que en pólizas TRC se conocen como ALOP (Advance Loss of Profit) o DSU (Delay in Start-Up) y que en realidad buscan cubrir el daño financiero que el Dueño de una obra sufre a consecuencia de posibles retrasos en su terminación, siempre que los mismos sean debidos a siniestros con cobertura en la póliza principal de TRC.

Si el análisis de riesgos es fundamental para la suscripción de la póliza de daños, más aún lo es para la cobertura de pérdida de beneficios al necesitar, además del análisis técnico, un estudio completo del diagrama de obra con sus posibles cuellos de botella y unos conocimientos financieros que nos permitan evaluar las pérdidas en caso de retraso, pudiendo darse el caso de que pequeños siniestros de daños materiales podrían acarrear grandes retrasos y consecuentemente importantes pérdidas financieras.

Lo que en un principio comenzó como una cobertura básica para el pago de los intereses bancarios por el retraso en la explotación de la obra, se ha ido poco a poco extendiendo para cubrir el retorno económico esperado de la inversión al finalizar la obra. Ello exige conocer no solo la obra sino también el retorno económico y, como se ha estimado, para fijar la suma asegurada y el periodo de indemnización, pudiendo darse el caso de que durante el tiempo de construcción se hayan producido cambios que modifican de forma importante los parámetros de rentabilidad considerados.

Hay por tanto importantes diferencias entre las pólizas de pérdida de beneficios de un riesgo industrial en explotación, con antecedentes económicos de la marcha del negocio en el año anterior a la paralización tras un siniestro, lo que permite evaluar su Beneficio Bruto, y la de una obra civil que parte de expectativas sin ninguna referencia real, salvo los parámetros tenidos en cuenta para la viabilidad del proyecto y que como se ha comentado pueden variar, existiendo también distintos conceptos que varían entre ambas coberturas. Así:

1. En un riesgo en explotación, el periodo de indemnización comienza al producirse el daño mientras que en un riesgo en construcción el mismo comienza al alcanzar el tiempo previsto para la terminación de la obra, siempre que no haya habido otras demoras ajenas al siniestro que retrasen dicho momento.
2. Hay que diferenciar muy bien los retrasos de obra a consecuencia de hechos sin cobertura TRC, los cuales desplazan el Periodo de Indemnización, de los que provoca un siniestro indemnizable y en cualquier caso comparar los mercados de similar naturaleza a la hora de valorar las previsibles pérdidas económicas, lo que precisa de ajustadores expertos.

La cobertura se basa normalmente en la Pérdida de Beneficio Bruto el cual se define como:

- $BB = IE - CV$
- $BB = CF + BN$

Siendo:

- IE: Ingresos de explotación
- CV: Costes variables
- CF: Costes fijos
- BN: Beneficio neto

Partiendo de que todo es supuesto y que nada es conocido mediante datos contables de ejercicios anteriores, además muy probablemente los costos fijos solo alcanzaran los intereses de la deuda y el beneficio estimado habrá que extrapolarlo a las condiciones de mercado.

Por último, y aunque no tiene que ver directamente con la obra civil, es posible asegurar la Maquinaria y el Equipo de Contratista, haciendo únicamente mención a la necesidad de analizar aquellos riesgos que pueden poner en peligro ambos conceptos, sobre todo si se sitúan en zonas inundables, si existe maquinaria en interior de túneles o que trabajan en zonas deslizables y si hay riesgos de incendios forestales en el entorno.

Como colofón a este capítulo surgen una serie de cuestiones técnicas que hacen adecuado un seguimiento continuo de los riesgos tales como:

- Las modificaciones habidas desde el proyecto hasta la finalización de la obra que en Obra Civil pueden ser muchas y muy variadas, siendo preciso su seguimiento.
- Los problemas que surgen durante la construcción obligan a adoptar medidas que en muchas ocasiones representan una variación importante del riesgo. Así un túnel con previsión de perforación mediante tuneladoras puede modificarse a métodos tradicionales con las diferencias que ello conlleva (Túnel de San Pedro AVE Madrid Segovia).
- Los valores de obra y por tanto las sumas aseguradas varían consecuentemente con los puntos anteriores.
- Las diferencias de cronograma o de ejecución pueden acarrear exclusiones de cobertura.

En base a la experiencia aseguradora pueden realizarse recomendaciones que ayudan a la minoración de los riesgos y que normalmente se engloban en las visitas de seguimiento que son usuales en este tipo de riesgos, recomendaciones que como posteriormente veremos, es conveniente que estén razonablemente explicadas de forma

que el asegurado entienda la labor colaboradora del seguro y no la de fiscalización que, a veces, se malinterpreta.

## 6.2. Cobertura de Obra Civil Terminada

El carácter de Obra Pública de la Obra Civil hacía que no fueran usuales los Seguros de Daños para las Obras Terminadas al ser propiedad del Estado en la mayoría de las ocasiones, a diferencia del Periodo de Construcción donde los trabajos son a riesgo y ventura del Contratista hasta su entrega.

Sin embargo, la irrupción del régimen de Concesiones en la economía global a la hora de financiar las mismas, ha hecho crear la necesidad de poder transferir el riesgo tanto de los propios daños materiales como de las pérdidas de beneficios asociadas, y es precisamente por ello por lo que han alcanzado gran auge en las últimas décadas los Seguros de Obra Civil Terminada.

Al igual que la cobertura TRC, se basa en una póliza Todo Riesgo, motivo por el cual es muy importante el estudio de las condiciones, con cláusulas muy parecidas en ambos casos, pero con importantes diferencias entre ambas que se pueden resumir en:

- La obra en ejecución está mucho más expuesta a riesgos de la naturaleza, en sus fases intermedias, que una obra terminada.
- La obra terminada puede ser analizada en toda su extensión, bien con el Proyecto «as built», bien con una inspección detallada, o mejor aún con ambos puntos a la vez, pudiendo siempre consultar el Proyecto inicial, sobre todo sus anejos de Geología, Geotecnia, Drenajes y Estructuras.
- El periodo de seguro en una Obra Civil Terminada es anual, pudiendo renovarse por acuerdo entre las partes, lo que la diferencia de una obra en construcción en la cual la duración del seguro se ajusta a la duración de la obra.
- Una vez transcurrido el primer año de explotación donde coexisten coberturas de TRC (Mantenimiento) y Obra Civil Terminada, es más fácil determinar la suma asegurada para las coberturas de pérdida de beneficios y ajustar la posible indemnización por siniestros a datos contables reales.
- En la Obra Civil Terminada es primordial analizar los procedimientos de control, mantenimiento y conservación a la hora de valorar los riesgos, dependiendo de estos factores su envejecimiento, lo que debe ser tenido en cuenta al fijar las condiciones del seguro.

Si particularizamos la cobertura en España, hay que señalar que esta modalidad de seguros entra dentro de los riesgos llamados consorciables y, por tanto, las pérdidas derivadas de acontecimientos extraordinarios acaecidos en territorio español y que afecten a riesgos situados en España, son satisfechas por el Consorcio de Compensación de Seguros, entendiendo por acontecimientos extraordinarios:



- a) Los siguientes fenómenos de la naturaleza: los terremotos y maremotos, las inundaciones extraordinarias, las erupciones volcánicas, la tempestad ciclónica atípica y las caídas de cuerpos siderales y aerolitos.
- b) Los ocasionados violentamente como consecuencia de terrorismo, rebelión, sedición, motín y tumulto popular.
- c) Hechos o actuaciones de las Fuerzas Armadas o de las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad en tiempo de paz.

Para la cobertura de Obra Civil Terminada y concretamente para los acontecimientos extraordinarios antes expuestos, el Consorcio de Compensación aplica su propia tarifa:

### **5. Obras civiles:**

**5.1. Autopistas, autovías, carreteras, pistas de aterrizaje de aeronaves, vías férreas y conducciones: 0,28 por mil.**

**5.2. Túneles y explotaciones mineras: 1,25 por mil.**

**5.3. Puentes: 1,03 por mil.**

**5.4. Presas: 0,76 por mil.**

**5.5. Puertos deportivos: 1,63 por mil.**

**5.6. Resto de puertos y extracción de aguas subterráneas: 0,80 por mil.**

Desde el punto de vista técnico es evidente que la aplicación de tasas, sin analizar la especial tipología de los riesgos dentro de una misma familia, dista mucho de lo que pregona la gerencia de riesgos y solo es explicable por el carácter compensatorio que legalmente le corresponde al Consorcio. Así, paga lo mismo la Autovía de los Llanos que la Autopista Central Gallega, aunque evidentemente su exposición a fenómenos de la naturaleza sea bien distinta.



**Figura 6.3.** Autovía de los Llanos y Autopista Central Gallega

Fuente: fotografías del Autor

La primera pregunta que puede surgir es conocer el motivo de que la Obra Civil Terminada se encuadre dentro de los seguros llamados de Ingeniería y no de Property, dado su carácter de póliza anual. Sin embargo, la explicación es clara ya que en los seguros de Property el riesgo principal es el incendio y además hay grandes carteras que se equilibran buscando un resultado conjunto y las soluciones de aseguramiento están estandarizadas, mientras que en Ingeniería las carteras son más pequeñas y desequilibradas y la Cotización y Cobertura hay que hacerlas a medida.

La Suma Asegurada se corresponde con el Valor de Reposición siempre con la misma tipología, lo que excluye, al igual que en TRC, las mejoras sobre el estado inicial, siendo la base de la indemnización el coste de reposición de los bienes asegurados a su estado inmediatamente antes de producirse el siniestro, deduciendo consecuentemente los bienes salvados y las mejoras o modificaciones realizadas.

No vamos a repetir las consideraciones ya realizadas sobre las cláusulas analizadas en TRC ya que los criterios son prácticamente idénticos, pero sí hay una diferencia esencial sobre la Pérdida de Beneficios que adopta el modelo clásico de Property al ser conocidos los balances contables de años anteriores, llevando el periodo de indemnización a los 12 meses anteriores.



**Figura 6.4.** Evolución en el tiempo de los ingresos de explotación

Igualmente quedan cubiertos los incrementos en los costos de explotación para amiorar las consecuencias del siniestro de Pérdida de Beneficios, siempre que los mismos no superen el Beneficio Bruto asegurado, aplicando como es usual un periodo temporal de carencia que reduce la indemnización en la proporción que esta representa sobre el periodo de indemnización.

Como se viene comentando, el análisis individual de cada riesgo resulta fundamental para la suscripción y por tanto la misma debe partir de una serie de conocimientos que podemos dividir en:

- Técnicos:
  - Proyecto as built o en su defecto proyecto inicial donde habrá que analizar:
    - Memoria.
    - Planos.
    - Anejos, sobre todo Geológico, Geotécnico, Hidrogeológico, Drenajes y Estructuras.
    - Presupuesto para conocer el desglose de la suma asegurada separando obras de tierra, túneles y estructuras, además de los puntos específicos de cada tipología de riesgo (firmes en carreteras, superestructura de vía en ferrocarriles, etc.)
  - Detalles de los programas de control, mantenimiento y conservación, a veces esbozados en los Pliegos de Condiciones del Proyecto pero que será necesario analizar en la realidad de la explotación.
  - Criterios de diseño para terremoto, avenidas, etc., siendo necesario comprobar que se han adoptado las normativas sismorresistentes de cada país o en su caso las recomendaciones internacionales al respecto, así como los periodos de retorno recomendados para cada tipología de obra; por ejemplo, para obras lineales 25 años en drenaje longitudinal, 100 años en drenaje transversal y 500 años en puentes.
  - Medidas de prevención de incendios, muy importante en salas de control y túneles.
- Del entorno:
  - Riesgos industriales, aeropuertos, presas y embalses, que puedan afectar al Riesgo en estudio.
  - Exposición a Incendios Forestales.
  - Terrorismo, Actos Vandálicos o Malintencionados.
- Del comportamiento propio:
  - Experiencia siniestral si la hubiere.
  - Experiencia siniestral o de incidencias durante el periodo de construcción.
  - Cumplimiento de las medidas de control, mantenimiento y conservación en la explotación real.

Todo ello es conveniente que se complemente con una visita de inspección donde puedan evaluarse una a una las anteriores puntualizaciones, recomendando igualmente inspecciones periódicas durante la vigencia del contrato.

Con toda la información disponible es posible dibujar el mapa de riesgos, tal como se ha explicado con anterioridad, y en consecuencia determinar la tasa técnica que

deberá ser corregida con la información estadística que las compañías aseguradoras acumulan por su participación en este tipo de seguros.

### 6.3. Seguro Decenal de Daños a la Edificación

Aunque estamos centrando el estudio en Obra Civil, la inclusión en el mismo de Edificaciones Singulares o aquellas de carácter público que aúnan conocimientos de distintas ramas de la arquitectura y de la ingeniería, hace apropiado dedicar un punto a la cobertura Decenal de Daños a la Edificación, con experiencia reciente de la Ley Spinetta (1978) en Francia o la Ley de Ordenación de la Edificación (1999) en España que dan origen a los llamados Seguros Decenales y que se extienden de forma puntual a otros países en algunos de los cuales se está legislando en la actualidad al respecto.

A diferencia del Seguro TRC, la cobertura decenal comienza una vez recepcionada la obra y, a diferencia de la Obra Civil Terminada, el plazo de cobertura no es anual, extendiéndose a los 10 años posteriores a la recepción, lo cual exige un análisis diferenciado de este tipo de Seguro.

Habría que hacer un repaso por la historia para ver que estos requisitos legales impuestos en España y Francia no son ni mucho menos novedosos ya que el Código Romano ya recogía algo parecido, incluso ampliando el plazo a 15 años.



OMNES, QUIBUS VEL CURA MANDATA FUERIT OPERUM PUBLICORUM VEL PECUNIA AD EXTRICTIONUM SOLITO MORA DECRETA, USQUE AD ANNOS QUINDECIM AB OPERE PERFECTO CUM SUIS HEREDIBUS TENCANTUR OBNOXII, ITA UT, SI QUID VITTI IN AEDIFICATIONE INTRA PRAESTITUM TEMPUS PROVENERIT, DE EORUM PATRIMONIO, EXCEPTIS TAMEN HIS CASIBUS QUI SUNT FORTUITI, REFORMETUR

Código Romano

**Figura 6.5.** Arco romano de Medinaceli

*Fuente:* fotografía del Autor

O las Siete Partidas de Alfonso X El Sabio, igualmente de carácter quincenal:



....E SI POR VENTURA, LA LAVOR QUE FUESE FECHA DE NUEVO SE DERRIBASSE, OSE MOVIESSE ANTE QUE SE ACABASSE, O QUINCE AÑOS DESPUES QUE FUESSE FECHA, -SOSPECHARON LOS SABIOS ANTIGUOS, QUE POR MENGUA O CULPA, O POR FALSEDAD DE AQUELLOS QUE ERAN PUESTOS PARA FAZERLAS, ACONTECIERA AQUEL FALLECIMIENTO. E PORENDE ELLOS, E SUS HEREDEROS SONTENUDOS DE REFAZERLASA SU COSTA, E MISSION; FUERA ENDE, SI LAS LAVORES SE DERIBASSEN POR OCCASION, ASSI COMO POR TERREMOTO O POR RAYO, O POR GRANDES AVENIDAS DE RIOS, O DE AGUADUCHOS, O POR OTRAS GRANDES OCASIONES SEMEJANTES DESTAS

(Partidas de Alfonso X El Sabio)

**Figura 6.6.** Castillo de Coca

Fuente: fotografía de la web

A juzgar por los vestigios que permanecen a lo largo de nuestra geografía, está claro que romanos y castellano leoneses supieron edificar con arte al menos sus edificios singulares, y es por ello que, con la tecnología actual y con los medios materiales y humanos a nuestra disposición, no nos deberían preocupar las garantías decenales a las que obliga la Ley de Ordenación de la Edificación en su Artículo 19 o las quincenales de la Ley de Contratos con las Administraciones Públicas, de reciente publicación y que por tanto no ha obtenido aún la respuesta de aseguramiento que con toda seguridad se producirá en un futuro próximo.

### ***Ley de Ordenación de la Edificación***

#### ***Artículo 19. Garantías por daños materiales ocasionados por vicios y defectos de la construcción.***

- 1. El régimen de garantías exigibles para las obras de edificación comprendidas en el artículo 2 de esta Ley se hará efectivo de acuerdo con la obligatoriedad que se establezca en aplicación de la disposición adicional segunda, teniendo como referente a las siguientes garantías:***

- a) Seguro de daños materiales o seguro de caución, para garantizar, durante un año, el resarcimiento de los daños materiales por vicios o defectos de ejecución que afecten a elementos de terminación o acabado de las obras,***

*que podrá ser sustituido por la retención por el promotor de un 5 por 100 del importe de la ejecución material de la obra.*

- b) Seguro de daños materiales o seguro de caución, para garantizar, durante tres años, el resarcimiento de los daños causados por vicios o defectos de los elementos constructivos o de las instalaciones que ocasionen el incumplimiento de los requisitos de habitabilidad del apartado 1, letra c), del artículo 3.*
- c) Seguro de daños materiales o seguro de caución, para garantizar, durante diez años, el resarcimiento de los daños materiales causados en el edificio por vicios o defectos que tengan su origen o afecten a la cimentación, los soportes, las vigas, los forjados, los muros de carga u otros elementos estructurales, y que comprometa directamente la resistencia mecánica y estabilidad del edificio.*

...

*Uno. La garantía contra los daños materiales a que se refiere el apartado 1.c) del artículo 19 de esta Ley será exigible, a partir de su entrada en vigor, para edificios cuyo destino principal sea el de vivienda.*

*Dos. Mediante Real Decreto podrá establecerse la obligatoriedad de suscribir las garantías previstas en los apartados 1.a) y 1.b) del citado artículo 19, para edificios cuyo destino principal sea el de vivienda. Asimismo, mediante Real Decreto podrá establecerse la obligatoriedad de suscribir cualquiera de las garantías previstas en el artículo 19, para edificios destinados a cualquier uso distinto del de vivienda.*

#### ***Ley de Contratos con las Administraciones Públicas***

##### ***Artículo 148. Responsabilidad por vicios ocultos.***

*Si la obra se arruina con posterioridad a la expiración del plazo de garantía por vicios ocultos de la construcción, debido al incumplimiento del contrato por parte del contratista, responderá éste de los daños y perjuicios durante el término de quince años a contar desde la recepción. Transcurrido este plazo sin que se haya manifestado ningún daño o perjuicio, quedará totalmente extinguida la responsabilidad del contratista.*

Entrando en la Garantía Decenal de Daños a la Edificación, único seguro exigido hasta la fecha de los contenidos en la Ley, hay que dejar constancia en primer lugar de la ingente labor de gerencia de riesgos que se realizó, previamente a su entrada en vigor, por todos los agentes implicados, incluyendo Promotores, Constructores, Colegios Profesionales, Aseguradoras y Administración, con objeto de dar cumplimiento a la obligatoriedad del Seguro.

Los resultados de siniestralidad del modelo francés hicieron que algunas aseguradoras afincadas en España, pero con sede central en Francia, abandonasen este tipo de seguros, siguiendo el resto un modelo muy técnico basado en el conocimiento y en

el control del riesgo durante su construcción como única alternativa para el aseguramiento. Así, y seis años antes de la publicación del Código Técnico de la Edificación:

- Se exigía un Estudio Geotécnico, medida que no iba desencaminada ya que dicho Código recoge en su Libro 3 de «Seguridad Estructural - Cimientos» la obligatoriedad del mismo, fijando además unas normas mucho más rígidas para su realización.
- Era necesaria la actuación de un Organismo de Control Técnico que analizase el riesgo y realizase un seguimiento de las obras completando documentos estandarizados conocidos como Documentos de Idoneidad Técnica «D».
- Si durante la revisión del proyecto o durante el seguimiento de las obras se detectaban incidencias susceptibles de causar daños, se debían establecer las correspondientes reservas y las mismas deberían solucionarse antes de la entrada en vigor de la cobertura.

Además, era necesario definir de forma adecuada e inequívoca la cobertura decenal de daños, ya que se partía del artículo 1591 del Código Civil, auténtico cajón de sastre donde todo cabe ya que su redacción **«El contratista de un edificio que se arruine por vicios de la construcción, responde de los daños y perjuicios si la ruina tuviere lugar dentro de diez años...»**, había convertido el concepto de ruina en un laberinto formado por cientos de Sentencias entrecruzadas que mezclaban con demasiada alegría la ruina funcional con la ruina estructural.

La redacción del artículo 19 de la LOE fue por tanto una tarea conjunta y así, establecer en la cobertura: **«... daños materiales causados en el edificio por vicios o defectos que tengan su origen o afecten a la cimentación, los soportes, las vigas, los forjados, los muros de carga u otros elementos estructurales, y que comprometan directamente la resistencia mecánica y estabilidad del edificio»**, fue algo muy meditado y que obviamente permitía sacar del cajón de sastre del 1591 la ruina funcional, perfectamente delimitada en el apartado «b» de dicho artículo 19, e incluso el perfecto acabado recogido en el apartado «a».

Evidentemente el adecuado estudio del riesgo dio lugar a una siniestralidad controlada, lo cual está permitiendo a las aseguradoras hacer uso de sus propios departamentos técnicos para el control de sus riesgos, así como para su valoración y desarrollo de nuevas coberturas, adelantándose a la posible aprobación de lo expuesto en el artículo 19a y 19b de la Ley de Ordenación de la Edificación, mostrando sin ninguna duda la validez de todo lo expuesto con anterioridad.

Como simples pinceladas del Seguro Decenal de Daños a la Edificación, que como mejor se entiende es analizando una de las muchas pólizas existentes en el mercado asegurador, destacamos:

- Suma asegurada:

Cuando en el Art 19.5, se fija el capital asegurado en el 100% del coste final de ejecución material de la obra, incluidos honorarios profesionales, deberán tenerse en cuenta todos los conceptos que afectan al valor final de la construcción, incluidos honorarios, licencias

impuestos, IVA, y gastos generales y beneficio del constructor, ya que igualmente todos estos conceptos deberán ser considerados a la hora de tramitar los siniestros.

- **Franquicias:**

Aunque la Ley autoriza franquicias máximas equivalentes al 1% de la Unidad Registral, cada compañía aplica sus propios criterios sin sobrepasar esta cantidad.

- **Asegurado:**

Aunque el Tomador suele ser el propio Promotor, el Asegurado será él mismo o los futuros compradores, si como es normal se ha transmitido la titularidad del bien.

- **Cobertura:**

Se ajusta íntegramente a la Ley de Ordenación de la Edificación, incluyendo las exclusiones que la misma recoge, pudiendo actualizarse anualmente (con un coeficiente de indexación fijado) la suma asegurada y aplicando un valor de referencia recogido en póliza para la liquidación de siniestros, dada la duración del contrato y la variabilidad de los costos a lo largo de los 10 años posteriores a la terminación de la obra, debiendo tener siempre en cuenta que el límite de la cobertura lo fija la Suma Asegurada.

Hasta tal punto llegaba el análisis de riesgo que una de las exclusiones de la póliza que figura también en la LOE es: **«Los daños ocasionados por maluso o falta de mantenimientoadecuado deledificio»** y ello me lleva a una reflexión aplicable a nuestra vida cotidiana.

Cuando compramos un coche nuevo, recorremos varios concesionarios, sabemos el consumo medio, el tiempo en que acelera de 0 a 100 km/h, la experiencia del fabricante, etc., y finalmente escogemos color y tapicería, y además, si hay que hacer una revisión cada 30.000 km, estamos puntualmente en el taller. Sin embargo, cuando compramos un piso no se nos ocurre informarnos sobre cómo es el terreno donde se ubica, qué dice el estudio geotécnico, quién es el proyectista, cómo es la estructura, quizás nos fijemos en los muebles de cocina y cómo está de lejos respecto al trabajo, y desde luego solo llamaremos al fontanero cuando no haya más remedio.

Esta realidad cotidiana puede extenderse a la obra civil y, si hay que ahorrar en algo, seguro que en el lote entra el control, el mantenimiento y la conservación, craso error si miramos a futuro y a la durabilidad de la obra, por lo que uno de los puntos importantes en las visitas a obras para realizar el seguimiento del riesgo es preguntar por el presupuesto para estas tareas y compararlo con el valor de obra y la cuenta de explotación.

#### **6.4. Coberturas de Responsabilidad Civil. Explotación. Patronal, Cruzada, Profesional y Productos**

Vistos los seguros de daños relacionados con la obra civil y edificios singulares, no es menos importante dar un repaso al riesgo de responsabilidad civil y a sus posibili-



dades de transferencia, toda vez que este tipo de obras, por su carácter público, son susceptibles de causar importantes daños a terceros, a veces de carácter catastrófico, y que lamentablemente conllevan pérdida de vidas humanas que, aunque se valoren económicamente, no pueden pagarse condinero.

Solo a modo de ejemplo y si tomamos los desastres ocurridos en España por rotura de presas, encontramos:

Año	Denominación	Nº de Víctimas
1802	Pantano de Lorca	608
1934	Presa de Granadillar. Gran Canaria	8
1944	Presa de Xuriguera. Barcelona	6
1959	Presa Vega de Tera. Ribadelago	144
1965	Presa de Torrejón. Extremadura	54
1982	Presa de Tous. Valencia	25
1998	Dique minero de Aznalcollar	0*

\* Afortunadamente no hubo desgracias personales pero las consecuencias para el medioambiente al afectar al Parque Natural de Doñana fueron catastróficas.

Normalmente siempre actuamos a posteriori y, así, el desastre de Ribadelago constituye un antes y un después en el diseño, construcción y mantenimiento de las presas. Seguro que, en Italia, tras el colapso del puente Morandi en Génova, también han cambiado las cosas. Sin embargo, sigue siendo misión del analista de riesgos adelantarse al futuro y adoptar todas las medidas posibles para la minimización de los riesgos y de sus consecuencias.

Ya en muchos proyectos, al ser obligatorio el Informe Medioambiental, se evalúan las posibles consecuencias de las obras, llegando incluso a variar características y hasta a desistir de su construcción ante previsibles daños a los ecosistemas en los que se incluye el ser humano, y en general los escenarios de riesgo en Responsabilidad Civil son más sencillos de determinar que en pólizas de Daños.

De acuerdo con la Ley 50/80 del Contrato de Seguro en España:

***«Por el seguro de Responsabilidad Civil, el asegurador se obliga, dentro de los límites establecidos en la Ley y en el contrato, a cubrir el riesgo del nacimiento a cargo del asegurado de la obligación de indemnizar a un tercero los daños y perjuicios causados por un hecho previsto en el contrato de cuyas consecuencias sea civilmente responsable el asegurado, conforme a Derecho».***

Derecho que por otra parte tiene su principal eje en el artículo 1902 del Código Civil que textualmente dice: ***«El que por acción u omisión causa daño a otro, interviniendo culpa o negligencia, está obligado a reparar el daño causado».***

Al enfrentarnos con el correspondiente análisis de riesgos, tendremos que estudiar los especiales peligros inherentes a la obra y su relación con el entorno. Así un túnel de montaña para un tren de alta velocidad poco tiene que ver con un túnel urbano para la construcción de un metro, ya que en el primer caso las posibles subsidencias no causarán daños a terceros, mientras que en la ciudad pueden ser cientos los edificios afectados y por tanto, en este caso, es preciso analizar en detalle las afecciones al entorno.

Cuando tuve la ocasión de estudiar la construcción de la línea 2 del Metro de Bilbao, en base a la siniestralidad registrada en la línea 1, se propuso determinar la consideración de siniestro mediante el control y la medición de las subsidencias, tomando como patrón los asientos previsible que fueron evaluados en proyecto. De esta forma, si se registraban asientos superiores los daños entrarían dentro de cobertura, y, en caso de que no se alcanzasen, los daños entrarían dentro de lo previsible y no habría cobertura al perder la condición de accidentalidad. Sin embargo, esta propuesta no fue aceptada y hubo que optarse por franquicias individualizadas para cada uno de los edificios afectados por la traza, solución menos técnica pero igualmente efectiva.

El correcto análisis del riesgo en proyecto debería incluir en estos casos una partida de posibles daños a terceros, ya que la probabilidad de pequeñas incidencias es alta y por tanto la transferencia del riesgo obliga a tomar medidas de protección a las aseguradoras que se traducen en las franquicias comentadas, o, en caso contrario, en unas tasas tan altas que salen fuera del marco usual que puede asumirse por el asegurado.

En relación con la Obra Civil, es necesario analizar las distintas coberturas que tienen que ver con la misma, encontrando Responsabilidad Civil Extracontractual, Explotación, Patronal, Cruzada, Profesional, y Productos, las cuales se estudian seguidamente en sus puntos básicos, teniendo siempre en cuenta los análisis de riesgos correspondientes como motivo fundamental de este trabajo.

## **Responsabilidad Civil Explotación**

La Póliza de Responsabilidad Civil Explotación dentro de una Obra Civil tiene como función dar cobertura a los daños a terceros que puedan producirse a consecuencia de la construcción de la misma y hasta su terminación, aunque posteriormente pueda estudiarse también una nueva etapa de postrabajos, normalmente de 12 meses, y una cobertura durante la fase de su explotación como seguidamente también veremos, separando ambas coberturas dada sus importantes diferencias al analizar los riesgos correspondientes.

Si construimos por ejemplo un Intercambiador de Transportes subterráneo en una gran ciudad, durante la excavación de los sótanos existe un gran riesgo de causar daños a edificios colindantes si los hubiera. Sin embargo, una vez terminado y ejecutados los muros perimetrales definitivos y los correspondientes forjados, el riesgo se minimiza extraordinariamente, siendo muy distintos los riesgos a futuro que se pudieran generar. Por este motivo es preciso un estudio individualizado teniendo en cuenta los escenarios que pueden producirse.

En una Obra Civil en construcción, deberemos tener en cuenta:

- Afección a estructuras colindantes por excavaciones y trabajos aéreos (grúas).
- Afección a conducciones y servicios, tanto por desvíos como por deslizamientos o intersección directa por las obras.
- Afección al entorno por modificación del nivel freático y posible contaminación.
- Incendio y/o explosión.
- Señalización y balizamiento.

La afección a estructuras «colindantes» debe analizarse conociendo las mismas con el mayor detalle posible ya que no es la primera vez, por ejemplo, que una excavación de metro ha tenido que ser desviada por la existencia de pilotes en el avance del frente, sobre los cuales no se tenía conocimiento, tarea no siempre sencilla si durante la construcción de la edificación correspondiente se realizaron cambios de cimentación directa a cimentación profunda que no figuraban en el proyecto inicial ni existía tampoco proyecto «as built» que permitiera ver la realidad de lo edificado.

Otras veces es preciso realizar un protocolo de grietas (preferiblemente notarial) si se tiene constancia, o al menos indicios, de que las estructuras colindantes pudieran estar afectadas previamente al inicio de la Obra, y en cualquier caso será necesario un dictamen técnico posterior a posibles daños reclamados para determinar si la causa de los mismos cae dentro de la responsabilidad de la obra en ejecución.

Lacobertura se extiende hasta los límites pactados en póliza satisfaciendo consecuencias pecuniarias debidas a daños materiales, daños personales y perjuicios patrimoniales derivados de dichos daños cuando se causan involuntariamente a terceros y siempre que se vea comprometida la responsabilidad civil extracontractual del Asegurado dentro de los trabajos realizados en la Obra.

El problema fundamental surge en la determinación de los límites económicos pactados en póliza, ya que así como el Seguro TRC cubre el valor final de la obra, en Responsabilidad Civil dista mucho de alcanzar montos similares y difícilmente pueden alcanzarse 100 millones de Euros, moviéndose en mercados locales entre 1 y 10 millones de Euros, siendo uno de los principales motivos que en aquellas es posible estimar a priori el Sinistro Máximo Posible, concepto que posteriormente se explicará, y sin embargo la exposición en Responsabilidad Civil puede alcanzar el monto total asegurado.

## Responsabilidad Civil Patronal

Como Garantía complementaria, puede suscribirse también la Responsabilidad Civil Patronal, la cual cubre indemnizaciones derivadas de la responsabilidad civil que pudiera ser exigida al Asegurado como consecuencia de los daños corporales o muerte sufridos por los trabajadores con ocasión de accidente laboral en el desarrollo de la

obra, pudiendo ser exigida la responsabilidad por los mismos trabajadores o por sus causahabientes, estableciéndose normalmente un límite por víctima.

En este caso está claro que el análisis de riesgo debe centrarse en el grado de peligrosidad de los trabajos a realizar y en el Proyecto de Seguridad y Salud de la Obra, preceptivo en muchos países y que establecerá tanto el análisis previo de los riesgos como su minimización por las obligatorias medidas de protección y control que se establezcan en el mismo, siendo necesario vigilar su cumplimiento.

### Responsabilidad Civil Cruzada

Teniendo en cuenta que en cualquier obra existen multitud de empresas, dada la subcontratación para diferentes trabajos que es normal realizar por el Contratista Principal, también puede extender la cobertura a la Responsabilidad Civil Cruzada, la cual ampara la responsabilidad extracontractual en que pueda incurrir el Asegurado por los daños causados al resto de los intervinientes en las obras en las que participa, de forma que en la práctica todos los intervinientes son terceros entre sí.

En un principio no solía distinguirse entre daños materiales y daños corporales, pero en el año 1992, y a consecuencia del incendio en construcción del Pabellón de los Descubrimientos de la Exposición Universal de Sevilla (Expo 92), se presentaron en los Juzgados de Sevilla reclamaciones que alcanzaron los 4.500 millones de las pesetas de entonces, motivo por el cual y aunque se puede dar cobertura, con determinadas limitaciones, a daños materiales entre intervinientes siempre que entre ellos no exista ninguna relación contractual, lo normal es excluir dichos daños materiales y limitar la cobertura a daños corporales.

### Responsabilidad Civil Profesional

Para el desarrollo profesional de Ingenieros y Arquitectos, y ligada con la Obra Civil, hay que considerar la Responsabilidad Civil Profesional, cubriendo las consecuencias pecuniarias igualmente por daños corporales, materiales y perjuicios patrimoniales, que puedan ser reclamados al asegurado en el ejercicio de su actividad profesional, incluyendo los daños a las propias obras, cobertura para la que se establecen límites de indemnización más restrictivos incluso que para la Responsabilidad Civil Explotación.

Para el análisis de esta tipología de riesgo, hay que tener en cuenta el Proyecto, la Dirección de Obra y la Coordinación de Seguridad y Salud, toda vez que errores técnicos de diseño o dirección quedarían dentro de la cobertura y teniendo en cuenta además que en los Seguros de Daños se establece la cláusula de Subrogación por la cual **«El asegurador, una vez pagada la indemnización podrá ejercitar los derechos y las acciones que por razón del siniestro correspondieran al asegurado frente a las personas responsables del mismo, hasta el límite de la indemnización»**, existen multitud de reclamaciones de Aseguradoras que

después de satisfacer indemnizaciones pequeñas o elevadas, inician acciones de repetición frente al Profesional interviniente si existen o se intuyen errores por su parte.

Esta posibilidad de subrogación se elimina si el Profesional interviniente es considerado como asegurado dentro de la póliza, TRC u Obra Civil Terminada, ya que **«El asegurador no podrá ejercitar en perjuicio del asegurado los derechos en que se haya subrogado»**, motivo por el cual se recomienda a los técnicos que intervengan exigir la inclusión en dicha póliza ya que el costo será menor y sobre todo la cobertura mucho mayor que la que pueda conseguirse en póliza específica de Responsabilidad Civil Profesional.

## Responsabilidad Civil Productos

Por último, y aunque no está ligada directamente con la obra civil en sí misma, existe la Responsabilidad Civil Productos mediante la cual quedan cubiertos los productos defectuosos que puedan causar daños sobre la obra en que han sido utilizados, existiendo la posibilidad de dar cobertura también a la retirada del mismo y excluyéndose normalmente el propio producto, siendo una cobertura compleja cuyo estudio queda fuera del alcance de estetrabajo.

Como ejemplo de la toma de datos que son necesarios para el correcto análisis de los riesgos de responsabilidad civil se transcribe un esquema del autor para una tipología de edificio, en donde se observa cómo se va incrementando la información necesaria en base a la mayor exposición del riesgo:



**Figura 6.7.** Toma de datos para el correcto Análisis de Riesgos en edificación

Fuente: esquema del Autor



Es evidente que este siniestro nos podría haber ocurrido a muchísimos técnicos, pero también es evidente que a los que lo hemos conocido de una u otra manera ya no nos volvería a ocurrir, y esta es precisamente la enseñanza que debemos sacar del mismo y cuanto más se divulgue más serán los «conocedores» que salvo que tropiecen dos veces en la misma piedra, dicho muy español, se salvarán de circunstancias similares.

Después de los seis años de estudio de la Ingeniería Civil (Graduado más Máster), seguro que es posible enseñar las bases técnicas de la profesión. Sin embargo, la experiencia se consigue a base de tiempo y solo las canas o la caída del cabello son la prueba del mayor o menor grado del conocimiento adquirido, y, si es así, ¿cuál es el motivo de que no se aproveche este conocimiento en su integridad?

La enseñanza universitaria y la experiencia parece que van por caminos distintos, y en la mayoría de los tramos paralelos. Así, y salvo por técnicos del sector asegurador, no es muy conocido el nombre de IMIA, de cuya página web se extrae:

***IMIA, the International Association of Engineering Insurers***

***IMIA is a network of experts in Engineering Insurance from around the world who share experiences, investigate and discuss emerging and critical issues and elaborate papers discussing all kinds of topics of Engineering Insurance. Our core value is to offer a forum for understanding and promoting best practice in the field of Engineering Insurance.***

Dentro de dicha página web hay una pestaña de Conocimiento en la cual figuran artículos sobre siniestros, además de prevención y control de riesgo, y de cada siniestro siempre hay enseñanzas que destacar. Así, y solo a modo de ejemplo podemos ver:

***Adverse Weather***

- ***IMIAWGP 078 (12) Effects of adverse weather on construction sites***
- ***IMIAWGP 038 (04) Impact of increasing Natural Hazards***
- ***IMIAWGP 000 (99-1) Catastroph Modelling***
- ***EP28-2007 Study of environmental change + global warming***
- ***EP17-2003 Loss Potential of Natural Hazards***

***Risk Management / Loss Prevention***

- ***SP23 2011 A Word on Tailing Dams***
- ***SP14 2010 Timber Framed Construction***
- ***SP08 2009 Launching Girders-Checklist***
- ***SP04 2008 Update on Tunnelling CoP***
- ***SP03 2008 Solar Module Production***

La conjunción de técnica y experiencia conlleva sin duda un aprendizaje mucho más real, ya que una imagen vale más que mil palabras y queda grabada en la retina para siempre. Por tanto, está en nuestras manos intentar incrementar conocimientos en ambas direcciones, pero siempre dentro del mismo camino.

Otro punto trascendental donde los siniestros ocupan lugar prominente lo constituye la interpretación de la cobertura tras la ocurrencia del daño, entabándose a veces diferencias entre asegurado y asegurador ya sea por la valoración de los daños, por la limitación de coberturas o incluso por la interpretación de algunas cláusulas que dan lugar a diferentes lecturas en función del lado desde donde se mire, hechos que no deberían ocurrir si tenemos en cuenta que los contratos de seguros se ajustan al Principio de Buena Fe, el cual, tomando lo que define el Diccionario del Seguro de la Fundación Mapfre, se define como:

***«Principio básico y característico de todos los contratos que obliga a las partes a actuar entre sí con la máxima honestidad, no interpretando arbitrariamente el sentido recto de los términos recogidos en su acuerdo, ni limitando o exagerando los efectos que naturalmente se derivarían del modo en que los contratantes hayan expresado su voluntad y contraído sus obligaciones.***

***La buena fe tiene una especialísima importancia en el contrato de seguro.***

***En cuanto al asegurado, este principio le obliga a describir total y claramente la naturaleza del riesgo que pretende asegurar, afin de que el asegurador tenga una completa información que le permita decidir sobre su denegación o aceptación y, en este último caso, pueda aplicar la prima correcta, así como procurar evitar la ocurrencia del siniestro o, una vez producido, intentar disminuir sus consecuencias.***

***En cuanto al asegurador, la buena fe le exige facilitar al asegurado una información exacta de los términos en que se formaliza el contrato, ya que muy difícilmente puede aquel conocer o interpretar correctamente las condiciones de la póliza que se le presenten en el momento de su aceptación y firma y redactar con claridad el clausulado de las pólizas, de forma que el asegurado pueda conocer por sus propios medios el alcance de las condiciones a que se compromete».***

Sin embargo, las discrepancias son un hecho y aunque la solución de conflictos suele ser amistosa, algunas veces se puede llegar a los Tribunales de Justicia, siendo precisamente un arma de conciliación el conocimiento y análisis conjunto del riesgo y de las condiciones de la póliza en el momento de la suscripción y durante el seguimiento de la obra.





## 8. IMPORTANCIA DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN EL PROYECTO

Me parece muy gráfico, como se ha comentado con anterioridad, comparar una Obra Civil con una gran Orquesta en donde intervienen por orden lógico:

<b>Orquesta</b>	<b>Obra Civil</b>
Partitura	Proyecto
Compositor	Proyectista
Director de Orquesta	Director de Obra
Músicos	Mano de Obra
Instrumentos	Materiales
Regidor	Jefe de Obra
Público	Usuario

No cabe duda de que, sin una buena partitura, la cual es la única que perdura en el tiempo, el fracaso está asegurado. Lo mismo ocurre con el Proyecto, si es malo el arreglo será complicado y solo a base de parches podrá seguir adelante por las razones que luego se expondrán.

El culpable de que la partitura sea buena o mala depende exclusivamente del Compositor que en el caso de la Obra Civil pasa al Proyectista, debiendo tener en cuenta que este no actúa solo y que en proyectos importantes es un equipo humano multidisciplinario quien se encarga de su redacción, pero siempre hay un Proyectista firmante, el cual puede asumir a su vez la Dirección de Obra o no asumirla, dejando a otro profesional esta labor, que en el caso de la Orquesta y por su perdurabilidad en el tiempo es casi siempre distinto que el Compositor, pero este Director de Orquesta solo puede hacer pequeños arreglos que mantienen siempre el espíritu de la partitura inicial. Lo mismo ocurre en la Obra Civil, ya que durante la ejecución se realizan siempre cambios puntuales o modificados al proyecto, pero manteniendo el mismo en su esencia.

Los músicos se asemejan a la mano de obra pero así como en el caso de la Orquesta son excelentes profesionales con conocimientos de solfeo y perfectos conocedores de su instrumento, en la Obra Civil la mano de obra toca de oído, como yo tocaba en la Tuna de Caminos, sin conocer para qué sirve el acero o cómo trabaja el hormigón en una estructura de hormigón armado, con lo cual se limitan a poner en obra los materiales según han ido aprendiendo con el tiempo con mayor o menor aprovechamiento y dispuestos siempre a cambiar de oficio si las condiciones laborales son propicias. Pueblos enteros emigraron a las grandes ciudades durante la burbuja inmobiliaria y

gran cantidad de emigrantes también se incorporaron, evidentemente sin formación técnica específica.

Los instrumentos, al igual que los materiales, no suelen ser el mayor problema, ya que hay especialistas capaces de mejorar día a día su producto y además pasan los controles suficientes para garantizar que tienen un buen sonido o que cumplen con los controles que las Normativas de construcción exigen, siendo el Regidor, Jefe de Obra en su caso, el que debe velar por que los instrumentos estén bien afinados y que todo esté en su sitio cuando entre el Director.

Por último, será el Público quien aplauda o patalee, y será esta actitud la que refleje el éxito o el fracaso, y con más motivo en la Obra Civil, al ser su uso Público, es el usuario quien la juzgará con críticas o alabanzas que afectarán en mayor o menor medida a todos los intervinientes.

Es interesante extraer del Libro del Profesor D. José Calavera Ruiz, Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos y Catedrático Emérito de Edificación y Prefabricación de la ETS ICCP (UPM), Patologías de Estructuras de Hormigón Armado y Pretensado, que la distribución de fallos según las etapas del proceso constructivo da un porcentaje en número y en coste de:

ETAPAS	NUMERO %	COSTE %
PROYECTO	51	43
EJECUCION	37	43
MATERIALES	4,5	6
USO Y MANTENIMIENTO	7,5	8

Estas cifras no hacen más que confirmar que los verdaderos problemas están en el Proyecto y en la Ejecución, representando el Uso y Mantenimiento un porcentaje nada desdeñable, sobre todo cuando los daños pueden evitarse cumpliendo muchas veces lo estipulado en los Pliegos de Condiciones.

Es por tanto necesario que el análisis de los riesgos se realice desde la fase inicial del diseño, antes incluso de realizar cálculo alguno, ya que muchos problemas derivan precisamente de una deficiente concepción que obliga a veces a justificar lo injustificable con resultados lógicamente adversos.

Las estadísticas en España de la siniestralidad sobre el Seguro Decenal de Daños a la Edificación evidencian que un 90% de la misma (no olvidemos que se cubren daños estructurales y consecuencias en obras secundaria y acabados) se deben a problemas de cimentación y por tanto de suelos, de lo cual se deduce que no hay un buen proyecto sin un buen estudio geotécnico, no estando desencaminada, como ya se ha comentado previamente, la necesidad de su existencia para el aseguramiento de

las obras de edificación siguiendo así la obligatoriedad impuesta posteriormente por el CTE.

Dicho CTE recoge esta obligación y la cuantifica en base a criterios técnicos, pero en la Obra Civil nos conformamos con la Guía de Cimentaciones en Obras de Carreteras:



**Figura 8.1.** Guía de cimentaciones en obras de carretera (Ministerio de Fomento)

En su Preámbulo dice textualmente:

**«Se considera importante indicar que este documento describe una serie de conceptos técnicos y reglas de buena práctica que conviene tener en cuenta en el diseño, construcción, y conservación de cimentaciones en obras de carretera. Aun cuando lo especificado en la presente publicación no sea de obligado cumplimiento, se recomienda su uso en obras de la Dirección General de Carreteras, sin perjuicio de la adopción de otras medidas que circunstancias particulares de la obra o proyecto pudiesen aconsejar en cada caso».**

También es una de una gran ayuda la ROM 05-05 como ya se ha comentado, siendo importante dejar constancia de que, cuando salimos de obras civiles de iniciativa pública y pasamos a obras de iniciativa privada con presupuestos ajustados, la partida del estudio geotécnico es para muchos promotores una partida innecesaria y, como

no es obligatorio en muchos casos, se solventa con algo muy básico que incluso se contrata sin la intervención del Proyectista. Este es el origen de muchos problemas.

El analista de riesgos de una obra civil tiene la primera medida en cuanto a la calidad del Proyecto en la insuficiencia o suficiencia del Estudio Geotécnico, y, en el caso de ser suficiente, en la comprobación de si sus recomendaciones han sido tenidas en cuenta en el Proyecto. Solo con este primer paso habrá avanzado la mitad del camino.

La complejidad de los cálculos estructurales y el uso de programas sofisticados de ordenador con listados interminables de números y más números, no permiten al analista llegar a entender la bondad de los mismos, ya que prácticamente debería rehacer dichos cálculos y esa evidentemente no es su función, por lo cual hay que dar necesariamente un voto de confianza al proyectista en función de su titulación y experiencia profesional.

Sin embargo, sí podemos repasar los planos más importantes, sobre todo fijándonos en detalles constructivos cuya falta es fuente de problemas durante la construcción, a veces solventados por el Director de Obra y a veces no, así como en aquellos puntos de los Pliegos de Condiciones que fijan las medidas de control durante la ejecución de la obra y las consiguientes recomendaciones para el posterior uso y mantenimiento.

Desde luego no es tarea sencilla pero sí necesaria y por ello a conveniencia de establecer no solo recomendaciones sino obligaciones concretas según Normativa de obligado cumplimiento y contar con profesionales cualificados para dicho análisis.

## 9. DETERMINACIÓN DEL SINIESTRO MÁXIMO POSIBLE E INSPECCIÓN DE RIESGOS

La determinación del Siniestro Máximo con cualquiera de los adjetivos que normalmente lo acompañan, Posible, Previsible, Estimado, Esperado, Probable, ..., es una tarea normalmente aseguradora pero que de igual manera debería extenderse al asegurado, ya que trata de poder estimar con una fiabilidad razonable los daños que la obra podría sufrir en los distintos escenarios en los que un siniestro puede presentarse.

Mi recomendación en este sentido es realizar únicamente dos valoraciones definidas por el Comité Europeo de Aseguradores (CEA) como:

### ***Siniestro Máximo Posible (MPL. Maximun Possible Loss)***

***Es el mayor siniestro que pudiera ocurrir cuando concurren las circunstancias más desfavorables y no existen o no entran en funcionamiento las medidas de prevención y protección de riesgos que pudieran existir, extinguiéndose el daño de forma natural.***

### ***Siniestro Máximo Estimado (EML. Estimated Maximun Loss)***

***Es el siniestro que pudiera ocurrir cuando, aun concurriendo las circunstancias más desfavorables, teniendo en cuenta términos de probabilidad, funcionan adecuadamente las medidas de prevención y protección de riesgos que pudieran existir, y se cuenta con ayuda para la extinción del daño.***

En el primero de los casos está claro que el estudio puede ser realizado incluso con solo la documentación del Proyecto, mientras que el segundo precisa de un mayor conocimiento y de una interpretación subjetiva que hace que sea válido únicamente para la empresa que ha depositado su confianza en el técnico que lo realiza.

La importancia que la evaluación del MPL tiene en la asunción o transferencia del riesgo en toda la cadena asegurado / asegurador / reasegurador, es enorme. Para que sirva de introducción a los más profanos en la materia, imaginemos que una empresa constructora dispone de 10 millones de euros para poder hacer frente a cualquier siniestro que pueda producirse, habiendo conseguido la concesión de un tramo de autovía de 50 km con un valor de 100 millones de euros, en zona no sísmica, en terreno muy llano, sin estructuras salvo algún paso inferior y pasos de fauna, y adecuadamente dimensionada en sus drenajes, que permite evaluar el siniestro máximo posible en el 8% (8 millones de Euros).

En este escenario, y como el siniestro máximo esperado es de 8 millones cuando dispone de 10, podría optar por retener el riesgo o transferirlo. En este último caso su-

pongamos que contacta con una aseguradora que dispone de una capacidad de 30 millones y por tanto no tendría problemas en aceptarlo.

Supongamos ahora que el tramo de autovía de 50 km se encuentra en zona muy accidentada, con desmontes, terraplenes, estructuras y túneles que sitúan su valor en 300 millones de Euros y su siniestro máximo posible en el 30% (90 millones de Euros). Por tanto, en este caso ya no tiene capacidad suficiente y tendría que optar por transferir el riesgo, y, como la aseguradora tampoco tiene suficiente capacidad, lo deberá reasegurar en el exceso de 30 millones, es decir, podría asumir solo un 33% y tendría que reasegurar el 67% restante.

En el caso de considerar solo la suma asegurada, sin la estimación previa del siniestro máximo posible, ocurriría que en el primer caso el asegurado siempre tendría que transferir el riesgo y la aseguradora solo podría retener un 30% cediendo el 70% al reaseguro, mientras que en el segundo caso la aseguradora retendría solo el 10% cediendo el 90% al reaseguro. Aunque obviamente hay situaciones intermedias en base a franquicia, coaseguros, retrocesión en reaseguro, etc., etc., ha quedado claro el mejor aprovechamiento del capital disponible si se establece el valor del MPL.

El problema será realizar el cálculo con la mayor fiabilidad posible para lo cual deberemos tener en cuenta:

- Tipo de obra.
- Desglose de valores de construcción.
- Detalle de los sistemas constructivos.
- Análisis de escenarios posibles y estimación de probabilidad.
- Evaluación de daños para cada escenario teniendo en cuenta los costos de reparación.
- Estimación MPL.

La tipología de obra es fundamental para la evaluación y, si por ejemplo estamos estudiando una autovía, deberemos al menos analizar en detalle las obras de tierra, los drenajes, los túneles, las estructuras y el firme.

Sobre todas estas unidades de obra deberemos conocer el desglose de valores para lo que será necesario disponer del presupuesto del proyecto y actualizarlo en su caso, al mismo tiempo que los detalles constructivos para el posterior análisis de su comportamiento ante los distintos escenarios que deberemos analizar.

Dichos escenarios abarcarán todo el abanico de riesgos posibles y así deberemos analizar:

- Terremoto / Maremoto.
- Erupciones volcánicas.

- Tempestad, Huracán, Lluvia, Inundaciones. Oleaje.
- Rotura de presas aguas arriba.
- Deslizamientos, Subsidiencias, Carstificaciones,
- Colapso de túneles o estructuras por error de diseño o ejecución.
- Incendio, Rayo, Explosión.
- Incendios forestales.
- Impactos de aviones, Meteoritos, Choque de vehículos.
- ...

Aunque para el análisis completo del riesgo deberemos tener en cuenta la probabilidad de ocurrencia de cada escenario, para la estimación del MPL nos basta con analizar las consecuencias económicas, tarea que evidentemente no es sencilla y que requiere de técnicos expertos por lo que la situación ideal es la valoración conjunta entre asegurado (perfecto conocedor del riesgo) y el asegurador (con experiencia en siniestros en los escenarios a estudiar), quedando siempre por el lado de la seguridad y estimando normalmente porcentajes para cada escenario en escalones del 5%.

Habrán algunos casos en que ante escenarios de terremoto o tsunami en zonas de alta sismicidad el MPL llegará al 100%, y en otros en donde será necesario un análisis puntual para lo cual lo más práctico, para fijar conceptos, es realizar un ejercicio tipo partiendo por ejemplo de una autovía en zona de sismicidad reducida y elevada precipitación, sobre la que conocemos en detalle todo el trazado, con las características de las obras de tierra, los túneles, las estructuras, etc., y sobre la que también poseemos el desglose de valores que corresponden al siguiente detalle para una longitud total de 100 km.

Unidad de Obra	Valor (€)
Obras de Tierra	120.000.000
Drenajes	20.000.000
Túnel	60.000.000
Puentes y Viaductos	
(Valor máximo de una estructura 30.000.000)	90.000.000
Pasos inferiores y Pasos elevados	40.000.000
Firmes	80.000.000
Control, Instalaciones y Peajes	20.000.000
<b>TOTAL</b>	<b>430.000.000</b>
<b>Valor por metro</b>	<b>4.300 €/m</b>

El primer escenario a estudiar es el de Terremoto/ Maremoto, observando por los mapas sísmicos que la autovía está alejada del mar y solo una zona de 20 km está en zona



de sismicidad media (Intensidad = 6) y el resto en zona baja (Intensidad < 6), ubicándose el túnel muy alejado de la zona media y el viaducto de mayor valor dentro de la misma.

Aunque estemos en zona de media/baja intensidad se estima el colapso total del viaducto de mayor valor y un 20% en el resto de las estructuras (Total 42.000.000) y un 10% a pasos superiores e inferiores (4.000.000), con una afección del 5% al resto de la obra (15.000.000), lo que nos lleva a 61.000.000 Euros (14,2 %), adoptando el valor del MPL en este escenario del 15% del total.

En el escenario de lluvia e inundación catastrófica, teniendo en cuenta la longitud de la traza, se considera la pérdida del viaducto de mayor valor por socavación de la cimentación, un 10% de las obras de tierra (taludes y terraplenes) y de los drenajes, más un 5% de firmes afectados por terraplenes, y 2% del resto de la obra, lo que en total nos llevaría a  $30 + 14 + 8 + 3,6 = 55,6$  millones, que por tanto queda por debajo de los 61 millones antes considerados.

En cuanto al escenario de errores humanos de proyecto o ejecución, consideramos el túnel como elemento de valor mayor (60 millones de Euros), cifra igualmente inferior a la anterior, considerando finalmente el valor del MPL en el 15 % de la suma asegurada, lo cual incrementa enormemente las posibilidades de retención en toda la cadena asegurado, asegurador, reasegurador.

Para profundizar más en este tema, se recomienda la lectura del trabajo realizado por IMIA WGP 019 (02), PML Assessment of Civil Engineering Project, que concluye con aseveraciones como que:

- No es una ciencia exacta.
- No se define según estándares de uso común.
- Cada compañía aplica su definición conceptual y aplica sus propios métodos.

No obstante lo anterior, y aunque los cálculos puedan variar, la utilidad de la estimación del MPL es incontestable y nos asombraríamos de lo próximo que están los valores finales aunque se realicen por distintos profesionales.

Evidentemente la estimación del EML sería mucho más baja, y en el ejemplo desarrollado deberíamos analizar por ejemplo si la socavación de la cimentación de las estructuras no es posible, si se han aplicado convenientemente las normativas sismorresistentes, si los drenajes están suficientemente dimensionados y ejecutados, si el túnel está en terrero que no puede producir colapsos,..., teniendo no obstante su cálculo mucha menos relevancia, al quedar reducido a uso interno de la compañía solicitante.

Por último, es igualmente necesario, cuando existen coberturas ALOP/DSU o Pérdida de Beneficios, estimar las pérdidas máximas que en muchos casos nos llevarán al 100%

de la Suma Asegurada bajo este concepto, ya que siniestros relativamente pequeños de daños materiales pueden llevar al cierre de las infraestructuras con retrasos superiores al periodo de indemnización igualmente previsto en póliza.

El comportamiento de una autovía ante el colapso de un viaducto, que permite realizar un bypass por la antigua traza, es muy distinto al de un ferrocarril, ya que no es posible en este caso el desvío de los trenes con la misma facilidad y por tanto la trascendencia del siniestro es muchísimo mayor.

Unida con la estimación del MPL, hay que dejar constancia de la importancia que tanto para el análisis de riesgos por el asegurado o para las compañías aseguradoras tiene la Inspección de los mismos.

El Riesgo es una constante para el Asegurado y la razón de ser de la actividad aseguradora, y esta es sin ninguna duda la premisa básica de la cual debe partirse ante cualquier análisis a realizar sobre su Tratamiento, sobre su Control, y, finalmente, sobre su Asunción, su Transferencia o Rechazo.

Como se viene comentando, todo bien asegurable está sometido a una serie de riesgos, algunos inherentes al propio proyecto y a su ejecución, y otros exógenos, aunque igualmente afectarán a la obra en construcción o explotación, cuya valoración es la vía técnica que permitirá calcular en su caso la tasa de transferencia.

Cuando se estudia un Seguro de Vida se exigen una serie de informes basados en la analítica que para ese caso se precise, la sintomatología del individuo, el reconocimiento por un médico especializado y el estudio final que asocia la esperanza de vida con la edad y su mayor o menor exposición a factores exógenos. Es algo que se considera normal en este sector de la actividad aseguradora, estando en cualquier caso limitada la exposición a una cuantía económica máxima que nunca alcanza la suma asegurada en una obra civil. Sin embargo, si pasamos a los Ramos Técnicos, especialmente asociados a la Construcción y/o explotación de Obras Civiles y Edificaciones, el análisis del riesgo suele, en la mayoría de los casos, ser mucho más somero, aunque la exposición, basada en el costo total de la Obra, es sin duda mucho mayor.

¿Cuáles son los motivos de estas enormes diferencias?

Técnicamente no hay explicación que lo justifique ya que en realidad puede extraerse del Proyecto la «analítica» de la obra, puede estudiarse la sintomatología por la experiencia de comportamiento de obras similares, pueden analizarse los resultados por ingenieros o arquitectos con suficientes conocimientos sobre el particular, y, finalmente, puede evaluarse el riesgo teniendo en cuenta además los factores exógenos a los que la obra correspondiente puede estar sometida.

Y si puede hacerse, ¿cuál es el motivo de que no se hagan, al menos con la suficiente amplitud, este tipo de análisis?

Sin ninguna duda hay suscriptores expertos en las compañías aseguradoras capaces de evaluar lo que podría conocerse como “Riesgo Base”. Sin embargo, para conocer el mismo en su totalidad hay que ir más allá, sobre todo ante la magnitud de los siniestros que pueden presentarse y las condiciones intrínsecas a la obra, así como de sus posibles modificaciones durante el proceso constructivo, y eso no es posible sin el estudio del Proyecto y posteriores visitas al Riesgo.

Las diferencias existentes entre Proyecto Constructivo y Proyecto Modificado, e incluso con lo realmente ejecutado, suelen ser importantes. Aunque la gran profesionalidad y experiencia de los Proyectistas y Constructoras lleva normalmente a feliz término la construcción, es evidente que desde el punto de vista asegurador su análisis es diferente.

Un claro ejemplo sobre este hecho se extrae de la construcción del Túnel de San Pedro en el AVE Madrid - Valladolid, en cuya construcción participaron dos empresas constructoras, una para el túnel lado Este y otra para el túnel lado Oeste, con dos compañías aseguradoras también distintas.



**Figura 9.1.** Túnel de San Pedro AVE Madrid - Valladolid

*Fuente:* fotografía de Informe de Riesgo del Autor

Porsu proximidad entre ambos túneles, estaba previsto ejecutarlos bajo elmismoproceso, utilizando tuneladoras adaptadas a corte de granito en el avance. Sin embargo, la degradación del granito generó un rendimiento muy por debajo de lo esperado con un desgaste mucho mayor de la cabeza de corte, lo cual obligó a la modificación del sistema de perforación pasando en la mayoría del trazado a método convencional a sección completa. Evidentemente el riesgo es bien distinto tanto por lo que afecta a la Maquinaria como a la Obra, y consecuentemente su adecuado análisis hubiera obligado a condiciones y tasas diferentes.

En la visita a obra por parte de las compañías aseguradoras y reaseguradoras del lado Este, se tuvo conocimiento inmediato de las variaciones existentes, y por tanto pudo

procederse al reestudio del riesgo, modificando capitales asegurados, tasas y condiciones, lo que supuso finalmente un ahorro para el asegurado, dado que se aplicó una tasa más alta pero a un capital más reducido, unas adecuadas coberturas para Maquinaria y sobre todo un conocimiento exacto de la obra que en caso de cualquier evento siniestral no hubiera generado ningún problema, desconociéndose que ocurrió en el lado Oeste en donde se realizaron las mismas actuaciones constructivas.

Se parte por tanto de la conveniencia de establecer un análisis inicial de la obra a asegurar en base al proyecto que permita el posterior seguimiento mediante visitas programadas y adecuadamente temporizadas, analizando seguidamente las ventajas que un trabajo profesionalizado conlleva, lo cual se aplica en el seguro y reaseguro internacional mediante los llamados «engineering fees».

La intervención de una misma empresa especializada que realice de forma programada el seguimiento del riesgo lleva aparejada la seguridad sobre el cumplimiento de fechas, el conocimiento de las modificaciones que se realicen en el transcurso de la obra, la adecuada valoración de los bienes asegurados y las posibles variaciones que al apartarse de las condiciones aseguradoras pudieran conllevar la derogación de coberturas.

A veces, la experiencia acumulada permite emitir recomendaciones tendentes a la minimización del riesgo, las cuales deben entenderse como tales sin que supongan la asunción de responsabilidad para la compañía aseguradora, pero que se consideran de interés para la obra y sobre todo que permiten detectar situaciones inesperadas, como las que se observan en las dos fotografías siguientes:



**Figura 9.2.** Fotografías de un Informe de Riesgo del Autor

Tanto la paja como las maderas quedan muy bien al abrigo de un viaducto, pero ¿no da la impresión de que todo está preparado para una barbacoa para asar pilares y tablero en vez de un buen cordero? Obviamente se trata de un caso real, y nos sorprendería que a cualquiera de nosotros nos puede pasar en la vida diaria ya que no siempre vemos lo que está delante de nuestros ojos.

Otras veces se recomiendan acciones muy concretas recordando al efecto la de instrumentalizar la tensión y deformación de unos cables que sustentaban una gran cu-

bierta, de forma que pudieran observarse las diferencias ante sobrecargas de nieve o viento, recomendación que fue acogida unánimemente como una gran idea pero que en una posterior visita se comprobó que no se había realizado.

Y para continuar con otra anécdota recuerdo un edificio en el que, por el cambio de uso de vivienda a oficinas y el consecuente incremento de las sobrecargas, se realizó un refuerzo estructural con forjados colaborantes, así como de los pilares con fibra de carbono, todo muy sofisticado... Pero la pregunta, aún sin formación técnica, es muy sencilla y clara: ¿no se refuerzan también los pilares de las plantas 1ª a 4ª? Aunque nos sorprenda no estaba previsto reforzarlos, ya que correspondían a otra propiedad.

No solo debemos fijar nuestra atención en temas de obra, ya que a veces la propia suscripción del riesgo evidencia falta de conocimiento del proyecto. Como ejemplo, ¿para qué sirve una cláusula de desfase entre explanada y firme limitando el máximo a dos tramos de 5 km, si la obra en cuestión tiene 10.800 metros con más de 1.000 metros en estructuras? Pues sencillamente de nada, ya que, incluso estando toda la obra en explanada sin colocación de firme, la cobertura con esa cláusula seguiría extendiéndose al 100% de la obra.

Los ejemplos anteriores sirven por tanto para poner de manifiesto:

- La importancia del adecuado análisis de riesgos sobre el proyecto.
- La necesidad de establecer un programa de visitas que permita conocer las variaciones que puedan producirse sobre el proyecto original, tanto técnicas como económicas.
- La comprobación de las posibles incidencias que las modificaciones habidas tengan sobre la cobertura.
- El cumplimiento de las normas de buena praxis constructiva e incluso de la normativa legal durante la fase de construcción.
- El cumplimiento de plazos y las posibles agravaciones que posibles retrasos puedan suponer sobre ventanas de exposición a riesgos de la naturaleza.
- Modificaciones del entorno que puedan afectar al desarrollo de la obra.

Para ilustrar este último punto, durante la construcción de una línea de Metro se observó en una visita que se estaba realizando, sobre una de las estaciones, un parking municipal de cuatro sótanos y que afectaba a la mitad de la bóveda de la estación al estar el límite del aparcamiento sobre la clave del túnel, modificando consecuentemente el estado tensional al convertir la montera en un diente de sierra con alturas de 10 y 20 metros respectivamente, hecho este que no se comunicó a la compañía aseguradora y que evidentemente modificaba el riesgo al introducir cargas asimétricas sobre la estación.

Por último, los reformados y modificados que se producen durante la obra, juntamente con la Revisión de Precios que se establecen administrativamente, conllevan un cos-

to final bastante mayor que el presupuesto de adjudicación con el que inicialmente se calcula la prima. Sin embargo muchas veces, por desconocimiento real del incremento, no se regulariza la misma y consecuentemente se pierden ingresos que pueden ser importantes, hecho que no ocurriría si hay un seguimiento continuo de la construcción y de la valoración, tanto de los modificados como de la revisión de precios final y si las certificaciones de obra, como anteriormente se ha comentado, formasen parte integrante de la póliza.

Llegados a este punto, ¿quién debe realizar las labores del Control del Riesgo?

Como se ha comentado, las compañías aseguradoras disponen de suscriptores muy cualificados que podrían asumir en parte estos trabajos. No obstante, el día a día hace postergar las visitas y finalmente no se programan en general de forma adecuada. Además, su informe viene condicionado por la relación asegurado/asegurador, lo cual siempre debe tenerse en cuenta, pero nunca debe distorsionar la realidad del riesgo.

Si las visitas las realizan expertos ingenieros sin formación aseguradora se pierde la relación que debe existir entre el riesgo y las coberturas otorgadas por la aseguradora, de forma que pueden dejar al descubierto a los asegurados y posiblemente la relación con técnicos de obra podría ser considerada por estos como una intromisión en su trabajo.

Parece por tanto más adecuada la inspección por una combinación de los puntos anteriores, es decir, un ingeniero experto en riesgos con adecuada formación aseguradora y con un equipo multidisciplinar de colaboradores o asesores, que permitan analizar adecuadamente la Obra Civil en sus distintas especialidades y la Edificación, siempre con apoyo técnico y conocimiento por parte del asegurado.

La profesionalización permite la adecuada programación y sobre todo una relación fluida con los técnicos de obra si se logra hacer entender desde la primera visita su carácter de meros observadores y su posible ayuda en base a la experiencia que día a día se adquiere al realizar el trabajo en distintos tipos de obra, con distintos sistemas constructivos y con las aportaciones personales que cada interviniente introduce, la mayoría de las veces de gran valor para su aplicación en otras obras.

Ello puede plasmarse en recomendaciones sencillas que no puedan entenderse como una crítica a lo observado sino como una propuesta de mejora, y sobre todo en un análisis real del riesgo con las variaciones que hayan podido producirse y su interrelación con la cobertura aseguradora.

Si por ejemplo observamos que en una obra, ya en fase avanzada de instalaciones, no hay ningún extintor podemos recomendar:

1. Durante la visita no ha sido observada ninguna medida de protección contra incendios por lo cual se recomienda instalar extintores a la mayor brevedad posible.

2. La protección contra incendios en una obra es primordial para garantizar la seguridad y minimizar los riesgos; además es una exigencia aseguradora para dar cobertura al riesgo de incendios, y por tanto se recomienda realizar un estudio de necesidades y proceder a su cumplimentación a la mayor brevedad posible.

Evidentemente el fin es el mismo pero la forma difiere ya que en la primera recomendación se intuye una actuación negligente, mientras que en la segunda se está recomendando una actuación positiva que además va ligada a la cobertura aseguradora y que si proviene de un especialista independiente todavía tendrá un valor añadido, máxime si ofrece su colaboración para ese estudio de necesidades.

La externalización del Control de Riesgos tiene además una ventaja añadida, y es que su costo puede ser redistribuido entre coaseguro y reaseguro en base a un porcentaje sobre la prima cobrada. De esta forma cada partícipe en la cobertura abonará su parte de acuerdo con el porcentaje de participación y evitará costos excesivos, aunque obviamente siempre quedaría abierta la participación en las visitas de los técnicos de las aseguradoras que así lo deseen.

Se conseguiría, por tanto, una mayor equidad en la relación asegurado/asegurador debido a:

1. La actualización del capital asegurado al final de la obra, ya que aun siendo conservadores las desviaciones se incrementan en más del 20% y son muy pocas las pólizas en la que se aplica una prima adicional por este concepto.
2. La actualización de tasas y condiciones en prorrogas, ya que no siempre debe aplicarse una prima prorrata en base al mayor valor de obra y exposición en el tramo final de la misma.
3. La mejora de la siniestralidad al aportar recomendaciones y sobre todo conocer el desarrollo de la obra al tramitar un posible siniestro colaborando con el perito designado.

Para todo el trabajo necesario que lleva consigo la inspección de Riesgos y su posterior análisis es necesario fijar una agenda extensa que pasa por:

- Adecuado estudio del Proyecto para el necesario conocimiento del riesgo.
- Estructuración del mapa de riesgos de acuerdo con las características de la obra y su ubicación (utilización de los mapas de Riesgos Geológicos y Riesgos de la Naturaleza disponibles en cada país).
- Estudio del entorno y su influencia en la construcción.
- Visita al riesgo para la obtención de la información necesaria y evaluación de recomendaciones.
- Estudio en gabinete y Cálculo del MPL.
- Programación de la periodicidad de inspecciones y emisión de informes.

La visita al riesgo deberá programarse para disponer de la máxima información posible, siendonecesario establecer una agenda que permita elmáximoaprovechamiento del tiempo y que deberá partir de una reunión inicial donde se repase la información existente, se solicite nuevamente la pendiente y se establezca el trazado de la visita para observar in situ los puntos más críticos de los que figuren en el mapa de riesgos previamente confeccionado, terminando con una nueva reunión donde se comenten las observaciones que hayan ido generándose durante la visita.

Como datos iniciales será siempre preciso conocer:

1. Asegurado.
2. Ubicación.
3. Tipo de Riesgo.
4. Cobertura asegurada.
5. Suma asegurada.
6. Franquicias.
7. Documentación existente.
8. Documentación necesaria.

Para la programación de la visita habrá que fijar

1. Fecha.
2. Asistentes previstos por parte de la Dirección Técnica.
3. Acompañantes.
4. Propósito de la visita.
5. Documentos solicitados.
6. Puntos críticos a inspeccionar.

Para el estudio previo se precisan una serie de datos iniciales que normalmente obtendremos del propio Proyecto, como:

1. Descripción de la obra.
2. Plano de planta.
3. Perfil longitudinal.
4. Geología y Geotecnia (Corte Estratigráfico).
5. Hidrología.
6. Obras de tierra. Tratamiento del terreno.



7. Taludes y terraplenes. Sustentación y muros de contención.
8. Estructuras. Tipología y Cimentación.
9. Túneles.
10. Instalaciones.
11. Superestructura.
12. Presupuesto de ejecución por contrata y valor final.
13. Inicio de la explotación.

Ya durante la reunión previa a la Visita se deberá centrar la conversación, después del repaso general a la información técnica, en las labores de Control, Conservación y Mantenimiento, en puntos concretos de:

1. Organización y medios humanos.
2. Mantenimiento preventivo.
3. Mantenimiento predictivo.
4. Auscultación y Control. Taludes, terraplenes, túneles, cimentaciones, estructuras, muros de contención, ...
5. Niveles de Alertas.
6. Conservación.
7. Incidencias durante la construcción.
8. Incidencias durante la explotación.

También durante esta primera reunión es igualmente necesario comentar la exposición a fenómenos de la naturaleza y del entorno

1. Terremoto.
2. Inundación.
3. Viento.
4. Heladas.
5. Socavación/ Erosión.
6. Terreno:
  - Carstificación.
  - Colapsabilidad.
  - Expansividad.
  - Deslizamientos.

7. Incendios forestales o industriales.
8. Choque de vehículos terrestres, fluviales y aéreos.

Como ejemplo, en una obra lineal, se debería centrar la visita en:

1. Repaso del proyecto y del mapa de riesgos.
2. Documentación pendiente.
3. Documentación de auscultación y control. Programa de alertas.
4. Planificación visita a obra:
  - Terraplenes. Asientos, inclinómetros, drenajes y erosión.
  - Taludes. Estabilidad, muros de contención, anclajes, bulones y drenes californianos.
  - Estructuras. Socavación, movimientos, medidas tensionales.
  - Túneles. Convergencias, tensiones, filtraciones.
  - Instalaciones. Protección contra incendios.
  - Estado general de la superestructura.
  - Orden y limpieza. Cunetas y drenes transversales.
  - Medios de control conservación y mantenimiento.
  - Cumplimiento evaluación medioambiental.

Si la cobertura de póliza se extiende a la Pérdida de Beneficios se deberá también hacer hincapié sobre:

1. Facturación.
2. Beneficio Bruto.
3. Cuellos de botella. Evaluación de impactos.
4. Acciones de minimización.
5. Plan de contingencias.

Con toda la información obtenida tras el estudio inicial y la visita al Riesgo se debe proceder a plasmar los datos más significativos en un Informe de Inspección, el cual deberá transmitir a los posibles interesados en el mismo toda la información relevante sobre los puntos anteriores ya que será probablemente el único documento de interés para ellos, determinando mapa de riesgos, puntos críticos y recomendaciones de mejora, evaluando el Siniestro Máximo Posible y el Siniestro Máximo Estimado según lo expuesto con anterioridad, finalizando con una evaluación global de riesgo así como con las observaciones sobre las coberturas aseguradoras si se estima conveniente o necesario.

De esta forma, el Informe de Inspección puede estructurarse en:

- Una primera parte en donde se recojan los intervinientes en la visita, fecha de la misma, fecha del Informe y la documentación analizada, haciendo referencia a la pendiente por recibir y que se considere de interés.
- Una segunda parte descriptiva donde se resuma las características principales del riesgo reflejando su ubicación, plano de planta, fotografías significativas y fotografías aéreas si las hubiera, que recoja una información somera pero suficiente.
- Una tercera parte con la exposición a fenómenos antrópicos en el entorno tales como Polígonos Petroquímicos, Polígonos Industriales, Presas, Ferrocarriles, Gaseoductos y Oleoductos, Canales, Carreteras, Aeropuertos, exposición a Incendios Forestales, ..., recogiendo tipología, distancia, etc.
- Una cuarta parte que analice los fenómenos de la naturaleza a los que el Riesgo pudiera verse expuesto, detallando las fuentes de información y los mapas consultados sobre terremoto, inundabilidad, tormentas, huracanes, precipitaciones, etc.

Después de estos puntos generales, hay que realizar un exhaustivo detalle de la Obra en cuestión lo que dependerá de su tipología. Como ejemplo, se vuelve a tomar una Autovía en Obra Civil Terminada, debiendo hacer constar en este caso:

Datos generales:

- Año de construcción.
- Longitud.
- Gálibo máximo permitido. Restricciones de tráfico pesado o peligroso.
- Sección tipo. Número de carriles, arcenes y cunetas.
- Áreas de descanso.
- Estaciones de servicio.
- Áreas de conservación y mantenimiento.
- Peajes.
- Edificios administrativos.
- Accesos.
- Intensidad media diaria.
- Intensidades máximas. Congestión.
- Velocidad máxima de servicio.

Construcción:

- Plano de planta.

- Perfil longitudinal.
- Características geotécnicas. Corte estratigráfico:
  - Presencia de suelos colapsables.
  - Presencia de suelos expansivos.
  - Presencia de suelos carstificables.
  - Presencia de suelos erosionables.
- Obras de tierra:
  - Características de la explanada.
  - Taludes con indicación de longitud y altura de los más significativos.
  - Terraplenes indicando característica del material aportado, longitud y altura de los más significativos.
- Drenajes longitudinales y transversales:
  - Descripción, indicando la posible existencia de cunetas de guarda en los desmontes principales.
  - Cálculo en base a periodos de retorno de los drenajes longitudinales y transversales.
- Muros de Contención, indicando ubicación, altura y tipología constructiva de los más significativos.
- Pontones, acequias, pasos inferiores y de fauna, indicando la posibilidad de socavación por el agua.
- Puentes y viaductos, detallando ubicación, longitud, altura, número de vanos, luz máxima, tipología y tipo de cimentación de todos ellos.
- Túneles, detallando ubicación, sección, longitud, tipo de terreno, tipo de sostenimiento, sistema constructivo.
- Edificios administrativos, así como áreas de almacenamiento, conservación y mantenimiento, indicando tipo de cimentación y características constructivas.

#### Riesgos de la naturaleza:

- Terremoto:
  - Sismicidad de la zona.
  - Cumplimiento de Medidas Sismorresistentes.
  - Sensibilidad de la Obra, analizando Obras de Tierra, Obras de Fábrica, Estructuras, Túneles, Superestructura y Edificaciones.

- Lluvia e inundación:
  - Señalización de zonas inundables.
  - Periodos de retorno considerados.
  - Posibilidad de socavación de cimentaciones, drenajes transversales y pasos de fauna.
  - Sensibilidad de las distintas unidades de obra: Obras de Tierra, Obras de Fábrica, Estructuras, Túneles, Superestructura y Edificaciones.
- Viento / Huracán:
  - Informaciones históricas.
  - Sensibilidad de Estructuras, Parque de Maquinaria y Almacenes, Áreas de Peaje e Instalaciones y Señalización Vertical.
- Nieve y heladas:
  - Informaciones históricas.
  - Sensibilidad de Áreas de Peaje, Instalaciones Eléctricas y Superestructura.
- Vulcanismo:
  - Exposición de la Obra engeneral.
- Sunamis:
  - Sismicidad de la zona.
  - Distancia al mar y altura topográfica de la traza.
  - Posibilidad de inundación.
- Inestabilidades Geológicas:
  - Deslizamientos.
  - Carstificaciones.
  - Colapsabilidad.

#### Instalaciones:

- Estaciones de Transformación.
- Potencia instalada.
- Líneas de entrada.
- Grupos electrógenos y áreas a las que dan servicio.

- Aire acondicionado.
- Agua.

#### Conservación y Mantenimiento:

- Personal asignado.
- Subcontratas.
- Puntos a inspeccionar.
- Frecuencia.
- Tipo de inspección.
- Conservación de superestructura.
- Señalización.
- Limpieza de cunetas y drenajes transversales.
- Terraplenes y desmontes.
- Estructuras.
- Túneles.
- Instrumentación:
  - Inclínómetros.
  - Piezómetros.
  - Presiómetros.
  - Auscultación de túneles, ventilación, iluminación y bombeo.

#### Protección contra incendios y sistemas de detección:

- Edificio administrativo.
- Centro de Control.
- Almacenes de conservación y mantenimiento.
- Parque de maquinaria.
- Peajes.
- Protección específica en túneles, detección, extinción y galerías de evacuación con recintos de protección contra incendios.
- Servicios públicos de bomberos.

En el caso de cobertura de Pérdida de Beneficios, deberá especificarse:

- Cuellos de botella.
- Alternativas de desvío.
- Sistemas redundantes.
- Tiempos estimados de reposición para todas las unidades de obra e instalaciones de control.

Todo ello conlleva un mayor conocimiento del riesgo y su costo puede verse compensado con el cálculo más racional de las tasas al no tener que aplicar el «coeficiente de ignorancia» así como por la actualización final de Sumas Aseguradas.

## 10. EPÍLOGO Y DECÁLOGO

Llegados al final de este Libro lo primero que se precisa es agradecer al lector haber alcanzado este punto y pedir disculpas si su contenido no ha satisfecho lo que esperaba de él.

Para los que el contenido resulte de utilidad, un doble agradecimiento por haber llegado hasta aquí y sobre todo por permitir que me sienta satisfecho al poder transmitir los conocimientos que mi formación y experiencia de 50 años han ido acumulando en mi cerebro.

En cualquier caso, ha sido un placer almacenar palabras con más o menos sentido y sobre todo haber podido disfrutar en su redacción, reiterando que solo evitar un siniestro daría por satisfecho el esfuerzo realizado.

Sin embargo, es mi deseo que este sea un Libro abierto y por tanto confío que sea el inicio de grupos de trabajo para desarrollar estudios puntuales, los cuales siempre encontrarán en mí la colaboración que crean conveniente, brindando desde ya mi ayuda más desinteresada.

Por último y como resumen de lo expuesto se concluye con un Decálogo de aquello qué a mi juicio, no debemos olvidar.

1. El riesgo es una constante en cualquier actividad económica y la Obra Civil está mucho más expuesta al sumar al propio error humano, la gran exposición a fenómenos de la naturaleza, tanto durante su construcción como durante su fase de explotación.
2. Su carácter normalmente de Obra Pública, amplía los daños posibles, extendiéndose desde la propia obra al hábitat exterior y por tanto son susceptibles de causar daños a terceros, personales y materiales, cuyas consecuencias económicas pueden llegar a ser incalculables.
3. Su uso, además, está íntimamente ligado al confort personal, permitiendo la mayor y mejor movilidad con nuevos modos de transporte, el abastecimiento seguro para nuestras ciudades, la calidad sanitaria en el tratamiento del agua y en general proporcionando la infraestructura necesaria para el desarrollo de nuestra vida.
4. A pesar de ello, el análisis de riesgo en obras civiles está en una fase incipiente y por tanto se actúa mucho más a toro pasado que estableciendo la prevención necesaria para evitar siniestros futuros que con un estudio adecuado, a través de los mapas de riesgo, podrían sin duda minimizarse.
5. La importancia que el terreno tiene en las obras civiles, hace que su conocimiento deba ser lo más amplio posible y por tanto el Estudio Geotécnico se considera



no solo conveniente sino necesario y su amplitud debe ser suficiente para garantizar que el Proyecto parta de la realidad existente y permita a los técnicos intervinientes la adopción de las medidas adecuadas en cuanto a cimentación, drenajes y obras de tierra.

6. El carácter cíclico de los fenómenos de la naturaleza, hace necesario conocer los periodos de retorno para distintas intensidades, única forma de estudiar con rigor técnico su probabilidad de ocurrencia, siendo de vital importancia su aplicación en las obras civiles, pudiendo extender su validez. más allá de los tiempos de observación, mediante funciones de distribución como la de Gumbel
7. Todo riesgo evaluable es asegurable y por tanto la transferencia al sector asegurador de las obras civiles es siempre posible, debiendo garantizar que las condiciones de póliza respetan los criterios técnicos que permiten calcular, con el rigor técnico necesario, tanto probabilidad como consecuencias.
8. Las posibilidades de transferencia de riesgos en obras civiles, reflejan un amplio abanico que van desde los seguros de daños, tanto en construcción como en explotación, a los seguros de pérdida de beneficios, pasando por seguros de responsabilidad civil de explotación, patronal, cruzada, profesional y productos
9. Para la correcta transferencia, evitando la aplicación de «coeficientes de ignorancia» que perjudican tanto al asegurado como al asegurador, es conveniente la realización del mapa de riesgos, la valoración de los mismos y la emisión de informes, que deberían contar con la colaboración de asegurado y asegurador, aunando conocimientos desde el puro rigor técnico a la experiencia que facilitan los siniestros.
10. Por último, las pólizas se emiten para su lectura y estudio antes de la transferencia del riesgo y por tanto no parece lógico iniciar esta labor cuando se produce alguna tipología de daño, sobre todo por parte de los responsables directos de la obra, surgiendo entonces la duda de si existe cobertura y la amplitud de la misma.

## 11. DOCUMENTACIÓN RECOMENDADA

- Código Técnico de la Edificación
- Guía de Cimentaciones para Obras de Carreteras
- Recomendaciones de Obras Marítimas ROM
- Guía para la ejecución de Muros de Escollera
- Tipología de Muros de Carreteras
- Manual para el Proyecto y Ejecución de Estructuras de Suelo Reforzado
- Guía para el Diseño y Ejecución de Anclajes al Terreno
- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales Obras de Carreteras (PG3)
- Norma 5.2.1.C. Drenajes
- Code of Practice for Risk Management of Tunnel Works
- Así se hace un Puerto
- Obras de Atraque de Bloques y Pilotes en España
- Máximas Lluvias Diarias en la España Peninsular
- Diccionario Mapfre de Seguros
- Web IMIA
- Web Carreteros

### Documentación Gráfica

La Documentación Gráfica que acompaña a esta Monografía, tiene como única misión ilustrar el contenido de la misma con imágenes que ayuden a mejorar la comprensión de lo escrito, obteniéndose de: documentos oficiales de libre acceso, informes periciales y de inspección de riesgos realizados por el Autor de la misma y de Internet citando fuentes



Sin ninguna duda la Obra Civil es motor de la economía de cualquier país desarrollado y sus Carreteras, Vías de Ferrocarril y Aeropuertos, que vertebran el sistema de transporte, sus Puertos que permiten el intercambio mundial de mercancías, sus Presas y Obras Hidráulicas que potencian los sistemas de abastecimiento de agua, de regadíos y de generación hidroeléctrica, y sus Infraestructuras Urbanas que hacen más fácil nuestra vida en la ciudad, son una muestra inequívoca del desarrollo logrado y de su integración en la economía global en la que nos vemos inmersos.

Sin ninguna duda también, la seguridad de las mismas es vital para nuestra supervivencia y los daños catastróficos que sus fallos pueden acarrear hacen que sean necesarios amplios conocimientos técnicos para su proyecto, construcción y conservación, desde la ingeniería del terreno hasta las diferentes estructuras, con la singularidad de que no puede haber nunca dos obras iguales al variar, al menos, la ubicación, los materiales y la mano de obra.

Por otra parte, su exposición a fenómenos de la naturaleza e incluso su contribución al desarrollo de grandes catástrofes, hace necesario y muy complejo el análisis de riesgos, labor esta que va desarrollándose poco a poco y muchas de las veces «a toro pasado», cuando vivimos pérdidas humanas y materiales que nos obligan a actuar para intentar minimizar en el futuro los daños anteriormente sufridos.

El Sector Asegurador también ofrece su contribución como base de datos sobre siniestros y causas en riesgos que han sido transferidos, y en consecuencia la unión de las bases técnicas de la Ingeniería y el Seguro, constituyen una perfecta simbiosis para colaborar en la mejora de nuestra sociedad intentando evitar en lo posible el riesgo futuro e incierto, el cual, lamentablemente, nunca puede evitarse.

Con estas bases se desarrolla este Libro que espera ser un grano más de arena que ayude a conformar la montaña precisa para el correcto Análisis de Riesgos en la Obra Civil, y ayude también a conocer las posibilidades de Transferencia que el Sector Asegurador ofrece tanto a promotores, públicos o privados, como a técnicos, constructores y usuarios finales.

Para AGERS es muy importante colaborar en el conjunto de información existente dentro del sector de la gerencia de riesgos, y para ello editamos una serie de guías, manuales y libros que sirven como publicaciones de referencia.