

ÍNDICE.

1. INTRODUCCIÓN.
2. RIESGO SÍSMICO.
 - 2.1. Sismicidad histórica.
 - 2.2. Caracterización del riesgo.
3. RIESGO DE INUNDACIONES.
 - 3.1. Inundaciones fluviales.
 - 3.1.1. Zonas inundables.
 - 3.2. Inundaciones torrenciales.
4. RIESGO DE SUBSIDENCIA.
 - 4.1. Conclusiones y consideraciones generales.
 - 4.2. Consideraciones geotécnicas.
 - 4.3. Recomendaciones finales.
5. RIESGO DE EROSIÓN.
 - 5.1. Factores que influyen en la erosionabilidad.
 - 5.2. Áreas con riesgo.
 - 5.3. Recomendaciones.

1. INTRODUCCIÓN.

Se sigue el esquema desarrollado por el Mapa de Riesgos Geológicos de la Ciudad de Zaragoza (IGME, 1987) en cuanto a clasificación y ordenación de riesgos, incorporándose al análisis de los riesgos los estudios existentes procedentes de diferentes ámbitos, y entre los que destacan los siguientes:

SIMÓN et al., 1998 b. Estudio de Riesgos de Hundimientos Kársticos en el Corredor de la Carretera de Logroño. Departamento de Geología. Universidad de Zaragoza. Octubre de 1998.

SIMÓN et al., 1998 a. Estudio de Riesgos Naturales en los terrenos de la Orla Sudoeste de suelo urbanizable. Departamento de Geología. Universidad de Zaragoza. Junio de 1998.

La definición de riesgo implica un carácter de acontecimiento imprevisible en el tiempo, aunque pueda ser localizado, de una manera aproximada, en el espacio.

Se puede cuantificar en parte un cierto nivel o "umbral de riesgo" sobrepasado el cual, se produce de manera más o menos inmediata, el acontecimiento catastrófico.

En este sentido, el definir los riesgos geológicos en su vertiente temporal, o lo que es lo mismo, predecir cuando van a producirse aquéllos, es poco menos que imposible, si se tiene en cuenta la gran cantidad de variables que intervienen en estos acontecimientos singulares.

Así, la cartografía de riesgos existente, se ha enfocado desde el punto de vista del área afectada por los mismos, buscando siempre el punto de vista de su utilidad en cuanto a ordenación del territorio.

Los diversos tipos de riesgos considerados son los siguientes: sismicidad, inundaciones, erosión por arroyada, subsidencia del terreno tanto por efecto de la disolución interna progresiva de yesos como por colapsos y riesgo eólico (erosión y depósito).

2. RIESGO SÍSMICO.

Dentro de los riesgos geológicos, el sísmico constituye el fenómeno más aleatorio, por cuanto es imposible de evitar, así como de predecir actualmente con fiabilidad.

Hoy por hoy, pueden controlarse en parte sus efectos, al menos hasta cierto punto, conociendo el tipo de sismo máximo previsible que puede originarse y reforzando, en consecuencia, las estructuras a construir en el área afectada.

2.1. Sismicidad histórica.

Los datos que se poseen actualmente para reconocer la actividad sísmica de la zona de Zaragoza, son fundamentalmente de tres tipos: estadística sísmica, elementos geotectónicos regionales y elementos geofísicos complementarios. El conjunto de todos ellos permite, por una parte, predecir la intensidad máxima probable en el entorno zaragozano, medida en la escala macrosísmica M.S.K. (Medvedev, S.V., Sponhever y Karnik, V. 1967), y por otra la probabilidad de que ocurra un movimiento sísmico de intensidad media que afecte a la ciudad.

En base al catálogo general de isosistas de la Península Ibérica, así como al catálogo de sismos del Instituto Geográfico Nacional, se tienen referencias de que en la ciudad de Zaragoza y su entorno, no se ha registrado ningún epicentro sísmico.

Esto no quiere decir, que Zaragoza no esté sometida a la acción sísmica, sino que los sismos cuyos efectos en el pasado se dejaron sentir en Zaragoza, tenían sus epicentros en los lugares que se recogen en la Tabla I.6.1. En ellos las intensidades alcanzaron generalmente el grado VII, (exceptuando el terremoto de Lisboa del año 1755, que alcanzó grado X en origen). La atenuación de los frentes de ondas sin embargo supuso en Zaragoza intensidades máximas de grado IV, es en este sentido en el que debe considerarse a Zaragoza como un área asísmica en sí misma y en la que el riesgo sísmico histórico es de grado bajo.

Fecha			Localización			Intensidad Sísmica	
Día	Mes	Año	Longitud W	Latitud N	Ciudad más próxima	Epicentral	Sentida en Zaragoza
1	XI	1755	10° 00'	37° 00'	W Cabo S. Vicente	X+Réplicas	IV
18	III	1817	2° 05'	42° 15'	Arnedo (Lo)	VIII	IV
22	X	1907	0° 30'	42° 24'	Torre de la Ribera (Hu)	VIII	IV
7	VIII	1914	0° 32'	42° 46'	Benasque (Hu)	VII	III
11	VIII	1914	0° 30'	42° 45'	Eriste (Hu)	VII	III
28	III	1915	0° 37'	42° 32'	Castanesa (Lo)	VII	III
27	XI	1919	0° 49'	42° 32'	Bohi (L)	VI	III
10	VII	1923	0° 57'	42° 33'	Martes (Hu)	VIII	IV
19	XI	1923	0° 50'	42° 41'	Viella (L)	VIII	IV
22	II	1924	0° 31'	42° 02'	Laruns (Francia)	VIII	II
27	II	1924	0° 47'	42° 41'	Viella (L)	VI	III
18	II	1929	2° 06'	42° 08'	Turrucum (Lo)	VIII	II
19	II	1980	0° 57'	42° 33'	Martes (Hu)	V	III

Fuente: Instituto Geológico y Minero de España. Mapa geotéctrico y de riesgos geológicos de la Ciudad de Zaragoza

Tabla I.6.1.: Epicentros históricos en el entorno de Zaragoza.

2.2. Caracterización del riesgo.

De lo comentado en el apartado anterior parece deducirse que el riesgo sísmico asociado a terremotos catastróficos (intensidad > VIII), es inexistente en Zaragoza.

No obstante, de los sismos estudiados cuyos efectos sensibles han llegado a la ciudad, parecen deducirse dos líneas de transmisión preferencial de ondas sísmicas. Una, que enlazaría Viella con Huesca, con apósisis hacia Villafranca del Panadés, y otra, que uniría las ciudades francesas de Tarbes con Bagnères, y las españolas de La Puebla con Tamarite de Litera.

Según la Norma Sismorresistente del año 1974, la ciudad de Zaragoza se situaría en la zona segunda o de intensidad media (grados V a VI), grado que debe ser menor ya que, según lo comentado en el apartado anterior, el tramo estudiado no ha sufrido terremotos, de intensidades superiores al grado IV.

Los esquemas de las Figuras 1.6.1., 1.6.2. e 1.6.3. corresponden a las isosistas máximas previsibles con probabilidades de 0,01, 0.002, y 0,001, o lo que es lo mismo para períodos de retorno de 100, 500 y 1.000 años respectivamente; corresponden a los mapas de trabajo utilizados por la comisión que ha elaborado la actual Norma Sismorresistente. No deben considerarse como planos definitivos, pero sí pueden tomarse como una aproximación a la realidad del riesgo sísmico en el grado actual de conocimientos existentes en el área sobre el mismo.

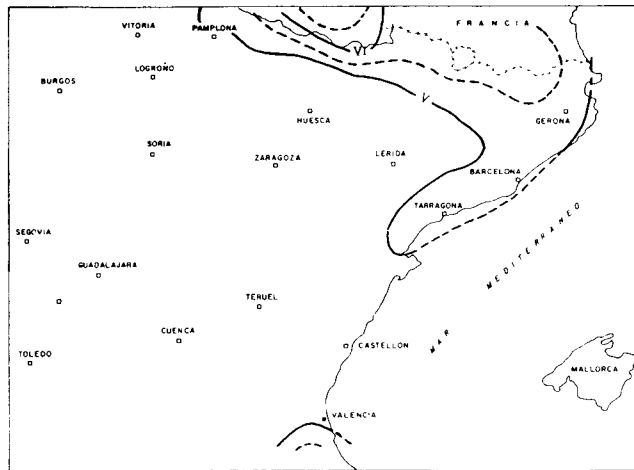


Figura 1.6.1.: Riesgo sísmico de probabilidad 0,01.

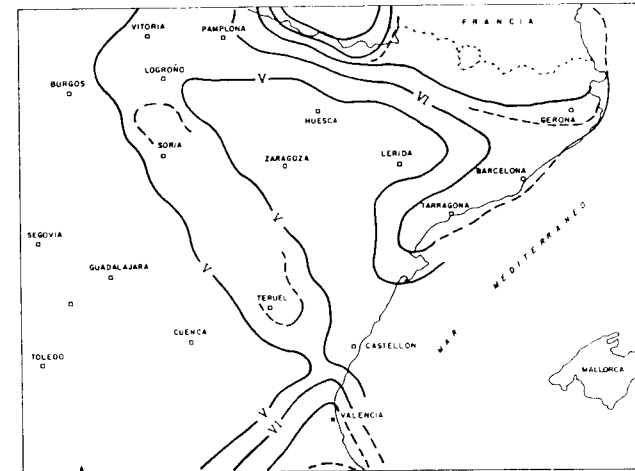


Figura 1.6.2.: Riesgo sísmico de probabilidad 0,002.

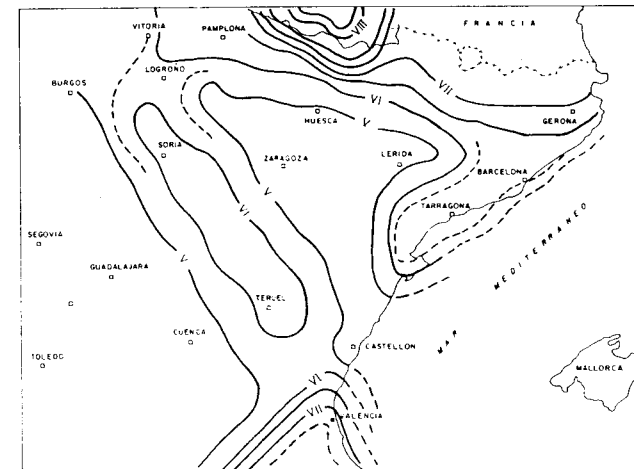


Figura 1.6.3.: Riesgo sísmico de probabilidad 0,001.

En el mapa de peligrosidad sísmica de la actual Norma de Construcción Sismorresistente (NCSE-94), la aceleración sísmica básica, a_b , definida como un valor característico de la aceleración horizontal de la superficie del terreno para un período de retorno de quinientos años, es en todo el municipio de Zaragoza inferior a 0,04 g, siendo g la aceleración de la gravedad. La Norma indica que no será necesaria su aplicación, como es el caso, cuando la aceleración sísmica de cálculo, a_c , sea inferior a 0,06 g.

3. RIESGO DE INUNDACIONES.

Se diferencian tres tipos de riesgo de inundación:

- La ocupación de la llanura aluvial de los ríos de la zona (Ebro, Gállego y Huerva).
- Inundación de los cauces de las "vales".
- Los terrenos ocupados de los diferentes abanicos aluviales situados, en general, en la desembocadura de las "vales", donde se articulan con las terrazas de los ríos mayores.

El primer tipo de riesgo mencionado, se produce en las zonas de llanuras fluviales de inundación, mientras que los dos últimos responden a un mecanismo de inundación diferente casi siempre de carácter torrencial.

3.1. Inundaciones fluviales.

Los riesgos actuales de inundación se encuentran disminuidos, en gran parte, respecto de los naturales, por los efectos de regulación que suponen los embalses de cabecera, y curso medio en los ríos Ebro, Gállego y, en menor medida, del Huerva. No obstante, las cuencas en conjunto no están totalmente reguladas, y de hecho, se han originado avenidas históricas, posteriores a la realización de los embalses. Con carácter general, la regulación del Ebro es suficiente para avenidas ordinarias, mientras que para las avenidas extraordinarias sigue existiendo el riesgo de inundación.

Por tanto, es conveniente frente a este riesgo considerar otras medidas no estructurales, o lo que es lo mismo el uso racional de la llanura de inundación, como el procedimiento más eficaz y económico, para evitar las cuantiosas pérdidas producidas por una avenida al incidir sobre una llanura de inundación de una cuenca no totalmente regulada.

3.1.1. Zonas inundables.

El concepto de regulación del uso de la llanura de inundación, se refiere a la utilización óptima de la misma con un riesgo mínimo, de forma que los posibles daños originados por una avenida, junto con los gastos de protección de aquélla, sean inferiores a los beneficios obtenidos por su utilización.

En el capítulo sobre los ríos zaragozanos, se ha profundizado en el estudio hidrológico de los mismos, analizando los caudales circundantes, las avenidas histórica, las leyes de frecuencia de avenidas, su evolución y velocidad, así como las cotas máximas de lámina de agua y las zonas inundables.

El Mapa de riesgos geológicos de Zaragoza (IGME, 1987) se diferencian las áreas inundables cada 1,5 años, 5 años y más de 25 años.

Así, la consideración del primer límite de 1,5 años, se hace de acuerdo con las recomendaciones de C.D. Bue en "Flood Plain Planning, Minneapolis, 1967" por considerar que esta zona corresponde al verdadero cauce mayor del río, sin que esto signifique que tenga que inundarse todos los años. Esta zona debe conservarse íntegramente en su estado natural, sin ninguna construcción u obra.

La zona de inundación cada 5 años (riesgo de inundación del 20%), debe también conservarse libre de construcciones y su uso debe circunscribirse a la agricultura, vías de comunicación no estratégicas, campos públicos y campos de

deportes sin construcciones en la vertical, (canchas de tenis, campos de fútbol, baloncesto, etc., sin gradas).

La zona correspondiente a la inundación de 25 años o más, puede utilizarse para construcciones de edificios y fábricas de productos no tóxicos pero siempre que los mismos cuenten con medidas de seguridad y quede asegurado que su planta superior emerja de la inundación. Evidentemente no deben situarse en esta área hospitales, cuarteles de bomberos o cualesquiera otros servicios indispensables para la comunidad en tiempos de catástrofe. En ningún caso deberían situarse en esta zona, fábricas que produzcan elementos tóxicos, nocivos y peligrosos para la salud pública, y en caso de tener que construirse, deberán contar con normas de seguridad estrictas, en cuanto a no verter elementos letales al agua durante o después de la inundación.

Por otro lado, en la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones, aprobada por Consejo de Ministros en su reunión del 9 de diciembre de 1994 (RESOLUCIÓN de 31 de enero de 1995, BOE de 14 de febrero de 1995), analiza los riesgos de inundación y establece la siguiente zonificación territorial:

Zonas A de riesgo alto. Son aquellas zonas en las que las avenidas de cincuenta, cien o quinientos años producirán graves daños a núcleos de población importante. También se considerará zonas de riesgo máximo aquellas en las que las avenidas de cincuenta años produciría impactos a viviendas aisladas, o daños importantes a instalaciones comerciales o industriales y/o a los servicios básicos.

Dentro de estas zonas, y a efectos de emergencia para las poblaciones, se establecerán las siguientes subzonas:

Zonas A-1. Zonas de riesgo alto frecuente. Son aquellas zonas en las que la avenida de cincuenta años producirán graves daños a núcleos urbanos.

Zonas A-2. Zonas de riesgo alto ocasional. Son aquellas zonas en las que la avenida de cien años producirían graves daños a núcleos urbanos.

Zonas A-3. Zonas de riesgo alto excepcional. Son aquellas zonas en las que la avenida de quinientos años produciría graves daños a núcleos urbanos.

Zonas B de riesgo significativo. Son aquellas zonas, no coincidentes con las zonas A, en las que la avenida de los cien años produciría impactos en viviendas aisladas, y las avenidas de período de retorno igual o superior a los cien años, daños significativos a instalaciones comerciales, industriales y/o servicios básicos.

Zonas C de riesgo bajo. Son aquellas, no coincidentes con las zonas A ni con las zonas B, en las que la avenida de los quinientos años produciría impactos en viviendas aisladas, y las avenidas consideradas en los mapas de inundación, daños pequeños a instalaciones comerciales, industriales y/o servicios básicos.

Las áreas inundables para los períodos de retorno que indica la directriz sólo se pueden conocer actualmente de forma aproximada, y como ya se ha indicado, coinciden con la llanura de inundación (período de retorno de 500 años). Para la delimitación más exacta de los mapas de inundación es necesario la realización de trabajos específicos que deberán desarrollarse bien con anterioridad o bien paralelamente al desarrollo de la mencionada Directriz por los organismos competentes.

3.2. Inundaciones torrenciales.

Dentro de este apartado, pueden diferenciarse por un lado, aquellas áreas correspondientes a los fondos de las "vales" de topografía plana, que cuando se producen

precipitaciones importantes concentradas, dan lugar a inundaciones y anegamientos de aquellas zonas, y por otra parte, los abanicos aluviales que son áreas propicias al asentamiento humano, ya que son zonas fértiles, con nivel freático relativamente alto y pendiente longitudinal aceptable.

El riesgo en las "vales" no suele ser importante, salvo pérdida eventual de cosechas, ya que en ellos no suelen existir inmuebles; por el contrario la urbanización de los conos de deyección es frecuente. El proceso por una parte impermeabiliza el territorio e impide la infiltración y por otro ciega los distributarios secundarios que en el estado original supondrían el desagüe natural de los excesos. De esta forma el riesgo de inundación incluye la totalidad del abanico aluvial.

4. RIESGO DE SUBSIDENCIA.

Desde hace varios años, se reconocen fenómenos de subsidencia, tanto en ambas márgenes de los ríos Ebro y Gállego, como en los fondos de los diversos "vales" de toda la zona.

En los citados estudios (SIMÓN et al. 1998 a y b) sobre los riesgos de hundimientos kársticos, que se incluyen en los *Anejos a la Memoria*, se ha estudiado en profundidad los fenómenos de subsidencia. A continuación se resaltan las conclusiones y recomendaciones finales de dichos estudios, estando los Mapas de peligrosidad de las zonas estudiadas en el correspondiente anejo.

4.1. Conclusiones y consideraciones generales.

La zona comprendida entre Zaragoza y Casetas, constituida por las formaciones aluviales de las terrazas altas del Ebro que reposan sobre el sustrato yesífero terciario, están sujetas a una peligrosidad en general elevada de hundimiento o subsidencia por karst cubierto. En la misma situación se encuentran los terrenos en torno a la denominada depresión de Valdespartera. Las llamadas dolinas aluviales se forman por una secuencia de procesos que incluye dos fases:

- a) Movilización y evacuación de material del subsuelo por el agua subterránea (por disolución o arrastre mecánico), que generalmente lleva asociada la creación de cavidades.
- b) Hundimiento de la cubierta aluvial suprayacente, bien por colapso brusco o subsidencia lenta.

El desarrollo de dolinas aluviales se ve favorecido y acelerado, fundamentalmente, por los siguientes factores:

- a) La existencia de vaguadas en el contacto Terciario-Cuaternario por las que se produce un flujo preferente de agua.
- b) La presencia de bajos espesores de la cubierta aluvial, que facilita la manifestación superficial de las cavidades existentes en profundidad.
- c) La presencia de bajos porcentajes de lutitas, lo que proporciona permeabilidad.
- d) Bajo grado de saturación en sulfatos del agua subterránea, lo cual la hace más agresiva; la existencia de disolución activa puede detectarse por la presencia de gradientes elevados de la concentración en sulfatos.

De las cinco subzonas estudiadas en detalle en la carretera de Logroño, sólo una, la de Monzalbarba, se halla prácticamente libre de peligro de hundimientos kársticos. Las otras

cuatro, así como la zona de Valdespartera, muestran una distribución muy densa de dolinas constatadas, algunas de ellas con síntomas de actividad reciente y actual que ha tenido ya consecuencias nefastas para algunas construcciones e infraestructuras. No todas las dolinas se han detectado y localizado con la misma fiabilidad. Estas diferencias han procurado ser reflejadas en la cartografía, a fin de adecuar las categorías de peligrosidad definidas a las evidencias realmente existentes.

Teniendo esto en cuenta, así como las evidencias de actividad reciente o continuada en algunas depresiones y la confluencia de los factores potenciales de riesgo, se han definido una serie de categorías de peligrosidad agrupadas en dos niveles diferentes:

- **Categorías de peligrosidad real.** Son aquéllas en las que hay suficientes evidencias de la existencia del fenómeno kárstico y, por consiguiente, se considera muy probable que éste continúe activo en el futuro. Son las que representan un peligro cierto y deben ser tenidas necesariamente en cuenta en cualquier planificación de usos del territorio.

- **Categorías de peligrosidad potencial.** Son aquéllas derivadas de sospechas fundadas pero no concluyentes sobre la existencia de dolinas aluviales, así como de la confluencia espacial de los diferentes factores de riesgo conocidos. No constituyen un peligro cierto, pero la prudencia aconseja tenerlas en cuenta e implementar los estudios de detalle pertinentes para confirmar o desmentir en su caso el peligro de hundimientos kársticos.

La relación completa de todas las categorías de peligrosidad, tal como han sido definidas y usadas en los mapas a escala 1:5.000, es la siguiente (ver los planos incluidos en el Anejo correspondiente):

Categoría I. Peligrosidad real muy alta. Dolinas con actividad continuada o que muestran reactivación reciente constatada.

Categoría II. Peligrosidad real alta. Depresiones en las que la concurrencia de varios indicios objetivos permite interpretar con un grado de certidumbre suficiente que se trata de dolinas aluviales. Las áreas correspondientes a estas dos primeras categorías se han ampliado con un entorno de seguridad de 10 m.

Categoría III. Peligrosidad potencial alta. (1) Dolinas supuestas incrementadas con el margen de 10 m. (2) Áreas de máxima peligrosidad potencial, en las que se superponen los tres factores de riesgo fundamentales: (A) vaguada en el contacto Terciario-Cuaternario, (B1) espesor de Cuaternario inferior a 15 m y (C) contenido en lutitas inferior al 20-40 %, según subzonas. (3) Áreas periféricas de las dolinas de categoría I ó II hasta una distancia de 40 m.

Categoría IV. Peligrosidad potencial media-alta. Áreas en las que concurren la combinación de factores (A + B1) o bien la (A + B2 + C), correspondiendo B2 a las zonas con espesor de Cuaternario menor de 30 m.

Categoría V. Peligrosidad potencial media. Concurrencia de alguna de las siguientes combinaciones de factores: (A + B2), (A + C) ó (B1 + C).

Categoría VI. Peligrosidad potencial media-baja: Concurrencia de alguna de las siguientes combinaciones de factores: (A), (B1) ó (B2 + C).

Categoría VII. Peligrosidad potencial baja. El resto del área.

Debe quedar bien entendido que la asignación de dolinas a la categoría I no es exhaustiva, puesto que depende del hallazgo efectivo o no de evidencias de actividad. Las posibilidades de contar con tal tipo de evidencias es mayor en general en zonas urbanizadas, por lo que la distribución de peligrosidad máxima puede quedar sesgada en ese sentido. Las evidencias en zonas cultivadas están sujetas a la aleatoriedad derivada de su continuo relleno y allanado por los agricultores.

4.2. Consideraciones geotécnicas.

Las áreas en las que históricamente se ha comprobado la existencia de dolinas activas deberían ser en principio excluidas de la consideración de suelo urbanizable. Si se presenta la necesidad real de edificar sobre ellos deben extremarse las precauciones, realizando estudios geológicos y geotécnicos adecuados y, en cualquier caso, adoptar las soluciones constructivas que minimicen los riesgos.

Tal y como indica la Norma Tecnológica de la Edificación, NTE-CEG (Cimentaciones. Estudios Geotécnicos), es obligatorio un reconocimiento geotécnico del terreno previo o simultáneo a la redacción del proyecto de construcción en las zonas de peligrosidad de hundimientos kársticos. Tales reconocimientos han de plantearse de un modo particular respecto a lo dictaminado en la NTE, ya que ésta establece en su artículo 1 que "en los terrenos con precedentes de oquedades subterráneas naturales o artificiales no es de aplicación esta norma"; es decir, en tales casos es necesario el desarrollo de una investigación específica en cada punto.

La complejidad del problema hace necesaria la utilización de técnicas interdisciplinares durante la etapa de reconocimiento de campo y el trabajo de gabinete, siendo menos importantes en general los resultados de los ensayos de laboratorio, que pueden servir como apoyo pero no han de considerarse como definitivos. Por ejemplo, la presencia de una capa superficial de mallacán no representa un apoyo seguro de la cimentación, ya que, a pesar de que su resistencia es considerable, no garantiza la seguridad por debajo de la misma. Otro tanto sucede si a cierta profundidad se encuentra un sustrato rocoso firme y con suficiente capacidad portante, ya que los procesos de karstificación pueden continuar por debajo del mismo.

Las investigaciones geológicas y geotécnicas deben centrarse en el reconocimiento lo más exacto posible de los límites de las dolinas constatadas o supuestas, en la confirmación, en su caso, del carácter de éstas últimas y en la caracterización geomecánica de su eventual relleno. Hay que tener siempre en cuenta que el fenómeno kárstico es un proceso vivo que evoluciona con el tiempo, por lo que una zona calificada actualmente como de riesgo bajo puede incrementar su peligrosidad en el futuro o viceversa. Los factores que intervienen en tal evolución son impredecibles en la mayor parte de los casos, y probablemente dependerán de actividades antrópicas tales como las prácticas de regadío, bombeo, movimiento de tierras, etc.

Cualquier información geológica y geotécnica del subsuelo es útil en todo momento, pero la especial problemática de los hundimientos kársticos hace que unos métodos sean más adecuados que otros. Calcular únicamente la resistencia del terreno o su capacidad portante puede ser engañoso si no se ubica el dato en su contexto geológico. Las catas realizadas con excavadora pueden profundizar hasta un máximo de 5-6 metros, pero se trata de un método "agresivo" que finalmente sólo proporciona información de los niveles más superficiales. En la práctica sólo sirve para comprobar la existencia de rellenos de antiguas dolinas. El ensayo de penetración tipo Borros es inadecuado debido a la existencia en toda la zona de gravas superficiales e incluso mallacán, que restringen a veces la profundidad de la investigación a sólo unos pocos metros o decímetros. Los ensayos in situ tales como placas de carga o ensayos presiométricos aportan información sobre las condiciones del terreno, pero poco o nada respecto a la peligrosidad kárstica.

Los métodos de reconocimiento directos más simples y eficaces son los sondeos mecánicos. Los sondeos con recuperación continua de testigo y toma de muestras inalteradas (en los casos en que sea posible) son el método de investigación directa más adecuado, ya que proporciona la columna geológica del subsuelo hasta la profundidad que se determine antes o durante la ejecución de los trabajos. Es importante este control simultáneo, que requerirá siempre la presencia de un técnico (preferentemente geólogo) con experiencia en el trabajo a pie de sondeo. El será quien determine la continuación o finalización de cada sondeo, así como la correcta toma de muestras. La experiencia del sondista en la determinación de "fallos" en la perforación, caídas de varillaje, etc. es también importante para definir la profundidad de las oquedades.

El número de sondeos dependerá del tipo de obra, del contexto geológico en el que se encuentre y del grado de peligrosidad asignado, incrementándose la profundidad y el detalle de la investigación conforme aumente dicho grado. Respecto a las muestras inalteradas obtenidas, éstas pueden ser objeto de ensayos de laboratorio, que aportarán información para determinar los parámetros de diseño de la cimentación. Sin embargo, éstos no aportan en general datos relevantes respecto a la peligrosidad de hundimientos kársticos, por lo que no es prudente dedicar a ellos una atención excesiva en detrimento de la investigación geológica global.

Los métodos de reconocimiento indirecto tales como geofísica eléctrica o sísmica pueden ser adecuados para investigar grandes áreas, y dar buenos resultados puntuales siempre y cuando los límites de terrenos con determinadas propiedades geoeléctricas o geosísmicas hayan sido previamente "calados" mediante sondeos mecánicos adecuadamente situados. El georadar, aunque algo más costoso, da buenos resultados en la detección de cavidades subterráneas someras y puede constituir, por tanto, un complemento útil de los estudios geológicos directos.

En cuanto a posibles recomendaciones para el diseño de la cimentación de edificaciones y estructuras, éstas se encuentran fuera de los objetivos del estudio general realizado. En casos en los que tanto el sustrato terciario como la cubierta cuaternaria presenten buenas condiciones geotécnicas y se encuentren fuera de las zonas de peligrosidad real bastaría con una cimentación superficial, preferentemente arriostrada para paliar, en su caso, los efectos de asentamientos diferenciales. Si se detectan oquedades cerca de la superficie, se deberá recurrir a cimentaciones profundas mediante pilotaje, siempre y cuando se asegure la calidad del sustrato de apoyo mediante los oportunos reconocimientos.

4.3. Recomendaciones finales.

1ª) Evitar la edificación y el trazado de infraestructuras y conducciones en las zonas de peligrosidad real muy alta y alta (categorías I y II).

2ª) Si se desea construir edificaciones o infraestructuras en las zonas con peligrosidad potencial media y alta (categorías III, IV y V), realizar estudios de detalle que permitan zonificar y valorar la presencia y distribución de posibles focos de hundimiento no manifestados claramente en superficie. Dichos estudios no deben ir orientados a la simple caracterización geotécnica del terreno superficial, sino que deben incluir campañas de sondeos mecánicos y reconocimientos geológicos y geomorfológicos adecuados que permitan abordar el problema en profundidad.

3ª) Si no puede evitarse construir en las zonas anteriormente citadas, y siempre tras realizar los preceptivos estudios geológicos y geotécnicos, diseñar cimentaciones profundas (pilotajes) adecuadas a la peligrosidad de cada caso. El riesgo habrá de ser minimizado (para un plazo de tiempo razonable de acuerdo con la durabilidad de la estructura) buscando apoyar siempre tales cimentaciones en niveles firmes bajo los que esté descartada la existencia de oquedades. Cualquier construcción puede ser posible, aun en los casos más desfavorables, mediante la utilización de las técnicas ingenieriles adecuadas, pero hay que evaluar cuál es el coste tanto en la ejecución de las mismas como en el mantenimiento que deberá realizarse, con toda seguridad, durante su vida útil.

4ª) Evitar el riego excesivo en campos de labor y zonas ajardinadas dentro de las áreas de peligrosidad real y potencial media y alta. Optar por espacios deportivos pavimentados o jardines de tipo árido o mediterráneo en las áreas de peligrosidad real. Evitar en lo posible las fugas de la red de abastecimiento y saneamiento.

5ª) Mantener en estado natural o seminatural las escasas dolinas que en la actualidad se conservan como tales (efectuando los trabajos de limpieza y desescombro que se precisen en algunos casos). Todas ellas pueden tener un papel como espacios verdes singulares dentro de la planificación urbanística y paisajística.

5. RIESGO DE EROSIÓN.

Las características geomorfológicas del entorno de Zaragoza, sobre todo de las formaciones yesíferas terciarias, se caracterizan por unas pendientes elevadas, suelos fácilmente disgregables por la lluvia y movilizables por la escorrentía superficial, así como una vegetación natural rala, y esquilada. Todos estos factores unidos, dan lugar a que se produzca una erosión muy activa, que en muchos casos aparece en estado muy avanzado. Si a lo anterior se añade un régimen de lluvias, fundamentalmente torrencial, puede deducirse que el hecho erosivo se convierte en un riesgo que se ha hecho realidad en numerosas ocasiones, dando lugar a aterramientos de terrenos de labor, cegamientos de cauces y posterior desbordamientos, aterramientos de vías de comunicación y obras de paso, creación de áreas inestables, etc.

5.1. Factores que influyen en la erosionabilidad.

Las causas que intervienen en el hecho erosivo son varias, aunque resumiendo pueden considerarse como principales las siguientes:

- 1) Las pendientes y relieve del terreno, dado que serán más fácilmente erosionables las áreas de pendientes longitudinales altas que las de pendientes suaves.
- 2) La cobertera vegetal, que actúa de dos maneras diferentes en cuanto a protección de la erosión; por un lado evita con las hojas y ramas, el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo y por consiguiente la protección y removilización de la tierra, y por otro lado, el sistema radicular de las plantas "sujeta" la tierra entre las raíces evitando su desplazamiento.
- 3) La erosionabilidad del terreno, ligada directamente a su litología. Es decir, serán más fácilmente erosionables los materiales poco cohesivos, (arcillas dispersivas, limos, arenas, etc.) que los componentes rocosos (calizas, areniscas, etc.).

5.2. Áreas con riesgo.

Puede decirse, que prácticamente todo el área correspondiente a la formación terciaria yesífera es proclive a la erosión. Dentro de aquélla existen tramos concretos, donde el fenómeno erosivo ha progresado con mayor intensidad.

5.3. Recomendaciones.

De acuerdo con lo dispuesto anteriormente, en aquellas áreas donde el riesgo de erosión sea nulo o muy bajo, es recomendable mantener el tipo de suelo edáfico sin alterar el equilibrio conseguido a lo largo de los años.

En los tramos donde existe un riesgo medio alto, como en el caso de la formación terciaria yesífera, debe protegerse el suelo con mayor eficacia que hasta ahora, bien realizando nuevas plantaciones o bien abancalando ligeramente aquellas áreas con mayor riesgo.

Por último, en aquellas áreas con paisajes erosivos muy desarrollados, como son las áreas de cárcavas y "bad lands" mencionadas anteriormente, la práctica de conservación debe ser de tipo integral con repoblación generalizada de especies gypsófilas, abancalamiento de laderas, pequeños azudes en los barrancos, etc. Todo ello con vistas a la creación de un suelo edáfico que en la mayoría de los casos es inexistente.

BIBLIOGRAFÍA.

Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones, aprobada por Consejo de Ministros en su reunión del 9 de diciembre de 1994 (RESOLUCIÓN de 31 de enero de 1995, BOE de 14 de febrero de 1995).

IGME, 1987. Mapa geotécnico y de riesgos geológicos de la Ciudad de Zaragoza. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.

NCSE, 1994. Norma de Construcción Sismorresistente.

Norma Sismorresistente Pds-1, 1974.

SIMÓN et al., 1998 a. Estudio de Riesgos Naturales en los terrenos de la Orla Sudoeste de suelo urbanizable. Departamento de Geología. Universidad de Zaragoza. Junio de 1998.

SIMÓN et al., 1998 b. Estudio de Riesgos de Hundimientos Kársticos en el Corredor de la Carretera de Logroño. Departamento de Geología. Universidad de Zaragoza. Octubre de 1998.