

CENTRO DE
ESTUDIOS Y
EXPERIMENTACION
DE OBRAS PUBLICAS

Aspectos geotécnicos en los estudios de las acciones estructurales inducidas por terremotos

INTRODUCCION.

La influencia de las particularidades geotécnicas del subsuelo es determinante en la respuesta de los edificios y de las estructuras a las sollicitaciones sísmicas. Incluso se puede afirmar que son precisamente los datos geotécnicos básicos quienes pueden diferenciar sustancialmente los daños que se producen, bajo un mismo terremoto, en estructuras muy similares.

Esta constatación teórica y experimental se debe utilizar en una doble perspectiva

- En los trabajos de planificación de desarrollo urbano de las ciudades, y
- En la incorporación matizada de las recomendaciones antisísmicas, incorporadas en los códigos de diseño.

El presente documento muestra cuáles son los aspectos fundamentales que se deben tener en cuenta, desde el punto de vista geotécnico, en los trabajos de investigación y

análisis de las acciones de terremotos en estructuras de edificación, centrales de energía, presas, etc.

Entre estos trabajos destacan los de microzonación sísmica, es decir, los de cartografía de zonas de análogos parámetros de riesgo sísmico que pueden permitir en áreas urbanas proporcionar datos básicos de diseño a las diferentes técnicas, relacionadas con el tema de terremotos.

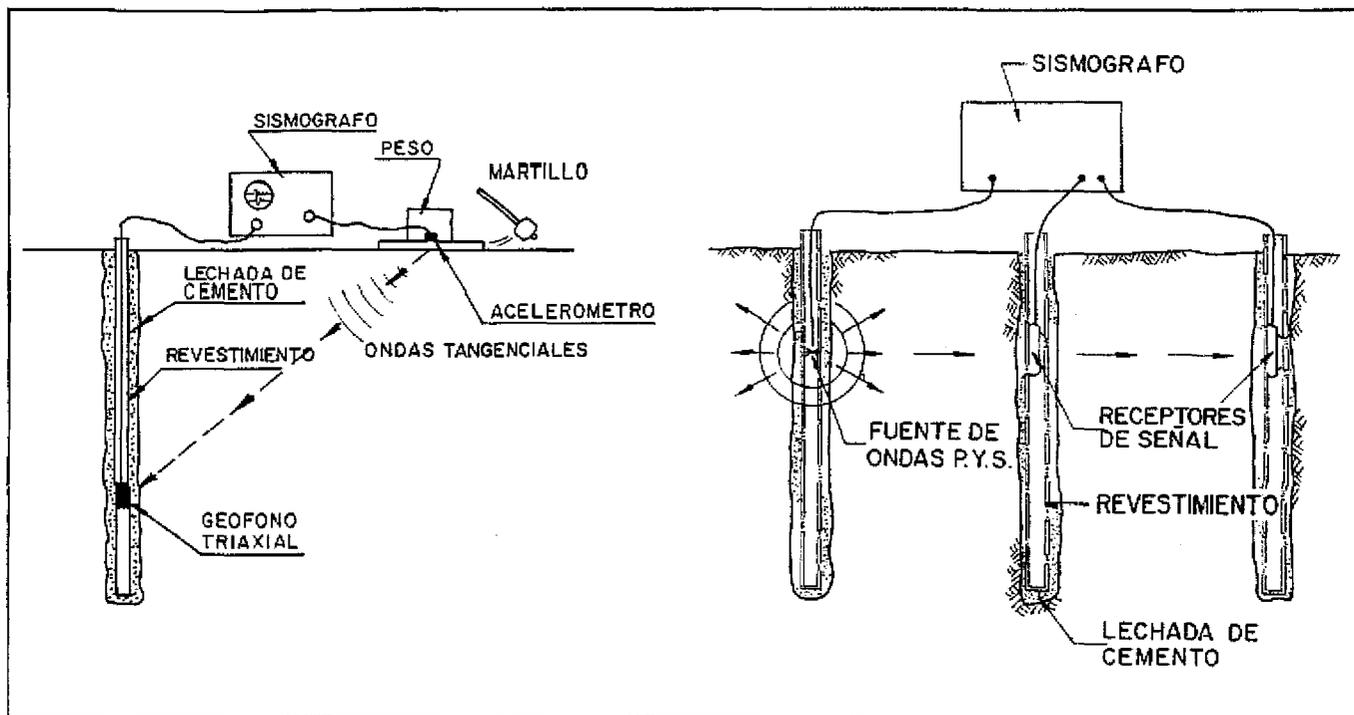
Trabajos de microzonación que no se deberán considerar como productos terminados, elaborados de una sola vez, sino que por el contrario se deben utilizar como un instrumento en constante actualización, contraste y perfeccionamiento en manos de la planificación, el desarrollo y la protección civil.

CARACTERIZACION BASICA DE LOS TERREMOTOS.

De entre los múltiples parámetros que se pueden utilizar para caracterizar numéricamente los movimientos sísmicos, se sintetizan a continuación los más relevantes:

En primer lugar, interesa establecer algún parámetro representativo de la "potencia destructora" del terremoto. Es habitual utilizar uno de estos datos: a) La Magnitud, normalmente en la escala de Richter, reveladora de la energía liberada por el mismo. b) la Intensidad, normalmente definida en la escala de Mercalli Modificada, representativa de los efectos que produce, según una tipificación de tipo pragmático que tiene un rango variable entre I y XII (según el tipo de daños en estructuras, afectación de las personas, etc.). Si bien hay correlaciones empíricas entre una y otra variable, representan aspectos diferentes, independientes entre sí.

En segundo lugar, debe señalarse que los parámetros realmente más representativos y defintorios, desde un punto de vista técnico, serían los indicativos del movimiento máximo que teóricamente el terremoto produciría en un oscilador simple al considerarlo como sollicitación. Por su mayor utilidad desde el punto de vista de los cálculos aplicables a todos los tipos de estructuras en ingeniería civil serían: los valores



Ensayo "Cross-Hole", para determinar características dinámicas del terreno. (Fig. 1)

máximos de la aceleración, de la velocidad y del desplazamiento, respectivamente.

En tercer lugar, debe considerarse que el tiempo que dura la sacudida sísmica también viene a representar un parámetro básico. Expresado normalmente en segundos, se le suele denominar duración del terremoto. Existen distintos criterios teóricos para definirlo.

Por último, es necesario conocer el contenido frecuencial del terremoto, es decir, determinar aquellas frecuencias en las cuales va asociada preponderantemente la energía destructora del mismo; es un indicativo básico de la potencialidad aniquiladora del movimiento del terreno, aspecto muy importante a tener en cuenta en las planificaciones a desarrollar desde el punto de vista de protección civil.

CARACTERIZACION DINAMICA DEL SUBSUELO Y DE LOS SUELOS QUE LO CONSTITUYEN.

A efectos de la ingeniería geotécnica "convencional", para el

estudio frente a solicitaciones "habituales", los rasgos básicos que es necesario determinar son: los estratos que constituyen un perfil del subsuelo, sus propiedades básicas o de identificación (su granulometría, sus componentes químicos, su historia, edad geológica, etc.) y sus propiedades de estado (densidad, humedad, etc.). Adicionalmente es fundamental conocer la situación del nivel freático. Con estos datos, se ha de complementar la información con otra relativa a la resistencia, permeabilidad y deformabilidad, tras la cual se puede acometer prácticamente cualquier actuación constructiva, en cuanto a ingeniería geotécnica se refiere.

Sin embargo, para poder valorar la respuesta de los suelos frente a los terremotos es necesario, además de información sismotectónica, disponer de otra serie de datos adicionales, como son (Olalla *et al.*, 1989):

a) La velocidad de transmisión de las ondas de corte (v_s : m/seg). Este tipo de onda es el que domina en el comportamiento de los suelos frente a las ondas de compresión.

b) La variación de los módulos de deformación transversal (G) y del

amortiguamiento (D) con el nivel de deformaciones (g), dado que la dependencia entre una variable (g) y las otras (G y D) no es lineal.

c) La resistencia a la fatiga, es decir, el comportamiento, en términos de deformación bajo diferentes solicitaciones cíclicas.

Con estos datos junto con la geometría del perfil se puede evaluar con relativa precisión los distintos modos de vibración del terreno.

Cuando sean varios los tipos de suelos, que constituyen un perfil o varios sus respectivos estados, así como sus espesores, se puede ponderar y obtener el valor medio representativo del período fundamental del conjunto.

DETERMINACION EXPERIMENTAL DE LOS PARAMETROS DINAMICOS.

En el campo pueden utilizarse diversas técnicas de tipo geofísico, como la sísmica de refracción, para estimar la velocidad de ondas y, a

partir de ahí, deducir los módulos de deformación tangencial dinámicos, G.

Sin embargo, más adecuados son los ensayos de tipo "cross-hole", que permiten determinar la velocidad de ondas, V, entre dos sondeos próximos ($G \approx 0,3r \sqrt{V^2}$), siendo r la densidad específica del terreno. O bien los de "down-hole", de algo menor calidad, ya que la onda se controla entre un torpedo con sensores dentro de un sondeo y una fuente de energía en la superficie (fig. 1).

En laboratorio se pueden hacer, habitualmente, tres tipos de ensayos (fig. 2):

– Los de columna resonante torsora, en que la vibración se aplica sometiendo a la probeta a una torsión de frecuencia variable. Se pueden determinar el parámetro G y el amortiguamiento D en función de la frecuencia de excitación y de la deformación aplicada.

– Los de corte simple cíclico, de los que en España se vienen realizando ensayos de este tipo desde

hace más de siete años. Puede determinarse el módulo transversal dinámico, G, en función del nivel de deformaciones tangenciales, g, así como el umbral de tensiones tangenciales.

– Los de compresión triaxial dinámica, con control bien de desviadores, bien de deformaciones, con medida de presiones intersticiales (fig. 3). Con estos equipos, servocontrolados por ordenador, se pueden determinar las variaciones de G y los umbrales de tensión tangencial sísmica, t_{max} .

El Laboratorio de Geotecnia del CEDEX dispone, actualmente, de equipos de todos estos tipos. Concretamente, en el último grupo de ensayos, dispone de prensas dinámicas de 1, 10 y 250 T de capacidad, así como de células adecuadas, para ensayos triaxiales, incluso con cámara de temperatura controlada para estudios especiales (foto 1).

COMPORTAMIENTO DINAMICO DE EDIFICIOS Y LINEAS VITALES.

A efectos de poder aplicar, en un primer acercamiento, de forma genérica los conocimientos del comportamiento dinámico del terreno obtenidos por los procedimientos anteriores, se puede hacer una zonificación de áreas de interés especial, en función de la gravedad del daño sísmico previsible. En ese caso, hay que tener en cuenta dos tipos de obras civiles:

– Las obras de edificación (viviendas, hospitales, edificios singulares, etc.).

– Las estructuras enterradas, que normalmente son "líneas vitales" para el correcto funcionamiento de las ciudades (conducciones de gas, electricidad, agua potable, etc.).

A grandes rasgos, en el primer caso son los parámetros más repre-

sentativos del terremoto (aceleración y velocidad máxima, contenido frecuencial) y el estado del terreno los que condicionan la respuesta.

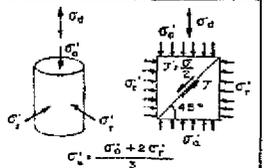
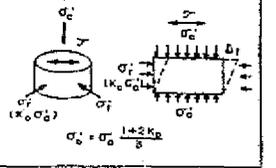
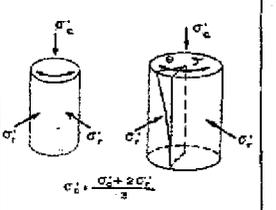
En el segundo grupo, junto con este tipo de información, los daños en las "líneas vitales" están asociados con aquellas zonas en las que las propiedades del terreno no son uniformes a lo largo de su longitud, es decir, en las áreas de transición de un tipo de suelo a otro.

CRITERIOS DE ZONIFICACION.

A continuación se expone lo que se considera debería ser una metodología de zonificación y las conclusiones que se deberían obtener en asentamientos humanos que se encuentren situados en zonas de agitación sísmica.

Estas zonificaciones, o en términos más propios de la ingeniería sísmica, microzonaciones, se vienen efectuando en los últimos años con profusión, afectando tanto a ciudades como a regiones específicas. Datos relativos tanto a la metodología utilizada como a las conclusiones de los trabajos e incluso al contraste con experiencias reales obtenidas bajo terremotos acontecidos, se han publicado en múltiples congresos: Seattle (1972 y 1978), Estambul (1980), Lisboa (1986), etc.

A título indicativo, como muestra del interés del tema y sin ánimo de dar abundancia de datos, sino más bien mostrar unos ejemplos significativos, se conoce que ciudades como Lisboa (Portugal), Atenas (Grecia), Quinhuangdao (China), Sendai y Tokio (Japón), Lima (Perú), San Francisco (EE. UU.), y regiones como los Balcanes (Yugoslavia), Thessalonica (Grecia), Anatolia del Este (Turquía), Cheliff (Argelia), el Valle de San Fernando y de Lopez Canyon en California y Salt Lake en Utah (EE. UU.) han

METODO	ESTADO TENSIONAL
ENSAYO TRIAXIAL	
ENSAYO DE CORTE SIMPLE	
ENSAYO DE TORSION	

Ensayos dinámicos de laboratorio utilizados para hallar la resistencia del terreno. (Fig 2).

sido detalladamente estudiados y efectuados en ellos los correspondientes mapas de microzonación sísmica.

En España se han realizado algunas propuestas en este sentido, incorporando los condicionantes del terreno, que parecen estar a punto de llevarse a cabo.

Para su elaboración es imprescindible partir de una doble fuente de información, lo más completa posible. O sea de:

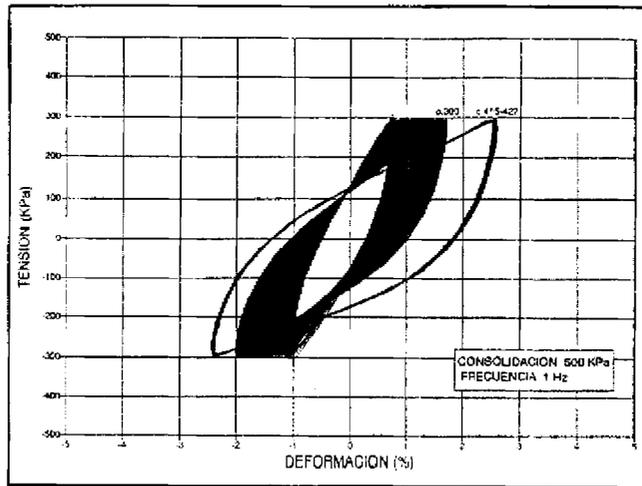
- Una sistematización y caracterización de la sismicidad de la zona en estudio, en base a la información histórica e instrumental disponible, de acuerdo con los aspectos mencionados anteriormente, en términos probabilísticos. Así, por ejemplo, se debería hablar de solicitaciones de alta, media y baja probabilidad de presentación del terremoto, durante los períodos en estudio. Y,

- por otro lado, de la recopilación o investigación de los datos geotécnicos fundamentales (junto con datos geológicos, hidrológicos y topográficos), que definen el tipo de terreno y para los que se ha efectuado una breve referencia en el apartado anterior.

Estos estudios de microzonación tendrían un triple objetivo documental:

- Elaboración de Mapas de Riesgo.
- Tipificación de los períodos fundamentales del terreno.
- Evaluación de los factores de amplificación.

A su vez, en función de diferentes datos fundamentales (sísmicos, de geología local, geotécnicos, de población asentada, etcétera) la escala de trabajo o estudio puede variar desde el ámbito provincial al municipal.



Ensayo triaxial dinámico. Ciclos de histéresis (Arcilla del núcleo de la Presa de Canales). (Fig 3)

MAPAS DE RIESGO.

El primer gran objetivo sería la elaboración, a la escala pertinente, de los mapas de riesgo geotécnico bajo solicitación sísmica, en su variada perspectiva.

Estos mapas reflejarían, por separado o conjuntamente, los siguientes riesgos geotécnicos (Olalla *et al.*, 1989):

a) Zonas potencialmente licuefactables teniendo en cuenta que son muy susceptibles los suelos saturados arenosos y limosos, sueltos y medianamente densos. Podría tenerse también en cuenta que para profundidades del nivel freático inferiores a 5 metros la susceptibilidad es muy elevada; entre 10 y 15 metros es baja y a profundidades superiores a 15 metros es muy baja.

b) Areas de deslizamientos potenciales, pues muchas inestabilidades de taludes naturales o artificiales han sido iniciadas —o acentuadas— por la acción de los terremotos. Si bien desde el punto de vista analítico sería probablemente costoso analizar individualmente todos los taludes posiblemente afectados, sí se pueden sistematizar los análisis teniendo en cuenta los tipos de suelos (o las discontinuidades en los macizos rocosos) que están inte-

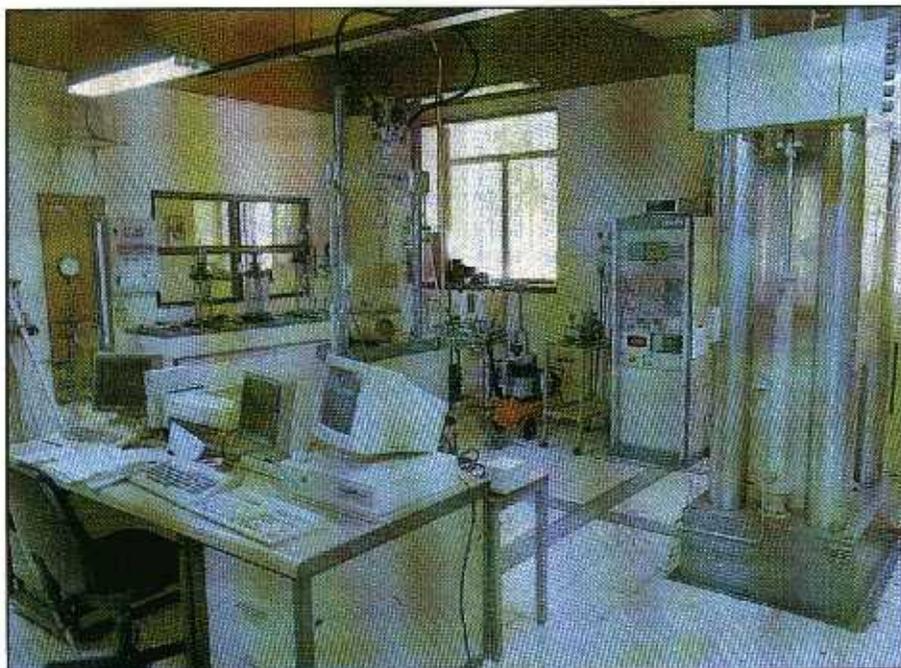
resados, conjuntamente con la precariedad o seguridad bajo solicitaciones exclusivamente estáticas.

c) Zonas de asientos importantes, dado que es conocido el hecho de que durante los terremotos los suelos no cohesivos se densifican, al verse modificada su estructura, y provocan asientos en superficie. Incluso las arenas densas y muy densas se densifican durante la sacudida sísmica. Este fenómeno ha inducido importantes daños en edificaciones, incluso en

el caso de intensidades moderadas. La cimentación de grandes puentes puede verse, así, afectada, pues el terreno que asienta se cuelga de dicha cimentación y le aplica esfuerzos anómalos.

d) Zonas de movimientos horizontales importantes normalmente asociados a los fallamientos superficiales y a los cambios bruscos laterales, litológicos y estratigráficos. Este tipo de efectos suelen ser los más dañinos en las obras lineales (tipo galerías, conducciones, etc.) y por consiguiente suelen afectar a las líneas vitales de suministro de agua, luz, gas, etc.

El nivel de intensidad, complejidad y precisión de estos estudios puede depender de los medios e intereses que coyunturalmente se dispongan. En este sentido, y como ejemplo de una primera aproximación, llevada a cabo con escasos medios materiales, es interesante conocer las experiencias llevadas a cabo en China (Peixiu *et al.*, 1980). Han demostrado las aceptables correlaciones que existen entre el denominado "módulo de corte dinámico medio" (G_m) y los "índices de daño" en edificios de baja altura. Se disponen de ejemplos de microzonación de ciudades a partir de los valores de G ($G = rV_s^2$) que coinciden razonablemente



Sala de ensayos dinámicos del Laboratorio de Geotecnia del CEDEX. (Foto 1).

con distintos niveles de daños producidos por tres terremotos, acontecidos en China, recientes, de magnitudes 7,3; 7,7 y 7,8 respectivamente.

OTROS OBJETIVOS DE LA MICROZONACION

A efectos de cálculo y de diseño de todo tipo de estructuras, la microzonación sísmica exige incorporar los contenidos frecuenciales para delimitar, en definitiva, posibles efectos de resonancia. Dados los niveles de incertidumbre y de variación en los parámetros de respuesta del terreno, no se debe hablar en términos exactos o precisos, sino más bien en términos de grupos de valores, o en valores y rangos de variación.

Para diferentes sollicitaciones tipo, se podría clasificar, por ejemplo, cada zona de estudio en cuatro grupos, en función del período predominante, T . (p. e., si T es menor de 0,15 g. si está entre 0,35 y 0,65 seg., etc.).

Este tipo de información es clave puesto que, a su vez, en una primera

aproximación, cada estructura, edificio u obra civil posee su propio período predominante y su respuesta depende en gran medida de que ambos sean parecidos o diferentes.

En cuanto a la amplificación de aceleraciones, entre la base rocosa supuesta y el punto en la vertical en superficie, se entiende como factor de amplificación (Seed *et al.*, 1975) el cociente entre los valores máximos de los acelerogramas respectivos. De manera análoga se puede hablar en términos de velocidades.

Para su obtención es necesario efectuar los cálculos pertinentes teniendo en cuenta los distintos tipos de sollicitación previsible, así como las distintas características del suelo en cada punto y en profundidad.

En este sentido, es condicionante conocer la profundidad a la que se encuentra la base rocosa, así como se necesita disponer de las propiedades dinámicas básicas de los suelos que constituyen el perfil del terreno afectado.

Si por el contrario se tratase de utilizar métodos más complejos y

precisos se necesitarán efectuar análisis, bien en una dimensión (la vertical, reproduciendo en ella la columna tipo de suelo representativa del punto en estudio), bien en dos o tres dimensiones (por medio del método de los elementos finitos que permiten incorporar el comportamiento no lineal de los diferentes materiales).

Se llegaría, así, a disponer de una cartografía de riesgo sísmico base para el diseño de estructuras y para las técnicas de Protección Civil.

BIBLIOGRAFIA

HAYS, W.W. (1986). "Seismic microzoning along the wasatch fault zona, Utah". VIII European Conference on Earthquake Engineering, Vol. 2, Lisboa, pp. 5,1/41-5,1/46.

KARNIK, V. (1972). "Microzoning programme within the UNDP-UNESCO survey of the seismicity of the Balkan region". International Conference on microzonation for safer construction research and application, Vol. 2, Seattle, Washington, pp. 213-16.

OLALLA, C.; OTEO, C. y CUELLAR, V. (1989). "Aspectos geotécnicos de la microzonación sísmica en trabajos de Ingeniería Civil". Simposio Int. sobre Catástrofes y Sociedad, Madrid.

PEIXIU, S.; ZENGWN, L. AND YIAO-TIN, X. (1980). "Application of shear wave velocity on seismic microzoning". VII World Conference on Earthquake Engineering, Istanbul, Vol. 9, pp. 163-68.

SEED, H.B., ET AL., (1975). "Relationships between maximum accelerations, maximum velocity, distance from source and local site conditions for moderately strong earthquakes". College of Engineering, University of California, Berkeley Report n.º EERC 75-7.

Carlos S. Oteo, Dr. Ing. de C.C. y P.
Director del Laboratorio de Geotecnia
del CEDEX (M.O.P.T.M.A.)

El papel del CEDEX en la investigación sobre Desastres Naturales

EL CEDEX Y SU ORGANIZACIÓN.

El CEDEX es, actualmente, un organismo autónomo comercial del Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente (M.O.P.T.M.A.), dependiente de la Subsecretaría del mismo. Su principal misión es servir de apoyo tecnológico pluridisciplinar en el ámbito de la Ingeniería Civil y las obras Públicas a dicho Ministerio. Su vocación le impulsa hacia la vanguardia de la investigación, el desarrollo y el asesoramiento de alta cualificación.

Tiene como objetivo inmediato situarse a un nivel similar –al menos– como el de los centros similares de la Comunidad Europea, para así poder responder a las necesidades del país a través, fundamentalmente, de los requerimientos del M.O.P.T.M.A. y de los restantes entes vinculados al Sector de la Obra Pública y el Medio Ambiente.

Este objetivo le obliga a evolucionar, incrementar y readaptar la atención intelectual que presta a sus temas de estudio y los medios materiales dedicados a la investigación y desarrollo científico, con una óptica que siempre debe tener en cuenta la posibilidad de aplicar los resultados obtenidos a cuestiones o problemas concretos, suscitados en las demandas de colaboración que se le hacen o en las iniciativas que parten directamente del organismo.

Este organismo no ha nacido bruscamente en el espacio ni el tiempo. Es heredero directo de la antigua Escuela Especial de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos del

Ministerio de Obras Públicas. Cuando dicha Escuela pasa, en 1957, a depender del entonces Ministerio de Educación Nacional, el M.O.P. decide crear el organismo autónomo Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (entonces C.E.E.O.P.), formado por un conjunto de centros y laboratorios que venían prestando sus servicios como instalaciones propias (destinadas a las prácticas de alumnos) y anejas (con funciones de investigación, desarrollo y apoyo técnico).

Así, el CEDEX queda –en sus comienzos– formado por el Laboratorio Central de Ensayo de Materiales de Construcción (el más antiguo de los laboratorios dependientes de la Escuela, fundado en el siglo XIX), el Laboratorio del Transporte, el Laboratorio de Puertos y el de Hidráulica, con posterior ampliación de centros y servicios (recreación del Centro de Estudios Hidrográficos, Gabinete de Cálculo, etc.).

En la actualidad, el CEDEX está constituido por:

a) Organización Central (situada en el recinto de Alfonso XII, 3, Madrid):

– La Dirección General, dependiente del Subsecretario del M.O.P.T.M.A., y de la que depende un Gabinete Central.

– La Subdirección General de Programación Científica y Técnica, que es un órgano de dirección, asesoría y control.

b) Organizaciones técnicas especializadas, dependientes del Director General:

– El Centro de Estudios de Puertos y Costas (CEPYC), situado en la calle Antonio López, número 81.

– El Centro de Estudios Hidrográficos (C.E.H.), en el paseo bajo de la Virgen del Puerto.

– El Centro de Estudios de Carreteras (C.E.C.), cuyas instalaciones se ubican en la autovía de Colmenar Viejo, kilómetro 18,2 (El Goloso).

– El Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas (C.E.T.A.), que incluye el Gabinete de Formación y Documentación, además de otras áreas, dentro del recinto de Alfonso XII.

– El Laboratorio Central de Estructuras y Materiales, (L.C.) situado en El Retiro.

– El Laboratorio de Geotecnia (L.G.), también en El Retiro.

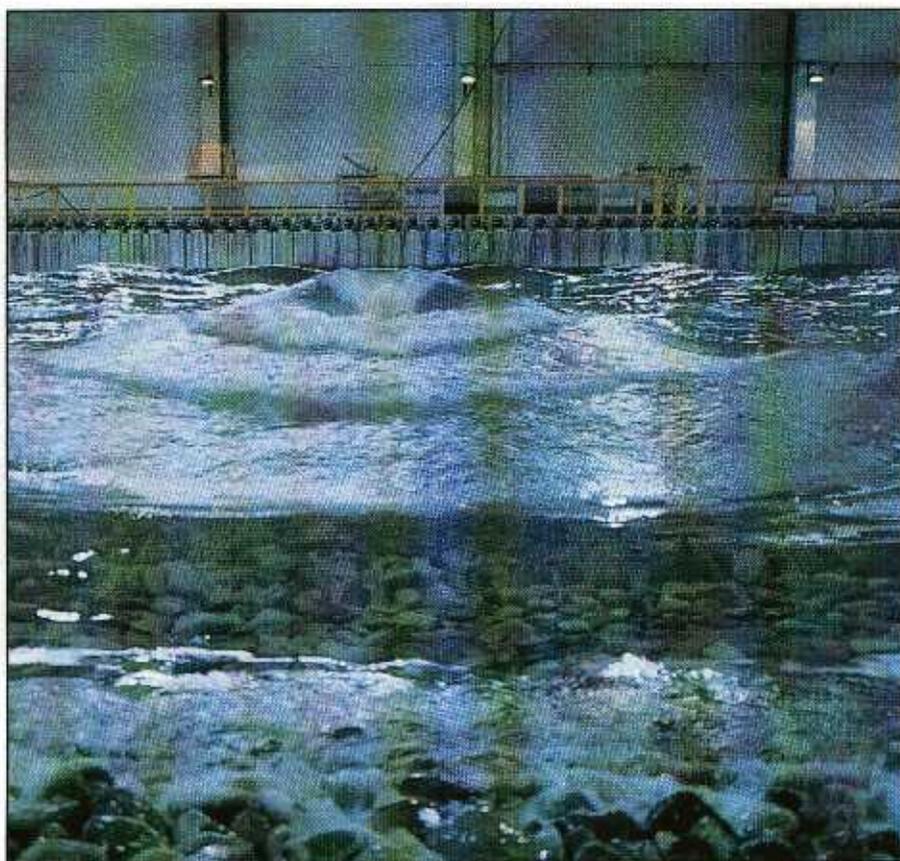
– El Centro de Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo o CEHOPU (calle Vallehermoso, 78).

Las funciones institucionales actuales del CEDEX, según el Real Decreto 2558/1985, pueden resumirse en las siguientes líneas:

– Elaborar y desarrollar el Plan de Estudios e Investigación Técnica del M.O.P.T.M.A.

– Prestar asesoramiento técnico sectorial de alto nivel a centros directos del M.O.P.T.M.A. y otras administraciones (Central, Autónomas y Local).

– Estudiar y proponer normas para los ensayos de laboratorio de obras públicas, así como las correspondientes a la calidad de recursos naturales y aptitud de sistemas, métodos, materiales, etcétera.



Tanque de oleaje multidireccional (Foto 1)

- Ofrecer asistencia técnica específica a empresas e instituciones públicas y privadas, nacionales y extranjeras en materias de tecnología de las obras públicas, la ordenación territorial y la utilización y protección de los recursos naturales.

- Colaborar con entidades internacionales afines en programas de cooperación técnica, intercambios científicos, congresos, etcétera.

- Organizar cursos, conferencias, jornadas y actividades docentes para transferir las tecnologías desarrolladas, dentro y fuera del organismo, al Sector de la Ingeniería Civil, para promover la formación y perfeccionamiento del personal del Departamento y otros sectores

- Investigar y estudiar en materia de historia y arqueología de las obras públicas y urbanismo.

ACTIVIDADES DE LOS CENTROS DEL CEDEX.

Desde un punto de vista general las actividades que desarro-

lla el CEDEX pueden agruparse en:

- Experimentales en laboratorio, tanto con equipamientos «standards» y especiales, como con modelos de simulación física, entre los que destacan los que para presas, ríos, costas y puertos realizan los Centros de Estudios Hidrográficos y de Puertos y Costas.

- Experimentales en campo, que desarrollan desde toma de datos hasta ensayos a escala media (p.e., la rotura de terraplenes por empuje pasivo), sin olvidar los trabajos de auscultación e instrumentación de obras reales.

- Analíticas, con la adaptación, utilización y creación de modelos teóricos y empíricos de comportamiento de materiales, propagación de oleaje, obras subterráneas, etc. Dentro de estos estudios cabe considerar desde la planificación (p.e., hidrología), hasta los correspondientes a asesoramiento de alta cualificación en problemas de

explotación, pasando por apoyo a problemas de proyecto y construcción.

- La creación y difusión de bases de datos, tanto técnicas como documentales.

- De normativa, con la elaboración de forma completa –o participando en comités más generales nacionales e internacionales– de pliegos de prescripciones técnicas, procedimientos operativos, normas de ensayo, homologaciones, etc. Aquí se vuelca la experiencia obtenida en las actividades anteriores.

- Docentes y de difusión la organización de cursos (internos y externos), mesas redondas, jornadas, etc., colaboración con otras actividades similares patrocinadas por otras organizaciones: publicando revistas (como la de Ingeniería Civil), monografías de investigación, etc. Es de destacar la labor realizada en cursos internacionales (en el momento presente tres anuales), a los que asisten más de 80 graduados no españoles todos los años.

Para llevar a cabo estas actividades el CEDEX dispone de, prácticamente, novecientas personas, de las cuales unas 225 son titulados superiores, un centenar de grado medio y unos 150 Auxiliares técnicos. De los titulados superiores, un centenar son Ingenieros de Caminos, 28 tienen otro título de Ingeniería, 57 están dentro de un amplio grupo formado por Físicos, Matemáticos, Químicos y Geólogos, y unos 35 son becarios. Es decir, del orden de un 15 por 100 son jóvenes promesas, recién graduados que están en fase de formación y aprendizaje.

El CEDEX cuenta con un presupuesto que está en el orden de los 5.500 millones de pesetas anuales, de los que el 50 por 100 corresponde a gastos de personal, el 20 por 100 a gastos corrientes y servicios y el 30 por 100 a inversiones reales, lo que da idea del esfuerzo del Organismo para estar en continua actualización de equipos científicos y en su constante renovación.

En cuanto a instalaciones, que abarcan casi 100.000 metros cuadrados, dedica unos 32.000 metros cuadrados a oficinas, gabinetes técnicos, centros de cálculo y laboratorios ligeros, unos 30.000 metros cuadrados dedicados a naves de ensayos y de modelos físicos y unos 12.500 metros cuadrados de almacenes, talleres y garajes.

ACTIVIDADES DEL CEDEX DIRECTAMENTE RELACIONADAS CON LOS DESASTRES NATURALES.

Generalmente en estos temas, el CEDEX interviene con su personal e instalaciones colaborando con otros organismos oficiales, como la Dirección General de Obras Hidráulicas, el Ente Público Puertos del Estado, etc.

Entre las actividades más importantes cabe destacar:

- La instalación y explotación de la Red Exterior de Medida de Oleaje (REMRO) de Puertos del Estado, red de control del oleaje en las costas españolas. Actualmente existen dieciocho puntos de medida instalados en boyas frente a la costa. Los datos recogidos se transmiten por radio a un punto de la costa y, desde allí, al Centro de Estudios de Puertos y Costas (CEPYC) del CEDEX. Además de esta Red existen otras nueve redes, de medida sistemática de oleajes direccional (EMOD) y de mareas. Esta última ha sido puesta en marcha recientemente (Red Mareográfica Permanente o REDMAR) y permitirá, en un futuro próximo, disponer de datos suficientes y fidedignos del movimiento de marea en las costas españolas.

- Caracterización del clima del oleaje en cada zona de la costa, a través de los datos registrados con las redes de captación automáticas, ayudados por el banco de datos visuales. Esta caracterización es lo

que va a definir el espectro de oleaje a tener en cuenta en los análisis matemáticos y físicos de obras concretas.

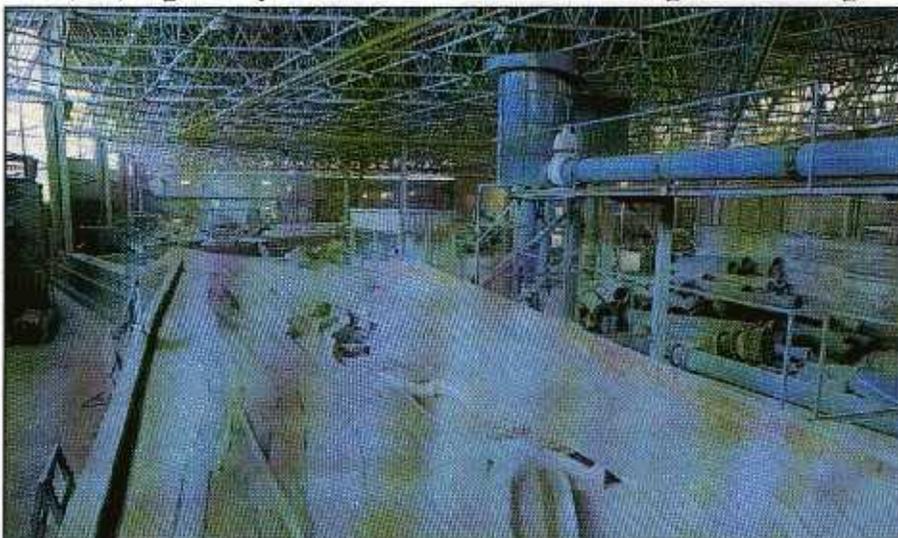
- Modelización, a escala, en tanques de ensayo bidimensionales y tridimensionales, de las acciones de agitación del oleaje aleatorio (previamente caracterizado a través de REMRO) sobre estructuras portuarias, barcos atracados, a fin de simular los efectos de tempestades en la costa. El tanque de oleaje multidireccional del CEPYC consta de un generador de oleaje formado por múltiples segmentos cuyos movimientos independientes están controlados por un sistema de ordenadores trabajando en red. La combinación de movimientos de las paletas produce la estructura deseada del oleaje de ensayo (foto 1). Este tanque tiene unas dimensiones de 34 x 26 x x 1.60 metros.

- Participación en el diseño de regeneración de costas, tanto con modelos matemáticos como físicos, y en la creación de playas artificiales.

- Participación en la Planificación Hidrológica, en colaboración con la Dirección General de Obras Hidráulicas y en los problemas de erosión de márgenes, sedimentación de acarreos, etc, originadas por avenidas.

- Modelización, a escala reducida, de estructuras hidráulicas para el estudio de las acciones de las avenidas sobre la propia estructura o sobre la cuenca del río en que se asienta. También se modelizan cuencas de ríos y su entorno geográfico para el análisis de los efectos de las inundaciones naturales sobre el entorno ambiental. Estas tareas de hidráulica continental son desarrolladas por el Centro de Estudios Hidrográficos (foto 2).

- Colaboración con la Dirección General de Obras Hidráulicas en el desarrollo del Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH), uno de cuyos objetivos fundamentales es la previsión y actuación ante avenidas. Este programa surge a raíz del "Proyecto de red nacional para el seguimiento en tiempo real de avenidas y recursos hidráulicos", redactado en 1983 por la Dirección General de Obras Hidráulicas en el marco de los programas de seguridad de presas y de mejora de la información hidrológica. El adecuado funcionamiento de un sistema de estas características requiere disponer de un "software" apropiado que permita transformar y tratar con rapidez la información captada. Con este objeto, el CEDEX, a través de su Centro de Estudios Hidrográficos y en colaboración con la Confederación Hidrográfica del Segura,



Nave para ensayos de modelos hidráulicos continentales. (Foto 2).

comenzó en 1992 el "Proyecto de elaboración y puesta a punto de modelos hidrológicos y de gestión hidráulica para su utilización en el SAIH". La primera fase de este proyecto, finalizada a comienzos de 1994, perseguía como objetivo fundamental la instalación de un sistema informático completo en las cuencas del Júcar, Segura, Sur, Ebro y Pirineo Oriental orientado al análisis de la evolución temporal y espacial de las tormentas en cada cuenca y a la explotación óptima de los embalses en situación de crecida. Se ha desarrollado un modelo numérico, denominado PLU, que permite disponer de una representación espacial de la evolución temporal de una tormenta sobre la cuenca hidrográfica y estimar los hietogramas de precipitación areal en una serie de subcuencas previamente seleccionadas. Partiendo de la información captada por el SAIH realiza una interpolación que permite generar la malla de precipitaciones en la cuenca y representar gráficamente las correspondientes isoyetas. El cálculo puede realizarse para diversos intervalos de tiempo, con lo que es posible conocer la evolución temporal de la tormenta en la cuenca. También realiza el cálculo de las precipitaciones areales en aquellas subcuencas cuyos límites se hayan definido previamente, obteniendo, así, los hietogramas resultantes en cada una de las subcuencas y su representación gráfica.

- Desarrollado del modelo numérico CREM. Este modelo tiene como objetivo fundamental facilitar la toma de decisiones en la operación de los órganos de desagüe de un embalse en situación de crecida. Utiliza como información básica los datos de evolución del embalse y como información adicional, en caso de disponer de ella, el hietograma de precipitación areal estimado en la cuenca vertiente al embalse. Con la anterior información, el modelo realiza una previsión del caudal de entrada al embalse por cuatro méto-

dos hidrológicos distintos, que requieren el conocimiento del hidrograma unitario característico de la cuenca. Una vez determinadas las futuras entradas al embalse, y teniendo en cuenta su batimetría y su capacidad de desagüe a lo largo del horizonte de previsión, lo que constituye una guía particularmente útil para la explotación del embalse. En la actualidad el modelo CREM (y también el PLU) se encuentra totalmente operativo en las cinco cuencas de la vertiente mediterránea y ha comenzado la segunda fase del proyecto.

- Inspección de puentes y otras estructuras singulares en las vías básicas de comunicación, para asegurar que la red de evacuación, en caso de gran catástrofe natural, pueda funcionar.

- Simulación de acciones debidas a terremotos sobre estructuras mediante una mesa sísmica, actualmente en fase de puesta a punto.

- Análisis y experimentación en laboratorio y campo de nuevos materiales estructurales para tener una mayor garantía en obras singulares. Todas estas tareas de estudios estructurales son llevadas a cabo en el Laboratorio Central de Estructuras y Materiales.

- Simulación del comportamiento de firmes de carretera en modelo a escala real en la pista de ensayo del Centro de Estudios de Carreteras, a fin de garantizar una mayor resistencia de los firmes de carretera frente a inundaciones, cambios climáticos, etcétera.

- Estudios del efecto de terremotos sobre estructuras singulares, especialmente presas de tierra, llevándose a cabo —a través del Laboratorio de Geotecnia— la caracterización dinámica de materiales térreos con instalaciones para ensayos de columna resonante, triaxial dinámico (incluso a altas temperatu-

ras) y corte simple cíclico. A continuación se procede a la simulación matemática del problema mediante los programas de elementos finitos adecuados y, en su caso, mediante ensayos en la mesa sísmica antes citada.

- Investigación sobre los efectos de las acciones naturales (lluvias, erosiones, etc) sobre momentos históricos, como en la Alhambra de Granada.

- Análisis de los problemas originados por cambios climáticos en zonas áridas y semiáridas, en cuanto a que la variación de humedad conduce a movimientos del terreno, lo cual puede inducir daños en los edificios de la zona (arcillas expansivas, suelos colapsables, etc.).

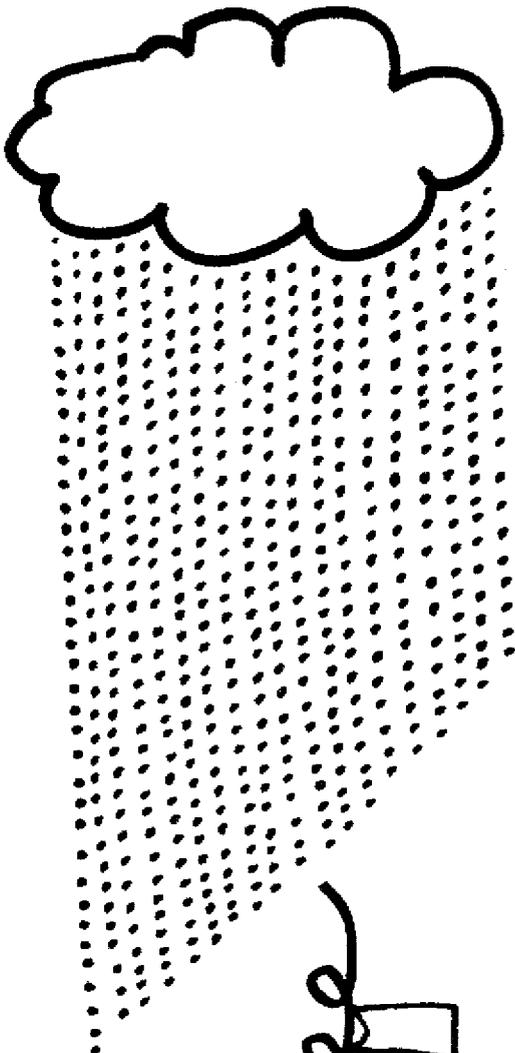
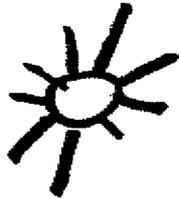
- Estudios sobre los problemas de estabilidad de laderas y desmontes de obras viarias y de su evolución a lo largo del tiempo.

- Estudios del impacto ambiental que pueden introducir los cambios climáticos y las inundaciones.

- Empleo de técnicas cartográficas aéreas y vía satélite para evaluar los efectos de las avenidas en embalses, zonas regables, aterramiento de presas, etc.

Es decir que la intervención del CEDEX en problemas relacionados con los desastres naturales puede considerarse actualmente como significativa, aunque se prevé que en el futuro se incrementaría apreciablemente con estudios de microzonación sísmica, inventario del estado de laderas naturales y desmontes de carretera y su evolución en el tiempo, etcétera.

**Felipe Martínez Martínez,
Director Gral. del CEDEX
(Ministerio de Obras Públicas,
Transportes y Medio Ambiente).**



- me gustaría
ver
el horóscopo

