

Caracterización geotécnica de las condiciones de cimentación de los edificios y estabilidad de las laderas del conjunto monumental de la Alhambra y Generalife

A. SANTOS (*)
J. M. MARTÍNEZ (*)
J. L. SALINAS (*)

RESUMEN El artículo recoge una síntesis de los trabajos que se vienen realizando por el Laboratorio de Geotecnia del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), en colaboración con otras entidades, dentro del convenio suscrito entre el Patronato de la Alhambra y Generalife y el CEDEX para el análisis de la patología de índole geotécnico que pudiera afectar al conjunto monumental, tendente a su preservación. Estos trabajos se iniciaron en 1988, y deberán culminar en 1997.

GEOTECHNICAL CHARACTERIZATION OF THE PRESENT CONDITIONS OF FOUNDATIONS AND SLOPE STABILITY WITHIN THE LIMITS OF THE ALHAMBRA AND GENERALIFE MONUMENTS

ABSTRACT *The paper is a summary of the studies that are being carried out by the Laboratorio de Geotecnia of the Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), in cooperation with other entities, within the scope of the Agreement established between the Patronato de la Alhambra y Generalife and CEDEX, for the analysis of the pathology due to geotechnical causes affecting the monument, and oriented towards its conservation. The work started in 1988, and is presumed to be completed by 1997.*

Palabras clave: Alhambra; Generalife; Patología de cimentaciones; Análisis de fábricas; Estabilidad de laderas; Interacción suelo-estructura.

1. INTRODUCCIÓN

Las grietas visibles en edificios del conjunto monumental de la Alhambra y Generalife, y las huellas de inestabilidades ocurridas en algunas de las laderas sobre las que se levantan las murallas y torres, aconsejaron iniciar un estudio geotécnico en profundidad que permitiera dictaminar el origen de los desperfectos y controlar su evolución. Todo ello con vistas a recomendar, llegado el caso, medidas de refuerzo y corrección tendentes a la preservación del monumento.

Para llevar a efecto la consideración preliminar del alcance de los problemas geotécnicos que pudieran afectar al enclave, se estableció en 1988 un convenio entre el Patronato de la Alhambra y Generalife y el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, para la realización de los trabajos por el Laboratorio de Geotecnia. Las prime-

ras conclusiones, referidas al Tajo de San Pedro, a la Cuesta de los Chinos y a las Torres de los Picos y de la Vela, se concretaron en un informe emitido en diciembre de 1989. Posteriormente, y al objeto de ampliar las áreas de estudio preliminar, se suscribió un segundo convenio, a cuya conclusión se llegó en septiembre de 1991. Dentro de este convenio se inició la consideración de las Torres de las Infantas y de Comares, continuándose, mediante medidas de movimientos en puntos seleccionados e instrumentados con este fin, el control del comportamiento del terreno adyacente al Tajo de San Pedro y del terreno de cimentación en las Torres de los Picos y de la Vela. Un tercer convenio permitió el seguimiento del comportamiento en cimentación de todas las torres mencionadas y del Tajo de San Pedro, así como acometer el inicio de los estudios que permitieran definir el marco geológico y sísmológico del emplazamiento. Ese mismo año se emplazaron tres bases topográficas fijas en el recinto de la Alhambra. Se realizó asimismo, mediante medidas anteriores y posteriores al tratamiento del trasdós del muro del ciprés del Patio de la Sultana, un control geofísico de la eficacia de la estabilización, realizada por medio de inyecciones; y un análisis de

(*) Laboratorio de Geotecnia, Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, MCOPTMA.



FOTO 2. Grietas en la fachada oriental de la Torre de la Vela.

racterización de los parámetros geotécnicos de los terrenos sobre los que se levanta el Conjunto Monumental. La figura 1 recoge los edificios y zonas estudiados hasta ahora.

Dado el ambicioso carácter de los objetivos del plan de trabajos que se está desarrollando, se ha querido dotar al proyecto de un substrato pluriinstitucional, contándose en el mismo con la colaboración de profesionales y Organismos de reconocido prestigio, bajo la dirección y coordinación del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. En este sentido, se han incorporado al proyecto a profesores de la Universidad de Granada, de las Universidades Complutense y Politécnica de Madrid, de la Universidad de Texas y del Instituto Tecnológico de Massachusetts, al Instituto Andaluz de Geofísica y Prevención de Desastres Sísmicos, al Instituto Geográfico Nacional y a Carlos Fernández Casado, S.L.

El interés por la preservación de la Alhambra y el Generalife se enmarca en la preocupación que suscita la conservación del Patrimonio histórico y artístico mundial. En este sentido, el interés que, a nivel internacional, viene produciéndose por los aspectos técnicos vinculados a la conservación de los conjuntos monumentales tiene su reflejo en las reuniones que, para debatirlos, vienen celebrándose cada vez con mayor frecuencia. En la problemática geotécnica relacionada con la preservación de monumentos se inscriben, entre otros, el coloquio internacional sobre "Alteration et Protection des Monuments en Pierre" (Unesco/Rilem, Paris, 1978), el simposio sobre "The Engineering Geology of Ancient Works, Monuments and Historical Sites: Preservation and Protection" (IAGE,



LEYENDA: — DISCONTINUIDADES MECÁNICAS
- - - - - ESCARPE DE FALLA

FOTO 3. Sistemas de fracturas en la ladera del Tajo de San Pedro.

Atenas, 1988), el "Symposium on Geotechnical Aspects of Restoration Works on Infrastructures and Monuments" (Bangkok, 1988), la "Second International Conference on Structural Repairs and Maintenance of Historical Buildings" (Sevilla, 1991) y el simposio sobre "Structural Preservation of the Architectural Editage" (IABSE, Roma, 1993).

2. METODOLOGÍA DE LOS TRABAJOS ACOMETIDOS

Para alcanzar el objetivo final de establecer las condiciones de cimentación del Conjunto Monumental, se han elaborado dos líneas convergentes de investigación. Por una parte, se están analizando las características, tanto estáticas como dinámicas, del emplazamiento (no hay que olvidar, en este último sentido, que Granada presenta una sismicidad que produjo daños al monumento en el pasado); por otro lado, se ha acometido el análisis de desperfectos que afectan a los edificios y a la estabilidad de las laderas, con el propósito de definir su estado y prever su comportamiento en condiciones extremas de sollicitación sísmica previsible.

Los medios que están siendo utilizados para este propósito, o que está previsto utilizar, se inscriben en esos objetivos. Así, la definición del marco geotécnico del emplazamiento incluye la caracterización geológica (estratigráfica, tectónica, geomorfológica, hidrogeológica) y la valoración del riesgo sísmico. Se hace evaluación, igualmente, de las características geotécnicas de los terrenos (identificación, estado, capacidad portante), establecidas tanto mediante ensayos "in situ" como en laboratorio. También se ha ini-



FOTO 4. Control mediante topografía de precisión de la coronación del Tojo de San Pedro.

ciado la investigación de fábricas de edificios (esencialmente un aglomerado de cantos apisonados con tierra y cal, denominado tapial) cuando así se requiere, así como de los eventuales elementos de refuerzo que se han introducido en ellas. En estos trabajos participa un equipo del Laboratorio Central de Estructuras y Materiales del CEDEX, dirigido por D. Antonio de las Casas.

Dada su condición de conjunto monumental, para la investigación de edificios y laderas, se está recurriendo, en lo posible, a métodos no agresivos para el entorno, reduciéndose a lo estrictamente necesario la abertura de catas y la ejecución de sondeos mecánicos, y limitándose al mínimo el impacto de la instrumentación. Por ello, se está haciendo un uso generalizado de la auscultación geofísica. Además de las técnicas más convencionales, como calicatas eléctricas y exploración sísmica de refracción, se están utilizando tecnologías de nuevo desarrollo, tales como ondas superficiales y geo-radar. Para obtener la máxima información de los sondeos mecánicos, se han empleado técnicas de "cross-hole", "down-hole" y tomografía sísmica, y se efectúan diafragmas de los mismos. Estos trabajos están siendo realizados por el Sector de Geotecnia Básica y Experimental del Laboratorio de Geotecnia, bajo la dirección de D. Vicente Cuéllar.

Por último, la modelización de los edificios exige valorar la respuesta dinámica de los mismos. Para ello se han instalado acelerógrafos en el Conjunto Monumental (uno en el edificio de Caballerizas y dos en la Torre de Comares), con objeto de establecer los espectros de frecuencias de los microsismos y la correspondiente respuesta estructural, que determinen los esperables en fenómenos de mayor magnitud. Hasta el presente han sido registrados en ellos varios eventos sísmicos, entre ellos los producidos a finales de 1993 y comienzo de 1994.

El seguimiento de movimientos en edificios implica su instrumentación con vistas, especialmente, a definir la influencia que en ellos pueda tener la cimentación. Para decidir el tipo de instrumentación más adecuada, y el lugar en que deben situarse las referencias de control de movimientos, se efectúa previamente un análisis del estado de los edificios. A partir de la configuración de las deformacio-

nes permanentes detectadas en los mismos, se procede a la instalación de los puntos de control. El control de dichos puntos permite efectuar medidas de desplazamientos verticales y horizontales y de abertura de grietas. Por otra parte, el levantamiento de desperfectos posibilita un análisis preliminar de cuál puede ser la patología geotécnica del edificio, orientando el camino a seguir en reconocimientos posteriores.

Las grietas se controlan mediante puntos fijados permanentemente a cada lado de los labios de las más representativas (en el futuro se decidirá si interesa automatizar las lecturas en alguna de ellas). Los movimientos horizontales de los edificios están siendo seguidos mediante plomada óptica y, eventualmente, en aquellos puntos en que no puede físicamente utilizarse, se miden los desplomes con inclinómetro "tiltmeter".

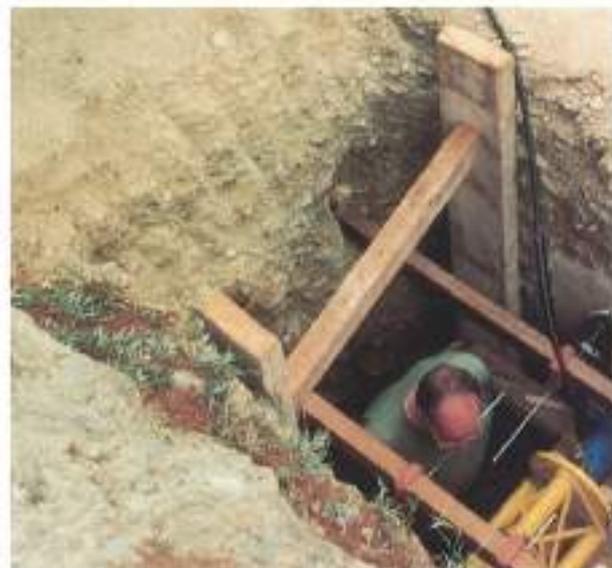


FOTO 5. Ensayo de carga con placa en la formación Alhambra.

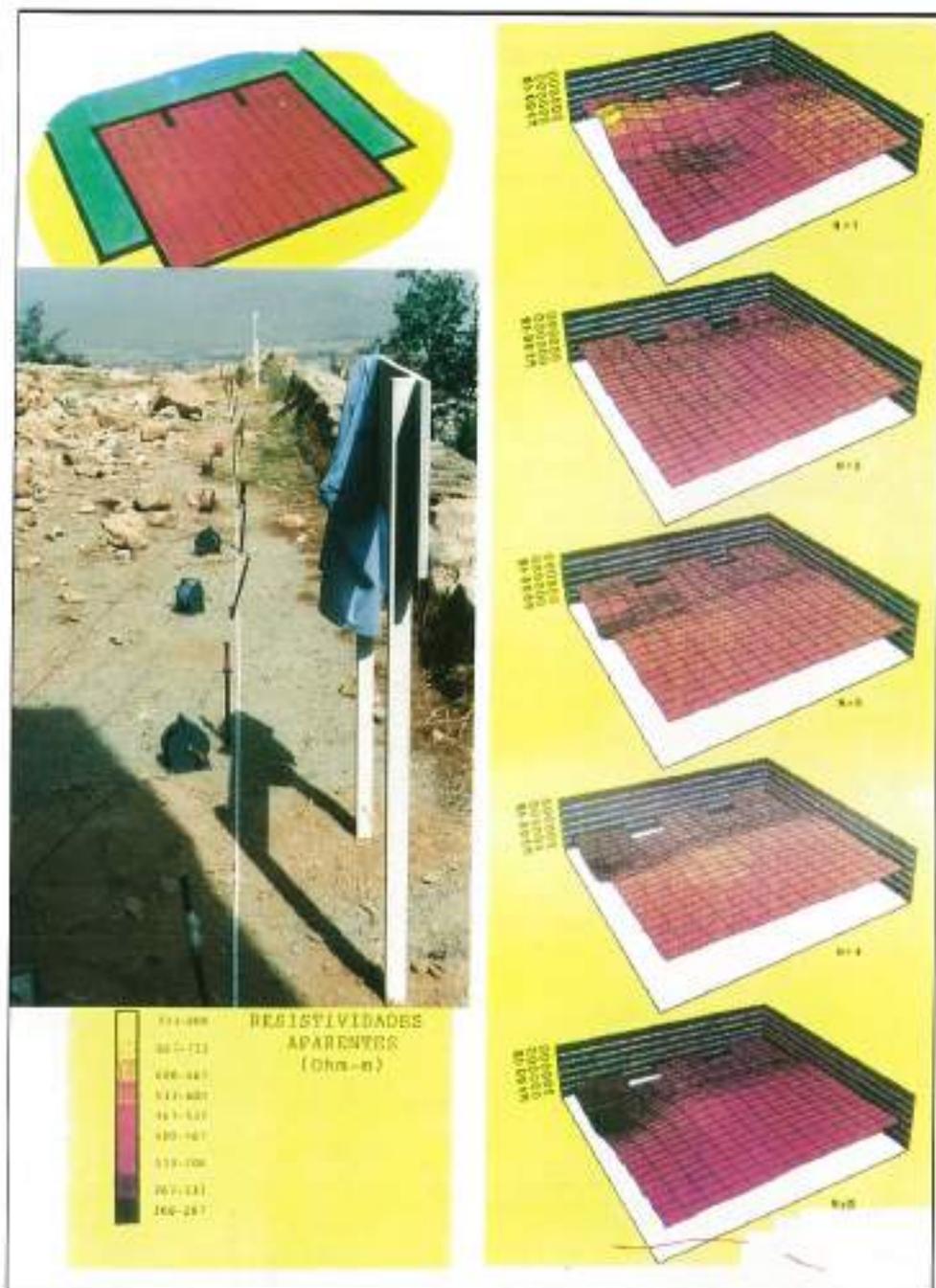


FIGURA 2. Calicatas eléctricas en un sector del Castillo de Santa Elena

Los movimientos relativos entre muros de torres se siguen con medidas de convergencia en los diferentes niveles accesibles. En cada nivel de medida se dispone un sistema doble de seguimiento de convergencia.

Para el control de movimientos verticales se recurre a una nivelación de precisión. Como bases de partida se han instalado 3 referencias, ancladas en sondeos profundos, dentro de la Alhambra.

El seguimiento de las medidas realizadas periódicamente en los puntos instrumentados (se vienen efectuando dos lecturas anuales) debe permitir establecer:

— La estabilización o el progreso de movimientos.

- La influencia en las medidas de los factores climáticos.
- La influencia en las medidas de la actividad sísmica de la zona.
- La eventual necesidad de un sistema de auscultación estática-dinámica con adquisición automática de datos.
- La necesidad de contar con campañas especiales de reconocimiento geotécnico de las cimentaciones y terreno subyacente al objeto de poder determinar la conveniencia y alcance de posibles actuaciones en la estructura o de refuerzos en el esquema actual de transmisión de cargas al terreno. Asimismo, en su caso, la necesidad de disponer tratamientos especiales de protección lateral del terreno de



FOTO 6. Desajuste en los elementos de un arco bífido de la Torre de los Picos.

cimentación o de estabilización local de alguna zona de talud que pudiera ser afectada por la edificación.

El Tajo de San Pedro es una de las laderas que presenta una problemática geotécnica más concreta, ya que, debido a la inestabilidad que manifiesta, ha requerido un seguimiento adicional topográfico para detectar posibles retrocesos del cantil, que pudieran llegar a afectar a un sector de la muralla de la zona norte de la Alhambra. Para efectuar este seguimiento se emplazaron en su coronación 5 referencias, que se controlan mediante triangulación, y con distanciómetro de infrarrojos, desde bases ubicadas en el Mirador de San Nicolás (Albaicín) y Generalife (terracea de cultivos). Además, se ha efectuado una restitución fotogramétrica terrestre del tajo a escala 1:200 y con equidistancias de 0,25 m.

En resumen, las técnicas empleadas para estos trabajos incluyen tanto investigaciones puntuales como estudios más globales, pero cuyas conclusiones son aplicables a casos concretos. Entre las primeras hay que señalar el levantamiento de desperfectos en los edificios y análisis de los mismos en relación con patologías de cimentación, su instrumentación y el seguimiento de movimientos, la auscultación de cimentaciones mediante técnicas directas e indirectas (geofísicas), ensayos del terreno y análisis de interacción suelo-estructura. Entre los segundos, los estudios geológicos del emplazamiento, la evaluación sismotectónica, la microzonación y análisis de la vulnerabilidad sísmica y la caracterización de los materiales utilizados en la construcción de los edificios.

3. PRESENTACION DE ALGUNAS CONCLUSIONES.

En conjunto, los trabajos hasta ahora realizados se inscriben en una fase que podría definirse como de reconocimiento y control. Por una parte, es necesaria la caracterización de un marco global, referido a todo el emplaza-



FOTO 7. Levantamiento de grietas en el Salón de Embajadores.



FOTO 8. Determinación de desplomes en la Torre de los Picos, mediante plomada óptica.

miento, para evaluar cuáles pueden ser las solicitaciones de tipo dinámico a que puede estar sometido el monumento; por otro lado, en condiciones estáticas, la evolución de los posibles movimientos de los edificios tiene lugar a muy largo plazo: de aquí que se requiera en general un seguimiento de los mismos durante algunos años para poder llegar a conclusiones definitivas en cuanto a su origen y eventual corrección.

La Alhambra se ha edificado sobre una colina que le sirve de defensa natural. Este promontorio se ha diferenciado geomorfológicamente por la acción erosiva del río Darro y del antiguo arroyo que discurría por lo que hoy es la Cuesta de Gómez. Dos barranqueras transversales aislaron la Alcazaba de los Palacios Arabes (actual emplazamiento de un aljibe) y la Alhambra del Generalife (vaguada de la Cuesta de los Chinos).

La acción erosiva del río Darro es importante, con una acción socavadora en la ladera norte del Conjunto Monumental que se ha manifestado a veces bruscamente durante las crecidas. En el Generalife se han producido deslizamientos, y en la Alhambra, frente a la iglesia de San Pedro, desprendimientos. Estas inestabilidades, de continuar progresando, llegarían a afectar a zonas edificadas.

Por otra parte, la degradación de las laderas, consecuencia de su propia dinámica evolutiva, que conduce a una disminución paulatina de las condiciones mecánicas del terreno en superficie y, por lo tanto, de su respuesta frente

a cargas permanentes, afecta a la coronación de las mismas, donde se cimentan torres y murallas. De hecho, en las torres que están siendo controladas se ha apreciado, en general, el desarrollo de una inclinación hacia el barranco. El recalce existente en la Torre de Mohamed prueba que esta circunstancia no ha pasado inadvertida en el pasado. Se exceptúa de esta tendencia la Torre de Comares, que podría estar asentado hacia el Patio de los Arrayanes, circunstancia ésta que ya se apreció también en el pasado. Los trabajos actuales de reconocimiento permitirán identificar las condiciones reales de cimentación de la torre, sobre las cuales existen especulaciones diversas.

Los materiales que constituyen el cimiento de los edificios forman parte de la llamada Formación Alhambra. Se trata de conglomerados de matriz areno-arcillosa, y cimentación local por carbonatos, de edad Plioceno superior - Pleistoceno inferior, procedentes de la denudación de los relieves de Sierra Nevada. Formaron parte en el pasado geológico de un abanico aluvial cuyas partes distales condicionaron topográficamente el emplazamiento de la ciudad de Granada, y que alcanzan espesores de unos 250 a 350 m. Los elementos constitutivos son, pues, los que conforman los relieves de procedencia, integrados por rocas metamórficas: esquistos, cuarcitas, gneises, mármoles.... Los conglomerados se encuentran en bancos de potencia métrica, en conjunto subhorizontales, con alternativas granulométricas que determinan que en algunos tramos abundan más los niveles más arcillosos. A veces presentan costrificaciones calcáreas, que aparecen como horizontes cementados, y no son infrecuentes los paleosuelos, de espesores decimétricos, que destacan por su color pardo-rojizo sobre las tonalidades grisáceas predominantes en los sedimentos inalterados.



FOTO 9. Nivelación de la Torre del Capitan.

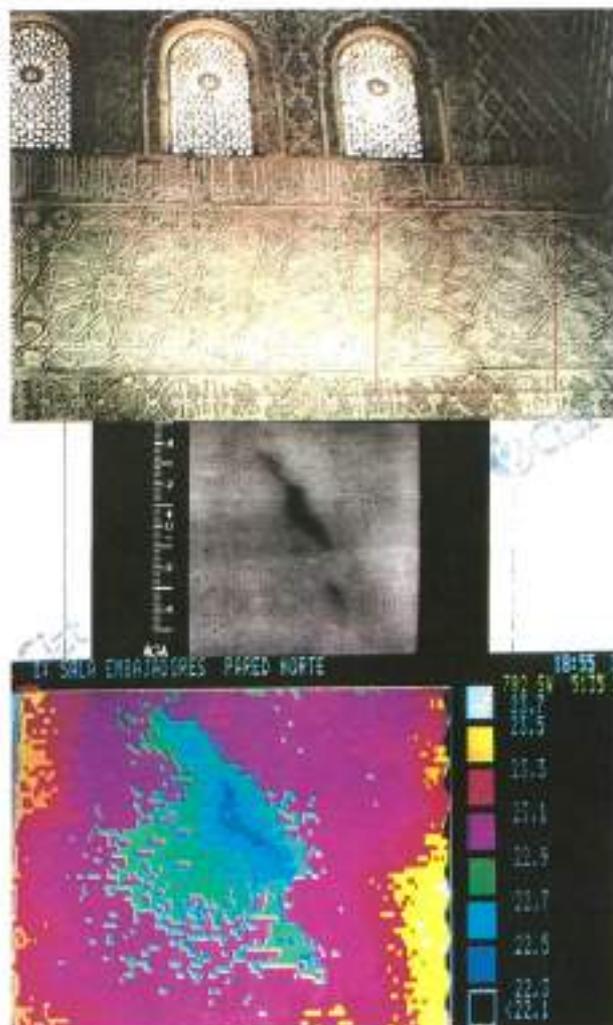


FIGURA 3. Termografía de una zona del Salón de Embajadores, mostrando la presencia de una grieta en el muro.

La Formación Alhambra ofrece unas características geotécnicas que la hacen muy adecuada como cimiento. No obstante, la acción biológica (vegetación), del agua (escorrentía y filtraciones) y la propia actividad humana, no siempre desarrollada con fines de conservación, vienen produciendo una degradación de los materiales, por lavado y arrastre de las partículas más finas, por reblandecimiento de la matriz o por perturbaciones debidas a la propia actividad constructiva (excavaciones posteriores a la construcción).

Por otra parte, el emplazamiento del Conjunto Monumental no constituye un macizo estructuralmente homogéneo. A lo largo de su historia geológica ha sufrido esfuerzos de origen tectónico que han motivado su compartimentación en bloques delimitados por fracturas. Algunas de estas litoclasas funcionan como fallas; es decir, como discontinuidades que generan desplazamientos diferenciales entre sus labios. Estas fracturas determinan comportamientos desiguales del terreno desde un punto de vista dinámico, circunstancia que hay que tener presente para valorar la vulnerabilidad sísmica del monumento.

Una consecuencia de la presencia de discontinuidades en el terreno es que establecen líneas preferenciales en el mode-

lado geomorfológico. Esta circunstancia es la que determina la problemática geotécnica del Tajo de San Pedro, al facilitar el desarrollo de un cantil configurado por la intersección de fallas subverticales, convertidas en paredes del mismo.

Los procesos tectónicos han propiciado la compartimentación de la Formación Alhambra, en el entorno del Conjunto Monumental, en grandes mosaicos delimitados por fracturas de dirección NO-SE y NE-SO. Se trata de discontinuidades subverticales producidas en régimen "distensivo". Estos sistemas de fallas, junto a otros que no afectan al emplazamiento de la Alhambra, son antiguos, y de hecho algunos de ellos han contribuido, durante el Mioceno superior, a la individualización de la depresión de Granada. Se trata de fallas profundas de gran persistencia en el tiempo que al moverse han producido un cortejo de nuevas fallas en los terrenos que han ido colmatando aquella depresión. La sismicidad que presenta la región es el reflejo de que al menos algunas de esas fallas siguen activas, produciendo movimientos que se detectan como sacudidas sísmicas. La evaluación del riesgo sísmico inherente a estos movimientos, de influencia manifiesta para la conservación del Conjunto Monumental, forma parte de los trabajos en curso.

Presentadas las características generales del emplazamiento de la Alhambra y del Generalife, y de los problemas geotécnicos que suscita, se hará referencia concreta a los resultados alcanzados con algunos de los trabajos acometidos.

Uno de los problemas que se está planteando para establecer la patología geotécnica de las construcciones es la dispersión de información documental referente a las reformas que a lo largo de su historia se han ido introduciendo en muchas de ellas. De hecho, restos de edificaciones preexistentes sirvieron a veces de cimiento parcial a las actuales, produciendo heterogeneidades en el cimiento difíciles de investigar. Las reformas interiores acometidas dentro de



FOTO 10. Sondeo inclinado en uno de los salones de la Torre de Canales.



FOTO 11. Testigos de sondeo en el tapial de cimiento de la Torre de Comares.

muchas de las torres han modificado, en unas fechas y con un alcance pocas veces documentado, sus características estructurales. En este sentido, son en especial significativas las actuaciones en la Torre de Comares, las últimas de las cuales, introducidas por el Arquitecto Conservador Torres Balbás en el primer tercio de este siglo, son de importante alcance, y cuya funcionalidad está siendo ahora analizada.

Una de las torres que produce mayor perplejidad es la de los Picos. Lo más singular de este edificio es que la terraza dispone de un muro almenado que tuvo matacanes en sus esquinas orientales, de las que únicamente subsisten las ménsulas de apoyo. La sustentación de esta terraza está reforzada por una bóveda ojival, cuyos nervios apoyan en pilares emplazados en las esquinas de la planta inmediatamente inferior. Esta bóveda carece hoy de funcionalidad, lo que obliga a especular sobre cuál pudo ser su función en el pasado. El valor estratégico de la torre, que probablemente custodiaba una de las entradas de la Alhambra, quedaría acrecentado si se hubieran emplazado piezas de artillería en su terraza, para lo cual hubiera sido preciso reforzar su sustentación. La fecha grabada en la dovela central de la



FOTO 12. Acelerógrafo instalado en la torre de Comares.

puerta de acceso a la torre aporta un dato revelador: el año 1500 señala presumiblemente la última reestructuración importante acometida en la construcción, ya en época cristiana y en unos momentos en los que la artillería comenzaba a ser de empleo generalizado. De ser cierta esta hipótesis, la torre estaría ahora aligerada de las sobrecargas sustanciales que en otro tiempo pudo tener.

Las medidas de control que se vienen realizando en los edificios instrumentados reflejan una situación de equilibrio durante el periodo de medida. Las lecturas sí acusan variaciones cíclicas derivadas de alternativas climatológicas, según correspondan a estaciones frías o calurosas. Esta circunstancia es especialmente evidente en la abertura de las grietas en invierno y en un cierre aparente en verano.

Al menos una parte de las grietas de los edificios parecen responder a acomodaciones estructurales. En este sentido, en la Torre de la Infantas, por ejemplo, se advierte la influencia del pasadizo existente bajo la misma. En otros casos, las fisuras son atribuibles a asentamientos diferenciales en el cimiento, como probablemente sucede con las que aparecen en la planta semisótano de la Torre de Comares. La adscripción definitiva de éstas y de otras grietas forma parte de los trabajos en curso.

Dentro del marco de asistencia geotécnica al Patronato, se controlaron los trabajos de consolidación llevados a cabo mediante inyección del terreno en el trasdós del muro del



FOTO 13. Ensayos geofísicos en la Sala de las Niñas de la Torre de Comares.

Patio de la Sultana, que amenazaba desplomarse por un empuje de tierras. La auscultación geofísica llevada a cabo antes y después del tratamiento permitió controlar la mejora del terreno, evidenciando la eficacia del tratamiento realizado.

El derrumbamiento del muro oeste de la torre del Castillo de Santa Elena suscitó un dictamen técnico sobre las causas del mismo, que se apoyó en reconocimientos geofísicos del terreno de apoyo y en una inspección detallada de la estructura. La conclusión a que se llegó, justificada en un informe específico, fue de que el muro había cedido por movimientos excesivos del apoyo de cimentación en la esquina suroccidental del edificio, motivado, además, por la baja calidad constructiva del mismo.

Para las zonas no edificadas estudiadas hasta este momento se ha llegado a conclusiones concretas. El Tajo de



FOTO 14. Medida de velocidades sísmicas en un testigo de topial.

San Pedro no ha experimentado retrocesos en sus paredes durante el periodo de control, pero para garantizar su estabilidad será preciso consolidarlo y proteger su pie de las crecidas del río Darro. Dado que la próxima construcción de una presa aguas arriba minimizará este último problema, se ha concretado un tratamiento de consolidación del terreno para corregir las inestabilidades en el tajío. Para mejorar las condiciones de cimentación de las murallas del Sector de Secano, se han recomendado asimismo soluciones.

Por último, en la Cuesta de los Chinos, que fue uno de los primeros trabajos completados, se apreció que no existen condiciones de inestabilidad generalizada en la vaguada que recorre; detectándose desprendimiento eventuales de cantos al producirse por las aguas de escorrentía un lavado de la matriz areno-arcillosa que los envuelve. Se recomendó un saneo periódico de los taludes, con una solución de zanja para recoger las piedras o el empleo de una malla de guiado para las mismas.

4. TRABAJOS EN CURSO

Los trabajos previstos hasta 1997, fecha de conclusión del Convenio Marco, aunque definidos en sus directrices generales, pueden experimentar alternativas en función de necesidades concretas suscitadas por el Patronato o derivadas de los propios trabajos en curso. En síntesis, estos trabajos son los siguientes:

- Control de movimientos y grietas en las torres ya instrumentadas y en aquellas otras cuyo estudio se decida acometer.
- Modelización de la Torre de Comares.
- Levantamiento de desperfectos e instalación de instrumentación para medidas de movimientos y deformaciones en tres torres adicionales. Seguimiento de la misma y definición, en su caso, de campañas de reconocimientos geotécnicos complementarios en relación con patologías de cimentación.
- Análisis de las condiciones de estabilidad de los edificios instrumentados con vistas a eventuales actuaciones de refuerzo de cimentación.
- Análisis de estabilidad de la ladera norte del Generalife en base a los datos proporcionados por un reconocimiento geotécnico de detalle, supervisión para instalación de inclinómetro y medidas de control de movimientos en la ladera.

- Ensayos de caracterización geotécnica del terreno, tanto "in situ" como en laboratorio, para establecer su comportamiento como material de cimentación. Estos ensayos incluyen los de identificación geotécnica y estado, alterabilidad, incidencia en ellos de accidentes geológicos (fallas o fracturas), interacción hidrológica (filtraciones), capacidad portante y respuesta dinámica.
- Caracterización de los materiales estructurales utilizados en la construcción del Conjunto Monumental.
- Auscultación mediante técnicas geofísicas de cimentación de edificios.
- Estudio sismotectónico y valoración del riesgo sísmico existente para el Conjunto Monumental, diferenciado su emplazamiento de acuerdo con una microzonación sísmica, que permita determinar la respuesta dinámica frente a posibles eventos sísmicos, con objeto de evaluar la vulnerabilidad sísmica de las construcciones.
- Análisis de interacción suelo-estructura.
- Definición de una red de vigilancia para el control de movimientos en los edificios más significativos que integran el Conjunto Monumental, con vistas a monitorizar su comportamiento futuro.

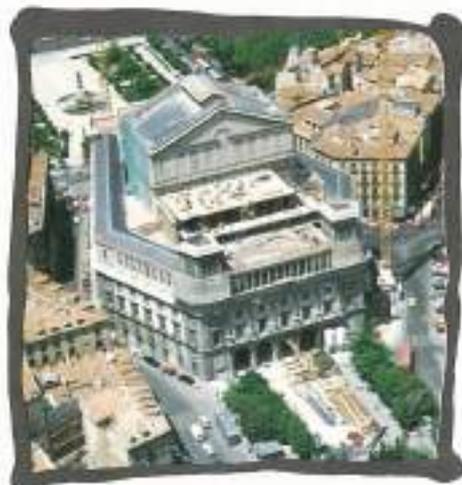
AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento al Patronato de la Alhambra y Generalife, y en especial a su director, D. Mateo Revilla, y a los responsables de la Unidad Técnica del Servicio de Conservación, D^a Virginia Bueno y D. Jorge Calancha, por las facilidades dadas para la publicación de este artículo.



FOTO 15. Rotura controlada de un testigo de topial.

CONSTRUIMOS CON CALIDAD TODO TIPO DE OBRAS



REHABILITACION DEL TEATRO REAL (MADRID)



REHABILITACION DEL TEATRO FALLER (CADIZ)



REHABILITACION DEL HOTEL MENCEY (TENERIFE)



REHABILITACION DE LA ESTACION DE ATOCHA (MADRID)

He aquí algunas muestras de cómo realiza HUARTE sus obras.

Obras hechas con rigor de auténticos especialistas.

Con un criterio de calidad por encima de todo.

Y con la experiencia de más de 60 años de actividad.

Así construye HUARTE.



La Calidad. Nuestro principio básico.



intecsa

INTERNACIONAL DE INGENIERÍA
Y ESTUDIOS TÉCNICOS, S.A.



Certificada en

- Estudios, Anteproyectos y Proyectos de:

- Infraestructura del Transporte
- Energía y Medio Ambiente
- Puertos y Costas
- Hidráulica
- Informática Técnica

- Vigilancia y Supervisión de Obras.

SISTEMA DE CALIDAD CERTIFICADO