



Patronato de la Alhambra y Generalife
CONSEJERÍA DE CULTURA

La presente colección bibliográfica digital está sujeta a la legislación española sobre propiedad intelectual.

De acuerdo con lo establecido en la legislación vigente su utilización será exclusivamente con fines de estudio e investigación científica; en consecuencia, no podrán ser objeto de utilización colectiva ni lucrativa ni ser depositada en centros públicos que la destinen a otros fines.

En las citas o referencias a los fondos incluidos en la investigación deberá mencionarse que los mismos proceden de la Biblioteca del Patronato de la Alhambra y Generalife y, además, hacer mención expresa del enlace permanente en Internet.

El investigador que utilice los citados fondos está obligado a hacer donación de un ejemplar a la Biblioteca del Patronato de la Alhambra y Generalife del estudio o trabajo de investigación realizado.

This bibliographic digital collection is subject to Spanish intellectual property Law. In accordance with current legislation, its use is solely for purposes of study and scientific research. Collective use, profit, and deposit of the materials in public centers intended for non-academic or study purposes is expressly prohibited.

Excerpts and references should be cited as being from the Library of the Patronato of the Alhambra and Generalife, and a stable URL should be included in the citation.

We kindly request that a copy of any publications resulting from said research be donated to the Library of the Patronato of the Alhambra and Generalife for the use of future students and researchers.

Biblioteca del Patronato de la Alhambra y Generalife
C / Real de la Alhambra S/N. Edificio Fuente Peña
18009 GRANADA (ESPAÑA)
Tel. (+ 34) 958 027 944
(+ 34) 958 027 945
Fax. (+34) 958 210 235
biblioteca.pag@juntadeandalucia.es

INSTRUMENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS

JOSE MANUEL MARTINEZ *

Dentro del conjunto de los trabajos que el Laboratorio de Geotecnia ha desarrollado en el conjunto monumental de la Alhambra y Generalife, se ha abordado un estudio de las patologías detectadas en el monumento. Este estudio ha incluido, entre otros puntos, un levantamiento de daños y la instrumentación, previo análisis de la génesis de los mismos, de un conjunto de referencias seleccionadas de control para el seguimiento de su evolución en el tiempo.

Básicamente, la instrumentación colocada ha consistido en el establecimiento de una serie de puntos para el control de desplomes, de convergencias, de nivelación, de abertura de fisuras y de deformaciones del terreno.

El seguimiento periódico de la instrumentación ha permitido establecer la estabilización o el progreso de los movimientos controlados, la influencia en las medidas de los factores climáticos, así como la necesidad de contar con campañas especiales de reconocimiento de las cimentaciones y el terreno subyacente. Del análisis de este conjunto de datos se puede establecer la conveniencia y alcance de acometer distintas actuaciones en el monumento.

En la presente comunicación se recoge de manera sucinta los fundamentos de la instrumentación colocada en el monumento, incluyendo los criterios de interpretación de resultados con los que se está trabajando.

MEDIDAS DE MOVIMIENTOS EN EL TERRENO

El control de movimientos en el terreno, se ha centrado fundamentalmente en el seguimiento morfológico del Tajo de San Pedro, situado en la ladera

Norte del recinto de la Alhambra (ver Fig.1), por la especial incidencia que puede representar, su posible evolución morfológica, en el Conjunto Monumental.

El método seguido ha sido un control topográfico de precisión, capaz de evaluar los posibles movimientos, tanto altimétricos como planímetros, que puedan producirse en la coronación del Tajo.

Dicho control se ha materializado en el terreno mediante la colocación de dos bases de observación y de cinco hitos de control. Las dos bases se encuentran situadas, una en el Mirador de San Nicolás (Barrio del Albaicín) y otra en el Generalife (recinto de la Alhambra) (Fig. 2), con el objetivo de que las visuales con los hitos a controlar fueran las más próximas posibles a la ortogonal al talud, respecto a los hitos de control, en una cota similar. Se consigue así, un aumento en el rango de precisión de las medidas, determinado por un error ≤ 5 mm en la base de San Nicolás y a 4 mm en la base del Generalife.

La base de San Nicolás está constituida por un cubo de hormigón de 60 cm de lado, totalmente enterrado en el terreno, sobre el que se ha colocado una placa metálica, protegida con una arqueta.

En el caso de la base del Generalife, ésta está formada por un pilar de hormigón de 30 cm de diámetro, en cuya coronación se ha colocado una placa de bronce sobre la que se efectúa el centrado del aparato de medida. El pilar se encuentra cimentado con un bloque de hormigón de 100 x 100 x 60.

Los cinco hitos de control se ubican en la coronación del Tajo (Fig. 2), y están formados, cada uno de ellos, por un mojón tipo *Feno* y un redondo de acero de 6 mm de diámetro sujeto con mortero en el interior del vástago *Feno*.

Dada la imposibilidad de hacer las medidas directamente sobre los hitos, en función de la fron-

dosidad de la vegetación existente, se diseñó, para poder elevar la “puntería”, un útil consistente en colocar, en un jalón extensible, una pieza de encaje en el extremo inferior y otra de puntería en el superior. La verticalidad del jalón se consigue situando los teodolitos en posición ortogonal con respecto al jalón, y comprobando que, desde ambos aparatos, a la vez, la marca del hito coincide exactamente con la señal de puntería superior (Lám. 1).

Los aparatos topográficos utilizados han sido un teodolito WILD T2 y una estación total GEODIMETER (Lám. 2).

A modo de ejemplo, en esta comunicación, se incluye un gráfico de los movimientos medidos desde el origen, en el hito de control nº 1 (Fig. 3).

El control de movimientos horizontales en el terreno, también para el análisis del comportamiento del Tajo de San Pedro, se ha realizado mediante tubería inclinométrica colocada en sondeo.

El procedimiento que se sigue, una vez realizada la perforación del sondeo, consiste en colocar la tubería inclinométrica en el interior del mismo, para lo cual se van acoplando tubos (en nuestro caso de 3 m) mediante manguitos de unión. En el caso del primer tubo se cierra en el fondo mediante un tapón metálico, equipado con pasador y tuerca de fijación.

Al finalizar la instalación de la tubería se procede a la fijación de la misma a las paredes del sondeo mediante el relleno con lechada de cemento del espacio anular existente entre las paredes del sondeo y el exterior de la tubería.

El extremo superior de la tubería se protege, usualmente, mediante una tapa metálica que impida la entrada de elementos extraños.

La longitud instrumentada en el sondeo del Tajo fue de 61'6 m.

El proceso de medida consiste en la introducción de un torpedo, en el interior de la tubería, con el que se detectan las inclinaciones del sondeo en dos direcciones perpendiculares a su eje, midiéndose los desplazamientos angulares producidos con relación a la vertical. La representación de estos datos, a efectos de la interpretación de los mismos, se puede realizar bien calculando los movimientos parciales de la tubería en cada una de las profundidades de medida, bien calculando los movimientos totales acumulados desde un punto próximo al fondo que se supone fijo.

Con esta interpretación, las curvas que se obtienen representan para las diferentes lecturas los movimientos, bien parciales, bien totales, que han tenido lugar en las direcciones definidas por los carriles de tubería. Las figuras 4 y 4bis representan los gráficos de medidas obtenidos en el Tajo de San Pedro.

CONTROL DE MOVIMIENTOS EN LAS TORRES

Hasta el momento de la redacción de la presente comunicación se dispone de instrumentación en las siguientes Torres del Conjunto Monumental: Comares, Picos, Mohamed, Homenaje, Vela, Capitán, Infantas (ver Fig. 1).

La instrumentación colocada de forma sistemática en cada una de ellas permite efectuar un seguimiento, en el tiempo, de las medidas que se comentan a continuación.

DESPLOMES

La medida del desplome inicial de las torres se ha obtenido mediante plomada de albañil y metro metálico graduado en milímetros.

Los valores de los desplomes se determinan mediante un nivel de precisión ZEISS WI-2, dotado de escuadra óptica, tomando como referencia la parte superior del inmueble, en un punto próximo a la esquina, una escalilla milimétrica horizontal en la parte inferior y una señal en el suelo para colocar en estación el trípode que soporta el nivel con la plomada.

La referencia de la parte superior consiste en un pequeño disco de 1 cm de diámetro, en cuyo centro hay un punto fijo que se visualiza mediante la plomada óptica.

La referencia fija de la parte superior y la colocada en el suelo están en un mismo plano vertical, perpendicular a la cara exterior de la torre cuyo desplome se quiere controlar, de forma que se intercepte la escalilla inferior.

De esta forma, y de acuerdo con un criterio de signos, se controlan los desplomes, llevándose las medidas a un gráfico movimientos (mm) —fechas de lectura— de cuyo análisis puede determinarse la evolución de los desplomes en cada punto de medida. A modo de ejemplo en la figura 5, se recogen los resultados disponibles en la Torre de los Picos, donde se observa un comportamiento cíclico en las lecturas.

NIVELACION DE LAS PLANTAS

Para llevar a cabo la nivelación de las plantas, inicialmente se determina la cota relativa de un conjunto de puntos de cada una de ellas.

El cálculo de la cota relativa se ha realizado mediante nivelaciones dobles con cierre, partiendo del punto más bajo de los nivelados dentro de cada planta, al que se le ha asignado la cota cero.

Para el control de los movimientos verticales se utilizan escalillas milimétricas fijas, protegidas mediante una caja metálica provista de tapa.

El procedimiento de medida se ha realizado, igualmente, mediante nivelaciones dobles con cierre, partiendo de una base fija (se han instalado tres en el recinto de la Alhambra; ver Fig. 1), de acuerdo con los siguientes criterios:

- Error máximo de cierre: $\pm 0'25$ mm.
- Máxima distancia entre estaciones intermedias: 30 m.
- Mínima distancia del nivel a la mira: 3 m.
- Máxima distancia del nivel a la mira: 15 m.

Como ejemplo del control de este tipo de movimientos se recogen los resultados de los puntos controlados en la planta baja de la Torre de la Vela, (Fig. 6), de acuerdo con el criterio de signos (+) Asientos, (-) Levantamientos.

CONTROL DE GRIETAS

En cada una de las torres en estudio se ha realizado una inspección visual del estado de las grietas, tanto de sus paramentos exteriores como interiores.

De forma sistemática se han croquizado las más significativas, midiéndose, siempre que se ha podido, la abertura en mm y la posición relativa de sus labios.

El cálculo de la abertura se ha realizado con una lupa de la casa ESCHENBACH, con escalilla de 15 mm incorporada y graduada en décimas de milímetro, y la determinación de la posición relativa de los labios con una plantilla plana y una escalilla graduada en mm. En las figuras 7 y 7bis se recoge, como ejemplo de este apartado, el estado de las caras exteriores de la Torre de las Infantas.

El control de movimientos en las grietas, entre las referencias fijas instaladas, se ha determinado mediante un defórmeter de la casa OFITECO, con apreciación de $0'01$ mm, tomando como medidas las lecturas entre las referencias (dos o tres) colocadas a ambos lados de la grieta a controlar.

Las referencias fijas están constituidas por un pequeño disco de 1 cm de diámetro, en cuyo centro hay un punto que sirve de apoyo a las puntas del defórmeter.

En los casos con tan solo dos referencias fijas, la lectura se hace calculando el movimiento perpendicular (a = abertura) a la grieta. En el caso de tres referencias, se supone fija una de ellas (denominada como "3") y se efectúan medidas entre cada dos referencias consecutivas (lecturas 1-2, 2-3 y 3-1), determinándose los movimientos paralelos (t = tangencial y d = dilatación) y perpendicular (a = abertura) a la grieta.

De cada una de las grietas a controlar se dispone de una ficha en la que se reflejan las características de la misma al comenzar su control, a la cual se acompaña con una fotografía. En la figura 8 se ha recogido, a modo de ejemplo, una ficha correspon-

diente a una grieta, denominada IGEN16, de la Torre de las Infantas. Asimismo, se incluye, un gráfico en el que se refleja el proceso de medida en el tiempo de dicha grieta.

INCLINACIONES

Las inclinaciones se han determinado por medio del equipo de medida denominado *Tilometer*.

Este aparato consta, básicamente, de tres elementos: placa base de control, sensor y equipo de lectura. Su funcionamiento está basado en una señal eléctrica que proporciona el sensor, la cual es proporcional al seno del ángulo de la inclinación de su base con la horizontal.

El sistema de lectura del sensor se realiza mediante un servo-acelerómetro que funciona estacionando la base del sensor sobre la placa base de control, cada vez que se realiza la lectura.

La placa base de control dispone de unos tetones, habiéndose dispuesto, en los puntos de medida del monumento, los denominados como 3 y 1 en el sentido Sur-Norte, y los 2 y 4 en el Oeste-Este.

En la figura 9 se puede ver un ejemplo del control de estas medidas en la terraza de la Torre de Mohamed.

DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES

La medida de este tipo de movimientos se ha realizado mediante una cinta de convergencia de la firma INTERFELLS, con una apreciación de $0'01$ mm, utilizando como referencias fijas dos varillas metálicas empotradas al menos 10 cm en los puntos cuyo movimiento se quiere controlar. Estas varillas tienen una longitud de 20 cm y un diámetro de 20 mm, con un extremo libre roscado para permitir el acoplamiento de la cinta de convergencia.

La toma de datos se realiza mediante doble lectura entre referencias opuestas de dos posiciones de la cinta de convergencia, giradas ambas un ángulo de 180° en planta.

Como ejemplo de este tipo de control se incluye el realizado en la planta de cubierta de la Torre de Comares en la que se controlan cuatro medidas de convergencias (Fig. 10).

INSTRUMENTACION AUTOMATICA DE LAS TORRES

La instrumentación descrita en los apartados anteriores está previsto automatizarla en el futuro, con el objetivo de registrar de forma continua las variaciones existentes en los distintos movimientos controlados.

El planteamiento de esta instrumentación automática parte del conocimiento que en este momento se tiene de cada una de las variables medidas en las torres instrumentadas, permitiendo así, con un

número de puntos de control significativamente inferior a los de la instrumentación actual, realizar un seguimiento a medio y largo plazo del monumento.

Las variables que, inicialmente, está pensado controlar de forma automática son las fisuras, mediante sensores potenciométricos, los giros (desplomes), mediante clinómetros, y las temperaturas mediante termoresistencias.

Los rangos de medida y precisión de cada una de estas variables se establecerán en función de los determinados en la instrumentación actual.

El conjunto de valores, con este procedimiento, se registra en un sistema de adquisición de datos en ordenador, lo que facilitará considerablemente el tratamiento de la información.

INTRUMENTACION PARA EL REGISTRO DE IMPULSOS SISMICOS

En el recinto monumental se han colocado tres acelerógrafos, implementados dentro del proyecto

de microzonación que el Instituto Geográfico Nacional ha desarrollado en el área metropolitana de Granada.

Uno de los acelerógrafos se encuentra colocado, a nivel de suelo, en el edificio de Caballerizas. Los otros dos se ubican en la Torre de Comares, uno de ellos en la planta baja, a nivel del suelo, y el otro en la parte superior de la Torre.

Los acelerógrafos son equipos digitales del tipo "kinematics SSA-1", con servoacelerómetro y resolución de 12 bits, programados con un umbral de sensibilidad de 0'002 g, en toda la escala de ± 2 g.

De los registros medidos se destaca el sismo del 23 de Diciembre del año 1993, de cuya interpretación se ha podido establecer la frecuencia fundamental y el nivel de amortiguamiento de la Torre de Comares, utilizados para calibrar el modelo dinámico de cálculo desarrollado.

* CEDEX, Laboratorio de Geotecnia.



JUNTA DE ANDALUCIA
CONSEJERÍA DE CULTURA
Patronato de la Alhambra y Generalife



Lám. 1. Base de San Nicolás.



Lám. 2. Base del Generalife.

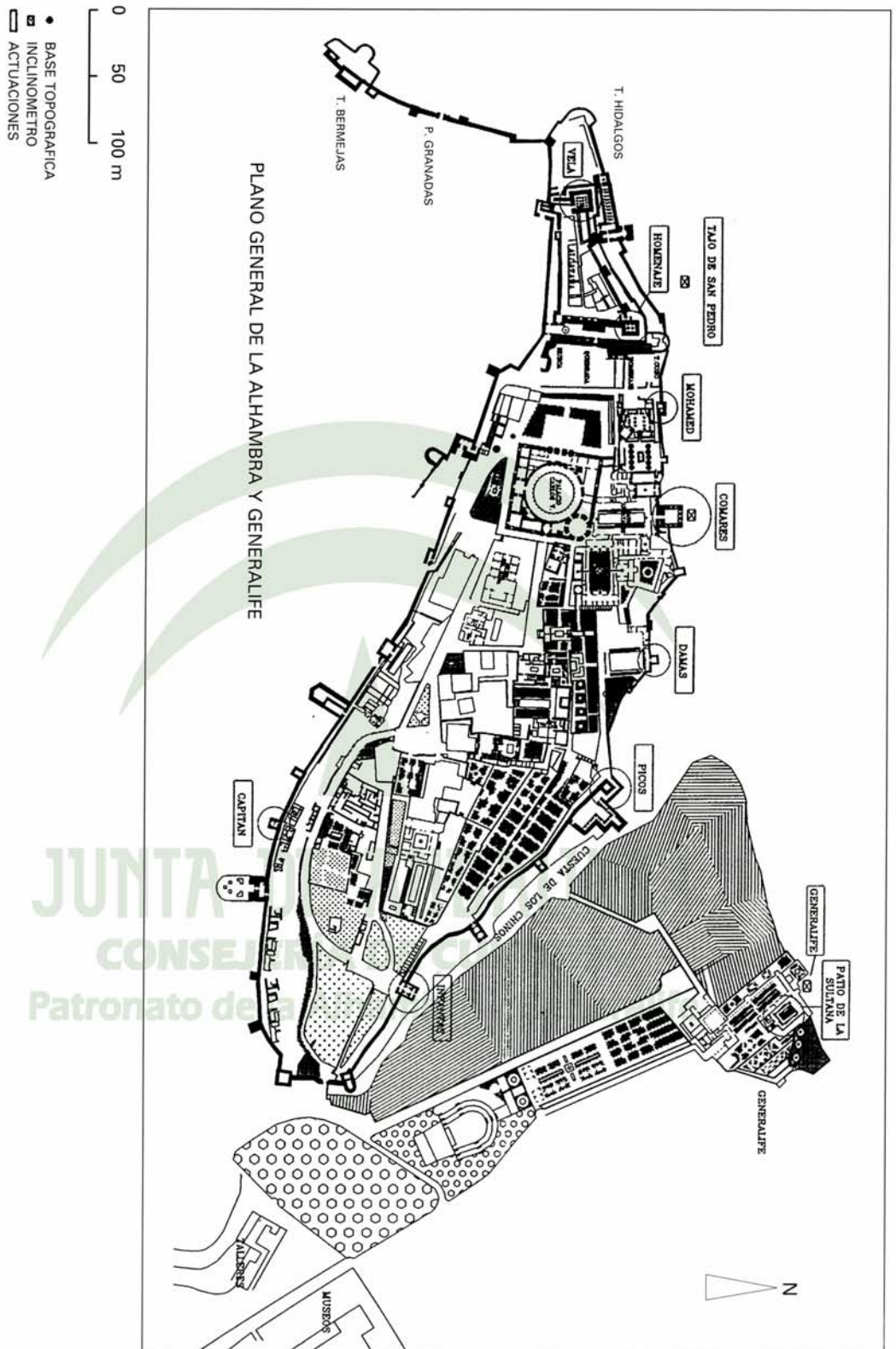


Fig. 1. Actuaciones del Laboratorio de Geotecnia en el Conjunto Monumental. Plana de situación.

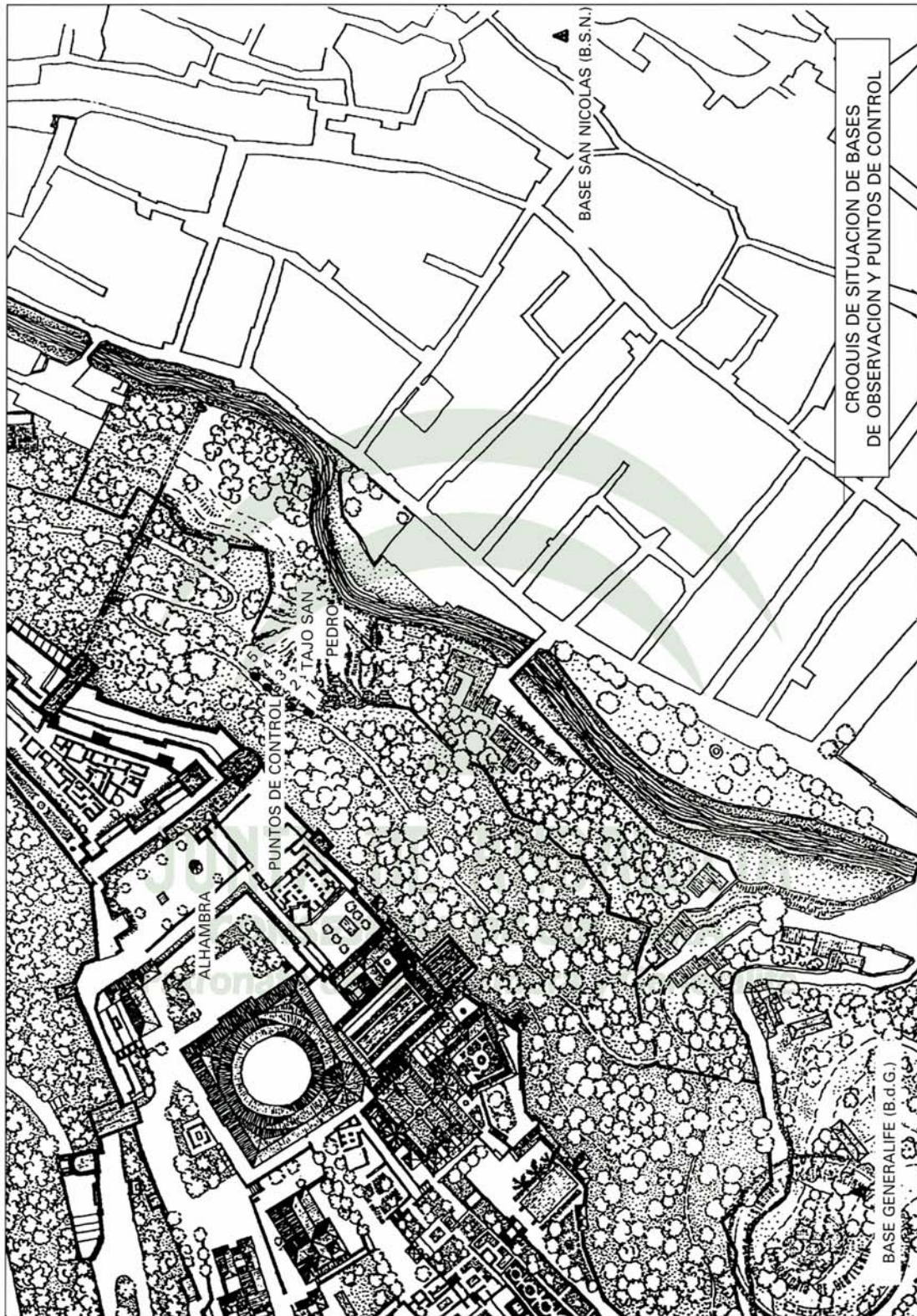


Fig. 2. Croquis de situación de bases de observación y puntos de control.

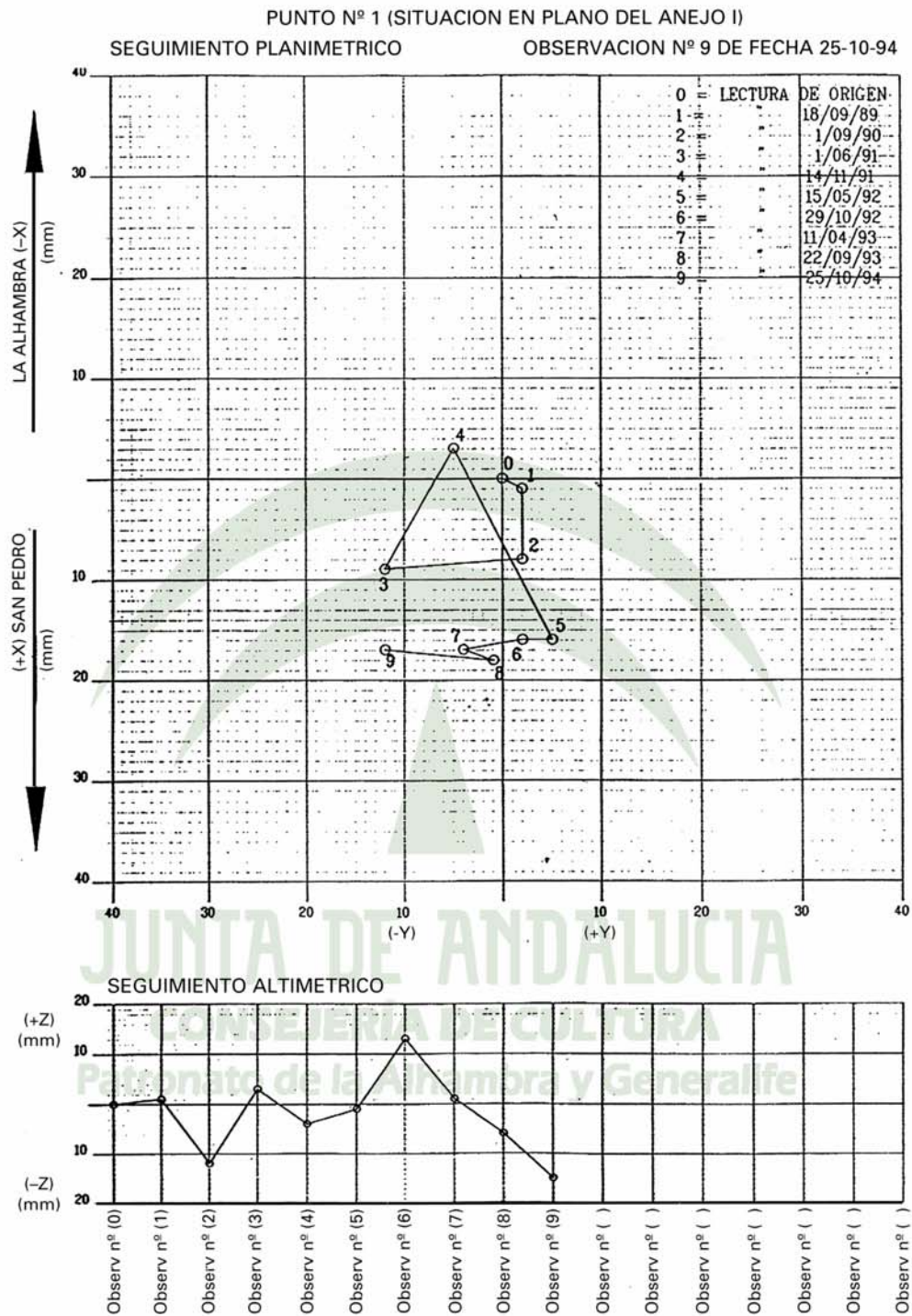


Fig. 3. Gráfico de seguimiento de los puntos de control del Tajo de San Pedro de la Alhambra de Granada.

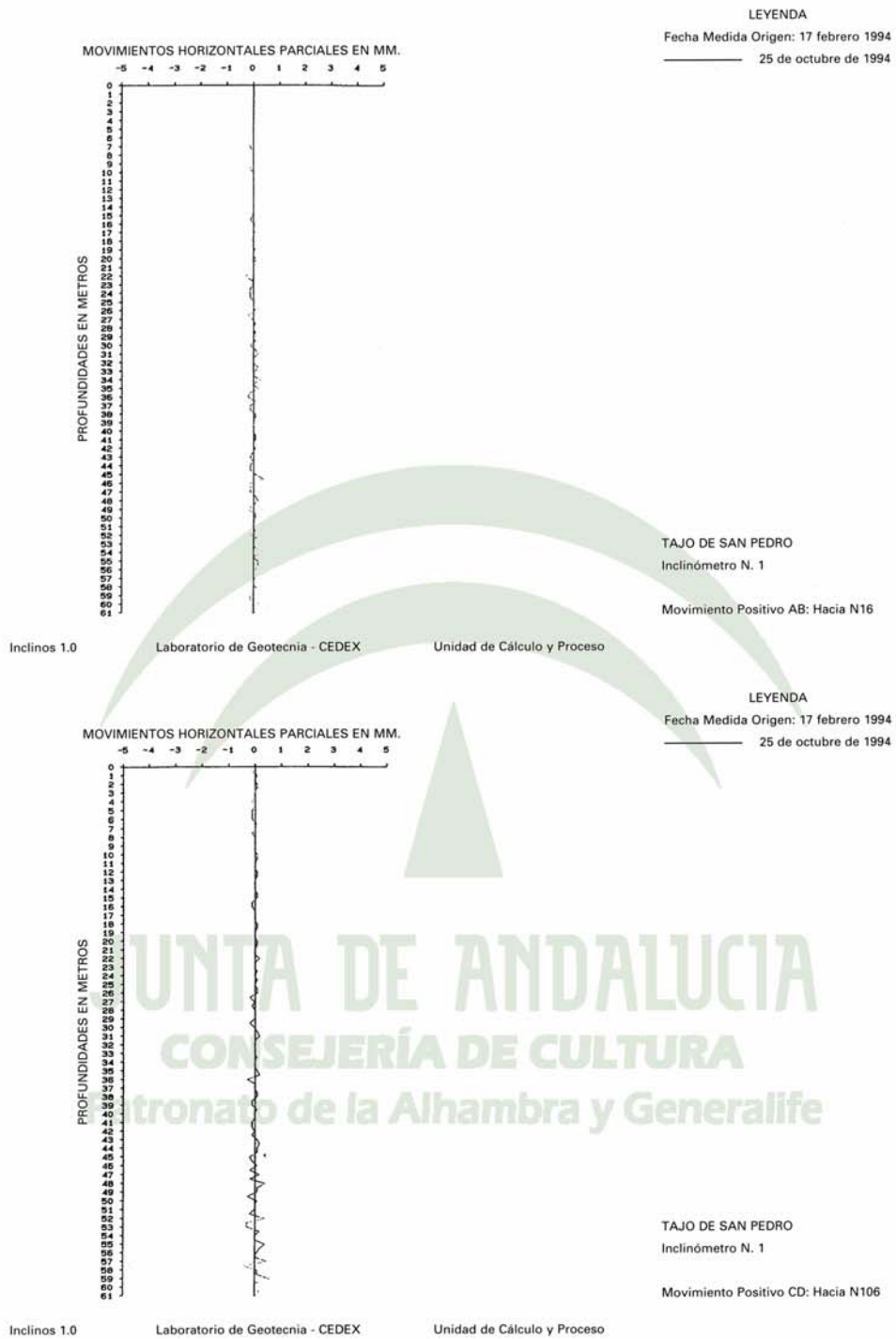


Fig. 4. Gráfico de los movimientos parciales registrados en el inclinómetro del Tajo de San Pedro.



Fig. 4bis. Gráfico de los movimientos totales registrados en el inclinómetro del Tajo de San Pedro.

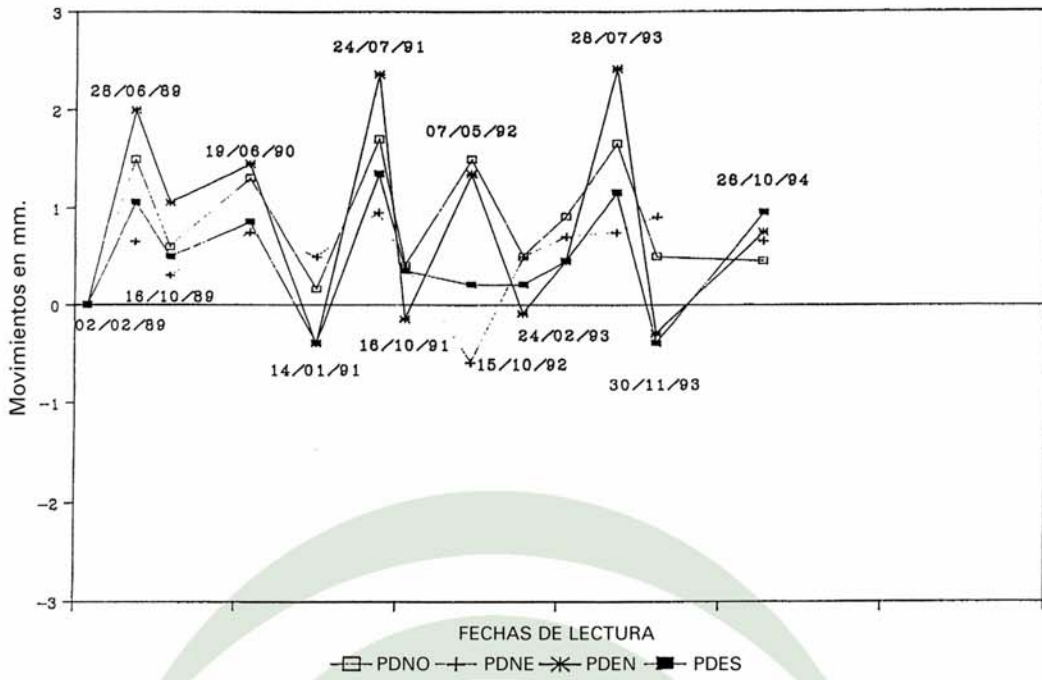


Fig. 5. Torre de los Picos. Desplomes.

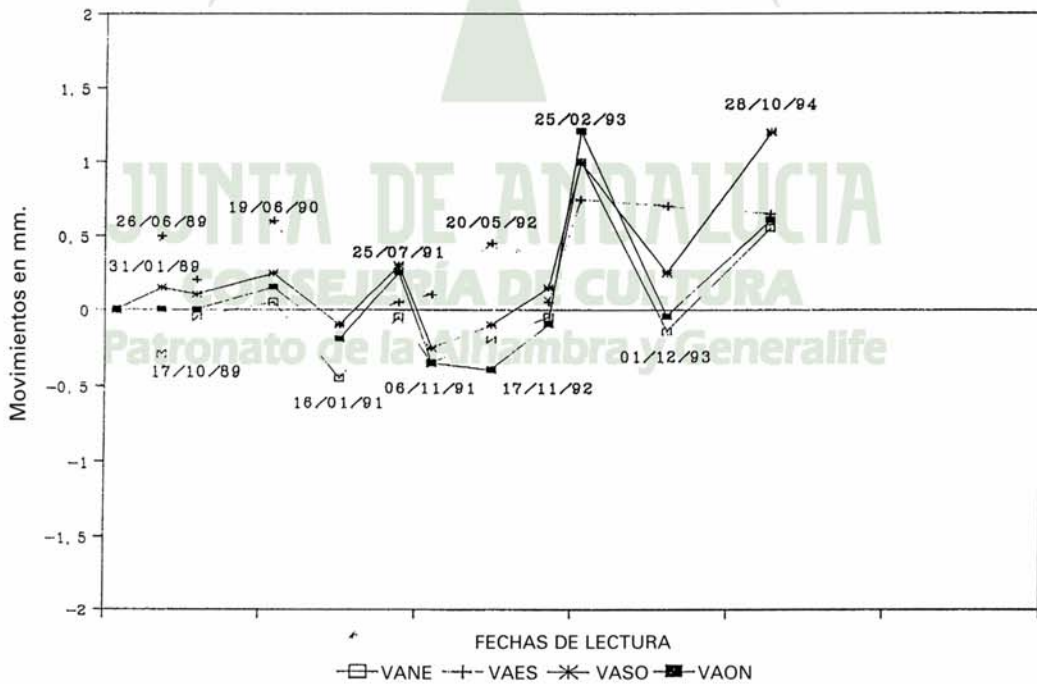


Fig. 6. Torre de la Vela. Mov. ver. (+ asientos - levantamientos).

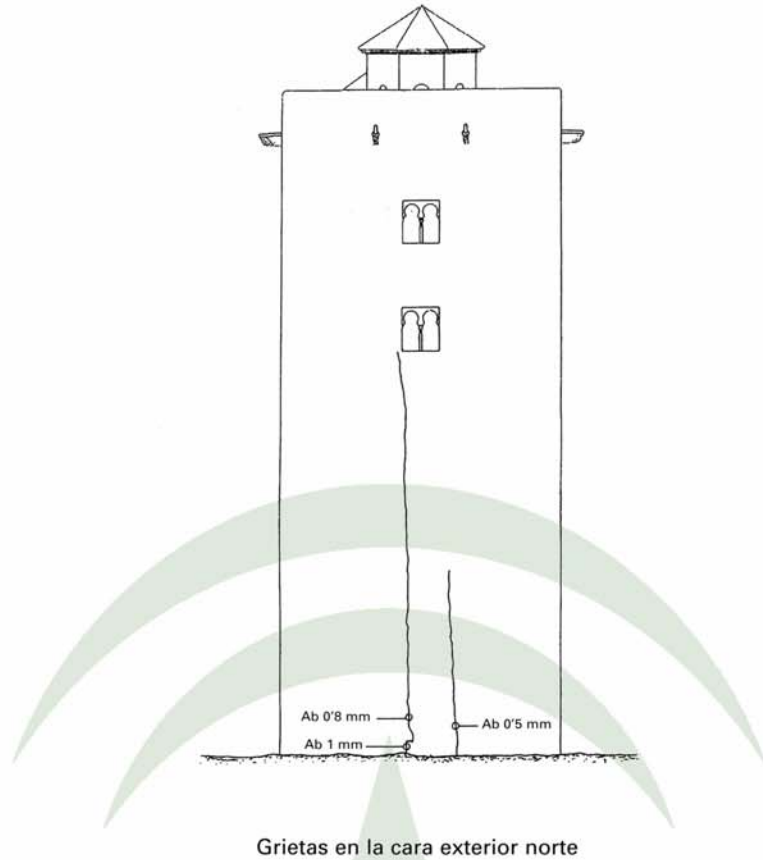


Fig. 7. Representación de grietas en las caras exteriores sur y norte de la Torre de las Infantas.

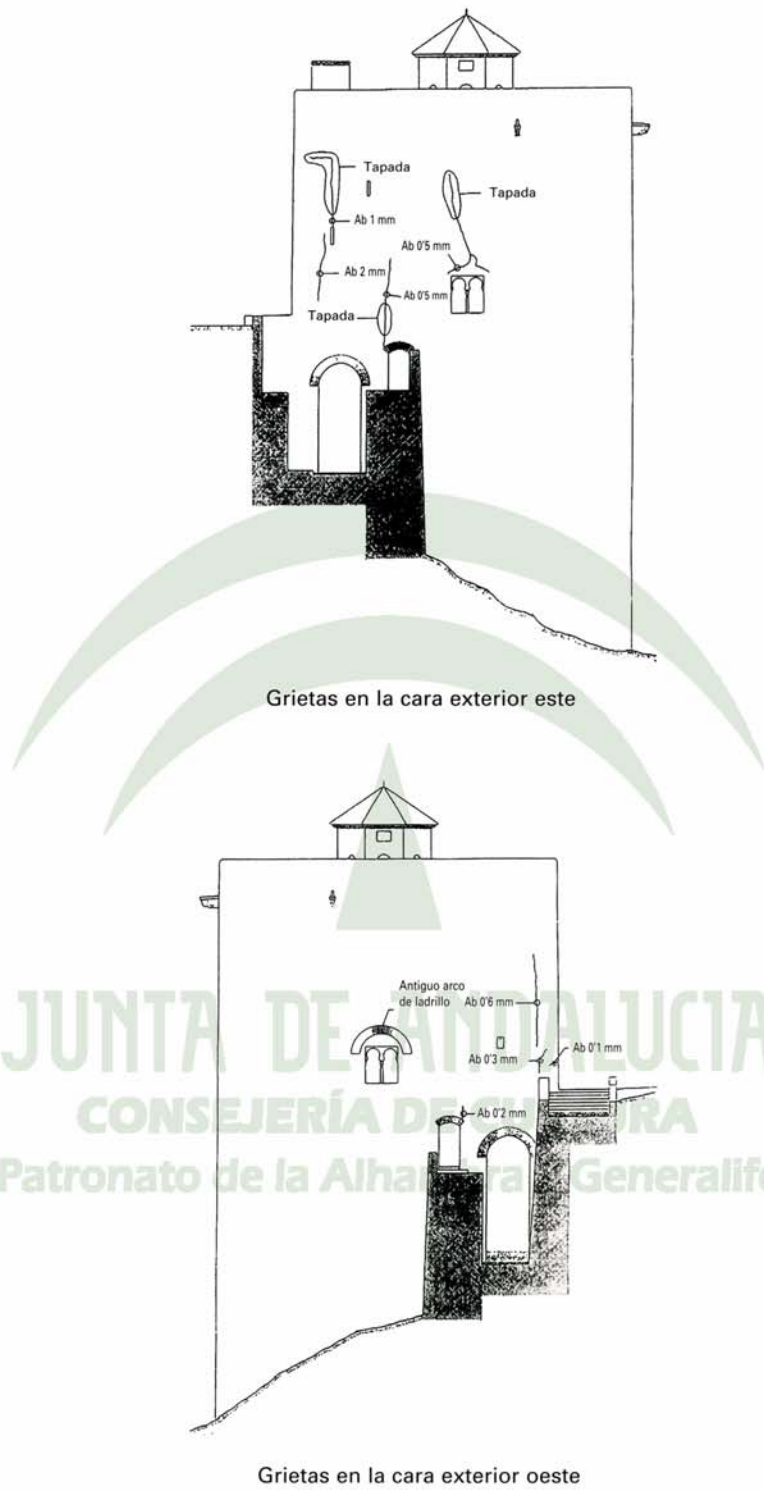
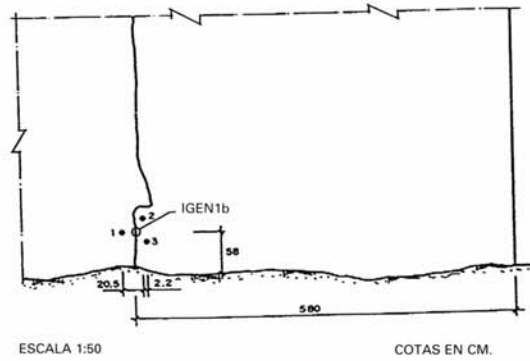


Fig. 7bis. Representación de grietas en las caras exteriores este y oeste de la Torre de las Infantas.

FICHA 2

DENOMINACION: IGEN1b

FECHA ORIGEN: 28-2-1991



• REFERENCIAS DE CONTROL

NOTA: La distancia entre las referencias 1-2, 2-3 y 3-1 es de 25 cm. y las referencias 2 y 3 están situadas en una paralela a la grieta.

TORRE DE LAS INFANTAS: GRIETA CARA EXTERIOR NORTE

CARACTERISTICAS: Abertura 1 mm
Labios en el mismo plano

TORRE DE LAS INFANTAS
PUNTO IGEN1b (Grieta exterior)

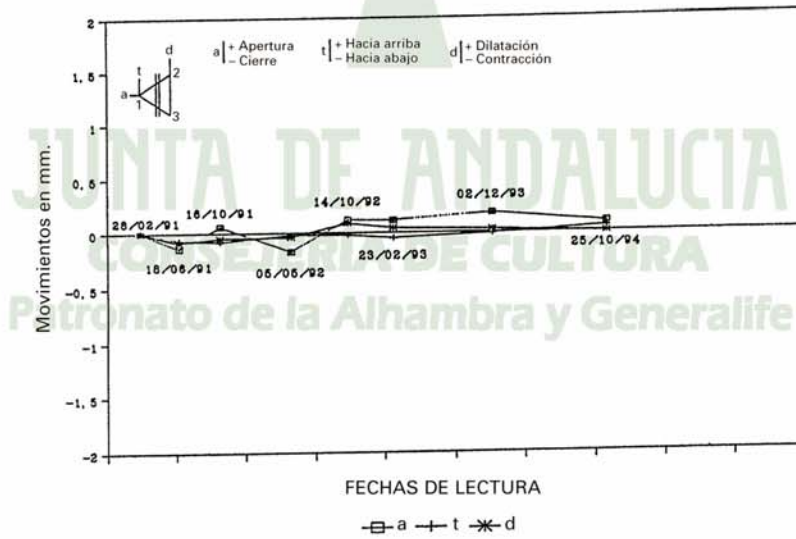


Fig. 8. Ficha. Grieta IGEN 16 de la Torre de las Infantas.

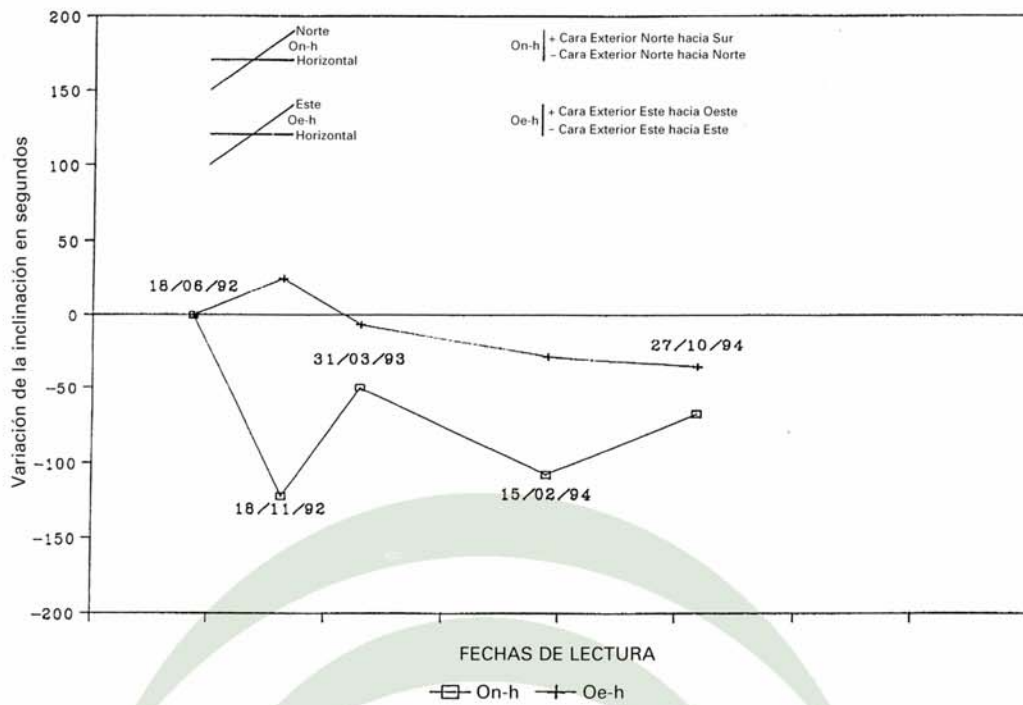


Fig. 9. Torre de Mohamed: inclinaciones. Placa Tiltmeter: Mitne.

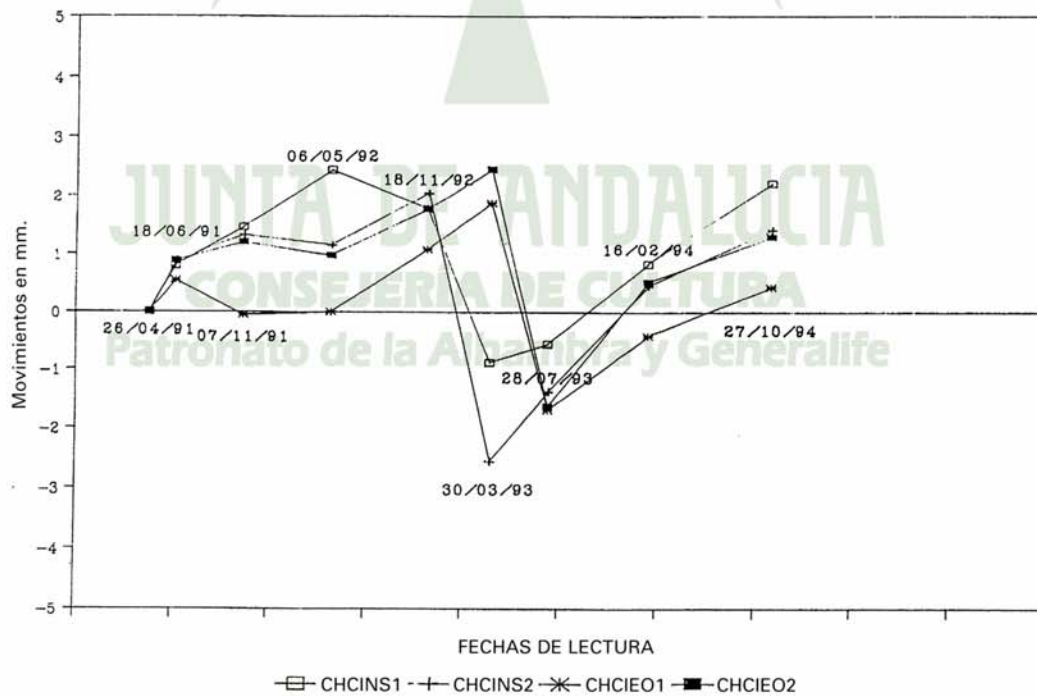


Fig. 10. Torre de Comares (planta de cubiertas). Mov. hor. (+ apertura - cierre).

