



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

ESTUDIOS ESPECIALES DE CARACTERIZACION GEOTECNICA Y REFUERZO DEL TERRENO

ANTONIO SANTOS MORENO *

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 murallas y torres, aconsejaron iniciar los estudios a que se refiere esta Jornada, tendentes a dictaminar el origen de los desperfectos y a controlar su evolución. Lógicamente, el objetivo de índole práctica de estos análisis es la recomendación fundamentada, llegado el caso, de adoptar medidas de refuerzo y corrección tendentes a la preservación del monumento.

Uno de los problemas que se plantean para establecer la patología geotécnica de las construcciones es la dispersión 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 difíciles de investigar. Las reformas interiores acometidas dentro de muchas de las torres han modificado, en unas fechas y con un alcance pocas veces documentado, sus características estructurales. Una de las 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 los 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 refor-

zar su sustentación. De hecho, la fecha grabada en la dovela central de la puerta de acceso a la Torre, 1500, señala presumiblemente el tiempo de la última reestructuración importante acometida en la construcción, y en esos momentos 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 las edificaciones instrumentadas reflejan una situación de equilibrio durante el período de medida. Las lecturas acusan variaciones cíclicas correspondientes a estaciones frías o calurosas (la apertura de grietas en invierno y su cierre aparente en verano son manifestaciones claras de este proceso). Sin embargo, hasta hace pocos meses, se ha estado atravesando un largo período de sequía que, al concluir, aconseja la continuación de estas medidas de control al objeto de detectar posibles evoluciones locales de los movimientos y deformaciones.

Complementariamente al proceso de seguimiento y estudio de las construcciones analizadas (Torres de los Picos, de la Vela, de Comares, de las Infantas, del Capitán, de Mohamed y de las Damas) se han efectuado intervenciones locales para plantear y controlar el refuerzo de alguna construcción en situación precaria. Así ha sucedido, y se contempla detalladamente en el siguiente apartado, en relación con el muro del ciprés del patio de la Sultana del Generalife, que amenazaba desplomarse totalmente por empuje de tierras.

En el Sector de Secano se ha analizado la problemática del perímetro amurallado y se ha recomendado una línea complementaria de estudio así como unas actuaciones a corto plazo, tendentes a mejorar las condiciones estructurales y de cimentación del conjunto.

También en zonas de ladera, vecinas de edificaciones, que se han estudiado por su configuración geométrica más crítica, se ha llegado a soluciones concretas. Así, en el apartado correspondiente, se sintetizan las medidas recomendadas en el Tajo de San Pedro para garantizar a largo plazo su actual situación de estabilidad.

En la Cuesta de los Chinos, que fue uno de los primeros estudios completados, se apreció que no existen condiciones de inestabilidad generalizada en la vaguada que recorre, siendo tan sólo posible el desprendimiento eventual de cantos (los chinos a que hace referencia la denominación de la cuesta) al producirse, por las aguas de escorrentía, un lavado de la matriz areno-arcillosa que los envuelve. Por ello, en este emplazamiento se recomendó un saneo periódico de los taludes, con una solución de zanja para recoger las piedras o el empleo de una malla de protección y guiado, cuyo impacto visual es prácticamente inexistente.

PLANTEAMIENTO Y CONTROL DEL REFUERZO DEL TRASDÓS DEL MURO DEL CIPRES EN EL PATIO DE LA SULTANA (GENERALIFE)

Debido a la situación de desplome del muro, se recomendó, por parte del laboratorio de Geotecnia del CEDEX, el refuerzo de los rellenos y suelo del trasdós por medio de inyecciones de fracturación hidráulica, sistemáticas, a través de tubos de acero dotados de manguitos de goma a modo de válvulas antirretorno, con un control continuo de movimientos horizontales y verticales del muro, de modo que este último quedara libre de misión resistente, al resultar autoestable la zona tratada.

El control de los resultados del tratamiento se llevó a cabo mediante la caracterización de la compacidad del suelo del trasdós del muro, a través de técnicas geofísicas, antes y después de efectuar las inyecciones. Por este motivo los trabajos de control se realizaron en dos fases. La primera, efectuada durante la semana del 23 al 27 de Abril de 1991, permitió determinar los parámetros geofísicos en el trasdós del muro antes de proceder a su mejora. La segunda, realizada durante la tercera semana de Julio y tercera de Septiembre del mismo año, estuvo dirigida a determinar, en los mismos puntos que en la primera fase, los cambios experimentados en las propiedades físicas del material después de haber sido inyectado.

TECNICAS UTILIZADAS

En las figs. 1 y 2 se indica la situación de los distintos trabajos de auscultación.

En las dos fases se dispuso de cuatro sondeos de 86 mm de diámetro y 6 m de profundidad, perforados a destroza dos a dos, en distintas zonas del área de tratamiento.

Diagrafias de sondeos

En los sondeos se efectuaron diagrafias mediante tres sondas: gamma natural, gamma-gamma y neutrón-neutrón. Como es sabido, los registros de radiación gamma natural son indicadores cualitativos de la presencia de arcilla en los niveles atravesados por los sondeos. Mediante la emisión y detección de rayos gamma se investiga la variación de densidad húmeda del suelo. Finalmente, la sonda neutrón-neutrón permite estudiar la variación de contenido de agua, o de porosidad cuando los materiales estudiados están saturados y no existe en ellos materia orgánica.

Ensayos "cross-hole"

Entre los pares de sondeos más próximos se efectuaron ensayos *cross-hole* cuyo objetivo (Fig. 3) fue el de estimar la velocidad de propagación directa de las ondas longitudinales y transversales entre puntos de la masa de suelo auscultada, situados en un mismo plano horizontal. A partir de los registros de estas velocidades es posible estimar los parámetros dinámicos de muy pequeña deformación del terreno.

Análisis espectral de ondas superficiales

El análisis espectral de ondas superficiales (AEOS) está basado en el carácter dispersivo de las ondas que se propagan por la superficie de un sistema multicapa. El fenómeno de dispersión se produce porque las ondas con diferentes longitudes de onda afectan a distintas partes de un mismo sistema multicapa. Así, por ejemplo, las de baja frecuencia (gran longitud de onda) alcanzarán capas más profundas que las de alta frecuencia (pequeña longitud de onda) que tan sólo afectan a las capas más superficiales.

Cada una de las ondas, i , que componen el tren de ondas generado en la superficie del sistema multicapa por una fuente de impacto (Fig. 4) se caracteriza por la velocidad C_i con que se propaga por dicha superficie y por su longitud de onda, λ_i , o frecuencia, f_i , siendo:

$$\lambda_i = \frac{C_i}{f_i}$$

donde λ_i se expresa en metros, C_i en m/seg y f_i en ciclos/seg.

La curva que identifica para cada punto del terreno la velocidad con que se propaga cada onda en

función de su longitud de onda o de su frecuencia se denomina curva de dispersión y contiene información de las características geométricas y elásticas del sistema multicapa en dicho punto.

Resistividad eléctrica

Todas las técnicas de resistividad eléctrica (sondeo eléctrico vertical, calicata eléctrica, dipolos, mise-à-la masse, ...) se basan en que la distribución del potencial eléctrico alrededor de un electrodo de corriente hincado en el suelo depende de la resistividad eléctrica del terreno que se encuentre a su alrededor. Dicha propiedad se representa por ρ y se mide en ohmios x metro.

Cuando en un terreno se hincan dos electrodos tales como los A y B de la figura 5 y se crea entre ellos una corriente continua de intensidad I se puede medir la diferencia de potencial eléctrico, V , entre otros dos electrodos M y N , y determinar la resistividad, ρ del terreno mediante la expresión:

$$\rho = 2\pi K \frac{V}{I}$$

donde K es un factor geométrico que sólo depende de la disposición de los electrodos.

En la práctica las medidas se realizan siempre en materiales heterogéneos por lo que, al emplear la fórmula antes descrita, se calcula una "resistividad aparente", ρ_a , cuyas variaciones obtenidas a lo largo de un perfil determinado (modificando o manteniendo constante el valor de K) pueden utilizarse cualitativamente como indicadores de variaciones existentes en la composición del terreno o, cuantitativamente, una vez procesados e invertidos los datos obtenidos "in situ", para determinar la resistividad real y el espesor de las distintas capas.

En el dispositivo dipolo-dipolo que se ha utilizado para investigar las variaciones de resistividad en el trasdós del muro, antes y después del tratamiento, se mantiene constante la distancia x (Fig. 6) entre los electrodos de cada par, y se separan ambas parejas (o dipolos) a distancias $n x$ entre sí, siendo n un número entero que normalmente varía de 1 a 6.

La resistividad aparente del terreno, que se suele asociar al punto medio equidistante de ambos dipolos, viene entonces dada por la ecuación:

$$\rho_a = M n (n + 1) (n + 2) x \frac{V}{I}$$

La figura 6 refleja asimismo el método propuesto por Marshall y Madden para representar, a lo largo del perfil investigado, la "pseudosección" de resistividades aparentes del terreno.

Geo-radar

El geo-radar se fundamenta en la emisión de pulsos electromagnéticos de muy corta duración (1-10 ns), en la banda UHF/VHF (100-1.000 MHz), que se repiten con una frecuencia de 50 KHz.

Estos impulsos son agrupados en ondas de barrido compuestas por 1.000-1.500 de ellos, cantidad que es decidida por el operador según lo aconsejan las circunstancias de cada caso.

Cuando, mediante una antena emisora, se generan dichos impulsos, éstos, en su trayectoria a través del subsuelo, pueden encontrarse con un cambio de estrato o con algún objeto o resto enterrado; en definitiva, lo que detectan es un cambio en las condiciones de transmisión electromagnética del medio atravesado. Ello produce que parte de la energía se refleje, mientras el resto continúa su camino (Fig. 7).

La antena lleva conectado el circuito electrónico receptor; una vez que las reflexiones la alcanzan, éste convierte el pulso electromagnético de alta frecuencia en otro en la banda de audiodfrecuencias para, tras esto, ser enviado a través de un cable coaxial a una unidad central, donde la señal es reconstruida además de poder ser procesada por el operador que maneje los controles.

La unidad central está conectada a una registradora gráfica. Cada impulso que recibe la impresora se materializa en un trazado sobre el papel; de esta forma, moviendo lentamente la antena sobre la superficie del terreno, y sincronizando ambas velocidades (las de la antena e impresora) se puede obtener un registro continuo en el papel que refleja la estratigrafía del subsuelo en la dirección en que se mueve la antena. El registro de la figura 8 recoge, en abscisas, el desplazamiento de la antena sobre el terreno o movimiento lateral, y el eje de ordenadas refleja el tiempo invertido por el pulso en recorrer el doble camino antena-reflector-antena, también llamado tiempo doble de reflexión, y cuyas unidades vienen dadas en ns (10^{-9} s). Para convertir la escala vertical en profundidades se necesita conocer la velocidad de propagación de la onda en el terreno, que está relacionada con la constante dieléctrica relativa del material, ϵ_r , mediante la siguiente ecuación aproximada:

$$V_m = \frac{C}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

siendo:

V_m = velocidad de transmisión de las ondas en el medio

C = velocidad de la luz en el vacío (0'3 m/ns)

ϵ_r = constante dieléctrica del material

En el estudio realizado se ha empleado antena de 120 MHz.

RESULTADOS OBTENIDOS

Resultados de las diagrfias de sondeos

A modo de síntesis de resultados, la Tabla I proporciona los valores medios de las c.p.s. (cuentas por segundo) obtenidas en cada uno de los emplazamientos de los cuatro sondeos, antes y después del tratamiento.

Donde más claramente se observa la efectividad del tratamiento ha sido en los registros neutrón-neutrón en los que se observa un aumento importante de las c.p.s. (disminución de porosidad) después de la inyección, indicativa de la sustitución de agua por cemento en el espacio intersticial del relleno del trasdós del muro.

TABLA I
VALOR MEDIO DE CADA REGISTRO ANTES Y DESPUES DE LA INYECCION

SONDEO	PROFUNDIDAD MEDIA ALCANZADA EN LOS REGISTROS (m)	GAMMA-GAMMA (c.p.s.)	NEUTRON-NEUTRON (c.p.s.)	GAMMA NATURAL (c.p.s.)
CH-1 (antes)	5'6	32.830	170	16
CH-1 (después)	6'5	30.280	960	18
CH-1' (antes)	5'4	32.170	230	21
CH-1' (después)	6'6	32.260	890	21
CH-2 (antes)	5'5	34.730	150	20
CH-2 (después)	6'5	32.450	920	21
CH-2' (antes)	5'7	37.050	345	18
CH-2' (después)	6'5	36.050	1.020	24

Resultados de ensayos "cross-hole"

El estado muy deficiente de compacidad del relleno del trasdós del muro, antes del tratamiento, impidió que se pudiera cementar adecuadamente el espacio comprendido entre la entubación de los sondeos y el relleno. Por ello no pudieron detectarse con claridad los instantes de llegada de las ondas en los ensayos realizados antes del tratamiento.

Una vez tratado el trasdós del muro con in-

yecciones se pudo mejorar notablemente el contacto entubación-terreno, obteniéndose registros de muy buena calidad. En la Tabla II se indican la velocidad de las ondas longitudinales, V_p , y transversales, V_s , obtenidas después del tratamiento en los dos pares de sondeos ensayados CH-1/CH-1' y CH-2/CH-2'.

Puede verse que las ondas tangenciales superan velocidades de 600 m/seg, lo que indica la mejora introducida en el trasdós del muro.

Patronato de la Alhambra y Generalife
CONSEJERÍA DE CULTURA
TABLA II
VELOCIDADES DE PROPAGACION V_p Y V_s OBTENIDAS EN LOS ENSAYOS CROSS-HOLE DESPUES DE LA INYECCION

PROFUNDIDAD	V_p (m/seg)		V_s (m/seg)	
	CH-1/CH-1'	CH-2/CH-2'	CH-1/CH-1'	CH-2/CH-2'
1	1.390	1.490	610	610
1'5	1.200	2.110	600	820
2'0	1.440	2.115	690	880
2'5	1.550	2.290	750	1.055
3'0	1.550	1.670	750	650
3'5	1.540	1.960	900	920
4'0	1.970	1.930	920	840
4'5	1.800	—	770	—
5'0	1.800	—	810	—
5'5	1.665	—	880	—

Resultados del análisis espectral de ondas superficiales

Las figuras 9 y 10 proporcionan los conjuntos de curvas de dispersión obtenidos antes y después del tratamiento. Se observa cómo para longitudes de onda por debajo de 9 m (profundidades inferiores a unos 5 m) desaparecen en la figura 10 los tramos de la figura 9 con velocidades de fase inferiores a 300 m/seg desplazándose el conjunto de las curvas de dispersión hacia valores de c netamente mayores, lo que implica incrementos de V_s variables entre el 40 y el 100% de los valores obtenidos antes de la inyección.

Resultados de las medidas de resistividad eléctrica

La figura 11 recoge los conjuntos de valores de resistividad aparente correspondientes a un mismo valor de n obtenidos antes de la inyección. Se observa que a medida que aumenta n (mayor profundidad investigada) disminuye el valor de la resistividad aparente, lo que implica un aumento en el grado de saturación del relleno.

Después de la inyección se obtuvo un valor uniforme de la resistividad aparente del orden de 70 ohm-m indicativa de un terreno tratado con lechada de cemento.

Resultados del geo-radar

Las figuras 12 y 13 recogen los perfiles de geo-radar, en la línea P-3 de la figura 2, antes y después de la inyección.

La figura 12 refleja una anomalía, hueco o cavidad, a profundidad aproximada de 1'20 m, correspondiente a un tiempo doble de reflexión de 30 ns.

La figura 13 muestra cómo desaparece dicha anomalía, una vez llevado a cabo el tratamiento del relleno.

RECOMENDACIONES PARA POSIBLES ACTUACIONES GEOTECNICAS EN EL SECTOR DE SECANO

Esta zona consiste en un perímetro amurallado de 300 m, que incluye siete torres.

Los reconocimientos efectuados se justifican por la aparición de determinadas grietas. En concreto, entre la muralla y el camino de ronda que la recorre, así como otras, con la misma orientación paralela a la ladera, en algunas torres.

Los sondeos realizados encuentran un escaso espesor de recubrimiento (máximo de 1'5 m), en su mayor parte flojo, al pie de la muralla, y un escaso empotramiento de la misma, que apoyaría, prácticamente sin confinamiento lateral, sobre la "formación Alhambra" (conglomerado de cementación variable).

En los puntos reconocidos no se han apreciado, sin embargo, deslaves del subsuelo en la zona de apoyo.

Un primer análisis de los resultados parece indicar que las mencionadas grietas visibles pueden ser consecuencia de la propia esbeltez de los muros y no derivar fundamentalmente de un problema de cimentación. No obstante, la precariedad del apoyo no excluye que problemas vinculados a ella pudieran llegar a concretarse.

Por ello se han recomendado actuaciones de dos tipos:

- Incrementar la trabazón estructural de las construcciones afectadas por el tipo de grietas a que se ha hecho referencia, mediante elementos de cosido que solidaricen los muros con el cuerpo de las construcciones.
- Mejorar el apoyo de la muralla, generando una zona de confinamiento que limite la posibilidad de deformación en esta zona, asegurando así su estabilidad a medio y largo plazo. Para conseguir este confinamiento se considera suficiente estabilizar un prisma de terreno adyacente a la cimentación (mediante inyección o tratamiento similar de masa), profundizando unos 3 m en el terreno. El límite de la zona tratada no debe rebasar la relación 1H:2V bajo el paramento exterior de la muralla, según refleja el esquema recogido en la figura 14.

ACTUACIONES RECOMENDADAS EN EL TAJO DE SAN PEDRO

Dada la necesidad de asegurar la integridad del Tajo, por los efectos que una patología en el mismo puede generar tanto en el recinto de la Alhambra como en su entorno, se considera necesario acometer una serie de trabajos geotécnicos que minoren estos riesgos. Dentro del conjunto de actuaciones posibles, se recomiendan las siguientes:

- Consolidación y claveteado de la coronación y paredes del Tajo, tendente tanto a mejorar las características geotécnicas del terreno como a impedir su paulatina desagregación de masa por meteorización. Con esta consolidación se garantizaría una mejora de la estabilidad general del talud, evitándose desprendimientos en la zona tratada.
- Protección del pie del Tajo para impedir socavaciones del mismo producidas por eventuales desbordamientos del río Darro.

Dado el entorno monumental en que estas actuaciones habrían de concretarse, el resultado final de las mismas no debe suponer impacto visual sobre el mismo.

Por ello, en el primer caso, se recomienda tratamientos de consolidación que afecten al cuerpo del talud y que no modifiquen su aspecto exterior.

En el segundo caso, una protección del talud mediante escollera podría ser el procedimiento de protección más adecuado. Sin embargo, esta actuación podría resultar innecesaria si se acomete la regulación del río Darro, circunstancia ésta que se derivaría de la construcción de una presa en su cabecera. Para el diseño de la escollera habría que tener en cuenta la incidencia tanto de los recubrimientos existentes al pie del talud como la proximidad del río, cuya margen izquierda se vería afectada por el tratamiento. Dado que la presa va a ser construida en un próximo futuro, no se considera imprescindible una intervención inmediata en este sentido. El manto de materiales acumulado al pie del Tajo configura un terraplén cuya presencia supone, en sí misma, una protección que ha de complementarse para evitar su arrastre. Una adecuación de dicho terraplén, probablemente necesaria desde un punto de vista estético, contribuiría a su propia estabilización.

Por consiguiente, la actuación geotécnica más necesaria se concretaría en una consolidación de la coronación y franja más vertical del Tajo. En la figura 15 se representa esquemáticamente una sección transversal del prisma de terreno a tratar, y una planta de la zona que debería ser, como mínimo, sometida a tratamiento.

En principio se llevarían a cabo dos fases de refuerzo del terreno. La primera fase, realizada mediante un equipo de perforación muy ligero, que no introduzca vibraciones apreciables en el terreno a tratar, estaría destinada a preparar la coronación del Tajo, en zona de camino, para permitir el posterior acceso de equipo o equipos de mayor potencia para alcanzar, a rotoperCUSión, la profundidad prevista, del orden de 35 m.

El procedimiento de tratamiento debe permitir, además de respetar esencialmente el aspecto externo del Tajo, asegurar la ausencia de movimientos superiores a 1 mm en la zona tratada, contrastables tanto en vertical (mediante nivelación permanente) como en horizontal (a través de extensómetros de referencia sellados al terreno en trasdós del prisma de tratamiento).

Una técnica que puede permitir este tipo de control, es, entre otros procedimientos aplicables, la de inyecciones del terreno realizadas a través de tubos de manguitos, con separación entre manguitos no superior a 0'33 m (3 manguitos por metro), con un control permanente de viscosidad, presión y ritmo de admisión de mezclas y con limitación muy estricta del volumen máximo de mezcla de inyección a aplicar por fase y manguito, con vigilancia continua de

posibles escapes de mezcla al exterior. El tubo sellado al terreno, a través del cual se realizan las inyecciones, debe dimensionarse, en su sección final de acero, de modo que la zona tratada quede debidamente bulonada.

En este sentido, la inyección del prisma de terreno previsto se ha de hacer a través de tubos distribuidos en abanicos cuya configuración permita asegurar no sólo el tratamiento adecuado del volumen de terreno previsto, sino, asimismo, el bulonado o claveteado, en direcciones complementarias transversales a las orientaciones de superficies potenciales de inestabilidad.

Para la implantación de los abanicos, en caso de aplicación de este sistema de tratamiento, se estima preciso considerar separaciones medias entre abanicos de 3 m, profundizando unos 5 ó 6 m por debajo del quiebro del perfil que se produce en la pared a unos 25 m de la coronación del Tajo, en su zona más abrupta, como refleja el esquema de la figura 15.

Los abanicos se abrirían de forma que la separación al final de los taladros de inyección, en la base del prisma, no superara los 2'5-3 m (Fig. 16).

Las inyecciones se efectuarían con presiones de cierre de manguitos comprendidas entre 5 y 10 Kg/cm², debiendo acomodar en todo momento el proceso de inyección a las referidas limitaciones de deformación del terreno tratado.

La disposición de los abanicos propuesta permite configurar unos contrafuertes de terreno tratado entre los cuales se incluyen zonas drenantes de aproximadamente 1 m de anchura, necesarias para evitar la acumulación de agua en el trasdós de la zona tratada.

CONCLUSIONES

El Convenio de colaboración entre el Patronato de la Alhambra y Generalife y el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) ha involucrado, desde 1988, al Laboratorio de Geotecnia del CEDEX en estudios destinados a correlacionar los desperfectos visibles en las edificaciones del conjunto monumental con el comportamiento geomecánico, a corto y largo plazo, de sus cimentaciones y analizar la interacción estática y dinámica terreno-estructuras como elementos básicos para dictaminar la posible influencia del terreno en los daños y poder recomendar medidas geotécnicas de corrección y refuerzo tendentes a la preservación del monumento.

En paralelo con estos estudios se han planteado soluciones y se han desarrollado métodos de control de su eficacia.

En apartados anteriores se recoge el control realizado en la actuación más urgente, correspondiente

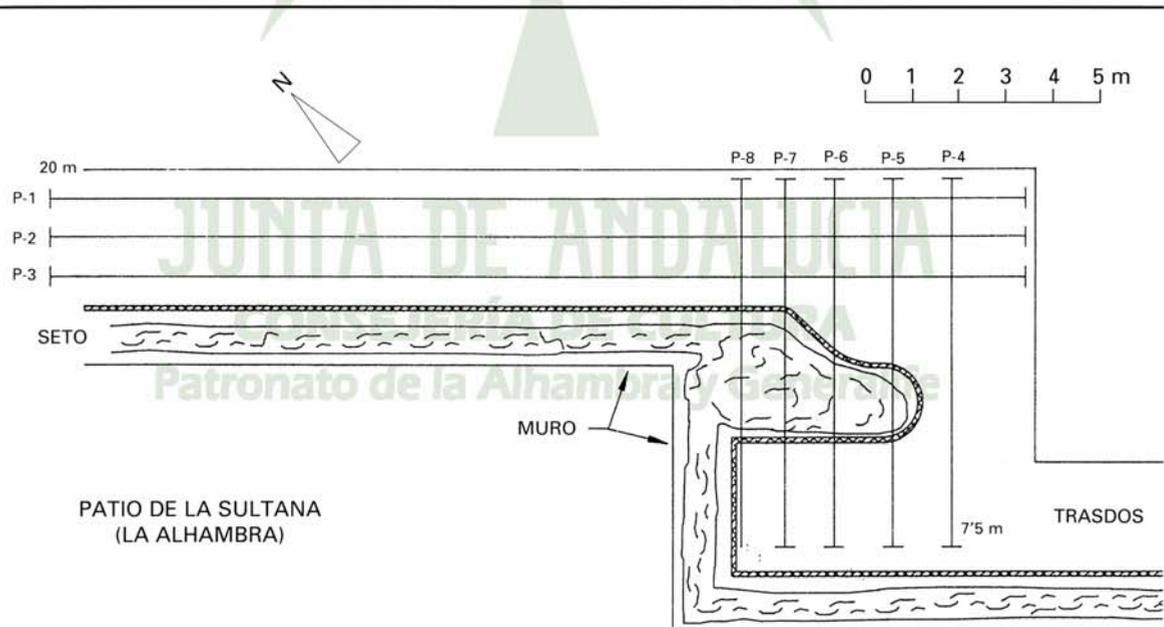
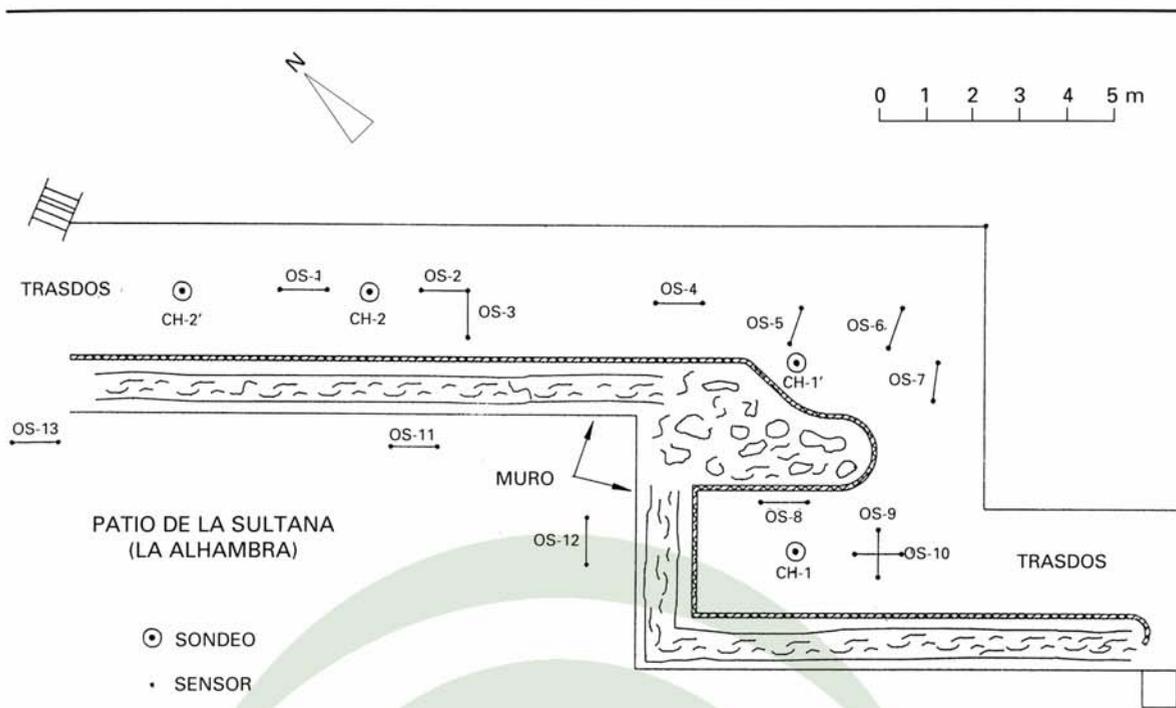
a la estabilización del muro del ciprés, en el patio de la Sultana, del Generalife, amenazado de ruina por desplome.

Se han recogido también los refuerzos y estabilizaciones del terreno que se han recomendado para la parte externa de las murallas y torres de la zona de secano y para el trasdós de la parte superior del Tajo de San Pedro. Para la conservación de la parte inferior del Tajo se contemplan, en paralelo con la

Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, medidas de protección de márgenes del río Darro frente al Tajo, si bien la más decisiva sería, sin duda, la regularización del río mediante un futuro embalse de laminación de riadas, cuyo efecto beneficioso se extendería grandemente a la propia ciudad de Granada.

* CEDEX, Laboratorio de Geotecnia.





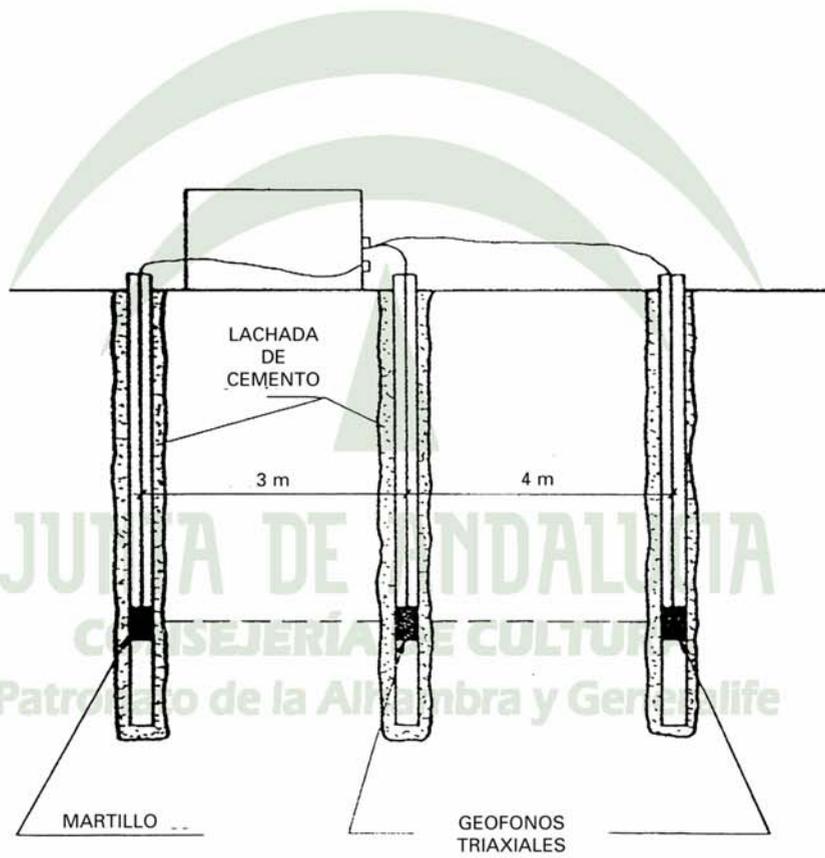
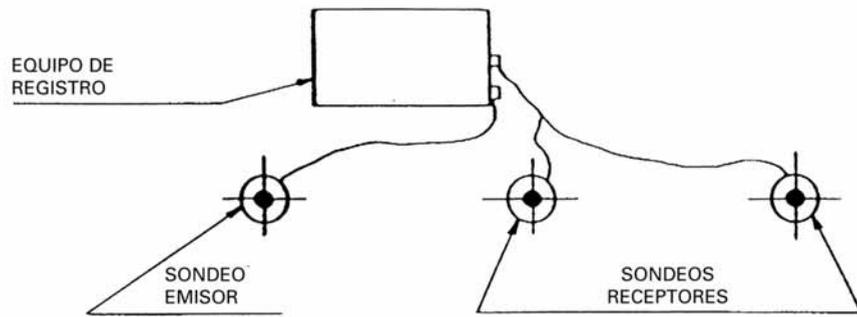


Fig. 3. Ensayos "cross-hole".

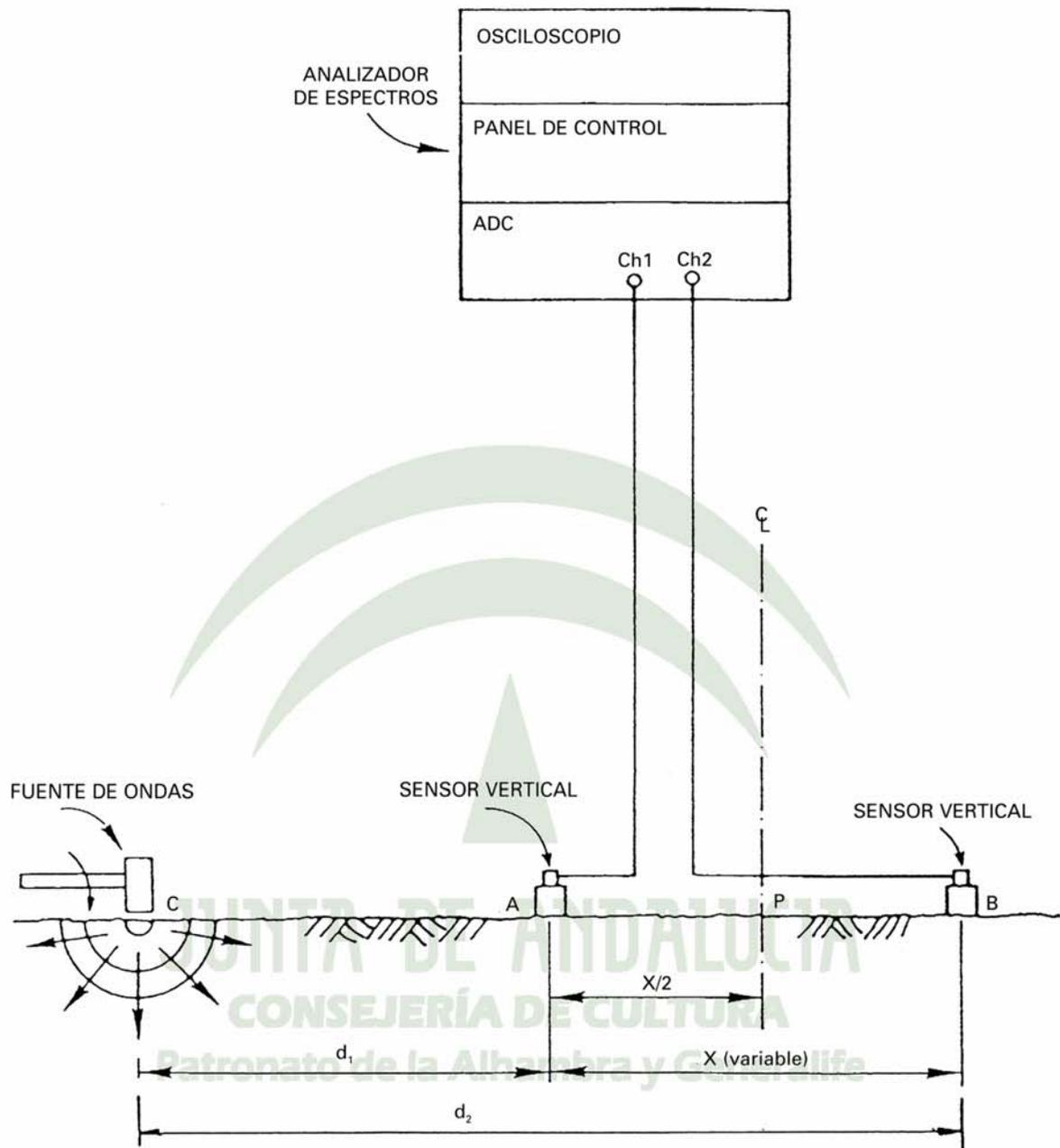


Fig. 4. Disposición de equipos para el análisis espectral de ondas superficiales.

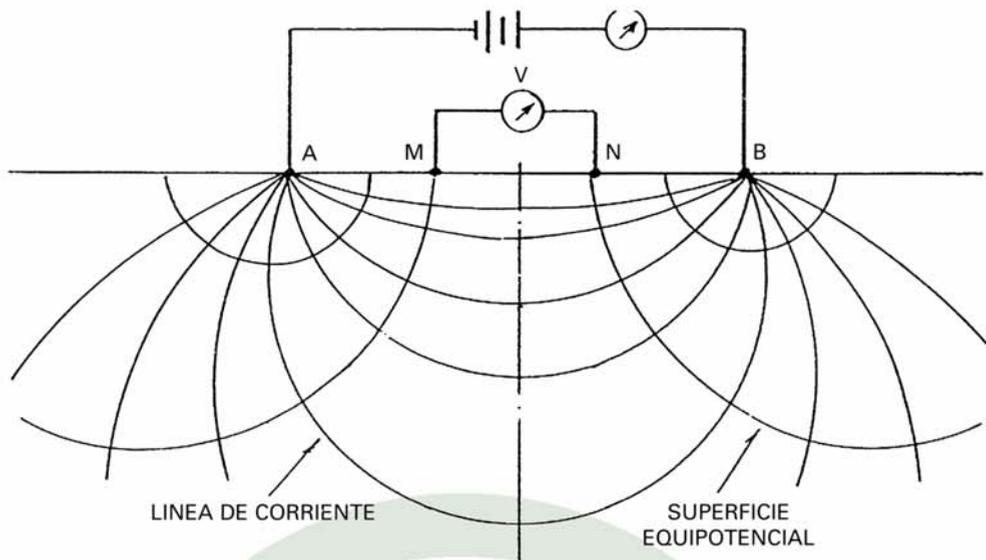


Fig. 5. Campo eléctrico creado entre dos electrodos de corriente A y B.

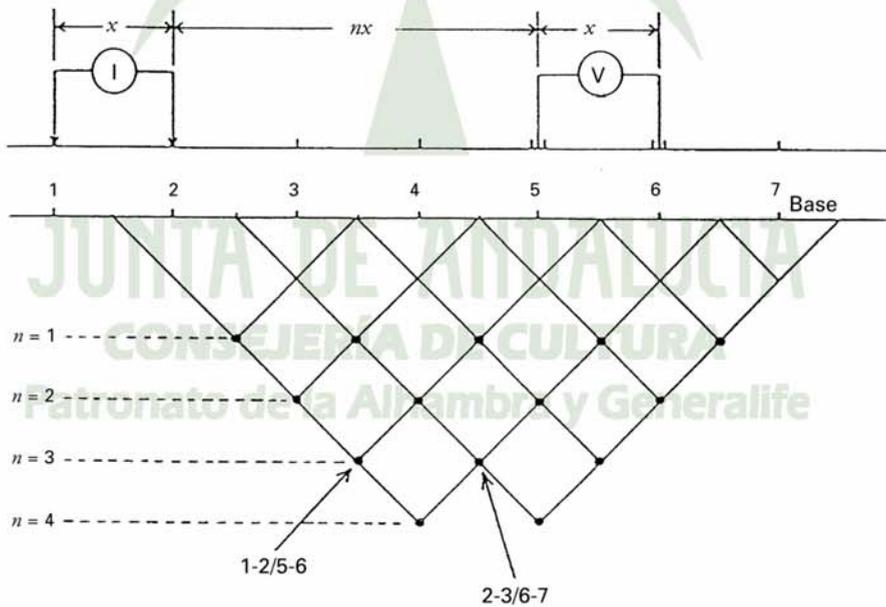


Fig. 6. Sistema sugerido por Marshall y Madden para representar mediante pseudo-secciones los datos obtenidos con el dispositivo dipolo-dipolo.

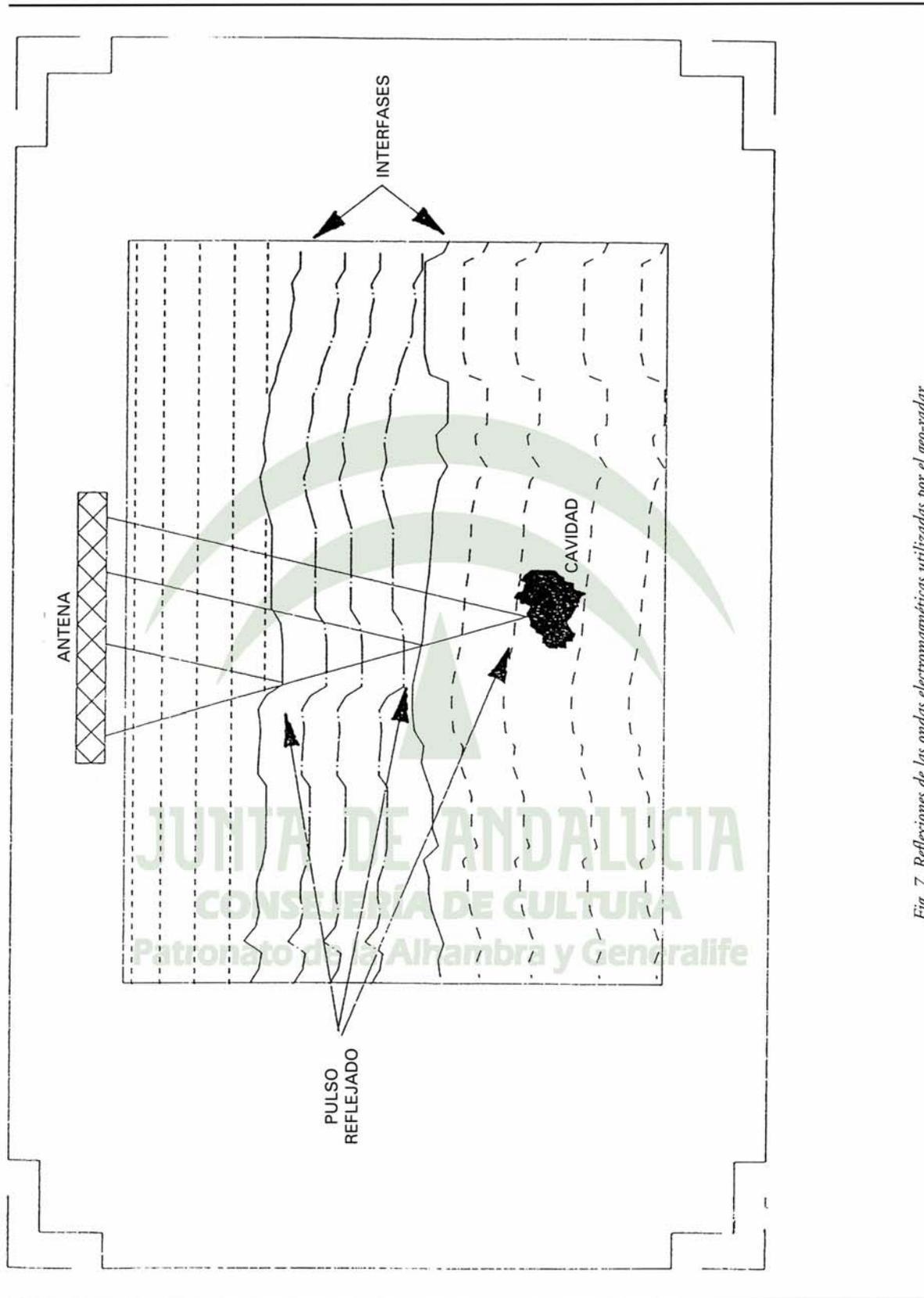


Fig. 7. Reflexiones de las ondas electromagnéticas utilizadas por el geo-radar.

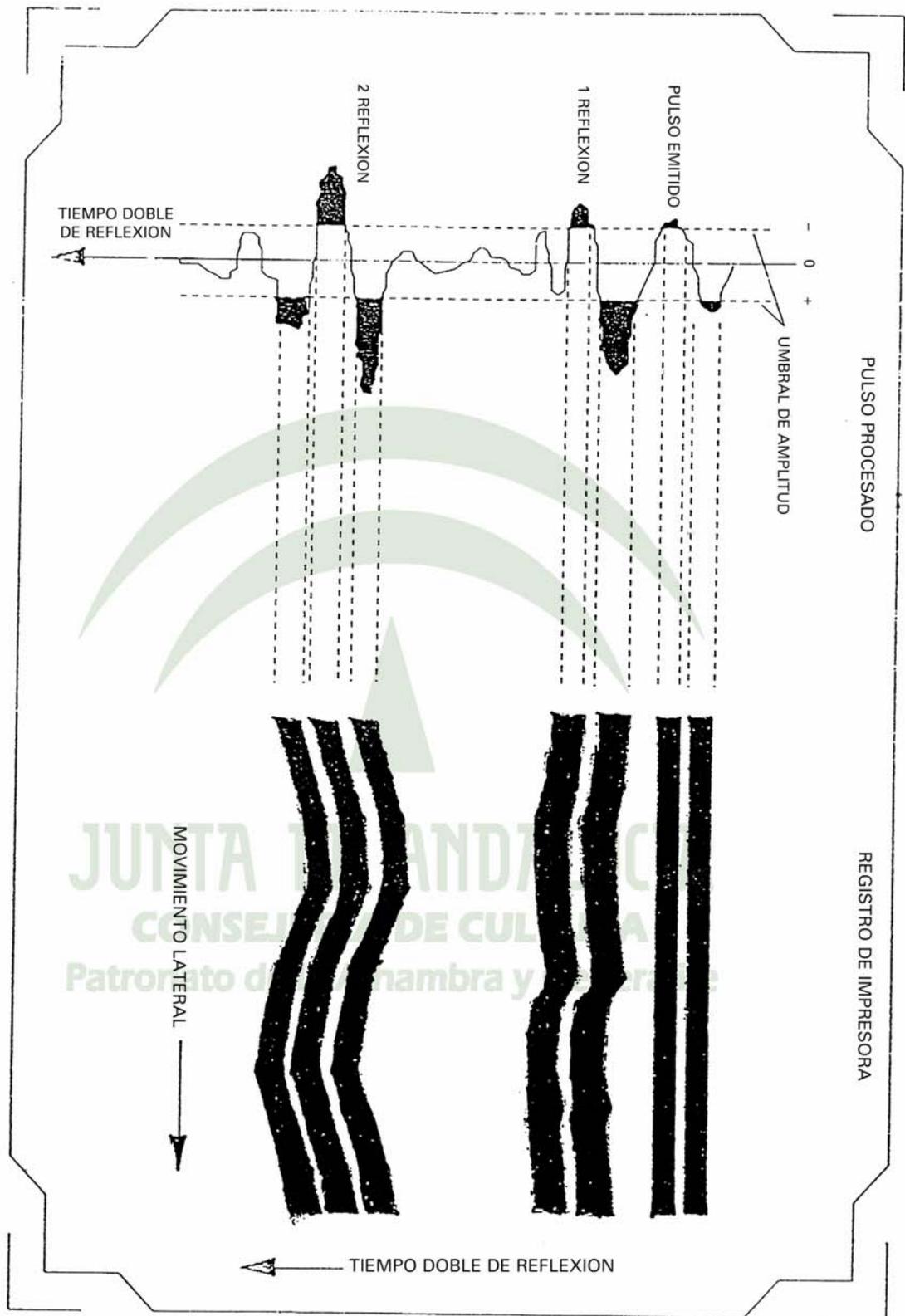
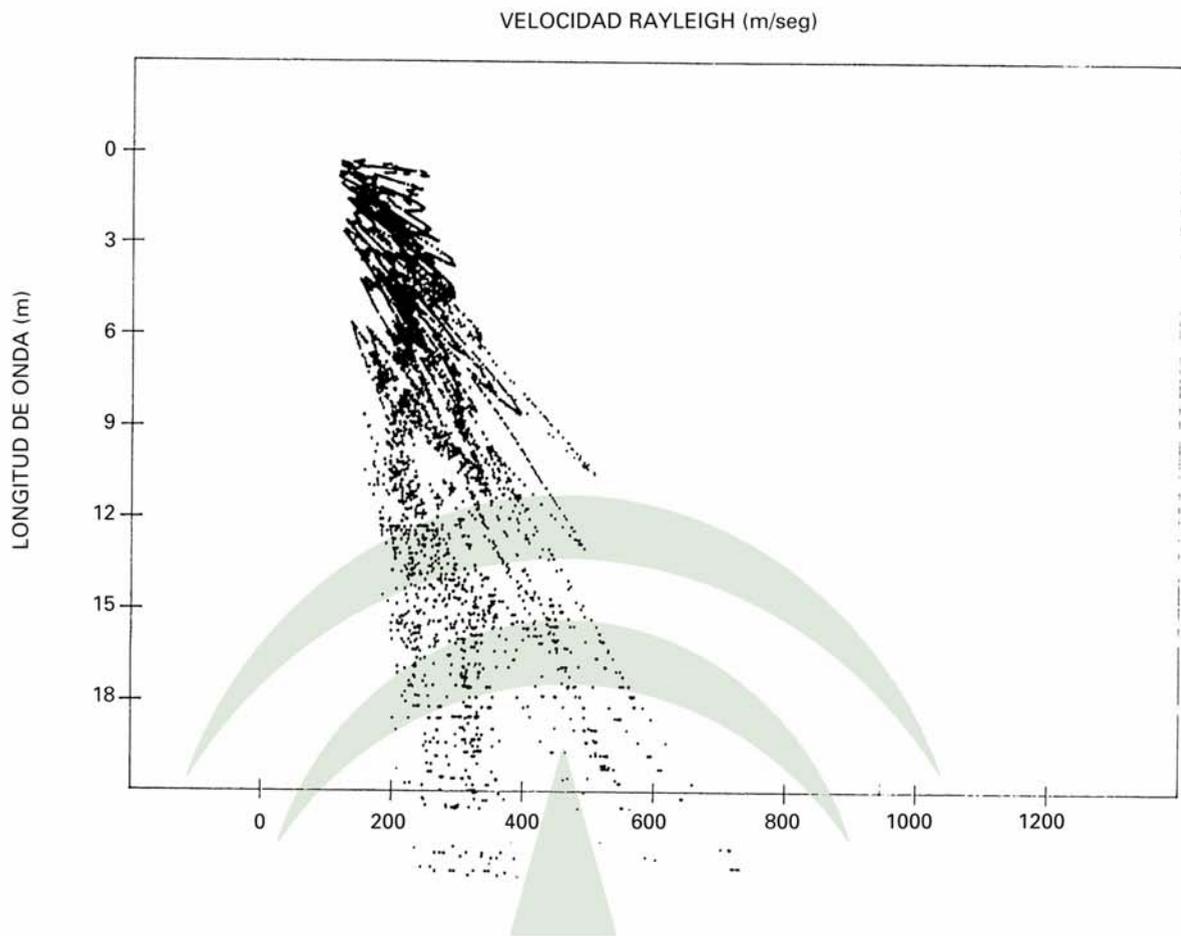
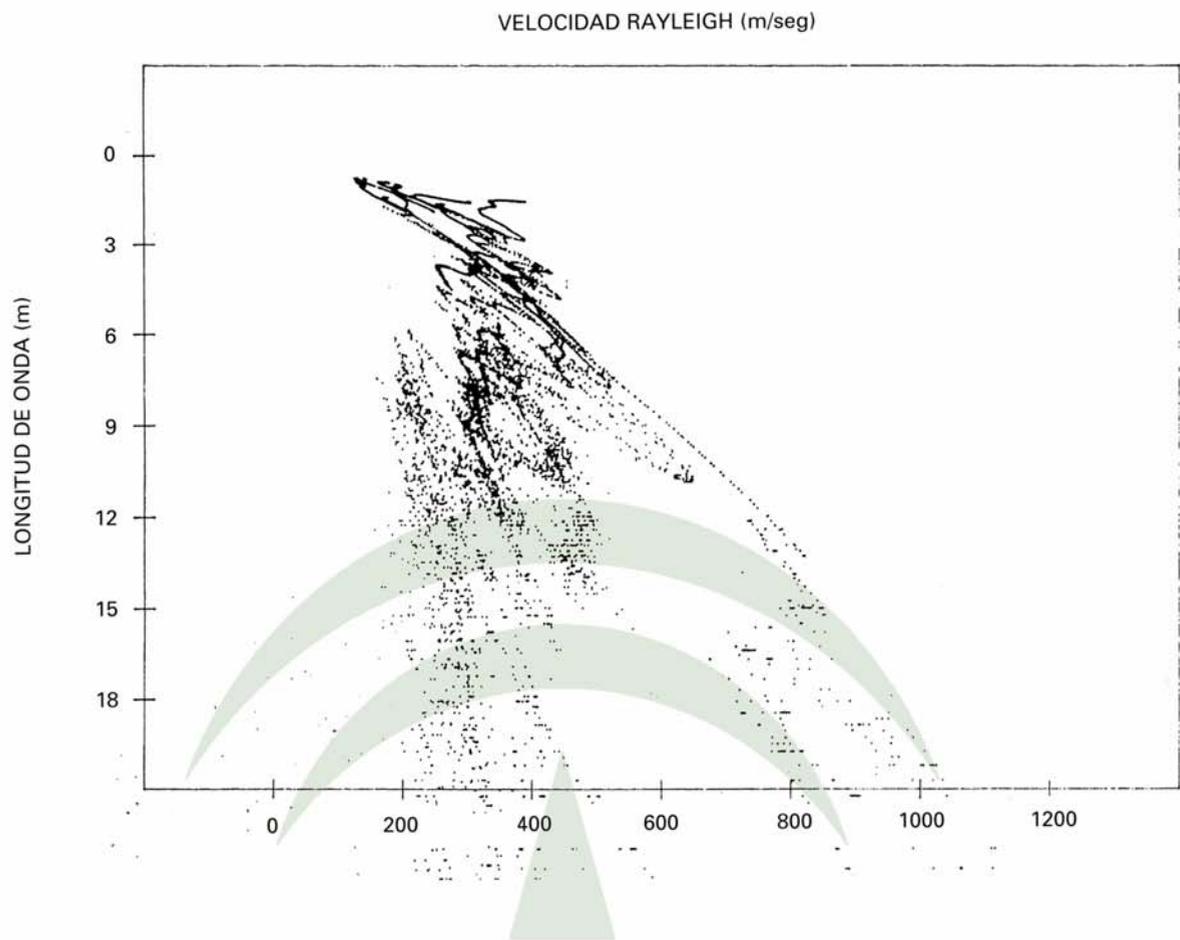


Fig. 8. Ejemplo de un registro impreso de geo-radar.



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

Fig. 9. Conjunto de curvas de dispersión obtenidas antes del tratamiento.



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

Fig. 10. Conjunto de curvas de dispersión obtenidas después del tratamiento.

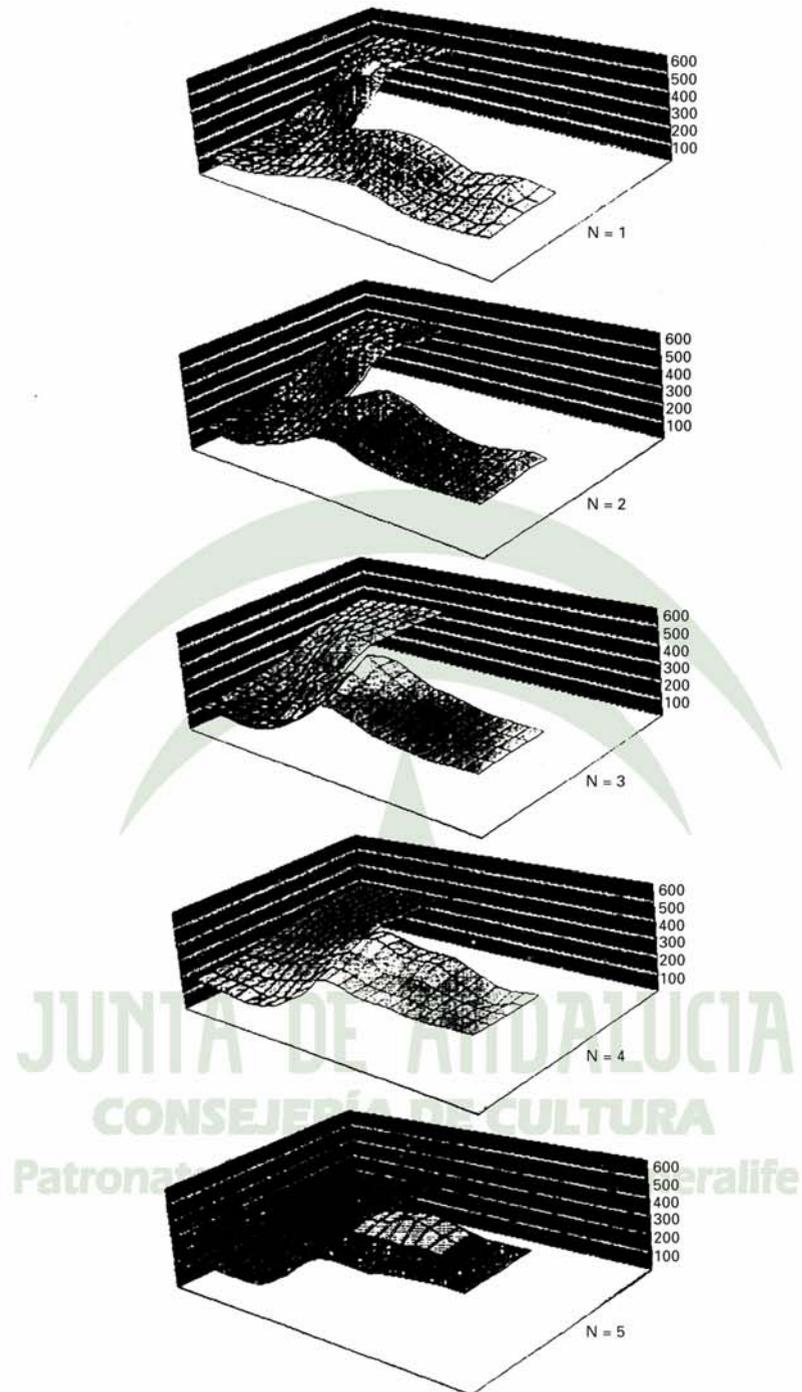


Fig. 11. Conjunto de resistividades aparentes obtenidos para distintos valores de n en los perfiles dipolo-dipolo realizados en el trasdós del muro antes de la inyección.

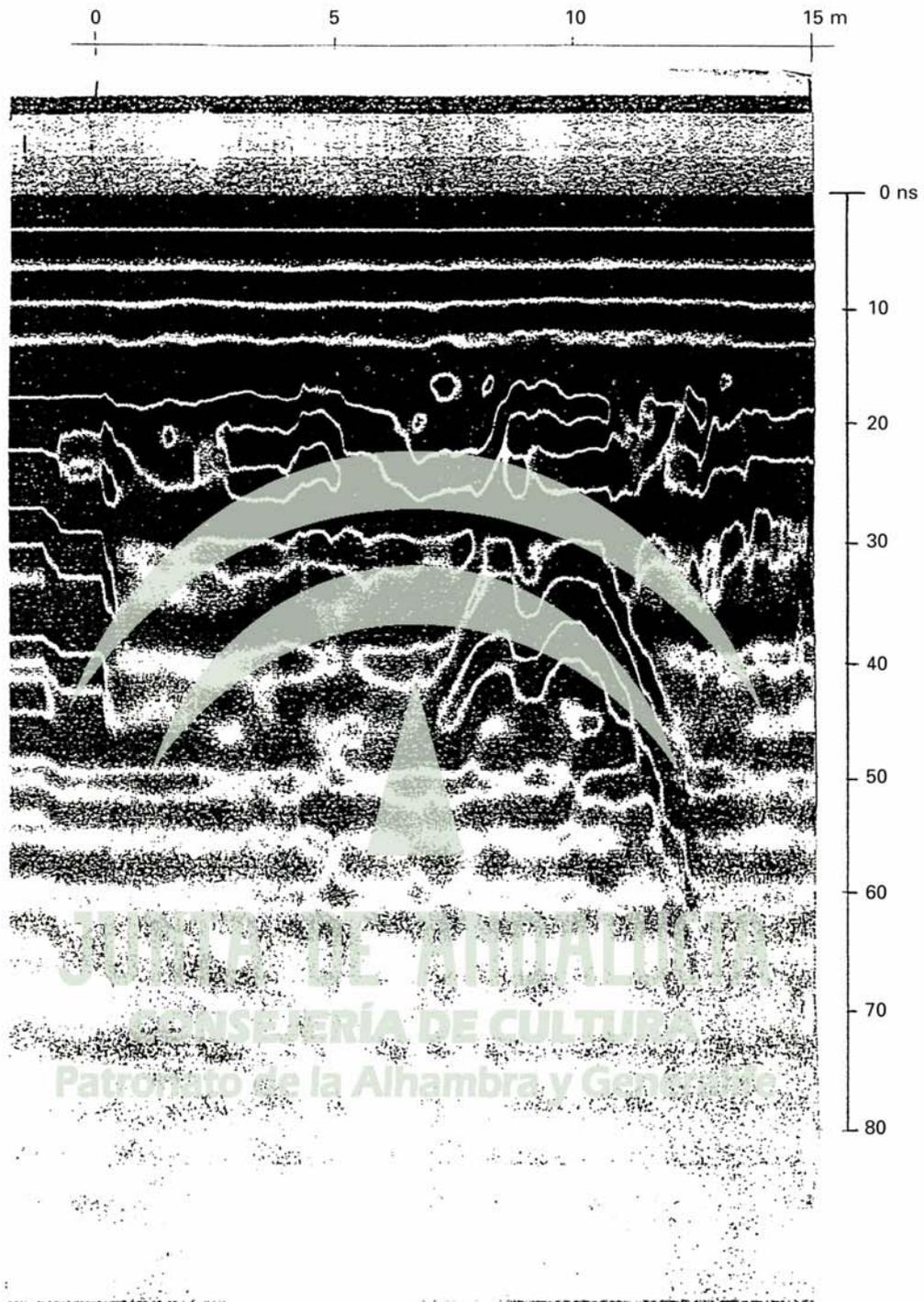


Fig. 12. Perfil de geo-radar obtenido antes de la inyección a lo largo de la línea P-3 de la figura 2.

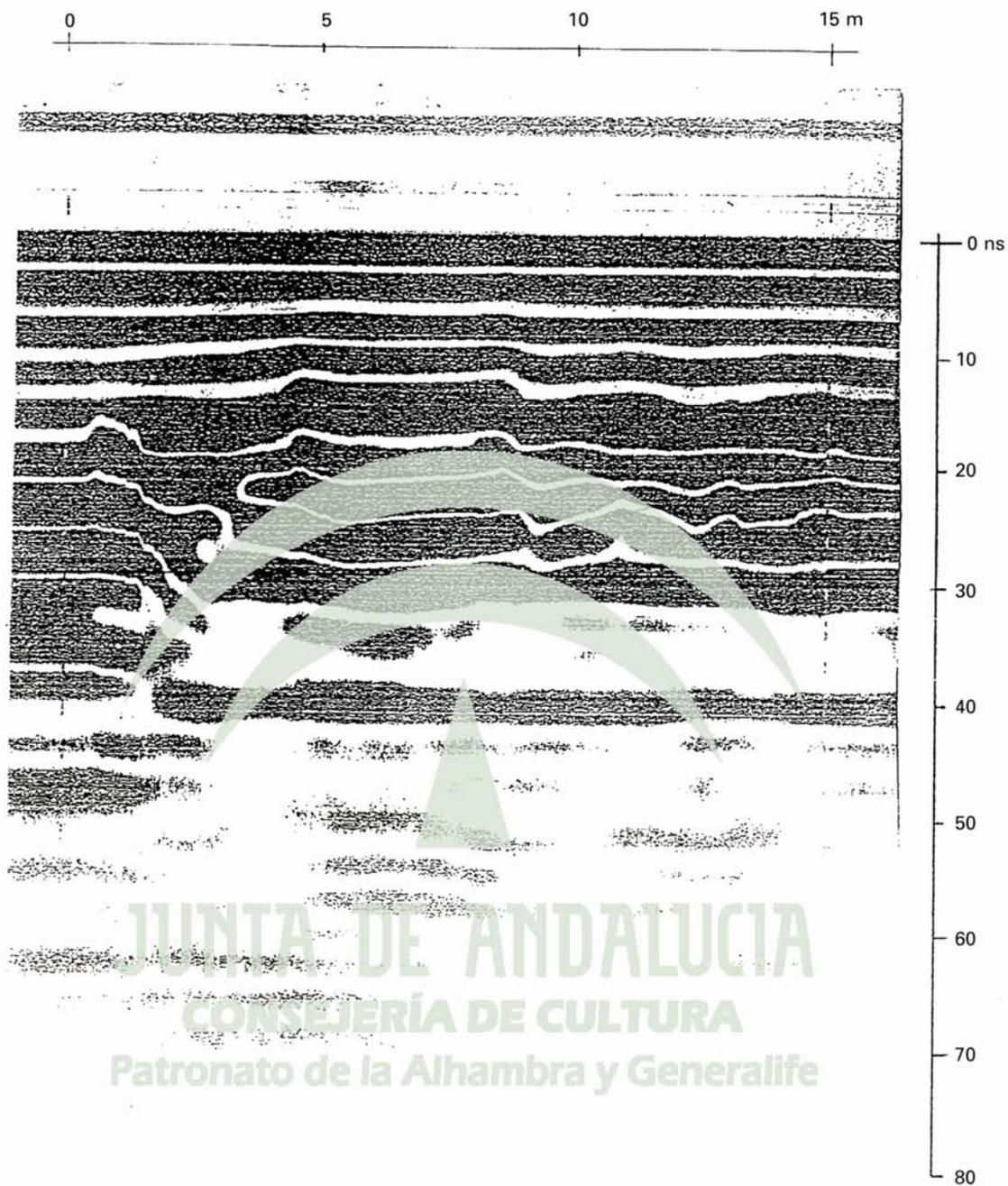


Fig. 13. Perfil de geo-radar obtenido después de la inyección a lo largo de la línea P-3 de la figura 2.

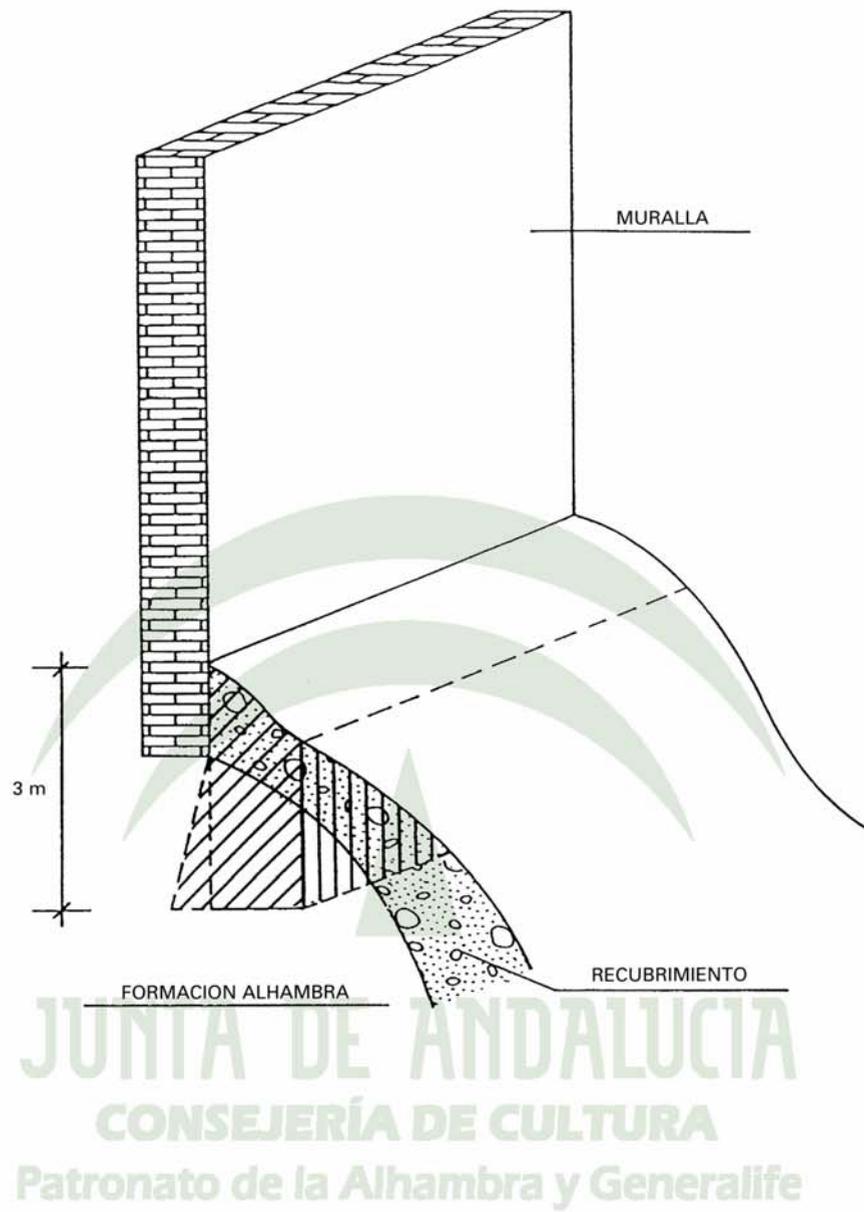


Fig. 14. Propuesta de tratamiento en la zona amurallada del sector de secano.

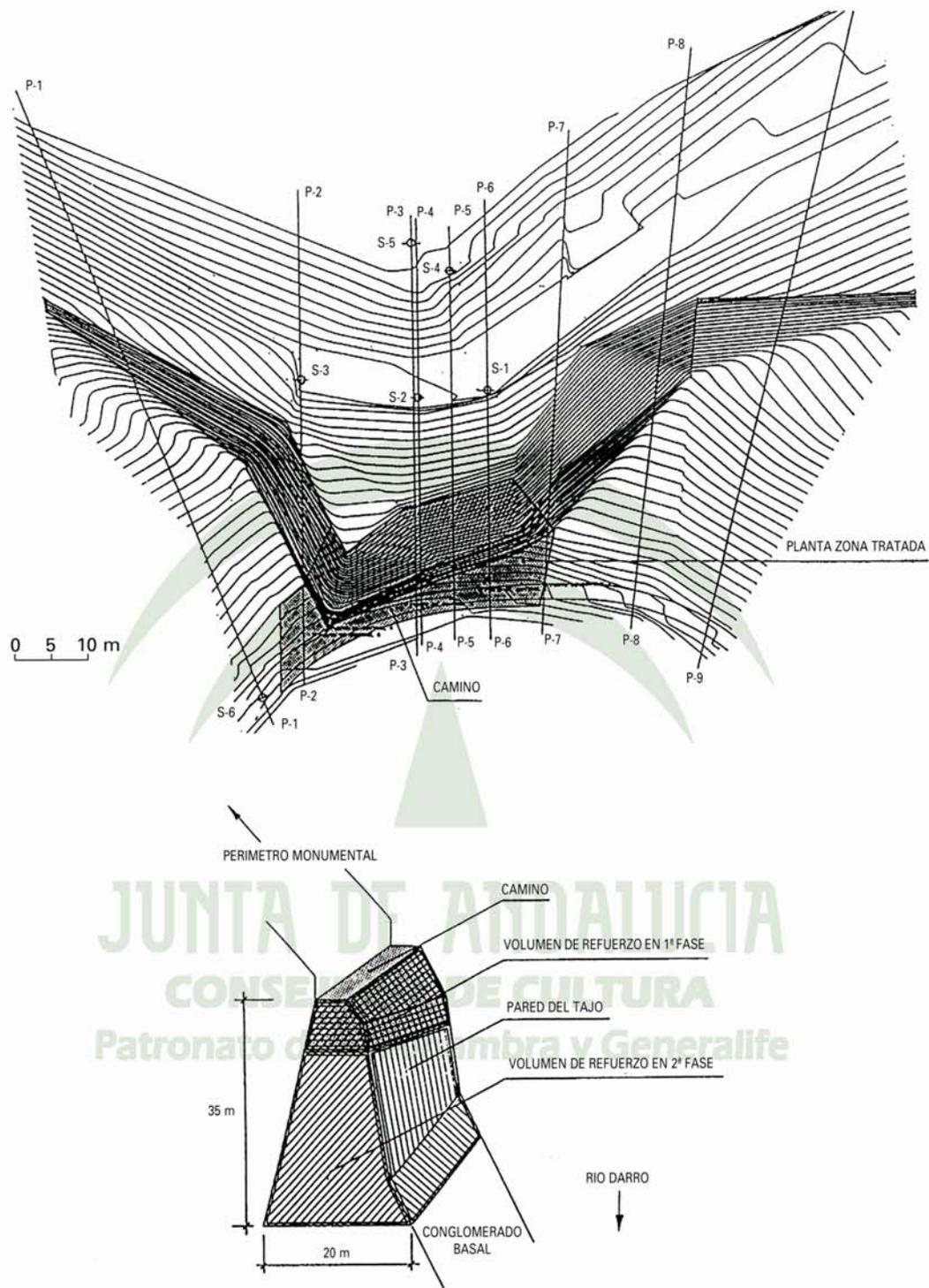


Fig. 15. Bloque esquemático-tipo de la propuesta de tratamiento de consolidación en el Tajo de San Pedro.

DISPOSICION DEL TRATAMIENTO DE CONSOLIDACION PROPUESTO

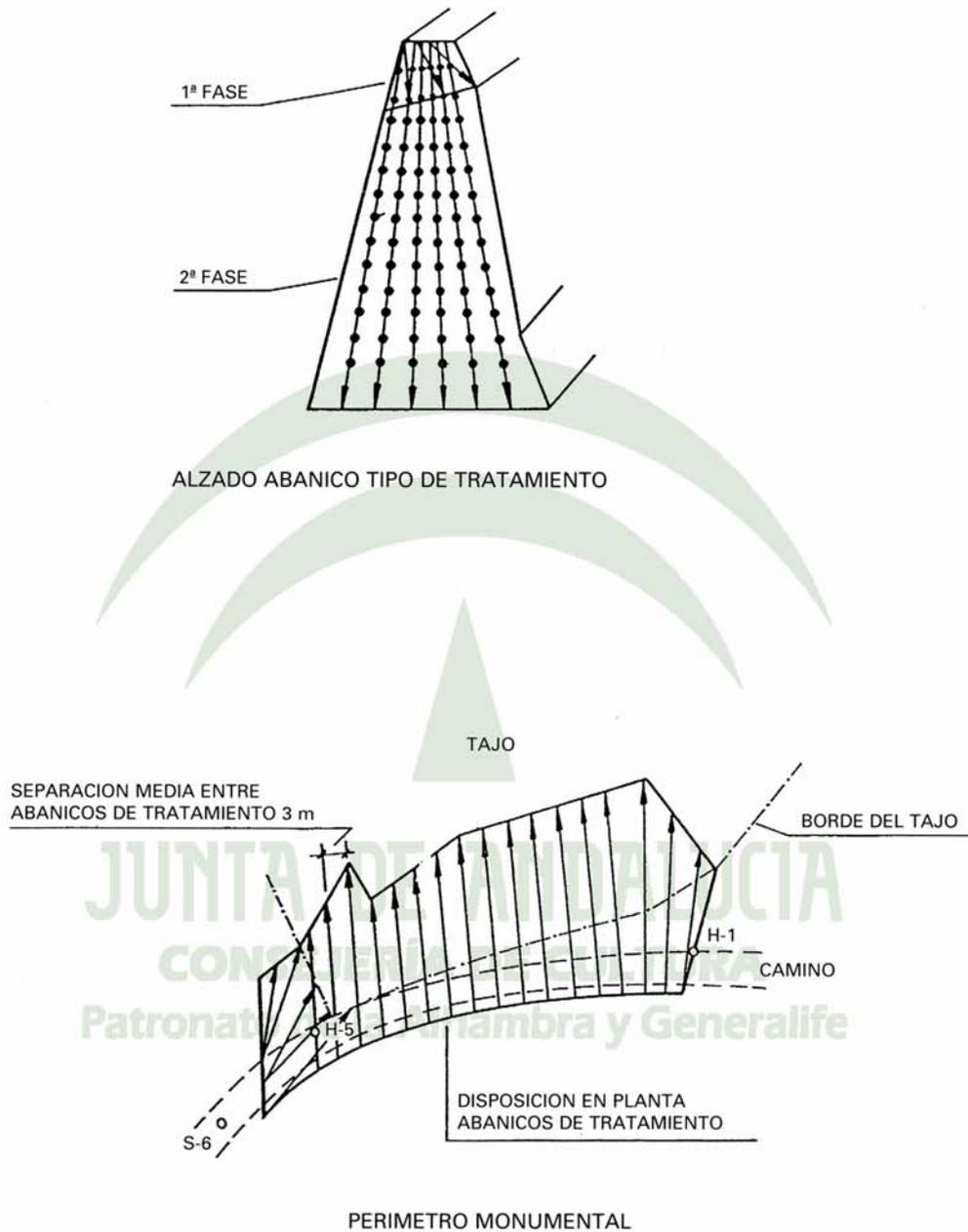


Fig. 16. Detalle de distribución de inyecciones en trasdós del Tajo de San Pedro.