

# Restauración & Rehabilitación

Número 1 • Septiembre/Octubre 1994

## Acueducto de Segovia: Documentos para una Restauración

## Altamira en Japón

## El Castillo Parador de Sigüenza

## La Acústica en la Rehabilitación

Restauración / Ciencia

Análisis petrográficos de la Fuente  
del Marqués de Ponteijos

## SUMARIO

3

### Editorial

Un problema de mentalidad

5

### Informe

Los albergues de Triacastela  
y Ribadiso

**Celestino García Braña**

10

### Actualidad del Sector R & R

17

### Informe

Acueducto de Segovia:  
Documentos para una  
Restauración

**Franciso Jurado Jiménez**

32

### Informe

Réplica de las Cuevas de Altamira

**Jerónimo García Gallego**

50

### Entrevista

Carlos de la Casa

**Dtor. Gral Patrimonio y  
Promoción Cultural. Junta de  
Castilla y León**

55

### Entrevista

Ramón del Hoyo

**Presidente del Cabildo de la  
Catedral de Burgos**

61

### Informe

El Castillo Parador de Sigüenza

**José Luis Picardo**

64

### Informe

Sobre la Teoría de la Restauración

**José Luis Picardo**

67

### Cascos Antiguos

Sigüenza. Paseando por la Historia

**R & R**

71

### Nuevas Tecnologías

La Termografía aplicada al  
mantenimiento y la restauración

**Seter Consultores**

75

### Informe

Acústica y Restauración

**Avelino José López García  
Aruvisa.**

83

### Restauración/Ciencia

Alteración de materiales  
carbonáticos y graníticos en la  
fuente del Marques de Pontejos  
**F. Mingarro, M. C. López de  
Azcona y R. Fort**

89

### Informe

Biodeterioro

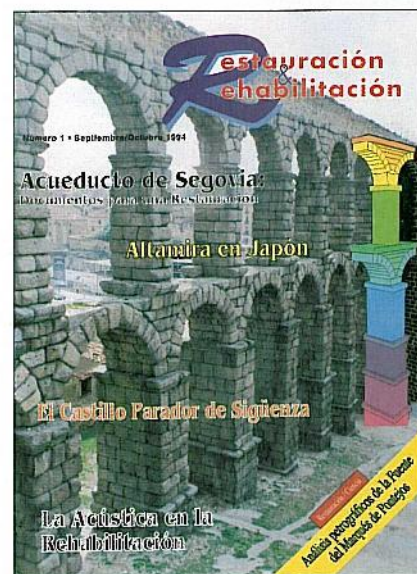
**R & R**

96

**Indice de Anunciantes, fe de  
erratas y cartas al director**

RESTAURACION & REHABILITACION - Revista bimestral • Edita: Divulgaciones y Publicaciones Técnicas, S. L. • Director General: Juan María García Otero • Director: Juan José Navarro B. • Administración: José Luis Esteban • Fotografía: Juan García (Juancho) • Redacción, Administración y Publicidad: Calle del Arte, 33, 28033 MADRID. Tel. (91) 383 86 59, Fax. (91) 383 14 95. Depósito Legal: M-23969-1994 • Filmación: GRAFICAS 4 • Fotomecánica: BASE • Imprime: ARTES GRAFICAS IRIS. • Suscripción anual: 6.000 ptas. IVA incluido. Europa: US\$ 60. Resto del mundo: US\$ 75. Precio del número atrasado: 1.200 ptas. IVA incluido.

\*La redacción de R & R no se hace responsable, necesariamente, de las opiniones expuestas en los artículos o trabajos firmados. Permitida la reproducción total o parcial citando la fuente.

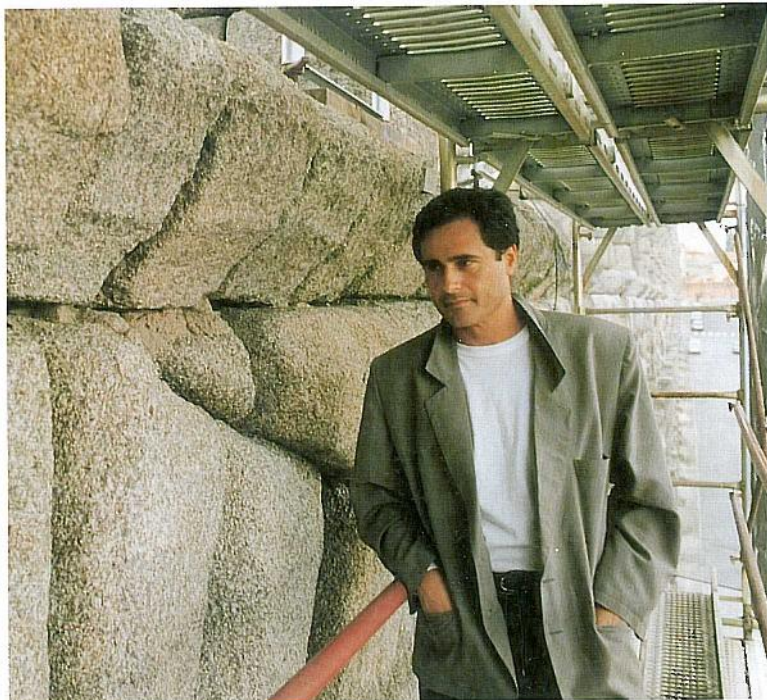


Portada: Montaje del Acueducto de Segovia, visto al natural y con técnicas informáticas. Fotografías necesarias para el montaje cedidas por cortesía de Francisco Jurado Jiménez.

# Acueducto de Segovia: Documentos para una Restauración

Fotografía aérea en la que se puede observar el trazado del Acueducto dividiendo en dos partes la ciudad de Segovia.

Francisco Jurado Jiménez  
Arquitecto.



*El arquitecto Francisco Jurado Jiménez, director de los trabajos que se están llevando a cabo en el Acueducto, fotografiado en los andamios, junto a la cornisa superior. (Original de 15x10 cm. propiedad del autor).*

Un monumento de la importancia y antigüedad del Acueducto de Segovia merece aplicar toda la metodología de posible estudios previos antes de realizar en él cualquier intervención, por mínima que ésta pudiera parecer.

En este sentido, hoy día se puede llegar a afirmar que es una de las construcciones sobre la que más estudios e investigaciones se han realizado, con el único fin de lograr una mínima intervención final.

A lo largo de tres artículos intentaremos resumir lo que ya son más de dos años de trabajo de diversos especialistas investigando aspectos históricos, técnicos y constructivos.

En las dos primeras partes nos ceñiremos a todos aquellos temas que se refieren a la diagnosis de la situación actual del Acueducto y, en la tercera, nos centraremos en la metodología y las técnicas de conservación y restauración que se están llevando a cabo.

Tras las circunstancias relativamente casuales o fortuitas, por las que se iniciaron una serie de noticias más o menos alarmistas en julio de 1992, se inició un Plan de Trabajo, diseñado por la Dirección General de Patrimonio y Promoción Cultural de la Junta de Castilla-León, que contemplaba las fases que se describen a continuación y que, prácticamente, vienen a coincidir con la cronología de las etapas cubiertas en los trabajos.

*Planta de la parte monumental del Acueducto, la correspondiente a las arquerías. Se corresponde con los algo más de 900 metros en que su trazado aéreo salva la vaguada. Su longitud total desde el nacimiento del río Frio en la sierra de Guadarrama es de unos 18 Km. (Reproducción del dibujo hecho en ordenador en el estudio del autor).*



## Corte del tráfico rodado bajo el Acueducto

Medida tomada directamente por el Ayuntamiento de Segovia que, aunque genera evidentes problemas de circulación interna en Segovia, sin embargo ha sido una decisión drástica para eliminar las causas que, ya entonces, se aventuraban como más probables del deterioro actual del Acueducto.

*"...creemos está suficientemente claro el efecto pernicioso que el tráfico produce en los sillares graníticos del Acueducto: directamente vibraciones, indirectamente gases, degradación de los sillares cambiando la forma de contacto entre ellos, cambiando, por tanto, la capacidad resistente de la estructura total y acercando cada día más a una situación de muy posible colapso total del Monumento. Es un proceso continuado de tipo degenerativo cuya causa principal es el tráfico, por lo que se desaconseja el paso de vehículos bajo sus arcos y, especialmente, el tráfico pesado, como mayor productor de gases y vibraciones"*

(Del informe realizado en febrero de 1993 por la empresa GEOCISA).



Andamio colocado en julio de 1992 como medida preventiva y como medio de dar accesibilidad para el estudio y la inspección detallada de la zona del sotobanco. (Fotografía proporcionada por la empresa GEOCISA).

## Realización de andamios y apeos para protección e inspección

Los andamios son colocados a partir del 27 de julio de 1992 y han venido usándose hasta ahora para la protección e inspección.

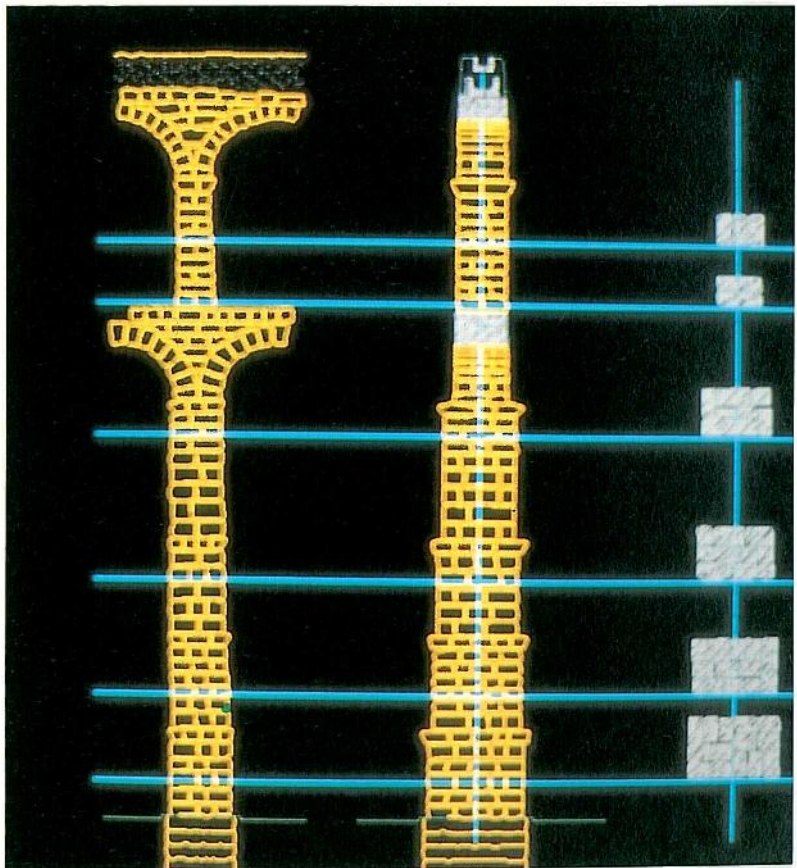
Con fecha 4 de agosto de 1992 se inician los trabajos de colocación de apeos preventivos. (El origen inmediato de estas acciones se refleja en el informe emitido el 14 de julio de 1992 con carácter de urgencia por el Arqueólogo y el Arquitecto de la Delegación Territorial de la Junta de Castilla y León, por el Ingeniero Jefe de la Sección de Minas y por el Director del Museo Provincial, en el que se llega al *"...convencimiento de que es necesaria una rápida actuación si se quieren evitar situaciones de ruina difícilmente reversibles"*)

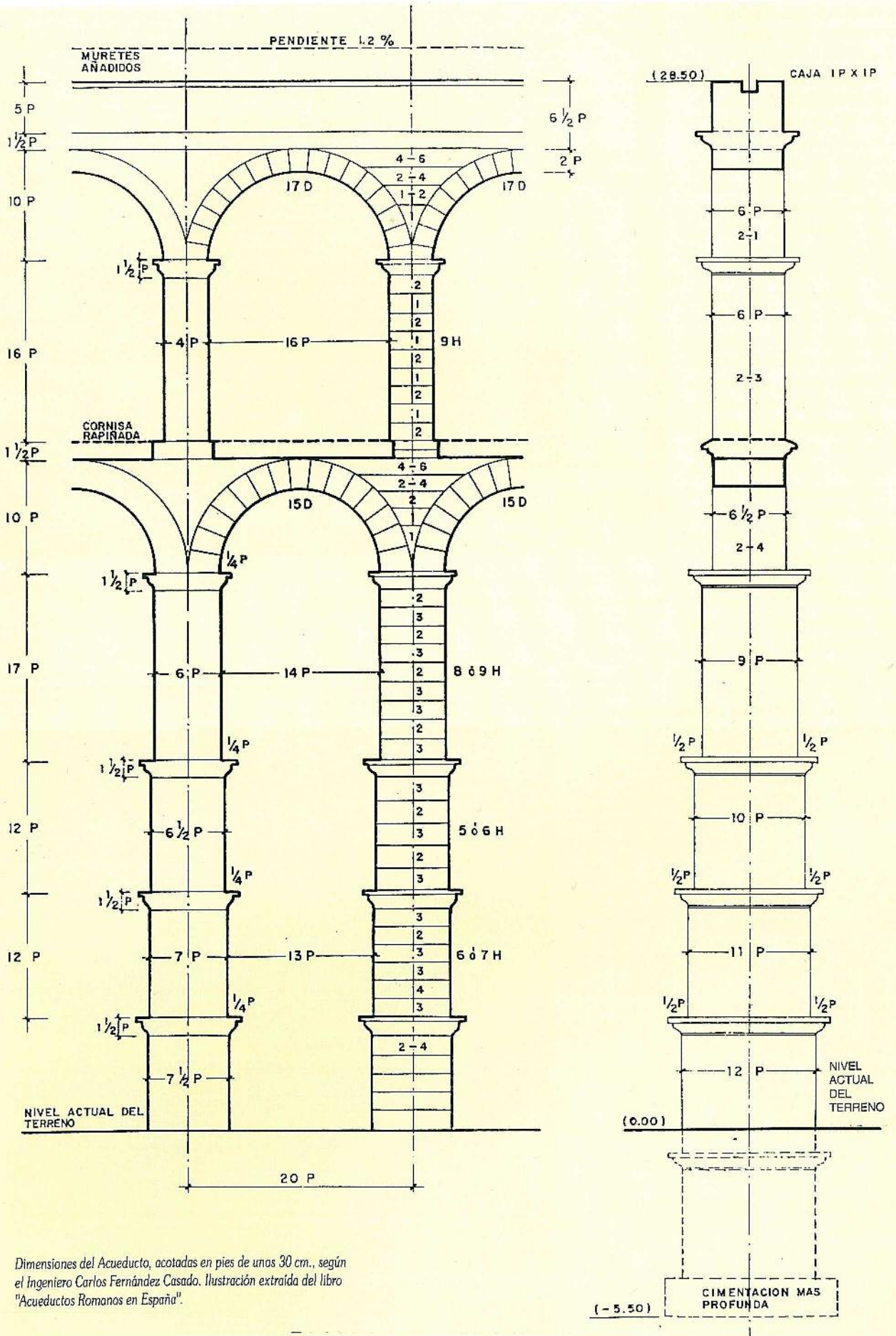
## Levantamiento de gráficos y fotogrametrías iniciales

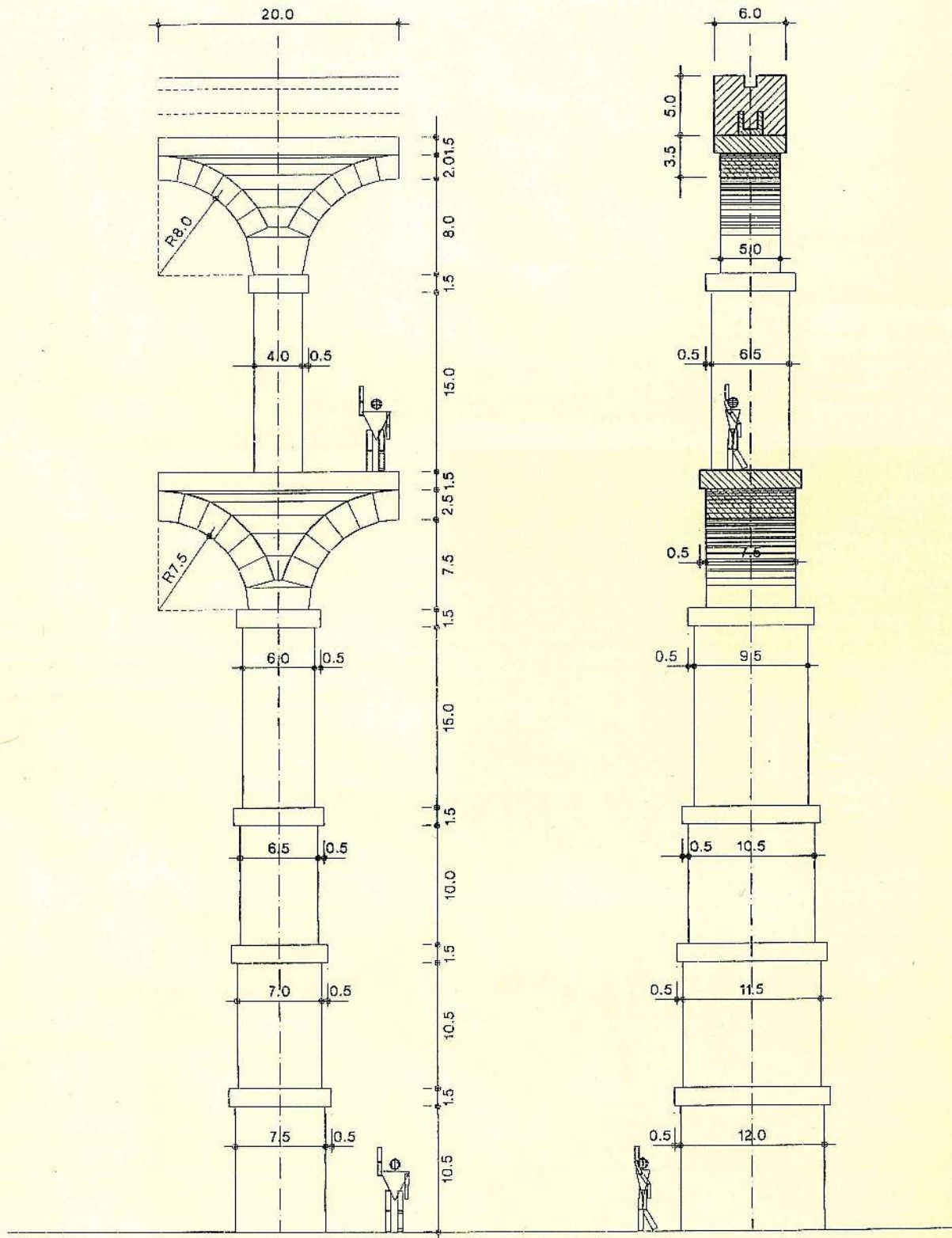
En julio de 1992 se comenzó un levantamiento fotogramétrico de la zona andamiada que no resultó totalmente satisfactorio, debido probablemente al corto plazo de tiempo de que se dispuso antes de colocar dicho andamiaje.

Sin embargo, hemos realizado una planimetría completa del Acueducto utilizando fotogrametrías parciales anteriores, planos de la ciudad de Segovia y mediciones propias.

Alzados y secciones de distintas partes de una pila del Acueducto, con despieces de sillares visibles y no visibles. Dibujos del autor antes de iniciarse la fotogrametría.







Proporciones reales del Acueducto de Segovia, tras haberse realizado precisas mediciones fotogramétricas. Como se puede comparar, los mayores errores de Fernández Casado están en las medidas transversales, sobre todo en la arcada superior. (dibujo del autor, también acotado en pies).



*Pila con sillares aparentemente sanos en su textura superficial (aún conservan el tratamiento original de sus caras mediante escafilado y las hendiduras para que la gafa o tenazas metálicas usadas en el izado de las piedras pudiera agarrar el sillar). Sin embargo aparecen fisuras y desmoronamientos importantes. (Fotografía original de 19x12,5 cm. del propio autor).*



*En muchos casos, una grieta que se ha iniciado justo sobre una junta entre sillares inferiores, acaba dividiendo el sillar en dos partes muy meteorizadas. (Fotografías originales de 19x12,5 c.m. del propio autor).*



*Los elementos vegetales también juegan su papel en el deterioro arrajgando en el material delezonado depositado en las juntas. (Fotografía original de 19x12,5 cm. del propio autor).*

## Reconocimiento visual detallado

Se realizó, por parte de la empresa GEOCISA, una inspección visual de urgencia entre la muralla y la pila 50 (zona de una sola arcada); es decir, toda la zona de más altura, la más monumental. Dicho informe advertía de los peligros de caídas por desprendimientos de piedras, roturas locales y meteorizaciones, y otras patologías observadas en los sillares, con una clara concentración en la zona de mayor flujo de vehículos.

Se inició el reconocimiento el 13 de agosto de 1992 y se terminó en noviembre de 1992.

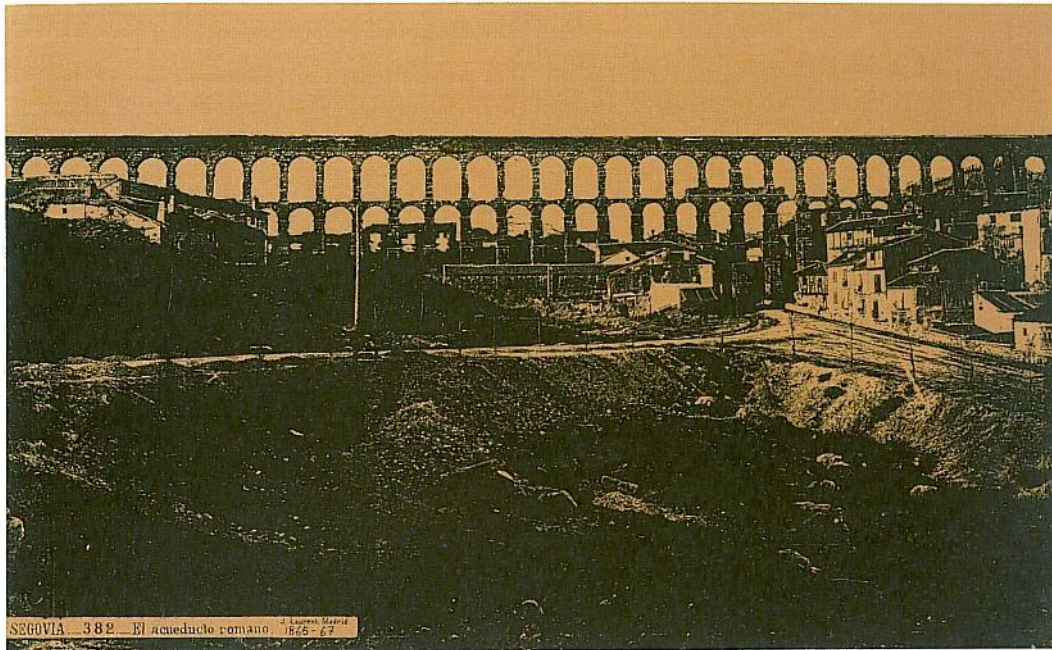
La inspección finalizó en marzo de 1993 al ser ampliado el estudio de la zona andamiada.

## Recopilación de la documentación existente

Aparte de la extensa documentación bibliográfica, se ha recopilado toda la información disponible sobre las últimas intervenciones en el Acueducto. En particular hay que reseñar la obtención de interesantes fotografías (de los archivos del Ministerio de Cultura) realizadas por Laurent (1865-67, o por Clifford (1853)) que han servido para comparar, de un modo detallado, el estado que tenían los sillares entonces con el actual, apreciándose una gran aceleración del deterioro en estos últimos años.

*Un sillar pasante en las dovelas de la arcada superior que está ya totalmente dividido en dos partes. Ejercía una función de atado entre las dos hojas de sillares que forman los arcos superiores, que ahora tenderán a abrirse cada vez más. (Fotografía original de 19x12,5 c.m. del propio autor).*





Vista del Acueducto desde la plaza Oriental en 1865-1867. Estando más arropado por las edificaciones, emergía con mayor altura por encima del caserío. La conducción entubada superior será eliminada en 1973. (Reproducción de 45x25 cm. del archivo de J. Laurent, facilitada por el Ministerio de Cultura).

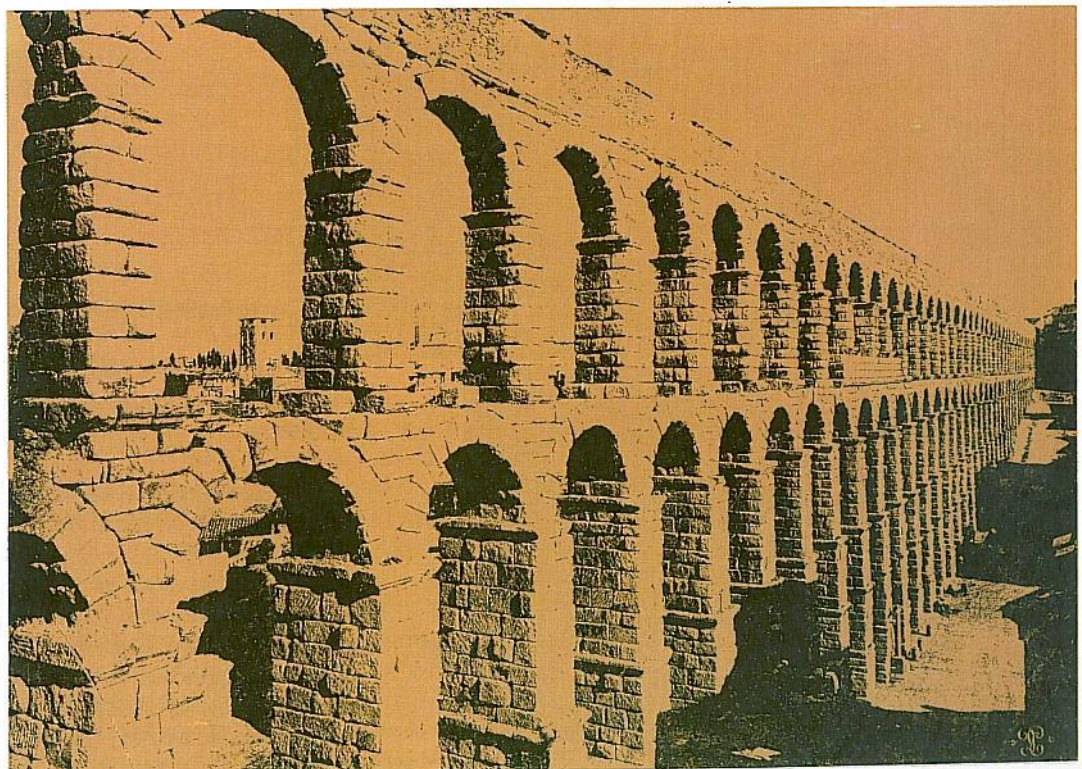
En efecto, es fácil apreciar el deterioro que ha redondeado las esquinas de las pilas de modo que es difícil apreciar in situ el tallado de las esquinas de las pilas que, fácilmente se aprecia en las fotografías de hace un siglo.

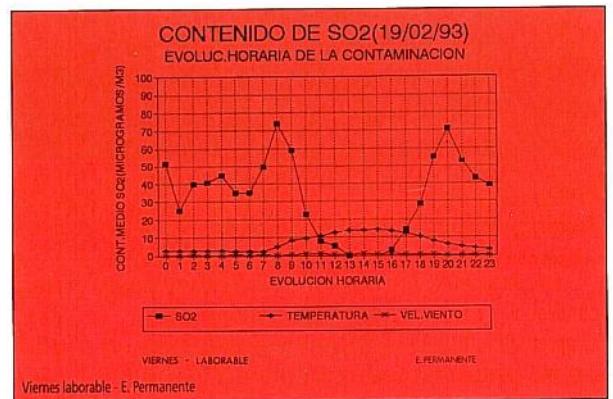
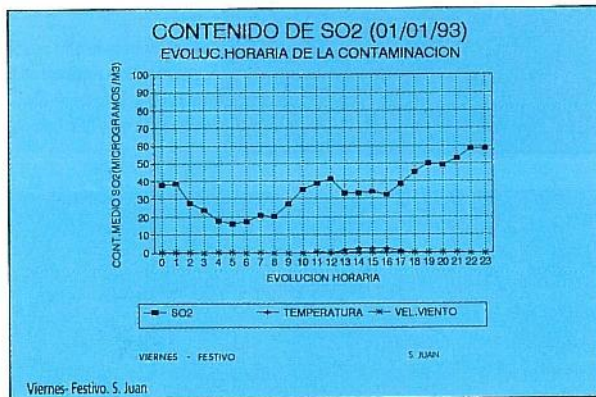
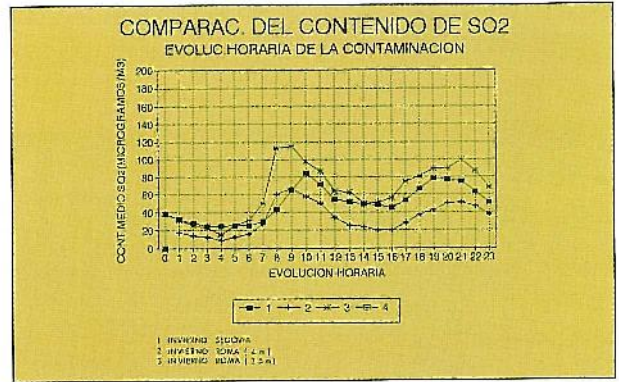
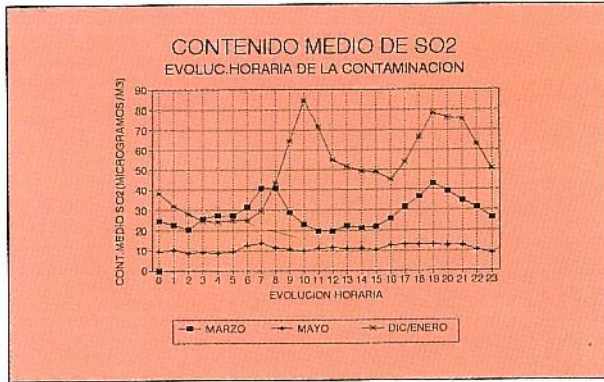
¿Cuáles son, por tanto, los factores que han aparecido en estos últimos cien años para que se deteriore la

pedra más que en los dieciocho siglos anteriores? La respuesta es, evidentemente, el tráfico de los vehículos y la contaminación atmosférica.

Se destacan, entonces, estas dos grandes causas como las vías para investigar el origen de la actual degradación que visualmente ya se observaba en el Acueducto.

Vista del Acueducto desde la muralla en 1868-1867 (a la derecha la plaza del Azoguejo). Se puede observar un mayor detalle en las aristas de pilas y dovelas, hoy día, 130 años después, más redondeadas. (Reproducción de 45x25 cm. del archivo de J. Laurent, facilitada por el Ministerio de Cultura).





## Medición de contaminación e inmisiones

En un primer momento, octubre de 1992, se realizaron mediante una unidad móvil, y, a partir de enero de 1993 se instaló una unidad fija en coordinación con el Ayuntamiento de Segovia.

Se han llevado a cabo medidas de parámetros climatológicos y de magnitudes en función del ciclo estacional.

El tráfico ya estaba cortado por debajo del Acueducto, por lo tanto las gráficas obtenidas corresponden a una situación bastante menos contaminada por el paso de vehículos que la que existía antes de julio de 1992, cuando se tomó esta decisión. A pesar de todo, se puede observar que en los meses de invierno hay un claro aumento entre las emisiones de, por ejemplo, monóxido de carbono y dióxido de azufre, lo cual significa que tienen gran influencia en la contaminación las calefacciones de las viviendas.

## Análisis del biodeterioro

Desde marzo a julio de 1993 se ha venido realizando, por la cátedra de Microbiología de la Universidad de Alcalá, estudios sobre los microorganismos que por acciones bioquímicas y biofísicas poseen capacidad para deteriorar el granito; microorganismos que han sido aislados e identificados y que, sin duda, colaboran con otros macroorganismos: vegetales superiores y animales (sobre todo pájaros).

Se observó un nivel anormal de microorganismos, muy alto para el granito.

Es evidente que los microorganismos del ciclo del azufre y los del ciclo del nitrógeno tienen la posibilidad de convertir en ácidos elementos que existen en el ambiente debido a la contaminación atmosférica, atacando, por tanto, al granito.

*"Entre las bacterias, se han encontrado tanto bacterias heterótrofas como quimilitotróficas, destacando la presencia de bacterias del ciclo del azufre y del ciclo del nitrógeno. Estas, como consecuencia de su metabolismo, pueden dar lugar a la formación de ácidos sulfúrico y nítrico respectivamente. La presencia de microorganismos productores de ácido sulfúrico puede, por sí sola, ser motivo de alteración del granito. Los sulfuros que sirven de base para el crecimiento de estos microorganismos pueden, bien encontrarse en la roca, o ser el resultado de la contaminación atmosférica".* (Texto extraído del Estudio de la Influencia en el Acueducto de Segovia, del profesor Fernando Laborda, Catedrático de Microbiología de la Universidad de Alcalá).

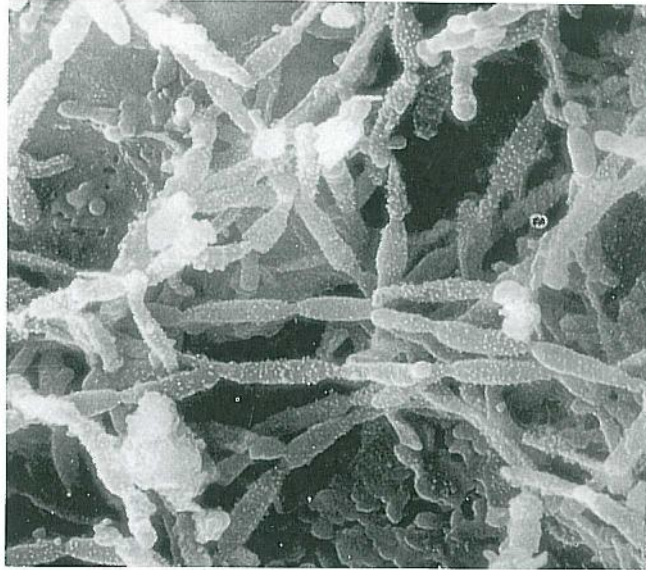
## Estudio de los materiales ajenos al Acueducto (utilizados en la restauración de 1973)

Como documentación histórica se tenía la intervención que se realizó en 1973 por el ingeniero Fernández Casado y Aurelio Ramírez, ampliamente descrita en el libro "El Acueducto de Segovia. Supervivencia de una obra hidráulica" de Aurelio Ramírez, aparte de contar con la desinteresada colaboración del mismo autor.

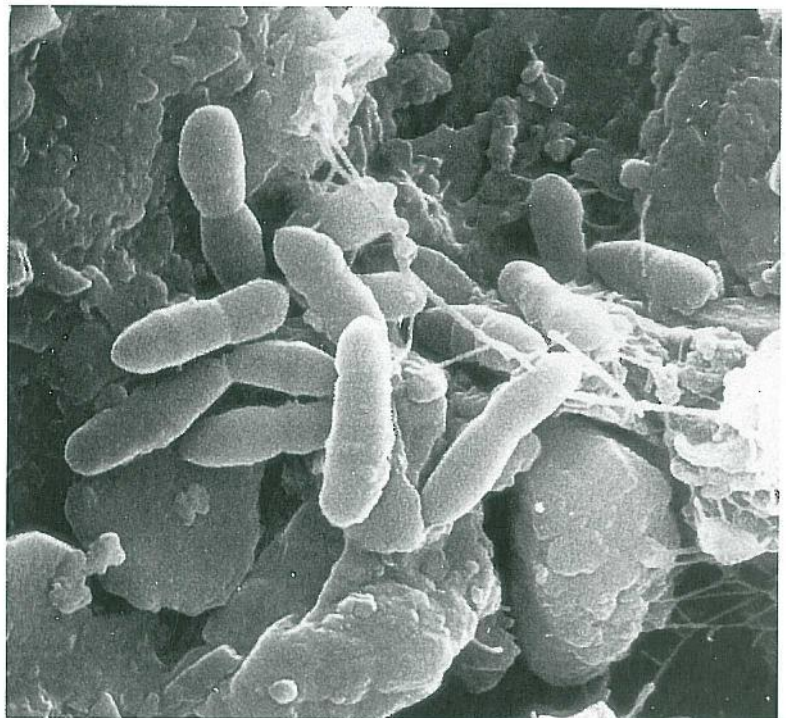
Sin embargo, para comprobar el alcance de estas obras y el estado de conservación y/o deterioro de los materiales y productos que en ella se utilizaron, se realizó este estudio, que se terminó en marzo de 1993.

Entre otras cuestiones, se procedió a tomar muestras de los bulonados con latón y resinas transversales, así como de las zonas donde se realizaron inyecciones de lechada de cemento. También se tomaron muestras de la impermeabilización que se realizó en el canal superior.

Como consecuencia de este estudio pudimos observar que el estado tanto de los bulones de latón, como de la resina epoxidica y de la impermeabilización del canal, era de perfecta conservación. En particular, no hay ningún tipo de microfisuración en la cara del granito

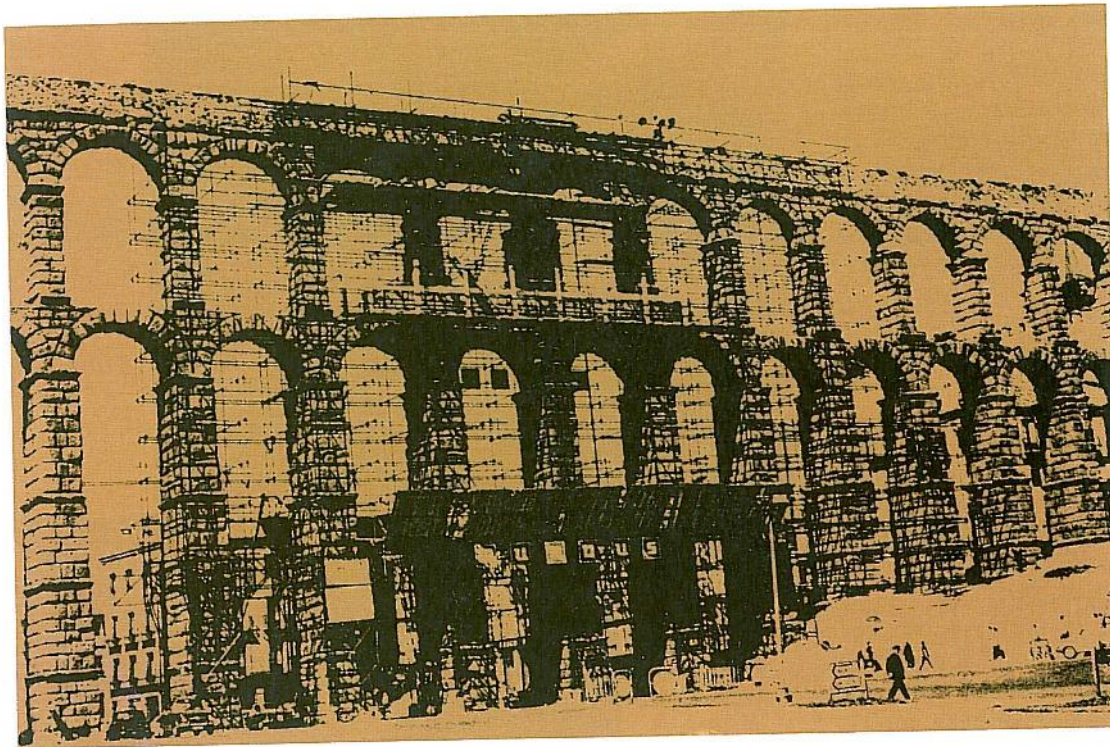


Fotografías realizadas por microscopía electrónica de barrido, en las que se observa la presencia de granito alterado así como distintos microorganismos (bacterias, hongos filamentosos y levaduras). (Fotografías cedidas por el profesor Fernando Laborda).



que está en contacto con la resina, lo que nos hace tener una "probeta" experimentada, sometida a la intemperie durante veinte años, de modo que si necesitamos volver a hacer un cosido de este tipo, podemos utilizar los mismos materiales con la garantía de su inalterabilidad.

En lo que respecta a las inyecciones verticales realizadas con lechada de cemento, afortunadamente se han encontrado pocos restos de las mismas. Decimos afortunadamente, puesto que ésta es una cuestión que debemos criticar de la intervención de 1973: el querer



Vista general del andamiaje colocado para realizar los trabajos dirigidos por Fernández Casado en 1973. (Fotografía extraída del libro de Aurelio Ramírez Gallardo "Supervivencia de una obra hidráulica").

colmatar de un modo global las juntas entre las piedras para producir un cierto monolitismo. Muchas perforaciones estaban totalmente vacías, no sabemos si la lechada fluyó y no llegó nunca a llenarse la perforación, o, con el tiempo, se ha producido tal degradación que se ha perdido totalmente.

Estamos, por tanto, de acuerdo con los bulonados transversales que se hicieron en el año 1973, puesto que

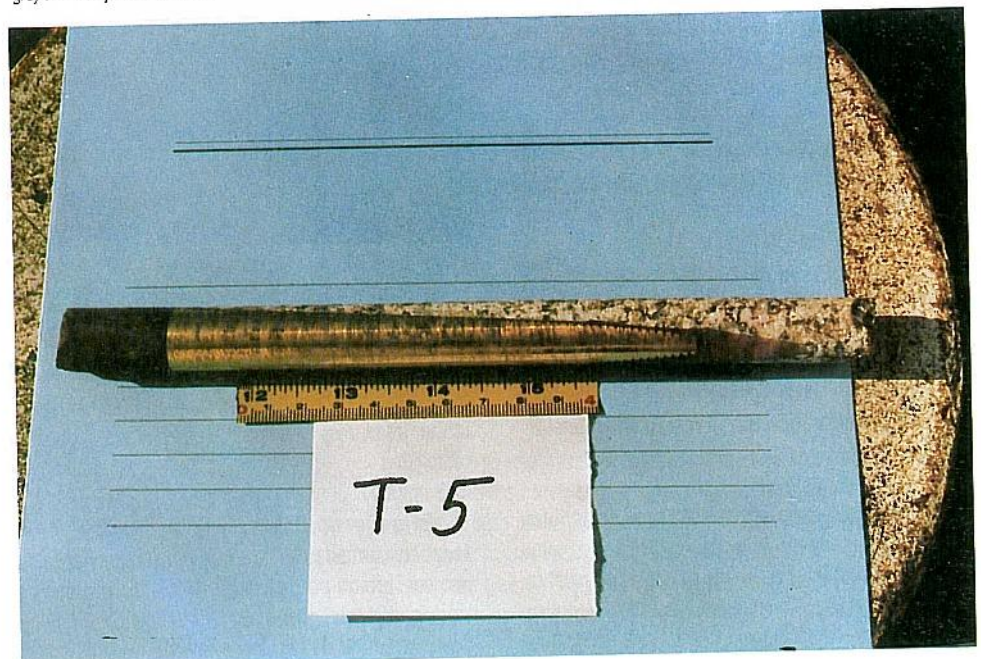
al mojarse, sobre la piedra, con el consiguiente deterioro.

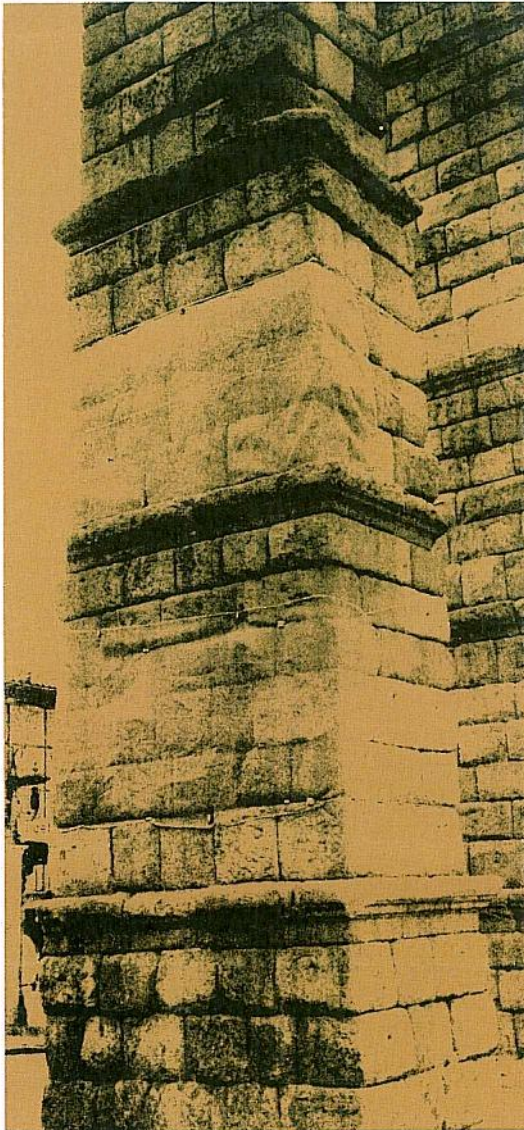
### Protecciones preventivas

Entre enero y abril de 1993 se colocan protecciones preventivas (mediante redes plásticas de color gris) en zonas muy concretas del Acueducto donde pudiera haber peligro de desprendimientos, de modo que se pu-

lo único que se pretendía con ello era unir las piedras que se había partido y que ejercían una labor de traba entre las dos hojas que conforman la parte superior del Acueducto; sin embargo, como ya hemos dicho, no suscribimos las inyecciones de lechada de cemento para producir una aglomeración entre los sillares, cuestión esta ajena a la concepción del Acueducto piedra sobre piedra, además de los depósitos de sales que el cemento provoca,

Fotografía de uno de los testigos extraídos para analizar el estado de los bulonados con latón y resina epoxídica realizados en 1973 (Fotografía cedida por GEOCISA).





Se han colocado redes de color gris para evitar peligros de desprendimientos de trozos de granito en los sillares más críticos, hasta que se intervenga en ellos. (Fotografía cedida por GEOCISA).

## Estudios sobre la piedra granítica del Acueducto

Siendo éste uno de los aspectos de mayor importancia, desde finales de 1992 se han venido realizando reconocimientos, toma de muestras, mediciones mediante ultrasonidos, ensayos físico-químicos, etc.

Todo ello se recoge en el trabajo (septiembre de 1993) que determina las causas y tipo de alteraciones del granito del Acueducto.

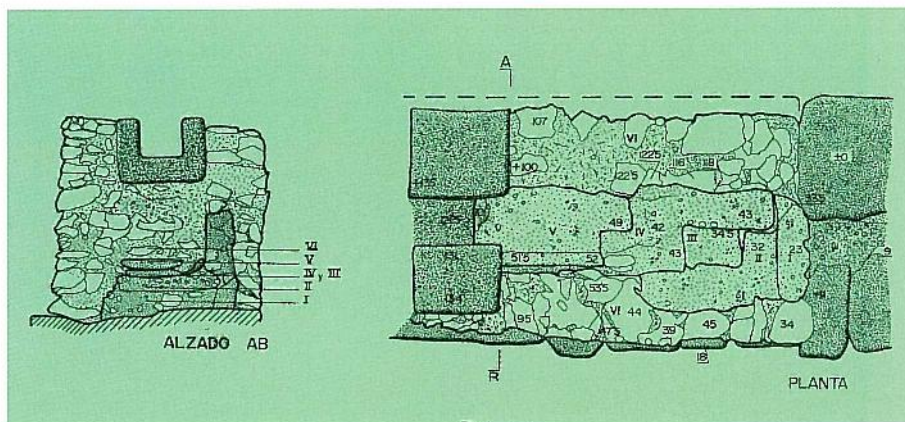
Se procedió a tomar veintidós muestras de los sillares del Acueducto, las mínimas imprescindibles, y otra serie de muestras de tolmeras y canteras de granito similar al del monumento. La mayoría del granito que existe en el Acueducto es grano grueso, el granito de menor calidad.

La comparación del granito existente en el Acueducto con el similar extraído de canteras depara que el primero tiene una resistencia de compresión media del orden de 230 Kg/cm<sup>2</sup> mientras que el de la cantera es de unos 800 Kg/cm<sup>2</sup>; también se obtienen diferencias apreciables en las densidades.

En los análisis de envejecimiento acelerado se observa que lo que más ataca al granito es el ambiente ácido, es decir el ácido sulfúrico; después los ciclos de hielo-deshielo y por último, en un nivel casi insignificante, el calentamiento-enfriamiento y la humedad-sequedad; por lo tanto nos encontramos, en el caso del Acueducto, con un granito altamente sensible a la contaminación. En las muestras de cantera es prácticamente imposible producir ningún deterioro con ensayos similares de envejecimiento.

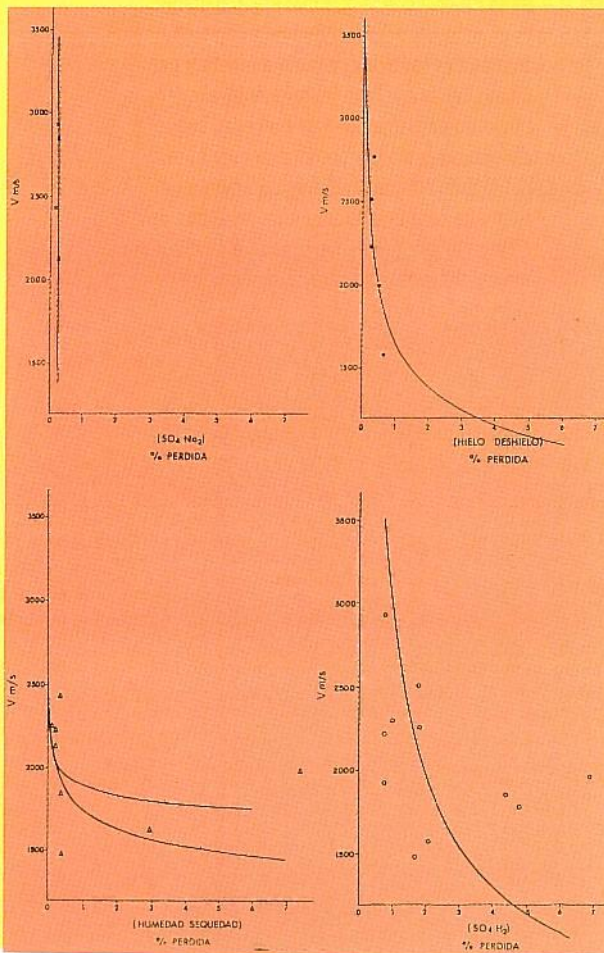
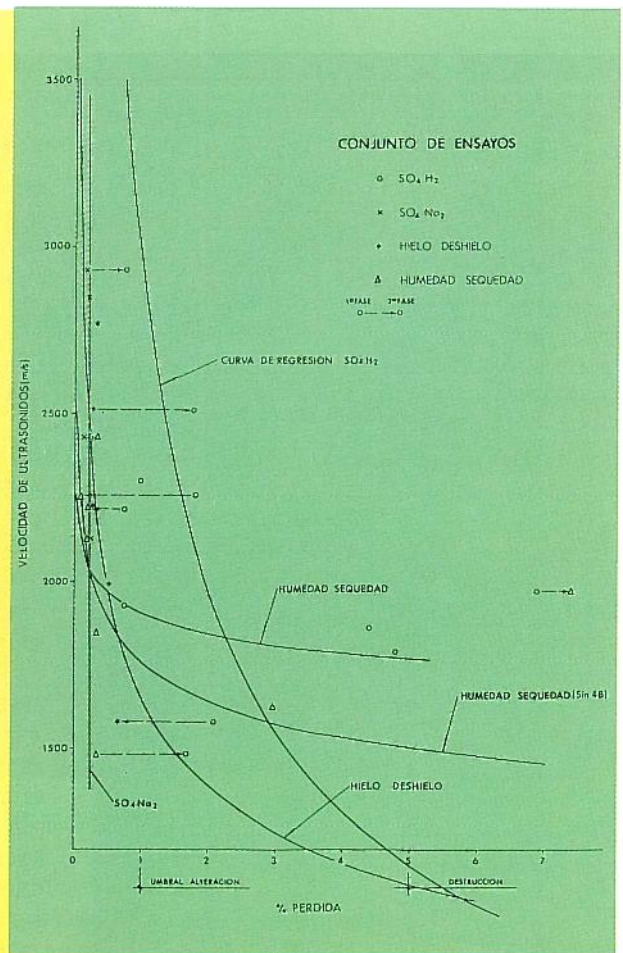
dieran proseguir todos los estudios hasta que los resultados de los mismos nos indicaran las soluciones a tomar.

Una de las cuestiones de mayor interés, de cara a testear el estado del granito en cualquier momento de un modo no lesivo, ha sido el determinar una correlación entre la velocidad de



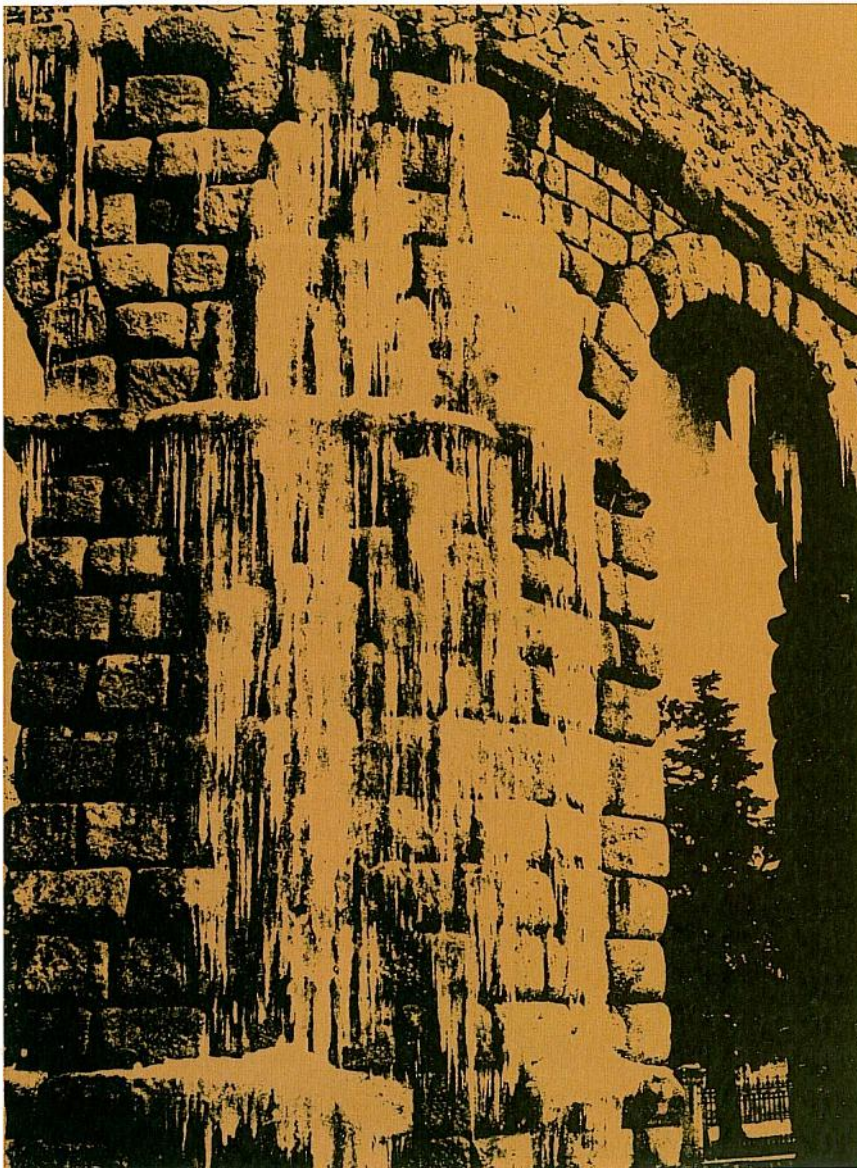
Plano arqueológico de las catas efectuadas en 1973 sobre el canal, donde se aprecia una canal inferior de mayor sección. (Dibujo cedido por el arqueólogo Luis Caballero).

Gráficos en los que se representan las correlaciones entre las pérdidas finales de peso en los ensayos de alteración acelerada y las velocidades de transmisión de ultrasonidos de las muestras analizadas.  
 Se observa cómo las mayores pérdidas se producen con los ciclos de ácido y para velocidades inferiores a 2.000 m/s., correspondiente también con absorciones mayores del 1% y densidades inferiores a 2,6 t/m<sup>3</sup>.  
 (Gráficos extraídos del estudio de la piedra efectuado por GEOCISA.)





Microfotografía de granito extraído del Acueducto. Se observa cristal de plagioclasa alterado y fisurado, feldespatos potásicos con menor grado de alteración, biotita y moscovita. (Fotografía extraída del estudio de la piedra efectuado por GEOCISA).



Una idea de hasta qué punto el hielo puede abrir las fisuras en la piedra e incluso separar unos sillares de otros, nos la puede dar esta conocida fotografía de los carámbanos producidos por fugas en la conducción superior, en el codo donde cambia más bruscamente de dirección el Acueducto. (Fotografía extraída del libro de Aurelio Ramírez Gallardo "Supervivencia de una obra hidráulica").



Máquina extrayendo muestras de una tolmera de granito para el estudio litológico. (Fotografía extraída del estudio de la piedra efectuado por GEOCISA).

transmisión de ultrasonidos y la densidad y resistencia de la piedra. Para ello se han efectuado mediciones en 400 sillares, de modo que ahora se tiene calibrado el "termómetro" que nos da el estado de degradación del sillar en concreto simplemente poniendo en contacto con la piedra dos palpadores.

## Endoscopias

Un tema que parecía fundamental estudiar era el estado de las juntas entre los sillares, incluso el cómo estaba por el interior construido el Acueducto, qué había en el interior de las pilas, sobre todo en la zona inferior de las pilas de mayor altura (y mayor sección).

En un principio hicimos nuestra propia hipótesis geométrica de distribución interior de sillares y al tomar algunos testigos se comprobó que, efectivamente, el interior era también de sillares de granito con un despiece parecido al que habíamos supuesto.

A pesar de todo, para la observación de los sillares y de las juntas en el interior de las pilas, se introdujeron endoscopios con una cámara de video asociada, que permite almacenar la secuencia de las imágenes obtenidas.

Se puede observar que el interior está incluso más deteriorado que el exterior debido, precisamente, a que las caras de los sillares no están sometidas a lavado y, por lo tanto, tienen una superficie más rugosa.

Endoscopio utilizado para inspeccionar el interior de las pilas entre los sillares. (Fotografía cedida por GEOCISA).





Al mismo tiempo es previsible que haya más nivel de microorganismos, puesto que los rayos ultravioletas no inciden directamente en las mismas. Por otro lado, el tamaño de las juntas, muy abiertas en algunos casos, permite que dentro haya nidos de aves, trozos de madera, cañas, elementos vegetales, etc. y el material de arrastre del agua y del aire.


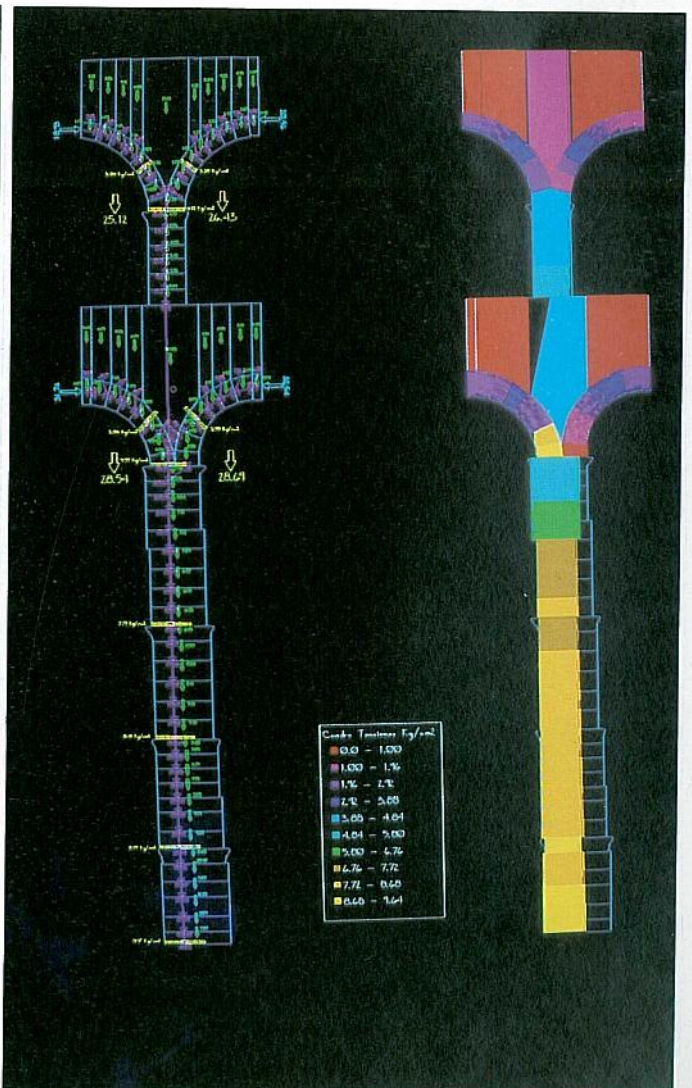
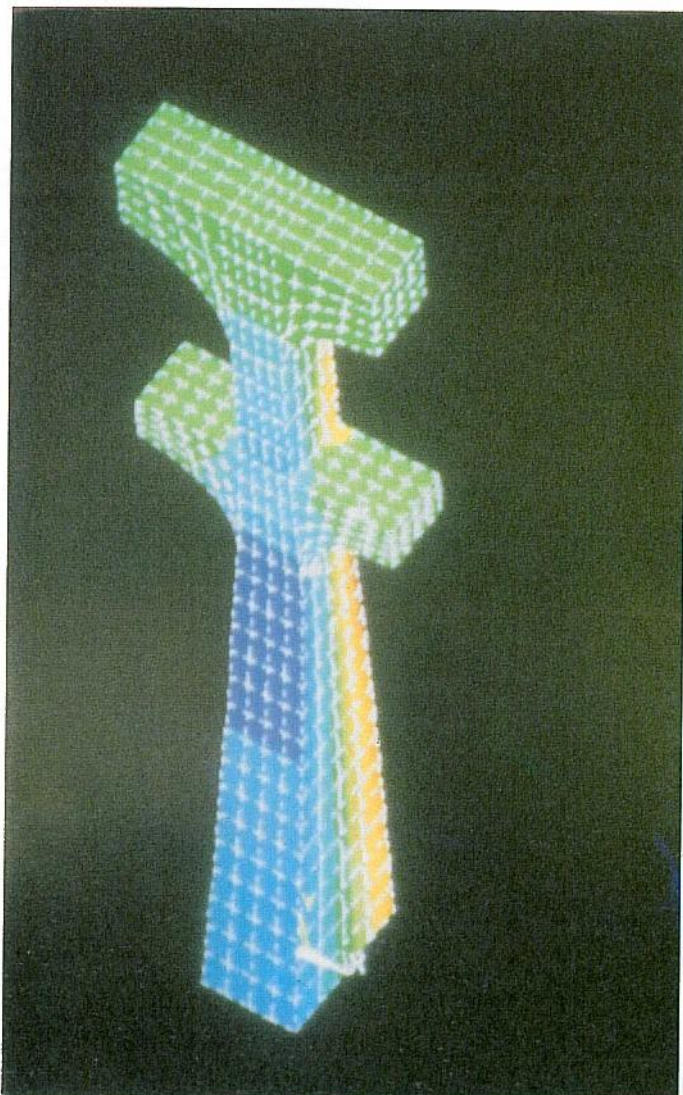
Se puede concluir que existe una degradación en el interior al menos similar a la que hay por el exterior. Es interesante observar esta degradación, puesto que el nivel de contacto entre un sillar y otro no es el que originalmente fue previsto sino que, debido a pérdidas de volumen, los contactos entre los sillares se realizan de forma puntual y en algunos casos este material de arrastre está funcionando como si fuera aglomerante entre un sillar y otro, sirviendo como almohadilla. 



Imagen de vídeo grabada a través del endoscopio, donde se percibe una hormiga en la junta entre sillares. (Fotografía cedida por GEOCISA).



# LA GARANTIA DE SU CALIDAD

**25 años**  
1968 - 1993

RESTAURACION DE MONUMENTOS  
INGENIERIA DE LA CONSTRUCCION



ESTUDIO DE CONSOLIDACION Y REHABILITACION  
DEL ACUEDUCTO DE SEGOVIA



**GEOCISA**  
GEOTECNIA Y CIMENTOS, S.A.

#### MADRID

Los Llanos de Jerez, 10 y 12  
28820 Coslada (Madrid)  
Tel.: (91) 671 53 00  
Fax: (91) 671 64 60

#### BARCELONA

Autovia Castelldefels, Km. 11  
08840 VILADECANS  
Tel. (93) 637 01 98  
Fax (93) 658 23 50

#### SEVILLA

Carretera del Copero, s/n.  
Apdo. 1.140 - 41080 Sevilla  
Tel. (95) 461 48 22  
Fax (95) 462 88 65

#### VALENCIA

Dolores Márquez, 18  
46020 Valencia  
Tel. (96) 360 07 50  
Fax (96) 369 74 84

#### VALLADOLID

Ctra. Adanero-Gijón, Km. 195  
47610 Zaratán (Valladolid)  
Tel. (983) 35 62 33  
Fax (983) 37 02 84