

Los anclajes en la presa de El Atazar

Comprobación de anclajes de control después de diez años de funcionamiento^(*)

Por RODOLFO URBISTONDO ECHEVERRIA

Director General del Canal de Isabel II

LUIS YGES GOMEZ

Jefe de la División de Presas y Canales del Canal de Isabel II

Este artículo pretende destacar el buen comportamiento, después de diez años, de los anclajes colocados para estabilizar las laderas que habían de quedar sumergidas en el embalse. La carga de agua sobre estos anclajes varía desde cero metros a ciento treinta metros. No se ha notado ningún efecto de corrosión ni pérdidas de tensión en los anclajes.

I. LA PRESA

El Atazar es un hiperembalse con una capacidad de 426 Hm³, que desde su construcción ha constituido la pieza clave para el abastecimiento de aguas a Madrid.

Está situado en el río Lozoya inferior, muy cercano a su confluencia con el río Jarama, afluente del río Tajo.

La Presa es de bóveda gruesa de doble curvatura, de 134 m. de altura sobre cimientos, y 128 m. sobre cauce, con una longitud de coronación de 484 m. Su espesor en coronación es de 6 m. y 34 m. en cimientos.

Presa vertedero con capacidad de evacuación de 500 m³/seg. en el aliviadero de coronación, cuenta, además, con desagües de fondo y medio fondo, con capacidad para evacuar 250 m³/seg. cada uno de ellos.

II. GEOLOGIA

Las pizarras silíceas y grafitosas de la zona pertenecen al siluriano superior (Gothlandiense) y se encuentran muy fracturadas por planos de diaclasas, perpendiculares a las laderas unos y paralelos a las vertientes otros.

Los trabajos de reconocimiento geotécnico

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que podrán remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 29 de febrero de 1984.

mostraron la variabilidad de espesor de estas diaclasas, desde unos centímetros hasta sobrepasar un metro, la mala calidad de su material de relleno y la alta permeabilidad de las laderas, variable entre 2 y 5 Lugeon, y, en algunos puntos, pérdidas totales de agua, obligaron a un tratamiento de consolidación e impermeabilización muy importante.

Estas características, fisuración y alta permeabilidad, de por sí ya desfavorables, se agravaban aún más por el hecho de que las laderas estaban divididas, especialmente la izquierda, por fracturas de gran potencia, verticales o paralelas a las diaclasas principales, con relleno de material milonitizado, arcilloso impermeable, que retenía el agua de filtración.

En época de lluvia las laderas podían sobrecargarse debido a la presencia de agua en su interior.

La falta de homogeneidad de los rellenos y sus características geotécnicas, con ángulos de rozamiento bajos, del orden de 18°, acentuaban la gravedad del problema.

III. CONSOLIDACION DE LAS LADERAS

En consecuencia, se proyectaron y ejecutaron distintos trabajos para consolidación de las laderas:

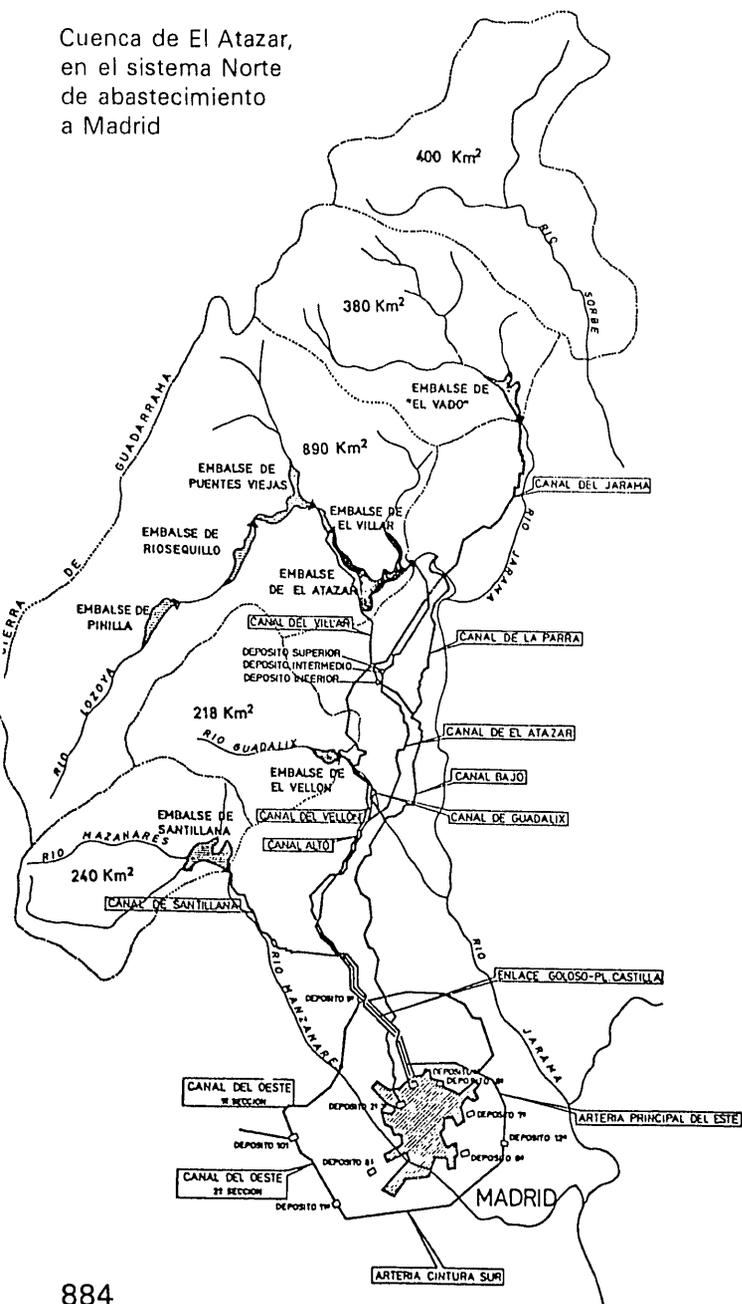
- a) Inyecciones de cemento en zonas de alta permeabilidad.

LOS ANCLAJES DE LA PRESA DE EL ATAZAR

- b) Gunitado en zonas de cizalladura con múltiples fracturas rellenas de materias deleznales.
- c) Drenaje de las laderas, mediante taladros aproximadamente horizontales, para impedir la formación de diferencias de presión importantes en el interior de las laderas y también en relación al exterior.
- d) Anclado y bulonado de las zonas con riesgo de deslizamiento.

En la ladera dercha, al ser el diaclasado principal paralelo a la ladera, las excavaciones del cuenco amortiguador y de los desagües de medio fondo realizados longitudinalmente al

Cuenca de El Atazar, en el sistema Norte de abastecimiento a Madrid



cauce, planteaban graves problemas de inestabilidad, por ello se construyeron previamente nueve vigas de hormigón armado, tensadas contra la ladera mediante anclajes de 230 Tm. y 50 m. de longitud, así como una serie de vigas menores tensadas con anclajes de 100 toneladas y bulones de 20 toneladas de tensión. Además, y a fin de evitar fallos locales ante los empujes de la presa en el tercio central de esta ladera, se dispuso una gran viga «zócalo», cosida con anclajes de 230 Tm. de tensión y de hasta 80 m. de longitud.

En la ladera izquierda, el mayor problema se presentaba por la existencia de una falla prácticamente vertical, con traza casi paralela al cauce y convergente con él aguas arriba de la presa.

La estabilización de esta ladera se llevó a cabo mediante una densa red de drenes realizados desde cuatro galerías excavadas paralelas al río hacia aguas arriba, inyecciones de consolidación y la realización de un entramado de vigas de hormigón armado, cosido con anclajes de 230 Tm. de tensión y 50 m. de longitud.

En total, se realizaron, desde el año 1967 al 1973, las siguientes unidades para el tratamiento de consolidación de las laderas:

- Bulones de pequeño tonelaje: 20.000 m.
- Bulones de 20/25 Tm.: 15.000 m. (714 bulones).
- Anclajes de 100 a 230/236 Tm.: 51.000 m. (1.100 anclajes).
- Perforación para taladros consolidación: 85.000 m.
- Toneladas de cemento inyectadas: 15.000 m.
- Perforaciones de drenaje: 10.000 m.
- Toneladas de anclaje puestos en tensión: 242.000.

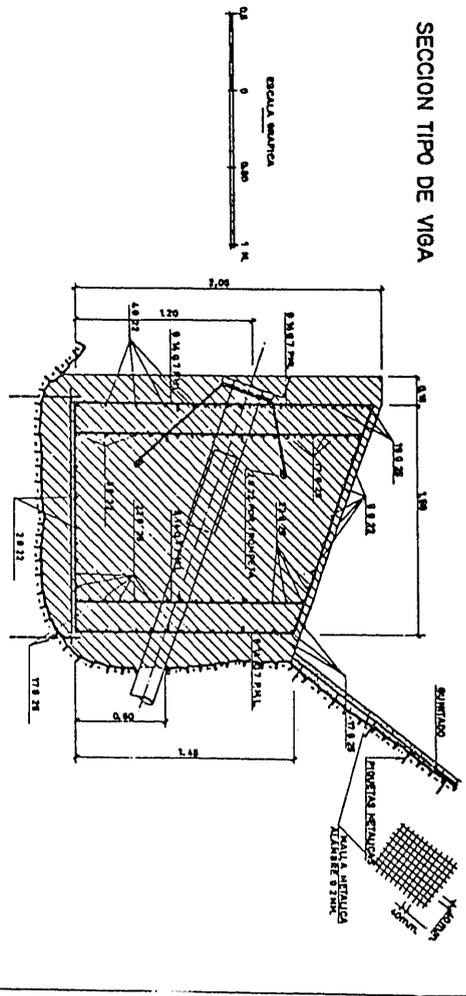
Nos limitaremos a analizar en lo que sigue los trabajos realizados en ambas laderas, con anclajes de gran tensión 230/236 Tm. y el comportamiento de estos anclajes.

IV. DESCRIPCION DE LOS ANCLAJES

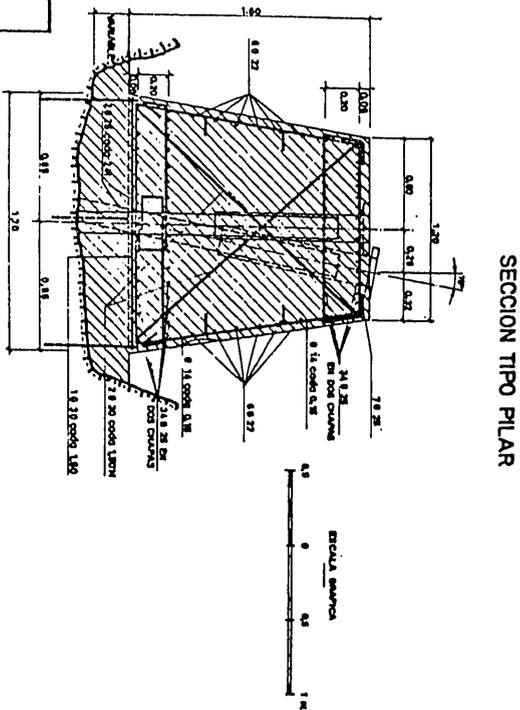
El tipo de anclajes empleado para estas tenes ha sido el BBRV. Está compuesto por un haz de alambres paralelos, unidos en sus dos extremos a dos cabezas metálicas mediante remachado en frío de los alambres. Un obturador divide el conjunto en dos zonas, una llamada de anclaje y la otra de libre deformación. Esta

LOS ANCLAJES DE LA PRESA DE EL ATAZAR

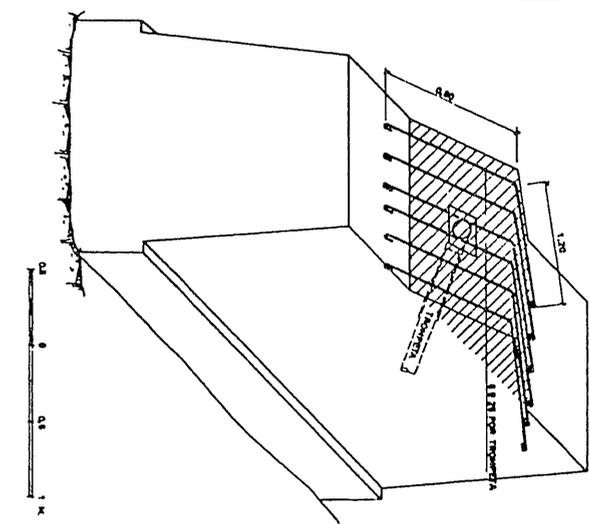
SECCION TIPO DE VIGA



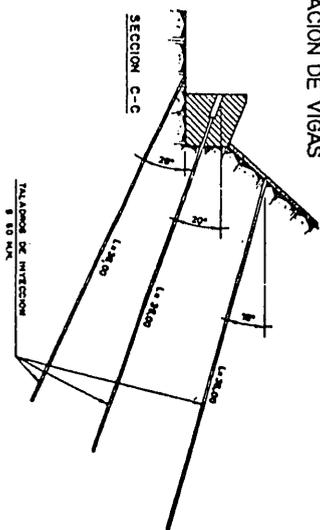
DETALLES EN LADERAS



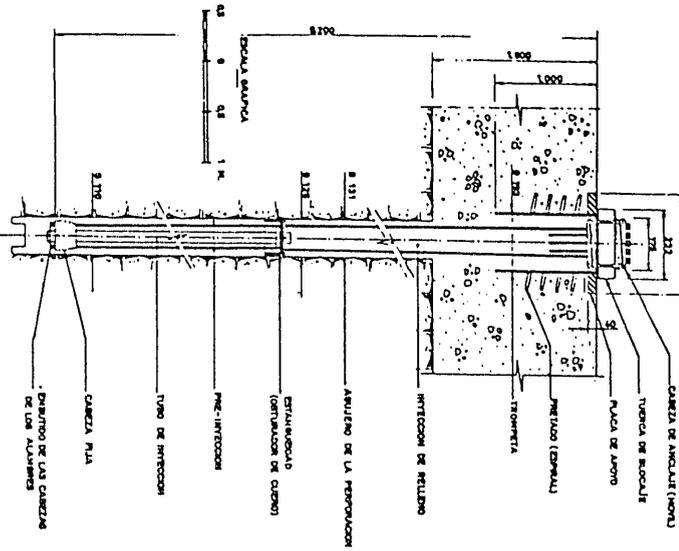
ARMADURAS DE TROPETAS EN PILARES



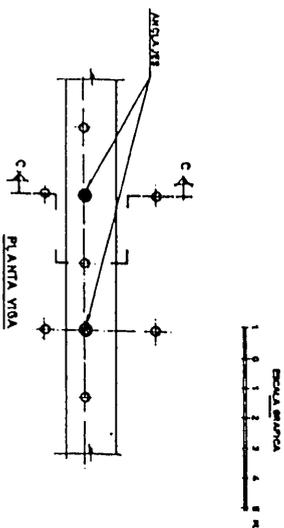
DETALLE DE INYECCION CONSOLIDACION DE VIGAS

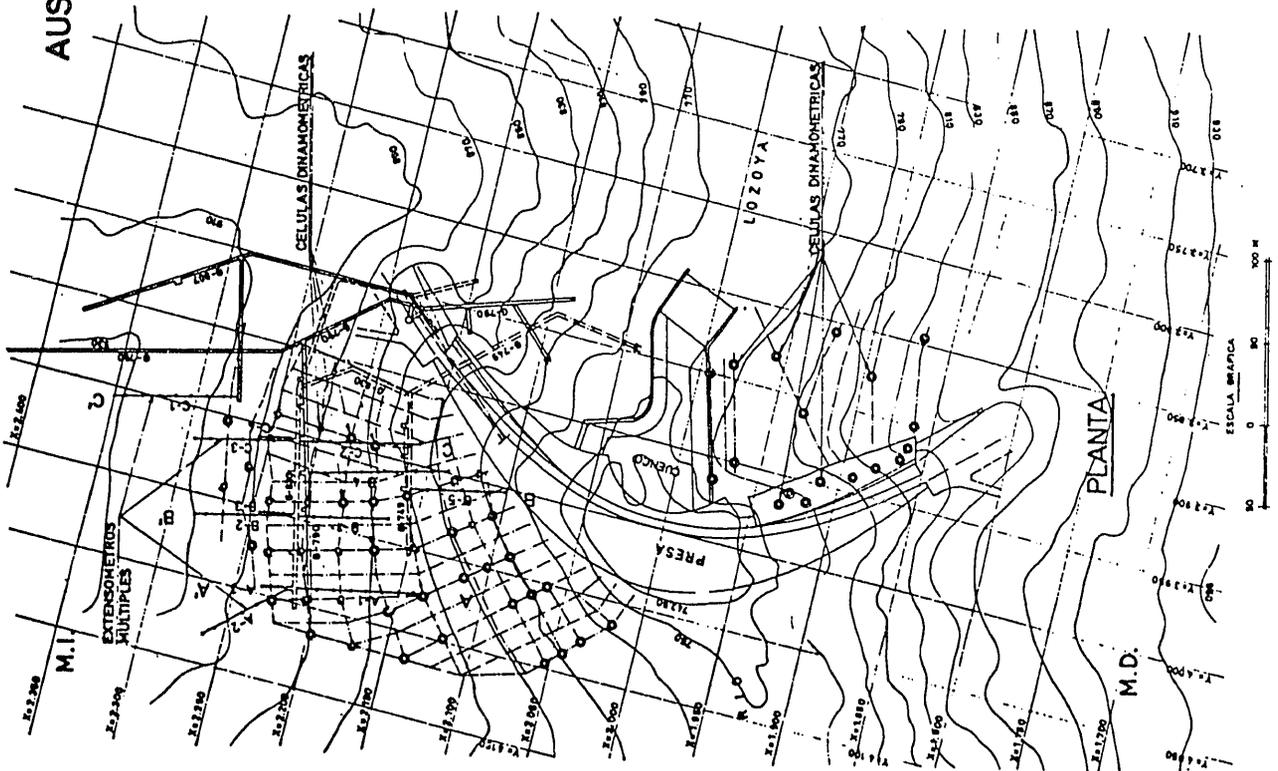
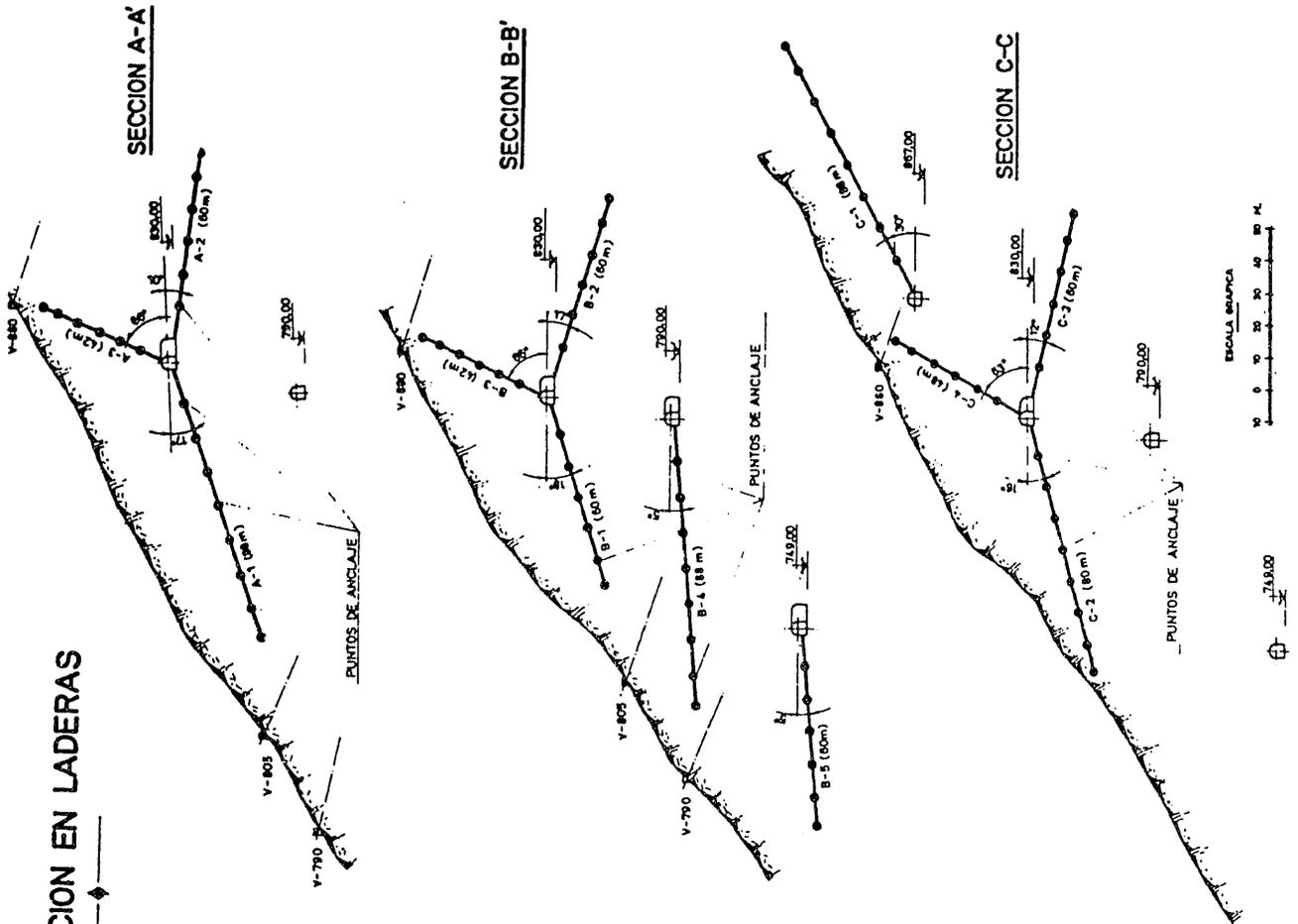


ANCLAJE PRETENSADO

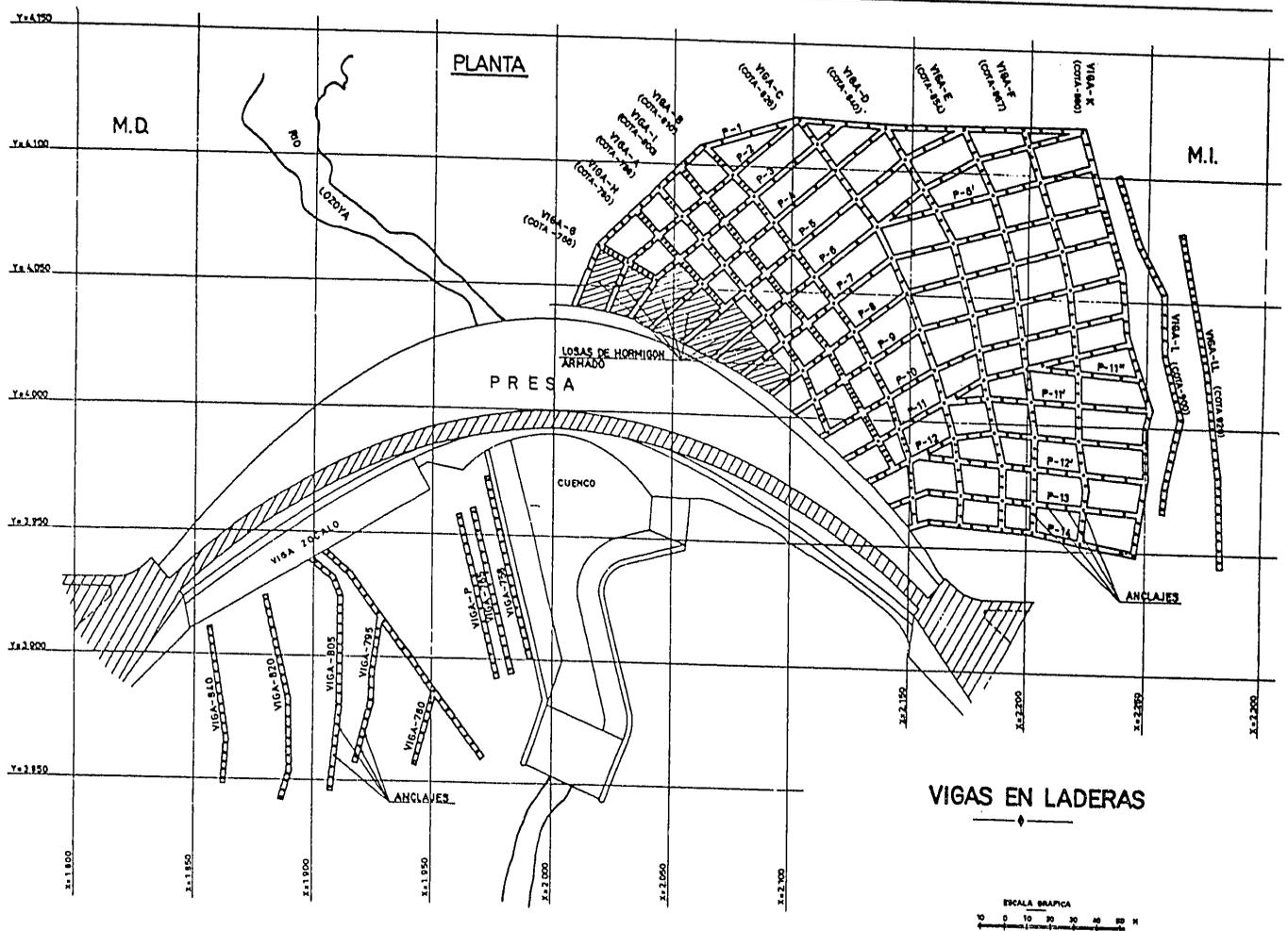


SECCION TIPO PILAR





LOS ANCLAJES DE LA PRESA DE EL ATAZAR



última, además, va protegida en toda su longitud con una vaina tubular espesa de polietileno semirrígido.

La cabeza exterior del anclaje, o cabeza móvil, va roscada y provista de una tuerca que fija el anclaje al apoyo en posición definitiva al término del tensado, sin que se produzcan pérdidas de tensión por inmovilización del conjunto, el sistema facilita la comprobación de las tensiones del anclaje y su reajuste en el tiempo mediante roscado y desenroscado de la tuerca de fijación.

La puesta en obra de estos anclajes se realiza perforando un taladro en el terreno, en el cual se aloja el anclaje, y mediante un tubo de plástico, que lo atraviesa en toda su longitud, se inyecta la lechada de cemento desde el fondo del taladro hasta que salga a la boca del mismo entre la vaina de polietileno y el taladro.

Este sistema de inyección se emplea, por supuesto, en rocas en las cuales se haya com-

probado que no existen pérdidas de lechada en la zona de anclaje. Una vez fraguada esta lechada, se pone el anclaje en tensión mediante gatos hidráulicos y se rellena el interior de la vaina de polietileno que protege los alambres de la zona libre con una lechada de cemento endurecido o con un gel elástico. Este último se utiliza cuando se desea comprobar la tensión del anclaje, transcurrido un tiempo, o si está dotado de célula de control de tensiones.

Las características mecánicas de los anclajes de gran esfuerzo colocados en la presa de El Atazar son:

— Armadura:	54 Ø 7 mm.
— Sección de acero:	20,78 cm ²
— Peso/ml.:	16,30 kg/ml.
— Límite elástico:	155 kg/mm ²
— Tensión de rotura:	170 kg/mm ²
— Carga de rotura:	353 Tm.
— Carga de servicio:	230/236 Tm.

La longitud de los anclajes colocados ha sido

normalmente de 50 m., llegándose en algunos casos a 80 m. La longitud de fijación a la roca en todos ellos fue de 15 m.

V. PROTECCION DE LOS ANCLAJES

Debido a que gran parte de los anclajes colocados en la ladera izquierda habían de quedar bajo agua, una vez lleno el embalse, fue necesario poner a punto una combinación de sistemas de protección que permitiera obtener el máximo de garantía posible en el comportamiento de los anclajes a lo largo de la vida de la obra. Para lograrlo se asociaron las siguientes protecciones:

— **Mecánica**, mediante la vaina de polietileno semirrígido de 4 mm. de espesor.

— **Química**, mediante inyección de cemento o geles tampones a base de fosfatos.

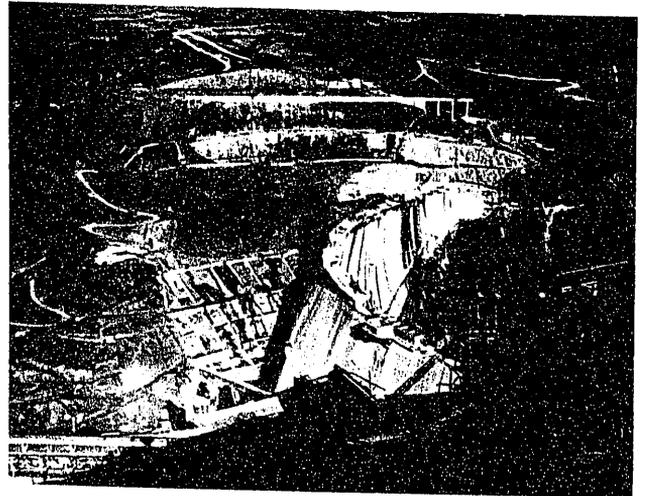
— **Electroquímica**, mediante ánodos de sacrificio de cinc especial (protección anódica).

En los análisis realizados en muestras de agua extraídas de drenes de las laderas, se comprobó su relativamente elevado grado de acidez, pH 3,5, motivada por el paso del agua por zonas de piritas. Sin la existencia de oxígeno no tiene ningún efecto negativo, pero en presencia de aquél y bajo la acción de ciertos microorganismos, produce la conversión del azufre de las piritas en ácido sulfúrico. Por tanto, era de gran importancia:

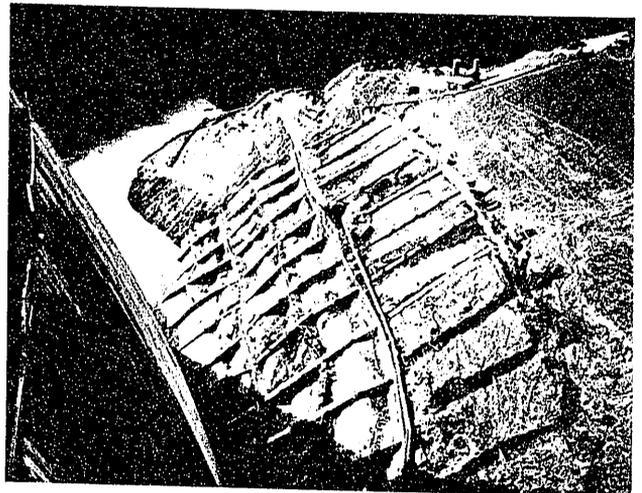
1) Evitar el contacto del agua con el anclaje. Se consiguió con las vainas de protección y las inyecciones de relleno de cemento.

2) Conseguir que en el entorno del anclaje el medio fuera básico, dado que aquellos microorganismos son inactivos por encima de un $\text{pH} = 5$. Se logró mediante una inyección de cemento a presión en taladros distribuidos alrededor de los anclajes, que rellenaron las grietas por las cuales pudiera circular el agua.

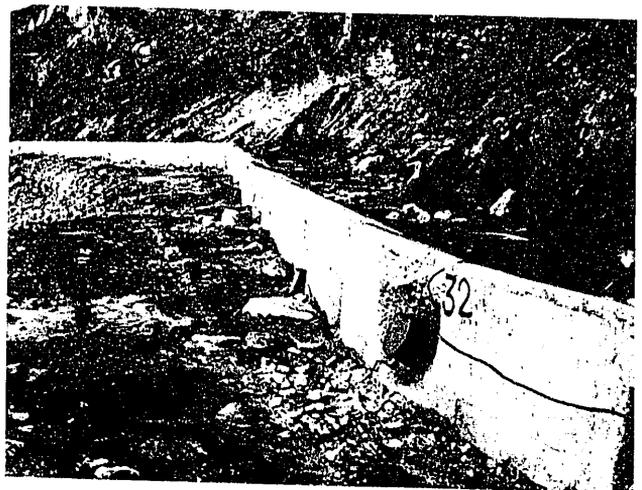
3) En el caso de que una posible fisura en las anteriores protecciones de los anclajes originara un ataque localizado, la protección anódica evitaría el ataque electroquímico, pues la circulación de corriente que se pudiese originar entre el anclaje y el ánodo de sacrificio gene-



Vista de la presa y vigas ancladas de la ladera margen izquierda.

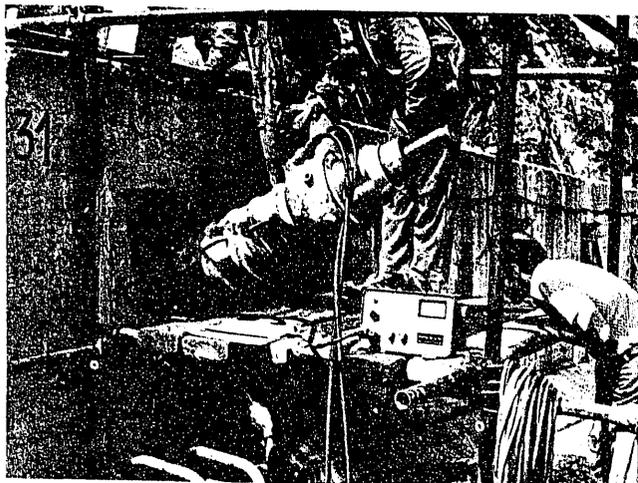


Vigas ancladas de la ladera margen izquierda.

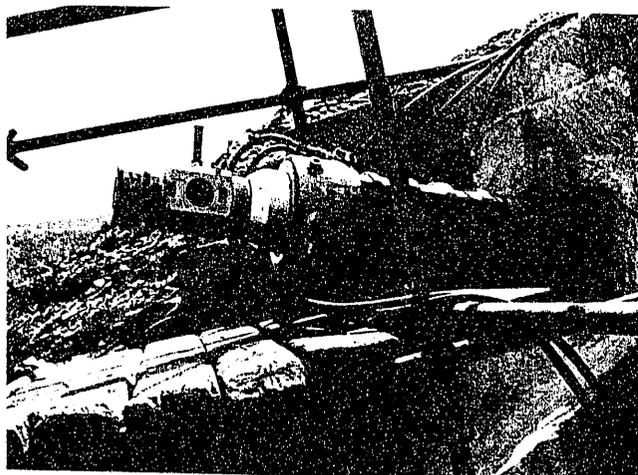


Viga anclada totalmente terminada. Se aprecian los cables de conexión de la protección catódica y de las células dinamométricas.

LOS ANCLAJES DE LA PRESA DE EL ATAZAR



Tensado de un anclaje con célula de control y comprobación de la célula.



Gato de tensado BBRV en posición. Comprobación mediante dinamómetro incorporado al equipo.

raría una basicidad del medio que colaboraría a evitar el desarrollo de las bacterias. Se ha estudiado el peso de cinc de los ánodos de sacrificio para una vida de los anclajes de cien años.

VI. CONTROL DE LAS TENSIONES DE LOS ANCLAJES

Dada la necesidad de controlar la estabilidad de las laderas, tanto la izquierda aguas arriba de la presa, como la derecha aguas abajo, se instalaron extensómetros múltiples en galerías e, igualmente, se dotó a 54 anclajes, 10 en la ladera derecha y 44 en la izquierda, de células dinamométricas, capaces de controlar tensiones



Bomba de tensado BBRV.

incluso bajo agua. Estas células de doble banda extensométrica, van todas conectadas a un ordenador. Así se controla ese estado tensional de las laderas.

Como era necesario dejar estos 54 anclajes con libertad de deformación, se rellenaron en su longitud libre con un gel elástico.

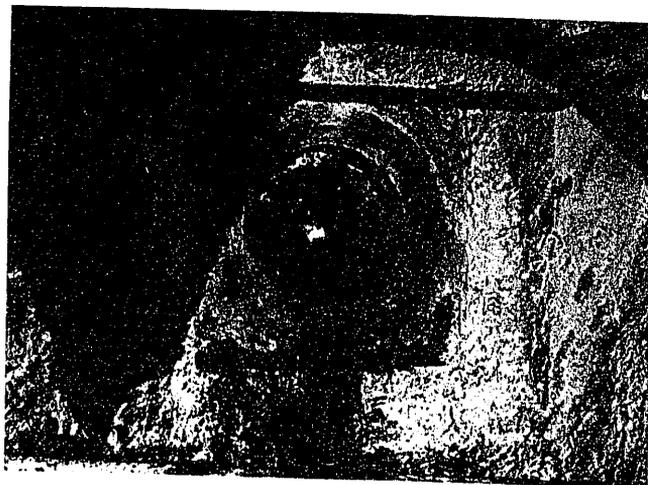
A lo largo del transcurso de la obra se comprobó la tensión de casi todos los anclajes, al mes de su puesta en carga, apreciándose pérdidas de tensión que variaban de un 4 a un 5 por 100 en las zonas donde las vigas apoyaban en roca sana, y de un 7 a un 8 por 100 en las que apoyaban en terrenos más flojos.

Durante el año 1981 y parte de 1982 se ha realizado una campaña de comprobación de las células dinamométricas de control y del estado de los anclajes, para lo cual ha sido necesario destensar algunos de éstos, lo que no ha permitido comprobar mediante gatos y dinamómetros la tensión real actual y el estado de conservación del gel de protección con que

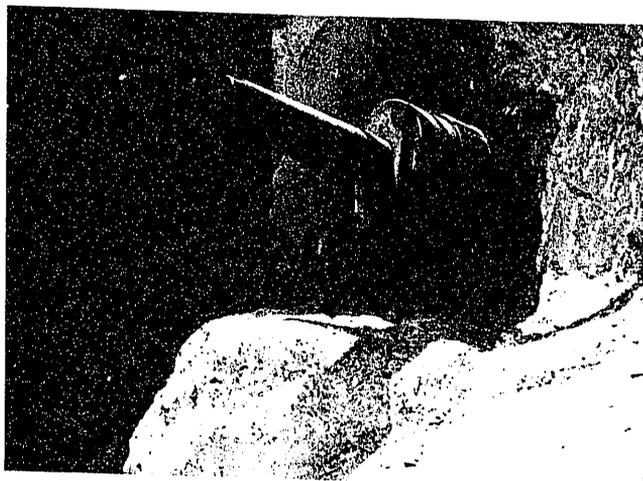
LOS ANCLAJES DE LA PRESA DE EL ATAZAR



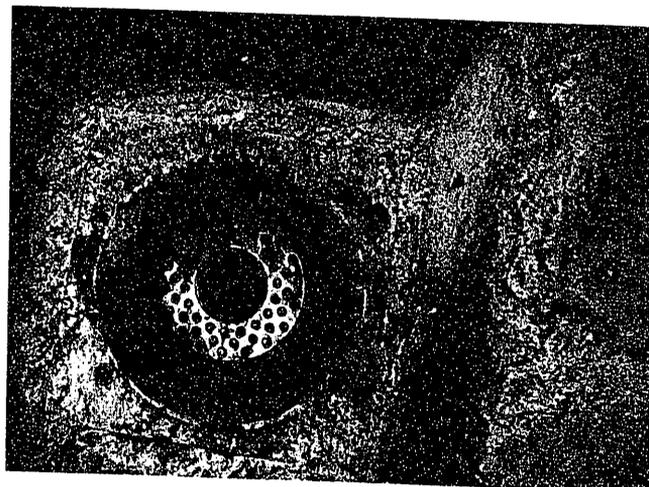
Anclaje de control con cazoleta de protección rellena de gel Cesacril.



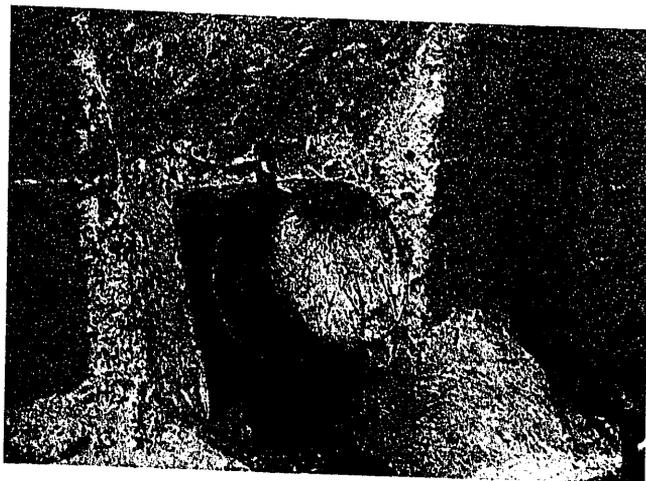
Anclaje de control destensado y retirada la célula.



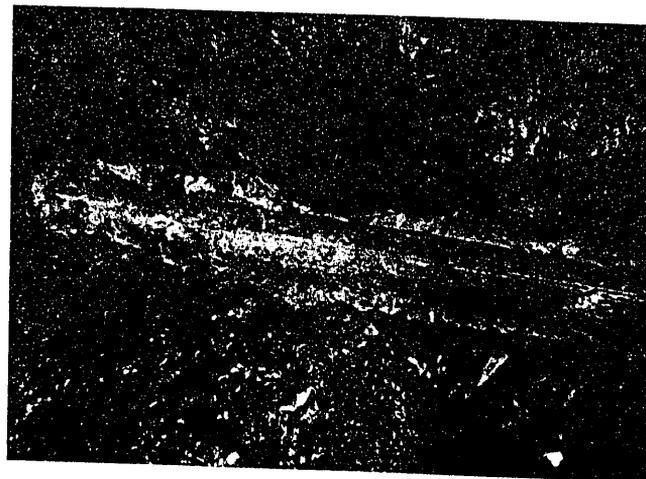
Anclaje de control después de quitar la cazoleta y limpiar el gel de protección.



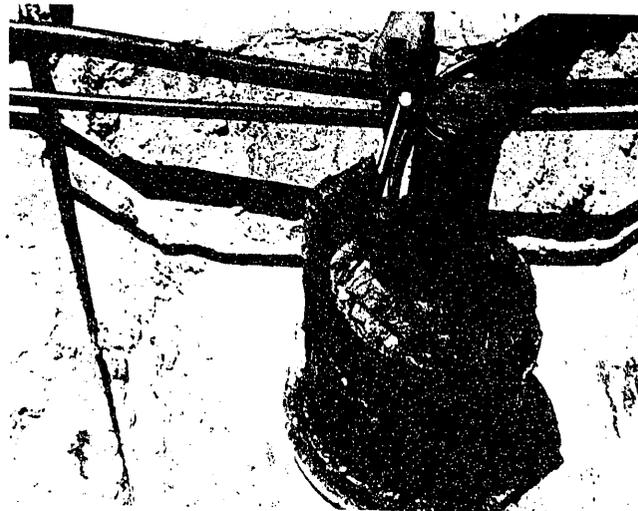
Anclaje de control destensado después de limpiar el gel de protección.



Anclaje de control con cazoleta de protección.



Excavación realizada para comprobar la protección de la inyección en los taladros de anclaje. Se aprecia perfectamente a vaina de protección y el cemento que la recubre en la zona libre.



Anclajes de control recubiertos con gel de protección. Se aprecia perfectamente el estado de conservación del gel después de diez años.

estaban inyectados. Habían transcurrido aproximadamente diez años desde su instalación.

VII. COMPROBACIONES REALIZADAS A LOS DIEZ AÑOS

Las comprobaciones de carga efectuadas han arrojado los siguientes datos:

- 5 anclajes no han tenido ninguna variación de carga.
- 1 anclaje ha tenido pérdida de 1 Tm.
- 1 anclaje ha tenido pérdida de 3 Tm.
- 5 anclajes han tenido pérdida de 6 Tm.
- 2 anclajes han tenido pérdida de 7 Tm.
- 1 anclaje ha incrementado su carga en 6 Tm.

es decir, en el caso extremo, la pérdida de tensión ha sido del 3 por 100 en diez años.

Adjuntamos unos gráficos con los tensados definitivos y los realizados después de esta última comprobación, así como un cuadro con el historial de cada anclaje.

A la vez que se ha comprobado el buen estado de los anclajes en lo referente a su tensión, también se ha podido apreciar su buen estado de conservación.

Estos anclajes, como se ha dicho anteriormente, estaban inyectados en su zona libre con geles tampones elásticos, que se pusieron a

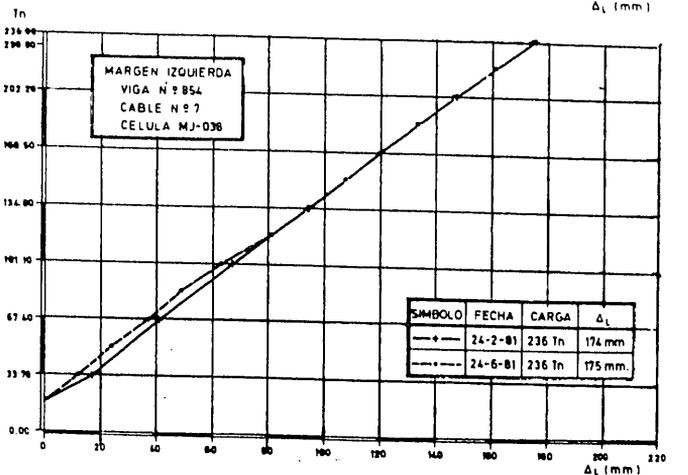
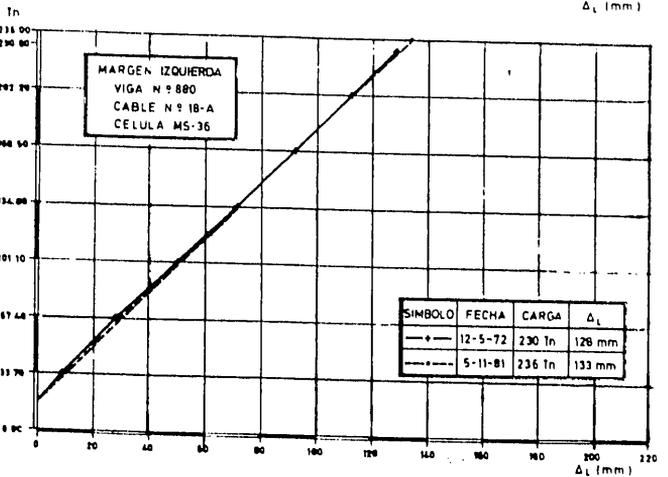
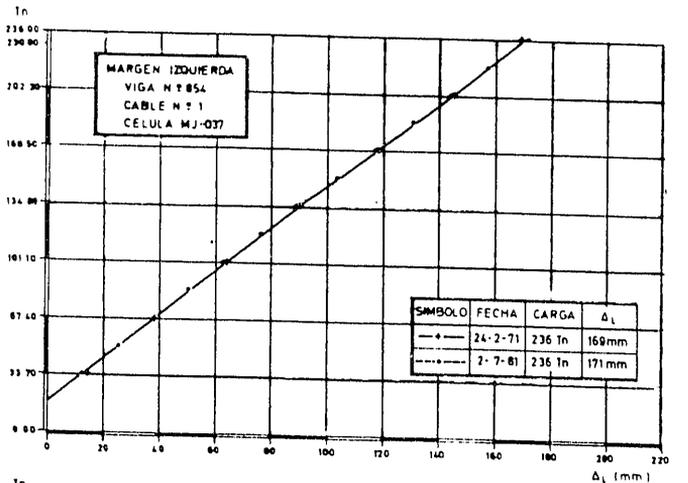
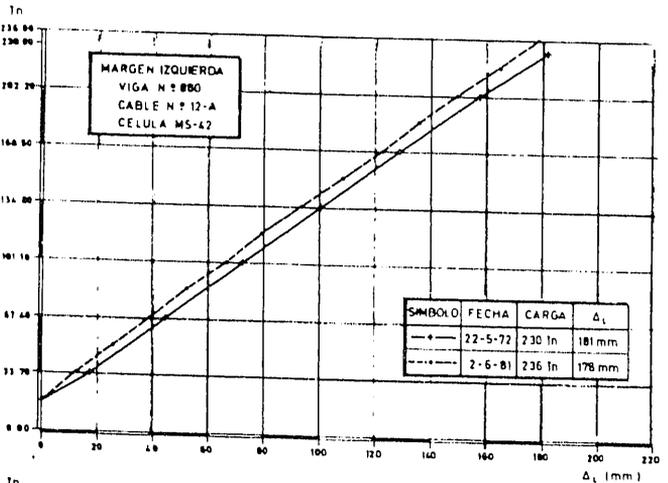
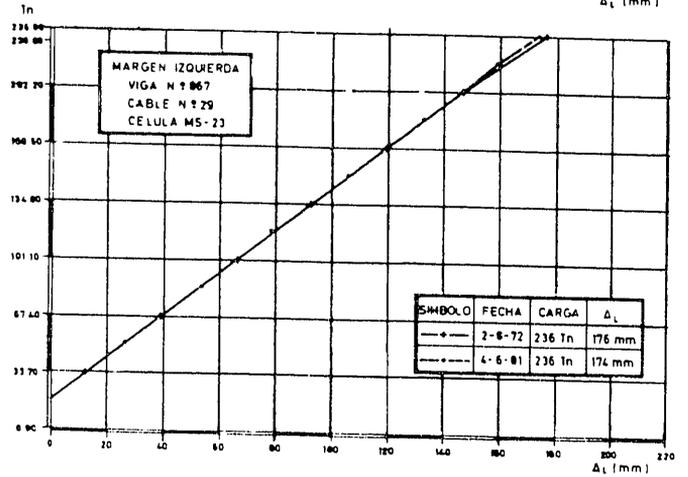
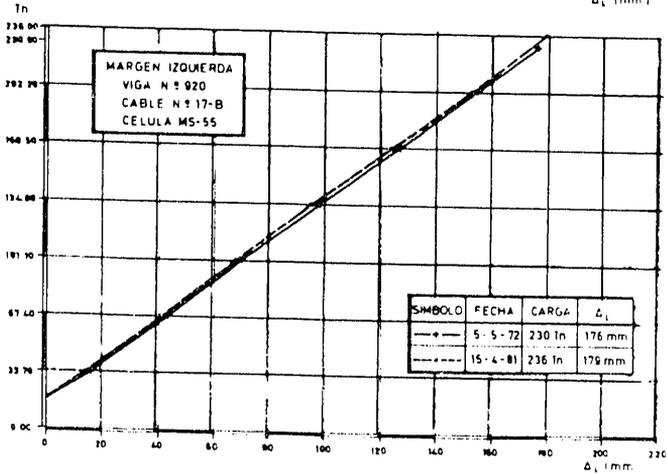
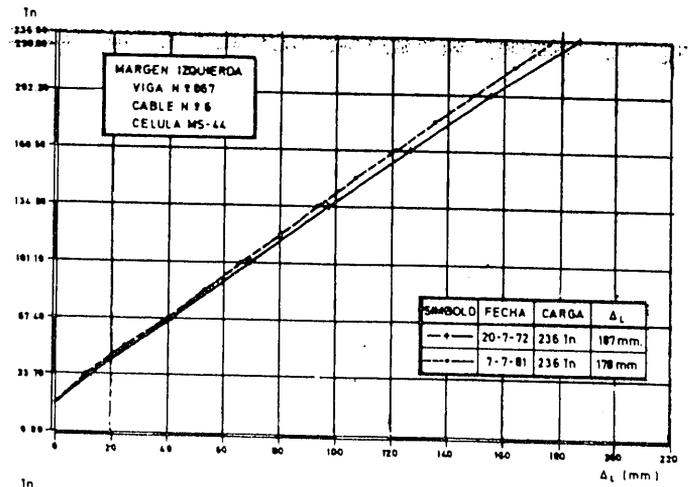
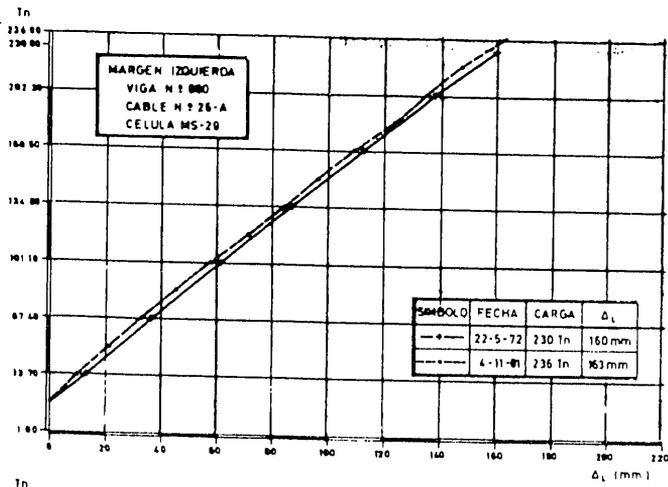
punto para este fin y posteriormente se han utilizado en multitud de obras de características similares.

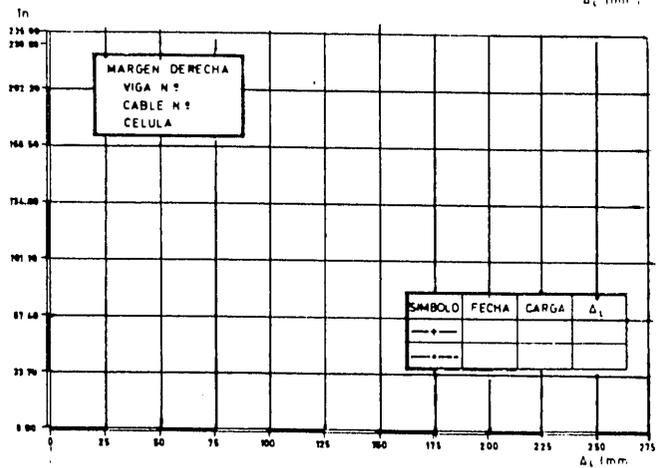
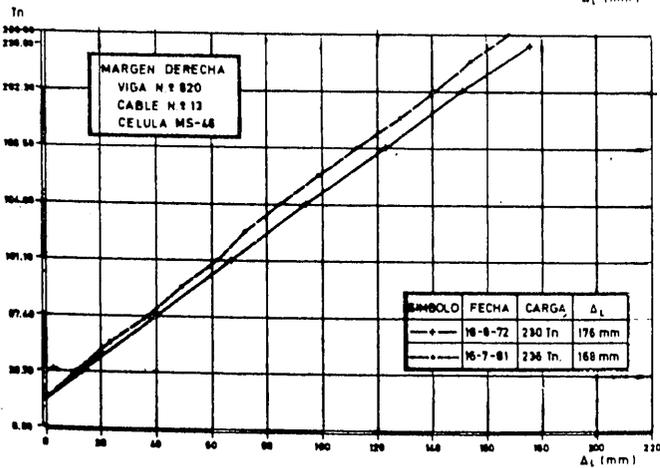
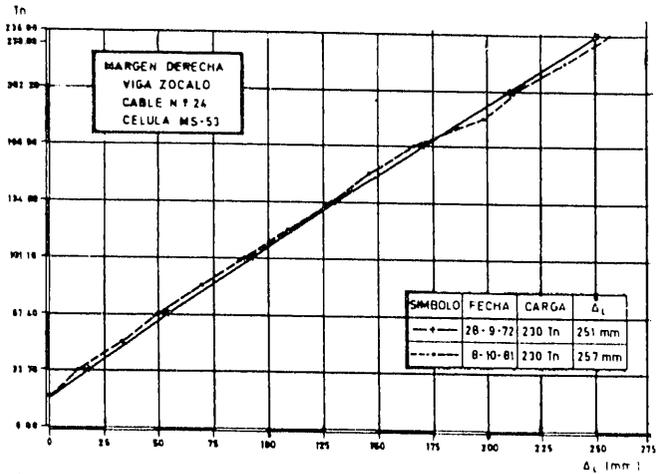
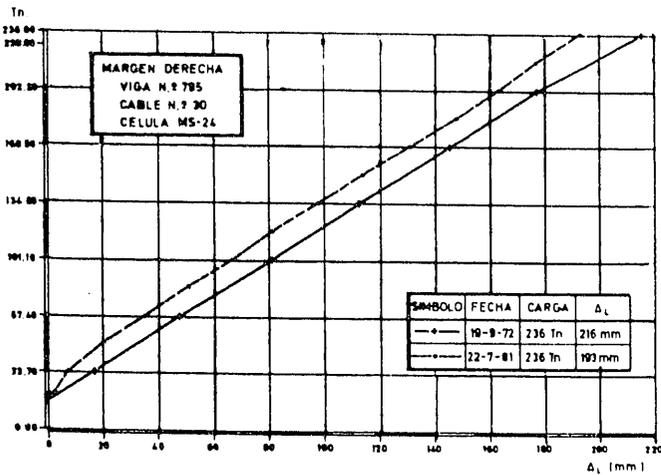
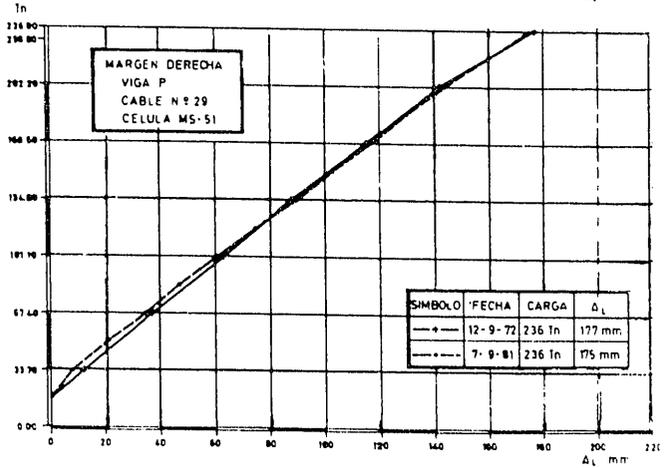
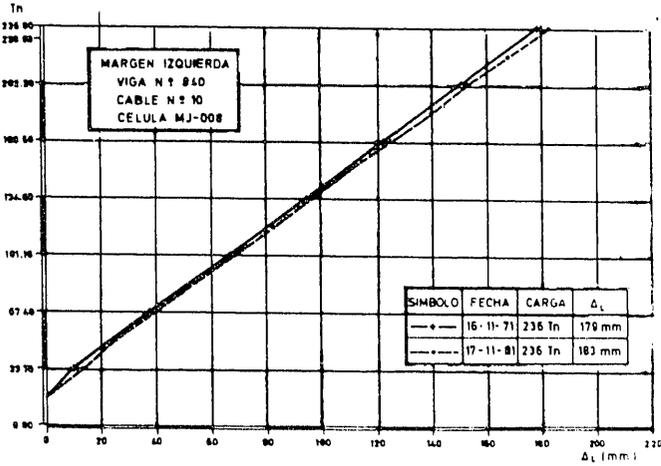
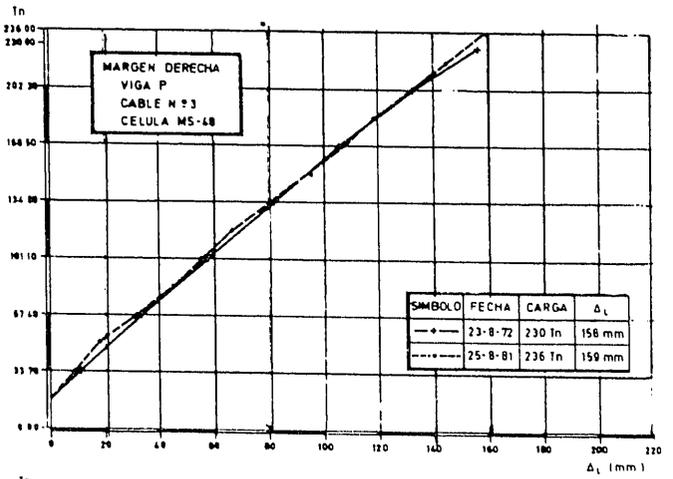
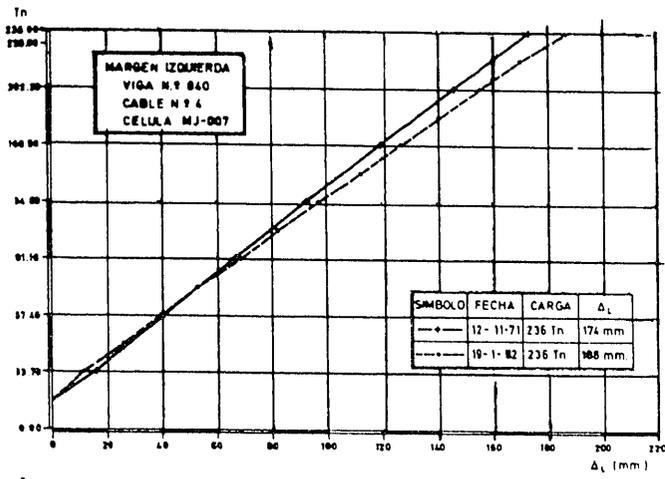
Este gel, denominado CESACRIL, se obtiene a partir de una solución acuosa de monómeros acrílicos, latex de caucho nitrílico, y mediante la adición de sales del ácido fosfórico (mono y disódico) la disolución se mantiene «tamponada» a un pH pasivamente para el acero.

Estos componentes dan lugar a un sólido gomoso que incorpora de forma estable el agua presente en el momento de la reacción, y que mantiene indefinidamente su grado de pasivante e impide, por tanto, la formación de zonas anódicas en cualquier metal que se recubra.

Este gel tiene una permeabilidad muy baja (10^{-11} cm/s.) y tiende a hincharse cuando se encuentra en equilibrio con agua, lo que provoca una presión osmótica inversa que impide la lixiviación del electrolito. Esta propiedad, unida a la enorme resistencia del polímero acrílico a cualquier agente orgánico o inorgánico, da una gran seguridad en cuanto a la durabilidad del producto, aun en subsuelos agresivos.

Después de ser utilizado en la Presa de El Atazar, se ha colocado en multitud de anclajes de control realizados en otras presas y centrales nucleares, con resultados muy satisfactorios hasta ahora.





DE ANCLAJES DE CONTROL

M A R G E N	VIGA	ANCLAJE n°	LONG. m.	1er TENSADO		1ª COMPROBACION		TENSADO DEFINITIVO		ULTIMA COMPROBACION		CARGA	
				FECHA	Tn.	FECHA	Tn.	FECHA	Tn.	FECHA	Tn.	Tn.	%
IZQUIERDA	920	17-B	50	20- 2-68	220	14- 4-72	209	5- 5-72	230	15- 4-81	230	0	0
"	880	12-A	50	21- 8-68	220	12- 5-72	220	22- 5-72	230	2- 6-81	230	0	0
"	880	16-A	50	22- 8-68	220	26- 6-71	212	12- 5-72	230	19- 5-81	223	-7	-3,1
"	880	26-A	50	17- 8-68	220	3- 6-71	220	22- 5-72	230	12- 5-81	236	+6	+2,6
"	867	6	50	14- 1-72	230	20- 7-72	223	20- 7-72	236	7- 7-81	230	-6	-2,6
"	867	29	50	12- 1-72	230	10- 2-72	226	10- 2-72	236	4- 6-81	230	-6	-2,6
"	854	1	50	19-11-71	230	--	--	24- 2-72	236	2- 7-81	236	0	0
"	854	7	50	11-11-71	230	--	--	24- 2-72	236	24- 6-81	230	-8	-2,6
"	840	4	50	11- 6-71	236	--	--	12-11-71	236	19- 1-82	236	0	0
"	840	10	50	15- 7-71	236	16-11-71	220	16-11-71	236	17-11-81	236	0	0
DERECHA	820	13	50	28- 2-69	230	10- 7-72	216	18- 8-72	230	16- 7-81	229	-1	-0,4
"	796	30	60	3- 7-72	230	19- 9-72	230	19- 9-72	236	22- 7-81	230	-6	-2,6
"	P	3	50	5- 5-69	202	13-10-71	209	23- 8-72	230	25- 8-81	227	-3	-1,3
"	P	29	50	26- 5-69	202	24-11-71	195	12- 9-72	236	7- 9-81	229	-7	-3,1
"	Zócalo	24	70	23- 6-72	230	11- 8-72	223	28- 9-72	236	3-10-81	230	-6	-2,6

Rodolfo Urbistondo Echeverría



Doctor ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, habiendo seguido cursos de hidrodinámica en el MIT. Desde 1950 ha ocupado diversos cargos en la Administración del Estado como ingeniero de la Confederación Hidrográfica del Ebro y en la Dirección General de Obras Públicas (subdirector General de Obras Hidráulicas, comisario central de Aguas, etcétera). En la actualidad es director general del Canal de Isabel II. Ha sido secretario

del Instituto de Hidrología del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, del Comité Nacional Español para el Decenio Hidrológico Nacional y de diversas comisiones del II y III Plan de Desarrollo Económico y Social, siendo en la actualidad vicepresidente de la Comisión Internacional y presidente del Comité Nacional Español de Grandes Presas, vocal del Comité Nacional Español de la Conferencia Nacional de la Energía, presidente de la Asociación Nacional Española de Abastecimiento de Agua y Saneamiento, presidente de la Sección de Hidrología de la Comisión Nacional de Geodesia y Geofísica y presidente del Consejo Científico y Técnico de la International Water Supply Association.

Luis Yges Gómez



Doctor ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. En Consulpresa colabora en proyectos de presas-bóvedas (Atazar, Rieño, etc.) y auscultación de varias presas. En Hydrotecnic colabora en proyectos de abastecimiento a la zona industrial de Huelva, sistema de regadío en una zona de Marruecos y en la presa de El Piedras. Ha intervenido, como ingeniero de la Confederación Hidrográfica del Tajo, en la construcción y auscultación de la presa de El Atazar,

transformación en presa-vertedero de la presa de El Vado, túnel de trasvase Sorbe-Jarama, proyecto y construcción de Alcorlo y La Tajera. En el Canal de Isabel II interviene en el arreglo de la fisura de El Atazar, abastecimiento a los pueblos de la sierra Norte de Madrid, estructura nudo de El Goloso, anteproyecto presa Jarama Medio, estación elevadora plaza de Castilla, proyectos y obras de depósitos y elevadoras para abastecimiento a Arganda, Loeches, etc., y proyecto y construcción del depósito y estación elevadora de Majadahonda.