

Nuevo Acceso Oeste a Málaga

Por D. Luis Cánovas del Castillo
Ingeniero de Caminos, Canales y
Puertos, MOPT,
Ingeniero Director de las Obras y
Pedro Sola Casado
Ingeniero de Caminos, Canales y
Puertos (GEOCISA)

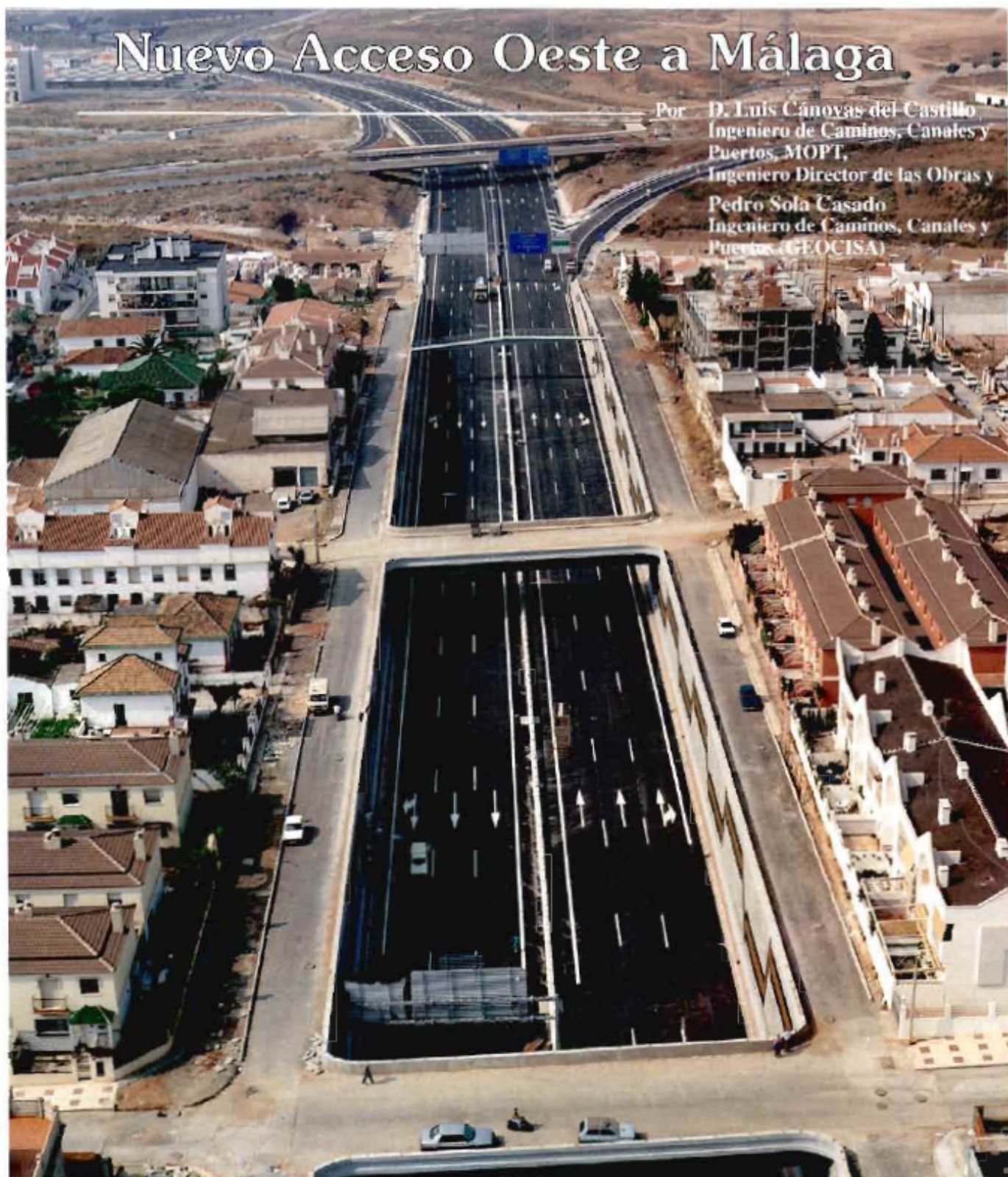


Foto 1. En ella, se aprecia una vista general de la zona entre muros pantalla.

Descripción de la obra

ESTA obra consta de dos tramos: un primero de 2,4 km, entre

el Enlace de Campanillas y el Camino de Antequera, que forma parte de la Autovía Ronda Oeste de la ciudad de Málaga, en servicio desde el 15 de Mayo de 1992; y un segundo de 2,6 km, entre el

Camino de Antequera y Ciudad Jardín, que es una penetración urbana mediante una avenida de dos calzadas y algunos cruces a nivel.

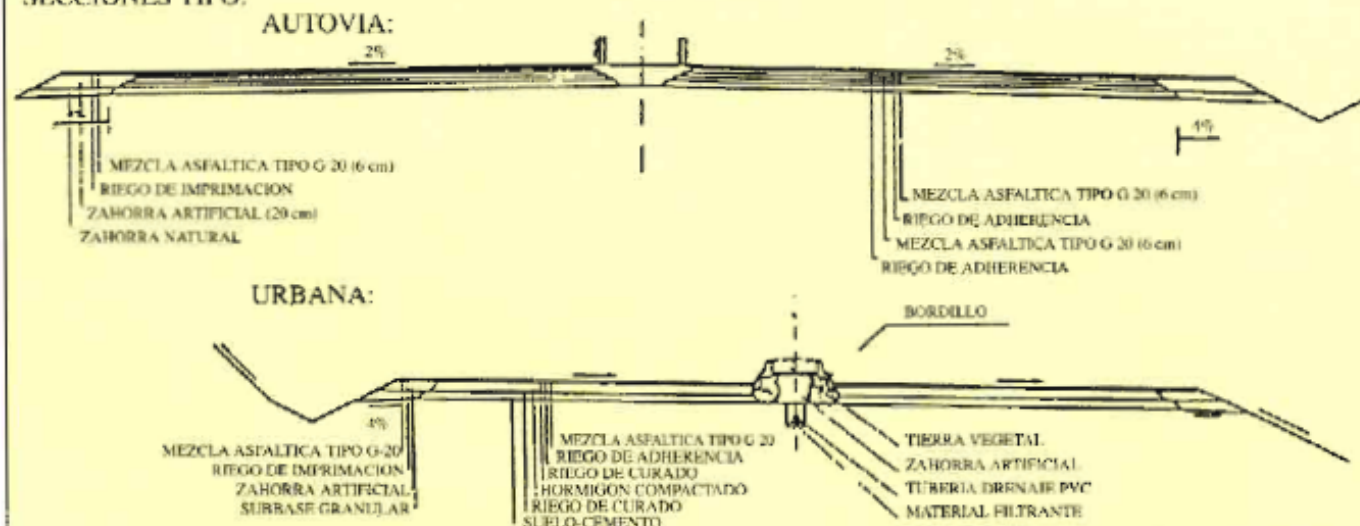
Aunque las principales características de toda la

obra figuran en el Cuadro I, (ver página siguiente), hay que destacar que en ella, se han planteado todos los problemas, que habitualmente surgen en las construcciones viales, situadas en el inmediato

CUADRO 1

LONGITUD DEL TRAMO	5 020 m	En dos tramos: 2 400 m en autovía y 2 600 m en Avda. Urbana
PRINCIPALES UNIDADES Y ELEMENTOS	CANTIDAD	OBSERVACIONES
Movimiento de tierras.	800 000 m ³	
Excav. y retiradas de escombros.	150 000 m ³	
Formación de terraplén.	250 000 m ³	
Hormigones.	28 000 m ³	
Acero en redondo.	1 500 000 kg	
Acero para pretensado.	100 000 kg	
Suelo estab. con cemento.	14 000 m ³	
Hormigón compactado.	17 000 m ³	
Mezclas asfálticas en caliente.	60 000 t	
Drenes.	4 000 m	
Reposiciones tuberías D. 800 a 1 400 m/m.	3 000 m	
Pantalla anclada.	780 m	
Anclajes I.R.S.	541 ud	Capacidades entre 40 t y 100 t
Puentes en cajón de hormigón postensado.	5 ud	Luces entre 15 y 37 m
		Superficie total = 4 000 m ²
Puente de tablero aligerado.	1 ud	Tres vanos en arco con luces de 16 m y superficie de 1 219 m ²
Puente y viga pretensadas.	1 ud	Tres vanos con 20 m de luz y superficie de 1 320 m ²
Ramales y vías de servicios.	5 120 m	Tres directos a Universidad, Carranque y Fábrica de Salyt. Dos lazos de enlace de Campanillas. Un enlace de tipo diamante en C/. Competu. Dos vías de servicio en trasdós de pantallas.

SECCIONES TIPO.



COMUNICACIONES QUE PERMITE

Acceso Oeste de Málaga-Cádiz.
Valle del Guadalhorce y Zona Universitaria.
Sevilla-Córdoba-Granada-Almería

entorno de una gran ciudad. Así, hubo que hacer modificaciones de servicios de agua y electricidad -en ubicaciones a veces inesperadas-, retiradas de escombreras de gran espesor en algunas

zonas, expropiaciones que al demorarse ralentizaron los trabajos, y desvíos de tráfico en las vías de comunicación existentes.

Una vez dicho esto, vamos a centrarnos en el

tramo primero por ser donde ha surgido, y se ha resuelto, un problema de características peculiares, de interés desde el punto de vista técnico.

Entre los p.k. 1,470 y p.k. 1,860, la Autovía te-

nía que cruzar, en trinchera de 31 m de anchura y de hasta 8 metros de altura, a través de una franja de unos 42 m de ancho, entre edificaciones relativamente modernas de dos plantas. En el proyecto fi-

guraba la construcción de muros convencionales cuya realización habría implicado la caída de alguno de los edificios existentes, dada su proximidad, de sólo unos 6 m, al borde de la trinchera.

Se decidió resolver el problema, sustituyendo los muros convencionales con pantallas de hormigón armado. Entonces, se planteó una segunda disyuntiva: ¿pantallas en ménsula o ancladas? La profundidad y espesor a que obligaban las pantallas en ménsula, para que sus movimientos no descomprimiesen el terreno de cimentación de las edificaciones contiguas, las encarecía mucho. Por lo que se eligió la opción de las pantallas ancladas.

Una solución que nunca se contempló, fue la de pantallas arriostradas en cabeza, dada la separación de 31 metros entre las pantallas enfrentadas, la altura variable de la trinchera, y la necesidad de mantener un galibo superior a 5 metros a todo lo largo de la misma. En este tramo en trinchera, de 390 m de longitud, se han dispuesto tres estructuras que proporcionan



Foto 2. Como se aprecia, el color del paramento exterior de las estructuras, disminuye la sensación de gran canto y robustez.

esta clase de arriostramientos, pero tan sólo en 66 m.

Teníamos, así, que acometer la tarea de construir las pantallas ancladas de hormigón armado, de hasta unos 12 metros de altura —pues si por encima de la rasante sobresalen unos 8 m, preci-

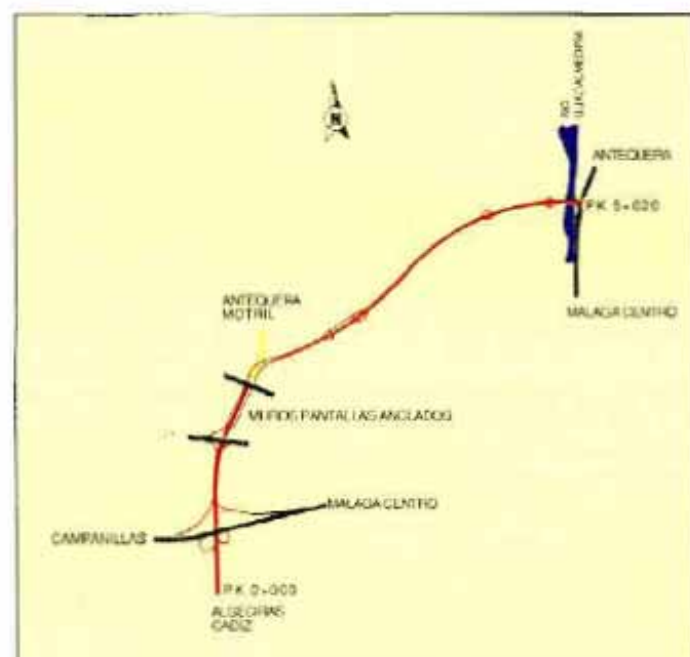
san un empotramiento del orden de 4 m— a tan sólo 6 metros de edificaciones modernas, y habitadas, a mantener. Esta circunstancia planteaba dificultades, tanto de tipo técnico como de tipo legal, obviándose las últimas con un trato humano y comprensivo hacia las justas reivindicaciones que los vecinos planteaban, a pesar de su indudable repercusión económica en el costo de la obra.

Los anclajes permanentes de Muros en roca, hace tiempo que se vienen utilizando sin ningún problema. Algo parecido ocurre con los anclajes provisionales en arcillas, pues pronto suelen arriostrarse, con entreplantas, los vaciados contorneados por Muros con este suelo en su trasdós.

Pero en nuestro caso, la trinchera discurría en su mayor parte por arcillas, y los anclajes tenían que ser permanentes,

pues no cabía la posibilidad de arriostrar un muro contra otro. Es la eventual deformación plástica de las arcillas, donde se ubica el bulbo de los anclajes —aunque como es lógico se procura situar éstos en las arcillas de mayor consistencia—, lo que preocupa al proyectista, que intenta disminuir las tensiones transmitidas al terreno, y así su deformación, mediante la obtención de bulbos de gran diámetro.

Se decidió afinar su dimensionamiento teórico mediante ensayos "in situ", sobre las pantallas de hormigón armado, previamente construidas. Más adelante se indican las principales características de las pantallas; sigamos de momento con los anclajes. Su proyecto teórico y su ajuste "in situ" fue realizado contando, principalmente, con la colaboración, de la empresa encargada del Con-



Las pruebas "in situ" comenzaron realizándose cuatro anclajes convencionales de 10 cm de diámetro, dentro de los cuales iban 8 cordones de acero de 0,6". Se obtuvieron, en rotura, sólo 5 t/m de bulbo en vez de las 12 t/m que se necesitaban.

Mediante un elemento inyector que se introducía en el interior del tubo de acero, provisto de dos obturadores inflables que permitían compartimen-



Al igual que en la anterior, se aprecia que el color verde oscuro del paramento exterior de las estructuras suaviza su geometría.

tar de metro en metro el tubo en la zona de bulbo.

enfrentándose los orificios de inyección del elemento inyector con los del tubo, se hicieron inyecciones a presión en dos fases. En la primera fase la inyección se realizaba a 20 kg/cm², se levantaba el manguito del tubo, saliendo la lechada al exterior y rompiendo el terreno circundante al tubo de acero. Repetido este procedimiento en cada metro del bulbo, se dejaba fraguar esta lechada (a base de 1,8 de cemento en peso por 1 de agua) durante 24 horas, alcanzado una resistencia entre 15 y 25 kg/cm² a compresión.

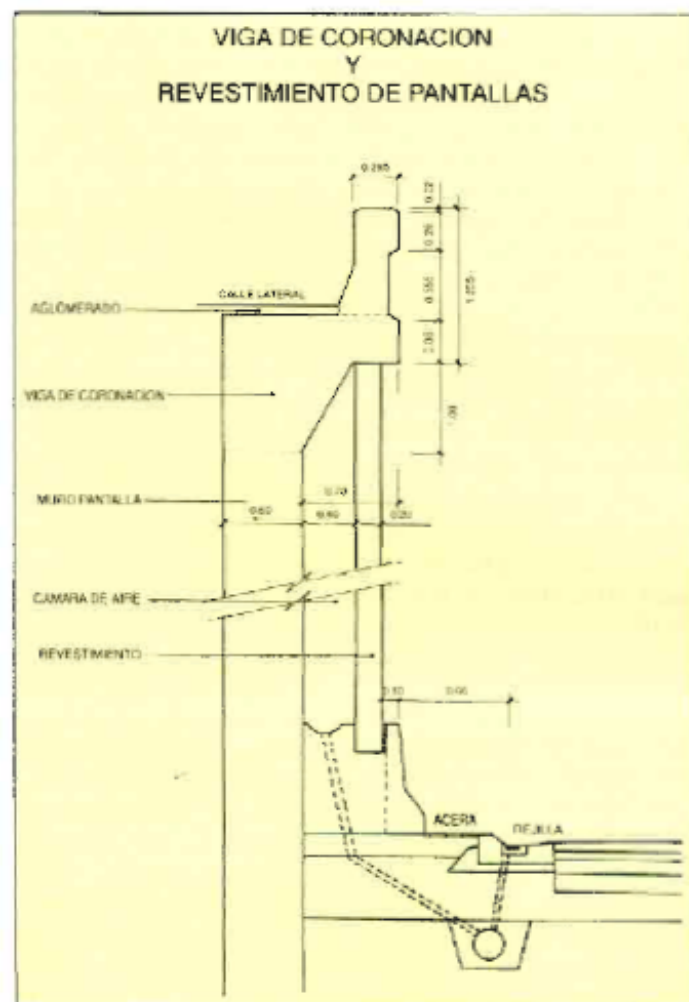
Entonces se repetían las operaciones anteriores en una segunda fase, en la cual la presión era de 50 kg/cm². Ahora se rompía, además del terreno, el primer hulbo obtenido, cuyo diámetro aumentaba.

Los resultados en rotura mejoraron espectacularmente los de la tanda anterior. La primera pare-

ja de esta segunda tanda rompió con 17,5 t/m de bulbo; y la segunda pareja con 21 t/m, superó el límite elástico del acero sin llegar a afectar al bulbo, quedando muy por encima de las 12 t/m requeridas por el cálculo.

Por ello se eligió este segundo procedimiento de inyección, llamado teóricamente IRS (Inyección Repetitiva Selectiva) que suponemos se ha empleado pocas veces en España. Su explicación en forma de TBO, se adjunta a esta información. De manera simplista, podría recordar el viejo dicho "ágarrete a la brocha que quito la escalera". En nuestro caso la persona son los cables, la brocha el tubo y la pared la arcilla. Pues lo que se une al terreno, en un gran bulbo, es un tubo de acero de mucha mayor superficie que los cables; y el anclaje de los cables, ya sin problemas, sólo se hace respecto del tubo de acero.

Las pantallas se hicie-



CUADRO II

DIMENSIONES, TENSIONES Y COSTES MEDIOS DE ANCLAJES I.R.S.

Nº de anclajes	Capacidad (T)	Longitud bulbo	Longitud zona libre	Cordones 6"	Precio medio anclaje (pts)
277	40	4,5	7,10	4	300 000
64	50	6,0	8,75	4	380 000
99	60	6,5	9,16	5	400 000
39	70	7,5	7,59	6	400 000
34	80	9,0	8,31	7	470 000
15	90	10,0	5,73	7	440 000
13	100	11,0	5,91	8	480 000

ron en vanos alternativos —de 3 m de longitud, 0,60 m de ancho, y con altura variable entre 6 y 13 m— que finalmente resultan machiembreados. Una viga de coronación, corrida a todo lo largo, lo une, volando hacia fuera para permitir la existencia de una cámara de aire recogedora de eventuales filtraciones, (abundantes en la margen Oeste, donde se perforaron en zonas coluviales, localizadas 40 mechinuales), y de un revestimiento de las pantallas. Se adjunta croquis de detalle. (ver páginas siguientes).

Los anclajes se hacen, en sentido descendente con un ángulo comprendido entre 35° y 45° respecto de la horizontal. Según las dimensiones de cada módulo de pantalla, se ponen 2 ó 3 anclajes separados verticalmente unos 3 m. En sus perforaciones se detectaba el inicio de las zonas de mayor consistencia, decidiéndose "in situ", el comienzo de la zona de bulbo, y por tanto, la longitud de la zona libre (hasta la boca de las perforaciones). Según el Cálculo Teórico de la tensión que debía resistir ese anclaje, y asignando una resistencia de



Foto 4. Perforaciones para Mechinal.

unas 10 t/m de bulbo, se deducía su longitud. Esta misma tensión servía para calcular el número de cordones, con un mínimo de 4 cordones por anclaje y una asignación de hasta 13 toneladas por cordón.

La realidad obtenida figura en el Cuadro II donde se reflejan número de anclajes, sus dimen-

siones medias y unos precios orientativos.

Una vez realizadas las pantallas "in situ", se hacía el vaciado de la trinchera en varias etapas. A medida que se profundizaba la excavación por las márgenes, pues el centro de la trinchera quedaba en alto como contrapeso, se realizaban

las filas superiores de anclajes. Luego, se proseguía retirando las tierras del centro y repitiendo el proceso anterior.

El paramento de la pantalla era tosco. Por ello, se revestía dejando una cámara de aire, debajo de la cual una canaleta, en media caña, recogía las filtraciones que luego se evacuaban. El revestimiento, propiamente dicho, se apoyaba en una barrera New Jersey de hormigón, y alcanzaba la parte baja de la viga de Coronación. Se adjunta detalle.

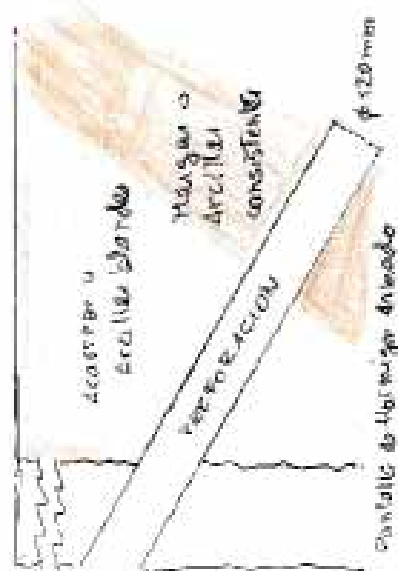
Este revestimiento, se hace a base de bloques prefabricados de hormigón, con juntas verticales de acero en T de 5 en 5 metros, y va trabado a la pantalla cada 16 m', con elementos metálicos. Se ha procurado aliviar su monotonía mediante una franja coloreada, con altibajos, en la que predomina el verde oscuro.

Las estructuras que cruzan la trinchera son tableros aligerados, por donde discurren numerosos servicios de agua y luz. De ahí su aspecto robusto por sus laterales, incrementado por las barreras New Jersey que las coronan y suplementan, a

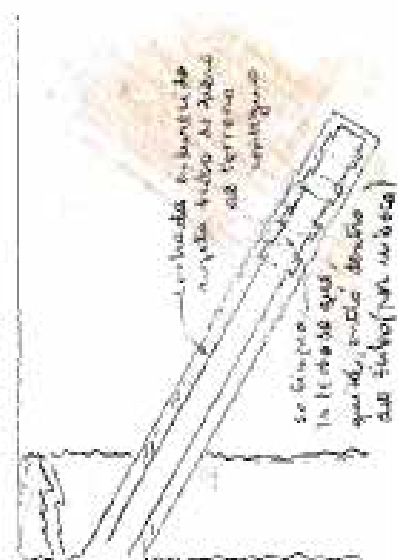
“
S e eligió este segundo procedimiento de inyección, llamado teóricamente IRS (Inyección Repetitiva Selectiva) que suponemos se ha empleado pocas veces en España.”

**FASES DEL PROCESO DE EJECUCION DE ANCLAJES PERMANENTES EN ARCILLAS,
MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO I.R.S. (INYECCION REPETITIVA SELECTIVA)**

1. — Perforación de Paredalla y terreno del Traslés con Ø 120 mm.

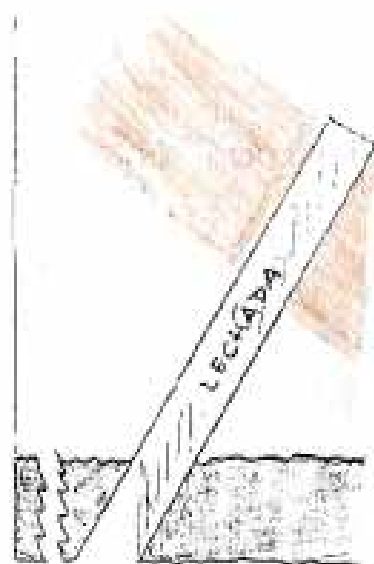


4. — Limpieza del interior del tubo de acero.

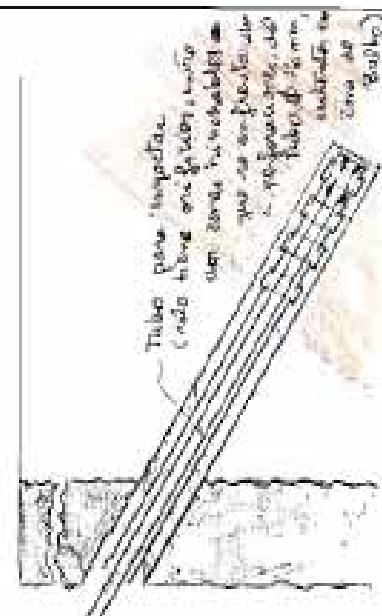


7.- Reimada de elementos de obturación, y
limpieza del tubo.

2.- Se rellena la Perforación con Lechada.

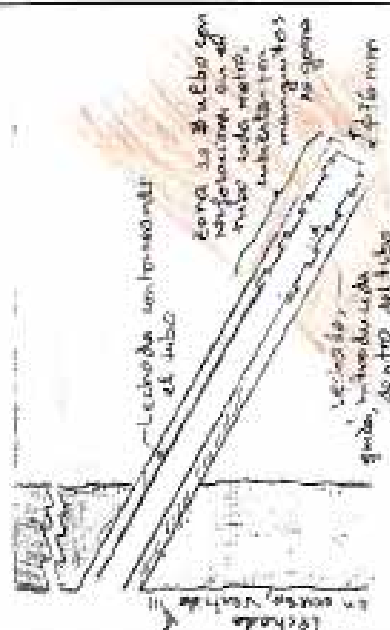


5.- Introducción de elementos de obturación, precisos para doble inyección con presión, en zona de bulbo.



8.- Segundo inyección, con presión, manguito por manguito en zona de bulbo.

3.— Introducción de tubo de acero Ø 76 mm provisto de manguitos en zona de bulbo (uno cada metro lineal)



5 - Primera inyección con presión manguito por manguito en zona de bulbo.



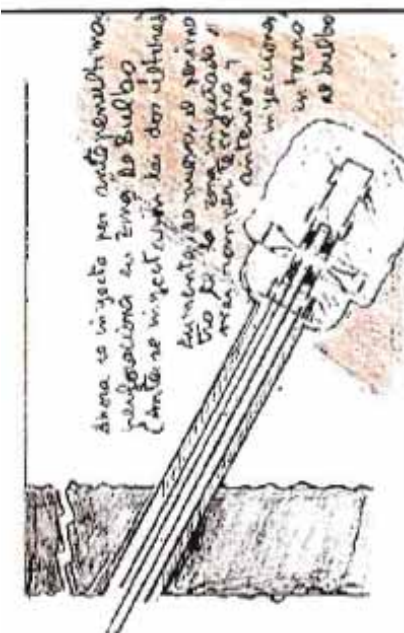
1. — Retirada de elementos de obturación, y limpieza del tubo.



10.- Montaje de cables y polietileno, etc... introduciéndolos en el bulbo (con separador entre zona libre y bulbo).



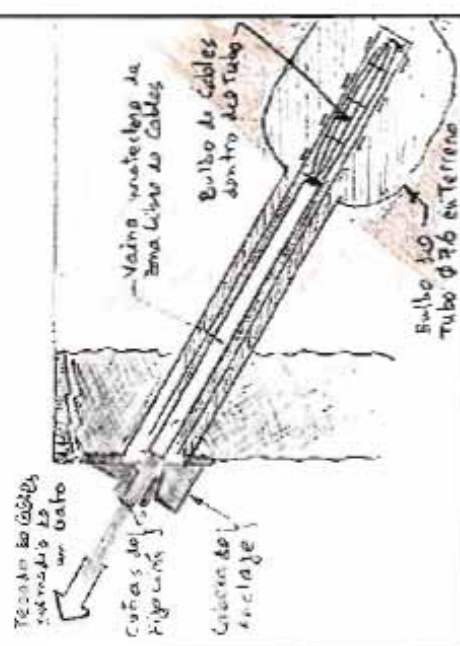
11.- Inyección de succión en la zona del bulbo.



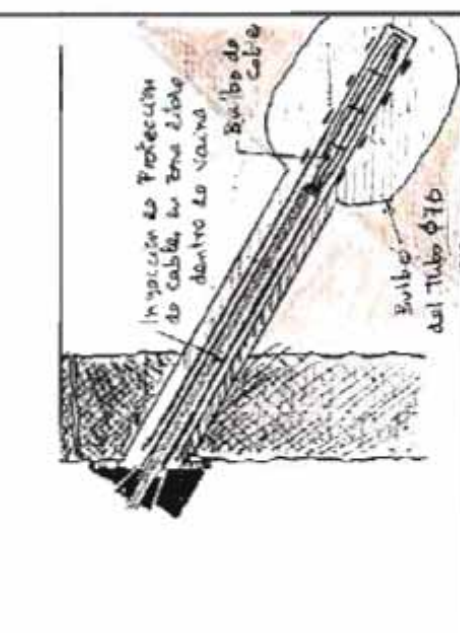
12.- Preparación de superficies de apoyo, y colocación de cabeza de Anclaje.



13.- Tendido de Cables y Fijación del Anclaje.



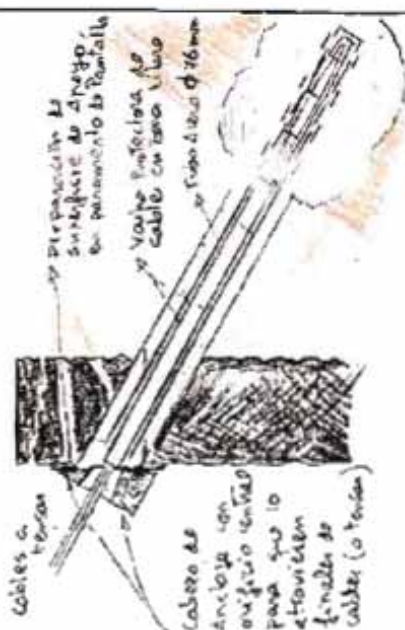
14.- Inyección de Protección en la zona libre.



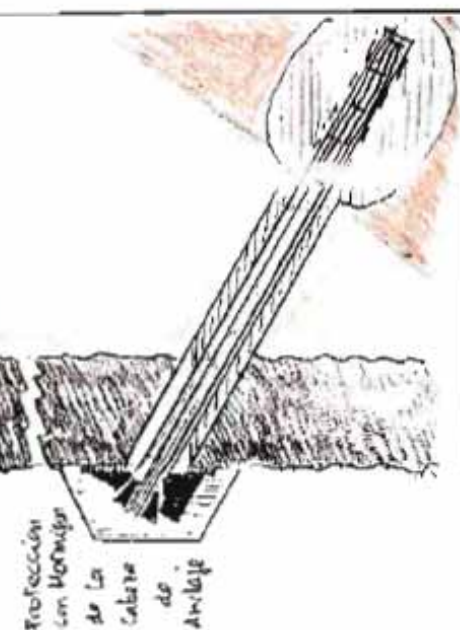
15.- Protección Final de las cabezas.



16.- Protección Final de las cabezas.



17.- Protección Final de las cabezas.



18.- Protección Final de las cabezas.

pesar del movimiento que se ha buscado dar a los paramentos de las estructuras y de sus barreras.

Por ello se ha pintado el paramento exterior de las estructuras, en el antedicho verde oscuro, con lo que disminuye la sensación de gran canto y robustez. Se adjuntan fotografías (2 y 3) al respecto.

En síntesis, se ha procurado resolver una necesidad vial, en una zona de características técnicas difíciles, restaurando el entorno con un aspecto grato.

• Aspectos de diseño de muros pantalla y anclajes entre el p.k. 1+470 y 1+860

– Cortes del terreno y parámetros geotécnicos.

El corte tipo del terreno considerado, a partir del reconocimiento geotécnico previo y de las excavaciones realizadas, ha sido:

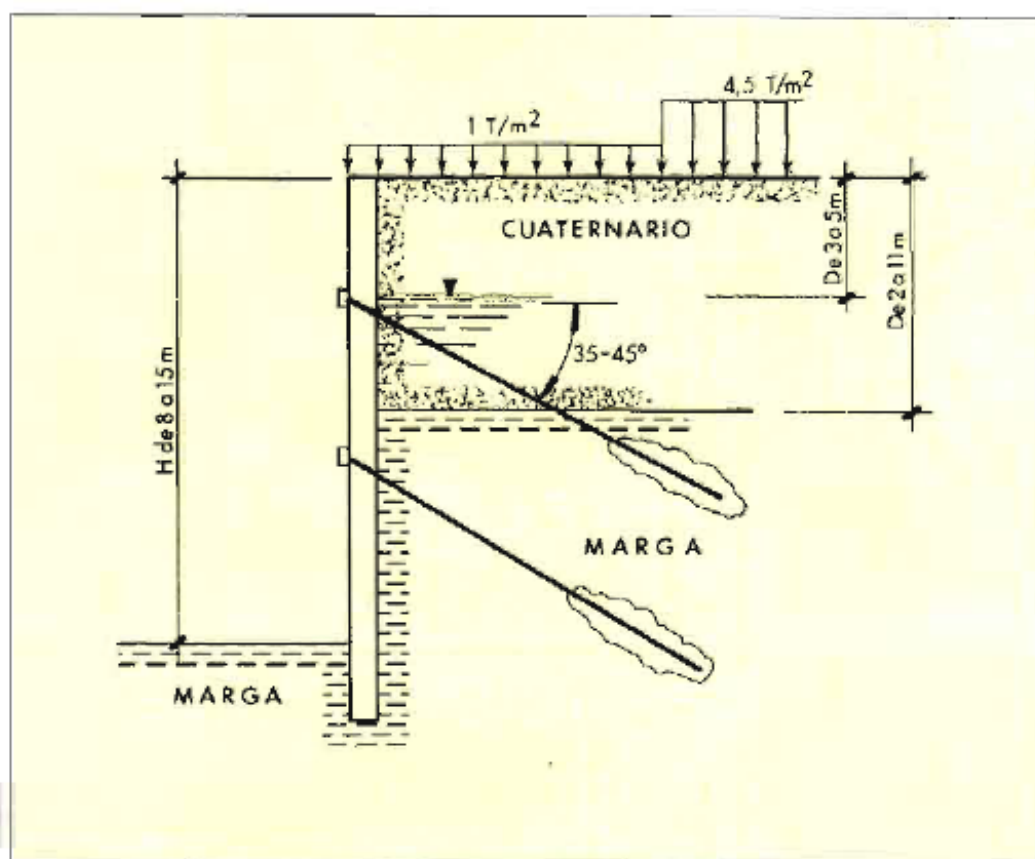
- Capa superficial de arenas arcillosas con gravilla, cuaternario, de espesor variable (2-11 m).
- Capa inferior de arcillas margosas, Terciario, desde la base de la capa superior y supuesta indefinida en profundidad.

Los parámetros geotécnicos adoptados para cada capa han sido: (Cuadro III)

El nivel freático durante todo el proceso se ha supuesto constante, situado a -3,00 m para la margen izquierda y de -5,00 m para la margen derecha.

– Leyes de empuje

Los empujes desestabilizadores considerados con los correspondientes al estado activo de Cou-



lomb, considerando además, un coeficiente de empuje mínimo K_a' para los casos en que existe cohesión.

Los empujes estabilizadores considerados se han determinado a partir del estado pasivo de Coulomb, minorados para tener en cuenta el hecho de que las deformaciones han de ser pequeñas.

Los coeficientes resultantes en cada capa son, por tanto:

Arena arcillosa

$$K_{ah} = 0,30$$

$$K_{ph} = 4,00$$

Arcilla margosa

$$K_{ah} = 0,34 \quad K_{a'} = 0,15$$

$$K_{ph} = 3,40$$

El efecto de la presencia del freático, se ha introducido en el cálculo como el empuje hidrostático en cada profundidad, en la hipótesis de que no se produce una red de filtración, con aparición de gradiente hidráulico que pudiera influir de una manera apreciable en los empujes resultantes, dada la baja permeabilidad del nivel inferior de arcilla margosa.

Para la determinación

del empuje sobre la pantalla, debido a la sobrecarga transmitida por los edificios, así como en zona de viales, se han utilizado modelos elásticos y plásticos. La sobrecarga se ha determinado como de 1 t/m² en zona de viales y 4,5 t/m² en zona de edificios (a 8 m de distancia).

– Cálculo de las reacciones en los anclajes.

En cada zona en la que se ha dividido el tramo y se ha definido un corte tipo del terreno, se han determinado las reacciones en los anclajes, en función de los empujes considerados que se ejercen sobre la pantalla y de la resistencia estructural de cada módulo, que se toma como dato de partida por estar ya prefijada.

Esta última consideración condiciona el cálculo en cuanto a número y situación de los anclajes considerados en cada caso.

Cuadro III	Arena Arcillosa	Arcilla Margosa
Densidad saturada (t/m^3)	2,10	2,20
Densidad sumergida (t/m^3)	1,10	1,20
Cohesión C (t/m^2)	0,00	5,00
Angulo de rozamiento interno ϕ	30°	27°
Angulo de rozamiento suelo-pantalla	10°	9°



Foto 5. Detalle de cordones y vainas de anclaje.

El procedimiento que se ha seguido para el cálculo ha tenido en cuenta las distintas fases constructivas, determinando la reacción en cada anclaje en la hipótesis de colocarlos considerando que se excavará no más de 1/2 metro –en fase constructiva– bajo la cota correspondiente a cada anclaje.

Dado que la longitud de los módulos está ya definida, se supuso que al menos para el primer nivel de anclajes, el empotramiento de la pantalla será capaz de desarrollar el contraempuje, por lo que la reacción en este caso se determinó con la condición de momento nulo en el punto de empuje nulo (cálculo plástico. Hipótesis de Blum).

Según la longitud teórica de la pantalla en cada módulo, e imponiendo ésta como condición de cálculo, la reacción en el

anclaje inferior (en el caso de 2 niveles de anclajes) se ha determinado, bien por el método de base fija (cuando el pie real se prolongaba por debajo del necesario por cálculo), bien por el método de base libre o interpolando linealmente entre ambas situaciones según los casos.

En los casos en que el techo real de las arcillas margosas ha estado por debajo de lo esperado (margen izquierda p.k.

1+578 a 1+639; 1+753 a 1+796) y teniendo en cuenta la capacidad resistente de los módulos en esas zonas, ha sido necesario establecer 3 niveles de anclajes.

En el cálculo de las reacciones y esfuerzos en la pantalla se ha supuesto, en esta situación, que el empuje debido al peso de las tierras y de las sobrecargas, se aproxima mejor por una ley rectangular, manteniendo la ley de empuje hidrostático

como triangular (Métodos empíricos. Terzaghi y Peck (1967), G. Schneebeli y otros).

Las reacciones en los anclajes se determinan suponiendo rótulas en los puntos de aplicación del 2º y 3º nivel de anclajes y en el punto de empuje nulo, mayorando la reacción en el 2º nivel siguiendo las recomendaciones del Grupo de trabajo EXCAVACIONES (1972).

– Diseño de anclajes

• Tipología.

Dado el previsible elevado número de anclajes a ejecutar, se ha optado por la adopción de anclajes con elevada capacidad portante y con suficiente garantía, dado su carácter de permanente, con el fin de optimizar la obra.

Para conseguir este doble fin se ha acudido a un tipo de anclaje de creciente uso en Europa, el

“Dado el previsible elevado número de anclajes a ejecutar, se ha optado por la adopción de anclajes con elevada capacidad portante y con suficiente garantía, dado su carácter de permanente, con el fin de optimizar la obra.”

denominado I.R.S., en el que se consigue un bulbo de gran calidad y con una elevada capacidad portante— mediante una inyección con manguitos en varias etapas.

• *Diseño del Bulbo.*

Para el diseño del bulbo se ha utilizado el método descrito por Bustamante (LPC, París) obteniendo así, una primera referencia de la capacidad del anclaje, que se verificó en dos anclajes de prueba y garantizándose así una carga de servicio de 9 t/m con un coeficiente de seguridad de 2, que era el fin previsto. Las características y número de anclajes se indican en el Cuadro II.

• *Inyección del bulbo.*

La inyección del bulbo se ha realizado por los manguitos (uno por metro lineal) comenzando desde el extremo inferior. La presión y el caudal, así como la demora en cada una de las fases de inyección,

han seguido los siguientes criterios:

1ª Inyección:

Se ha efectuado, una vez que la inyección de sellado había adquirido una cierta resistencia a compresión simple, no superior a 15 kg/cm² (tiempo mínimo de comienzo: 12 horas).

Para cada manguito se han inyectado 50 litros de lechada (C/A = 1,8 en peso), siempre y cuando la presión no sobrepasara 30 kg/cm², en cuyo caso se inyectaban 25 l, no excediendo nunca una presión de 80 kg/cm².

2ª Inyección:

Se ha efectuado una vez inyectada la lechada en la fase anterior, sin sobrepasar una resistencia a compresión simple de 20 kg/cm² (tiempo mínimo de comienzo: 16 horas de acabada la 1ª fase). Para cada manguito se han inyectado 50 litros, siempre y cuando la presión no sobrepasara

50 kg/cm², en cuyo caso se inyectaban 15 l. La presión máxima se ha limitado a 80 kg/cm².

• *Longitud libre.*

El criterio seguido, para la determinación de la longitud libre en cada caso, ha sido el de empotrar el bulbo en el nivel coherente de arcilla margosa, lo que condiciona la inclinación óptima de los anclajes, para asegurar la estabilidad del conjunto, entre 35-45°.

• *Cálculo de los cordones.*

Para el diseño se han tomado cordones de 7 alambres de 15,20 mm de diámetro de acero, con límite elástico $T_g = 21,591$ t. En este caso, dado que el cálculo se establece en la hipótesis de situación permanente, la carga de servicio será la correspondiente al 60% del límite elástico:

$$T_a < T_g \times 0,60 = \\ = 21,6 \times 0,60 = 13 \text{ t}$$

Para finalizar, tan solo resta decir que Málaga, cuenta ya con una nueva carretera de acceso oeste, la 40-Ma-2 200.