

COMPORTAMIENTO DE RELLENOS DE GRAN ALTURA EN LA AUTOVÍA VARIANTE DE BENALMÁDENA

Enrique Lancha Martí.

Geólogo.

Geoestudios, S.A.

Miguel Ángel Rodríguez-Miranda.

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Ingeniería de Suelos y Rocas, S.A.

RESUMEN

El tramo de autovía denominado variante de Benalmádena se desarrolla entre las localidades de Torremolinos y Fuengirola, sobre las abruptas laderas que configuran la vertiente meridional de la Sierra Blanca. Esta accidentada topografía ha obligado a realizar un importante movimiento de tierras, con desmontes y rellenos de gran altura. En este artículo los autores comentan las experiencias obtenidas con los dos rellenos de mayor entidad, a través del proyecto y de la asistencia geotécnica a la construcción. Se trata de los rellenos denominados: del Higuerón y de Veracruz que, en algunos aspectos, cabe considerar como unidades de obra singulares dentro de los rellenos de vías de comunicación.

Como se justifica en los apartados siguientes, el comportamiento de ambos rellenos ha sido muy satisfactorio; las deformaciones han sido pequeñas y se han producido en breve plazo después de finalizada su ejecución.

Por parte de la administración, la Dirección de la Obra correspondió a D. Juan Francisco Martín Enciso y colaboró en la misma D. Luis Tobaruela.

La empresa constructora ha sido Ferrovial, S.A., actuando como Delegado de Obra D. Carlos Hernández y como Jefe del Autocontrol de Calidad D. Andrés Valdés.

ABSTRACT

The stretch of motorway know as the Variant of Benalmádena goes from Torremolinos to Fuengirola on the abrupt southern slopes of the Sierra Blanca. This uneven topography required important earth works, with massive excavations and fillings.

The authors describe the experience acquired in the two largest fillings, throng the project and the geotechnical assistance afforded to the operation. These fillings, Higueron and Veracruz, may be considered exceptional in some respects in the construction of lines of communication.

As shown in later paragraphs, the behaviour of both fillings was very good; settlings were unimportant and occurred shortly after completion of the work.

On behalf of the Administration, the Director of the work was D. Francisco Martín Enciso with the collaboration of D. Luis Tobaruela. The contractor was Ferrovial, S.A., represented by D. Carlos Hernández, with D. Andrés Valdes in charge of quality control.

1. RELLENO DEL HIGUERÓN

1.1. CARACTERÍSTICAS DEL EMPLAZAMIENTO

El relleno del Higuerón se encuentra situado entre los puntos kilométricos 3+670 y 4+370, aproximadamente, de la autovía; tiene, por tanto, unos 700 metros de longitud y alcanza una altura máxima de taludes de unos 40 a 50 metros. Esta altura máxima de talud corresponde al primer y último tercio de la sección indicada, donde la autovía cruza transversalmente sobre el cauce de dos profundos barrancos; en el tercio central, por el contrario, se sitúa sobre la divisoria de dichos cursos de agua, cuya cota de coronación viene a coincidir con la rasante de la autovía. El volumen total del relleno es de unos 660.000 metros cúbicos; de los cuales: 310.000 y 350.000 corresponden al cruce del primer y del segundo barranco, respectivamente.

En la figura 1 se muestra la situación en planta del relleno y una sección tipo del mismo por la zona con mayor altura de talud.

En el área de ubicación del relleno, el macizo rocoso está constituido por pizarras intensamente meteorizadas en superficie (grados IV-V) que pasan a hallarse sólo parcialmente alteradas (grados III o III-IV) a partir de unos tres metros de profundidad. La orientación de la pizarrosidad es sensiblemente paralela a la dirección de la traza; esto es, transversal u oblicua al curso de los barrancos.

El recubrimiento de suelos sobre las laderas es, en general, discontinuo y de reducido espesor; no superior a unos dos metros. En el fondo de ambos barrancos y limitado a las proximidades del cauce, existe un depósito de suelos básicamente granular y de hasta unos tres metros de espesor.

Ni los suelos ni el macizo rocoso presentan, en condiciones naturales, indicios de inestabilidad.

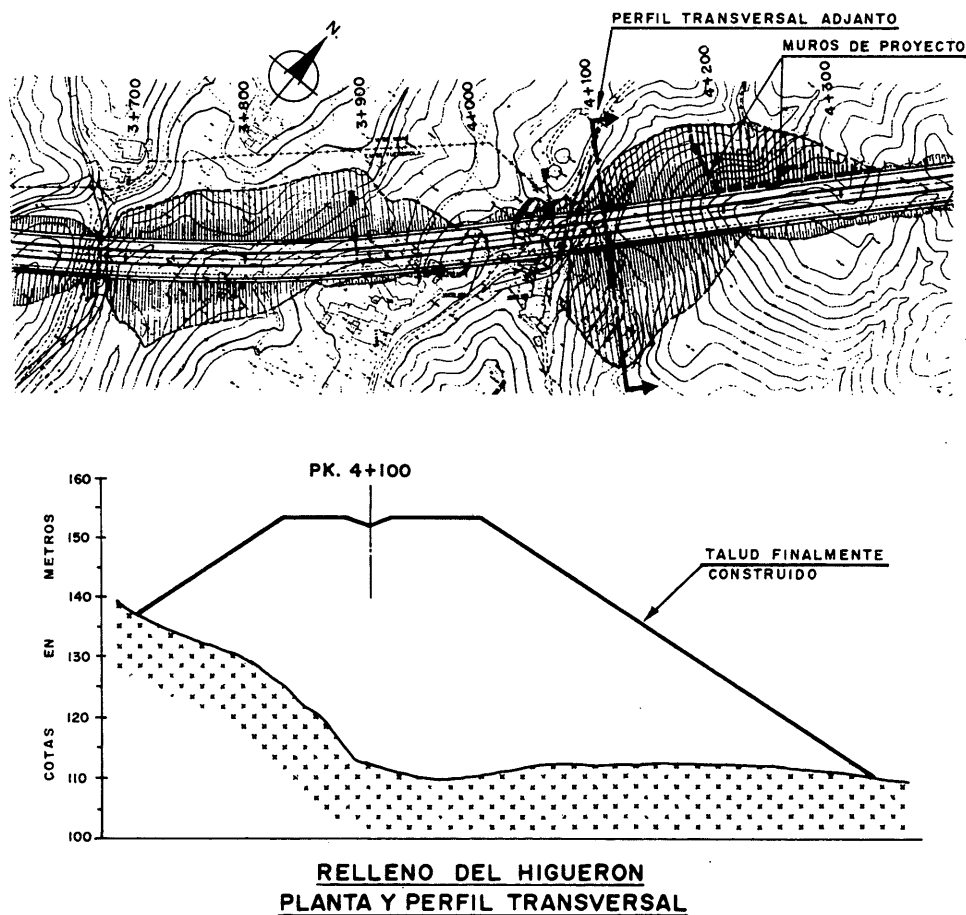


Figura 1.

1.2. CRITERIOS DE DISEÑO

Durante la fase de proyecto, el relleno se diseñó con taludes típicos de terraplén, 1(V):2(H), dada su altura máxima de unos 50 metros y la mediana calidad del material con que previsiblemente se construiría: roca parcialmente alterada, de naturaleza arcillosa, intensamente fracturada y con tendencia a la lajosidad.

A efectos de estabilidad, sólo se consideró necesario tener en cuenta la estabilidad propia del relleno y no la de posibles roturas a través del cimientado o por el propio plano de cimentación; respecto a las primeras, por el reducido espesor del recubrimiento de suelos que, además, deberían ser saneados prácticamente en su totalidad, en cuanto a las segundas porque, a pesar de la fuerte pendiente de las laderas, la geometría del propio relleno impediría cualquier posible rotura a través del plano de contacto relleno-terreno natural, bien por ser la orientación de las laderas transversal a la dirección de la traza o bien, en las zonas de paralelismo, por existir una franja de relleno con suficiente anchura en la base, superior a unos 10 metros, para evitar potenciales deslizamientos a favor del plano de apoyo.

Como preparación del cimientado se recomendó el saneo íntegro de los suelos en el fondo de ambos barrancos para conseguir, además, un correcto apoyo de las obras de drenaje, tipo bóveda triarticulada, que se cimentarían sobre zapatas aisladas. Respecto a las laderas, se recomendaba eliminar los suelos superficiales más flojos, o bien, efectuar la desbroza y proceder a la recompactación de la superficie resultante con varias pasadas de rodillo.

En otro orden de cosas, las zonas en que el relleno pudiera verse afectado por las aguas de los barrancos, se recomendaba construirlos con material granular duro y durable, hasta igualar el nivel de máximas avenidas. Además, y en esa misma altura, la cara exterior del relleno debería ser de escollera de caliza sana en una anchura no inferior a dos metros, para evitar así problemas de erosión y socavación.

1.3. RECONSIDERACIÓN DEL PROYECTO

Con anterioridad al comienzo de las obras se planteó, al equipo de asistencia geotécnica a la construcción, la posibilidad de aumentar la pendiente de los taludes de proyecto, del 1(V):2(H) al

2(V):3(H). Dicho cambio repercutiría favorablemente: en el propio movimiento de tierras, en la longitud de las obras de drenaje y en una menor ocupación de terrenos.

Ensayos de Laboratorio

Para estudiar tal posibilidad se efectuó, en primer lugar, una campaña de ensayos de laboratorio sobre muestras a granel representativas del material que se había decidido emplear para la ejecución del relleno.

Del desmonte en pizarras previsto para tal fin, fueron extraídas dos muestras con retroexcavadora a unos tres metros por debajo de la superficie del terreno natural. Las dos muestras estaban constituidas, básicamente, por pizarras parcialmente alteradas, grados de meteorización III y IV, con intercalaciones ocasionales de arenisca; sobre ambas se hicieron ensayos de identificación y de resistencia del material compactado, para interpretar así las características geotécnicas y las previsibles condiciones de estabilidad del futuro relleno.

Se propuso llevar a cabo, concretamente, el programa de ensayos que se resume a continuación:

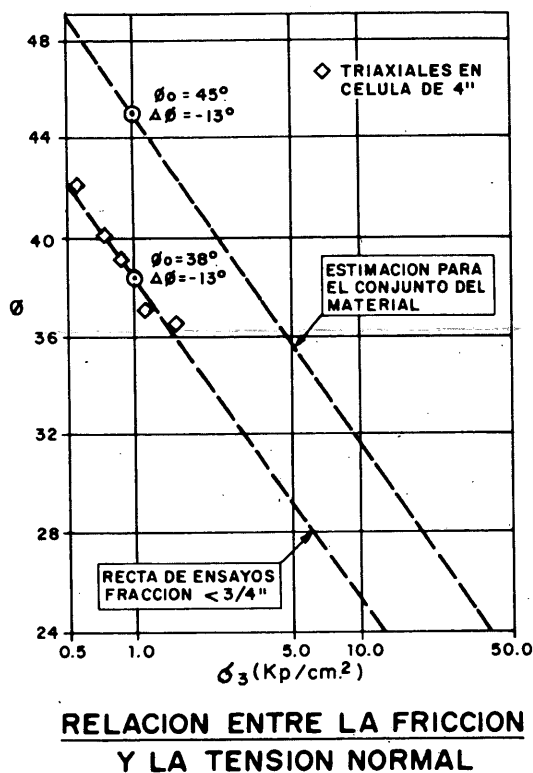
- ▼ compactación al 95% del P.N., del lado seco y con tamaños máximos de 3/4".
- ▼ con el material así compactado, ensayo triaxial C.U. en probeta de 4", con medida de presiones intersticiales y a presiones de 0,5, 1 y 3 kg/cm².
- ▼ de cada muestra, después de efectuado el ensayo Proctor, granulometrías y límites.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- ▼ tipo de material: grava pobremente graduada, con indicios de arena y finos (< 8% y de plasticidad media)
- ▼ densidad seca máxima : 1,90 Tn/m³
- ▼ humedad óptima : 6,6%
- ▼ parámetros resistentes que se deducen del ensayo triaxial:

Presión de Ensayo	C'	σ'
0,5 kg/cm ²	0	41°
1 kg/cm ²	2 Tn/m ²	33°
3 kg/cm ²	5 Tn/m ²	26°

Figura 2.



Cálculos de Estabilidad

El relleno en cuestión, una vez efectuada la modificación propuesta, alcanzaría las siguientes alturas máximas para taludes 2(V):3(H).

- ▼ talud derecho: 35 metros; excepto entre los puntos kilométricos 4+180 y 4+040, donde llegaría a ser de 40 metros e incluso, puntualmente, de 47 metros.
- ▼ talud izquierdo: 35 metros.

De los cálculos de estabilidad realizados se obtuvieron los siguientes factores de seguridad para estos taludes:

- ▼ **estabilidad superficial del talud:** para el material con presiones verticales equivalentes a alturas de relleno de hasta 5 metros, esto es: $c' = 0$ y $\phi' = 41^\circ$, se deduce un factor de seguridad de 1,30 ($\text{tg } 41^\circ / \text{tg } 33,7^\circ$) frente a roturas tipo laja del talud 2(V):3(H); factor de seguridad que es independiente de la altura del talud por considerar la cohesión nula.
- ▼ **estabilidad profunda del talud:** adoptando, para las diferentes profundidades del relleno,

los parámetros obtenidos en función de las presiones verticales introducidas en los ensayos y aplicando el método de Bishop Modificado se deduce que, para un relleno con taludes 2(V):3(H) y 35 metros de altura, el círculo pésimo de las roturas profundas tiene un factor de seguridad de 1,47.

En cuanto a la sección del talud izquierdo en que se sobrepasan los 35 metros de altura: el factor de seguridad del talud en sí es similar al de un talud de menor altura por depender, exclusivamente, del ángulo de fricción del material y, en lo que respecta al factor de seguridad global del relleno frente a roturas profundas, no es de esperar que se produzca una reducción apreciable del mismo pues, por el carácter local de dicha sección, la estabilidad del relleno debe contemplarse en tres dimensiones y no sobre un perfil aislado con un plano potencial de rotura sin confinamiento lateral.

Taludes Recomendables

A la vista de estos resultados, se consideró admisible la ejecución del relleno con taludes 2(V):3(H) teniendo en cuenta, además, que los factores de seguridad obtenidos eran razonablemente conservadores por las razones siguientes:

- ▼ la mayor parte del relleno se efectuaría, previsiblemente, con material algo menos alterado (R.C.S. ≈ 150 a 200 Kg/cm^2) que el de las muestras, por haber sido extraídas éstas de la zona superficial del desmonte.
- ▼ en la práctica, la granulometría del material presentaría tamaños superiores a los de las muestras ensayadas, cuyo tamaño máximo estaba condicionado por el diámetro de la probeta. Esto redundaría en un incremento apreciable del ángulo de fricción.

En relación con este segundo aspecto, en la figura 2 se presentan los resultados de los ensayos triaxiales realizados con el material de relleno compactado; esto es, con la fracción inferior a los 3/4'', máxima compatible con el tamaño de célula.

Como puede observarse, los ensayos se alinean en un gráfico semilogarítmico $\phi - \sigma_3$, que permite determinar los parámetros siguientes:

$$\phi_0 = 38^\circ \text{ (para } \sigma_3 = 1 \text{ kg/cm}^2\text{)}$$

$$\Delta\phi = -13^\circ$$

que definirían la siguiente relación entre tensión principal secundaria y fricción:

$$\sigma = \sigma_0 + \Delta\sigma \log \sigma_3 = 38^\circ - 13^\circ \cdot \log \sigma_3$$

En nuestra opinión, utilizar directamente estos valores en los cálculos de estabilidad resulta muy conservador ya que el material ensayado representa sólo un 25% del total, que es más grueso y angular. En base a nuestra experiencia sería más realista adoptar, para el conjunto del relleno, una fricción de, al menos, 45°; para este valor de $\sigma_0 = 45^\circ$, se ha estimado la curva correspondiente en el gráfico, manteniendo la misma pendiente que la deducida de los ensayos.

$$\sigma = 45^\circ - 13^\circ \cdot \log \sigma_3$$

Para estos valores, el factor de seguridad frente a roturas casi superficiales (s3 de 0,5 kg/cm²) pasaría a ser de 1,70 (tg 48,9°/tg 33,7°). Frente a roturas profundas del relleno el factor de seguridad sería aún mayor.

No obstante, y aunque se consideró admisible efectuar el relleno con taludes 2(V):3(H), se recomendó llevar a cabo una ejecución muy cuidadosa para garantizar que se conseguirían las hipótesis de cálculo en cuanto a densidad y resistencia del material. En este sentido, y puesto que el material disponible daría lugar a un **relleno de tipo intermedio entre terraplén y todo-uno de mediana calidad**, con predominio de partículas de tamaño grava, parecía razonable recomendar, en principio:

- ▼ tongadas de 50 cm. de espesor máximo
- ▼ compactación mediante rodillo vibrador de peso estático no inferior a 10 Tn.
- ▼ número mínimo de pasadas de rodillo vibrador: 6 en el cuerpo del relleno y 8 en la franja de 10 m. próxima a la superficie de cada talud.

El control de compactación se llevaría a cabo vigilando el espesor de las tongadas y contabilizando el número de pasadas de rodillo.

Para comprobar que el grado de compactación así obtenido era el adecuado se efectuó, previamente a la ejecución del relleno, un terraplén de prueba con el mismo tipo de material que posteriormente se emplearía y para determinar en él la densidad conseguida con diferentes pasadas de rodillo y/o espesores de tongada. La densidad del relleno de prueba se determinó pesando el material extraído en calicatas de dimensiones conoci-

das y de profundidad igual al espesor de la tongada. La densidad a alcanzar debería ser equivalente a un porcentaje de huecos no superior al 15%.

Teniendo en cuenta la entidad del relleno en cuestión, se recomendó además la instalación de células de asientos en su perfil de mayor altura, para cuantificar así la magnitud de los asientos diferidos y su evolución con el tiempo.

1.4. CONSTRUCCIÓN DEL RELLENO

El relleno se construyó, básicamente, con las pizarras extraídas del desmonte situado entre los puntos kilométricos 3+250 y 3+500 del que se habían obtenido, con anterioridad, las dos muestras empleadas en los ensayos. La coronación del relleno, sus tres a seis metros superiores aproximadamente, se construyó también con materiales pliocenos de naturaleza arenosa; bien en toda la extensión de las tongadas o bien, sólo, en el núcleo de las mismas y empleando las pizarras para los cinco metros próximos a la superficie de los taludes.

Las pizarras se desmontaron, en general, mediante ripado o utilizando retroexcavadoras potentes. El material se transportó en camión y se descargó en la propia superficie de las tongadas, sin efectuar vertidos desde las cotas superiores de las laderas.

Al comienzo de la construcción, sobre una de las primeras tongadas, sobrecompactada, se construyó el terraplén de prueba con tongadas de 40 cm. y 60 cm. de espesor. De dicha prueba se dedujo que eran suficientes cuatro pasadas de rodillo vibrador para alcanzar el 100% de la densidad Proctor; si bien, para tongadas de 60 cm. de espesor parecía recomendable aumentar a seis el número de pasadas. El rodillo empleado, el mismo que luego se utilizaría en la construcción, era un rodillo vibrador de 16,5 Tn. de peso estático. El control de las densidades se llevó a cabo, básicamente, utilizando un medidor nuclear.

El relleno se ha construido, en general, con tongadas de unos 40 centímetros de espesor, antes de compactar; llegándose a 60 centímetros, e incluso en ocasiones a 80 centímetros, cuando aumentaba el tamaño y la calidad del material. El número de pasadas de rodillo vibrador ha sido al menos de ocho en toda la superficie de las tongadas.

En la foto 1 se muestra el extendido del material y puede observarse su granulometría en el

Foto 1.

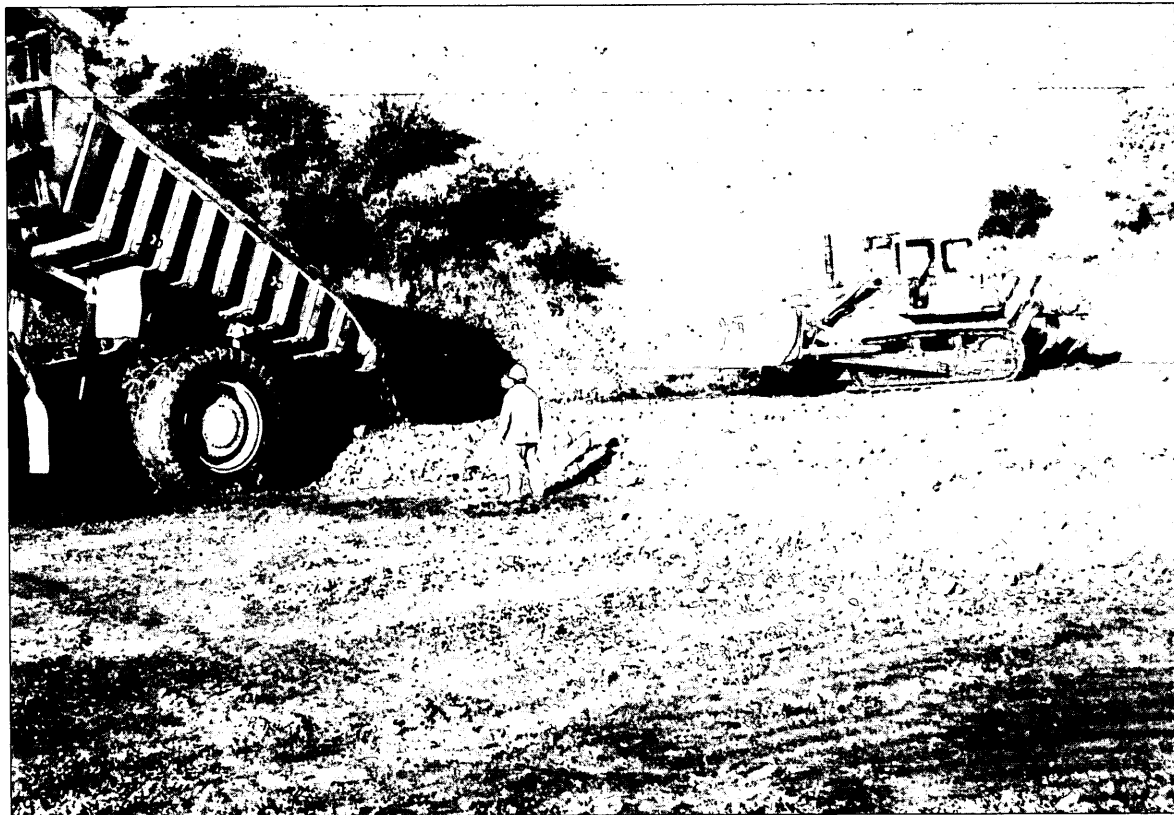
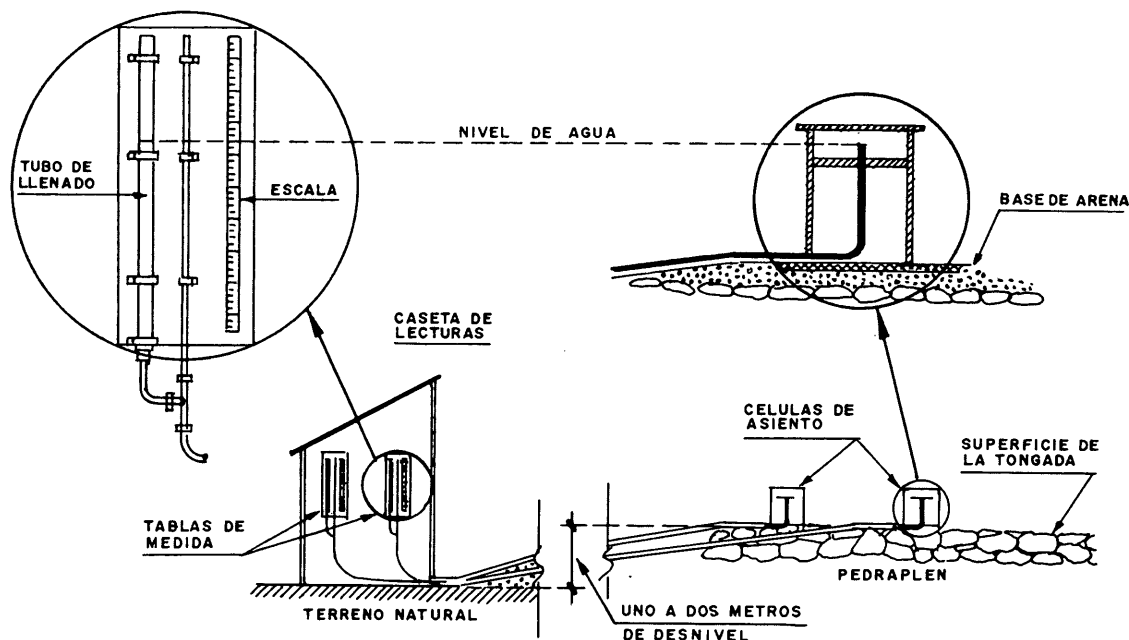


Foto 2.

Figura 3.



CROQUIS DE INSTALACION DE LAS CELULAS DE ASIENTO

frente de la tongada. En la foto 2 se muestra el aspecto del talud de aguas abajo en su zona de mayor altura, una vez finalizada la ejecución del relleno.

1.5. INSTRUMENTACIÓN DEL RELLENO

Con objeto de conocer los asientos ocurridos durante la construcción e interpretar los asientos diferidos que se producirían a nivel de la explanada, una vez finalizado el relleno, se decidió instrumentarlo mediante células de asientos instaladas en su interior.

Las células de asientos permiten determinar diferencias de cotas basadas en el principio de los vasos comunicantes. En el punto del relleno cuyas variaciones de cota se deseaba medir, se colocó un recipiente de acero suficientemente robusto como elemento de protección a un tubo flexible de P.V.C., reforzado con malla de nylon; un extremo del tubo se fijó en el interior del recipiente mediante una brida que lo mantiene en posición vertical y el otro extremo se condujo al exterior del relleno y se acopló sobre una tabla de medida, paralelamente a una regla graduada. En la figura 3 se presenta un croquis de las células de asientos em-

pleadas y de los elementos accesorios para su instalación y control.

Las células de asientos se instalaron el día 15 de mayo de 1.991, sobre la tongada de cota 137 metros y en la vertical del perfil 4+100; en dicho perfil se instalaron tres células cuya situación, en planta y alzado, se muestra en la figura 4.

1.6. COMPORTAMIENTO DEL RELLENO

Las conclusiones que se presentan a continuación corresponden, exclusivamente, a la interpretación de las lecturas efectuadas en las células de asientos durante el período de construcción; esto es, durante el período de unos cuatro meses transcurrido desde la instalación de las células, a mediados del mes de mayo de 1991, hasta el extendido de la capa de suelo-cemento, que se realizó durante el mes de septiembre.

Estas medidas indican que el comportamiento del relleno ha sido satisfactorio; los asientos máximos registrados mediante las células varían entre unos cuatro y siete centímetros. En la figura 5 se presenta el gráfico asientos-tiempo del relleno en función de la sobrecarga que se ha ido colocando sobre la tongada donde se situaron las células.

Figura 4.

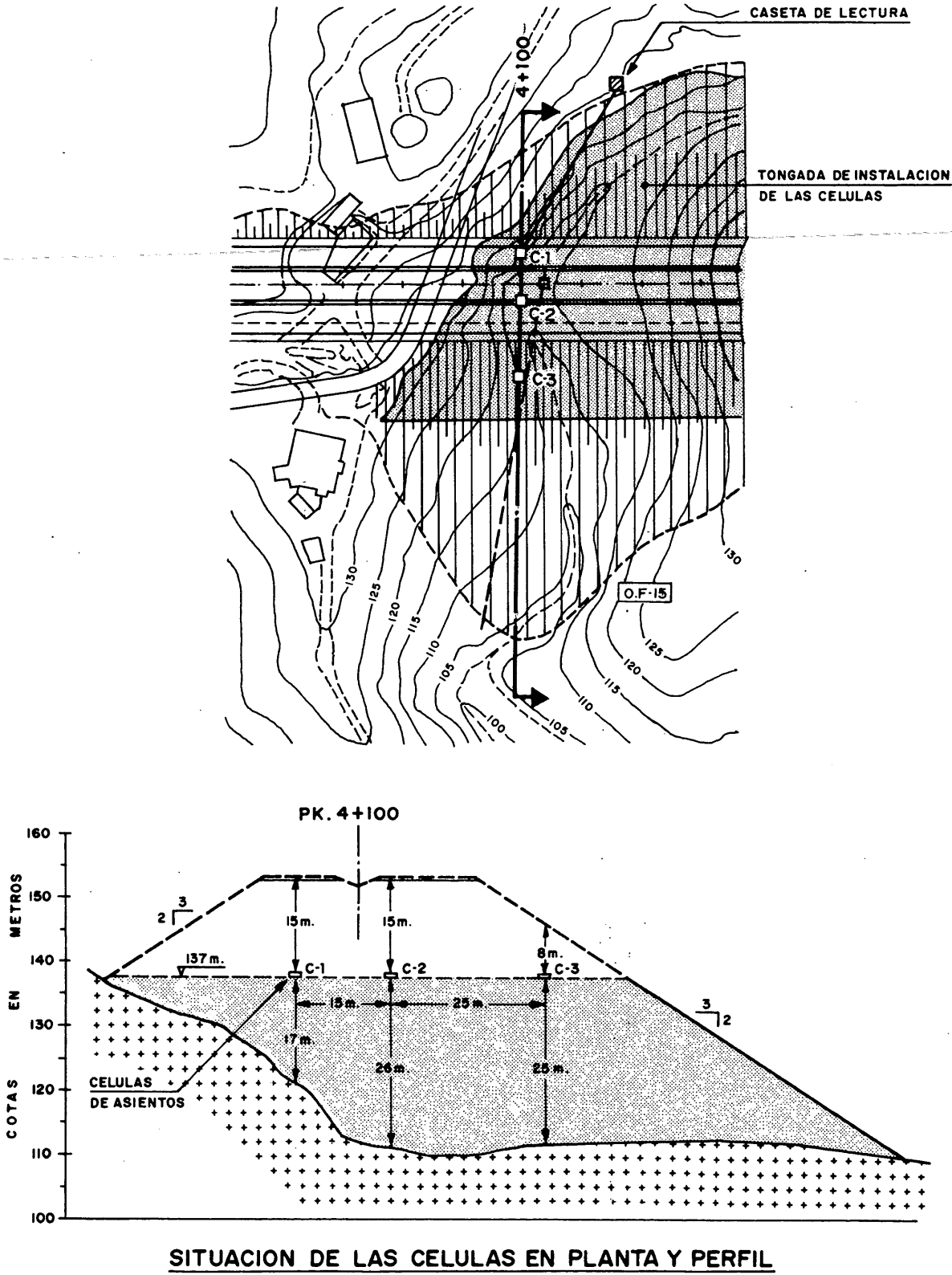
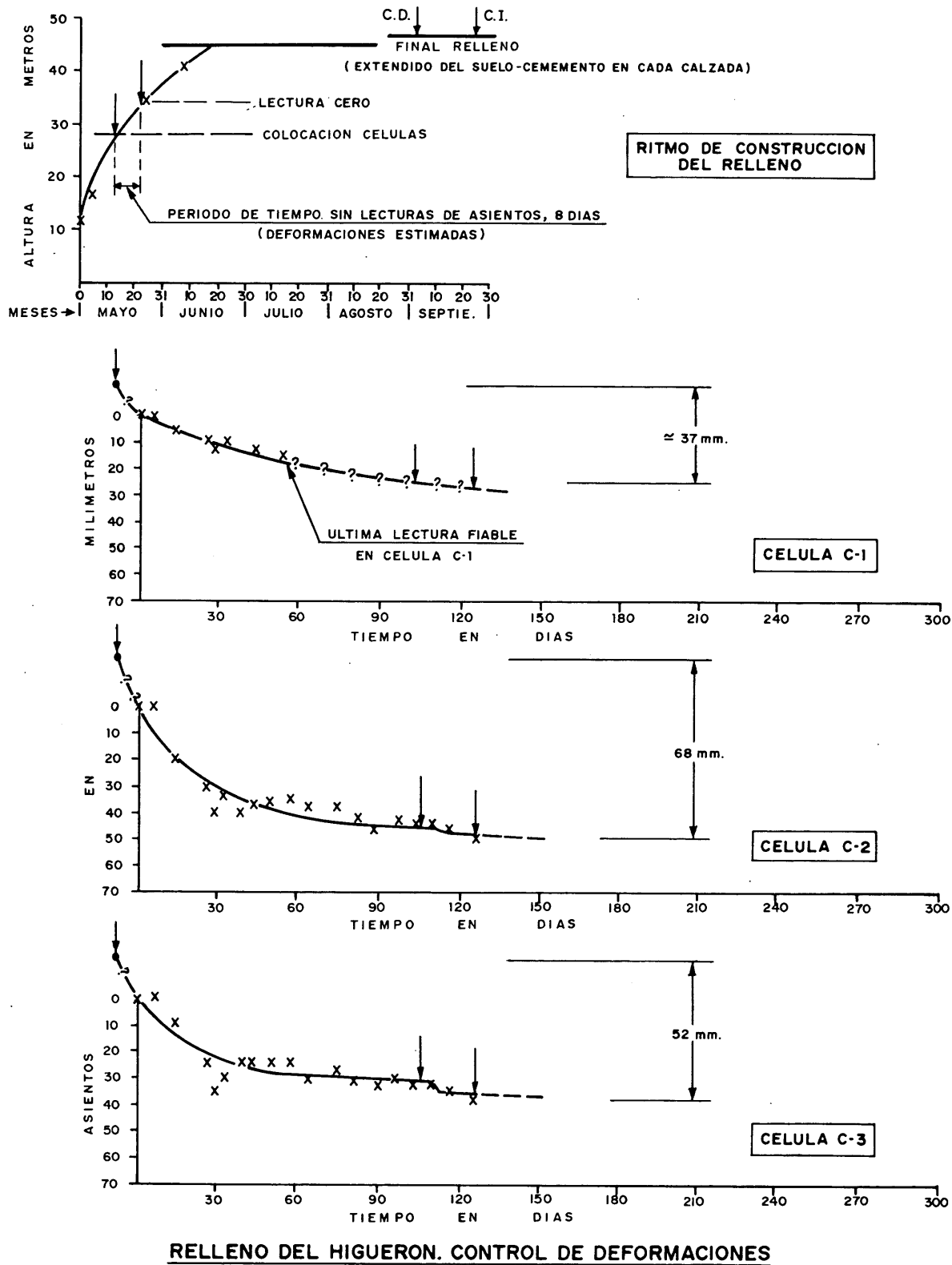


Figura 5.



A partir de estos datos cabe deducir los siguientes valores, en cuanto al módulo de deformación vertical durante la construcción. (Cuadro)

Células n°	Espesor de relleno		Asientos Durante la Construcción	Módulo de Deformación
	Sobre la Célula	Bajo la Célula		
C-1	15 m.	17 m.	3,7 cm.	1.447 Kg/cm ²
C-2	15 m.	26 m.	6,8 cm.	1.204 Kg/cm ²
C-3	8 m.	25 m.	5,2 cm.	807 Kg/cm ²

Dado que la célula C-1 quedó inutilizada y que sus últimas lecturas podrían contener algún error, se considera preferible interpretar que el módulo de deformación vertical del relleno durante el período de construcción es el que se deduce

de las células C-2 y C-3; esto es, que está comprendido entre 800 y 1.200 kg/cm².

2. RELLENO DE VERACRUZ

2.1. CARACTERÍSTICAS DEL EMPLAZAMIENTO

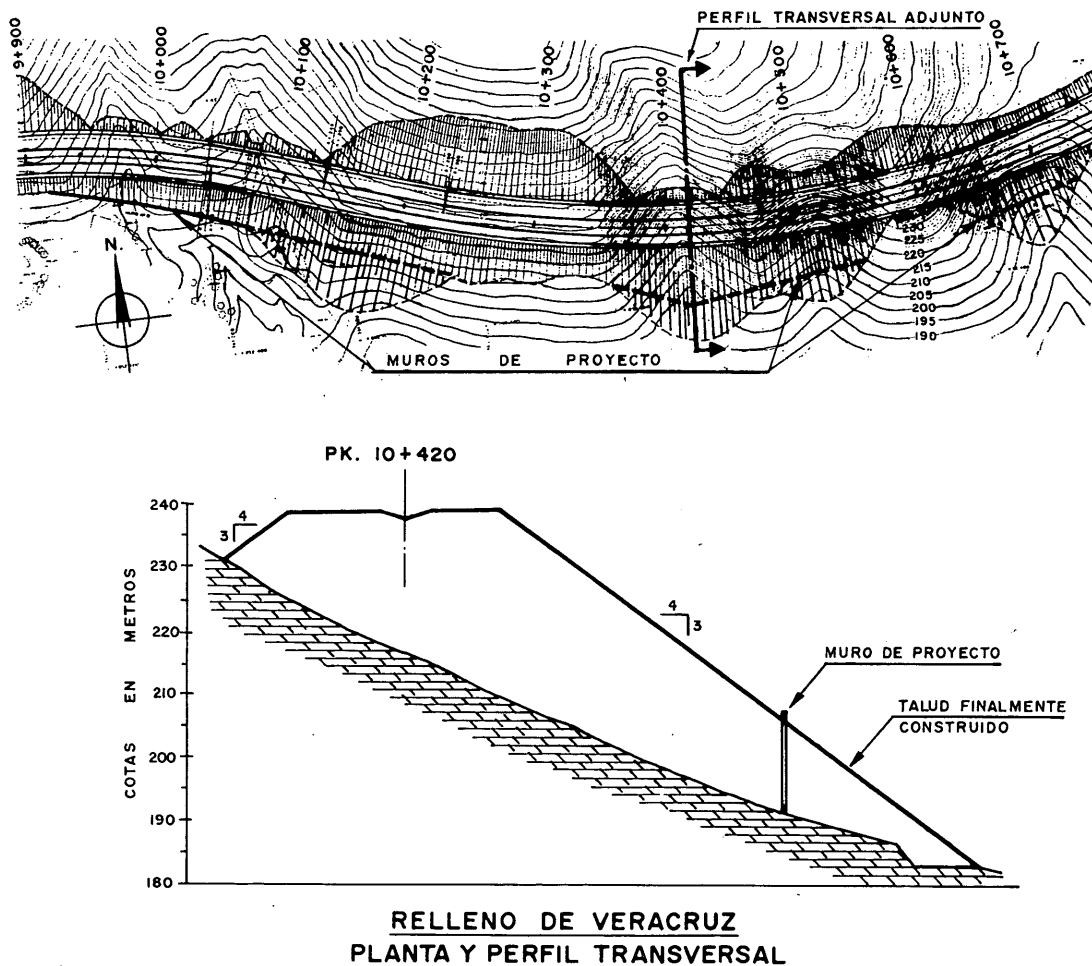
El relleno de Veracruz se encuentra situado entre los puntos kilométricos 9+950 y 10+750, aproximadamente, de la autopista; tiene, por tanto, unos 800 metros de longitud y alcanza una altura máxima de talud de unos 60 metros en el lado derecho de la explanada. Esta altura máxima viene a corresponder al entorno del punto kilométrico 10+400, donde la autopista cruza sobre una vaguada; en el resto, la traza suele hallarse a media ladera y la altura máxima del talud derecho es de

unos 40 metros. El volumen total del relleno es del orden de 430.000 metros cúbicos; 125.000 de los cuales corresponden, específicamente, al tramo de unos 100 metros de longitud en que la traza cruza sobre la vaguada del punto kilométrico 10+400.

En la figura 6 se muestra la situación en planta del relleno y una sección tipo del mismo por la zona con mayor altura de talud.

En el área de ubicación del relleno, el macizo rocoso está constituido por mármoles brechificados, sanos y prácticamente masivos; la roca aflora sana en las laderas y fondo de vaguadas, sin apenas recubrimiento de suelos. Se trata, en suma, de un cimiento de excelen-

Figura 6.



te calidad, prácticamente indeformable y que requiere una preparación mínima para conseguir un área de apoyo adecuada.

2.2. CRITERIOS DE DISEÑO

Durante la fase de proyecto se había previsto la ejecución del relleno con talud 2(V):3(H) y, para la práctica totalidad de esta sección, una serie de muros de hasta 25 metros de altura máxima que, cualquiera que fuese su tipología, obligarían a efectuar grandes excavaciones a nivel del plano de cimentación; al margen de la complejidad en sí de unos elementos de contención de tales dimensiones.

2.3. RECONSIDERACIÓN DEL PROYECTO

Al comienzo de las obras se planteó, al equipo de asistencia geotécnica, que investigase la posibilidad de eliminar la ejecución de los muros, siempre que los rellenos pudieran construirse con igual pendiente que la prevista en proyecto, o incluso ligeramente superior para no incrementar excesivamente la ocupación de terrenos, y que fueran además lo suficientemente indeformables para evitar daños en el firme una vez finalizada la construcción. La ventaja de eliminar los elementos

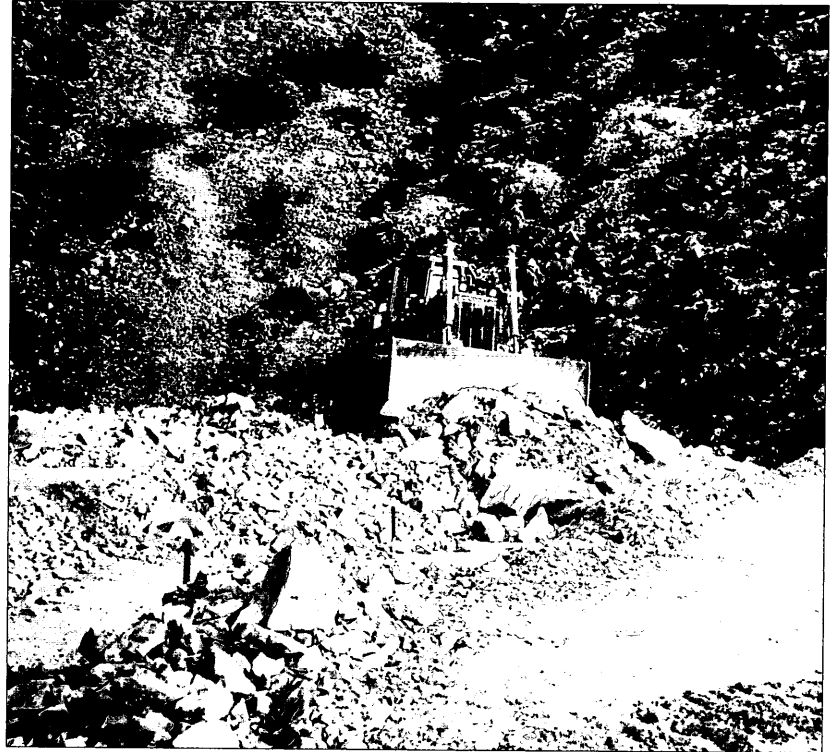


Foto 3.

de contención se hacía más patente a la vista del exceso de tierras existente en esta sección del trazado.

Los desmontes de los que procedería el material para la ejecución del relleno estaban constituidos, íntegramente, por mármoles brechificados



Foto 4.

sanos de resistencia a compresión simple próxima a los 1.000 kg/cm^2 y que, tras la voladura y el arranque, darían lugar a una grava bien graduada, con menos de un 30 por ciento de tamaños inferiores a una pulgada y menos de un 5 por ciento de finos; en cuanto al tamaño máximo de los bloques estaría comprendido, en general, entre unos 30 y 50 centímetros. Se trataba, por tanto, de un material de excelente calidad que daría lugar a rellenos tipo pedraplén.

En tales condiciones, se consideró razonable adoptar para el cálculo de estabilidad del relleno y para el diseño de sus taludes, una resistencia equivalente a un ángulo de fricción de 55 a 60 grados. De ello se deducía la posibilidad de efectuar el relleno con taludes 3(V):4(H), 37° , o incluso 1:1; si bien, este último obligaría a una ejecución más cuidadosa en los bordes de cada tongada para garantizar su estabilidad superficial.

En suma, para la correcta valoración de la alternativa de relleno frente a la solución mixta de relleno y muros prevista en proyecto, deberían tenerse en cuenta las consideraciones siguientes:

▼ en cuanto a la preparación del cimiento, se requeriría una berma horizontal de unos tres metros de anchura mínima y excavada en roca, para apoyar el pie de los rellenos en la mayor parte de esta sección; debido a que la pendiente de la ladera era, en general, superior a unos 15 grados en dirección transversal a la traza.

▼ para la ejecución de los taludes 3(V):4(H), todo el material de relleno debería ser tipo pedraplén y procedente de los desmontes próximos en mármoles brechificados sanos.

▼ respecto a la compactación cabía prever que, en el cuerpo del relleno, sería suficiente con disponer el material en tongadas de 80 cm. de espesor y efectuar 4 pasadas de rodillo vibrador de, al menos, 10 toneladas de peso estático; sin embargo, en los 10 metros próximos a cada talud se requeriría una sobrecompactación, con tongadas de 60 cm. de espesor y 6 pasadas de rodillo vibrador de las características indicadas.

urbaconsult s.a.



ESTUDIOS Y PROYECTOS DIRECCIÓN Y CONTROL DE OBRAS

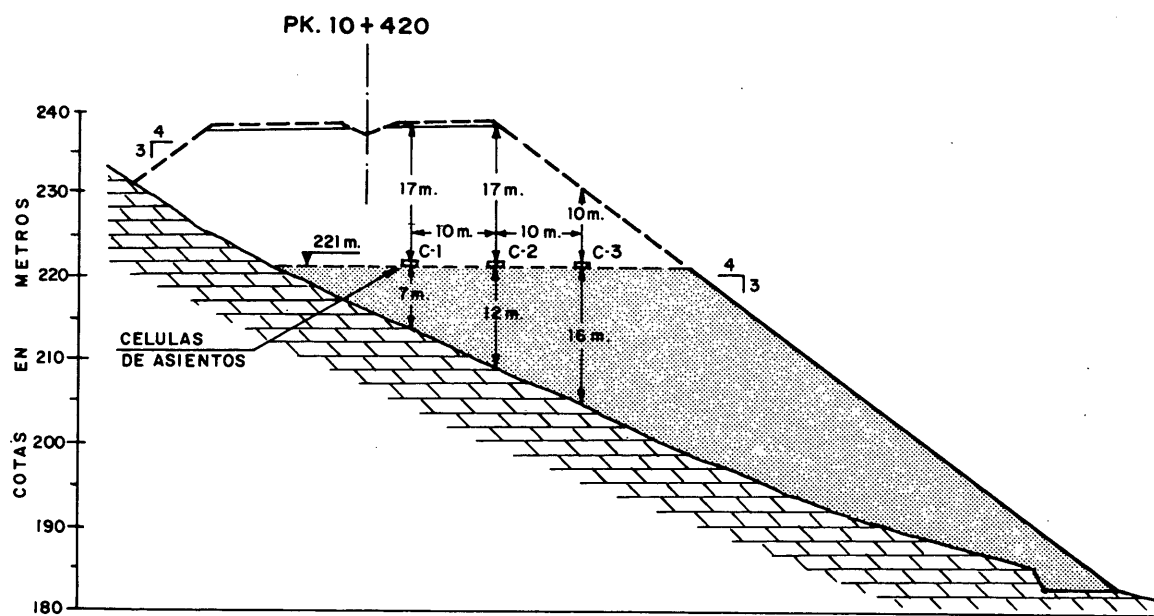
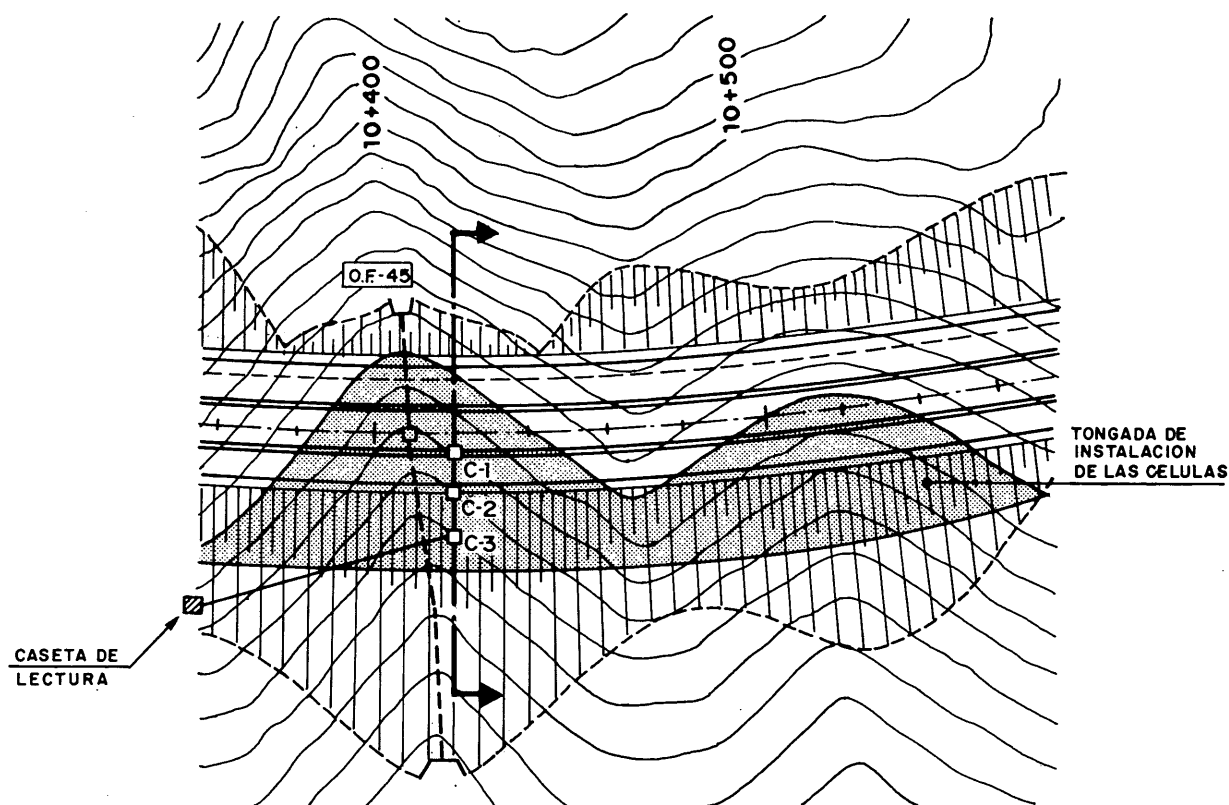
Ha colaborado con la Demarcación de Carreteras de Andalucía Oriental en la elaboración de:

- * ESTUDIO INFORMATIVO
 - * PROYECTO DE TRAZADO
 - * PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN
- DE LA VARIANTE DE
BENALMÁDENA DE LA NUEVA
AUTOVÍA DEL MEDITERRÁNEO

OFICINAS CENTRALES: MÁLAGA c/ ARENAL, 1 C.P. 29016. Tif.: 95-222 89 95.

OTRAS OFICINAS: MADRID - GRANADA

Figura 7.



SITUACION DE LAS CELULAS EN PLANTA Y PERFIL

▽ por último y en cuanto a las deformaciones, si bien en base a nuestra experiencia serían claramente aceptables (inferiores al 4 por mil del espesor de relleno y se producirían prácticamente en su totalidad durante el año siguiente al término de la construcción), se recomendaba controlarlas mediante células de asientos instaladas en el propio cuerpo del relleno.

2.4. CONSTRUCCIÓN DEL RELLENO

El relleno fue construido, íntegramente, con material procedente de los desmontes próximos en mármoles brechificados sanos y siguiendo, prácticamente, las recomendaciones propuestas; si bien, el espesor de las tongadas fue de 80 centímetros, tanto en el interior de las mismas como en los bordes, pero la compactación fue superior, se realizó mediante ocho pasadas de rodillo vibrador de 16,5 toneladas de peso estático.

La excavación de los mármoles precisó el empleo sistemático de voladuras y el material, transportado en camión, se descargó directamente sobre la superficie de las tongadas, sin efectuar vertidos desde las cotas superiores de la ladera.

En la foto 3 se muestra el extendido del material y puede observarse su granulometría en el frente de la tongada. En la foto 4 se muestra el aspecto del talud una vez construidos los dos tercios inferiores del relleno, aproximadamente.

2.5. INSTRUMENTACIÓN DEL RELLENO

Tuvo la misma finalidad que se ha comentado ya anteriormente para el relleno del Higuerón y se planteó utilizando los mismos medios de control ya descritos.

En el relleno que nos ocupa, las células se instalaron el día 10 de febrero de 1.991, sobre la tongada de cota 221 metros y en la vertical del perfil 10+420; en dicho perfil se instalaron tres células cuya situación, en planta y alzado, se muestra en

COMARTOS, S.L.
EMPRESA CONSTRUCTORA



**EL MEJOR CHALET ADOSADO
CALIDAD-PRECIO-UBICACIÓN**

Fundada en 1969

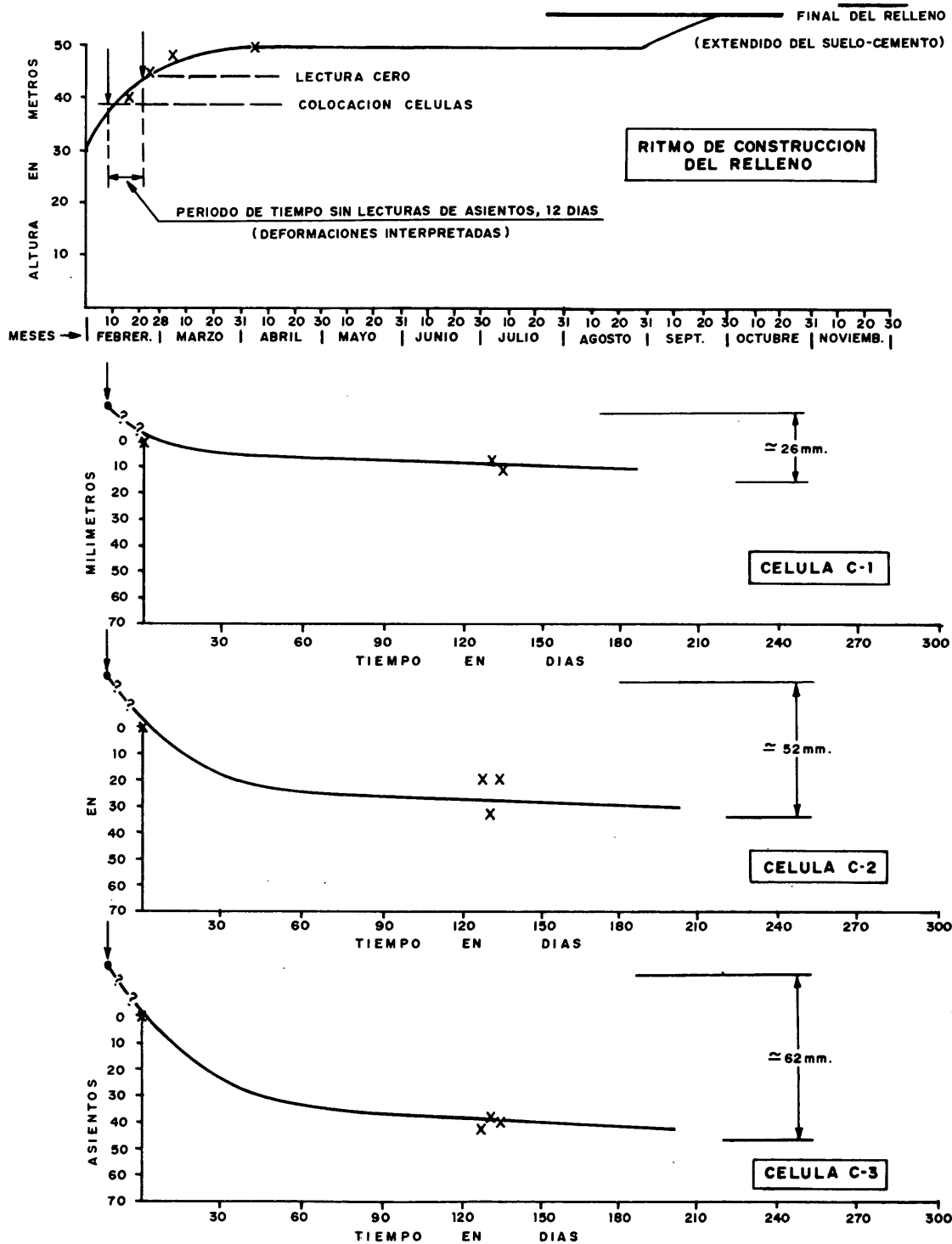
**LA MEJOR ZONA
DE ARTURO SORIA**

**Tlfno. 564 94 95
Srta. Nieves**

**Financiación a
su medida
por CAJA MADRID**

**PRECIO ESPECIAL
PARA 5 UNIDADES**

Figura 8.



NOTA: INTERRUPCION DE LAS LECTURAS ENTRE LOS DIAS 1-III AL 30-VI Y A PARTIR DEL 15-VII POR ROTURA DE LA CASETA.

RELLENO DE VERACRUZ. CONTROL DE DEFORMACIONES

cuya situación, en planta y alzado, se muestra en la figura 7.

2.6. COMPORTAMIENTO DEL RELLENO

Las conclusiones que se presentan a continuación corresponden, exclusivamente, a la interpretación de las lecturas efectuadas en las células de asientos durante el período de construcción; esto es, durante el período de unos cinco meses transcurrido desde la instalación de las células, a mediados del mes de febrero de 1991, hasta mediados del mes de julio en que se produjo una segunda y definitiva rotura de la caseta de lecturas.

A pesar del escaso número de medidas disponibles, estas indican claramente un comportamiento satisfactorio del relleno; los asientos máximos registrados mediante las células varían entre unos tres y siete centímetros. En la figura 8 se presenta el gráfico asientos-tiempo del relleno en función de la sobrecarga que se ha ido colocando sobre la tongada donde se situaron las células.

A partir de estos datos, cabe deducir los siguientes valores en cuanto al módulo de deformación vertical durante la construcción. (Cuadro)

El módulo de deformación vertical del relleno durante el período de construcción, que de los da-

Células n°	Espesor de relleno		Asientos Durante la Construcción	Módulo de Deformación
	Sobre la Célula	Bajo la Célula		
C-1	17 m.	7 m.	≈ 2,6 cm.	961 Kg/cm ²
C-2	17 m.	12 m.	≈ 5,2 cm.	823 Kg/cm ²
C-3	10 m.	16 m.	≈ 6,2 cm.	541 Kg/cm ²

tos disponibles cabe deducir, está comprendido entre 550 y 950 kg/cm².

3. CONCLUSIONES

El orden de magnitud de las deformaciones medidas en los dos rellenos objeto de este artículo supone que, tanto los criterios de diseño como la propia ejecución de los mismos han sido correctas, consecuencia de haber utilizado un sistema de extendido y compactación adecuados para la calidad y granulometría del material disponible en cada caso. Los rellenos así contruidos son estables y presentan un elevado módulo de deformación, sin que se hayan manifestado en ninguno de ellos deformaciones en el firme, al cabo ya de cuatro años de la puesta en servicio de la autovía. ●