

AUSCULTACION DEL PEDRAPLEN DE
EL SALADO

ROMAN, Fernando

MADRID, Marzo de 1.986

AUSCULTACION DEL PEDRAPLEN DE EL SALADO

ROMAN, Fernando *

Resumen

Se presentan los resultados de la auscultación mediante células de agua, de las deformaciones verticales durante el proceso de construcción y algunos meses después de un relleno tipo pedraplén en la Autopista Valencia-Alicante.

Con más de 55 m de altura máxima y 500.000 m³ de volumen, fué instrumentado a tres niveles con un total de 23 células.

Los resultados han demostrado la buena calidad del relleno, tanto del material como de la ejecución y permitieron en su momento una estimación de las deformaciones diferidas durante la puesta en servicio de la autopista.

* Ingeniero de Caminos, INTECSA

Situación geográfica

El trazado de la Autopista Valencia-Alicante, al Norte de los túneles del Mascarat, atraviesa una extensa vaguada por donde circula el Barranco del Salado o del Estret (Fig. 1).

Para salvar la diferencia de cotas se proyectó un relleno tipo pedraplén formado con los productos de la excavación de los desmontes contiguos, anterior y posterior a la vaguada, así como de un préstamo situado en la ladera Alicante.

Dada la gran altura del relleno, 55 m en el punto más alto, se preveía que se iban a producir asentamientos, no solo durante la fase constructiva, sino una vez terminada su construcción y durante un periodo más o menos largo.

La magnitud de estas deformaciones y la velocidad de las mismas dependen de muchos factores pero, fundamentalmente, de la naturaleza del material que forma parte del relleno, su granulometría, sus características resistentes, alterabilidad, el espesor de la tongada y densidad de compactación.

Debido a estos factores, es difícil predecir a priori la magnitud y velocidad de estos asentamientos. Pero es indudable la necesidad de conocerlos antes de extender las capas del firme. Incluso el tipo de éste, rígido (hormigón hidráulico) o flexible (aglomerado asfáltico), puede venir condicionado por dichos asentamientos.

Por esta razón se proyectó una instrumentación que permitiese controlar las deformaciones, tanto en el proceso constructivo como a posteriori, y que a su vez indicaría el tipo adecuado de firme para soportar los asentamientos diferidos.

Entorno geológico

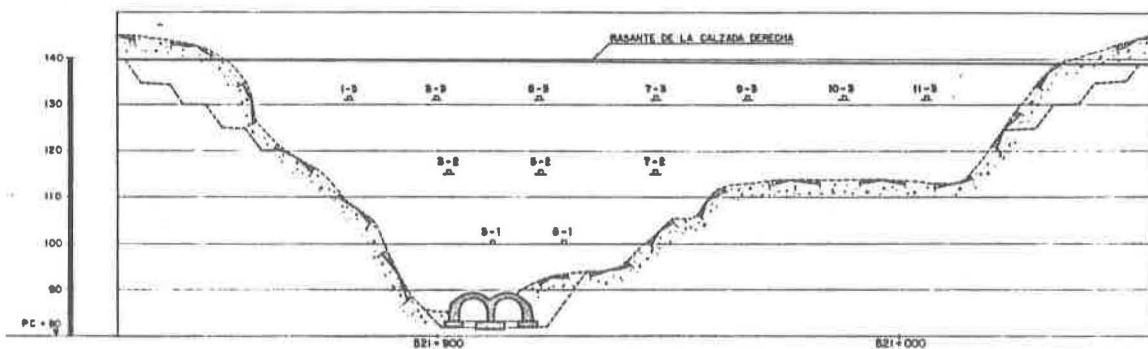
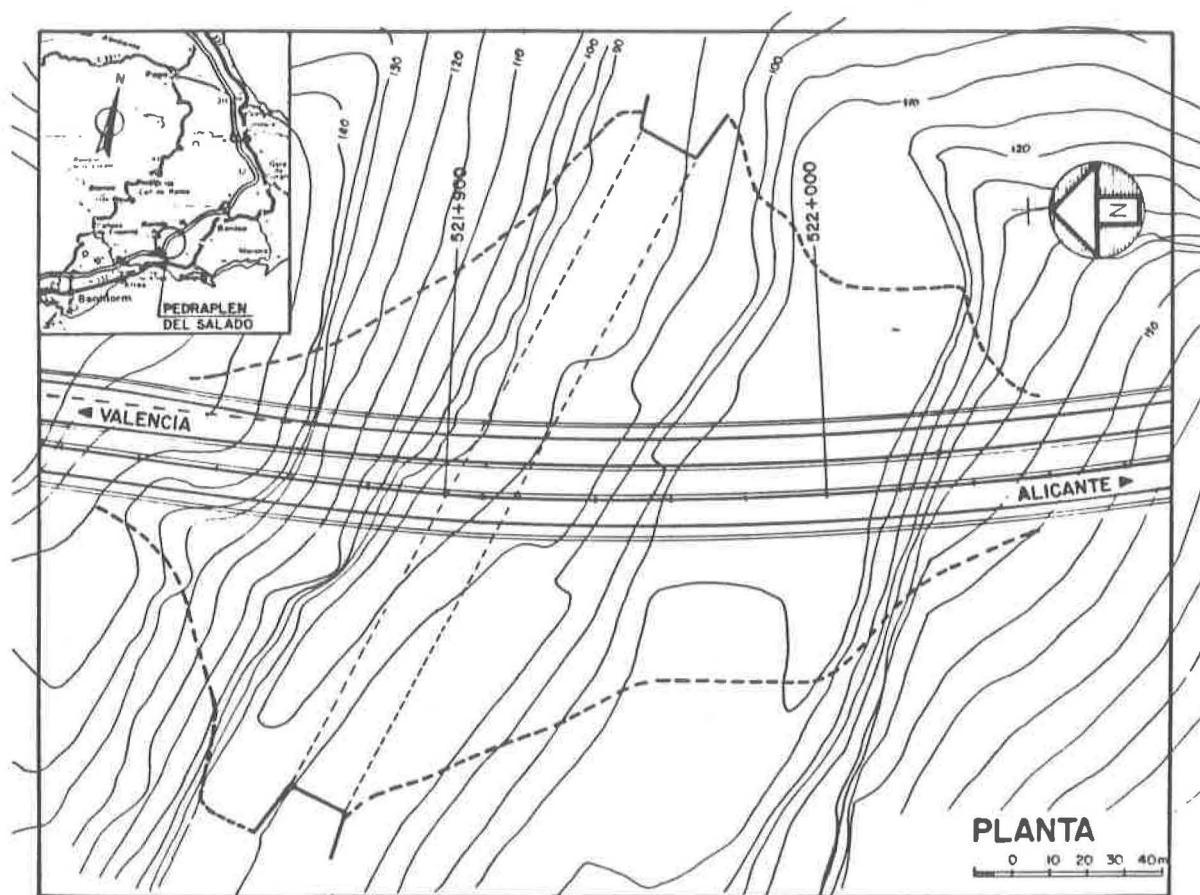
El barranco del Salado discurre, en el punto de cruce con la Autopista, por una formación miocénica constituida por los siguientes niveles, de la base al techo:

- Un nivel de calizas y calizas margosas con intercalaciones de margas, de unos 200 m de potencia. Dentro de él, destaca un nivel-guía de calizas arenosas que da lugar a un pequeño escarpe en la margen izquierda.
- Encima existe un paquete de calizas y margas en alternancia con areniscas que constituyen una facies flyschoides, típica de la zona.

En la margen derecha aflora, debajo del Mioceno, un potente nivel de calizas masivas del Oligoceno-Arquiteniense.

El conjunto está estratificado en dirección Norte, con buzamientos medios de 25° en la margen izquierda y 36° en la derecha. Se detectaron una serie de fracturas sub-verticales que cruzan la zona en estudio. En general son bastante limpias, sin observarse zonas brechificadas alteradas. Se agrupan en 3 familias: Una de ellas de orientación NE-E, otra N-NE y la tercera E-SE. Las dos primeras corresponden a un sistema conjugado de fracturas en dirección y la tercera a un sistema de fallas de compresión que puede llevar fracturas de relajamiento, paralelas al mismo.

Prácticamente la roca aflora en casi todos los puntos y tan solo existen bancales de cultivo con un metro de máximo espesor de suelo repartidos heterogeneamente en ambas laderas.



PERFIL LONGITUDINAL POR EJE DE MEDIANA

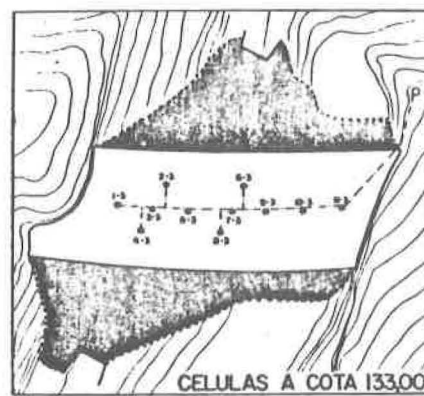
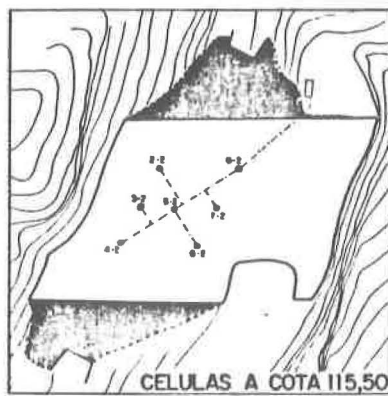
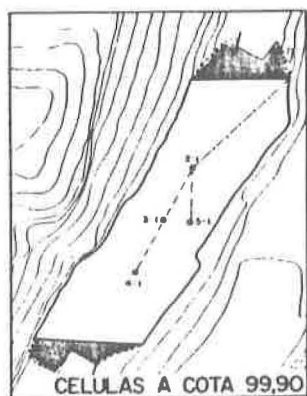


Fig. 1 PLANTA, PERFIL Y DISTRIBUCION DE CELULAS

Los ensayos realizados en muestras de dichas calizas dieron los siguientes resultados:

	MUESTRA					
	C-1	C-2	C-3	C-4	T-1	T-2
CARBONATOS TOTALES (%)	99,5	99,5	99,4	99,5	98	99
POROSIDAD TOTAL (%)	4,33	3,22	3,77	3,44	2,44	3,92
POROSIDAD EFICAZ (%)	0,45	0,30	0,38	0,085	0,04	0,42
RESISTENCIA A COMPRESION SIMPLE, MUESTRA SECA (K/cm ²)	915	1.588	1.675	1.280	1.694	880
Idem SATURADA	897	1.500	617	1.236	960	662
MODULO DE DEFORMACION MUESTRA SECA (K/cm ²)	--	743.500	--	625.000	--	637.500
MODULO DE DEFORMACION MUESTRA SATURADA (K/cm ²)	--	694.400	--	555.500	--	588.000
RESISTENCIA A TRACCION (BRASILEÑO) MUESTRA SECA (K/cm ²)	40,5	160	61	144	91	102
Idem SATURADA	--	63	58	83,5	58	95
PERDIDA AL ATAQUE DE SO ₄ Mg MEDIA (%)	1,05	2,1	2,00	1,55	3,0	1,15
Idem SO ₄ Na ₂	--	2,85	2,65	2,30	4,1	--

Se trata pues de una roca caliza, prácticamente pura, bastante resistente, al menos para las tensiones que va a soportar. La porosidad es bastante baja lo que da idea de la compacidad de la roca y la mayor parte de los poros no son susceptibles de absorber agua capilarmente como lo demuestra la cifra tan baja de la porosidad eficaz.

La pérdida media de resistencia con la saturación de la roca es grande, del orden de un 24%, pero se consideró aceptable, sobre todo por la dificultad de conseguir esa saturación en obra.

Atendiendo a la clasificación de Deere-Miller, es una roca de resistencia media-alta y de elevado módulo relativo (módulo de elasticidad dividido por resistencia a compresión simple).

No se realizaron ensayos Los Angeles de desgaste por rozamiento, pues el resultado puede variar según la granulometría del material y ésta dependería del sistema de extracción. Por otra parte el tamaño medio del árido iba a ser grande y existirían pocos finos, lo que dificultaba la realización del ensayo según la norma Standard.

No obstante, a la vista de las características de la roca se pudo concluir que constituía un buen material para construir el relleno proyectado. Las deformaciones diferidas serían debidas a problemas de compactación defectuosa, por escasa o por excesivo espesor de tongada, pero sería muy improbable que se produjeran asentamientos por reajuste de granulometría a causa de roturas de aristas de los áridos, a no ser que una compactación muy defectuosa dejase los contactos entre piedras reducidos a muy pocos puntos y las tensiones en estos contactos superasen lo admisible.

Se consideró necesario ejecutar bandas de ensayos de compactación, donde se combinaron las distintas variables: espesor de tongada, tipo de compactador, nº de

pasadas, humedad, e incluso granulometría del material pues se controlaron las voladuras en las excavaciones para obtener la granulometría óptima.

Los últimos metros del relleno fueron ejecutados con el producto de la excavación de un desmonte en calizas y margas calcáreas, de una calidad resistente inferior a la de la roca del resto del relleno.

Sus características geotécnicas son del orden de:

- Resistencia a compresión simple, m. seca. 350-400 Kg/cm²
- Módulo de deformación, m. seca 80-100.000 Kg/cm²
- Carbonatos (%) 80%

En cualquier caso, su relativa peor calidad no ha influido prácticamente en el comportamiento del relleno, ni en los resultados de la auscultación.

Instrumentación, colocada

El sistema está formado por unas células hidráulicas embebidas dentro del relleno, conectadas a unos paneles de lectura situados dentro de unas casetas fuera del pedraplén. La ventaja fundamental de este sistema radica en que se puede empezar a medir deformaciones desde el momento de su instalación sin interferir prácticamente en la ejecución del resto del relleno y del afirmado (Fig. 2).

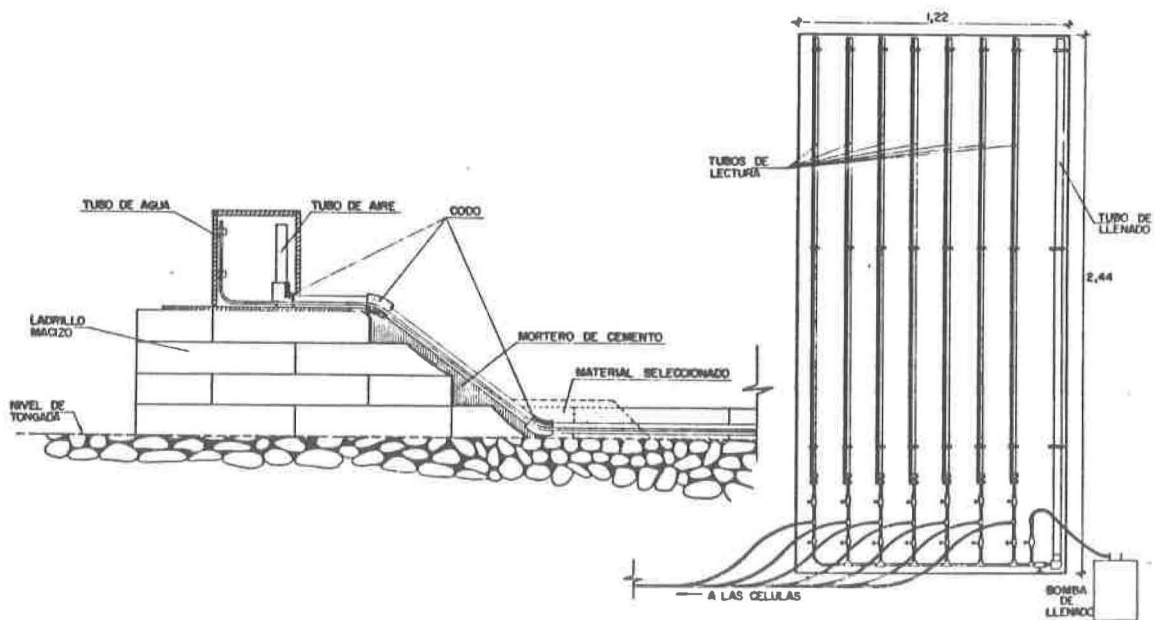


Fig. 2 - DETALLE DE COLOCACION DE CELULAS

Se colocaron tres niveles de células, a las cotas 99,90, 115,5 y 133 con un total de 22 células. Las células vienen definidas por dos números, el primero indica el nº de orden dentro del nivel que coincide con el de las células situadas en los otros niveles de la misma sección, por encima y por debajo; el segundo indica el nivel (Fig. 1).

En la vertical de la D.O. 521+900 donde la altura del relleno es máxima se situó, en cada nivel, una célula en el eje de simetría del relleno y otra a cada lado, a 15, 25 ó 35 m de distancia de dicho eje según el nivel. En la D.O. 521+945 hay una

El desmante anterior al barranco se produce en el nivel superior del mioceno: calizas margas y areniscas; y el desmante posterior lo hace en las calizas oligocenas.

Geometría del relleno

El relleno ejecutado tiene una altura máxima de 55 m. La longitud en coronación es de 185 m, y la anchura de la plataforma sobre la que se extiende el firme es de 35 m. La máxima anchura en la base es de 210 m. Se proyectó con un talud de 3H = 2V en toda la altura del relleno. Estas dimensiones dan lugar a un volumen próximo a 500.000 m³.

Las calzadas de la Autopista están a diferente cota. La calzada izquierda está 1,50 m más baja que la derecha en el comienzo del relleno y 3,50 m en el final, y tiene una pendiente media descendente hacia Alicante de 2%. La calzada derecha tiene a su vez una pendiente también descendente hacia Alicante de aproximadamente un 0,5%.

La ladera Valencia de la vaguada es francamente escarpada con un talud medio de 52º, teniendo dos escarpes en la parte alta y en la baja de más de 70º.

La ladera Alicante es más suave, con un talud medio de 25º pero en ella estaba emplazada una cantera que dejaba un escarpe de más de 60º de talud y 25 m de altura, que afecta a la parte alta del relleno.

Características de la roca de cimentación

Eliminando los banales de cultivo existentes, así como los acopios de la cantera, el pedaplén se apoya directamente sobre la roca.

La observación de visu permitió apreciar una buena calidad de la roca sana, ligeramente meteorizada en las juntas cerca de la superficie; se podía romper con el martillo, éste producía una raya romera y daba un sonido limpio, y sus diaclasas están separadas entre 0,30 y 1,00 m.

Con las muestras extraídas en tres sondeos realizados en los materiales miocénicos se efectuaron ensayos de resistencia a compresión simple obteniendo unos valores entre 55 Kg/cm² y 484 Kg/cm² siendo la media de las resistencias de 346 Kg/cm². En las calizas oligocenas se ensayaron muestras de un solo sondeo obteniendo una resistencia a compresión simple media de 457 Kg/cm².

En resumen se puede decir que la roca de apoyo no presentaba ningún problema frente al relleno que sobre ella se ejecutó. Únicamente se convino la necesidad de eliminar los banales de cultivo y los acopios de la anterior cantera.

Asimismo se recomendó rectificar la geometría de las laderas en su parte alta, pues los escarpes existentes podrían dar lugar a asientos diferenciales. Para evitarlo se aconsejó un escalonado de dichos escarpes, de tal manera que el talud medio resultante de la excavación no fuese superior a 45º.

Características de la roca del relleno

En el relleno se utilizaron fundamentalmente los productos de la excavación del desmante posterior y de un préstamo-cantera situado junto a la traza, ambos en las calizas oligocenas.

disposición análoga. De esta manera se controlaron las deformaciones diferenciales del centro del relleno respecto de los bordes.

Las células se situaron además en puntos donde comparativamente, se podían producir asientos diferenciales debido a las diferencias bruscas de altura del relleno causadas por la topografía de la ladera, como es el caso de la célula 11-3, de las células 7-3 y 9-3, y de la 1-3.

La cota de cada nivel de auscultación fué definida finalmente teniendo en cuenta los siguientes factores.

1. La distribución razonable a distintas alturas en función de la geometría del relleno y de la topografía de las laderas.
2. La elección previa de unas edificaciones abandonadas de la antigua cantera, para alojar los paneles de lectura.
3. La interferencia con el ritmo de extendido y compactación del relleno debía ser mínima. Esto obligó a seleccionar una tongada tal que el ritmo de extendido de la siguiente fuese inferior a lo normal, o bien una tongada que se terminase de compactar el último día de la semana.

La fabricación, puesta a punto, montaje sobre el pedraplén y la auscultación inicial fué realizada en su totalidad por la División de Geotecnia de INTECSA dentro del equipo de Dirección de Construcción de AUMAR, S.A. Sociedad Concesionaria de la Autopista.

Cada nivel de células necesitó un plazo de dos días para su montaje total y comprobación, no alterando el ritmo normal de construcción, pues solo se modificaron ligeramente los recorridos habituales de los equipos de extendido y compactación. No obstante debe agradecerse el cuidado y colaboración que continuamente ofrecieron los equipos y personal de Dragados y Construcciones, S.A., empresa constructora del relleno.

Ejecución del pedraplén

La serie de bandas de ensayo realizadas en primer lugar permitieron ajustar el espesor de la tongada y la densidad de compactación para una granulometría considerada como óptima.

De aquí resultaron las siguientes recomendaciones constructivas.

- . Espesor de tongada 0,80 m
- . Vertido a 3 m del borde de tongada
- . Extendido mediante empuje con tractor
- . Regado intenso con motobomba
- . Compactación con rodillo vibratorio pesado de 10 T, con un mínimo de 10 pasadas a velocidad inferior a 1,5 Km/h
- . Porcentaje de huecos medido en catas 15%

La maquinaria utilizada para la construcción fué la siguiente:

- Arranque de la voladura y acopio: 1 CAT D-8 y 1 Komatsu D-155
- Carga: 2 palas CAT 992

- Transporte: 4 Haulpack de 50 T y 6 de 35 T
- Extendido: 1 CAT D-8; 1 CAT 825; 1 CAT 16 G
- Riego: 1 Trailla WABCO de 16 m³
- Compactación: 1 rodillo vibratorio ABG-185 de 10 T.

El pedraplén fué ejecutado en un plazo del orden de 8 meses, terminándose en el mes de Julio de 1.979. El ritmo diario de ejecución alcanzó unas medias mantenidas de 5-6.000 m³ en frecuentes ocasiones.

Resultados

En la figura 3 se representan las curvas de asientos para cada nivel de células en el período auscultado, de las que se pueden sacar las conclusiones que a continuación se exponen.

- a) La célula 5-1 en el período auscultado ha experimentado un asiento de más del doble que las otras del mismo nivel. Asimismo, comparando esta curva con la de la célula 5-2, la más próxima a la vertical de 5-1, puede verse que en un mismo período de tiempo (y de incremento de carga) la célula 5-1 asienta más que la 5-2 al contrario de lo que debería ocurrir. No ocurre lo mismo si comparamos las células 4-1 y 4-2; la segunda asienta casi el doble que la primera en un mismo período de tiempo (Marzo-Abril p. ej.).

La discrepancia anterior tiene que estar originada en que la célula 5-1 se ha situado sobre la vertical del relleno de trasdós de la obra de fábrica. Las dificultades de extendido y compactación en dichas zonas de geometría difícil pueden ocasionar un relleno de peor calidad que se traduce en mayores deformaciones. Estas deformaciones van amortiguándose hacia cotas más altas por lo que no se reflejan en el nivel 2.

- b) Observando las curvas de asiento del nivel 2, puede verse cómo las deformaciones de las células laterales (6-2 y 8-2 p. ej.) son del orden del 75% de la central (7-2) para una altura de relleno de 13 m, mientras que esa diferencia se amortigua lógicamente cuando la altura del relleno bajo las células (2-2, 3-2, 4-2) aumenta a 29 m, magnitud más cercana a la separación entre células.
- c) Los módulos de deformación del relleno calculados a partir de las curvas de asiento son del orden de

Relleno de trasdós de O.F.	10.000 T/m ² (1 célula)
Relleno hasta cota 100	16.000 T/m ² (1 célula)
Relleno entre las cotas 100 y 115	30.000 T/m ²

Estas diferencias notables en los módulos de deformación entre los rellenos bajo el primer y segundo nivel de células, amén de haber manejado una sola célula en el nivel 1, pueden estar justificados por los siguientes razonamientos.

- En los primeros metros, el relleno está constituido por roca probablemente más meteorizada que en las capas siguientes al provenir de excavaciones de las zonas de desmonte más superficiales.
- Conforme el relleno gana altura, la superficie de extendido aumenta, la necesidad de maquinaria es mayor y se programa mejor todo el movimiento de los equipos, pues el tajo adquiere claramente importancia. Es decir el material se extiende y se compacta mejor.

En cualquier caso los módulos de deformación estimados implican una buena calidad del relleno y de su ejecución.

- d) Los asientos medidos al final del período de auscultación en las células de los niveles 1 y 2 implican deformaciones unitarias del 2 al 4% en las que un 85% corresponden a deformaciones instantáneas al ir incrementando las cargas con la altura del relleno; y un 15% corresponde a las deformaciones diferidas bajo carga constante, en un período de 6,5 meses (es decir unas deformaciones unitarias de 0,3 a 0,6% en este período inicial).

Las células del nivel 3, en el escaso período de 3 meses auscultado, denotan unos asientos unitarios del orden de 0,2 a 1% si bien, el corto período de tiempo no permitió unas conclusiones más afinadas además de la ya manifestada buena calidad general del relleno.

- e) En suma, con los datos manejados, y admitiendo razonablemente una cierta amortiguación con el tiempo, pudieron predecirse unos asientos máximos del orden del 0,6% en el primer año de puesta en servicio, disminuyendo rápidamente en años sucesivos.

A pesar de la pequeña magnitud de los asientos esperados y su probable uniformidad, se consideró conveniente la ejecución de un firme flexible.

Estado actual

En la actualidad (Diciembre 1985), siete años después, el pavimento de la Autopista no acusa asientos diferenciales, siendo imperceptible el asiento general del relleno, lo que corrobora la buena calidad del relleno y las conclusiones de la auscultación.

Agradecimiento

La auscultación del relleno propuesta por INTECSA fué considerada conveniente tanto por la Sociedad Concesionaria AUMAR, S.A. como por el constructor de la Autopista DRAGADOS Y CONSTRUCCIONES, S.A. Gracias a la colaboración de ambos fué posible el montaje de la instrumentación necesaria y la correspondiente auscultación.

Agradecemos aquí dicha colaboración así como la autorización de ambas y de INTECSA para la publicación de los datos manejados.