

CUÑAS DE TRANSICION PARA FERROCARRILES DE ALTA VELOCIDAD (1)

A. SORIANO (*)

J. A. REIN (**)

F. J. SANCHEZ (*)

C. SERRANO (*)

RESUMEN. La existencia de estructuras enterradas en los rellenos de las infraestructuras viarias pueden generar asientos diferenciales cuya magnitud llega, en ocasiones, a afectar la propia evolución del tráfico. No parece aplicable, para los requerimientos especiales de la infraestructura de los trenes de alta velocidad (TAV), la experiencia adquirida en los casos de carreteras o ferrocarriles convencionales. En particular, durante la construcción del nuevo TAV entre Madrid y Sevilla fue necesario analizar con mayor profundidad la interacción existente entre el relleno y la estructura enterrada. Para ello se realizó la predicción, mediante la aplicación de un modelo numérico, de los asientos diferenciales diferidos, acorde con las características geotécnicas de los materiales del relleno y su comportamiento a largo plazo, en función de la geometría del problema. Los resultados de este estudio permitieron establecer los criterios de diseño empleados en proyecto para la definición de estas transiciones.

ABSTRACT. Buried structures underneath embankment fills sometimes induce differential settlements disturbing traffic. The gained experience for the cases of highways or low velocity railroads was not considered applicable for the high velocity railroads (HVR) requirements. While constructing the Madrid-Sevilla new HVR, the fill and buried structure interaction was studied by means of a numerical model in order to predict the long term differential settlements that may occur according to the geometry of the problem and to the knowledge of the long-term behaviour of the materials involved. The results of the study allowed to assess the design criteria used in the project.

1. INTRODUCCION

A continuación se describe brevemente el procedimiento seguido para la obtención de algunos criterios básicos de diseño necesarios para definir las cuñas de transición asociadas a estructuras enterradas bajo terraplenes, en los trabajos de construcción del TAV «Madrid-Sevilla». El método aquí descrito se refiere, únicamente, a estructuras enterradas de directriz circular, aunque se estudiaron, también, otros tipos de transiciones y geometrías externas (por ejemplo, estructuras enterradas rectangulares, transición estribo de puente-relleno, transición desmonte-terraplén).

Las elevadas velocidades desarrolladas por los TAV (más de 250 km/h) imponen notables restricciones a la deflexión de la vía para asegurar un apropiado nivel de servicio. Partiendo de experiencias previas, se definió como máximo asiento diferencial permitido aquél capaz

de producir un radio de curvatura de 50 km como límite inferior.

2. METODO DE ANALISIS

Muchos autores han estudiado la deformación a largo plazo de suelos y existen numerosos modelos numéricos disponibles para su simulación. En el presente trabajo se ha utilizado el método de aproximación sugerido por Mesri et al. (1987). De acuerdo con éste, el coeficiente de compresión secundaria, C_{α} , es proporcional al índice de compresión, C_c , y la relación C_{α}/C_c es prácticamente independiente del tipo de material. De esta forma, la deformación diferida podría predecirse a partir de los parámetros propios de la deformación primaria (o a corto plazo), capaz de investigarse por medio de ensayos de laboratorio convencionales.

La investigación aquí descrita se hizo para un material típico que aparece frecuentemente en la zona central de las líneas de ferrocarril al sur de Sierra Morena. Este material es producto de la excavación de limolitas y esquistos, apareciendo con una mezcla de gravas, arenas y limos con alguna plasticidad.

Los parámetros de deformación a corto plazo se determinaron siguiendo un programa intensivo de ensayos triaxiales sobre las distintas muestras en células de di-

(1) Artículo presentado en el X Congreso Europeo de la S.I.M.S. celebrado en Florencia, 1991.

(*) Ingeniería del Suelo, S. A.

(**) Dirección General de Infraestructura del Transporte.

ferentes diámetros (hasta 22,7 cm). Estos resultados se interpretaron para la obtención de los parámetros del modelo hiperbólico de comportamiento (Duncan et al., 1974). Los valores medios obtenidos fueron:

- $\gamma = 21,56 \text{ KN/m}^3$ (densidad).
- $K = 500$ (número del módulo).
- $n = 0,60$ (exponente del módulo).
- $\nu = 0,30$ (módulo de Poisson).
- $R_f = 0,80$ (razón de rotura).
- $K_0 = 0,80$ (coeficiente de empuje en reposo).
- $c' = 19,60 \text{ Kpa}$ (cohesión efectiva).
- $\phi' = 35^\circ$ (ángulo de rozamiento interno)

La relación C_0/C_c se investigó a partir de algunos ensayos de consolidación (tipo Rowe) sobre probetas de gran diámetro, obteniéndose un valor medio de 0,10 para este tipo de material.

Los asentamientos constructivos se obtuvieron simulando la construcción del relleno por medio de su discretización con elementos finitos (Kulawy et al., 1969). De esta manera se determinaron las relaciones tensión-deformación correspondientes a un problema elástico en deformaciones planas.

Finalmente debido a que los módulos existentes en la roca que constituye la cimentación del relleno, del material de la estructura enterrada y de la propia cuña de transición son muy elevados comparados con el del material del relleno, en la simulación realizada fueron modelizados como materiales rígidos en todos los casos analizados.

3. ESTRUCTURA ENTERRADA SIN CUÑA DE TRANSICION

En la figura 1 se muestra una estructura enterrada tipo sin cuña de transición, donde se pueden observar los

parámetros de definición geométrica H y a . Se hicieron numerosos cálculos para diferentes relaciones H/a .

En la totalidad de los cálculos desarrollados por el procedimiento descrito se intenta realizar un pronóstico relativo a la magnitud de los asentamientos:

- a) Asientos durante construcción.
- b) Asientos diferidos en el tiempo, después de la construcción, una vez transcurrido un período de tiempo del orden de diez veces mayor al del propio proceso constructivo.

En la figura 2 se muestran estos resultados para el caso particular de $H/a = 2,00$. También se incluye la geometría de la malla de elementos finitos utilizada en el cálculo.

4. ESTRUCTURA ENTERRADA CON CUÑA DE TRANSICION

El siguiente paso incluido en este análisis fue la incorporación de la cuña de transición, con objeto de valorar la mejora de comportamiento (desde el punto de vista de disminución de asiento) con respecto al caso anterior (ver figura 3).

Los resultados obtenidos en este caso (ver figura 4) para una misma relación $H/a = 2,00$ muestran, como era de esperar, una disminución general de ambos tipos de asentamientos con respecto al caso anterior.

5. COMPARACION ENTRE AMBOS CASOS

Después de realizados ambos cálculos se evaluaron los correspondientes radios de curvatura mediante el ajuste de una parábola de segundo grado en cada punto de la superficie deformada del relleno según la siguiente expresión:

$$R_i = (1 + y_i^2)^{3/2} / \ddot{y}_i$$

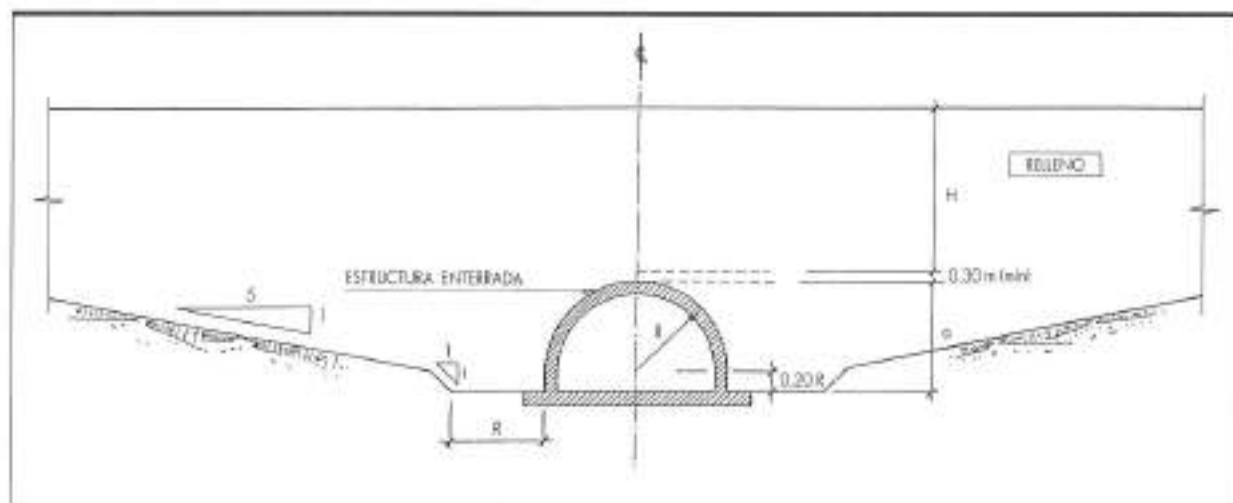


FIGURA 1. Estructura enterrada típica (sin cuña de transición).

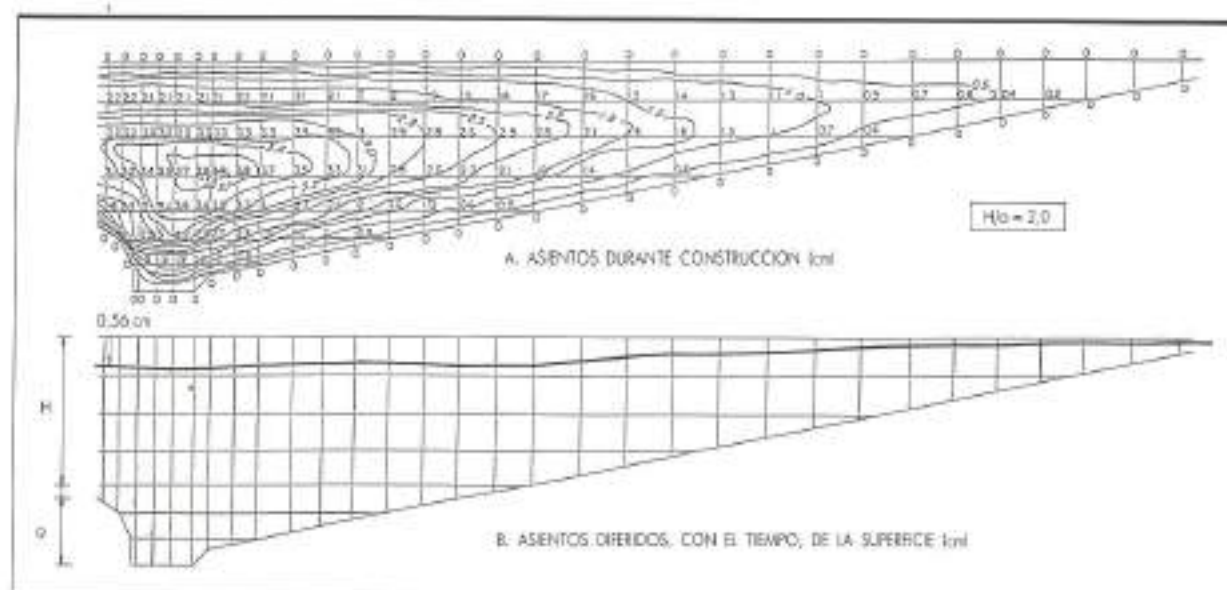


FIGURA 2. Asientos al final de construcción (sin curva de transición).

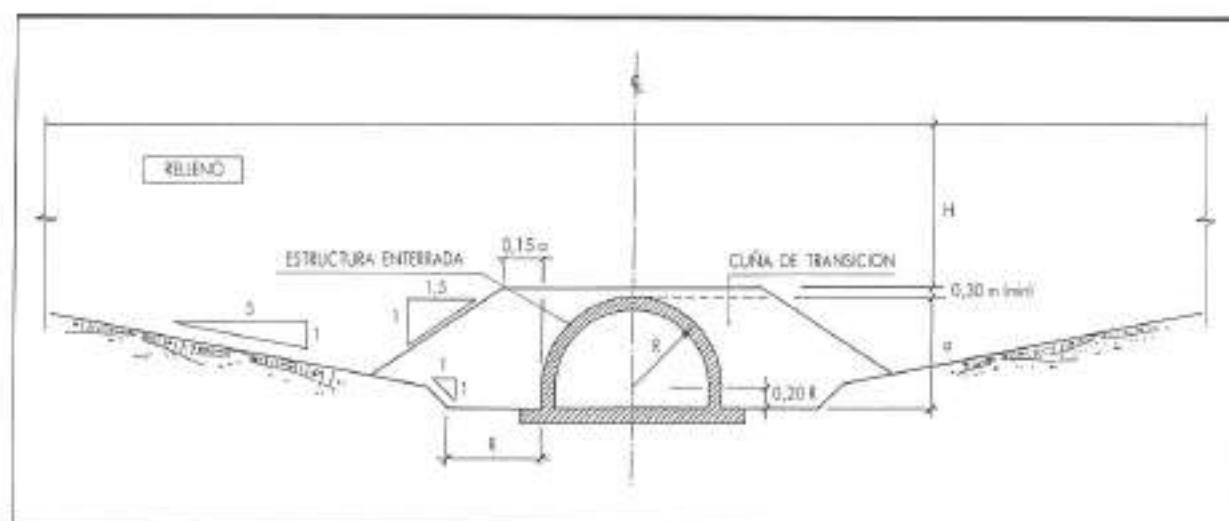


FIGURA 3. Estructura enterrada típica (con curva de transición).

donde:

$\dot{y}_i$ = Derivada primera de la función de ajuste en el punto i .

$\ddot{y}_i$ = Derivada segunda de dicha función en el mismo punto i .

R_i = Radio de curvatura en el punto i .

Conviene apuntar que la construcción de este tipo de infraestructura viaria incluye las operaciones de nivelación de la vía realizadas cierto tiempo después de terminado el relleno de tierras. Los asentamientos producidos después de dicha nivelación, que son los que pueden afectar al tráfico, se pueden considerar similares a los que se han calculado para ese incremento de tiempo diez veces

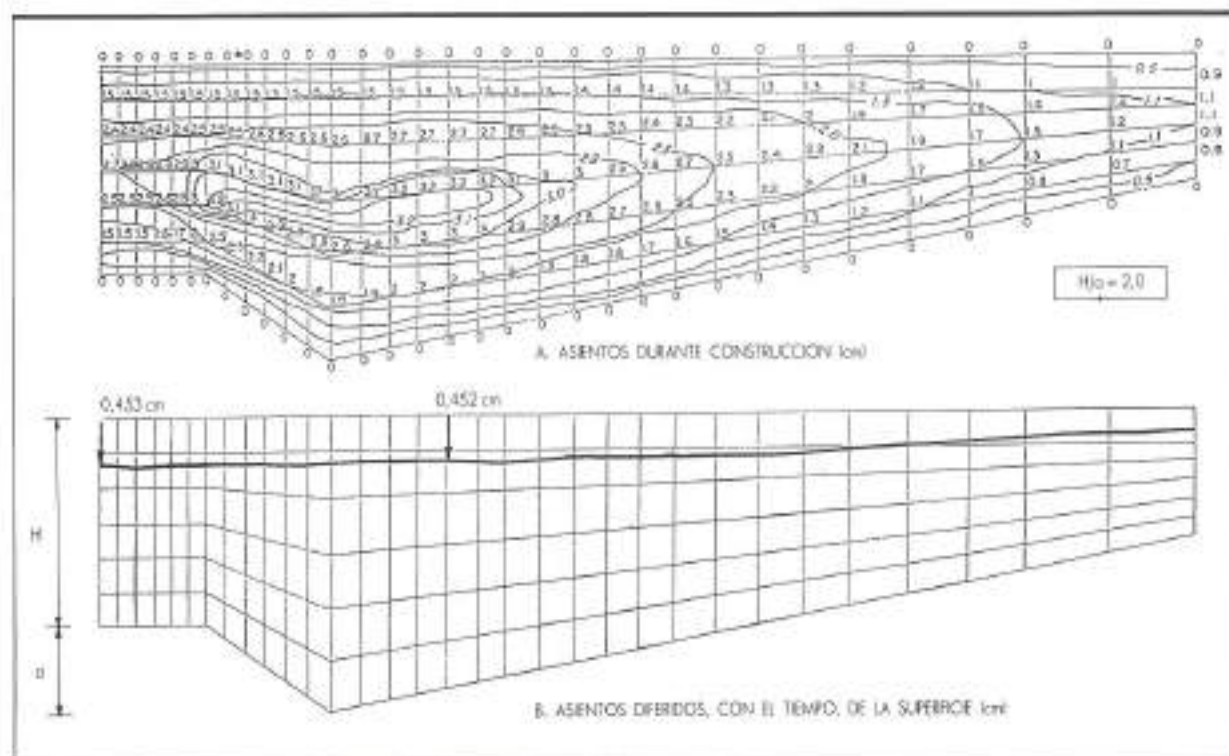


FIGURA 4. Asientos al final de construcción (con cña de transición).

mayor. Por tanto, podrían representar el asiento que ocurre durante el intervalo de tiempo comprendido entre uno y diez años después de finalizada la construcción del relleno. Este intervalo de tiempo se tuvo en cuenta en los cálculos simulando un incremento de tensión de una décima parte (relación C_u/C_c) en cada uno de los elementos de la malla de elementos finitos (1).

De esta manera puede localizarse la situación de los nudos donde se producen radios de curvatura pequeños, así como la magnitud de los valores mínimos. Estos resultados se reflejan en las figuras 5 y 6 para diferentes valores de la relación H/a y para las situaciones sin y con cña de transición, respectivamente.

De la observación de estas dos figuras se puede concluir que:

- Para los casos donde $H/a > 2$, el comportamiento de este tipo de rellenos sobre estructuras enterradas sin cuñas de transición puede considerarse aceptable.
- Si se verifica la relación $1 < H/a < 2$, las cuñas de transición producen una mejora considerable que depende, principalmente, de las características del material de relleno.

- En el caso extremo de $H/a < 1$ (siendo $H > 1,50$ m), la cña de transición resulta esencial en todo el sistema al incrementar los radios de curvatura de 10 a 40 km (aunque este valor sea aún inferior al mínimo requerido de 50 km).

Para aquellas situaciones donde $H < 1,50$ m, se necesita un tipo diferente de cña de transición. En estos casos se requiere la adición de cemento a los materiales del subbalasto y balasto. Este problema no ha sido incluido en el presente estudio.

6. CONSIDERACIONES DEL PROYECTO

La enorme influencia de la cña de transición para valores pequeños de H/a , así como la necesidad de utilización, en estos casos, de un mejor material (tipo 2) en lugar del usado regularmente (tipo 1) permiten definir los criterios de diseño que se reflejan en la figura 7 (casos 1, 2 y 3).

7. CONCLUSIONES

Se obtiene, de la forma descrita, un método razonable y simple para poder definir las cuñas de transición asignables a una estructura enterrada tipo, de geometría externa circular. Esto se hizo para satisfacer las mayores exigencias que impone la construcción del TAV (con-

(1) Para mayores detalles, ver Soriano, 1989.

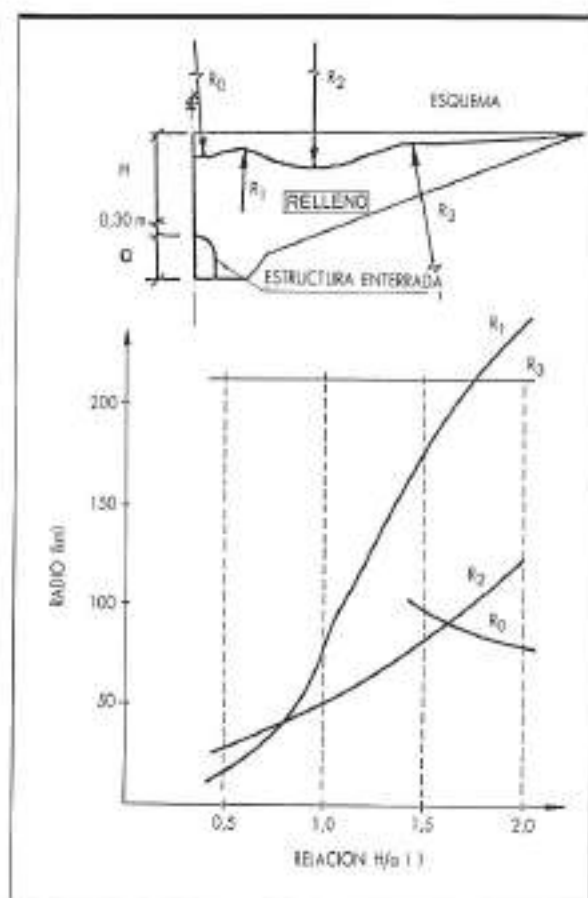


FIGURA 5. Variación del radio de curvatura (sin cuña de transición).

paradas con las de un ferrocarril convencional) con respecto a las deflexiones superficiales de la estructura.

Se siguieron procedimientos similares para definir otros tipos de cuñas de transición para distintas situaciones, como estructuras enterradas con geometrías externas varias, transiciones desmonte-terraplén y estribo de puente-relleno.

BIBLIOGRAFIA

DUNCAN, J. M., y WONG, K. S. (1974). «Hyperbolic stress-strain parameters for nonlinear finite element analyses of stresses and movements in soil masses». Report No. TE-74-3. Department of Civil Eng. Univ. of California at Berkeley, Estados Unidos.

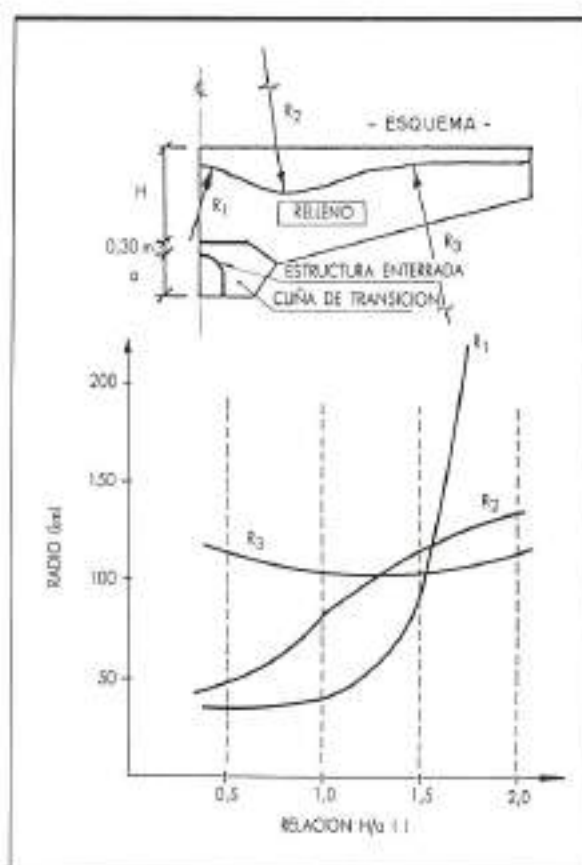


FIGURA 6. Variación del radio de curvatura (con cuña de transición).

KULAWY, F. H.; DUNCAN, J. M., y SEED, H. B. (1969). «Finite element analysis of stresses and movements in embankments during construction». Report No. TC-69-4. Department of Civil Eng. Univ. of California at Berkeley, Estados Unidos.

MESRI, G., y CASTRO, A. (1987). « C_u/C_c concept and K_0 during secondary compression». Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Estados Unidos, pp. 239-247.

SORIANO, A. (1989). «Puesta en obra y compactación de rellenos en obras de infraestructura viarias». Simposio sobre el agua y el terreno en las infraestructuras viarias, Torremolinos, España, pp. 129-149.

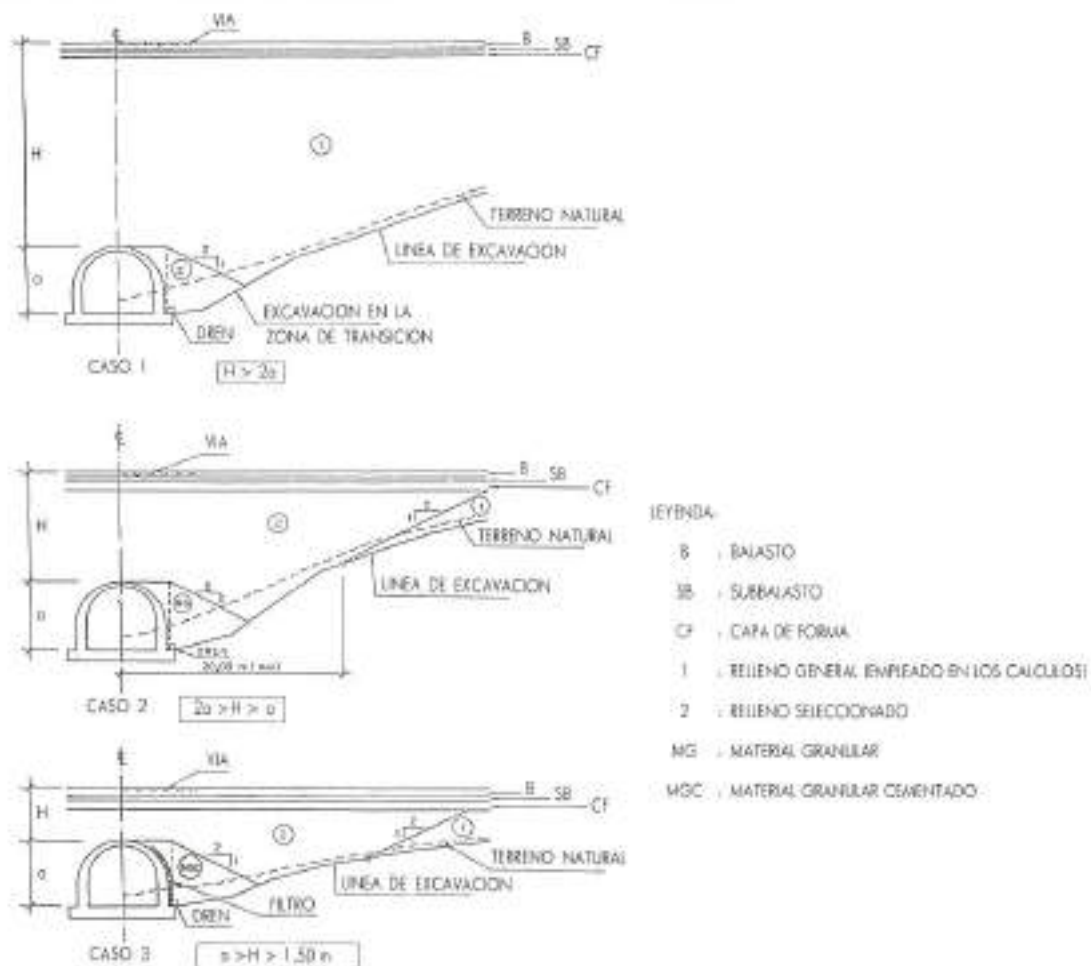


FIGURA 7. Cuños de transición para estructuras enterradas circulares (distintas relaciones H/a).

LAMINAS IMPERMEABILIZANTES DE PVC FLEXIBLE

Producto que posibilita soluciones espectaculares.
Soluciones tangibles concretadas en obras ya realizadas.

Porque:

- 1 Son de duración equivalente a la vida de la obra.
- 2 Su peso, flexibilidad y adaptabilidad cierran un completo arco de posibilidades de aplicación.
- 3 Su soldadura es perfecta, estable y de duración igual a la de la vida de la lámina.
- 4 Adaptable a todos los sistemas de fijación existentes.
- 5 Pueden ir vistas o protegidas.
- 6 Sesenta distribuidores/aplicadores oficiales repartidos por toda la geografía española, garantizan una correcta aplicación.
- 7 Gabinete internacional del Grupo Solvay para asesoría en todo tipo de proyectos.



Túneles de Albertville: La lámina, en sábanas, se suspende del arco del túnel, soldándose a discos de PVC fuertemente fijados y suspendidos del techo. Las sábanas se sueldan entre sí, solapándose. Un ulterior gunitado amolda la lámina al primer galbo del túnel, formando el arco visto definitivo.



Factoría de Ensidesa: 80.000 m² sobre cubierta de plancha metálica galvanizada, aislada. Fijación mecánica de todo el conjunto. Lámina de 1,5 mm armada con políester gris, vista.



Velódromo de Anceta: Rehabilitación definitiva, sin levantar la cubierta. Superficie curva y con gran pendiente. Lámina de 1,2 mm, armada con políester gris, vista. Fijación mecánica.



Embalse de Valle Molina: 80.000 m² de superficie. El mayor impermeabilizado en España. Lámina de 1,5 mm sin armar. Anclajes perimetrales cada 15 metros. (Taludes de 45 m de anchura).

Fabricada por:

SOCIEDAD GENERAL DE HULES, S.A.

C/ BARCELONA 3-5 - APARTADO, 9

08850 - GAVA (Barcelona)

TELEFONOS (93) 662 00 50 - 662 33 11

TELEFAX (93) 662 98 08

TELEG. HULES - TELEX 64.500 HULES-E

SGH^{S/A}
SOCIEDAD GENERAL DE HULES, S.A.


SOLVAY

TODO EN SEÑALIZACION Y SEGURIDAD VIAL

• Equipos reflectantes para Policía Municipal.



• Señales de Tráfico pintadas y reflexivas.



• Nueva señalización urbana.



• Barreras de Seguridad.

• Señalización para obras.



señalizaciones **VILLAR**

Avda. Valladolid, 58 apdo. 61 42004 **SORIA**

Telf. (975) 22 05 04

Fax (975) 22 06 45