



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

① Número de publicación: **2 288 055**

② Número de solicitud: 200402836

⑤ Int. Cl.:
E02D 29/045 (2006.01)

⑫

PATENTE DE INVENCION

B1

⑫ Fecha de presentación: **17.11.2004**

⑬ Fecha de publicación de la solicitud: **16.12.2007**

Fecha de la concesión: **25.09.2008**

⑮ Fecha de anuncio de la concesión: **16.10.2008**

⑯ Fecha de publicación del folleto de la patente:
16.10.2008

⑰ Titular/es: **Universidad de Granada
Hospital Real, Cuesta del Hospicio, s/n
18071 Granada, ES**

⑱ Inventor/es: **Gil Martín, Luisa María;
Hernández Montes, Enrique y
Aschheim, Mark**

⑳ Agente: **No consta**

㉑ Título: **Sistema de arcos con variación en clave para estructuras enterradas.**

㉒ Resumen:

Sistema de arcos con variación en clave para estructuras enterradas consistente en un procedimiento de diseño de arcos donde la clave de los arcos varía con la profundidad. De esta forma el sistema de arcos somete al terreno a un empuje igual al que existía antes de la ejecución de la estructura enterrada sin alterar el estado tensional del suelo.

ES 2 288 055 B1

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 37.3.8 LP.

DESCRIPCIÓN

Sistema de arcos con variación en clave para estructuras enterradas.

5 **Objeto de la invención**

La invención consiste en la sistema de arcos de altura variable para estructuras enterradas. De esta forma variando la altura de los arcos se puede dar al terreno un empuje que varía con la profundidad, adaptándose así a la presión ejercida por el terreno.

10 **Sector de la técnica**

Este procedimiento constructivo se puede emplear en todo tipo de estructuras enterradas donde se pretenda obtener una reacción determinada en el terreno.

15 **Estado de la técnica**

Actualmente los arcos que se han construido en estructuras enterradas no presentan una variación de su altura con la profundidad para acomodarse a los empujes del terreno. En 2003, Chai and Kunnath, (Chal Y.H. and Kunnath S.K. (2003). "Geometry of Submerged Funicular Arches in Cartesian Coordinates". *Journal of Structural Engineering*, Vol. 129, No.8, August 2003, pp. 1087-1092) propusieron una solución para la forma de arcos funiculares sumergidos. El comportamientos de arcos de hormigón armado enterrados a poca profundidad bajo cargas dinámicas severas ha sido estudiado por Krauthhammer (Krauthhammer T and Puglisi RD. "Simplified analysis of buried reinforced-concrete arches under simulated nuclear loads". *Computers & Structures*. 43 (6): 1029-1039 June 17 1992).

25 **Explicación de la invención**

La invención consiste en la construcción de arcos cuya altura varíe en profundidad en estructuras enterradas, con objeto de poder transmitir al suelo un empuje que aumente con la profundidad.

30 La idea es emplear los arcos enterrados como soporte estructural de estructuras enterradas. Se considera que los arcos, que salvan una luz L , soportan las cargas permanentes correspondientes al hormigón estructural y al relleno de hormigón y las sobrecargas de vehículos (en el caso de aparcamientos) y público. La configuración del arco se establece con objeto de equilibrar la resultante horizontal del empuje del terreno adyacente.

35 Las ecuaciones que gobiernan el equilibrio se plantean para dos casos: Despreciando los fenómenos reológicos de retracción y fluencia del hormigón y Considerando los fenómenos reológicos de retracción y fluencia del hormigón.

40 La solución a estas ecuaciones proporcionará la altura del arco según la profundidad a la que se encuentre.

En el diseño se han de considerar varias condiciones de carga. La geometría del arco se establece de manera que trabaje a compresión pura bajo una determinada combinación de carga, que denominaremos C_0 . Combinaciones de cargas distintas de la anterior inducirán tanto flexiones como compresiones y las denotaremos por C_i . En los extremos del arco las reacciones son transmitidas al suelo a través del muro de contención.

45 La reacción, R , se puede descomponer en una fuerza horizontal y otra vertical, H y V , respectivamente, tal y como se indica en la Figura 1. Debido a que la carga C_0 es en general simétrica, las reacciones también lo serán. Para una carga gravitatoria $p(x)$ (Figura 1), la reacción vertical, V , se puede determinar imponiendo el equilibrio vertical. Debido a que la altura del arco, h , tiene muy poca influencia en el valor de la carga permanente, V es prácticamente independiente de la altura del arco. Sin embargo, la altura del arco tiene una gran influencia en la componente horizontal de la reacción, H , que aumenta cuando la altura del arco, h , disminuye.

50 Nuestra invención consiste en tomar variable la altura el arco (h_1 , h_2 y h_3 de la Figura 2). Como altura h se adoptará aquella para la cual el valor de H equilibra a la reacción del terreno, cuyo valor está acotado entre las condiciones activa y pasiva, haciendo variable la reacción horizontal del terreno (H_1 , H_2 y H_3 , de la Figura 2). En la mayoría de los casos será conveniente suponer que la carga C_0 será equilibrada por el empuje del terreno en reposo y habrá que comprobar que las fuerzas laterales que originan las restantes combinaciones cargas están dentro de un rango aceptable delimitado por las condiciones activa y pasiva.

60 Para evitar que el suelo se mueva, será necesario colocar temporalmente apeos durante la construcción para equilibrar el empuje del terreno hasta que los encofrados del arco puedan ser retirados. Como el diseño se realiza para empuje en reposo, el empuje del arco no provocará movimientos importantes del terreno adyacente.

65 Para los arcos situados en la superficie o en sus proximidades a veces es preciso considerar empujes mayores que en reposo, pero para estos casos la altura del arco, h , es suficientemente grande como para garantizar que la reacción horizontal no se verá afectada por los movimientos en los apoyos.

El valor de h adoptado en el diseño será tal que equilibre el empuje del terreno.

ES 2 288 055 B1

Para la elección del valor de h adecuado se han de tener en cuenta dos factores: (1) puesto que la superficie a ras de suelo se obtiene rellenando el trasdós del arco de hormigón, la carga que ha de soportar el arco es inicialmente desconocida puesto que depende del valor de h adoptado, y (2) la consideración de la retracción, la fluencia y la deformación axial inicial del arco de hormigón origina un problema inverso donde el valor final de la reacción horizontal es conocido pero se desconocen los valores iniciales de h y H .

La configuración estructural que presenta esta invención y que se obtiene a partir de estas consideraciones consiste en una serie de arcos cuya profundidad varía en función de la altura de la estructura con objeto de equilibrar el empuje del terreno resultante.

Este tipo de estructura resulta especialmente útil en ciudades, concretamente en las proximidades de edificios históricos, que por lo general están cimentados en superficie y son muy sensibles a las perturbaciones que pueden introducir en el estado de tensiones en el terreno los métodos de construcción convencionales.

Caso 1

Configuración de equilibrio sin considerar los fenómenos reológicos de retracción y fluencia del hormigón

Puesto que el primer objetivo es equilibrar el empuje del terreno en reposo, la combinación de cargas que consideraremos (C_o) serán las cargas permanentes en condiciones de servicio (sin mayorar). Así pues, el arco se proyecta de modo que sólo esté solicitado por fuerzas axiales correspondientes a las cargas permanentes en servicio en la posición final de equilibrio. Las combinaciones restantes de cargas (C_i), cargas permanentes mayoradas y sobrecargas, originarán momentos flectores, cortantes y axiales a lo largo de la longitud del arco. La sección transversal del arco se armará para garantizar la resistencia suficiente para soportar estos flectores, axiales y cortantes mayorados. Además, el valor del empuje del terreno bajo todas las condiciones de cargas estará comprendido entre el activo y el pasivo.

La carga de proyecto corresponderá, por tanto, a las cargas permanentes en servicio, C_o . Una manera de construir la superficie horizontal a ras de suelo puede ser la de rellenar el trasdós del arco con hormigón no estructural, apareciendo de este modo una carga no uniformemente distribuida que ha de ser resistida por el arco.

La coordenada horizontal x se considera como variable independiente, y varía desde 0 hasta la longitud del vano, L .

La solución para el caso de carga uniforme es conocida (Leonard, J.W. 1988. *Tension Structures*. Mc-Graw Hill. New York).

Si la carga no es uniforme (varía aleatoriamente) y para un sistema estructural que consista en un arco al que considerando que $H(x)$ es constante a lo largo de la longitud del arco y que el peso específico, γ_c , del hormigón de relleno es el mismo que el del hormigón estructural, la ecuación diferencial que define la geometría del arco de espesor constante teniendo en cuenta las condiciones de contorno es:

$$\frac{d^2 z(x)}{dx^2} = -\frac{\gamma_c (a+h-z(x))}{H} \quad \text{Ec. (1)}$$

$$z(0) = 0, \quad z(L) = 0$$

donde z es la coordenada vertical del arco, que se expresa en función de la horizontal, x , a es el espesor del arco y γ_c es el peso específico del hormigón. Procediendo de esta manera, sin considerar retracción y fluencia, H ha de ser igualado a la resultante del empuje del terreno, E_{soil} . L es la longitud del vano que salva el arco. La resultante del empuje de tierra en reposo es equilibrada por la reacción horizontal del arco para la combinación de carga C_o .

El espesor del hormigón de relleno más la profundidad del arco, a , es conocido antes de acometer el diseño del propio arco.

La ecuación 1 puede ser resuelta analíticamente, siendo su solución:

$$z(x) = -(a+h) \frac{\exp\left(-\sqrt{\frac{\gamma_c}{H}}x\right)\left(\exp\left(\sqrt{\frac{\gamma_c}{H}}x\right)-1\right)\left(\exp\left(\sqrt{\frac{\gamma_c}{H}}x\right)-\exp\left(\sqrt{\frac{\gamma_c}{H}}L\right)\right)}{1+\exp\left(\sqrt{\frac{\gamma_c}{H}}L\right)} \quad \text{Ec. (2)}$$

Si tenemos en cuenta la condición siguiente:

$$z\left(\frac{L}{2}\right) = h \quad \text{Ec. (3)}$$

la altura del arco h puede ser calculada. Para un valor determinado de H , el valor de h es:

$$h = \frac{a}{2} \exp\left(-\sqrt{\frac{\gamma_c}{H}} \frac{L}{2}\right) \left(\exp\left(-\sqrt{\frac{\gamma_c}{H}} \frac{L}{2}\right) - 1\right)^2 \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde L es la luz del arco, γ_c es el peso específico del hormigón y a es el espesor en clave del conjunto arco-relleno (el espesor del hormigón de relleno más la profundidad del arco).

Caso 2

Configuración de equilibrio considerando los fenómenos reológicos de retracción y fluencia del hormigón

En el apartado anterior no se han considerado ni las deformaciones axiales iniciales ni la retracción y la fluencia. La componente horizontal de la reacción no cambiaba en el tiempo y los valores de H y h correspondientes a la situación de equilibrio eran, por tanto, constantes estando la geometría del arco definida por la Ecuación 2.

Debido a la fluencia bajo compresión sostenida, a la retracción y a las deformaciones elásticas iniciales, el arco sufre un acortamiento de manera que su longitud final es $L_1 = L_0 - \Delta L_0$, donde L_0 es la longitud inicial del arco según su línea media y ΔL_0 es la variación en la longitud debida a estos fenómenos.

Hay que tener en cuenta que el vano que salva el arco, L , no cambia durante el proceso de construcción ya que se disponen soportes laterales que evitan el desplazamiento transversal de la masa de suelo durante la fase constructiva de manera que cuando el arco empieza a trabajar ejerce la fuerza que temporalmente ejercieron dichos soportes.

Si se consideran la retracción y la fluencia, tanto H como h variarán en el tiempo. Llamemos H_0 y H_1 a los valores inicial y final de la reacción horizontal, respectivamente.

Si $z_0(x)$ el parámetro que define la geometría inicial del arco, puesto que ds_0 y ds_1 son los diferenciales de longitud según la línea media del arco en su configuración inicial y final respectivamente, la longitud inicial del arco, L_0 , se puede obtener por integración paramétrica de x en el rango de 0 a L :

$$ds_0 = \sqrt{dz_0^2 + dx^2} = \sqrt{z_0'^2 + 1} \, dx; \quad ds_1 = \sqrt{dz_1^2 + dx^2} = \sqrt{z_1'^2 + 1} \, dx \quad \text{Ec. (5)}$$

$$L_0 = \int ds = \int_0^L \sqrt{z_0'^2 + 1} \, dx; \quad L_1 = \int ds = \int_0^L \sqrt{z_1'^2 + 1} \, dx$$

donde $z_1(x)$ define la geometría final del arco considerando deformaciones iniciales y diferidas.

La ecuación diferencial correspondiente al estado final es:

$$\frac{d^2 z_1(x)}{dx^2} = \frac{\gamma_c (a + h_1 - z_1(x))}{H_1} \quad \text{Ec. (6)}$$

$$z_1(0) = 0, \quad z_1(L) = 0$$

donde h_1 es la altura final del arco, H_1 el valor final de la reacción y a es el espesor en clave del conjunto arco-relleno (el espesor del hormigón de relleno más la profundidad del arco).

ES 2 288 055 B1

Como en la sección precedente, la restricción en la altura se impone en la resolución analítica para $x= L/2$:

$$z_1\left(\frac{L}{2}\right) = h_1 \quad \text{Ec. (7)}$$

La forma inicial del arco es desconocida *a priori* y, por tanto, también lo será el valor de la reacción horizontal inicial. Para proceder a la resolución analítica se introduce una condición adicional, correspondiente a la siguiente ecuación:

$$L_0 = \frac{L_1}{1 - \varepsilon_{cs} - \varepsilon_{cs}} \quad \text{Ec. (8)}$$
$$L_1 = \int_0^L \sqrt{z_1'(x)^2 + 1} \, dx$$

donde ε_{cs} es la deformación debida a la tensión (deformación inicial más fluencia) y ε_{cs} es la deformación asociada a la retracción.

La fluencia se define como la deformación bajo carga constante de modo que puede calcularse para la compresión inicial o final del arco si esta compresión varía poco.

El proceso de cálculo se puede dividir en pasos si la variación de la compresión es considerable.

El cálculo de la fluencia se ha llevado a cabo para las reacciones horizontales inicial y final y ambos resultados conducen a valores similares de la altura del arco, que sigue variando en función de H.

Modo de realización preferente

Una aplicación de la invención consiste en el diseño de una estructura de aparcamiento. Se admite que el empuje horizontal del terreno tiene una distribución lineal tal y como se propone en CIRIA 104 (CIRIA Report 104 (1991). *Design of retaining walls embedded in stiff clays*. Construction Industry Research and Information Association. London) donde el sistema de muro se diseñaba como un muro de contención apuntalado de manera que el muro es soportado por la resistencia pasiva del terreno adyacente y por los arcos, que actúan como puntales, y la resistencia activa del otro lado.

La magnitud del empuje del terreno se determina a partir de parámetros geotécnicos correspondientes al lugar concreto en el que se ubicará el aparcamiento. El empuje horizontal en reposo se considera igual a 10-y kN/m², donde y es la profundidad (en metros) bajo la superficie del terreno. Este empuje está comprendido entre los empujes activo (6-y kN/m²) y pasivo (67-y kN/m²) del terreno. El diseño emplea la resultante de las presiones en reposo para equilibrar la carga muerta que soporta el arco, teniendo en cuenta que existe una resistencia adicional capaz de contrarrestar el empuje adicional asociado a las sobrecargas que se han de considerar en el estado último de resistencia.

La resultante de la reacción horizontal del arco se fija a 4.7 m bajo la superficie del terreno ya que esta reacción ha de equilibrar la resultante del empuje de 7.05 m terreno (2/3 - 7.05 = 4.7). Para esta profundidad, la resultante del empuje en reposo es de 249 kN y la del empuje pasivo es 1660 kN. El valor adoptado para la reacción horizontal ha sido H₁=400 kN con objeto de obtener un valor práctico para la altura del arco más alto.

Aplicando la ecuación 10 con a=0.40 m, H₁=400 kN, un peso específico para el hormigón de 25 kN/m³, y una luz de 17 m se obtiene un valor de la altura final del arco (h₁) de 1.30 m, para L₁=17.30 m. Empleando los mismos valores de la humedad relativa, resistencia del hormigón y tiempo de evaluación que en el ejemplo anterior, se puede determinar L₀ a partir de la ecuación 8.

Imponiendo la condición de que la longitud z₀(x) desde 0 a L sea L₀ (Ecuación 5), H₀ y h₀ se determinan a partir de la Ecuación 3 y la igualdad de L₀ en la Ecuación 5.

Aunque la relación luz/profundidad del arco es 17.00/1.30 = 13.1 se han de considerar las deformaciones iniciales elásticas y las diferidas asociadas a la retracción y la fluencia ya que estas deformaciones reducirán la altura del arco y, por tanto, afectarán a la componente horizontal de la reacción.

Empleando la formulación propuesta por el Eurocódigo 2 (Eurocode 2, (1991). *Design of concrete structures. Part 1-1.: General rules and rules for buildings*, European Committee for Standardization, Bruxelles, Belgium) para la retracción y la fluencia, se obtiene que la deformación asociada a la fluencia incluyendo la deformación inicial elástica, ε_{cs} para H₁ es 0.000125 a los 10,000 días. La anchura del arco es de 300 mm. La deformación debida a la retracción (ε_{cs}) se estima en 0.000472 a los 10,000 días. Imponiendo la Ecuación 12, la longitud inicial del arco debe

ES 2 288 055 B1

de ser $L_0=17.31$ m ($h_0=1.32$ m) para la que la longitud final sea $L_1=17.30$ m. La reacción horizontal y la altura iniciales serán, por tanto, $H_0=396$ kN y $h_0=1.32$ m, respectivamente. Puesto que estos valores están muy próximos a los valores finales, la deformación por fluencia se puede determinar a partir de la configuración final.

5 La reacción horizontal H_1 en los extremos del arco se emplea para equilibrar la resultante del empuje de tierras. En la Figura 1 se representa la influencia de la altura del arco en la reacción horizontal, en esta figura se aprecia la variación de las reacciones horizontales inicial y final (H en kN, Figura 4) con la altura inicial del arco, h_0 . Para un valor de la altura de arco de $h_0=0.6$ m ($a=0.4$ m) el valor inicial de la reacción horizontal es $H_0=750$ kN (punto A) y el valor final $H_1=820$ kN (punto B). Si la altura inicial del arco fuese de 0.9 m, los valores de H_0 y H_1 serían casi constantes (550 kN). En la figura 4, la línea punteada en trazo débil indica reacción horizontal inicial para $a=0.4$ m, la línea punteada de trazo grueso indica reacción horizontal final para $a=0.4$ m, la línea de trazo continuo débil indica reacción horizontal inicial para $a=0.25$ m y la línea de trazo continuo grueso indica reacción horizontal final para $a=0.25$ m.

15 La figura 6 muestra la influencia de las deformaciones iniciales elásticas y las diferidas en la reacción horizontal para $a=0.4$ m. Si se impone un límite en la variación de la reacción horizontal bajo cargas permanentes de un 10%, la altura mínima para un arco que salve una luz de 17 m es $h_0=0.595$ m, que corresponde a una valor inicial H_0 de 741 kN. Si esta componente horizontal de la reacción del arco se emplea para equilibrar la resultante del empuje del terreno asociado a una altura de tierras de 3 m, cada arco puede equilibrar empujes en reposo correspondientes a 23 m de profundidad, que corresponde a 7 u 8 plantas enterradas de aparcamiento. Puesto que las resultantes para los niveles superiores son menores, la altura del arco se verá incrementada y la variación de la reacción horizontal debida a la retracción y fluencia disminuirá a medida que nos acerquemos a la superficie del suelo. Puesto que el diseño no está restringido a las presiones en reposo (se pueden emplear cualesquiera valores de empuje comprendidos entre el activo y el pasivo, con tal que la seguridad quede asegurada para las pertinentes combinaciones de cargas) este método
25 deja total libertad al diseño.

En cualquier proceso de diseño se pueden modificar los parámetros implicados y obtener un gran número de posibles soluciones. Para ilustrar más claramente la influencia que tienen sobre el diseño los fenómenos reológicos del hormigón, consideremos una estructura con 10 plantas enterradas ($a=0.4$ m, $L=17$ m, peso del hormigón de kN/m^3) con resultantes horizontales espaciadas 3 m por debajo del nivel del terreno. En las primera y segunda columnas de la
30 Tabla 1 se representa el número de arco y la profundidad a la que está aplicada la reacción horizontal. Las columnas 3 a 5 corresponden a la resultantes horizontales de los empujes activo, en reposo y pasivo, respectivamente, asociados con la profundidad indicada en la columna 6, la profundidad representada en la columna 6 corresponde a la profundidad del eje inferior de la distribución del empuje horizontal del terreno que es tributario con la resultante del empuje de tierras que actúa a la profundidad d . Este valor de la profundidad se determina imponiendo el equilibrio de fuerzas y momentos.
35

TABLA 1

Valores iniciales y finales para arcos a diferentes profundidades

Arco No	D (m)	E_{soil} (kN)			profundidad tributaria (m)	Para condiciones en reposo		
		Activo	En reposo	Pasivo		h_0 (m)	H_1 (kN)	h_1 (m)
1	3	61	101	679	4.5	13.26	101	13.25
2	6	98	164	1098	7.28	5.14	164	5.13
3	9	173	289	1933	10.52	2.06	289	2.04
4	12	204	340	2275	13.37	1.63	342	1.61
5	15	283	472	3162	16.52	1.04	482	1.01
6	18	310	517	3462	19.40	0.93	532	0.90
7	21	393	654	4385	22.52	0.69	694	0.64
8	24	417	694	4653	25.42	0.64	745	0.59
9	27	502	837	5606	28.52	0.52	950	0.44
10	30	523	873	5846	31.43	0.49	1004	0.42

65 donde i es el número del arco que se está estudiando, n el número de arcos existentes en la estructura, y_i la profundidad del eje inferior de la distribución del empuje del terreno que es tributaria con cada resultante del empuje a d_i y w el ancho tributario.

ES 2 288 055 B1

Para el diseño del arco se ha empleado el empuje en reposo. La altura inicial del arco, la reacción horizontal final del arco teniendo en cuenta deformaciones elásticas, retracción y fluencia, y el valor final de la altura del arco se indican en las columnas 7, 8 y 9 respectivamente. En la tabla 1 a se aprecia cómo la altura del arco disminuye a medida que aumenta la profundidad bajo el terreno.

5

El diseño de los restantes arcos se resume en la tabla 2, que corresponde al empuje en reposo para resultantes situadas cada 3 m de profundidad a partir de 4 m. Esta tabla revela que el diseño del primer arco para 400 kN está dentro del rango de 108 y 1206 kN. La profundidad tributaria, d , y las resultantes horizontales de la tabla 2 se han determinado admitiendo que el empuje horizontal del terreno aumenta linealmente con la profundidad. La profundidad tributaria ya no aumenta uniformemente como sucedía en la tabla 1 y lo mismo le ocurre a la resultante horizontal.

10

TABLA 2

Valores iniciales y finales para arcos a diferentes profundidades

15

Arco No	D (m)	E _{soil} (kN)			Profundidad tributaria (m)	Para condiciones en reposo		
		Activo	En reposo	Pasivo		h ₀ (m)	H ₁ (kN)	h ₁ (m)
1	4	108	180	1206	6.00	4.36	180	4.35
2	7	80	133	891	7.91	7.58	133	7.57
3	10	232	387	2593	11.83	1.36	390	1.34
4	13	177	295	1977	14.10	1.99	297	1.97
5	16	349	582	3899	17.76	0.80	602	0.77
6	19	277	462	3095	20.19	1.07	470	1.05
7	22	464	773	5179	23.71	0.56	835	0.52
8	25	379	632	4234	26.24	0.72	659	0.69
9	28	578	963	6452	29.69	0.44	1120	0.37
10	31	482	803	5380	32.28	0.54	876	0.49

20

25

30

35

40 Descripción de las figuras

Figura 1. Reacciones en el arco para establecer el equilibrio con las cargas aplicadas. Donde $p(x)$ indica peso en función de la variable x . x representa la coordenada/distancia horizontal y z la coordenada/distancia vertical del punto donde se mide la reacción (explicar correctamente qué representan), R es la reacción y H y V las descomposiciones de la reacción en horizontal y vertical respectivamente.

45

Figura 2. Sistema de arcos para equilibrar el empuje horizontal del terreno y la carga no uniforme sobre el arco. H_1 , H_2 y H_3 son las reacciones horizontales de los arcos 1, 2 y 3. h_1 , h_2 y h_3 , son las alturas de las claves de los arcos.

Figura 3. Esquema de variables. Donde x y z son las variables espaciales x representa la coordenada/distancia horizontal y z la coordenada vertical del punto sobre el que se miden, h es la altura de la clave del arco. HE significa hormigón estructural, HR hormigón de relleno, L luz del arco, a es el espesor en clave del conjunto arco-relleno.

50

Figura 4. Influencia de la altura inicial del arco (h_0) en el empuje horizontal (H) en la base del mismo, para una luz de 17 m, peso específico del hormigón de 25 kN/m³ y espesor mínimo de de 0.4 m en la clave. Donde h_0 es la altura inicial del arco, H es la reacción (o empuje) horizontal del arco, A es el valor inicial de la reacción horizontal y B es el valor final de la reacción horizontal. El Eje de abscisas representa la altura inicial del arco (en metros) y el Eje de ordenadas, la reacción vertical del arco en kN.

55

Figura 5. Variación del empuje horizontal adimensional $(H_1-H_0)/H_1$ respecto de la altura adimensional inicial del arco (h_0/L), con respecto a la retracción y la fluencia. Peso específico del hormigón de 25 kN/m³, espesor mínimo de 0.4 m, espesor de arco de 0.35 m, y luz de 17 m. H_1 es la reacción horizontal final del arco, H_0 es el valor inicial del empuje horizontal del arco, h_0 es la altura inicial de la clave del arco y L la luz del arco.

60

65

ES 2 288 055 B1

REIVINDICACIONES

5 1. Método de construcción de estructuras enterradas mediante arcos **caracterizado** porque la altura de los arcos varía con la profundidad.

2. Estructuras enterradas **caracterizadas** por estar construidas con arcos cuya altura es variable según la profundidad.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

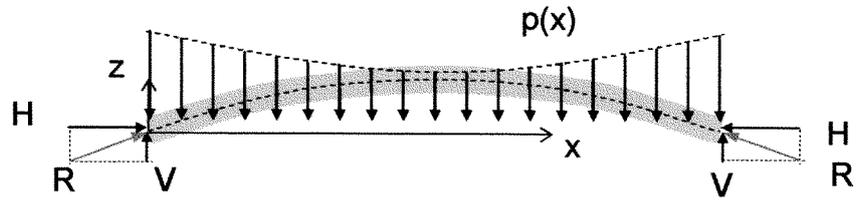


Figura 1

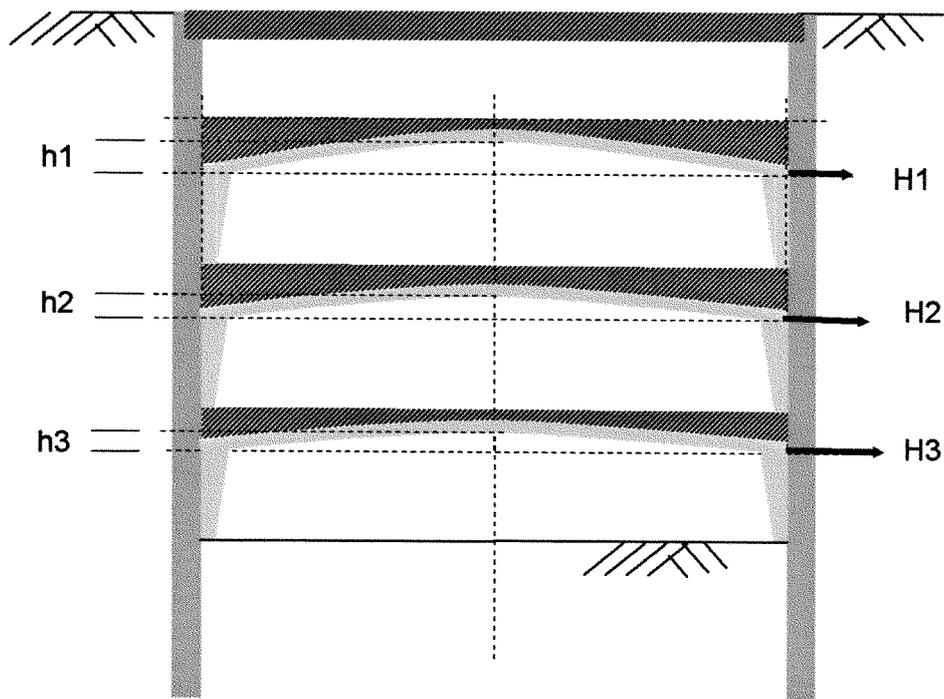


Figura 2

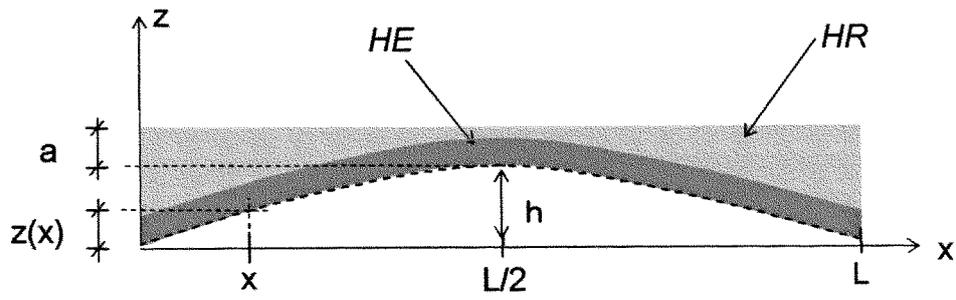


Figura 3

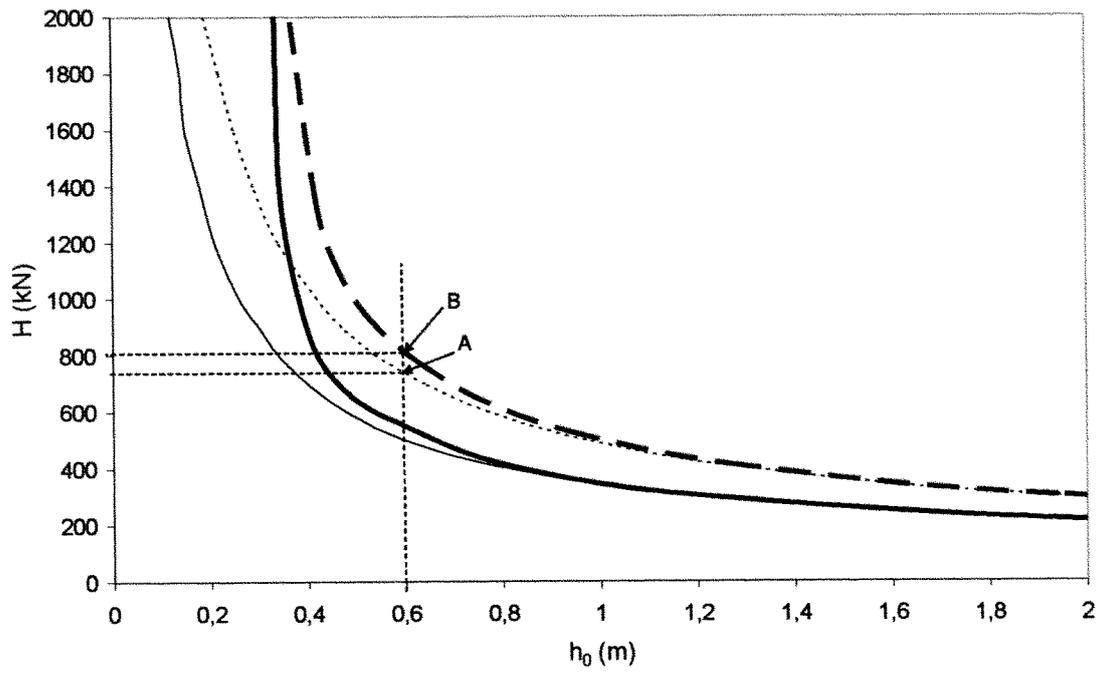


Figura 4

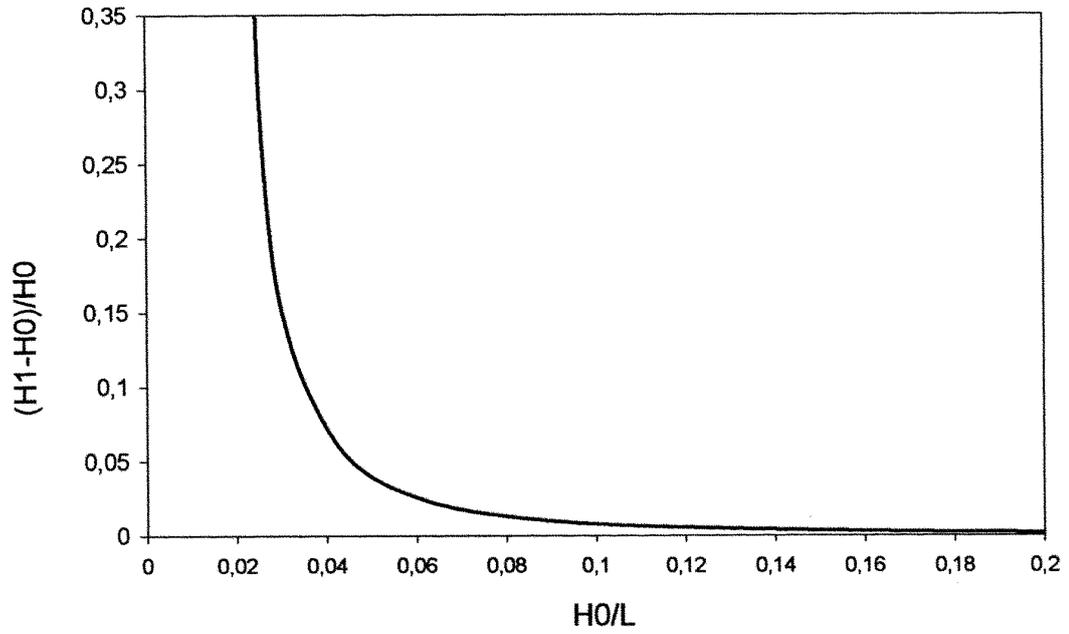


Figura 5



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

① ES 2 288 055

② Nº de solicitud: 200402836

③ Fecha de presentación de la solicitud: 17.11.2004

④ Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤ Int. Cl.: **E02D 29/045** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	DE 2326456 A1 (PFLUEGER HERBERT) 12.12.1974, todo el documento.	2
A	US 3999394 A (EBERHARDT et al.) 28.12.1976, resumen; figura 6.	1,2
A	US 6719492 B1 (HEIERLI et al.) 13.04.2004, columna 1, línea 63 - columna 2, línea 7; columna 4, líneas 28-42; figuras.	1,2
A	GB 511373 A (CAMPBELL MURRAY HUNTER) 17.08.1939, figuras.	1,2

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe

05.11.2007

Examinador

R.Mª Peñaranda Sanzo

Página

1/1