

PANTALLA CONTINUA PARA LA EJECUCION DE LOS SOTANOS DEL HOTEL CRISTINA EN EL ISTMO DE LAS PALMAS

Por **MANUEL ROCA SUAREZ**
Dr. Arquitecto.

JESUS L. PRESA SANTOS
(Director Técnico de KRONSA-AGROMAN)

ADOLFO ERASO ROMERO
(Asesor de dirección de KRONSA-AGROMAN)

En la primera parte del presente artículo los autores hacen, como preámbulo, la historia geológica de la isla de Gran Canaria. En la segunda parte definen claramente los cálculos hechos para realizar los trabajos en pantalla continua. En la tercera y última parte exponen las técnicas utilizadas para la realización de esta obra.

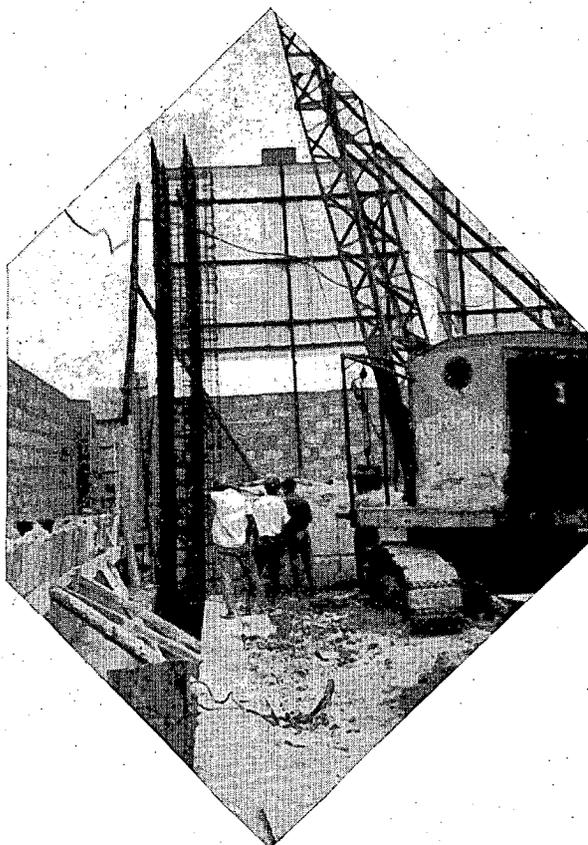
1. PREAMBULO GEOLÓGICO

a) Historia geológica.

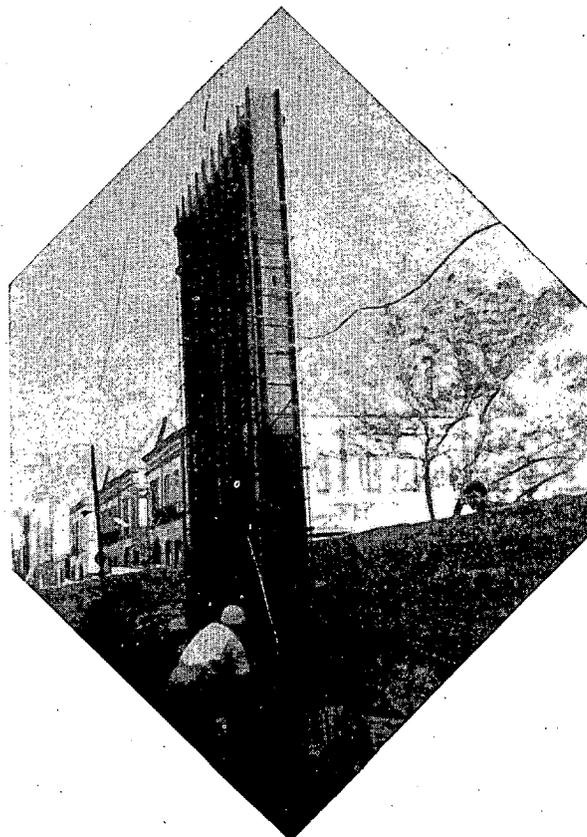
Al considerar los procesos exogénicos ocurridos en la isla de Gran Canaria, Hausen detiene especialmente su atención sobre la gran terraza fluvial de conglomerados fonolíticos so-

bre la que está situada la ciudad de Las Palmas.

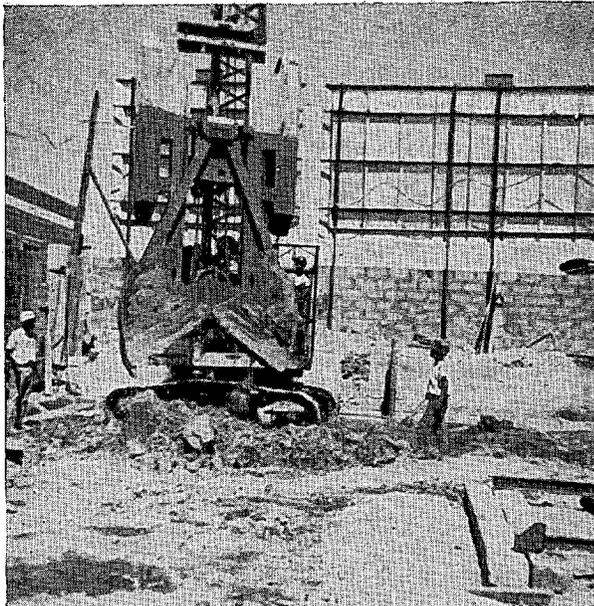
Teniendo en cuenta la especial manera de yacer de este depósito (de tipo deltaico), al venir la resultante del sentido de los aportes orientada hacia el N. (ver plano de situación), y dada la altura sobre el nivel del mar (80 m.) a que dichas características deltaicas se manifiestan, di-



Introduciendo una armadura normal en el batache recién excavado.



Vista de la armadura especial de la zona de rampas durante su introducción en el batache.



La cuchara bivalva Menck en pleno trabajo.

cho autor llega a las conclusiones de que los aportes provienen del barranco de Guinguada y que la sedimentación ocurrió después del Mioceno, coincidiendo con una notable regresión marina originada por un levantamiento de la isla debido a un recrudescimiento de sus actividades volcánicas.

Es entonces cuando tienen lugar las manifestaciones volcánicas que dan lugar a la Isleta, manifestaciones que prosiguen hasta el Cuaternario reciente.

Las corrientes existentes entre la Isleta y Gran Canaria dificultaron la consolidación de los cantos rodados de fonolita, que se depositaron en el estrecho durante los últimos episodios fluviales. Esta consolidación fue acompañada de cementación gracias a los aportes calcáreos de la abundante fauna marina de lumaquelas y ostreidos existentes.

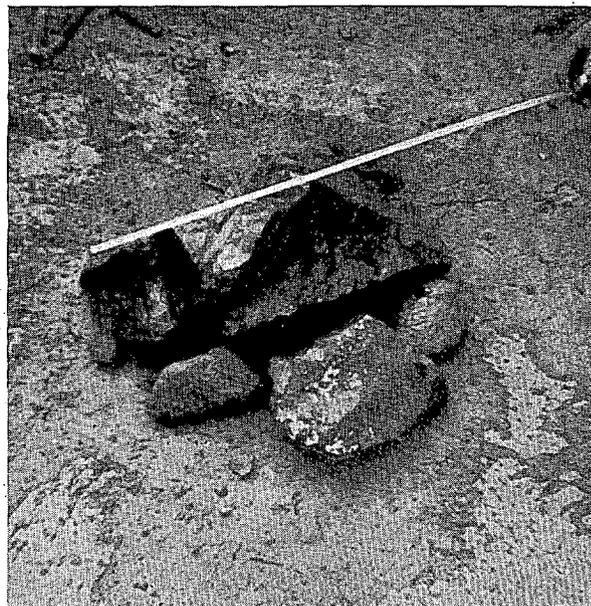
El poder cementante fue muy potente, y tuvo lugar, sobre todo, en la parte superior de los cantos rodados, quedando incluso cantos de pequeño tamaño de material cementante (carbonato cálcico) depositados sobre las referidas gravas fonolíticas.

Ya en el Cuaternario reciente, las corrientes marinas de resultante S. que bordean Gran Canaria, posiblemente condicionadas por los vientos alisios de componente N. casi constante,

fueron motivantes de los sedimentos de playa depositados al resguardo de la Isleta, es decir, en el estrecho entre ésta y Gran Canaria.

Finalmente, el aporte incesante de los referidos materiales abocó la colmatación del pequeño estrecho formando el istmo de Guanarreme que une hoy la Isleta, actual península a modo de tómbolo, con la ciudad de Las Palmas y el resto de la isla.

Es la formación del referido istmo han influido, como es lógico, los dos mares de uno y otro lado, ya que durante la ejecución de los trabajos de cimentación, enclavados en el mismo y a los que se refiere este artículo, se ha podido constatar claramente que los trasiegos entre uno y otro lado existen aún hoy día en la base de la formación de cantos rodados de fonolita. Esta circulación de agua es la que ha producido erosiones en el conglomerado, principalmente en esta zona, las cuales han producido una acusada heterogeneidad en el mismo en cuanto a la localización de zonas cementadas y otras de bolos sueltos que obligaron a tomar determinaciones tales como la de ejecución de la cimentación por pilotaje, aparte de otras consideraciones tales como la necesidad de anclar la estructura a efectos de subpresiones durante la construcción.



Algunos fragmentos de cantos de fonolita extraídos de un batache al trepanear para encajar la pantalla.

b) Situación.

El solar donde se han ejecutado los sótanos referidos en el presente trabajo es propiedad de la empresa Turinsa. Se halla enclavado en la parte más estrecha del istmo de Guanarteme, que une la ciudad de Las Palmas con el puerto y la Isleta, ocupando totalmente, con sus 3 000 m.² de extensión, la manzana comprendida entre las calles de Sagasta, Albareda, Fuerteventura y Gomera; para más señas, donde antaño se enclavó el Hospital Inglés, entre la playa de las canteras y el antiguo dique seco.

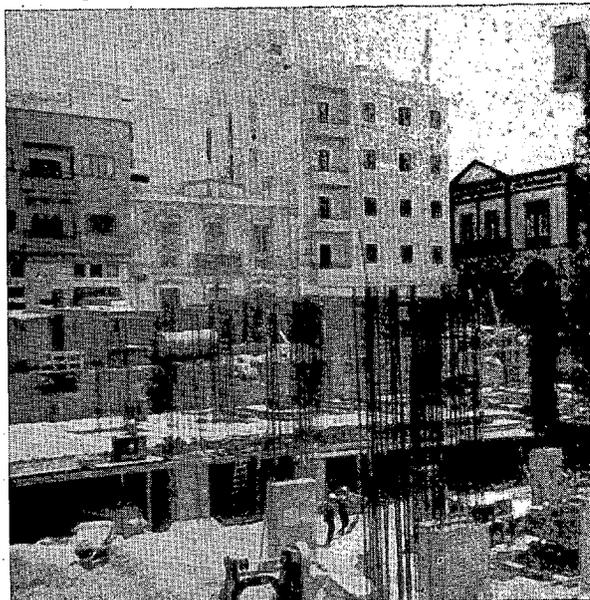
La circunstancia de que el referido istmo es de sedimentación muy reciente (en fecha histórica se recuerda que el mar separaba la Isleta de Las Palmas), y el hecho de que las citadas calles Sagasta y Albareda son las únicas vías de comunicación que unen el puerto de la Luz con la isla de Gran Canaria, dan especial énfasis al cuidado con el que debía ejecutarse la cimentación en cuestión, ya que en ningún modo podía perturbarse el tránsito por ambas vías.

c) Litología.

Los materiales de que se compone el suelo del solar son, fundamentalmente, los siguientes:



Vista del ángulo NW de la obra durante su excavación. Se aprecia la pantalla perimetral terminada, y al fondo de la excavación, las cabezas de los primeros pilotes.



Aspecto de la cimentación durante la ejecución del primer sótano.

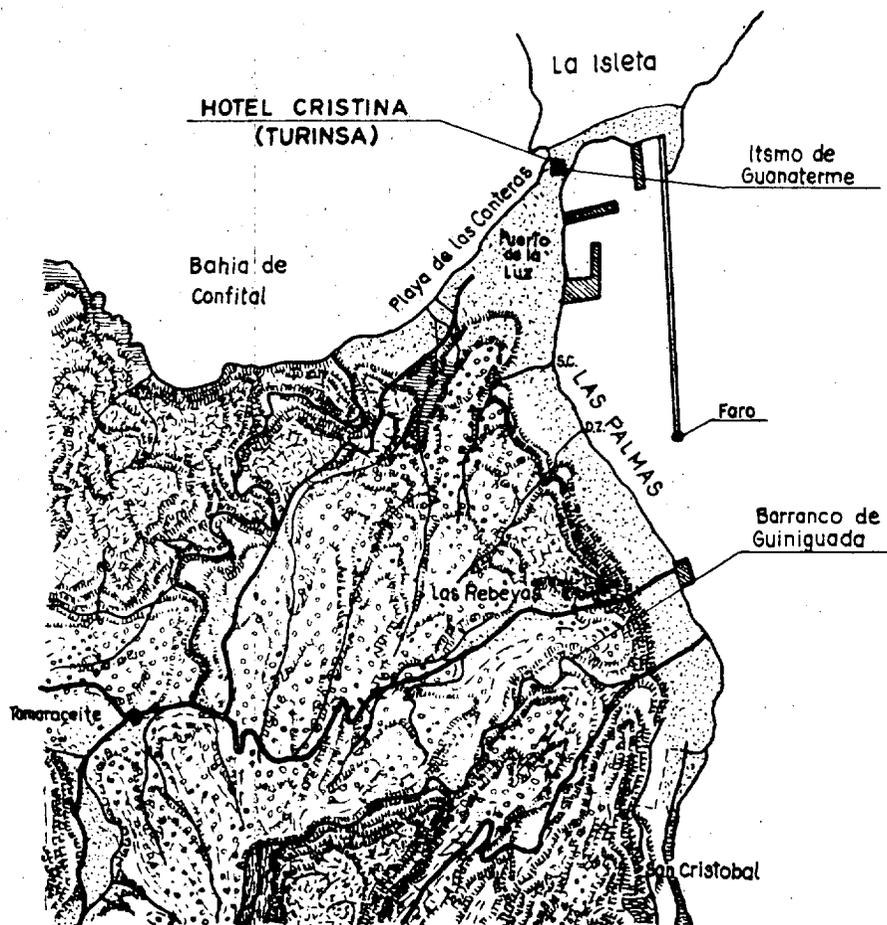
a) Un estrato de arenas sueltas, que va desde la cota 0 hasta una profundidad media de 7,00 m., en el que pueden observarse curiosos ejemplos de estratificación cruzada, típicos de los depósitos deltaicos que denuncian oscilaciones en el sentido de aporte de las corrientes originarias, provenientes de uno y otro flanco de la Isleta, y cuyo resultado ha sido la creación del referido istmo.

El nivel freático medio de dichas arenas se halla situado a cota -2 m. y corresponde al valor medio entre la pleamar y la bajamar, siendo la amplitud media de carrera de las mareas de 2,5 metros.

b) Un estrato de cantos rodados de tamaño muy variable (oscilando entre 0,10 m. y 4 metros), compuesto casi en exclusiva por fonolita cuya deposición parece estar genéticamente relacionada con la gran terraza fluvial sobre la que Las Palmas se halla situada. Su espesor medio es, en el solar, de dos metros, es decir, desde cota -7 a -9 metros.

Se da la circunstancia curiosa de que en dicho estrato los cantos de fonolita se hallan en su cabeza cementados por una pasta caliza en la que pueden verse numerosas lumaquelas, y que la terminología local define como "caracolillo".

Sin embargo, a pesar de que el cemento calizo sella perfectamente la cabeza del estrato



(TOMADO DE HANS HAUSEN)

LEYENDA

- | | |
|---|---|
|  | 1 LAVA DE FONOLITA |
|  | 2 ANTIGUO HORIZONTE DEL NIVEL DEL MAR |
|  | 3 LAVA DE BASALTO OLIVINICO |
|  | 4 TOPE DEL CONGLOMERADO DE CANTOS |
|  | 5 PLAYAS ARENOSAS CUATERNARIAS |
|  | 6 CORRIENTES DE LAVA DE BASALTO OLIVINICO |

Plano de situación.

de cantos, no ocurre lo mismo en las partes bajas del mismo, donde hemos encontrado fuertes permeabilidades en algunas zonas del solar con trasiego evidente a través del istmo, al parecer entre el trasdós de la barra situada mar adentro frente a la playa de las Canteras y el puerto.

La fonolita de los cantos es de un color verde oscuro, casi negro, que a veces presenta, por alteración en su superficie, color marrón rojizo. Es una roca extraordinariamente dura y tenaz, mostrando en las superficies recién fracturadas fenocristales, al parecer de glistenita, que por su curiosa disposición justifica la denominación de "roca de estrellas".

c) A partir de la cota —9 m., por consiguiente debajo del estrato de cantos de fonolita, aparece una capa homogénea de cinerita (puzolana) que todavía continúa a la cota —29 metros.

Dicho estrato, de origen piroclástico, homogéneo en su conjunto, presenta un color crema claro, en el que destacan xenolitos de composición diversa que predominantemente vienen representados por fragmentos de lava obscura.

También la terminología local ha adoptado su denominación para la cinerita, bautizándola con el nombre de "canto blanco".

En la figura 1 adjuntamos un corte medio del terreno según se ha descrito.

2. CALCULOS

a) Pantalla continua.

Los datos geotécnicos extraídos de los sondeos de reconocimiento previamente efectuados nos definen para las arenas cohesionaciones nulas (C), ángulos de rozamiento interno (φ) de 30° y densidades (γ) y (γ_s) de 1,6 y 1,0 gr./cm.³ por encima y por debajo del nivel freático, respectivamente.

Si consideramos, además, que existe una sobrecarga de 2 Tn./m.² en la superficie del terreno debido al tráfico, que no existe talud natural ($\beta = 0$) en el terreno, que la capa freática es de agua de mar ($\gamma_a = 1,1$) y que la dirección de los empujes ($\delta = 0$) es horizontal, siendo vertical el paramento de la pantalla $\alpha = 90^\circ$, podemos ya calcular la ley de empujes para los puntos característicos de las cotas 0, —2,

—3,25 y —7 m., que corresponden, respectivamente, a la superficie, nivel freático y apoyos de la pantalla del primer forjado y losa de fondo. El coeficiente de empuje activo de tierras λ_a es para las condiciones dadas:

$$\lambda_a = 0,334.$$

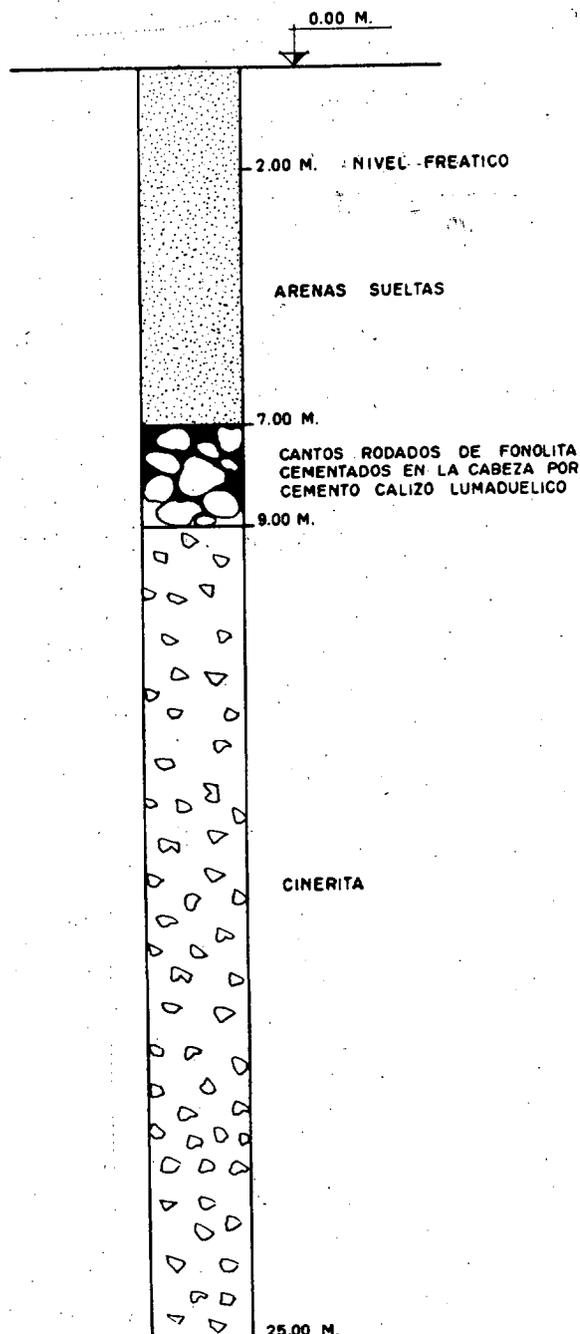


Fig. 1. — Perfil geológico del terreno en el local del Hotel Cristina, Turinsa, Las Palmas de Gran Canaria.

Y los valores de los empujes en los puntos característicos son:

$$e_{T_0} = \lambda_a \cdot \gamma \cdot h_0 = 0,334 \times 1,6 \times 1,25 = 0,67 \text{ Tn./m.}^2.$$

$$e_{T_2} = e_{T_0} + \lambda_a \cdot \gamma \cdot h_2 = 0,67 + 0,334 \cdot 1,6 \cdot 2 = 1,74 \text{ toneladas/m.}^2.$$

$$e_{T_{1,25}} = e_{T_2} + e_{T'_{1,25}} + e_{a_{1,25}} = 1,74 + 0,334 \cdot 1,0 \cdot 1,25 + 1,1 \cdot 1,25 = 3,53 \text{ Tn./m.}^2.$$

$$e_{T_7} = e_{T_{1,25}} + e_{T'_5} + e_{a_5} = 3,54 + 0,334 \cdot 1,0 \cdot 5 + 1,1 \cdot 5 = 10,70 \text{ Tn./m.}^2$$

viniendo expresados gráficamente en la figura 2.

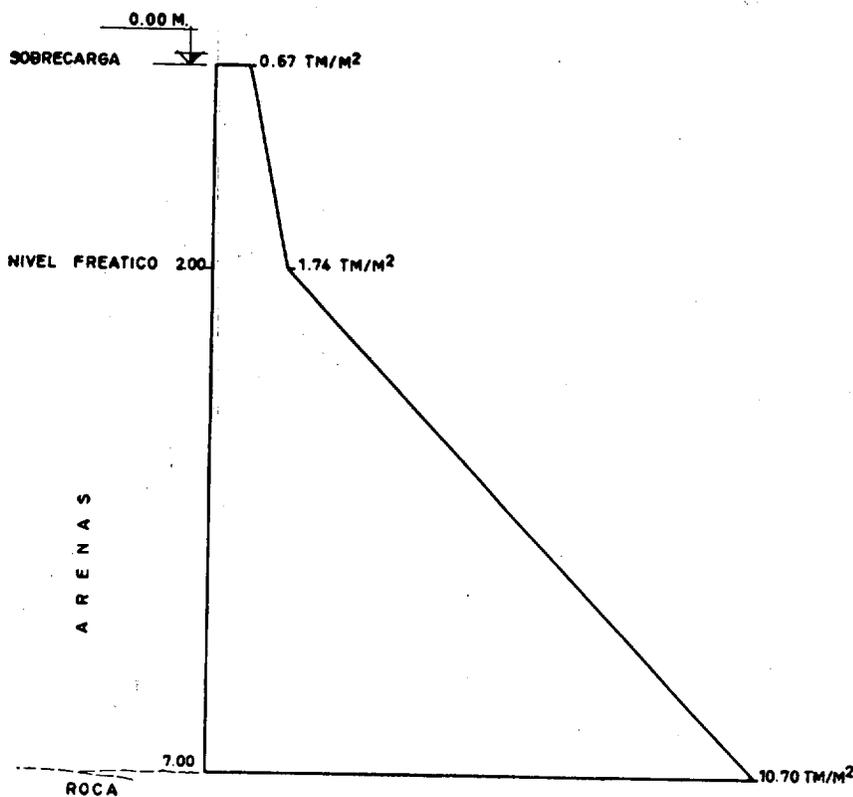
Conocida la ley de empujes podemos pasar a calcular la correspondiente ley de momentos para las dos hipótesis verificadas en Turinsa:

1.^a hipótesis: Pantalla apoyada en — 3,25 y — 7, por el primer forjado y la losa de fondo, el resto trabaja en voladizo.

Para calcular la ley de momentos simulamos la pantalla como una viga recta, sometida a ciertas cargas, definidas en el cálculo de empujes, en la que los momentos totales serán la suma de las leyes correspondientes a los momentos rectangulares, triangulares y de extremo dorsal generado por el voladizo.

En otras palabras, la ley de momentos rectangulares tiene la forma

$$M_{fXR} = -p \frac{x}{2} (L - x); \quad [1]$$



PARA :

$$\left. \begin{array}{l} \beta = 0 \\ \delta = 0 \\ \alpha = 90^\circ \\ \varphi = 30^\circ \end{array} \right\} \lambda_a = 0,334$$

$$\begin{array}{l} \gamma = 1,6 \\ \gamma_s = 1,0 \\ \gamma_a = 1,1 \end{array}$$

Fig. 2. — Cálculo de la ley de empujes del terreno.

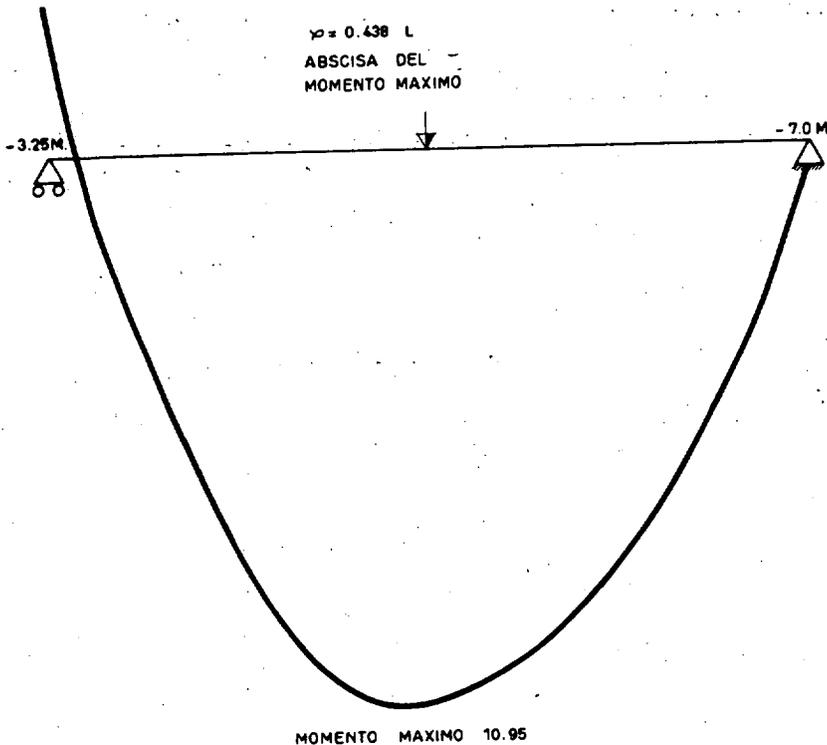


Fig. 3. — Ley de momentos para la primera hipótesis.

la ley de momentos triangulares viene definida por:

$$M_{fxT} = -p_0 \frac{x}{6} \left(2L - 3x + \frac{x^2}{L} \right) \quad [2]$$

y la ley debida al momento dorsal en el extremo:

$$M_{fxD} = -M_{ed} \left(1 - \frac{x}{L} \right) \quad [3]$$

de manera que la ley final sea la suma de las referidas leyes, en la que la del momento dorsal en el extremo es, en nuestro caso, de signo contrario a las anteriores:

$$M_{Fx} = \sum_{fx} i = -M_{fxR} - M_{fxT} + M_{fxD}; \quad [4]$$

el valor de M_{ed} lo podemos sacar con los empujes de los puntos característicos, aplicados sobre el caso de la viga recta en voladizo:

$$M = \frac{p_a^2}{2} + \frac{p_0 a^2}{6};$$

$$M_2 = \frac{0,67 \cdot 2^2}{2} + \frac{(1,74 - 0,67) \cdot 2^2}{6} = 1,045 \text{ m.Tn.}$$

y

$$M_{3,25} = M_2 + \frac{1,74 \cdot 1,25^2}{2} + \frac{(3,53 - 1,74) \cdot 1,25^2}{6} = 1,045 + 1,34 + 0,525 = 2,91 \text{ m.Tn.};$$

como el apoyo afectado por el momento dorsal es el de 3,25, queda

$$M_{ed} = M_{3,25} = 2,91 \text{ m.Tn.}$$

como L es la longitud de la viga recta, 3,75 metros, y p y p_0 lo podemos sacar directamente de la ley de empujes:

$$p = 3,53 \text{ Tn./m.}^2;$$

$$p_0 = 10,70 - 3,53 = 7,17 \text{ Tn./m.}^2;$$

dando valores a x correspondientes a 0, $1/4 L$, $1/2 L$, $3/4 L$ y L , reemplazando en [1], [2] y [3] y resolviendo para hallar [4] encontramos la forma de la ley de momentos, en la que:

para $x = 0$	queda $M_{Fx} = + 2,91 \text{ m.Tn.}$
" $x = 1/4 L$	" $M_{Fx} = - 7,97 \text{ m.Tn.}$
" $x = 1/2 L$	" $M_{Fx} = - 10,87 \text{ m.Tn.}$
" $x = 3/4 L$	" $M_{Fx} = - 7,82 \text{ m.Tn.}$
" $x = L$	" $M_{Fx} = 0$

cuya forma total está en la figura 3.

Para calcular la abscisa del momento máximo basta derivar la ley de momentos suma, igualarla a cero y resolver la ecuación de 2.º grado que se forma, que en nuestro caso es:

$$\frac{p_0}{2L}x^2 - (p + p_0)x + \frac{p_0L}{3} + \frac{pL}{2} - \frac{M_{ed}}{L} = 0;$$

o lo que es lo mismo:

$$1,045x^2 - 10,70x + 14,795 = 0;$$

de manera que $x = 1,64$ m. y $x = 8,98$ m., de los cuales solamente el primer valor tiene, en

Se puede resolver a base de combinar leyes triangulares y rectangulares, cuya forma respectiva es:

$$M_{fxT} = -p_0 \frac{x}{6} \left(3a - \frac{a^2}{L} + \frac{x^2}{a} - 3x \right) \quad [5]$$

y

$$M_{fxR} = -p \frac{x}{2} (L - x);$$

según ya vimos en [1].

Operando paralelamente a la hipótesis 1.ª en-

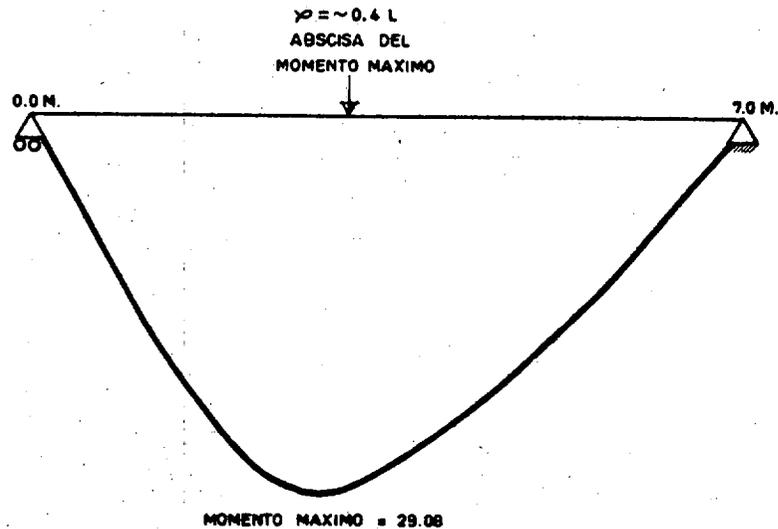


Fig. 4.—Ley de momentos, hipótesis segunda.

nuestro caso, sentido, y su valor en fracción de L es:

$$x = 0,438 L;$$

que, al ser reemplazado en [1], [2] y [3], encontramos en [4] el valor del momento máximo para esta primera hipótesis de

$$M_{Fmáx_1} = 10,95 \text{ m.Tn.};$$

que define la sollicitación de la pantalla en todo su perímetro, salvo en la zona de rampas de entrada al aparcamiento subterráneo.

La hipótesis 2.ª, que corresponde a la zona de rampas en la que la pantalla va apoyada a las cotas 0 y -7 m., se puede equiparar al de una viga recta apoyada en sus extremos (0 y 7 m.) sometida a las cargas totales de la ley de empujes.

contramos:

para $x = 0$	queda $M_{Fx} = 0$.
" $x = 1/4 L$	" $M_{Fx} = -22,92 \text{ m.Tn.}$
" $x = 1/2 L$	" $M_{Fx} = -27,66 \text{ m.Tn.}$
" $x = 3/4 L$	" $M_{Fx} = -14,12 \text{ m.Tn.}$
" $x = L$	" $M_{Fx} = 0$;

y la abscisa del momento máximo es

$$x = 2,81 \text{ m.};$$

o

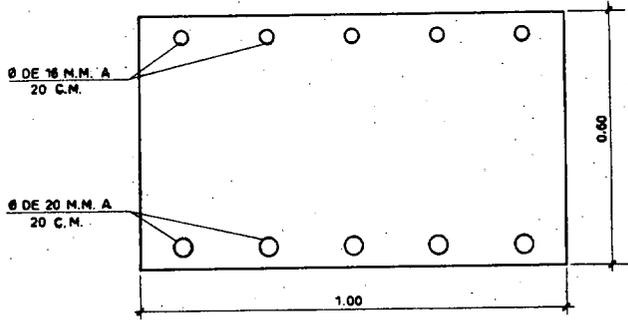
$$x = 0,403 L;$$

a la que corresponde un momento máximo de

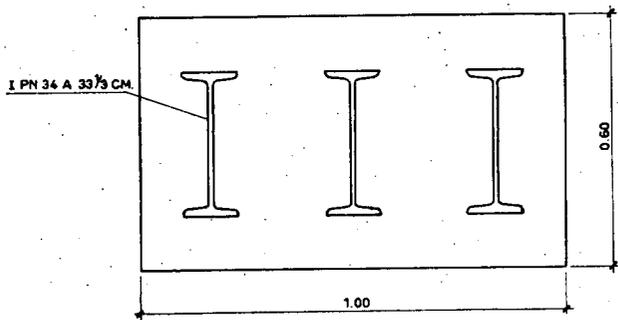
$$M_{máx_2} = -29,08 \text{ m.Tn.}$$

la ley de momentos referida a la hipótesis 2.ª viene expresada gráficamente en la figura 4.

Como por necesidades de ejecución de la pantalla (ya que ésta se ataca en bataches de unos tres metros) los armados de la misma no son continuos, ya que queda una zona sin armar de 20 ó 30 centímetros en las juntas, se ha introducido un factor de seguridad del orden de 2 para cubrir imprevistos en el comportamiento de las juntas de batache, a los que solamente se les exige estanqueidad.



Armadura pantalla, primera hipótesis.



Armadura pantalla, segunda hipótesis.

Figura 5.

Las armaduras de la pantalla están para ambas hipótesis definidas en la figura 5, que corresponde a cada caso a un metro de pantalla sin junta de batache.

La comprobación para la hipótesis 1.^a viene dada por:

$$M = U \left(1 - \frac{U}{2V} \right) h \quad [6]$$

en la que:

$$U = W \cdot A \dots \begin{cases} M = \text{momento de agotamiento.} \\ W = \text{sección nominal de la armadura.} \\ A = \text{límite elástico minorizado.} \end{cases}$$

y

$$V = R b h \dots \begin{cases} R = \text{resistencia a compresión del hormigón (minorizada).} \\ b = \text{ancho de la sección rectangular.} \\ h = \text{canto útil.} \end{cases}$$

y cumpliéndose la condición

$$U \geq 0,04 V$$

siendo

$$W = 25,765 \text{ cm.}^2$$

$$A = \frac{2400}{1,2} = 2000 \text{ Kg./cm.}^2$$

$$R = \frac{208}{1,6} = 130 \text{ Kg./cm.}^2$$

$$b = 100 \text{ cm.}$$

$$h = 57,5 \text{ cm. (la pantalla es de 60 cm. de ancho);}$$

por consiguiente,

$$U = 2000 \cdot 25,765 = 52,3 \text{ Tn.};$$

y

$$V = 130 \cdot 57,5 \cdot 100 = 747 \text{ Tn.};$$

de manera que la condición [7] se cumple:

$$52,3 \geq 0,04 \cdot 747 = 30, -;$$

y el momento de agotamiento M es:

$$M = 52,3 \left(1 - \frac{52,3}{2747} \right) 57,5 = 29 \text{ m.Tn.};$$

es decir:

$$M > M_{f \text{ máx.}} \cdot f;$$

$$29 \text{ m.Tn.} > 10,95 \cdot 2 = 21,9 \text{ m.Tn.}$$

En la hipótesis 2.^a los armados están constituidos por perfiles normales en doble T, del 34, de los que solicitamos absorban todos los empujes bajo la condición de que su flecha máxima sea inferior a la quinientava parte de su luz, para evitar el cuarteamiento del hormigón que los recubre.

No obstante, como el agua de la capa freática es marina, para compensar el riesgo de la corrosión que se derivaría del posiblemente im-

perfecto recubrimiento de los armados, introducimos un factor de seguridad del orden de 1,5.

Debe, por consiguiente, cumplirse la condición

$$R_x > \frac{M_F \text{ máx.} \cdot f_1 \cdot f_2}{\sigma_{\text{adm}}}; \quad [8]$$

en la que

$$\sigma_{\text{adm}} = 1\,200 \text{ Kg./cm.}^2 \text{ (límite máximo de deformación elástica).}$$

$$R_x = 923 \text{ cm.}^3 \text{ (para PN I 34 del prontuario de Altos Hornos).}$$

Entonces

$$923 > \frac{29,08 \cdot 2 \cdot 1,5}{1\,200} = 750 \text{ cm.}^3;$$

(ya que 29,08 m.Tn. = 290,8 Kg.cm.).

b) Pilotes.

Aunque fueron ejecutados desde la superficie hasta 11 m. de profundidad, la longitud de su fuste es de 4,5 m., ya que no se hormigonó el tramo correspondiente que se excavaría después.

En número de 280, repartidos en núcleos de 3, 4, 5, 6 y 7, según las cargas a absorber de los pilares del edificio, están situados en la cinerita subyacente, a través de la capa discontinua de bolos cementados de fonolita.

Las características geotécnicas de la cinerita son: un ángulo de rozamiento interno φ de 35°, una densidad de 1,8 gr./cm.³ y una cohesión de 10 Tn./m.², y, como el diámetro de los pilotes *in situ* es de 0,632 m., podemos calcular su resistencia sin más que aplicar el procedimiento de Caquot: en él la resistencia total es la suma de las respectivas resistencias por fuste y por punta:

$$R_T = \frac{R_F}{N_F} + \frac{R_P}{N_P}; \quad [9]$$

viniendo cada una de ellas dada por:

$$R_F = A \left(\gamma \cdot \frac{h^2}{d} \cdot S'_3 + C \cdot \frac{h}{r} \cdot S'_5 \right) \quad [10]$$

y

$$R_P = A \left(\gamma \cdot r \cdot S_1 + h \cdot \gamma \cdot S_2 \cdot S'_2 + \frac{C}{\text{tg } \varphi} (S_2 - 1) \right) \quad [11]$$

en la que

N_F = coeficiente de seguridad de fuste = 6.

N_P = coeficiente de seguridad de punta = 4,5.

A = área del pilote = 0,31 m.².

γ = 1,8 (densidad de la cinerita) en Tn./m.³.

C = 10 (cohesión de la cinerita) en Tn./m.².

φ = 35° (ángulo de rozamiento interno de la cinerita).

d = 0,632 m. (diámetro del pilote).

r = 0,316 m. (radio del pilote)

y S_1 , S_2 , S'_2 , S'_3 y S'_5 son los coeficientes de la fórmula de Caquot, que vienen dados por:

$$S_1 = 0,192 \text{ tg}^2 \left(\frac{\pi}{\varphi} + \frac{\varphi}{2} \right) e^{4,55 \text{ tg } \varphi} = 17,15$$

$$S_2 = \text{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) e^{\pi \text{ tg } \varphi} = 33,30$$

$$S'_2 = 1 + 0,32 \text{ tg}^2 \varphi = 1,16$$

$$S'_3 = \text{tg } \varphi \cdot e^{\frac{19}{30} \text{ tg } \varphi (4 + \text{tg } \varphi^{2/3})} = 5,85$$

$$S'_5 = (1 + \text{sen } \varphi) e^{\left(\frac{\pi}{2} + \varphi \right) \text{ tg } \varphi} = 7,27$$

resolviendo las ecuaciones [10] y [11] encontramos

$$R_F = 321 \text{ Tn.} \quad \text{y} \quad R_P = 243 \text{ Tn.};$$

y finalmente

$$R_{\text{TOT}} = \frac{R}{N_F} + \frac{R}{N_P} = \frac{321}{6} + \frac{243}{4,5} = 107,6 \text{ Tn.};$$

que es la carga máxima que puede soportar cada pilote, suficiente en nuestro caso, ya que las transmitidas están comprendidas entre 80 y 90 Tn.

El armado de los pilotes está constituido por cinco redondos de 16 mm., para así cumplir las condiciones mínimas estándar (8 por 1 000 de superficie de hierro con relación a la del hormigón); de manera que el pilote trabajando a tracción soportaría un esfuerzo total E_{TOT} de:

$$E_{\text{TOT}} = \sigma_{\text{adm}} \cdot A \cdot n = 1\,200 \cdot 10,055 = 12,7 \text{ Tn.};$$

siendo:

$\sigma_{\text{adm}} = 1\,200 \text{ Kg./m.}^2$ (límite de deformación elástica),

$A \cdot n$ = (superficie de hierro redondo y número de ellos) en centímetros cuadrados.

c) Losa continua.

Con un espesor máximo de 1,10 m., de los cuales 0,80 m. van armados con un doble empujamiento de ϕ 20 mm. a 30 cm., y los 0,30 superiores van sin armar, solidariza las cabezas de los 280 pilotes con la parte baja de la pantalla continua perimetral.

Debido a hallarse la cimentación bajo el nivel del mar, soportará una vez cerrada unos empujes ascendentes que serán función de la profundidad bajo el nivel freático y de la superficie de la losa, menos el peso propio de la misma (1.ª hipótesis) tendremos por cada metro cuadrado de losa:

$$\begin{aligned} \text{Subpresión} &= -3,55 \cdot 1,0 &= -3,55 \text{ Tn./m.}^2 \\ \text{Peso propio de la losa} &= 1,10 \cdot 2,2 &= 2,42 \text{ " } \\ \text{Presión (hacia arriba)} & &= -1,13 \text{ Tn./m.}^2 \end{aligned}$$

La 2.ª hipótesis es suponer una transmisibilidad de 0,5 estando el sótano con una sobrecarga de 0,5 Tn./m.²:

$$\begin{aligned} \text{Subpresión} &= -3,55 \cdot 1,0 \cdot 0,5 &= -1,78 \text{ Tn./m.}^2 \\ \text{Sobrecarga en sótano} & &= 0,50 \text{ " } \\ \text{Peso propio losa} & &= 2,42 \text{ " } \\ \text{Presión (hacia abajo)} & &= 1,14 \text{ Tn./m.}^2 \end{aligned}$$

Calculando la losa como un piso hongo, y tomando la luz entre pilares de 7 m. que nos dará mayores momentos, tendríamos sobre la banda de apoyos para un metro de anchura un momento máximo de:

$$M = \frac{3}{2} \frac{P L^2}{10};$$

$$M = \frac{1,14 \cdot 7^2}{10} \cdot 1,5 = 8,4 \text{ m.Tn./m.}, \text{ o sea, } M_{10} =$$

$$= 0,84 \text{ m.Tn.}$$

con

$$\alpha = 1, h = 70 \text{ cm. y } \sigma_a = 1400 \text{ Kg./cm.}^2;$$

tenemos,

$$\sigma_h = 18,0 \text{ Kg./cm.}^2, F_{10} = 0,9 \text{ cm.}^2 \text{ y } F = 9,0 \text{ cm.}^2/\text{m.};$$

solicitud que corresponde aceptablemente a un empujamiento de ϕ 20 a 30 cm., según el procedimiento del momento tope de Jiménez Montoya, que es el dispuesto.

La comprobación de la penetración del pilar no será necesaria, ya que la separación entre pilotes es menor que el doble del espesor de la losa, según la norma francesa del pilar más cargado.

3. TECNICAS UTILIZADAS

Debido a que el nivel freático está situado mucho más alto que la cota hasta la que hay que excavar para ejecutar los sótanos, se decide realizar el muro perimetral del edificio mediante la ejecución de una pantalla continua perimetral de 600 mm. de espesor.

Una vez excavado el interior del perímetro en el fondo, se dispondrá de una losa de cierre que englobará a un sistema de zapatas de las que partirán los pilares del edificio. Las zapatas incluidas en la losa se apoyarán sobre los pilotes cuya distribución y número vienen definidos por las cargas a soportar.

Las etapas fundamentales de ejecución de la cimentación son las siguientes (fig. 6):

- Ejecución de la pantalla continua (210 metros).
- Ejecución del pilotaje *in situ* de ϕ 630 milímetros (280 ud.).
- Excavación del interior de la pantalla (18 500 m.³).
- Hormigonado de la losa de fondo (2 700 metros cuadrados).

Las etapas a) y b), al tratarse ambas de obra enterrada, se han realizado simultáneamente.

a) Pantalla continua.

El procedimiento a seguir consta de una primera fase de excavación con cuchara bivalva especial, que va guiada en superficie mediante la ejecución previa de dos muretes guía, y en profundidad, gracias a los patines solidarios a la bivalva y por efecto de su peso. El sistema de cierre es accionado mediante cable.

Esta cuchara bivalva, capaz de dragar terrenos de hasta 4 Kg./cm.² de cohesión, puede llegar teóricamente a cualquier profundidad de excavación.

Dicha excavación se ataca mediante batallas del ancho de la cuchara, y puede hacerse

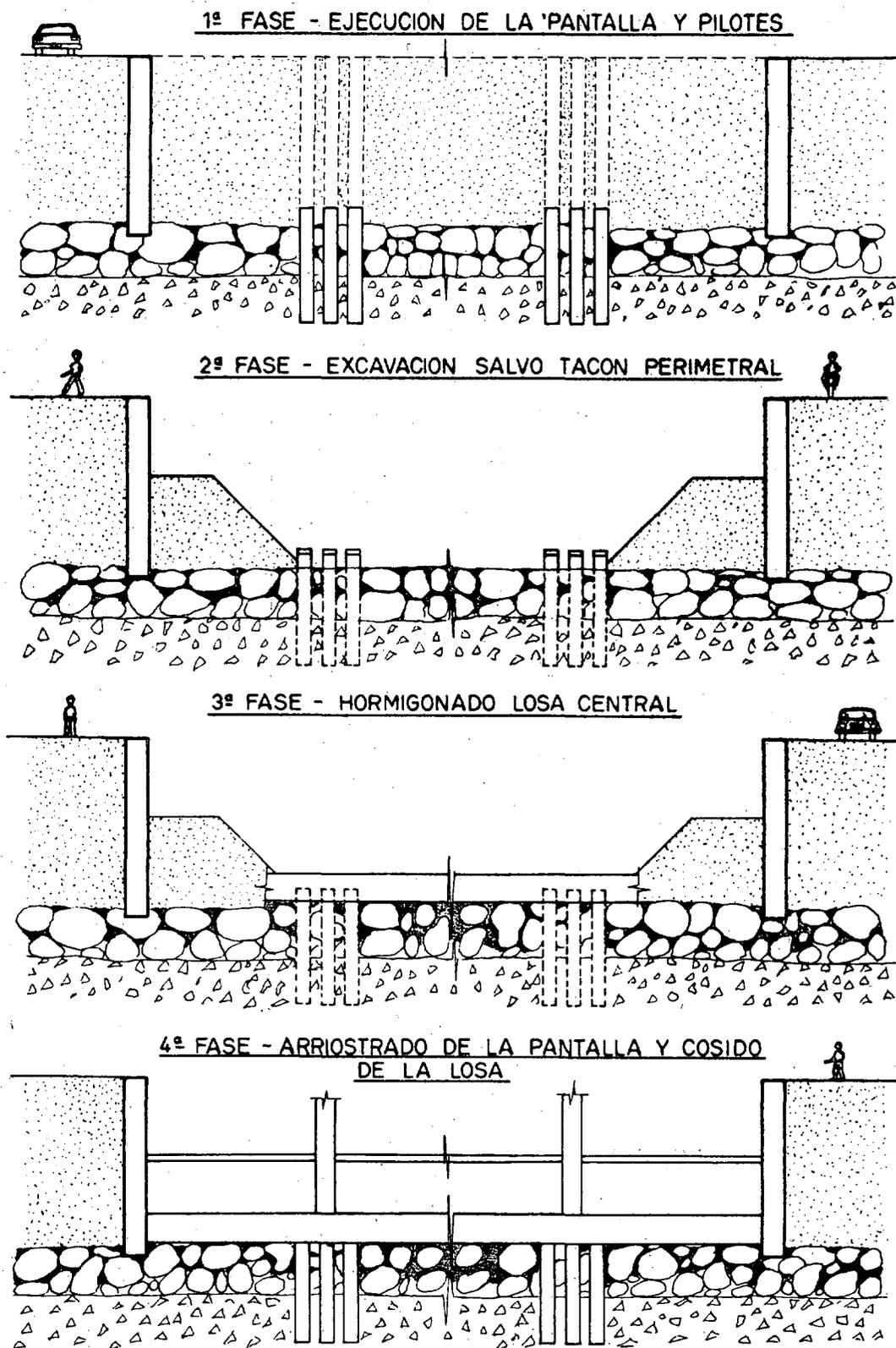


Figura 6.

a cielo abierto cuando la zanja es estable de por sí, o bajo lodo, cuando se precisa estabilizarla en el caso de terreno con bajas cohesiones.

Una vez finalizada la excavación se introduce la armadura, procediéndose al hormigonado del batache a continuación mediante un embudo especial que permite el hormigonado por desplazamiento, es decir, de abajo hacia arriba, de imprescindible utilización en el caso de haber utilizado lodo durante la excavación.

En el caso que nos ocupa, la baja cohesión (nula en las arenas sueltas sumergidas), con un ángulo de rozamiento interno de 30°, nos obligaron a excavar la zanja bajo lodo con objeto de mantener verticales las paredes de la misma durante la ejecución, evitando desprendimientos sin necesidad de entibación, propiedades de este sistema conocidas desde hace algún tiempo.

Las pruebas realizadas previamente nos indicaron que la zanja se estabiliza en vertical con un lodo a base de sepiolita, pues el formado con bentonita, que es el utilizado normalmente, flocula por la acción de las sales del agua de mar, perdiendo éste su estado de "gel", lo que acarrearía el desmoronamiento instantáneo de las arenas de la pared de la zanja.

Si fabricamos lodo utilizando sepiolita no tiene lugar ninguna floculación, estabilizándose la zanja con una viscosidad aparente de 15 cp., que en este caso corresponde a un porcentaje en peso de 6,8 por 100 de sepiolita comercial. Con el referido lodo pudo ya realizarse la excavación de la zanja. El entarquinado ("cake") que queda en las paredes de la zanja es de varios milímetros, debido a que los lodos de sepiolitas poseen altas pérdidas de agua.

Se utilizó la adición de coloides protectores tipo CMC (carboximetil celulosa) con los que se pudo disminuir grandemente la pérdida de agua, pero como dichos productos originan al mismo tiempo aumentos en las viscosidades del lodo así tratado, fue necesario disminuir la adición del componente base (sepiolita) en la proporción conveniente.

Tras sucesivos ensayos, el lodo elegido fue fabricado finalmente a base de:

5% de Sepiolita (Clarsol FB7),

7% de CMC (Solucel TDH);

por cada metro cúbico de agua.

Sus características reológicas son:

Viscosidad aparente	16 cp.
Viscosidad plástica	12 cp.
Yield point	12 lb./100 ft ² .
Pérdida agua (A.P.I.)	13 cm. ³
Espesor costra (cake)	0,5 mm.

La zanja abierta podría permanecer estable durante un tiempo superior a cien horas.

Una vez resuelta la estabilización de la excavación de la zanja de la pantalla, los problemas mecánicos de ejecución se remitieron exclusivamente al empotramiento del muro de la misma en el techo de cantos de fonolita, ya que se precisaba un mínimo de 30 cm.

Debido a que el techo del material fonolítico no correspondía en detalle a una superficie horizontal, dado el gran tamaño de algunos cantos, y que éstos aparecían muchas veces a cota muy superior a la esperada, y como la cuchara bivalva era incapaz de romperlos, nos vimos precisados a romperlos mediante el uso de trépanos especiales, de manera que sus fragmentos pudieran ser extraídos por la cuchara excavadora para dejar limpio el fondo del batache.

Al llegar a la cota precisa (—7,80 m.) se introducía la armadura previamente preparada, ajustando exactamente las cotas de las ménsulas que servirían de anclaje a la losa de fondo y al forjado del primer sótano.

A continuación, se introducía la trompa de hormigonado entre la armadura hasta el fondo del batache y se procedía a rellenar el batache de hormigón.

El hormigón se ejecutó con cemento mezclado con puzolana que se le dio una dosificación de 400 Kg. por m.³, ya que iba a ser sumergido, consiguiendo que las probetas rompieran entre 210 y 250 Kg./cm.² con veintiún días de fraguado.

El lodo sobrante que era desplazado por el hormigón se recogía utilizándose en los nuevos batches.

La longitud total de la pantalla perimetral es de 210 m. l., que se ejecutó en 63 batches, empleándose, como separadores entre dos batches consecutivos, tablétacas del ancho de la pantalla (60 cm.).

Este procedimiento dio mejor resultado que el empleado inicialmente a base de pozos de 60 cm. de diámetro y 11 m. de profundidad, realizados con una perforadora por aspiración

a rotación, ya que al cortar la capa de fonolita se producían pérdidas de circulación que motivaban el descenso del nivel de lodos, apreciándose derrumbes instantáneos en el pozo, los cuales podrían haber producido después irregularidades en la pantalla.

La ventaja de la tablestaca es, fundamentalmente, que, al ser hincada por gravedad, no podía nunca llegar a romper la estructura de la capa de cantos de fonolita.

Para garantizar la estanqueidad de las juntas entre bataches consecutivos, se inyectó la junta, una vez perforada y lavada, con lechada de cemento posteriormente a la ejecución de un sondeo de ϕ 100 mm.

b) Pilotes.

Realizados por el procedimiento *in situ* se efectuaron en número de 280 simultáneamente con la pantalla, por permitirlo el programa de realización y el tamaño del solar. Como ya hemos indicado anteriormente, se estimó necesario la ejecución de pilotes, pues el estrato de bolos de fonolita presentaba importantes irregularidades, puesto que había zonas cementadas mientras que otras estaban sueltas y en otras incluso desaparecían.

El vaciado del pilote se hizo combinando el trépano a percusión con la cuchara extractora de detritus, y el descenso de la tubería de revestido, mediante la cuchara de golpeo, revestido que protegía la pared del pozo ya excavado.

La combinación de estas tres operaciones dependía de la habilidad del pilotista, de la estructura del terreno y del nivel freático. En nuestro caso, la práctica dictaba ir por delante en lo posible con la tubería de revestido, ya que existía una notoria tendencia al sifonamiento durante la operación de extracción de detritus.

La capa de bolos de fonolita, al no ser ni homogénea ni horizontal en su techo, planteó serios problemas, tanto para la hinca como para el guiado vertical del pilote, ya que frecuentemente los pilotes se seguían sifonando a pesar de haber hincado en lo posible los tubos de revestido.

Una vez excavado el pilote, se introducían las armaduras, dejándolas caer en su fondo, y se hormigonaba con una dosificación de 400 kilogramos de hormigón puzolánico con la cuchara especial hasta la cota deseada (desde — 11 a — 6,50 m.), rellenando de tierra el resto

hasta la superficie, y extrayendo los tubos de revestimiento a continuación, finalizando con ello la ejecución del pilote.

c) Excavación.

Para favorecer esta operación se perforaron ocho pozos de 8 m. de profundidad, y se revisitaron de tubería perforada con revestido de árido incorporado con resinas epóxicas, para que el conjunto funcionase como filtro, de manera de achicar el agua del interior del solar (una vez hecha la pantalla) sin peligro de arrastre de sólidos durante la operación.

Mediante el referido achique, la excavación por debajo del nivel freático pudo hacerse, dentro de lo posible, cómoda y limpiamente.

Como la pantalla perimetral estaba calculada para absorber los empujes exteriores una vez arriostrada, y el arriostramiento procede de la losa de fondo del primer sótano (— 3,25 m.) y de la planta de la calle (cota 0), siendo, por consiguiente, posterior a la ejecución de la losa de fondo; para compensar los empujes de la pantalla durante la ejecución se realizó la excavación llegando hasta el fondo en el centro del solar, pero dejando un tacón de tierra de 5 metros de ancho que, desde la cota — 3,25 metros mantenía perimetralmente desde dentro a la pantalla. Dicho tacón de tierra, para que fuera estable, debía morir hacia el centro (cota — 7) según el talud natural del terreno (30°), de manera que la losa de fondo y sus correspondientes arranques de pilares se comenzaron en la parte central del solar.

Gracias a la cementación sufrida por las arenas una vez secas, de resultas de las sales del agua del mar, el talud espontáneo del terreno se aproximó en algunos casos a la vertical, circunstancia ésta que nos ayudó grandemente, ya que pudimos ejecutar mayor superficie de losa de fondo, dejando libres mayor número de arranques de pilares y levantando el primer sótano, que sirvió de primer arriostramiento a la pantalla, casi completo.

En las zonas donde iban situadas las rampas de acceso al segundo sótano (que es un aparcamiento subterráneo), al no existir arriostramientos a cota — 3,25 m., hubo que apearse la pantalla mediante perfiles normales doble I contra la losa en los pilares más próximos ejecutados.

Una vez efectuados todos los arranques de

pilares; el edificio siguió su curso independiente ascendente, mientras simultáneamente se excavaba el tacón perimetral de la pantalla mediante bataches que permitieron el cosido de la losa de fondo en las ménsulas de la base de la pantalla.

En esta fase final, por consiguiente, la ejecución de la losa junto a la pantalla iba íntimamente ligada a la excavación del referido tacón perimetral.

Si al excavar un batache frente a una junta del fondo de la pantalla dábamos con alguna entrada de agua que pudiera producir arrastres con peligro de descalces, inyectábamos en el referido frente geles de sílice cemento que nos permitieran el sellado necesario mientras se efectuara el cosido de la losa con la pantalla.

La extracción de las tierras desde el fondo se efectuó mediante fosos, a los que se pudo llegar con las grúas instaladas que trabajaban en la construcción del edificio, y el movimiento de aquéllas hasta los fosos en el segundo sótano se efectuó mediante un pequeño tractor que pudiera desenvolverse en aquel espacio.

d) Losa.

Ya hemos visto que su ejecución fue íntimamente ligada a la excavación, y que por necesidades de obra ha sido preciso ejecutar inicialmente su parte central, que ha podido realizarse hormigonando grandes sectores de más de 100 m.³ de una sola operación, mientras que el cosido a la pantalla, supeditado al batache en cuestión, sólo precisaba de pocos metros cúbicos en cada caso, lanzándose desde la calle, gracias a un sistema de canales que hubo de improvisarse cada caso.

La dosificación del hormigón ha sido, en la losa, de 350 Kg., y su composición también ha sido puzolánica por considerarse más seguro.

La losa yace sobre un hormigón pobre; en un espesor de 25 cm., que se colocó sobre el enchachado inicial en el que se instalaron los drenes que conducían el agua hasta un pozo central de agotamiento.

La necesidad de dejar los referidos drenes fue motivada por la aparición de entradas de agua a través del techo de cantos de fonolita en las proximidades de los pilotes.

Dichas entradas de agua han supuesto el 90 por 100 del total (siendo el caudal global 35 l./seg. antes del cierre).

El foso central al que convergían los drenes

corresponde a la actual posición del foso negro, y se mantuvo abierto mientras se efectuaba el cosido de la losa con el fondo de la pantalla para compensar los empujes que actuarían inmediatamente sobre la losa y zona de trabajo de cada batache, evitando así las consiguientes perturbaciones.

Efectivamente, si se hubiese cerrado prematuramente el foso central de la losa, automáticamente ésta habría pasado a soportar los consiguientes empujes ascensionales, que habrían obligado a trabajar a los pilotes a tracciones excisivas.

Como los empujes ascensionales habían sido superiores al límite elástico soportado por el conjunto de pilotes a tracción e incluso a la tensión de rotura minorada ($\sigma_a = 2\ 000\ \text{Kg./cm.}^2$) del conjunto, fue necesario esperar a que la carga del edificio en construcción compensara los referidos empujes. Esta compensación se encuentra cuando la estructura del edificio ha llegado a la quinta planta.

De todas maneras, para observar cómo se comportan las juntas, se reunieron los drenes sobre el foso central mediante cuatro tuberías principales provistas de sendas llaves y tubos de pitot, mediante las que se podría hacer entrar parcialmente en carga una cierta zona para observar el comportamiento de las juntas de la losa.

Dichas juntas, y las de los bataches, se trataron con resina epoxi para lograr un buen sellado, depositando encima los 30 centímetros de espesor de hormigón en masa en cuyo seno van las conducciones de servicio.

Finalmente, el cierre y ejecución del foso de aguas negras se llevó a cabo desde el momento en que dejó de existir el peligro de rotura por tracción de los pilotes subyacentes, procediendo después a la inyección total de la subbase, colofón de la cimentación del Hotel Cristina, de Las Palmas de Gran Canaria.

BIBLIOGRAFIA

Hausen, H.: *New contributions to the Geology of Gran Canaria*. Helsinki, 1962.

Jiménez Montoya, P.: *Hormigón armado* (texto y ábacos). Madrid, 1966.

Torroja, E.: *Determinación de esfuerzos en vigas rectas*. Madrid, 1950.

Altos Hornos de Vizcaya: *Prontuario para el empleo de acero laminado*. Bilbao, 1955.

Eraso, A.: *Recomendaciones relativas a los lodos de perforación en el área de Vitoria*. Vitoria, 1965.