

# PRUEBA DE CARGA DE UN PILOTE FRANKI

Francisco DICK \*

## RESUMEN

*En la construcción del Matadero Frigorífico de Valdivia el análisis teórico de la estratigrafía del suelo estableció unas condiciones de hincado de pilotes a profundidades menores y penetración por golpe mayores que los dados por la fórmula holandesa y las recomendaciones de la empresa Pilotes Franki Chilena. La prueba de carga realizada en un pilote cuyos resultados e interpretación se dan en el presente trabajo, permitió verificar la solución propuesta.*

## INTRODUCCION

En el proyecto de Matadero Frigorífico de Valdivia se consultó un sistema de fundación a base de pilotes de 355 mm de diámetro. Se especificaron profundidades de hincado desde 8 a 10 m.

Sin embargo, la Empresa de Pilotes Franki recomendó que el hincado debía llevarse hasta una profundidad en que se produjese una penetración por golpe no mayor de 20 mm con martinete de 1,86 t en caída libre de 7 m. En la primera serie de pilotes que se clavaron, tal penetración se producía a una profundidad mayor de 11 m, que excede notablemente las profundidades consideradas en el proyecto.

El autor del presente estudio hizo un análisis teórico del problema basándose en las características del suelo en el sector, que son las que se indican en la Tabla I y Fig. 1.

Con dichas características y teniendo en cuenta además que las cargas actuantes en muchos de los pilotes son bastante inferiores a 55 t, que es la carga recomendada por Franki en el anteproyecto con este diámetro de pilotes, el autor propuso las profundidades de hincado mínimas y penetraciones máximas que

---

\* Ingeniero consultor en Mecánica de Suelos.

TABLA I

ESTRATIGRAFIA CARACTERISTICA DEL SUELO

Horizonte	Profundidad m	Tipo de suelo	N	$\phi$
H - 1	0,0 a 2,70	SP	13	39°
H - 2	2,70 a 5,70	Fango ML	3	-
H - 3	5,70 a 8,70	SM	21	38,6
H - 4	8,70 a 13,00	SM	26	37,2

N, índice de penetración de cuchara normal;  $\phi$ , ángulo de fricción interna determinado en función de N y del tipo de suelo probable según condiciones geológicas generales de la zona (deposición fluvial ribereña del río Calle Calle).

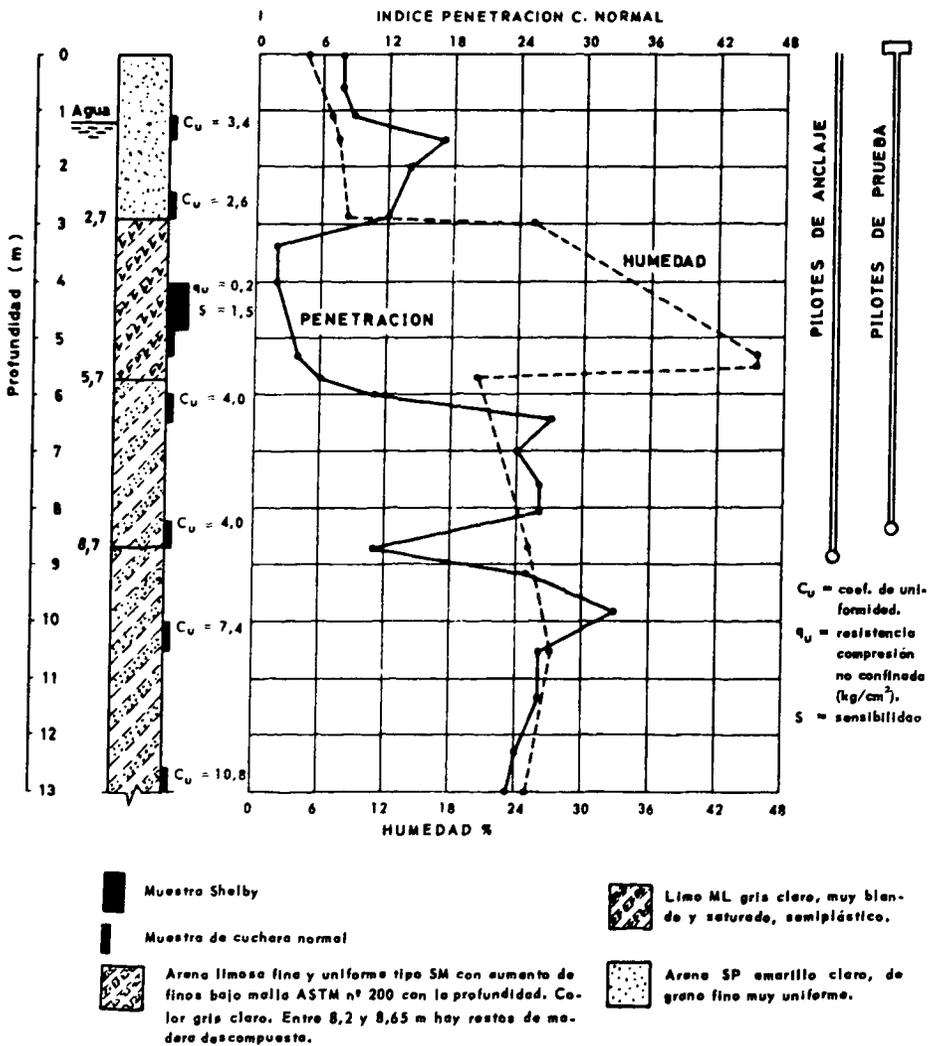


Fig. 1. Estratigrafía del suelo en el área de prueba. Gentileza de la firma SOLUM.

se anotan en la Tabla II.

Para verificar si la solución propuesta era adecuada, se decidió hacer una prueba de carga en un pilote hincado a una profundidad menor y con una penetración por golpe mayor que las obtenidas en la primera serie.

En el presente trabajo se describe la prueba de carga y los resultados obtenidos.

TABLA II  
ESPECIFICACIONES DE HINCADO PROPUESTAS

	Valores sugeridos por el autor					Valores Franki
Carga de servicio máxima, t	55	45	30	20	6	55
Profundidad mínima hincado, m	10	9	8	8	8	—
Penetración máxima, mm	20	25	30	35	40	20
Número de pilotes	8	8	39	10	17	82

### UBICACION Y CARACTERISTICAS DE LOS PILOTES

De acuerdo con el gerente de Pilotes Franki Chilena, se dio la ubicación del pilote de prueba en un sector en que la penetración fuera aproximadamente 35 mm para una profundidad de hincado entre 8 y 9 m y donde se pudiera hacer la prueba sin interferir la marcha de la obra.

TABLA III  
CARACTERISTICAS DEL HINCADO DE LOS PILOTES

Diagrama de hinca	1 P		4 P		5 P		2 P		3 P	
	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N
Profundidad 7 m	36		38		36		39		40	
" 7,5 m	33	14	44	11	33	14	38	13	36	15
" 8,0 m	30	13	36	12	30	13	36	12	32	15
" 8,5 m	33	15	32	14	33	15	35	13	27	16
" 9,0 m	27	17	41	13	27	17	29	15		
Fecha de construcción	14/XII		14/XII		14/XII		15/XII		15/XII	
Profundidad total de hincado ( $H_f$ ) en m	9,10		9,30		9,10		9,10		8,50	
Penetración para $H_f$ en mm	28		34		30		32		27	

P, penetración en mm para caída de martinete de 1,86 t desde 7 m de altura; N, número de impactos con 6,25 m de caída del martinete para hincar 50 cm el pilote.

Los resultados obtenidos con un pilote ya clavado dieron la ubicación buscada.

En esa zona se clavaron 4 pilotes de anclaje (1 P, 2 P, 4 P y 5 P) en los vértices de un rectángulo en cuyo centro se hincó el pilote de prueba (3 P).

Todos los pilotes tenían 355 mm de diámetro con armadura de 6  $\phi$  16 mm y hélice con fierro de 6 mm y paso de 25 cm; hormigón de 425 kg de cemento por metro cúbico, con razón agua-cemento comprendida entre 0,32 y 0,35 y resistencias a la compresión a 28 días superiores a 400 kg/cm<sup>2</sup>.

Las características de hincado de los pilotes se dan en la Tabla III.

### PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

La pauta general para la prueba de carga fue establecida de acuerdo con la Norma ASTM-D 1143<sup>1</sup>. La disposición de los elementos se indican en la Fig. 2.

Para recibir la carga de las prensas, el pilote central (3 P) llevaba un cabezal cúbico de 75 cm de arista, constituido por hormigón armado clase D, que fue construido el 20-XII-67.

La carga se aplicó mediante dos prensas hidráulicas marca Nutzlast del año 1961 y con capacidad de 100 t cada una. El manómetro de cada prensa se calibró en toneladas especialmente para esta prueba<sup>2</sup>. El apoyo de reacción de los gatos estaba constituido por una viga metálica I de 627 mm de alto, 305 mm de ala y 2,92 m de largo, que transmitía la carga a dos vigas transversales de acero I de 500 mm de altura, 302 mm de ala y 3,58 m de largo. Estas vigas transversales transmiten la carga a los pilotes de anclaje mediante 3 ganchos de  $\phi$  16 mm soldados a la armadura de los pilotes de tracción. En estas condiciones, en cada pilote de tracción actúa una carga aproximadamente igual a 0,25 de la carga de prueba del pilote central (pilote de compresión).

Para medir las deformaciones se emplearon 3 comparadores solidarios de un sistema de soporte y en contacto con el cabezal del pilote central y un comparador para cada pilote de tracción. Todos estos comparadores estaban graduados en 0,01 mm y permiten apreciar hasta el 0,002 mm. En el centro del pilote 3 P se dispuso una barra  $\phi$  6 mm que llevaba una reglilla milimetrada en su extremo superior. Mediante un nivel Wild NK 10 a 7,23 m de la reglilla, se observaron las variaciones del hundimiento del pilote 3 P en función de la carga, como un elemento de control en el caso que se produjera un aumento brusco de deformación que no fuera posible medir mediante los comparadores, que tienen una carrera bastante reducida (inferior a 20 mm).

Para proteger el lugar de la prueba de la acción directa del sol o de las

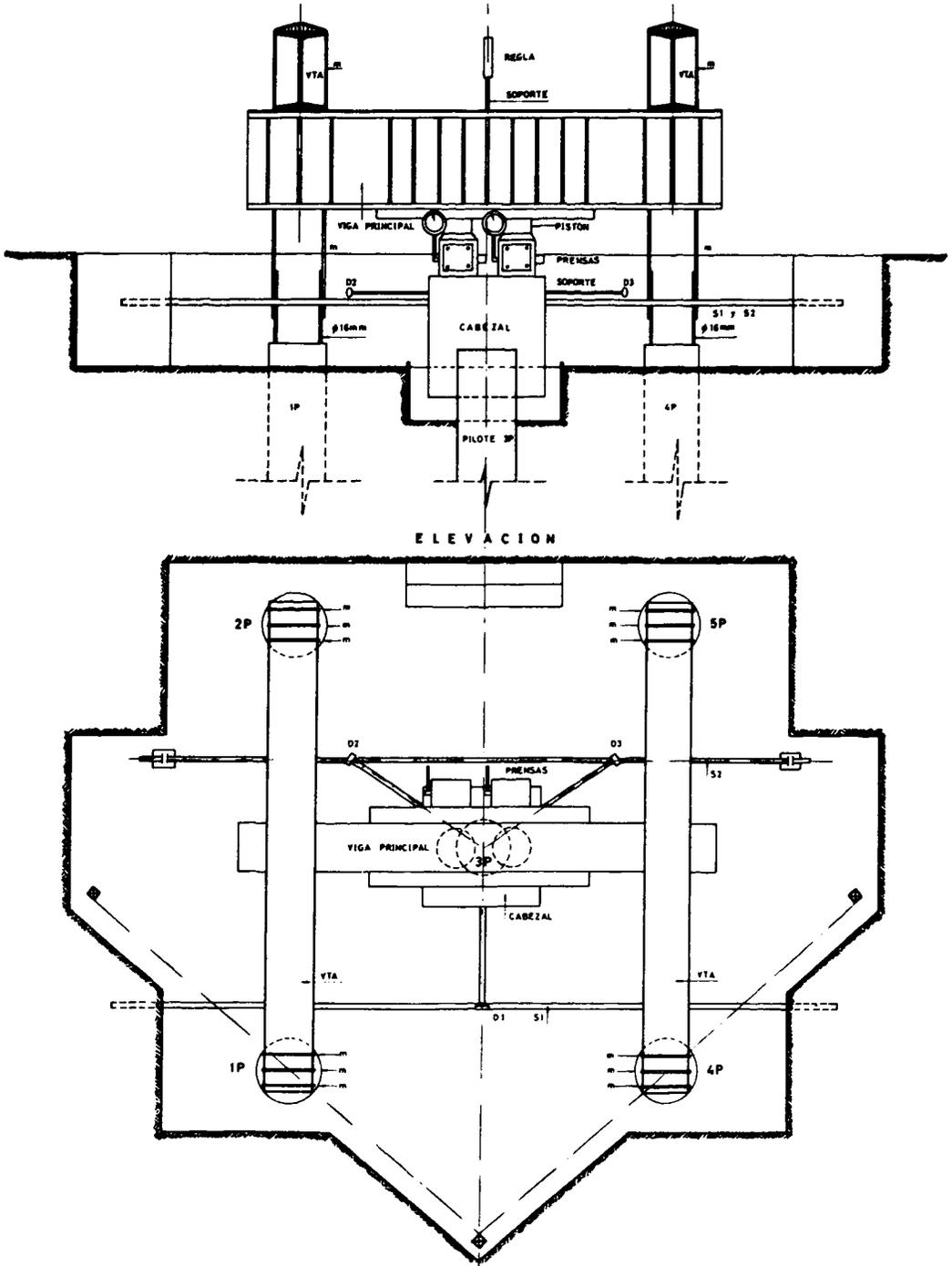


Fig. 2. Disposición de la prueba de carga.

lluvias, se construyó una cubierta sobre el área de prueba y otra sobre el nivel Wild.

## RESULTADOS

La prueba de carga del pilote 3 P se efectuó entre el 23 y 26 de enero de 1968. Las condiciones de clima se mantuvieron durante el período de ensayo.

El peso aproximado del sistema de vigas y gatos era de 3 toneladas y el peso del cabezal 1 tonelada. En consecuencia la fijación del cero de las deformaciones corresponde en el instante inicial a una carga de 4 t sobre la cabeza del pilote.

En la Fig. 3 se expresan gráficamente los resultados de la prueba de carga. A continuación se indican algunas observaciones realizadas durante el transcurso del ensayo.

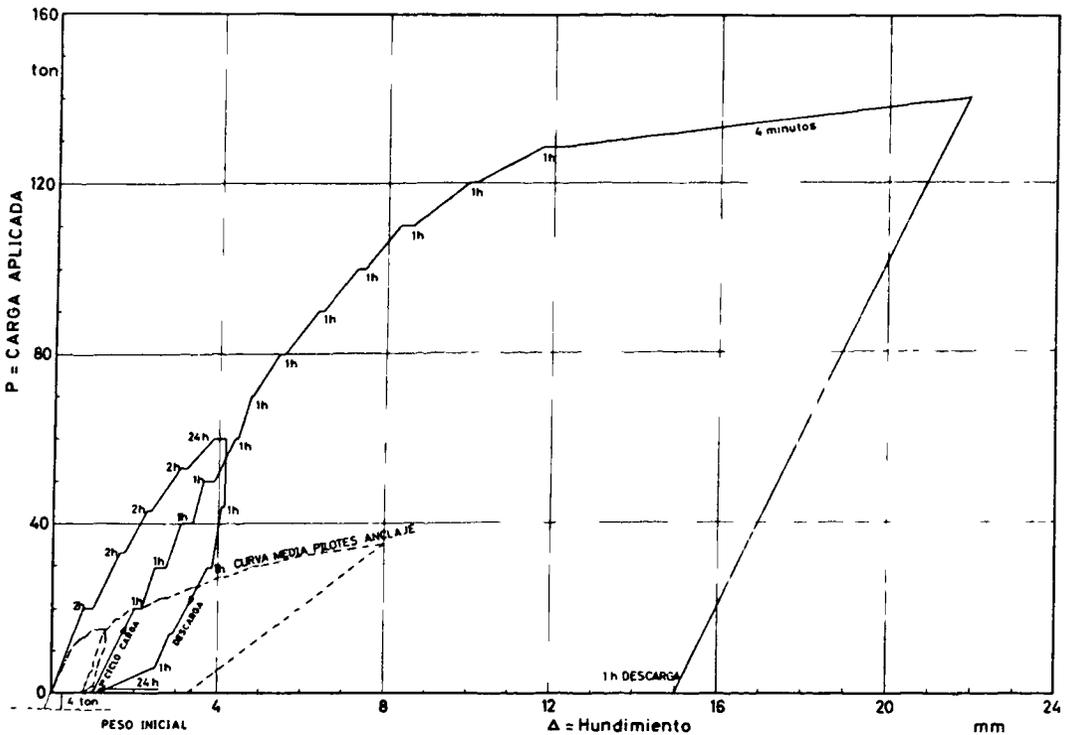


Fig. 3. Curva cargas hundimiento del pilote de prueba 3 P. Se indica el tiempo de detención en cada escalón de carga.

### Influencia térmica

El ciclo térmico diario influía en las medidas de deformación debido a que los soportes S1 y S2 que sirven de referencia experimentaban por esta causa movimientos de subida y bajada respecto al instante inicial en que se calaron los comparadores. Pero esta influencia es muy reducida (no mayor de 0,12 mm) y está ampliamente dentro de la tolerancia del ensayo. De todos modos, mediante medidas sin carga se hizo una estimación aproximada de la corrección que es necesario aplicar a las medidas durante el ensayo.

### *Mantenimiento de la carga*

Las prensas tenían un fijador de tornillo para mantener la carga. Sin embargo se observó que por la magnitud de las deformaciones no era suficiente ese dispositivo, sino que se requería bombear las prensas para restituir la carga nominal, lo que se hizo a partir de la carga de 60 toneladas. Cuando no se tomó esta precaución, se observó que después del apreciable hundimiento inicial producido por el incremento de carga, aquél disminuía durante algunos minutos hasta que la carga se estabilizaba en un valor ligeramente menor que el nominal, tras lo cual proseguía el hundimiento. Por lo tanto, si se hubiesen mantenido las cargas en todas las etapas, las deformaciones para cargas menores de 60 t hubieran sido mayores que las que aparecen en Fig. 3.

### *Grietas*

No se observaron grietas en el pilote de compresión ni en el suelo de contorno durante el ensayo.

A partir de las 80 t se observaron grietas en el suelo que se desarrollaron tangencialmente al pilote 4 P. Este tipo de grietas se iniciaron en los otros pilotes de tracción a partir de 100 t. A medida que aumentaba la carga, las grietas progresaban en longitud y en anchura. A partir de 100 t se observaron fisuras en la cabeza de estos pilotes. Esto se explica por una ligera excentricidad e inclinación de la fuerza de tracción, que flectaba a estos pilotes. Su recuperación elástica fue en promedio de 46% respecto a la deformación alcanzada para 128,5 t y posiblemente del mismo orden cuando actuaba en el pilote 3 P la carga de 140 t. La deformación correspondiente a 35 t en los pilotes de anclaje no se pudo determinar debido a lo repentino de la ruptura del suelo bajo el pilote central. Lo anterior permite establecer que la carga de ruptura de los pilotes de tracción es superior a 35 t.

## INTERPRETACION

Pilotes Franki Chilena recomienda el empleo de la fórmula holandesa para definir la carga de ruptura de sus pilotes moldeados in situ:

$$R_u = R S = \frac{P^2 H N}{(P + Q) e}$$

$P$  = peso martinete = 1,86 t.

$Q$  = peso del tubo = 2,70 t.

$H$  = altura de caída = 700 cm.

$N$  = número de golpes de cada andanada para penetrar la distancia  $e$ . (En el caso de pilotes Franki se da un golpe;  $N = 1$ ).

$e$  = penetración del pilote en cm.

$R_u$  = carga de ruptura en t.

$S$  = factor de seguridad a la ruptura, que en la fórmula holandesa se recomienda tomar entre 5 y 7.

$R$  = carga de trabajo.

El pilote de prueba 3 P se clavó hasta 8,50 m con una penetración de 2,7 cm. Según la relación anterior, la carga de ruptura sería 197 t y la de trabajo de 28 a 39 t. El ensayo dio una carga de rotura de 144 t; aplicando un coeficiente de seguridad de 2,25, que corresponde a las prescripciones europeas y americanas respecto a la carga de ruptura obtenida en una prueba de carga, se obtiene una carga admisible de 64 t.

En la Fig. 3 se observa que para esa carga la deformación es menor de 5 mm, muy inferior por lo tanto al valor de 25 mm, que es el considerado aceptable desde el punto de vista estructural<sup>3</sup>.

Los diagramas de hinca, las penetraciones obtenidas en todos los pilotes y los resultados del reconocimiento de suelos indican que bajo 8 m las condiciones del suelo son bastante uniformes y que mejoran con la profundidad. Hemos estimado que las posibles variaciones quedan cubiertas ampliamente considerando un factor 1,33 que multiplique al factor de seguridad ya encontrado, lo que da un valor final de 3,0. Este factor, multiplicado por la relación entre la carga de ruptura dada por la fórmula holandesa y la de ruptura establecida en el ensayo de carga, relación que suponemos constante, da el factor de seguridad  $S$  que podría aplicarse a la fórmula holandesa para establecer con ella la carga de trabajo del pilote en función de la penetración  $e$ . Según lo anterior, es posible aplicar en el caso del suelo en el Matadero de Valdivia un factor  $S = 4,1$  para obtener la carga de trabajo  $R$  en función de la ruptura dada por la fórmula holandesa. Para los rechazos y profundidades indicados en la Tabla II resultan las cargas admisibles anotadas en la Tabla IV.

TABLA IV  
CARGAS ADMISIBLES

Penetración, mm	20	25	30	35	40
Profundidad mínima, m	9	9	8	8	8
Carga admisible, t	65	52	43	37	32
Carga de servicio max, t	55	45	30	20	6

Si se considera que las cargas de servicio indicadas son las máximas, incluidos los efectos sísmicos o eventuales, se desprende que las recomendaciones dadas están dentro de un margen de seguridad aceptable.

En la Fig. 4 se indica el valor de penetración por golpe en la prueba de hinca en función de la profundidad, de todos los pilotes. De acuerdo con estos resultados se puede aceptar con un alto grado de probabilidad que el valor de  $e$  es inferior a 27 mm para profundidades mayores de 10 m. En consecuencia, conforme a la prueba de carga, hubiera bastado con hincar los pilotes para una carga de servicio de 64 t a esa profundidad. En el caso de cargas de servicio menores los valores de la penetración por golpe pueden aumentarse, lo que representa menor profundidad de hincado según diagrama de Fig. 4. Por ejemplo, para una carga de 20 t es más que suficiente una profundidad de hincado de 8,50 m, a la cual el valor de  $e$  es inferior a 35 mm.

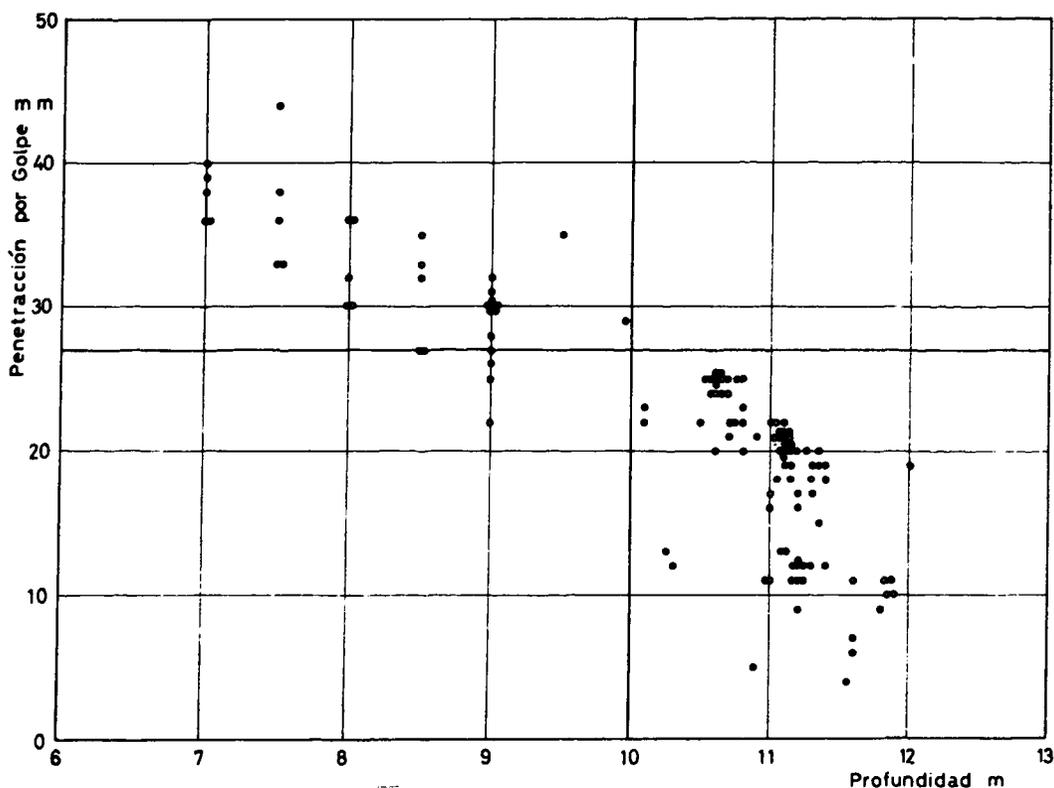


Fig. 4. Penetración por golpe en función de la profundidad en todas las pruebas de hinca.

Como conclusión del presente estudio se observa la importancia del reconocimiento de suelos que permite, en una área geológica en que ya se conoce el comportamiento de los pilotes bajo carga, hacer un diseño bastante ajustado. En caso de que no haya experiencia de este comportamiento, el uso de las relaciones empíricas tales como la fórmula holandesa no son seguras o pueden, por otra parte, dar una solución excesivamente cara, que justifica una prueba de carga de pilotes, especialmente en el caso de construcciones de importancia.

El reconocimiento del suelo mediante sondajes que lleguen hasta una profundidad adecuada más abajo de la punta de los futuros pilotes, combinado con una o varias pruebas de carga realizadas de acuerdo a normas, da la solución más adecuada dentro de un criterio de seguridad y economía.

## RECONOCIMIENTO

La colocación de los pilotes y preparación de todos los elementos para la prueba estuvo a cargo del Sr. Jorge Lobos Troncoso a quien el autor agradece la colaboración prestada.

## REFERENCIAS

1. ASTM D 1143-61T. *Load-settlement relationship for individual piles under vertical axial load.*
2. *Certificado de ensaye* N° 86407, 28 enero 1968. IDIEM.
3. Norma Canadiense y recomendaciones de Terzaghi y Peck, en la práctica norteamericana.

## LOAD TEST ON A FRANKI POINT BEARING PILE

### SUMMARY:

*A theoretical analysis of soil conditions based upon its stratigraphy was made. It was found that enough bearing capacity would be attained driving the piles to a less deep layer with larger penetration per blow than the one called for by the Dutch Formula in connection with Pilotes Franki Chilena recommendations. A load test on a pile performed at the job site whose results and interpretation are given in this paper confirmed the proposed solution.*

Revista del IDIEM vol. 7, nº 1 (junio 1968)

### ERRATA IMPORTANTE

Pág.	Línea	Añadir después de <i>Summary</i>
34	- 7	<i>The Refrigerated Slaughterhouse of Valdivia was designed to be founded on point bearing piles.</i>