CDU 626.13.001.24:006.354(729.1) NORMA CUBANA

REPUBLICA DE CUBA

Proyectos de Construcción
CANALES MARITIMOS
Método de cálculo

NC 53-176

1987

Construction Designs.
Seaways. Calculation
Method

Проекты строительства. Морские каналы.
Метод расчёта

Esta norma establece los procedimientos para determinar la profundidad y anchura en canales de una o dos sendas de navegación, asegurando el paso ininterrumpido del buque modelo considerando todos los factores que influyen en la sección transversal.

Se aplicará a los canales naturales o artificiales de perfiles completos o incompleto de proyectos de obras nuevas, de mantenimiento o de reconstrucción.

1. Generalidades

1.1 En la determinación de las secciones transversales de las entradas de puertos y en canales, la consideración de las condiciones geotécnicas e hidrometereológicas de las zonas de emplazamiento, así como las características y frecuencias del buque modelo son necesarias para el cálculo de la profundidad.

1.2 Para una mejor compresión de los canales con perfiles completo o incompleto véase las figuras 1a y 1b del Anexo A.

2. Términos y definiciones

Para los efectos de la presente norma se establecen los términos y definiciones siguientes:

2.1 Buque modelo. Aquel que resulta de seleccionar los parámetros mayores del conjunto de buques que operen en el puerto.

2.2 Canales naturales. Aquellos que su trazado está determinado por existir profundidad y anchura suficiente que permite el paso ininterrumpido del buque modelo.

2.3 Canales artificiales. Aquellos que al no existir profundidad y anchura natural hay que ejecutar trabajo de dragado para asegurar el paso ininterrumpido del buque modelo.

Aprobada: Diciembre 1987

ESTA NORMA ES OBLIGATORIA

Vigente a partir de: Diciembre 1988

COMITE ESTATAL DE NORMALIZACION, Nivel Central. Egido No. 610 e/ Gloria y Apodaca. Municipio Habana Vieja

2.4 Velocidad máxima admisible. Aquella cuyos límites no sobrepasa a la velocidad crítica del buque en el canal.

2.5 Velocidad mínima. Velocidad en la cual el buque pierde el control.

2.6 Velocidad crítica del buque. Velocidad que al ser superada por éste se inicia la formación interna de olas, erosiones y corrientes que provocan los derrumbes de taludes y traslados de los suelos del fondo.

2.7 Margen de navegación. Anchura que existe entre el pie del talud y la senda de navegación expresado en metros.

3. Profundidad de explotación de las aguas en la entrada del puerto o en canales

La profundidad de navegación o explotación He en m en la entrada de puertos o canales de una o dos sendas a partir del nivel de referencia (véase figura 2 del Anexo A), se determina por la fórmula (1) la cual tiene en cuenta el calado y las reservas bajo la quilla que aseguran la circulación del buque modelo en las condiciones hidrometeorológicas tomadas en cuenta.

Se le agrega un valor ΔH para referirla al nivel cero que se seleccione (nivel medio bajo o nivel medio).

$$He = C + Z1 + Z2 + Z3 + ZO + \Delta H \quad (1)$$

donde:

He Propiedad de navegación o explotación (m)

c calado estático medio en verano del buque cargado en la cuaderna maestra (marca Plimsall) (m)

Z1 margen mínimo para la navegación y que es necesaria para su maniobra (m). Se determina mediante la tabla # 1

Z2 margen para asegurar la inmersión del buque navegando cuando hay oleaje, en m y que se determina de la tabla # 2 la cual está en función del largo del buque (E) en m y de la altura de las olas de diseño entre 0,5 y 5 m con una garantía de 3 %. También se puede determinar Z2 del gráfico # 1 que está en función de la relación calado a profundidad en el proyecto $\frac{C.}{Has}$ y la pendiente de la ola para una probabilidad del 3 %. Los valores de Has se toman de la fórmula (4) y (5).

Cuando la ola y el buque forman un ángulo entre sí el margen Z2 de la tabla # 2 o del gráfico # 1 deben multiplicarse por un coeficiente K que depende del ángulo φ en grados sexagesimales, que forma el eje de la entrada o canal con el rumbo del oleaje así:

K = 1,00 para $60° < \varphi < 90°$

K = 1,35 para $30° < \varphi < 60°$

K = 1,70 para $0 < \varphi < 30°$

Los valores de Z2 se aplicarán cuando el buque está a favor o en contra del oleaje.

Z3 Margen debido a la velocidad del buque en la entrada o por el canal (m).

Se refiere a la diferencia de calado que existe entre el buque en movimiento y anclado.

El valor de Z3 se determina del gráfico # 2 (véase anexo B) que está en función del número de Froude y de las curvas: n_1

$$Fr = \frac{V \text{ máx. ad}}{\sqrt{Has\ g}} \qquad (2)$$

donde:

Fr número de Froude

V máx ad velocidad máxima admisible (m/s) superior a la velocidad mínima que se determina por la expresión:

$$V \text{ mín} < V \text{ máx ad} < Verif \qquad (3)$$

donde:

Vmín varía entre 1,03 y 1,5 m/s

$V_{máx\ ad} = 0,9$ verit para canales de paredes protegidas

V máx ad = 0,7 para canales de paredes no protegidas

Vcrit velocidad crítica del buque (m/s)

Has profundidad asumida por proyecto (m) se toma de acuerdo a la sedimentación

Has = 1,15 cuando no hay sedimentación (4)

Has = 1,20 cuando hay sedimentación (5)

El valor de n_1 del grupo # 2 (véase anexo B) se determina por la expresión siguiente:

$$n_1 = n_q \qquad (6)$$

siendo:

$$n = \frac{Sc}{\text{⌀}} \qquad (7)$$ coeficiente adimensional

donde:

Sc sección transversal para el completo o incompleto bajo el nivel de las aguas en m^2

⌀ area sumergida del buque (m^2) determinada por la siguiente expresión:

$$\text{⌀} = MC \qquad (8)$$

donde:

M manga del buque (m)

C calado (m)

q coeficiente de corrección que se le aplica al valor n y que se determina del gráfico # 3 del anexo B y de las curvas $\frac{h_o}{H_{as}}$

Cuando la entrada o el canal es de doble sentido de navegación, el valor de Z_3 se aumenta en un 80 %.

Z_o Margen para tomar la escora (inclinación en sentido transversal del buque) y que es debido a la asimetría de la carga o al giro brusco del timón hacia el lado opuesto al existente.

El valor de Z_o se determina por la expresión:

$$Z_o = \frac{M}{2} \text{ sen } \gamma - Z \qquad (9)$$

donde:

M manga del buque

γ ángulo de escora en grados sexagesimales y que se toma:

γ = 2° para buques porta contenedores

γ = 4° para buques de carga seca o maderos que carguen más de 60 000 N

γ = 8° para buques de carga seca o madereros que carguen menos de 60 000 N

Para buques de gran porte el ángulo de escora es pequeño (menor de 2°)

En ningún caso el valor de Z_0 puede ser menor que 0,5 Z Δ H diferencia entre el nivel de referencia y el nivel cero escogido. El valor de Δ H es positivo siempre que el nivel de referencia quede por debajo del nivel cero seleccionado.

3.1 El nivel de referencia o de cálculo en las entradas de los puertos y en los canales se establece del estudio del gráfico de variación de marca del lugar de emplazamiento de la obra para un largo período de tiempo (mínimo un año) (ver figura 3 del Anexo A). Este tendrá la condición de asegurar el paso ininterrumpido del buque modelo en un 99,5 a 97 % del tiempo o lo que es equivalente si ésta fuera para 365 días, solamente 2 ó 12 días del año el buque no pasará por ser el nivel inferior al del referencia.

El límite inferior de no paso 99,5 % corresponde al caso de pequeñas amplitudes de oscilaciones de marea y el superior corresponde a grandes amplitudes.

Cuando hay poco tráfico de buques se permite tomar valores de aseguramiento menores si se posee suficiente argumento de peso.

Tabla 1 Valores de Z_1

Clasificación del suelo entre las profundidades H_{as} y H_{as} + 0,5 m	En la entrada de los puertos	En toda otra zona del acuatorio
Cieno	0,04 C	0,03 C
Suelos de sedimentación Arena Arenas cienosas Arenas conchíferas Suelos gravosos	0,05 C	0,04 C
Suelos densos Arenas densas Arcillas densas	0,06 C	0,05 C
Suelos rocosos	0,07	0,06 C

Tabla 2 Determinación de los valores de Z2

Eslora del buque en M	Altura de la ola en m con el 3 % de garantía									
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
75	0	0,05	0,02	0,35	0,55	0,75	1,05	1,30	1,80	1,80
100	0	0,05	0,15	0,25	0,40	0,60	0,80	1,05	1,30	1,80
150	0	0	0,05	0,15	0,25	0,35	0,50	0,65	0,85	1,10
200	0	0	0,05	0,05	0,13	0,25	0,50	0,60	0,80	0,80
250	0	0	0	0,05	0,10	0,15	0,20	0,35	0,45	0,80
300	0	0	0	0	0,05	0,10	0,20	0,25	0,35	0,50

3.2 Las propiedades de proyección (H_p en m) en la entrada de un puerto o en un canal se determina por la siguiente expresión:

$$H_p = H_e + Z_4 \qquad (10)$$

donde:

H_p propiedades de proyección tomada a partir del nivel de referencia (m)

H_e profundidad de navegación o explotación (m)

Z4 reserva para tomar la sedimentación en el fondo en m y se determina por la siguiente fórmula:

$$Z4 = \frac{h_e}{1 - S} - h_e \qquad (11)$$

donde:

he profundidad del corte efectuado que permanece en explotación y se determina por:

$$h_e = H_e - h_b \qquad (12)$$

donde:

H_e profundidad de navegación o explotación (m)

h_b profundidad fuera del canal (m)

siendo:

$$S = \frac{a \; h_{ola}}{\sqrt{H_e}} \qquad (13)$$

donde:

a coeficiente que está en función del tipo de material del corte y sus valores se dan en la tabla 3

h_{ola} altura de la ola (m)

Cuando el valor de Z4 obtenido de la fórmula (11) es mayor de 1,20 n, entonces se toma como límite Z4=1,20 m

Tabla 3 Valores del coeficiente a

Tipo de suelo	Valor del coeficiente a
Cieno	0,5
Arena cienosa	0,4
Arena	0,3
Poca sedimentación	0,15

4. Anchura de entrada de puerto o canales

4.1 Para canales de una senda

4.1.1 Determinación del número de sendas de una entrada de puerto o canal. Para esta determinación se tendrá en cuenta el régimen de circulación, el que depende de las maniobras de las embarcaciones, la velocidad máxima permisible y la longitud a recorrer.

En una entrada o canal de una sola senda al aumentar las maniobras pueden aparecer y crecer los tiempos improductivos de espera para el uso del mismo.

En una entrada o canal de dos sendas de circulación los tiempos improductivos pueden ser menores pero aparecerán gastos adicionales por el ensachamiento a dos sendas.

El tiempo improductivo de los buques en espera del paso por la entrada o canal depende de la frecuencia de éstos y del tiempo de recorrido.

Para determinar que la entrada o canal tenga una senda, el tiempo de recorrido 9(tk) del canal por el buque deberá ser menor que las frecuencias sucesivas de llegadas de embarcaciones a la entrada del canal desde ambos sentidos para un día del mes de mayor maniobra.

Esta relación se expresa por:

$$tk < \frac{24}{N} \qquad (14)$$

siendo:

N promedio diario de maniobras en el mes de mayor intensidad

Lc longitud del canal (m)

24 horas de un día

tk la suma de los tiempos de recorrido del buque por el canal y el tiempo empleado por el buque en la preparación de entrada (salida) al canal en horas

$$t\,k = \frac{Lc}{V\ máx\ ad\ .\ 60} + t\ prep \qquad (15)$$

donde:

60 factor de conversión admisible de minuto a horas

V máx ad Velocidad máxima admisible del buque en el canal (m/s)

t prep tiempo de preparación (h)

Si el tiempo de recorrido $t_k > \frac{24}{N}$ se determinará la anchura del canal a dos sendas basado en un estudio técnico-económico que tenga en cuenta las inversiones empleadas en la flota y el canal como son: los gastos de explotación ocasionado por el tiempo improductivo de la flota en espera por el paso por el canal contra el costo de la realización del dragado necesario para obtener la profundidad necesaria en el ensanche del canal a dos sendas de circulación.

De la comparación económica de las variantes, se analizan sólo los gastos adicionales relacionados con los que le corresponde el ensanche de dos sendas de circulación.

La variante que se seleccionará para las dos sendas, será aquella que los citados gastos cumplan la condición:

$$En\ .\ If + Gf > In\ .\ Ic + Gc \qquad (16)$$

donde:

donde:

En coeficiente normativo de resarcimiento de las inversiones empleadas en los trabajos de dragado para la flota de transporte y se toma igual a 0,12

I_f I_c inversiones adicionales en la flota y en el ensanchamiento del canal en pesos

G_f G_c gastos adicionales de explotación de la flota y en el canal en pesos.

4.1.2 Anchura de entrada o canal de una senda. La anchura de navegación o explotación Be' en la base del canal (véase figura 2), se determina por la siguiente expresión:

$$Be' = Sn + 2\,MN \qquad (17)$$

donde:

Be' anchura de navegación o explotación (m)

MN margen de navegación (véase figura 5) (m)

siendo:

$$MN = 0,5 \qquad (18)$$

$$MN < 0,5 \text{ siendo } \frac{hb}{has} > 0,7 \qquad (19)$$

donde:

hb profundidad fuera del canal (m)

M manga del buque

SN anchura de la senda de navegación para buques modelos a plena carga o en lastre (seleccionándose la mayor)

siendo:

$$SN = E \operatorname{sen} (\alpha_1 + \alpha_2) + M \cos (\alpha_1 + \alpha_2) + t \operatorname{sen} \beta \; Vmáx\ ad \qquad (20)$$

donde:

E eslora del buque (m)

M manga del buque

α_1 angulo de desviación que forma el rumbo actual del buque con el rumbo verdadero debido a la presión de la corriente sobre el buque en grados sexage-

simales y que depende de la relación entre la velocidad de la corriente Vc en m/s, a la velocidad máxima admisible del buque en el canal en m/s y del ángulo Θ_c que forma el rumbo verdadero y la dirección de la corriente en grados sexagesimales tomados de la tabla 4.

A los valores de α_1, en los perfiles incompletos hay que introducirles una conexión debida a las propiedades de los taludes que se realiza por la expresión siguiente:

$$\alpha_1'' = \frac{hb}{c} \alpha_1 \quad (21)$$

donde:

hb profundidad fuera del canal (m)

C calado a plena carga del buque modelo (m)

α_1 ángulo definido

α_2 ángulo de desviación que forma el rumbo actual del buque con el rumbo verdadero debido a la presión del viento sobre el buque en grados sexagesimales y que depende de la relación entre la velocidad del viento en el buque V_b en m/s, a la velocidad máxima admisible del buque en el canal en m/s y del ángulo Θ_v que forma el rumbo verdadero del buque y la dirección del viento medio en el buque en grados sexagesimales y que aparece en la tabla 5.

V_b velocidad del viento medida en el buque la que se determina por la suma vectorial de la velocidad del viento en el lugar (valor tomado de las informaciones meteorológicas) y el vector velocidad del buque en sentido contrario. El vector resultante es el V_b en magnitud y sentido (véase figura 6).

Notas:

1) Las combinaciones de las direcciones del viento y corriente se tomarán de manera que los valores y α_1 y α_2 siempre sean máximos

2) El máximo valor permisible para la suma $\alpha_1 + \alpha_2$ se toma igual a 25°

3) En el caso que hay olas mayores de 2,0 m se deberá incrementar el valor de SN en un 15 %

β ángulo de desviación del timón en grado sexagesimal generalmente se toma t sen = 3 s.

siendo:

t tiempo en que se demora responder el timón del buque a un giro en segundos y que es característico de cada buque.

Tabla 4 Determinación del ángulo de desviación debido a la corriente

V_o / Vmáx.ad	Angulo entre el rumbo verdadero del buque y la dirección de la corriente en grados sexagesimales						
	10	30	60	90	120	150	170
0,03	0	1	2	2	2	1	0
0,05	0,5	2	3	3	2	1	0,5
0,07	1	2	4	4	3	2	1
0,1	1	3	6	6	5	3	1
0,2	2	7	11	11	9	5	2
0,3	4	12	17	17	13	7	2
0,4	6	17	23	22	16	8	3
0,5	10	23	30	27	19	10	3

Tabla 5 Determinación del ángulo (α_2) de desviación del buque y dirección del viento V_b en m/s

V_b / V máx.ad	Angulo entre el rumbo verdadero del buque y dirección del viento V_b en m/s							
	BUQUE EN LASTRE				BUQUE A PLENA CARGA			
	10	30	60	90	10	30	60	90
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	2	3	4	0	0	0	0
3	1	4	6	7	0	0	1	2
4	3	5	9	10	0	1	2	3
5	4	8	12	13	0	2	4	4
6	5	10	14	16	1	3	5	6
7	6	12	17	18	1,5	4	6	7
8	8	15	20	21	2	5	7	8
9	9	17	22	24	2,5	6	9	10
10	10	19	24	26	3	7	10	11

4.1.3 Anchura de proyección. La anchura de proyección B'p en la base de un canal de una sola senda (véase figura 5) expresado en metros, se determina por la fórmula:

$$B'p = B'e + RS \quad (22)$$

donde:

B'p anchura de proyección (m)

B'e anchura de navegación o explotación (m)

RS reserva que toma en cuenta el desplome de los taludes antes o después del dragado.

4.1.3.1 El valor RS se determina por la siguiente expresión:

$$RS = 0,40\ m_o\ (H_p - h_b)$$

donde:

m_o relación entre la distancia horizontal y la vertical del talud natural que se asume durante la proyección y que depende del tipo de suelo. Los valores de m_o se obtendrán de acuerdo a los análisis geológicos.

h_b profundidad fuera del canal (m)

H_p profundidad de proyección tomada a partir del nivel de referencia (m)

4.2 Para canales de dos sendas

4.2.1 Anchura de entrada o canal de dos sendas. La anchura de navegación o explotación B''_e de la base de un canal de dos sendas de navegación (véase figura 5) se expresa en metros y se determina por la fórmula siguiente:

$$B''e = SN + S'N + 2\ MN + MSN \quad (24)$$

donde:

S'N anchura de la senda de navegación para el buque modelo

Se calcula de la misma forma que para una senda (véase apartado 4.1.2)

MN margen de navegación (m)

se calcula de la misma forma que para una senda (véase apartado 4.1.2)

MSN margen de separación entre sendas de navegación (m)

siendo:

$$MSN = M \qquad (25)$$

donde·

M manga del buque

Al ancho de la senda de navegación para el buque en lastre generalmente se le hace una corrección por diferencia de calado y se expresa por:

$$Q = - (c - c_1) \quad m_1 \qquad (26)$$

donde:

c calado a plena carga del buque modelo (m)

c_1 calado en lastre del buque modelo (m)

siendo:

$$m_1 = m_o \quad (j) \qquad (27)$$

donde:

j es un coeficiente que se determina teniendo en cuenta:

$$j = 2 \quad \text{cuando } H_{as} < 1,5$$

$$j = 1,5 \quad \text{cuando } H_{as} \geqslant 1,5$$

4.2.2 Anchura de proyección. La anchura de proyección B_p'' en la base del canal en dos sendas (véase figura 7) expresada en metros, se determina por la expresión siguiente:

$$B_p'' = B_e'' + RS \qquad (28)$$

donde:

B_e'' anchura de navegación o explotación (m) véase apartado 4.2.1

RS reserva que toma en cuenta el desplome de los taludes antes o después del dragado.

Para determinar el ancho de un canal se realiza el cálculo por lo menos de dos variantes de velocidad máxima no mayor de 4,15 m/s, escogiendo aquella en la que se cumple la condición planteada en la fórmula 5 de la sección 3.

5. Determinación de la velocidad crítica

5.1 Velocidad crítica en canales trapezoidales de perfiles completos. Esta velocidad se determina por la expresión siguiente:

$$Veri = \sqrt{\frac{Sc \cdot g}{B'n}} \cdot f\ (n) \qquad (29)$$

donde:

B'n anchura del canal en la superficie del agua (m)

g anchura de la gravedad (9,81 m/s^2)

S_c sección transversal bajo el nivel del agua (m^2)

siendo:

$$Sc = \frac{B'n + B'p}{2} \cdot Has \qquad (30)$$

donde:

B'p anchura del canal a nivel del fondo (m)

Has profundidad asumida para proyectar (m) (véase sección 3)

f(n) valor que se toma del gráfico 4 (véase Anexo B) en función de la curva K = f (n) y de n.

siendo:

n coeficiente adimensional expresado

$$n = \frac{Sc}{\text{⌀}} \qquad (31)$$

donde:

⌀ área sumergida del buque (m^2) (véase sección 3)

M manga del buque

C calado (m)

5.1.2 Velocidad crítica en canales trapezoidales en perfiles incompletos. Esta velocidad se calcula de la forma siguiente y se expresa en m/s.

$$Vcri = \sqrt{\frac{S'_c \cdot g}{B'P + 2m_o.Has}} \cdot f\ (n) \qquad (33)$$

donde:

B'p anchura en el fondo que se determina en (m) proyecto para perfil incompleto

m_o véase apartado 4.1.3.1

Has profundidad asumida para proyector (véase sección 3)

f (n) véase apartado 5.1.1

S'c sección transversal bajo el agua (m^2)

siendo:

$$S'_c = \frac{B'n + B'p}{2} \cdot Has \qquad (34)$$

donde:

B'n ancho del canal en la superficie (m) del agua (véase figura 9) y se determina

$$B'n = B'p + 2\, m_o \cdot Has \qquad (35)$$

COMPLEMENTO

Bibliografía consultada:

MIROSHNICHENKO. Explotación de canales marítimos Moscú, 1982

HENRY F. CORNICK. Diseño de puertas de atraque e ingeniería de puertos, 1959. Londres, Inglaterra

Vice Almirante Barbudo Duarte. Tratado de miembros de buques. España. Edición cubana 1971

Manual para dragado. URSS, 1970

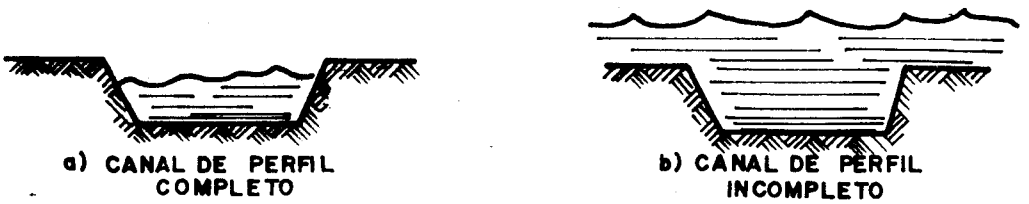

FIG.1 PERFILES DE CANALES

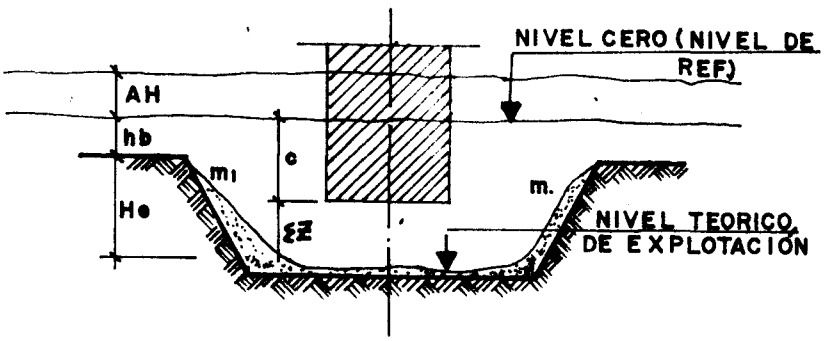

FIG. 2. MOSTRANDO LA PROFUNDIDAD DE EXPLOTACIÓN He.

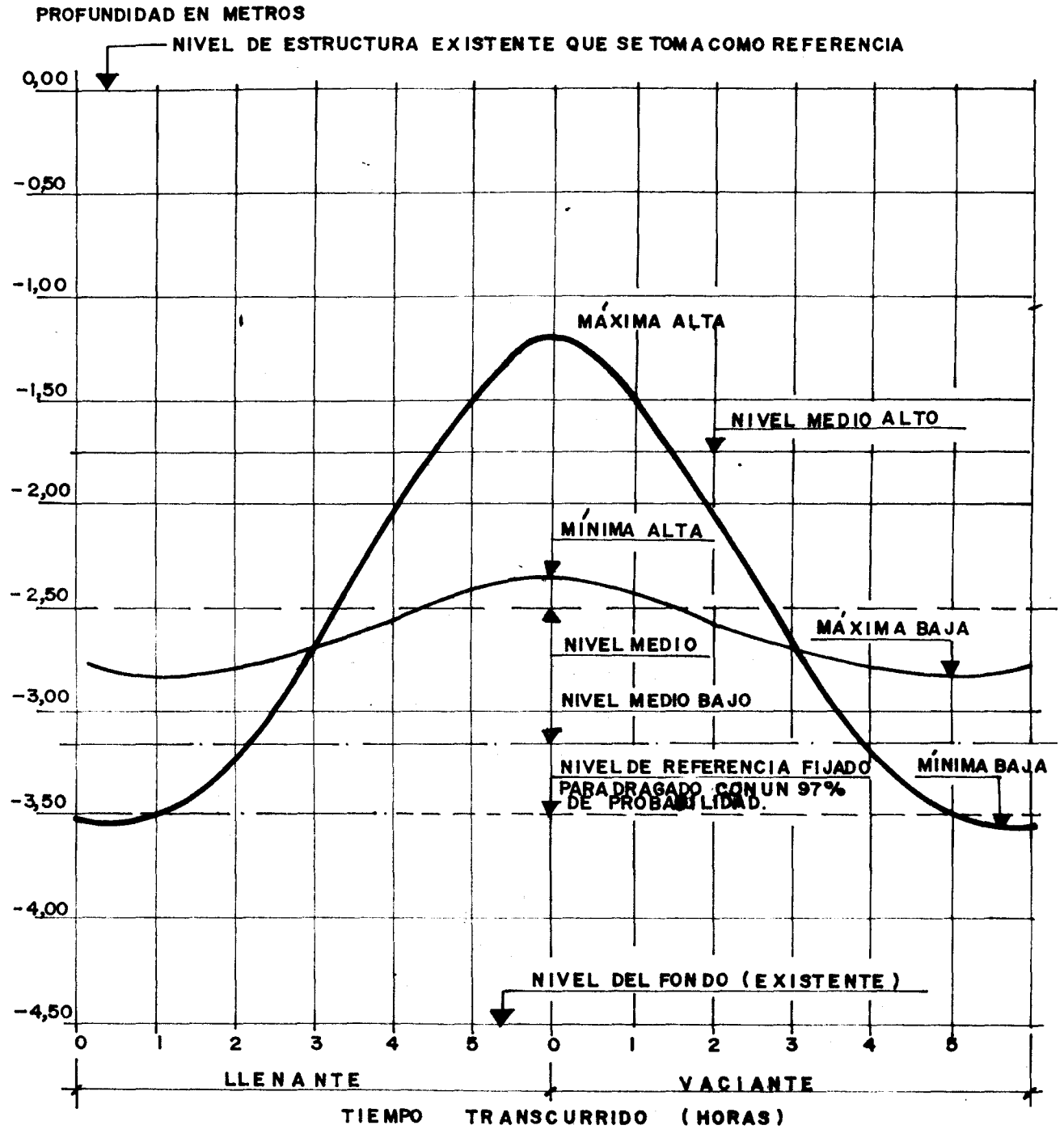

FIG. 3 MOSTRANDO ESQUEMATICAMENTE LAS VARIACIONES EN LA MAREAS Y CON LAS NOMINACIONES DE NIVELES Y AL NIVEL DE REFERENCIA ESCOGIDO PARA EL 91% DE PROBABILIDAD.

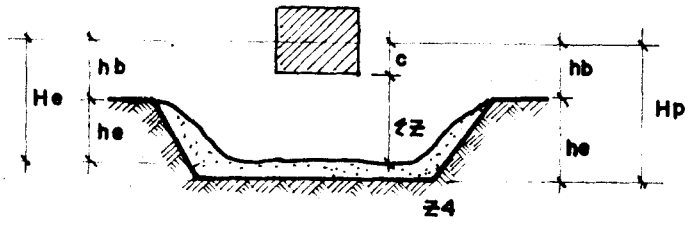

FIG. 4 MOSTRANDO LA PROFUNDIDAD DE PROYECCION Hp

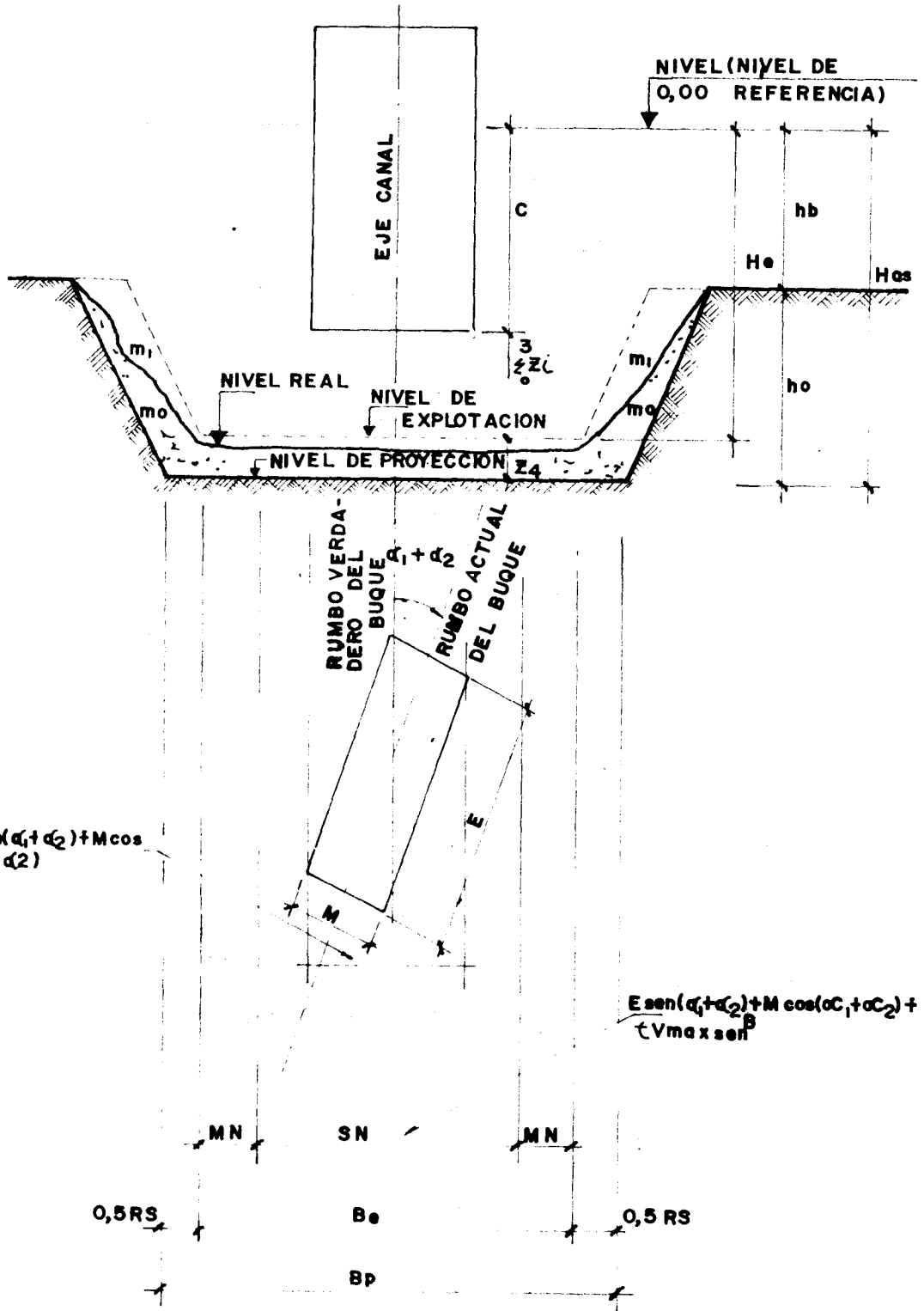

FIG. 5. MOSTRANDO LAS DIMENSIONES CARACTERISTICAS DE LA SECCION TRANSVERSAL DEL CANAL

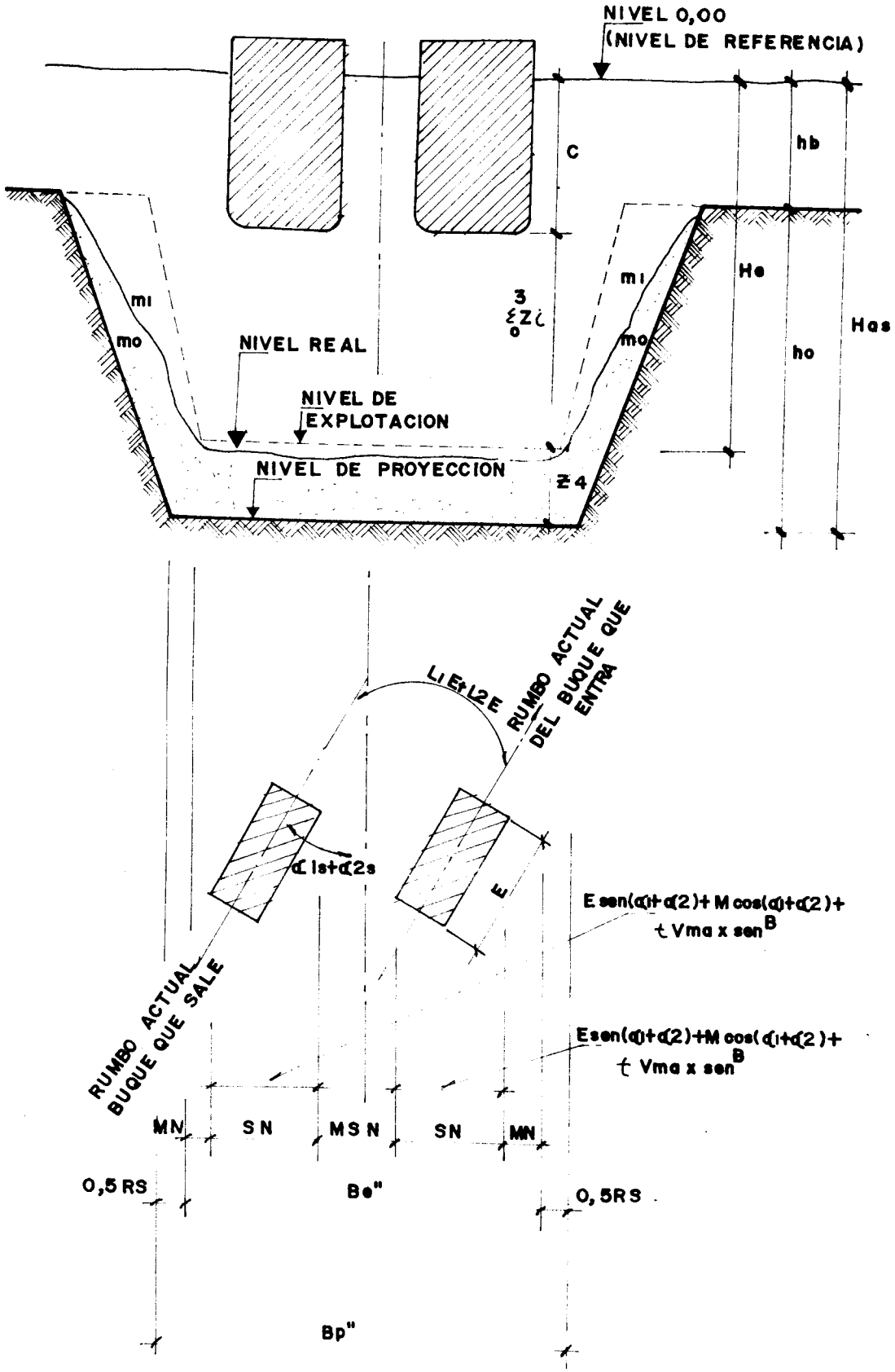

FIG. 7 MOSTRANDO LAS DIMENSIONES CARACTERISTICAS DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL CANAL.

(13 a)

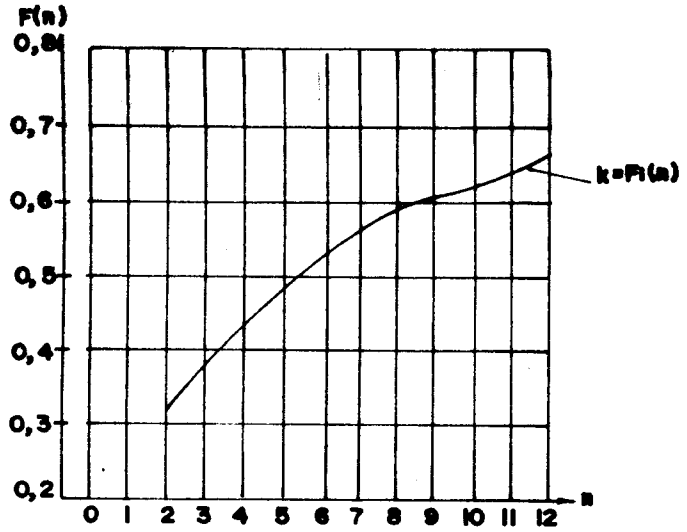

GRAFICO 4. PARA DETERMINAR EL VALOR F(n)

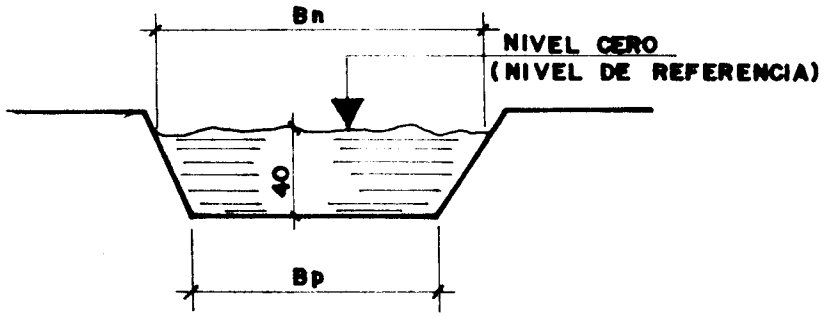

FIG. 8 MOSTRANDO LAS DIMENSIONES DEL CANAL

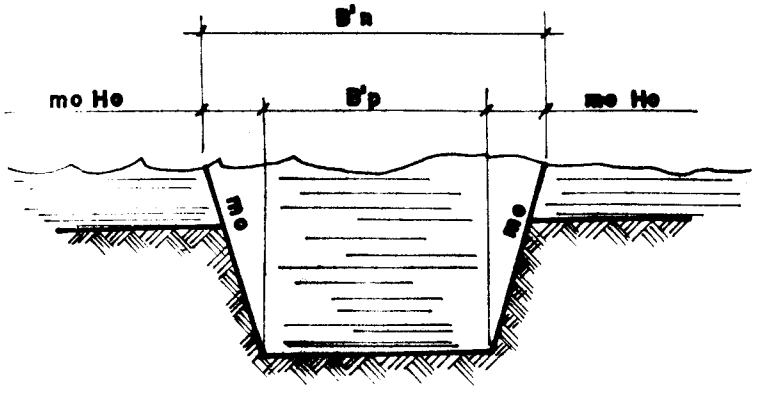

FIG.9 MOSTRANDO LAS DIMENSIONES DEL CANAL

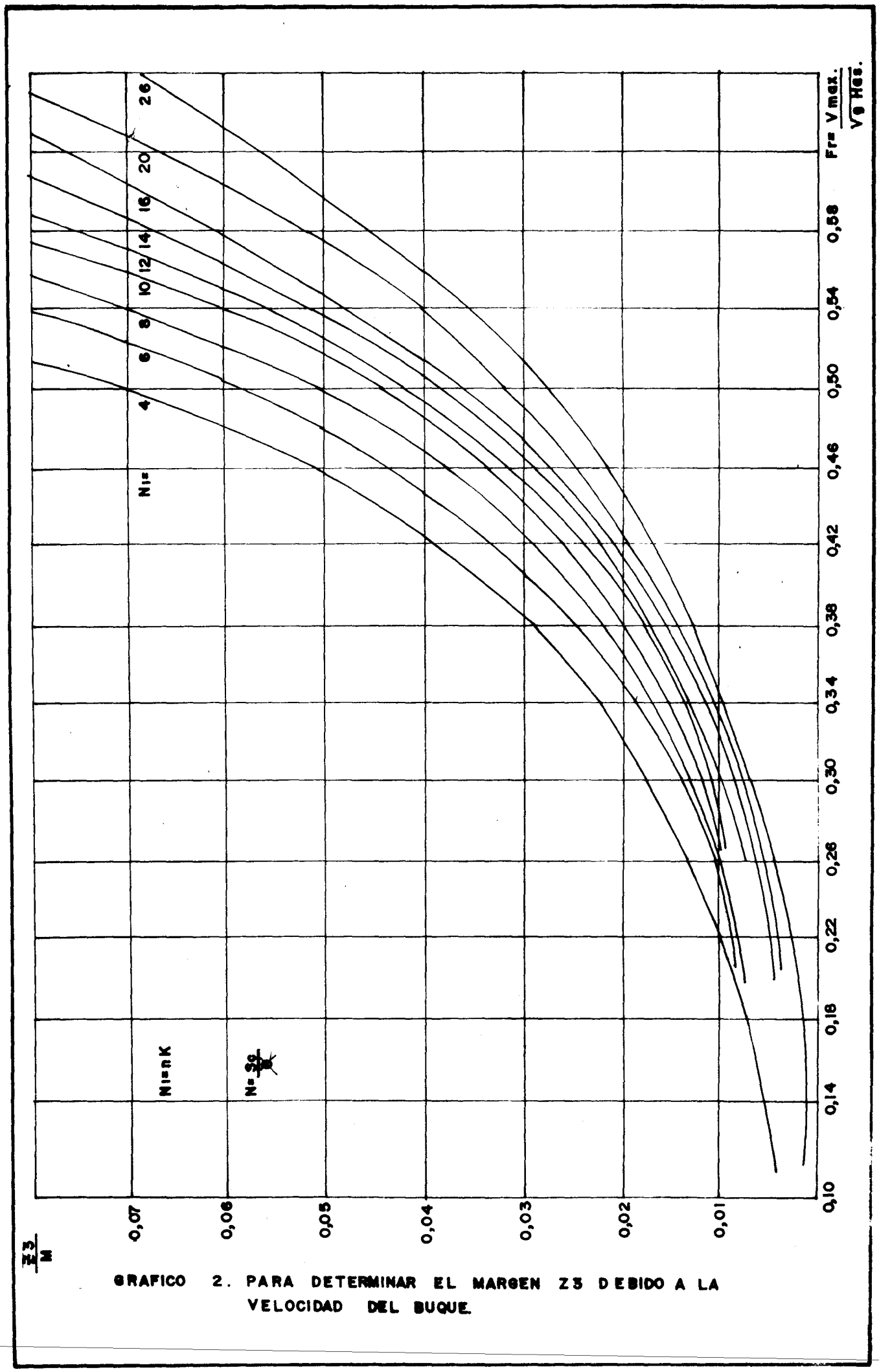

GRAFICO 2. PARA DETERMINAR EL MARGEN Z3 DEBIDO A LA VELOCIDAD DEL BUQUE.

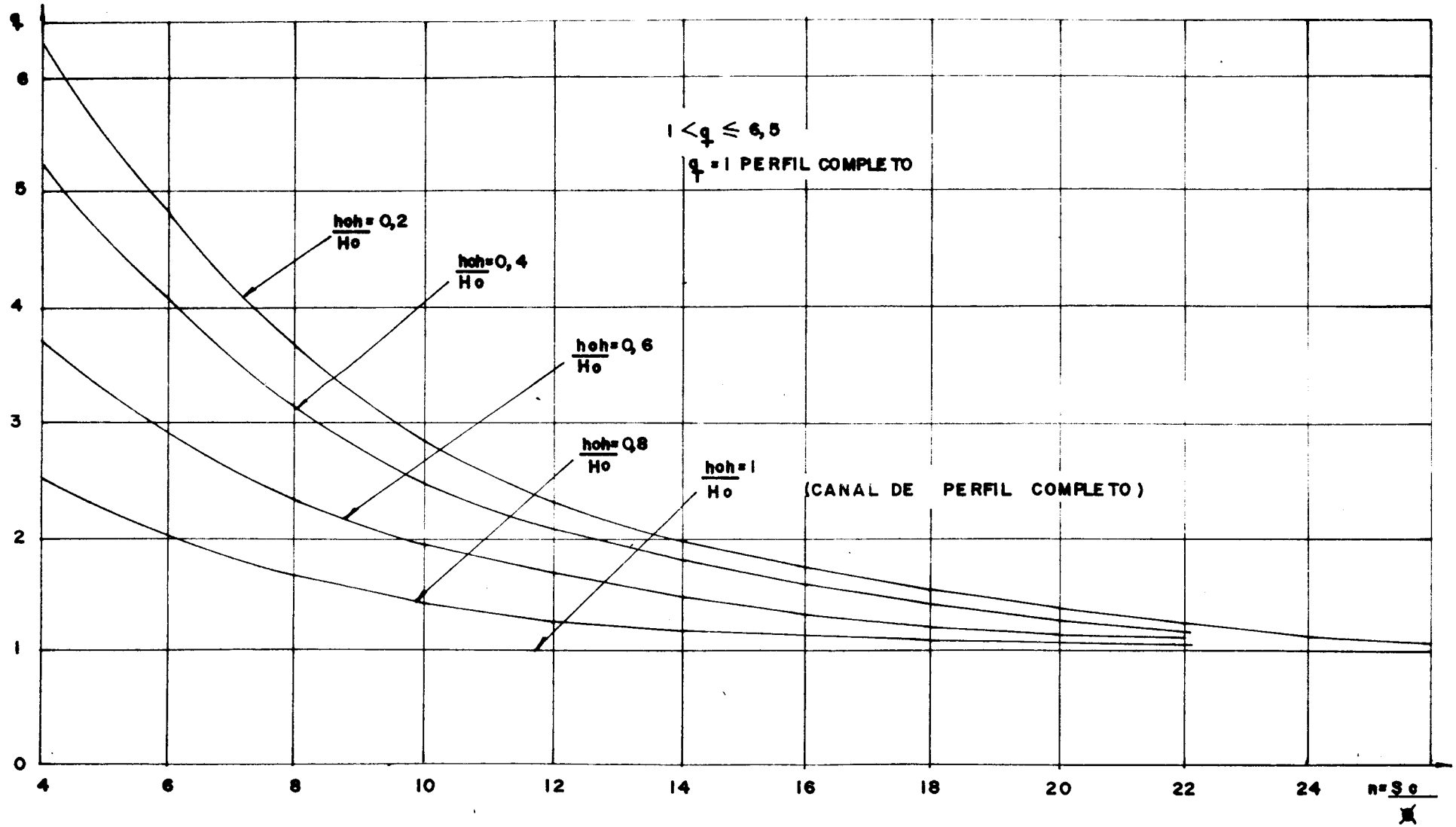

GRÁFICO # 3 DETERMINACION DEL COHEFICIENTE q

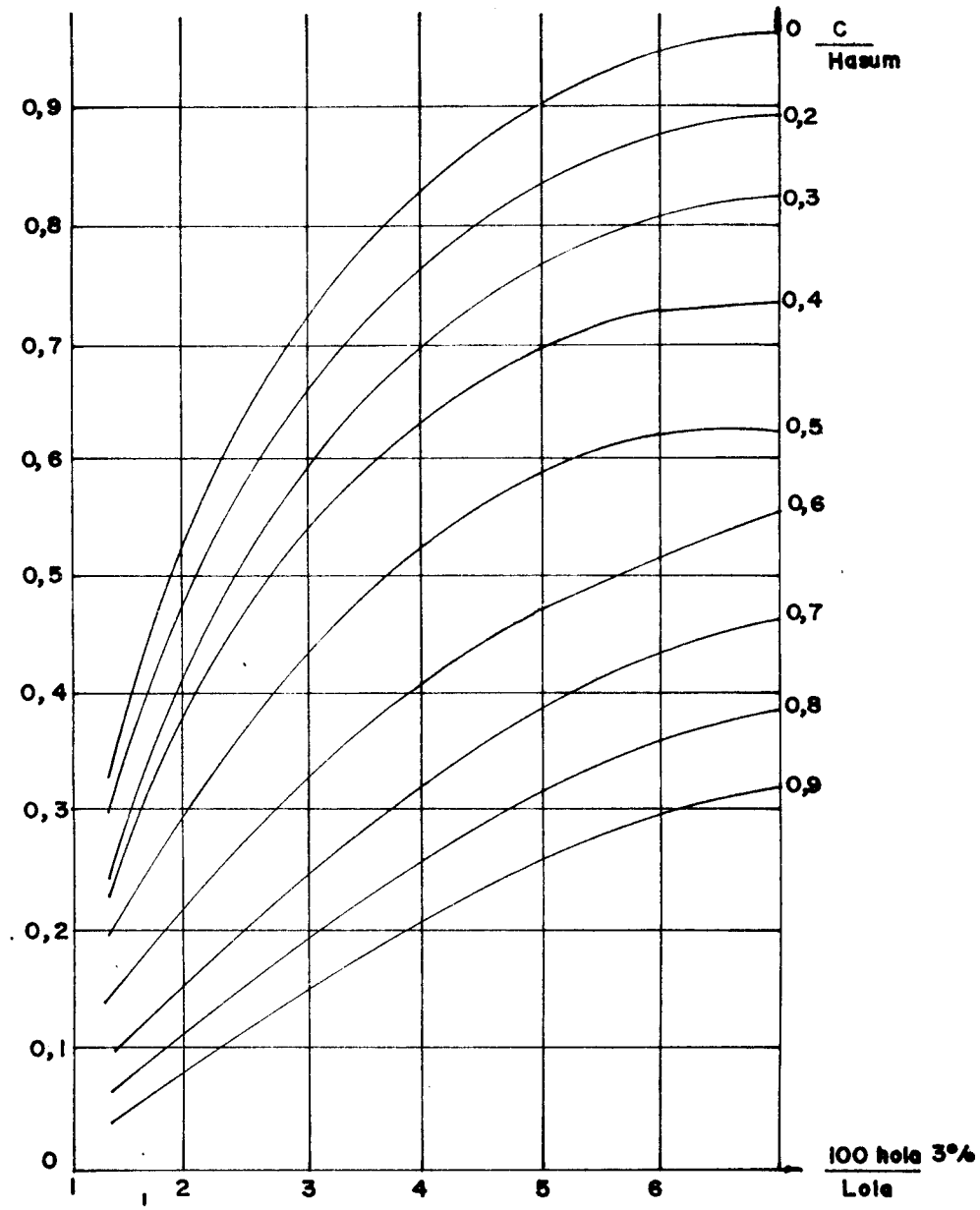

GRAFICO # 1 PARA DETERMINAR EL MARGEN DE LA OLA Z_2

FIG. 3 a.

UNIDAD IMPRESORA cen

Tirada: 6010 ejemplares

Fecha de impresión: Mayo 1988