

0284

02 01149

FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M. 99
DIVISION DEL DOCTORADO

[Faint handwritten text]

[Faint handwritten text]

MAESTRIA EN VIAS TERRESTRES

[Faint handwritten text]

ING. RAUL VICENTE OROZCO SANTOYO

[Faint handwritten text]

BIBLIOTECA DE LA
DIVISION DEL DOCTORADO

M é x i c o, D. F.
1 9 6 3

26

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

A la Universidad Nacional Autónoma de México

DEDICO ESTA TESIS:

A MI PADRE EJEMPLAR EL
ING. ERNESTO OROZCO Y O.
A QUIEN TRATO DE IMITAR.

A MI MADRE Y A MIS HER-
MANOS CON TODO CARÍÑO.

A MIS TIOS

A TODOS MIS COMPA-
ÑEROS DE TRABAJO.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
División del Doctorado

Of. 1552/63-73

Ing. Raúl Vicente Orozco Santoyo
P r e s e n t e

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a Ud. el tema, que ratificado por esta Dirección, propone el Sr. Prof. Dr. Eulalio Juárez Badillo, para que lo desarrolle como tesis en su examen para Maestro en Ingeniería, (Vías Terrestres)

TITULO DE LA TESIS:

" PROCEDIMIENTOS RAPIDOS DE PROYECTO Y CONTROL APLICABLE
EN VIAS TERRESTRES "

Al mismo tiempo hago de su conocimiento que deberán entregarse 10 copias de la tesis a la Secretaría de esta División.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
México, D. F., a 8 de enero de 1963
JEFE DE LA DIVISION


DR. ROGER DIAZ DE COSSIO

RDC/gsg'

DIVISION DEL DOCTORADO

MAESTRIA: VIAS TERRESTRES
TEMA DE TESIS: PROCEDIMIENTOS RAPIDOS DE PROYECTO Y CONTROL APLICABLES EN VIAS TERRESTRES.

DESARROLLO DEL TEMA:

I.- GENERALIDADES	1
II.- ESTUDIO DE LOS PROCEDIMIENTOS	
A) CONTROL DE LA COMPACTACION EN TERRACERIAS.	3
B) CONTROL DE LA HUMEDAD DE COMPACTACION EN TERRACERIAS.	6
C) CALCULO DE LA CAPACIDAD DE CARGA EN SUELOS "FRICCIONANTES"	8
D) CALCULO DE LA CAPACIDAD DE CARGA EN SUELOS "COHESIVOS"	13
E) CALCULO DE PROPORCIONAMIENTOS DE CONCRETO	16
III.- METODOS PROPUESTOS	
A) METODO RAPIDO PARA CONTROLAR LA COMPACTACION Y LA HUMEDAD DE COMPACTACION EN TERRACERIAS	37
B) METODO RAPIDO PARA ESTIMAR LA CAPACIDAD DE CARGA DE UN SUELO "FRICCIONANTE O COHESIVO"	42
C) METODO RAPIDO PARA DOSIFICAR MEZCLAS DE CONCRETO.	46
BIBLIOGRAFIA	60

ALUMNO: ING. RAUL VICENTE OROZCO SANTOYO
DIRECTOR DE TESIS: DR. EULALIO JUAREZ BADILLO

BIBLIOTECA DE LA
DIVISION DEL DOCTORADO

I.- GENERALIDADES.

La creciente demanda de Técnicos Especializados en las diferentes ramas de la Ingeniería Civil ha hecho indispensable la transmisión de conocimientos y experiencia que poseen los elementos más preparados para poder continuar y perfeccionar la tarea que se han encomendado.

En el campo de Vías Terrestres los problemas que se presentan son tan variados y adquieren tal importancia que requieren frecuentemente la intervención de diferentes Especialistas para su correcta solución. Pero hay problemas que se pueden resolver en el campo aplicando procedimientos expeditos que se basen en criterios aceptables tanto teórica como experimentalmente.

Ese es el espíritu de este trabajo, pugnar por la difusión de tales criterios que presentados en forma sencilla ayuden a resolver muchos de los problemas con que se enfrenta el Ingeniero en el campo.

Como ilustración, se escogieron 5 problemas que se presentan con frecuencia y son los siguientes:

- 1) Cómo obtener el porcentaje de compactación de una terracería sin efectuar pruebas de humedad
- 2) Cómo estimar la humedad de una terracería compactada sin llevar muestras al laboratorio
- 3) Cómo estimar rápidamente en el campo la capacidad de carga de una arena
- 4) Cómo estimar rápidamente en el campo la capacidad de carga de una arcilla
- 5) Cómo dosificar una mezcla de concreto "cohesiva"

Los dos primeros problemas se resolvieron con la ayuda de un método ideado por J.W. Hill del USBR, empleando para el objeto un cilindro de compactación con su pisón y una báscula.

Los problemas relativos a capacidad de carga se resolvieron aplicando los criterios de Terzaghi y Skempton con la ayuda de un penetrómetro estándar.

El último problema se resolvió aplicando un proceso ideado por el autor, con la ventaja de que se puede variar la compacidad de la mezcla a voluntad según los fines que se persigan.

De una manera semejante se pueden seguir presentando métodos prácticos, auxiliares del Ingeniero que desarrolla sus actividades en el campo.

II.- ESTUDIO DE LOS PROCEDIMIENTOS

A) CONTROL DE LA COMPACTACION EN TERRACERIAS

Si llamamos w_r a la humedad del material en el lugar y w_o a la humedad óptima de compactación, el peso volumétrico máximo a la humedad del lugar $\gamma_{Dm}(1+w)$ se puede expresar en la forma siguiente:

$$\gamma_{Dm}(1 + w_r) = \frac{\gamma_{Dm}(1 + w_o)}{1 + w_r} = \frac{\gamma_{Dm}(1 + w_o)}{(1 + w_r) + (w_o - w_r)} = \frac{\gamma_{Dm}(1 + w_o)}{1 + \frac{w_o - w_r}{1 + w_r}} \quad (1)$$

siendo: γ_{Dm} = Peso volumétrico seco máximo del material, compactado a la humedad w_o .

Si ahora llamamos w a una humedad cualquiera del material, el peso volumétrico correspondiente a la humedad del lugar será:

$$\gamma_{D(1 + w_r)} = \frac{\gamma_{D(1 + w)}}{1 + w_r} = \frac{\gamma_{D(1 + w)}}{(1 + w_r) + (w - w_r)} = \frac{\gamma_{D(1 + w)}}{1 + \frac{w - w_r}{1 + w_r}} \quad (2)$$

siendo: γ_D = Peso volumétrico seco del material compactado a la humedad w .

Llamando W_s al peso de los sólidos del material, el incremento de agua respecto a la del lugar (Z) queda expresado por la siguiente fórmula:

$$Z = \frac{w W_s - w_r W_s}{W_s(1 + w_r)} = \frac{w - w_r}{1 + w_r} \quad (3)$$

pudiendo ser este incremento positivo o negativo.

Substituyendo (3) en (2), queda:

$$\gamma_{D(1+w_T)} = \frac{\gamma_{D(1+w)}}{1+Z} \quad (4)$$

Si hacemos $\gamma_{D(1+w_T)} = \gamma'_h$ y
 $\gamma_{D(1+w)} = \gamma_h$, resulta:

$$\boxed{\gamma'_h = \frac{\gamma_h}{1+Z}} \quad (5)$$

Puesto que el porcentaje de compactación se determina dividiendo el peso volumétrico seco del material en el lugar (γ_{D_T}) entre el peso volumétrico seco máximo obtenido en el laboratorio conforme a un procedimiento especificado (γ_{D_m}), se obtendrá el mismo resultado si ambos pesos volumétricos están con una humedad igual a la del lugar; esto se comprueba examinando la siguiente expresión:

$$\%C = \frac{\gamma_{D_T}(1+w_T)}{\gamma_{D_m}(1+w_T)} = \frac{\gamma_{D_T}}{\gamma_{D_m}} \quad (6)$$

siendo: $\gamma_{D_T}(1+w_T)$ = Peso volumétrico del material en el lugar
 $\gamma_{D_m}(1+w_T)$ = Peso volumétrico máximo del material a la humedad de lugar compactado según un procedimiento especificado

$\%C$ = Porcentaje de compactación.-

Haciendo $\gamma_{D_T}(1+w_T) = \gamma_T$ y
 $\gamma_{D_m}(1+w_T) = \gamma'_H$, queda:

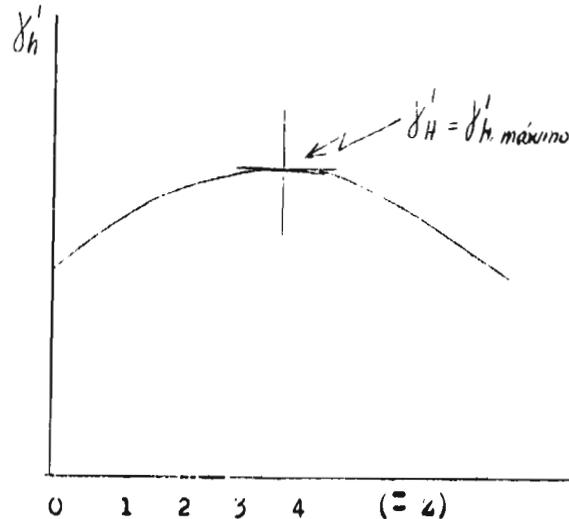
$$\boxed{\%C = \frac{\gamma_T}{\gamma'_H}} \quad (7)$$

Por lo tanto, el porcentaje de compactación en las terracerías se puede calcular con la ayuda de las expresiones 5 y 7

en la forma siguiente:

a) Determinar el peso volumétrico del material en el lugar - -
(γ_r) por cualquier procedimiento.

b) Construir una gráfica " $\gamma'_h - Z$ " para diferentes Z (compactando el material conforme a un procedimiento especificado) aplicando la fórmula 5, y determinar la ordenada máxima (γ'_H) que representa el peso volumétrico máximo del material compactado a la humedad del lugar.



c) Calcular el porcentaje de compactación aplicando la fórmula 7.

Para fines de control en el campo, se ha construido el Nomograma I (parte III-A) que facilita mucho los cálculos.

B) CONTROL DE LA HUMEDAD DE COMPACTACION EN TERRACERIAS.

Si sustituimos en la fórmula 3,2 por Z_m (abscisa correspondiente a la ordenada máxima γ_H' de la curva " $\gamma_h' - Z$ " obtenida al hacer variar Z en la fórmula 5), w se transforme en w_o , -- resultando:

$$Z_m = \frac{w_o - w_T}{1 + w_T} \quad (8)$$

De la fórmula 4 se deduce que:

$$1 + w_T = \frac{1 + w}{1 + Z} \quad (9)$$

Substituyendo en (9) Z por Z_m y w por w_o , queda:

$$1 + w_T = \frac{1 + w_o}{1 + Z_m} \quad (10)$$

Despejando $(w_o - w_T)$ en (8) y haciendo la substitución (9), -- el incremento de agua respecto a la óptima quedará expresado en la siguiente fórmula:

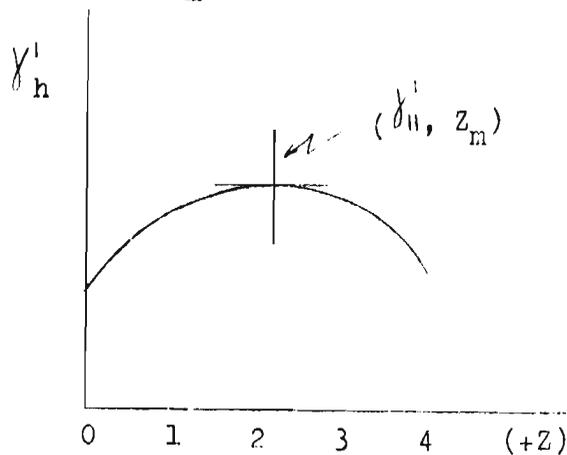
$$w_o - w_T = \frac{Z_m}{1 + Z_m} (1 + w_o) \quad (11)$$

Para valores pequeños de Z_m (menores de 3%), la relación -- $Z_m/(1 + Z_m)$ es prácticamente igual a Z_m , o sea, que para fines -- prácticos la fórmula (11) se puede escribir bajo la forma siguiente:

$$w_o - w_T = Z_m (1 + w_o) \quad (12)$$

Por consiguiente, el incremento de agua (positivo o negativo) respecto a la óptima se puede determinar aproximadamente en la forma siguiente:

a) Construir la gráfica " $\gamma'_h - Z$ " para diferentes Z , (compactando el material conforme a un procedimiento especificado) y determinar la abscisa Z_m correspondiente a la ordenada máxima γ'_h .



b) Calcular el incremento de agua respecto a la óptima aplicando la fórmula 12.-

Para propósitos de control en el campo, se ha construido el Nomograma II (parte III-A) que simplifica los cálculos.

BIBLIOTECA DE LA
DIVISION DEL DOCTORADO

22 FEB. 1966

BIBLIOTECA DE LAS DIVISIONES
DE INVESTIGACION Y DEL DOCTORADO
ESTADO DE INGENIERIA.

C) CALCULO DE LA CAPACIDAD DE CARGA EN SUELOS FRICCIONANTES.

Según K. Terzaghi (Theoretical Soil Mechanics, Cap. VIII) la capacidad de carga a la falla por corte general en un suelo homogéneo viene dada por la fórmula:

$$Q_D = 2 \bar{B} (c N_c + \gamma D_f N_q + \gamma \bar{B} N_\gamma) \quad (1)$$

siendo:

$2 \bar{B}$ = ancho de la zapata

Q_D = capacidad de carga por unidad de longitud de zapata

c = cohesión en la ecuación de Coulomb ($s = c + \sigma \tan \varphi$)

γ = peso volumétrico del suelo

D_f = profundidad de desplante de la zapata

N_c , N_γ y N_q son coeficientes que dependen del ángulo de fricción interna φ que aparece en la ecuación de Coulomb.

Si consideramos la capacidad de carga por unidad de área de una zapata apoyada en un suelo friccionante ($c = 0$), la fórmula 1 se transforma en:

$$q_d = \frac{Q_D}{2\bar{B}} = \gamma D_f N_q + \gamma \bar{B} N_\gamma \quad (2)$$

Llamando ahora "B" al ancho de la zapata, resulta:

$$q_d = 1/2 \cdot \gamma B N_\gamma + \gamma D_f N_q \quad (3)$$

La capacidad de carga admisible con un factor de seguridad de 3 (F.S. = 3), será:

$$q_{ad} = \frac{q_d}{3} = \gamma \cdot B \frac{N\gamma}{6} + \gamma \cdot D_f \frac{Nq}{3} \quad (4)$$

Si hacemos: $R = \frac{N\gamma}{6}$ y $S = \frac{Nq}{3}$, la fórmula 3 se convierte en:

$$q_{ad} = R \gamma B + S \gamma D_f \quad (5)$$

Si valuamos los coeficientes R y S para diferentes valores de ψ y éstos los relacionamos con el número de golpes en la prueba de penetración estándar (N) de acuerdo con la Figura I, resulta - la Tabla I siguiente:

TABLA I .- VALORES DE "R Y S" PARA DIFERENTES "N".-

N	ARENAS DE GRANO GRUESO A MEDIO					ARENAS FINAS		ARENAS LIMOSAS		
	ψ	$N\gamma$	Nq	R	S	ψ	$N\gamma$	Nq	R	S
10	30.0	20.0	22.0	3.33	7.34	29.9	19.0	22.0	3.16	7.33
15	31.5	25.5	27.0	4.25	9.00	31.0	23.0	25.2	3.83	8.40
20	33.0	31.5	33.0	5.25	11.00	32.0	27.5	29.0	4.58	9.66
25	34.5	40.0	41.5	6.66	13.83	33.0	31.5	33.0	5.28	11.00
30	36.0	51.5	52.0	8.59	17.33	33.8	36.5	37.5	6.10	11.50
35	37.3	62.5	62.5	10.40	20.83	34.5	40.5	41.5	6.74	13.83

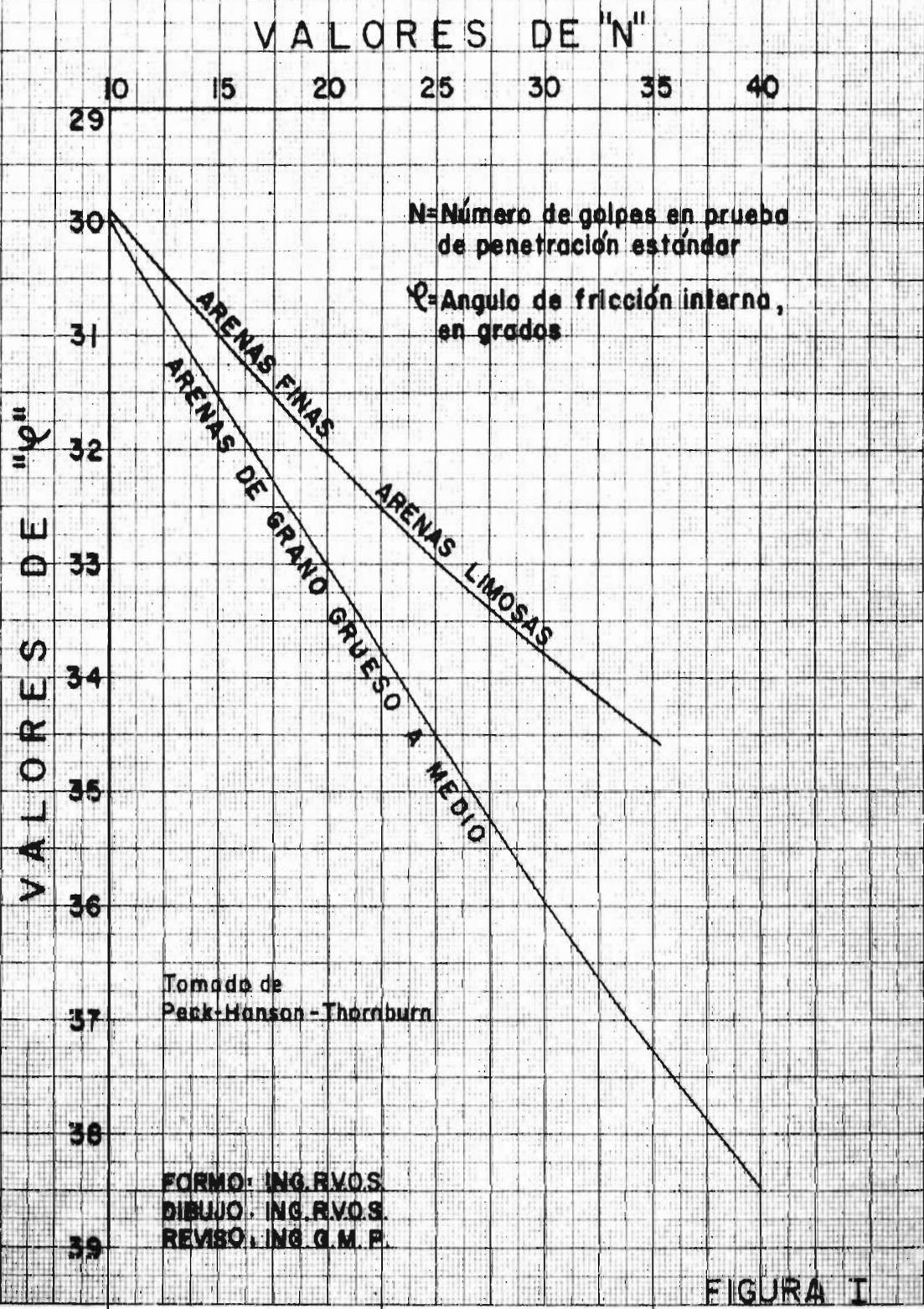
Al construir las gráficas "log R-N" y "log S-N" se ve que son sensiblemente paralelas tanto para arenas gruesas como finas (ver la Figura II).- Por lo tanto:

$$\log R + \log K = \log S \quad (6)$$

siendo K una constante. Aplicando las propiedades de los logaritmos, tenemos:

$$\begin{aligned} \log RK &= \log S \\ RK &= S \\ K &= \frac{S}{R} \doteq 2 \end{aligned} \quad (7)$$

RELACION ENTRE N Y ϕ EN ARENAS



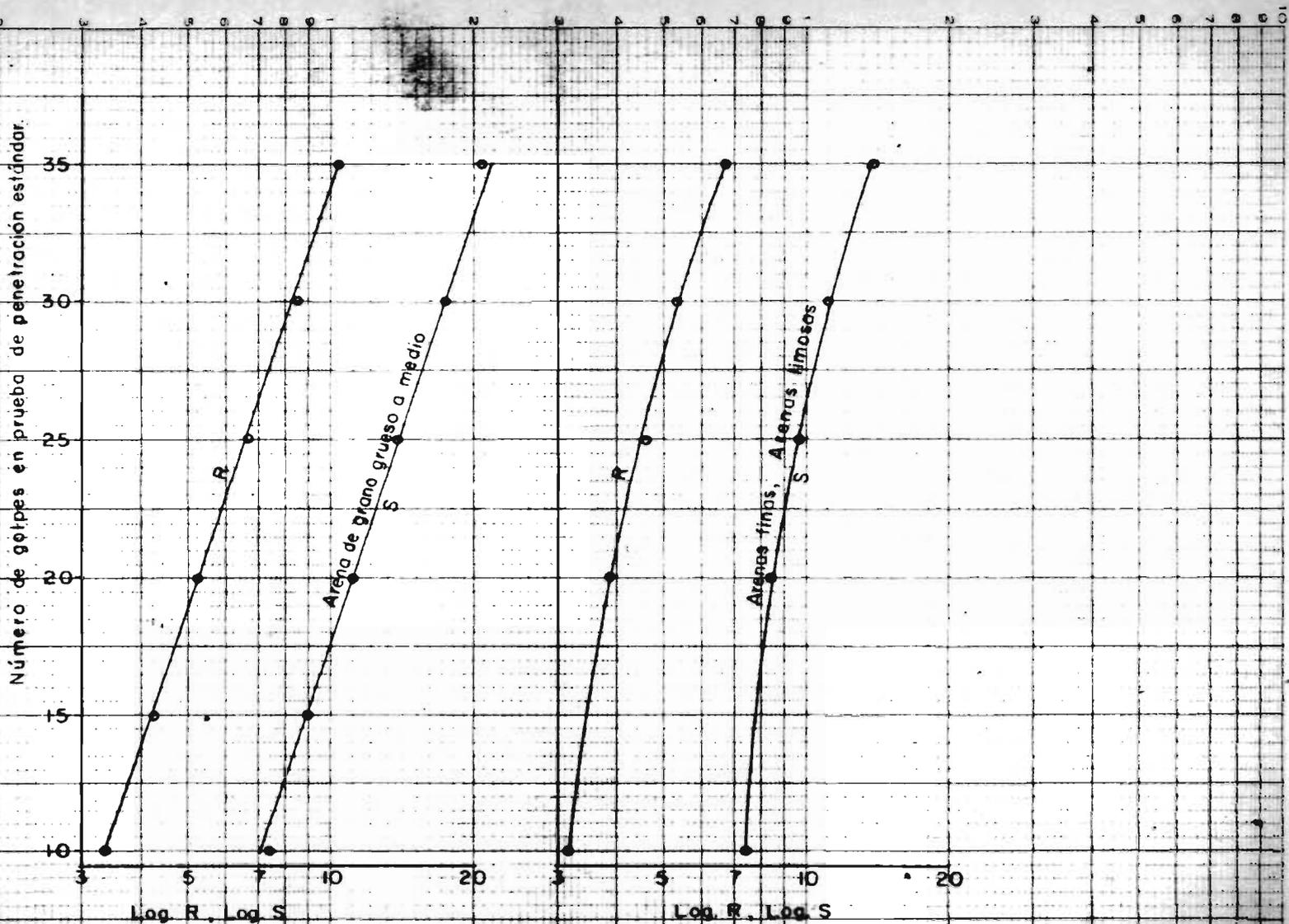


FIGURA II

De aquí resulta la importante relación:

$$\boxed{S = 2 R} \quad (8)$$

que para fines prácticos se puede considerar como correcta.-

Si hacemos $b = \frac{B}{2}$ = semiancho de la zapata y tomamos en cuenta (8), la fórmula 5 se cambia en:

$$q_{ad} = S \gamma (b + D_f) \quad (9)$$

Por consiguiente, aplicando la fórmula 9 se puede calcular fácilmente la capacidad de carga admisible (con F.S = 3) en un suelo -- friccionante homogéneo, conociendo el número de golpes en la prueba de penetración estándar bajo el nivel de desplante, el peso volumétrico del material, el semi-ancho de la zapata y la profundidad de desplante de la zapata.- Si el suelo no es homogéneo, conviene expresar (9) en la forma siguiente:

$$q_{ad} = S \gamma \cdot b + S \gamma D_f \quad (10)$$

Llamando: $\bar{p} = \gamma D_f$ = presión (efectiva) al nivel de desplante, resulta:

$$q_{ad} = S \gamma \cdot b + S \bar{p} \quad (11)$$

siendo: γ = peso volumétrico del material bajo la zapata en una profundidad $\approx 1.5 B$.-

Haciendo $U = S \gamma$ y $V = S \bar{p}$, queda:

$$\boxed{q_{ad} = Ub + V} \quad (12)$$

Para fines prácticos, se construyó el Nomograma I (parte III-B) que simplifica mucho los cálculos.-

D) CALCULO DE LA CAPACIDAD DE CARGA EN SUELOS "COHESIVOS".

De acuerdo con Skempton ("Foundations" por A. L. Little, Cap. II), la capacidad de carga a la falla (rápida) en arcillas homogéneas se puede expresar por la fórmula:

$$q_d = c N_c + \gamma D_f \quad (1)$$

siendo: c = "cohesión" del suelo
 N_c = coeficiente que depende de la forma de la zapata y de la relación D_f/B
 D_f = profundidad de desplante de la zapata
 γ = peso volúmetrico del material
 B = ancho de la zapata

Puesto que $c = q_u/2 = 1/2$ resistencia a la compresión simple, la (1) se escribirá:

$$q_d = N_c \frac{q_u}{2} + \gamma D_f \quad (2)$$

Si se dispone de una prueba de penetración estándar, se puede dar una idea "burda" de " q_u " utilizando la expresión recomendada por Terzaghi:

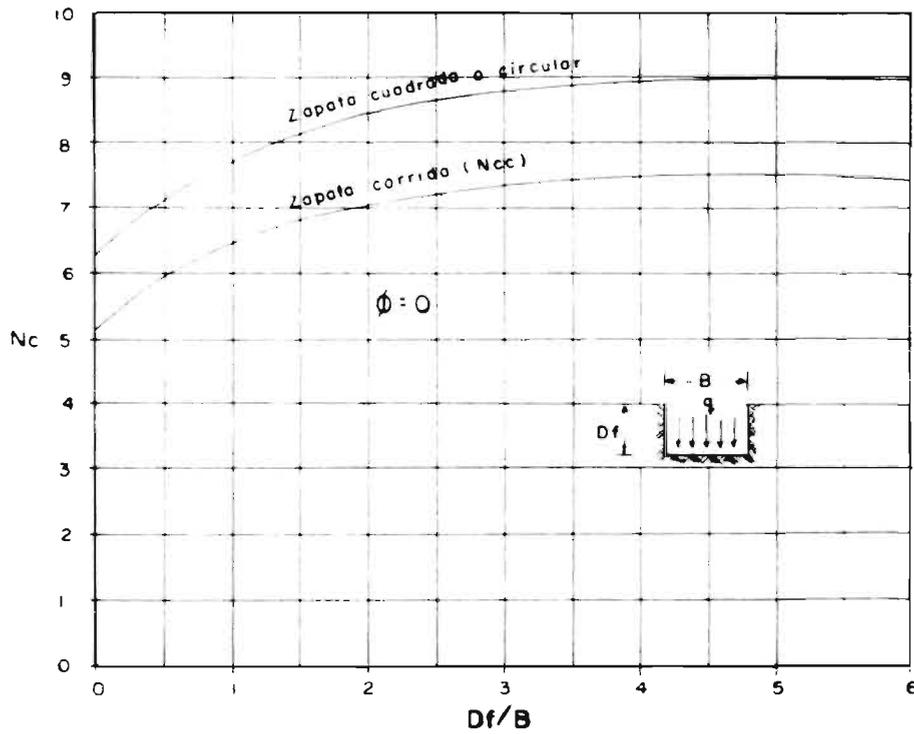
$$q_u = 1.25 N$$

siendo: N = número de golpes en la prueba de penetración estándar

Si se substituye (3) en (2) se obtiene:

$$q_d = \frac{1.25}{2} N N_c + D_f$$

La capacidad de carga admisible con F.S = 3 será para (2) y --
(4):



VALORES DE N_c DE SKEMPTON
EN ARCILLAS

$$q_d = cN_c + \gamma D_f$$

Para zapata rectangular

$$N_{cr} = \left(1 + 0.2 \frac{B}{L}\right) N_{cc}$$

B = Ancho
 L = Longitud

FIGURA I

Formó: Ing. Celso Calero H.
Dib. Ing. M. G. C.

$$q_{ad} = \frac{N_c}{6} q_u + p \quad (5)$$

$$q_{ad} = 0.2 N \cdot N_c + p \quad (6)$$

siendo:

$p = \gamma D_f$ = presión al nivel de desplante.

Con los valores de N_c dados en la Figura I y las formulas (5) y (6) se construyó el Nomograma II (parte III-B).

De la Figura I se deduce que en la superficie ($D_f/B = 0$) N_c varía entre 5.2 y 6.2, valores que sustituidos en (5) para $p = 0$ da lugar a la siguiente expresión:

$$0.87 q_u \approx q_{ad} \approx 1.03 q_u$$

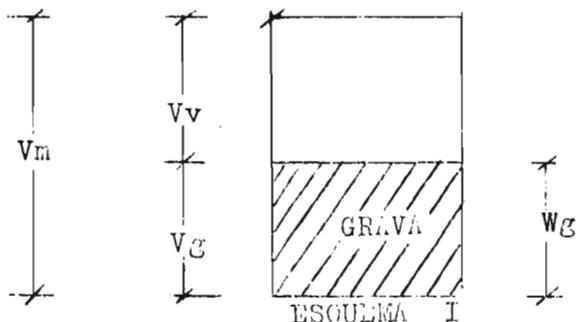
Si tomamos $q_{ad} = q_u$, el F.S. en la superficie variará de 2.6 a 3.1 llegándose a la siguiente conclusión práctica:

" LA CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE EN UN SUELO "COHESIVO"
 ES EQUIVALENTE A LA RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE
 DE UNA PROBETA REPRESENTATIVA ENSAYADA EN EL LABORATORIO "

E)- CALCULO DE PROPORCIONAMIENTOS DE CONCRETO.

a) Expresiones volumétricas de la grava y la arena.

Supongamos un recipiente lleno de grava saturada y superficialmente seca con determinada compacidad y que separamos la materia sólida de los vacíos según muestra el Esquema I.



En esta representación esquemática, los símbolos significan:

V_v = volumen de vacíos.

V_g = volumen absoluto de la grava

W_g = peso de la grava

V_m = volumen aparente de la grava = volumen del recipiente.

De acuerdo con la Mecánica de Suelos, la porosidad de la grava viene dada por las fórmulas:

$$n\% = \frac{V_v}{V_m \gamma_{dg}} \quad (1)$$

$$n\% = 1 - \frac{W_g}{\gamma_{sg} V_m} \quad (2)$$

siendo: $\gamma_{dg} = \frac{W_g}{V_m}$ = peso específico aparente de los sólidos
 = peso volumétrico de la grava

$\gamma_{sg} = \frac{W_s}{V_s}$ = peso específico de los sólidos = densidad de los sólidos

Igualando (1) y (2) se obtiene:

$$\frac{V_v}{V_m} = 1 - \frac{\gamma_{dg}}{\gamma_{sg}} \quad (3)$$

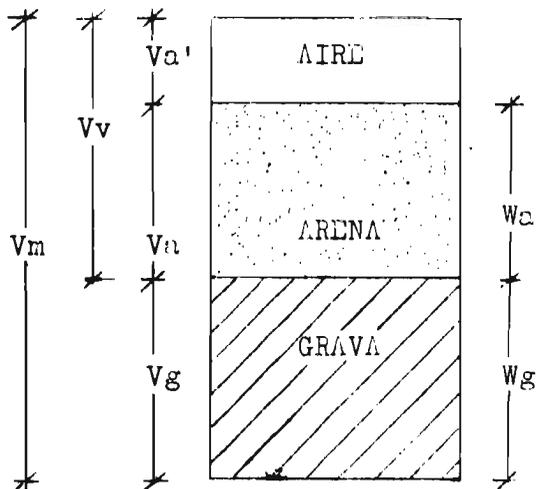
Despejando V_v de (3), queda:

$$V_v = V_m \left(1 - \frac{\gamma_{dg}}{\gamma_{sg}} \right) \quad (4)$$

Si sustituimos los volúmenes (V_v) por arena saturada y superficialmente seca, según muestra el Esquema II, resulta:

$$V_v = V_a + V_{a'} = V_m \left(1 - \frac{\gamma_{dg}}{\gamma_{sg}} \right) \quad (5)$$

siendo: W_a = peso de la arena
 V_a = volumen absoluto de la arena
 $V_{a'}$ = volumen ocupado por el aire



Ahora, según el Esquema I:

$$V_g = V_m - V_v \quad (6)$$

Substituyendo (5) en (6), resulta:

$$V_g = V_m - V_m \left(1 - \frac{\gamma_{dg}}{\gamma_{sg}}\right) = V_m \frac{\gamma_{dg}}{\gamma_{sg}} \quad (7)$$

Del Esquema II se deduce que:

$$V_a = V_m - (V_g + V_{a'}) \quad (8)$$

Substituyendo (7) en (8), obtenemos:

$$V_a = V_m - V_m \frac{\gamma_{dg}}{\gamma_{sg}} - V_{a'} \quad (9)$$

Haciendo:

$$V_{a'} = p V_m \quad (10)$$

donde "p" representa el porcentaje de aire respecto a V_m , substituyendo este valor en (9) y simplificando, se llega a la siguiente expresión:

$$V_a = V_m \left[(1 - p) - \frac{\gamma_{dg}}{\gamma_{sg}} \right] \quad (11)$$

Haciendo:

$$\frac{\gamma_{dg}}{\gamma_{sg}} = g \quad (12)$$

donde:

$V_m = K =$ valor conocido

$V_g = G$, y

$V_a = A$, las fórmulas 7 y 11 se transforman --
respectivamente en las (13) y (14) --
siguientes:

$$G = K g \quad (13)$$

$$A = K \left[(1 - p) - g \right] \quad (14)$$

b) Determinación de la constante "g"

Según la fórmula 12, el valor de "g" depende de γ_{dg} y γ_{sg} permanece constante y γ_{dg} varía según la compacidad de la grava.

Según el Dr. K. Terzaghi, una medida de la compacidad en arenas es la Compacidad Relativa expresada por la siguiente fórmula:

$$Cr = \frac{e_{máx} - e}{e_{máx} - e_{mín}} \quad (15)$$

En esta fórmula, "e" representa la relación de vacíos, que de acuerdo con las fórmulas fundamentales de la Mecánica de Suelos, se puede expresar de la manera siguiente:

$$e = \frac{V_v}{V_g} \quad (16)$$

$$e = \frac{\gamma_{sg}}{\gamma_{dg}} - 1 \quad (17)$$

Llamando γ_{dM} al peso volumétrico compacto de la grava, γ_{dm} al suelto y tomando en cuenta (17), se obtiene de (15):

$$\left(\frac{\gamma_{sg}}{\gamma_{dm}} - 1 \right) - \left(\frac{\gamma_{sg}}{\gamma_{dg}} - 1 \right)$$

$$Cr = \frac{\left(\frac{\gamma_{sg}}{\gamma_{dm}} - 1 \right) - \left(\frac{\gamma_{sg}}{\gamma_{dg}} - 1 \right)}{\left(\frac{\gamma_{sg}}{\gamma_{dm}} - 1 \right) - \left(\frac{\gamma_{sg}}{\gamma_{dm}} - 1 \right)}$$

$$\frac{\gamma_{sg}}{\gamma_{dm}} - \frac{\gamma_{sg}}{\gamma_{dg}} = \frac{\gamma_{sg}}{\gamma_{dm}} \frac{\gamma_{dg}}{\gamma_{dm}} (\gamma_{dg} - \gamma_{dm})$$

$$Cr = \frac{\frac{\gamma_{sg}}{\gamma_{dm}} - \frac{\gamma_{sg}}{\gamma_{dM}}}{\frac{\gamma_{sg}}{\gamma_{dm}} - \frac{\gamma_{sg}}{\gamma_{dM}}} = \frac{\gamma_{sg}}{\gamma_{dM}} \frac{\gamma_{dM}}{\gamma_{dm}} (\gamma_{dM} - \gamma_{dm})$$

$$Cr = \frac{\gamma_{dM}}{\gamma_{dg}} \cdot \frac{\gamma_{dg} - \gamma_{dm}}{\gamma_{dM} - \gamma_{dm}} \quad (18)$$

Haciendo:
$$Rd = \frac{\gamma_{dM}}{\gamma_{dm}} \quad (19)$$

y dividiendo numerador y denominador de (18) por γ_{dm} , resulta:

$$Cr = \frac{Rd}{\frac{dg}{dm}} \cdot \frac{\frac{\gamma_{dg}}{\gamma_{dm}} - 1}{Rd - 1} \quad (20)$$

Si hacemos:
$$\gamma_{dg} = m \gamma_{dM} \quad (21)$$

siendo "m" un factor conveniente, resulta al substituir en (20):

$$Cr = \frac{Rd}{m Rd} \cdot \frac{m Rd - 1}{Rd - 1}$$

$$Cr = \frac{m Rd - 1}{Rd - 1} \quad (22)$$

Despejando "m" de (22):

$$m Cr(Rd - 1) = m Rd - 1$$

$$m [Rd - Cr(Rd - 1)] = 1$$

$$m (Rd - Cr Rd + Cr) = 1$$

$$m [Rd(1 - Cr) + Cr] = 1$$

$$m = \frac{1}{Rd(1 - Cr) + Cr} \quad (23)$$

Por lo tanto, para una C_r dada, el valor de "m" dado por (23) define γ_{dg} (formula 21) que dividido entre γ_{sg} determina "g" -- (fórmula 12).

c) Determinación de la constante "K".

Si llamamos "V" al volumen absoluto de concreto en litros que resulta para un saco de cemento de 50 Kg, y "C" al consumo de cemento en Kg/m^3 , se puede establecer la siguiente proporción:

$$\frac{50}{C} = \frac{V}{1000} \quad (24)$$

Esta fórmula representa la ecuación de la hipérbola:

$$\boxed{CV = 50 \times 10^3} \quad (25)$$

cuya representación gráfica se muestra en la Figura I.-

Si llamamos "Am" y "As" a las cantidades de agua por metro cúbico y por saco respectivamente, en función de la relación agua-cemento en peso las podemos escribir:

$$Am = (a/c) C \quad (26)$$

$$As = (a/c) 50 \quad (27)$$

Despejando "V" de (25) tomando en cuenta (26) y (27), resulta:

$$V = \frac{50 \times 10^3}{C} = \frac{50}{\frac{Am}{a/c}} \times 10^3 = 1000 \frac{50 (a/c)}{Am}$$

$$\boxed{V = 1000 \frac{As}{Am}} \quad (28)$$

REPRESENTACION GRAFICA
DE LA ECUACION:

$$CV = 50 \times 10^3$$

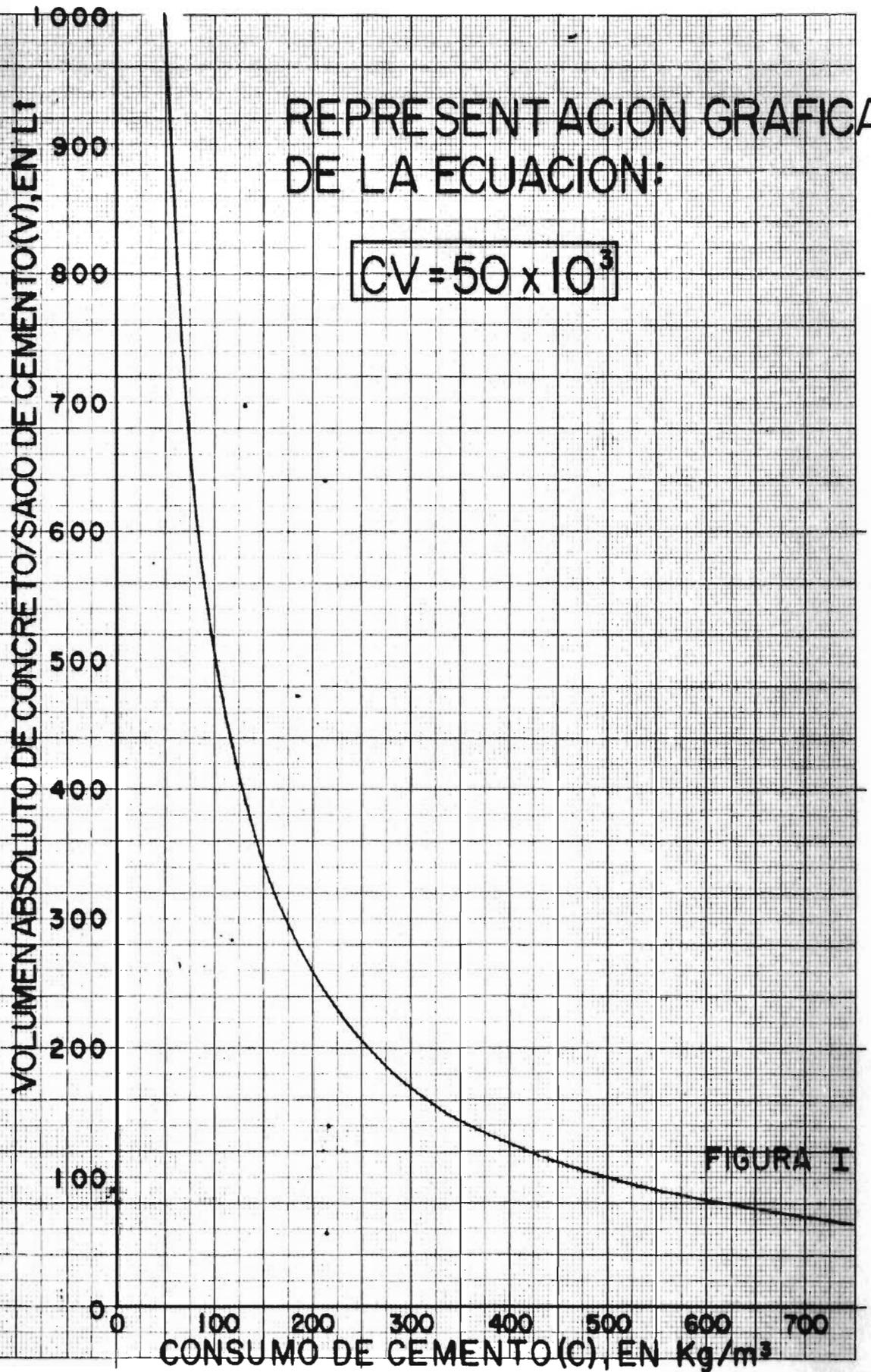


FIGURA I

Haciendo que "K" represente el volumen absoluto de agregados (incluyendo el aire) por saco de cemento, se deduce que:

$$K = V - C_s - A_s \quad (29)$$

siendo: C_s = volumen absoluto de un saco de cemento, en litros.

Substituyendo (28) en (29):

$$K = 1000 \frac{A_s}{\Lambda m} - C_s - A_s$$

$$\boxed{K = A_s \left(\frac{1000}{\Lambda m} - 1 \right) - C_s} \quad (30)$$

d) Valuación de la constante "m"

Al mezclarse la grava y la arena con la lechada (cemento y agua), el porcentaje de vacíos "p" (fórmula 10) se reduce notablemente que para fines prácticos se puede considerar como un volumen equivalente de arena, transformándose la fórmula 14 en la siguiente:

$$\boxed{\Lambda = K (1 - G)} \quad (31)$$

Repitiendo, por comodidad:

$$\boxed{G = K g} \quad (13)$$

Dividiendo la (13) entre la (31), se obtendrá la relación grava-arena en la mezcla:

$$\frac{G}{\Lambda} = \frac{g}{1 - g} \quad (32)$$

Para transformar a relación en pesos, multiplicamos numerador y denominador de (32) por sus respectivas densidades, teniendo en cuenta (12), o sea:

$$R = \frac{G}{A} (\text{en pesos}) = \frac{\gamma_{dg} \cdot \gamma_{sg}}{\left[1 - \frac{\gamma_{dg}}{\gamma_{sg}} \right] \gamma_{sa}}$$

siendo: R = relación grava-arena, en pesos

γ_{sa} = densidad de la arena

simplificando:

$$R = \frac{\gamma_{dg} \cdot \gamma_{sg}}{\gamma_{sg} - \gamma_{dg}} \cdot \frac{1}{\gamma_{sa}} \quad (33)$$

Puesto que en el laboratorio es difícil trabajar con los materiales saturados y superficialmente secos, se harán las transformaciones convenientes para que se pueda aplicar la fórmula 33 con datos correspondientes a materiales secos.

Llamaremos:

Abg = absorción de la grava = $\frac{\text{peso de la grava saturada y superficialmente seca} - \text{peso seco}}{\text{peso seco}}$

Aba = absorción de la arena = $\frac{\text{peso de la arena saturada y superficialmente seca} - \text{peso seco}}{\text{peso seco}}$

PVg = $\frac{\gamma_{sg}}{1 + Abg}$ = peso volútrico seco de la grava

$D_{ag} = \frac{\gamma_{sg}}{1 + A_{bg}}$ = densidad aparente de la grava = peso seco de la grava entre el volumen desahogado por la misma saturada y superficialmente seca.

$D_{aa} = \frac{\gamma_{sa}}{1 + A_{ba}}$ = densidad aparente de la arena = peso seco de la arena entre el volumen desahogado por la misma saturada y superficialmente seca.

Por lo tanto, efectuando las sustituciones:

$$R = \frac{PV_g(1 + A_{bg}) \cdot D_{ag}(1 + A_{bg})}{D_{ag}(1 + A_{bg}) - PV_g(1 + A_{bg})} \cdot \frac{1}{D_{aa}(1 + A_{ba})}$$

Denominando:

$$q = \frac{1 + A_{bg}}{1 + A_{ba}} \quad (34)$$

y haciendo las simplificaciones, resulta:

$$R = \frac{PV_g \cdot D_{ag}}{D_{ag} - PV_g} \cdot \frac{q}{D_{aa}} \quad (35)$$

Similarmente, de la fórmula 12 se deduce que:

$$g = \frac{\gamma_{dg}}{\gamma_{sg}} \cdot \frac{PV_g(1 + A_{bg})}{D_{ag}(1 + A_{bg})}$$

$$g = \frac{PV_g}{D_{ag}} \quad (36)$$

En forma semejante, de la (19) se llega a:

$$R_d = \frac{\gamma_{dM}}{\gamma_{dm}} = \frac{PV_{cg}(1 + A_{bg})}{PV_{sg}(1 + A_{bg})}$$

$$R_d = \frac{PV_{cg}}{PV_{sg}} \quad (37)$$

siendo:

PV_{cg} = peso volumétrico compacto y seco de la grava

PV_{sg} = peso volumétrico suelto y seco de la grava

Es igualmente, se deduce de (21) que:

$$\boxed{PV_g = m PV_{cg}} \quad (38)$$

Este peso volumétrico de la grava (PV_g) que llamaremos "peso -- volumétrico de la grava necesario para dar cohesividad a la mezcla", juega un papel muy importante en el diseño de proporcionamientos de concreto, ya que define la relación que deben guardar los agregados entre sí (fórmula 35), para que la mezcla resultante sea manejable y cohesiva, es decir, no propensa a la segregación.

Una mezcla rica en cemento es de por sí bastante cohesiva y requiere un poco menos de arena que si fuera pobre, por consiguiente, la relación grava-arena se puede aumentar ligeramente para contrarrestar los efectos de cohesión que proporciona el aglutinante. En cambio, si la mezcla es pobre en cemento, la relación grava-arena se puede disminuir, ya que la pérdida de cohesividad que proporciona el aglutinante se compensa en parte con la acción cohesiva que trae consigo el aumento de arena.

Además se debe considerar también el efecto que sobre la cohesividad tienen: la granulometría y tipo de los agregados, y principalmente la fineza de la arena y del cemento.

Ahora, si PV_g es máximo, R también lo será si Cr = 1 (fórmula 23 teniendo en consideración la 37), ya que entonces m = 1 y por consiguiente: PV_g = PV_{cg}. Por el contrario, si Cr = 0, m será -- igual a PV_{sg}/PV_{cg} (fórmula 23 tomando en cuenta la 37), resultando entonces el PV_g mínimo que corresponde a R mínimo también, o -- se: PV_g = PV_{sg}.

Con base a lo anteriormente expuesto se construyeron las siguientes Tablas, sin considerar aún el efecto del tipo de grava.

TABLA I.- VALORES DE "Cr" EN FUNCION DE LA RIQUEZA DE LA MEZCLA Y DE LA FINEZA DE LA ARENA

RELACION AGUA-CEMENTO EN PESO (a/c)	0.40	0.46	0.52	0.58
ARENA MUY FINA	1.00	0.92	0.83	0.75
ARENA FINA	1.00	0.83	0.67	0.50
ARENA GRUESA	1.00	0.75	0.50	0.25
ARENA MUY GRUESA	1.00	0.60	0.30	0.00

La arena está clasificada de acuerdo con la Tabla II.-

TABLA II.- CLASIFICACION DE LA FINEZA DE LA ARENA EN FUNCION DEL MODULO DE FINURA Y DEL PORCENTAJE RETENIDO ACUMULATIVO EN LA MALLA No. 30

CLASIFICACION: ARENA	MUY FINA	FINA	GRUESA	MUY GRUESA
(a) MODULO DE FINURA	1.75-2.50	2.50-2.85	2.85-3.25	3.25-3.60
(b) %RET.MALLA No.30	20-50	50-60	60-75	75-97

Esta clasificación tentativa de la arena se realizó después de examinar 80 arenas y tiene la ventaja de que coincide prácticamente con la clasificación visual.

Con los valores de "Cr" dados en la Tabla I se calculó la Tabla III para diferentes valores de Rd (ver la fórmula 23 considerando la 37).

TABLA III.- VALORES DE "m" EN POR CIENTO EN FUNCION DE LA FINEZA DE LA ARENA DE LA RELACION AGUA-CEMENTO (a/c) Y DE LA RELACION ENTRE -- LOS PESOS VOLUMETRICOS COMPACTO Y SUELTO DE LA GRAVA (Rd)

Ed	1.10				1.20				1.30			
	0.40	0.46	0.52	0.58	0.40	0.46	0.52	0.58	0.40	0.46	0.52	0.58
a/c												
ARENA MUY FINA	100	99.5	98.5	97.5	100	98.5	97.0	95.0	100	97.5	95.5	93.0
ARENA FINA	100	98.5	97.0	95.0	100	97.0	94.0	91.0	100	95.5	91.0	87.0
ARENA GRUESA	100	97.5	95.0	93.0	100	95.0	91.0	87.0	100	93.0	87.0	81.5
ARENA MUY GRUESA	100	97.0	94.0	91.0	100	94.0	88.0	83.5	100	91.0	83.5	77.0

Si la clasificación (a) de la Tabla II no coincide con la (b), se promedian los valores de "ma" con los de "mb", o sea, $m_1 = \text{valor de "m" obtenido de la Tabla II de acuerdo con la clasificación (a), y "mb", el obtenido con la clasificación (b).$

Con el objeto de conocer el valor de "m" correspondiente a la relación óptima grava-arena, se efectuaron determinaciones prácticas en el laboratorio con materiales secos cuyas características se muestran en la Tabla IV.

En la Tabla V se indican las combinaciones de materiales correspondientes a las curvas experimentales de la Figura II.

De la fórmula 35 se deduce que:

$$\frac{R}{q} \cdot \frac{Daa}{Dag} = \frac{PVg}{Dag - PVg}$$

$$\frac{R}{q} \cdot \frac{Daa}{Dag} \cdot Dag - \frac{R}{q} \cdot \frac{Daa}{Dag} \cdot PVg = PVg$$

$$PVg \left(1 + \frac{R}{q} \cdot \frac{Daa}{Dag} \right) = \frac{R}{q} \cdot Daa$$

$$PVg = \frac{\frac{R}{q} \cdot Daa}{1 + \frac{R}{q} \cdot \frac{Daa}{Dag}} \quad (39)$$

El valor de "m" calculado en la Tabla V se obtuvo a partir de la fórmula 38 teniendo en cuenta (39) para R_{op} (relación óptima grava-arena, en pesos).

De un análisis estadístico de los datos disponibles para "m", se dedujo que el valor medio de los datos clasificados es 0.96, o sea, que el valor de "m" correspondiente a R_{op} es 0.96. De estos experimentos se pueden sacar las siguientes conclusiones:

1) Para fines prácticos, se puede considerar como mezcla más compacta la que se proyecta con $m = 1$, estando de esta manera los agregados en su relación óptima.

2) En materiales secos, el tipo de grava no mostro influencia en la determinación de "m".

3) En materiales secos, la granulometría de los agregados no afectó sensiblemente a la valuación de "m".

Ahora bien, el comportamiento de los materiales en estado -- seco es diferente que si estuvieran saturados, siendo además este último difícil de conocer exactamente. El comportamiento -- real de los ingredientes que forman una mezcla de concreto solo se puede definir a base de una experiencia intensa.

Con los valores de "m" propuestos en la Tabla III se han proyectado hasta la fecha más de 300 proporcionamientos con resultados satisfactorios, salvo 3 casos en que se tuvo que añadir algo de arena para lograr la cohesividad deseada por el laboratorista. Se ha encontrado además de estos ensayos que el tipo y granulometría de la grava no son factores decisivos para elegir "m", -- siendo en cambio la clasificación de la arena elemento indispensable para su elección.

El cemento empleado en casi todos los proporcionamientos fué Portland del Tipo I, de baja densidad y superficie específica, no haciendose observaciones al respecto.

TABLA IV.- CARACTERISTICAS MAS IMPORTANTES DE LOS MATERIALES UTILIZADOS PARA DETERMINAR LA RELACION OPTIMA GRAVA-ARENA.

GRAVA TIPO No.	PROCEDECENCIA	TAMAÑO MAXIMO
1 DE RIO	ZAPOTITLAN	3/4"
2 TRITURADA	CERRO DEL CUATRO	1 - 1/2"
3 DE RIO	BARRA DE NAVIDAD	1 - 1/2"
4 TRITURADA	GUAD. (ATEMAJAC)	1 - 1/2"
5 TRITURADA	GUADALAJARA	1 - 1/2"
6 DE RIO	COCULA	1 - 1/2"
7 DE RIO	AYO EL CHICO	1"
8 DE RIO	CD. GUZMAN	2"

ARENA TIPO No.	PROCEDECENCIA	CLASIFICACION
1 DE RIO	ZAPOTITLAN	MUY FINA
2 DE RIO	LA VENTA	FINA-GRULSA
3 DE RIO	BARRA DE NAVIDAD	MUY GRULSA
4 DE RIO	GUAD.(ATEMAJAC)	FINA-GRUESA
5 DE RIO	GUADALAJARA	FINA-GRUESA
6 DE RIO	STA. ANA DE LOS NEGROS	GRUESA
7 DE RIO	ARLENAL, JAL.	FINA-MUY FINA
8 DE RIO	COCULA	MUY GRULSA
9 DE RIO	AYO EL CHICO	GRUESA
10 DE RIO	CD. GUZMAN	MUY FINA

NOTA: La tabla continúa en la página siguiente

TABLA IV.- CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS PARA
DETERMINAR LA RELACION OPTIMA GRAVA-ARENA.
(Continuación)

PORCENTAJES RET. ACUM. EN LAS MALLAS							PVc _g	PVs _g	Dag	Abg
2"	1-1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	(Kg/Lt)	(Kg/Lt)	(Kg/Lt)	(%)
-	-	-	3	76	95	99	1.70	1.48	2.73	1.16
-	6	38	57	75	86	98	1.50	1.25	2.62	1.30
-	-	32	54	75	89	100	1.64	1.46	2.54	2.50
-	-	14	42	70	87	98	1.465	1.26	2.63	1.36
-	-	26	54	73	88	100	1.67	1.44	2.57	1.92
-	2	14	26	49	70	100	1.62	1.41	2.37	4.62
-	-	-	-	-	-	-	1.42	1.29	2.60	2.25
18	28	45	57	73	83	100	1.84	1.65	2.47	2.70

PORCENTAJES RET. ACUM. EN LAS MALLAS							M.F.	PVs _g	Daa	Ab _a
No.4	8	16	30	50	100	200		(Kg/Lt)	(Kg/Lt)	(%)
-	1	4	23	77	98	100	2.03	1.58	2.91	1.87
-	9	31	61	80	93	98	2.74	1.28	2.05	5.80
-	20	49	77	97	100	100	3.43	1.42	2.34	5.10
-	6	30	63	87	96	97	2.82	1.235	2.19	8.30
-	12	34	61	81	91	94	2.79	1.19	2.17	9.10
-	10	35	63	84	96	99	2.88	1.21	2.11	6.00
-	8	21	45	81	97	99	2.52	1.24	2.09	5.80
-	23	54	80	95	98	99	3.50	1.48	2.19	7.14
-	-	-	-	-	-	-	2.89	1.43	2.42	4.10
-	3	17	48	75	91	100	2.34	1.41	2.40	4.40

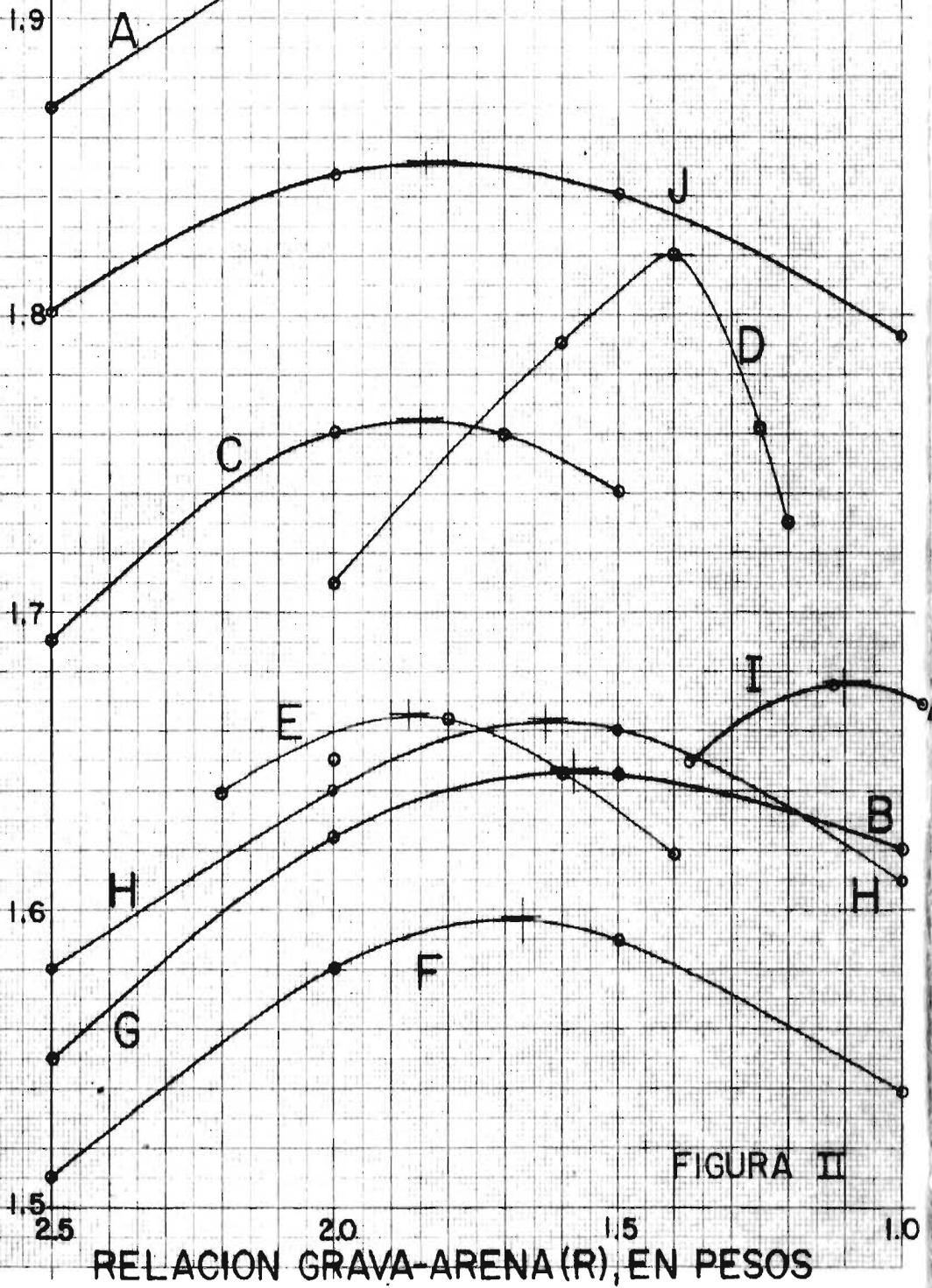
NOTA: Las curvas granulométricas se pueden dibujar en las gráficas de la Figura III.

TABLA V.- CALCULO DEL VALOR DE "m" PARA DIFERENTES MEZCLAS
GRAVA - ARENA.

CURVA	GRAVA	ARENA	Ró.p.	q	Daa	Dag	PVg	Pvog	m
A	1	1	1.50	0.99	2.91	2.73	1.68	1.70	0.989
B	2	2	1.58	0.96	2.05	2.62	1.47	1.50	0.980
C	3	3	1.85	0.98	2.34	2.54	1.61	1.64	0.982
D	4	4	1.40	0.93	2.19	2.63	1.46	1.465	0.995
E	5	5	1.87	0.93	2.17	2.57	1.62	1.67	0.970
F	2	6	1.67	0.96	2.11	2.62	1.53	1.50	1.020
G	2	7	1.58	0.96	2.05	2.62	1.47	1.50	0.980
H	6	8	1.63	0.98	2.19	2.37	1.44	1.62	0.890
I	7	9	1.10	0.97	2.42	2.60	1.34	1.42	0.945
J	8	10	1.84	0.98	2.40	2.47	1.56	1.84	0.850

NOTA: Las curvas están representadas gráficamente en la Figura II.

PESO VOLUMETRICO SECO Y SUELTO DE LA MEZCLA DE AGREGADOS (PV_{sm}), EN Kg/L

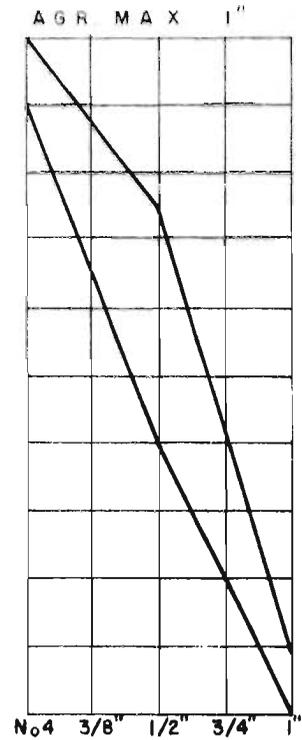
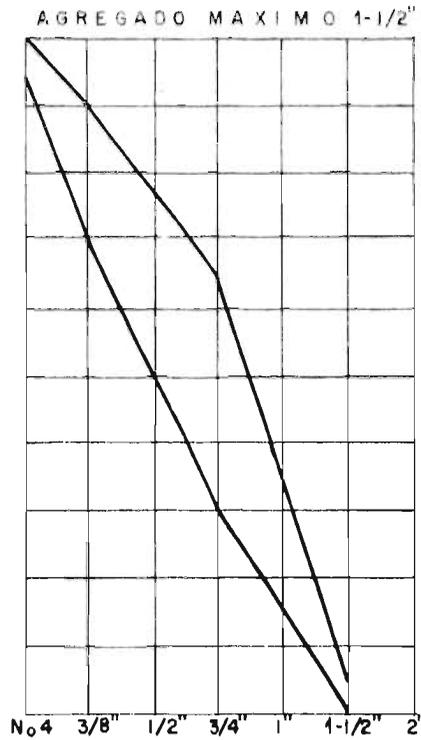
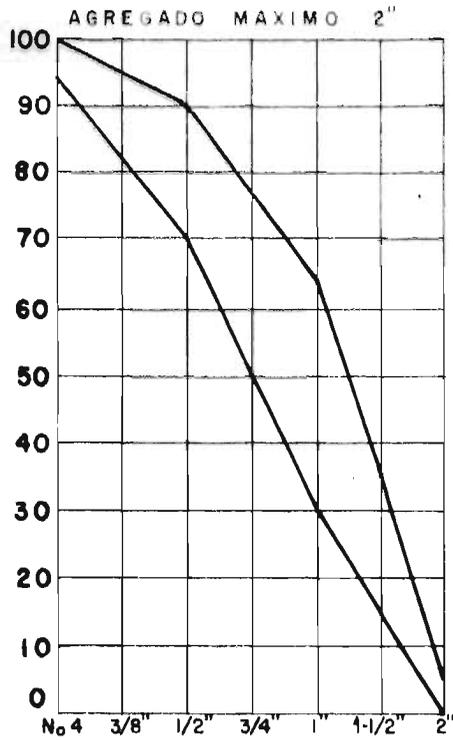


e) Valuación de "As y Am".

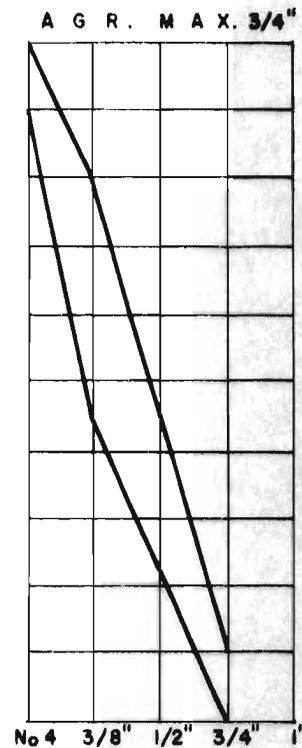
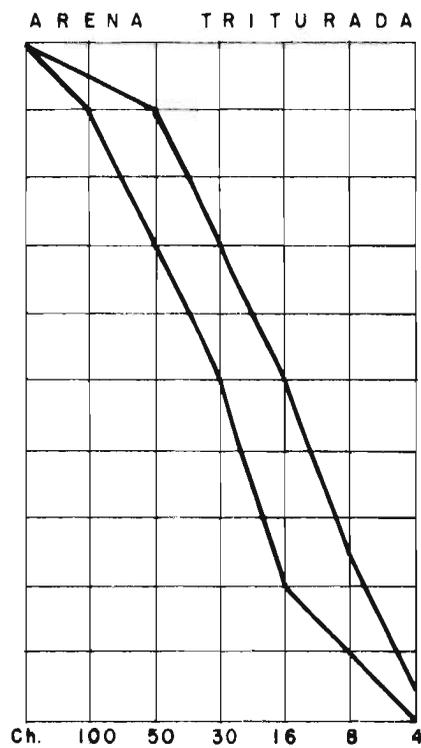
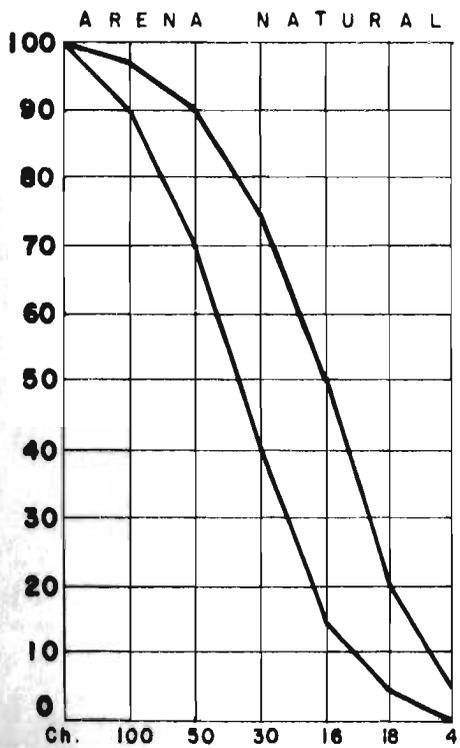
El valor de "As" se obtuvo en la mayoría de los casos, a partir de datos experimentales; sin embargo, cuando no se dispone de estos datos, las Curvas de Abrams son de mucha utilidad (ver Gráfica I de la Parte III-C).

Los valores de "Am" se obtuvieron experimentalmente, a base de hacer ajustes a los proporcionamientos. En la Tabla II de la Parte III-C se indican los valores de "Am" en función del Tipo y Tamaño máximo de la grava y del revenimiento deseado.

ACUMULATIVO



RETIENIDO



LIMITES GRANULOMETRICOS DE AGREGADOS

FIGURA III

Ing. R.V.O.S.

III.- METODOS PROPUESTOS

A) METODO RAPIDO PARA CONTROLAR LA COMPACTACION Y LA HUMEDAD DE COMPACTACION EN LAS TERRACERIAS.

1.- Se extrae del lugar una muestra del material, se pesa (W_m) y se mide el volumen ocupado (V_m) por medio del procedimiento de la arena, aceite u otro conveniente, teniendo cuidado en no perder material. Con estos datos se calcula el peso volumétrico -- del material en el lugar (γ_T) utilizando la fórmula siguiente:

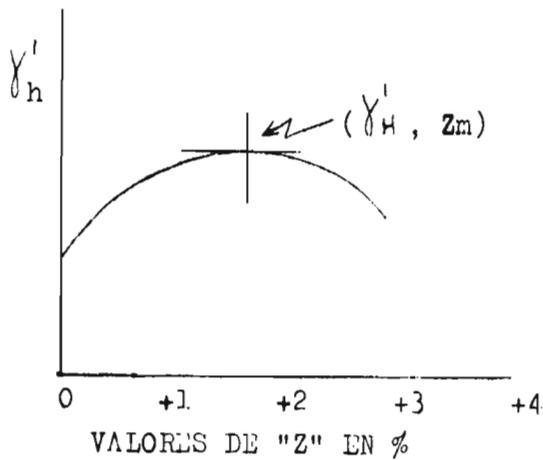
$$\gamma_T = \frac{W_m}{V_m}$$

2.- Se compacta el material a la humedad del lugar ($Z = 0\%$) conforme a un procedimiento especificado y se determina su peso volumétrico (γ_h). Utilizando el Nomograma I se calcula γ'_h .

3.- Si la humedad del material es sensiblemente menor que la óptima de compactación (w_o), se le añade a la muestra de material un 2% de agua respecto a W_m ($Z = 2\%$) y se determina su peso volumétrico (γ_h). Usando el Nomograma I se calcula el γ'_h correspondiente.

4.- Se vuelve a compactar el mismo material con un Z mayor -- (por ejemplo: 4%), se le determina su peso volumétrico (γ_h) y -- con el Nomograma I se calcula γ'_h .

5.- Se construye una gráfica " $\gamma'_h - Z$ " con los datos obtenidos en (2), (3) y (4) y se obtiene a pulso la ordenada máxima que se llamará γ'_H , correspondiente a la abscisa Z_m .



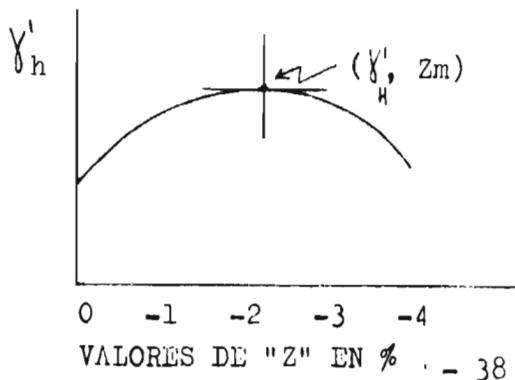
(Los valores de Z se --
 eligen con base en la --
 experiencia del opera-
 dor. Si es necesario se
 pueden tomar más puntos
 $\gamma'_h - Z$ para definir me-
 jor la curva y fijar --
 con más exactitud el --
 punto máximo γ'_H)

6.- Si la humedad del material es sensiblemente mayor que la --
 óptima de compactación (w_o), se deja secar el tiempo suficiente pa-
 ra obtener una reducción en la humedad de un 4% respecto a W_m --
 ($Z = -4\%$), se compacta según el procedimiento especificado y se ob-
 tiene su peso volumétrico (γ_h). Utilizando el Nomograma I se calcu-
 la γ'_h .

7.- Se vuelve a compactar el mismo material con un Z mayor (por
 ejemplo: -2%) y se obtiene γ_h . Con el Nomograma I se calcula γ'_h .

8.- Como una comprobación, se vuelve a compactar el material --
 con $Z = 0\%$ y se obtiene γ_h ; con el Nomograma I obtenemos γ'_h .
 Los datos así obtenidos deben ser aproximadamente iguales a los --
 obtenidos de (3).

9.- Se construye una gráfica " $\gamma'_h - Z$ " con los datos obteni-
 dos de (6), (7) y (8) $\hat{=}$ (3) y se obtiene a pulso la ordenada máxi-
 ma γ'_H que corresponde a la abscisa Z_m .



(La misma observación hecha en (2)
 respecto a Z es --
 válida aquí).

10.- Con γ_T obtenido en (1) y con γ_H obtenido en (5) ó en (9), se calcula el porcentaje de compactación (%C) haciendo uso del Nomograma I.

11.- Para controlar la humedad de compactación utilizamos el Nomograma II. El valor de Z_m se toma de (5) ó de (9) y el de w_o de pruebas periódicas de control o de valores deducidos de estudios estadísticos efectuados en muchos suelos (Curvas PESO VOLUMETRICO MAXIMO-HUMEDAD OPTIMA); lo más correcto sería tomar el valor de w_o de ensayos periódicos de compactación para controlar la variabilidad de este dato.

FALTA PAGINA

No. 40

FALTA PAGINA

No.

41

B) METODO RAPIDO PARA ESTIMAR LA CAPACIDAD DE CARGA EN UN SUELO
"FRICCIONANTE O COHESIVO"

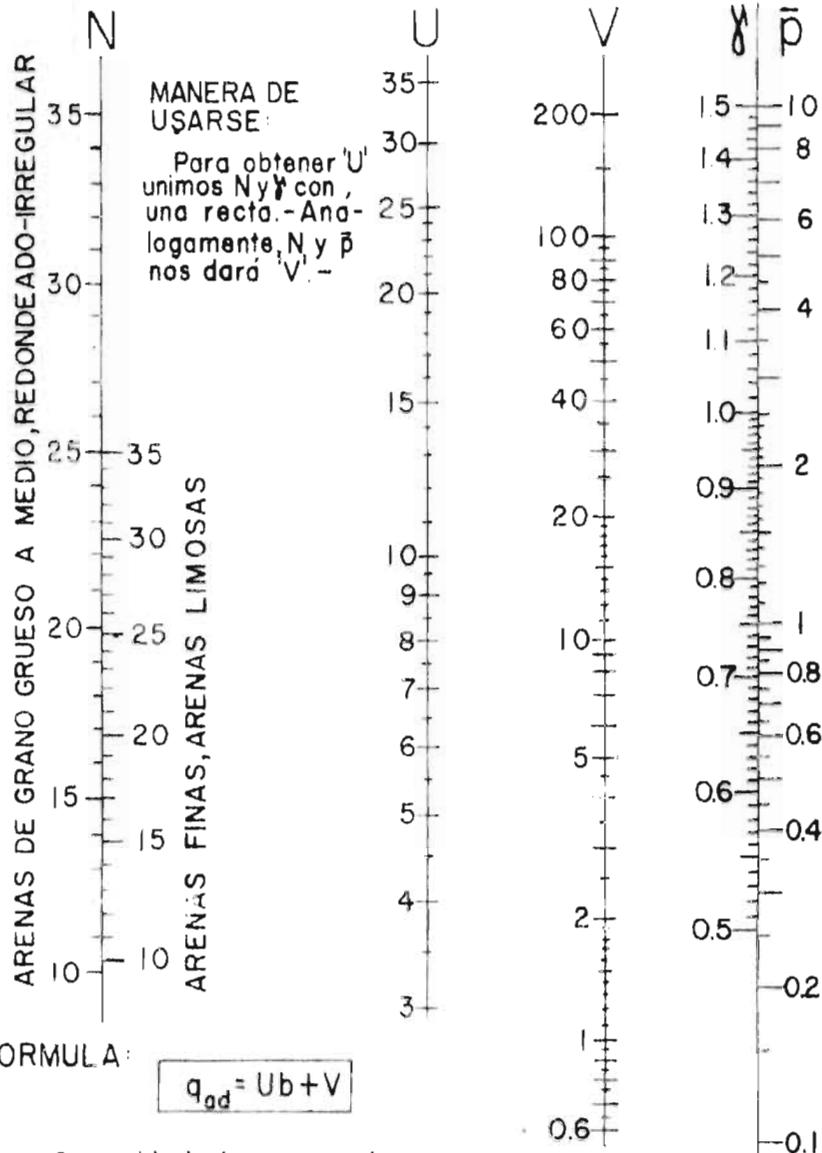
SI EL SUELO ES "FRICCIONANTE"

1) Efectuar una prueba de penetración estándar interesando bajo el nivel de desplante por lo menos 1.5 veces el ancho de la zapata (B).

2) Estimar la presión (efectiva) al nivel de desplante, (\bar{p}) - - multiplicando los pesos volumétricos de los materiales arriba de - este nivel por sus espesores correspondientes y sumar estos productos. Si no se dispone de datos de laboratorio, la Tabla II puede **ayudar** en la estimación de algunos pesos volumétricos sumergidos que se presentan con frecuencia.

TABLA II.- PESOS VOLUMETRICOS SUMERGIDOS EN DIFERENTES SUELOS
 EXPRESADOS EN TONELADAS POR METRO CUBICO.

Arena graduada, compacta	1.20	Limo arenoso	0.75
Arena uniforme, compacta	1.10	Limo arcilloso	0.70
Arena graduada, suelta	1.00	Arcilla arenosa	0.65
Arena uniforme, suelta	0.90	Arcilla limosa	0.60
Arena limosa	0.85	Arcilla blanda	
Arena arcillosa	0.80	ligeramente org.	0.50
		Arcilla blanda	
		muy orgánica	0.40
		Bentonita blanda	0.30



q_{ad} = Capacidad de carga admisible en Ton/m²

$b = B/2$ = Semiancho de la zapata en metros

$N = N^{\circ}$ golpes (pr. pen. estandar)

γ = Peso volumétrico del material en Ton/m³

\bar{p} = Presión al nivel de desplante en Ton/m²

U = Constante, Ton/m³

V = Constante, Ton/m²

NOMOGRAMA PARA CALCULAR LA CAPACIDAD DE CARGA EN SUELOS FRICIONANTES CON F.S. = 3

CALCULO: Ing. Raúl Vicente Orozco S.
FORMO Y DIBUJO: Ing. R.V. Orozco S.
REVISO: Ing. Gabriel Moreno P.
APROBO:

NOMOGRAMA I

3) Estimar el peso volumétrico del material bajo el nivel de desplante (γ) dentro de una zona aproximadamente igual a 1.5 veces B. Si no se dispone de datos de laboratorio, la Tabla II puede ser muy útil.

4) Calcular la capacidad de carga admisible (q_{ad}) utilizando el Nomograma III.

SI EL SUELO ES "COHESIVO"

5) Efectuar una prueba de resistencia a la compresión simple (q_u) en una muestra inalterada extraída bajo el nivel de desplante dentro de una zona igual al ancho de la zapata (B).

Si la profundidad de desplante (D_f) es nula, la capacidad de carga admisible con F.S. = 3 (q_{ad}) se puede tomar prácticamente igual a la resistencia a la compresión simple (q_u).

Si la profundidad de desplante no es nula, q_{ad} se puede calcular con el Nomograma II; la presión al nivel de desplante se puede calcular análogamente al paso (2).

6) Sólo en el caso que no se pueda realizar una prueba de compresión simple se podrá hacer uso de los resultados de una prueba de penetración estándar que interese bajo el nivel de desplante por lo menos una vez el ancho de la zapata (B). Con el auxilio del Nomograma II se puede estimar aproximadamente la capacidad de carga admisible (q_{ad}).

NUMERO DE GOLPES EN PRUEBA DE PENETRACION ESTANDAR

RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE (Ton/m²)

Nota:
 Usese N
 Solo cuando
 no se dispone
 de q_u

FORMULAS:

$$q_{ad} = \frac{N_c}{6} q_u + p$$

$$q_{ad} = 0.2NN_c + p$$

p = Presión al nivel de desplante en Ton/m² = γD_f
 $\gamma = P. Vol. (Ton/m^3)$

N_c = Coef. de Skempton

q_{ad}

CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE (Ton/m²)

SIN SOBRECARGA

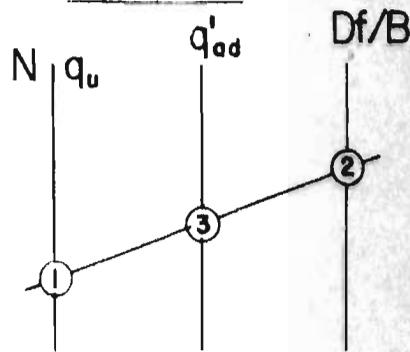
DIDAD DE DESPLANTE/ANCHO DE ZAPATA)

D_f/B

ZAPATA CUADRADA O CIRCULAR

ZAPATA CORRIDA

CLAVE:



UNIMOS 1 Y 2, Y SE OBTIENE 3 - PARA OBTENER q_{ad} SUMAMOS A 3 - EL VALOR p.

q_{ad} = Capacidad de carga admisible en Ton/m²

NOMOGRAMA PARA CALCULAR LA CAPACIDAD DE CARGA EN SUELOS COHESIVOS CON F.S. = 3

CALCULO: Ing. R.V. Orozco Santoyo
 FORMO Y DIBUJO: Ing. R.V. Orozco S.
 REVISO: Ing. Gabriel Moreno Pecero
 APROBO:

NOMOGRAMA II

C) METODO RAPIDO PARA DOSIFICAR MEZCLAS DE CONCRETO.

a) DATOS SOBRE LA RESISTENCIA Y TRABAJABILIDAD:

Fatiga a la ruptura a los 28 días	f'c	(Kg/cm ²)
Revenimiento o asentamiento.	rev.	(cm)

b) DATOS SOBRE LOS MATERIALES:

GRAVA: (No. ensaye)

Peso volumétrico suelto y seco	PVsg	(Kg/Lt)
Peso volumétrico compacto y seco	PVcg	(Kg/Lt)
Densidad aparente	Dag	(Kg/Lt)
Absorción	Abg	(%)
Tamaño máximo	T.M.	(" , pulg)
Tipo (Angulosa o redondeada).		

ARENA: (No. ensaye)

Peso volumétrico suelto y seco	PVsa	(Kg/Lt)
Densidad aparente	Daa	(Kg/Lt)
Absorción	Abas	(%)
Módulo de finura	M.F.	
Porcentaje retenido acumulativo en la malla No. 30	r (%)	

CEMENTO: (marca)

Peso volumétrico suelto y seco	PVsc	(Kg/Lt)
Densidad aparente	Dac	(Kg/Lt)
Tipo		

c) PROCEDIMIENTO DE CALCULO:

1.- Seleccionar la cantidad de agua/saco de cemento para satisfacer los requisitos de resistencia (As).

Este dato se puede tomar de las Curvas de Abrams (Gráfico I), de otra ley establecida o de valores experimentales. La Tabla I es útil con frecuencia.

- 2.- Seleccionar el contenido neto de agua/metro cúbico de concreto para satisfacer los requisitos de trabajabilidad (A_m).

Este dato se obtiene de la Tabla II.

- 3.- Determinar el peso volumétrico de la grava necesario para dar cohesividad a la mezcla (PV_g).

Este dato se obtiene aplicando la fórmula siguiente:

$$PV_g = m PV_{cg} \quad (1)$$

El factor "m" se toma de la Tabla III.

- 4.- Calcular la relación entre el peso volumétrico de la grava (necesario para la cohesividad) y su densidad aparente (g).

Este dato se calcula con la siguiente expresión:

$$g = \frac{PV_g}{D_{ag}} \quad (2)$$

- 5.- Determinar el volumen absoluto de agregados/saco de cemento (K).

Este dato se puede determinar analíticamente o gráficamente.-

Analíticamente, aplicando la fórmula siguiente:

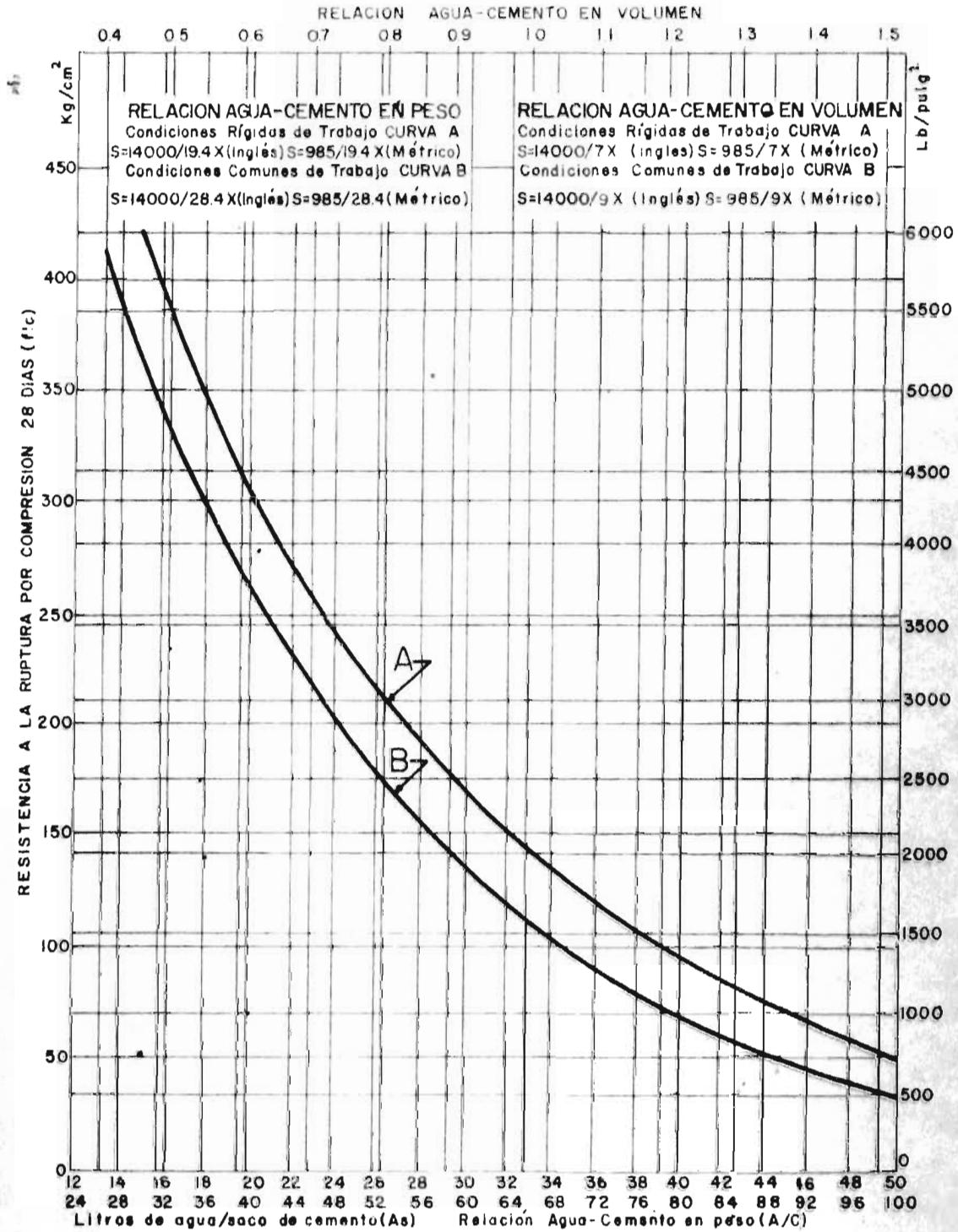
$$K = A_s \left(\frac{1000}{A_m} - 1 \right) - C_s \quad (3)$$

siendo:

C_s = volumen absoluto de un saco de cemento, en Lt. Se calcula dividiendo el peso de un saco de cemento - (50 Kg) entre su densidad aparente (D_{ac}).

Gráficamente, utilizando el Nonograma I.

GRAFICA I CURVAS DE ABRAMS



Ing. R.V.O.S.

TABLA I.- CANTIDADES DE AGUA/SACO DE CEMENTO EXPRESADAS EN LITROS PARA LAS RESISTENCIAS A LA COMPRESION MAS COMUNES.

CANTIDAD DE AGUA/SACO DE CEMENTO EN LITROS (As)	29	26	23	20
FATIGA PROBABLE A LA RUP TURA POR COMPRESION A LOS 28 DIAS EN Kg/cm ² (f'c)	140	175	210	250

TABLA II.- CONTENIDO NETO DE AGUA/m³ DE CONCRETO (Am) EXPRESADA EN LITROS, EN FUNCION DEL TIPO Y TAMAÑO MAXIMO DE LA GRAVA (T.M) Y DEL REVENIMIENTO (Rev.) DESEADO EN CENTIMETROS.

GRAVA ANGULOSA (TRITURADA)	T A M A Ñ O M A X I M O			
	3/4"	1"	1-1/2"	2"
REVENIMIENTO	3/4"	1"	1-1/2"	2"
1 a 5	185	180	165	155
6 a 10	205	195	180	170
11 a 15	215	205	190	180
GRAVA REDONDEADA (DE RIO)	T A M A Ñ O M A X I M O			
	3/4"	1"	1-1/2"	2"
REVENIMIENTO	3/4"	1"	1-1/2"	2"
1 a 5	165	155	145	135
6 a 10	180	170	160	150
11 a 15	190	180	170	160

TABLA III.- VALORES DE "m" EN POR CIENTO EN FUNCION DE LA FINEZA DE LA
 ARENA, DE LA CANTIDAD DE AGUA POR SACO DE CEMENTO EN LITROS
 (As) Y DE LA RELACION ENTRE LOS PESOS VOLUMETRICOS SECOS -
 COMPACTO Y SUELTO DE LA GRAVA (Rd).

Rd	1.10				1.20				1.30			
As	20	23	26	29	20	23	26	29	20	23	26	29
ARENA MUY FINA	100	99.5	98.5	97.5	100	98.5	97	95	100	97.5	95.5	93
ARENA FINA	100	98.5	97	95	100	97	94	91	100	95.5	91	87
ARENA GRUESA	100	97.5	95	93	100	95	91	87	100	93	87	81.5
ARENA MUY GRUESA	100	97	94	91	100	94	88	83.5	100	91	83.5	77

Para clasificar la fineza de la arena, utilizamos la Tabla IV. Si la
 clasificación (a) no coincide con la (b), se promedian los valores de "ma"
 con los de "mb"; o sea, $ma = \text{valor de "m" obtenido de la Tabla III de acuerdo con -}$
 $\text{la clasificación (a), y "mb", el obtenido con la clasificación (b). Si } As > 29$
 $\text{se usará el mismo "m" de } As = 29; \text{ si } As < 20 \text{ el valor de "m" corresponderá al de}$
 $As = 20.$

MODULO DE FINURA (M.F.) Y DEL PORCENTAJE RETENIDO ACUMULATIVO EN LA MALLA No. 30 (r).

CLASIFICACION: ARENA	MUY FINA	FINA	GRUESA	MUY GRUESA
(a) SI EL M.F. ESTA ENTRE LOS LIMITES:	1.75-2.50	2.50-2.85	2.85-3.25	3.25-3.60
(b) SI EL "r" ESTA ENTRE LOS LIMITES:	20-50	50-60	60-75	75-97

6.- Determinar el volumen absoluto de la grava y de la arena/saco de cemento (G y A).

Este dato se puede determinar analítica o graficamente.

Analíticamente, aplicando las fórmulas siguientes:

$$G = K \ g \quad (4)$$

$$A = K - g \quad (5)$$

Graficamente, usando el Nomograma I.

7.- Transformar a pesos los volúmenes absolutos determinados hasta el peso anterior.

$C = C_s \times D_{ac}$ = peso de un saco de cemento (50 Kg)

$A_s = A_s \times l$ = cantidad de agua/saco de cemento, en Lt.

$A_r = A \times D_{aa}$ = peso de la arena/saco de cemento, en Kg.

$r = G \times D_{ag}$ = peso de la grava/saco de cemento, en Kg.

8.- Establecer el proporcionamiento base.

<u>CEMENTO</u>		<u>AGUA</u>		<u>ARENA</u>		<u>GRAVA</u>
50	:	A_s	:	A_r	:	Gr
<hr/> 50		<hr/> 50		<hr/> 50		<hr/> 50
1	:	a/c	:	X	:	Y

ECUACION: $G = g[As(1000/Am - 1) - Cs]$

G = Volumen absoluto de la grava/saco de cemento (Lt)
 g = Relación entre peso vol. de la grava y densidad
 As = Cantidad de agua/saco de cemento (Lt)
 Am = Contenido neto de agua/m³ de concreto (Lt)
 Cs = Volumen absoluto de un saco de cemento (Lt)

A = Volumen absoluto de la arena/saco de cemento (Lt)
 K = Volumen absoluto de agregados/saco de cemento (Lt)

$A = K - G$



MANERA DE USARSE. Unimos con una recta, el contenido neto de agua/metro cubico "Am" (tomado de la TABLA II) con la cantidad de agua/saco (tomada de la TABLA I o de las curvas de Abrams), hasta cortar a la escala "K + Cs" donde leeremos el volumen absoluto de los agregados/saco incrementado por el de un saco de cemento. - A este valor le restamos "Cs", quedando "K". -

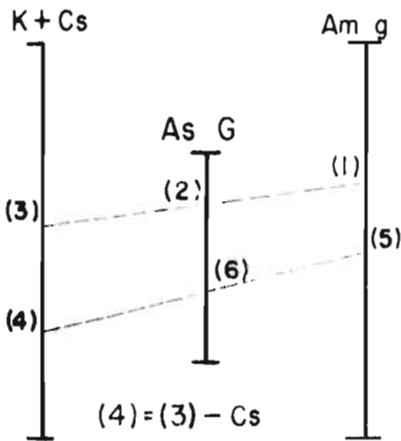
Trazamos una recta desde "k" (leída en la escala "K + Cs") hasta "g", obteniendo en la intersección con la escala "G", el volumen absoluto de la grava/saco buscado. -
 Restándole a K el valor de G obtenemos A. -



Este nomograma se complementa con las TABLAS III y IV. -



C L A V E :



NOMOGRAMA I

NOMOGRAMA PARA PROPORCIONAMIENTO DE CONCRETO

siendo:

a/c = relación agua-cemento, en pesos

X = relación arena-cemento, en pesos

Y = relación grava-cemento, en pesos

9.- Hacer una mezcla de prueba y corregir por revenimiento o cohesividad.

CORRECCIONES:

- a) Si la mezcla resulta demasiado seca, debemos añadir lechadas de cemento y agua (con la misma (a/c) elegida), hasta lograr el rev. deseado. Se recomiendan lechadas de 1/2 Kg. de cemento.
- b) Si la mezcla resulta demasiado húmeda (aguada), entonces se tiene que añadir agregado en la relación ya determinada -- $R = Y/X$ (junto con su agua de absorción), hasta lograr el rev. deseado. Se recomiendan incrementos de 1/2 Kg.
- c) Si la mezcla tiene una apariencia áspera y le falta plasticidad (cohesividad), podemos añadir arena (con su agua de absorción) en pequeñas cantidades, hasta lograr la cohesividad y trabajabilidad deseadas.
- d) Si la mezcla es excesivamente plástica (muy cohesiva), se pueden añadir pequeños incrementos de grava (con su agua de absorción), hasta lograr la cohesividad y trabajabilidad deseadas.

10.- Establecer las nuevas proporciones en peso.

Habiendo corregido la mezcla de prueba, se fijan las proporciones finales de la mezcla buscada, que son las siguientes:

CEMENTO	AGUA	ARENA	GRAVA
1	: a/c	: X'	: Y'

siendo:

- l = cemento empleado (Kg)/cemento empleado (Kg)
- a/c = cantidad neta de agua utilizada (Lt)/cemento empleado (Kg). No se incluye la de absorción.
- X' = peso de la arena seca empleada (Kg)/cemento empleado (Kg).
- Y' = peso de la grava seca empleada (Kg)/cemento empleado (Kg).

Es conveniente hacer otra mezcla de prueba con estas nuevas proporciones, con el único objeto de comprobar el proporcionamiento final adoptado.

11.- Cuadro general de reporte.

MATERIALES	REL.P	PESEO Kg	VOL. Lt	REL. V.	Lt ABS.	Kg/m ³	Lt/m ³
CEMENTO	l	50	33	33/33	Cs	C	
AGUA	a/c	As	As	As/33	As	Am	
ARENA	X'	50 X'	$\frac{50 X'}{PVsa}$	$\frac{VOL.Lt}{33}$	$\frac{50 X'}{Dsa}$	Arm	Arm/PVsa
GRAVA	Y'	50 Y'	$\frac{50 Y'}{PVsg}$	$\frac{VOL.Lt}{33}$	$\frac{50 Y'}{Dsg}$	Grm	Grm/PVsg

En la primer columna están anotadas las proporciones finales adoptadas, en pesos.

Para obtener la segunda columna, basta multiplicar por el peso - de un saco de cemento (50 Kg) las cantidades respectivas de la primera.

La tercer columna se obtiene, dividiendo los valores de la columna anterior entre sus pesos volumétricos sueltos y secos respectivos.

La cuarta columna la obtenemos, dividiendo entre el volumen aparente de un saco de cemento (33 Lt) cada una de las cantidades - - correspondientes de la columna anterior.

La quinta columna se obtiene, dividiendo entre las densidades - aparentes cada uno de los valores anotados en la segunda columna.

La sexta columna se calcula, dividiendo un metro cubico (1000 Lt) entre la suma de los volúmenes absolutos de la quinta columna y multiplicando este valor por cada una de las cantidades de la segunda columna. La suma de estos pesos (más el peso del agua de absorción de los agregados) nos dará el peso volumétrico del concreto fresco, en Kg/m^3 .

La séptima columna la obtenemos, dividiendo cada una de las cantidades de la columna anterior, entre sus respectivos pesos volumétricos sueltos y secos.

Este cuadro de reporte corresponde a materiales secos. Si se -- quieren reportar saturados basta agregarles sus aguas de absorción.

EJEMPLO NUMERICO:

a) DATOS SOBRE LA RESISTENCIA Y TRABAJABILIDAD:

$$f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$$

$$rev = 10 \text{ cm}$$

b) DATOS SOBRE LOS MATERIALES:

GRAVA: G-2 (Triturado-Corro del cuatro)

$$PVsg = 1.29 \text{ Kg/Lt}$$

$$PVsg = 1.50 \text{ "}$$

$$Dag = 2.62 \text{ "}$$

$$Abg = 1.30 \%$$

$$T.M. = 1-1/2"$$

Tipo: Angulosa

ARENA: A-2 (De río-La Venta)

$$PVsr = 1.28 \text{ Kg/Lt}$$

$$Dca = 2.05 \text{ "}$$

$$Abr = 5.80 \%$$

$$M.F. = 2.74$$

$$r = 61 \%$$

CEMENTO: "Mojonera" (Puzolánico)

$$PVsc = 1.515 \text{ Kg/Lt}$$

$$Dcc = 2.90 \text{ "}$$

Tipo: Portland I

c) PROCEDIMIENTO DE CALCULO:

1.- Basándonos en datos experimentales, se tiene:

$$As = 26 \text{ Lt/saco}$$

2.- De la Tabla II, obtenemos:

$$Am = 180 \text{ Lt/m}^3$$

3.- De la Tabla IV, se obtiene: ARENA: Fina-gruesa (Perfecta)

$$\text{Para } Rd = \frac{PVcg}{PVsg} = \frac{1.50}{1.25} = 1.20, \text{ se obtiene de la Tabla III.}$$

$$m = 92.5 \%$$

Por lo tanto, aplicando la fórmula (1):

$$PVg = m PVcg = 0.925 \times 1.50 = 1.385 \text{ Kg/Lt}$$

4.- Aplicando la fórmula (2):

$$g = \frac{PVg}{Dcg} = \frac{1.385}{2.62} = 0.53$$

5.- Aplicando la fórmula (3):

$$K = As \left(\frac{1000}{Am} - 1 \right) - Cs = 26 \left(\frac{1000}{180} - 1 \right) - \frac{50}{2.9}$$
$$K = 118.8 - 17.2 = 101.6 \text{ Lt}$$

Utilizando el Nomograma I:

$$K = 119 - 17.2 = 101.8 \text{ Lt.}$$

6.- Aplicando la fórmula (4):

$$G = K g = 101.6 \times 0.53 = 53.9 \text{ Lt.}$$

Aplicando la fórmula (5):

$$A = K - G = 101.6 - 53.9 = 47.7 \text{ Lt.}$$

Utilizando el Nomograma I:

$$G = 53.3 \text{ Lt.}$$

Por lo tanto:

$$A = K - G = 101.8 - 53.3 = 48.4 \text{ Lt}$$

7.- Efectuando los cálculos:

$$C = C_s \times D_{cs} = 17.2 \times 2.90 = 50 \text{ Kg.}$$

$$A_s = A_s \times 1 = 26 \times 1 = 26 \text{ Lt.}$$

Analíticamente:

$$A_r = A \times D_{aa} = 47.7 \times 2.05 = 98 \text{ Kg.}$$

$$G_r = G \times D_{ag} = 53.9 \times 2.62 = 141 \text{ Kg.}$$

Gráficamente:

$$A_r = A \times D_{aa} = 48.5 \times 2.05 = 99 \text{ Kg}$$

$$G_r = G \times D_{ag} = 53.3 \times 2.62 = 140 \text{ Kg}$$

8.- Las proporciones base son:

Analíticamente:

CEMENTO	AGUA	ARENA	GRAVA				
50	26	98	141				
<hr/>	:	<hr/>	:	<hr/>	:	<hr/>	:
50	:	50	:	50	:	50	:
1	:	0.52	:	1.96	:	2.82	:

Gráficamente:

CEMENTO	AGUA	ARENA	GRAVA			
50	26	99	140			
<u>50</u>	:	<u>50</u>	:	<u>50</u>		
1	:	0.52	:	1.98	:	2.80

Tomaremos como base, por ejemplo, el analítico.

9.- Las cantidades para la mezcla de prueba son:

$$\text{Consumo de cemento} = \frac{Am}{a/c} = \frac{180}{0.52} = 346 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Volumen por llenar} = 22 \text{ Lt.}$$

$$\text{Peso del cemento} = \frac{346 \times 22}{1000} = 7.610 \text{ Kg}$$

MEZCLA DE PRUEBA:

$$\text{Cemento : } 7.610 \times 1 = 7.610 \text{ Kg.}$$

$$\text{Agua: } 7.610 \times 0.52 = 3.960 \text{ Lt.}$$

$$\text{Arena: } 7.610 \times 1.96 = 14.950 \text{ Kg}$$

$$\text{Grava: } 7.610 \times 2.82 = 21.500 \text{ Kg}$$

Agua de absorción:

$$\text{Arena: } 14.950 \times 0.058 = 0.870 \text{ Lt.}$$

$$\text{Grava: } 21.500 \times 0.013 = 0.280 \text{ Lt.}$$

Agua total en la mezcla:

$$At = 3.960 + 0.870 + 0.280 = 5.110 \text{ Lt.}$$



DEPFI

CORRECCIONES:

Para obtener el revestimiento de 10 cm. se añadieron 250 gr. de cemento y 130 cm³ de agua.

10.- Las nuevas proporciones son:

CEMENTO	AGUA	ARENA	GRAVA
7.860	4.090	14.950	21.500
<u>7.860</u>	<u>7.860</u>	<u>7.860</u>	<u>7.860</u>
1	0.52	1.90	2.74

11) El cuadro general de reportes es:

MATERIALES	REL.P	PESO Kg	VOL.Lt	REL.V	Lt.ABS	Kg/m ³	Lt/m ³
CEMENTO	1	50	33	1	17.2	354	---
AGUA	0.52	26	26	-	26	184	---
ARENA	1.90	95	74.1	2.25	46.3	671	528
GRAVA	2.74	137	109.7	3.32	52.2	969	772

SUMA: 141.7

NOTA: Los materiales están secos.

BIBLIOGRAFIA

- J.W. HILF "A RAPID METHOD OF CONSTRUCTION CONTROL FOR
EMBANKMENTS OF SOIL COHESIVE" A.S.T.M.
STP N. 232.- 1957.
- K. TERZAGHI "THEORETICAL SOIL MECHANICS". J.W & SONS. 1956.
- A.L. LITTLE "FOUNDATIONS"-ARNOLD-1961.
- E.J. BADILLO Y "COMENTARIOS SOBRE LA CLASE DE SEMINARIO DE -
G. MORENO PECERO MECANICA DE SUELOS". 1962.
- R.V. OROZCO S. "ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS PRINCIPALES METO
DOS PARA DOSIFICAR MEZCLAS DE CONCRETO CONO
CIDOS HASTA LA FECHA". T.PROFESIONAL U.G
1961.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece al D. L. Juárez Badillo su interés y dirección en la realización de este trabajo, a los Srs. Ings. Romeo Enríquez R. y Gabriel Moreno Pecero, sus valiosos consejos y cooperación y al Ing. C. Orozco O. su colaboración en el Laboratorio.- También queda el autor agradecido con la Sra. Virginia Rocha por su excelente trabajo de mecanografía.-