

METODO DE DOSIFICACION DE JOISEL PARA HORMIGONES DE CEMENTO

JOSE CHARO CH.

Profesor de Tecnología del Hormigón
Universidad Católica de Chile.

Considérese el signo Υ como la
letra "sigma" del alfabeto griego.

El método de JOISEL (x) es rigurosamente científico y de aplicación sencilla; está basado en los trabajos de CAQUOT sobre el efecto de pared recíproco de los granos, con la diferencia que JOISEL hace variar la compacidad de los agregados y determina cada vez la ecuación de la curva representativa de los huecos en función de los tamaños extremos de los granos.

Se ha querido dar a la exposición de este método la mayor simplicidad posible y suprimir en ella todo aquello que no fuese indispensable para su aplicación práctica. Mayores detalles y la justificación de los abacos y gráficos empleados se encuentran en las publicaciones de M. JOISEL sobre su método (1) (2).

DEFINICIONES, SIMBOLOS Y DETERMINACIONES EXPERIMENTALES

a) **Agregado elemental** $\frac{d}{2}$, por

ejemplo 1,19/2,38 mm. Significa que se consideran los granos de agregado que pasan por el tamiz de abertura (a=2,38, n=5) y quedan retenidos en el tamiz (a=1,19, n=1). (5).

b) **Compacidad Υ** de un conjunto de granos o de un hormigón: es el volumen absoluto sólido (conglomerante y agregado) contenido en un volumen aparente unitario del agregado o del hormigón.

Υ_0 es la compacidad de un agregado elemental seco en ambiente indefinido, es decir en un recipiente de dimensiones muy grandes.

c) **Determinación de la compacidad.** Se toma un recipiente de volumen V bastante grande, se llena con el agregado elemental considerado, sometándolo a la misma compactación en intensidad y duración (pisoneo, vibración, presión) que se usará en la faena. Se enrasan los granos que sobrepasan el nivel superior del molde y se pesa el agregado que contiene. La compacidad será:

$$\Upsilon = \frac{v}{V}$$

en que v=volumen absoluto del agregado=

peso específico absoluto

También puede hacerse de la ma-

(x) M. Albert JOISEL, ancien élève de l'Ecole Polytechnique, es actualmente Director del Laboratorio del C.E.R.I.L.H. (Centro de Estudios e Investigaciones de la Industria de los Conglomerantes Hidráulicos. Paris).

nera siguiente: se completa el volumen V con agua después de compactar y enrasar, siempre que el agregado no sea poroso. Se tiene entonces: volumen del agua = V - v

La compacidad Υ_0 en ambiente indefinido está ligada a la compacidad Υ medida en un recipiente de volumen V por la fórmula:

$$\Upsilon = (1 - k \frac{Sd}{V}) \Upsilon_0$$

en la que S es la superficie de las paredes del recipiente (incluida la superficie de enrasamiento) y d el tamaño mayor de los granos del agregado elemental, siempre que el recipiente de medida sea lo suficientemente grande (4). En este caso k = 0,1 aproximadamente.

Cuando se tiene un molde cúbico cuya arista = L se tiene:

$$\Upsilon_0 = \frac{\Upsilon}{1 - 0,6 \frac{d}{L}}$$

Siempre es preferible utilizar en estas determinaciones un recipiente lo mayor posible para que el efecto de pared sea despreciable.

d) **Dosificación de referencia** es la dosificación que para ciertas condiciones establecidas (tamaño máximo de los agregados, tipo de conglomerantes y agregados, encofrado, compactación, etc.), produce la máxima compacidad que se puede obtener.

e) **Tamaño de un grano** es la dimensión o abertural nominal (a) del tamiz por el que pasa justo.

SEGMENTO OA

f) D es el tamaño máximo del agregado.

δ el peso específico absoluto del cemento (6).

n el agua de amasado de la pasta normal del conglomerante en gramos de agua para 100 g de conglomerante (7). Este conglomerante contiene eventualmente aditivos.

r el radio medio del tamaño del

$$\text{agregado} = \frac{D}{6}$$

$$R \text{ radio medio del molde} = \frac{\text{volumen de hormigón}}{\text{superficie de encofrados y armaduras}}$$

superficie de encofrados y armaduras

TRAZADO DE LA CURVA GRANULOMETRICA

La granulometría de un hormigón puede representarse por una curva dibujada en un gráfico en el que el eje de las ordenadas representa el tanto por ciento p que pasa por un tamiz de cierta abertura cuyo valor se lleva en el eje de las abscisas.

Para determinados materiales (cemento, agregados) y determinadas condiciones de fabricación y colocación (compactación, encofrado y armadura) existirá una curva granulométrica que producirá el hormigón más compacto.

Si aceptamos la compacidad como el criterio más razonable para medir la calidad de un hormigón (8), la curva que nos dará la compacidad máximo será aquella que nos producirá el mejor hormigón. Esta curva se llama curva de referencia y se trata de determinar un hormigón tal, que su curva granulométrica se acerque lo más posible a la de referencia.

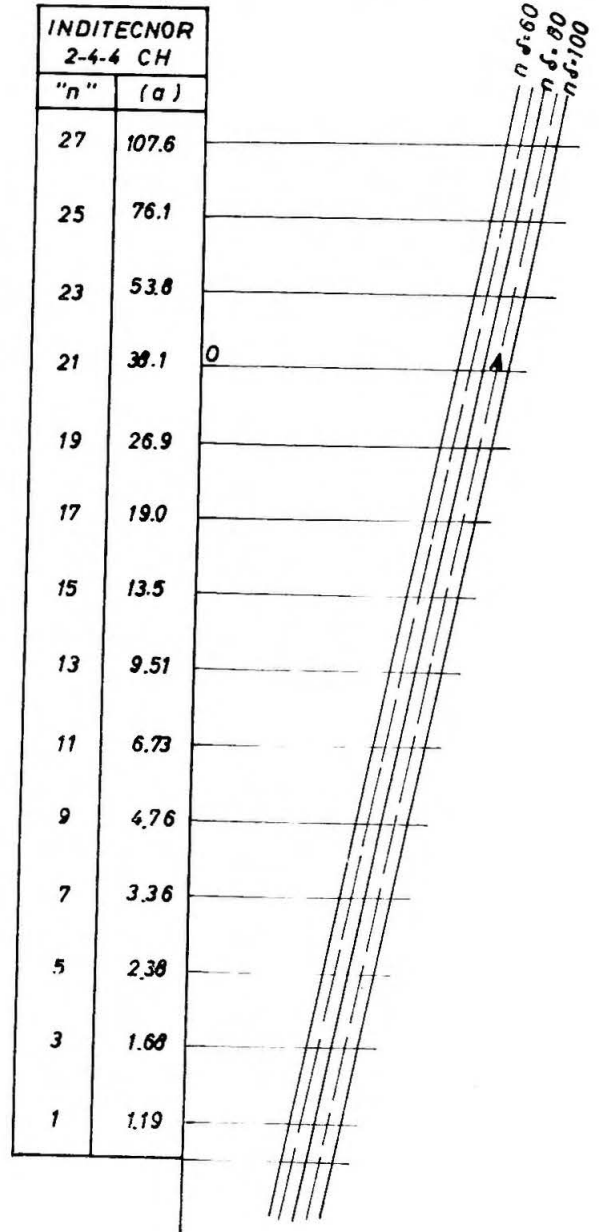
En este caso se ha tratado de simplificarla al máximo: es una recta, tal como se ve en la figura 1.

Eje de las ordenadas: normal y representa los volúmenes absolutos de los materiales.

OC' representa el volumen absoluto de los materiales sólidos: cemento y agregados.

OF representa el volumen de los

TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO (m.m.)



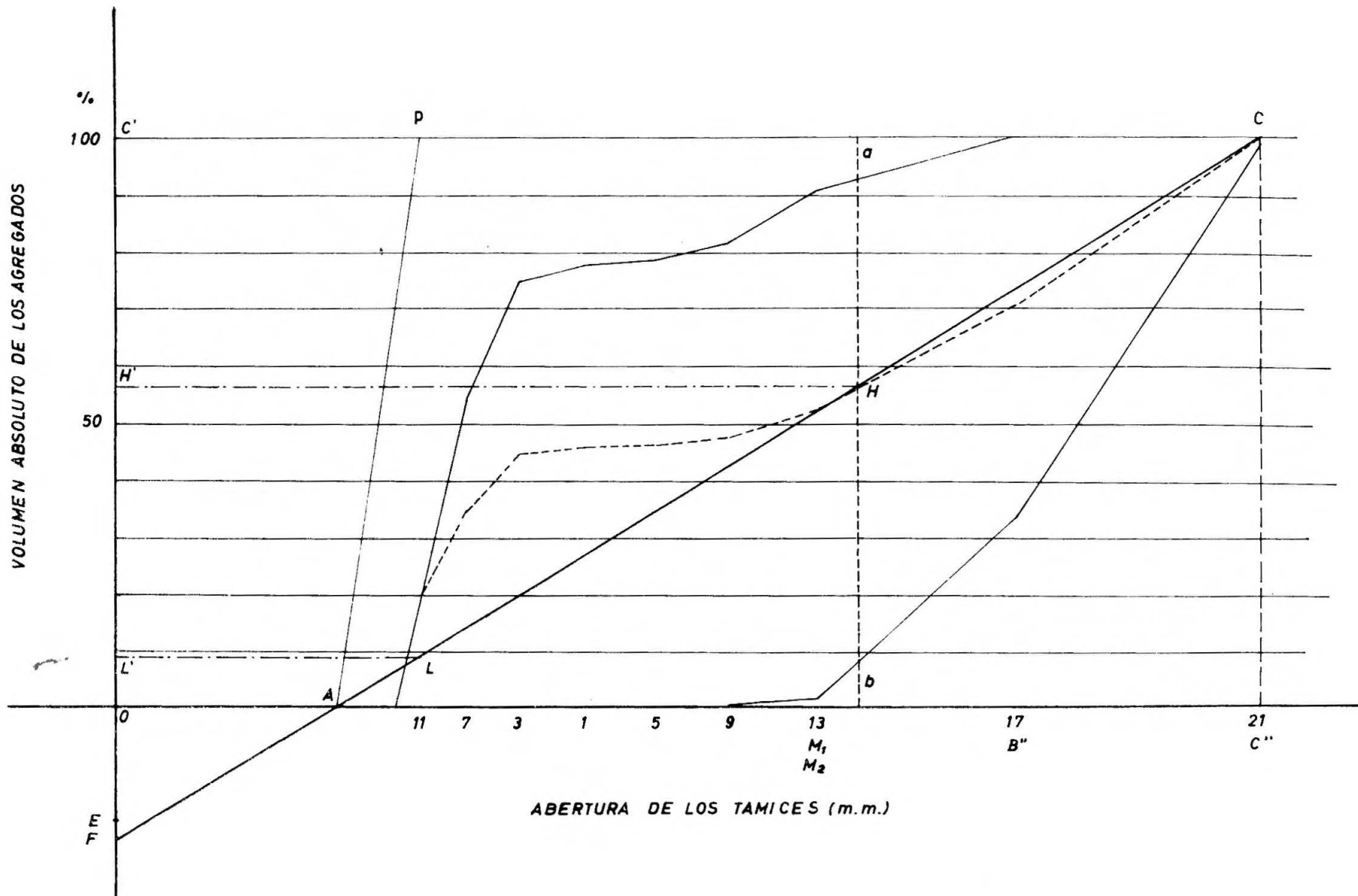
fluidos: agua y aire. Si los agregados son porosos, debe agregársele el agua que absorben.

OE = 0,85 OF representa el volumen del agua.

EF = 0,15 OF representa el volumen del aire.

FC' = representa por lo tanto el volumen total del hormigón de referencia compactado.

Eje de las abscisas es variable. El segmento OA está dado por el ábaco de la figura 2. Influye directamente sobre la dosis de agua OE. Es obvio que depende del tamaño máximo D y del agua de amasado del volumen absoluto unitario del conglomerante, proporcional al producto nδ.



El tamaño máximo del agregado puede determinarse fácilmente según sea la curva granulométrica del agregado de "manera que los últimos segmentos de la curva granulométrica realizada, se encuentren lo más cerca posible de la curva de referencia". En el ejemplo considerado $D = 38,1$ mm.

Para un cemento de peso específico absoluto 3 (promedio aproximado en los cementos chilenos) y cuya agua normal sea de 30%, se tiene:

$$n_s = 30 \times 3 = 90$$

Se determina el segmento OA (Fig. 2), para $D = 38,1$. Este segmento se marca en el gráfico de la Fig. 1 sobre el eje de las abcisas.

El segmento AB'' está dado por el ábaco de la figura 3 en función de la compacidad γ_0 en ambiente indefinido de los agregados elementales $\frac{D}{2}$.

Estrictamente debe determinarse por lo menos una compacidad por cada clase de agregado por emplear.

Por ejemplo si se trata de un hormigón compuesto de una arena, una gravilla y una grava, hay que efectuar una determinación de γ_0 en un agregado elemental de cada uno de ellos, de preferencia sobre el agregado elemental predominante.

El ejemplo de la figura 1 corresponde a 2 agregados: 1 arena y 1 grava (provenientes de la zona del río Maipo). La compacidad γ_0 determinada para el agregado elemental 0,149/0,297 de la arena fue: $\gamma_0 = 0,55$

En la grava la compacidad del agregado elemental predominante 19,0/38,1 fue: $\gamma_0 = 0,69$

Las escalas sucesivas de 0 a 9,51 mm por una parte y de 9,51 a 19 mm por otra parte, se toman en el ábaco de la figura 3 en AM₁ y M₂B'' respectivamente. Se copia AM₁ y M₂B'' en el eje de las abcisas de la figura 1.

El segmento B''C'' se determina con el ábaco de la figura 4, a partir de

la relación $\frac{B''C''}{O B''}$ que depende de la compacidad γ_0 del último agregado

elemental $\frac{D}{2}$ y del efecto de pared del molde caracterizado por $\frac{r}{R}$.

En este caso:

$$r = \frac{D}{6} = \frac{38,1}{6} = 6,35 \text{ mm}$$

Por ejemplo, para un pilar de 20 x 20 cm de sección con 4 ϕ 12, se tendría que $R = 31$ mm. (9).

$$\frac{r}{R} = \frac{6,35}{31} = 0,204$$

en función de $\gamma_0 = 0,69$ el abaco de la figura 4 nos dá:

$$\frac{B''C''}{O B''} = 0,27$$

Se marca el punto C'' en el eje de las abcisas y se obtiene C (igual abscisa y ordenada 100). Uniendo C con A y prolongando hasta F se obtiene la recta CAF del hormigón de referencia.

DETERMINACION DE LOS COMPONENTES

En el ejemplo estudiado, se traza (10) una paralela al eje de las ordenadas tal que el segmento comprendido entre el punto de intersección con la curva de la arena y el punto de ordenada 100 sea igual al segmento comprendido entre el punto de intersección con la curva de la grava y el punto de ordenada O (a=b).

El punto H de intersección de esta paralela con la recta de referencia nos determina dos segmentos C'H' y H'O que representan el volumen absoluto de la grava y de la arena + el cemento respectivamente.

La recta AP (Fig. 1) representa aproximadamente la curva granulométrica del cemento, al suponer que todos sus granos son de tamaño inferior a 0,149 mm. Se obtiene así OL' que representa el volumen absoluto mínimo de conglomerante para la dosificación estudiada.

Para 1 m³ de hormigón, las proporciones en volumen absoluto serán las siguientes:

cemento	$\frac{OL'}{FC'}$	x 1.000	litros
arena	$\frac{H'L'}{H'C'}$	x 1.000	"
grava	$\frac{FC'}{OE}$	x 1.000	"
agua	$\frac{FC'}{EF}$	x 1.000	"
aire	$\frac{FC'}{FC'}$	x 1.000	"

De ahí se deducen las dosis en peso multiplicando por los pesos específicos absolutos respectivos y las dosis en volumen aparente, dividiendo las dosis en peso por los pesos específicos aparentes respectivos:

Cemento	$0,072 \times 1.000 \times 3,0 = 216$	k/m^3
Arena	$0,382 \times 1.000 \times 2,6 = 992$	"
Grava	$0,355 \times 1.000 \times 2,6 = 922$	"
Agua	$0,166 \times 1.000 = 166$	l/m^3
Aire	$0,025 \times 1.000 = 25$	"
	<hr/>	
	1,000	

COMENTARIOS

Al dibujar la curva resultante (cemento + agregados) se puede observar (Fig. 1, curva de segmentos) que ésta tiene una desviación sobre la recta de referencia en la zona de los granos finos. Esto podría compensarse aumentando la desviación por debajo de la recta de referencia en la zona de los granos gruesos. Naturalmente la

medida en que podremos realizar tal compensación estará dada por las condiciones de hormigonado al confeccionar el hormigón.

Si por lo contrario se hubiese tenido una desviación bajo la recta de referencia en la zona de los finos, ésta no podría compensarse de manera adecuada por una desviación sobre la recta de referencia en la zona de los granos gruesos.

Cuando la dosis de cemento está dada por las especificaciones técnicas deberá compensarse este aumento disminuyendo la arena.

Si los agregados tienen granulometrías continuas (tamaño máximo de la arena correspondiente a tamaño mínimo de la grava), la recta que determina las proporciones de los materiales se encuentra en la abscisa correspondiente al tamaño de la arena.

Para granulometrías discontinuas esta recta determinante se encuentra en la abscisa correspondiente a la media proporcional geométrica de las abscisas límites de la discontinuidad (10).

El caso de 3 o más agregados se resuelve trazando las rectas determinantes de 2 en 2 agregados.

Una dosificación estará completa solamente cuando se tomen en cuenta todos los parámetros posibles; ésto se cumplirá sólo cuando se confeccione y se coloque el hormigón diseñado.

Para M. JOISEL su mayor preocupación al idear su método fue "la unión de la teoría y de la experiencia".

BIBLIOGRAFIA

- 1.—A. Joisel.—Composition des bétons hydrauliques. Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics. Octobre 1952.
- 2.—A. Joisel.—La composition des bétons hydrauliques. Une droite de référence. PT 59. CERILH. Novembre 1953.
- 3.—M. Venuat et M. Papadakis.—Contrôle et essais des ciments, mortiers, bétons. Editions Eyrolles 1961.
- 4.—P. Destable.—Mesure de la densité apparente d'un agrégat. Annales de l'I.T.B.T.P. Janvier 1951.

- 5.—Inditecnor. 2. 4-4 Tamices de ensayo.
- 6.—Inditecnor. 2. 30-33. Determinación del peso específico de los cementos.
- 7.—Inditecnor 2. 30-30. Determinación de la consistencia normal de los cementos.
- 8.—R. L'Hermite.—Idées actuelles sur la technologie du béton. Editions de la Documentation Technique du Bâtiment et des Travaux Publics. 1955.
- 9.—J. Faury.—Le Béton. Dunod Editeur, 1953.
- 10.—J. Charo.—Apuntes para un curso sobre técnica y tecnología del hormigón. 1960. (Apuntes de clase). Solución gráfica de JOISEL para el método de Dosificación de FAURY.

TAMAÑO DE LOS GRANOS EN MM.

