

MÉTODO MECÁNICO PARA LA COMPACTACIÓN DEL CONCRETO

La vibración (Parte I)

Eduardo de J. Vidaud Quintana

Ingeniero Civil/Maestría en Ingeniería.

Su correo electrónico es: evidaud@mail.imcyc.com

Ingrid N. Vidaud Quintana

Ingeniero Civil/Doctorado en Ciencias.

Su correo electrónico es: ingrid@fco.uo.edu.cu

El propósito fundamental de la compactación del concreto es reducir al mínimo los perjudiciales vacíos u oquedades ocupados por aire, que normalmente quedan en la mezcla fresca recién colocada. Esto se logra compactando el material, con lo que se alcanzará una mezcla con una mayor densidad relativa, lo que propiciará una mayor resistencia (Fig. 1) y durabilidad en la estructura.

En general, compactar el material implica someter a las partículas sólidas a un movimiento que permita la ascensión del aire hasta su eliminación por la superficie superior del elemento compactado, sin que se produzca segregación.

Varios son los métodos que se utilizan en la actualidad con este fin; clasificándose en métodos manuales y mecánicos. Por lo que la selección del método más apropiado depende de varios factores como las características de la mezcla fresca, las condiciones del vertido, la complejidad de la estructura y de la cimbra, la cantidad de refuerzo, y por supuesto, el grado en que se desee remover el aire atrapado.

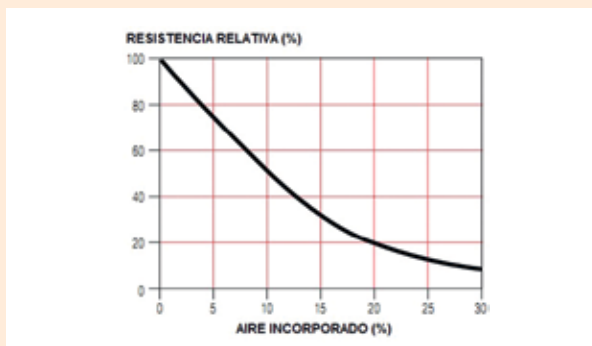
Dos de los métodos manuales tradicionales son con fija o picado de barra y con pisón; mientras que entre los métodos mecánicos pueden citarse: la mesa de vibración, el pisón mecanizado y la vibración (Fig. 2). Jiménez Montoya refiere en su obra a los métodos especiales de compactación, entre los que describe al centrifugado, la inyección y la compactación por vacío.

El principal agente que se opone a la compactación es la fricción⁽¹⁾; fenómeno que puede presentarse en el concreto entre las partículas que lo componen, entre él mismo y el acero de refuerzo; así como entre el concreto y la cimbra, o entre el concreto y cualquier dispositivo embebido, como pueden ser las tuberías.



Figura 1

Gráfico que muestra la pérdida de resistencia como resultado de una compactación deficiente.



Fuente: Adaptado de Cement Concrete & Aggregates Australia, 2006.

Figura 2



Compactación del concreto con vibrador de inmersión.



Fuente: <http://akpinarbeton.com/en/ready-mixed-concrete/concrete-dumping-technique/vibrators-vibration/>

⁽¹⁾ La fricción no es más que la fuerza resistente que actúa sobre un cuerpo e impide o retarda su movimiento respecto a otro cuerpo o a una superficie de contacto. Es una fuerza que actúa siempre tangencialmente a la superficie en los puntos de contacto, y su sentido se opone al movimiento posible o existente del cuerpo. La fricción o rozamiento entre dos superficies se mide por el coeficiente de fricción, que es el cociente entre la fuerza necesaria para mover dos superficies en contacto mutuo y la fuerza que presiona una superficie contra otra.

Tomado de: Hibbeler R. C. (1993).

Un elemento muy importante a considerar al elegir un determinado método de compactación es la trabajabilidad de la mezcla; propiedad del concreto plástico que determina la facilidad con que esta puede ser mezclada, transportada, vertida, compactada y terminada su superficie, sin perder su homogeneidad.

Por la importancia que tiene en la compactación, es necesario entender que la trabajabilidad es función directa de las propiedades reológicas de la mezcla fresca de concreto. Es decir: estabilidad, compactibilidad y movilidad, que respectivamente se manifiestan por el grado de segregación, el grado de densidad relativa obtenida y por la consistencia de la mezcla.

Para que el método de compactación elegido pueda garantizar una densidad relativa, la mezcla de concreto entonces debe ser lo suficientemente trabajable⁽²⁾. Muchos autores han definido que una fluidez excesiva en una buena mezcla, resulta en general indeseable; pues se incrementa su costo y si se obtiene como resultado de un incremento excesivo del agua de mezclado, la mezcla será inestable, se segregará durante la compactación y disminuirá la calidad del concreto endurecido.

En general, se recomienda que los métodos manuales de compactación sean aplicables a elementos pequeños y preferiblemente no estructurales. De los métodos mecánicos de compactación del concreto, la vibración resulta ser el más ampliamente utilizado; de sus principios, ventajas y limitaciones tratará este escrito.

El método de compactación por vibración se realiza por medio de equipos especialmente diseñados al efecto y consiste en someter a la mezcla fresca de concreto (una vez colocada en la cimbra) a impulsos vibratorios rápidos de 90 Hz de frecuencia o mayores, los que inciden en la mezcla reduciendo bruscamente la fricción interna entre las partículas de agregados. Bajo la acción de estos impulsos, el concreto fresco fluye como un líquido espeso y se extiende dentro de los moldes, mientras el exceso de aire escapa rápidamente a la superficie en forma de burbujas. Es bajo este efecto que el concreto se asienta

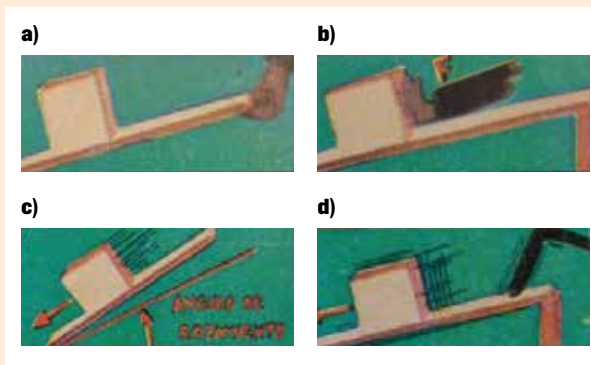
⁽²⁾ Es necesario considerar la trabajabilidad de la mezcla en el interior de la cimbra; pues este es el parámetro que determina sobre los métodos de compactación. Se debe esta precisión a que esta trabajabilidad puede ser sensiblemente menor que la medida en la mezcladora; debido a las ineludibles pérdidas que sufre la mezcla durante el transporte y vertido, ya sea por la temperatura u otras condicionantes ambientales, por demoras, falso fraguado, u otras causas.

Tomado de: Howland, J. J. (2010).



Figura 3

Ejemplo del cubo de piedra sobre la tabla inclinada.



Fuente: L'Hermite, 1969.

Figura 4



Efecto de la vibración en el cubo de piedra.

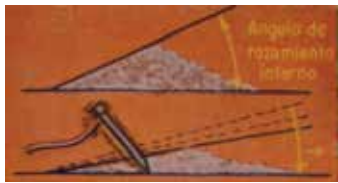


Fuente: L'Hermite, 1969.



Figura 5

Disminución del rozamiento interno en presencia de la vibración.



a) Reducción del rozamiento



b) Expansiones

Fuente: L'Hermite, 1969.

con facilidad, bajo la acción de la gravedad. Una vez que cesa la vibración se restablece la fricción interna entre las partículas de la mezcla.

Para entender físicamente el método, L'Hermite expuso en su libro "A pie de Obra" el ejemplo del cubo de piedra sobre la tabla inclinada (Fig. 3a).

Tal y como se muestra en el ejemplo, para hacer deslizar el cubo serían necesarias una de dos condiciones: empujarle con una fuerza F (Fig. 3b), o aumentar la inclinación de la tabla; de manera que el ángulo de inclinación con la

horizontal supere el valor del rozamiento entre la piedra y la tabla (Fig. 3c). Sin embargo, volviendo a la posición inicial, podría igualmente deslizarse el cubo (sin llegar a las condiciones anteriores) si se aplican pequeños golpes en la tabla (Fig. 3d) que hagan que el cubo se impulse y pueda llegar a deslizarse; sin necesidad de empujarle, incluso con una muy pequeña inclinación en la tabla. Este comportamiento precisamente explica el principio fundamental de la compactación por vibrado, que radica entonces en que la vibración anula el rozamiento.

Volviendo al ejemplo, la piedra es lanzada hacia arriba por el efecto de la vibración y durante intervalos muy cortos de tiempo, no está en contacto con la tabla; cayendo por su propio peso y en la dirección de la gravedad. El movimiento del bloque se produce entonces gracias a esta serie de pequeños saltos; los que L'Hermite relaciona con el trazo que describe la rana de la Figura 4, en su trayecto a la charca.

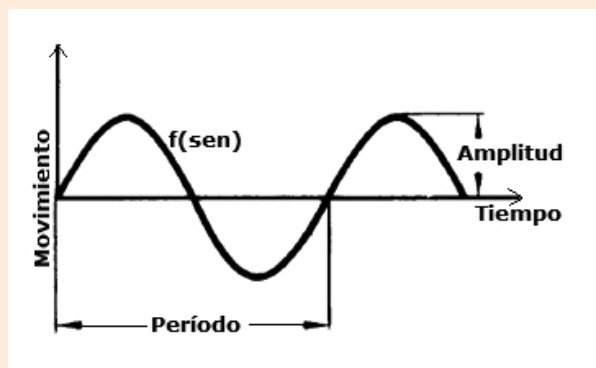
Si los cubos se presentan con diferentes densidades, tendrán diferente deslizamiento. Los más ligeros deslizan; mientras que los más pesados quedan quietos. El efecto del vibrador equivale a un empuje hacia arriba que reduce las fuerzas de contacto y se presenta como una fuerza expansiva que tiende a separar las superficies en contacto. Para permitir el movimiento sin rozamiento será necesario aplicar una energía vibratoria tal que la expansión supere la presión.

En el concreto sucede de forma similar. El efecto de la vibración es la reducción o anulación del rozamiento interno (Fig. 5a), cuyas fuerzas se desarrollan principalmente entre las múltiples superficies de contacto de los agregados.



Figura 6

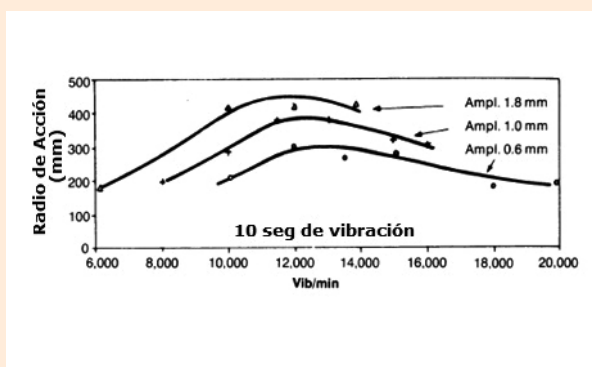
Movimiento sinusoidal vibracional.



Fuente: CCANZ, 2005.

Figura 7a

Ejemplo del cubo de piedra sobre la tabla inclinada.

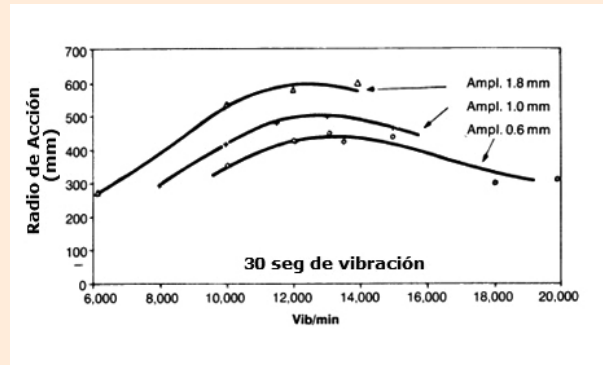


Fuente: L'Hermite, 1969.



Figura 7b

Relación entre la Amplitud de Vibración y el Radio de Acción de esta en el concreto vibrado (10 segundos de vibrado).



Fuente: CCANZ, 2005.

La resultante de estas fuerzas de rozamiento es un coeficiente global de rozamiento interno.

Las partículas vibran y se presionan unas a otras, cuya resultante es una presión que se traduce en expansiones actuando en todas direcciones (Fig. 5b); oponiéndose a la presión exterior, peso propio y cohesión para mantener los granos separados por cortos intervalos de tiempo en que suelen girar, desplazarse y apretarse. En otras palabras, el vibrador crea una presión capaz de separar las partículas de agregados; reduciendo la fricción entre ellas.

En general, el mecanismo de acción de la vibración radica, en que el equipo que se utiliza en la compactación del concreto desarrolla sus vibraciones en forma de rotación excéntrica; esta es la razón por la que las vibraciones se generan en un flujo constante de ciclos que viaja a través del concreto, y se transmiten dentro y a través del medio en contacto con el vibrador, induciendo su energía a las partículas que componen la mezcla. Los componentes del ciclo de vibración son la amplitud, la frecuencia y la aceleración; estos términos se utilizan para describir las características de rendimiento de un determinado equipo de vibración.

La amplitud (D) es el desplazamiento máximo de un punto, salido del reposo, durante un ciclo de vibración. La mayoría de los vibradores de concreto operan con una amplitud oscilante entre 0.5 mm y 2.0 mm. La Frecuencia (f) se describe generalmente por el número de vibraciones por unidad de tiempo; 1 Hertz (Hz) = 1 vibración por segundo, o 60 vibraciones por minuto. El desplazamiento en cualquier instante (t), durante una oscilación de onda sinusoidal simple, estará dado entonces por la Expresión 1:

$$X = D \cdot \text{sen} [2\pi \cdot f \cdot (t)] \quad (1)$$

Del mismo modo, la aceleración (A) en cualquier instante del ciclo se podrá determinar según la Expresión 2:

$$A = A_{\text{MAX}} \cdot \text{sen} [2\pi \cdot f \cdot (t)] \quad (2)$$

En donde la aceleración máxima (A_{MAX}) puede ser estimada según la Expresión 3. En la Figura 6 se ilustra la terminología definida.

$$A_{\text{MAX}} = 4\pi^2 \cdot f^2 \cdot D \quad (\text{m/seg}^2) \quad (3)$$

En Suecia, la organización Dynapac llevó a cabo estudios encaminados a correlacionar la amplitud de las vibraciones internas con las frecuencias, durante el proceso de vibración del concreto. Los estudios concluyeron que existe una combinación óptima de las condiciones de vibración en la respuesta de la mezcla vibrada (Fig. 7a y 7b).

En la segunda parte de este escrito se continuará haciendo referencia al proceso de vibrado y sus principales ventajas; también se clasificarán los equipos vibradores, evidenciando sus características más universales. **C**

REFERENCIAS:

- Cement, Concrete & Aggregates Australia, "Compaction of Concrete", June 2006.
- Cement & Concrete Association of New Zealand (CCANZ), "IB 46: Vibration of Concrete", March 2005.
- Hibbeler R. C., "Mecánica para Ingenieros. Estática", Compañía Editorial Continental, S. A. de C. V., Sexta Edición, México, 1993.
- Howland Albear J. J., "Tecnología del Hormigón", Editorial Félix Varela, La Habana, Cuba, 2010.
- Jiménez Montoya P., García Meseguer Á., Morán Cabré F., "Hormigón Armado", 14ª Edición basada en la EHE, España, 2000.
- L'Hermite R., "A pie de obra", Editorial TECNOS, Madrid, 1969.