

Corrección por esponjamiento de la arena en las dosificaciones volumétricas - procedimiento mejorado para evitar catastróficos resultados

Ing. Fernando Cerruto Anibarro

Ing. Sergio A. Vargas Roca

RESUMEN: Las dosificaciones volumétricas son un método precario para la elaboración de hormigones, las cuales, han sido erradicadas en el mundo desde 1950 debido a la gran variabilidad existente al cuantificar los volúmenes de materiales. Actualmente toda norma de la construcción señala que "Todo hormigón estructural debe ser elaborado por peso en centrales hormigoneras". En Bolivia, las dosificaciones volumétricas continúan como el método principal para la elaboración de hormigones sin considerar la corrección por humedad de los agregados, en especial de la arena, la cual sufre el fenómeno del Esponjamiento que no es más que un aumento aparente de su volumen por efectos de la humedad. En diferentes investigaciones realizadas en el IEM, se ha demostrado que en condiciones de obra, la corrección por Esponjamiento de la Arena reduce los costos de los hormigones en un 16 % y produce un ahorro de cemento del orden del 23 %, mejora o iguala la resistencia a compresión y mejora la calidad global de los hormigones tanto en estado fresco como en estado endurecido.

1. ANTECEDENTES

El hormigón es el material de construcción más utilizado a nivel mundial, presente en toda construcción y obra civil de cualquier tipo y envergadura y, debido a su gran uso, ha sido estudiado ampliamente por diversos países, universidades, laboratorios y empresas afines con el objetivo de entender a cabalidad sus propiedades físicas y mecánicas, además de encontrar los métodos óptimos para su elaboración y puesta en obra; métodos diversos que actualmente varían en la normativa internacional, más todas hoy por hoy coinciden en dos puntos muy importantes e invariables: "Todo hormigón estructural debe ser elaborado por peso en centrales hormigoneras" y "Todo hormigón no estructural que no esté sujeto a carga puede ser elaborado por volumen".

Nuestro país, no indiferente de las tendencias globales de desarrollo y crecimiento ha mostrado un auge en el rubro de la construcción durante

las últimas 4 décadas, donde el hormigón se ha constituido como el material favorito y de mayor uso e implementación, sin embargo las técnicas y metodologías para su elaboración se han quedado estancadas en métodos precarios y obsoletos que prácticamente no son utilizados desde la década de los 50's (siglo XX) en países en los cuales el hormigón se ha convertido en toda una industria. Esta mala praxis la podemos observar cotidianamente, mediante la utilización de cajas de madera y baldes plásticos de pintura.

Bolivia consume aproximadamente 2 500 000 toneladas métricas de cemento por año y con una tendencia de crecimiento de este consumo en un orden del 13% anual; la mayor parte de este cemento se destina a la elaboración de hormigones con el uso de dosificaciones volumétricas y a pie de obra, es decir, más del 70% de las obras en nuestro medio elaboran hormigones con métodos volumétricos y las dosificaciones por peso quedan limitadas a la importancia de la obra y a la disponibilidad de

equipo. En lo que concierne a hormigón premezclado este es utilizado solo en las ciudades del eje troncal y en función a la disponibilidad del proveedor.

Dentro de la mala praxis que existe al utilizar las dosificaciones volumétricas podemos destacar que éstas se aplican sin ningún estudio o análisis previo (control de materiales, dosificación de laboratorio, revolturas de prueba tanto en laboratorio como en obra) además de un deficiente control de calidad del hormigón tanto en estado fresco como endurecido destacando: falta de control mediante el Cono de Abrahams, inadecuado muestreo de probetas, falta de planificación de obra y falta de corrección por humedad de los agregados, en el caso de la arena mediante el esponjamiento de la misma.

2. CONCEPTOS IMPORTANTES

- **Esponjamiento de la arena:** no es más que un aumento aparente (hinchamiento) del volumen de la arena debido a su humedad, es decir, a la cantidad de agua contenida en los granos o de forma intergranular. Las Arenas son absorbentes, retienen agua en sus propios poros y además cada grano puede rodearse de una "película de agua". La sumatoria de granos con esa "película" produce un aumento o hinchamiento de volumen por acción y presencia de ella, lo cual se denomina "Esponjamiento" de la Arena.
- **Dosificación Base:** es aquella obtenida a partir de cálculo e implica un estado seco de los materiales a utilizarse y es invariable durante determinado período (Optimización, cambio de materiales, etc.).
- **Dosificación Operativa:** es aquella que es resultado de la corrección de humedad a través del esponjamiento en la arena lo que conlleva en un incremento de arena esponjada y una disminución del agua añadida. La Dosificación

Operativa esta hecha en base a la Dosificación Base y puede variar varias veces incluso en una misma jornada por diversos motivos como ser lluvia o llegada de nuevos materiales. Su cálculo equivale a la corrección por humedad que se realiza en las dosificaciones gravimétricas.

- **Homogeneidad:** Propiedad la cual se refiere a la conservación de las mismas propiedades del hormigón dentro de una misma amasada.
- **Uniformidad:** Propiedad referida a la conservación de las mismas propiedades del hormigón entre diversas amasadas.

3. CONSIDERACIONES GENERALES

Inicialmente se debe recalcar que las dosificaciones volumétricas, debido a la incertidumbre que se genera al cuantificar los volúmenes de los materiales, solamente podrán ser utilizadas cuando en obra no se disponga de los equipos necesarios para elaborar los hormigones mediante métodos gravimétricos (por peso).

La elaboración de hormigones en obra mediante debe ser realizada bajo un estricto nivel de control y con las medidas necesarias que garanticen su homogeneidad y uniformidad durante todo el proceso de hormigonado (Cono de Abrams, elaboración de probetas, corrección de humedad, control de agregados, planificación del proceso, adecuado vibrado, etc.).

Bajo ninguna circunstancia debiera permitirse realizar trabajos de hormigonado siguiendo relaciones volumétricas planteadas por guías y/o recomendaciones locales ya que no cuentan con ningún respaldo técnico y mucho menos se aplican a las condiciones propias de cada obra y a las características de sus materiales. Se debe contar, indispensablemente, con la dosificación por peso aprobada en laboratorio y en condiciones de obra mediante la elaboración de revolturas de

prueba y ensayos a compresión de probetas al menos a 28 días; a esta dosificación recién se la podrá llevar a una relación por volumen obteniendo la "Dosificación Base" para el hormigonado.

Una vez obtenida la "Dosificación Base", en obra la humedad será corregida mediante el Esponjamiento de la Arena obteniendo la "Dosificación Operativa" con la cual se elaborarán los hormigones. La Dosificación Operativa será reajustada cuantas veces sea necesario de acuerdo a las condiciones de humedad y control de la arena.

4. PROCEDIMIENTO PROPUESTO - DOSIFICACIONES VOLUMÉTRICAS A PARTIR DE UNA DOSIFICACIÓN POR PESO

Sobre la base de diferentes investigaciones hechas en el laboratorio de Hormigones del IEM y en varias obras civiles ubicadas en la ciudad de La Paz, se plantea lo siguiente:

4.1 EN GABINETE

Por ejemplo, se cuenta con la siguiente dosificación aprobada:

	Peso Seco [Kg/m ³ -Ho]	PUc [Kg/m ³]	Pus [Kg/m ³]
Agua	185		
Cemento	359		
Grava	572	1634	1571
Arena	1080	1884	1728

En dependencia del volumen nominal de la hormigonera (no menos de 350 litros E 1 bolsa de cemento) y asumiendo que una bolsa de cemento en Bolivia pesa alrededor de 50 [Kg] se determina la cantidad de bolsas por metro cúbico Nb = 359/50 = 7.18 bolsas:

	Determinación de peso para amasada de 1 bolsa de cemento	Peso para 1 bolsa de cemento [Kg]
Agua	185 / 7.18 =	26
Cemento	50	50
Grava	572 / 7.18 =	80
Arena	1080 / 7.18 =	150

El volumen se obtiene dividiendo el peso de la grava entre su Peso Unitario Suelto y la arena dividiéndola entre su Peso Unitario Compactado y se calcula la relación de cajas y de baldes a utilizarse. Considerando que el volumen de las cajas es de 35.53 [l] (Cajas de 35x35x29 [cm]) y los baldes de pintura tradicional son de 18 litros:

	Peso para 1 bolsa de cemento [Kg]	Convertimos el peso para 1 bolsa de cemento a volumen en litros	Volumen [l]	Cajas de 35x35x29 [cm]	Baldes de pintura 18 [l]
Agua	26	26	26	26/35.53 =0.73	26/18=1.44
Cemento	50	1 Bolsa de cemento	1 Bolsa	1 Bolsa	1 Bolsa
Grava	80	(80 / 1571) x 1000 =	51	51/35.53 = 1.4	51/18 = 2.8
Arena	150	(150 / 1834) x 1000 =	82	82/ 35.53 = 2.3	82/18 = 4.5

Nota: Las cajas de madera y los baldes de plástico son elementos de carguío ampliamente usados en nuestro medio

De los valores obtenidos en las cajas obtenemos la relación volumétrica correspondiente a la Dosificación Base: 1 : 2.3 : 1.4 : 0.73 (26 [1]).

4.2 EN OBRA

Todas las relaciones volumétricas deben responder a la forma C:G:A:a, destacando que el valor del agua siempre es conocido y no como se plantea en la mayoría de las guías empíricas las cuales dejan a criterio del constructor, la cantidad de agua a emplear.

Obtenida la Dosificación Base se procederá en obra a realizar el ensayo del Esponjamiento de la Arena para poder calcular la Dosificación Operativa con la cual se elaborarán los hormigones. Esta corrección es equivalente a la corrección por humedad que se realiza en las dosificaciones por peso. El ensayo deberá ser realizado por lo menos unos 20 minutos antes de comenzar los trabajos de hormigonado y las veces que sea necesario al evidenciarse cambio de la humedad de la arena.

Para su determinación se necesita una probeta de un litro de capacidad o un recipiente del mismo volumen calibrado cada 50 [ml] como máximo y un diámetro no mayor a los 10 [cm]. De no contarse con ninguno de los anteriores se puede fabricar el recipiente en obra a partir de una botella PET como se muestra en la Figura 1. Para determinar el esponjamiento de la arena el ensayo correspondiente es:

- Llenar el recipiente en un 80% de su capacidad.
- Dejarlo caer dos veces desde una altura de 5 [cm]. Prever que el golpe de caída sea seco y en toda la superficie de la base del recipiente.
- Enrazar a un volumen conocido e inundar con agua.
- Agitar vigorosamente y con una varilla metálica apisonar 30 veces con la finalidad de eliminar el aire.

- Dejar reposar por 15 minutos y realizar la lectura de volumen final considerando aquel que corresponde exclusivamente al de las arenas, es decir sin tomar en cuenta la parte fina.

El esponjamiento de la arena estará dado por:

$$\%E = \frac{V_I - V_F}{V_F} * 100$$

Donde:

$\%E$ = Esponjamiento de la Arena obtenido e porcentaje, [%]

V_I = Volumen inicial de la muestra, [cc]

V_F = Volumen final de la muestra obtenido después del ensayo, [cc]

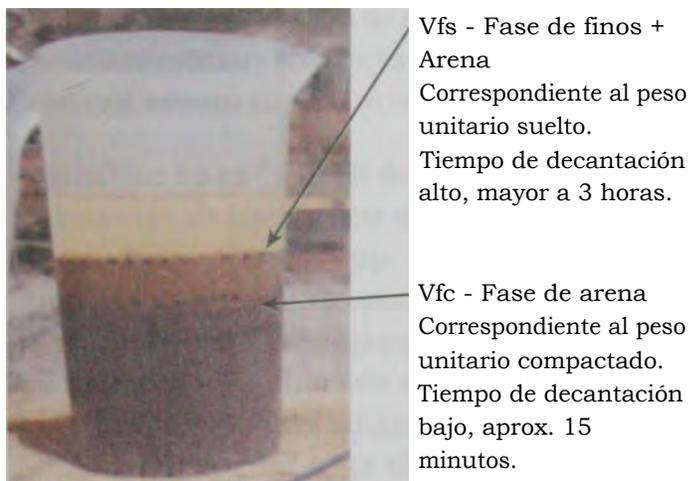


Figura 1: Ensayo del esponjamiento de la arena

Nota: Contrario a la lógica, y al hecho de obtener prácticamente los mismos resultados, es que, se propone la obtención de volumen de arena utilizando el Peso Unitario Compactado y el esponjamiento midiendo sólo el nivel decantado de arena.

Alternativamente, si se desea realizar la lectura tomando como nivel final el de la arena más los finos se debe dejar reposar por lo menos 3 horas, sin embargo, el volumen de la arena en la

dosificación base deberá ser calculado al dividir el peso de la arena entre su Peso Unitario Suelto.

El cálculo de la Dosificación Operativa estará dada por:

$$C : A * \left(1 + \frac{\%E}{100}\right) : G : a * \left(1 - \frac{3}{5} \frac{\%E}{100}\right)$$

Si en el ensayo de esponjamiento, si hubiese obtenido $\%E = 27\%$:

$$C : A * \left(1 + \frac{\%E}{100}\right) : G : a * \left(1 - \frac{3}{5} \frac{\%E}{100}\right)$$

$$1 : 2.3 * \left(1 + \frac{27\%}{100}\right) : 1.4 : 0.73 * \left(1 - \frac{3}{5} \frac{27\%}{100}\right)$$

La Dosificación Operativa para $E = 27\%$ será $1 : 2.9 : 1.4 : 0.61$ (22 [1]).

Con esta dosificación se elaborarán los hormigones y esta podrá ser reajustada cuantas veces sea necesaria incluso dentro de una misma jornada.

Nota: En la fórmula, el valor $3/5$ es un coeficiente empírico de arranque con el cual se estimará la cantidad de agua que corresponda a un asentamiento en el cono de Abrams de 5 [cm]. Ya en el mismo proceso se deberá verificar si esta cantidad de agua obtenida corresponde a un asentamiento de 5 [cm], de lo contrario, se deberá ajustar la cantidad de agua para obtener dicho asentamiento con el cual se garantiza una adecuada trabajabilidad del hormigón y su fácil puesta en obra por parte de los obreros.

5. VENTAJAS DE LA CORRECCIÓN POR ESPONJAMIENTO DE LA ARENA

- Después de más de 5 años de investigación se ha demostrado que la corrección por esponjamiento de la arena en dosificaciones volumétricas reduce los costos de los hormigones en un promedio del 17%, siendo el ahorro del cemento en un 23%.

- La planificación de los procesos de hormigonado puede producir un ahorro económico alrededor del 9%. Si se compara los métodos tradicionales para la elaboración de hormigones con un proceso adecuadamente planificado y con la respectiva corrección por esponjamiento de la arena se puede obtener un ahorro global del 27%.
- La corrección adecuada del volumen de la arena por esponjamiento y del agua añadida a la mezcla conserva la relación a/c o de lo contrario la disminuye favoreciendo a la resistencia final sin necesidad de afectar la trabajabilidad de la mezcla.
- La corrección por esponjamiento de arena en las dosificaciones volumétricas mejora la trabajabilidad, la homogeneidad y la uniformidad del hormigón.
- En cuanto a resistencias se refiere, las dosificaciones volumétricas adecuadamente corregidas y controladas obtienen una resistencia en un orden del 6% menor comparado con las dosificaciones por peso.
- Al corregirse por esponjamiento de la arena se obtienen hormigones más trabajables, menos segregables, más económicos y con menor propensión a la formación de cangrejeras las cuales tiene que ser reparadas posteriormente a costo del constructor y del tiempo de construcción de la obra.

6. DESVENTAJAS DE NO CORREGIR POR ESPONJAMIENTO

- La no corrección produce, un excesivo consumo de cemento llegando a superar los 420 [Kg/m³-Ho] lo cual encarece el hormigón y se obtienen bajas resistencias debido a relaciones a/c altas.

- Al no corregirse se obtienen hormigones con bajos rendimientos ya que se produce menos mezcla por la carencia de arena por tanto, se debe de realizar mas amasadas las cuales cubran dicha carencia lo cual encarece todo el proceso de hormigonado.
- Al no corregirse por esponjamiento los obreros tienden a añadir agua en exceso para facilitarse su trabajo de puesta en obra lo cual perjudica drásticamente a la resistencia además que producen hormigones muy fluidos ($A_s > 10$ [cm]) por tanto propensos a la segregación y más aún al ser vibrados. Cabe recordar que **por norma los hormigones con un asentamiento superior a 10 [cm] no requieren vibración.**
- La tan difundida relación 1:2:3, en el mejor de los casos obtiene hormigones con una resistencia no superior a los 18 [MPa]; comúnmente 14 [MPa] y con fuerte presencia de cangrejas, particularmente en hormigonados verticales de altura (pilares, columnas, muros de contención y otros) y en nodos (conjunción de vigas y pilares).