

## Estudio de algunos conceptos sobre el ensaye de muestras de concreto, e interpretación de los datos obtenidos

Especial para "DYNA"

Por Jacques Delleur R.

Alumno de la Facultad

En el presente artículo no pretendo exponer ningún concepto nuevo; sino unos principios muy conocidos que he podido estudiar en numerosos ensayos que me ha tocado llevar a cabo en el Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Facultad, bajo la dirección de los Ingos. Gracián Trujillo U. e Ignacio Arango A., a quienes quiero manifestar mi gratitud por los conocimientos que he podido adquirir, gracias a ellos.

Los factores que influyen en la resistencia última de una muestra de concreto ensayada a compresión son muy numerosos y variados, como por ejemplo la forma geométrica de la muestra, su vaciado y apisonado, su curación y grado de humedad en el momento del experimento, el recubrimiento dado a las superficies de trabajo o "capping", el calibre y el uso correcto de las máquinas, etc. Aquí no se tratarán las variaciones debidas a la dosificación de los elementos constitutivos de la mezcla sino las debidas al modo de tomar y ensayar la muestra.

*La forma geométrica de la muestra.*—El A. S. T. M. recomienda a este respecto el uso de cilindros de 6 pulgadas de diámetro y 12 pulgadas de altura, y supone que el esfuerzo de compresión está uniformemente distribuido sobre la sección. Sin embargo la distribución actual de los esfuerzos es mucho más compleja, aun cuando el contacto entre las superficies de la muestra y los platos de la máquina sea perfecto, debido a la fricción que existe entre ellas. Esta fricción impide que las secciones vecinas a los platos de la máquina se expandan. Para obtener la verdadera resistencia del concreto se debe eliminar esta fricción hasta donde sea posible. Un autor alemán ha ensayado muestras cubiertas con parafina, obteniendo una falla en forma de placas laterales en vez del cono que se produce normalmente.

Otro método consiste en usar muestras que tengan una altura mayor que la dimensión lateral. Esta es la razón por la cual el A. S. T. M. prevee el uso de cilindros cuya altura es el doble del diámetro. Esto explica también el hecho de que un concreto ensayado en igualdad de condiciones da mayor resistencia unitaria con moldes cúbicos de 6 pulgadas de dimensión (molde inglés) que con el molde cilíndrico standard americano (diámetro 6"; altura 2").

Bach llevó a cabo unos ensayos con el fin de determinar la relación entre la resistencia cúbica  $Sc$ , y la resistencia prismática  $Sp$ , haciendo variar la altura del pris-

ma y permaneciendo constante el lado del cuadrado de la sección: igual a 32 cms. Bach obtuvo los datos siguientes tomando como unidad la resistencia cúbica:

Valores de Sp/Sc	l/d					
	0.5	1	2	3.7	8	12
	1.38	1.00	0.94	0.87	0.85	0.84

La resistencia varía también inversamente con la sección de la muestra. Así por ejemplo si ensayamos un cilindro de 6" de diámetro y otro de 3½", ambos tales que  $l/d = 2$ ; en igualdad de condiciones, el cilindro de 6" suele acusar una resistencia menor que el de 3½". Según Saliger la resistencia de un cubo de 10 cms. de arista es 1.11 veces la de un cubo de 20 cms. (cubo standard alemán). Los moldes de fundición deben ser impermeables, pues en caso de perder agua por la juntura, esto cambiaría la relación agua/cemento y afectaría por consiguiente la resistencia. Estos cilindros se hacen generalmente de fundición o de cobre, dando a las paredes un espesor de 3/8". El Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Facultad posee juegos completos de cilindros de 6", 3½" y 2" de diámetro y cubos de 6" y 2" de arista.

Antes de ensayar los cilindros standard hay que cerciorarse de que las superficies de trabajo estén perfectamente planas y perpendiculares al eje del cilindro; lo cual puede efectuarse rápidamente con un nivel. Cuando las superficies presentan ciertos defectos, se arreglan con cemento o con yeso de manera que cumplan las condiciones anteriores, ya que en el caso contrario tendríamos una carga excéntrica que introduce un error en el dato que se quiere conocer. Esta operación se conoce con el nombre de "capping", y según el "Concret manual — U. S. department of the interior — Bureau of Reclamation", debe hacerse para las muestras de 8" de diámetro o menos con una mezcla de azufre y arcilla de fuego.

Es recomendable usar un cartón mojado sobre las superficies de trabajo, esta práctica se ha seguido siempre en el Laboratorio de la Facultad.

*Influencia de la humedad y del curado (curing).* Las normas standard prevén la inmersión en agua de la muestra a las 24 horas después de vaciada hasta el momento del ensaye, es decir hasta el 7º ó 28º día. Antes de ensayar se saca la muestra del tanque curador, se seca superficialmente, se pesa y se coloca en la máquina universal. Este es el llamado "standard curing, continuous moist". Sin embargo varias casas constructoras que han hecho uso de los servicios del Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Facultad han pedido un curado seco y ensaye en seco, condiciones que se asemejan más a las de la obra actual. Otras casas prefieren guardar las muestras en el sitio mismo de la construcción y despacharlas al Laboratorio el día del ensaye. De los ensayos hechos en el Laboratorio podría deducirse que con una misma mezcla, la muestra curada al aire y ensayada saturada da una resistencia menor que la muestra curada al aire y ensayada seca, la cual es menor que la curada standard, y menor a su vez que la curada en agua y ensayada seca. Se ve pues que el agua mejora el fraguado al tiempo que actúa como lubricante entre las partículas de concreto.

*Número de muestras que deben tomarse.*—Es evidente que 3 cilindros de 6" representan un mínimo para una obra de alguna consideración. Las instrucciones bel-



gas al respecto según "L'Association belge de Standardisation" recomiendan un mínimo de seis moldes. El número de muestras depende de la exactitud con que se quiere conocer la resistencia del concreto, y esto está relacionado con el cálculo de probabilidades. Cada probeta dará una resistencia distinta, lo que es inevitable si se toman en cuenta las propiedades del material, su manufactura, y el procedimiento de laboratorio. Para cada obra se deberá tomar un número de muestras tal que los límites de inseguridad estén comprendidos entre límites admisibles. Esta uniformidad de los ensayos se expresa en función de coeficientes llamados la desviación standard y del coeficiente de variación. La desviación standard es la raíz cuadrada del promedio de los cuadrados de las desviaciones individuales, diferencia entre el dato individual y el promedio de los datos. El coeficiente de variación es la expresión en forma de porcentaje de la desviación standard y por lo tanto se obtendrá dividiendo la desviación standard por el promedio de los datos obtenidos. El "A. S. T. M. Manual on Presentation of Data" trae unas curvas que relacionan la probabilidad, el número de ensayos y un factor "a" que multiplicado por la desviación standard da los límites de inseguridad en libras por pulgada cuadrada.

En las obras que se efectúen por partes, se recomienda tomar muestras en cada vaciada, y en caso de usar varias concretadoras en cada una de ellas. Si estas obras están situadas lejos de las ciudades donde existen Laboratorios de Resistencia de Materiales, los cilindros pueden empacarse en aserrín húmedo, con el fin de obtener un curado que se aproxime lo más posible al standard, y las cajas deben despacharse por la vía más rápida, por avión si fuere posible.

#### *El modo de tomar la muestra*

Las muestras deben ser representativas de la mezcla y se toman generalmente de la concretadora y no del transportador, pues en este último caso no suelen ser satisfactorias por producirse en el transporte cierta segregación.

En el caso de que exija tomar la muestra en la correa o en el canalón transportador deberá tomarse lo que corresponde a una sección completa.

Según las normas americanas el molde debe llenarse en 3 veces que correspondan aproximadamente al tercio de su capacidad, y ha de apisonarse cada capa con 25 golpes por medio de una varilla de 5/8" de diámetro y 24" de longitud. Los golpes deben distribuirse en toda la sección y penetrar justamente la capa de concreto.

Se debe procurar que el tiempo que transcurra entre la manufactura del concreto y su colocación en la probeta no sea mayor que el que existe en la obra actual. Pues he observado al diseñar muestras cuyo asentamiento o "slump" se ajustaba por tanteos, permaneciendo constante la relación agua/cemento, que un número grande de tanteos, con el mismo material, o un tiempo exagerado empleado en ellos implicaba un error considerable tanto en el diseño de la mezcla como en su resistencia.

*Resistencia en el Laboratorio y en la Obra.*—La resistencia en la parte inferior de las obras suele ser mayor que en la superior, probablemente por tener una mejor compactación. Sin embargo en ciertos casos, como columnas bastante altas y muy esbeltas que se vacien de una vez el apisonado en la parte inferior puede llegar a ser muy deficiente dejando "hormigueros". La resistencia obtenida en Laboratorio es unas veces mayor y otras veces menor que en la obra, pero según experimentos de la Escuela Politécnica de Dramstad, esta diferencia no pasa del 30%.