

---

## NOTAS TECNICAS

---

### APLICACIONES DEL APARATO THAULOW

Vladimiro VALDES R.\*

#### RESUMEN

*Por medio de la pesada hidrostática es posible obtener el peso específico de algunos materiales, la humedad libre de áridos grueso y fino y el contenido de aire del hormigón fresco.*

*En este trabajo se propone el empleo del equipo Thaulow para los ensayos mencionados, para lo cuál con algunos materiales componentes del hormigón, se efectúan determinaciones por el procedimiento Thaulow y por métodos normalizados o de uso habitual y se analizan los resultados obtenidos.*

#### INTRODUCCION

En la elaboración de un hormigón es necesario efectuar algunos ensayos para determinar propiedades o características de sus componentes y del producto

---

\* Investigador del IDIEM.

terminado. Las normas chilenas señalan procedimientos y equipos para la realización de algunos de ellos y se estudia la posibilidad de normalizar otros.

El método que Sven Thaulow dió a conocer en Noruega, en 1952, para determinar razón agua-cemento y reconstituir la composición del hormigón fresco, puede ser aprovechado para otros ensayos de materiales de construcción - particularmente de los componentes del hormigón.

Con el aparato Thaulow es posible determinar el peso específico de materiales sólidos, la humedad libre de áridos grueso y fino y el contenido de aire de un hormigón fresco. Dicho equipo - que no es otra cosa que un picnómetro - es bastante sencillo; se compone de un recipiente metálico rígido de forma cilíndrica y de borde superior liso, una placa transparente (plástica o de vidrio) y una balanza de 30 kg de capacidad, en lo posible de 1 g de sensibilidad Fig. 1.

El equipo mencionado puede ser una solución de alternativa, especialmente en aquellas faenas donde no es frecuente contar con la diversidad de aparatos requeridos por las normas o ensayos tradicionales.

Para verificar la precisión, operabilidad y rapidez del procedimiento Thaulow, se han ensayado muestras de materiales - en aquellos casos en que éstas pueden ser recuperadas - por los métodos normalizados o tradicionales y el propuesto. Las experiencias han sido realizadas en el laboratorio de la sección Investigación de Hormigones de IDIEM.

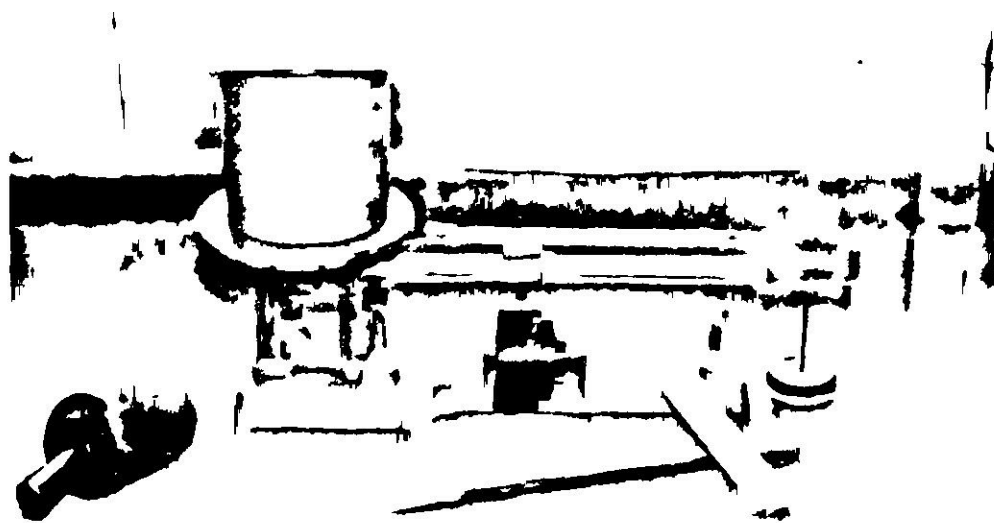


Fig. 1. Equipo Thaulow.

## PESO ESPECIFICO DE ALGUNOS MATERIALES DE CONSTRUCCION

Se define por peso específico de sólidos y líquidos<sup>1</sup> a la relación entre la masa de la unidad de volumen de un material, a una temperatura determinada, y la masa del mismo volumen de agua destilada, libre de gas, a una temperatura determinada.

La densidad es el cuociente entre la masa de una substancia y su volumen a una temperatura especificada.

Al referirse a la densidad de los sólidos hay que diferenciar entre densidad

neta ( $\rho_N$ ) y densidad real ( $\rho_R$ ).<sup>\*</sup> La primera considera el volumen macizo del material más el volumen de los poros inaccesibles. La densidad real se refiere al volumen macizo del sólido, más el volumen de los poros accesibles e inaccesibles. Comúnmente se menciona una tercera densidad (se emplea, generalmente, para áridos y hormigón), que las normas chilenas definen por densidad aparente. Esta densidad considera el volumen macizo de las partículas del material, más el volumen de los poros y de los huecos.

Para obtener el peso específico de un material por el Método Thaulow, se coloca la muestra en el recipiente y se registra su peso al aire  $P$ . Seguidamente se determina su peso hidrostático,  $P'$ , para lo cual se llena el recipiente con agua, eliminando completamente las burbujas de aire. Al colocar la placa, no debe quedar aire atrapado entre ésta y la superficie libre del agua.

El peso específico del material se calcula a partir de la siguiente expresión:  
 $p.e = P/(P - P')$ .

Se critica el método de impreciso<sup>2</sup> porque el recipiente debe colocarse perfectamente horizontal sobre la balanza y, al enrasar con la placa, escurre agua que no corresponde al contenido de aquel, pero que es incluido en la pesada. Sin embargo, estos inconvenientes se eliminan si el enrasado y secado exterior del recipiente se hace sobre un mesón y, posteriormente, se coloca en la balanza.

### Arido grueso

La norma NCh.1117 Of.77 indica los procedimientos para obtener las densidades real y neta de los áridos gruesos, obteniéndose la pesada hidrostática de la muestra por medio de un canastillo portamuestra.

Para los ensayos comparativos se determinó, en primer término, el peso hidrostático de una muestra de grava, la que previamente había estado sumergida durante 24 horas bajo agua, ajustándose al procedimiento establecido por la mencionada norma. Seguidamente, se obtuvo la pesada sumergida de la misma muestra por el procedimiento Thaulow y, finalmente, se determinaron los pesos al aire del árido en condiciones saturado-seco y seco respectivamente.

La temperatura del agua se mantuvo constante para ambos ensayos y la diferencia entre pesadas hidrostáticas no fue, en ningún caso, superior a 7 g, lo que significa un error inferior a  $30 \text{ kg/m}^3$  en las densidades obtenidas, valor máximo aceptado por la norma chilena.

### Arido fino

Registrada la pesada sumergida de una porción de 500 g de arena en condición saturada-seca —lo que se realizó por el procedimiento de ensayo señalado por la norma NCh 1239 Of.77— se vació el contenido del matraz en el recipiente Thaulow obteniéndose, a continuación, el peso hidrostático de la muestra

---

<sup>\*</sup> Terminología empleada por la norma NCh.1117.Of.77 y que será la empleada en este artículo.

y, finalmente, se determinó su peso al aire en condición seca.

La diferencia entre pesadas hidrostáticas no fue mayor de 5 g, cifra que implica un error que sobrepasa el máximo aceptado por las normas chilenas para la determinación de densidades real y neta de áridos grueso y fino. Sin embargo, esta diferencia entre pesadas no aumenta si se trabaja con muestras más grandes, lo que se comprobó experimentalmente, obteniendo el peso sumergido en el recipiente Thaulow, de dos o más porciones de 500 g de arena, a las que previamente se les determinó su peso hidrostático en el matraz.

Los ensayos indicaron que, con una cantidad de arena no inferior a 2 kg, se logra una precisión que está dentro del límite aceptado por la norma chilena y se consigue, adicionalmente, una muestra más representativa.

El equipo Thaulow permite determinar experimentalmente las densidades real y neta de mezclas de áridos que en la norma NCh 1239 Of.77, párrafo 10.2.1, son obtenidas por cálculo. La condición saturada-superficie seca de la mezcla se puede lograr, después de registrar su pesada sumergida, separando las fracciones gruesa y fina por tamizado húmedo y determinando en cada una de ellas esa condición.

En la Tabla I se presentan resultados obtenidos en la determinación de la densidad real de áridos grueso y fino, según procedimientos de la norma chilena INN y Thaulow. Las muestras se han ordenado en orden creciente, de acuerdo a su tamaño, y se han incluido las pesadas hidrostáticas registradas en los ensayos.

En el cálculo de las densidades se ha considerado la del agua como  $1000 \text{ kg/m}^3$ , que es el valor empleado por la norma NCh 1117.

TABLA I  
PESO HIDROSTATICO (kg) Y DENSIDAD REAL ( $\text{kg/m}^3$ ) DE GRAVAS Y  
ARENAS, OBTENIDOS POR METODOS INN Y THAULOW

Tipo de árido	Peso Hidrostático		Densidad real	
	Norma INN	Thaulow	Norma INN	Thaulow
Grava Maipo	2.134	2.131	2711	2705
Grava Maipo	2.809	2.814	2696	2704
Grava Maipo	3.024	3.028	2683	2689
Grava Arrip	3.082	3.075	2689	2679
Grava Arrip	3.519	3.523	2692	2697
Arena Arrip	0.312	0.315	2596	2638
Arena Arrip	0.626	0.630	2620	2649
Arena Maipo	0.627	0.632	2617	2652
Arena Maipo	1.254	1.259	2611	2629
Arena Arrip	1.252	1.256	2610	2624

## Cemento

Al entrar el cemento en contacto con agua, se producen reacciones que alteran su composición física y química. La norma NCh 154 Of.69 recomienda el empleo de queroseno o bencina, como líquido auxiliar, para la determinación del peso específico relativo (densidad neta) del cemento.

Usando bencina en el recipiente Thaulow se obtienen algunas ventajas con respecto al queroseno. En efecto, en los ensayos efectuados con bencina se logró un mejor ajuste con las densidades obtenidas por el método INN, mayor rapidez en el secado exterior del recipiente durante la operación (debido a su volatilidad) y recuperabilidad de una buena parte de la bencina, por la rápida sedimentación del cemento. También es posible la recuperación del cemento — que no ha perdido sus propiedades aglomerantes — por evaporación de la bencina.

Si en el aparato Thaulow se utiliza agua, en vez de los líquidos orgánicos ya mencionados, es necesario eliminar la capa de espuma que se forma en la superficie del recipiente.

Las densidades obtenidas empleando agua fueron inferiores, en aproximadamente 0.02, a las conseguidas con bencina.

No se hicieron ensayos comparativos con la norma chilena, porque ésta emplea una cantidad muy pequeña de cemento (64 g).

No obstante, una muestra de cemento no inferior a 2 kg, ensayada por Thaulow y usando bencina como líquido desplazador, debería cumplir con la precisión de los resultados contemplada en la citada norma.

La densidad neta o peso específico relativo  $\rho_c$  del cemento se calcula a partir de la siguiente expresión:  $\rho_c = m_c \cdot \rho_1 / (m_c - P'_c)$  (kg/dm<sup>3</sup>, g/ml).

En que:

$m_c$  = masa del cemento

$\rho_1$  = densidad del líquido auxiliar

$P'_c$  = pesada sumergida del cemento

## Hormigón fresco

La densidad real del hormigón fresco (hormigón desaireado) se puede obtener, experimentalmente, con el aparato Thaulow.

El modo de operar con el equipo Thaulow es el explicado anteriormente. Como en el caso del cemento, se debe eliminar la capa de espuma del recipiente antes de colocar la placa, pero el error que se introduce en la densidad por este concepto es muy pequeño.

Para las temperaturas habituales de trabajo se puede considerar la densidad del agua como 1000 kg/m<sup>3</sup>.

## DETERMINACION DE LA HUMEDAD LIBRE DE LOS ARIDOS

La humedad superficial de los áridos, que pasa a formar parte del agua de amasa-

do y que debe tenerse en cuenta en la fabricación del hormigón, puede obtenerse a partir de la siguiente igualdad:  $H = [1 - \rho_{RT} \cdot P'_a / (\rho_{RT} - 1) P_a] \cdot 100$  %  
donde:

$H$  = Humedad libre del árido referida a su peso húmedo

$\rho_{RT}$  = Densidad real del árido saturado - superficie seca, kg/dm<sup>3</sup>

$P'_a$  = Peso hidrostático de la muestra, kg

$P_a$  = Peso al aire de la muestra, kg

Si se conoce la densidad real  $\rho_{RT}$  del árido, el ensayo se reduce a solo dos pesadas: una al aire y otra sumergida.

En la Tabla II aparecen los resultados de determinaciones de humedad libre de las muestras presentadas en Tabla I, obtenidas por secado y procedimiento Thaulow.

Las diferencias obtenidas entre ambos métodos no superaron, en ningún caso, al 0.3% para el árido grueso y para el árido fino, empleando muestras no inferiores a 2 kg, al 0.4%. A manera de referencia, se puede señalar que las cifras anteriores corresponden al error máximo aceptado por las normas chilenas en la determinación de la absorción de los áridos grueso y fino.

TABLA II

HUMEDAD LIBRE DE GRAVAS Y ARENAS - PRESENTADAS EN EL MISMO ORDEN QUE EN TABLA I - OBTENIDAS POR SECADO Y PROCEDIMIENTO THAULOW

Tipo de árido	Humedad libre (%)	
	Secado	Thaulow
Grava Maipo	0.7	0.9
Grava Maipo	0.3	0.1
Grava Maipo	0.4	0.2
Grava Arrip	0.3	0.5
Grava Arrip	0.5	0.4
Arena Arrip	11.0	10.2
Arena Arrip	8.9	8.4
Arena Maipo	10.7	10.0
Arena Maipo	6.7	6.4
Arena Arrip	9.4	9.1

#### DETERMINACION DEL CONTENIDO DE AIRE DEL HORMIGON FRESCO

El contenido de aire (poros) de un hormigón fresco, que normalmente se determina con el aerómetro, puede obtenerse gravimétricamente aprovechando el aparato Thaulow.

El porcentaje de aire  $p$  resulta del cociente entre sus densidades aparentes

y real, según la igualdad;  $p = (1 - \rho_{ah} / \rho_{Rh}) \cdot 100$  ‰

donde:

$\rho_{ah}$  = Densidad aparente del hormigón, kg/dm<sup>3</sup>

$\rho_{Rh}$  = Densidad real del hormigón, kg/dm<sup>3</sup>

Durante las experiencias se operó de la siguiente manera:

El recipiente del aerímetro, de volumen conocido, se llenó con hormigón fresco, compactando mediante pisón; después de enrasar, se registró la masa de la muestra. Seguidamente se midió su contenido de aire, procediendo de acuerdo a las instrucciones del fabricante del instrumento.

Finalmente, por el procedimiento Thaulow, se obtuvo la densidad real del hormigón, para lo cual se utilizó el mismo recipiente del aerímetro como olla Thaulow. Para lograr el peso hidrostático se dividió la muestra en dos porciones, registrando el peso sumergido de cada una de ellas.

El contenido de aire determinado por Thaulow fue, en todos los casos inferior al obtenido con el aerímetro y no se registraron diferencias mayores de 0.5, incluso en aquellos hormigones a los que se les aplicó aditivo incorporador de aire, en cantidades no superiores al 1‰ del peso del cemento.

El ensayo por Thaulow resulta más laborioso que con el aerímetro y debe ser realizado en forma muy cuidadosa. Un enrase defectuoso, por ej., significa una densidad aparente errónea, lo cual afecta al resultado final.

En la Tabla III se presentan los resultados obtenidos en la determinación del contenido de aire de algunos hormigones, con un aerímetro marca Technote White y con el aparato Thaulow.

TABLA III

CONTENIDO DE AIRE DE MUESTRAS DE HORMIGON FRESCO – CON Y SIN ADITIVO INCORPORADOR DE AIRE – OBTENIDO MEDIANTE AERIMETRO Y APARATO THAULOW

Muestra Nº	Aditivo incorporado	Contenido de aire (‰)	
		Aerímetro	Thaulow
1	—	1.7	1.6
2	—	1.8	1.3
3	—	2.0	1.5
4	—	1.8	1.8
5	Frobe de SIKA	2.6	2.4
6	Frobe de SIKA	3.3	2.8
7	Frobe de SIKA	3.7	3.5
8	Frobe de SIKA	2.1	1.7
Valores medios		2.4	2.1

### CONCLUSIONES

El equipo Thaulow puede ser una solución de alternativa para algunos ensayos,

especialmente en obras donde no se cuenta con la diversidad de aparatos requeridos por las normas o métodos habituales.

El error que se obtiene con el método propuesto para la determinación de densidades real y neta de áridos grueso y fino es inferior a  $30 \text{ kg/m}^3$ , cifra máxima aceptada por las normas chilenas. A mayor tamaño de muestra se logra más precisión en los resultados y, por añadidura, muestras más representativas. En todo caso, éstas no deben ser inferiores a 2 kg.

El aparato Thaulow posibilita la determinación experimental de las densidades real y neta de mezclas de áridos, que en la norma NCh 1239 Of. 77 son obtenidas por cálculo.

El peso específico relativo (densidad neta) del cemento se puede obtener por Thaulow, usando bencina como líquido auxiliar, con lo que se logran algunas ventajas operacionales. Gran parte de la bencina es recuperable por sedimentación del cemento. Si se utiliza agua, en lugar de bencina, se obtienen valores algo inferiores.

Si se conoce la densidad real de un árido en condición saturado-superficie seca, es posible obtener su humedad libre, en dos pesadas, una al aire y otra sumergida, con una precisión que esté dentro de los límites fijados por las normas chilenas para la determinación de la absorción de áridos grueso y fino.

El contenido de aire de un hormigón se puede obtener gravimétricamente con el equipo Thaulow. Este ensayo, que también es aplicable a hormigones con aditivos incorporadores de aire (en cantidades no superiores al 1‰ del peso del cemento), es más laborioso que con el aerímetro y proporciona valores que pueden ser inferiores hasta en 0.5 a los obtenidos con este último instrumento.

#### BIBLIOGRAFIA

1. ASTM E 12-70. *Density and specific gravity of solid liquids and gases.*
2. FOTH, J. Baustoff-Untersuchungen mit dem Pyknometer (Ensayos de materiales de construcción con el picnómetro). *Betonstein-Zeitung*, noviembre 1969.
3. BLAUT, H. Erfahrungen bei der Messung des Wasser-Zement-Wertes nach dem Thaulow-Verfahren (Ensayos efectuados, con el método Thaulow, para determinar la razón agua-cemento). *Betonwerk-Fertigteil Technik*, agosto 1972.
4. SCHULZE, W.; REICHEL, W. y GÜNZLER, J. Bestimmung der Reindichte von Zementstein (Determinación de la densidad neta de cemento y hormigón). *Beton*, noviembre 1966.
5. WISCHERS, G. y HALLAUER, O. Einfluss und Bestimmung der Eigenfeuchte von Betonzuschlagstoffen (Determinación de la humedad de los áridos y su influencia en el hormigón). *Beton*, mayo y junio 1966.
6. DAHL, H. y HENTRICH, J. Über die Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes der Zuschlagstoffe durch Wägen (Sobre la determinación del contenido de humedad de los áridos por pesada). *Beton*, marzo 1966.
7. VILAGUT, F. *Prefabricados de hormigón*. Tomo I.
8. ASTM Standards:  
C 138 - 75 *Test for unit weight, yield and air content (gravimetric) of concrete.*  
C 231 - 75 *Air content of freshly mixed concrete by the pressure method.*