

**ANEXO 1. ANÁLISIS DE LOS MATERIALES
EMPLEADOS EN LA DOSIFICACIÓN DE LAS
PROBETAS DE HORMIGÓN DE ESTE
TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

Anexo 1.1. Finura del cemento (ASTM C 184)

Objetivo

El objetivo de esta práctica es la determinación de la finura del cemento, por medio de métodos mecánicos, en este caso con el uso del tamiz de malla.

Muestra

La muestra se obtiene del material tal como se recibe, para la prueba se toma 50 gramos.

Equipo y materiales

- Un tamiz N°40 y un tamiz N°200 con base y tapa.
- Balanza de capacidad de 100 gramos y una sensibilidad del 0.05.
- Brocha

Procedimiento

Pesar 50 g de cemento para determinar su finura.

1. Agitar la muestra, utilizando tamices de malla N° 40 y N°200 con base y tapa, en el vibrador mecánico. Cuando no se dispone de vibrador mecánico se agita el cedazo N°200 con tapa y base imprimiendo con ambas manos movimientos verticales y horizontales con golpes de vez en cuando. El tiempo de agitado dependerá de la cantidad de finos en la muestra, pero por lo general no debe ser menor de 15 minutos.
2. Se quita la tapa y se separa la malla N°40 vaciando la fracción de cemento que podría ser retenida en ella, sobre un papel limpio. A las partículas que han quedado trancada entre los hilos de la malla no hay que forzarlas a pasar a través de ella, inviértase el tamiz y con ayuda de un cepillo o brocha de alambre despréndase y agréguese a las depositadas en el papel.
3. Se pesa cuidadosamente la fracción de la muestra. Se pone en un recipiente o cápsula. Se guarda esta fracción de la muestra hasta el final de la prueba para poder repetir las pesadas en caso de error.

4. Se hacen las pesadas de las fracciones retenidas en cada malla y el recipiente del fondo, procediendo en la forma indicada. Todos los pesos retenidos se anotan en la hoja de registro para el cálculo.

Cálculo

Se calcula utilizando la fórmula

$$F = 100 - \frac{M_r}{50} \times 100$$

Donde:

F = Finura del cemento expresado como porcentaje en masa.

Mr = Sumatoria del material retenido en el tamiz N°40 y el N°200.

Tabla A1. 1. Cálculo del módulo de finura del cemento

Nombre	X ₁	X ₂	X ₃	$\bar{X}$	Unidad o símbolo matemático
Masa del cemento	50				g
Masa del cemento retenido en el tamiz N°40	0.1	0.2	0.1	0.13	g
Masa del cemento retenido en el tamiz N°200	1.2	1.4	1.1	1.23	g
Porcentaje de material retenido en los tamices	2.6	3.2	2.4	2.73	%
Finura del cemento (F)	97.4	96.8	97.6	97.27	%

Fuente: Propia

Anexo 1.2. Determinación de la densidad del cemento hidráulico (ASTM C 188)

Objetivo

Este ensayo tiene por objetivo presentar un método para determinar la densidad del cemento, el valor que aquí se determina se usa específicamente para el diseño y control de las mezclas de hormigón.

Equipos y materiales

- Matraz de 500 ml
- En la determinación de la densidad se debe emplear kerosene libre de agua, o nafta con una gravedad no inferior a 62° API (American Petroleum Institute).
- Balanza sensible al 0.01 g
- Termómetro
- Embudo
- Muestra

La muestra se obtiene del material como se recibe para la prueba se toma 64 g

Procedimiento

1. Se llena el matraz con cualquiera de los dos líquidos antes especificados hasta que el nivel del líquido coincida con la graduación de 300 ml.
2. Se coloca el matraz en un baño maría de temperatura constante manteniéndola a la temperatura ambiente. Se lee en el cuello del matraz la graduación correspondiente al nivel del líquido (300 ml), una vez que este se encuentre a una temperatura constante.
3. Se toma aproximadamente 64 g de la muestra de cemento y se va introduciendo poco a poco en el matraz teniendo cuidado de que estén a la misma temperatura del líquido. Se debe evitar que el líquido salpique cuando se introduzca el cemento.

4. Después de que todo el cemento haya sido introducido en el matraz se tapa este y se hace rodar en posición inclinado con el fin de eliminar el aire del cemento, se continúa hasta que se elimine las burbujas de aire.
5. Se coloca de nuevo el matraz en el baño a temperatura constante, la cual debe estar aproximadamente al ambiente y se hace la nueva lectura cuando se haya observado que la temperatura en el líquido del matraz es constante.
6. Se lee en el matraz la graduación correspondiente al nuevo nivel del líquido y se anota el dato.

Cálculo

La diferencia entre la lectura que representan el nivel final y el nivel inicial del líquido desplazado por el peso de cemento usado en el ensayo. La densidad debe calcularse como sigue:

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Masa del cemento, en g}}{\text{volumen desplazado, en ml}}$$

Precisión

Los resultados de dos ensayos efectuados por un mismo operador, sobre una misma muestra, no diferirán en más de 0.03 g/ml.

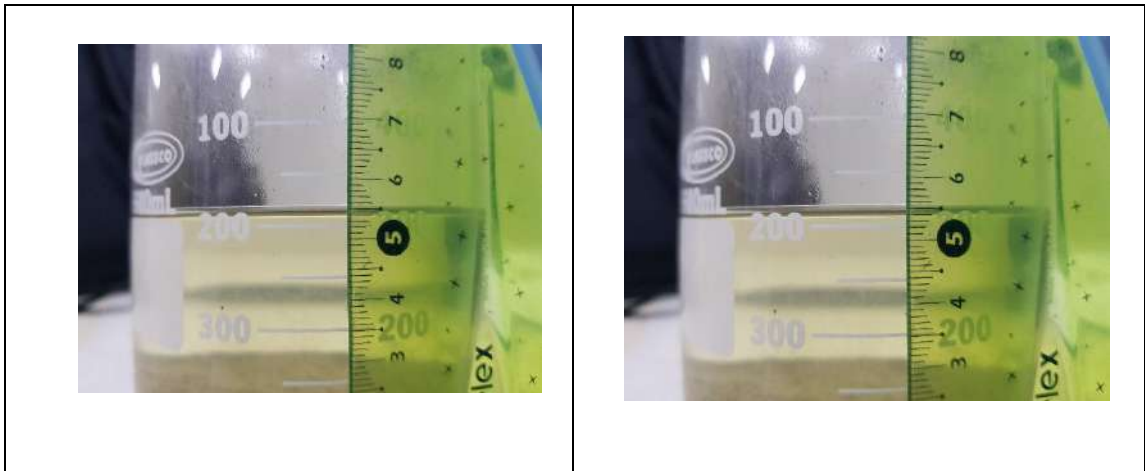
Los resultados de dos ensayos efectuados en laboratorios distintos, sobre una misma muestra, no diferirán en más de 0.10 g/ml.

Tabla A1. 2. Cálculo de la densidad del cemento

	X ₁	X ₂	X ₃	$\bar{X}$	Unidad
Masa del cemento (M_c)	64				g
Volumen de matraz	300				ml
Volumen de matraz + Cemento	320.7	321	321.3	321	ml
Volumen desplazado del cemento (V_{dc})	20.7	21	21.3	21	ml
Densidad (ρ)	3.09	3.05	3.0	3.05	g/cm ³

Fuente: Propia

Figura A1. 1. Fotografías del anexo 1.2



Fuente: Propia

En el presente trabajo de investigación adjunto en la siguiente página, de manera informativa, el informe de la calidad del cemento del mes de octubre.



Sociedad Boliviana de Cemento S.A.

INFORME DE CONTROL DE LA CALIDAD DE CEMENTO

ORJ-CCL-CC.085

Fecha de emisión del formato: 11/09/2013

Numero de revision del formato: 04

Fecha:	Octubre de 2019		Cemento Portland El puente	Norma Boliviana IP - 30 (NB-011)
ESPECIFICACIONES QUIMICAS	PPF	%	3.79	< 7
	SiO ₂	%	28.57	
	Al ₂ O ₃	%	6.24	
	Fe ₂ O ₃	%	3.14	
	CaO	%	51.40	
	MgO	%	3.04	< 6.0
	SO ₃	%	1.74	< 4.0
	R.I.	%	15.71	
	Cal Libre	%	1.10	

ESPECIFICACIONES FISICAS	BLAINE	cm ² /g.	4738	> 2600
	TIEMPO DE FRAGUADO	INICIAL	Min.	168
		FINAL	Hrs.	05:35
	EXPANSION LE CHATELIER	mm.	0.10	< 8
	RELACION a/c	ml/g.	0.54	
	FLUIDEZ	%	109.8	
	RESIDUO EN MALLAS	200 M	%Ret.	0.67
		325 M	%Ret.	5.11
	PESO ESPECIFICO	g./l.	3020	
	RESISTENCIA A COMPRESIÓN	3 DIAS	MPa	21.9
		7 DIAS	Mpa	27.1
		28 DIAS	Mpa	31.8

	Elaborado por:	Aprobado por:
Nombre	Jesús Garnica	Max Silbermann
Cargo	Jefe de control de calidad	Gerente de Planta
Fecha	03/12/2019	03/12/2019
Firma		

Radio Soboco
-103-606

Oficinas El Puente Comercialización: Av. Herman Siles Suazo, Barrio German Busch
Tel. (591-4) 6643680 / 6645041 • Fax (591-4) 8634233 • Casilla 168

Cemento
El Puente



Anexo 1.3. Método para extraer y preparar la muestra (ASTM C 75)

Objetivo

Este método establece los procedimientos para extraer y preparar las muestras representativas de áridos finos, gruesos e integrales para fines de ensayo. Se aplica a los áridos naturales y manufacturados.

Definiciones

Muestra de producción: Muestra representativa de un árido removido de su depósito natural y sometido a cualquier tratamiento como trituración, lavado o clasificación y que se encuentra sobre cintas transportadoras, o almacenado junto al lugar de extracción o tratamiento.

Equipos y materiales

Las herramientas y accesorios mínimos necesarios para las operaciones de muestreo incluyen pala, bolsas o sacos, cajas o recipientes y otros que sean necesario considerar para los procedimientos que se establecen en el presente método.

Extracción y preparación de la muestra

0. Aspectos generales

Dado que el muestreo es tan importante como los ensayos mismos, el muestreador debe tomar todas las precauciones necesarias para obtener muestras que sean representativas del material que se va a analizar. Para ello, personal debidamente experimentado debe inspeccionar el material por muestrear en superficie o a través de pozos de prueba o sondajes, según corresponda, a fin de determinar su homogeneidad con un adecuado nivel de confiabilidad.

1. Tamaño de la muestra

a) Muestra de terreno

La cantidad de muestra tomada en terreno debe ser tal que represente la naturaleza y condición de los áridos. Redúzcala por cuarteo según método (ASTM 702) hasta obtener una cantidad de al menos el doble de la requerida como muestra de laboratorio, conservando el material restante de la reducción como contramuestra ante cualquier eventualidad.

b) Muestra de Laboratorio

La cantidad de muestra necesaria para ser enviada al laboratorio depende del tipo y número de ensayos a los cuales será sometido el material. Generalmente las cantidades mínimas requeridas para los ensayos básicos de calidad son las siguientes:

- Árido fino: 30 Kg
- Áridos gruesos: Una cantidad en kg equivalente a 2 veces el tamaño máximo absoluto de los áridos grueso, expresado este último en mm.

Extracción de muestra de producción

De preferencia las muestras de material manufacturado se extraerán de cintas transportadoras. Si esto no es aplicable, se extraerán muestras desde silos, tolvas o depósitos, o bien desde acopios.

2. Procedimiento de extracción

- a) Acopios. Utilizando un cargador frontal, extraiga porciones de áridos en distintos niveles y ubicaciones rodeando el acopio, evitando sacar material de las zonas inferior y superior de este. Con las porciones extraídas forme un pequeño acopio debidamente homogeneizado, aplanando su parte superior. Desde este extraiga manualmente las porciones necesarias para conformar la muestra.

3. Frecuencia de muestreo

Adopte como frecuencia mínima de muestreo la correspondiente al menor volumen indicado en los siguientes puntos:

- a) Extraiga una muestra cada 1000 m³ de cada tipo de áridos producido.

- b) Extraiga una muestra correspondiente al volumen de cada tipo de áridos producido en un mes.

Preparación de la muestra

4. Mezclado

Mezcle con pala, sobre una superficie horizontal y limpia, las porciones de áridos obtenidas del muestreo hasta obtener una muestra homogénea, asegurando la incorporación de todas las partículas más finas que la componen. Si se requiere determinar el grado de variabilidad de un acopio, las porciones extraídas de las distintas zonas de este no deben mezclarse entre sí.

5. Reducción

Reduzca por cuarteo según Método ASTM C 702 el tamaño de la muestra extraída, para obtener el tamaño de muestra de laboratorio especificado en 1 b).

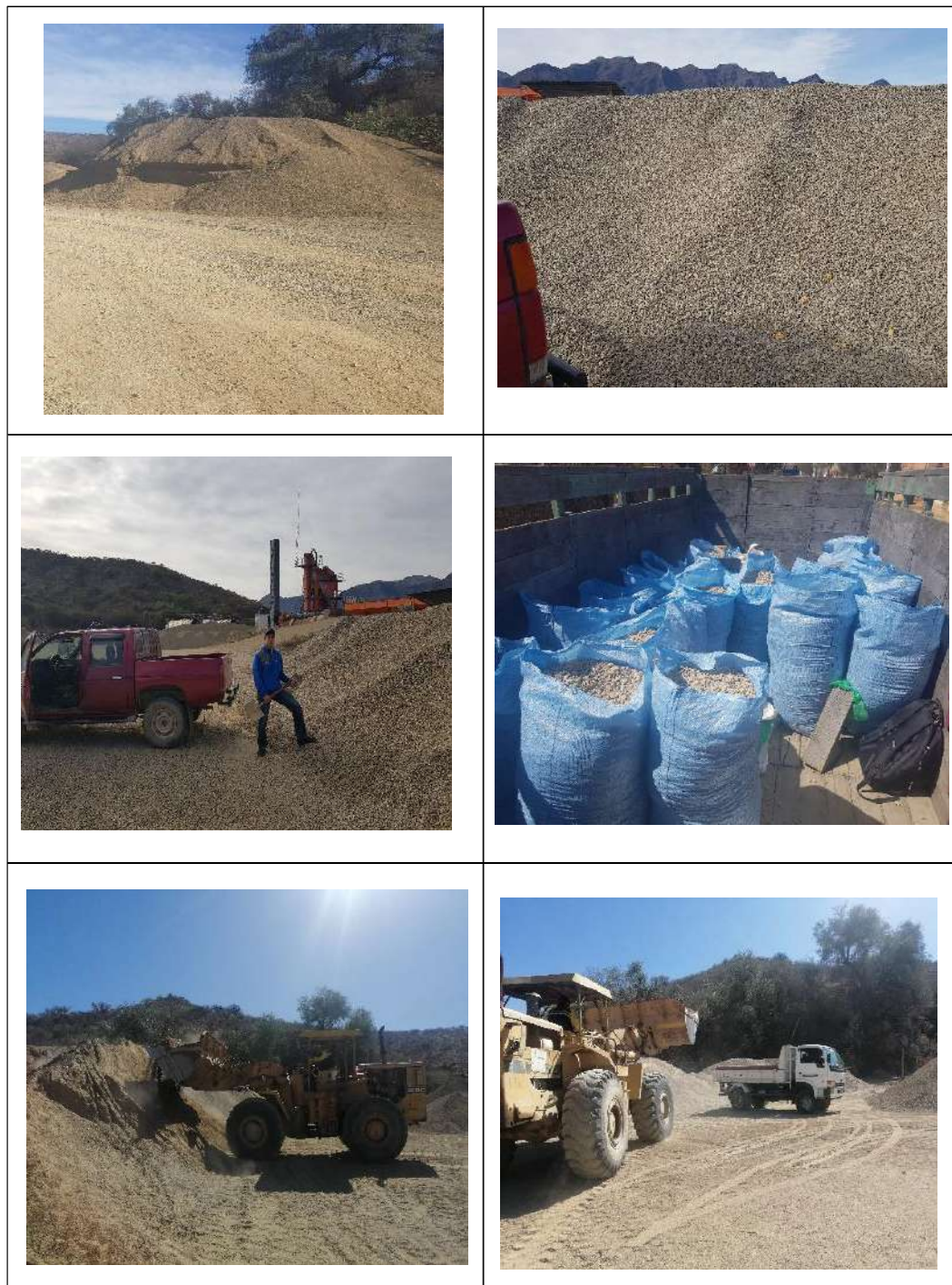
6. Transporte a laboratorio

Transporte las muestras en bolsas, cajas o recipientes confeccionados de tal manera de evitar pérdidas de material. Identifíquelas claramente, de acuerdo a lo indicado en “Registro”, con marcas indelebles protegidas de cualquier eventual deterioro.

Registro

- a) Identificación del muestreador (nombre, entidad y/o laboratorio).
- b) Tipo de material.
- c) Procedencia del material.
- d) Tamaño aproximado de la muestra (kg/m^3).
- e) Cantidad de material que representa la muestra (m^3).
- f) Procedimiento de extracción utilizado.
- g) Fecha de extracción.

Figura A1. 2. Fotografías del anexo 1.3



Fuente: Propia

Anexo 1.4. Método para el cuarteo de la muestra (ASTM C 702)

Objetivo

Los diferentes tipos y tamaños de áridos requieren que la muestra sea representativa para los varios ensayos a los que será sometida. El material obtenido en terreno debe ser siempre mayor que la cantidad de la muestra requerida para el ensayo.

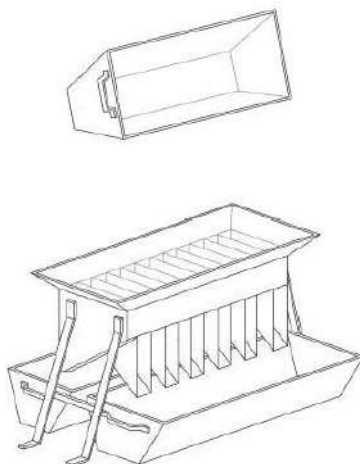
El material debe ser reducido en cantidad de acuerdo al ensayo que se le va a practicar. Este método establece dos procedimientos, uno manual y otro mecánico, para la reducción de muestras de suelos y áridos en general. Los mejores resultados se obtienen usando un cuarteador metálico de un tamaño adecuado.

Procedimiento con cuarteador metálico

El método para reducir a muestras menores que 100 kg mediante un cuarteador metálico es el siguiente: (Ver Figura A1. 3).

- a) Coloque la muestra en uno de los recipientes del cuarteador.
- b) Vacíe la muestra en el cuarteador.
- c) Separe el material correspondiente a uno de los recipientes.
- d) Repita el procedimiento con el material del recipiente restante hasta obtener el tamaño de muestra requerido.

Figura A1. 3. Cuarteador



Fuente: (Amaya Valencia & Diaz Acosta, 2011)

Figura A1. 4. Fotografías del anexo 1.4.



Fuente: Propia

Anexo 1.5. Método para tamizar y determinar la granulometría (ASTM C 136)

Objetivo

Este método establece el procedimiento para tamizar y determinar la granulometría de los áridos. Es aplicable a los áridos que se emplean en la elaboración de morteros, hormigones, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas.

Definiciones

1. Granulometría

Distribución porcentual en masa de los distintos tamaños de partículas que constituyen unos áridos.

2. Porcentaje parcial retenido en un tamiz

Porcentaje en masa correspondiente a la fracción directamente retenida en un determinado tamiz.

3. Porcentaje acumulado retenido en un tamiz

Porcentaje en masa de todas las partículas de mayor tamaño que la abertura de un determinado tamiz. Se calcula como la suma del porcentaje parcial retenido en ese tamiz más todos los porcentajes parciales retenidos en los tamices de mayor abertura.

4. Porcentaje acumulado que pasa por un tamiz

Porcentaje en masa de todas las partículas de menor tamaño que la abertura de un determinado tamiz. Se calcula como la diferencia entre el 100% y el porcentaje acumulado retenido en ese tamiz.

Equipos y materiales

5. Balanza

Debe tener una capacidad superior a la masa de la muestra más el recipiente de pesaje y una precisión de 0.1 g.

6. Tamices

- a) Son tejidos, de alambre y abertura cuadrada, y sus tamaños nominales de abertura pertenecen a las series que se indican en la Tabla A1. 3, esta serie de tamaños numerales esta normada por IBNORCA.

Tabla A1. 3. Serie de tamices escogidos¹

Tamaño nominales de abertura	
mm	ASTM
75	(3")
63	(2 1/2")
50	(2")
37.5	(1 1/2")
25.0	(1")
19	(3/4")
12.5	(1/2")
9.5	(3/8")
6.3	(1/4")
4.75	(No 4)
25.0	(No 8)
2.0	(No 10)
1.18	(No 16)
0.6	(No 30)
0.3	(No 50)
0.15	(No 100)
0.075	(No 200)

Fuente: Propia

- b) Los marcos de los tamices deben ser metálicos y suficientemente rígidos y firmes para fijar y ajustar las telas de alambre, a fin de evitar pérdidas de material durante

¹ Nota: Cuando no se cuente con tamices de aberturas nominales en mm, los tamaños nominales de los tamices podrán ser los correspondientes a ASTM.

el tamizado y alteraciones en la abertura de las mallas. Deben ser circulares, con diámetros de 200 mm y 300 mm, preferentemente para los gruesos.

- c) Cada juego de tamices debe contar con un depósito que ajuste perfectamente, para la recepción del residuo más fino.
- d) Cada juego de tamices debe contar con una tapa que ajuste perfectamente para evitar pérdidas de material.

7. Horno

Provisto de circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensayo.

8. Herramientas y accesorio

Espátulas, brochas, recipientes para secado, recipientes para pesaje, etc.

Extracción y preparación de la muestra

Extracción de muestras

Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con los Métodos Anexo 1.3. Método para extraer y preparar la muestra (ASTM C 75) y Anexo 1.4. Método para el cuarteo de la muestra (ASTM C 702).²

Acondicionamiento de la muestra de ensayo

- a) Homogenice cuidadosamente el total de la muestra de laboratorio en estado húmedo y redúzcala por cuarteo, de acuerdo con el Anexo 1.4. Método para el cuarteo de la muestra (ASTM C 702), hasta que obtenga, cuando este seca, un tamaño de muestra ligeramente superior a los valores que se indican en el punto “Tamaño de la muestra de ensayo”.
- b) No se debe reducir la muestra de laboratorio en estado seco, ni tampoco reducirla a una masa exacta predeterminada.

² Nota: Las muestras de áridos finos o áridos mezclados deben humedecerse antes de la reducción para evitar segregaciones y pérdida de polvo.

- c) Seque la muestra hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$

Tamaño de la muestra de ensayo

9. Para el árido fino

- a) Cuando se emplean los tamices de 200 mm de diámetro, la muestra de ensayo en estado seco debe tener una masa ligeramente superior a los valores que se indican en Tabla A1. 4.

Tabla A1. 4. Tamaño de la muestra de ensayo del árido fino

Tamiz	% Retenido	Masa mínima de la muestra (g)
4.75 mm	$\leq 5\%$	500
2.36 mm	$\leq 5\%$	100

Fuente: Propia

- b) Los tamaños de muestra indicados en la Tabla A1. 4, podrán aumentarse proporcionalmente cuando se empleen tamices de mayor tamaño, siempre que se cumpla lo establecido en 9 c).
- c) La masa máxima de la muestra será tal que la fracción retenida en cualquiera de los tamices al terminar la operación de tamizado sea inferior a 0.6 g por cm^3 de superficie de tamizado. En tamices de 200 mm de diámetro dicha fracción debe ser inferior a 200 g.

10. Para los áridos gruesos

- a) Cuando se emplean tamices de 300 mm de diámetro, la muestra de ensayo en estado seco debe tener una masa ligeramente superior a los valores que se indican en Tabla A1. 5.

Tabla A1. 5. Tamaño de la muestra de ensayo del árido grueso

Absoluto tamaño máximo Da (mm)	Masa mínima de la muestra (kg)
75	32
63	25
50	20
37.5	16
25.0	10
19	8
12.5	5
9.5	4

Fuente: (Valenzuela Freraut, Gonzales Romero, & Toro Roa, 2013)

- b) Cuando una muestra contenga una fracción de árido fino superior al 15%, el material debe separarse por el tamiz de 4.75 mm o 2.36 mm, según corresponda a hormigón o asfalto, respectivamente, debiéndose determinar y registrar el porcentaje en masa de ambas fracciones. Trate las fracciones de árido fino y árido grueso de acuerdo con 9 y 10, respectivamente.
- c) Los tamaños de muestra indicados en la Tabla A1. 5, podrán aumentarse proporcionalmente cuando se empleen tamices de mayor tamaño, siempre que se cumpla lo que establece el 10 d).
- d) La masa máxima de la muestra debe ser tal que la fracción retenida en cualquiera de los tamices al terminar la operación de tamizado pueda distribuirse en una sola capa sobre la malla de tejido de alambre.

Procedimiento

11. Preparación de tamices

Seleccione un juego de tamices de acuerdo con la especificación correspondiente al material por ensayar. Dispóngalos según aberturas decrecientes, montados sobre el depósito receptor y provisto de su tapa. Todos estos elementos deben estar limpios y

secos. Verifique los tamaños de abertura de las mallas, a lo menos una vez cada seis meses.

12. Tamizado

Efectúelo en dos etapas

- a) Un tamizado inicial que puede ser manual o mecánico
- b) Un tamizado final que debe ser manual³.

13. Tamizado Inicial

Determine la masa de la muestra de ensaye en estado seco, registre aproximando a 1 g para áridos finos y a 10 g para áridos gruesos; vacíela sobre el tamiz superior y cubra con la tapa.

Agite el conjunto de tamices por un periodo suficiente para aproximarse a la condición que se establece en 14 g).

14. Tamizado final

- a) Retire el primer tamiz, provisto de depósito y tapa
- b) Sosténgalo de un costado con una mano, manteniéndolo ligeramente inclinado
- c) Golpee firmemente el costado libre hacia arriba con la palma de la otra mano a un ritmo de 150 golpes/min.
- d) Gire el tamiz cada 25 golpes en 1/6 de vuelta.
- e) Al completar cada ciclo de 150 golpes, pese separadamente el material retenido sobre el tamiz y el material que pasa, recogido en el depósito.
- f) Traslade el material que pasa en cada ciclo al tamiz siguiente.

³ Nota: Se recomienda efectuar primero un tamizado húmedo por el tamiz de 0.075 mm de acuerdo al Anexo 1.6. Método para determinar el material fino menor que 0.075 mm (ASTM 117), y después efectuar el tamizado de acuerdo con el presente método. Para el cálculo de la granulometría tome como base 100% la pesada de la muestra de ensaye en estado seco previa al tamizado húmedo.

- g) Repita el ciclo en el mismo tamiz con el material retenido hasta que se recoja en el depósito una masa inferior al 1% de la masa retenida, con lo cual dé por terminado el tamizado de esa fracción.
- h) Retire el tamiz siguiente provisto de depósito y tapa para efectuar con dicho tamiz los ciclos necesarios, y así sucesivamente hasta completar todos los tamices.⁴

15. Determinación de la masa

Determine la masa final del material retenido en cada tamiz y del material que pasa por el tamiz de menor abertura, recogido en el depósito. Registre con la aproximación que sea mayor entre 1 g y 0.1% de la pesada.

Cálculos

- 16. Sume y registre la masa total (100%) de las fracciones retenidas en todos los tamices y en el depósito receptor. Esta suma no debe diferir de la masa inicial registrada en 13 en más de 3% para los áridos finos y de 0.5% para los áridos gruesos.
- 17. Cuando no se cumpla con lo especificado en 16, rechace el ensaye y efectúe otro con una muestra gemela.
- 18. Calcule el porcentaje parcial retenido en cada tamiz, referido a la masa total de las fracciones retenidas, aproximando al 1%.
- 19. Expresa la granulometría como porcentaje acumulado que pasa, indicando como primer resultado el del menor tamiz en que pasa el 100% y como último resultado, el del primer tamiz en que el porcentaje sea 0%.
- 20. Adicionalmente la granulometría se puede expresar de acuerdo con cualquiera de las siguientes formas:

⁴ Nota: Si resulta difícil el tamizado manual de gravas con tamices de 300 mm de diámetro, se recomienda efectuar los ciclos en tamices de 200 mm de diámetro, cuidando que el material pueda distribuirse formando una sola capa.

- a) Como porcentaje acumulado retenido, indicando como primer resultado el del menor tamiz en que queda retenido un porcentaje igual a 0%, y como último resultado el del primer tamiz en que el porcentaje acumulado retenido sea 100%.
 - b) Como porcentaje parcial retenido.
21. Tamaño máximo (TM): Es el tamiz de menor abertura por el cual pasa el 100% de la muestra.
22. Tamaño máximo nominal (TMN): Es otro parámetro que se deriva del análisis granulométrico y está definido como el siguiente tamiz que le sigue en abertura (mayor) a aquel cuyo porcentaje retenido acumulado es del 15% o más.
23. Módulo de finura (MF): Es la suma de los porcentajes retenidos acumulados desde el tamiz 149 μ (N°100) hasta el tamiz 4.76 mm (N°4) y dividido por 100.

$$MF = \frac{\sum \% \text{ Acumulados retenidos (N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100)}}{100}$$

Expresión gráfica

La expresión gráfica de la granulometría de unos áridos se debe hacer en un sistema de coordenadas ortogonales, cuya abscisa, a escala logarítmica, indica las aberturas nominales y cuya ordenada, a escala lineal, indica los valores de la granulometría en las formas señaladas en 19 y 20.

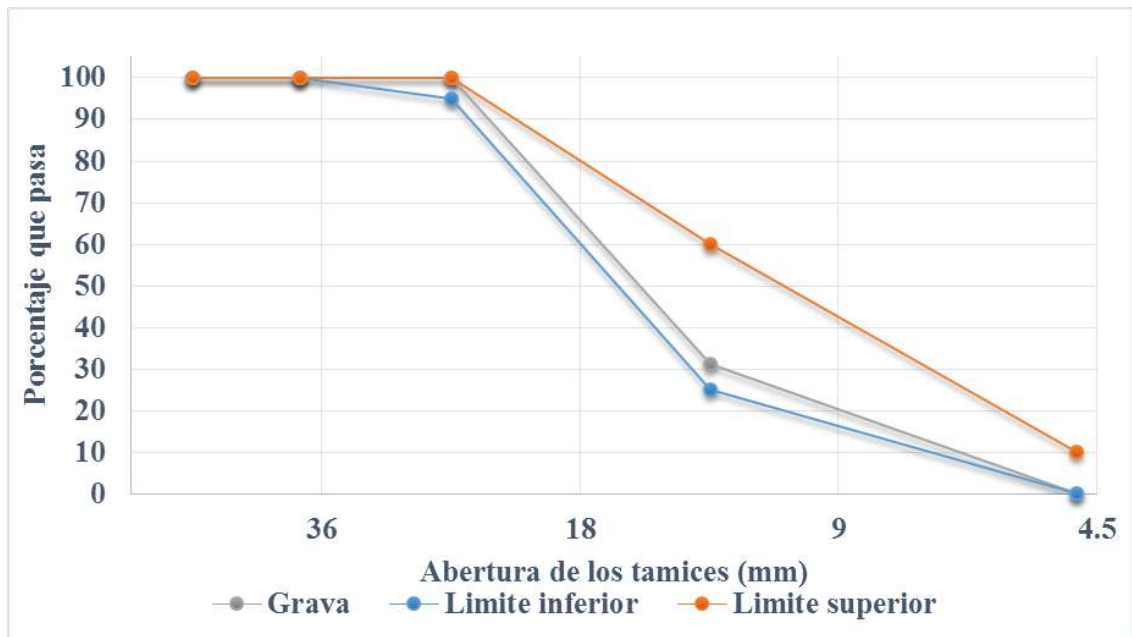
Conocido anteriormente el procedimiento de cálculo, presentamos en la siguiente Tabla A1. 6. Granulometría agregado grueso (ASTM C 136) y la Tabla A1. 7. Granulometría agregado fino (ASTM C 136).

Tabla A1. 6. Granulometría agregado grueso (ASTM C 136)

Masa total (g)			10 000				
Tamices	Tamaño (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida acumulada		% que pasa del total	ASTM C-33	
			(g)	(%)			
2"	50.8	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
1 1/2 "	38.1	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	100.00	95	100
3/4"	19.05	50.00	50.00	0.50	99.50	-	-
1/2"	12.7	6820.00	6870.00	68.70	31.30	25	60
3/8"	9.52	2510.00	9380.00	93.80	6.20	-	-
Nº 4	4.75	610.00	9990.00	99.90	0.10	0	10
base		0.00	9990.00	99.90	0.00		
TMN	3/4"	TM	1"				
Perdidas %	0.1						

Fuente: Propia

Figura A1. 5. Curva granulométrica del agregado grueso



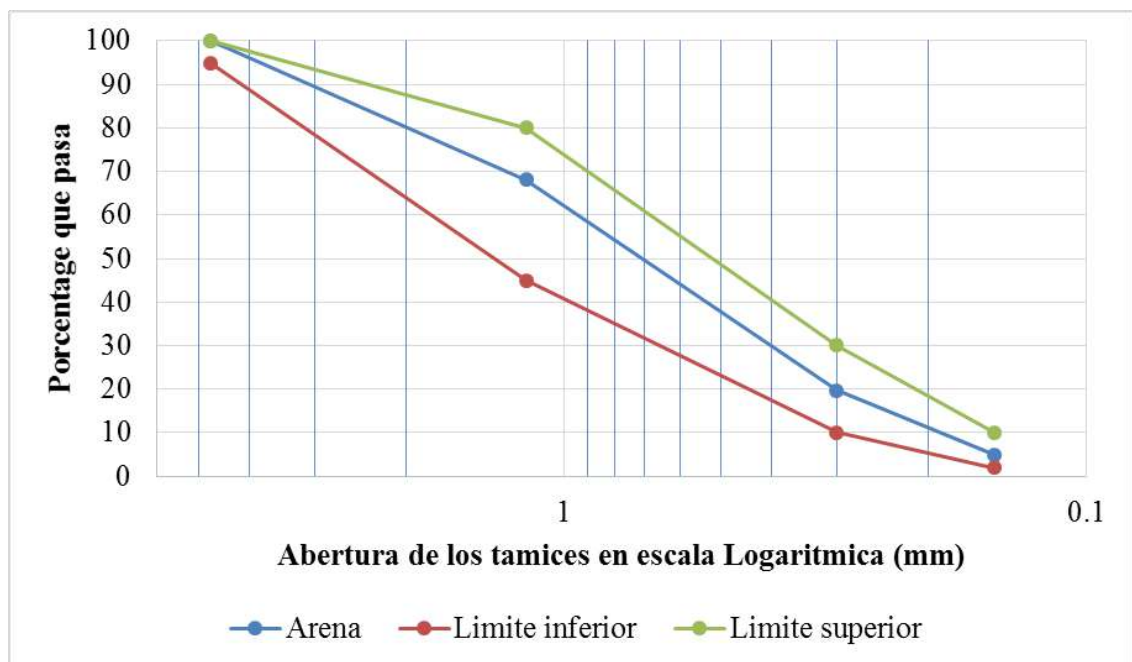
Fuente: Propia

Tabla A1. 7. Granulometría agregado fino (ASTM C 136)

Masa total (g)			500.00				
Tamices	Tamaño (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida acumulada		% que pasa del total	Especificaciones ASTM C-33	
			(g)	(%)			
Nº4	4.75	0.00	0.00	0.00	100.00	95	100
Nº8	2.36	57.80	57.80	11.56	88.44	-	-
Nº16	1.18	101.40	159.20	31.84	68.16	45	80
Nº30	0.6	115.30	274.50	54.90	45.10	-	-
Nº50	0.3	127.20	401.70	80.34	19.66	10	30
Nº100	0.15	73.50	475.20	95.04	4.96	2	10
Nº200	0.075	20.10	495.30	99.06	0.94	0	5
Base		4.70	500.00	100.0	0.00		
MF	2.74						

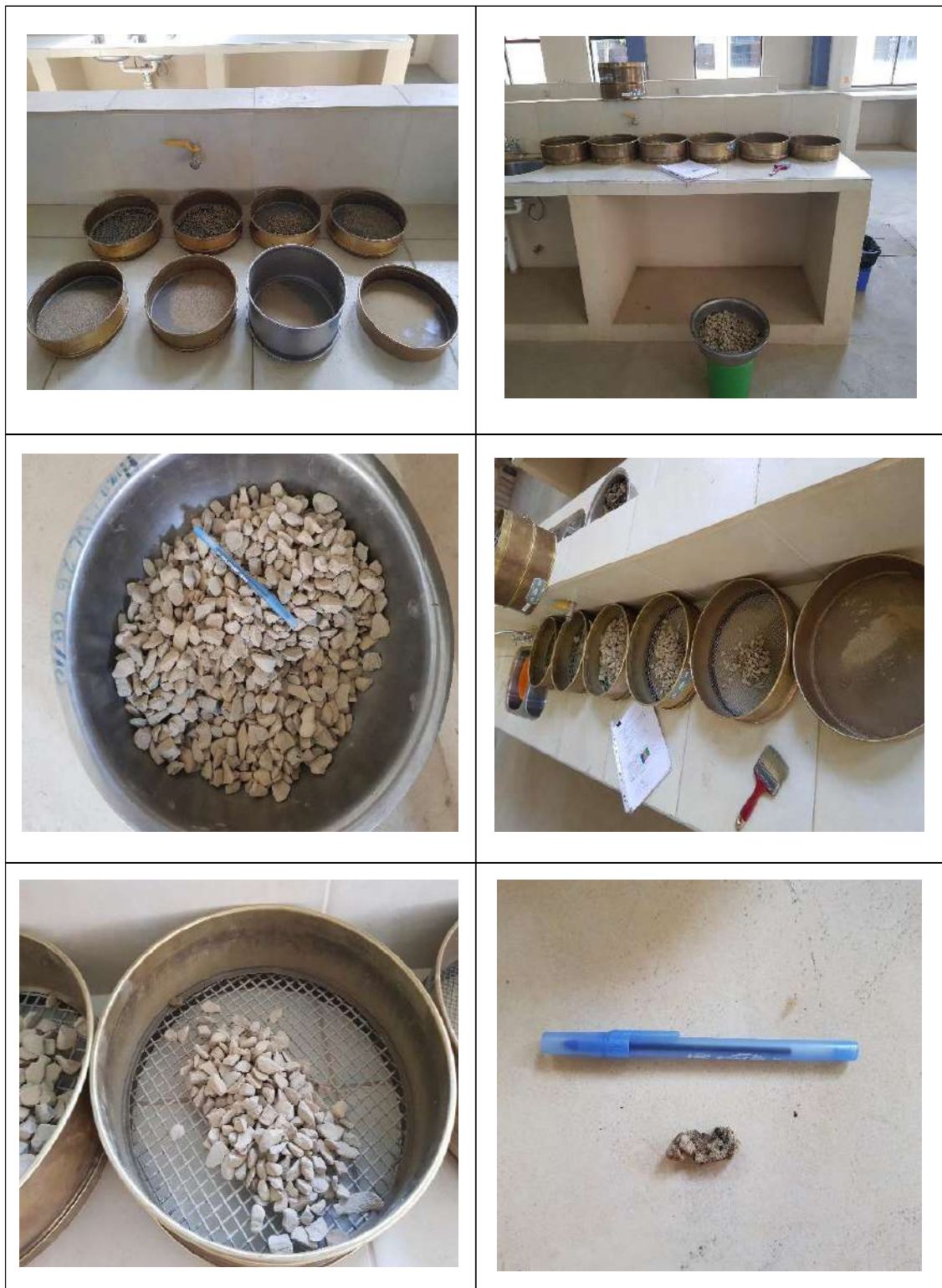
Fuente: Propia

Figura A1. 6. Curva granulométrica del agregado fino



Fuente: Propia

Figura A1. 7. Fotografías del anexo 1.5



Fuente: Propia

Anexo 1.6. Método para determinar el material fino menor que 0.075 mm (ASTM 117)

Objetivo

El método establece el procedimiento mediante el tamizado húmedo para determinar el contenido de material fino compuesto por partículas inferiores a 0.075mm (No 200) en los áridos.

Este método se aplica al ensaye de áridos que se emplean en la elaboración de morteros, hormigones, mezclas asfálticas y tratamientos superficiales. Es aplicable a materiales cuyo material fino no experimente alteraciones físicas o se aglomere por efecto del secado.

Equipos y materiales

1. Balanza

Debe tener una capacidad superior a la masa de la muestra de ensaye más el recipiente de pesaje y una precisión de 0.1 g.

2. Tamices

Serán dos tamices, el superior de 1.18mm (No 16) y el inferior de 0.075mm (No 200).

3. Recipiente para lavado

Debe ser impermeable, estanco y de forma y tamaño tales que permitan contener la muestra de ensaye completamente cubierta por agua, y agitarla sin pérdida de partes de la muestra o del agua.

4. Horno

Provisto de circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensaye.

5. Herramienta y accesorio

Espátula, brocha, recipiente para pesaje, recipiente para secado, etc.

Extracción y preparación de la muestra

Extracción de muestra

Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con los Métodos del Anexo 1.1. Finura del cemento (ASTM C 184) y Anexo 1.2. Determinación de la densidad del cemento hidráulico (ASTM C 188).

Acondicionamiento de la muestra de ensayo

6. Homogenice cuidadosamente el total de la muestra de laboratorio en estado húmedo y redúzcala por cuarteo de acuerdo con el método del Anexo 1.4. Método para el cuarteo de la muestra (ASTM C 702).
7. Seque la muestra hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$

Tamaño de la muestra de ensayo

8. La muestra de ensaye en estado seco debe tener una masa ligeramente superior a los valores indicados en Tabla A1. 8, de acuerdo al tamaño máximo nominal de los áridos.

Tabla A1. 8. Tamaño de la muestra a ensayar

Tamaño máximo nominal de los áridos (mm)	Masa mínima de la muestra seca (g)
37.5 o mas	5000
19	2500
9.5	2000
4.75	500
2.36	100

Fuente: Propia

Procedimiento

9. Determine y registre la masa inicial de la muestra de ensaye en estado seco (B), aproximando a 0.1 g para los áridos finos y a 1 g para los áridos gruesos o integral.
10. Coloque la muestra de ensayo en el recipiente de lavado y agregue agua potable en cantidad suficiente para cubrirla.

Nota 1: Al agua no deben agregarse detergentes, agentes diluyentes o floculantes ni otras sustancias.

11. Agite la muestra con agua, de modo de separar el material más fino, dejándolo en suspensión o en disolución.
12. Vacíe inmediatamente el agua con el material más fino en suspensión y en disolución, a través de los tamices dispuestos de mayor a menor.
13. Agregue nuevas cargas de agua y repita la operación hasta que el agua agitada con la muestra permanezca limpia y clara.
14. Reúna el material retenido en ambos tamices con el material decantado en el recipiente de lavado.
15. Seque el material reunido hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
16. Pese y registre la masa de la muestra de ensaye lavado y seco (C), aproximando a 0.1 g para los áridos finos y a 1 g para los áridos gruesos e integral.

Cálculos

17. Calcule el contenido de material fino inferior que 0.075mm (No 200) aproximando a 0.1%, según la fórmula siguiente:

$$A (\%) = \frac{B - C}{B} \times 100$$

Donde:

A = Contenido de material fino inferior que 0.075 mm (%)

B = Masa inicial de la muestra de ensayo seco (g)

C = Masa de la muestra de ensayo lavada y seca (g)

18. Cuando el árido contenga sales solubles, determine previamente su contenido según el método correspondiente y descuéntelo del resultado obtenido en 17.

Conocido anteriormente el procedimiento de cálculo, presentamos en la siguiente Tabla A1. 9, el cálculo del porcentaje de fino en la arena.

Tabla A1. 9. Cálculo del porcentaje de fino

Nombre	x ₁	x ₂	x ₃	Promedio	Unidad o Símbolo
Contenido de material fino inferior que 0.075 mm (A)	1.36	1.18	1.26	1.3	%
Masa inicial de la muestra de ensayo seco (B)	500				g
Masa de la muestra de ensayo lavada y seca (C)	493.2	494.1	493.7	493.7	g

Fuente: Propia

Anexo 1.7. Contenido total de agua de los áridos por secado (ASTM C 566)

Objetivo

Este método se aplica para determinar, por secado, el porcentaje de humedad evaporable, en una muestra de áridos.

Uso y significado

1. Este método es suficientemente exacto para propósitos normales, tales como el reajuste del peso de batchadas, durante la preparación de mezclas de hormigón. Generalmente, con él se mide la humedad en la muestra de ensayo, lo más confiablemente que puede hacerse, para representar un suministro de áridos.
2. En raras ocasiones, cuando el árido mismo es afectado por la acción del calor, o cuando se necesitan medidas más refinadas, este ensayo puede no ser aplicable, o requerir modificaciones.
3. En el caso de áridos gruesos, las partículas más grandes, especialmente las mayores de 50 mm (2"), requerirán de tiempos más prolongados para que el agua viaje del interior de la partícula hasta la superficie. El usuario del método deberá determinar por tanteos, si existen formas más rápidas y confiables para ejecutar este ensayo, con las partículas grandes.

Equipos y materiales

4. Balanza

Una balanza o báscula exacta, legible y con precisión dentro del 0.1% de la carga de ensayo, en cualquier punto del intervalo de utilización. Dentro de cualquier intervalo igual al 10% de la capacidad del aparato de pesaje, la indicación del peso será exacta dentro del 0.1%, para las diferentes pesadas.

5. Horno ventilado capaz de mantener la temperatura alrededor de la muestra, en $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

6. Recipientes para muestras, que no se afecten por el calor; de un tamaño suficiente para contener la muestra, sin peligro de derramamiento, y con una forma tal, que el espesor de la muestra depositada, no exceda de un quinto de la menor dimensión lateral.

Precaución: Cuando se utilice horno microondas, el recipiente no deberá ser metálico.

7. Agitador, cuchara metálica o espátula, de tamaño adecuado.

Extracción y preparación de la muestra

Muestreo

8. El muestreo se hará generalmente de acuerdo a lo establecido en el método del Anexo 1.3. Método para extraer y preparar la muestra (ASTM C 75) y Anexo 1.4. Método para el cuarteo de la muestra (ASTM C 702).

Característica de la muestra

9. Obténgase una muestra representativa de áridos, con el contenido de agua que tiene, cuando se reciba de la fuente de suministro que está siendo ensayada, y que en el caso de áridos con peso normal, tengan el tamaño indicado en la Tabla A1. 10.

Tabla A1. 10. Tamaño de mi muestra de árido con masa normal

Tamaño máximo nominal del agregado (A)		Peso mínimo de la muestra (B)
Normal (mm)	Alternativo (pulgadas)	(kg)
4.75	(N°4)	0.5
9.5	(3/8")	1.5
12.5	(1/2")	2
19.0	(3/4")	3
25.0	(1")	4
37.5	(1 1/2")	6
50.0	(2")	8
63.0	(2 1/2")	10
75.0	(3")	13
90.0	(3 1/2")	16
100.0	(4")	25
150.0	(6")	50

Fuente: Valenzuela Freraut, Gonzales Romero, & Toro Roa, 2013.

- a) Basado en tamices de malla cuadrada
- b) Para determinar el peso mínimo de muestras de áridos livianos, multiplíquese el valor señalado, por la disminución aproximada de peso unitario seco en kg/m^3 y divídase por 1600.

Procedimiento

- 10. Pésese la muestra con precisión del 0.1%, evitando perdidas de humedad, por posibles demoras.
- 11. Séquese enteramente la muestra en el recipiente, utilizando el horno, cuidando mucho que no se pierdan partículas de áridos. Un calentamiento demasiado rápido, puede ocasionar la explosión de algunas partículas, con la perdida consecuente.

La muestra estará enteramente seca, cuando un calentamiento posterior cause menos del 0.1% de pérdida de peso.

- 12. Pésese la muestra seca con precisión del 0.1% después de que se ha enfriado suficientemente, para no dañar la balanza.

Cálculos

- 13. Calcule el contenido de agua como seguí:

$$wp = \frac{100 \times (W - D)}{D}$$

Donde

wp = Humedad de la muestra en porcentaje (%)

W = Masa original de la muestra (g)

D = Masa de la muestra seca (g)

- 14. La humedad superficial es igual a la diferencia entre el contenido total de agua y la absorción, con todos los valores basados, en el peso seco. La absorción puede determinarse a partir de los ensayos del Anexo 1.10. Método para determinar la densidad real, la densidad neta, y la absorción de agua en áridos fino (ASTM C 128),

y para áridos gruesos Anexo 1.9. Método para determinar la densidad real, la densidad neta, y la absorción de agua en áridos grueso (ASTM C 127).

Precisión y exactitud

15. No hay datos suficientes para establecer un planteamiento sobre precisión y exactitud.

Puesto que cualquier tamaño de muestra que supere las cantidades mínimas de la Tabla A1. 10. Tamaño de mi muestra de árido con masa normal, es admitido, se cree que no es posible establecer un planteamiento prefijado.

16. Puede desarrollarse, para cada aplicación particular de este método de ensayo, un señalamiento de precisión asociado con el tamaño real de la muestra y el equipo utilizado, (1) haciendo ensayos duplicados sobre porciones iguales de la misma muestra; (2) tomando muestras duplicadas, representativas del mismo áridos. También, se podrían sacar datos de precisión de los procedimientos aplicados, añadiendo una cantidad conocida de agua, al áridos seco, cuidando que no se pierda agua antes del ensayo.

Conocido anteriormente el procedimiento de cálculo, presentamos en la siguiente Tabla A1. 11 y Tabla A1. 12, el cálculo del contenido de humedad de los áridos.

Tabla A1. 11. Cálculo del porcentaje de humedad de la grava

Nombre	X_1	X_2	X_3	$\bar{X}$	Unidad o símbolo
Masa original de la muestra (W)	3000				g
Masa de la muestra seca (D)	2985.89	2986.63	2986.47	2986.32	g
Humedad de la muestra en porcentaje (wp)	0.47	0.45	0.45	0.46	%
Masa del agua	14.11	13.37	13.53	13.67	g

Fuente: Propia

Tabla A1. 12. Cálculo del porcentaje de humedad de la arena

Nombre	X_1	X_2	X_3	$\bar{X}$	Unidad o símbolo
Masa original de la muestra (W)	500				g
Masa de la muestra seca (D)	497.21	496.97	496.69	496.96	g
Humedad de la muestra en porcentaje (w_p)	0.56	0.61	0.67	0.61	%
Masa del agua	2.79	3.03	3.31	3.04	g

Fuente: Propia

Figura A1. 8. Fotografías del anexo 1.7



Fuente: Propia

Anexo 1.8. Método para determinar la densidad aparente (ASTM E 30)

Objetivo

Este método establece los procedimientos para determinar la densidad aparente de los áridos. Es aplicable a los áridos que se emplean en la elaboración de morteros, hormigones, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas.

Definiciones

1. Huecos

Espacios vacíos entre las partículas de un árido.

2. Poros

Espacios vacíos interiores de una partícula de áridos.

a) Poro accesible: poro permeable o abierto.

b) Poro inaccesible: poro impermeable o cerrado.

3. Densidad (ρ)

Es la tasa entre la masa (m) de una sustancia y su volumen (v) a una temperatura especificada. Se expresa en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3).

a) Densidad aparente (densidad a granel; densidad bruta) (ρ_a). densidad que considera el volumen macizo de las partículas de un árido más el volumen de los poros y de los huecos. Corresponde a la capacidad de la medida que lo contiene.

b) Densidad aparente compactada (ρ_{ac}). Densidad aparente del árido compactado en la medida que lo contiene, según los procedimientos indicados en este método.

c) Densidad aparente suelta (ρ_{ac}). Densidad aparente de áridos vaciado en la medida que lo contiene, según el procedimiento indicado en este método.

4. Medida

Recipiente de capacidad volumétrica normal.

5. Secado a masa constante

Límite de secado en que dos pesadas sucesivas, separadas por una hora de secado en horno, difieren en un porcentaje igual o inferior al 0.1 % de la menor masa determinada.

Equipos y materiales

6. Balanza

De capacidad superior a la masa de la medida llena con un árido de densidad aparente de 2000 kg/m³ y una precisión de 0.1 g.

7. Horno

Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensaye.

8. Varilla pisón

Barra cilíndrica de acero liso de 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud, con sus extremos terminados en semiesferas de 16 mm de diámetro

9. Medidas

Metálicas, impermeables y provistas de dos asas. Su forma interior debe ser un cilindro recto abierto por una de sus caras planas y rectificado para asegurar sus dimensiones.

- a) Dimensiones. Las dimensiones son las que se indican en la Tabla A1. 13 y podrán emplearse para áridos de tamaño máximo nominal igual o inferior a los señalados en la primera columna.

Tabla A1. 13. Dimensiones de las medidas⁵

Tamaño máximo nominal de los áridos (mm)	Capacidad volumétrica		Diámetro interior (mm)	Altura interior (mm)	Espesor mínimo del metal	
	m ³	l			Base (mm)	Pared (mm)
16	0,003	3	155±2	160±2	5	2.5
25	0,010	10	205±2	305±2	5	2.5
50	0,0150	15	255±2	295±2	5	3.0
100	0,030	30	355±2	305±2	5	3.0

Fuente: Propia

⁵ Basado en tamices de abertura cuadrada de acuerdo con el método del Anexo 1.5. Método para tamizar y determinar la granulometría (ASTM C 136)

- b) Refuerzos. Además de cumplir con los espesores mínimos indicados en la Tabla A1. 13, las medidas de 15 y 30 litros serán reforzadas en sus bordes por una pletina de 3 a 5 mm de espesor y 40 mm de ancho, a fin de conservar su forma y dimensiones interiores en el trabajo brusco que requiera este ensayo.
- c) Determinación de la capacidad volumétrica de la medida. Determine el volumen de la medida con una precisión de 0.1%, pesando la masa de agua que llena la medida y dividiendo esta masa por la densidad del agua a la temperatura en que se encuentra.

10. Herramientas y accesorio

Palas, brocha, caja para secado, etc., necesarias para los procedimientos establecidos en el presente método.

Extracción y preparación de muestra

Extracción de muestra

Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con los métodos del Anexo 1.3. Método para extraer y preparar la muestra (ASTM C 75) y Anexo 1.4. Método para el cuarteo de la muestra (ASTM C 702).

Tamaño de la muestra de ensayo

Será un volumen de áridos aproximadamente igual al doble de la capacidad volumétrica de la medida correspondiente.

Preparación de la muestra de ensayo

- a) Pueden emplearse áridos provenientes del ensayo de tamizado, debidamente homogeneizados.
- b) Seque la muestra de ensayo hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ y homogenícela cuidadosamente, asegurando la incorporación de todas las partículas más finas que la componen.

Procedimiento

Determinación de la densidad aparente compactada

11. Procedimiento por apisonado

Se aplica a áridos de tamaño nominal igual o menor que 50 mm (2”).

- a) Llene la medida en tres capas de espesores aproximadamente iguales, teniendo la última capa un exceso de áridos por sobre el borde de la medida.
- b) Empareje cada capa y compacte mediante 25 golpes de pisón uniformemente repartidos.
- c) Apisone la capa inferior en todo su espesor evitando dañar el fondo de la medida.
- d) Apisone las capas superiores haciendo penetrar el pisón en la capa inmediatamente inferior.
- e) Elimine el exceso de áridos empleando la varilla pisón como regla de enrase, sin presionar⁶ (Nota 1)
- f) Determine y registre la masa (kg/m^3) de áridos compactado que llena la medida, aproximando al 0.1 %.

12. Procedimiento por percusión

Se aplica a los áridos de tamaño máximo nominal o superior que 50 mm (2”) e igual o inferior que 100 mm (4”).

- a) Llene la medida en tres capas de espesores aproximadamente iguales, teniendo la última capa un exceso de áridos por sobre el borde de la medida.
- b) Empareje cada capa.

⁶ Nota: En los áridos gruesos se considera que las pequeñas salientes de algunas partículas se compensan con los huecos que quedan hacia el interior en relación al plano del borde de la medida, por lo tanto, evite rellenar dichos huecos agregando partículas menores.

- c) Compacte cada capa levantando la medida alternativamente por sus asas opuestas, a una altura aproximada de 5 cm. y dejándola caer contra una base firme (por ejemplo un pavimento de hormigón).
- d) Repita hasta completar 50 percusiones dejando caer la medida 25 veces de cada asa.
- e) Elimine el exceso de áridos empleando la varilla pisón como regla de enrase, sin presionar.⁷
- f) Determine y registre la masa (kg/m^3) de áridos compactado que llena la medida, aproximando al 0.1%.

Determinación de la densidad aparente suelta

13. Procedimiento por simple vaciado

Se aplica a los áridos de tamaño máximo nominal igual o inferior que 100 mm.⁸

- a) Llene la medida con una pala, descargándola desde una altura de aproximadamente 5 cm sobre el borde superior de la medida.
- b) Desplace la pala o poruña alrededor del borde, distribuyendo uniformemente el vaciado.
- c) Elimine el exceso de pétreo empleando la varilla pisón como regla de enrase, sin presionar (Nota 1).
- d) Determine y registre la masa (kg/m^3) de áridos sueltos que llena la medida aproximando al 0.1%.

Determinación de los huecos

14. Efectué la determinación de densidad real seca de acuerdo con el método del Anexo

1.9. Método para determinar la densidad real, la densidad neta, y la absorción de agua

⁷ Nota: En los áridos gruesos se considera que las pequeñas salientes de algunas partículas se compensan con los huecos que quedan hacia el interior en relación al plano del borde de la medida, por lo tanto, evite rellenar dichos huecos agregando partículas menores.

⁸ Nota: Este procedimiento es también aplicable a los áridos finos en estado húmedo.

en áridos grueso (ASTM C 127) y Anexo 1.10. Método para determinar la densidad real, la densidad neta, y la absorción de agua en áridos fino (ASTM C 128).

15. Efectué la determinación de densidad aparente como se hizo anteriormente.

Cálculos

16. Densidad aparente compactada (ρ_{ac})

Calcule la densidad aparente compactada para cada ensayo según la formula siguiente, aproximando a 1 kg/m³:

$$\rho_{ac} \left(\frac{kg}{m^3} \right) = \frac{mc}{V}$$

Donde:

mc = Masa de árido compactado que llena la medida (kg)

V = Capacidad volumétrica de la medida (m³)

17. Densidad aparente suelta (ρ_{as})

Calcule la densidad aparente suelta para cada ensayo según la formula siguiente, aproximando a 1 kg/m³.

$$\rho_{as} \left(\frac{kg}{m^3} \right) = \frac{ms}{V}$$

Donde:

ms = Masa de árido suelto que llena la medida (kg)

V = Capacidad volumétrica de la medida (m³)

18. Calcule la densidad aparente como el promedio aritmético de dos ensayos sobre muestras gemelas, aproximando a 10 kg/m³.

19. Calcule el contenido de huecos de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando al 1%.

$$H(\%) = \frac{\rho_{RS} - \rho_{as}}{\rho_{RS}} \times 100$$

Donde:

H = Contenido de huecos (%)

ρ_{RS} = Densidad real seca de áridos, determinado en el punto 15b del método del anexo 3.5 (kg/m³).

ρ_{as} = Densidad aparente de áridos determinado en el punto 18 (kg/m³)

Aceptación de resultados

20. Acepte la determinación de cada densidad aparente cuando la diferencia entre los resultados obtenidos por un mismo operador, en ensayos sobre muestras gemelas, sea igual o inferior que 30 (kg/m³).

21. Ensaye dos nuevas muestras gemelas cuando no se cumpla con lo especificado en el párrafo anterior.

Para el uso de los áridos finos en estado húmedo, calcule la densidad aparente suelta según la fórmula siguiente:

$$\rho_{AS} = humedad \left(\frac{kg}{m^3} \right) = \frac{ms\ humeda}{V}$$

Para aceptar la determinación, la diferencia entre resultados de ensaye sobre muestras gemelas deberá ser igual o inferior que 50 kg/m³.

Cuando se realice este ensayo, en el informe deberá indicarse también el contenido de humedad de áridos expresado como porcentaje de la masa de áridos seco.

Conocido anteriormente el procedimiento de cálculo, presentamos en la siguiente Tabla A1. 14 y Tabla A1. 15, el cálculo del contenido de humedad de los áridos.

Tabla A1. 14. Cálculo para determinar la densidad aparente del agregado grueso

Nombre	X_1	X_2	X_3	$\bar{X}$	Unidad o símbolo
Masa de árido compactado que llena la medida (mc)	14.9	15.1	15.1	15.0	kg
Capacidad volumétrica de la medida (V)	0.00973	0.00969	0.00967	0.00970	m ³
Densidad aparente compactada (ρ_{ac})	1541	1558	1556	1552	kg/m ³
Masa de árido suelto que llena la medida (ms)	13.9	14.1	13.7	13.9	kg
Densidad aparente suelta (ρ_{as})	1437	1455	1417	1436	kg/m ³
Densidad real seca de áridos, determinado en el punto 15b del método del anexo 1.9 (ρ_{RS})	2599				kg/m ³
Contenido de huecos (H)	44.7	44.0	45.5	44.7	%

Fuente: Propia

Tabla A1. 15. Cálculo para determinar la densidad aparente del agregado fino

Nombre	X_1	X_2	X_3	$\bar{X}$	Unidad o símbolo
Capacidad volumétrica de la medida (V)	0.00301	0.00301	0.00301	0.00301	m ³
Masa de árido compactado que llena la medida (mc)	4.98	5.08	5.07	5.0	kg
Densidad aparente compactada (ρ_{ac})	1653	1686	1681	1674	kg/m ³
Masa de árido suelto que llena la medida (ms)	4.41	4.43	4.41	4.4	kg
Densidad aparente suelta (ρ_{as})	1462	1471	1462	1465	kg/m ³
Densidad real seca de áridos, determinado en el punto 15b del método del anexo 1.10 (ρ_{RS})	2592				kg/m ³
Contenido de huecos (H)	43.6	43.3	43.6	43.5	%

Fuente: Propia

Figura A1. 9. Fotografías del anexo 1.8



Fuente: Propia

Anexo 1.9. Método para determinar la densidad real, la densidad neta, y la absorción de agua en áridos grueso (ASTM C 127)

Objetivo

- a) Este método establece los procedimientos para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos gruesos.
- b) Es aplicable a los áridos gruesos que se emplean en el análisis de suelos, elaboración de hormigones y obras asfálticas.

Definiciones

1. Áridos gruesos

Material árido retenido en el tamiz de 4.75 mm (N°4) en el caso de suelos y hormigones, y en el tamiz de 2.36 mm (N°8) cuando se utilizan en asfaltos.

2. Huecos

Espacios vacíos entre las partículas de un material árido

3. Poros

Espacios vacíos interiores de una partícula de material árido

- a) Poro accesible: poro permeable o abierto
- b) Poro inaccesible: poro impermeable o cerrado

4. Densidad (ρ)

Es la tasa entre la masa (M) y el volumen (V) de un material árido a una temperatura especificada. Se expresa en kg/m³.

- a) Densidad real (ρ_R). Densidad en que se considera el volumen macizo de las partículas de material árido, más el volumen de los poros accesibles e inaccesibles de las partículas.

- Densidad real de árido seco (ρ_{RS}). Densidad real en que se considera solo la masa del árido seco.
 - Densidad real de árido saturado superficialmente seco (ρ_{RT}). Densidad real en que se considera la masa de árido seco más la masa del agua que llena los poros accesibles.
 - b) Densidad Neta (ρ_N). Densidad en que se considera el volumen macizo de las partículas de material áridos más el volumen de los poros inaccesibles.
5. Absorción del agua (α).

Masa de agua necesaria para llevar un material árido del estado seco al estado saturado superficialmente seco. Se expresa como porcentaje referido a la masa de áridos seco.

6. Áridos seco

Material secado en horno hasta masa constante. Esta condición se obtiene cuando dos pesadas sucesivas, separadas por 1 hora de secado a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 10^\circ \text{F}$), difieren en un porcentaje igual o inferior al 0.1 % de la menor masa determinada.

Equipos y materiales

7. Balanza

De capacidad superior a la masa del canastillo porta muestra más la masa de la muestra de ensaye y una precisión mínima de 0.1 g.

8. Horno

Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensayo.

9. Canastillo porta muestra

De alambre de acero inoxidable lo suficientemente resistente para soportar el peso de la muestra, con malla de abertura igual o inferior que 2 mm y de capacidad igual o superior a 4 kg. Además, debe estar provisto de un dispositivo que permita suspenderlo del platillo de la balanza.

10. Estanque

Impermeable, inoxidable, de forma y capacidad tal que permita contener totalmente y con holgura el canastillo porta muestra, de acuerdo con el procedimiento especificado en este método.

11. Recipiente

Deben estar limpios, de material resistente, estancos y de capacidad suficiente para contener la muestra de ensaye.

Extracción y preparación de muestra

Extracción de muestras

Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con los métodos ASTM C 702 y ASTM C 75.

Tamaño de la muestra de ensayo

La cantidad mínima de muestra para el ensaye se determina según la Tabla A1. 16, en función del tamaño máximo nominal del árido.

Tabla A1. 16. Cantidad mínima de la muestra según el tamaño máximo nominal

Tamaño máximo nominal (mm)	Cantidad mínima de muestra (g)
12.5 (1/2")	2.000
19 (3/4")	3.000
25 (1")	4.000
37,5 (1 1/2")	5.000
50 (2")	8.000

Fuente: Valenzuela Freraut, Gonzales Romero, & Toro Roa, 2013.

El tamaño máximo nominal del árido de la Tabla A1. 7 es 19 mm, la cantidad mínima sería de 3000 g, para realizar este ensayo se tomó 4000 g.

Preparación de la muestra a ensayar

- Puede emplear el material proveniente del ensaye de tamizado, debidamente homogeneizado.

- b) Elimine por tamizado las partículas inferiores a 4.75 mm (No 4), en el caso de hormigones y suelos y las partículas inferiores a 2.36 mm (No 8), en el caso de asfaltos.
- c) Lave la muestra hasta remover el polvo superficial o cualquier materia extraña adherida a las partículas.
- d) Seque la muestra hasta masa constante en un horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$.
- e) Enfrié la muestra al aire a temperatura ambiente por un periodo de 24 ± 4 horas.
- f) Sumerja la muestra en agua a temperatura ambiente por un periodo de 24 ± 4 horas.⁹

Procedimiento

Efectué las siguientes pesadas a la muestra de ensaye:

12. Pesada al aire ambiente del pétreo saturado superficialmente seco

- a) Retire la muestra del agua y seque superficialmente las partículas, haciéndolas rodar sobre un paño absorbente húmedo hasta que desaparezca la película visible de agua adherida. Seque individualmente las partículas mayores manteniendo el áridos, ya secado superficialmente, cubierto por un paño húmedo hasta el momento de pesar. Efectué toda la operación en el menor tiempo posible.
- b) Determine inmediatamente la masa de áridos saturado superficialmente seco, por pesada al aire ambiente, aproximando a 1 g. Registre su valor como M_{SSS} .

13. Pesada sumergida

Coloque la muestra inmediatamente en el canastillo porta muestra.

Sumerja el canastillo en agua a $20 \pm 3^\circ \text{C}$, por un periodo de al menos 3 minutos.

Determine la masa sumergida, aproximando a 1 g. Registre su valor como M_{SUM} .¹⁰

14. Pesada al aire ambiente de áridos seco.

⁹ Nota: Se debe tener presente que existen áridos cuya saturación no se completa en 24 h. En ese caso es necesario continuar el control de absorción hasta que dos pesadas sucesivas, separadas por una hora de inmersión, difieran en un porcentaje igual o inferior que el 0,1 % de la menor masa determinada.

¹⁰ Nota: Mantenga el canastillo y su contenido totalmente sumergidos durante la operación. Debe procurarse que el elemento de suspensión del canastillo tenga la menor dimensión posible, a fin de minimizar su efecto sobre los resultados.

- a) Retire la muestra del canastillo y vacíela completamente del recipiente, cuidando de no dejar partículas atrapadas.
- b) Seque la muestra hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$
- c) Enfrié la muestra hasta temperatura ambiente, en lo posible dentro de un recipiente protegido, para evitar la absorción de humedad del aire.
- d) Determine la masa de la muestra seca, por pesada al aire ambiente, aproximando a 1 g. Registre su valor como M_S .

Cálculos

15. Densidad real (ρ_R)

- a) Densidad real del árido saturado superficialmente seco (ρ_{RT}). Calcule la densidad real de áridos saturados superficialmente seco según la formula siguiente, aproximando a 1 kg/m^3 .

$$\rho_{RT} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{M_{SSS}}{M_{SSS} - M_{SUM}} \times 1000 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

- b) Densidad real de áridos seco (ρ_{RS}). Calcule la densidad real de áridos seco según la fórmula siguiente, aproximando a 1 Kg/m^3 :

$$\rho_{RS} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{M_S}{M_{SSS} - M_{SUM}} \times 1000 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

16. Densidad neta (ρ_N) Calcule la densidad neta según la fórmula siguiente, aproximado a 1 kg/m^3 .

$$\rho_N \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{M_S}{M_S - M_{SUM}} \times 1000 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

17. Absorción de agua (α)

Calcule la absorción de agua según la fórmula siguiente, aproximando a la centésima en porcentaje¹¹.

$$\alpha(\%) = \frac{M_{SSS} - M_S}{M_S} \times 100$$

¹¹ Nota: Para efectos prácticos se considerara la densidad del agua como 1000 kg/m^3 en lugar del valor real a 20°C que es $998,20 \text{ kg/m}^3$.

Donde:

ρ = Densidad en (kg/m^3)

α = Absorción en (%)

M_{SUM} = Masa del árido sumergido (g).

M_{SSS} = Masa del árido saturado superficialmente seco (g).

M_S = Masa del árido seco (g).

Expresión de resultados

- a) Determine la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de un áridos como el promedio aritmético de dos ensayos sobre muestras gemelas.
- b) Expresé las densidades en kg/m^3 , aproximando a 1 kg/m^3 Expresé la absorción en porcentaje, aproximando a la centésima.

Conocido anteriormente el procedimiento de cálculo, presentamos en la siguiente Tabla A1. 17, el cálculo de la densidad real, densidad neta, y absorción del agua en áridos grueso

Tabla A1. 17. Cálculo de la densidad real, densidad neta, y absorción del agua en áridos grueso

Nombre	X ₁	X ₂	X ₃	$\bar{X}$	Unidad o símbolo matemático
Masa del árido saturado superficialmente seco (M_{SSS})	4000				g
Masa del recipiente	364.0	370.0	457.7	397.2	g
Masa del recipiente + Material secado en el horno	4308.0	4310.0	4398.7	4338.9	g
Masa del árido seco (M_S)	3944.0	3940.0	3941.0	3941.7	g
Masa del árido sumergido (M_{SUM})	2479.0	2490.0	2482.0	2483.7	g
Densidad real de áridos seco (ρ_{RS})	2593.0	2609.3	2596.2	2599.5	kg/m ³
Densidad real del áridos saturado superficialmente seco (ρ_{RT})	2629.8	2649.0	2635.0	2638.0	kg/m ³
Densidad neta (ρ_N)	2692.2	2717.2	2701.2	2703.5	kg/m ³
Absorción de agua (α)	1.42	1.52	1.50	1.48	%

Fuente: Propia

Figura A1. 10. Fotografías del anexo 1.9



Fuente: Propia

Anexo 1.10. Método para determinar la densidad real, la densidad neta, y la absorción de agua en áridos fino (ASTM C 128)

Objetivo

Este método establece los procedimientos para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de los áridos finos. Es aplicable a los áridos finos, que se emplean en la elaboración de hormigones y obras asfálticas.

Definiciones

1. Áridos finos

Material árido que pasa el tamiz de 4.75 mm (No 4) en el caso de hormigones, y que pasa el tamiz de 2.36 mm (No 8) cuando se utiliza en asfaltos.

2. Huecos

Espacios vacíos entre las partículas de un material árido.

3. Poros

Espacios vacíos interiores de una partícula de material árido.

a) Poro Accesible: poro permeable o abierto.

b) Poro Inaccesible: poro impermeable o cerrado.

4. Densidad

Es el cociente entre la masa (m) y el volumen (v) de un material árido a una temperatura especificada. Se expresa en kg/m^3 .

a) Densidad real (ρ_R). Densidad en que se considera el volumen macizo de las partículas de material áridos, más el volumen de los poros accesibles e inaccesibles de esas partículas.

- Densidad real del áridos seco (ρ_{RS}). Densidad real en que se considera solamente la masa del pétreo seco.
- Densidad real del áridos saturado superficialmente seco (ρ_{RT}).
- Densidad real en que se considera la masa de áridos seco más la masa del agua que llena los poros accesibles.

b) Densidad neta (ρ_{RT}). Densidad en que se considera el volumen macizo de las partículas de material áridos más el volumen de los poros inaccesibles.

5. Absorción del agua

Masa de agua necesaria para llevar un material árido del estado seco al estado saturado superficialmente seco. Se expresa como porcentaje referido a la masa de áridos seco.

6. Áridos secos

Material secado en horno hasta masa constante. Esta condición se obtiene cuando dos pesadas sucesivas, separadas por 1 hora de secado a 110 ± 5 °C, difieren en un porcentaje igual o inferior al 0.1 % de la menor masa determinada.

Equipos y materiales

7. Balanza

De capacidad superior a 1 kg y una precisión mínima de 0.1 g.

8. Horno

Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensayo.

9. Recipientes

Limpios, de material resistente, estancos y de capacidad suficiente para contener la muestra del ensaye.

10. Matraz

Es un matraz aforado en el que se pueda introducir fácilmente la muestra de ensaye. Debe llevar una marca de calibración que indique el volumen contenido con una

precisión de ± 0.1 ml. Dicho volumen excederá a lo menos en un 50 % al volumen aparente de la muestra de áridos fino. Se recomienda emplear un matraz de 500 cm³ de capacidad. También puede emplearse un picnómetro.

11. Molde

Con forma tronco - cónica, de 40 ± 3 mm de diámetro en la parte superior, 90 ± 3 mm de diámetro en la parte inferior y 75 ± 3 mm de altura. Confeccionado con una plancha metálica de un espesor igual o superior que 0.8 mm.

12. Pisón

Es una varilla metálica, con uno de sus extremos de sección plana y circular, de 25 ± 3 mm de diámetro. Debe tener una masa de 340 ± 15 g.

Extracción y preparación de la muestra

Extracción de muestras

Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con los Métodos del Anexo 1.3. Método para extraer y preparar la muestra (ASTM C 75) y Anexo 1.4. Método para el cuarteo de la muestra (ASTM C 702).

Tamaño de la muestra de ensayo

Para cada ensayo se usará una cantidad de áridos fino superior a 50 g e inferior a 500 g.

Preparación de la muestra de ensayo

- a) Corte el material retenido en tamiz de referencia (4.75mm (No 4) para hormigón o 2.36 mm (No 8) para asfalto).
- b) Si la muestra de laboratorio contiene un porcentaje superior al 15 % de material retenido sobre el tamiz de referencia, considérela como un integral y determine los porcentajes de la fracción retenida y de la fracción que pasa respecto del total de dicha muestra.

Ensaye la fracción retenida de acuerdo con el método del Anexo 1.5. Método para tamizar y determinar la granulometría (ASTM C 136) y la fracción que pasa de acuerdo con este método de ensaye.

- c) Reduzca por cuarteo, de acuerdo con el método del Anexo 1.4. Método para el cuarteo de la muestra (ASTM C 702), la muestra de terreno o la fracción que pasa indicada en “Preparación de la muestra de ensaye” punto b), a una cantidad de áridos de aproximadamente el doble del tamaño de muestra de laboratorio requerido.¹²
- d) Seque el árido en horno a una temperatura de 110 ± 5 °C.
- e) Cubra el árido en su totalidad con el mínimo de agua a temperatura ambiente, necesaria para asegurar su saturación en un periodo de 24 ± 4 h.

Procedimiento

- a) Elimine paulatinamente el exceso de agua, evitando la pérdida de finos. Revuelva la muestra frecuentemente para asegurar un secado uniforme, hasta llevarla a su condición suelta.¹³
- b) Coloque el molde cónico sujeto firmemente contra una superficie lisa, plana y no absorbente, con su diámetro mayor hacia abajo, llénelo con el árido en condición suelta en una capa y enrase.
- c) Compacte suavemente con 25 golpes de pisón uniformemente distribuidos sobre la superficie. En cada golpe deje caer el pisón libremente desde una altura de 5 mm sobre la superficie del áridos. Dicha altura debe conservarse, ajustándola a la nueva elevación de la muestra después de cada golpe.
- d) Remueva cuidadosamente todo material sobrante en la superficie. Levante el molde verticalmente. Si hay humedad libre la muestra conservara la forma del cono. En este caso elimine el exceso de humedad, repitiendo el procedimiento, a

¹² Nota: La muestra debe humedecerse antes de efectuar la reducción para evitar la segregación y pérdidas de polvo.

¹³ Nota: La eliminación del exceso de agua de la muestra no se debe realizar a fuego directo, ni tampoco utilizar para ello fuertes corrientes de aire.

intervalos frecuentes, desde a). Cuando, al retirar el molde, el árido cae suavemente según su talud natural, será indicación que este ha alcanzado la condición saturada superficialmente seca.¹⁴

- e) Inmediatamente que el árido alcance la condición de saturado superficialmente seco, obtenga el tamaño de muestra de ensaye requerido, pese y registre su masa.
- f) Coloque la muestra en el matraz y cúbrala con agua a una temperatura de 20 ± 3 °C, hasta alcanzar aproximadamente 2/3 del volumen del matraz.
- g) Agite el matraz a fin de eliminar burbujas de aire golpeándolo ligeramente contra la palma de la mano. En caso de áridos muy finos, se debe utilizar una bomba de vacío.
- h) Deje reposar durante 1 h manteniendo una temperatura de 20 ± 3 °C.
- i) Llene con agua a 20 ± 3 °C hasta la marca de calibración, agite y deje reposar un instante.
- j) Mida y registre la masa total del matraz con la muestra de ensaye y el agua (mm).
- k) Saque la muestra del matraz, evitando perdidas de material, y séquela hasta masa constante en horno a una temperatura de 110 ± 5 °C. Déjela enfriar a temperatura ambiente. Determine y registre la masa de la muestra de ensaye en condición seca (ms).
- l) Llene el matraz solamente con agua a una temperatura de 20 ± 3 °C hasta la marca de calibración. Mida y registre la masa del matraz con agua (Ma).

Cálculos

13. Densidad real

¹⁴ Nota: La primera verificación de humedad mediante el moldeo del cono debe hacerse cuando aún permanece un mínimo de agua libre, por lo tanto, si el cono se asienta en esta primera verificación, mezcle unos pocos cm³ de agua con el árido y déjelo en un recipiente cubierto durante 30 min y proceda desde a).

- a) Densidad Real de áridos saturados superficialmente seco (ρ_{RT}). Calcule la densidad real de áridos saturado superficialmente seco, según la fórmula siguiente, aproximando a 1 kg/m³:

$$\rho_{RT} \left(\frac{kg}{m^3} \right) = \frac{M_{SSS}}{M_a + M_{SSS} + M_m} \times 1000 \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

- b) Densidad Real de áridos Seco (ρ_{RS}). Calcule la densidad real del áridos seco, según la fórmula siguiente, aproximando a 1 kg/m³:

$$\rho_{RS} \left(\frac{kg}{m^3} \right) = \frac{M_S}{M_a + M_{SSS} - M_m} \times 1000 \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

14. Densidad Neta (ρ_N)

Calcule la densidad neta, según la fórmula siguiente, aproximando a 1 kg/m³:

$$\rho_N \left(\frac{kg}{m^3} \right) = \frac{M_S}{M_a + M_S - M_m} \times 1000 \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

15. Absorción del agua (α)

Calcule la absorción de agua, según la fórmula siguiente, aproximando a la centésima, en porcentaje.

$$\alpha(\%) = \frac{M_{SSS} - M_S}{M_S} \times 100$$

Donde:

ρ = Densidad (kg/m³)

α = Absorción (%)

M_S = Masa de la muestra seca (g)

M_{SSS} = Masa de la muestra saturada superficialmente seca (g)

M_a = Masa del matraz con agua hasta la marca de la calibración (g).

M_m = Masa del matraz con la muestra más agua hasta la marca de calibración (g).

Expresión de resultados

- a) La densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de un áridos fino se determinan como el promedio aritmético de dos ensayos sobre muestras gemelas.
- b) En el caso de un integral, la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de los áridos se calculan como el promedio ponderado de la densidad real, densidad neta y la absorción de agua, respectivamente, obtenidas mediante el ensayo por separado de sus dos fracciones, de acuerdo con las siguientes formulas:

$$\rho \left(\frac{kg}{m^3} \right) = \frac{1}{100} \times (\rho_r \times P_r + \rho_p \times P_p)$$

$$\alpha(\%) = \frac{1}{100} \times (\alpha_r \times P_r + \alpha_p \times P_p)$$

Donde:

ρ = Densidad (real o neta) del integral (kg/m³).

ρ_r = Densidad (real o neta) de la fracción retenida (kg/m³).

ρ_p = Densidad (real o neta) de la fracción que pasa (kg/m³).

P_r = Porcentaje en masa de la fracción retenida (%).

P_p = Porcentaje en masa de la fracción que pasa, (%).

α = Absorción de agua del integral (%).

α_r = Absorción de agua de la fracción retenida (%).

α_p = Absorción de agua de la fracción que pasa (%).

- c) Expresé las densidades en kg/m³ aproximando a 1 kg/m³, y la absorción en porcentaje, aproximando a la centésima.

Precisión

Acepte la determinación de densidad real, densidad neta y absorción de agua de los áridos finos, cuando la diferencia entre los valores obtenidos de los dos ensayos realizados por uno o más laboratoristas sea:

- a) Igual o inferior que 20 kg/m³ en la determinación de densidades.

- b) Igual o inferior que 4 décimas porcentuales en la determinación de la absorción de agua.

Conocido anteriormente el procedimiento de cálculo, presentamos en la siguiente Tabla A1. 18, el cálculo de la densidad real, densidad neta, y absorción del agua en áridos fino.

Tabla A1. 18. Cálculo de la densidad real, densidad neta, y absorción del agua en áridos fino

Nombre	X ₁	X ₂	Promedio	Unidad o símbolo
Masa de la muestra seca (M_s)	490.4	490.5	490.45	g
Masa de la muestra saturada superficialmente seca (M_{SSS})	500	500	500.00	g
Masa del matraz con agua hasta la marca de la calibración (M_a).	736.5	677.2	706.85	g
Masa del matraz con la muestra más agua hasta la marca de calibración (M_m).	1032.7	1000.6	1016.65	g
Densidad Real de áridos saturado superficialmente seco (ρ_{RT})	2453.39	2831.26	2642.32	kg/m ³
Densidad Real de áridos Seco (ρ_{RS}).	2406.28	2777.46	2591.87	kg/m ³
Densidad Neta (ρ_N)	2525.23	2935.37	2730.30	kg/m ³
Absorción de Agua (α).	1.96	1.94	1.95	%

Fuente: Propia

Figura A1. 11. Fotografías del anexo 1.10



Fuente: Propia

ANEXO 2. DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA DE
HORMIGÓN – MÉTODO ACI 211

Anexo 2.1. Explicación del procedimiento realizado para la dosificación del hormigón

Para calcular la cantidad de material que se va a necesitar en una mezcla de hormigón es necesario conocer las características físicas de los materiales a emplear en la elaboración del mismo:

- Densidad del cemento (El Puente)
- Módulo de finura de la arena
- Tamaño máximo nominal (TMN)
- Tamaño Máximo (TM)
- Humedad de la arena (H_a)
- Humedad de la grava (H_g)
- Densidad aparente compactada
- Densidad Neta
- Absorción de agua de la grava (A_g)
- Densidad neta de la arena
- Absorción de agua de la arena (A_a)

Se deberá de seguir los siguientes pasos para una buena dosificación (Tabla A2. 1).

Tabla A2. 1. Procedimiento de diseño ACI-211

Paso	Descripción
1	Selección del asentamiento
2	Selección del tamaño máximo del agregado
3	Estimación del contenido de aire
4	Estimación del contenido de agua de mezclado
5	Determinación de la resistencia de diseño
6	Selección de la relación agua-cemento
7	Cálculo del contenido de cemento
8	Estimación del contenido de agregado grueso
9	Estimación del contenido del agregado fino
10	Ajuste por humedad de los agregados
11	Ajustes a las mezclas de prueba

Fuente: (Díaz Ayarde, 2005, pág. 123)

Paso 1. Para seleccionar el asentamiento del hormigón, revisar el capítulo 2.2.3 Consistencia del hormigón, porcentaje de vacío y cantidad de agua, si la consistencia, en términos de asentamiento, no se ha especificado con anterioridad, la Tabla 2.5. Asentamientos recomendados para diversos tipos de construcción y sistemas de colocación y compactación, provee una guía empírica de la consistencia requerida por el hormigón para diferentes tipos de construcción y sistemas de colocación y compactación.

Paso 2. Para seleccionar el tamaño máximo del agregado, revisar el capítulo 2.2.2 Tamaño máximo del árido, si el tamaño máximo, no se ha especificado con anterioridad, la Tabla 2.4. Tamaños máximos de agregados según el tipo de construcción, provee una guía empírica del tamaño máximo requerida por el hormigón para diferentes tipos de construcción y sistemas de colocación y compactación.

Paso 3. Para seleccionar el contenido de aire, utilizamos la Tabla 2.7. Valores recomendados para el contenido de aire en el hormigón .

Paso 4. Para seleccionar el contenido de agua de mezclado (A), utilizar la Tabla 2.6. Requerimiento aproximado de agua de mezclado, según las condiciones del agregado.

Paso 5. Como punto de partida para este trabajo de investigación sin registro de ensayo, utilizamos la Tabla 2.3. Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra, para determinar la resistencia del hormigón.

Paso 6. Para seleccionar la relación agua-cemento (a/c), utilizamos la Tabla 2.2. Relación agua/cemento

Paso 7. Concluido los pasos anteriores, el contenido de cemento para un metro cúbico de hormigón, se calcula con la siguiente fórmula:

$$C = A / (A/C)$$

Donde:

C = Cantidad de cemento en kg, para un metro cúbico de hormigón.

A = Cantidad de agua en litro, para un metro cúbico de hormigón.

A/C = Relación agua-cemento

Dada la cantidad de cemento podemos calcular la cantidad de aditivo en base a la hoja técnica de la siguiente Figura A2. 1.

Paso 8. Aquí se hace la suposición de que la relación óptima del volumen aparente del agregado grueso respecto del volumen total del hormigón depende solo del tamaño del agregado y de la granulometría del agregado fino. La forma de las partículas de agregado grueso no entra directamente en la relación porque, por ejemplo, un agregado triturado tiene un volumen aparente mayor para la misma masa (o sea, una densidad aparente menor) que un agregado bien redondeado. Así, el factor forma es tomado en cuenta automáticamente en la determinación de la densidad aparente. La Tabla A2. 2. Volumen aparente de agregado grueso por volumen unitario de hormigón, nos da los valores del volumen óptimo del agregado grueso cuando se utiliza con agregados finos de diferentes módulos de finura. Este volumen se convierte en masa de agregado grueso por metro cúbico de hormigón mediante la multiplicación del valor de la tabla por la masa del agregado secado en horno y varillado (en kg/m³).

Tabla A2. 2. Volumen aparente de agregado grueso por volumen unitario de hormigón

Tamaño máximo nominal del agregado		Módulo de finura de la arena			
mm	plg	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5	3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
12.7	1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
19.0	3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
25.4	1"	0.71	0.69	0.67	0.65
38.1	1 1/2"	0.75	0.73	0.71	0.69
50.8	2"	0.78	0.76	0.74	0.72
76.1	3"	0.82	0.80	0.78	0.76
152.0	6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: (Dixon, Prestrera, & Burg, 1991, pág. 20)

Paso 9. En esta etapa, la masa del agregado fino es la única cantidad que queda por conocer. El volumen absoluto de esta masa se puede obtener sustrayendo la suma de los

volúmenes absolutos de agua, cemento, aire incluido y agregado grueso del volumen de hormigón, es decir 1 m^3 . Para cada ingrediente, el volumen absoluto es igual a la masa dividida por la densidad absoluta del material (en kg/m^3); La densidad absoluta es el peso específico del material multiplicado por la densidad del agua (1000 kg/m^3).

El volumen absoluto de agregado fino se convierte en masa al multiplicar este volumen por el peso específico del agregado fino y por la densidad del agua.

Alternativamente, la masa del agregado fino se puede obtener directamente de la sustracción de la masa total de los otros ingredientes a un volumen unitario de hormigón, si este se puede estimar a partir de la experiencia. Esta solución es ligeramente menos exacta que el método del volumen absoluto.

Paso 10.

Dada la porosidad de los agregados, estos absorben agua que no alcanza a reaccionar con el cemento. Es por esto que es necesario, a la hora de preparar cualquier mezcla, corregir las cantidades a medir según sea la cantidad de agua que posean los agregados y el grado de porosidad de los mismos. El no tener en cuenta esta precisión puede ocasionar variaciones de la relación agua cemento y de la trabajabilidad de la mezcla.

Las correcciones de las que se habla en el paso anterior son denominadas correcciones por humedad y aunque no hacen parte directa del método ACI 211.1, se exponen en este trabajo dada su importancia a la hora de elaborar las mezclas para realizar los ensayos de asentamiento, masa unitaria y resistencia a la compresión.

Dada la siguiente dosificación en masa: Agua (A), cemento (C), finos (F), y grueso (G). La corrección por humedad consiste en calcular nuevas cantidades de agua, agregado grueso y agregado fino según la humedad que posean estos últimos, al momento de realizar la prueba, así:

Cantidad de agua por metro cúbico de hormigón corregida por humedad (A_c)

$$A_c = A + \frac{F \times (A_a - H_a)}{100} + \frac{G \times (A_g - H_g)}{100}$$

Donde:

A_a, A_g = Absorción de agua del agregado fino y el agregado grueso

H_a, H_g = Humedad del agregado fino y grueso

Cantidad de finos por metro cúbico de hormigón corregido por humedad (F_h)

$$F_h = F \times \left(1 + \frac{H_a}{100}\right)$$

Cantidad de gruesos por metro cúbico de hormigón corregidos por humedad (G_h)

$$G_h = G \times \left(1 + \frac{H_g}{100}\right)$$

Los valores A_h , F_h y G_h son los valores que se deben medir a la hora de elaborar las mezclas. (Giraldo Bolivar, 2006, pág. 15)

Paso 11. Para evaluar si las proporciones cumplen el asentamiento propuesto se debe preparar una primera mezcla de prueba, con los materiales corregidos por humedad.

Si A' es la cantidad de agua usada en la mezcla, para lograr la consistencia deseada en el hormigón. Se presenta los siguientes casos:

- a) Si se cumple con el asentamiento propuesto en el hormigón fresco en un rango ± 10 mm, significa que la cantidad de agua que se usó para mezclar el hormigón es la correcta.
- b) Si el asentamiento tiene un valor diferente al especificado, se concluye que, por cada 10 mm de diferencia, la mezcla se debe de corregir en 2 litros por metro cúbico de hormigón.⁵²

⁵² Nota: Con áridos de machaqueo conviene aumentar un poco más de fino, Para hormigón vibrado, puede aumentarse algo el árido más grueso, con dosis de cemento superiores a los 300 kg/m³ puede disminuirse el árido más fino, y al contrario con dosis inferiores.

Figura A2. 1. Hoja técnica Sika ViscoCrete 5-800 (parte 1)



CONSTRUYENDO CONFIANZA

HOJA TECNICA

Sika® ViscoCrete® 5-800

Aditivo para hormigón autocompactante

GENERAL	Sika® ViscoCrete® 5-800 pertenece a la tercera generación de aditivos super-plastificantes para hormigón y mortero. Sika® ViscoCrete® 5-800 hormigón auto-compactante es un concepto revolucionario para producir hormigón extremadamente fluido y cohesivo a la vez. Estas propiedades junto a la no segregación permiten una gran trabajabilidad. No contiene cloruros.
USOS	■ Hormigones donde se requiera fuerte reducción de agua o altísimas resistencias mecánicas. Mínima exudación. ■ Hormigón auto-compactante, sin necesidad de vibración (Self Compacting Concrete - SCC), colocado por bombeo, colocado directamente o por intermedio de tolvas. ■ Colocación de hormigón en sitios con gran cuantía de acero o poco accesibles. ■ Hormigonado de elementos esbeltos y formas complicadas. Hormigón a la vista.
VENTAJAS	■ Sika® ViscoCrete® 5-800 no contiene cloruros u otro ingrediente promotor de la corrosión, por lo que puede ser utilizado sin restricciones en hormigón armado y pretensado. ■ Fuerte comportamiento auto-compactante. Por lo mismo, es altamente apropiado para la colocación de hormigón con detalles complejos sin necesidad de vibración (Self Compacting Concrete - SCC). ■ Extremadamente alta reducción de agua, lo que resulta en hormigón de alta impermeabilidad y altas resistencias iniciales y finales ■ Mínima contracción debido al bajo contenido de agua. ■ Debido a la baja porosidad el avance de un frente de carbonatación y el ingreso de agentes químicos agresivos son muy lentos.

DATOS BASICO

APARIENCIA Y COLOR	Líquido café claro.
ALMACENAMIENTO	Mantener en sitio fresco y bajo techo, conservando el producto en el envase original bien cerrado.
TIEMPO DE VIDA UTIL	Como se indica en el envase.

HOJA TECNICA

Sika® ViscoCrete® 5-800

29-01-19, VERSION 3

Document ID 113010110000000000

SIKA BOLIVIA S.A.

Línea Gratuita: 800-12-9090 <http://bol.sika.com>

1/3

Fuente: (Winkler, s.f.)

Figura A2. 2. Hoja técnica Sika ViscoCrete 5-800 (parte 2)

PRESENTACION	Tambor 200 kg Tineta 20 kg A granel 1 kg								
DATOS TECNICOS									
DENSIDAD	1.06 ± 0.02 kg/L								
VALOR pH	4 - 6								
NORMAS	Está diseñado para cumplir con las especificaciones: ASTM C 494 Tipo F. NB 1000 - NB 1001 - NB 1225001								
APLICACION									
CONSUMO	0.5 a 2.0 % referente al peso del cemento.								
METODO DE APLICACION	El aditivo debe agregarse diluido en el agua de amasado en el momento del mezclado o agregado simultáneamente con el agua al interior del mezclador. Para un óptimo comportamiento, mezclar enérgicamente durante un mínimo de 1 minuto. Si se requiere la adición de agua al final del mezclado, para ajustes de precisión, se debe realizar después de por lo menos 40 segundos de realizado el mezclado, para evitar agregar exceso de agua. Para el uso de hormigón auto-compactante (Self Compacting Concrete SCC) se requiere de un diseño especial para el hormigón. Favor consultar con nuestro Departamento Técnico. Sika® ViscoCrete® 5-800 puede ser utilizado en conjunto con otros aditivos Sika®, para lo cual se recomienda realizar ensayos previos con la combinación deseada. Favor consultar con nuestro Departamento Técnico. En la producción, colocación y curado del hormigón se deben seguir las reglas de buena práctica habitualmente usadas.								
NOTAS SOBRE APLICACIÓN	Ejemplo referencial de un contenido típico de finos (TMN) <table border="1"> <tr> <td>0/4 mm</td><td>≥ 650 kg/m³</td></tr> <tr> <td>0/8 mm</td><td>≥ 550 kg/m³</td></tr> <tr> <td>0/16 mm</td><td>≥ 500 kg/m³</td></tr> <tr> <td>0/32 mm</td><td>≥ 475 kg/m³</td></tr> </table> El contenido del cemento dependerá de las superficies requeridas, del "Tamaño Máximo Nominal" y contenido de finos.	0/4 mm	≥ 650 kg/m ³	0/8 mm	≥ 550 kg/m ³	0/16 mm	≥ 500 kg/m ³	0/32 mm	≥ 475 kg/m ³
0/4 mm	≥ 650 kg/m ³								
0/8 mm	≥ 550 kg/m ³								
0/16 mm	≥ 500 kg/m ³								
0/32 mm	≥ 475 kg/m ³								
LIMPIEZA	Las herramientas y los instrumentos deben ser limpiados inmediatamente después de su empleo con agua mientras el producto está todavía fresco.								
NOTAS	Todos los datos técnicos indicados en esta Hoja de Datos de Producto están basados en ensayos de laboratorio. Las medidas reales de estos datos pueden variar debido a circunstancias que escapan de nuestro control.								

HOJA TECNICA
Sika® ViscoCrete® 5-800
29-01-19, VERSION 4
Document ID 113010110000000000

SIKA BOLIVIA S.A.
Línea Gratuita: 800-12-9090 <http://bol.sika.com>

CONSTRUYENDO CONFIANZA



Fuente: (Winkler, s.f.)

Figura A2. 3. Hoja técnica Sika ViscoCrete 5-800 (parte 3)

RESTRICCIONES LOCALES	Ha de tenerse en cuenta que como resultado de las legislaciones locales específicas, la ejecución del presente producto puede variar de país a país. Consulte la Ficha Técnica y Hoja de Seguridad local más reciente previo a cualquier uso. Disponibles en la compañía Sika Local y/o en su respectiva página web.
INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD	
PRECAUCIONES DE MANIPULACIÓN	Durante la manipulación de cualquier tipo de producto químico, evite el contacto directo con los ojos, piel y vías respiratorias. Se recomienda protegerse utilizando guantes de goma y anteojos de seguridad. En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua durante 15 minutos manteniendo los párpados abiertos y acudir a un especialista. A la vez se recomienda lavarse las manos antes de ingerir alimentos.
ECOLOGÍA	No disponer el producto en el suelo o cursos de agua sino conforme a las regulaciones locales y previa neutralización. Para mayor información solicite la hoja de seguridad del producto.
NOTA LEGAL	La información, y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y uso final de los productos Sika® son proporcionadas de buena fe en base al conocimiento y experiencia de los productos siempre y cuando estén adecuadamente almacenados y manipulados, así como también aplicados en condiciones normales de acuerdo a las recomendaciones de Sika®. En la práctica, las diferencias en materiales, sustratos y condiciones donde se aplicarán los productos Sika®, no permiten que emitamos garantías respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto para propósitos particulares, así como ninguna responsabilidad legal o contractual puede derivar de esta información o de alguna recomendación escrita o asesoramiento técnico proporcionado. El usuario del producto debe probar la conveniencia del producto para la aplicación que desea realizar. Sika® se reserva el derecho de cambiar las propiedades de sus productos, los derechos de propiedad de terceros deben ser respetados. Todos los pedidos aceptados por SIKA BOLIVIA S.A. están sujetos a nuestros actuales términos de venta y entrega de productos. Los usuarios deben siempre referirse a la última versión de las Fichas Técnicas del producto, cuya copia puede ser entregada por nuestro Departamento de Ventas a solicitud del usuario o a través de nuestra página web: http://bol.sika.com

Santa Cruz: Carretera Cotoca km 11;
Telf. /Fax: (591-3) 3464504 - 3648700
El Alto: Av. 6 de Marzo N° 3, Zona Rosas Pampa;
Telf.: (591-2) 2854305
Cochabamba: Av. Villazón N° 4123,
Carretera a Sacaba km 3.5;
Telf. /Fax: (591-4) 4716049

© 2019 SIKA BOLIVIA S.A.

HOJA TECNICA
Sika® ViscoCrete® 5-800
29-01-19, VERSION 4
Document ID 11301011000000000

SIKA BOLIVIA S.A.
Línea Gratuita: 800-12-9090 <http://bol.sika.com>



Anexo 2.2. Dosificación de 25 MPa

Paso 1. Se especifica un revenimiento de 75 mm de la Tabla 2.5.

Paso 2. Se especifica un tamaño máximo de 25.4 mm de la Tabla 2.4.

Paso 3. A partir de la Tabla 2.7, para un tamaño máximo de 25.4 mm, seleccionamos un porcentaje de vacío de 1.5 %.

Paso 4. A partir de la Tabla 2.6, para un revenimiento de 75 mm y un tamaño máximo de agregado de 25.4 mm, el agua requerida es de 188 kg por metro cúbico de hormigón.

Paso 5. Como no tenemos registros estadísticos en la elaboración de probetas de hormigón, utilizamos la Tabla 2.3, para proyectar nuestra resistencia de 25 MPa a 33.5 MPa.

Paso 6. A partir de la Tabla 2.2, y teniendo una resistencia de 33.5 MPa; la relación agua-cemento sería de 0.417.

Paso 7. El contenido de cemento es $188/0.417 = 451$ kg para un metro cúbico de hormigón.

Paso 8. A partir de la Tabla A2. 2, cuando se emplea un agregado fino que tiene un módulo de finura de 2.74, el volumen aparente de agregado grueso secado en horno y varillado, con un tamaño máximo de 25.4 mm, es 0.626. Dado que la densidad aparente del agregado grueso es 1551 kg/m^3 , la masa del agregado grueso es $0.626 \times 1551 = 970.93$ kg, para un metro cúbico de hormigón.

Paso 9. Para calcular la masa del agregado fino, necesitamos primero calcular el volumen de todos los otros ingredientes. Los valores requeridos son los que siguen.

Tabla A2. 3. Cálculo de la masa de la arena del hormigón de 25 MPa

Materiales	Masa (kg)	Densidad neta (kg/m^3)	Volumen (m^3)
Grava	971	2704	0.359
Cemento	451	3050	0.148
Agua	188	1000	0.188
Aire	----	----	0.015
Total	1610		0.710

Fuente: Propia

Volumen de arena requerido = $1 - 0.710 = 0.290 \text{ m}^3$

Masa de la arena que se requiere = $0.290 \times 2730 = 791.47 \text{ kg}$

Paso 10. Corrección por humedad y absorción:

Tabla A2. 4. Corrección por humedad y absorción de un hormigón de 25 MPa

Masa seca de los materiales para 1 m^3 de hormigón		Corrección por humedad y absorción				
Proporción base	Masa seca (kg)	Humedad		Absorción		Proporción real (kg)
		%	kg	%	kg	
Grava	971.37	0.46%	4.47	1.48%	14.38	975.84
Arena	791.47	0.61%	4.83	1.95%	15.41	796.3
Cemento	450.84					450.84
Agua	188		9.30		29.79	208.49

Fuente: Propia

Figura A2. 4. Fotografías del anexo 2.2.



Fuente: Propia

The logo of the Universidad Autónoma Juan Misael Saracho is an oval emblem. It features a central shield with a blue upper half containing a sun and a book, and a red lower half containing a caduceus. The shield is surrounded by a red border with the university's name in white. The motto 'SAPIENTIA ET JUSTITIA IMMORTALES SUNT' is written in red at the top of the oval.

**ANEXO 3. REGISTRO DE ENSAYOS NO
DESTRUCTIVOS**

Anexo 3.1. Explicación de las medidas y errores

Intervalo de confianza para muestra pequeña $n < 30$

En el caso de una muestra con pequeño número de medidas ($n < 30$) que proviene de una población con distribución normal, con promedio o valor verdadero U . La variable aleatoria será denominada por la letra t y la desviación estándar por σ , el intervalo de confianza es:

$$P\left\{-t_{\frac{\alpha}{2},v} \leq t \leq t_{\frac{\alpha}{2},v}\right\} = 1-\alpha$$

Con $v = n - 1$ grados de libertad (n =número de medidas). Resulta:

$$P\left\{-t_{\frac{\alpha}{2},v} \leq \frac{\bar{x} - U}{\sigma/\sqrt{n}} \leq t_{\frac{\alpha}{2},v}\right\} = 1-\alpha$$

La desigualdad en la anterior ecuación también puede expresarse como:

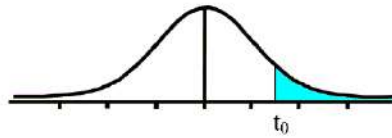
$$\bar{x} - t_{\frac{\alpha}{2},v} \times \sigma/\sqrt{n} \leq U \leq \bar{x} + t_{\frac{\alpha}{2},v} \times \sigma/\sqrt{n}$$

Ecuación que permite calcular el intervalo donde se encuentra el valor verdadero con un nivel de confianza $(1-\alpha) \times 100\%$ y grados de libertad v . Los valores de $t_{\frac{\alpha}{2}}$ se hallan en la Tabla A3. 1. t Student Donde $t_{\frac{\alpha}{2}}$ es el punto superior $\frac{\alpha}{2}$ de la distribución t de Student con $n-1$ grados de libertad.

Entonces el valor verdadero se escribe así: $U = \bar{x} \pm t_{\frac{\alpha}{2},v} \times \sigma/\sqrt{n}$

Tabla A3. 1. *t* Student (parte 1)

Tabla t-Student



Grados de libertad	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	1.0000	3.0777	6.3137	12.7062	31.8210	63.6559
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027	6.9645	9.9250
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8408
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7765	3.7469	4.6041
5	0.7267	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321
6	0.7176	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
7	0.7111	1.4149	1.8946	2.3646	2.9979	3.4995
8	0.7064	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
9	0.7027	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10	0.6998	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693
11	0.6974	1.3634	1.7959	2.2010	2.7181	3.1058
12	0.6955	1.3562	1.7823	2.1788	2.6810	3.0545
13	0.6938	1.3502	1.7709	2.1604	2.6503	3.0123
14	0.6924	1.3450	1.7613	2.1448	2.6245	2.9768
15	0.6912	1.3406	1.7531	2.1315	2.6025	2.9467
16	0.6901	1.3368	1.7459	2.1199	2.5835	2.9208
17	0.6892	1.3334	1.7396	2.1098	2.5669	2.8982
18	0.6884	1.3304	1.7341	2.1009	2.5524	2.8784
19	0.6876	1.3277	1.7291	2.0930	2.5395	2.8609
20	0.6870	1.3253	1.7247	2.0860	2.5280	2.8453
21	0.6864	1.3232	1.7207	2.0796	2.5176	2.8314
22	0.6858	1.3212	1.7171	2.0739	2.5083	2.8188
23	0.6853	1.3195	1.7139	2.0687	2.4999	2.8073
24	0.6848	1.3178	1.7109	2.0639	2.4922	2.7970
25	0.6844	1.3163	1.7081	2.0595	2.4851	2.7874
26	0.6840	1.3150	1.7056	2.0555	2.4786	2.7787
27	0.6837	1.3137	1.7033	2.0518	2.4727	2.7707
28	0.6834	1.3125	1.7011	2.0484	2.4671	2.7633
29	0.6830	1.3114	1.6991	2.0452	2.4620	2.7564
30	0.6828	1.3104	1.6973	2.0423	2.4573	2.7500
31	0.6825	1.3095	1.6955	2.0395	2.4528	2.7440
32	0.6822	1.3086	1.6939	2.0369	2.4487	2.7385
33	0.6820	1.3077	1.6924	2.0345	2.4448	2.7333
34	0.6818	1.3070	1.6909	2.0322	2.4411	2.7284
35	0.6816	1.3062	1.6896	2.0301	2.4377	2.7238
36	0.6814	1.3055	1.6883	2.0281	2.4345	2.7195
37	0.6812	1.3049	1.6871	2.0262	2.4314	2.7154
38	0.6810	1.3042	1.6860	2.0244	2.4286	2.7116
39	0.6808	1.3036	1.6849	2.0227	2.4258	2.7079
40	0.6807	1.3031	1.6839	2.0211	2.4233	2.7045
41	0.6805	1.3025	1.6829	2.0195	2.4208	2.7012
42	0.6804	1.3020	1.6820	2.0181	2.4185	2.6981
43	0.6802	1.3016	1.6811	2.0167	2.4163	2.6951
44	0.6801	1.3011	1.6802	2.0154	2.4141	2.6923
45	0.6800	1.3007	1.6794	2.0141	2.4121	2.6896
46	0.6799	1.3002	1.6787	2.0129	2.4102	2.6870
47	0.6797	1.2998	1.6779	2.0117	2.4083	2.6846
48	0.6796	1.2994	1.6772	2.0106	2.4066	2.6822
49	0.6795	1.2991	1.6766	2.0096	2.4049	2.6800

Fuente: (Alvarez C. & Huayta C., 2019)

Tabla A3. 2. *t* Student (parte 2)

50	0.6794	1.2987	1.6759	2.0086	2.4033	2.6778
51	0.6793	1.2984	1.6753	2.0076	2.4017	2.6757
52	0.6792	1.2980	1.6747	2.0066	2.4002	2.6737
53	0.6791	1.2977	1.6741	2.0057	2.3988	2.6718
54	0.6791	1.2974	1.6736	2.0049	2.3974	2.6700
55	0.6790	1.2971	1.6730	2.0040	2.3961	2.6682
56	0.6789	1.2969	1.6725	2.0032	2.3948	2.6665
57	0.6788	1.2966	1.6720	2.0025	2.3936	2.6649
58	0.6787	1.2963	1.6716	2.0017	2.3924	2.6633
59	0.6787	1.2961	1.6711	2.0010	2.3912	2.6618
60	0.6786	1.2958	1.6706	2.0003	2.3901	2.6603
61	0.6785	1.2956	1.6702	1.9996	2.3890	2.6589
62	0.6785	1.2954	1.6698	1.9990	2.3880	2.6575
63	0.6784	1.2951	1.6694	1.9983	2.3870	2.6561
64	0.6783	1.2949	1.6690	1.9977	2.3860	2.6549
65	0.6783	1.2947	1.6686	1.9971	2.3851	2.6536
66	0.6782	1.2945	1.6683	1.9966	2.3842	2.6524
67	0.6782	1.2943	1.6679	1.9960	2.3833	2.6512
68	0.6781	1.2941	1.6676	1.9955	2.3824	2.6501
69	0.6781	1.2939	1.6672	1.9949	2.3816	2.6490
70	0.6780	1.2938	1.6669	1.9944	2.3808	2.6479
71	0.6780	1.2936	1.6666	1.9939	2.3800	2.6469
72	0.6779	1.2934	1.6663	1.9935	2.3793	2.6458
73	0.6779	1.2933	1.6660	1.9930	2.3785	2.6449
74	0.6778	1.2931	1.6657	1.9925	2.3778	2.6439
75	0.6778	1.2929	1.6654	1.9921	2.3771	2.6430
76	0.6777	1.2928	1.6652	1.9917	2.3764	2.6421
77	0.6777	1.2926	1.6649	1.9913	2.3758	2.6412
78	0.6776	1.2925	1.6646	1.9908	2.3751	2.6403
79	0.6776	1.2924	1.6644	1.9905	2.3745	2.6395
80	0.6776	1.2922	1.6641	1.9901	2.3739	2.6387
81	0.6775	1.2921	1.6639	1.9897	2.3733	2.6379
82	0.6775	1.2920	1.6636	1.9893	2.3727	2.6371
83	0.6775	1.2918	1.6634	1.9890	2.3721	2.6364
84	0.6774	1.2917	1.6632	1.9886	2.3716	2.6356
85	0.6774	1.2916	1.6630	1.9883	2.3710	2.6349
86	0.6774	1.2915	1.6628	1.9879	2.3705	2.6342
87	0.6773	1.2914	1.6626	1.9876	2.3700	2.6335
88	0.6773	1.2912	1.6624	1.9873	2.3695	2.6329
89	0.6773	1.2911	1.6622	1.9870	2.3690	2.6322
90	0.6772	1.2910	1.6620	1.9867	2.3685	2.6316
91	0.6772	1.2909	1.6618	1.9864	2.3680	2.6309
92	0.6772	1.2908	1.6616	1.9861	2.3676	2.6303
93	0.6771	1.2907	1.6614	1.9858	2.3671	2.6297
94	0.6771	1.2906	1.6612	1.9855	2.3667	2.6291
95	0.6771	1.2905	1.6611	1.9852	2.3662	2.6286
96	0.6771	1.2904	1.6609	1.9850	2.3658	2.6280
97	0.6770	1.2903	1.6607	1.9847	2.3654	2.6275
98	0.6770	1.2903	1.6606	1.9845	2.3650	2.6269
99	0.6770	1.2902	1.6604	1.9842	2.3646	2.6264
100	0.6770	1.2901	1.6602	1.9840	2.3642	2.6259
∞	0.6745	1.2816	1.6449	1.9600	2.3263	2.5758

Fuente: (Alvarez C. & Huayta C., 2019)

Anexo 3.2. Determinación del índice de rebote utilizando el esclerómetro (ASTM C805-02)

Objetivo

Este método tiene por objetivo determinar la uniformidad del hormigón en el sitio, delinear regiones en una estructura de una calidad menor o con el hormigón deteriorado, y estimar la resistencia del sitio.

Alcance

Este procedimiento cubre la determinación del índice de rebote del hormigón endurecido usando un esclerómetro.

Para una mezcla de hormigón dada, el índice de rebote es afectado por factores como contenido de humedad de la superficie de prueba, del método usado para obtener la superficie de prueba (la textura del material o tipo de acabado), de la distancia vertical desde el fondo de una colocación de hormigón, y de la profundidad de la carbonatación. Estos factores necesitan ser considerados para interpretar el índice de rebote.

Definiciones

Martillo de rebote: También conocido como “martillo Schmidt” o “martillo suizo”, es un dispositivo para medir las propiedades elásticas o la resistencia del hormigón.

Índice de rebote: Es el número indicado por el martillo de rebote, cuya relación con la resistencia del hormigón es específica para cada fabricante del aparato.

Importancia y aplicación del método

Este método de ensayo puede ser complementado con la aplicación del equipo de ultrasonido.

Diferentes martillos del mismo diseño nominal pueden dar un índice de rebote diferente desde 1 a 3 unidades. Por lo tanto, los ensayos deben realizarse con el mismo martillo con el fin de comparar los resultados. Este método de ensayo no es adecuado como

base para la aceptación o rechazo del hormigón. (Amaya Valencia & Diaz Acosta, 2011, pág. 301)

Equipo y materiales

- Martillo de rebote. Los martillos de rebote deberán ser revisados y verificados cada año y siempre que exista duda sobre su funcionamiento.
- Roca abrasiva. Consiste en carburo de silicio con textura de medio grano o material equivalente.
- Guantes: Para la protección de las manos durante el uso del equipo.

Condiciones generales

- La prueba no puede realizarse en hormigón congelado, ni sobre recubrimientos de las barras de refuerzo menores a 20 mm.
- Evitar la superficie húmeda en el hormigón

Preparación de la superficie de prueba

1. Elección de puntos de golpeo. Efectuar preferiblemente el control sobre paredes verticales. Las juntas, los huecos y zonas porosas deben ser evitadas. Se deberá además prestar particular atención a paredes con espesor mínimo de 10 cm. Y pilastras con lado menor de 12 cm. Que, a causa de su elasticidad podrían falsear la indicación del esclerómetro.
2. En el caso de mortero elaborado con hormigón decadente se revelarán valores decrecientes examinando del bajo al alto. Por esta razón será necesario repetir varias veces la prueba en varios puntos en modo de tener un valor medio representativo.
3. Preparación de la superficie a examinar
4. Quitar antes de la prueba el enlucido que recubre el hormigón. Las pequeñas irregularidades superficiales debidas a encofrados de madera pueden ser eliminadas por medio de la piedra abrasiva suministrada con el instrumento. Se debe tener presente que la superficie a examinar no está preparada hasta no haber eliminado con una máquina de devastar el cemento y llegar al hormigón. Incluso en el caso de

hormigones muy viejos y por lo tanto muy endurecidos, superficialmente se deberá limpiar la superficie en una profundidad de aproximadamente 10 mm. Correspondiente a una zona suficiente para efectuar de 5 a 10 golpes de esclerómetro.

5. Una vez preparada la superficie a examinar (al menos 10 cm²) se procede al golpear la superficie por lo menos 5 puntos. Se saca el promedio de al menos 5 o más lecturas eliminando aquellas que se alejen particularmente de las otras lecturas y, hay que remplazar por nuevas lecturas. Se aconseja repetir los golpes que se separan más de 5 unidades de las otras.

Procedimiento

1. Seleccione la superficie a ensayar.
2. Con la piedra abrasiva, pula el área de ensayo en un diámetro de al menos 150 mm (6 plg). Superficie encofrada lisas o superficies alisadas con llana no tienen que ser pulidas antes del ensayo.
3. Si la superficie contiene agua libre, remueva el agua antes del ensayo.
4. Coloque el martillo de rebote sobre la superficie antes de ensayar.
5. Sostenga el instrumento firmemente de modo que el émbolo sea perpendicular a la superficie a ensayar.
6. Empuje gradualmente el instrumento hacia la superficie de ensayo hasta que el martillo haga impacto.
7. Tras el impacto, mantenga la presión sobre el instrumento y, si es necesario, oprima el botón lateral del equipo para bloquear el émbolo en su posición retraída.
8. Lea el índice de rebote en la escala al número entero más cercano.
9. Registre el índice de rebote.
10. Repita los pasos del 4 al 9 hasta completar 10 lecturas en diferentes puntos dentro de la zona de ensayo. Cada punto deberá estar separado al menos 25 mm (1 plg) entre sí.
11. Repita el procedimiento anterior en cada zona de ensayo.

Cálculos

- Calcule el promedio (en adelante, $\bar{X}$) de las lecturas realizadas, tiene que ser igual o mayor a 5 lecturas.
- Deseche las lecturas que difieran del promedio en más de 5 unidades.
- Determine el promedio de las lecturas restantes.
- Si más del 20% del total de las lecturas difieren del promedio por 5 unidades, deseche todo el conjunto de lecturas y determine el número de rebote de nuevas ubicaciones dentro de la zona de ensayo.
- Calculamos el coeficiente de carbonatación de acuerdo con la ecuación (2.1)

En el presente trabajo de investigación adjunto en las siguientes páginas el **MANUAL DE INSTRUCCIONES DEL ESCLERÓMETRO**, del equipo que se utilizó para realizar los ensayos correspondientes de esta tesis.



CONTROLS

58-C0181/N

Esclerómetro de hormigones



MANUAL DE INSTRUCCIONES

MANUAL DE CONTROLS INSTRUCCIONES	Esclerómetro para hormigones	pag. 2
	Mod. 58-C0181/N	Rev. 0

ESCLEROMETRO C0181-C0181/N

MANUAL DE INSTRUCCIONES

1. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

En tiempos los maestros de obra y los adeptos a trabajos de edificación en general, solían controlar el estado del hormigón golpeando con un martillo la superficie. En base al sonido más o menos metálico y al rebote, alcanzaban a establecer aproximadamente (muy aproximadamente la verdad) la resistencia del hormigón. El esclerómetro es el perfeccionamiento de este antiguo sistema de valoración. Presionando la punta del esclerómetro contra la superficie a examinar se carga un muelle. Cuando la punta ha entrado totalmente en el esclerómetro, se desengancha automáticamente una masa que golpea la misma punta en la extremidad interna y a través de ésta la superficie del hormigón. Por reacción la punta retransmite a la masa el contragolpe o rebote que es tanto mayor cuanto más duro y compacto es el hormigón.

En el curso del rebote la masa arrastra un índice que queda bloqueado en el punto máximo de retorno indicando contemporáneamente un valor de referencia sobre la escala.

Este número transferido al diagrama proporciona un valor de la resistencia a compresión en función del ángulo de golpeo.

En este manual se proporcionan todas las indicaciones necesarias para un correcto uso, calibración y mantenimiento del esclerómetro.

II. UTILIZACION DEL ESCLEROMETRO

1.- Cuando el esclerómetro está en el estuche, la cabeza percutora (11) se encuentra casi completamente dentro del cuerpo. Para extraerla, presionar la cabeza percutora (11) contra cualquier superficie hasta desengancharla y sacarla totalmente.

2.- Preparar la superficie a examinar quitando (Si es necesario) con la piedra abrasiva (22) el revoque o el enlucido que recubren el hormigón. Apoyar después el percutor (11) sobre el hormigón en modo que de modo que sea lo más ortogonal posible a la superficie y presionar el esclerómetro en modo continuo y uniforme contra la superficie hasta la percusión del martillo interno (7). Durante el empuje no presionar absolutamente el pulsador (19) que sin embargo de ser presionado después de la percusión y cuando la punta del percutor (11) se encuentra todavía apoyada completamente contra la superficie.

3.- Después de la percusión, el martillo (7) rebota hacia atrás arrastrando consigo un índice de referencia (6) tanto más cuanto mayor es la resistencia del hormigón.

Presionando el pulsador (19) se bloquea este índice en el punto máximo alcanzado de manera de poder efectuar cómodamente la lectura sobre la escala graduada (26). El número leído sobre la escala graduada (26) es llevado al diagrama de la etiqueta adhesiva y se llega a la resistencia del hormigón como indican los ejemplos del capítulo III.

4.- Para efectuar otra prueba repetir la operación desde el punto 1.

III. CRITERIOS DE ELECCION DE LOS PUNTO DE GOLPEO Y PREPARACION DE LA SUPERFICIE

1.- Elección de puntos de golpeo. Efectuar preferiblemente el control sobre paredes verticales.

Las juntas, los huecos y zonas porosas deben ser evitadas. Se deberá además prestar particular atención a paredes con espesor mínimo de 10 cm. y pilastras con lado menor de 12 cm. que, a causa de su elasticidad podrían falsear la indicación del esclerómetro.

En el caso de mortero elaborado con hormigón decadente se revelarán valores decrecientes examinando del bajo al alto. Por esta razón será necesario repetir varias veces la prueba en varios puntos en modo de tener un valor medio representativo.

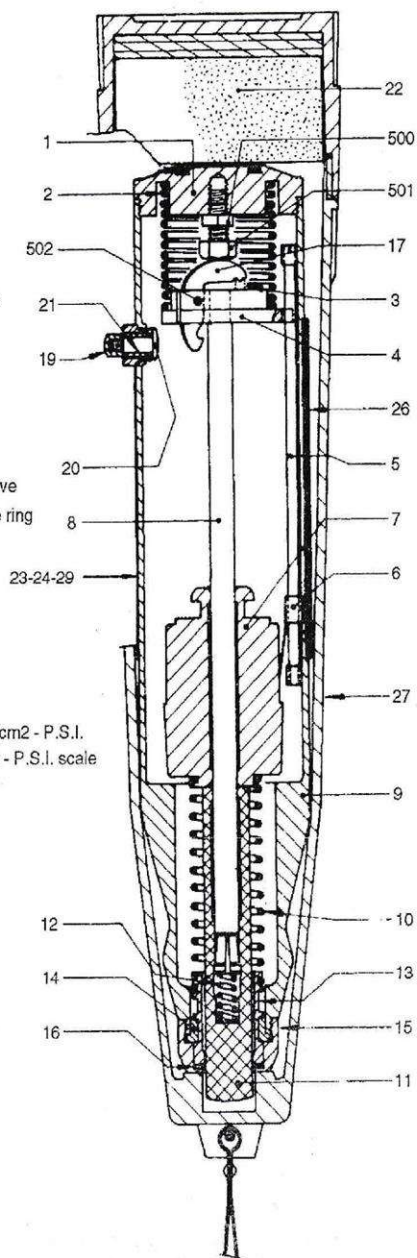
Sclerometro C 181 N

C 181 N Concrete hammer

Sezione longitudinale
Longitudinal section

Lista ricambi / Spares list

- 1 - Tappo - Cap
- 2 - Molla di pressione - Pressure spring
- 3 - Molla per arpione - Pawl spring
- 4 - Flangia di guida - Guide flange
- 5 - Alberino di guida indice - Pointer guide rod
- 6 - Indice di lettura rimbalzo - Rebound reading pointer
- 7 - Martello - Hammer
- 8 - Albero di guida - Guide rod
- 9 - Corpo sclerometro - Concrete hammer housing
- 10 - Molla di percussione - Percussion spring
- 11 - Percussore - Plunger head
- 12 - Molla ammortizzatore - Shock-absorber spring
- 13 - Manicotto ancoraggio molla - Spring fastening sleeve
- 14 - Anello di pressione (in 2 pezzi) - Two-part pressure ring
- 15 - Ghiera filettata - Threaded ring nut
- 16 - Anello antipolvere - Dust sealing ring
- 17 - Arpione - Hook
- 19 - Pulsante - Push-button
- 20 - Perno per pulsante - Push-button pin
- 21 - Molla per pulsante - Push-button spring
- 22 - Abrasivo - Carborundum stone
- 23 - 24 - 29 - Targa autoadesiva con scala in MPa - kg/cm² - P.S.I.
- 23 - 24 - 29 - Self adhesive sticker with MPa - kg/sq.cm - P.S.I. scale
- 26 - Piastrina graduata - Graduated plate
- 27 - Custodia completa - Complete case
- 500 - Controdado - Lock nut
- 501 - Vite di regolazione - Regulation screw
- 502 - Spina per arpione - Pin for hook



2.- Preparación de la superficie a examinar.

Quitar antes de la prueba el enlucido que recubre el hormigón. La pequeñas irregularidades superficiales debidas a encofrados de madera y pueden ser eliminadas por medio de la piedra abrasiva (22) suministrada con el instrumento.

Se debe tener presente que la superficie a examinar no esta preparada hasta no haber eliminado con una maquina de desbastar el cemento y llegar al hormigón.

Incluso en el caso de hormigones muy viejos y por tanto muy endurecidos, superficialmente se deberá limpiar la superficie en una profundidad de aprox. 10 mm correspondiente a una zona suficiente para efectuar de 5 a 10 golpes de esclerómetro. Se aconseja para la limpieza una maquina de aprox. 750 W con muela de 120 mm. de diam. aprox. y velocidad de 6000 vueltas por minuto.

3.- Un vez preparada la superficie a examinar (al menos 10 cm²) se procede al golpeo sobre al menos 5 puntos de la superficie. Se establece la media 'R' de las 5 o más lectoras eliminando aquellas que se alejan particularmente de las otras lecturas y reemplazándolas por nuevas lecturas. Se aconseja repetir los golpes que se separan más de 5 unidades de las otras.

4.- Sobre las tablas I y II se podrán leer los valores Wm' de la resistencia media probable y los valores mínimos de resistencia a la compresión "W mm" en las varias unidades de medida.

Se recomienda aproximar la media "R" a la media unidad de la escala del esclerómetro redondeando después a las decenas los valores de resistencia "W mm". Los valores de resistencia a la compresión sobre cubos vienen igualmente recabados si bien más aproximadamente, sobre los diagramas Fig.3a-3c situados en el esclerómetro.

IV. LECTURA DEL DIAGRAMA.

Para llegar a la resistencia del hormigón se debe llevar sobre a la base del diagrama (abcisas) el numero leído sobre la escala graduada (26), subir después en vertical hasta encontrarse una de las curvas (ver explicación seguidamente) que atraviesan diagonalmente el diagrama. Del punto de encuentro (intersección) con una de las curvas se parte en horizontal hacia la izquierda hasta encontrar la escala vertical (ordenadas) donde están las resistencias correspondientes en kgf/cm² o MPa o bien psi según la escala utilizada.

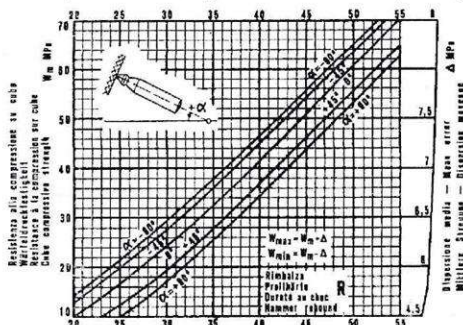


Fig. 3a

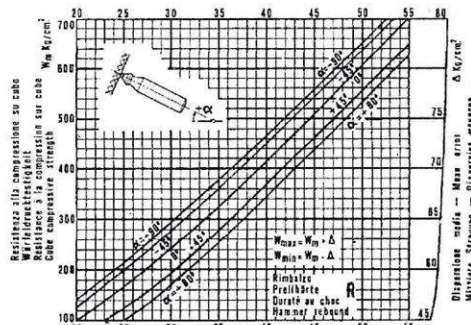


Fig. 3b

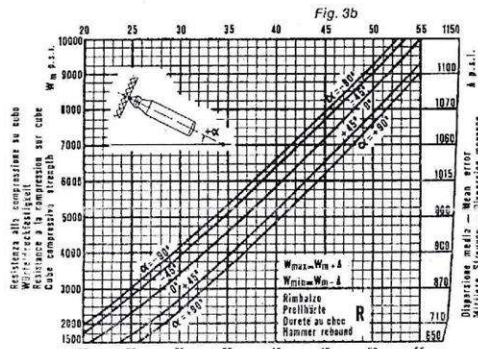


Fig. 3c

¿QUE CURVA ESCOJER?

Visto que el instrumento puede ser utilizado tanto en superficies verticales que sobre pavimentos, techos y superficies inclinadas, resulta bastante obvio que el rebote del martillo sea afectado por la gravedad por lo que el rebote relativo a una prueba realizada en un techo es con la punta del percusor hacia arriba, a paridad de resistencia del hormigón, será superior a la de la prueba efectuada por ejemplo sobre un pavimento.

Para obviar estas diferencias se ha llegado a distintas curvas cada una de las cuales corresponde a las diversas posiciones o ángulos de golpeo como ilustran los ejemplos posteriores:

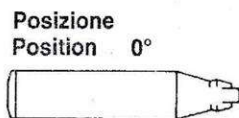
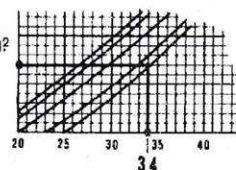
Resulta inútil y además fácilmente intuible reportar los ejemplos relativos a las posiciones inclinadas + 45 y -45°

NOTA: las curvas se refieren a hormigones confeccionados con cementos Portland, aridos y arenas de buena calidad. Edad del hormigón de 14 a 56 días. Superficies lisas y secas.

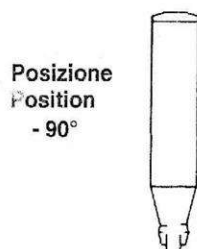
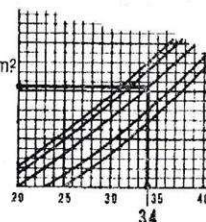
Los límites de la dispersión Wmax y Wmin. son definidas de modo de comprender el 80% de todos los resultados de las pruebas. Ver el capítulo V referente a los "Límites de validez de las curvas de calibración".



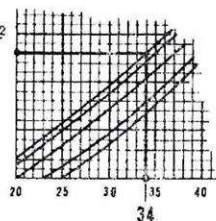
Resistenza
Strength = { 240 kgf/cm²
23,52 MPa
3412,8 p.s.i.



Resistenza
Strength = { 307 kgf/cm²
30 MPa
4365,5 p.s.i.



Resistenza
Strength = { 360 kgf/cm²
35,3 MPa
5119,2 p.s.i.



V. LÍMITES DE VALIDEZ DE LAS CURVAS DE CALIBRACION

Las curvas de calibración del esclerómetro (fig. 3a,b,c) han sido trazadas en base a mediciones efectuadas sobre un gran número de probetas cúbicas antes controladas con el esclerómetro y después probadas a compresión sobre una máquina de prueba. Todas las probetas cúbicas empleadas han sido confeccionadas con un hormigón preparado con aridos y cemento Portland de buena calidad. Antes de la prueba a compresión cada probeta ha sido bloqueado entre los dos platos de la máquina de prueba y por tanto controlado con 10 golpes de esclerómetro sobre una cara lateral.

MANUAL DE  INSTRUCCIONES	Esclerómetro para hormigones	pag. 6
	Mod. 58-C0181/N	Rev. 0

De las experiencias realizadas resulta que la curva de calibración no esta en ningún modo condicionada de la dosificación del cemento, de la composición granulométrica, del diametro de los áridos y de la relación agua/cemento.

Se han notado sin embargo diferencias en los siguientes casos:

- 1.- Productos en piedra artificial de pequeñas dimensiones o contruidos con hormigones de composiciones inusuales.
Es aconsejable en estos casos efectuar una serie preliminar de pruebas para determinar la relación entre los valores de rebote y la calidad del material.
- 2.- Hormigones compuestos de agregados poco resistentes, ligeros o fisurables.
En este caso la resistencia efectiva del hormigón es más baja de la correspondiente a la curva de calibración.
En caso de dudas se deberá determinar experimentalmente la correlación entre los valores de rebote y la resistencia real.
- 3.- Hormigones confeccionados con piedras de superficie demasiado lisa inutilizables para hormigones a alta resistencia. Dado que en este caso el valor de rebote se refiere únicamente a la malta es difícil establecer la resistencia del hormigón.
- 4.- Se verifica el mismo fenómeno del punto 3 utilizando áridos sucios o arcillosos.
- 5.- Hormigones pobres de arena con baja relación agua/cemento, insuficientemente trabajados con la consiguiente formación de huecos invisibles exteriormente pero ciertamente con influencia negativa sobre los valores de rebote.
- 6.- Hormigones desencofrados recientemente o bien estacionados en agua. Antes de efectuar pruebas esclerométricas es deseable secar la superficie a controlar.
- 7.- Hormigones muy viejos y secos. Su superficie está siempre exageradamente dura y por tanto el esclerómetro da un valor superior a la realidad. En este caso, sería necesario eliminar con la muela la parte superficial en una profundidad de aprox. 10 mm. y efectuar las pruebas esclerométricas prestando atención a no golpear los áridos más gruesos.

Tabla 1

Resistencia a compresión de probetas cúbicas en función del rebote R (R = número leído sobre la escala 26 del esclerómetro).

Notas:

1) Todos los valores de la tabla han sido obtenidos de medidas efectuadas sobre un gran número de probetas rotas después a compresión en una máquina de ensayo.

2) Los valores indicados en la parte de la tabla referente a los 7 días se refieren a la probable resistencia a 28 días en base a un valor de rebote "R" obtenido con pruebas sobre hormigones a 7 días.

R = Valor de rebote leído sobre el esclerómetro.

Wm = Resistencia media.

Wmin= Resistencia mínima.

3) La resistencia de las probetas cilíndricas es a paridad de valor "R" igual a 0,85 de la relativa de las probetas cúbicas.

MANUAL DE  CONTROLS INSTRUCCIONES	Esclerómetro para hormigones		pag. 7
	Mod. 58-C0181/N		Rev. 0

14-56 días / 14-56 days

7 días / 7 days

R	14-56 days						7 days					
	W _m			W _{min}			W _m			W _{min}		
	Kgt/cm ²	MPa	psi	Kgt/cm ²	MPa	psi	Kgt/cm ²	MPa	psi	Kgt/cm ²	MPa	psi
20	101	9.9	1440	54	5.3	770	121	11.9	1720	74	7.3	1050
21	113	11.1	1610	64	6.3	910	132	12.9	1880	83	8.1	1180
22	126	12.4	1790	75	7.4	1070	145	14.2	2060	94	9.2	1340
23	139	13.6	1980	86	8.4	1220	157	15.4	2230	104	10.2	1480
24	152	14.9	2160	98	9.6	1390	169	16.6	2400	115	11.3	1640
25	166	16.3	2360	110	10.8	1560	183	18.0	2600	127	12.5	1810
26	180	17.7	2560	122	12.0	1740	196	19.2	2790	138	13.5	1960
27	195	19.1	2770	135	13.2	1920	210	20.6	2990	150	14.7	2130
28	210	20.6	2990	149	14.6	2120	225	22.1	3200	164	16.1	2330
29	225	22.1	3200	163	16.0	2320	239	23.4	3400	177	17.4	2520
30	241	23.6	3430	178	17.5	2530	254	24.9	3610	191	18.7	2720
31	257	25.2	3660	193	18.9	2750	269	26.4	3830	205	20.1	2920
32	274	26.9	3900	209	20.5	2970	285	28.0	4050	220	21.6	3130
33	291	28.5	4140	225	22.1	3200	300	29.4	4270	234	23.0	3330
34	307	30.1	4370	240	23.5	3410	315	30.9	4480	248	24.3	3530
35	324	31.8	4610	256	25.1	3640	331	32.5	4710	263	25.8	3740
36	342	33.5	4860	273	26.8	3880	348	34.1	4950	279	27.4	3970
37	360	35.3	5120	290	28.4	4120	365	35.8	5190	295	28.9	4200
38	377	37.0	5360	307	30.1	4370	381	37.4	5420	311	30.5	4420
39	395	38.7	5620	324	31.8	4610	398	39.0	5660	327	32.1	4650
40	413	40.5	5870	341	33.4	4850	416	40.8	5920	344	33.7	4890
41	432	42.4	6150	359	35.2	5110	434	42.6	6170	361	35.4	5130
42	450	44.1	6400	377	37.0	5360	451	44.2	6410	378	37.1	5380
43	469	46.0	6670	395	38.7	5520	470	46.1	6690	396	38.8	5630
44	488	47.9	6940	414	40.6	5890	488	47.9	6940	414	40.6	5890
45	507	49.7	7210	432	42.4	6140	507	49.7	7210	432	42.4	6140
46	526	51.6	7480	451	44.2	6410	526	51.6	7480	451	44.2	6410
47	546	53.5	7770	470	46.1	6690	546	53.5	7770	470	46.1	6690
48	565	55.4	8040	489	48.0	6960	565	55.4	8040	489	48.0	6960
49	584	57.3	8310	508	49.8	7230	584	57.3	8310	508	49.8	7230
50	604	59.2	8590	527	51.7	7500	604	59.2	8590	527	51.7	7500
51	623	61.1	8860	546	53.5	7770	623	61.1	8860	546	53.5	7770
52	643	63.1	9150	565	55.4	8040	643	63.1	9150	565	55.4	8040
53	663	65.0	9430	584	57.3	8310	663	65.0	9430	584	57.3	8310
54	683	67.0	9710	603	59.1	8580	683	67.0	9710	603	59.1	8580
55	703	68.9	10000	622	61.0	8850	703	68.9	10000	622	61.0	8850

MANUAL DE  INSTRUCCIONES	Esclerómetro para hormigones	pag. 8
	Mod. 58-C0181/N	Rev. 0

14-56 dias / 14-56 days

7 dias/ 7 days

R	14-56 day						7 dias					
	Z _m			Z _{min}			Z _m			Z _{min}		
	Kgt/cm ²	MPa	psi	Kgt/cm ²	MPa	psi	Kgt/cm ²	MPa	psi	Kgt/cm ²	MPa	psi
20	86	8.4	1220	46	4.5	650	103	10.1	1470	63	6.2	900
21	96	9.4	1370	54	5.3	770	112	11.0	1590	71	7.0	1010
22	107	10.5	1520	64	6.3	910	123	12.1	1750	80	7.9	1140
23	118	11.6	1680	73	7.2	1040	133	13.0	1890	88	8.6	1250
24	129	12.7	1830	83	8.1	1180	144	14.1	2050	98	9.6	1390
25	141	13.8	2010	94	9.2	1340	156	15.3	2220	108	10.6	1540
26	153	15.0	2180	104	10.2	1480	167	16.4	2380	117	11.5	1660
27	166	16.3	2360	115	11.3	1640	178	17.5	2530	128	12.6	1820
28	179	17.6	2550	127	12.5	1810	191	18.7	2720	139	13.6	1980
29	191	18.7	2720	139	13.6	1980	203	19.9	2890	150	14.7	2130
30	205	20.1	2920	151	14.8	2150	216	21.2	3070	162	15.9	2300
31	218	21.4	3100	164	16.1	2330	229	22.5	3260	174	17.1	2470
32	233	22.9	3310	178	17.5	2530	242	23.7	3440	187	18.3	2660
33	247	24.2	3510	191	18.7	2720	255	25.0	3630	199	19.5	2830
34	261	25.6	3710	204	20.0	2900	268	26.3	3810	211	20.7	3000
35	275	27.0	3910	218	21.4	3100	281	27.6	4000	224	22.0	3190
36	291	28.5	4140	232	22.8	3300	296	29.0	4210	237	23.2	3370
37	306	30.0	4350	247	24.2	3510	310	30.4	4410	251	24.6	3570
38	320	31.4	4550	261	25.6	3710	324	31.8	4610	264	25.9	3750
39	336	33.0	4780	275	27.0	3910	338	33.2	4810	278	27.3	3950
40	351	34.4	4990	290	28.4	4120	354	34.7	5040	292	28.6	4150
41	367	36.0	5220	305	29.9	4340	369	36.2	5250	307	30.1	4370
42	383	37.6	5450	320	31.4	4550	383	37.6	5450	321	31.5	4570
43	399	39.1	5680	336	33.0	4780	400	39.2	5690	337	33.1	4790
44	415	40.7	5900	352	34.5	5010	415	40.7	5900	352	34.5	5010
45	431	42.3	6130	367	36.0	5220	431	42.3	6130	367	36.0	5220
46	447	43.8	6360	383	37.6	5450	447	43.8	6360	383	37.6	5450
47	464	45.5	6600	400	39.2	5690	464	45.5	6600	400	39.2	5690
48	480	47.1	6830	416	40.8	5920	480	47.1	6830	416	40.8	5920
49	496	48.6	7050	432	42.4	6140	496	48.6	7050	432	42.4	6140
50	513	50.3	7300	448	43.9	6370	513	50.3	7300	448	43.9	6370
51	530	52.0	7540	464	45.5	6600	530	52.0	7540	464	45.5	6600
52	547	53.6	7780	480	47.1	6830	547	53.6	7780	480	47.1	6830
53	564	55.3	8020	496	48.6	7050	564	55.3	8020	496	48.6	7050
54	581	57.0	8260	513	50.3	7300	581	57.0	8260	513	50.3	7300
55	598	58.6	8510	529	51.0	7520	598	58.6	8510	529	51.9	7520

	Esclerómetro para hormigones	pag. 9
	Mod. 58-C0181/N	Rev. 0

VI. PRUEBAS DE COMPARACION SOBRE PROBETAS CUBICAS.

Esta operación, cuando sea posible, permite comparar entre ellas:

- Los resultados obtenidos examinando la probeta cúbica con el esclerómetro.
- Los resultados obtenidos llevando a rotura la probeta cúbica.
- Los resultados obtenidos examinando el hormigón con el esclerómetro.

Naturalmente probeta u hormigón manufacturado deben provenir de la misma lechada y ser examinados a los mismos días.

El control esclerométrico de la probeta cúbica se efectúa bloqueando la misma entre los platos de una máquina de compresión prestando atención de no superar una carga de 40 KN aprox. (4000 kgf). Los golpes deben ser bien distribuidos sobre contrapuestas de la probeta.

En condiciones normales los tres corresponder aproximadamente.

Tabla II

Resistencia a la compresión de las probetas cilíndricas en función del rebote R (R = número leído en la escala "26 del esclerómetro).

Nota: 1) Todos los valores de la tabla han sido obtenidos de medidas efectuadas sobre un gran número de probetas rotas después a compresión en una máquina de ensayo.

2) Los valores indicados en la parte de la tabla referente a los 7 días se refieren a la probable resistencia a 28 días en base a un valor de rebote "R" obtenido con pruebas sobre hormigones a 7 días.

R = Valor de rebote leído sobre el esclerómetro.

Wm = Resistencia media.

Wmin = Resistencia mínima

MANTENIMIENTO DEL ESCLEROMETRO

El instrumento no necesita ningún cuidado especial. Necesita no obstante prestar atención a evitar incrustaciones en el percutor (11) para facilitar su deslizamiento.

Tras un uso prolongado (aprox. 2000 golpes) es necesario una limpieza del instrumento procediendo de la siguiente manera:

- 1.- Ejercitar una ligera presión sobre el percutor (11) liberándolo del punto de bloqueo superior, dejando deslizar el mismo hasta el fondo de la carrera inferior. Desenroscar la tuerca (15) y quitar los dos semianillos (14). Desenroscar la tapa (1) y quitar el muelle (2) y toda la parte móvil del instrumento (ATENCIÓN: para sacar esta última es necesario que el martillo (7) este suelto del enganche (17)).
- 2.- Ejercitar pequeños golpes con el martillo (7) sobre el percutor (11) separando los mismos del árbol de guía (8) y del muelle (12). Soltar el muelle (10) sólo a la extremidad del martillo (7) dejando sin embargo enganchada la otra extremidad con el manguito (13).
- 3.- Las partes móviles, árbol de guía (8) y las caras de percusión del martillo (7) y del percutor (11) deben ser cuidadosamente limpias. Cepillar enérgicamente con cepillo metálico en el agujero del percutor (11).
- 4.- Para volver a montar el aparato proceder en sentido inverso recordando montar el muelle (12) y la arandela de fieltro (16). El árbol de guía (8) se debe lubricar (ligemente) con aceite de vaselina o similar.
- 5.- El índice de lectura (6) y el árbol de guía (5) no deben ser engrasados por cuanto se modifica la característica de deslizamiento con la consiguiente desregulación del instrumento.

Grandezza	Simbolo	Nome	Corrispondenza
forza	N	Newton	1 kN = 1000 N = 102 kgf
forza	kN	Kilonewton	1 kN = 1000 N = 102 kgf
tensione (metalli)	MPa	Megapascal	1 MPa = 1 N/mm ² = 0,102 kgf/mm ²
compressione (calcestruzzi)	MPa	Megapascal	1 MPa = 100 N/cm ² = 10,2 kgf/cm ² 1 kgf/cm ² = 0,098 MPa

Size	Symbol	Name	Corresponding measurements
Strength	N	Newton	1 kN = 1000 N = 102 kgf (*)
Strength	kN	Kilonewton	1 kN = 1000 N = 102 kgf
Tensile strength (metals)	MPa	Megapascal	1 MPa = 1 N/sq.mm = 0.102 kgf/sq.mm
Compression (concrete)	MPa	Megapascal	1 MPa = 100 N/sq.cm = 10.2 kgf/sq.cm 1 kgf/sq.cm = 0.098 MPa



Sede / Head office
CONTROLS S.r.l.
Via Aosta, 6
I-20063 Cernusco s/N. (MI)
Tel. 0292184.1
Facsimile 0292103333
E-Mail: controls@controls.it
Internet: www.controls.it

France
Controls S.à.r.l.
Zone Artisanale
68130 Walheim, FRANCE
tel. +33-03 89 402655
facsimile +33-03 89 402645
E-Mail: Controls@wanadoo.fr

Mexico
Equipos de Ensayo Controls S.A. de c.v.
Calle Patricio Sanz n° 1738
Colonia del Valle-Mexico D.F.
Tel. +52-5 5246927
Facsimile +52-5 5248827
E-Mail: controlsmexico@mexis.com

Spain
Equipos de Ensayo Controls S.A.
Poligono industrial arboledas
C/Sabina, Nave 5, Manzana D
45200 - ILLESCAS (TOLEDO), ESPAÑA
Teléfonos: +34-902 180843
Fax: +34-902 180846
E-Mail: controls@eecontrols.es

United Kingdom
Controls Testing Equipment Ltd
Controls House
Icknield Way
Tring, Hertfordshire HP23 4JX - U.K.
Tel. +44-1442 828311
Facsimile +44-1442 828466
E-Mail: sales@controlstesting.co.uk

Conocido anteriormente el procedimiento de cálculo, presentamos en las siguientes tablas la determinación del índice de rebote del esclerómetro en las probetas de hormigón de este trabajo de investigación y el desarrollo del análisis de la variación del índice de rebote del esclerómetro en posición horizontal (0°) y vertical (-90°), como se aprecia en la Tabla A3. 12.

Para una mejor interpretación de las siguientes tablas, revisar la Tabla A3. 3.

Tabla A3. 3. Significado de la unidad o símbolo (esclerómetro)

(1,2,3 ... 12)CS	Probeta número 1 hasta la probeta número 12 en la Cara Superior
(1,2,3 ... 12)CI	Probeta número 1 hasta la probeta número 12 en la Cara Inferior
σ	Desviación estándar del número total de datos de cada probeta de hormigón
$\bar{X}$	Promedio del número total de datos de cada probeta de hormigón
ε_a 95%	Error absoluto con un nivel de confianza del 95 %

Fuente: Propi

Tabla A3. 4. Determinación del índice de rebote (parte 1)

Datos		Esclerómetro (ASTM C 805-02) con un ángulo de aplicación de ~90°																																				
N°		Lectura del esclerómetro																σ	$\bar{X}$	ε_a 95%	Validación de datos																$\bar{X}$	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
1CI	Edad del H°: 3 Días	Resistencia: 21 MPa	23	22	21	22	22	22	22	25	21	23	22	25	21	21	25	21	1.5	22.38	0.78	23	22	21	22	22	22	25	21	23	22	25	21	21	25	21	22.38	
2CI			24	24	22	25	26	22	21	20	24	24	22	22	24	24	25	21	1.7	23.13	0.91	24	24	22	25	26	22	21	20	24	24	22	24	25	21	24	23.13	
3CI			21	23	23	24	24	24	24	24	22	20	25	21	22	24	24	23	1.4	23.00	0.75	21	23	23	24	24	24	24	22	20	25	21	22	24	24	23	23.00	
4CI			25	23	25	23	23	23	24	23	20	23	24	21	22	20	22	22	1.5	22.69	0.80	25	23	25	23	23	24	23	20	23	24	21	22	20	22	22	22.69	
5CI			21	21	20	21	24	20	19	23	24	21	24	23	21	22	20	23	1.6	21.69	0.86	21	21	20	21	24	20	19	23	24	21	24	23	21	22	20	23	21.69
6CI			24	20	20	20	20	24	24	24	20	20	23	21	23	24	23	21	1.8	21.94	0.96	24	20	20	20	20	24	24	20	20	23	21	23	24	23	21	21.94	
7CI			20	22	22	20	21	23	21	20	24	25	24	21	26	20	21	20	2	21.88	1.05	20	22	22	20	21	23	21	20	24	25	24	21	26	20	21	20	21.88
8CI			24	22	22	23	25	21	20	23	21	23	23	21	24	20	24	25	1.6	22.56	0.87	24	22	22	23	25	21	20	23	21	23	23	21	24	20	24	25	22.56
9CI			25	22	23	22	21	21	21	22	20	20	24	21	25	23	22	20	1.6	22.00	0.87	25	22	23	22	21	21	22	20	20	24	21	25	23	22	20	22	22.00
10CI			21	21	25	25	22	23	22	23	20	22	22	24	21	25	24	21	1.5	22.63	0.82	21	21	25	25	22	23	22	23	21	22	22	24	21	25	24	21	22.63
11CI			22	26	21	25	21	26	21	21	24	23	25	21	21	22	23	21	1.9	22.69	1.02	22	26	21	25	21	26	21	21	24	23	25	21	21	22	23	21	22.69
12CI			22	25	20	21	20	25	21	24	22	22	24	21	21	23	24	21	1.7	22.25	0.90	22	25	20	21	20	25	21	24	22	22	24	21	21	23	24	21	22.25
1CI	Edad del H°: 5 Días	Resistencia: 21 MPa	22	26	21	25	21	26	21	21	24	23	25	21	21	22	23	21	1.9	22.69	1.02	22	26	21	25	21	26	21	21	24	23	25	21	21	22	23	21	22.69
2CI			24	27	22	23	22	27	23	26	24	24	26	23	23	25	26	23	1.7	24.25	0.90	24																

Fuente: Propia

Tabla A3. 5. Determinación del índice de rebote (parte 2)

Datos		Esclerómetro (ASTM C 805-02) con un ángulo de aplicación de $\sim 90^\circ$																																					
N°		Lectura del esclerómetro																σ	$\bar{X}$	ε_a 95%	Validación de datos																$\bar{X}$		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16			
1CS	Edad del H°: 14 Días	Resistencia: 21 MPa	26	26	24	26	25	25	24	33	29	28	29	29	26	31	25	27	2.6	27.06	1.37	26	26	24	26	25	25	24	33	29	28	29	26	31	25	27	27.06		
2CS			25	24	30	20	32	30	23	32	26	30	34	28	28	36	30	26	4.2	28.38	2.25	25	24	30		32	30	23	32	26	30	34	28	28	30	26	28.43		
3CS			29	32	28	30	36	28	28	34	30	30	31	31	24	22	27	38	4	29.88	2.15	29	32	28	30		28	28	34	30	30	31	31	24		27	29.38		
4CS			23	34	30	24	31	31	29	24	24	27	31	26	32	28	30	28	3.3	28.25	1.77	23	34	30	24	31	31	29	24	24	27	31	26	32	28	30	28	28.25	
5CS			26	34	34	36	31	24	32	24	27	26	26	26	26	24	3.9	28.13	2.10	26	34	34		31	31	24	32	24	27	26	26	26	26	28	26	24	27.60		
6CS			24	33	30	26	34	32	28	30	36	34	33	27	22	27	26	32	4	29.63	2.16	24	33	30	26	34	32	28	30		34	33	27		27	26	32	29.71	
7CS			34	34	30	26	26	22	28	30	26	34	33	27	24	36	26	32	4.2	29.25	2.24	34	34	30	26	26		28	30	26	34	33	27	24		26	32	29.29	
8CS			24	29	32	27	30	34	30	32	30	25	28	24	24	25	24	36	3.9	28.38	2.07	24	29	32	27	30	34	30	32	30	25	28	24	24	25	24		27.87	
9CS			24	32	29	25	28	32	30	31	29	22	28	25	22	28	24	29	3.3	27.38	1.76	24	32	29	25	28	32	30	31	29	22	28	25	22	28	29		27.38	
10CS			25	25	26	25	25	23	21	28	30	24	33	28	28	32	32	36	4.1	27.56	2.18	25	25	26	25	25	23		28	30	24	33	28	28	32	32		27.43	
11CS			29	31	27	21	28	31	19	33	29	29	27	27	27	33	29	25	29	3.8	27.94	2.02	29	31	27		28	31		33	29	29	27	27	33	29	25	29	29.07
12CS			22	28	24	30	28	32	33	26	32	28	33	25	26	35	26	33	3.9	28.81	2.05		28	24	30	28	32	33	26	32	28	33	25	26		26	33	28.86	
1CS	Edad del H°: 21 Días	Resistencia: 21 MPa	29	28	30	32	25	20	20	31	28	32	28	32	26	29	30	28	3.7	28.00	1.98	29	28	30	32	25		31	28	32	28	32	26	29	30	28	29.14		
2CS			29	28	29	31	31	28	28	28	26	28	29	31	26	28	30	30	1.6	28.75	0.84	29	28	29	31	31													

Fuente: Propia

Tabla A3. 6. Determinación del índice de rebote (parte 3)

Datos		Esclerómetro (ASTM C 805-02) con un ángulo de aplicación de ~90°																																				
N°		Lectura del esclerómetro																σ	$\bar{X}$	ε_a 95%	Validación de datos																$\bar{X}$	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
1CI	Edad del H°: 7 Días	Resistencia: 25 MPa	32	34	27	28	25	30	24	26	28	24	28	20	26	26	32	3.5	27.38	1.86	32	-	27	28	28	25	30	24	26	28	24	28	-	26	26	32	27.43	
2CI			27	23	25	31	23	23	25	21	21	26	28	20	30	27	27	33	25	3.6	26.19	1.90	27	23	25	31	23	23	29	25	-	29	30	27	27	-	25	26.46
3CI			28	24	24	25	25	30	29	21	32	24	29	26	26	34	31	19	4	26.69	2.15	28	24	24	25	25	30	29	-	-	24	29	26	26	-	31	-	26.75
4CI			28	28	30	25	31	26	37	24	33	28	28	27	30	28	29	24	3.3	28.50	1.77	28	28	30	25	31	26	-	24	33	28	28	27	30	28	29	24	27.93
5CI			24	30	26	26	26	28	25	30	24	27	30	30	27	27	26	27	2	27.06	1.09	24	30	26	26	26	28	25	30	24	27	30	30	27	27	26	27	27.06
6CI			25	31	29	28	29	30	26	29	27	31	33	26	26	28	28	29	2.2	28.44	1.15	25	31	29	28	29	30	26	29	27	31	33	26	26	28	28	29	28.44
7CI			29	32	27	30	34	30	29	31	28	37	32	29	35	26	28	27	3.1	30.25	1.64	29	32	27	30	34	30	29	31	28	-	32	29	35	26	28	27	29.80
8CI			31	28	23	27	31	29	27	29	35	29	34	34	36	29	35	35	3.8	30.75	2.00	31	28	-	27	31	29	27	29	35	29	34	34	-	29	35	35	30.9
9CI			29	37	29	26	22	26	35	35	27	27	29	32	29	28	34	34	4	29.94	2.20	29	-	29	26	-	26	-	-	27	27	29	32	29	28	34	34	29.1
10CI			34	35	32	28	34	34	27	27	31	25	25	27	25	34	26	27	3.8	29.44	2.04	34	-	32	28	34	34	27	27	31	25	25	27	25	34	26	27	29.07
11CI			33	30	29	32	33	34	29	35	29	29	29	31	27	29	29	33	2.2	30.38	1.17	33	30	29	32	33	29	29	35	29	29	29	31	27	29	29	33	30.38
12CI			26	32	28	25	25	26	28	26	24	31	26	26	25	22	27	26	2.4	26.44	1.30	26	-	28	25	25	26	28	26	24	31	26	26	25	22	27	26	26.07
1CS	Edad del H°: 10 Días	Resistencia: 25 MPa	29	36	31	36	28	32	30	32	28	30	32	31	30	32	29	30	2.3	31.19	0.86	29	36	31	36	28	32	30	32	28	30	32	31	30	32	29	30	31.19
1CI			36	32	30	30	35	31	29	29	31	33	33	30	31	29	29	2.3	31.19	0.86	36	32	30	3														

Tabla A3. 7. Determinación del índice de rebote (parte 4)

Datos		Esclerómetro (ASTM C 805-02) con un ángulo de aplicación de -90°																																					
N°		Lectura del esclerómetro																σ	$\bar{X}$	ε_a 95%	Validación de datos																$\bar{X}$		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16			
1CS	Edad del H°: 28 Días	Resistencia: 25 MPa	37	36	30	35	32	38	32	34	36	38	36	34	36	38	28	32	3	34.50	1.59	37	37	36	30	35	32	38	32	34	36	38	32	32	34.93				
2CS			29	29	28	34	39	32	30	38	32	36	42	36	38	38	28	32	4.4	33.81	2.36	29	29	28	34	39	32	30	38	32	36	36	36	38	28	32	33.27		
3CS			29	29	30	34	32	32	34	42	38	38	34	33	40	34	30	29	4	33.63	2.16	29	29	30	34	32	32	34	38	38	34	33	34	30	29	32.57			
4CS			35	32	33	30	27	35	28	27	31	31	29	32	32	36	34	34	32	2.8	31.69	1.52	35	32	33	30	27	35	28	27	31	29	32	32	36	34	34	32	31.69
5CS			30	32	30	38	44	40	38	44	38	34	34	36	35	38	30	28	4.9	35.56	2.59	30	32	30	38	40	38	38	34	34	36	35	38	30	32	34.85			
6CS			30	36	36	34	38	34	34	40	42	34	38	36	40	40	32	32	3.4	36.00	1.82	-	36	36	34	38	34	34	40	34	34	38	40	40	32	36.00			
7CS			31	36	28	38	33	36	42	36	35	38	38	38	33	38	32	34	3.4	35.38	1.83	31	36	38	33	36	36	35	38	38	38	33	38	32	34	35.43			
8CS			28	27	32	30	30	32	32	33	36	32	36	36	34	34	38	32	3	32.63	1.60	28	27	32	30	30	32	32	33	36	32	36	36	34	34	38	32	32.63	
9CS			31	32	30	34	34	40	38	38	38	36	38	38	33	30	32	33	3.3	34.69	1.76	31	32	30	34	34	40	38	38	38	36	38	38	33	30	32	33	34.69	
10CS			32	30	31	36	42	38	40	34	36	38	41	37	36	34	30	30	4	35.31	2.11	32	30	31	36	38	40	34	36	38	41	37	36	34	30	30	34.87		
11CS			30	31	28	36	36	34	35	40	34	42	38	40	44	34	30	30	4.7	35.13	2.51	30	31	36	36	34	35	40	34	38	40	34	30	30	34.46				
12CS			34	35	36	32	38	35	28	32	30	30	30	34	29	39	30	37	3.4	33.06	1.82	34	35	36	32	38	35	28	32	30	30	30	34	29	39	30	37	33.06	
1CI	Edad del H°: 3 Días	Resistencia: 30 MPa	27	25	31	24	32	22	25	24	22	22	26	30	24	32	26	26	3.4	26.13	1.82	27	25	31	24	-	22	25	24	22	22	26	30	24	-	26	25.29		
2CI			20	24	30	24	32	24	30	26	26	28	27	24	23	24	30	22	3.4	25.88	1.79	-	24	30	24	-	22	30	26	26	28	27	24	23	24</				

Fuente: Propia

Tabla A3. 12. Análisis del ángulo de aplicación del esclerómetro

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE HORMIGÓN Y RESISTENCIA DE MATERIALES

"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN A COMPRESIÓN EN LAS EDIFICACIONES DEL CAMPUS UNIVERSITARIO CON SUS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS"



Lectura del esclerómetro (-90°)

Fecha de elaboración19/08/2019

Fecha de rotura16/09/2019

ángulo de aplicación(-90°)

Edad del hormigón

Tipo de hormigón

Norma o código de procedimiento

28 días

21 MPa

ASTM C 805-02

N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Promedio
1	22	34	32	28	30	28	37	32	30	30	27	32	28	32	28	26	29.75
2	33	22	30	32	28	28	30	31	27	34	35	26	28	29	28	32	29.56
3	30	34	28	26	28	28	38	29	30	26	26	28	30	32	35	30	29.88
4	30	32	32	38	40	36	36	34	32	36	28	32	28	32	38	38	33.88
5	26	34	28	26	30	30	30	28	30	32	35	30	32	24	24	24	28.94
6	28	34	28	30	32	30	32	34	20	22	28	30	29	28	32	34	29.44
7	30	32	28	32	30	34	30	32	31	28	29	32	29	30	32	34	30.81
8	36	30	28	29	39	34	39	32	32	30	31	24	30	30	32	32	31.75
9	24	28	28	28	30	28	32	30	37	30	38	37	32	34	32	33	31.31
10	28	30	32	32	30	30	32	32	36	30	34	35	36	35	30	30	32.00
11	32	31	32	34	32	34	35	40	30	29	32	38	30	32	30	29	32.50
12	26	30	30	32	29	29	30	31	32	24	30	36	26	30	30	30	29.69

Validación de datos del esclerómetro (-90°)

N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Promedio del índice de rebote
1		34	32	28	30	28		32	30	30	27	32	28	32	28	26	29.79
2	33		30	32	28	28	30	31	27	34	35	26	28	29	28	32	30.07
3	30	34	28	26	28	28		29	30	26	26	28	30	32	35	30	29.33
4	30	32	32	38		36	36	34	32	36	28	32	28	32	38	38	33.47
5	26	34	28	26	30	30	30	28	30	32		30	32	24	24	24	28.53
6	28	34	28	30	32	30	32	34			28	30	29	28	32	34	30.64
7	30	32	28	32	30	34	30	32	31	28	29	32	29	30	32	34	30.81
8	36	30	28	29		34		32	32	30	31		30	30	32	32	31.23
9		28	28	28	30	28	32	30	37	30		37	32	34	32	33	31.36
10	28	30	32	32	30	30	32	32	36	30	34	35	36	35	30	30	32.00
11	32	31	32	34	32	34	35		30	29	32	38	30	32	30	29	32.00
12	26	30	30	32	29	29	30	31	32	24	30		26	30	30	30	29.27

Lectura del esclerómetro (0°)

Fecha de elaboración16/08/2019

Fecha de rotura13/09/2019

ángulo de aplicación(0°)

Edad del hormigón

Tipo de hormigón

Norma o código de procedimiento

28 días

21 MPa

ASTM C 805-02

N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Promedio
1	34	34	31	36	30	34	30	28	32	40	38	40	32	36	34	36	34.06
2	31	38	40	30	30	31	38	34	33	31	30	38	30	29	32	34	33.06
3	36	32	32	34	34	36	36	34	33	34	36	30	34	34	36	32	33.94
4	37	38	34	36	32	36	42	38	37	32	36	30	38	30	36	35	35.44
5	34	36	40	36	36	28	28	28	29	34	33	32	30	36	32	32	32.75
6	30	29	32	37	34	34	38	40	34	34	34	37	38	37	35	33	34.75
7	38	34	36	39	32	36	28	40	32	34	32	38	33	33	32	31	34.25
8	34	35	36	29	34	34	36	36	30	34	32	35	33	36	32	31	33.56
9	40	36	31	34	36	38	36	37	31	32	36	36	34	28	33	32	34.38
10	38	32	37	38	37	36	31	31	28	30	35	32	31	30	29	30	32.81
11	36	35	38	44	34	36	34	33	31	36	34	34	34	35	36	35	35.31
12	38	30	36	42	30	34	34	34	30	33	32	32	32	31	32	35	33.44

Validación de datos del esclerómetro (0°)

N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Promedio del índice de rebote
1	34	34	31	36	30	34	30		32	40	38	40	32	36	34	36	34.47
2	31	38		30	30	31	38	34	33	31	30	38	30	29	32	34	32.60
3	36	32	32	34	34	36	36	34	33	34	36	30	34	34	36	32	33.94
4	37	38	34	36	32	36		38	37	32	36	30	38	30	36	35	35.00
5	34	36		36	36	28	28	28	29	34	33	32	30	36	32	32	32.27
6	30	29	32	37	34	34	38	40	34	34	34	37	38	37	35	33	34.75
7	38	34	36	39	32	36		40	32	34	32	38	33	33	32	31	34.67
8	34	35	36	29	34	34	36	36	30	34	32	35	33	36	32	31	33.56
9	40	36	31	34	36	38	36	37	31	32	36	36	34		32	32	34.80
10	38	32	37	38	37	36	31	31	28	30	35	32	31	30	29	30	32.81
11	36	35	38		34	36	34	33	31	36	34	34	34	35	36	35	34.73
12	38	30	36		30	34	34	34	30	33	32	32	32	31	32	35	32.87

Fuente: Elaboración conjunta con el tesista Agustín Romero

Anexo 3.3. Determinación de la velocidad de pulso a través del hormigón (ASTM C597-02)

Objetivo

Este método de ensayo cubre la determinación de la velocidad de propagación de pulsos longitudinales de ondas de esfuerzo a través del hormigón.

Definiciones

Ultrasonido. Son ondas acústicas cuya frecuencia está por encima de la capacidad de audición del oído humano.

Amplitud de una onda de ultrasonido. Es una medida de la variación máxima del desplazamiento u otra magnitud física que varía periódica o casi periódicamente en el tiempo.

Frecuencia. La frecuencia es el número de repeticiones por unidad de tiempo de cualquier evento periódico

Uso y significado

Este método de prueba está destinado principalmente a detectar cambios significativos en el módulo dinámico de elasticidad de las muestras de laboratorio o de campo que están siendo expuestas a la intemperie u otros tipos de influencias potencialmente deterioradas.

Longitud de trayectoria: longitud mínima de trayectoria de 100 mm para hormigón con tamaño máximo de árido de 20 mm o menor y de 160 mm la longitud mínima de trayectoria para hormigón con tamaño máximo de árido de 39 mm o menor.

Las condiciones de fabricación, el contenido de humedad (la velocidad se incrementa a medida que aumenta la humedad) y otras características de las muestras de ensayo influyen materialmente en los resultados obtenidos.

Este método se aplica para estimar la uniformidad y la calidad relativa del hormigón; para indicar la presencia de vacíos y grietas, para evaluar la efectividad de las reparaciones de agrietamientos.

La exactitud de la medición depende de la habilidad del operador para determinar con precisión la distancia entre los transductores y la del equipo para medir el tiempo de tránsito del pulso con precisión. La intensidad de la señal recibida y el tiempo de tránsito medido son afectados por el grado de acoplamiento de los transductores a las superficies del hormigón. Debe aplicarse suficiente agente de acoplamiento y suficiente presión a los transductores para asegurar tiempos de tránsitos estables. La intensidad de la señal recibida es también afectada por la longitud que debe de transitar la onda y por la presencia y el grado de deterioro o del agrietamiento del hormigón ensayado.

Los resultados obtenidos con el uso de este método no deben ser considerados como un medio adecuado de la medición de la resistencia.

Equipo y materiales

Transductor. Es un dispositivo capaz de transformar o convertir una determinada manifestación de energía de entrada, en otra diferente a la salida, pero de valores muy pequeños en términos relativos con respecto a un generador.

Gel. Es un sistema coloidal donde la fase continua es sólida y la dispersa es líquida. Los geles presentan una densidad similar a los líquidos, sin embargo su estructura se asemeja más a la de un sólido.

Espátula. Es una herramienta que consiste en una lámina plana de metal con agarradera o mango similar a un cuchillo con punta redondeada.

Condiciones generales

Este equipo de ultrasonido se tiene que aplicar a una temperatura mayor a 5°C y menor a 30°C, para tener la mayor precisión de la velocidad.

Para tener una buena lectura del hormigón, es recomendable evitar la armadura que estén paralelas a las ondas del ultrasonido. Caso contrario corregir la presencia de la armadura en una medición directa utilizando la Figura 2.6.

Procedimiento

Antes de aplicar la prueba, es necesario efectuar un reconocimiento visual de los puntos que se van a ensayar, con el fin de determinar la rugosidad de la superficie, la presencia

de hueco y fisuras que afectarán la prueba. Es necesario quitar el acabado de la superficie (yeso, cemento, pintura, etc.) con el fin de evitar resultados erróneos por la posible separación entre el acabado y el elemento que se va a ensayar. (Crespo Leon & Garcia Troncoso, 2009, pág. 71)

Al momento de tener el hormigón libre de impurezas se procede a medir la distancia que separa las dos caras del hormigón que se va analizar, para una medición directa.

Posteriormente se ubica el transductor emisor en una de las caras y el transductor receptor en la otra cara previamente colocado la glicerina en gel, al momento de hacer la lectura se tiene que presionar con una fuerza constante hasta que el tiempo que marca la pantalla del equipo (marca CONTROLS) sea constante.

Repetir el procedimiento para las siguientes lecturas y para el análisis de probetas de hormigón se realiza una medición directa en posición horizontal (0°), en las dos caras circulares con superficie lisa.

Cálculos

Si se tiene un equipo de ultrasonido que solo dé como resultado el tiempo en microsegundo, del recorrido de la onda dentro del hormigón, se puede utilizar la siguiente fórmula para saber la velocidad.

$$velocidad \left(\frac{km}{s} \right) = \frac{distancia (km)}{tiempo (s)}$$

Se recomienda realizar 3 o más lecturas con el equipo de ultrasonido en el hormigón, para luego sacar el promedio (en adelante, $\bar{x}$) y desviación estándar (en adelante, σ), y aquellos valores que estén fuera del promedio sumado y restado con la desviación estándar, se elimina y se vuelve a calcular con los datos que quedan, el promedio. Para el análisis de hormigón armado, se utiliza el plano estructural para corregir la presencia de armadura en base a la Figura 2.6.

En el presente trabajo de investigación adjunto en las siguientes páginas la descripción general del **ANALIZADOR DE IMPULSO ULTRASÓNICO** en su idioma original, del equipo que se utilizó para realizar los ensayos correspondientes de esta tesis

Ultrasonic pulse analyzer



ULTRASONIC PULSE ANALYZER

- ◆ Digital scope, 2 MHz sampling rate, 12 bit resolution
- ◆ Advanced picking algorithm providing the real arriving time of the pulse
- ◆ Signal processing by FFT method (Fast Fourier Transform)
- ◆ Assessment of concrete strength with combined method Ultrasonic velocity/Rebound index (SonReb)
- ◆ 7 selectable pre-amplifier gains (impulse amplitude)
- ◆ Transmitter pulse 2500 V
- ◆ Transit time up to 16 ms with 0.1 μ s resolution
- ◆ Slot for memory card to save data (2 GB=30000 tests)
- ◆ 6" Multifunctional touch screen display

This is just one of more than 4.000 products manufactured by CONTROLS, the global leader Testing Equipment for the construction industry in three business areas:

- Concrete and cements;
- Asphalt and bituminous mixtures;
- Soil and rocks.

Standards EN 12504-4 | ASTM C597

The PULSONIC is used for measuring the velocity of ultrasonic pulses through a concrete section providing informations on cracks, voids, strength, and giving quick estimates of dynamic modulus of elasticity on site or in the laboratory. It can also be used for estimating times for formwork striking. The pulse velocity can be combined with the rebound hammer value for the strength evaluation of concrete.

The unit includes an excel spreadsheet for the acquisition of the waveform on the PC for further elaborations.

Main applications

- Standard UPV measurement with incorporated oscilloscope. Conforming to EN 12504-4 and ASTM C597. Also suitable for determining the Dynamic Modulus of Elasticity. The meter features a very accurate measurement of the transit time.
- Measurement of the Attenuation of the Transmitted Energy. Very often the transit time only is not enough to identify disomogeneities and little damages as for example microcracking of concrete which are, on the contrary, well located with this technique by properly processing the acquired waveforms.

- Frequency Spectrum Analysis by FFT Method (Fast Fourier Transform-Algoritym). For determining the natural frequency of the ultrasonic pulse transmitted through the material.

This determination is suitable for the examination of the pulse path and gives indications about possible cavities, delaminations, multi-layer elements or othjer similar dishomogeneities.

- Concrete Strength Evaluation combining the Rebound number and the UPV transit time. It is possible to use our digital test hammer to obtain the avarage value of rebound number.

This value can be insert in the dedicated menu of UPV tester combining a typical surface measurement with the deeper UPV transit time in order to obtain a more reliable and extended information.

- Other applications. To identify and evaluate Crack depth, Honey combing, Injection quality.

Technical specifications

- The Ultrasonic Pulse Analyzer features a portable sturdy case, a large 6" backlight touch screen display making easy and practical the use of the apparatus.

Featuring:

- 2 MHz sampling rate with 12 bit resolution
- 7 selectable pre-amplifier gains
- 8 selectable low-pass filter cut frequencies
- Advanced signal processing (Transit time, Wave shape, FFT, SonReb)
- Selectable pulse rate 1, 2, 5 per second
- Transmitter pulse 2500 V
- Transit time up to 16 ms with 0.1 μ s resolution
- Slot for memory to save data
- RS 232 and USB port for real time downloading to PC
- Battery operated by internal rechargeable battery pack (7.2 Ah) up to 9 working hours before recharging

Dimensions:

- (instrument only) 264x233x83 mm
- (carrying case) 500x400x140 mm

Weight approx.:

- (instrument only) 2.6 kg
- (complete outfit) 5 kg

58-E4900

PULSONIC, Ultrasonic pulse analyzer

Accessories

Testing heads (probes)

The standard 50 kHz transmitter and receiver heads are supplied with the tester. Different heads are available with different nominal working frequency, 24 and 150 kHz which is the usual range for normal concrete: the highest (150 kHz) is indicated for homogeneous concrete, the lowest (24 kHz) for heterogeneous concrete. Model 58-E0046/5 special probes with exponential profile, are used for the identification of minute cracks, air bubbles or material with low density. Two pieces are required.

Digital concrete hammer

58-C0181/DGT

User programmable digital concrete hammer. 110-230V, 50-60Hz, 1Ph.

Concrete test hammer

58-C0181/C

Concrete test hammer type N. Aluminium body. Supplied with hard plastic carrying case. Conforming t+03o EN 12504-2 and ASTM C805

Model	Nominal frequency (kHz approx.)	Dimensions (mm)
58-E0046/30	24	Dia. 50x75
58-E0046/33	150	Dia. 25x54
58-E0046/5	54	Dia. 7/50x82 (exponential profile)



Exponential profile probes (58-E0046/5, 2 pcs)

Spare parts

58-E4800/P

Piezoelectric head for ultrasonic tester. Nominal frequency 50 kHz, dia. 30mm x 50mm. Can be used either as receiver or transmitter. Fitted with BNC connector for coaxial cable (not included).

58-E4900/P

Piezoelectric head with sampling button for ultrasonic tester series 58-E4900. Nominal frequency 50 kHz, dia. 30mm x 80mm. Fitted with BNC connector for coaxial cable (not included).

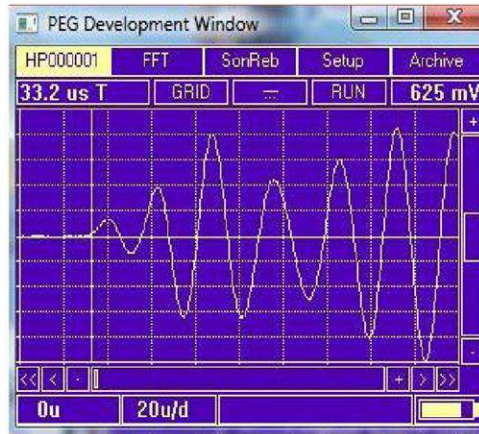
58-E0046/2

Spare 2 m cable for testing probe connection

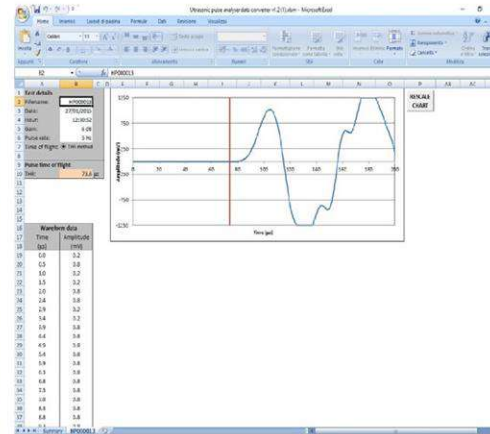
58-E0046/3

Coupling agent (contact paste), 250 cc bottle





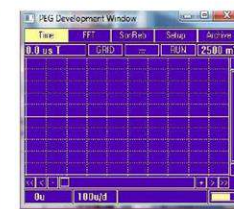
MAIN menu to acquire, show and save the received waveform



Excel spreadsheet for downloading the waveform into the PC



FFT menu for displaying Fast Fourier Transform of the signal



Time menu for acquisition, display and storage of waves received



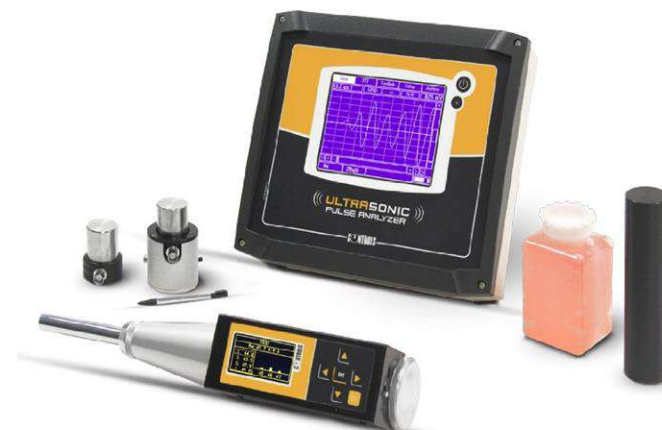
SETUP menu to set operative parameters



CALIBRATION menu



SonReb menu to evaluate the concrete strength combining the ultrasonic and concrete hammer measurements



SonReb analysis - Assessment of concrete strength with combined method Ultrasonic velocity (with S8-E4900) / Rebound index (with S8-C0181/DGT)

Conocido anteriormente el procedimiento de cálculo, presentamos en las siguientes tablas la determinación de la velocidad de pulso a través del hormigón.

Para una mejor interpretación de las siguientes tablas, revisar la Tabla A3. 13.

Tabla A3. 13. Significado de la unidad o símbolo (ultrasonido)

σ	Desviación estándar del número total de datos de cada probeta de hormigón
$\bar{X}$	Promedio del número total de datos de cada probeta de hormigón
ε_a 95%	Error absoluto con un nivel de confianza del 95 %

Fuente: Propia

Anexo 3.4. Determinación de la resistencia a la penetración en el hormigón endurecido (ASTM C803-03)

Objetivo

Este método de ensayo trata de la determinación de la resistencia del hormigón endurecido a la penetración por una sonda o probeta de acero.

Los valores se registran en unidades del sistema SI o en unidades del sistema pulgada-libra, los que deben ser considerados como el estándar separadamente. Los valores dados en cada sistema pueden no ser equivalentemente exactos, por lo tanto, cada sistema debe ser usado independientemente del otro. La combinación de valores de los dos sistemas puede dar lugar a una no conformidad con esta norma.

Esta norma no tiene el propósito de señalar todos los aspectos de seguridad si los hubiere, asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma el establecer las prácticas apropiadas de seguridad y salubridad y de determinar la aplicabilidad de limitaciones regulatorias previas a su uso.

Definiciones

Escala de dureza. La dureza es la oposición que ofrecen los materiales a alteraciones como la penetración, la abrasión, el rayado, la cortadura, y las deformaciones permanentes entre otras.

Explosivo. Es aquella sustancia que por alguna causa externa (roce, calor, percusión, etc.) se transforma en gases; liberando calor, presión o radiación en un tiempo muy breve.

Choque físico o mecánico. Se define como la interacción mutua entre dos o más cuerpos, de los cuales al menos uno está en movimiento, produciendo intercambio de momento y energía

Uso y significado

Este método de ensayo es aplicable para evaluar la uniformidad del hormigón y para delinear zonas de calidad pobre o hormigón deteriorado en estructuras.

Este método de ensayo es aplicable para estimar la resistencia en el lugar, proporcionando una relación que ha sido experimentalmente establecida entre la resistencia a la penetración y el esfuerzo en el hormigón.

Probetas de acero son conducidas con un propulsor explosivo de alta energía, y estas pueden penetrar algunas partículas de agregado. La resistencia a la penetración de la probeta es afectada por la resistencia del hormigón tan bueno como la naturaleza del agregado grueso.

Los resultados de este método de ensayo pueden acabar en superficie dañada del hormigón, el cual puede requerir reparación en acabado arquitectónico expuesto.

Equipo y materiales

Ensayo de resistencia con Sonda

Unidades conducidas. - Las unidades conductoras serán capaces de dirigir la sonda dentro del hormigón con una precisión de cantidad de energía controlada así la sonda se mantendrá firmemente embebida. La unidad conducida debe incorporarse para prevenir descarga cuando no es apropiadamente colocada en el dispositivo de posicionamiento sobre la superficie del hormigón.

Para una carga de energía especificada, la variación de la velocidad de la sonda estándar propulsado por la unidad de conducción estándar no tendrá un coeficiente de variación mayor que 3 % para diez ensayos hechos por métodos de balística aceptados.

Sonda – La sonda es un cilindro de acero endurecido revestido para protegerlo de la corrosión, con un extremo cónico desafilado que puede ser insertado en la unidad de conducción y dirigido a la superficie del hormigón para que este se mantenga firmemente embebido y la longitud de la porción saliente pueda ser medida. La dureza puede ser entre 44 HRC y 48 HRC Rockwell. El extremo expuesto de la sonda será acondicionado para acomodar accesorios diseñados para facilitar la medida y retiro.

Equipo de medición

Instrumentos de Medición – Un instrumento de medición, tal como un calibrador, medidor de espesores, u otro dispositivo de medición, y equipo asociado, será usado para medir la longitud expuesta de la sonda con una aproximación de 0.5 mm (0.025 plg).

Dispositivo de Posicionamiento – Será usado un dispositivo a ser colocado en la superficie del hormigón para posicionamiento y guía de la sonda y unidad conductora durante el disparo.

Riesgos

Tenga cuidado en la operación de la unidad conductora para prevenir una inesperada o inadvertida descarga de una probeta.

Ponga seguridad en los ojos, protector contra ruidos, y otro equipo de protección apropiado cuando dispare las probetas dentro del hormigón.

La unidad de conducción, si opera por explosión, será conforme a los requisitos aplicables de ANSI A10.3.

Si barras de refuerzo u otro metal embebidas en el hormigón son sospechadas para tener cubierta la profundidad superficial de la penetración anticipada de la sonda, seleccione posiciones de ensayo para que la sonda no choquen con los artículos embebidos.¹

Procedimiento

Las superficies del hormigón a ser ensayadas que son más gruesas que el acabado de un costal arrastrado deberán ser alisados sobre un área mayor que la cubierta por el dispositivo de posicionamiento y placa base de referencia.

Coloque el dispositivo de posicionamiento en la superficie del hormigón en la posición de ensayo. Monte una sonda en la unidad conductora, coloque el conductor en el dispositivo de posicionamiento y dispare la sonda en el hormigón. Siga las instrucciones de seguridad suministradas con el aparato.

Remueva el dispositivo de posicionamiento y golpee ligeramente la sonda en el extremo expuesto con un martillo pequeño para asegurar que este no ha sido rebotado y para confirmar que está firmemente embebido. Rechace las sondas sueltas.

¹ Nota: La localización del refuerzo puede ser establecida usando un Pachómetro, ultrasonido o detector de metales. Siguiendo las instrucciones del fabricante para la operación adecuada de tales dispositivos.

Coloque la placa base de referencia sobre la sonda y posicione esta como para sostenerla firmemente en la superficie de hormigón sin balanceo u otro movimiento. Si la superficie del hormigón ha sido levantada alrededor de la base de la sonda, remueva el hormigón triturado para permitir que la placa base de referencia quede plana. Si es necesario, instale retenedores de placa y capuchones en la probeta medidora. Mida la distancia de la placa base de referencia al extremo de la probeta, o al borde superior del capuchón de medición, al más cercano 0.5 mm (0.025 plg).

Cálculos

La resistencia a la penetración del hormigón es determinada por medición de la longitud expuesta de la sonda que han sido hincadas dentro del hormigón.

En el presente trabajo de investigación adjunto en las siguientes páginas el **CERTIFICADO DE VERIFICACIÓN DE LA MAQUINA** en su idioma original, del equipo que se utilizó para realizar los ensayos correspondientes de esta tesis

Machine information**Machine type** EL31-0671 COMPACT 1500 COMPRESSION MACHINE**Compression load frame**

Identification plate located at Top Front of Serial no. 1707-4-5091
Frame
Capacity 1560 kN Spherical seating serial no. -

Flexural and transverse load frame

Capacity - Serial no. -

Console - Serial no. -

Power pack - Serial no. -

Load pacer - Serial no. -

Load indication

High range load gauge calibrated to kN Serial no.
160 1560
Low range load gauge calibrated to kN Serial no. 13082894
- -
Digital readout unit calibrated to kN Serial no. -
- -
Hydraulic pressure at maximum load MPa (lb/in²)
51.7 7500

Verification

This testing machine was verified by reference to the proving device(s) as listed overleaf. Before verification the testing machine was loaded three times to its maximum load capacity, and the verification procedure consisted of three series of test loadings. The accuracy and repeatability errors of the machine have been calculated from the average of the three readings at each applied load. The maximum load pointer fitted to load gauges was in use during test three only.

This certificate is valid for not more than 12 months.

Date

CALIBRATION VALID
FROM DATE OF INVOICE

Signature

For ELE International Limited

Customer reference

Customer's order no.

Customer

CIBO

LX48665

Bolivia

Verification results

Ambient temperature at the time of verification 19 °C

True load applied kN	Indicated load			Mean indicated load	Error %	Repeatability %
	Test 1	Test 2	Test 3			

Serial no. 13082894 range 160 - 1560 KN

calibrated with reference to proving device serial number(s) 1052-18-0101

[illegible]

**ELE International
Limited**

Eastman Way
Hemel Hempstead
Hertfordshire HP3 7HB
England

Telephone: Hemel Hempstead (0442) 218355
Cables: Elequip, Hemel Hempstead
Telex: 825239
Facsimile: (0442) 52474

TABLE A1 - TABLE OF CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTHS
METRIC ALTERNATIVE

EXPOSED PROBE (cm)	COMPRESSIVE STRENGTH (kg/cm ²)					EXPOSED PROBE (cm)	COMPRESSIVE STRENGTH (kg/cm ²)				
	MOHS' NO. 3	MOHS' NO.	MOHS' NO. 5	MOHS' NO. 6	MOHS' NO. 7		MOHS' NO. 3	MOHS' NO. 4	MOHS' NO. 5	MOHS' NO. 6	MOHS' NO. 7
3.30	161	-	-	-	-	4.95	464	429	390	353	306
3.35	170	-	-	-	-	5.00	473	438	400	364	318
3.40	180	-	-	-	-	5.05	482	448	410	375	330
3.45	189	-	-	-	-	5.10	491	457	420	386	342
3.50	198	149	-	-	-	5.15	500	467	430	397	354
3.55	207	159	-	-	-	5.20	510	477	440	408	366
3.60	216	168	-	-	-	5.25	519	486	451	419	378
3.65	225	178	-	-	-	5.30	528	496	461	430	390
3.70	235	188	-	-	-	5.35	537	506	471	441	402
3.75	244	197	149	-	-	5.40	546	515	481	452	414
3.80	253	207	159	-	-	5.45	555	525	491	463	426
3.85	262	216	169	-	-	5.50	565	535	501	474	438
3.90	271	226	179	-	-	5.55	574	544	511	485	451
3.95	280	236	189	-	-	5.60	583	554	521	496	463
4.00	290	245	199	-	-	5.65	592	564	531	507	475
4.05	299	255	209	154	-	5.70	601	573	541	518	487
4.10	308	265	219	165	-	5.75	611	583	551	529	499
4.15	317	274	229	176	-	5.80	620	592	561	540	511
4.20	326	284	239	187	-	5.85	629	602	571	551	523
4.25	335	294	250	198	-	5.90	638	612	581	562	535
4.30	345	303	260	209	149	5.95	647	621	591	573	547
4.35	354	313	270	220	161	6.00	656	631	601	584	559
4.40	363	323	280	231	173	6.05	666	641	611	595	571
4.45	372	332	290	242	185	6.10	675	650	621	606	583
4.50	381	342	300	253	197	6.15	684	660	631	617	595
4.55	390	351	310	264	209	6.20	693	670	641	628	607
4.60	400	361	320	275	221	6.25	702	679	652	639	619
4.65	409	371	330	286	233	6.30	-	689	662	650	631
4.70	418	380	340	297	245	6.35	-	698	672	661	643
4.75	427	390	350	308	258	6.40	-	708	682	672	656
4.80	436	400	360	319	270	6.45	-	-	692	683	668
4.85	445	409	370	330	282	6.50	-	-	702	694	680
4.90	455	419	380	342	294	6.55	-	-	-	706	692

IMPORTANT INSTRUCTIONS

- For standard weight concrete ($>2000 \text{ kg/m}^3$), use Silver PRS-01 (6.35 mm diameter probe) and read results in appropriate Mohs' column from Table A1.
- For lightweight concrete ($<2000 \text{ kg/m}^3$), use Gold PRS-03 (7.93 mm diameter probe) and read results in column three (3) from Table A1.
- Always confirm the Mohs' Number of the coarse aggregate with a Mineral Scratch Test.
- In certain isolated cases, (usually from stream rounded gravel sources) two or three different Mohs' Number aggregate may be present in concrete. If this condition exists, use a weighted average to determine the proper Mohs' column from Table A1. If doubt still exists, cores or sawn cubes may be used to calibrate the system.
- LOW POWER RANGE.** ALWAYS use for testing concrete less than 175 kg/cm^2 . To accomplish this, push the probe downstream in driver barrel.
 - If used for testing low strength, standard weight concrete ($>2000 \text{ kg/m}^3$) with Silver PRS-01 (6.35 mm diameter probe); use appropriate Mohs' column from Table A1 and divide values by two (2).
 - If used for testing low strength, lightweight concrete ($<2000 \text{ kg/m}^3$), with Gold PRS-03 (7.93 mm diameter probe); use column three (3) from Table A1 and divide values by three (3).
- For mortar (no coarse aggregate concrete), use Silver PRS-01 (6.35 mm diameter probe) and read results in column three (3) from Table A1.

Conocido anteriormente el procedimiento de aplicación del equipo, presentamos en las siguientes tablas la determinación de la distancia de la sonda en la superficie del hormigón con distintas resistencias a compresión.

233