

## ENSAYOS PASO A PASO DEL HORMIGÓN ENDURECIDO:

# Encabezado de probetas y testigos

◆ POR MS. ING. MAXIMILIANO SEGERER. CONTROL Y DESARROLLO DE HORMIGONES / [WWW.CDHORMIGONES.COM.AR](http://WWW.CDHORMIGONES.COM.AR)

Concluidos los procedimientos simplificados de los principales ensayos de hormigón fresco (incluidos el moldeo y curado de probetas), se estudiarán los pasos a seguir para obtener resultados de ensayo confiables en el hormigón endurecido. En particular en este artículo, se detallarán los dos tipos de encabezado más empleados en nuestro país: mortero de azufre y placas de neopreno. Si bien en la Norma IRAM 1553 figuran encabezados con pasta de cemento y con mortero de cemento, éstos no suelen ser tan empleados como los mencionados, al menos en tareas de autocontrol de plantas de hormigón.

Es posible que el factor que más incida negativamente en un ensayo a compresión sea el mal uso de los encabezados y, cuando se combina con probetas mal confeccionadas (falta de paralelismo de las caras o marcado superficial de la cara superior, por ejemplo), puede ocasionar notables reducciones de resistencia a los hormigones, influenciadas negativamente por desconocer la relevancia de la temática de los encabezados. Antes de su estudio, cabe aclarar que ambas normas de encabezado de probetas – IRAM 1553 para morteros e IRAM 1709 para placas elastoméricas – tienen versiones vigentes relativamente recientes, siendo las últimas revisiones de los años 2008 y 2016 respectivamente, y en ambas han existido cambios considerables respecto a las versiones anteriores.

La simplicidad del encabezado con neopreno, que ha mejorado las condiciones de operación de todos los principales laboratorios del país, puede ser una desventaja importante si no se le realiza un adecuado control y calificación. En el mercado, abundan discos de neopreno que “encajan ajustadamente”

en los retenes, discos con espesores de 15mm o superiores y con dureza y constancia de propiedades muy dudosas. Pocas veces se toma el trabajo de realizar la calificación según IRAM 1709 para diferentes rangos de resistencia (y durezas del neopreno) con el fin de asegurar la validez de los resultados, y todo ello conlleva al mal uso de éstos.

También cabe destacar que la nueva norma IRAM acepta el encabezado con neopreno de testigos de hormigón y casi nunca se tienen los cuidados indicados por la norma: aserrado o pulido de gran planicidad y contar con retenes y placas de neopreno específicas para diferentes diámetros, lo cual operativamente es muy complejo. En ciertos casos, se ensayan testigos de 140 a 145mm en los retenes de probetas de 15 x 30cm, o bien testigos de 95mm (extraídos con brocas comerciales de 4”) en los retenes de probetas de 10 x 20cm, y lo mismo no es válido en absoluto.

Por el otro lado, el mortero de azufre pocas veces se verifica en sus cualidades y resistencia a compresión. También deben tenerse cuidados adicionales, como la nivelación del encabezador metálico y asegurarse de llenar todo el huelgo para evitar oquedades, que también pueden aparecer por suciedades en los encabezadores o por el estado de humedad de la probeta. No tener en cuenta estos factores, tanto en probetas como testigos, puede causar resultados erráticos y siempre inferiores a los que se hubiesen obtenido si se siguiesen los lineamientos de la Norma IRAM 1553.

Con lo cual, antes de realizar el ensayo a compresión propiamente dicho de las probetas cilíndricas, es indispensable detenerse y calificar los encabezados, no pensando que todos los comercios venden neoprenos calificados y trazables.



➤ Mortero de azufre fundido inmediatamente antes de apoyar la probeta.



➤ Mesa de encabezado no nivelada (falta de paralelismo en las caras).



➤ Encabezado con gran cantidad de burbujas y falta de adherencia debido a la superficie húmeda.



➤ Huecos bajo el encabezado por cantidad insuficiente de mortero al apoyar la probeta y luego rellenar por el costado.



➤ Falta de nivelación del encabezador metálico que, además, debe estar en una superficie firme (nunca sobre tablonos o similares).



➤ Probetas de hormigón convencional encabezadas con mortero de azufre después de la rotura a compresión.



➤ Testigos de hormigón ya ensayados adecuadamente, encabezados con mortero de azufre.



➤ En muchos casos de hormigones especiales, es indispensable el encabezado con mortero de azufre.

**1) ELEMENTOS NECESARIOS PARA EL ENSAYO**

1. Placas metálicas con dispositivos de alineación y planicidad garantida, de dimensiones según la probeta.

1.1 El huelgo donde va el azufre debe tener una profundidad de 10 a 12mm.

2. Dispositivo encabezador sujeto a base firme (no mesa de madera) y muy bien nivelada.

2.1. La falta de nivelación del encabezador puede traer inconvenientes severos en los resultados del ensayo.

3. Instalación con fuente de calor que permita mantener el mortero de azufre fundido a  $130 \pm 5^\circ\text{C}$ .

4. Olla metálica destinada a contener el mortero de azufre para la preparación de las bases (no a fuego directo).

5. Cucharón con pico vertedor, cuyo volumen sugerido es de al menos  $220\text{cm}^3$  (para probetas 15 x 30).

6. Materiales Aprox. para el mortero de azufre: azufre en polvo (75%), grafito (5%) y arena pasa tamiz #100 (20%).

7. Aceite mineral y herramientas manuales.

8. Elementos de protección personal, como gafas, guantes de material aislante, protección respiratoria, etc.

9. El lugar donde se trabaja la mezcla debe estar bien ventilado y colocar el conjunto bajo una campana.

**2) VERIFICACIÓN DE LA APTITUD  
DEL MORTERO DE AZUFRE**

10. Respecto a la resistencia a compresión mínima del encabezado (medida en probetas cúbicas de 50mm)

10.1 Hormigón de 3,5 a 50MPa - Resistencia mínima 35MPa o la de la probeta ensayada (la que sea mayor).

10.2 Hormigón de más de 50MPa - Resistencia no menor que la probeta.

11. Para Resistencias >50MPa, IRAM 1553 establece un procedimiento para la verificación de aptitud (anexo B).

11.1 Calificación de pares de 15 probetas con mortero de azufre y comparar con mortero de cemento o pulidas.

12. Respecto al espesor promedio máximo, debe ser de 6mm para resistencias <50MPa y 3mm para >50MPa.

12.1 La Norma IRAM 1553 establece un procedimiento para su medición en el anexo A.

**3) PREPARACIÓN DE LAS BASES  
CON MORTERO DE AZUFRE**

1. Es aplicable para el encabezado de probetas y testigos cilíndricos para ser ensayadas a compresión.

1.1 Para el caso de ensayos de tracción por compresión diametral y por flexión, no se realiza encabezado.

2. El encabezado no debe fluir ni fracturarse durante el ensayo de las probetas y testigos.

3. Deben tratarse las bases de las probetas para que resulten planas y paralelas entre sí y normales su eje.

3.1 Se considera una adecuada planicidad,  $<0,5^\circ$  que corresponde a 3mm en 300mm de forma aproximada.

4. Las probetas de hormigón en curado húmedo deben mantenerse en esa condición hasta el día del ensayo.

5. Los extremos de las probetas y testigos deberán limpiarse adecuadamente, retirando todo recubrimiento.

5.1 Si son muy lisas, pueden picarse ligeramente con un elemento de acero para mejorar adherencia.

5.2 No se admiten depresiones previas de más de 5mm, sino podrán pulirse a aserrarse para eliminarlas.

6. Las bases de las probetas deben estar con superficie seca en el momento de recibir el mortero de azufre.

6.1 Superficies húmedas (con brillo) pueden ocasionar burbujas bajo la superficie.

7. Se prepara la mezcla de azufre, grafito y arena fina en proporciones 15, 1 y 4 respectivamente (o comercial).

8. Se coloca en la olla y se eleva la temperatura entre  $125$  y  $135^\circ\text{C}$  para obtener su fusión.

8.1 Se debe chequear periódicamente que la temperatura se encuentre en el rango indicado.

9. Previamente a la preparación, se coloca sobre las placas una delgada capa de aceite mineral liviano.

9.1 También debe examinarse que no haya materiales extraños en la base (partículas de hormigón, grumos, etc.).

10. Además, debe precalentarse la base antes del primer ensayo para que sea más fácil el encabezado.

11. Una vez que la mezcla se encuentra fluida y homogénea, se vierte sobre la placa hasta llenar el receptáculo.

11.1 Debe "sobrar" material al apoyar la probeta, cuidando que no queden oquedades o grumos.

11.2 Si al apoyar la probeta, falta visiblemente mortero de azufre, retirarla y retirar la capa adherida.

11.3 Se quita la probeta, se retira el encabezado defectuoso y se vuelve a encabezar.

11.4 Colocar "dos a tres veces" morteros de azufre puede provocar oquedades y deficiencias en el ensayo.

12. Inmediatamente se coloca encima la probeta, asegurando un perfecto apoyo contra las guías laterales.

12.1 En el caso de que la probeta no quede apoyada en las guías, es decir, inclinada, debe repetirse el encabezado.

13. Una vez solidificado el mortero de azufre, se retira la probeta, eliminando las rebabas remanentes.

14. A continuación se realiza el mismo procedimiento sobre la otra cara de la probeta (siempre ambas caras).

14.1 Es recomendable, en testigos y probetas, colocar un nivel de burbuja sobre la cara ya encabezada.

14.2 Esto permite salvar faltas de paralelismo. Se coloca el nivel en dos posiciones ortogonales.

15. Se dejan reposar 2 horas las probetas y ya pueden ser ensayadas a compresión (hasta las 4 horas).

16. Puede chequearse la efectividad del encabezado golpeándolo ligeramente con un metal.

16.1 Un sonido hueco del golpe probablemente indica oquedades y deficiencias del encabezado.

16.2 Deben evitarse golpes que puedan afectar -antes del ensayo- la capa del material que conforma las bases

17. Si se advierten imperfecciones en la superficie o bordes, se procederá a quitarlo y repetir el encabezado.

18. Sólo se admite el empleo del mortero de recuperación que no haya sido contaminado ni sobrecalentado.

18.1 La olla de calentamiento se vaciará y cargará periódicamente con material nuevo.

18.2 Se renovará para que el mortero remanente en la olla no haya sido empleado en más de 5 ocasiones.

19. Las probetas encabezadas con mortero de azufre no pueden volver a la pileta de curado húmedo.

20. El ensayo debe realizarse dentro de las 2 a 4 horas desde el momento del encabezado.



Neoprenos comerciales con durezas y medidas fuera de norma.



Los discos de neopreno deben ser compatibles con el diámetro de los retenes (izquierda) y no ingresar a presión (derecha).



A la izquierda, neopreno usado pero en condiciones; mientras que a la derecha, neopreno ya inutilizable (se usó seguramente de forma indebida antes del recambio).



Registro de rotura de probetas, incluyendo el número de uso de discos de neopreno.



Las probetas de hormigón para ensayarse con neopreno deben tener una buena planicidad en ambas caras para posibilitar su ensayo.



Importancia de dar vuelta los discos de neopreno para tener un desgaste parejo de los mismos (en la foto se evidencia que no se dan vuelta).



Rotura muy frecuente tipo 5 de esquina con encabezado con neopreno (categoría H-40).



Registro de calificación de encabezado de neopreno tipo, según IRAM 1709.

**1) ELEMENTOS NECESARIOS PARA EL ENSAYO**

- 1. Discos o retenes metálicos resistentes a usos repetidos, de dimensiones según la probeta o testigo a ensayar.
  - 1.1 Deben tener espesores de paredes de 12mm (en todos sus lados) y altura interior libre del orden de los 25mm.
  - 1.2 Deben ser de acero, estar maquinados y poseer una elevada planicidad ( $\pm 0,05\text{mm}$ ).
  - 1.3 Su diámetro interior será entre 102% y 107% del diámetro nominal de la probeta (recomendable 104%-105%).
  - 1.4 Para probetas de 10 x 20cm, el diámetro interior recomendado es de 104 a 105mm.
  - 1.5 Para probetas de 15 x 30cm, el diámetro interior recomendado es de 156 a 158mm.
- 2. Placas de elastómero o de neopreno de dureza Shore A entre 50 y 70, según Norma IRAM 1709.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS Y TESTIGOS	Dureza ShA	REUSOS (MÁXIMO)
10 A 40MPa	50 $\pm$ 5	100
20 A 50MPa	60 $\pm$ 5	100
30 A 50MPa	70 $\pm$ 5	100
MAYOR QUE 50 A 85MPa	70 $\pm$ 5	50

- 2.1 Para no ser calificadas, deben poseer certificación de calidad de policloroeno M2BC514 a M2BC714.
- 2.2 Es recomendable trabajar con placas de dureza 61-64 para hormigones H-17 a H-30 (ASTM).
- 2.3 Es recomendable trabajar con placas de dureza 68-70 para hormigones H-40 y superiores (ASTM).
- 2.4 El espesor de las placas tiene que ser  $13 \pm 2\text{mm}$  (en el mercado hay muchas placas que no lo respetan).
- 2.5 La diferencia entre el diámetro interior del retén metálico y el del disco debe ser menor o igual a 2mm.
- 2.6 La condición superior, indica que el disco debe entrar "holgado" y no "a presión" en los retenes metálicos.
- 3. Para ensayar testigos, generalmente deben poseerse retenes y discos específicos para el encabezado.
  - 3.1 La única excepción a lo anterior, es garantizar un diámetro de testigo de  $100 \pm 2\text{mm}$  o de  $150 \pm 3\text{mm}$ .
  - 3.2 No obstante lo anterior, debe realizarse un aserrado o pulido con gran planicidad en ambas caras.
  - 3.3 Por ejemplo: Si el testigo tiene diámetro 95mm, debe poseerse par de retenes y capas de neopreno específicos.
  - 3.4. Para testigos con brocas comerciales de 3" (Ej: 69 a 78mm), no pueden ensayarse con los mismos discos.
  - 3.5 Si bien la norma específica que pueden ensayarse testigos, debe ser mucho más cuidadosa la aplicación.
- 4. Elementos de protección personal, como gafas y la prensa, deben contar con una jaula.

**2) VERIFICACIÓN DE LA APTITUD DE LAS PLACAS DE NEOPRENO**

- 5. La dureza Shore A de las placas de neopreno debe estar comprendida entre 50 y 70.
  - 5.1 Placas de dureza <60 tienen baja durabilidad y >70 pueden presentar resultados erráticos.
- 6. La dureza se controlará periódicamente con la ayuda de un durómetro Shore A con tolerancia  $\pm 1\text{ShA}$ .
- 7. El sistema debe ser calificado antes de ser empleado, tal como figura en la Norma IRAM 1709.
  - 7.1 Para la calificación, deben moldearse al menos 10 pares de probetas gemelas de diferentes resistencias.
  - 7.2 Hay que realizar calificación con cada dureza o cuando se cambie de proveedor.
  - 7.3 Se ensaya una de cada pareja con encabezado de azufre (IRAM 1553) y la otra con discos de neopreno.
  - 7.4 Se analizan estadísticamente los datos y, con la ayuda de la Norma IRAM 1709, se aprecia si califica.
  - 7.5 Si califica el sistema, puede emplearse este tipo de encabezado para resistencias entre 10 y 85MPa.

**3) PREPARACIÓN DE LAS BASES CON PLACAS ELASTOMÉRICAS (NORMALMENTE DE NEOPRENO)**

- 1. Verificar que en las bases de la probeta no existan depresiones de más de 5mm.
- 2. Las bases de las probetas o testigos no deben apartarse en más de 0,5° de la perpendicularidad de su eje.
- 3. En caso de presentar importantes bajorrelieves, se empleará el encabezado de mortero de azufre.
  - 3.1 Otra alternativa es aserrar y/o pulir la cara de la probeta (en consenso con el interesado).
- 4. Examinar las placas de neopreno por fisuras o partículas incrustadas antes de cada uso.
- 5. Si las placas tienen fisuras de más de 10mm o aparentemente profundas, no deben ser utilizadas.
- 6. Deterioros en el perímetro son normales y no necesariamente deben reemplazarse las placas de neopreno.
- 7. Periódicamente, quitar las placas de los retenes para limpiar las partículas que podrían estar entre ellos.
  - 7.1 Es recomendable una limpieza por semana o quincenalmente y dar vueltas las placas de neopreno.
- 8. Verificar que no exista ningún material extraño o restos de hormigón sobre las bases de la probeta.
- 9. Colocar las placas en los discos y centrar las placas y discos en la probeta.
  - 9.1 Con el encabezado de neopreno es muy importante el centrado del disco superior en el plato de la prensa.
  - 9.2 Roturas de esquina (tipo 6) muy recurrentes pueden deberse a un mal centrado de la probeta.
- 10. El ensayo de rotura de probetas será detallado en un procedimiento específico según IRAM 1546.
- 11. El número de usos de cada par de placas de neopreno es 100, por lo que debe llevarse un registro de usos.
  - 11.1 Para resistencias elevadas (>50MPa) puede considerarse como doble uso cada rotura (Máx. 50).
  - 11.2 En la Norma IRAM 1709 figura una verificación a realizar para poder emplear los discos hasta 300 veces.
  - 11.3 Si no se presentan deterioros a más de 100 ensayos, puede realizarse un contraste con placas nuevas.

## ENSAYOS PASO A PASO DEL HORMIGÓN ENDURECIDO

# Rotura de probetas a compresión

◆ POR EL MS. ING. MAXIMILIANO SEGERER, DE LA FIRMA CONTROL Y DESARROLLO DE HORMIGONES / WWW.CDHORMIGONES.COM.AR

Si en dudas el ensayo a compresión de probetas de hormigón es el más relevante de las prácticas de laboratorio. Este ensayo para probetas y testigos cilíndricos está muy relacionado con la temática del encabezado (ya abordada en detalle en otro artículo anteriormente publicado), tanto en el uso de mortero de azufre como de placas elastoméricas (neopreno). Por ello, es condición necesaria tener el encabezado validado para poder romper probetas o testigos a compresión. Las probetas cúbicas, empleadas en muchos otros países, tienen la ventaja de la no necesidad del encabezado, pero deben tenerse otros cuidados diferentes a los de las probetas cilíndricas.

En el presente trabajo, se brindan dos procedimientos de rotura de probetas: uno para prensas digitales automatizadas y otro para prensas manuales con dial analógico. Existen una gran variedad de prensas y puede establecerse un procedimiento específico empleando los dos publicados, ya que puede haber prensas automatizadas con lectura indirecta en aro dinamo-métrico o prensas manuales con lectura digital.

Las prensas que estrictamente cumplen con la norma IRAM 1546, siempre y cuando estén adecuadamente calibradas y verificadas, son las prensas automatizadas (para regular la velocidad de carga de forma precisa) y digitales (sin ábacos, ni tablas ni coeficientes de corrección). Sin embargo, es práctica común y lo consideramos aceptable para laboratorios de autocontrol de planta o laboratorios de obra, el empleo de prensas manuales, debido a su versatilidad y costo bastante inferior que las anteriores (entre 1/3 y 1/6). De allí que, si bien no corresponde según IRAM 1546 el uso de estas prensas manuales con dial analógico, será seguramente una herramienta muy útil para los

laboratorios de hormigoneras para pulir sus procedimientos y poder usarlo como medio de capacitación.

En tanto, a veces existen falencias en los ensayos a compresión, entre los que se pueden mencionar: no medir el diámetro de las probetas (considerando, sin fundamento, que todas las probetas miden 150 ó 100mm), la falta de centrado de las probetas, falta de rotación y limpieza de retenes de encabezados, el hecho de ir excesivamente rápido aplicando manualmente las cargas y romper una probeta de H-30 en medio minuto, así como el no retener la lectura máxima de los diales y "estar atento y estimar" cuando se produce la rotura. Todos estos aspectos influyen notablemente en las tensiones de rotura -en porcentajes entre el 5% y 15%- lo cual invalida directamente el ensayo ya que la norma IRAM solicita errores dentro del 1%. Además, otros factores pueden influenciar mucho más, como el uso de placas de neopreno inadecuadas sin validar o bien defectos en las probetas (irregularidades superficiales, falta de paralelismo o probetas con fisuras u oquedades) que pueden tirar para abajo las resistencias de forma notable y buscar los problemas en el hormigón o sus materiales cuando en realidad están en los ensayos. Por ello, es importante contar con procedimientos validados, prensas verificadas y calibradas, insumos calificados y, fundamentalmente, laboratoristas capacitados, dado que el factor humano es indispensable.

En los procedimientos adjuntos, también se describen las limitaciones de uso de las prensas con dial analógico con aros dinamométricos o cuidados específicos para ensayos de probetas de RDC o alivianados, que muchas veces no están contemplados en las normas de ensayo. »



1 - PRENSA AUTOMATIZADA CON VELOCIDAD DE CARGA CONTROLADA CON PROBETA YA ENSAYADA.



2 - MEDICIÓN DE DOS DIÁMETROS PERPENDICULARES AL CENTRO DE LA PROBETA.



3 - MEDICIÓN DE ALTURA CON ENCABEZADO (RELEVANTE PARA TESTIGOS DE HORMIGÓN).



4 - PROBETAS CON SERIOS DEFECTOS DE CONFECCIÓN QUE DEBEN SER OBSERVADAS O NO ENSAYADAS.



5 - CENTRADO DEL RETÉN METÁLICO DEL ENCABEZADO CON MARCAS CONCÉNTRICAS DE LA PRENSA.



6 - ROTURA DE PROBETA TIPO 4 SEGÚN IRAM 1524.



7 - DISPLAY INDICADOR AL FINALIZAR EL ENSAYO DE PRENSA DIGITAL CON VERIFICACIÓN Y CALIBRACIÓN VIGENTE.



8 - ROTURA DE PROBETAS EN PRENSA AUTOMATIZADA. HORMIGÓN (IZQUIERDA) Y RDC (DERECHA).

**1) ELEMENTOS NECESARIOS PARA EL ENSAYO:**

- 1. Prensas automatizadas (ampliamente recomendable) de lectura directa en kN o toneladas (o múltiplos).
  - 1.1. La prensa contará con visualización continua de carga y almacenamiento de carga máxima.
  - 1.2. Deberá poseer calibración/verificación anual según IRAM 1546 vigente e ISO 7500-1.
  - 1.3. En caso de usar la prensa en cargas < 20% de capacidad, se necesita calibración específica a baja carga.
  - 1.4. Sus platos metálicos deben ser de acero de dureza > a 55 HRC y contar con una rótula esférica.
  - 1.5. Espaciamiento entre platos adecuado con el tamaño de la probeta y el sistema de encabezado.
  - 1.6. El elemento de lectura de cargas debe tener una precisión del 1% de la carga del ensayo.
  - 1.7. Es muy relevante recordar que la protección (acrílico o reja) tiene que estar cerrada en el ensayo.
- 2. Calibre pie de rey (digital) con precisión de 0,1mm para medir el diámetro de la probeta o testigo.
- 3. Instrumento de medición de alturas (si corresponde) con precisión de 1mm para medir la altura.
- 4. Probetas o testigos cilíndricos con su sistema de encabezado verificado (IRAM 1709 o IRAM 1553).
  - 4.1. Para probetas de RDC y ciertos alivianados, no es necesario encabezado (nunca usar neopreno).
- 5. Es recomendable retirar las probetas de la piletta de curado 2 a 8 horas antes de su ensayo.
- 6. EPP necesarios, como guantes, botines de seguridad y gafas durante todas las operaciones.

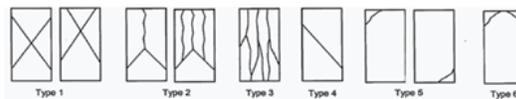
**2) MEDICIONES A REALIZAR SOBRE PROBETAS O TESTIGOS ANTES DEL ENSAYO:**

- 1. Se medirán dos diámetros normales en la mitad de altura de la probeta con precisión de 0,1mm.
  - 1.1. El diámetro D se calcula como el promedio de dos diámetros medidos y expresado en mm al 0,1mm.
- 2. La altura se medirá con precisión de 1mm (en caso de mortero de azufre, con encabezado).
  - 2.1. Para mediciones de mayor precisión, podrá tomarse el promedio de cuatro alturas (en mm).
  - 2.2. Con los cuatro valores obtenidos (centro y 3 cerca de bordes) se calcula el promedio de la altura h.
- 3. Para probetas de RDC u hormigones alivianados, es recomendable registrar el peso (10g más próximo).
  - 3.1. Para H° convencionales no es recomendable pesarlas ya que se informan densidades erróneas.

**3) PROCEDIMIENTO DE ENSAYO A COMPRESIÓN EN PRENSA AUTOMATIZADA:**

- 4. Antes del ensayo se limpian cuidadosamente las superficies de los platos y las bases de la probeta.
- 5. Revisar el encabezado antes de la rotura de las probetas (o de los testigos).
  - 5.1. Dar golpes suaves con elemento metálico para encabezado con mortero de azufre (sin sonido hueco).
  - 5.2. Examinar las placas de neopreno con fisuras de más de 10mm y darlos vuelta cada 15 a 30 ensayos.
  - 5.3. Se deberá contabilizar el número de usos de cada par de discos (máximo 100 en general).
  - 6. Se enciende la prensa desde el botón adecuado hasta que prenda su display y verificar que esté "en cero".

- 6.1. En algunas prensas debe apretarse un botón adicional HOLD (o similar) para retener la carga máxima.
- 7. Colocar la probeta o testigo con su encabezado centrado en ambos platos de la prensa (muy relevante).
  - 7.1. Cerrar siempre la jaula de protección antes de proceder al ensayo y utilizar gafas de protección.
  - 7.2. Cerrar la válvula de admisión de aceite o similar para forzar que el aceite vaya al pistón.
  - 7.3. En caso de testigos más bajos o de RDC sin encabezado, colocar platos o separadores metálicos.
  - 7.4. Para probetas o testigos encabezados con mortero de azufre, es necesario usar discos separadores.
- 8. En caso de algunas prensas automatizadas se podrá regular la velocidad de ensayo.
  - 8.1. Para H° y probetas 15 x 30cm la velocidad será de 6kN/s-0,6 ton/s (ó 0,4 MPa/seg).
  - 8.2. Para RDC (15 x 30cm) la velocidad recomendada es de 0,3kN/s-0,03 ton/s (ó 0,02 MPa/seg).
  - 8.3. Para testigos 4" y probetas 10 x 20cm la velocidad será de 3kN/s-0,3 ton/s (ó 0,4 MPa/seg).
  - 8.4. Para testigos 3" y probetas 10 x 20cm la velocidad será de 1,5kN/s-0,15 ton/s (ó 0,4 MPa/seg).
- 9. Pulsar PLAY (o similar) para comenzar el ensayo y esperar a que se produzca la rotura.
  - 9.1. Para prensas semi-automatizadas, regular los valores de velocidad de carga anteriores (+/- 30%).
  - 9.2. Verificar visualmente apartamientos de la verticalidad y de apoyo de la rótula al inicio del ensayo.
  - 9.3. Visualizar hasta cerca del 10% de la carga de rotura aprox. Si hay algún desvío, descargar la prensa.
  - 9.4. Si durante la rotura hay estallidos tempranos y baja de carga, registrarlo como anomalía.
- 10. Cuando se rompe la probeta, la prensa suele detenerse automáticamente y arroja la carga máxima (Q).
- 11. Luego hay que abrir la válvula de aceite o similar para que descienda el pistón.
- 12. Se registra la rotura y se aprecia el tipo de rotura según IRAM 1546 (ver figuras adjuntas):



- 13. Luego se pulsa el botón salir (o similar) y, eventualmente, el resultado se almacena en algún dispositivo.
- 14. Se procede a las diferentes roturas del día, previa limpieza de platos de restos de hormigón en cada caso.

**4) CÁLCULOS Y CONTENIDO DEL INFORME SEGÚN IRAM 1546:**

15. Resistencia a compresión de la probeta (σ<sub>c</sub>)  $\sigma_c = \frac{4000 \cdot Q}{\pi \cdot D^2}$  Redondear a 0,1MPa Q = Carga Rotura en kN D = Diámetro en mm

- 15.1. Para testigos, corregir por esbeltez (E=h/D), multiplicando por (0,128\*E<sup>3</sup>-0,689\*E<sup>2</sup>+1,3014\*E+0,130).
- 16. Informar prensa, operario, fecha de rotura, tipo de encabezado, cliente, obra y responsable de muestreo.
- 17. De cada probeta: fecha de moldeo, diámetro, altura, carga de rotura, tensión de rotura y defectos si posee.
  - 17.1. En caso de poseer defectos, indicar con (X), \* o similar y citar el tipo de defecto antes de la rotura.



1 - CALIBRACIÓN DE PRENSA MANUAL CON DISPLAY DIGITAL.



2 - PRENSA MANUAL CON ARO DINAMOMÉTRICO.



3 - ARO DINAMOMÉTRICO CON RELOJ ANALÓGICO DE PRENSAS MANUALES.



4 - SISTEMA DE DOS PISTONES PARA GRANDES Y PEQUEÑOS MOVIMIENTOS.



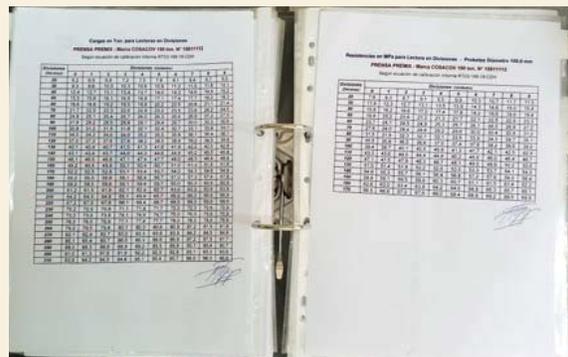
5 - RÓTULA ESFÉRICA SUPERIOR QUE DEBE POSEER BUENA MOVILIDAD.



6 - AROS Y DISCOS DE NEOPRENO PARA PROBETAS DE 10X20 (COMPATIBLES CON PRENSAS MANUALES).



7 - LABORATORISTA DURANTE EL ENSAYO.



8 - TABLAS TIPO PARA CARGAS Y TENSIONES DE ROTURA.

**1) ELEMENTOS NECESARIOS PARA EL ENSAYO:**

1. Prensa manual con indicación de carga o divisiones en reloj (0,01mm analógico o 0,001mm digital).
  - 1.1. El reloj comparador tendrá contacto y, apenas comience a ejercer carga, deberá marcar lectura.
  - 1.2. La prensa deberá poseer calibración/verificación anual según IRAM 1546 vigente e ISO 7500-1.
  - 1.3. No es recomendable emplear para lecturas menores a 50 divisiones y no puede usarse < 25.
  - 1.4. En prensas de 100 ó 150 tons con reloj, no pueden ensayarse testigos de 3" o probetas de RDC.
  - 1.5. Deberá contar con una rótula esférica adecuadamente engrasada y con movimiento asegurado.
  - 1.6. Espaciamento entre platos adecuado con el tamaño de la probeta y el sistema de encabezado.
  - 1.7. Es muy relevante recordar que la protección (acrílico o reja) tiene que estar cerrada en el ensayo.
2. Medición de diámetro: Si bien es exigible, para autocontrol de planta en algunos casos no se cuenta.
3. Medición de altura: no es un parámetro relevante para las probetas 10x20 ó 15x30, sí en testigos.
4. Probetas cilíndricas con su sistema de encabezado verificado (IRAM 1709 o IRAM 1553).
5. Es recomendable retirar las probetas de la piletta de curado 2 a 8 horas antes de su ensayo.
6. EPP necesarios, como guantes y gafas, durante todas las operaciones.

**2) MEDICIONES A REALIZAR SOBRE PROBETAS ANTES DEL ENSAYO:**

1. Es recomendable medir los diámetros según IRAM 1546 con pie de rey digital o similar (Ver HE04a).
  - 1.1. En caso de no medir la probeta, pueden tener variaciones de hasta 7% de la tensión real de rotura.
  - 1.2. Los diámetros reales oscilan de 144 a 153mm y por ej. en 30MPa, son 2MPa el 7% indicado.
  - 1.3. En autocontrol con moldes de 148 a 151mm pueden tenerse errores del 4% al no medir el diámetro.
  - 1.4. La aceptación o no de estos errores dependerá del SGC de la planta o del laboratorio de obra.
2. No deben pesarse las probetas de hormigón, menos aún si no se miden (práctica habitual).

**3) PROCEDIMIENTO DE ENSAYO A COMPRESIÓN EN PRENDA MANUAL:**

3. Antes del ensayo se limpian cuidadosamente las superficies de los platos y las bases de la probeta.
4. Revisar el encabezado antes de la rotura de las probetas para detectar o inferir posibles defectos.
  - 4.1. Dar golpes suaves con elemento metálico para encabezado con mortero de azufre (sin sonido hueco).
  - 4.2. Examinar las placas de neopreno con fisuras de más de 10mm y darlos vuelta cada 15 a 30 ensayos.
  - 4.3. Se deberá contabilizar el número de usos de cada par de discos (máximo 100 en general).
5. Se colocan los discos separadores para que el recorrido del pistón no supere 2,0 a 2,5 cm ("un dedo")
6. Se cierra manualmente la válvula de admisión de aceite o similar, para forzar al aceite que suba el pistón
7. Se coloca la barra en el pistón grande (mayor diámetro) y se comienza a ejercer presión.

- 7.1. Cuando se llega a 5 a 15 divisiones (ó 2 a 4 toneladas) según la prensa, se cambia la palanca.
- 7.2. Algunas prensas tienen una sola palanca y pistón, la cual debe usarse para todas las etapas.
8. Se coloca la palanca en el pistón de pequeños movimientos (menor diámetro), si dispone de ella.
  - 8.1. Se comienza a dar presión de forma pausada, controlada y de manera constante, sin cambios bruscos.
  - 8.2. Debe determinarse alguna velocidad para cumplir con los requerimientos de IRAM 1546:
  - 8.3. Por ejemplo, si 100 divisiones corresponden 32 toneladas, se calcularán las toneladas / segundo
  - 8.4. Ej: 100 divisiones a 0,6 tons/s (Probetas 15x30) debería realizarse en 45 a 65 segundos.
  - 8.5. Ej: 100 divisiones a 0,3 tons/s (Probetas 10x20) debería realizarse en 90 a 130 segundos.
  - 8.6. El operario deberá estar capacitado de la velocidad de carga recomendada de su máquina
9. Se continúa con la velocidad regulada hasta la rotura, la prensa debe tener dispositivo para su retención.
  - 9.1. Si no dispone de retención de carga máxima, deberá grabarse o similar, sino existen errores groseros
  - 9.2. Se registra la división máxima (reloj en formato 172 por ej, 1,72 mm), si es posible a la 1/2 división (0,5 div)
  - 9.3. En función de esta lectura, se entra a la "tabla" de estas prensas y se obtiene la carga de rotura
  - 9.4. También puede obtenerse la carga mediante la ecuación de calibración (más preciso que la "tabla")
  - 9.5. Si es manual de carga directa, se registra la carga (y eventualmente se aplican coeficientes correctores)
10. Luego se abre la válvula o similar de admisión de aceite y se espera a que se baje el pistón.
  - 10.1. En caso que no baje solo, podrán usarse suplementos y un gato hidráulico o similar, para bajarlo,
  - 10.2. En caso de recorrido importante, hay que usar discos separadores (superior o inferior a la probeta).
11. Se debe apreciar si hubo rotura de esquina anómala o cualquier indicio de error en el ensayo.
  - 11.1. Si hay "roturas intermedias" y baja el reloj en el ensayo y luego supera la carga alcanzada, registrarlo.
12. Se procede a las diferentes roturas del día, previa limpieza de platos de restos de hormigón en cada caso.

**4) RESULTADO DEL ENSAYO A COMPRESIÓN:**

13. En función de la carga máxima, puede obtener la tensión de rotura:
  - 13.1. De forma más precisa, dividiendo la carga obtenida por la sección como indica IRAM 1546 (ver HE04a).
  - 13.2. De manera menos precisa, mediante empleo de tablas para diámetros estandarizados (150 ó 100mm).
  - 13.3. En caso de "tablas de tensiones", se obtiene la tensión con mayor error al no medir la probeta.
14. En caso de confeccionar un informe, deben citarse los aspectos indicados en IRAM 1546.
  - 14.1. Si no se mide el diámetro o no se cuenta con prensas según IRAM 1546, debe aclararse en el informe.
  - 14.2. Cualquier apartamiento con los procedimientos de ensayos deben plasmarse o bien no citar IRAM 1546.
  - 14.3. Si el resultado está entre 25 y 50 divisiones informarlo con reserva; menos de 25 divisiones no informarlo.
15. En caso de poseer defectos, indicar con (X), \* o similar y citar el tipo de defecto antes de la rotura.

## ENSAYOS PASO A PASO DEL HORMIGÓN ENDURECIDO:

# Extracción de testigos cilíndricos

♦ POR EL MS. ING. MAXIMILIANO SEGERER, DE LA FIRMA CONTROL Y DESARROLLO DE HORMIGONES / [WWW.CDHORMIGONES.COM.AR](http://WWW.CDHORMIGONES.COM.AR)

Una práctica muy habitual tanto para diagnosticar estructuras (fisuras, juntas frías, defectos de colado y profundidad de aserrado) como para medir la resistencia efectiva del hormigón de la obra, es la extracción y posterior encabezado y rotura de testigos cilíndricos. Respecto al encabezado, que ya fue descrito en el pasado número de la revista *Hormigonar*, es altamente recomendable trabajar con mortero de azufre según IRAM 1553. Es muy relevante elegir bien los puntos y extraer adecuadamente los testigos ya que estos son “los que declaran la verdad” y para ello deben cumplirse los procedimientos asociados.

En la Argentina, la norma IRAM 1551 es la que brinda los lineamientos generales sobre la extracción y preparación de los testigos. Sin embargo, la normativa es totalmente genérica ya que depende de la técnica y máquina a utilizar. Si bien el procedimiento puede parecer extenso, con buena práctica y laboristas capacitados es posible extraer de 40 a 60 testigos por jornada, dependiendo de los elementos.

De allí que resulta útil tener un procedimiento Paso a Paso, para realizar esta primera tarea de extracción y acondicionamiento como corresponde con el objeto principal de no alterar la muestra de hormigón y que la misma sea representativa de la estructura. El procedimiento dependerá de los equipos que se poseen, con lo cual puede haber cierta variabilidad en función de las máquinas que se dispongan en la planta hormigonera o en la obra, pero es de ayuda

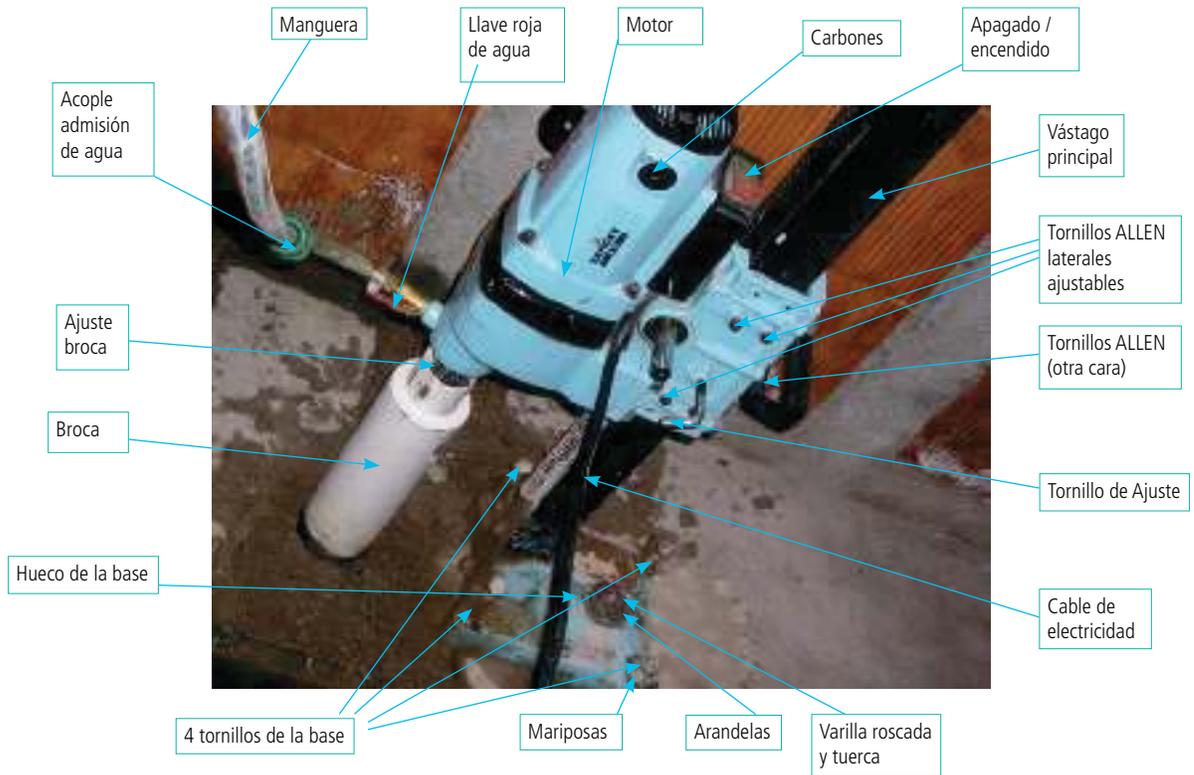
para planificar y realizar la extracción en función de diferentes elementos estructurales.

No sólo es extraer el testigo, sino también planificarlo y definir qué cantidad deben extraerse, de qué lugares, con qué diámetro de broca, si se cortan o no armaduras, etc. Para ello hay que consensuar la estrategia de ensayos con los profesionales actuantes de obra y elegir los elementos más accesibles y representativos del hormigón cuestionado.

Respecto a cortar armaduras, los detectores no suelen traer los mejores resultados y en muchos casos es inevitable cortar barras, con lo cual si esto ocurre y la sección transversal no supera el 4% y se aprecia visualmente que no hay defectos en la zona en contacto del acero y el hormigón, no hay que tomar medidas adicionales. Si existen defectos o se ha cortado una barra de gran diámetro, deberá continuarse en el núcleo del hormigón un testigo “más largo”, para luego cortar la zona de la armadura antes del ensayo.

Sobre el estado de humedad de los testigos en el momento ensayo, los testigos húmedos suelen dar resultados menores que los secos. Si el elemento estructural va a estar en su servicio humedecido, deben sumergirse 40 horas antes del ensayo; mientras que si el hormigón estará en su vida útil sin presencia casi permanente de humedad, debe ensayarse en seco, luego de 48 horas de realizada la extracción (para eliminar el agua que pueda contener el testigo por la misma extracción).

»



➤ Dos máquinas en serie para la extracción de testigos en canal.



➤ Máquina con burlete y bomba de vacío (ahorro de tiempo en fijación)



➤ Extracción de testigos con andamios y medidas de seguridad adecuadas.



➤ Extracción de dos testigos con la misma fijación (muy recomendable).

### 1) ELEMENTOS NECESARIOS PARA LA EXTRACCIÓN DE TESTIGOS

1. Máquina extractora de testigos en buen estado de funcionamiento con sus accesorios.
2. Toma eléctrica o grupo electrógeno en las cercanías del elemento con prolongadores necesarios.
3. Provisión de agua de manera continua durante toda la extracción de testigos (manguera, acoples, etc.).
  - 3.1 Podrá realizarse con manguera a presión baja o con un sistema de bomba manual, acoplados a la máquina.
  - 3.2 Puede realizarse conectando una manguera a un bidón a cierta altura (30cm encima de la máquina al menos).
  - 3.3 La longitud de manguera debe ser como mínimo de 1m y poseer medios para provisión continua de agua.
4. Broca diamantada de diámetro adecuado (según CIRSOC 201 el diámetro mínimo es de 3").
  - 4.1 Broca de 3" para elementos generales de hormigón armado y con TMN de 1" o inferior.
  - 4.2 Broca de 4" para pisos industriales (determinar espesor) y para TMN de hasta 32mm (1 1/4").
  - 4.3 Broca de 5" a 6" para pavimentos o elementos con TMN de hasta 2".
  - 4.4 Es recomendable, al menos en algunos puntos, extraer dos testigos por fijación para verificar valor de ensayo.
5. En caso de que se usen fijaciones con expansión mecánica, se necesitará:
  - 5.1 Rotomartillo o taladro de mano con mechas  $\phi$  16mm (en general) y su toma correspondiente a 220V.
  - 5.2 Fijaciones metálicas tipo, 2 llaves combinadas para ajuste/desajuste, martillo, taco de hincas y pera de goma.
  - 5.3 Varilla roscada, arandelas y tuercas varias y otras herramientas menores.
6. En caso de fijación con bomba de vacío, poseer la bomba y burlate inferior de la máquina en condiciones.
7. Para extraer (o "cortar") el testigo, un cortafierro o similar y martillo y ocasionalmente alambre fino.
8. Juego de llaves ALLEN y llave combinada pequeña para ajuste/regulación de la máquina (si es necesario).
9. EPP necesarios para las diferentes actividades (gafas, protector auditivo, ropa de trabajo, guantes, etc.).

### 2) ACONDICIONAMIENTO PREVIO A LA EXTRACCIÓN

10. Se deberán marcar previamente, de forma aproximada, los lugares de extracción con una cruz, círculo o similar.
  - 10.1 En caso de superficies que puedan tener fisuras, mojar la superficie y esperar que seque para apreciarlas.
11. Para cada testigo, se buscará un área relativamente plana para el mejor apoyo de la máquina.
  - 11.1 En el área plana, a unos 20-30cm de la posición del testigo, se marcará el lugar para realizar la fijación.
12. Se coloca la broca adecuada en la máquina de ensayo y se enrosca manualmente hasta que ajuste.
13. Los cuatro tornillos inferiores y mariposas estarán libres, no apoyando la máquina en los tornillos sino en la base.
  - 13.1 Procurar que el tornillo lateral de fijación esté ajustado con la broca en posición.
14. En caso de requerir evitar cortar armaduras o al

menos reducir las armaduras cortadas, se puede:

- 14.1 Emplear un detector de metales, marcar la "grilla" y colocar la broca al centro (a veces no es efectivo).
- 14.2 Relevar fisuras y armaduras salientes superiores por ejemplo y con una plomada, determinar su posición.

### 3) FIJACIÓN DE LA MÁQUINA DE ENSAYO

15. En caso de bomba al vacío, encender la bomba y sostener la máquina hasta lograr el vacío necesario (pasar a 4).
16. Se realiza una perforación con el rotomartillo (modo giro y percusión) de aproximadamente 5cm de profundidad.
  - 16.1 Se limpia el polvo con la pera de goma introducida en el agujero dejado por el taladro, quitando la cara del lugar.
  - 16.2 Se presenta una fijación (parte hueca arriba) y se aprecia si solo con la ayuda de la mano entra en el agujero.
  - 16.3 En caso de no entrar, se vuelve a repasar el agujero con el rotomartillo de forma un poco inclinada.
  - 16.4 Se deberá repasar hasta que al menos ingrese la mitad de la fijación sin forzarla excesivamente.
17. Posicionada la fijación, se coloca el taco de hincas sobre ésta y se martilla enérgicamente su parte superior.
  - 17.1 En el momento que se escucha un sonido metálico y el taco no puede penetrar más, se retira el taco de hincas.
18. Se coloca la varilla roscada sobre la fijación y se enrosca al menos 2cm (o hasta el fondo de la fijación).
  - 18.1 En caso de no poder realizarlo manualmente, se colocan dos tuercas en la parte superior de la varilla roscada.
  - 18.2 Con ayuda de las llaves combinadas se enrosca la varilla en la fijación y se retiran las tuercas con ambas llaves.
19. Si en cualquiera de estas tareas se aprecia algún defecto o movilidad de la fijación, ésta se realiza nuevamente.
20. Para fijar la máquina de ensayo, una vez colocada la varilla roscada, se procede como se detalla:
  - 20.1 Se coloca la base de la máquina de forma que en su hueco interior de la base quede la varilla roscada.
  - 20.2 En caso de apoyar la broca y no la base, se desajusta el tornillo de sujeción y se sube la broca (sentido horario).
  - 20.3 Se colocan dos arandelas en la varilla roscada y se bajan manualmente hasta tomar contacto con la base.
  - 20.4 Se coloca una tuerca y manualmente se ajusta hasta que tomen contacto con las arandelas metálicas.
  - 20.5 Se ajustan manualmente los cuatro tornillos de la base hasta que tomen contacto con la base.
  - 20.6 Se ajusta con la llave la tuerca de la varilla, sin robarla, hasta que se aprecie un ajuste adecuado de la máquina.
  - 20.7 Se ajustan con la llave combinada los cuatro tornillos sin forzarlos en demasía y se ajustan las mariposas.
  - 20.8 Por último, intentar reajustar sin forzar la tuerca sobre las arandelas y no deberá casi moverse.
21. En caso de tabiques se necesitarán dos personas, una para sostener la máquina y otra para los ajustes.
22. Una vez ajustada, intentar mover el vástago principal para apreciar si ha quedado firme; si no es así volver a 6.
23. En caso de extraer dos o más testigos en la misma posición (fijación), se procede como sigue:
  - 23.1 Se concluye un testigo, se afloja la tuerca de la varilla roscada y se rota la máquina a la nueva posición.
  - 23.2 Se desajustan los cuatro tornillos inferiores y vuelve a procederse como se indicó en el punto 23.



➤ Provisión de agua durante la extracción en pavimentos con broca de 4 pulgadas.



➤ Es muy relevante que la fijación quede bien sujeta al hormigón.



➤ Tareas de fijación de máquinas convencionales (muy relevante).



➤ Ensayo de aspersión de fenolftaleína inmediatamente después de la extracción.



➤ Uso de martillo y cortafierro para no sacar el testigo en todo el espesor.



➤ Reparación de huecos dejado por testigos con grout cementicio.



➤ Acondicionamiento adecuado de testigos para su envío al laboratorio.



➤ Refrentado adecuado (esbeltez 1 a 2) y encabezado con mortero de azufre de testigos.

**4) REALIZACIÓN DE LA PERFORACIÓN O TALADRO DEL HORMIGÓN ENDURECIDO**

1. Se deberá asegurar la provisión de agua continua durante toda la extracción del testigo.

1.1 Se conectará una manguera con acople específico al final a la máquina, hasta escuchar un sonido de "clic".

1.2 Se deberá apreciar que sale agua por la parte central de la broca humedeciendo la superficie de hormigón.

1.3 En caso de ser excesiva la presión, podrá regularse con la llave de paso en la máquina de ensayo.

2. Se conectará la máquina de ensayo a la provisión de energía recién en este momento.

2.1 Se enciende la máquina con la broca ligeramente sobre la superficie de hormigón y se desajusta el tornillo lateral.

2.2 En caso que la máquina vibre, deberán reajustarse las tuercas y tornillos ALLEN de la máquina de ensayo.

2.3 Para lo anterior, se desajustan las 6 a 10 tuercas pequeñas (con llave combinada pequeña) levemente.

2.4 A continuación, sin forzarlas, se ajustan los tornillos ALLEN, y luego se reajustan las tuercas pequeñas.

3. Con el comando o barra lateral, comienza a descenderse la broca (sentido antihorario) hasta que toque la superficie.

3.1 El contacto debe ser muy suave sino vibrará y podrá afectarse la máquina de ensayo y su eje.

3.2 Lentamente, y siempre con la presencia de agua que sale por la broca, comienza a perforarse el primer centímetro.

3.3 En caso de vibraciones excesivas, reiterar un ingreso más despacio o cambiar de posición.

4. En caso de chispas, humo u olores extraños, apagar inmediatamente la máquina extractora de testigos.

5. Durante toda la extracción tener cuidado de que el cable no esté próximo a la broca ni que tome contacto con el agua.

6. Una vez penetrado el primer centímetro, lentamente se irá realizando la perforación hasta la profundidad deseada.

6.1 La profundidad necesaria es para broca de 3" entre 8 y 14cm y para broca de 4" entre 11 y 19cm.

7. Durante todo momento, apreciar visualmente si los cuatro tornillos inferiores están fijos y no vibran.

7.1 En el caso de que en las mariposas de sujeción se presente movimiento, detener la extracción del testigo.

7.2 Se ajustarán con llave adecuada y se proseguirá normalmente la extracción de testigos.

8. Durante todo momento, apreciar si existe provisión de agua suficiente (aspecto muy relevante).

8.1 En caso que aparezca polvillo sin agua o se aprecie humo en la broca de testigos, se detiene la extracción.

8.2 Si se aprecia un barro espeso en la broca y hormigón, significa que el agua no está actuando correctamente.

8.3 Solucionar el problema de provisión de agua y continuar normalmente con la extracción del testigo.

9. En caso de presencia de armaduras, proseguir como se detalla a continuación:

9.1 Las brocas en general cortan armaduras hasta  $\phi$  10 a 12, debiendo disminuir la velocidad de extracción.

9.2 Se sentirá en la velocidad de la máquina (penetrar más lento) y al cortar la barra, continuar a mayor velocidad.

9.3 En caso de no poder cortar armaduras o  $\phi$  superiores, se notará en la máquina cuando se encuentra una barra.

9.4 En ese caso, detener la extracción, subiendo la broca para poder apreciar la ubicación de la barra.

9.5 Con ayuda de una linterna y extrayendo agua con la pera de goma se observará la dirección de la barra.

9.6 Se desajusta la tuerca de ajuste y se mueve la máquina para evitar cortarla en la próxima extracción.

9.7 Se vuelve a ajustar en la nueva posición la máquina,

tal cual se describió anteriormente en el punto 3 (Fijación de la máquina de ensayo).

**5) RETIRO Y ACONDICIONAMIENTO DEL TESTIGO PREVIO A SU ENSAYO**

10. Una vez alcanzada la profundidad adecuada de perforación se retira la broca lentamente de su posición.

10.1 Se apaga el interruptor principal y se desconecta a la corriente eléctrica o se apaga el grupo electrógeno.

10.2 Se ajusta la broca con el tornillo lateral de ajuste y se desajusta la tuerca de la varilla roscada.

10.3 Se desajustan las mariposas y cuatro tornillos inferiores, se quitan las arandelas y se retira la máquina.

11. Si el testigo de hormigón no se encuentra en la broca (pisos o pavimentos, por ejemplo), se procede del siguiente modo:

11.1 Se coloca el cortafierros en el agujero (perforación) dejado por la broca y se golpea suavemente con el martillo.

11.2 Se golpea suavemente en uno o dos lados hasta que el hormigón rompe en la parte inferior.

11.3 Se saca a mano y en caso de mayor dificultad, se realiza un aro con alambre fino y se levanta el testigo.

12. Si el testigo de hormigón queda dentro de la broca o se ha desprendido un trozo superior del mismo:

12.1 Con la máquina desconectada y en vertical, se golpea suavemente con un martillo la broca en su perímetro.

12.2 Se apreciará que el testigo lentamente va descendiendo, siendo una labor que puede tomar hasta 10 minutos.

13. Se aprecia que el testigo tenga una longitud útil mínima. Para broca 3" de 7cm y para broca 4" de 10cm.

14. Respecto a la fijación y a la varilla roscada que quedan en la posición de extracción:

14.1 La fijación se pierde en la mayor parte de los casos, quedando embutida en el hormigón.

14.2 La varilla roscada es reutilizable y tiene que retirarse; si es posible se desenrosca manualmente con guante.

14.3 De exigir mayor esfuerzo, se colocan dos tuercas en la varilla y se ajustan fuertemente entre ambas.

14.4 Con ayuda de la llave se desajusta la varilla de la fijación y queda lista para su próximo empleo.

15. Se deja el testigo a un costado de la perforación y se espera a que se seque superficialmente.

15.1 En caso de realizar la comprobación de carbonatación por fenolftaleína deben transcurrir menos de 3 minutos.

16. Se identifica con un marcador indeleble (o marcador de pintura) el testigo en su parte superior y en la parte lateral.

16.1 Deberá consensuarse con anterioridad una codificación específica para garantizar trazabilidad.

16.2 En caso de presentar fisuras (se aprecian cuando se va secando el testigo), será observado como "fisurado".

17. Una vez extraídos todos los testigos de la jornada, se limpia adecuadamente la máquina y se quita la broca.

18. En laboratorio, se deben refrentar una o las dos caras del testigo, lo cual puede realizarse:

18.1 Sujetada en una morsa o similar con disco de desbaste diamantado hasta lograr adecuada planicidad.

18.2 Bien sujeta y corte con una sierra sensitiva o similar, pudiendo cortar una o las dos caras según se convenga.

18.3 Se mide la altura y se calcula la esbeltez ( $E=h/D$ ) que debe estar comprendida entre 1 y 2.

19. El encabezado, altamente recomendable para los testigos, es con mortero de azufre (IRAM 1553).

19.1 Con el refrentado debe lograrse una adecuada planicidad según IRAM 1553, sino reaserrar o desbastar más.

## ENSAYOS PASO A PASO DEL HORMIGÓN ENDURECIDO

# Resistencia a tracción indirecta del hormigón

◆ POR EL MS. ING. MAXIMILIANO SEGERER, DE LA FIRMA CONTROL Y DESARROLLO DE HORMIGONES / WWW.CDHORMIGONES.COM.AR

**A** En muchos proyectos es necesario determinar la resistencia a tracción del hormigón y el uso de tablas o recomendaciones bibliográficas puede traer grandes desvíos respecto a los resultados reales con recursos locales, más aún en un país con tanta diversidad de materiales. También es de suma utilidad la evaluación de la evolución de estos parámetros mecánicos en el tiempo. Es sabido, pero a veces no cuantificado, que la resistencia a tracción indirecta tiene una evolución mucho más rápida que la resistencia a compresión, lo cual tiene relevancia para habilitación temprana de pavimentos o, por ejemplo, en modelaciones estructurales donde la resistencia a tracción en los primeros días juega un rol fundamental en el riesgo de fisuración del hormigón endurecido. Los dos métodos más empleados y normalizados en nuestro país para determinar la resistencia a tracción del hormigón son los ensayos de flexión de vigas con cargas en los tercios medios y el ensayo por compresión diametral, conocido también como método brasilero aplicado a probetas o testigos cilíndricos. Estos dos métodos, que son los que se explicarán paso a paso en el presente artículo, miden la resistencia a tracción indirecta del hormigón, no habiendo ensayo práctico, sencillo o consensuado para determinar la resistencia a tracción directa. En líneas generales, la resistencia a flexión es mayor que la resistencia a tracción por compresión diametral (cerca de un 30%) y a su vez, esta última, es algo mayor, cerca de un 10-15% a la resistencia a tracción directa. Las correlaciones entre todos los valores no están unificadas y dependen de las características de los materiales empleados, como el tipo de cemento y ganancia de resistencias o el tipo de agregados (rodados o triturados). Con el advenimiento de la nueva Norma IRAM 1666 de hormigón elaborado, en la cual se hace hincapié en el pedido por performance del hormigón, el cliente no sólo podrá solicitar

un hormigón con determinada resistencia a compresión sino también en base a otros parámetros, como módulo de elasticidad, ensayos de durabilidad (como penetración de agua o succión capilar) o bien mediante la resistencia a tracción indirecta del hormigón. Por ello, estos ensayos, que muchas veces no se realizan en hormigoneras, cobrarán importancia para poder cumplir de forma racional, es decir optimizando el uso de los recursos, con los requerimientos del cliente y demostrar por prestación el hormigón. Así, por ejemplo, un cliente podrá pedir un hormigón con resistencia a flexión de 4,0MPa a 7 días sin otra especificación por resistencia a compresión; y el proveedor deberá garantizar el cumplimiento de esta propiedad realizando ensayos para caracterizar sus hormigones con sus materiales. O bien, el proveedor deberá investigar mediante estos ensayos con qué categoría resistente (H-XX) cumple con los requerimientos del cliente, al menor costo posible.

Es arbitrario pero sólo con estimaciones preliminares se pueden aplicar coeficientes porcentuales relacionando ambos parámetros mecánicos. Por ejemplo, establecer que la resistencia a flexión a los 28 días está entre el 10,5% y el 14,0% de la resistencia a compresión. El primer valor puede ser una realidad para agregados rodados y hormigones de resistencias superiores a 50MPa, mientras que el segundo puede ser aplicable a agregados triturados como los basálticos. No obstante, estas recetas quitan confiabilidad al producto entregado y, para el ejemplo presentado, tomar un valor u otro no es un 3,5% de diferencia, sino más de un 25% en la resistencia así estimada. Por ello, y como se verá en los próximos artículos Paso a Paso, la nueva Norma IRAM de Hormigón Elaborado obligará a profesionalizar a los laboratoristas para responder a las demandas actuales, que no sólo se basan en que un hormigón resista XXMPa a 28 días. »



1 - CALIBRACIÓN A BAJA CARGA DE BASTIDOR ESPECÍFICO. SI SE USA EL BASTIDOR DE LA PRENSA DEBE TENER CALIBRACIÓN A BAJA CARGA (EN EL RANGO DE 20 A 80KN).



2 - PROBETAS CON ADECUADA TRAZABILIDAD EN PILETA DE CURADO JUSTO ANTES DEL ENSAYO (NO PUEDEN ENSAYARSE EN ESTADO SECO).



3 - DISPOSITIVO ESPECÍFICO PARA COLOCAR EN EL BASTIDOR DE LA PRENSA CON LIBERTAD DE MOVILIDAD DE APOYOS.



4 - DEMARCACIÓN EN DOS CARAS DE POSICIÓN DE APOYOS Y CARGAS (CADA 15 CM EN GENERAL Y EN ESTADO HÚMEDO).



5 - SI NO ASIENTAN BIEN LOS APOYOS (CUALQUIERA DE LOS CUATRO) DEBE TRATARSE LA ZONA DE APOYO.



6 - REGULACIÓN DE CARGAS DURANTE EL ENSAYO (0,15KN POR SEGUNDO).



7 - APRECIACION DE ROTURA DENTRO DEL TERCIO MEDIO PARA VALIDAR EL ENSAYO.



8 - MEDICIÓN DE LA ALTURA DE LA PROBETA DESPUÉS DEL ENSAYO (ENTRE CARA RUGOSA Y CARA OPUESTA). DEBE MEDIRSE TAMBIÉN EL ANCHO Y DIFERENCIARLO.

**1) ELEMENTOS NECESARIOS PARA EL ENSAYO:**

1. Máquina de ensayo o prensa con sistema de regulación de cargas para su aplicación continua.
  - 1.1. Sus platos metálicos deben ser de acero de dureza > a 55HRC y constar con una rótula esférica.
  - 1.2. Espaciamiento entre platos adecuado con el tamaño (diámetro) de la probeta.
  - 1.3. Elemento de lectura de cargas con una precisión del 1% de la carga del ensayo.
  - 1.4. Dispositivo para apreciar la carga máxima que debe estar entre el 20 y 90% de la capacidad.
  - 1.5. Placas o barra de apoyo suplementario de dimensión igual o mayor que la probeta a ensayar.
  - 1.6. También existen dispositivos precisos para compresión por tracción diametral.
2. Listones de madera blanda o similares de altura de 3 a 4mm, ancho 4,5cm y largo mayor a la probeta.
3. Elemento de medición adecuado con precisión de 0,1mm para medir el diámetro de la probeta.
4. Elemento de medición con precisión de 1mm para medir la altura (largo) de la probeta.
5. Probetas cilíndricas o testigos refrentados de hormigón cilíndricos sin tener ningún encabezado.

**2) VERIFICACIÓN Y CALIBRACIÓN DE LA MÁQUINA DE ENSAYO:**

6. Deberá calibrarse al menos una vez al año, cuando se repare algún mecanismo o se mueva de posición.
7. El error de lectura dentro de las escalas en que la máquina puede ser utilizada deberá ser menor al 1%.

**3) MEDICIONES A REALIZAR SOBRE PROBETAS O TESTIGOS CILÍNDRICOS:**

11. Se medirán tres diámetros: dos a 20mm de los extremos y el otro en la mitad de altura de la probeta.
2. El diámetro D se calcula como el promedio de tres diámetros medidos y expresado en mm al 0,1mm.
3. Se deben realizar 3 mediciones de la altura (largo de la probeta) con precisión de 1mm.
4. Con los tres valores obtenidos se calcula el promedio del largo L y se redondea al mm más próximo.

**4) PROCEDIMIENTO DE ENSAYO A COMPRESIÓN DIAMETRAL:**

5. Antes de iniciar el ensayo se limpian cuidadosamente las superficies de los platos de la prensa.
6. La probeta debe ser conservada antes del ensayo en curado húmedo o envuelta en trapos húmedos.
7. Se traza en cada extremo de la probeta una línea recta de modo que las dos líneas estén en un plano.
8. Estas líneas servirán como guía para la colocación de los listones de madera.
9. Se coloca la probeta de modo que quede apoyada a lo largo de una generatriz en el plato de la prensa.
10. Se colocan bien centrados entre los platos y la probeta, los dos listones de madera blanda sin defectos.
  - 10.1. Los listones de madera deben utilizarse una vez, es decir, desecharse después del ensayo.
11. Se ajustan los platos de la máquina hasta que se obtenga una compresión que mantenga la probeta.
  - 11.1. En general esta tarea debe realizarse manualmente, hasta que quede comprimida la probeta.
12. El contacto entre la probeta y los platos de la prensa debe ocurrir sólo a lo largo de los listones.

13. Se aplica la carga en forma continua sin choques bruscos con velocidad de carga de  $0,016 \pm 0,005$  MPa/s.

13.1. En probetas de 15 x 30cm la velocidad será de  $1,1 \pm 0,4$  kN/seg.

13.2. En probetas de 10 x 20cm la velocidad será de  $0,5 \pm 0,2$  kN/seg.

14. Se mantiene la velocidad constante hasta la rotura de la probeta.

14.1. La rotura debe ser en forma de un plano paralelo a las cargas (puede romperse en el piso para verificar).

15. Se registra el valor de la carga máxima alcanzada F en kilonewton en el momento de la rotura.

**5) CÁLCULOS:**

$$16. \text{ Resistencia a tracción por compresión diametral (f}_{TD}) = \frac{2 \cdot F_{kv} \cdot 1000 \text{ (factor dimensional)}}{\pi \cdot D_{mm} \cdot L_{mm}} \text{ Redondear al 0,05 MPa}$$

17. Siempre es recomendable romper 3 probetas por edad y correlacionarla con 2 probetas a compresión.

**6) CONTENIDO MÍNIMO DEL INFORME:**

18. El informe del ensayo debe contener como mínimo los siguientes datos:

18.1. Identificación indeleble de la probeta y su procedencia (obra, cliente, etc.).

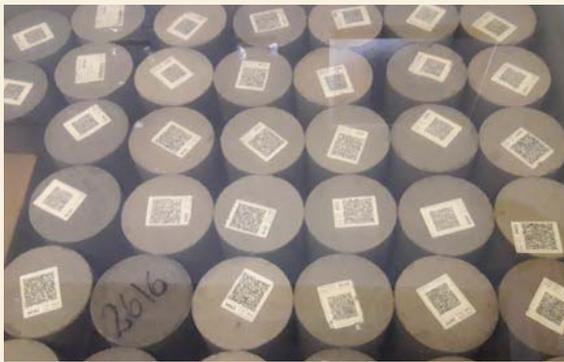
18.2. El diámetro y el largo de la probeta o testigo, en décimas de milímetros y en milímetros respectivamente.

18.3. La fecha de confección, la fecha de rotura y la edad de ensayo de la probeta, en días.

18.4. La carga máxima, en kilonewton (kN) o múltiplo.

18.5. La resistencia a tracción por compresión diametral según la expresión de cálculo, en megapascal.

18.6. Los defectos observados en la probeta o cualquier otra observación de relevancia.



1 - LAS PROBETAS DEBEN TENERSE HÚMEDAS HASTA EL ENSAYO Y CORRELACIONARLAS CON OTRAS DE COMPRESIÓN DE LA MISMA MUESTRA ASEGURANDO TRAZABILIDAD.



2 - SE DEBEN TOMAR TRES DIÁMETROS AL 0,1MM Y LA ALTURA AL 1MM MÁS PRÓXIMO INMEDIATAMENTE DESPUÉS DE RETIRADAS DE CURADO.



3 - AJUSTE DE VELOCIDAD DE CARGA PREVIO AL ENSAYO.



4 - POSICIONAMIENTO DE PROBETA DE 15X30 PARA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL.



5 - TESTIGO CALADO DE 4 PULTADAS PARA SER ENSAYADO A TRACCIÓN INDIRECTA.



6 - DEBE ASEGURARSE UN CONTACTO PERFECTO DE LAS TIRAS DE APOYO EN TODA LA GENERATRIZ.



7 - ROTURA DE PROBETA 15X30 CON MADERAS DE ÁLAMO INTERCALADAS.



8 - ASPECTO DE LA ROTURA (ES ACONSEJABLE PARTIRLA TOTALMENTE SI NO OCURRIÓ EN EL ENSAYO).

**1) ELEMENTOS NECESARIOS PARA EL ENSAYO:**

1. Máquina de ensayo con sistema de regulación de cargas para su aplicación continua.
  - 1.1. La distancia entre apoyos y puntos de aplicación debe permanecer constante durante el ensayo.
  - 1.2. La carga debe aplicarse normalmente a la superficie de la probeta evitando toda excentricidad.
  - 1.3. La dirección de las reacciones debe mantenerse paralela a la dirección de la carga durante el ensayo.
  - 1.4. La carga se aplicará en forma gradual y uniforme durante todo el ensayo.
  - 1.5. La relación entre la distancia desde la carga hasta la reacción y altura de la viga no debe ser < 1.
2. Dispositivo adecuado para aplicar las cargas en los tercios medios de la probeta prismática.
  - 2.1. El diámetro de los cilindros de apoyo y de la aplicación de la carga debe ser menor a 25mm.
  - 2.2. La luz entre apoyos se mide entre los ejes de los apoyos y se expresa en mm.
  - 2.3. Los cilindros de apoyo y aplicadores tendrán cierta libertad acotada de movimiento y de rotación.
  - 2.4. Tener la misma distancia entre apoyo y aplicación de carga y entre los dos cilindros de aplicación.
  - 2.5. En probetas de 55cm: luz entre apoyos es de 45cm y separación entre cilindros de aplicación 15cm.
  - 2.6. Hay bastidores específicos para flexión o bien dispositivos que pueden montarse en prensas digitales.
3. Elemento de medición con precisión de 1mm todas las dimensiones de la probeta (pie de rey).
4. Probetas o testigos prismáticos de hormigón sin tener ningún encabezado ni tratamiento previo.

**2) VERIFICACIÓN Y CALIBRACIÓN DE LA MÁQUINA DE ENSAYO A BAJA CARGA:**

5. Deberá calibrarse al menos una vez al año, cuando se repare algún mecanismo o se mueva de posición.
  - 5.1. Siempre es necesaria una calibración a baja carga específica, entre 20 y 80kN al menos.
6. El error de lectura dentro de las escalas en que la máquina puede ser utilizada deberá ser menor al 1%.

**3) PROCEDIMIENTO DE ENSAYO A FLEXIÓN:**

1. Antes de iniciar el ensayo se limpian cuidadosamente las superficies de los platos y apoyos cilíndricos.
2. La probeta debe ser conservada antes del ensayo en curado húmedo o envuelta en trapos húmedos.
3. Si por algún motivo debe transcurrir cierto tiempo entre el curado y el ensayo, no será mayor a 2 horas.
4. Se coloca la probeta por ensayar con su eje mayor sobre los apoyos, centrándola entre ellos.
  - 4.1. Para evitar golpes o problemas de manipulación, se recomienda posicionar la probeta entre 2 personas.
  - 4.2. Se recomienda marcar líneas rectas en correspondencia con aplicadores de carga y apoyos (4 líneas).
5. Deberán ponerse en contacto con los apoyos y aplicación de carga las caras laterales durante el moldeo.
  - 5.1. La cara superior (rugosa) siempre irá hacia un costado y nunca tomará contacto con los apoyos.
6. Se hace subir la probeta y se coloca el dispositivo de ensayo a flexión encima de la probeta.

- 6.1. En caso de bastidores específicos para flexión, los dos apoyos superiores estarán unidos al mismo.
7. Si no hubiere contacto entre la probeta y los dispositivos de ensayo (si hay paso de luz entre apoyo y viga):
  - 7.1. Colocar una capa de asiento entre ellos de mortero de cemento y arena normal 1:1 en volumen.
  - 7.2. Intercalar dos planchuelas de 25mm x 6mm pegadas o no con mortero de resina epoxi.
  - 7.3. Colocar algún otro material deformable de eficacia comprobada en los apoyos y aplicadores de carga.
8. Se aplica la carga en forma continua sin choques bruscos con velocidad de carga de  $0,016 \pm 0,002$ MPa/s.
- 8.1. En probetas de 15 x 15 x 55cm (ó 50 ó 60cm) la velocidad será de  $0,13 \pm 0,02$ kN/seg.
  - 8.2. La carga puede aplicarse en forma más rápida hasta llegar al 50% aproximado de la carga de rotura.
9. Se continúa aplicando la carga a la velocidad indicada hasta el momento de la rotura de la probeta.
10. Se registra la carga Q máxima de rotura en decanewton (o algún múltiplo como kN).
11. Una vez efectuado el ensayo se procede a medir la probeta en su sección de fractura asegurando el mm.
  - 11.1. Se realizan 3 mediciones del ancho y 3 de la altura, todas ellas en la sección fracturada de la probeta.
  - 11.2. Se calcula el ancho B y la altura H en mm, con precisión de mm, como promedio de las 3 mediciones.
12. Si la fractura se produce fuera del tercio medio de la luz (con ayuda de marcas), se descarta el ensayo.

**4) CÁLCULOS:**

$$13. \text{Módulo de rotura (R)} \quad R = \frac{Q_{kN} \cdot L_{mm} \cdot 1000}{B_{mm} \cdot H^2_{mm^2}} \quad \text{Redondear al 0,05MPa}$$

14. Las tensiones de rotura convencionales oscilan de 3 a 7MPa. Si no arroja estos valores, revisar la fórmula.
15. Siempre es recomendable romper 2 probetas por edad y correlacionarla con 2 probetas a compresión.

**5) CONTENIDO MÍNIMO DEL INFORME:**

16. El informe del ensayo debe contener como mínimo los siguientes datos:
  - 16.1. Identificación indeleble de la probeta y su procedencia (obra, cliente, etc.).
  - 16.2. Ancho promedio y altura promedio en mm, calculados con aproximación de 1 mm (en sección de rotura).
  - 16.3. Luz entre apoyos, expresado en mm (generalmente es fijo del dispositivo, pero igual debe medirse).
  - 16.4. Carga máxima, expresado en kN y el cálculo del Módulo de rotura, expresado en Mpa.
  - 16.5. La fecha de confección, la fecha de rotura y la edad de ensayo de la probeta, en días.
  - 16.6. Los defectos observados en la probeta o cualquier otra observación de relevancia.

## ENSAYOS PASO A PASO DEL HORMIGÓN ENDURECIDO

# ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS MÁS FRECUENTES

Por el Ms. Ing. Maximiliano Segerer

Control y Desarrollo de Hormigones

[www.cdormigones.com.ar](http://www.cdormigones.com.ar)

Sin lugar a duda, los ensayos no destructivos aplicables a hormigón endurecido para inferir resistencias son los de esclerometría y ultrasonido, siendo mucho más aplicado el primero. Tal como se ha descripto en la serie "Control de calidad en obra" publicada en *Hormigonar* donde se mencionaron todas las limitaciones de estos ensayos, ninguno está avalado por CIRSOC 201 actualmente, en especial por el mal uso (y abuso) de los mismos, fundamentalmente del ensayo de esclerometría. No obstante, para las hormigoneras son herramientas útiles para diagnosticar y complementar otros ensayos, aunque muchas veces se trabaja mal con ellos ante la finalidad de estimar resistencias.

El esclerómetro debe ser calibrado con los materiales de obra y nunca emplear la curva que figura en el aparato, ya que distará de los hormigones que se emplean localmente. Otro de los errores es usar el esclerómetro en estructuras con edad avanzada de más de seis meses o emplear "a ciegas" los datos que dan los esclerómetros digitales, pensando que si da un número de resistencia (hasta con decimales) es más preciso que una probeta o que un testigo. Puede presentar cierta utilidad para estimar uniformidad de hormigones en coladas contemporáneas (escala de días o máximo un par de semanas) con los mismos materiales, pero nunca para suplantar los ensayos reglamentarios para avalar o no la seguridad estructural de una obra.

En el presente artículo se dan las pautas brindadas por IRAM y ASTM para calibrar el esclerómetro

con probetas de obra y el procedimiento de cómo realizar las mediciones, pero deben tenerse en cuenta las notables limitaciones que tiene este método. La interpretación de resultados y sus conclusiones deben ser muy mesuradas en base a lo expuesto anteriormente.

Respecto al ultrasonido, es un ensayo mucho más preciso que el esclerómetro y si se encuentra calibrado con probetas o testigos de obra (siendo preferente esta segunda alternativa) pueden estimarse resistencias con precisión de  $\pm 5\%$  a  $\pm 10\%$ . Comparativamente con el esclerómetro, el mismo nunca baja de  $\pm 20$  a  $\pm 25\%$ , aún con una buena correlación lineal con probetas de hormigones similares a los de la obra. La razón es que el ultrasonido no es afectado por la carbonatación o bien defectos superficiales y puede "ver" dentro del hormigón sin importar qué edad tenga, siendo una medida indirecta de la porosidad de un conjunto de materiales. Velocidades de onda más rápidas indican menor porosidad; velocidades de onda más lentas indicará hormigones menos resistentes, existiendo una correlación cuadrática entre velocidad de onda y resistencia a compresión. Muchas recomendaciones internacionales avalan al ultrasonido como complemento de testigos en todo tipo de estructuras y el mismo da resultados muy confiables, siempre y cuando se realice el ensayo de forma adecuada -como se describe en este artículo- y se interpreten sus valores por parte de un profesional con experiencia en la temática.



Esclerómetro grande (Tipo III) y convencional (Tipo I).



Esclerometría digital. Debe prestarse atención e interpretar los resultados de estimación digital de resistencias que pueden ser erróneos.



Calibración mediante 9 puntos en probetas 15x30.



Yunque digital de puesta a cero del esclerómetro.



Uso de piedra de pulir en caso de superficies con membranas de curado.



Ensayos en superficie horizontal donde hay que sumar de 3 a 5 puntos.



Ensayos para diagnosticar uniformidad y potencial retraso de fragüe de un viaje.



Correlación de ensayos de esclerometría y extracción de testigos.

### 1) ELEMENTOS NECESARIOS PARA EL ENSAYO

- 1 Esclerómetro de resorte Tipo I para estructuras de hormigón convencionales (Energía 0,023 J).
- 1.1 Existen otros esclerómetros más pequeños o más grandes (para presas por ejemplo).
- 2 Piedra abrasiva o cepillo con cerdas de alambre u otros similares para limpieza previa.
- 3 Si se dispone, yunque de verificación del esclerómetro de 1 kg y dureza HRC 52 o HB 500.
- 4 Elementos para escritura sobre estructuras (marcadores, tiza) y cámara fotográfica.
- 5 Se debe disponer de planos de la estructura y/o designación de los elementos estructurales.
- 6 Los esclerómetros digitales no garantizan en absoluto resultados más confiables.

### 2) VERIFICACIÓN Y CALIBRACIÓN DEL ESCLERÓMETRO CON MATERIALES LOCALES

- 7 Los esclerómetros deben ser sometidos a mantenimiento y verificación anual, o ante dudas.
- 8 Nunca, en ninguna circunstancia, para estimar resistencias puede emplearse la calibración "de fábrica".
- 9 Para poder estimarse resistencias, con las amplias limitaciones del método, se debe contar con:
  - 9.1 Probetas elaboradas con los materiales de la zona donde se quiere evaluar resistencias.
  - 9.2 Hay que contar con 15 a 20 probetas de 15x30 con sus caras bien planas (no rugosas).
  - 9.3 Las probetas deben tener entre 15 y 50 días y resistencias, al menos, entre 15 y 40 MPa.
  - 9.4 Las probetas deben ser retiradas de la piletta de curado 48 horas antes de la realización de ensayos.
- 10 Para la calibración propiamente dicha, con materiales locales, debe procederse por cada probeta a:
  - 10.1 Se coloca en la prensa sin encabezar (nunca con neopreno) y se brinda una carga a 3 a 6 toneladas.
  - 10.2 El esclerómetro se aplica de forma perpendicular al plano tangente de su superficie circular.
  - 10.3 Se marcan tres generatrices a 120° y se realizan tres mediciones a diferentes alturas.
  - 10.4 De esta manera, por cada probeta, se registran 9 números de rebote.
  - 10.5 También puede establecerse una correlación mediante testigos extraídos de las estructuras.
  - 10.6 A continuación, se encabeza la probeta y se ensaya a compresión según IRAM 1546.
  - 10.7 Se grafican X – Resistencia compresión (MPa) vs. Y – Números de rebote medio (adimensional).
  - 10.8 Se traza una línea de tendencia LINEAL y su R<sup>2</sup> debe ser igual o mayor a 0,90 para validarlo.
- 11 Aún de esta manera, la incertidumbre propia del ensayo es del 20 al 25%, no pudiendo reducirlo.
  - 11.1 Nunca puede asegurarse una categoría resistente "exacta" por mejor calibración que se tenga.
  - 11.2 El empleo mayoritario es para estimar uniformidad o aumento de resistencias en el tiempo.

### 3) PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

- 1 Antes de iniciar el ensayo, deben planificarse e inspeccionarse las áreas a realizar:
  - 1.1 Los elementos estructurales deben tener al menos 10 cm de espesor y estar fijos a la estructura.
  - 1.2 El área debe ser, por lo menos, de 15 cm de lado, de forma aproximadamente cuadrada.
  - 1.3 Las superficies rugosas, con mortero suelto o membrana de curado, deben ser pulidas.

- 1.4 Si la superficie tiene un endurecedor metálico, por ejemplo, el ensayo no es válido.
- 1.5 No ensayar elementos congelados o con signos de humedad, debiendo esperar a que seque.
- 1.6 No deben realizarse ensayos sobre barras de refuerzo ( $r < 2$  cm), si sobre separadores.
- 1.7 Si la superficie está limpia, plana, no rugosa, libre de defectos, no se hace tratamiento ni pulido.
- 1.8 La edad de colado de los elementos debe estar entre 2 y 8 semanas (máximo 12 en clima seco).
- 1.9 La presencia de carbonatación superficial (natural por el tiempo) incrementa mucho el rebote.
- 1.10 En caso de carbonatación, para medir el espesor de la capa puede emplearse fenolftaleína.
- 1.11 En todo momento, prevalece el criterio profesional y nunca suplanta probetas o testigos.
- 2 El número de ensayo dependerá de la magnitud de la obra, no recomendando menos de 6.
  - 2.1 Puede emplearse como comparativa entre sectores con probetas "favorables" y con resultados bajos.
  - 2.2 Todos los ensayos de la jornada deben realizarse con el mismo esclerómetro y operador.
- 3 Una vez preparada la superficie, se procede a la ejecución del ensayo:
  - 3.1 Se marca un cuadrado con cruz perpendicular interna de 15 a 20 cm de lado.
  - 3.2 Se realizan 9 golpes con el esclerómetro (uno por cada intersección, criterio IRAM; 10 valores ASTM).
  - 3.3 Se sostiene firmemente el esclerómetro en posición que permita un golpe perpendicular.
  - 3.4 Los impactos deben distar, entre sí, no menos de 3 cm, como así también de los bordes del elemento.
  - 3.5 Examinar siempre el impacto, a ver si hay alguna oquedad o defecto, descartando este valor.
  - 3.6 Incrementar gradualmente la presión sobre el émbolo hasta que el martillo golpee.
  - 3.7 Puede leerse la lectura o almacenarse con el botón retenedor de cada instrumento.
- 4 Se marca en el elemento la designación del mismo y los 9 números de rebotes, tomando una fotografía.

### 4) CÁLCULOS Y RESULTADOS PARA ESTIMAR UNIFORMIDAD

- 5 Se realiza un promedio de las nueve lecturas y se compara individualmente con cada una de ellas:
  - 5.1 Si la diferencias es  $\geq 5$  (IRAM) o  $> 6$  (ASTM), 4 o más valores (IRAM), se descarta el ensayo.
  - 5.2 En el caso que se descarten 2 o más valores (ASTM), 4 o más valores (IRAM), se descarta el ensayo.
- 6 En caso de que el impacto sea horizontal (tabique, ej), no se realiza corrección de lecturas.
  - 6.1 Si el impacto es en diferente ángulo (+90°, -90°, +45°, -45°) ver coeficiente de corrección en IRAM 1694.
- 7 El número de rebote final es el promedio de lecturas válidas y corregidas por el ángulo.
- 8 De estimar resistencias, hacerlo con mesura y contando con la calibración con materiales locales.
- 9 No puede ser usado como único método para la aceptación o rechazo de estructuras.
- 10 El informe e interpretación de resultados debe ser realizado por profesionales con experiencia.



Barra patrón y puesta a punto del ultrasonido antes de cada uso.



Calibración con probetas de 15x30 que luego son encabezadas y ensayadas a compresión.



Ejemplo de transmisión superficial de ensayo de ultrasonido.



Medición precisa de ancho con pie de rey (izquierda) de elemento y ensayos sobre vigas de puentes (derecha).



Ensayos realizados previos a un refuerzo estructural.



Ensayos de ultrasonido para correlacionar valores con testigos ya extraídos.



Ensayo de ultrasonido en viga para determinar uniformidad de colado.



Ultrasonido en columna para estimar resistencias mediante una calibración previa con testigos.

### 1) ELEMENTOS NECESARIOS PARA EL ENSAYO

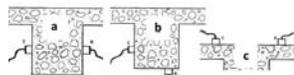
- 1 Aparato de medición de generador de pulsos ultrasónicos (20 a 100 kHz) y medidor eléctrico del tiempo.
  - 1.1 Debe poseer un par de transductores metálicos y cables específicos.
- 2 Barra patrón en el cual esté marcado de forma indeleble el valor del tiempo de onda.
- 3 Gel de contacto, que puede ser vaselina sólida, grasa o gel de ecografías, como ejemplos.
- 4 Elemento de precisión (1 mm, recomendado 0,1 mm) para medir la geometría del elemento.
- 5 Se debe disponer de planos de la estructura y/o designación de los elementos estructurales.

### 2) VERIFICACIÓN Y CALIBRACIÓN DEL ULTRASONIDO CON MATERIALES LOCALES O CON ESTRUCTURAS

- 6 El equipo en sí de ultrasonido no tiene calibración propiamente dicha, sino es una puesta a cero.
  - 7 Al inicio de cada jornada, cuando se dude o transcurran más de una hora de uso continuo.
    - 7.1 En general, los equipos vienen con flechas para ajustar la lectura a la indicada en la barra.
    - 7.2 Moviendo las flechas, lo indicado en el ultrasonido y esta es la puesta a cero del equipo.
- 8 La calibración propiamente dicha no es del equipo, sino del conjunto con una estructura dada.
  - 8.1 Puede calibrarse con probetas de 15x30 haciendo 4 determinaciones y midiendo su altura.
  - 8.2 Puede calibrarse con testigos extraídos de obra y luego el ensayo a ultrasonido próximo.
  - 8.3 De una u otra forma, se obtienen velocidades de onda (km/s) y resistencias a compresión (MPa).
  - 8.4 Se grafican X – Resistencias compresión (MPa) vs Y – Números de velocidad de pulso (km/s)
  - 8.5 Se traza una tendencia CUADRÁTICA y su R<sup>2</sup> debe ser > 0,80 para validar (recomendable 0,90).
- 9 En el caso de una buena curva de ajuste pueden estimarse resistencias con precisión ±5%.
  - 9.1 Sin embargo, es válido para una única estructura y un único conjunto de materiales.

### 3) PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

- 1 Pueden realizarse 3 tipos de transmisiones:
  - 1.1 a) Directa (caras opuestas), más precisa.
  - 1.2 b) Semi-directa (caras adyacentes).
  - 1.3 c) Superficial (misma cara).
- 1.4 Para estimar resistencias, la única confiable es la directa, ya que puede medirse el ancho.
- 2 Las superficies deben estar libres de recubrimiento (salvo pinturas finas) y sin revoques.



- 2.1 Deben inspeccionarse y retirarse revoques u otros elementos que alteren las mediciones.
- 2.2 En caso de superficies rugosas, pueden emparejarse con piedra de pulir o cepillo de alambre.
- 3 Es muy relevante la aplicación en cantidad suficiente del gel de contacto.
- 3.1 Se recomienda aplicar en el elemento y en el transductor.
- 4 Se presionan los dos transductores de forma que queden alineados y la lectura casi constante.
- 4.1 Se registra el valor medio (T en μs) que no debería oscilar en más de +/- 0,5 unidades al aplicarlo
- 5 No está definido, pero es recomendable realizar 3 a 5 lecturas por cada sector de elemento.
  - 5.1 Las armaduras, tienen velocidad de pulso de 1,6 veces el hormigón, deben descartarse.
  - 5.2 Luego en el análisis, si existen lecturas erráticas se descartan, pero mínimo debe contarse con 3.
- 6 Se identifica el elemento en el plano y se mide su ancho con la mayor precisión posible (L en mm).

### 4) CÁLCULOS Y RESULTADOS

- 7 En lo que concierne a la determinación misma de la velocidad, se calcula de la siguiente manera:
  - 7.1 Velocidad pulso ultrasónico (V) en km/s 
$$V = \frac{L \text{ (mm)}}{T \text{ (μs)}} \text{ Redondear al } 0,01 \text{ km/s}$$

L (milímetros) – T (micro . segundos)
  - 7.2 T es el promedio de las diferentes mediciones; calculando así V por cada uno de los puntos.
  - 7.3 Pueden existir variaciones por humedad del hormigón, temperatura, armaduras, etc.
- 8 De estimar resistencias (solo con transmisión directa), hacerlo con adecuada correlación y calibración.
  - 8.1 Es indispensable correlación con probetas y/o testigos, solo mencionando abajo valores de referencia:
    - 8.2 4,5 km/s Excelente – 3,5 a 4,5 km/s Muy buena – 3,0 a 3,5 km/s Buena o Dudosa – < 3,0 km/s Pobre
- 9 También puede determinarse el módulo de elasticidad dinámico (mayor que el módulo estático).
  - 9.1 Módulo Elasticidad dinámico 
$$E_d = \frac{\rho V^2}{1000} \times \frac{(1+\mu)(1-2\mu)}{(1-\mu)} \text{ Redondear al } 0,1 \text{ Gpa}$$

(Ed en GPa)
  - 9.2 ρ = densidad del hormigón endurecido en kg/m<sup>3</sup> – V = Velocidad de pulso en km/s
  - 9.3 μ = coeficiente de Poisson del H<sup>o</sup> (adimensional), para una estimación puede usarse 0,20 a 0,23.
  - 9.4 Con esos valores de μ el segundo factor de la ecuación de valores de 0,90 a 0,86 respectivamente.
- 10 Puede emplearse para detectar defectos o variaciones de resistencias locales en estructuras. Según ASTM C597 también se emplea el método para verificar la efectividad de sellado de fisuras.
- 11 El informe e interpretación de resultados debe ser realizado por profesionales con experiencia.

# ENSAYOS PASO A PASO DEL HORMIGÓN

MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN PROBETAS CILÍNDRICAS SEGÚN NORMA IRAM 1865 (FICHA HE09)

Por el Ms. Ing. Maximiliano Segerer, de la firma Control y Desarrollo de Hormigones / [www.cdormigones.com.ar](http://www.cdormigones.com.ar)

## 1) ELEMENTOS NECESARIOS PARA EL ENSAYO:

1 Máquina de ensayo o prensa con sistema de regulación de cargas para su aplicación continua.

1.1 Sus platos metálicos deben ser de acero de dureza > a 55 HRC y constar con una rótula esférica.

1.2 Espaciamiento entre platos adecuado con el tamaño de la probeta y el sistema de encabezado.

1.3 Elemento de lectura de cargas con una precisión del 1% de la carga del ensayo.

1.4 Dispositivo para apreciar la carga máxima que debe estar entre el 20 y 90% de la capacidad.

2 Dispositivo compresómetro para medir la deformación del eje de la probeta (Fig 1 – IRAM 1865).

2.1 Es posible determinar módulo de Poisson con este dispositivo. No se describe en este procedimiento.

3 Reloj comparador digital con resolución de 0,001 mm para medir el diámetro de la probeta.

4 Elemento de medición adecuado con precisión de 0,1 mm para medir el diámetro de la probeta.

5 Elemento de medición con precisión de 0,1 mm para medir la altura (largo de la probeta o testigo).

6 Probetas o testigos cilíndricos con su sistema de encabezado verificado según norma.

## 2) VERIFICACIÓN Y CALIBRACIÓN DE LA MÁQUINA DE ENSAYO:

1 Deberá calibrarse al menos una vez al año, cuando se repare algún mecanismo o se mueva de posición.

2 El error de lectura dentro de las escalas en que la máquina puede ser utilizada deberá ser menor al 1%.

2.1 Es muy relevante una lectura precisa a cargas <10% de la capacidad (calibración a baja carga).

## 3) MEDICIONES A REALIZAR SOBRE PROBETAS Y TESTIGOS:

1 Se medirán dos diámetros normales en la mitad de altura de la probeta con precisión del 0,1 mm.

1.1 El diámetro D se calcula como el promedio de dos diámetros medidos y expresado en mm al 0,1 mm.

2 La altura se medirá con precisión de 0,1 mm incluido el encabezado.

2.1 Para mediciones de mayor precisión, podrán tomarse el promedio de cuatro alturas (mm).

2.2 Con los cuatro valores obtenidos (centro y tres cerca de bordes) se calcula el promedio de la altura h.

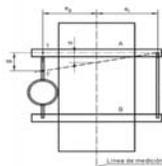
## 4) COLOCACIÓN DE PROBETA O TESTIGO EN DISPOSITIVO COMPRESÓMETRO Y MEDIDAS:

1 Se colocará en forma centrada a los aros del dispositivo compresómetro.

2 Se elevará el dispositivo hasta centrarlo respecto de la altura de probeta.

3 Deberá ajustarse el dispositivo firmemente mediante tornillos sujetadores.

4 Se medirán dos distancias, una vez fijada la probeta:



4.1  $e_r$  = distancia perpendicular del eje de la probeta hasta barra del pivote.

4.2  $e_g$  = distancia perpendicular del eje de la probeta al eje del medidor.

5 Estas medidas no deben tener grandes variaciones en ensayos siguientes.

5.1 Se recomienda revisar medidas antes de iniciar la sesión de ensayos.

6 Las mediciones del dispositivo sirven para determinar la deformación longitudinal d.

6.1  $g$  = lectura del reloj comparador en 0,001 mm.

$$d = \frac{g \cdot e_r}{e_r + e_g}$$

6.2  $\epsilon$  = la deformación unitaria se calcula como  $d/L$  y es adimensional.

7 Debe medirse el diámetro central de la probeta al 0,1 mm para poder calcular las tensiones  $\sigma$ .

## 5) PROCEDIMIENTO DE ENSAYO:

1 Antes de iniciar el ensayo, se limpian cuidadosamente las superficies de los platos de la prensa.

2 Se ensaya la probeta gemela a compresión simple, obteniendo la tensión de rotura de la probeta, y registrar.

3 Se calcula el 45% de la tensión de rotura anterior para establecer el límite de carga de las corridas. Registrar.

4 Se establecen seis escalones de carga como mínimo hasta la carga límite calculada, y se registran en la tabla.

5 Se coloca la probeta con el dispositivo instalado en la prensa, correctamente centrada.

6 Deberá realizarse una corrida de carga sin registrar lecturas hasta el límite establecido en el paso 3.

7 Se aplica la carga en forma continua con velocidad de carga de  $0,24 \pm 0,035$  MPa/s.

8 Se realizan tres corridas, registrando en la tabla la deformación y temperatura en cada escalón, al 0,001 mm.

9 Antes de iniciar cada corrida, debe colocarse a cero el reloj comparador.

10 Realizadas tres corridas, se retira el dispositivo compresómetro y se ensaya la probeta normalmente.

11 Se mantiene la velocidad constante hasta la rotura de la probeta.

12 Se registra el valor de la carga máxima alcanzada  $F$  en kilonewton en el momento de la rotura.

## 6) CÁLCULOS

1 Módulo de Elasticidad (E)

$$E = \frac{\sigma_{40\%} \sigma_r - \sigma_{0,000050}}{\epsilon_{40\%} \sigma_r - 0,00050}$$

Redondear al 0,1 GPa

1.1  $\sigma_{40\%}$  = tensión (carga / sección inicial) al 40% de la rotura y  $\sigma_{0,000050}$  tensión interpolada al 0,005%.

1.2  $\epsilon_{40\%}$  = deformación unitaria interpolada al 40% de la tensión de rotura (se interpola gráficamente) 0,005%.

## 7) CONTENIDO MÍNIMO DEL INFORME:

2 Identificación indeleble de la probeta y su procedencia (obra, cliente, etc).

3 El diámetro y la altura de las probetas, expresados en milímetros.

4 La fecha de confección, la fecha de rotura y la edad de ensayo de las probetas, en días.

5 Curado de la probeta y variaciones de temperatura y humedad ambiente.

6 Resistencia a la compresión del hormigón, en Mpa.

7 Curva tensión-deformación y Módulo de elasticidad estático calculado (se muestra ejemplo).

8 Los defectos observados en la probeta, peso de la probeta o cualquier otra observación de relevancia.



1

Probetas encabezadas antes del ensayo de módulo.



2

Posicionamiento de barras de referencia.



3

Ajuste de dispositivo analógico de tres relojes.



4

Dispositivo completo con flexímetros digitales (incluido módulo de deformación transversal).



5

Ensayo en prensa automatizada.



6

Detalle de posicionamiento del dispositivo en una prensa digital.

7

SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD REGISTRO DE ENSAYO DE DETERMINACIÓN DE MÓDULO DE ELASTICIDAD LONGITUDINAL DE PROBETAS DE HORMIGÓN

Fecha del Registro: 1/6/2016 Fecha: 1/6/2016 Responsable: S. López Colada Código Registro: 10 28

Denominación Probeta: M-202 Fecha emisión: 27/5/16 Edad ensayo: 28 días

DATOS DEL ENSAYO

Responsable (operador): S. López Fecha ensayo: 1/6/16 Cliente: F. J. López

1) ENSAYAR UNA PROBETA DEBILITA DE REFERENCIA

Probeta	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Carga Rotura (kN)	Tensión Rotura (MPa)	Tipo Rotura
17202	125,0	280,0	12,16	97,3	15

2) ESTIMACIÓN DEL APIL DE LA TENSIÓN Y CARGA DE ROTURA

Límite	Carga Rotura (kN)	Tensión Rotura (MPa)
40%	4,872	38,92

3) GEOMETRÍA DE LA PROBETA Y ROTURA FINAL

Probeta	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Carga Rotura (kN)	Tensión Rotura (MPa)	Tipo Rotura
2253	125,0	275,0	11,37	90,9	15

4) ESCALONES DE CARGA Y LECTURAS DE DEFORMACIONES

Antes de las lecturas deberá realizarse una comita sin anclajes y verificar el 0 de deformaciones. El anclaje de material con empujador de placas de aluminio 6063 T6. La velocidad de carga para la realización del ensayo está comprendida entre 0,01 a 0,07 MPa/s.

Carga (kN)	Primera comita (0,001 mm)		Segunda comita (0,001 mm)		Tercera comita (0,001 mm)	
	Deformación	Temp (°C)	Deformación	Temp (°C)	Deformación	Temp (°C)
30	0,017	17,5	0,022	17,7	0,027	17,9
40	0,022	17,5	0,027	17,7	0,032	17,9
50	0,027	17,5	0,032	17,7	0,037	17,9
70	0,037	17,5	0,042	17,7	0,047	17,9
90	0,047	17,5	0,052	17,7	0,057	17,9
110	0,057	17,5	0,062	17,7	0,067	17,9
130	0,067	17,5	0,072	17,7	0,077	17,9
150	0,077	17,5	0,082	17,7	0,087	17,9
170	0,087	17,5	0,092	17,7	0,097	17,9
190	0,097	17,5	0,102	17,7	0,107	17,9
210	0,107	17,5	0,112	17,7	0,117	17,9

5) CONDICIONES AMBIENTALES

Temperatura Media (°C)	Humedad Relativa (%)
17,5	52,5

6) CURADO DE LA PROBETA HASTA LA EDAD DE ENSAYO

7) INSTRUMENTAL EMPLEADO: CONTROLS

8) OBSERVACIONES / COMENTARIOS:

Registro tipo de resultados.

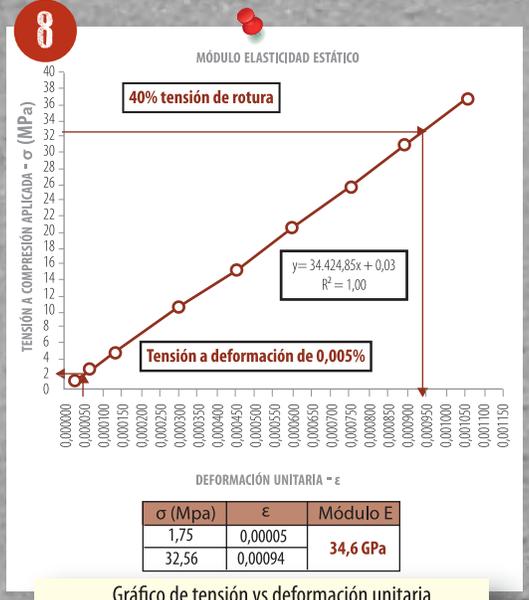


Gráfico de tensión vs deformación unitaria para determinar el módulo.

## ENSAYOS PASO A PASO

# Método para determinar la capacidad y la velocidad de succión capilar de agua del hormigón endurecido

COMPARTIMOS ESTE ENSAYO REALIZADO SEGÚN IRAM 1871:21, NUEVA VERSIÓN DE ESTA NORMA QUE -RECIENTEMENTE- ENTRÓ EN VIGENCIA.

Por el Ms. Ing. Maximiliano Segerer, de la firma Control y Desarrollo de Hormigones / [www.cdormigones.com.ar](http://www.cdormigones.com.ar)

**A) ELEMENTOS NECESARIOS:**

1. Balanza con capacidad de 3.000 g y resolución 0,01 g (debe comprender la masa del espécimen de ensayo entre el 20% y 80% de la capacidad de la balanza).
2. Recipiente de base plana, con tapa hermética y altura interior mayor a 80 mm.
3. Paño de baja absorción para enjugar las probetas, previo a cada pesada.
4. Estufa, regulada a una temperatura de  $50\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ .
5. Registrador continuo de temperatura, con resolución de 0,1 °C.
6. Calibre con precisión de 0,1 mm.
7. Base de apoyo para las probetas o testigos, de material resistente a la corrosión, que debe asegurar el 90% de contacto de la superficie de apoyo de la

probeta o testigo. Debe estar perfectamente nivelada (corroborar con nivel de burbuja).

8. Nivel de burbuja.
9. Bolsas de polietileno, de 100 µm de espesor (mínimo).
10. Película de polietileno para envolver las probetas o testigos luego del secado.
11. Cronómetro para determinar el tiempo de pesada de las muestras.
12. Sierra diamantada para realizar el corte de las probetas.

**B) PROBETAS Y TESTIGOS DE ENSAYO:**

1. Las muestras deben estar compuestas por probetas que cumplan con las normas IRAM 1524 o 1534,



^  
Aserrado de probetas o testigos de 10 cm de diámetro (fondo probeta o superficie testigo a la derecha).



^  
Saturación de probetas ya pintadas en su perímetro

o testigos que cumplan con la norma IRAM 1551.

2. Una serie de ensayo está formada por tres probetas o testigos, como mínimo.

3. Se utilizan probetas o testigos de  $50 \pm 2$  mm de altura y diámetros nominales, obtenidos mediante el aserrado de probetas o testigos.

4. Determinar la altura de las probetas y testigos según IRAM 1574.

5. Se denomina base de absorción aquella sobre la que se desea realizar el ensayo.

6. Probetas:

6.1. Se realiza un primer aserrado a 30 mm del extremo de la probeta en contacto con la base del molde, se descarta ese corte y se reitera otro corte a  $50 \pm 2$  mm. Esta segunda porción es la que conforma la probeta de ensayo.

6.2 El aserrado se debe realizar luego de los 28 días de curado húmedo, debiendo comenzar el ensayo antes de los 42 días después del moldeo.

### C) PROCEDIMIENTO:

1. Se determina el diámetro de la sección transversal de cada probeta de la serie de ensayo en curso, promediando dos diámetros perpendiculares, medidos a la mitad de la altura. Se determina el área de la sección transversal ( $A_s$ ) de cada probeta.

2. Se sella con pintura impermeabilizante toda la sección perimetral de las probetas (ej. Pinturas epoxídicas, asfálticas o de caucho clorado base solventada).

3. Previo al ensayo, se deben saturar las probetas, dejándolas sumergidas en agua durante 72 hs.

4. Las muestras se secan en estufa a  $50 \pm 2$  °C hasta masa constante, registrando los pesos cada  $(24 \pm 1)$  hs hasta que la diferencia entre dos pesadas sucesivas es menor a 0,1%. Controlar la temperatura del horno mediante el

termómetro indicador durante todo el proceso. La estufa de secado debe estar a una temperatura ambiente de laboratorio igual a  $(20 \pm 2)$  °C.

*\* Nota: el resultado del ensayo es muy susceptible al secado, por lo tanto, no exponer las probetas directamente a la fuente de calor o a la corriente de aire de estufas con ventilación forzada.*

5. Antes de cada pesada, dejar enfriar hasta temperatura ambiente las probetas, envueltas con doble bolsa de polietileno.

6. Una vez secas las probetas, se registra la masa seca ( $M_{so}$ ) y se recubren con doble pliego de película de polietileno durante un tiempo comprendido entre 72 hs y 7 días, en ambiente de laboratorio.

7. Se extraen las probetas del envoltorio de polietileno y se registra la masa seca ( $M_{si}$ ) de las muestras. Se colocan en el recipiente sobre la base de apoyo con una altura de agua de  $3 \pm 1$  mm respecto de la base absorbente, a una temperatura de  $20 \pm 2$  °C. Hay que mantener la temperatura durante todo el ensayo. Este momento se considera como el tiempo inicial del ensayo ( $t_0$ ).

8. Las probetas se introducen en forma inclinada para evitar la formación de burbujas de aire debajo de las mismas.

9. El recipiente debe taparse para lograr una humedad de equilibrio del aire del 95% y evitar la evaporación.

10. Se pesan las probetas en los tiempos  $t_1=15$  min,  $t_2=30$  min,  $t_3=45$  min,  $t_4=1$  h,  $t_5=1,5$  h,  $t_6=2$  hs,  $t_7=3$  hs,  $t_8=4$  hs,  $t_9=5$  hs,  $t_{10}=6$  hs,  $t_{11}=24$  hs,  $t_{12}=48$  hs y, a continuación, una vez cada  $24 \pm 1$  hs, hasta que la diferencia entre dos pesadas sucesivas sea menor a 0,1%. Se retira una probeta por vez, se enjuga la base y los laterales con el paño y se determina la masa húmeda ( $M_{hi}$ ).



Secado en un horno de convección específico a 50 °C hasta lograr variaciones de masa iguales a 0,1% (esta tarea es crítica).



Envoltorio en plástico para que las probetas no ganen humedad y puedan enfriarse.

11. Cada pesada debe completarse en 30 s y se debe registrar el tiempo correspondiente en el momento de la determinación de la masa, con ayuda del cronómetro.

#### D) CÁLCULO Y GRÁFICO DE LOS RESULTADOS:

1. Se determina, para cada probeta, el incremento de masa por unidad de área ( $C_{it}$ ) para cada instante de tiempo (t).

$$C_{it} = (M_{hit} - M_{si}) / A_i$$

2. Capacidad de succión capilar:

2.1. La capacidad de succión capilar de cada probeta ( $C_i$ ), en gramos por metros cuadrados, es el valor del incremento de masa por unidad de área de la sección transversal de la probeta (i), en el instante de tiempo (t), ( $C_{it}$ ), que corresponde al tiempo (t) cuando la variación de masa es menor a 0,1% entre dos pesadas sucesivas.

2.2. La capacidad de succión capilar del hormigón (C), en gramos por metro cuadrado, se calcula como el promedio de las capacidades de succión capilar ( $C_{it}$ ) de cada probeta que compone la serie de ensayo.

2.3. Grado de saturación:

2.3.1. Una vez finalizado el ensayo de succión capilar, las muestras se colocan en estufa a  $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$  durante 48 hs.

2.3.2. Se retiran las muestras de la estufa. Se dejan enfriar hasta temperatura ambiente, primero en ambiente de laboratorio durante 1 h y luego envueltas en doble bolsa de polietileno hasta que alcancen la temperatura ambiente. Se pesan ( $M_o$ ).

\* Nota: se recomienda usar un desecador para el enfriamiento de las probetas.

2.3.3. El grado de saturación al inicio ( $G_o$ ) y al final ( $G_f$ ) del ensayo, se calculan con las siguientes fórmulas:

$$G_o (\%) = (M_{si} - M_o) / M_o \cdot 100$$

$$G_f (\%) = (M_{hi} - M_o) / M_o \cdot 100$$

$M_{hi}$  = masa húmeda de la muestra en el instante de lectura en que se alcanza la capacidad de succión capilar  $C_i$ , en gramos.

2.4. Coeficiente de succión capilar:

2.4.1. En forma individual, se grafica el incremento de masa por unidad de área de la serie de ensayo ( $C_{it}$ ), en gramos por metros cuadrados, en función de la raíz cuarta del tiempo de lectura ( $\sqrt[4]{t}$ ), en segundos a la un cuarto.

2.4.2. El coeficiente de succión capilar del hormigón ( $S_i$ ), correspondiente a cada muestra de ensayo, en gramos por metro cuadrado por segundo a la un cuarto, es la pendiente de la recta obtenida mediante ajuste por cuadrados mínimos de la serie de puntos.

\* Nota: el coeficiente de correlación de ajuste por cuadrados mínimos ( $R^2$ ) debe ser mayor a 0,90. En el caso de obtener un valor menor a 0,80 se recomienda repetir el ensayo.

2.4.3. El ajuste de la curva se realiza en forma individual para cada muestra, con todos los puntos de la serie de ensayo que cumplen la condición de que el valor correspondiente al incremento de la masa por unidad de área de la sección transversal de la muestra (i) de la serie de ensayo en el instante de lectura (t), ( $C_{it}$ ), debe estar comprendido dentro del intervalo  $0,1 C_i$  y  $0,9 C_i$ .

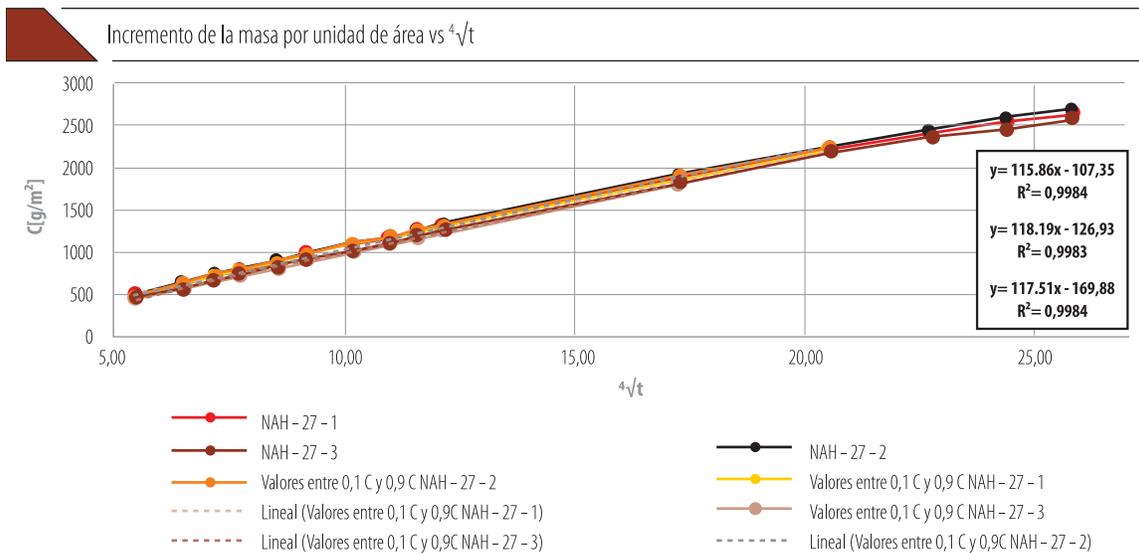
2.4.4. El coeficiente de succión capilar medio de la serie de ensayo se calcula como el promedio de los



^ Se ensayan tres probetas por cada muestra.



^ Colocación de probetas con 3 mm de agua y accesibilidad libre por su cara inferior.



valores  $S_p$ , correspondientes a las muestras de la serie. Una vez calculado el valor promedio, se contrastan los valores individuales y se descartan todos aquellos que estén fuera del rango  $\pm 15\%$  del valor medio. Con los valores restantes se vuelve a calcular el promedio y se repite el proceso de eliminación las veces que sean necesarias hasta que todos los valores se encuentren comprendidos en el rango  $\pm 15\%$  del valor medio. El valor medio final se informa como coeficiente de succión capilar medio ( $S_m$ ).

*Nota: el ensayo sólo es válido si el conjunto remanente para el cálculo de los valores medios está compuesto, como mínimo, de dos valores.*

2.4.5. Estimación del coeficiente de succión capilar: Para el caso de muestras provenientes de probetas moldeadas, el coeficiente de succión capilar de cada

muestra de ensayo  $S_{05i}$ , debe ser estimado a partir del valor del coeficiente  $S_p$ , correspondiente a la misma muestra de la serie, a partir de la fórmula siguiente:

$$S_{05i} = 0,0743 \cdot t_d^{-0,1879} \cdot S_i$$

$S_{05i}$  = coeficiente de succión capilar de cada muestra en función de la raíz cuadrada del tiempo, en gramos por metro cuadrado por segundo a la un medio.

$t_d$  = tiempo correspondiente a 0,9  $C_p$ , en horas.

$S_i$  = coeficiente de succión capilar de cada muestra en función de la raíz cuarta del tiempo, en gramos por metro cuadrado por segundo a la un cuarto.

El valor final se calcula como la media aritmética de los valores  $S_{05i}$  de cada muestra de la serie de ensayo, obtenidos de la fórmula, y se informa como coeficiente de succión capilar medio ( $S_{05m}$ ) en función de la raíz cuadrada del tiempo. ◉



Enjugado superficial de las probetas para su pesado (en su cara inferior y laterales).



Pesaje de probetas a diferentes edades.

## ENSAYOS PASO A PASO DEL HORMIGÓN ENDURECIDO

# PENETRACIÓN DE AGUA A PRESIÓN EN EL HORMIGÓN ENDURECIDO SEGÚN NORMA IRAM 1554

Por la Ing. Kristel Roshdestwensky, representante técnica de Hormigones Melmix de la firma Nelson Melli Construcciones / [www.melmix.com.ar](http://www.melmix.com.ar)

## 1) ELEMENTOS NECESARIOS

1. Equipo de ensayo compuesto de:

1.1 Un marco de ensayo que permita mantener las probetas en una posición fija, de manera que el agua a presión pueda actuar sobre la cara de estudio.

1.2 Un compresor de aire capaz de presurizar una línea de suministro de agua al marco de ensayo en los niveles de presión y tiempo correspondientes.

1.3 Un conjunto de conductos para conexión y suministro de agua a presión al marco de ensayo y para la purga de agua del sistema.

1.4 Un sistema de regulación y lectura instantánea de la presión de agua que se aplica a las probetas durante el ensayo.

2. Anillos de sellado de caucho o material similar que evite la fuga de agua a presión, cuyo diámetro dependerá de las medidas de las probetas.

3. Cepillo de cerdas metálicas para el escarificado superficial u otro método similar.

4. Recubrimiento impermeabilizante, resina o pintura de secado rápido (epoxi, asfáltica o a base de caucho clorado) que garantice un sellado liso e impermeable de la superficie de hormigón.

5. Prensa o máquina de ensayo para la aplicación de una carga que divida las probetas y barras de acero (para facilitar su rotura en dos mitades).

## 2) MUESTRAS

1. Forma y medidas de las probetas: la sección transversal será circular o cuadrada (convencionalmente se trabaja con probetas de 15 x 30 cm). El diámetro/lado y el alto deben ser iguales o mayores a 150 mm o a tres veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso, lo que resulte mayor entre ambos.

2. Moldeo de las probetas: se moldean probetas del hormigón en estudio proveniente de la misma

muestra según IRAM 1534. Para cada ensayo serán necesarias al menos tres probetas, indicando la dirección y sentido en la que actúa la presión de agua en las condiciones reales de obra con respecto a las de moldeo del hormigón.

3. Preparación y curado de las probetas:

3.1 Al desmoldarse, en la cara que se expondrá a presión se marca un círculo concéntrico con el eje de la probeta, cuyo diámetro será el indicado en la Tabla 1. Esa zona se escarifica con un cepillo de cerdas metálicas, para eliminar la película superficial poco permeable.

T.1

Diámetro o lado de la sección de la probeta (cm)	Diámetro de aplicación de la presión de agua (cm)
15	7,5
20	10,0
30	15,0

3.2 Las probetas se someten al proceso de curado estándar según lo indica IRAM 1534, manteniéndolas hasta el momento de la realización del ensayo, que por defecto será de 28 días u otra edad por razones específicas fundadas. La superficie circundante a la zona escarificada será sellada con el recubrimiento impermeabilizante.

## 3) PROCEDIMIENTO

1. Técnica operativa:

1.1 El agua a presión se aplicará sobre la superficie escarificada, colocando sobre la superficie que la circunda un anillo de sellado con el fin de circunscribir la zona de aplicación del agua a presión. La

secuencia y el tiempo de mantenimiento de las presiones de agua durante el ensayo son establecidos en la Tabla 2.

T.2

Presión (MPa)	Tiempo (h)
0,1	48
0,3	24
0,7	24

1.2 Durante la realización del ensayo se observa la superficie de las probetas no sometidas al agua a presión con el fin de detectar la posible aparición o existencia de agua sobre ellas.

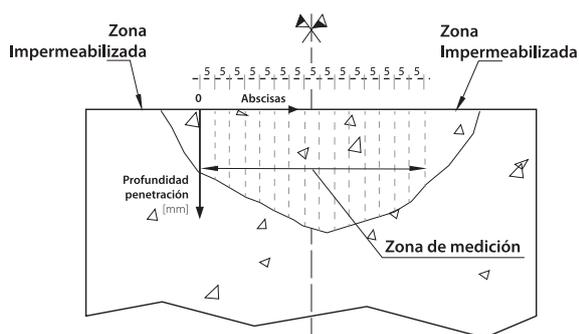
1.3 Al finalizar el último ciclo de presión se dividen las probetas en dos mitades, aplicando una carga perpendicular a la superficie sobre la que se aplicó la presión de agua con una prensa o máquina de ensayo, previa colocación de dos barras cilíndricas de acero en un mismo plano vertical.

1.4 Después de fracturadas, se resalta sobre cada mitad de las probetas el contorno del frente de penetración máximo de agua.

## 2. Resultado del ensayo:

2.1 El cálculo de la media aritmética se obtiene del relevamiento del contorno del frente de penetración de agua marcado en el plano de fractura, dividiéndolo en un número de partes iguales de 5 mm de ancho.

2.2 La medida de la penetración máxima de agua en el hormigón de cada probeta ensayada está dada por el valor máximo medido del frente de penetración de agua en ésta.



^ Escarificado de probeta en la zona de ensayo luego de desmoldarse.



^ Curado de las probetas hasta la edad de realización del ensayo.



^ Sellado de la superficie circundante a la zona escarificada con el recubrimiento impermeabilizante.



^ Colocación del anillo de sellado sobre la superficie que circunda la zona escarificada.



^ Ajuste de la presión de agua para cumplir la secuencia y el tiempo de mantenimiento durante el ensayo.



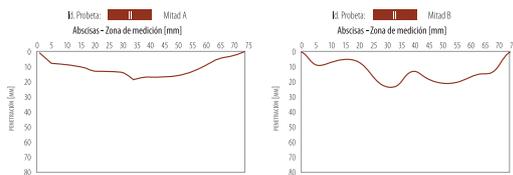
^ Aplicación del agua a presión en las probetas durante el ensayo.



^  
División de las probetas en dos mitades mediante prensa de ensayo y barras cilíndricas metálicas.

Id. Probeta:		II	
		Mitad A	Mitad B
Puntos de abscisas [mm]	0	0	2
	5	8	10
	10	9	8
	15	10	6
	20	13	8
	25	13	16
	30	14	23
	35	18	22
	40	17	12
	45	17	16
	50	16	20
	55	14	21
	60	10	18
	65	5	14
	70	2	12
75	0	0	
Máximo ind. [mm]		18	23
Promedio ind. [mm]		10	13

Máximo [mm]	23	Promedio [mm]	12
-------------	----	---------------	----



^  
Resultado del ensayo midiendo profundidad de penetración del agua máxima y media.

#### 4) CÁLCULOS

1. Se calcula la penetración media ( $Pm_i$ ) y máxima ( $Px_i$ ) sobre las dos mitades de cada probeta:

$$Pm_1 = \frac{\sum_{i=1}^n y_{i,1}}{n} \quad Px_1 = \max(y_{i,1})$$

$$Pm_2 = \frac{\sum_{i=1}^n y_{i,2}}{n} \quad Px_2 = \max(y_{i,2})$$

$$Pm_3 = \frac{\sum_{i=1}^n y_{i,3}}{n} \quad Px_3 = \max(y_{i,3})$$

$Pm_1, Pm_2, Pm_3$ : penetración media de cada probeta (1, 2 y 3), en milímetros.

$Px_1, Px_2, Px_3$ : penetración máxima de cada probeta (1, 2 y 3), en milímetros.

$y_{i,1}, y_{i,2}, y_{i,3}$ : valores de profundidad de penetración determinados sobre las probetas (1, 2 y 3), en milímetros.

$n$ : cantidad de puntos en los que se mide la profundidad de penetración del agua en el hormigón en cada probeta (ambas mitades), y que se utilizan para el cálculo de la penetración media.

2. Se calcula la penetración media ( $Pm$ ) y máxima ( $Px$ ) del ensayo:

$$Pm = \frac{Pm_1 + Pm_2 + Pm_3}{3} \quad Px = \max(Px_1, Px_2, Px_3)$$

$Pm$ : penetración media del ensayo, en milímetros.

$Px$ : penetración máxima del ensayo, en milímetros.

$Pm_1, Pm_2, Pm_3$ : profundidad de penetración media de las probetas sin anomalías, en milímetros.

$Px_1, Px_2, Px_3$ : profundidad de penetración máxima de las probetas sin anomalías, en milímetros.

#### 5) CONTENIDO MÍNIMO DEL INFORME

1. Identificación del hormigón ensayado.
2. Forma y medidas de las probetas.
3. Tipo y período de curado de las probetas.
4. Edad del hormigón a la que se realizó el ensayo.
5. Tipo de agua empleada para el ensayo.
6. Temperatura y humedad relativa ambiente del laboratorio (valores medios).
7. Superficie sobre la que se aplicó la presión de agua, superior o inferior de la probeta.
8. Dirección de aplicación de la presión de agua, paralela o perpendicular a la dirección de colocación del hormigón en el molde.
9. Gráficos asociados de cada mitad de la probeta (además, es muy recomendable incluir fotografías).
10. Penetración de agua en sus valores individuales medio y máximo.
11. De ser posible, datos de caracterización en estado fresco, relación a/c y resistencia a compresión. ◉