

Red Argentina Protierra 2020

PROTOCOLO DE ENSAYOS SOBRE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS PARA LA CONSTRUCCIÓN CON TIERRA

PRESENTACIÓN

Este trabajo pretende reunir en un documento único los procedimientos de ensayo a realizar sobre elementos constructivos de tierra para evaluar su resistencia y durabilidad. Para la confección del mismo se han empleado como referencia normas argentinas confeccionadas por el Instituto Argentino de Normalización y Certificación IRAM y Vialidad Nacional, y normas internacionales específicas para la construcción con tierra.

Se proponen métodos de ensayo para adobes, bloques de tierra comprimida (BTC), tapia, morteros de asiento, y revoques, incluyendo en esta categoría el revestimiento final de las técnicas mixtas. Gran parte de los ensayos propuestos requieren de un equipamiento mínimo y pueden ser realizados en obra.

Comisión de Materiales, Sistemas Constructivos y Ensayos de Laboratorio.

Participaron en la redacción de este documento

Bertrand Pahaut

Cecilia Brizuela Barros

Federico Videla

Guadalupe Cuitiño

Laura Bellmann

Lucas Peisino

Luis Canavesi

Mariano Matar Arturo

María Dolores Aramburu

Nahuel Castaño Llugard

Pablo Costamagna

Santiago Cabrera

INDICE

| | | |
|-----|---|----|
| 1. | RESISTENCIA A COMPRESIÓN | 4 |
| 2. | RESISTENCIA A COMPRESIÓN SATURADA..... | 8 |
| 3. | RESISTENCIA A TRACCIÓN POR FLEXIÓN - MÓDULO DE ROTURA | 11 |
| 4. | RESISTENCIA A EROSIÓN HÚMEDA..... | 16 |
| 5. | RESISTENCIA A LA ABRASIÓN | 21 |
| 6. | ENSAYO DE CAIDA DE UN LADRILLO COMPLETO | 24 |
| 7. | HUMEDAD ÓPTIMA PARA MEZCLAS DE TAPIA Y BTC..... | 26 |
| 8. | CONTRACCIÓN LINEAL..... | 27 |
| 9. | ADHERENCIA DE MORTEROS PARA JUNTAS DE ALBAÑILERÍA..... | 30 |
| 10. | CICLOS DE HUMEDICIMIENTO Y SECADO | 34 |
| 11. | RESISTENCIA AL CORTE EN REVOQUES | 37 |
| 12. | ARRANCAMIENTO DIRECTO EN REVOQUES..... | 40 |
| 13. | DUREZA SUPERFICIAL | 43 |
| 14. | RESISTENCIA AL IMPACTO – CAÍDA DE LA BOLA DE ACERO | 45 |

APLICABILIDAD DE CADA ENSAYO

| ENSAYO | | Elemento Constructivo | | | | |
|--------|---|-----------------------|----------|-----|-------|----------|
| | | Adobes | Morteros | BTC | Tapia | Revoques |
| 1 | Resistencia a compresión | X | X | X | X | |
| 2 | Resistencia a compresión saturada | | | X | X | |
| 3 | Resistencia a tracción por flexión | X | X | X | X | X |
| 4 | Resistencia a erosión húmeda | X | X | X | X | X |
| 5 | Resistencia a la abrasión | X | X | X | X | X |
| 6 | Ensayo de caída | X | X | X | X | X |
| 7 | Humedad Optima para mezclas de tapia y BTC | | | X | X | |
| 8 | Contracción lineal | X | X | X | X | X |
| 9 | Adherencia de morteros para juntas de albañilería | | X | | | |
| 10 | Ciclos de mojado y secado | X | X | X | X | |
| 11 | Resistencia al corte en revoques | | | | | X |
| 12 | Arrancamiento directo en revoques | | | | | X |
| 13 | Dureza superficial | X | | X | X | X |
| 14 | Resistencia al impacto | X | X | X | X | X |

1. RESISTENCIA A COMPRESIÓN

1.1. Normas de referencia

Para la confección de este protocolo de ensayos se emplearon como referencia las siguientes normas técnicas:

- IRAM 12566-1: Ladrillos y bloques cerámicos para la construcción de tabiques y muros. Parte 1: Macizos (2005), Argentina.
- VN - E19 – 66: Compactación de mezclas de suelo-cemento y suelo-cal (1966), Argentina.
- ABNT NBR 16814: Adobe. Requisitos e métodos de ensaio (2020), Brasil.
- NZS 4298: *Materials and workmanship for earth buildings* (1998), Nueva Zelanda.

1.2. Equipamiento

Se deberá emplear una prensa cuyo elemento de aplicación de la carga tenga una rótula esférica que permita el libre movimiento del plato de carga en cualquier dirección, con el fin de poder acomodar las probetas cuyas superficies de apoyo no sean perfectamente paralelas entre sí.

Si los platos de compresión no abarcan la totalidad de la superficie de las probetas a ensayar, se deberá intercalar una (o más) placa de acero para garantizar la repartición de esfuerzos en las placas a 45°, como se indica en la Figura 1. El largo y ancho de las placas de acero deberán ser como mínimo, 6 mm mayores que las dimensiones de las caras de apoyo de las probetas.

1.3. Probetas

Se deberán ensayar 5 probetas preparadas según corresponda:

- **BTC:** Se recomienda ensayar bloques enteros posicionados de manera horizontal, tal como serán posicionados para la construcción de un muro. En caso de ensayar BTC macizos sin perforaciones, pueden emplearse medias unidades de los citados elementos, obtenidos mediante el corte con sierra.
- **Adobes:** Adoptando el criterio de la norma brasilera NBR 16.814, se preparan probetas cúbicas de “H” cm de lado, siendo “H” el espesor del adobe, como puede apreciarse en la Figura 1.1. Las probetas se obtienen recortando los adobes a ensayar, pudiendo obtenerse hasta 2 probetas por adobe.

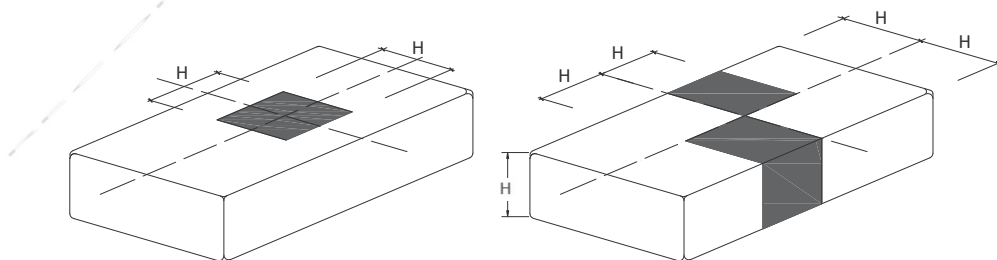


Figura 1.1. Preparación de una probeta de adobe para determinar su resistencia a compresión

- **Tapia:** Pueden emplearse probetas cilíndricas confeccionadas según los requisitos de la norma de Vialidad Nacional VN - E19 – 66: Compactación de mezclas de suelo-cemento y suelo-cal (ensayo Proctor), cuyo procedimiento de moldeo puede encontrarse en el siguiente link: <http://www1.frm.utn.edu.ar/labvial/Normas%20de%20Ensayo.pdf>.

Otra alternativa es compactar la tierra en moldes unitarios con pisones adecuados al tamaño de estos. El llenado del molde deberá realizarse en capas 10 cm como máximo, compactando cada una de ellas hasta lograr la máxima densidad; esto se advierte por el cambio del sonido generado durante la compactación y porque el pisón ya no deja marcas en la superficie compactada. Finalmente, se ensayarán probetas cúbicas “recortadas” de estas unidades.

- **Morteros:** se moldearán probetas cúbicas o cilíndricas con relación altura/diámetro de 2:1, empleando la misma dosificación y consistencia (contenido de agua) que las mezclas que serán utilizadas en obra.

Las probetas podrán ser ensayadas 28 días luego de haber sido moldeadas, debiendo permanecer como mínimo 24 hs en ambiente de laboratorio (temperatura y humedad ambiente) antes de ser ensayadas.

1.4. Encabezado de las probetas

Si las caras no son perfectamente planas y paralelas entre sí, deberán ser encabezadas con un mortero que contenga partes iguales de cemento portland y yeso. El espesor del encabezado no debe superar los 5 mm. Para la medición del paralelismo de las caras y verticalidad del eje de la probeta deberá utilizarse un nivel de burbuja.

1.5. Procedimiento de ensayo

Determinar la altura “h”, largo “a” y ancho “b” de cada probeta, en mm.

Se somete a compresión las caras de la probeta que responden a la posición normal de uso.

La probeta debe posicionarse de manera tal que el baricentro de la cara que recibe la carga coincida con el baricentro del plato de compresión de la máquina de ensayos.

La carga se aplica de manera gradual y perpendicular sobre las caras de apoyo, a una velocidad de 4 MPa/min +/- 2 MPa/min hasta alcanzar la rotura, registrando el valor de la carga máxima alcanzada (P_i).

1.6. Cálculos

Área bruta

Determinar el área bruta de cada probeta (A_i) empleando la fórmula (1.1). Si las probetas poseen perforaciones internas, el área de éstas no deberá ser descontada.

$$A_i = a_i * b_i \quad (1.1)$$

Siendo

- A_i el área bruta de cada probeta, en cm²
- a_i el largo de cada probeta, en cm
- b_i el ancho de cada probeta, en cm

Resistencia individual

La resistencia a compresión de cada probeta ensayada se determina empleando la siguiente fórmula:

$$\sigma'_i = \frac{P_i}{A_i} * F_f \quad (1.2)$$

Siendo

- σ'_i la resistencia a compresión de cada probeta, en kg/cm²

- P_i la carga de rotura de cada probeta ensayada, en kg
- A_i el área bruta de cada probeta, en cm^2
- F_f el factor de relación de aspecto empleado cuando la relación h_i/b_i de las probetas es diferente a 1. Este factor se calcula empleando la fórmula (1.3) y los valores de la Tabla 1.1.

$$F_f = \frac{0.7}{K_a} \quad (1.3)$$

Tabla 1.1: Factor de relación de aspecto

| | | | | |
|---|------|------|------|---------|
| Relación de aspecto (h_i/b_i) | 0,4 | 1,0 | 2,0 | 5 ó más |
| Factor de relación de aspecto (K_a) | 0,50 | 0,70 | 0,80 | 1.00 |

Resistencia característica a compresión

Con los resultados de las determinaciones obtenidas para cada una de las 5 probetas, se calcula la resistencia característica a compresión de la muestra ensayada mediante la fórmula (1.4):

$$\sigma_k = \left(1 - 1.5 \frac{S}{\sigma_{prom}}\right) * \sigma_{min} \quad (1.4)$$

Siendo:

- σ_k la resistencia característica a compresión de la muestra, en kg/cm^2
- σ_{prom} la resistencia media a compresión, determinada con la fórmula (1.5)

$$\sigma_{prom} = \frac{\sum \sigma_i}{n} \quad (1.5)$$

- S la desviación estándar de la muestra, en kg/cm^2 , determinada mediante la fórmula (1.6).

$$S = \frac{\sum (\sigma_i - \sigma_{prom})^2}{n - 1} \quad (1.6)$$

La resistencia característica determinada indica que, al menos el 95% de los elementos constructivos de lote poseerá una resistencia a compresión superior a la calculada.

1.7. Criterios de aceptación

La resistencia característica a compresión mínima requerida por cada elemento constructivo se indica en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2. Resistencia característica a compresión mínima requerida para los diferentes elementos constructivos

| Elemento constructivo | Resistencia característica a compresión σ_k | |
|------------------------------------|--|----------------------|
| | (kg/cm ²) | (MPa) ⁽¹⁾ |
| Adobes | 12 | 1.2 |
| Mortero de asiento | 12 | 1.2 |
| BTC de cerramiento (no portante) | 20 | 2.0 |
| BTC portante | 40 | 4.0 |
| Tapia de cerramiento (no portante) | 20 | 2.0 |
| Tapia portante | 40 | 4.0 |

⁽¹⁾ kg/cm² = 0.1 MPa

1.8. Informe final

Para cada probeta ensayada se deberá indicar lo siguiente:

- Método de obtención o moldeo
- Dimensiones
- Observaciones particulares
- Tipo de encabezado
- Velocidad de carga aplicada
- Ubicación y tipo de rotura
- Valor de la carga máxima alcanzada (P_i)
- Valor de la resistencia individual a compresión (σ_i)

Para el conjunto de las probetas se deberá informar:

- Resistencia media a compresión (σ_{prom})
- Desviación estándar (S)
- Resistencia Característica a compresión (σ_k)
- Resistencia característica a compresión mínima solicitada, según el tipo de elemento constructivo ensayado (Tabla 1.2).

2. RESISTENCIA A COMPRESIÓN SATURADA

2.1. Normas de referencia

Para la confección de este protocolo de ensayo se emplearon como referencia las siguientes normas técnicas:

- IRAM 12566-1: Ladrillos y bloques cerámicos para la construcción de tabiques y muros. Parte 1: Macizos (2005), Argentina.
- VN - E19 – 66: Compactación de mezclas de suelo-cemento y suelo-cal (1966), Argentina.
- ABNT NBR 16814: Adobe. Requisitos e métodos de ensaio (2020), Brasil.
- XP P13-901 Blocs de terre comprimée pour murs et cloisons. Définitions. Spécifications. Méthodes: d'essai. Conditions de reception (2017), Francia.
- NTC 5324: Bloques de suelo cemento para muros y divisiones. Definiciones. Especificaciones. Métodos de Ensayo. Condiciones de Entrega (2004), Colombia.
- NMAC 14.7.8 New México Earthen Buildings Materials Code (2008), Estados Unidos

2.2. Objetivo del ensayo

Determinar la capacidad portante de elementos constructivos destinados a soportar cargas estructurales que estarán sometidos a condiciones de exposición severas, como ser:

- Elementos que constituirán muros perimetrales vistos que no estarán revestidos ni protegidos por aleros, pérgolas o galerías.
- Elementos próximos a nivel del terreno que eventualmente podrían quedar sumergidos o saturados.

2.3. Equipamiento

Además del equipamiento detallado en el apartado 1.2 de este protocolo, se requerirán recipientes aptos para sumergir por completo las probetas a temperatura ambiente.

2.4. Preparación de las probetas

Se deberán ensayar 5 probetas preparadas según lo indicado en el apartado 1.3 y encabezadas según las recomendaciones del inciso 1.4.

Una vez endurecido el mortero de encabezado (al menos 48 hs luego de realizarlo), las probetas deberán permanecer por 12 hs completamente sumergidas en agua, o el tiempo requerido para alcanzar la saturación, lo cual deberá corroborarse por pesadas sucesivas hasta lograr la constancia de masa.

2.5. Procedimiento de ensayo

Se determinarán las dimensiones nominales de cada probeta y su a compresión saturadas siguiendo procedimiento descrito en apartado 1.5, registrando el valor de la carga máxima alcanzada por cada una (P_i).

2.6. Cálculos

Área bruta

Determinar el área bruta de cada probeta (A_i) empleando la fórmula (1.1). Si las probetas poseen perforaciones internas, el área de éstas no deberá ser descontada.

Resistencia individual

La resistencia a compresión saturada de cada probeta ensayada se determina empleando la fórmula 2.1:

$$\sigma_i^{sat} = \frac{P_i}{A_i} * F_f \quad (2.1)$$

Siendo:

- σ_i^{sat} la resistencia a compresión saturada de cada probeta, en kg/cm²
- P_i la carga de rotura de cada probeta ensayada, en kg
- A_i el área bruta de cada probeta, en cm²
- F_f el factor de relación de aspecto empleado cuando la relación altura/espesor de las probetas es diferente a 1. Este factor se calcula empleando la fórmula 1.3 y los valores de la Tabla 1.1

Resistencia característica a compresión

Con los resultados de las determinaciones obtenidas para cada una de las 5 probetas, se calcula la resistencia característica a compresión saturada de la muestra ensayada mediante la fórmula 2.2:

$$\sigma_k^{sat} = \left(1 - 1.5 \frac{S}{\sigma_{prom}}\right) * \sigma_{min} \quad (2.2)$$

Siendo:

- σ_k^{sat} la resistencia característica a compresión saturada de la muestra, en kg/cm²
- σ_{prom} la resistencia media a compresión, determinada con la fórmula 1.5
- S la desviación estándar de la muestra, en kg/cm², determinada mediante la fórmula 1.6

La resistencia característica determinada indica que, al menos el 95% de los elementos constructivos de lote poseerá una resistencia a compresión saturada superior a la calculada.

2.7. Criterios de aceptación

La resistencia característica a compresión mínima requerida por cada elemento constructivo se indica en la Tabla 2.1:

Tabla 2.1. Resistencia característica a compresión saturada mínima requerida para los diferentes elementos constructivos

| Elemento constructivo | Resistencia característica a compresión σ_k | | (kg/cm ²) |
|-----------------------|--|----------------------|-----------------------|
| | (kg/cm ²) | (MPa) ⁽¹⁾ | |
| Adobes | 10 | 1.0 | 10 |
| Mortero de asiento | 10 | 1.0 | 10 |
| BTC portante | 20 | 2.0 | 20 |
| Tapia portante | 20 | 2.0 | 20 |

(1) kg/cm² = 0.1 MPa

2.8. Informe final

Para cada probeta ensayada se deberá indicar lo siguiente:

- Método de obtención o moldeo
- Dimensiones
- Observaciones particulares
- Tipo de encabezado
- Velocidad de carga aplicada
- Ubicación y tipo de rotura
- Valor de la carga máxima alcanzada (P_i)
- Valor de la resistencia individual a compresión saturada (σ_i^{sat})

Para el conjunto de las probetas se deberá informar:

- Resistencia media a compresión de las probetas saturadas (σ_{prom}^{sat})
- Desviación estándar (S)
- Resistencia Característica a compresión saturada (σ_k^{sat})
- Resistencia característica a compresión saturada mínima solicitada según el tipo de elemento constructivo ensayado (Tabla 2.1).

3. RESISTENCIA A TRACCIÓN POR FLEXIÓN- MÓDULO DE ROTURA

3.1. Normas de referencia

Para la confección de este protocolo de ensayos se emplearon como referencia las siguientes normas técnicas:

- IRAM 12734: Ladrillos y bloques cerámicos para para forjados. Ensayo de resistencia a flexión (1996), Argentina.
- NZS 4298: Materials and workmanship for earth buildings (1998), Nueva Zelanda.

3.2. Probetas

Se deberán ensayar como mínimo 5 probetas preparadas según corresponda:

- **BTC**: bloques enteros sin perforaciones. Este ensayo no podrá realizarse sobre BTC huecos o con perforaciones.
- **Adobes**: Adobes enteros posicionados de manera horizontal
- **Tapia**: Para confeccionar las probetas de tapia se deberá compactar la tierra en moldes unitarios con pisonos adecuados al tamaño de este y se llenarán en capas de 10 cm de altura como máximo, compactando cada una de ellas hasta lograr la máxima densidad; esto se advierte por el cambio del sonido generado durante la compactación y porque el pisón ya no deja marcas en la superficie compactada. Finalmente, se ensayarán probetas prismáticas "recortadas" de estas unidades, siendo recomendable que posean el tamaño de un bloque o adobe.
- **Morteros y revoques**: se moldearán probetas prismáticas empleando la misma dosificación y consistencia (contenido de agua) que las mezclas que serán utilizadas en obra. Se recomienda emplear probetas prismáticas del tamaño de un bloque o adobe.

Las probetas podrán ser ensayadas 28 días luego de haber sido moldeadas, debiendo permanecer como mínimo 24 hs en ambiente de laboratorio (temperatura y humedad ambiente) antes de ser ensayadas.

3.3. Equipamiento y procedimiento de ensayo

Para determinar la resistencia a tracción por flexión (módulo de rotura) de los elementos constructivos de tierra se proponen 3 alternativas, dos de las cuales pueden realizarse en campo sin requerir la utilización de equipos de gran complejidad.

3.4. Ensayo de 3 puntos – Laboratorio

Para la realización de este ensayo de laboratorio se requiere de un marco reactivo apto para la realización del ensayo de flexión de 3 puntos y un comparador centesimal o celda de carga con precisión de 0.1 N.

Este método de ensayo puede aplicarse a cualquiera de las probetas mencionadas en el apartado 3.2.

Procedimiento

Determinar y registrar la altura "h" y el ancho "b" de cada probeta, en mm.

Colocar la probeta a ensayar sobre 2 soportes cilíndricos de 1.5 cm centímetros de diámetro a 3 centímetros de distancia de cada extremo. Medir la distancia "L" entre el centro de ambos cilindros y

colocará un nuevo cilindro de igual diámetro en el centro de los apoyos, paralelo a ellos. Aplicar carga al cilindro superior a una velocidad controlada de aproximadamente 20 N/min hasta alcanzar la falla de la probeta, registrándose la carga de rotura P_i .

En la Figura 3.1 se indica la forma de posicionar los cilindros inferiores y el cilindro superior, sobre el cual se aplicará la carga.

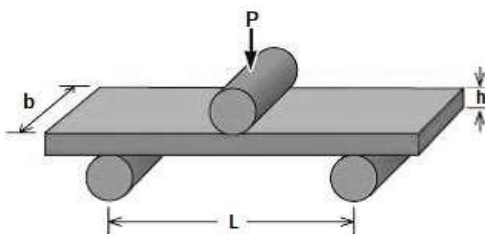


Figura 3.1. Esquema del ensayo de flexión d 3 puntos

El módulo de rotura de cada probeta ensayada se determinará empleando la ecuación 3.1:

$$f_i = \frac{3}{2} \frac{P_i L}{b \cdot h^2} \quad (3.1)$$

Siendo

- f_i el módulo de rotura de cada probeta, en MPa
- P_i La carga de rotura de cada probeta, en N
- L la distancia entre el centro de los apoyos inferiores, en mm
- b el ancho de cada probeta, en mm
- h la altura de cada probeta, en mm

3.5. Métodos de ladrillos apilados – Ensayo de campo

Este método de ensayo permite determinar en campo el módulo de rotura de BTC y adobes con una longitud superior a 35 cm. Si la longitud de los elementos a ensayar es inferior, se deberá emplear el método de la palanca, detallado en el apartado 3.6.

La prueba se debe realizar sobre un terreno firme, preferentemente de hormigón o madera. El esquema de ensayo es el indicado en la Figura 3.2, colocando una cama de arena de 10 mm de espesor debajo de cada punto de apoyo para distribuir las cargas en todo el ancho de la probeta.

El listón de madera que sostiene el borde de la pila de ladrillos se colocará directamente encima del soporte de la probeta que será ensayada. La pila de carga (constituida por ladrillos, BTC o adobes) se coloca desplazada una distancia $x \approx 40$ mm, evitando así para evitar que los ladrillos de carga caigan antes de que ocurra la falla de la probeta.

La longitud “L” entre los soportes del bloque a ensayar debe ser mayor al doble de su altura “h”.

Procedimiento

Determinar el peso “W” de los ladrillos de la pila de carga empleando el promedio de los pesos de 10 ladrillos que se han fabricado de manera idéntica. Los pesos se determinarán con una precisión de 0,5 kg y cualquier ladrillo de los 10 que varíe más del 5% del promedio, será reemplazado por otro cuyo peso cumpla con este requisito.

Medir el largo “l”, ancho “b” y alto “h” de cada probeta. Determinar además la distancia entre el centro de los apoyos “L” y la distancia “x” de la pila de carga. Todas las medidas deberán tomarse con una precisión de 1.0 mm.

Aplicar la carga apilando ladrillos de uno en uno hasta alcanzar la rotura por flexión de la probeta. Registrar el número de ladrillos de carga “n” apilados sobre la probeta.

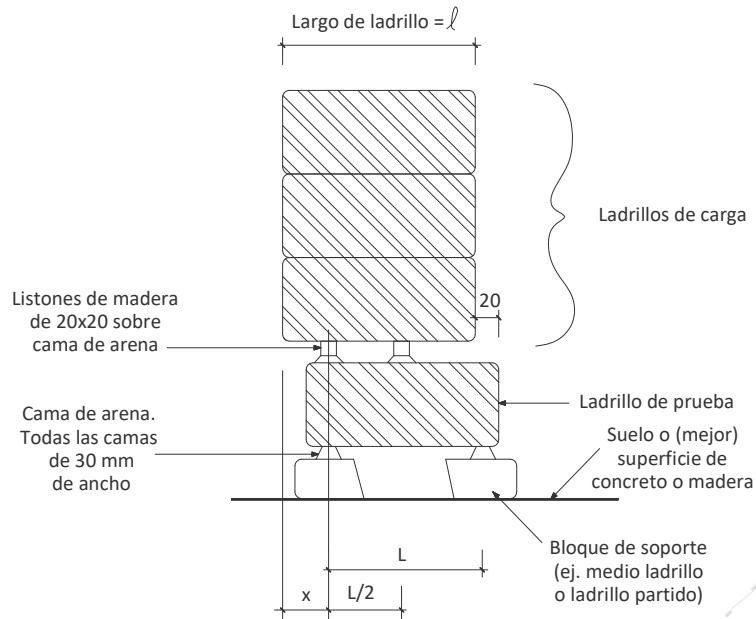


Figura 3.2. Esquema del ensayo de la pila de ladrillos para determinar el módulo de rotura

La resistencia a tracción o módulo de rotura de cada probeta ensayada se determinará empleando la ecuación 3.2:

$$f_i = \left(\frac{0.015 n W L}{b h^2} * \frac{1-2x}{L} \right) * 0.001 \quad (3.2)$$

Siendo:

- f_i el módulo de rotura de cada probeta, en MPa
- n el número de ladrillos de carga apilados sobre la probeta
- W El peso promedio de los ladrillos de carga, en kg
- L la distancia entre el centro de los apoyos inferiores, en m
- b el ancho de cada probeta, en m
- h la altura de cada probeta, en m
- x la distancia de desfase de la pila de carga respecto a la probeta, en m

3.6. Métodos de la palanca – Ensayo de campo

Este método de ensayo permite determinar en campo la resistencia a tracción o módulo de rotura de elementos constructivos independientemente de sus dimensiones. Para realizarlo se requerirá un equipo como el ilustrado en la Figura 3.3, cuyos brazos de palanca (L_1 y L_2) y peso propio (G) sean perfectamente conocidos.

Procedimiento

Una vez determinado el ancho (b) y alto (h) de la probeta con una precisión de 1.0 mm, ésta deberá ser posicionada sobre los soportes cilíndricos inferiores, separados entre sí una distancia “ L ” (distancia entre ejes) y se comenzará a aplicar la carga de manera gradual hasta alcanzar la falla.

Para aplicar la carga “ P ” de manera controlada se recomienda suspender del extremo de la palanca un recipiente sobre el cual se vaya agregando agua o arena de manera gradual. Una vez alcanzada la falla de la probeta, pesar el recipiente y su contenido (P) en una balanza con apreciación de 0.1 kg.

Es importante que al comenzar el ensayo el brazo de palanca esté horizontal y que se mantenga en esta posición durante la aplicación de la carga.

Finalmente, el módulo de rotura se calculará empleando la fórmula 3.3.

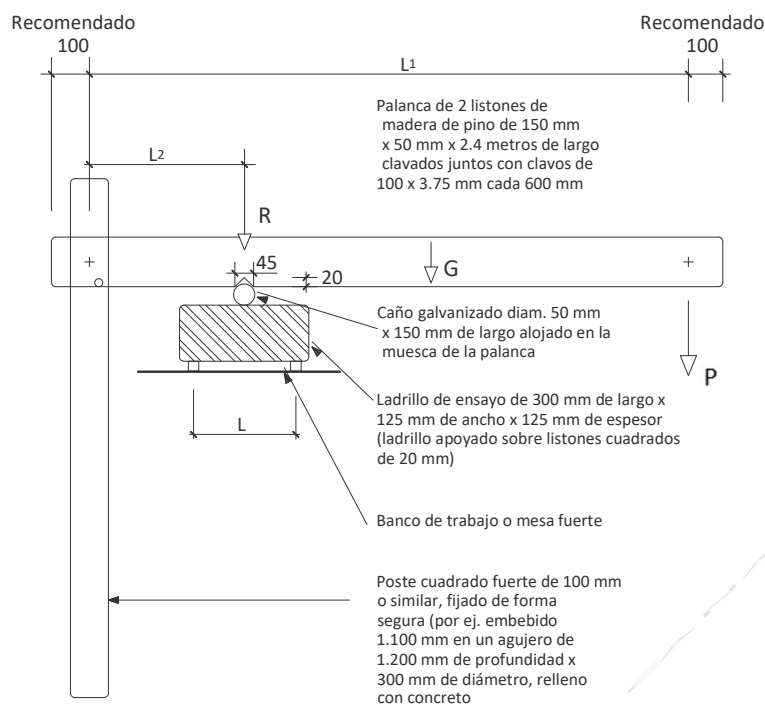


Figura 3.3. Determinación del módulo de rotura por el método de la palanca

$$f_i = \left(\frac{3L}{2b \cdot h^2} * \frac{L_1 (P + G/2)}{L_2} \right) * 0.1 \quad (3.3)$$

Siendo:

- f_i el módulo de rotura de cada probeta, en MPa
- L la distancia entre el centro de los apoyos inferiores, en cm
- b el ancho de cada probeta, en cm
- h la altura de cada probeta, en cm
- P la carga aplicada en el extremo de la palanca, en kg
- G el peso propio del brazo de la palanca, en kg
- L_1 la longitud de la palanca, medida entre el eje de la rótula y el punto de aplicación de la carga, en cm
- L_2 la distancia entre la rótula de la palanca y el centro geométrico de la probeta, en cm

3.7. Cálculos

Módulo de rotura característica

Con los resultados de las determinaciones obtenidas para cada una de las 5 probeta ensayadas, se calcula el módulo de rotura característica de la muestra ensayada mediante la fórmula (3.4):

$$f_k = \left(1 - 1.5 \frac{S}{f_{prom}} \right) * f_{min} \quad (3.4)$$

Siendo:

- f_k el módulo de rotura característico de la muestra, en MPa
- f_{prom} la resistencia media a compresión, determinada con la fórmula (3.5), siendo n el número de probetas ensayadas (al menos 5).

$$f_{prom} = \frac{\sum f_i}{n} \quad (3.5)$$

- S la desviación estándar de la muestra, en MPa, determinada mediante la fórmula (3.6).
-

$$S = \frac{\sum(\sigma_i - \sigma_{prom})^2}{n - 1} \quad (3.6)$$

El módulo de rotura característicos determinada indica que, al menos el 95% de los elementos constructivos de lote poseerá una resistencia a tracción por flexión superior al valor determinado.

3.8. Criterios de aceptación

El módulo de rotura característico debe ser superior a 0.25 MPa (2.5 kg/cm²)

Si la probeta de menor resistencia presenta un módulo de rotura superior a 0.25 MPa ($f_{min} > 0.25 \text{ MPa}$) no es necesario calcular el módulo de rotura característico, considerando que la resistencia a flexión de la muestra cumple con los requisitos mínimos.

3.9. Informe final

Para cada probeta ensayada se deberá indicar lo siguiente:

- Dimensiones
- Observaciones particulares
- Método de ensayo empleado
- Módulo de rotura individual (f_i)

Para el conjunto de las probetas se deberá informar:

- Módulo de rotura promedio (f_{prom})
- Desviación estándar (S)
- Módulo de rotura característico (f_k)
- Menor módulo de rotura individual f_{min}

4. RESISTENCIA A EROSIÓN HÚMEDA

4.1. Normas de referencia

Para la confección de este protocolo de ensayos se emplearon como referencia las siguientes normas técnicas:

- UNE 41410: Bloques de Tierra Comprimida para muros y tabiques. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo (2008), España.
- NZS 4298: Materials and workmanship for earth buildings (1998), Nueva Zelanda.
- NMX-C-508-ONNCCE: Industria de la Construcción. Bloques de tierra comprimida estabilizados con cal. Especificaciones y métodos de ensayo (2015), México.

4.2. Objetivo del ensayo

Determinar la resistencia a la erosión provocada por las lluvias o temporales con vientos de los materiales de tierra que estarán sometidos condiciones de exposición severas, como ser:

- Elementos que constituirán muros perimetrales vistos que no estarán revestidos ni protegidos por aleros, pérgolas o galerías.
- Revoques exteriores de muros perimetrales que no estarán protegidos por elementos arquitectónicos como aleros o galerías.

4.3. Probetas

Se deberán ensayar 3 probetas preparadas según corresponda:

- BTC: bloques enteros o mitades
- Adobes: Adobes enteros o mitades
- Tapia: Para confeccionar las probetas de tapia se deberá compactar la tierra en moldes unitarios con pisones adecuados al tamaño de este y se llenarán en capas de 10 cm de altura como máximo, compactando cada una de ellas hasta lograr la máxima densidad; esto se advierte por el cambio del sonido generado durante la compactación y porque el pisón ya no deja marcas en la superficie compactada. Finalmente, se ensayarán probetas prismáticas "recortadas" de estas unidades. Se recomienda emplear probetas de al 15 cm de lado por 12 cm de profundidad.
- Morteros y revoques: se moldearán probetas prismáticas empleando la misma dosificación y consistencia (contenido de agua) que las mezclas que serán utilizadas en obra. El tamaño de las probetas moldeadas deberá ser de al menos 15 cm de lado por 12 cm de profundidad.

Las probetas podrán ser ensayadas 28 días luego de haber sido moldeadas, debiendo permanecer como mínimo 24 hs en ambiente de laboratorio (temperatura y humedad ambiente) antes de ser ensayadas.

4.4. Equipamiento y procedimiento de ensayo

Para determinar la resistencia a erosión húmeda de los elementos constructivos de tierra se proponen 3 alternativas válidas, cada una de ellas con diferentes niveles de agresividad.

4.5. Método de Geelong – Campo

Esta prueba requiere de un equipamiento mínimo por lo cual puede realizarse en campo. Además, el nivel de erosión de esta es el menor de los 3 ensayos propuestos, siendo recomendado para evaluar durabilidad de adobes y revoques de tierra sin estabilizar.

Equipamiento

El equipo requerido para la realización de este ensayo se esquematiza en la Figura 4.1 y se compone de:

- Un recipiente de agua transparente con capacidad para almacenar un volumen aproximado de 400 ml de agua.
- Una cuerda de algodón o “mecha” de 16 mm de diámetro.
- Varilla de punta plana de 3.15 mm de diámetro

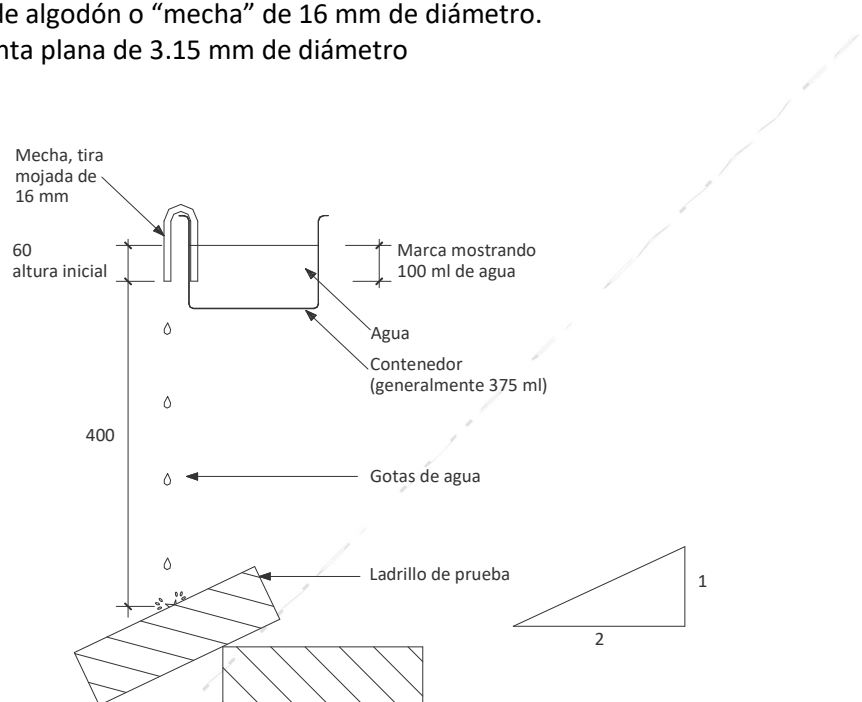


Figura 4.1. Esquema del ensayo de erosión húmeda Geelong

Procedimiento

El ensayo consiste en dejar caer desde una altura de 40 cm, gota a gota 100 ml de agua, empleando para ello una mecha de algodón saturada de 16 mm de diámetro. Para que el ensayo sea válido, el tiempo requerido para erogar los 100 ml de agua deber estar comprendido entre 20 y 60 minutos. La cara expuesta de la probeta debe estar colocada de manera tal de formar un ángulo de 27° con la horizontal, garantizando así el correcto escurrimiento del agua.

Tras la realización del ensayo se mide la profundidad del hoyo generado con una varilla de punta plana de 3.15 mm de diámetro y se calcula el nivel de resistencia a erosión húmeda empleando la Tabla 4.1.

4.6. Método Swimborn

Este ensayo es más agresivo que el mencionado en el apartado 4.5 y se recomienda realizarlo sobre cualquier elemento constructivo de tierra, incluso aquellos estabilizados con pequeños porcentajes de cal, cemento o asfalto.

Equipamiento

El equipamiento requerido se esquematiza en la Figura 4.2 y se compone un cuerpo principal de entre 5 y 10 cm de diámetro con ingreso continuo de agua por la parte superior. En la parte superior constará

de una descarga de líquido excedente, con la cual se posibilitará mantener un nivel de agua constante dentro del tubo durante el período de ensayo. El agua saldrá del equipo por un conducto de 10 cm de largo y 5 mm de diámetro interior. La distancia entre la parte superior de este conducto y la descarga será de 40 cm.

Este ensayo consiste en dejar caer una corriente continua de agua sobre la probeta durante 10 minutos a través de un tubo de diámetro interior de 5 mm conectado a un tanque de agua a nivel constante, cuya cabecera se encuentra a 150 cm sobre la superficie expuesta de la probeta, la cual se mantiene inclinada 27° respecto a la horizontal. En la Figura 4.2 puede apreciarse un esquema de realización de este ensayo.

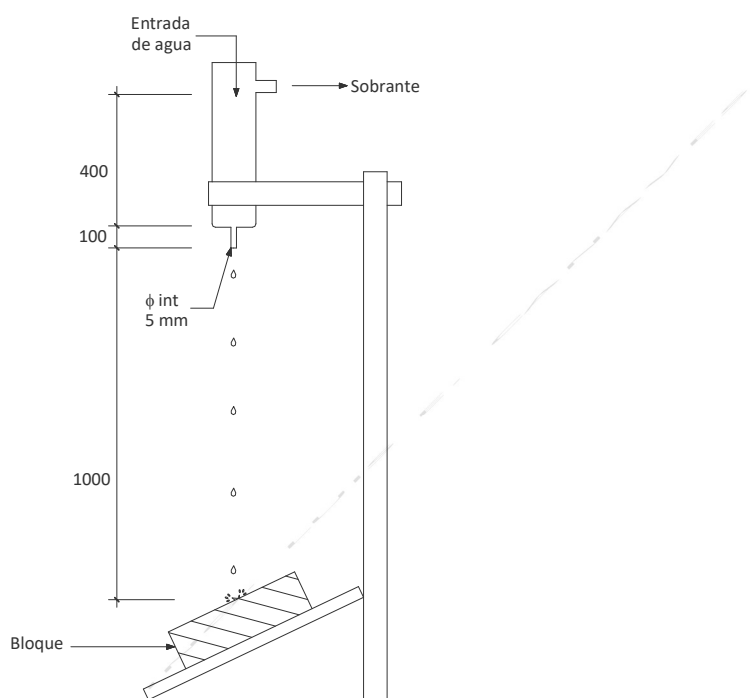


Figura 4.2. Esquema del ensayo de erosión húmeda por el método Swimborn

Una vez finalizado el ensayo se mide la profundidad de la perforación producida “D” con una varilla circular de punta plana y 3 mm de diámetro, determinándose el nivel de resistencia a la erosión húmeda empleando la Tabla 4.1.

4.7. Método de pulverizado de agua a presión – Laboratorio

Esta prueba consiste en rociar la cara de una probeta con un spray de agua presurizada por un período de 1 hora o hasta que la muestra sea completamente atravesada. Este ensayo es el de mayor agresividad, recomendado para evaluar la resistencia a erosión húmeda de tapias y BTC estabilizados (con cal, cemento o asfalto).

Equipamiento

El equipo requerido para la realización de este ensayo se esquematiza en la Figura 4.3, cuyos principales elementos constitutivos se enumeran a continuación:

- Equipo de bombeo que permita presurizar el agua a una presión de 50 KPa (0.5 bar).
- Boquilla de aspersión (ver Figura 4.3).
- Base móvil que permita ubicar la probeta a 47 cm (la superficie expuesta) de distancia de la boquilla de aspersión.
- Placa metálica con una perforación circular de 15 cm de diámetro.

- Varilla de punta plana de 10 mm de diámetro

Procedimiento

Antes de colocar la probeta dentro del equipo debe corroborarse que la presión de agua erogada por el mismo sea de 0.5 bar. Una vez corroborado esto, se introduce la probeta dentro del equipo, ajustando la posición de la base de apoyo hasta que la distancia entre la cara expuesta de la probeta y la fuente de agua presurizada sea de 47 cm.

Una vez colocada la probeta en posición, se acciona el dispositivo presurizador de agua y comienza el tiempo de ensayo. El tiempo de exposición de cada probeta es de 60 minutos, interrumpiéndose cada 15 minutos para observar el estado de esta, percatándose de no mover a la probeta de su posición.

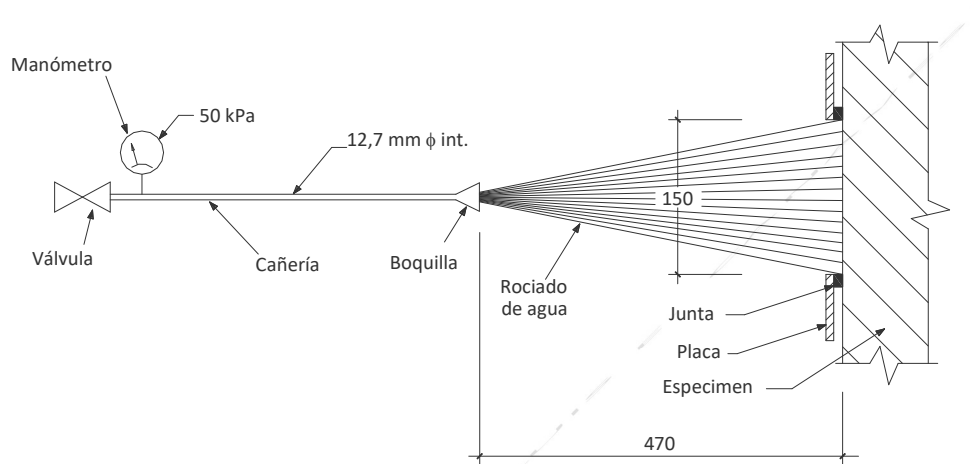


Figura 4.3. Esquema del ensayo de pulverizado de agua a presión

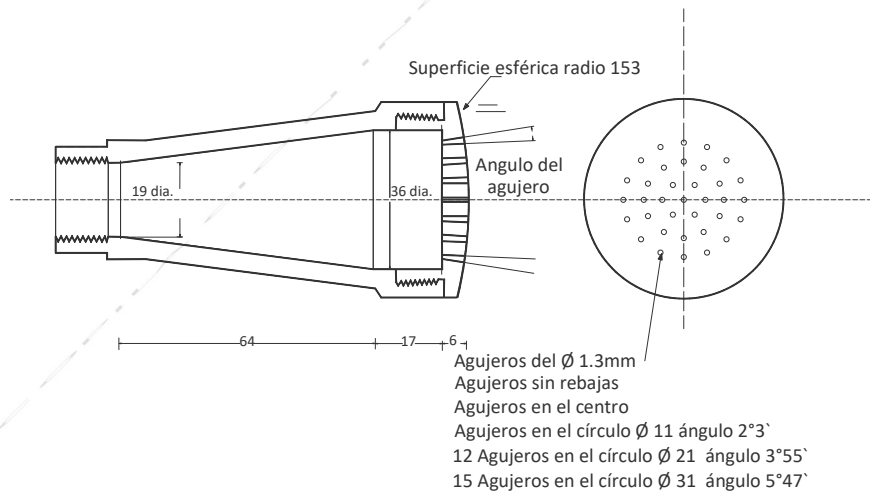


Figura 4.4. Especificaciones de la boquilla de aspersión

Tras la realización del ensayo se mide la profundidad del hoyo más profundo generado con una varilla de punta plana de 10 mm de diámetro y se calcula el nivel de resistencia a erosión empleando la Tabla 4.1. Cuando el spray perfora un agujero a través de la pared de muestra ensayada en menos de una hora, el nivel de resistencia a erosión se obtiene dividiendo el espesor de la muestra por el tiempo necesario para que ocurra la penetración completa, empleando la fórmula 4.1.

$$D = \frac{e}{t} \quad (4.1)$$

Siendo

- D la profundidad de erosión equivalente, en mm
- e el espesor de la pieza ensayada que fue completamente perforada, en mm
- t el tiempo requerido para perforar la probeta, en hs

4.8. Criterios de aceptación

El nivel de resistencia a la erosión húmeda de las muestras ensayadas se determina contrastando la profundidad de erosión “D” generada tras la realización del ensayo correspondiente con los valores estipulados en la Tabla 4.1. El Nivel 1 de resistencia a erosión húmeda solo puede garantizarse realizando el ensayo de pulverizado de agua a presión.

Tabla 4.1. Niveles de resistencia a erosión según el método de pulverizado de agua a presión

| Profundidad de erosión D (mm) | | | Nivel de resistencia a erosión húmeda | |
|-------------------------------|------------------|-------------------------------|---------------------------------------|--|
| Método Geelong | Método Swimbourn | Pulverizado de agua a presión | | |
| - | - | $0 < D < 20$ | 1 | Apto para uso en exteriores sin protección |
| $D < 5$ | $D < 10$ | $20 < D < 50$ | 2 | Apto para uso en exteriores |
| $5 < D < 10$ | $10 < D < 20$ | $50 < D < 90$ | 3 | Se recomienda proteger de lluvias directas |
| $10 < D < 15$ | $20 < D < 30$ | $90 < D < 120$ | 4 | Revestir o proteger de lluvias directas |
| $D > 15$ | $D > 30$ | $D > 120$ | 5 | No apto |

4.9. Informe final

Para cada probeta ensayada se deberá indicar lo siguiente:

- Método de moldeo u obtención
- Dimensiones
- Observaciones particulares
- Método de ensayo empleado
- Profundidad de erosión (D)
- Nivel de resistencia a erosión húmeda según Tabla 4.1

5. RESISTENCIA A LA ABRASIÓN

5.1. Normas de referencia

Para la confección de este protocolo de ensayo se emplearon como referencia las siguientes normas técnicas:

- VN - E21 – 66: Ensayo de durabilidad por humedecimiento y secado de mezclas de suelo-cemento (1966), Argentina.
- XP P13-901: Blocs de terre comprimée pour murs et cloisons. Définitions. Spécifications. Méthodes d'essai. Conditions de reception (2017), Francia.
- NTC 5324: Bloques de suelo cemento para muros y divisiones. Definiciones. Especificaciones. Métodos de Ensayo. Condiciones de Entrega (2004), Colombia.

5.2. Equipamiento

- Balanza con capacidad de 20 kg y precisión de 1 g.
- Cepillo con cerdas de acero de 28 mm de longitud y sobrecarga de 3 kg, como se indica en la Figura 5.1.
- Regla milimetrada de al menos 30 cm de longitud.
- Pincel de cerdas finas.

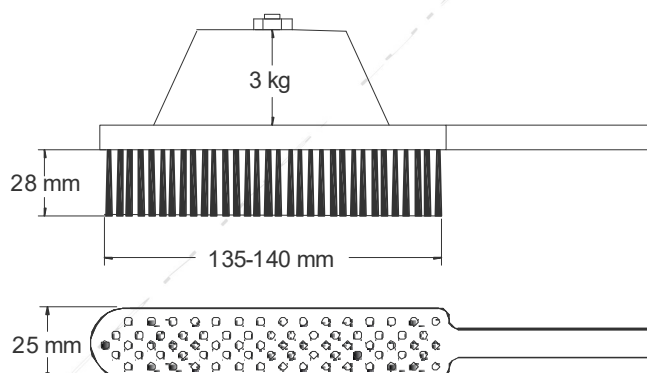


Figura 5.1. Cepillo de acero para la realización del ensayo de abrasión

5.3. Probetas

Se deberán ensayar como mínimo 3 probetas preparadas según corresponda:

- BTC: bloques enteros o medios bloques
- Adobes: Adobes enteros o medios adobes
- Tapia: Pueden emplearse probetas cilíndricas confeccionadas según los requisitos de la norma de Vialidad Nacional VN - E19 – 66: Compactación de mezclas de suelo-cemento y suelo-cal (ensayo Proctor), cuyo procedimiento de moldeo puede encontrarse en el siguiente link: <http://www1.frm.utn.edu.ar/labvial/Normas%20de%20Ensayo.pdf>.
- Otra alternativa es compactar la tierra en moldes unitarios con pisones adecuados al tamaño de este. El llenado del molde deberá realizarse en capas 10 cm como máximo, compactando cada una de ellas hasta lograr la máxima densidad; esto se advierte por el cambio del sonido generado durante la compactación y porque el pisón ya no deja marcas en la superficie compactada. Finalmente, se ensayarán probetas prismáticas “recortadas” de estas unidades. Se recomienda emplear probetas de al 15 cm de lado por 12 cm de profundidad.

- **Morteros y revoques:** se moldearán probetas prismáticas empleando la misma dosificación y consistencia (contenido de agua) que las mezclas que serán utilizadas en obra. El tamaño de las probetas moldeadas deberá ser de al menos 15 cm de lado por 7 cm de profundidad.

Las probetas podrán ser ensayadas 28 días luego de haber sido moldeadas, debiendo permanecer como mínimo 24 hs en ambiente de laboratorio (temperatura y humedad ambiente) antes de ser ensayadas.

5.4. Procedimiento de ensayo

Pesar cada probeta y registrar su masa ($m_{inicial}$). Colocarla sobre un plano de trabajo horizontal donde se realizará el cepillado. El cepillo será colocado sobre la probeta con el fin de que el peso de éste se ejerza verticalmente sobre la probeta como se muestra en la figura 5.2.

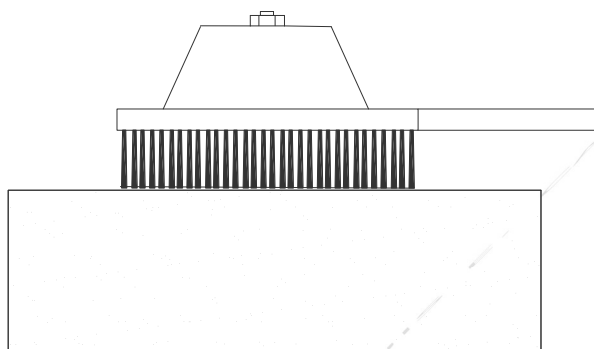


Figura 5.2. Posición del cepillo sobre la probeta

El cepillado se realiza sobre la cara que, en obra permanecerá expuesta a la abrasión; en BTC y adobes, sobre las caras laterales.

Cepillar la superficie de la probeta a razón de una ida y vuelta por segundo durante un minuto (60 idas y vueltas) sin aplicar fuerza vertical sobre el cepillo. El ancho del cepillado no debe exceder más de 2 mm del ancho del cepillo.

El cepillado debe hacerse sobre toda la longitud de la probeta, manteniendo en todo momento, al menos la mitad del cepillo en contacto con la superficie del bloque durante toda la ejecución del ensayo. Esto evita que se dañen las aristas de la probeta.

Al finalizar el cepillado, la probeta se limpia con un pincel de cerda fina seco, eliminando los elementos que se desprendieron de ésta durante el cepillado y se vuelve a determinar su masa (m_{final}) en gramos.

5.5. Cálculos

Se calcula la superficie cepillada S empleando la fórmula 5.1.

$$S = (L \times l) * 0.01 \quad (5.1)$$

Siendo:

- S la superficie cepillada, en cm^2
- L el largo de la probeta, en mm
- l el ancho de la cepillada, en mm

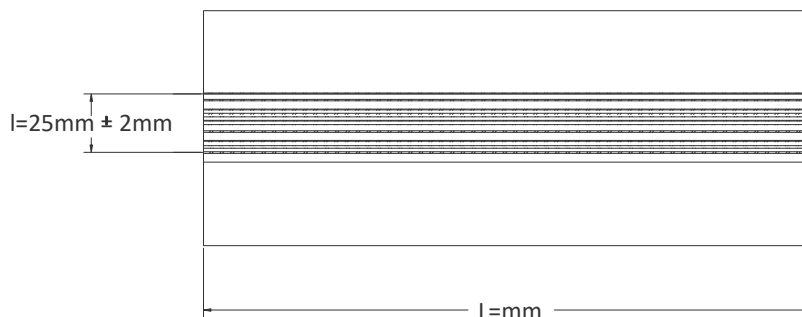


Figura 5.3. Determinación de la superficie cepillada S

Finalmente, se calcula el coeficiente de abrasión C_a mediante la fórmula 5.2

$$C_a = \frac{S}{m_{inicial} - m_{final}} \quad (5.2)$$

Siendo

- C_a el coeficiente de abrasión en, cm^2/g
- S la superficie cepillada, en cm^2
- $m_{inicial}$ la masa inicial de la probeta antes, en g
- m_{final} la masa final de la probeta luego del ensayo, en g

5.6. Resultados

El nivel de resistencia a la abrasión de los elementos de tierra se determinará contrastando el coeficiente de abrasión C_a se determinará empleando la Tabla 5.1.

Tabla 5.1: Niveles de resistencia a la abrasión

| Nivel de resistencia a la abrasión | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|-------|------------------|------------------|--------------|
| Coefficiente de abrasión C_a (cm^2/g) | > 7 | $7 < C_a \leq 5$ | $5 < C_a \leq 2$ | $C_a \leq 2$ |

Para poder ser empleados en muros exteriores vistos, los elementos constructivos de tierra deberán poseer un nivel de resistencia a la abrasión 1 o 2. Los elementos constructivos con nivel de resistencia 3 o 4 deberán ser revestidos.

5.7. Informe final

Para cada probeta ensayada se deberá indicar lo siguiente:

- Método de obtención o moldeo
- Dimensiones
- Observaciones particulares
- Coeficiente de abrasión (C_a)
- Nivel de resistencia a la abrasión

6. ENSAYO DE CAIDA DE UN LADRILLO COMPLETO

6.1. Normas de referencia

Para la confección de este protocolo de ensayo se empleó como referencia la norma técnica NZS 4298: Materials and workmanship for earth buildings (1998), Nueva Zelanda.

6.2. Objetivo del ensayo

Esta prueba permite identificar de manera sencilla la calidad de los bloques y morteros de tierra, y se recomienda realizarla antes de realizar los ensayos de resistencia a compresión o módulo de rotura por flexión.

Si los elementos constructivos no cumplen este ensayo, es poco probable que cumplan con los requisitos estipulados por los ensayos de resistencia a compresión y módulo de rotura por flexión.

6.3. Probetas

Se deberán ensayar como mínimo 3 probetas preparadas según corresponda:

- **BTC:** Bloques enteros macizos. Este ensayo no puede realizarse sobre BTC huecos.
- **Adobes:** Adobes enteros
- **Tapia:** Para confeccionar las probetas de tapia se deberá compactar la tierra en moldes unitarios con pisones adecuados al tamaño de este y se llenarán en capas de 10 cm de altura como máximo, compactando cada una de ellas hasta lograr la máxima densidad; esto se advierte por el cambio del sonido generado durante la compactación y porque el pisón ya no deja marcas en la superficie compactada. Finalmente, se ensayarán probetas prismáticas “recortadas” de estas unidades. Se recomienda confeccionar probetas prismáticas con forma de bloque, de al menos 15x15x10cm.
- **Morteros y revoques:** se moldearán probetas prismáticas empleando la misma dosificación y consistencia (contenido de agua) que las mezclas que serán utilizadas en obra. Se recomienda confeccionar probetas prismáticas con forma de bloque, de al menos 15x15x10cm.

Si el largo de los adobes o BTC supera al doble de su ancho, éstos deberán cortarse en 2 mitades y realizar la prueba sobre éstas.

Las probetas podrán ser ensayadas 28 días luego de haber sido moldeadas, debiendo permanecer como mínimo 24 hs en condiciones de temperatura y humedad controladas (un espacio interior seco y resguardado del sol) antes de ser ensayadas.

6.4. Procedimiento de ensayo

Se deja caer una probeta suspendida desde una esquina en la posición que se indica en la Figura 6.1 a una altura de 90 cm entre su punto más bajo y la superficie de impacto. Esta superficie debe presentar una dureza superior a la de la probeta, siendo recomendado un piso de hormigón o losetas graníticas. El impacto deber realizarse sobre una de las esquinas de la probeta.

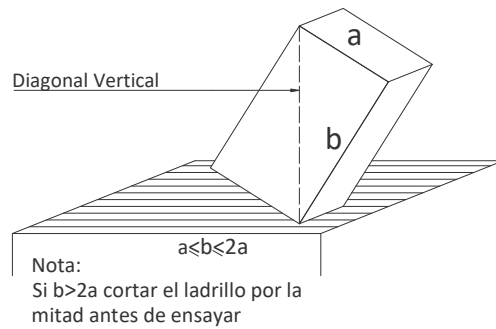


Figura 6.1. Esquema de realización del ensayo de caída

6.5. Criterio de aceptación

El bloque o probeta se considera apto si tras la realización del ensayo no se rompe. Se considera que el mismo está roto si se parte en trozos de aproximadamente el mismo tamaño o le faltase un trozo de 100 mm o mayor en cualquiera de sus esquinas.

Los únicos resultados posibles para este ensayo son: **Cumple / No cumple.**

6.6. Informe final

Para cada probeta ensayada se deberá indicar lo siguiente:

- Método de obtención o moldeo
- Dimensiones
- Observaciones particulares
- Cumple / No cumple
- Descripción su estado luego del ensayo
- Fotografía de los daños ocasionados tras la realización del ensayo

7. HUMEDAD ÓPTIMA PARA MEZCLAS DE TAPIA Y BTC

7.1. Normas de referencia

Para la confección de este protocolo de ensayo se empleó como referencia la norma técnica NZS 4298: Materials and workmanship for earth buildings (1998), Nueva Zelanda.

7.2. Objetivo del ensayo

Este ensayo de campo permite determinar de manera sencilla el contenido de agua óptimo para mezclas de tierra que serán empleadas en la fabricación de BTC o tapia.

7.3. Procedimiento de ensayo

Se debe comprimir con la palma de una mano un puñado de la mezcla de tierra lista para ser colocada dentro del encofrado o prensa con todos sus componentes, incluido los estabilizantes. Sosteniendo el puñado de tierra a la altura del hombro (aproximadamente 1.5 m de altura) se lo deja caer sobre cualquier superficie dura y plana, considerando como tal, superficies de madera, hormigón o metal.

7.4. Criterio de aceptación

Si al hacer contacto con la superficie el puñado se rompe o destroza en un patrón más pequeño en forma de estrella que contiene varios grumos, entonces el contenido de humedad es satisfactorio.

Si por el contrario el bulto simplemente se rompe en 2 o 3 piezas pequeñas deformadas, o permanece como una pieza única y amorfa, el contenido de humedad es demasiado alto.

Si al caer “estalla” en un sinnúmero de partículas sin cohesión, el contenido de humedad es demasiado bajo.

En la figura 7.1 puede apreciarse un esquema de los patrones rotura indicados.

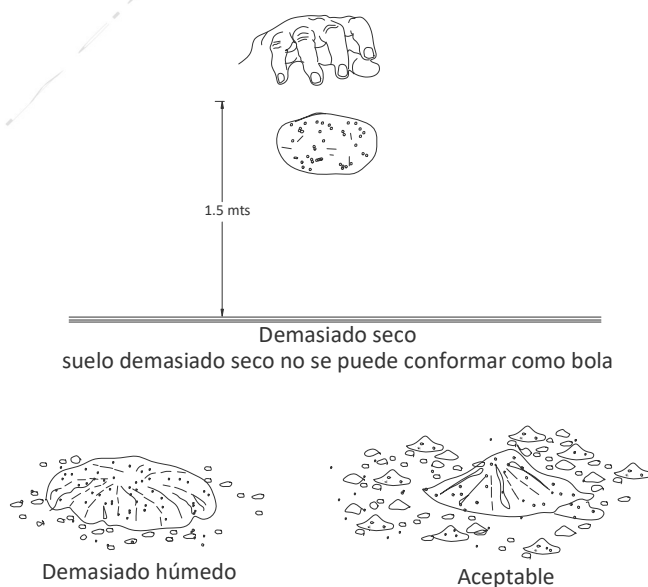


Figura 7.1. Esquema de realización del ensayo de caída

8. CONTRACCIÓN LINEAL

8.1. Normas de referencia

Para la confección de este protocolo de ensayo se empleó como referencia la norma técnica NZS 4298: Materials and workmanship for earth buildings (1998), Nueva Zelanda.

8.2. Objetivos

Este ensayo permite evaluar la retracción por secado de las mezclas de tierra que serán empleadas para la conformación de adobes, morteros de asiento y revoques. También puede emplearse para evaluar la retracción experimentada por mezclas de tierra que serán empleadas para la construcción de muros de tapia y la fabricación de BTC.

8.3. Equipamiento

Se requiere de al menos una “caja de contracción abierta” con las siguientes dimensiones internas: 600 mm de largo x 50 mm de ancho x 50 mm de alto. Esta caja puede estar hecha de acero o madera, pero debe ser capaz de resistir la presión de apisonado si se usa para probar muestras de tapia o BTC. Las cajas de madera deben estar pintadas o engrasadas para evitar absorber humedad de la tierra durante el ensayo.

Los extremos de la caja deben ser cuadrados y lisos. Se pueden agregar placas de metal en los extremos de la caja para garantizar que las mediciones de retracción se realicen sobre una superficie lisa.

Para evitar que durante el ensayo el material se pegue a la caja, ésta debe pintarse con grasa o aceite, garantizando así la libre retracción del material.

Se pueden hacer cajas individuales o múltiples cajas una junto a la otra. En la Figura 8.1 puede apreciarse un esquema de molde simple y otro múltiple.

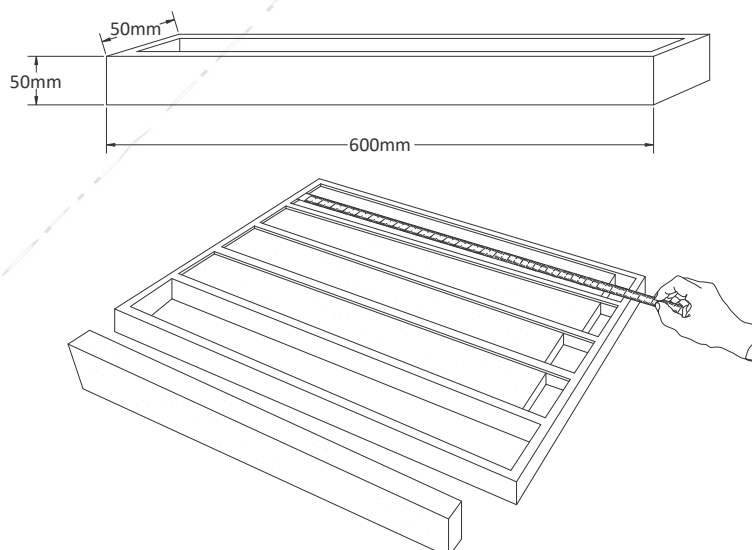


Figura 8.1: Esquema de moldes para la realización del ensayo de retracción lineal: simple (arriba) y múltiple (abajo)

8.4. Preparación de las muestras

Se deberán ensayar como mínimo 3 muestras de mezcla preparadas de manera idéntica a la que será utilizada en obra, con la incorporación de fibras, arena y estabilizantes correspondientes y el mismo contenido de agua.

Tapia y BTC

Para evaluar la contracción de mezclas para tapia o BTC se deberá confeccionar una muestra con idénticas proporciones de los elementos constitutivos (tierra, arena y estabilizantes) y el mismo grado de humedad de la mezcla que se colocaría dentro de los encofrados o prensa. Para determinar el contenido de humedad óptimo puede realizarse la prueba detallada en el apartado 7 de este protocolo. Una vez colocada la mezcla dentro del molde, apisonarla firmemente dentro de éste usando un pisón de dimensiones adecuadas. Si la mezcla posee cal o cemento deberá ser curada preservando su humedad por 7 días cubriéndola con plástico. Luego de este período se procede al secado natural (protegida del sol y la humedad) por 21 días más.

Adobes, morteros de asiento y revoques

Para evaluar la retracción de mezclas para adobes, mortero de asiento y revoques se debe preparar una mezcla con los mismos componentes y en idéntica proporción a los que serán utilizados en obra. El contenido de agua será el que permite mezclar de manera uniforme todos los componentes y lograr una trabajabilidad adecuada, compatible con el uso que se le dará a la mezcla. Verter la mezcla en la caja de contracción sin dejar espacios vacíos. Si el mortero será estabilizado con cal o cemento, deberá ser curado de igual modo que las muestras compactadas (7 días en condiciones húmedas y dejar secar por 21 días a la sombra).

Cuanto más lisa es la superficie de la muestra, más fácil será la medición.

Se debe asegurar que la muestra está completamente seca antes de proceder a medir. Cuanto más lisa sea la superficie de la muestra, más fácil será la medición.

8.5. Resultados

Una vez finalizado el proceso de curado y secado de las muestras se procede a medir la retracción empleando con calibres de 0.5 mm de apreciación. La medición se efectúa dentro del molde (en ningún momento debe retirarse la muestra de la caja de retracción). Si la muestra está rajada a lo largo de su longitud, empuje la muestra hacia uno de los extremos "juntando" las grietas. Finalmente, medir la contracción en cada extremo y calcular la contracción empleando la fórmula 8.1.

$$c_i = \left(\frac{x_1 + x_2}{600} \right) * 100 \quad (8.1)$$

Siendo

- c_i la contracción lineal de cada muestra, en %
- x_1 la contracción del extremo izquierdo de la muestra, en mm
- x_2 la contracción del extremo derecho de la muestra, en mm

Finalmente, se deberá calcular la contracción lineal promedio todas las muestras ensayadas empleando la fórmula 8.2.

$$c_{prom} = \frac{\sum c_i}{n} \quad (8.2)$$

Siendo n el número de muestras ensayadas (al menos 3).

8.6. Criterio de aceptación

Se recomienda que las contracciones máximas medidas, según el tipo de mezcla, no superen los siguientes valores:

- 0.2% para mezclas compactadas (muros de tapia o BTC).
- 1% para mezclas estabilizados con cal o cemento.
- 3% para mezclas sin estabilizar

8.7. Informe final

Para cada probeta ensayada se deberá indicar lo siguiente:

- Dosificación con la cual fue confeccionada
- Tiempo de curado y secado
- Formación de fisuras intermedias
- Contracción ocurrida en cada uno de los extremos (x_1 y x_2)
- Contracción lineal (c_i)
- Observaciones particulares

Para el conjunto de las probetas se deberá informar:

- Dosificación con la cual fueron moldeadas las probetas
- Contracción lineal promedio (c_{prom})

9. ADHERENCIA DE MORTEROS PARA JUNTAS DE ALBAÑILERÍA

9.1. Normas de referencia

Para la confección de este protocolo de ensayo se empleó como referencia la norma técnica NZS 4298: Materials and workmanship for earth buildings (1998), Nueva Zelanda.

9.2. Objetivos

Determinar la resistencia la fuerza de adherencia entre el mortero y los elementos a unir: Adobes o BTC.

9.3. Flexión con llave de unión

Preparación de las muestras

Deberán prepararse y ensayarse 5 probetas, constituidas por 2 bloques unidos por el mortero en estudio, el cual deberá prepararse con la misma dosificación y grado de humedad que el empleado en obra.

El ensayo deberá realizarse con las probetas (fundamentalmente el mortero de unión) completamente secas, motivo por el cual se recomienda realizarlo 21 días después de confeccionadas.

Equipamiento

Para la realización de este ensayo se precisa del siguiente equipamiento:

- Morsa o elemento de sujeción lateral que permita mantener firme el bloque inferior de la probeta.
- Llave de unión, detallada en la Figura 9.1.
- Dispositivo de aplicación de cargas. Se recomienda emplear un recipiente de 20 a 50 litros que pueda llenarse con lastre y suspenderse del extremo de la manija de carga.

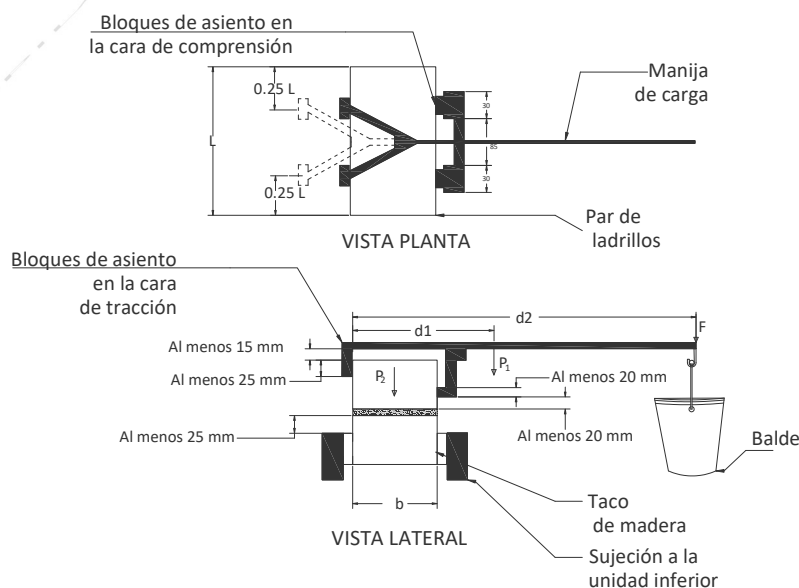


Figura 9.1: Esquema de realización del ensayo de Flexión con llave de unión.

Procedimiento de ensayo

Medir y registrar el alto, ancho y largo de cada probeta.

Inmovilizar el bloque inferior de la probeta con el elemento de sujeción lateral, colocando luego sobre el bloque superior la llave de unión, asegurando su correcta sujeción.

Aplicar de manera gradual la carga en el extremo de la manija, registrando la carga máxima soportada por la probeta, considerando como tal la carga aplicada antes de producirse la separación entre los bloques de la probeta.

Cálculos

Deberá calcularse el módulo de rotura de cada probeta empleando la fórmula 9.1:

$$f_i = \frac{6 \left(F \left(d_2 - \frac{b}{2} \right) + P_1 \left(d_1 - \frac{b}{2} \right) \right)}{L \cdot b^2} - \left(\frac{F + P_1 + P_2}{L \cdot b} \right) \quad (9.1)$$

Siendo:

- f_i el módulo de rotura de cada probeta, en kg/cm²
- F la carga aplicada en el extremo del brazo de palanca, en kg
- P_1 el peso propio de la llave de unión, en kg
- P_2 el peso del bloque superior de la probeta, en kg
- b el ancho promedio de los ladrillos en la cara de unión, en cm
- L el largo promedio de los ladrillos en la cara de unión, en cm
- d_1 distancia al centro de gravedad de equipo de ensayo
- d_2 distancia al extremo del brazo de palanca del equipo

Una vez determinado la resistencia a tracción por flexión (módulo de rotura) de cada probeta, deberá calcularse la resistencia característica de toda la muestra, empleando para ello las fórmulas 1.4, 1.5 y 1.6 de este protocolo.

9.4. Flexión en 4 puntos sobre muretes

Preparación de las muestras

Se deberán construir y ensayar 5 probetas, denominadas "muretes". Cada uno de ellos se erigirán como pilares de 7 unidades cada uno, con las juntas asentadas con el mortero en estudio. Cada junta deberá tener entre 1.0 y 1.5 cm de espesor. Las pilas deberán quedar perfectamente verticales, niveladas, enrasadas y aplomadas. Se deberán dejar secar completamente por al menos 21 días al aire antes de volcar las pilas a la posición horizontal para realizar el ensayo.

Equipamiento

Para la realización de este ensayo se precisa del siguiente equipamiento:

- 4 tubos o barras metálicas de aproximadamente 3 cm de diámetro
- Plataforma rígida para aplicar la carga
- Lastre suficiente para alcanzar la rotura del murete

Procedimiento de ensayo

Medir y registrar el alto, ancho y largo de cada murete.

Posicionar de manera horizontal el murete a ensayar de manera tal que el lado mayor del mismo se el ancho de la viga (soga) y el lado menor el alto (tizón) sobre los cilindros de apoyo inferiores y registrar la separación entre éstos (l). Colocar sobre la cara superior del murete los cilindros de apoyo

superiores, cada uno a una distancia $l/3$ de cada extremo. Posicionar sobre los apoyos superiores la plataforma rígida y comenzar a aplicar la carga. Registrar la carga máxima de rotura. Para que el ensayo se considere válido, la rotura debe producirse en el tercio medio del murete, entre los apoyos superiores.

En la Figura 9.2 puede apreciarse un esquema de realización del ensayo.

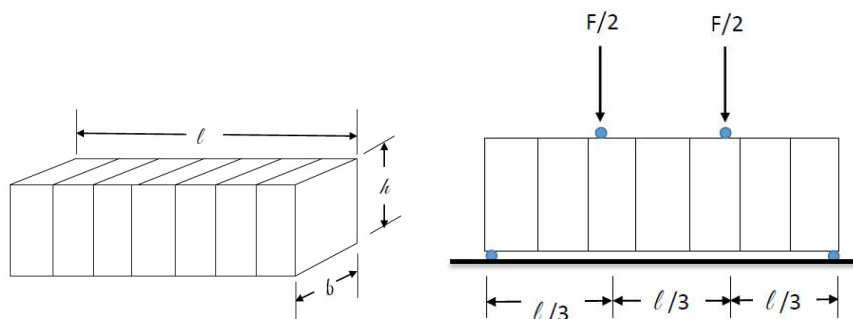


Figura 9.2: Esquema de realización del ensayo de Flexión en 4 puntos sobre muretes.

Cálculos

Deberá calcularse la resistencia a tracción por flexión (módulo de rotura) de cada murete empleando la fórmula 9.2:

$$f_i = \frac{(0,75P + F) l}{b \cdot h^2} \quad (9.2)$$

Siendo:

- f_i el módulo de rotura de cada probeta, en kg/cm^2
- F la carga adicional aplicada sobre el murete, en kg
- P el peso propio del murete, en kg
- b el ancho de murete, coincidente con el largo de cada bloque (soga), en cm
- h el alto del murete, coincidente con el ancho de cada bloque (tizón), en cm

Una vez determinado la resistencia a tracción por flexión (módulo de rotura) de cada murete, deberá calcularse la resistencia característica de toda la muestra, empleando para ello las fórmulas 1.4, 1.5 y 1.6 de este protocolo.

9.5. Criterio de aceptación

Independientemente del ensayo de resistencia a tracción por flexión realizado, el módulo de rotura característico de la muestra, o la menor resistencia individual de los 5 ensayos realizados debe ser igual o superior a $2.5 \text{ kg}/\text{cm}^2$ (0.25 MPa).

9.6. Informe final

Para cada probeta ensayada se deberá indicar lo siguiente:

- Dosificación con la cual fue confeccionado el mortero de unión
- Tiempo de curado y secado
- Ubicación y forma de la rotura (sobre el mortero de unión o sobre un bloque)
- Carga de rotura (F)
- Módulo de rotura (f_i)

- Observaciones particulares

Para el conjunto de las probetas se deberá informar:

- Tipo de ensayo realizado: llave de unión o flexión en 4 puntos
- Dosificación del mortero de unión
- Módulo de rotura característico



10. CICLOS DE HUMEDICIMIENTO Y SECADO

10.1. Normas de referencia

Para la confección de este protocolo de ensayo se emplearon como referencia las normas técnicas que se detallan a continuación:

- VN-E21-66 Ensayo de Durabilidad por Humedecimiento y Secado de Mezclas de Suelo-Cemento (1966), Argentina.
- NZS 4298: Materials and workmanship for earth buildings (1998), Nueva Zelanda.

10.2. Objetivos

Esta prueba permite advertir sobre la presencia de suelos reactivos que pueden poseer una elevada resistencia a compresión pero que no son aptos para soportar ciclos de humedecimiento y secado.

10.3. Equipamiento

Para la realización de este ensayo se requiere el siguiente equipo:

- Un recipiente para que la muestra sea remojada. El área de la base debe ser al menos 1,5 veces más grande que la cara de la probeta que será ensayada.
- Tres monedas o arandelas de aproximadamente 2 mm de espesor.

10.4. Probetas

Se deberán preparar 4 probetas, 1 de referencia y 3 para ser ensayadas, según corresponda:

- **BTC:** Un bloque entero
- **Adobes:** Un adobe entero
- **Tapia:** Pueden emplearse probetas cilíndricas confeccionadas según los requisitos de la norma de Vialidad Nacional VN - E19 – 66 o confeccionarse compactando la mezcla de tierra en moldes unitarios con pisones adecuados al tamaño de este. El llenado del molde deberá realizarse en capas 10 cm como máximo, compactando cada una de ellas hasta lograr la máxima densidad; esto se advierte por el cambio del sonido generado durante la compactación y porque el pisón ya no deja marcas en la superficie compactada. Finalmente, se ensayarán probetas cúbicas “recortadas” de estas unidades. Es recomendable que las probetas tengan un tamaño mínimo de 15x15x12 cm
- **Morteros:** se moldearán probetas prismáticas o cilíndricas con relación altura/diámetro de 2:1, empleando la misma dosificación y consistencia (contenido de agua) que las mezclas que serán utilizadas en obra. Es recomendable que las probetas tengan un tamaño mínimo de 15x15x12 cm o 15 cm de diámetro y 12 cm de altura.

Las probetas podrán ser ensayadas 28 días luego de haber sido moldeadas, debiendo permanecer como mínimo 24 hs en ambiente de laboratorio (temperatura y humedad ambiente) antes de ser ensayadas.

10.5. Procedimiento

Seleccionar dos muestras moldeadas de manera idéntica. Una de ellas, la muestra de referencia se aparta. Alternativamente, se pueden usar dos caras opuestas de una misma probeta, una para efectuar las pruebas y la otra como referencia.

Colocar sobre la base del recipiente las 3 monedas o arandelas en tresbolillo y apoyar sobre ellas la probeta, de manera tal que su cara inferior quede separada 2mm del fondo del recipiente. Verter agua dentro del recipiente hasta alcanzar una altura de 10 mm, manteniendo la cara inferior del bloque sumergida el período de tiempo que corresponda según la Tabla 10.1.

Tabla 10.1. Tiempo de inmersión por ciclo, según el nivel de exposición al que será sometido el elemento constructivo

| | Nivel de exposición del elemento constructivo | Tiempo de inmersión |
|---|---|---------------------|
| 1 | Elementos de muros exteriores a la vista con nivel de exposición severo | 4 min |
| 2 | Elementos de muros exteriores a la vista | 2 min |
| 3 | Elementos de muros exteriores protegidos | 1 min |
| 4 | Elementos de muros interiores vistos | 30 seg |

Finalizado el tiempo de inmersión, se retira la muestra y se la deja secar al aire por 24 hs o hasta que el color y la apariencia de la cara que fue sumergida coincida con la muestra de referencia, lo cual indicará que secado está completo. Puede acelerarse el proceso de secado empleando una estufa a 70°C hasta que el color y la apariencia coincide con la muestra de referencia.

Repita la operación de mojado y secado 5 veces más (en total, 6 ciclos de mojado y secado). Sumergir en todos los casos la misma cara.

En la Figura 10.1 puede apreciarse un esquema de realización del ensayo.

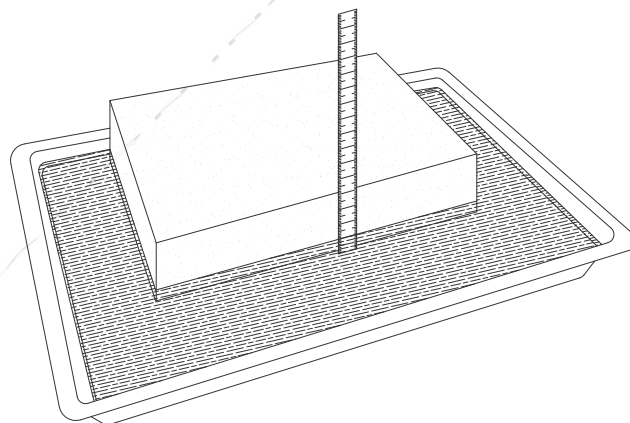


Figura 10.1: Esquema de realización del ensayo de mojado y secado

10.6. Resultados

Luego de cada ciclo (con la probeta seca) examinar y registrar la condición de la cara que fue remojada. Anotar particularmente cualquiera de las siguientes condiciones:

- Patrones de rotura de tipo agrietamiento;
- Patrones de rotura de tipo estrella;
- Hinchamiento local;
- Picaduras locales en al menos 5 lugares;

- e. Decapados locales o generales, es decir, pérdida de capas de suelo al humedecerse, o después de secarse;
- f. Penetración del agua, como se indica visualmente en las superficies externas del ladrillo, en más del 70% del ancho del ladrillo;
- g. La pérdida de fragmentos en el lado mayor del ladrillo de más de 50 mm, excepto la parte de los fragmentos de 50 mm que vienen desde los bordes del ladrillo (no se incluirán);
- h. Eflorescencia, es decir, cristales con apariencia de polvo, en la superficie del ladrillo. Por lo general es de color blanco.

10.7. Criterio de aceptación

La mezcla de tierra o suelo representada por la muestra es aceptable si al finalizar los 6 ciclos de mojado y secado no se aprecia ninguna de las condiciones mencionadas en el apartado del punto 10.6.



11. RESISTENCIA AL CORTE EN REVOQUES

11.1. Normas de referencia

Para la confección de este protocolo de ensayo se emplearon como referencia el artículo “Assessment of adhesive strength of an earth plaster on different substrates through different methods” (P. Faria, 2019). Link de descarga:

https://www.researchgate.net/publication/334509982_Assessment_of_adhesive_strength_of_an_earth_plaster_on_different_substrates_through_different_methods

11.2. Objetivos

Este ensayo permite determinar la resistencia al corte en revoques de tierra sobre el sustrato en el cual serán confeccionados mediante la aplicación de una fuerza paralela al muro. Este ensayo solo es aplicable a revoques de tierra.

11.3. Equipamiento

Para la realización de este ensayo se requiere el siguiente equipo:

- Marco rectangular de 40x15x2 cm con plataforma de carga como el indicada en la Figura 11.1.
- Juego de pesas de 250 g o lastre adecuado.
- Balanza con apreciación de 5 g (opcional si se utiliza lastre en lugar de pesas de masa conocida).
- Calibre milimetrado.

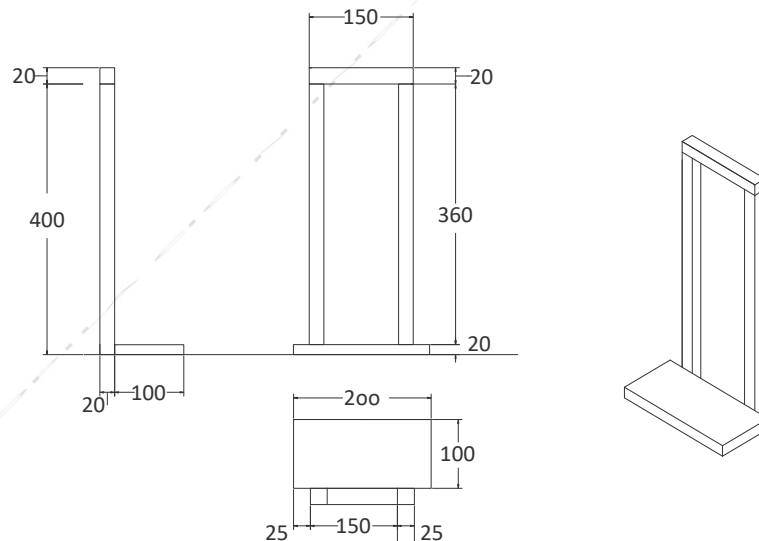


Figura 11.1. Dispositivo para aplicar la carga durante el ensayo de corte.

11.4. Probetas

Se deben confeccionar 5 probetas de 50 × 40 mm y 20 mm de espesor sobre un sustrato vertical adecuado, preferiblemente un muro o murete de tierra. Si las probetas se ejecutan sobre el mismo sustrato, éstas deben estar separadas entre sí una distancia mínima de 15 cm.

El ensayo deberá realizarse cuando la probeta y el sustrato estén completamente secos, motivo por el cual se recomienda resguardarlos de la intemperie.

En la Figura 11.2 puede apreciarse la realización de este ensayo sobre una probeta.

11.5. Procedimiento

Cuando las probetas y el sustrato se encuentren completamente secos medir con un calibre milimetrado las dimensiones de cada muestra y registrarlas.

Colocar el marco sobre la probeta a ensayar verificando que éste apoye perfectamente sobre toda la cara superior de la misma y se encuentre centrado y en contacto mínimo con el muro o sustrato vertical.

Agregar peso sobre la plataforma del dispositivo de carga con incrementos de 250 g por vez, manteniendo cada intervalo de carga por un lapso de 30 s, hasta alcanzar la falla. Registrar la carga que genera la falla de la probeta (P).

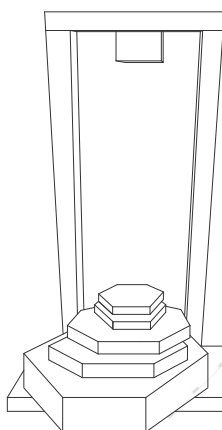


Figura 11.2. Realización del ensayo de corte sobre una probeta

11.6. Cálculos

Determinar para cada probeta la tensión de corte empleando la fórmula 11.1.

$$\tau_i = \left(\frac{P}{b * h} \right) * 9.81 \quad (11.1)$$

Siendo

- τ_i la resistencia al corte de cada probeta, en MPa
- P la carga de rotura, en kg
- b el ancho de cada probeta, en mm
- h la altura de cada probeta, en mm

Finalmente, se deberá calcular la resistencia al corte promedio todas las muestras ensayadas empleando la fórmula 11.2.

$$\tau_{prom} = \frac{\sum \tau_i}{n} \quad (11.2)$$

Siendo n el número de muestras ensayadas (al menos 5).

11.7. Informe final

Para cada probeta ensayada se deberá indicar lo siguiente:

- Dimensiones
- Tiempo de secado
- Carga de rotura
- Resistencia al corte

Para el conjunto de las probetas se deberá informar:

- Dosificación con la cual fueron moldeadas las probetas
- Sustrato sobre el cual fueron confeccionadas
- Resistencia al corte promedio (τ_{prom})



12. ARRANCAMIENTO DIRECTO EN REVOQUES

12.1. Normas de referencia

Para la confección de este protocolo de ensayo se emplearon como referencia las siguientes normas técnicas y artículos científicos:

- IRAM 1764 Morteros. Método de ensayo de adherencia de los revocos y las carpetas (2003), Argentina.
- UNE-EN 1015-12: Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 12: Determinación de la resistencia a la adhesión de los morteros para revoco y enlucido endurecidos aplicados sobre soportes (2016), España.
- "Assessment of adhesive strength of an earth plaster on different substrates through different methods" (P. Faria, 2019).

12.2. Objetivos

Determinar la fuerza de adherencia entre un revoque y el sustrato sobre el cual fue aplicado mediante la determinación de la tensión máxima de tracción aplicada por acción de una carga perpendicular a la superficie del mortero.

12.3. Equipamiento

Para la realización de este ensayo se requiere el siguiente equipo:

- Equipo que permita aplicar una fuerza de arrancamiento perpendicular a la superficie del revoque.
- Placas rígidas de tracción de 50 mm de diámetro (vidrio o metal)
- Adhesivo sintético

En la imagen 12.1 puede apreciarse un posible dispositivo de aplicación de carga.

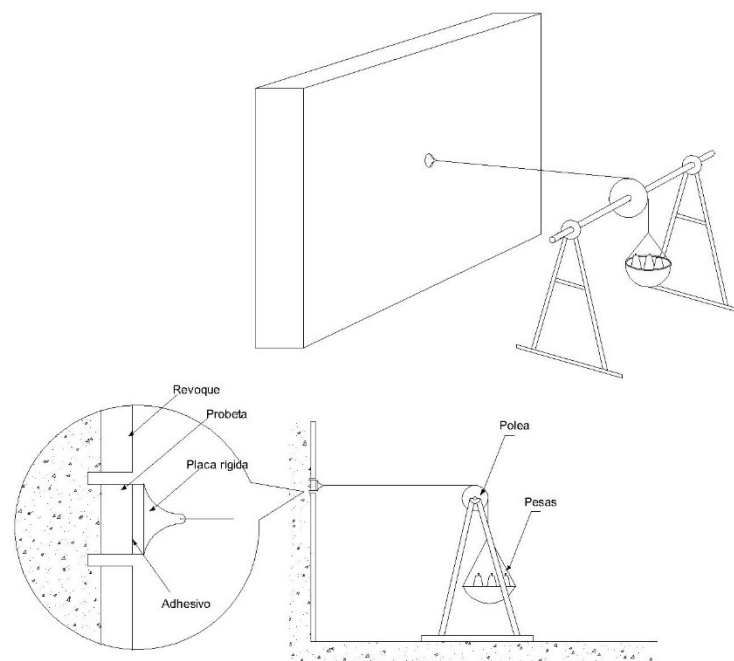


Figura 12.1. Dispositivo para aplicar la carga durante el ensayo de arrancamiento.

12.4. Probetas

Se debe ejecutar un revoque o enlucido de al menos 0.5 m² sobre un sustrato vertical, preferentemente un muro o murete de tierra. El espesor de este revoque debe ser de al menos 10 mm y no superar los 25 mm.

Cortar sobre la superficie del revoque 5 círculos (cada uno constituye una probeta de ensayo) de aproximadamente 50 mm de diámetro que atraviesen todo el espesor del mortero. Esta tarea puede realizarse sobre el mortero fresco o endurecido. La separación entre superficies circulares debe ser de al menos 10 cm.

Antes de la realización del ensayo, el revoque debe encontrarse completamente seco.

12.5. Procedimiento

Medir y registrar el diámetro en de cada probeta circular “calada” sobre el revoque.

Pegar los tiradores con el adhesivo correspondientes en el centro de las áreas de prueba, evitando que cualquier exceso de adhesivo haga un puente sobre el corte alrededor de las áreas de prueba.

Utilizando la máquina de ensayo aplicar la carga de tracción perpendicular al área de prueba a través de las placas rígidas de tracción. La carga debe aplicarse de manera continua, sin golpes y a un ritmo uniforme, utilizando una tasa de incremento tal que la falla se produzca entre los 20 y 60 s luego de comenzado el ensayo.

Una vez alcanzada la falla, registrar la carga de rotura. Rechazar cualquier prueba en la que el modo de falla sea una fractura en la capa adhesiva entre la placa del cabezal de extracción y el mortero.

12.6. Cálculos

Calcular las resistencias de adherencia individual de cada probeta empleando la fórmula 12.1.

$$F_i = \left(\frac{T}{A}\right) * 9.81 \quad (12.1)$$

Siendo

- F_i la resistencia de adherencia de cada probeta, en MPa
- T la carga de rotura, en kg
- A área de la superficie circular, en mm²

12.7. Resultados

Los posibles patrones de fractura que conducen a resultados válidos se muestran en la Figura 11.2.

Cuando se produzcan patrones *a* y *b*, es decir, cuando no haya fallas en la interfaz del mortero/sustrato, los resultados se considerarán como valores límites inferiores. Estos valores serán válidos para el cálculo del valor medio de la fuerza adherencia.

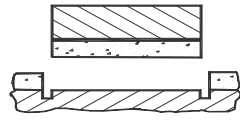
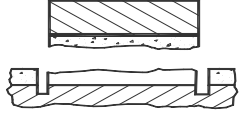
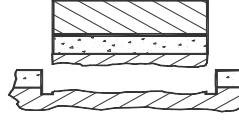
| | | | |
|-------------------------------|---|--|---|
| Esquema de fractura |  |  |  |
| | Patrón de fractura a) | Patrón de fractura b) | Patrón de fractura c) |
| Ubicación de la fractura | En la interfaz entre el mortero y el sustrato | Dentro del revoque | Dentro del sustrato |
| La resistencia de adhesión es | igual que el valor obtenido del ensayo | mayor que el valor obtenido en el ensayo | mayor que el valor obtenido en el ensayo. |

Figura 12.2. Patrones de falla de las probetas durante el ensayo de arrancamiento.

12.8. Informe final

Para cada probeta ensayada se deberá indicar lo siguiente:

- Dimensiones (espesor y diámetro)
- Carga de rotura
- Tiempo en alcanzar la falla
- Resistencia de adherencia
- Tipo de fractura según Tabla 11.1

Para el conjunto de las probetas se deberá informar:

- Dosificación con la cual fueron moldeadas las probetas
- Sustrato sobre el cual se aplicaron

13. DUREZA SUPERFICIAL

13.1. Normas de referencia

Para la confección de este protocolo de ensayo se empleó como referencia la norma IRAM 1694: Hormigón de cemento pórtland. Método de ensayo de la dureza superficial del hormigón endurecido mediante la determinación del número de rebote empleando el esclerómetro de resorte. (1989), Argentina.

13.2. Objetivos

Evaluar la uniformidad de la calidad superficial de revoques y enlucidos, para delimitar zonas de calidad inferior y para indicar cambios en las características de la superficie a lo largo del tiempo. Además, puede emplearse para evaluar la uniformidad de calidad en elementos prefabricados como adobes o BTC.

13.3. Equipamiento

Para la realización de este ensayo se requiere un esclerómetro pendular como el indicado en la figura 13.1.

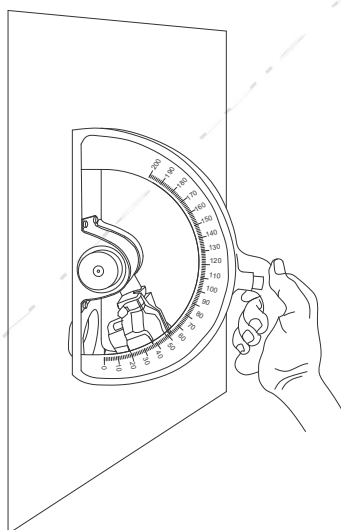


Figura 13.1. Esclerómetro pendular para la determinación de dureza superficial

13.4. Probetas

Este ensayo puede realizarse sobre los siguientes elementos constructivos

- BTC individuales: bloques enteros
- Adobes individuales: Adobes enteros
- Muros a la vista: superficie limpia, lisa y seca
- Muros revestidos: superficie limpia, lisa y seca

13.5. Procedimiento

Antes del ensayo, se debe verificar el correcto funcionamiento del esclerómetro llevando a cabo el rebote sobre una superficie patrón, la cual puede ser un yunque de acero de aproximadamente 16 kg y dureza Brinell 500 HB.

Para cada determinación se toma un área de 180 cm² (6 x 30 cm) plana y limpia, evitando zonas ásperas. Sobre ella se marca una malla ortogonal con aberturas de 3 cm, con el objeto de aplicar el esclerómetro en cada una de sus intersecciones.

Sobre la superficie preparada para el ensayo se aplica firmemente el instrumento en una posición perpendicular con respecto a ella. Se ejerce presión con el instrumento hacia la superficie hasta que se libere la masa.

El número de rebote se lee en la escala correspondiente y se mantiene fijo mediante el retén del mecanismo, hasta ser anotado.

Entre impacto e impacto se examina la impronta que queda en la superficie, indicando aquellas lecturas en que el impacto haya quebrado o fisurado la superficie ensayada.

13.6. Resultados

Se toman 9 lecturas de cada zona ensayada, calculando la media aritmética y descartándose las lecturas que difieran en más de ± 5 unidades respecto a dicho valor.

Se computan como mínimo seis lecturas válidas por zona de ensayo para obtener un valor de número de rebote confiable. Si el número de lecturas válidas es menor que seis, la zona de ensayo debe ser descartada.

El número de rebote determinado con este método puede ser utilizado para evaluar la uniformidad de la calidad superficial, para delimitar zonas de calidad inferior, para indicar cambios con el tiempo en las características de la superficie.

13.7. Criterios de aceptación

Si el número de rebotes promedio de una zona de ensayos difiere más de un 20% del promedio calculado con el número de rebotes de todas las zonas de ensayo, se considera que no existe uniformidad en la dureza superficial de las muestras.

14. RESISTENCIA AL IMPACTO – CAÍDA DE LA BOLA DE ACERO

14.1. Normas de referencia

Para la confección de este protocolo de ensayo se empleó como referencia la norma IRAM 11595: Paneles prefabricados para muros de edificios. Método de ensayo de resistencia al impacto de la bola de acero (1973), Argentina.

14.2. Objetivos

Evaluar la resistencia al impacto de un elemento rígido de los elementos constructivos empleados para de cerramiento interiores y exteriores.

14.3. Equipamiento

Para la realización de este ensayo se requiere el siguiente equipo:

- Bola de acero de 500 g y de 50 mm de diámetro.
- Dispositivo que permita la caída libre de la bola de acero desde alturas progresivas crecientes.
- Calibre milimetrado.

14.4. Probetas

Se deberán ensayar 3 probetas preparadas según corresponda:

- BTC: bloques enteros
- Adobes: Adobes enteros
- Tapia: Para confeccionar las probetas de tapia se deberá compactar la tierra en moldes unitarios con pisones adecuados al tamaño de este y se llenarán en capas de 10 cm de altura como máximo, compactando cada una de ellas hasta lograr la máxima densidad; esto se advierte por el cambio del sonido generado durante la compactación y porque el pisón ya no deja marcas en la superficie compactada. Finalmente, se ensayarán probetas prismáticas “recortadas” de estas unidades. Se recomienda emplear probetas de al 15 cm de lado por 12 cm de profundidad.
- Morteros y revoques: se moldearán probetas prismáticas empleando la misma dosificación y consistencia (contenido de agua) que las mezclas que serán utilizadas en obra. El tamaño de las probetas moldeadas deberá ser de al menos 15 cm de lado por 12 cm de profundidad.

Las probetas podrán ser ensayadas 28 días luego de haber sido moldeadas, debiendo permanecer como mínimo 24 hs en ambiente de laboratorio (temperatura y humedad ambiente) antes de ser ensayadas.

14.5. Procedimiento

Se coloca la probeta sobre una superficie horizontal, plana y rígida, preferiblemente de hormigón, madera o metal. Se posiciona el dispositivo que permite la caída de la bola de acero sobre el centro geométrico de la probeta.

Se deja caer la bola de acero desde alturas progresivamente crecientes, de 250 mm en 250 mm hasta alcanzar los 2 m o hasta que se produzca la rotura de la probeta, cuidando siempre que la bola de acero caiga sobre el mismo punto de la superficie de la muestra.

Para cada altura de caída se observan y anotan los deterioros en la cara de contacto.

Cuando hubiere, se miden el diámetro y la profundidad de la impronta producida por la bola de acero en la superficie de la probeta.

En la Figura 14.1 se expone un esquema del dispositivo para el ensayo de resistencia al impacto duro “caída de la bola de acero”.

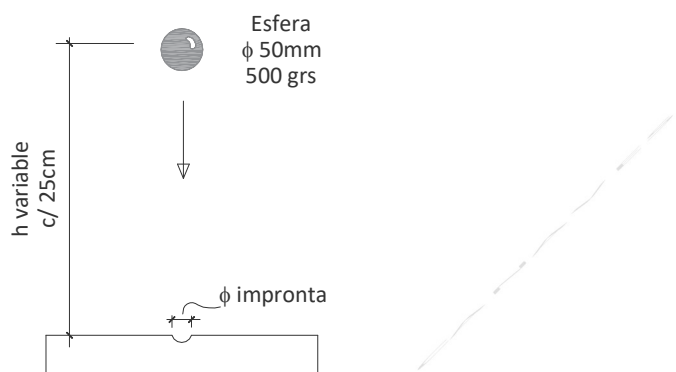


Figura 14.1. Esquema del ensayo de resistencia al impacto

14.6. Resultados

Luego de cada impacto deberá inspeccionarse la superficie de contacto, registrando cuando sea necesario el diámetro y profundidad de la impronta dejada. Además, si probeta se rompe antes de alcanzar el impacto de 2 m, se deberá registrar la altura de falla.

14.7. Criterio de aceptación

Para superar la prueba la probeta debe poder soportar el impacto de 2 m de altura sin fracturarse.

14.8. Informe final

Para cada probeta ensayada se deberá indicar lo siguiente:

- Dimensiones
- Máxima altura de caída antes de la falla
- Diámetro y profundidad de la impronta causada por cada impacto