



**UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**

# **ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL COMPORTAMIENTO DE LA ALBAÑILERÍA ANTE LA ACCIÓN DE LA LLUVIA Y EL VIENTO**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**CLAUDIO MANCILLA PIZARRO**

**PROFESOR GUÍA:  
MIGUEL BUSTAMANTE SEPÚLVEDA**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
GABRIEL RODRÍGUEZ JAQUE  
MAXIMILIANO ASTROZA INOSTROZA**

**SANTIAGO DE CHILE  
ABRIL 2008**

RESUMEN DE LA MEMORIA  
PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL  
POR: CLAUDIO MANCILLA P.  
FECHA: 21 de abril de 2008.  
PROF.GUÍA: Sr. Miguel Bustamante S.

## “ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL COMPORTAMIENTO DE LA ALBAÑILERÍA ANTE LA ACCIÓN DE LA LLUVIA Y EL VIENTO”

El objetivo de este trabajo de título es diseñar, construir y emplear un equipo portátil, capaz de simular exigentes condiciones de lluvia y viento, para estudiar el comportamiento de muros de albañilería frente a estas solicitaciones.

El método de ensayo desarrollado consiste en someter un muro a una condición de lluvia artificial de 552 mm aproximadamente, durante 4 horas, acompañada de una velocidad de viento constante cercana a 103 km/h, durante el mismo período de tiempo. Se deben registrar: el tiempo de aparición de humedad sobre la parte de atrás de la probeta, el tiempo de aparición de la primera agua visible sobre la parte de atrás de la probeta, área de humedad sobre la parte de atrás del muro al término del ensayo y el agua total colectada durante las 4 horas de ensayo.

Luego de construir el equipo de ensayo se evaluó el comportamiento de 5 muros de albañilería, lo que permitió establecer la eficacia del método de ensayo al obtener valores comparativos que permiten evaluar diseño y terminaciones impermeabilizantes en muros de albañilería.

El ensayo de penetración y filtración de agua a través de la albañilería permite hacer un estudio del comportamiento global de muros de albañilería, por lo tanto, entrega información completa y decisiva del desempeño de las probetas estudiadas.

*“Dedico este trabajo a mis padres”*

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>2. CONCEPTOS GENERALES.....</b>	<b>5</b>
2.1. La humedad en la albañilería.....	5
2.2. Infiltración por lluvias.....	6
2.2.1. Análisis de la infiltración de lluvia sin viento.....	6
2.2.2. Análisis de la infiltración de lluvia con viento.....	9
2.3. Factores que influyen en el paso del agua lluvia a través de muros de albañilería.....	10
<b>3. ENSAYOS PARA EVALUAR EL COMPORTAMIENTO DE MUROS DE ALBAÑILERÍA ANTE LA ACCIÓN DE LA LLUVIA Y EL VIENTO.....</b>	<b>15</b>
3.1. NCh 2821 Of.2003: “Fachadas - Método de ensayo de estanqueidad al agua”.....	16
3.2. Ensayo con pipeta RILEM (Ensayo de Karsten).....	19
3.3. NCh 2814 Of.2004: “Estructuras de albañilería - Penetración y filtración de agua a través de la albañilería – Método de ensayo”.....	21
<b>4. CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO DE ENSAYO.....</b>	<b>25</b>
<b>5. CARACTERÍSTICAS DE MUROS EXPERIMENTALES.....</b>	<b>35</b>
5.1. Muro 1.....	36
5.2. Muro 2.....	37
5.3. Muro 3.....	38
5.4. Muro 4.....	39
5.5. Muro 5.....	40
5.6. Aplicación de tratamiento hidrorrepelente en Muro 5.....	41

<b>6. ENSAYO DE LOS MUROS EXPERIMENTALES.....</b>	<b>47</b>
6.1. Metodología de ensayo.....	47
6.2. Resultados obtenidos.....	50
<b>7. COMENTARIOS, ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>55</b>
7.1. Comentarios.....	55
7.2. Análisis de Resultados.....	56
7.3. Conclusiones.....	60

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**

- ANEXO A: Registro fotográfico de los ensayos
- ANEXO B: Propuesta de informe de ensayo
- ANEXO C: Medición del agua absorbida por el muro

# 1. INTRODUCCIÓN

En Chile y el mundo se pretende definir una solución óptima entre precio y calidad en el ámbito de la construcción, por lo tanto, es imprescindible caracterizar de buena manera los distintos elementos de las estructuras ante las solicitaciones a las que van a ser sometidas en su vida útil; siendo muy importantes, según la zona geográfica en que se quiera construir, la acción de la lluvia y el viento.

Considerando los problemas detectados en muros de albañilería sin la presencia de impermeabilizantes o una deficiente aplicación de éstos, además de espesores de muro cada vez más pequeños y, por lo tanto, más económicos, se requiere tener un especial cuidado con estas solicitaciones.

En nuestro país, en el invierno de 1997 en la Región Metropolitana, las precipitaciones ocasionaron grandes filtraciones al interior de viviendas, dejándolas prácticamente inhabitables. Esto provocó una fuerte preocupación por el tema, lo que se materializó en distintos estudios de especialistas, para luego aprobar una normativa con el propósito de evitar que estos problemas ocurran nuevamente.

En el presente trabajo de título, se evalúa en forma experimental el comportamiento de soluciones constructivas de muros de albañilería de bloques de hormigón y ladrillos cerámicos frente a la acción de la lluvia y el viento, utilizando el método de ensayo descrito en la NCh 2814 Of.2004: Penetración y filtración de agua a través de la albañilería<sup>(1)</sup>.

Para la realización de este trabajo, inicialmente, se recopilan antecedentes e información concernientes a la penetración y filtración de agua a través de la albañilería, lo que permite, en el Capítulo 2, desarrollar los siguientes conceptos:

- La humedad en la albañilería.
- Infiltración por lluvias.
- Factores que influyen en el paso del agua lluvia a través de muros de albañilería.

Luego en el Capítulo 3, se describen ensayos utilizados en Chile y el mundo para evaluar el comportamiento de muros de albañilería ante la acción de la lluvia y el viento:

- NCh 2821 Of.2003 “Fachadas – Método de ensayo de estanqueidad al agua” <sup>(12)</sup>.
- Ensayo con pipeta RILEM (Ensayo de Karsten).
- NCh 2814 Of. 2004 “Estructuras de albañilería – Penetración y filtración de agua a través de la albañilería – Método de ensayo” <sup>(11)</sup>.

La construcción del equipo de ensayo, considerando los aspectos señalados en la NCh 2814 Of.2004 <sup>(11)</sup>, se detalla en el Capítulo 4.

En el Capítulo 5 se entrega una descripción de los 5 muros ensayados y fotografías de éstos.

La metodología de ensayo y los resultados obtenidos en los muros descritos en el Capítulo 5, se muestran en el Capítulo 6.

Finalmente, en el Capítulo 7, se desarrollan los siguientes puntos:

- Cometarios
- Análisis de resultados
- Conclusiones

## 2. CONCEPTOS GENERALES

### 2.1 La humedad en la albañilería

El problema de la humedad en las viviendas y edificios en general, se puede evitar con un diseño arquitectónico adecuado de su envolvente e incorporando a éste aspectos de la física de la construcción, además de tomar los cuidados necesarios en la construcción y realizar una oportuna mantención del inmueble.

Las habitaciones que presentan problemas de humedad pueden ser muy incómodas para quienes las ocupan, lo que se puede manifestar en costos adicionales de mantención del inmueble, menor durabilidad de las viviendas e incluso en problemas de salud para sus habitantes.

La humedad puede tener distintos orígenes y se puede clasificar de la siguiente manera <sup>(13)</sup>:

- a) Humedad originada por lluvias: desde el exterior de la vivienda producto de infiltración de aguas lluvias a través de los muros exteriores.
- b) Humedad por condensación: desde el interior de la vivienda por condensación del vapor de agua producido en actividades domésticas.
- c) Humedad de construcción: desde los muros de la vivienda al evaporarse y condensarse la humedad acumulada en los materiales utilizados en la construcción de ésta.
- d) Humedad accidental: provocada, por ejemplo, por problemas en los sistemas de conducción de agua.
- e) Humedad proveniente del suelo: ascenso del agua existente en el suelo a través de muros y pisos.

Estadísticamente se presentan en mayor magnitud y frecuencia problemas de humedad originados producto de la infiltración por aguas lluvias, por lo que se hace necesario calificar una metodología de ensayo y su eficacia, además de realizar ensayos comparativos de muros para evaluar su diseño y terminación impermeabilizante.



## **2.2 Infiltración por lluvias**

Poder estudiar el mecanismo que rige la infiltración de aguas lluvias en un muro de albañilería es bastante complejo debido a que la estructura interna de los materiales que se emplean en su construcción es muy heterogénea.

Existen expresiones físicas que buscan modelar este mecanismo, pero presentan una gran incertidumbre, ya que los parámetros que intervienen en éstas no han sido estudiados en profundidad, además es muy difícil caracterizar a la albañilería debido a su constitución variable. Sin embargo, permiten estimar el orden de magnitud de los efectos que se generan y con esta información tomar medidas para combatir los problemas que se pueden presentar.

Es conocido que la existencia de conductos de pequeña dimensión permite el ingreso de agua a través de la albañilería. Son de especial cuidado, por su aporte al transporte de agua, los conductos cercanos a la horizontal de diámetro superior a 0.5 mm. Estos conductos se pueden producir tanto en las unidades de albañilería como en el mortero de junta.

Se debe hacer una distinción en la sollicitación que afecta a los muros en estudio, pues el mecanismo de la situación de lluvia sin viento difiere del de lluvia con viento.

### **2.2.1 Análisis de la infiltración de lluvia sin viento**

En este caso la lluvia forma una película sobre la superficie del muro, penetrando en el muro de albañilería a través del mortero o las unidades de albañilería.

La albañilería absorbe agua por efecto del fenómeno llamado capilaridad. Esta situación se presenta en materiales porosos que se asemejan a un conjunto de conductos capilares irregulares.

Los poros de las albañilerías están constituidos por agua y aire, puede demostrarse que el líquido se desplaza a través del gas, siendo posible determinar la distancia y la velocidad de avance mediante fórmulas en las que intervienen las propiedades físicas del agua (densidad, viscosidad, tensión superficial), el ángulo de adherencia entre el agua y la pared del conducto, el diámetro y la inclinación del conducto <sup>(9)</sup>:

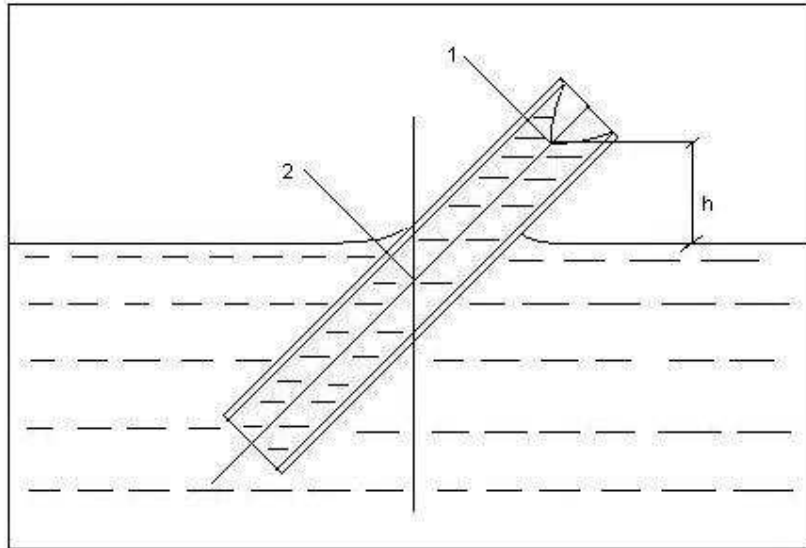


Figura 2.2.1

Si la circulación del líquido es en régimen permanente:

$$V = \frac{(P_1 - P_2) * d^2}{32 * \mu * L} \quad (1)$$

donde:

- V: velocidad media en el tubo, [cm/s]
- $P_1, P_2$ : presiones en puntos 1 y 2 del tubo, [dinas/cm<sup>2</sup>]
- d: diámetro del capilar, [cm]
- $\mu$ : coeficiente de viscosidad, [poise]
- L: distancia entre 1 y 2, [cm]

En la figura 2.2.1, la presión en el punto 2 es igual a la presión dada por la tensión superficial menos la presión debida a la altura alcanzada por el líquido.

$$P_2 = \frac{4\sigma * \cos \alpha}{d} - h * \Gamma * g \quad (2)$$

donde:

- d: diámetro del capilar, [cm]
- $\alpha$ : ángulo de contacto con la pared del capilar
- g: aceleración de gravedad, [cm/s<sup>2</sup>]
- $\Gamma$ : densidad del líquido, [g/cm<sup>3</sup>]
- $\Sigma$ : tensión superficial del agua, [dinas/cm]

De la ecuación 2, despejando  $h$  y considerando  $P_2 = 0$ , se tiene que:

$$h_{\max} = \frac{4\sigma * \cos \alpha}{\Gamma * g * d} \quad (3)$$

Luego:

$$P_2 = h_{\max} * \Gamma * g - h * \Gamma * g \quad (4)$$

Tomando como origen la presión atmosférica, la presión en el punto 1 de la figura 2.2.1 será nula:

$$P_1 = 0$$

Entonces, la diferencia de presiones entre los puntos 1 y 2 de la figura 2.2.1, será:

$$P_{1-2} = \Gamma * g * (h_{\max} - h) \quad (5)$$

La longitud entre los puntos 1 y 2 de la figura 2.2.1, será:

$$L_{1-2} = \frac{h}{\cos \alpha} \quad (6)$$

Reemplazando las últimas dos expresiones en la ecuación 1, se tiene que:

$$V = \frac{\Gamma * g * (h_{\max} - h) * d^2 * \cos \alpha}{32 * \mu * h} \quad (7)$$

La expresión originada de la depresión por la succión capilar es:

$$P = \frac{4\sigma * \cos \alpha}{d} \quad (8)$$

Estas fórmulas demuestran que la distancia alcanzada por el líquido dentro del tubo o conducto es mayor mientras menor sea el diámetro de éste. La velocidad del líquido dentro de un tubo o conducto es directamente proporcional al diámetro de este.

También puede demostrarse que tubos capilares con una inclinación cercana a la horizontal, pueden transportar agua a distancias importantes.

Por otra parte, mientras mayor sea el diámetro de un capilar, mayor será el caudal que éste puede transportar.

La succión es mayor en los capilares de menor diámetro.

Estos antecedentes, relacionados con la existencia de conductos capilares, demuestran la importancia de una buena fabricación de las unidades de albañilería y de la ejecución de la obra para lograr una buena resistencia al paso del agua por parte de los muros de albañilería.

### 2.2.2 Análisis de la infiltración de lluvia con viento

Cuando a la lluvia se le suma la acción del viento, al problema de capilaridad descrito anteriormente para la lluvia sin viento, se debe agregar la presión del agua sobre el muro.

La presión del agua es función de la velocidad del viento y puede estimarse utilizando fórmulas que hacen una distinción entre una velocidad de viento variable y una constante.

La expresión más utilizada es la que considera a la velocidad del viento como variable, establecida por el investigador inglés C. F. Malvin:

$$P = \frac{V^2}{10} \quad (9)$$

Cuando se considera la velocidad del viento como constante se aplica la fórmula de J. E. Emswiler:

$$P = \frac{V^2}{16} \quad (10)$$

donde:

V: velocidad del viento, [m/s]

P: presión del viento, [kg/m<sup>2</sup>]

Se sabe que la influencia de la presión del viento en la admisión del agua lluvia por parte de un muro de albañilería es baja cuando el diámetro de los capilares es pequeño, pero es un efecto muy importante cuando el diámetro aumenta.

Cuando existe presión de agua, al efecto capilar debe sumarse el efecto de la permeabilidad, el que se manifiesta en forma importante cuando se tiene una gran densidad de conductos de diámetro mayor a 0.5 mm.

Con estos antecedentes, se puede indicar que con la existencia de conductos de pequeño diámetro es preponderante el efecto de la capilaridad, mientras que cuando se tienen conductos de mayor diámetro cobra mayor relevancia el efecto de la permeabilidad y su conjunto hace que sea necesario un buen análisis del muro de albañilería como un sistema en el que se presentan ambas situaciones.

### **2.3 Factores que influyen en el paso del agua lluvia a través de muros de albañilería.**

Existen diferencias en la construcción de muros de albañilería, las que dependen fundamentalmente de los recursos económicos disponibles para este efecto. Esto se manifiesta en la calidad y cantidad de los materiales utilizados, además es de vital importancia la mano de obra contratada.

Para alcanzar distintos grados de permeabilidad se pueden estudiar distintas combinaciones entre los siguientes aspectos:

- Permeabilidad de bloques de hormigón, la que está relacionada con la presencia o ausencia de aditivos impermeabilizantes en la mezcla.
- Permeabilidad de morteros.
- Coeficiente de capilaridad en bloques y ladrillos.
- Forma de colocación del mortero de junta.
- Curado de los muros.
- Mano de obra de buena o mala calidad.
- Presencia de rejunteo con lechada de cemento.

Toda determinación, con el mortero de junta por ejemplo, que se tome con el objeto de evitar problemas con el paso de agua al interior de las viviendas debe ser considerado previamente en el cálculo estructural. Si no es así, se debe buscar otra alternativa que cumpla con este importante punto.

A continuación se muestran algunas imágenes que muestran distintas formas de colocación del mortero, lo que permite alcanzar distintos grados de permeabilidad <sup>(9)</sup>:

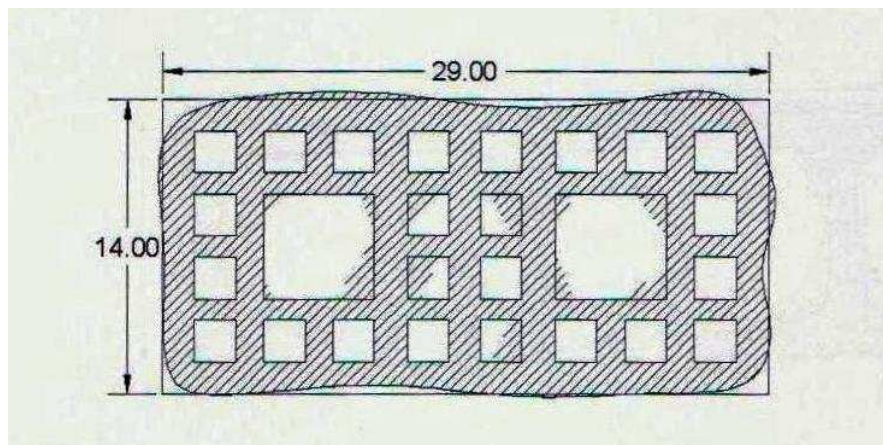


Fig.2.1 – Alta permeabilidad. Mortero colocado en las cáscaras y tabiques de la unidad de ladrillo cerámico o bloque de hormigón.

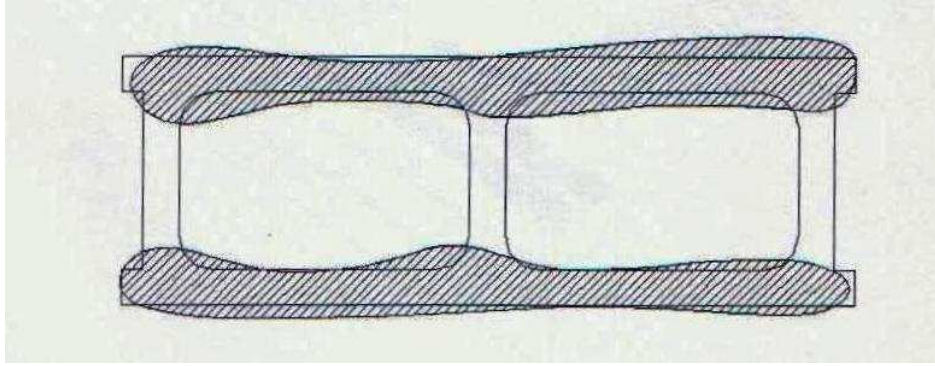


Fig.2.2 – Baja permeabilidad. Mortero colocado sólo en las cáscaras de la unidad de ladrillo cerámico o bloque de hormigón.

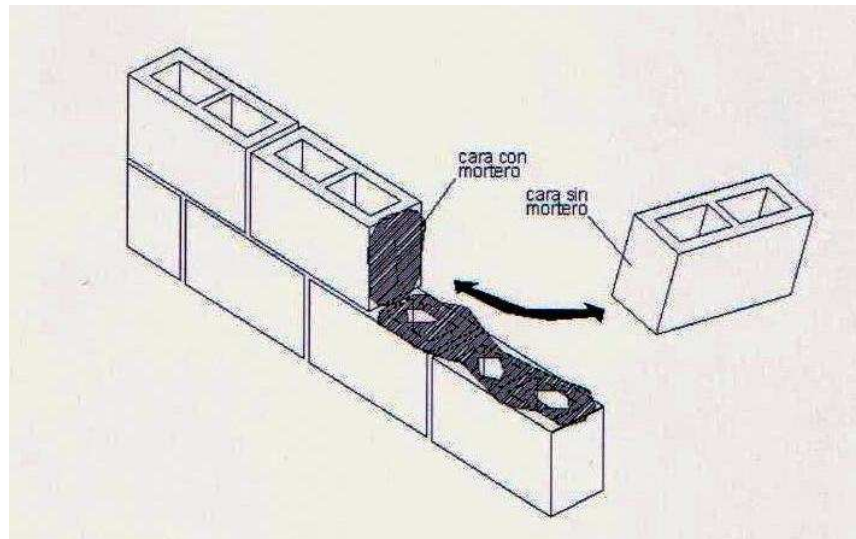


Fig.2.3 – Alta permeabilidad. Mortero de pega en bloque de hormigón o ladrillo cerámico de la hilada del muro.

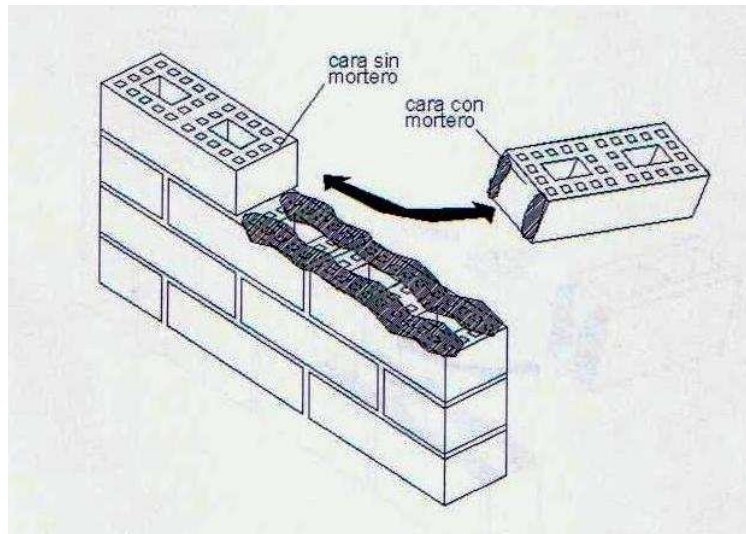


Fig.2.4 – Baja permeabilidad. Mortero de pega en bloque de hormigón o ladrillo cerámico que se colocará en el muro.

La calidad de la mano de obra es fundamental en la aplicación correcta de la solución constructiva que se elija.

En Estados Unidos, por ejemplo, se le da mucha importancia a la capacitación de los maestros albañiles, obteniendo beneficios que se reflejan en la productividad y calidad de la albañilería. Existen centros de formación técnica especiales en donde se dictan materias prácticas de construcción y clases teóricas. Luego de tres años de entrenamiento en obra como aprendiz, pasando por rigurosos controles teóricos y prácticos, se alcanza la categoría de albañil.

El uso de las herramientas apropiadas en la colocación de la albañilería ayuda a mejorar la productividad y calidad, lo que se manifiesta, por ejemplo, en el uso de llanas con la elasticidad adecuada para que los maestros no se agoten rápidamente. Se debe considerar también que en muchos casos se coloca el mortero con palas de amplias dimensiones, lo que produce incomodidad, mala colocación de mortero y pérdida de material.

El uso de impermeabilizantes puede aminorar o evitar las consecuencias negativas que podría tener un diseño en que no se consideraron los aspectos mencionados anteriormente.

Se debe almacenar el producto de acuerdo a las recomendaciones del fabricante, además se tiene que efectuar una buena preparación de la superficie y realizar una correcta aplicación del producto, para obtener un resultado óptimo.



El uso de estucos con un espesor correcto y calidad adecuada, al igual que los impermeabilizantes, puede aminorar y evitar las consecuencias negativas que podrían tener una mala elección de materiales y una mala construcción.

En el caso de impermeabilizantes y estucos se debe realizar una mantención cada cierto período de tiempo.

Se debe tener especial cuidado con la existencia de grietas en muros de albañilería, ya que grietas visualmente aceptadas como pequeñas pueden ser un puente para el paso del agua.

Por lo general se consideran como aceptables visualmente grietas de 0.4 mm de ancho, pero se ha demostrado que grietas extremadamente angostas, de 0.1 mm en la interfaz albañilería / mortero, pueden permitir el paso de agua lluvia <sup>(2)</sup>.

Consideraciones arquitectónicas pueden ayudar a impedir el paso del agua lluvia a través de la albañilería. En este punto se destaca la longitud adecuada de los aleros, para lo cual existen recomendaciones para el uso de longitudes mínimas. Además se deben utilizar canaletas capaces de evacuar correctamente la intensidad máxima de lluvia que podría presentarse en el lugar.

El empleo de elementos de desvío de agua, consistentes en canterías salientes, pueden ser de mucha utilidad <sup>(4)</sup>.

En la siguiente figura se muestran distintas formas y dimensiones:

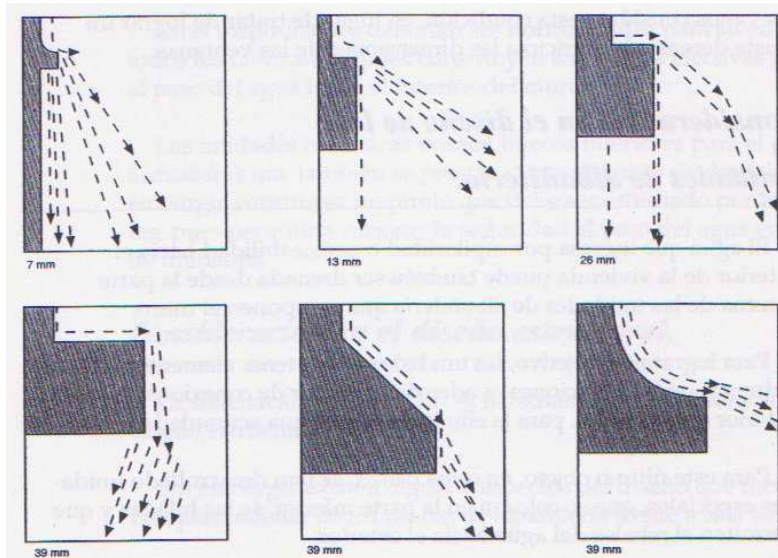


Fig.2.5 – Canterías salientes de distintas formas y dimensiones.

### **3. ENSAYOS PARA EVALUAR EL COMPORTAMIENTO DE MUROS DE ALBAÑILERÍA ANTE LA ACCIÓN DE LA LLUVIA Y EL VIENTO.**

Para el estudio del comportamiento de los muros de albañilería ante la sollicitación de lluvia y viento es necesario realizar controles independientes a los materiales componentes del muro, para finalmente hacer un análisis global del muro.

Los controles preventivos a los que se deben someter los materiales componentes del muro son:

- Capilaridad y permeabilidad de las unidades de albañilería.
- Permeabilidad del mortero de junta.

Luego de esto, se debe estudiar el comportamiento global del muro de albañilería, lo que permite evaluar la calidad de la ejecución de la obra y se constituye en un ensayo de aceptación final.

Los ensayos que permiten ejecutar el control en obra, son conocidos como ensayos de aspersión directa, los que presentan las siguientes características:

- Ser de ejecución simple.
- Medir los parámetros que definen el comportamiento de las albañilerías frente a la humedad.
- Estar normalizados en nuestro país o en el exterior y disponer de experiencia respecto de su ejecución.

La diferencia entre los distintos métodos utilizados para estudiar el comportamiento global de un muro, está en la simulación de la lluvia y el viento. Estos ensayos cuantifican el efecto del agua y el viento en los muros ensayados sin necesidad de tener variables de correlación.

La metodología y características principales de los ensayos empleados, en el presente trabajo de título y en todo el mundo, para determinar la estanqueidad al agua, permeabilidad al agua y penetración y filtración de agua, es la siguiente:

### 3.1 NCh 2821 Of.2003 “Fachadas – Método de ensayo de estanqueidad al agua”<sup>(12)</sup>.

El ensayo de estanqueidad al agua para muros de albañilería se basa en la norma AFNOR NF P 08-341: 1987 Façades construites avec des composants – Essais d ´ étanchéité à l ´ eau.

El muro es sometido a un rociado constante que simula la acción de una lluvia intensa que actúa en forma continua y controlada, creando una película de agua sobre la superficie expuesta.

Simultáneamente se incluye el efecto del viento sobre el muro en estudio, actuando una presión estática de aire la que se incrementa cada 15 minutos hasta obtener la presión límite que produce la falla de estanqueidad al agua en la albañilería.

El sistema de rociado debe cumplir con las siguientes características:

- Sistema de rociado constituido por dos ductos horizontales fijos espaciados a 0.3 m, situados en un plano vertical paralelo al plano de la fachada a ensayar, a una distancia comprendida entre 0.15 m y 0.2 m.
- Cada ducto cuya longitud es un múltiplo de 0.25 m, comprende una serie de surtidores dispuestos a 0.125 m desde los extremos y espaciados regularmente cada 0.25 m.
- Los surtidores deben permitir obtener un chorro plano y horizontal en un ángulo de 100° aproximadamente.
- El caudal de cada ducto es regulable con ayuda de una válvula; se pueden obtener varios rangos de caudal al reemplazar las boquillas de los surtidores.
- El caudal del ducto superior se regula aproximadamente a 2 l/min por metro cuadrado.
- Los caudales de los otros ductos se regulan en función de la superficie de la fachada que es de interés, a fin de proyectar directamente sobre ésta aproximadamente 1 l/min por metro cuadrado.

El aparato de ensayo debe estar constituido por una envolvente que funcione como cámara de ensayo resistente a las presiones de ensayo, formada por una estructura rígida, es decir, cuyos desplazamientos frontales no excedan en ningún punto 0.1 mm bajo 100 Pa y que incluya una abertura destinada a estar obturada por la sección representativa de la fachada.

La cámara de ensayo debe estar equipada para recibir las piezas de fijación previstas, sin deformarse, y se debe poder adaptar a las dimensiones características de la muestra. La estanqueidad periférica se deberá asegurar por medio de una junta apropiada.

Las diferencias de presión son originadas por un sistema de aire comprimido, de fácil regulación, capaz de poder aumentarlas de 0 a 500 Pa, de la siguiente manera:

Tabla 3.1.1  
Variación de presión ensayo estanqueidad al agua

Diferencia de presión al interior de la cámara	Duración (min)
0	15
50	5
100	5
150	5
200	5
300	5
400	5
500	5

En la siguiente figura se presenta un esquema del dispositivo de ensayo.

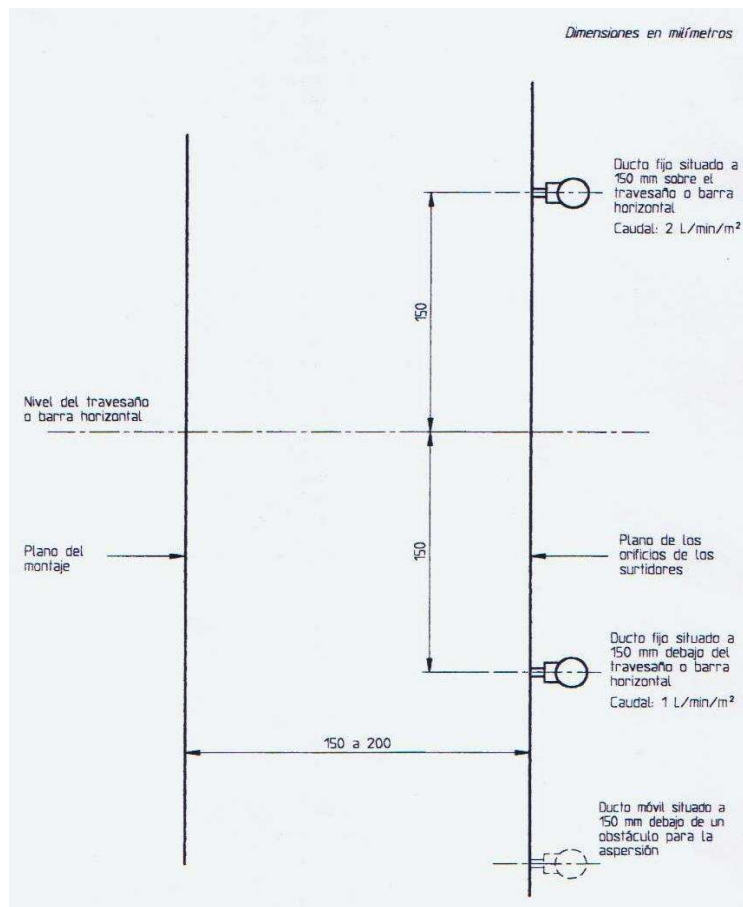


Fig. 3.1.1 – Sistema de rociado

### 3.2 Ensayo con pipeta RILEM (Ensayo de Karsten).

Este ensayo fue presentado por el investigador alemán Karsten en 1963 y desarrollado por RILEM para el control de infiltración en muros y evaluación de tratamientos repelentes al agua.

Ha sido utilizado por cerca de 40 años, debido en gran medida a que las pipetas son de fácil transporte, además de poder obtener buenos resultados en forma rápida y simple.

Se debe considerar que el método entrega información puntual o localizada que permite estimar las zonas de la albañilería donde se podrían presentar problemas de infiltración de agua, por lo tanto, no permite concluir acerca del comportamiento global del muro. Consiste en la utilización de pipetas curvas las que se adosan contra el muro que se quiere evaluar, manteniendo una columna permanente de 10 cm de altura, durante un lapso de 10 minutos, midiendo la cantidad de agua que se debe agregar para mantener la condición de la altura constante de agua. Mientras más pipetas sean utilizadas, se puede obtener información más confiable.

El ensayo puede representar una condición bastante exigente, ya que permite simular una lluvia con una presión de viento de 114 km/h.

A continuación, en la Fig.3.2.1 se muestra una representación esquemática de una pipeta, en la Fig.3.2.2 se muestra una pipeta en un bloque de hormigón y en la Fig.3.2.3 se muestran 2 pipetas en un muro de ladrillo estucado:

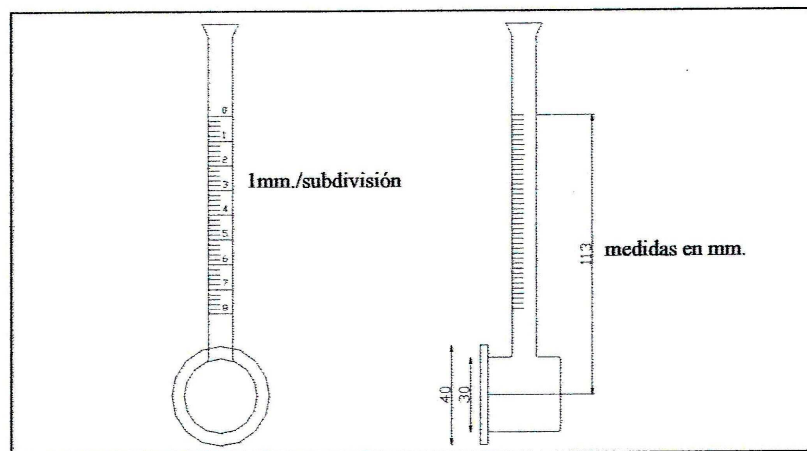


Fig. 3.2.1 – Representación esquemática de una pipeta



Fig.3.2.2 – Pipeta en un bloque de hormigón



Fig.3.2.3 – Pipetas en muro de ladrillo estucado

### 3.3 NCh 2814 Of.2004 “Estructuras de albañilería – Penetración y filtración de agua a través de la albañilería – Método de ensayo”<sup>(1)</sup>.

Esta norma está basada en la norma ASTM E 514: 1990 Standard test method for water penetration and leakage through masonry<sup>(1)</sup>.

El método de ensayo presentado en esta norma determina la resistencia a la penetración y filtración de agua a través de la probeta sometida a lluvia con vientos dirigidos.

Este método entrega directrices para obtener información que permite evaluar el efecto de las siguientes variables en la albañilería: calidad de los materiales, revestimientos (estucos, pinturas, hidrorrepelentes y otros), diseño del muro y mano de obra.

La aplicación principal de este método de ensayo es establecer una conducta comparativa entre distintas construcciones de muro de albañilería.

Para el estudio de la albañilería, según esta norma, la cámara de ensayo debe cumplir con las siguientes exigencias generales:

- Materiales a utilizar: metal, madera o plástico.
- $A_{MIN} = 1.08 \text{ m}^2$ , sugiriéndose, por ejemplo, 900 mm de ancho y 1200 mm de alto.
- Los bordes de la cámara en contacto con la probeta se deben adosar asegurando un sellado hermético mediante un material de junta compresible de celda cerrada.
- Se debe proporcionar una ventana hermética para observación en la cara de la cámara.
- Los 19 mm de diámetro del tubo rociador resistente a la corrosión debe tener un paso único de 1 mm de diámetro y cavidades espaciadas a 25 mm de separación.
- Los dispositivos y accesorios para la cámara deben consistir de una línea de aire con manómetro, línea de agua con válvulas, contador de orificio y manómetro, además de una tubería de desagüe de agua en la base de la cámara.
- El tubo rociador de agua se debe ubicar de manera que el agua choque a la probeta no más de 75 mm por debajo de la parte alta de la cámara de ensayo.



- Se debe ajustar la razón de aplicación del agua a 138 l/m<sup>2</sup> de muro por hora.
- Simultáneamente, con la aplicación del agua, se debe incrementar la presión de aire dentro de la cámara. Si la presión no se especifica, la probeta se debe ensayar a 500 Pa de presión positiva o 5 cm c.a.
- Se deben mantener las condiciones especificadas por un período no menor que 4 h.

Además, se indica que la altura y longitud de la probeta debe proporcionar un área mínima de 1.08 m<sup>2</sup> expuesta al ensayo, más 200 mm de traslapo como mínimo en todos los bordes.

Durante las 4 h de ensayo, las observaciones se deben realizar cada 30 minutos. Se deben registrar los siguientes aspectos:

- Tiempo de aparición de humedad en la cara no expuesta al ensayo.
- Tiempo de aparición de la primera agua visible en la cara no expuesta al ensayo.
- Área de humedad en la cara no expuesta al ensayo al término de las 4 h del período de ensayo, expresado como porcentaje de área ensayada.
- Agua total colectada en 4 h del período de ensayo, lo que permitirá conocer la cantidad de agua retenida por el muro.

El informe de ensayo, en ocasiones en las que se inspeccione la construcción del muro, debería contener como mínimo lo siguiente:

- Descripción de todos los materiales incluyendo revestimientos y unidades de albañilería. Materiales y composición del mortero utilizado para construir las probetas de muro, además de las propiedades determinadas por la normativa apropiada.
- Descripción del diseño del muro de probeta y detalles de la construcción. Se deben incluir fotografías y dibujos según sea necesario.
- Descripción detallada de la calificación de la mano de obra usada en la construcción de las probetas de ensayo.
- Condiciones del ensayo.
- Registro de la temperatura y humedad durante la construcción, envejecimiento y períodos de ensayo.

En las páginas siguientes se presentan una proyección de la cámara de ensayo y una disposición general del sistema de cámara para ensayar la penetración del agua, entregadas por la norma.

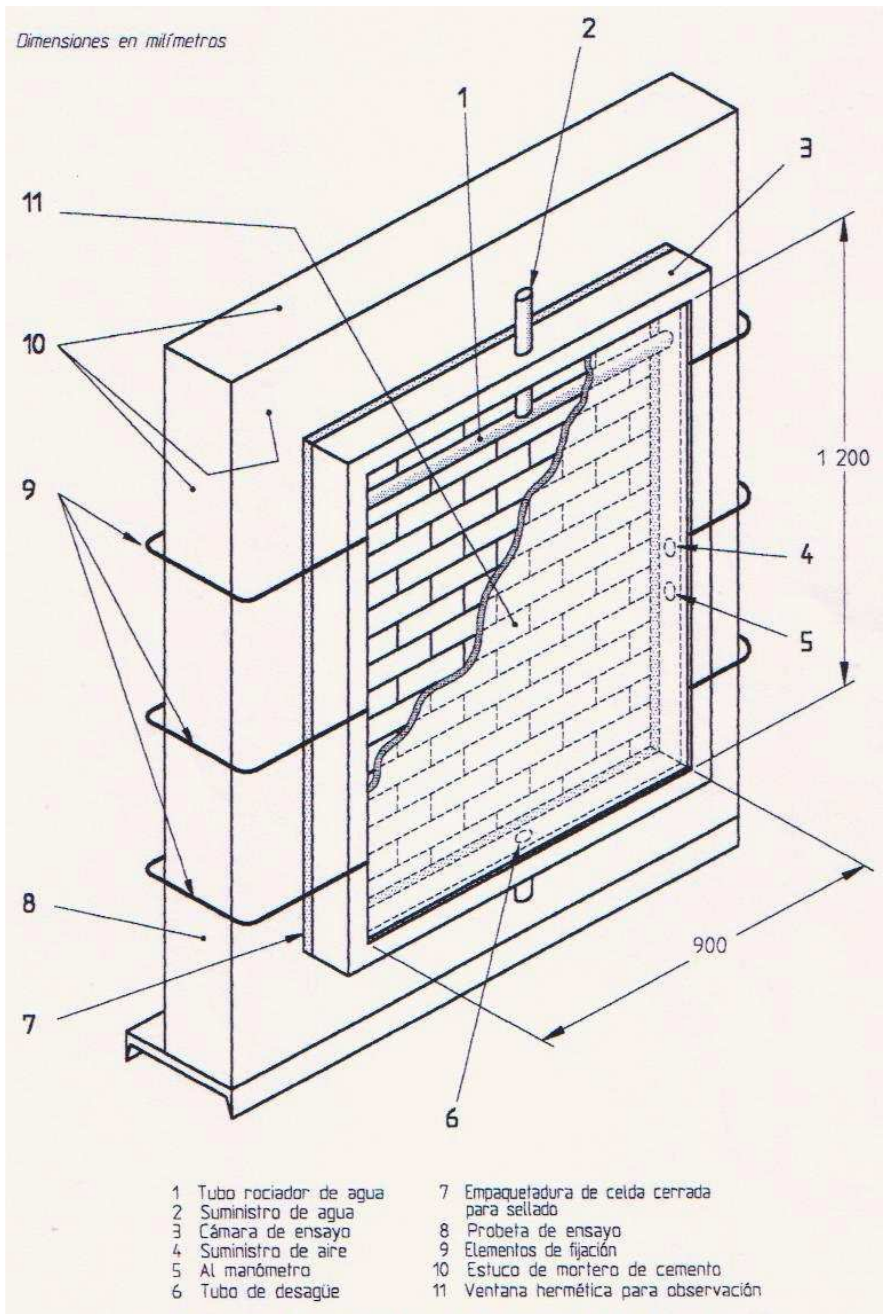


Fig.3.3.1 – Proyección de la cámara de ensayo

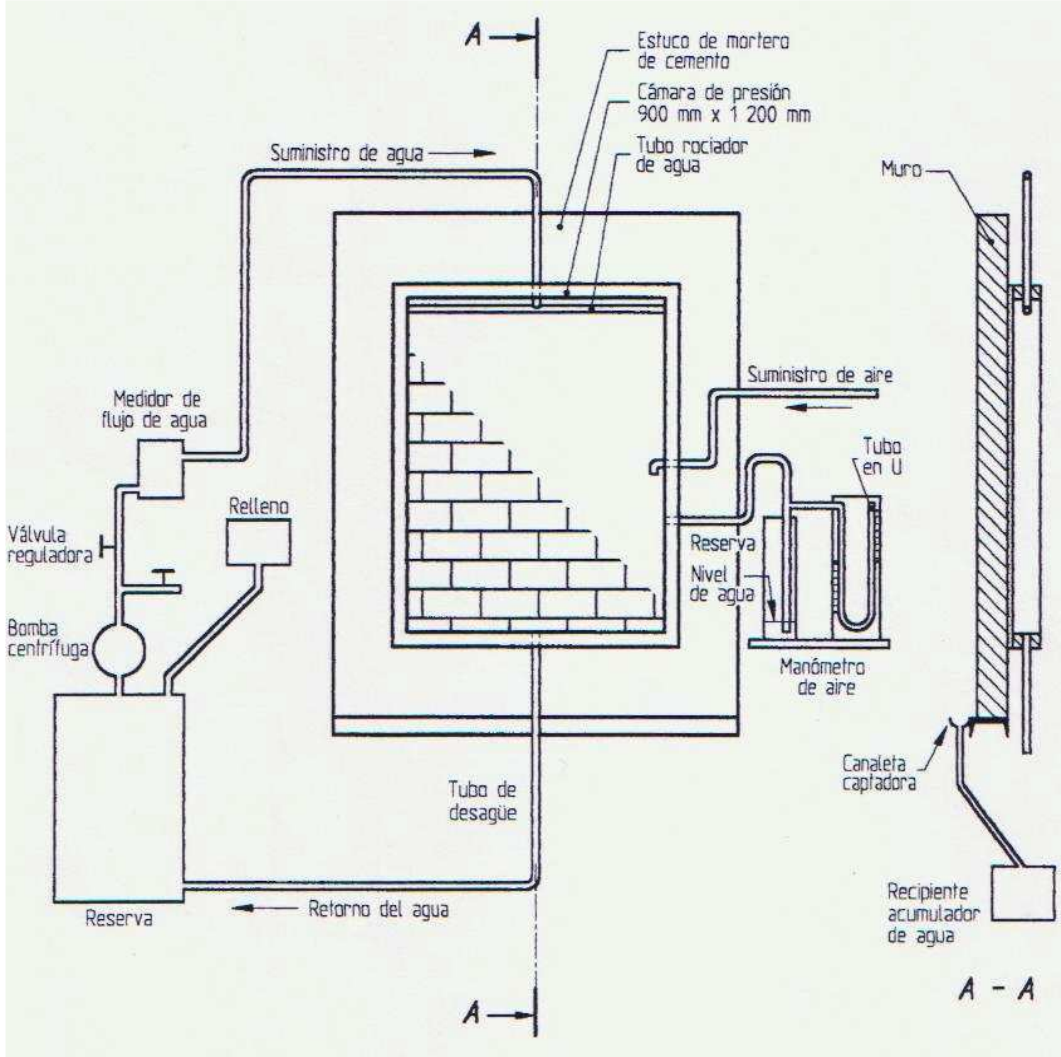


Fig.3.3.2 – Disposición general del sistema de cámara para ensayar la penetración del agua

## 4. CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO DE ENSAYO

En el diseño y construcción del equipo de ensayo se consideraron los aspectos señalados en el punto 3.3, presentados anteriormente.

En relación a los materiales empleados en la construcción de la cámara, la norma NCh 2814 Of.2004 <sup>(11)</sup> permite utilizar metal, madera o plástico.

Se optó por construir el marco de la cámara con metal, específicamente aluminio, por ser éste más liviano que el acero, por ejemplo. Además este tipo de material es durable y resistente a los golpes.

En la determinación del ancho y alto de la cámara se empleó el área mínima sugerida por la norma, 1.08 m<sup>2</sup>, abarcando 900 mm de ancho y 1200 mm de alto. Esta decisión fue tomada considerando el costo de los materiales y la portabilidad del equipo.

En la elección del espesor o profundidad de la cámara se consideraron 2 aspectos:

- El primero fue la existencia de un sistema rociador en la Sección de Habitabilidad del IDIEM, el que permitía realizar un Ensayo de Aspersión Directa, como el descrito en el punto 3.2, para el cual era necesario una profundidad de 35 cm.
- El segundo aspecto tiene relación con la ubicación del tubo rociador, ya que se hicieron pruebas con la finalidad de establecer que el agua choque a no más de 75 mm por debajo de la parte superior de la cámara de ensayo (consideración presente en la NCh 2814 Of.2004 <sup>(11)</sup>), determinándose una distancia máxima entre el tubo rociador y la pared en estudio de 20 cm.

Luego de evaluar los 2 puntos presentados anteriormente, se optó por una profundidad de 35 cm.

Las paredes de la cámara fueron hechas de acrílico empleándose distintos espesores, de acuerdo a las dimensiones de las caras y a los exigencias a las que serán sometidas. Esto se explicará con mayor detalle en las próximas páginas.

A continuación, a modo de esclarecer lo descrito anteriormente, se muestra la cámara de ensayo:



Fig.4.1 – Cámara de ensayo

Para determinar el perfil apropiado para el marco de la cámara, fue muy importante ir a una vidriería y apreciar el trabajo hecho por un maestro en un estante o vitrina de vidrio de similares dimensiones a las que se necesitaban para la estructura. En él se utilizó un perfil cajón (cuadrado) de aluminio de 30 x 30 x 1.8 mm.

Se eligió este mismo perfil para brindar mayor estabilidad o rigidez a la cámara, en comparación a un perfil ángulo, por ejemplo.

En relación al tubo rociador, se debe mencionar que en Chile se venden tubos de 20 mm de diámetro exterior, no de 19 mm que corresponde a  $\frac{3}{4}$  de pulgada, según se establece en la norma, por lo que se decidió utilizar la dimensión comercial que se puede encontrar en nuestro país.

Las perforaciones de 1 mm de diámetro, distanciadas a 25 mm en el tubo rociador, se hicieron en el laboratorio de la Unidad de Prefabricados de la Sección de Habitabilidad del IDIEM.

Para clarificar lo descrito en el párrafo anterior, en la siguiente figura se muestra el tubo rociador:



Fig.4.2 – Tubo rociador

En relación a las paredes de la cámara, se estudió el uso de distintos materiales. Por ejemplo, se descartó la opción del policarbonato alveolar por ser muy flexible y el uso del policarbonato compacto (homogéneo) por ser muy costoso. Finalmente se optó por la utilización de acrílico en las paredes de la estructura, considerando espesores de 3 y 6 mm para las caras. Luego se afirmaron a la cámara por medio de junquillos de aluminio.

La cara de mayor dimensión (90 cm x 120 cm) tiene un espesor de 6 mm para evitar deformaciones excesivas, también se consideró el mismo espesor para la cara inferior de la cámara, por donde se produce la descarga hacia el exterior del agua.

Las caras laterales (35 cm x 120 cm) tienen un espesor de 3 mm, al igual que la cara superior de la cámara (35 cm x 90 cm).

En una de las caras laterales se hicieron 2 perforaciones con la finalidad de instalar salidas de estanque de 20 mm de diámetro, para los 2 sistemas de rociado (NCh 2814 Of.2004 <sup>(11)</sup> y NCh 2821 Of.2003 <sup>(12)</sup>).

Para desaguar el agua que escurre por el muro durante la realización del ensayo, se hizo una perforación de 20 mm en la cara inferior de la cámara.

La mayor dificultad durante la etapa de diseño y construcción del equipo de ensayo fue alcanzar la presión de 500 Pa dentro de la cámara. Se analizaron 3 alternativas, realizando con cada una, pruebas para verificar el cumplimiento de la presión establecida por la norma.

Inicialmente se hizo una prueba con un compresor perteneciente a la Sección de Habitabilidad, sin embargo, se descartó esta opción porque este instrumento fue incapaz de garantizar un flujo de aire de forma constante por 4 horas, ya que tiene una capacidad de sólo 24 litros. En el mercado existen compresores de mayor capacidad (Volumen), pero no se consideró esta alternativa por ser muy costosa.

Posteriormente, debido al problema para alcanzar un flujo constante de aire utilizando un compresor, se utilizó un ventilador fabricado con el motor de una enceradora para la realización de otro tipo de ensayos en la Sección de Habitabilidad. Este ventilador, el que se denominó ventilador 1, tuvo que ser reparado para su buen funcionamiento y poder efectuar pruebas con el equipo de ensayo.

Además, se fabricó en una hojalatería una pieza especial que permitió reducir el diámetro de 23 cm (diámetro del ventilador) a un diámetro menor (el que se determinó en 18 cm), para disminuir el tamaño de la perforación en la cara de acrílico y permitir que esta pieza de hojalatería se inserte dentro de la cámara, lo que ayudó a un mejor sellado.

Por otra parte, se adquirió un trípode para permitir soportar el peso del ventilador y regular la altura de éste, de acuerdo a la ubicación de la cámara.

En las siguientes figuras se muestran el ventilador 1, la pieza de hojalatería y el trípode descritos en los párrafos anteriores:



Fig.4.3 – Ventilador 1 y trípode

Luego de probar el equipo compuesto por la cámara herméticamente cerrada (muy bien sellada con silicona) y el ventilador 1, inesperadamente se determinó que éste era incapaz de entregar la presión de 500 Pa necesaria para realizar el ensayo. Con la utilización de un manómetro y un tubo en U, los que entregaron los mismos resultados, se concluyó que la presión proporcionada por el ventilador 1 era sólo de 270 Pa.

Para poder obtener la presión requerida de 500 Pa se procedió a buscar, en una empresa de climatización, un ventilador que permitiera hacer la menor cantidad de cambios posibles al equipo ya construido con el ventilador 1.

Al momento de elegir el nuevo ventilador, al que llamaremos ventilador 2, se consideró, obviamente, que este cumpliera con proporcionar la presión necesaria para el ensayo, además de ser liviano y pequeño en dimensiones.

Se escogió un ventilador marca Elicent, modelo AXC 315 B, cuyas dimensiones y curva de funcionamiento se muestran en las siguientes figuras:

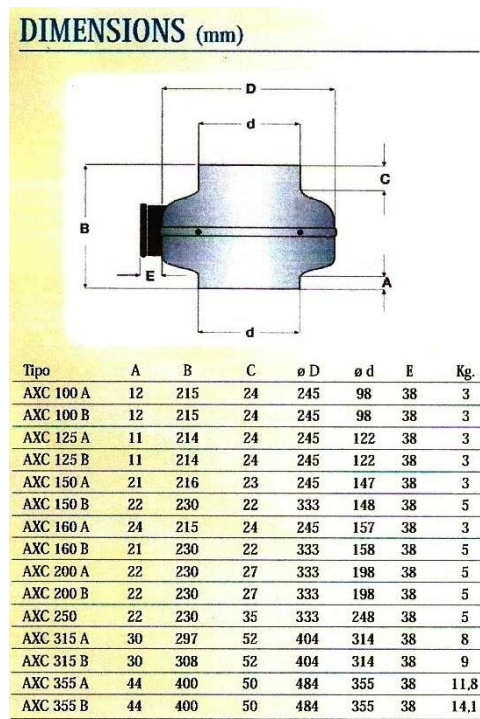


Fig.4.4 – Dimensiones ventilador 2



## AXC 250 - 315A - 315B

Product code	RPM	m <sup>3</sup> /h max	Pa max	dB(A) @ 3 m	W	A	V Hz	Speed controller	Type
AXC 250	2550	1120	570	62	173	0,78	230/50-60	RVN or RVS-1	AXC 2
AXC 315 A	2645	1400	580	62	174	0,80	230/50-60	RVN or RVS-1	AXC 3
AXC 315 B	2630	1850	700	66	297	1,30	230/50	RVS-1	AXC 3

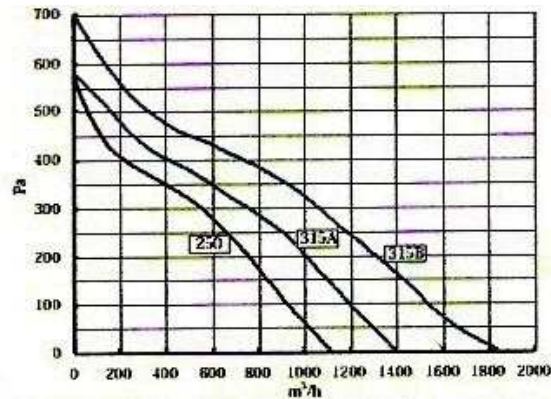


Fig.4.5 – Curva de funcionamiento modelo AXC 315 B

La curva de funcionamiento permite apreciar como disminuye la presión entregada por el ventilador a medida que aumentan las pérdidas dentro de la cámara de ensayo.

Las modificaciones que se realizaron para la utilización del ventilador 2 fueron: cambiar la base que transmite el peso del ventilador al trípode, fabricar una nueva pieza de hojalatería (de 34 cm de diámetro, sin reducción) y cambiar la ubicación de la cara perforada por donde se insertó la pieza de hojalatería, desde una cara lateral (la que fue reemplazada por una nueva) a la cara frontal al muro a ensayar.

Lo descrito en el párrafo anterior se muestra en las siguientes figuras:



Fig.4.6 – Ventilador 2, trípode y cámara

Para el correcto funcionamiento del ventilador 2 se compró un regulador de velocidad, marca Casals de 1.5 A, el que se muestra en la siguiente figura:



Fig.4.7 – Regulador de velocidad

Se utilizó un estanque de 350 litros aproximadamente y una bomba con una válvula, la que permitió regular el flujo de agua. Todo esto formaba parte del equipo de ensayo para la antigua cámara de Aspersión Directa, perteneciente a la Sección de Habitabilidad de IDIEM.

Para determinar la cantidad de agua absorbida por un muro, se midió la cantidad de agua en el estanque, antes y después del ensayo, considerando que toda el agua que escurrió por el muro lo recargó. El procedimiento de medición del agua absorbida por un muro se muestra en el Anexo C.

A continuación se presentan imágenes que muestran los distintos elementos que forman parte del equipo de ensayo, además se muestra una fotografía con todo el equipo de ensayo:



Fig.4.8 – Manguera que recarga el estanque



Fig.4.9 – Estanque prácticamente lleno de agua

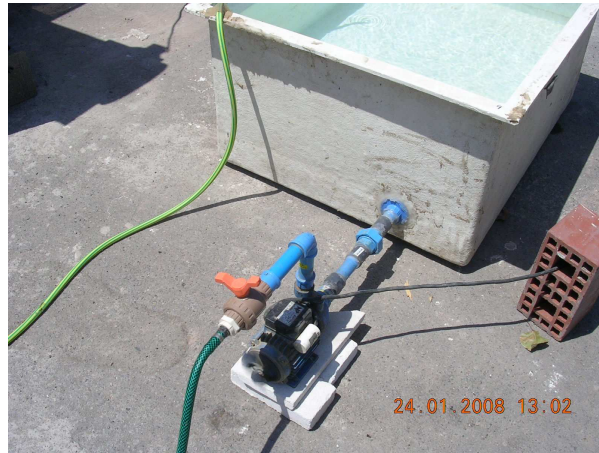


Fig.4.10 – Bomba, manguera de recarga y estanque



Fig.4.11 – Manómetro

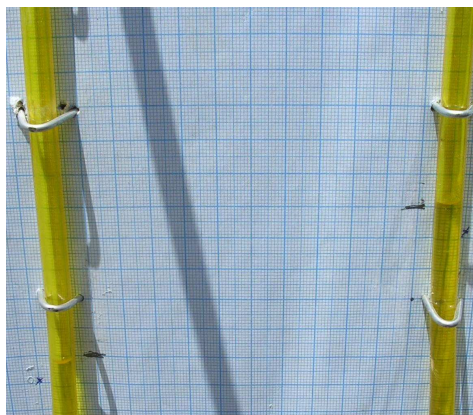


Fig.4.12 – Tubo en U



Fig.4.13 – Equipo de ensayo

## **5. CARACTERÍSTICAS DE MUROS EXPERIMENTALES**

Se pueden considerar variantes en los métodos constructivos de los muros de albañilería, las que pueden hacer más o menos permeables a éstos. Estas variantes están directamente relacionadas con la cantidad de recursos económicos empleados en el proceso constructivo, fundamentalmente cantidad y propiedades de los materiales utilizados, además de la calidad de la mano de obra.

El ensayo de penetración y filtración de agua a través de la albañilería permite hacer un estudio del comportamiento de muros ya construidos ante la acción de la lluvia y el viento, por lo tanto entrega información completa y decisiva del desempeño de las probetas evaluadas.

Al momento de decidir el número y tipo de muros a ensayar se trató de realizar una muestra lo más representativa posible de lo que se utiliza en nuestro país. Para esto se emplearon muros ya construidos pertenecientes a la Sección de Habitabilidad del IDIEM.

Se eligió un muro de ladrillo sin ningún tipo de tratamiento impermeabilizante, un muro de bloque texturado con algún tipo de tratamiento impermeabilizante (lo que se podía apreciar en el mortero de junta), un muro de ladrillo estucado, un muro de bloque sin ningún tipo de tratamiento impermeabilizante y un muro de ladrillo al cual se le aplicó un completo tratamiento hidrorrepelente 12 días antes de ser ensayado.

A continuación se entregará una descripción de los 5 muros ensayados y fotografías de éstos. Es importante mencionar que estos muros fueron construidos para otros fines, varios meses antes que fueran ensayados, por lo que no se pudo estar presente en el proceso constructivo.

## 5.1 Muro 1

El Muro 1 corresponde a un muro de ladrillo, sin ningún tipo de tratamiento impermeabilizante, cuyas dimensiones son 2.45 m de ancho y 2.45 m de alto.

Las dimensiones de las unidades de ladrillo y el ancho del mortero de junta que conforman el muro son las siguientes:

Tabla 5.1.1  
Dimensiones de las unidades

Muro 1	Altura [cm]	Espesor [cm]	Largo [cm]
Ladrillo cerámico	7.1	14.2	29

Tabla 5.1.2  
Ancho mortero de junta

Muro 1	Ancho [cm]
Mortero junta vertical	2.0
Mortero junta horizontal	1.5

A continuación se presenta una fotografía de la cara del muro expuesta al ensayo.



Fig.5.1.1 – Cara expuesta al ensayo Muro 1

## 5.2 Muro 2

El Muro 2 corresponde a un muro de bloque texturado, con algún tipo de tratamiento impermeabilizante (por lo que se podía observar en el mortero de junta). Las dimensiones de la probeta son 2.45 m de ancho y 2.45 m de alto.

Las dimensiones de los bloques y el ancho del mortero de junta que conforman el muro son las siguientes:

Tabla 5.2.1  
Dimensiones de las unidades

Muro 2	Altura [cm]	Espesor [cm]	Largo [cm]
Bloque de hormigón	19	14	39

Tabla 5.2.2  
Ancho mortero de junta

Muro 2	Ancho [cm]
Mortero junta vertical	1.5
Mortero junta horizontal	1.5

A continuación se presenta una fotografía de la cara del muro expuesta al ensayo.



Fig.5.2.1 – Cara expuesta al ensayo Muro 2



### 5.3 Muro 3

El Muro 3 corresponde a un muro de ladrillo estucado (el espesor del estuco es 2 cm). Las dimensiones de la probeta son 2.45 m de ancho y 2.45 m de alto.

Las dimensiones de las unidades de ladrillo y el ancho del mortero de junta que conforman el muro son las siguientes:

Tabla 5.3.1  
Dimensiones de las unidades

Muro 3	Altura [cm]	Espesor [cm]	Largo [cm]
Ladrillo cerámico	11.3	14	29

Tabla 5.3.2  
Ancho mortero de junta

Muro 3	Ancho [cm]
Mortero junta vertical	2.0
Mortero junta horizontal	1.5

A continuación se presenta una fotografía de la cara del muro expuesta al ensayo.



Fig.5.3.1 – Cara expuesta al ensayo Muro 3

## 5.4 Muro 4

El Muro 4 corresponde a un muro de bloque, sin ningún tipo de tratamiento impermeabilizante. Las dimensiones de la probeta son 2.45 m de ancho y 2.45 m de alto.

Las dimensiones de los bloques y el ancho del mortero de junta que conforman el muro son las siguientes:

Tabla 5.4.1  
Dimensiones de las unidades

Muro 4	Altura [cm]	Espesor [cm]	Largo [cm]
Bloque de hormigón	19	14	39

Tabla 5.4.2  
Ancho mortero de junta

Muro 4	Ancho [cm]
Mortero junta vertical	1.5
Mortero junta horizontal	1.5

A continuación se presenta una fotografía de la cara del muro expuesta al ensayo.



Fig.5.4.1 – Cara expuesta al ensayo Muro 4

## 5.5 Muro 5

El Muro 5 corresponde a un muro de ladrillo al que se aplicó un tratamiento hidrorrepelente, el que se detallará en las próximas páginas. Las dimensiones de la probeta son 2.45 m de ancho y 2.45 m de alto.

Las dimensiones de las unidades de ladrillo y el ancho del mortero de junta que conforman el muro son las siguientes:

Tabla 5.5.1  
Dimensiones de las unidades

Muro 5	Altura [cm]	Espesor [cm]	Largo [cm]
Ladrillo cerámico	11.3	14	29

Tabla 5.5.2  
Ancho mortero de junta

Muro 5	Ancho [cm]
Mortero junta vertical	2.0
Mortero junta horizontal	2.0

A continuación se presenta una fotografía de la cara del muro expuesta al ensayo.



Fig.5.5.1 – Cara expuesta al ensayo Muro 5

## 5.6 Aplicación de tratamiento hidrorrepelente en Muro 5

Hoy en día los hidrorrepelentes permiten obtener una muy buena solución para problemas de humedad, reduciendo la capacidad de absorción capilar de los elementos constructivos en las edificaciones.

Es importante mencionar su moderado costo, fácil aplicación y resistencia a los efectos del ambiente como temperatura, ciclos de hielo – deshielo, rayos UV, etc.

Los materiales para este tratamiento y el personal para su aplicación fueron proporcionados por la empresa Pinturas Amanecer, especialista en el rubro.

A continuación se detallan las distintas etapas necesarias para una buena aplicación del producto:

Etapa 1: Inicialmente se prepara la superficie, cuidando que esta se encuentre limpia y seca. Esto se puede apreciar en la siguiente figura:



Fig.5.6.1 – Preparación de la superficie

Etapa 2: Se aplica un sellador de cantería, cuya mezcla final es preparada en el lugar.



Fig.5.6.2 – Preparación sellador de cantería



Fig.5.6.3 – Aplicación sellador de cantería

Etapa 3: Posteriormente se aplica un sellador acrílico a todo el muro. Previamente se limpia la superficie, ya que pueden haber quedado impurezas producto de la aplicación del sellador de cantería.



Fig.5.6.4 – Preparación de la superficie



Fig. 5.6.5 – Aplicación sellador acrílico

Etapa 4: Se aplica el hidrorrepelente sobre la superficie del muro.



Fig.5.6.6 – Aplicación hidrorrepelente

Posteriormente se vuelve a limpiar la superficie de impurezas que pudieran haber quedado producto de la realización de las etapas anteriores y se vuelve a aplicar hidrorrepelente. Esto se muestra en las siguientes fotografías:



Fig.5.6.7 – Preparación de la superficie



Fig.5.6.8 – Lijado de la superficie





Fig.5.6.9 – 2ª aplicación de hidrorrepelente



Fig.5.6.10 – Muro al finalizar tratamiento hidrorrepelente.

## 6. ENSAYO DE LOS MUROS EXPERIMENTALES

Las características del ensayo de penetración y filtración de agua a través de la albañilería fueron descritas en el punto 3.3, así como en el capítulo 4 se entregó información detallada del equipo de ensayo.

En este capítulo se presentará la metodología de ensayo empleada en terreno, para luego mostrar los resultados de los ensayos a los que fueron sometidos los muros descritos en el capítulo 5. Estos fueron efectuados en dependencias del IDIEM en la comuna de Cerrillos, a un costado del Laboratorio de Incendios. En el anexo A se entrega el registro fotográfico de los muros, hecho cada 30 min en todos los ensayos.

### 6.1 Metodología de ensayo

Cada ensayo es preparado y realizado en un período de 2 días.

En el día 1 se instala y une la cámara al muro, esto para que el tiempo de secado de la silicona sea de al menos 24 horas.

En el día 2 se instala el ventilador y el resto del equipo, junto a la cámara, para luego de 2 horas comenzar con el ensayo, con el objeto de evitar pérdidas importantes de presión dentro de la cámara por un deficiente sellado entre la pieza de hojalatería y la pared de acrílico.

- En el día 1 se dispone de una nivelación adecuada para el equipo, la que en terreno se consigue, por ejemplo, realizando el ensayo sobre un radier y situando la cámara sobre 4 bloques de hormigón a una altura de 66 cm del suelo, aproximadamente.

Se sella completamente la cámara por dentro y por fuera, para evitar filtraciones durante el desarrollo del ensayo. El contar con una perforación de 35 cm de diámetro, en la cara de mayores dimensiones de la cámara, permite sellarla por dentro.

La cámara de ensayo cuenta con una goma que facilita el pegado entre esta y el muro.

En la siguiente figura se muestra la aplicación de la silicona sobre la goma, antes de ser pegada la cámara al muro:

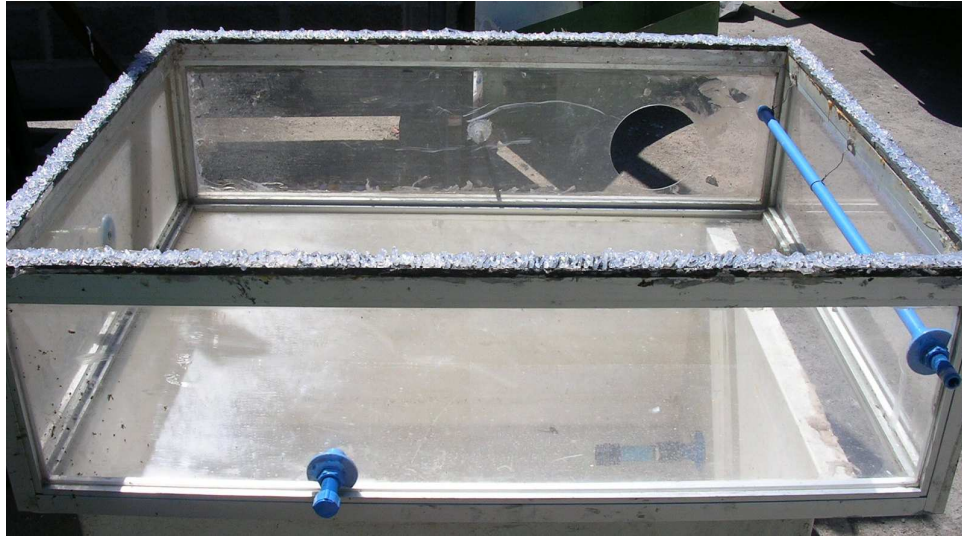


Fig.6.1.1 – Silicona sobre la goma de la cámara

Luego de pegar la cámara al muro, se deja secar el sello de silicona por 24 horas.

Adicionalmente, es importante contar con alambres u otro sistema que ayude a la unión de la cámara de ensayo con la pared del muro. Esto se muestra en la siguiente figura:

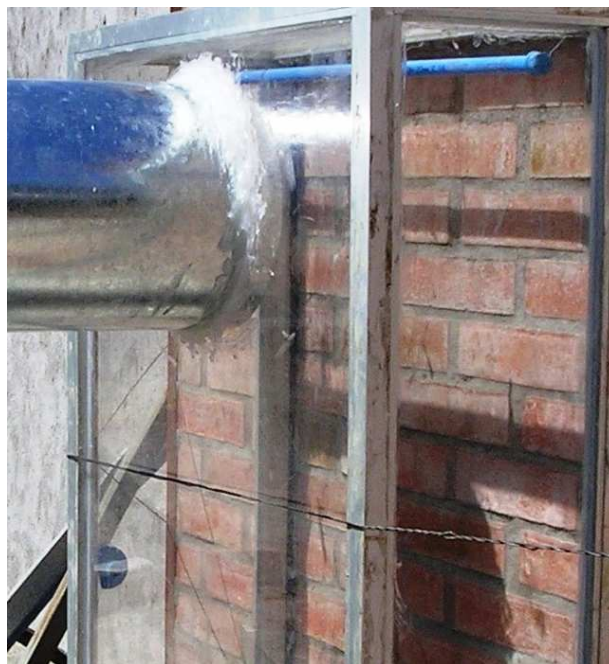


Fig.6.1.2 – Uso de alambres para un mejor sellado

- En el día 2 se instala el ventilador y se espera por 2 h con el objeto de conseguir un buen sellado entre la pieza de hojalatería y la cara de acrílico.

Durante el período de espera se llena de agua el estanque y se realizan aforos para obtener el caudal requerido para el ensayo. En el caso que cueste encontrar el caudal y se pierda mucha agua en el estanque, este debe ser rellenado.

Antes de comenzar con el ensayo se mide la profundidad del agua en las cuatro esquinas del estanque para poder determinar el volumen inicial de agua. Esta información ayuda a obtener la cantidad de agua absorbida por los muros luego de las 4 h de ensayo. Este procedimiento es explicado en el Anexo C.

Transcurridas las 2 h de realizado el sellado entre la pieza de hojalatería y la cara de la cámara, se enciende el ventilador y se busca la presión de 500 Pa. Esta medición se hace utilizando un tubo en U, calibrado previamente por un manómetro.

Luego de la realización de los pasos anteriores se da inicio al ensayo encendiendo la bomba y se espera, en la cara trasera del muro, la aparición de algún signo de humedad.

Cada 30 min se fotografía la cara opuesta a la cámara y cada 15 min se verifica el buen funcionamiento del equipo de ensayo. Cuando los muros absorben mucha agua, se rellena el estanque para asegurar el buen funcionamiento de la bomba.

Una vez cumplidas las 4 h de ensayo se devuelve toda el agua que queda en las mangueras del equipo, al estanque.

Finalmente se mide la profundidad del agua dentro del estanque para poder determinar la cantidad de agua absorbida por el muro.

## 6.2 Resultados obtenidos

Los resultados obtenidos en los distintos muros ensayados se presentan en las siguientes tablas, así como también se muestra la fotografía más representativa de cada ensayo:

Tabla 6.2.1  
Resultados del ensayo en Muro 1

Tiempo de aparición de humedad en cara trasera del muro [min:s]:	1:15
Tiempo de aparición de agua visible en cara trasera del muro [min:s]:	1:50
Área de humedad en cara trasera del muro al término de las 4 h [m <sup>2</sup> ):	2.15
Agua absorbida por el muro en las 4 h de ensayo [l]:	119.7
<b>Observaciones:</b> Los primeros indicios de humedad y agua visible se manifestaron en las juntas. Se rellenó el estanque a las 2 h de ensayo debido al descenso de la cota de agua por la importante absorción del muro, esto para el correcto funcionamiento de la bomba. El área húmeda es prácticamente la misma a las 2 h de ensayo que a las 4 h de iniciado este. La presión dentro de la cámara fue observada cada 15 min y no presentó variaciones. Se detectaron goteos a los 6 min de ensayo en la unión de la cara inferior de la cámara con el muro, lo que se cuantificó con el uso de pequeños recipientes. La recarga del estanque desde la manguera proveniente de la cámara se manifestó levemente desde los 10 min de iniciado el ensayo. El área húmeda se reflejó desde aproximadamente la altura de la parte superior de la cámara (1.65 m) y tuvo un ancho de 1.3 m, mayor a los 0.9 m de ancho que tiene la cámara.	



Fig. 6.2.1 Primer indicio de humedad en Muro 1

Tabla 6.2.2  
Resultados del ensayo en Muro 2

Tiempo de aparición de humedad en cara trasera del muro [min:s]:	-
Tiempo de aparición de agua visible en cara trasera del muro [min:s]:	-
Área de humedad en cara trasera del muro al término de las 4 h [m <sup>2</sup> ]:	-
Agua absorbida por el muro en las 4 h de ensayo [l]:	3.1
<u>Observaciones:</u> No fue necesario rellenar el estanque debido a la poca absorción del muro. La presión dentro de la cámara fue observada cada 15 min, manteniéndose constante durante las 4 h. Se detectaron goteos a los 8 min de ensayo en la unión de la parte inferior de la cámara y el muro, lo que se cuantificó con el uso de pequeños recipientes. La recarga del estanque desde la manguera proveniente de la cámara se manifestó claramente desde el inicio del ensayo.	



Fig. 6.2.2 Cara opuesta a la cámara luego de 4 h de ensayo en Muro 2

Tabla 6.2.3  
Resultados del ensayo en Muro 3

Tiempo de aparición de humedad en cara trasera del muro [min:s]:	2:05
Tiempo de aparición de agua visible en cara trasera del muro [min:s]:	2:58
Área de humedad en cara trasera del muro al término de las 4 h [m <sup>2</sup> ]:	0.04
Agua absorbida por el muro en las 4 h de ensayo [l]:	19.4
<u>Observaciones:</u> Los primeros indicios de humedad y agua visible se manifestaron en una junta. No fue necesario rellenar el estanque debido a la poca absorción del muro. El área húmeda es prácticamente la misma a los 30 min de ensayo que a las 4 h de iniciado este, ya que la falla fue muy puntual y se atribuyó a la presencia de grietas en el estuco. La presión dentro de la cámara fue observada cada 15 min y no presentó variaciones. La recarga del estanque desde la manguera proveniente de la cámara se manifestó claramente desde el inicio del ensayo.	



Fig. 6.2.3 Cara opuesta a la cámara luego de 4 h de ensayo en Muro 3

Tabla 6.2.4  
Resultados del ensayo en Muro 4

Tiempo de aparición de humedad en cara trasera del muro [min:s]:	2:26
Tiempo de aparición de agua visible en cara trasera del muro [min:s]:	4:47
Área de humedad en cara trasera del muro al término de las 4 h [m <sup>2</sup> ):	2.23
Agua absorbida por el muro en las 4 h de ensayo [l]:	205.8
<p><u>Observaciones:</u> Los primeros indicios de humedad y agua visible se manifestaron en los bloques de hormigón, pero muy cerca de las juntas. Se rellenó el estanque desde los 45 min de iniciado el ensayo, cada 50 min aproximadamente, debido al descenso de la cota de agua por la importante absorción del muro, esto para el correcto funcionamiento de la bomba. La presión dentro de la cámara fue observada cada 15 min y no presentó variaciones. El área húmeda se manifestó desde aproximadamente la altura de la parte superior de la cámara (1.65 m) y tuvo un ancho de 1.35 m, mayor a los 0.9 m de ancho que tiene la cámara. Este muro absorbió una gran cantidad de agua en los primeros minutos de ensayo, ya que recién a los 25 min de iniciado este se manifestó levemente la recarga al estanque desde la manguera proveniente de la cámara de ensayo.</p>	



Fig. 6.2.4 Cara opuesta a la cámara en Muro 4 luego de 11 min de ensayo.



Tabla 6.2.5  
Resultados de ensayo en Muro 5

Tiempo de aparición de humedad en cara trasera del muro [min:s]:	-
Tiempo de aparición de agua visible en cara trasera del muro [min:s]:	-
Área de humedad en cara trasera del muro al término de las 4 h [m <sup>2</sup> ]:	-
Agua absorbida por el muro en las 4 h de ensayo [l]:	1.3
<u>Observaciones:</u> No fue necesario rellenar el estanque debido a la poca absorción del muro. La presión dentro de la cámara fue observada cada 15 min, manteniéndose constante durante las 4 h. La recarga del estanque desde la manguera proveniente de la cámara se manifestó claramente desde el inicio del ensayo.	



Fig. 6.2.5 Cara opuesta a la cámara en Muro 5 luego de 4 h de ensayo.

## 7. COMENTARIOS, ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

### 7.1 Comentarios

La magnitud de la sollicitación empleada en el desarrollo de los ensayos, inicialmente podría parecer excesiva, ya que simula una condición de lluvia de 552 mm en 4 h aproximadamente acompañado de una presión de viento cercana a 103 km/h, durante el mismo período de tiempo.

Se pueden considerar como referencia valores promedios de los últimos 40 años, entregados por la Dirección Meteorológica de Chile, presentados en la NCh 1079 cR2007 “Arquitectura y construcción – Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico” <sup>(10)</sup>, donde, por ejemplo, para las siguientes ciudades se entrega como información:

Tabla 7.1  
Características climáticas de algunas ciudades chilenas

Ciudad	Precipitación mm		Vientos predominantes	
	Anual	máx 24 h	dirección / nudos	dirección / km/h
Valparaíso	372,5	190,6	N 4,2	N 7,8
Santiago	312,5	111,1	SSE 5,9	SSE 10,9
Los Ángeles	1072,0	176,3	S 5,4	S 10,0
Valdivia	1871,0	175,4	NE 3,0	NE 5,6
Punta Arenas	375,7	98,0	O 15,3	O 28,3
Juan Fernández	1041,5	290,3	S 9,0	S 16,7

Nota: El valor del viento corresponde a valores promedio.

En algunas ciudades o localidades de nuestro país se manifiestan precipitaciones cercanas o superiores a los 200 mm en 24 h (información mostrada en la Tabla 7.1), pero por lo general no van acompañadas de fuertes vientos. Por otra parte, ciudades como Punta Arenas presentan fuertes vientos superando los 130 km/h en varias oportunidades durante el año, sin embargo, éste no se presenta junto a grandes precipitaciones.

El emplear una sollicitación mayor a la que se podría encontrar considerando nuestra realidad climática y teniendo en consideración que las fuertes lluvias no se ven acompañadas de fuertes vientos, permite establecer que se cuenta con un muy buen factor de seguridad si la solución constructiva ensayada no presenta signos de humedad y agua durante las 4 h de ensayo.

Luego de analizar los antecedentes mostrados anteriormente, se considera apropiado el exigente ensayo al que son sometidos los muros para evitar problemas originados por la infiltración de agua, ya que existen soluciones constructivas que son capaces de tener un muy buen desempeño ante estas solicitaciones no presentando problemas. Esto se reflejó claramente en los resultados obtenidos luego de ensayar los Muros 2 y 5.

Actualmente en otros países, como una forma de evitar problemas originados por lluvias y vientos extremos, se ha agregado una mayor exigencia al ensayo. Por ejemplo, en Estados Unidos se están realizando ensayos simulando la presencia de vientos de hasta 290 km/h <sup>(7)</sup>, esto debido a los huracanes que se manifiestan en algunas zonas de ese país; por otra parte, en España se han realizado investigaciones en las que se alteran las condiciones originales del ensayo aumentando la presión desde 500 Pa hasta 1000 Pa, lo que significa simular viento a 145 km/h aproximadamente, además de extender la duración del estudio pasando de 4 a 72 horas.

## **7.2 Análisis de resultados**

El desempeño de los muros estudiados ante la solicitación a la que fueron sometidos, fue muy distinto: los Muros 1 y 4 fallaron claramente de una forma inaceptable; el Muro 3 presentó una falla muy localizada, la que podría ser reparada sin mayores inconvenientes; el mejor cometido fue alcanzado por los Muros 2 y 5, los que presentaron un muy buen comportamiento frente a las exigentes condiciones del ensayo.

Lo señalado en el párrafo anterior permite indicar que se pudieron estimar valores comparativos para el desempeño de las probetas ensayadas, lo que hace posible señalar que el método de ensayo empleado es capaz de evaluar diseño y terminaciones en muros de albañilería.

A continuación, para clarificar lo descrito anteriormente, se presentan fotografías de los 5 muros, luego de las 4 h de ensayo:



Fig.7.2.1 - Muro 1



Fig.7.2.2 - Muro 3



Fig.7.2.3 - Muro 4



Fig. 7.2.4 – Muro 2



Fig.7.2.5 – Muro 5

En relación a la eficacia y rapidez en la detección de infiltraciones, éstas se manifestaron en el caso de los Muros 1,3 y 4, pocos minutos después de iniciado los ensayos, antes de los 5 min en los 3 casos.

Con la finalidad de recordar los resultados obtenidos en los ensayos, se muestra la siguiente tabla resumen:

Tabla 7.2.1  
Resumen de resultados obtenidos

MURO	Tiempo de aparición de humedad en cara trasera del muro [min:s]	Tiempo de aparición de agua visible en cara trasera del muro [min:s]	Área de humedad en cara trasera del muro al término de las 4 h [m <sup>2</sup> ]	Agua absorbida por el muro en las 4 h de ensayo [l]
Muro 1	1:15	1:50	2.15	119.7
Muro 2	-	-	-	3.1
Muro 3	2:05	2:58	0.04	19.4
Muro 4	2:26	4:47	2.23	205.8
Muro 5	-	-	-	1.3

El ensayo de “Penetración y filtración de la albañilería” <sup>(11)</sup>, entrega resultados cualitativos que permiten establecer si el muro ensayado tiene un buen desempeño o no, lo que se resume claramente en la fotografía final luego de las 4 horas.

La norma no permite establecer con claridad límites de aceptación y rechazo para los muros ensayados, en relación a la cantidad de agua absorbida. Se encontraron 2 criterios muy similares de calificar el comportamiento de las probetas de acuerdo a la cantidad de agua absorbida en las 4 horas de ensayo:

Tabla 7.2.2  
Calificación 1 de acuerdo a agua absorbida por el muro <sup>(2)</sup>

<b>Agua absorbida (l)</b>	<b>Calificación</b>
Menos que 2,84	Excelente
Más que 2,84 pero menos que 7,57	Término medio a bueno
Más que 7,57 pero menos que 15,14	Cuestionable
Más que 15,14	Pobre

Nota: se transformaron valores expresados en gal/h a l en 4 h.

Una calificación de desempeño un poco menos exigente, a la que llamaremos Calificación 2, se muestra a continuación:

Tabla 7.2.3  
Calificación 2 de acuerdo a agua absorbida por el muro <sup>(8)</sup>

<b>Agua absorbida (l)</b>	<b>Calificación</b>
Menos que 4	Excelente
Entre 4 y 20	Significativo
Más que 20	Excesivo

La cantidad de agua absorbida en los distintos ensayos tiene directa relación con el desempeño de los muros ante la sollicitación estudiada incluso coincide, en la mayoría de los casos, con los valores presentados en las Tablas 7.2.2 y 7.2.3; considerando estos valores, el desempeño de los muros sería evaluado de la siguiente manera:

Tabla 7.2.4  
Desempeño de los muros según agua absorbida

<b>MURO</b>	<b>Agua absorbida (l)</b>	<b>Calificación</b>
MURO 1	119,7	Pobre o excesivo
MURO 2	3,1	Bueno o excelente
MURO 3	19,4	Pobre o significativo
MURO 4	205,8	Pobre o excesivo
MURO 5	1,3	Excelente

Los valores presentados en la tabla anterior, claramente son el reflejo de lo observado en la cara de atrás de los muros ensayados, es decir, mientras menor es el agua absorbida la falla es nula (en el caso de los Muros 2 y 5), localizada (como en el caso del Muro 3) e inaceptable (como en el caso de los Muro 1 y 4).

Finalmente, en relación a la cantidad de agua absorbida se puede señalar que es un dato cuantitativo sujeto a error, ya que existieron pequeñas imprecisiones en la medición de la cota de agua en el estanque antes y después del ensayo, así como en algunas ocasiones quedó agua en la bomba o dentro de la cámara la que no se pudo medir con exactitud. La utilidad de este dato está en que sirve para verificar lo observado en forma cualitativa, es decir el área húmeda en la cara del muro opuesta a la cámara de ensayo o como forma de alerta para esperar la aparición de algún signo de humedad.

Las infiltraciones, en los muros de ladrillo cerámico, Muro 1 y Muro 3, se produjeron en las juntas o mortero de junta, lo que se pudo apreciar claramente en la Fig. 6.2.1 y en la Fig. 6.2.3.

En el caso del muro de bloque que presentó problemas, Muro 4, las infiltraciones se manifestaron en los bloques, pero muy cerca del mortero de junta; éste puede haber tenido algún tipo de protección impermeabilizante, por lo que no es posible señalar de manera categórica el material por el que se inicia la falla en este tipo de muros.

El área húmeda encontrada para los Muros 1 y 4 está condicionada en altura por la ubicación de la parte superior de la cámara de ensayo y el ancho de la mancha de humedad en ambos casos fue 40 cm más que el ancho de la cámara. En relación al Muro 3 el área húmeda en cuanto al alto se secó levemente en el transcurso del ensayo, por la temperatura superior a 30 °C que se tenía durante el desarrollo de éste.

Se cree que para poder establecer los muros a ensayar en un conjunto de viviendas o en una serie de muros en laboratorio, previo a utilizar el equipo de ensayo construido en el desarrollo de este trabajo de título, sería útil emplear pipetas Karsten para determinar las zonas o muros que podrían presentar problemas.

Sin embargo, es muy importante recordar que las pipetas entregan información muy localizada, lo que hace que en algunos casos no se detecten grietas que permiten el paso de agua. Para reafirmar esto, antes del ensayo en el Muro 3 se utilizaron pipetas, las que no se ubicaron en el lugar en el que se produjo la falla y por lo tanto, no se pudo detectar esta anomalía.

### 7.3 Conclusiones

Se diseñó, construyó y empleó un equipo de ensayo considerando los aspectos señalados en la NCh 2814 Of.2004: “Penetración y filtración de agua a través de la albañilería” <sup>(11)</sup>, capaz de simular los efectos de fuertes lluvias y vientos extremos sobre muros de albañilería.

En el caso de los ensayos realizados, se estudiaron las consecuencias que podría tener una lluvia de 552 mm aproximadamente y viento cercano a 103 km/h, durante un período de 4 horas sobre las probetas. El equipo de ensayo permite incluso aumentar las sollicitaciones empleadas, llegando a reproducir el efecto de viento a 122 km/h. Esto lo convierte en un dispositivo capaz de reproducir las condiciones climáticas presentes en prácticamente todo el país, exceptuando al extremo sur, donde en ciudades como Punta Arenas se manifiestan velocidades de viento superiores a 122 km/h, con una precipitación mucho menor a 552 mm.

El equipo es de fácil portabilidad, lo que permite realizar ensayos en distintas regiones del país. Además, es importante señalar que su costo de construcción no es alto, por lo que se pueden reproducir equipos de idénticas características si fuese necesario.

El equipo de ensayo y la metodología empleada permitieron obtener distintos resultados para las diferentes soluciones constructivas analizadas, lo que hace posible determinar la eficacia de éstas ante la sollicitación originada por la acción de la lluvia y el viento. Por lo tanto, se tiene la capacidad de aceptar o rechazar un muro de albañilería tomando en cuenta su desempeño luego de ser estudiado.

Se obtuvieron diferencias claras en relación a la forma de aparición de humedad, la que en el caso de muros de ladrillo cerámico se manifestó a través del mortero de junta y en el caso del muro de bloque analizado, se presentó en la unidad de albañilería, pero muy cerca del mortero de junta; éste puede haber tenido algún tipo de protección impermeabilizante, por lo que no es posible señalar de manera enfática el material por el que se inicia la falla en este tipo de muros. También el tamaño del área de humedad fue distinto en los muros que reflejaron problemas, siendo superior a 2 m<sup>2</sup> en las probetas que presentaron una falla inaceptable y cercana a 0,05 m<sup>2</sup> en el caso del muro que presentó una falla localizada. La cantidad de agua absorbida por los muros es un buen indicador de su comportamiento, ya que un volumen de hasta 3,1 litros se podría considerar aceptable, siempre y cuando no se presenten signos de humedad en la cara no expuesta al ensayo; por otro lado, un volumen de agua absorbida cercana a los 20 litros es un parámetro que puede reflejar infiltración de agua.

Considerando la variabilidad presente en la construcción debido, entre otros aspectos, a la mano de obra y calidad de los materiales que conforman los elementos constructivos, es de gran relevancia contar con un equipo de ensayo como el que se fabricó en el transcurso de este trabajo de título, el cual es capaz de entregar una evaluación global de un muro y por lo tanto ser un ensayo de aceptación final.

Este ensayo permite controlar el humedecimiento de los elementos constructivos, especialmente de muros perimetrales, lo que garantiza confort para los habitantes de la vivienda, además de asegurar el buen desempeño de éstos como aislantes térmicos y por ende evitar un aumento en los costos de calefacción.

El uso de pipetas Karsten debe ser utilizado sólo como antecedente al momento de analizar permeabilidad de muros, ya que entrega resultados muy locales, por lo tanto es incapaz, obviamente, de analizar irregularidades o singularidades donde no sean empleadas. En este sentido el empleo del equipo de ensayo permite entregar mejores resultados, ya que abarca una mayor área; esto quedó demostrado en el estudio del Muro 3, donde la falla obtenida por el equipo de ensayo no fue detectada con el uso de pipetas.

Se cree que un muro que tenga un excelente desempeño ante el ensayo estudiado, debe ser reevaluado en un período de no más de 3 años, ya que se pueden presentar grietas o aumentar el diámetro de éstas, además es posible que se manifiesten problemas en los tratamientos impermeabilizantes producto de efectos ambientales como temperatura, rayos UV, etc.



## **BIBLIOGRAFÍA**

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. American Society for testing of materials. Standard Test Method for Water Penetration and Leakage Through Masonry. ASTM E514-2006.
2. Basham, K. and Meredith, J., “ Measuring water penetration”, 1997.
3. Brown, M.T., A critical review of field adapting ASTM E 514 water permeability test method, Masonry: Components to Assemblages, ASTM STP 1063, Ed., J.H. Matiz, 299 – 307, 1990.
4. Corporación de Investigación de la Construcción, Cámara Chilena de la Construcción, “Efecto del agua lluvia en muros de albañilería y problemas de humedad en elementos constructivos”, 1998
5. Croiset, M., “Humedad y temperatura en los edificios”. Ed. Técnicos Asociados, Barcelona, España, 1970.
6. Erazo, R., “Variación de la conductividad térmica con la humedad en materiales de construcción”. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile, 2007.
7. Florida Concrete & Products Association and NCMA Education and Research Foundation, “Water penetration testing of stucco on concrete masonry construction”. Mayo 2007.
8. Monk, C.B., “Adaptations and Additions to ASTM Test Method E 514 (Water Permeance of Masonry) for Field Conditions, “Masonry: Materials, Properties and Performance, ASTM STP 778, J.G. Borchelt, Ed., American Society for Testing and Materials, 1982.
9. Morales, G., “Ensayo de Aspersión Directa para muros de albañilería”. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile, 2001.
10. NCh 1079 cR2007 “Arquitectura y construcción – Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico.”

11. NCh 2814 Of.2004 “Estructuras de albañilería – Penetración y filtración de agua a través de la albañilería – Método de ensayo.”
12. NCh 2821 Of.2003 “Fachadas – Método de ensayo de estanquidad al agua.”
13. Rodríguez, G., “El problema de la humedad en las viviendas y edificios”. Sección Física de la Construcción, IDIEM – Universidad de Chile, 1998.
14. Rodríguez, G., “Aislamiento térmico, humedad en elementos envolventes”. Revista BIT N° 57, Noviembre 2007, Santiago, Chile.
15. Rodríguez, G., “Aislamiento térmico, humedad en elementos envolventes II”. Revista BIT N° 58, Enero 2008, Santiago, Chile.

# **ANEXO A**

**Registro fotográfico de los ensayos**

## Muro 1



Fotografía 1.1: Muro 1 a 30 min de inicio de ensayo.



Fotografía 1.2: Muro 1 a 60 min de inicio de ensayo.



Fotografía 1.3: Muro 1 a 90 min de inicio de ensayo.



Fotografía 1.4: Muro 1 a 120 min de inicio de ensayo.



Fotografía 1.5: Muro 1 a 150 min de inicio de ensayo.



Fotografía 1.6: Muro 1 a 180 min de inicio de ensayo.



Fotografía 1.7: Muro 1 a 210 min de inicio de ensayo.



Fotografía 1.8: Muro 1 a 240 min de inicio de ensayo.



## Muro 2



Fotografía 2.1: Muro 2 a 30 min de inicio de ensayo.



Fotografía 2.2: Muro 2 a 60 min de inicio de ensayo.



Fotografía 2.3: Muro 2 a 90 min de inicio de ensayo.



Fotografía 2.4: Muro 2 a 120 min de inicio de ensayo.



Fotografía 2.5: Muro 2 a 150 min de inicio de ensayo.



Fotografía 2.6: Muro 2 a 180 min de inicio de ensayo.



Fotografía 2.7: Muro 2 a 210 min de inicio de ensayo.



Fotografía 2.8: Muro 2 a 240 min de inicio de ensayo.

### Muro 3



Fotografía 3.1: Muro 3 a 30 min de inicio de ensayo.



Fotografía 3.2: Muro 3 a 60 min de inicio de ensayo.



Fotografía 3.3: Muro 3 a 90 min de inicio de ensayo.



Fotografía 3.4: Muro 3 a 120 min de inicio de ensayo.



Fotografía 3.5: Muro 3 a 150 min de inicio de ensayo.



Fotografía 3.6: Muro 3 a 180 min de inicio de ensayo.



Fotografía 3.7: Muro 3 a 210 min de inicio de ensayo.



Fotografía 3.8: Muro 3 a 240 min de inicio de ensayo.



## Muro 4



Fotografía 4.1: Muro 4 a 30 min de inicio de ensayo.



Fotografía 4.2: Muro 4 a 60 min de inicio de ensayo.



Fotografía 4.3: Muro 4 a 90 min de inicio de ensayo.



Fotografía 4.4: Muro 4 a 120 min de inicio de ensayo.



Fotografía 4.5: Muro 4 a 150 min de inicio de ensayo.



Fotografía 4.6: Muro 4 a 180 min de inicio de ensayo.



Fotografía 4.7: Muro 4 a 210 min de inicio de ensayo.



Fotografía 4.8: Muro 4 a 240 min de inicio de ensayo.

## Muro 5



Fotografía 5.1: Muro 5 a 30 min de inicio de ensayo.



Fotografía 5.2: Muro 5 a 60 min de inicio de ensayo.



Fotografía 5.3: Muro 5 a 90 min de inicio de ensayo.



Fotografía 5.4: Muro 5 a 120 min de inicio de ensayo.



Fotografía 5.5: Muro 5 a 150 min de inicio de ensayo.



Fotografía 5.6: Muro 5 a 180 min de inicio de ensayo.



Fotografía 5.7: Muro 5 a 210 min de inicio de ensayo.



Fotografía 5.8: Muro 5 a 240 min de inicio de ensayo.



# **ANEXO B**

**Propuesta de informe de ensayo**

# INFORME DE ENSAYO

## PENETRACIÓN Y FILTRACIÓN DE AGUA A TRAVÉS DE LA ALBAÑILERÍA

CLIENTE:

SOLICITANTE:

DIRECCIÓN:

FECHA DE RECEPCIÓN:

FECHA DE INICIO DEL ENSAYO:

FECHA DE FINALIZACIÓN DEL ENSAYO:

FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME:

### CARACTERÍSTICAS DEL MURO ENSAYADO:

Materiales utilizados:

Diseño del muro y detalles de la construcción:

Calificación de la mano de obra:

Condiciones del ensayo:

Ubicación del muro ensayado:

Tabla 1

Control de desempeño del muro

Tiempo [h]	Penetración y filtración de agua a través de la albañilería
0.5	
1.0	
1.5	
2.0	

Tiempo [h]	Penetración y filtración de agua a través de la albañilería
2.5	
3.0	
3.5	
4.0	

Tabla 2  
Registro de las observaciones

Tiempo de aparición de humedad sobre la parte de atrás de la probeta [min:s]:	
Tiempo de aparición de agua visible sobre la parte de atrás de la probeta [min:s]:	
Área de humedad sobre la parte de atrás del muro al término de las 4 h [m <sup>2</sup> ]:	
Agua total colectada en las 4 h de ensayo [l]:	

# **ANEXO C**

**Medición del agua absorbida por el muro**

## Medición del agua absorbida por el muro

En las 4 esquinas del estanque se mide la altura del agua, antes del ensayo (denominándola  $h_{1i}$ , por ejemplo) y finalizado el ensayo (denominándola  $h_{1f}$ , por ejemplo).

Un esquema del estanque, visto en planta, se muestra en la siguiente figura:

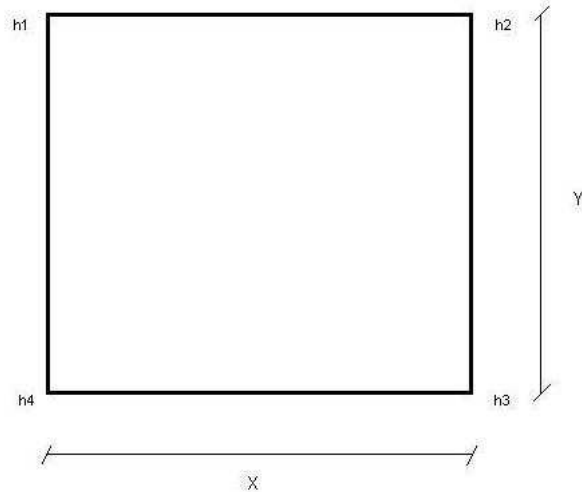


Fig. C.1 – Vista del estanque en Planta

Luego de obtener la información antes señalada, se obtiene una figura como la siguiente:

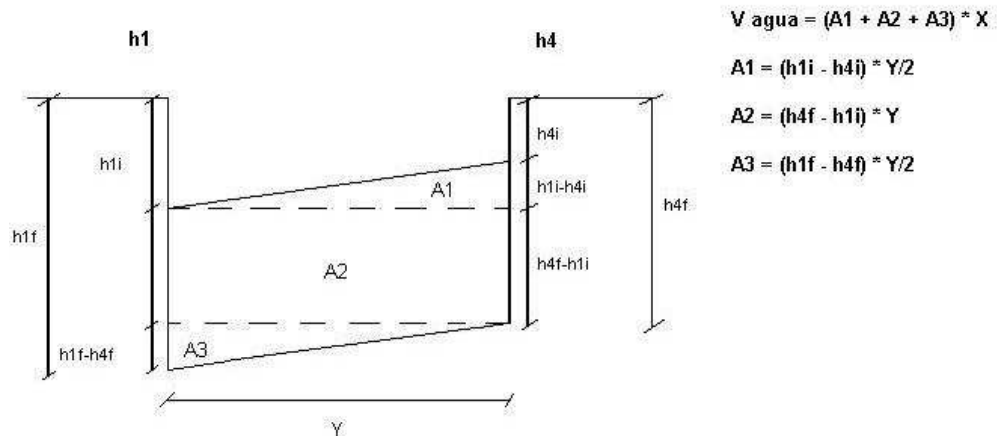


Fig. C.2 – Vista del estanque en Elevación

Se calcula el volumen de agua para las 4 elevaciones del estanque, con la finalidad de obtener un valor promedio y con este poder determinar el volumen final de agua absorbida por el muro.

