



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

ALBAÑILERÍA DE BLOQUES DE
HORMIGÓN CELULAR AUTOCLAVADO (HCA):
ESTABILIDAD DIMENSIONAL Y CONTROL DE FISURACIÓN

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

SERGIO RAÚL SILVA NÚÑEZ

PROFESOR GUÍA:
FEDERICO DELFÍN ARIZTÍA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
VICTOR ÁGUILA OLAVE
MAXIMILIANO ASTROZA INOSTROZA

SANTIAGO DE CHILE
MAYO 2009

**RESUMEN DE LA MEMORIA
PARA OPTAR AL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
POR: SERGIO SILVA N.
FECHA: 20/05/2009
PROF. GUIA. Sr. FEDERICO DELFÍN A.**

**“ALBAÑILERÍA DE BLOQUES DE HORMIGÓN CELULAR AUTOCLAVADO (HCA):
ESTABILIDAD DIMENSIONAL Y CONTROL DE FISURACIÓN”**

El objetivo del presente trabajo es estudiar e investigar el comportamiento mecánico de las unidades de albañilerías de Hormigón Celular Autoclavado (HCA), buscando explicar los problemas de fisuración que frecuentemente ocurren en muros y tabiques construidos con este material. Para esto se realizó un análisis del comportamiento de las viviendas de albañilería de HCA, construidas en los últimos 15 años en el país, centrándose especialmente en los problemas constructivos y las patologías recurrentes que han dado origen a reclamos por parte de los propietarios afectados. Además se realizó una recopilación de información relevante para el conocimiento y uso de este material, las normas (nacionales e internacionales) vigentes que rigen la construcción de este tipo de albañilería.

En este estudio se desarrollaron algunas series de ensayos tendientes a caracterizar el comportamiento de las unidades de HCA frente a situaciones a las que pueden estar expuestas las viviendas construidas con este material, evaluándose además una solución para refuerzo en zonas de concentración de tensiones y para reparación de fisuras generadas eventualmente en dichas zonas. Para la caracterización de estos materiales se recurrió tanto a la Norma NCh 2432 Of.99 referida a las especificaciones de los bloques de HCA, como a la normativa nacional de elementos similares (bloques de concreto, ladrillos cerámicos, etc.) y a la normativa internacional que cubren los requerimientos ensayos para el HCA.

A parte de entregar un análisis del comportamiento mecánico de las unidades de HCA se desarrolló un procedimiento de ensayo para medir las variaciones dimensionales de las unidades de HCA en ciclos de humedad - secado consecutivos. A partir de los resultados obtenidos se comprueba que el HCA presenta una variación dimensional importante, directamente ligada al nivel de humedad absorbida y a su vez se puede inferir que esta variación aumenta en el tiempo a medida que las albañilerías estén sujetas a más ciclos de exposición. A partir de éstos resultados se proponen recomendaciones para el control de la fisuración en albañilerías de HCA, y se plantean algunas posibles líneas de investigación complementarias para un mejor conocimiento de este sistema constructivo.

Agradecimientos

A mis padres por su sacrificio y constante e incondicional apoyo durante mi vida, en particular durante la etapa universitaria.

A mis hermanas por apoyarme y acompañarme siempre.

A mi polola Natalie por su compañía y paciencia en especial durante la etapa final de este estudio.

A mis amigos Ro, Cesar, Huaipe, Gus, Callo, Fabián, JP, Paulato, Fabi, Dani, Marce, Pistola, Manolo, Cote, Lucho, Mate, Colle, Vero, Cata y tantos otros quienes estudiaron, rieron o carretearon conmigo.

A mi tío por su ayuda en la confección de las probetas.

Al profesor Federico Delfín por su disposición a recibirme cada vez que lo requerí.

A la gente de la unidad de prefabricados del IDIEM y en especial a Pablo Cárcamo por todo el apoyo brindado para que este estudio saliera adelante.

A productos CAVE por su disposición a ayudar con la investigación.

Gracias a todos ustedes lo logré...

Índice de Contenidos

1	Introducción	1
1.1	Introducción general	1
1.2	Objetivos	1
1.3	Alcances del trabajo	2
2	Antecedentes	3
2.1	Antecedentes generales del hormigón celular	3
2.2	Antecedentes históricos del material	5
2.3	Características generales del Hormigón Celular Autoclavado	6
2.4	Presentación del HCA en el mercado nacional	6
2.4.1	Bloques estructurales	7
2.4.2	Bloques para tabiques	8
2.4.3	Paneles para tabiques	8
2.4.4	Molduras y otros	9
2.5	Propiedades de los bloques de HCA	9
2.5.1	Conductividad térmica	9
2.5.2	Transmitancia térmica	9
2.5.3	Resistencia al fuego	10
2.5.4	Aislamiento acústico	10
2.5.5	Coeficiente de absorción acústica	11
2.5.6	Coeficiente de absorción de agua	11
2.5.7	Propiedades mecánicas	12
2.6	Estabilidad dimensional, fenómeno de retracción y cambio de volumen por variación de humedad en hormigones.....	12

2.7	Control de fisuración	13
2.8.1	Soluciones constructivas de refuerzo	14
2.9	Caso de estudio: Problema de fisuración en viviendas	15
2.9.1	Solución para reparación: Refuerzo de malla de fibra de vidrio	18
3	Comportamiento de las albañilerías de HCA	21
3.1	Método constructivo	21
3.2	Comportamiento frente a ataques químicos	22
3.3	Patologías constructivas	24
3.3.1	Origen de las fisuras	24
3.3.2	Patologías mas usuales	25
3.3.2.1	Fisuras debido a una deficiente colocación de los bloques	25
3.3.2.2	Fisuras debido a acciones mecánicas externas	26
3.3.2.3	Fisuras de los estucos	31
3.3.2.4	Fisuras debido a la humedad	32
4	Normativa Nacional e Internacional Vigente	34
4.1	Norma Chilena NCh 2432 Of.1999	34
4.2	Norma Americana ASTM C- 1386 - 98	36
4.3	Norma Europea UNE - EN 771- 4: 2004	37
5	Estudio experimental de comportamiento frente a la humedad del HCA	39
5.1	Introducción	39
5.2	Variación dimensional en ciclos humedad - secado	39
5.3	Capacidad de absorción de agua por succión	42
5.4	Ascensión capilar	44
5.4	Resistencia Mecánica	45

5.6.1 Resistencia a compresión	45
5.6.2 Resistencia a tracción directa	46
5.6 Solución de reparación	48
5.7 Resultados	50
5.8 Fisuración observada para probeta secada a 110°C	51
6 Resultados obtenidos	53
6.1 Resistencia Mecánica	53
6.1.1 Resistencia a compresión	53
6.1.2 Resistencia a tracción directa	54
6.2 Capacidad de absorción de agua por succión	57
6.3 Ascensión capilar	59
6.4 Variación Dimensional en ciclos humedad-secado	61
6.5 Solución de reparación	73
7 Conclusiones y Recomendaciones	76
7.1 Conclusiones	76
7.2 Recomendaciones para albañilerías de HCA	79
7.3 Recomendaciones para futuros estudios	79
8 Bibliografía	81
9 Anexos	83

Índice de Tablas y Figuras

Tabla	2.1	Dimensiones de Bloques Estructurales	7
Tabla	2.2	Dimensiones de Bloques para Tabiques	8
Tabla	2.3	Dimensiones de Paneles para Tabiques	8
Tabla	2.4	Valores comparativos para la conductividad térmica	9
Tabla	2.5	Valores de transmitancia térmica	10
Tabla	2.6	Valores comparativos para la transmitancia térmica	10
Tabla	2.7	Nivel de resistencia al fuego	10
Tabla	2.8	Aislamiento acústico en función del espesor	11
Tabla	2.9	Coeficiente de absorción acústica	11
Tabla	2.10	Coeficiente de absorción de agua	11
Tabla	2.11	Propiedades mecánicas del HCA	12
Tabla	2.12	Fisuras inspeccionadas en viviendas	17
Tabla	4.1	Clasificación por Dimensiones	34
Tabla	4.2	Requisitos de Resistencia a Compresión y Densidad	35
Tabla	4.3	Conductividad térmica	35
Tabla	4.4	Requisitos de Resistencia a Compresión y Densidad	36
Tabla	4.5	Dimensiones máximas para los bloques de HCA	37
Tabla	4.6	Desviaciones límites en mm para bloques de forma regular..	37
Tabla	5.1	Absorción de humedad en etapa de prueba	50
Tabla	5.2	Secado en estufa ventilada	50
Tabla	6.1	Resistencia a Compresión	53
Tabla	6.2	Resistencia a Tracción	55
Tabla	6.3	Absorción por succión para cada intervalo de tiempo	57
Tabla	6.4	Absorción según NCH167 Of.2001	59
Tabla	6.5	Absorción según UNE-EN 771-4: 2003	59
Tabla	6.6	Ascensión medida en cada intervalo de tiempo	59
Tabla	6.7	Densidad de las probetas al inicio	61
Tabla	6.8	Absorción de humedad al final de cada ciclo	62
Tabla	6.9	Pesos secos para cada ciclo	69
Tabla	6.10	Variación dimensional en milímetros	71

Tabla	6.11	Valores máximos para la variación dimensional	73
Tabla	6.12	Resistencia de solución de reparación	74
Tabla	A.1	Contenido de humedad inicial	84
Tabla	A.2	Dimensiones de bloques utilizados	84
Tabla	A.3	Dimensiones de las probetas	85
Tabla	A.4	Valores tomados con extensómetro, sin corregir	85
Tabla	A.5	Secado de cubos	90
Tabla	A.6	Secado de testigos	90
Figura	2.1	Esquema de fabricación	5
Figura	2.2	Esquemas de construcción de albañilerías	7
Figura	2.3	Fisuración provocada por retracción por secado	13
Figura	2.4	Ejemplo de bloque calado	14
Figura	2.5	Ejemplo de escalerilla	15
Figura	2.6	Planta tipo	16
Figura	2.7	Casa tipo	16
Figura	2.8	Fisuras verticales en albañilería de HCA	17
Figura	2.9	Fisuras en albañilería de HCA	17
Figura	2.10	Ejemplo de rebaje	19
Figura	2.11	Aplicación de pasta acrílica	19
Figura	2.12	Colocación de malla de fibra de vidrio	20
Figura	3.1	Primera hilada e hiladas sucesivas traslapadas	21
Figura	3.2	Láminas conectoras	22
Figura	3.3	Ejemplo de fisura horizontal	26
Figura	3.4	Trabazón de muros perpendiculares	26
Figura	3.5	Fisura producida por asentamiento diferencial	27
Figura	3.6	Fisura por trabazón de muros en estados de carga disímiles	28
Figura	3.7	Fisura en muros divisorios por luz excesiva en losa	29
Figura	3.8	Fisura en estucos sin refuerzo de fibra de vidrio	29
Figura	3.9	Fisura provocada por dilatación de losa de techo	30
Figura	3.10	Ejemplo de refuerzo de malla de fibra de vidrio	32
Figura	5.1	Equipos utilizados	40
Figura	5.2	Dimensiones del bloque tipo	40

Figura	5.3	Esquema de muestreo según Norma NCH2432 Of.99	40
Figura	5.4	Probetas para Ensayo de ciclos	41
Figura	5.5	Probetas en Cámara Húmeda	41
Figura	5.6	Probetas en Estufa Ventilada	42
Figura	5.7	Probetas para Ensayo de Absorción por Succión	43
Figura	5.8	Ensayo de Absorción por Succión	44
Figura	5.9	Ascensión capilar	44
Figura	5.10	Probetas para Ensayo a Compresión	45
Figura	5.11	Ensayo a Compresión	46
Figura	5.12	Equipo Monsanto	47
Figura	5.13	Probetas para Ensayo a Tracción Directa	47
Figura	5.14	Ensayo a Tracción	48
Figura	5.15	Probetas para Ensayo de Solución de Reparación	49
Figura	5.16	Ensayo a Tracción de Solución de Reparación	49
Figura	5.17	Absorción acumulada en etapa de prueba	50
Figura	5.18	Pérdida de humedad para probetas de prueba	51
Figura	5.19	Probeta N°1 fisurada durante enfriamiento	52
Figura	5.20	Probeta N°2 fisurada durante enfriamiento	52
Figura	6.1	Ensayo a Compresión Bloque 1	53
Figura	6.2	Ensayo a Compresión Bloque 3	54
Figura	6.3	Ensayo a Compresión Bloque 5	54
Figura	6.4	Curva tensión v/s deformación testigo 1	55
Figura	6.5	Curva tensión v/s deformación testigo 2	55
Figura	6.6	Curva tensión v/s deformación testigo 3	56
Figura	6.7	Ensayo a tracción testigo 1	56
Figura	6.8	Ensayo a tracción testigo 2	56
Figura	6.9	Ensayo a tracción testigo 3	57
Figura	6.10	Absorción para cada intervalo de tiempo	58
Figura	6.11	Ascensión observada en Cubo 2	60
Figura	6.12	Ascensión observada en Cubo 4	60
Figura	6.13	Ascensión observada en Cubo 6	60
Figura	6.14	Absorción acumulada para el tercio Central en Primer Ciclo.....	62

Figura	6.15	Abs acumulada para el tercio Central en Segundo Ciclo	63
Figura	6.16	Absorción acumulada para el tercio Central en Tercer Ciclo.....	63
Figura	6.17	Absorción acumulada para el tercio Superior en Primer Ciclo	63
Figura	6.18	Abs. acumulada para el tercio Superior en Segundo Ciclo	64
Figura	6.19	Absorción acumulada para el tercio Superior en Tercer Ciclo	64
Figura	6.20	Absorción acumulada para el tercio Inferior en Primer Ciclo	64
Figura	6.21	Abs.acumulada para el tercio Inferior en Segundo Ciclo	65
Figura	6.22	Absorción acumulada para el tercio Inferior en Tercer Ciclo	65
Figura	6.23	Pérdida de humedad para el tercio Central en Primer Ciclo	66
Figura	6.24	Pérdida de humedad para el tercio Central en Seg. Ciclo	66
Figura	6.25	Pérdida de humedad para el tercio Central en Tercer Ciclo	66
Figura	6.26	Pérdida de humedad para el tercio Superior en Primer Ciclo	67
Figura	6.27	Pérdida de humedad para el tercio Superior en Seg. Ciclo	67
Figura	6.28	Pérdida de humedad para el tercio Superior en Tercer Ciclo	67
Figura	6.29	Pérdida de humedad para el tercio Inferior en Primer Ciclo	68
Figura	6.30	Pérdida de humedad para el tercio Inferior en Seg. Ciclo	68
Figura	6.31	Pérdida de humedad para el tercio Inferior en Tercer Ciclo	68
Figura	6.32	Humedad remanente para probetas no hidrofugadas	70
Figura	6.33	Humedad remanente para probetas hidrofugadas	70
Figura	6.34	Variación dimensional para probetas no hidrofugadas	71
Figura	6.35	Variación dimensional para probetas hidrofugadas	72
Figura	6.36	Curvas para la soluc. de rep. y el ensayo a trac.	74
Figura	6.37	Ensayo a tracción solución de reparación testigo 4	74
Figura	6.38	Ensayo a tracción solución de reparación testigo 5	75
Figura	6.39	Ensayo a tracción solución de reparación testigo 6	75
Figura	A.1	Bloques fisurados por falla de proceso	83
Figura	A.2	Bloques fisurados por falla de proceso	83
Figura	A.3	Absorción por bloque en primer ciclo	86
Figura	A.4	Absorción por bloque en segundo ciclo	87
Figura	A.5	Absorción por bloque en tercer ciclo	88
Figura	A.6	Variación dimensional por bloque	89
Figura	A.7	Secado de cubos	90

Figura	A.8	Secado de testigos	91
Figura	A.9	Ensayo de adherencia	91
Figura	A.10	Curvas obtenidas para probeta 1.1 y 1.2	92
Figura	A.11	Curvas obtenidas para probeta 2.1 y 2.2	92
Figura	A.12	Curvas obtenidas para probeta 3.1 y 3.2	92
Figura	A.13	Tamaño de poros	93
Figura	A.14	Tamaño de poros	93

Capítulo 1 Introducción

1.1 Introducción general

El Hormigón Celular Autoclavado (HCA) es un material que tiene grandes ventajas en el ámbito de la construcción segura, limpia y eficiente como son; su baja densidad lo que se implica un menor peso de las estructuras y lo que se traduce en una disminución de las cargas sísmicas y una construcción más veloz, su gran capacidad de aislación térmica, resistencia al fuego, etc. lo que lo ha llevado a ser utilizado tanto en tabiques divisorios de construcciones en altura como en muros de albañilería en viviendas.

Dadas estas características ventajosas que presenta la utilización de bloques de HCA en las construcciones de albañilería en Chile, especialmente en cuanto a facilidad de construcción y eficiencia energitérmica, resulta necesario resolver algunos problemas y patologías que afectan a estas edificaciones, particularmente la fisuración por retracción del HCA y debido a problemas recurrentes de este tipo, detectados en estas edificaciones, se hace necesario estudiar sistemáticamente los problemas de patologías asociadas a este tipo de albañilerías.

1.2 Objetivos

Este Trabajo de Título tiene como objetivo general estudiar e investigar el comportamiento y las patologías de las albañilerías de HCA, en especial las construidas en Chile en los últimos 15 años.

Para cumplir este objetivo se siguieron las siguientes líneas investigativas:

- Estudiar la estabilidad dimensional de los bloques de Hormigón Celular después de colocados, para las variaciones de temperatura y humedad que ocurren en las viviendas, mediante una etapa experimental.
- Estudiar soluciones para el control de la fisuración de muros de albañilería de HCA.

- Estudiar soluciones para la reparación de agrietamientos en muros de albañilería de HCA.

1.3 Alcances del trabajo

En el presente trabajo se aborda el proceso de fabricación de los bloques de HCA, así como sus posibles usos y características, también se incluye un análisis del comportamiento de las viviendas construidas con HCA, los problemas constructivos y las patologías recurrentes que en ellas se producen. Se realizó una recopilación de información relevante para el conocimiento y uso de este material.

Se presenta un capítulo con las normas vigentes para uso de los bloques de HCA, donde se presentan los principales aspectos que éstas consideran y con esto es posible comparar la Norma chilena NCH 2432 Of.99 con la Norma ASTM C-1386-98 y la Norma UNE-EN - 771-4:2004.

Considerando que, según los antecedentes estudiados, relativos a estas construcciones y a problemas observados en casos de fisuración, la estabilidad dimensional de los bloques de HCA es uno de los factores relevantes en el comportamiento estructural de las albañilerías, en el presente estudio se incorpora una etapa experimental con el fin de estudiar el material HCA en estos aspectos.

Con este estudio se ha obtenido una caracterización de las propiedades mecánicas y valores que permiten determinar la estabilidad dimensional de las albañilerías de HCA.

Capítulo 2 Antecedentes

2.1 Antecedentes generales del hormigón celular

El Hormigón celular u hormigón aireado es un material de bajo peso cuya densidad varía entre 300 kg/m^3 y 1200 kg/m^3 , éste resulta de la mezcla de cemento, arena silicea, cal, agua y un agente químico expansor que libera algún gas, al reaccionar con el cemento durante el período de hidratación, el que produce burbujas cerradas, de 0,5 a 1,5 mm de diámetro, uniformemente distribuidas, no comunicadas entre si, al interior de la estructura del hormigón. Una cualidad de estas burbujas es que deben resistir el mezclado sin destruirse.

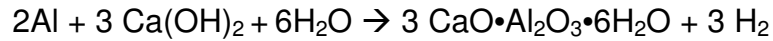
Es esta estructura celular la que le proporciona al material sus principales propiedades, como el aislamiento térmico y su baja densidad, debido a que el porcentaje de vacíos varía entre un 30% y un 80% dependiendo del método empleado para su fabricación.

Existen diferentes tipos de hormigón celular, los cuales se diferencian según el método empleado para conseguir su estructura celular, éstos consisten en mezclar la pasta o matriz cementicia con diversos agentes expansores para provocar la expansión de la masa. Entre estos se pueden mencionar:

- Espuma estable preparada en proceso separado, que se adiciona a la pasta durante el proceso de mezclado.
- Agentes químicos generadores de hidrógeno (polvo de aluminio), o peróxido de hidrógeno.

En Chile se utiliza principalmente, como agente expansor, polvo de aluminio, el cual reacciona con los compuestos alcalinos de los componentes de la mezcla, proceso por el cual libera hidrógeno, más específicamente el polvo de aluminio reacciona con el hidróxido de cal liberado durante la hidratación del cemento, a partir de esta reacción se generan burbujas de hidrógeno junto con los productos de la hidratación como el

aluminato tricálcico hidratado, por su parte la cal, en presencia de agua, reacciona con la las puzolanas del cemento. La reacción química que representa las reacciones generadoras de gas H₂, antes mencionadas corresponde a:



De esta reacción cabe mencionar dos aspectos, en primer lugar el gas hidrógeno liberado es absorbido mediante vacío evitando así la emisión de gases inflamables. En segundo lugar el aluminio al finalizar la reacción se transforma en alúmina por lo que no tiene algún grado de toxicidad.

Por otro lado el grado de finura del cemento así como la cantidad y el tipo de polvo de aluminio que se incorpore a la mezcla y otras variables (temperatura, catalizadores), determinarán la velocidad de la reacción, la que puede variar entre 20 minutos hasta 2 ½ horas.

Existen distintas técnicas de producción de hormigón celular. Las dos más características son el Hormigón Celular Autoclavado (HCA), curado en autoclave, y las técnicas de mezclado con agentes espumígenos o espumas especiales los que son generados y curados en obra.

En este trabajo nos concentraremos en el Hormigón Celular curado en autoclave. Este proceso consiste en introducir los elementos recién moldeados a un autoclave a temperatura sobre los 170°C, humedad controlada y a una presión de 10 a 11 atmósferas, por un período de entre 8 y 12 horas.

Mediante el curado en autoclave se aceleran los procesos de hidratación y se estimula una segunda reacción química entre la cal, la sílice y el agua, éstas reacciones son exotérmicas y conducen a la formación de tobermorita (silicato de calcio hidratado), que da al HCA su rigidez y estabilidad dimensional, para después de un período de estabilización utilizarlos en la construcción.

A continuación se muestra esquemáticamente el proceso productivo del HCA:

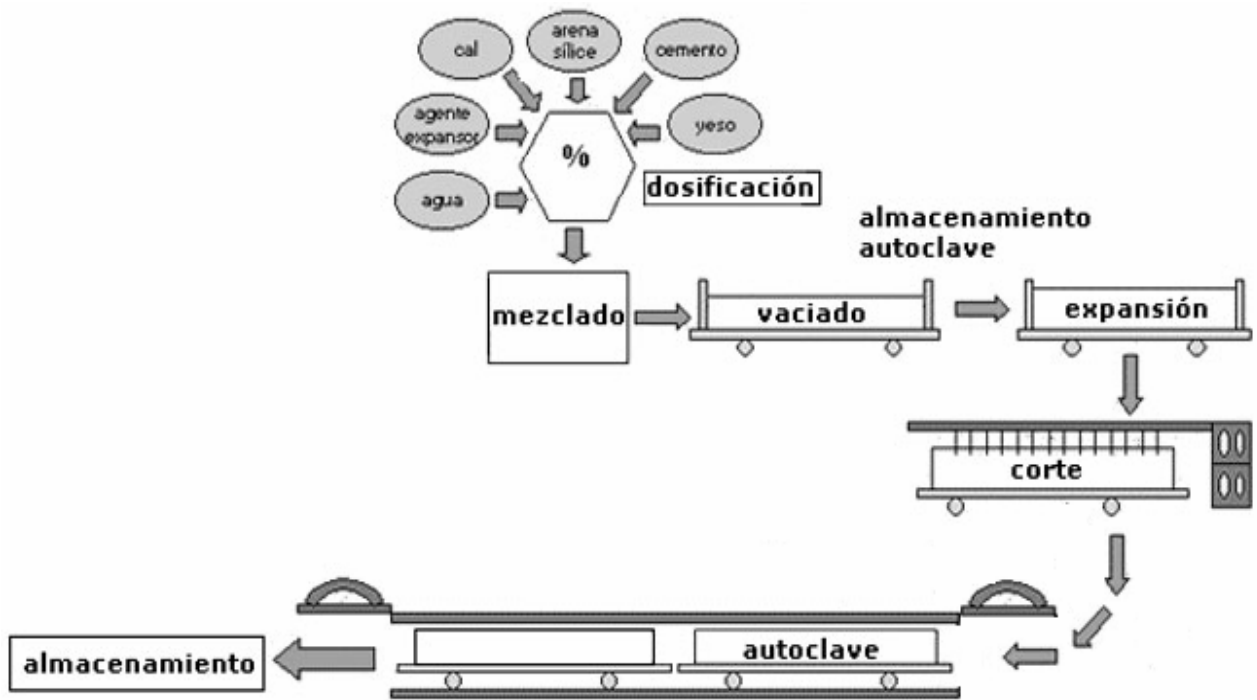


Figura N° 2.1: Esquema de fabricación

2.2 Antecedentes históricos del material

El hormigón celular o también conocido como hormigón aireado fue desarrollado en Suecia en la primera mitad del siglo XX, más precisamente en los años 20, cuando se instaló la primera planta para producir elementos prefabricados livianos con la marca YTONG.

Este material ha sido usado intensamente en Europa durante los últimos 80 años, en el Medio Oriente desde hace unos 40 años, en EEUU se fabrica industrialmente desde mediados de los años 90 y en Australia y Sudamérica se han instalado plantas para producir este tipo de unidades livianas de hormigón bajo licencia de las casas matrices Hebel, Celcon, Xella, etc. desde hace 20 años.

En el caso de Chile este material se utilizó inicialmente en los años 50 como núcleo de paneles prefabricados, con lo cual se lograba disminuir el peso del muro y mejorar las condiciones de aislación, a su vez la primera planta de producción de hormigón celular se instaló en el año 1958 bajo la firma Sihl-Púmex, quienes fabricaban paneles

prefabricados curados al vapor utilizando en su proceso de producción cemento portland, cenizas volcánicas y un agente espumógeno con el cual se obtenía la estructura celular. Posteriormente, a mediados de la década del 90 se inició la importación de unidades para albañilería y finalmente desde el año 2000 estas unidades se fabrican en el país. Actualmente existen dos plantas productoras pertenecientes a las firmas Xella (Hebel) y Celcon, las que en conjunto producen 105.000 m³/año, pero con un potencial instalado capaz de producir 200.000 m³/año.

2.3 Características generales del Hormigón Celular Autoclavado

El HCA presenta características favorables para uso en construcción, las que se ven reflejadas tanto en los procesos constructivos como en la calidad y eficiencia de las obras que lo utilizan. Su campo de aplicación preferente es la vivienda. Entre las características técnicas mas valoradas del hormigón celular se encuentran las siguientes:

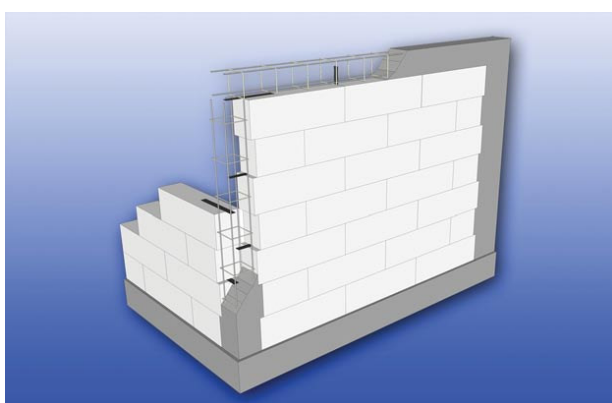
- Bajo peso.
- Facilidad para trabajarlo una vez fraguado (ranurarlo, cortarlo, perforarlo).
- Aislamiento térmico.
- Inercia Térmica.
- Resistente al fuego.
- Constructibilidad.

2.4 Presentación del HCA en el mercado Nacional

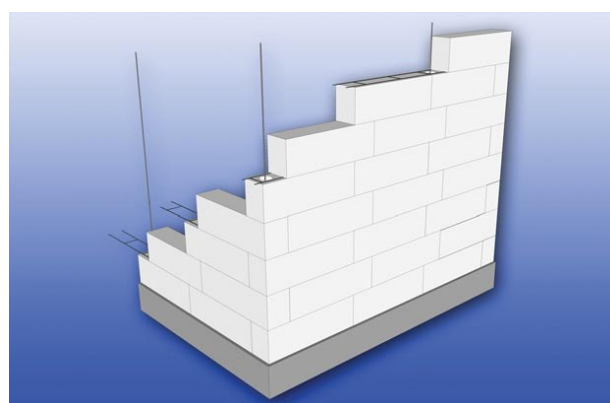
La gama de productos que actualmente se encuentran en el mercado nacional para satisfacer las necesidades del sector inmobiliario, comprende diversos tipos de unidades de albañilería y otros, además dependiendo del fabricante estas varían en dimensiones y formas, las más comunes se detallan en los puntos siguientes:

2.4.1 Bloques estructurales

Corresponden a bloques Grado 4, según la clasificación de la norma NCh 2432 Of.99. Se utilizan comúnmente en la construcción de albañilerías armadas y confinadas pero sin que se tenga, hasta el día de hoy, una norma de diseño específica para este material. Sin embargo, el INN se encuentra desarrollando, actualmente, el estudio de la norma de diseño de albañilerías conformadas con bloques de HCA (proyecto de norma NCh 3073). En la Figura 2.2 se muestra esquemáticamente las albañilerías en la cuales se utilizan los bloques de HCA.



Albañilería confinada



Albañilería armada

Figura N° 2.2: Esquemas de construcción de albañilerías

Por otra parte esta clase de bloques de HCA se encuentran en distintas dimensiones, como se indica en la Tabla 2.1:

Tabla N° 2.1: Dimensiones de Bloques Estructurales

Largo [mm]	Alto [mm]	Espesor [mm]
625	200	150
625	200	175
625	200	200
750	400	125
750	400	150
750	400	175
750	400	200
750	400	250

2.4.2 Bloques para tabiques

El uso de este tipo de bloque de menores espesores está orientado a tabiques divisorios tanto en casas como en edificios, corresponden según NCh 2432 Of.99 al Grado 2. En el mercado es posible encontrarlos en una serie de formatos estándar, como se indica en la Tabla 2.2:

Tabla N° 2.2: Dimensiones de Bloques para Tabiques

Largo [mm]	Alto [mm]	Espesor [mm]
625	400	75
625	400	100
625	400	125
750	400	60
750	400	65
750	400	70
750	400	75
750	400	90
750	400	100

2.4.3 Paneles para tabiques divisorios

Este tipo de prefabricado de HCA es utilizado como panel divisorio sólido al interior de edificaciones. Su instalación debe ceñirse a especificaciones que resguardan la aparición de cargas concentradas que originan agrietamiento, resguardando siempre que los tabiques no queden solidarios ni a los rellenos de piso ni a los enlucidos de cielo. Por otra parte estos paneles se encuentran disponibles en las dimensiones indicadas en la Tabla 2.3:

Tabla N° 2.3: Dimensiones de Paneles para Tabiques divisorios

Largo [mm]	Alto [mm]	Espesor [mm]
625	240-250	75
625	240-250	100

2.4.4 Molduras y otros

Además de los diferentes bloques y unidades prefabricadas antes mencionados existen otros usos para el material HCA, estas consisten en molduras decorativas de variados diseños, alféizares, antepechos y otras piezas especiales según necesidades de los diseñadores.

2.5 Propiedades de los bloques de HCA

A continuación se resumen las propiedades físicas de los bloques de HCA que se comercializan, cabe mencionar que éstas varían para las distintas clases y tipos de los bloques. Además se agregan cuadros comparativos entre las propiedades del HCA y de otros materiales utilizados para construir albañilerías:

2.5.1 Conductividad térmica

En la siguiente tabla es posible comparar los valores de referencia para la conductividad térmica de distintos materiales típicamente utilizados en construcción de muros y tabiques para viviendas con el Hormigón Celular autoclavado:

Tabla N° 2.4: Conductividad térmica de unidades y elementos constructivos

Material	Densidad (Kg/m³)	λ (W/m²K)
Bloque macizo HCA	700	0.16
Ladrillo cerámico perforado	1.200	0.50
Madera	800	0.20
Hormigón armado	2.400	1.60
Adobe	1700	0.90

Fuente: Norma NCh 853 Of. 91)

2.5.2 Transmitancia térmica

En la Tabla 2.5 se presentan valores característicos de transmitancia térmica de bloques de HCA en función del espesor de los bloques presentes en el mercado. En la tabla 2.6 se muestra una comparación de valores de transmitancia térmica para otros materiales de construcción.

Tabla N° 2.5: Valores de transmitancia térmica

Espesor (cm)	U (W/m²°K)
7.5	1.57
10	1.26
12.5	1.05
15	0.90
17.5	0.79
20	0.70

Tabla N° 2.6: Valores comparativos para la transmitancia térmica

Material	U (W/m²°K)
Bloque macizo HCA (15 cm.)	0.9
Ladrillo industrial	2.1
Hormigón armado	3.3
Adobe	0.95

2.5.3 Resistencia al fuego

La caracterización de la resistencia al fuego, obtenidos en ensayos realizados en IDIEM, se muestran en la Tabla 2.7. Estos valores corresponden a muros y tabiques divisorios ensayados según norma NCh 935:

Tabla N° 2.7: Nivel de resistencia al fuego

Espesor del Bloque (cm)	Resistencia al fuego
7.5	F 90
10	F 150
12.5	F 150
15	F 180
17.5	F 180
20	F 180

Fuente: IDIEM, Universidad de Chile

2.5.4 Aislamiento acústico

Uno de los puntos débiles del HCA es su nivel de aislamiento acústico, asociada a la baja densidad de los bloques. En la Tabla 2.8 se muestran valores característicos de aislación acústica para unidades de albañilería de HCA:

Tabla N° 2.8: Aislamiento acústico en función del espesor

Espesor del Bloque (cm)	dB (A)
7.5	36.3
10	37.6
12.5	38.4
15	39.2
Panel terminado* 15 cm	45.0

*El Panel terminado presenta esquemáticamente como estuco 1cm / tabique 15 cm/ estuco 1cm

2.5.5 Coeficiente de absorción acústica

Se muestra a continuación la relación entre el nivel de frecuencia (Hz) de sonidos y el coeficiente de absorción en muros de HCA de 700 Kg/m³:

Tabla N° 2.9: Coeficiente de absorción acústica

Frecuencia (Hz)	HCA¹	Ladrillo	Lana Mineral
125	0.16	0.03	0.35
250	0.22	0.03	0.70
500	0.28	0.03	0.90
1000	0.20	0.04	0.90
2000	0.20	0.05	0.95
4000	0.31	0.07	0.90

¹Fuente: Rilem, Autoclaved Aereated Concrete

2.5.6 Capacidad de absorción de agua

En la Tabla 2.1 se presentan valores comparativos para la absorción de agua tanto para el bloque de HCA como para materiales utilizados en similares aplicaciones:

Tabla N° 2.10: Capacidad de absorción de agua

Material	W
Bloque macizo HCA	4-8
Ladrillo hueco arcilla	9-25
Ladrillo arcilla	22-30
Yeso (máx.)	35

2.5.7 Propiedades mecánicas

En la Tabla 2.11 se presentan valores típicos de las propiedades mecánicas, que caracterizan al material HCA:

Tabla N° 2.11: Propiedades mecánicas del HCA

Descripción	Resistencia última (kgf/cm ²)	Norma
Compresión unidad fu	50.0	NCh. 2432
Compresión prismática f'p	45.0	
Compresión diagonal tu	7.5	
Flexión por tracción ft	10.0	
Módulo de Elasticidad E	26000	NCh. 1038
Módulo de Corte G	9000	

Fuente: Dictuc, Universidad Católica

2.6 Estabilidad dimensional, fenómeno de retracción y cambio de volumen por variación de humedad en hormigones

Las variaciones de humedad producen en el hormigón alteraciones dimensionales, las que corresponden a expansiones cuando se trata de un aumento de humedad o a encogimientos para el caso de secado.

El fenómeno de retracción por secado del hormigón consiste en la disminución de volumen provocada por la pérdida del agua que satura sus capilares y poros. Se puede definir este fenómeno por la deformación lineal de la dimensión mayor, dependiente del tiempo, a temperatura constante, medida sobre una probeta no cargada que se deja secar hasta peso constante.

La deformación debida a la retracción por secado de las unidades componentes de una albañilería está sujeta a algún grado de restricción por parte de las demás unidades que la conforman, por las armaduras de acero y por restricciones externas. Esta combinación (retracción y restricción) origina tensiones de tracción en las unidades y si estas tensiones son mayores que su resistencia a tracción, o si se supera la capacidad de deformación de las unidades, se producirá el agrietamiento.

En la Figura 2.3 se esquematiza el fenómeno de fisuración por retracción en el hormigón de una mejor manera:

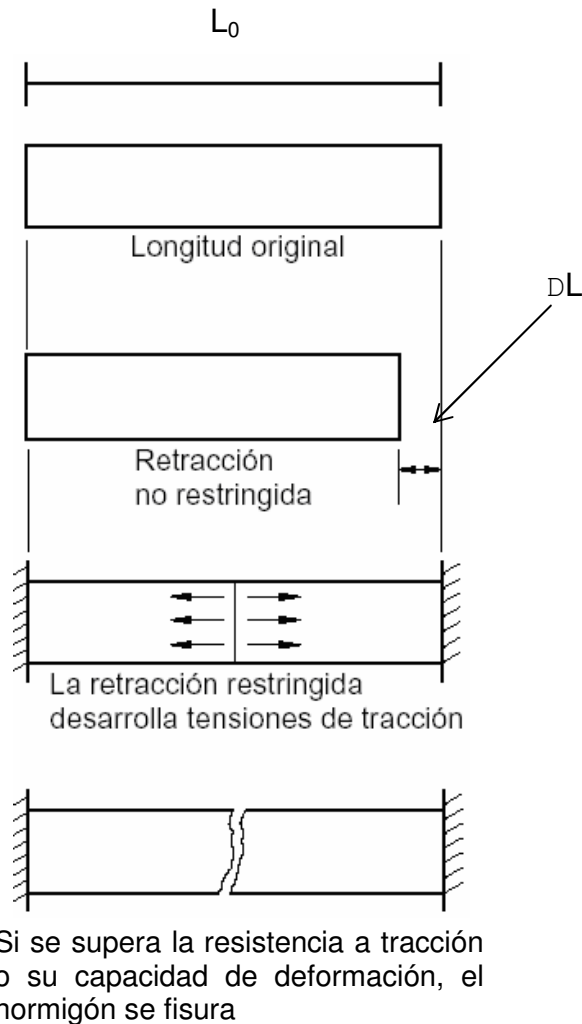


Figura N° 2.3: Fisuración provocada por retracción por secado

2.7 Control de fisuración

Las albañilerías conformadas por bloques de HCA, no están exentas a los problemas de fisuración, muy por el contrario son susceptibles a ellos dada su utilización en conjunto con otros materiales que restringen los cambios volumétricos intrínsecos del material y por ende sometidas a esfuerzos que necesariamente deben ser considerados en su concepción, diseño y construcción de estas albañilerías. Al igual que en el caso de las albañilerías de ladrillo cerámico, las que utilizan unidades de bloques de HCA, deben incorporar armaduras de refuerzo horizontales (barras, escalerillas) y verticales.

2.8.1 Soluciones constructivas de refuerzo

Armaduras horizontales

La armadura horizontal se utiliza para controlar las deformaciones por retracción, reducir el espesor las fisuras y su distribución en los muros, estas armaduras pueden materializarse de dos formas:

a) Bloque calado

Consiste en realizar un calado a lo largo del bloque e incorporar fierros estriados de 8 mm de diámetro, amarrados a los tensores, formando un refuerzo.



Calado a lo largo de los bloques



Refuerzo horizontal

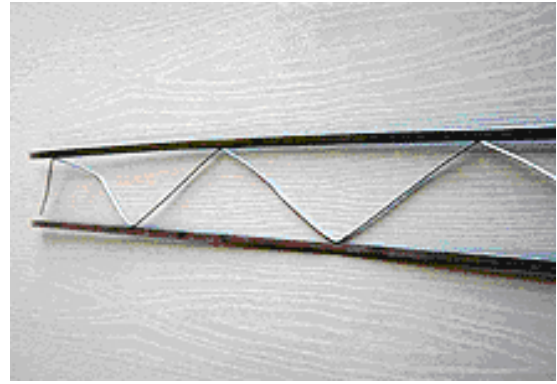
Figura N° 2.4: Ejemplo de bloque calado

b) Uso de Escalerillas

Se instalan escalerillas de acero, las cuales se distribuyen entre hiladas en todo el alto del muro, los manuales de diseño establecen los aspectos de detallamiento que se deben satisfacer para un adecuado funcionamiento de estos refuerzos.



Colocación



Escalerilla

Figura N° 2.5: Tipos de escalerillas

Juntas de dilatación

En caso de encuentros de elementos distintos o distintos materiales es conveniente que el diseño contemple juntas de dilatación. Estas deben ser materializadas incorporando láminas separadoras comúnmente de poliestireno expandido. A su vez para muros con una longitud mayor a 6 metros se recomienda reducir el potencial agrietamiento por retracción incorporando una junta vertical en el centro del paño.

2.9 Caso de estudio: Problema de fisuración en viviendas

Como caso particular de mal comportamiento de las albañilerías de HCA a continuación se describen las fallas por agrietamiento que presentaron las viviendas de un conjunto habitacional construido en la ciudad de Temuco entre los años 2002 y 2003. En el año 2007 IDIEM realizó una investigación debido a problemas de fisuración ocurridos en las casas de esta villa correspondientes a fisuras de distinta índole y severidad que se presentaron en las albañilerías que habían sido construidas con HCA.

Las viviendas que como se ha señalado, tienen albañilerías de HCA corresponden a dos modelos similares y estructuradas en un piso mediante paneles de pino impregnado y teniendo uno de sus muros medianeros de albañilería de HCA (Figura 2.6 y 2.7), confinada con cadenas y pilares de hormigón armado.

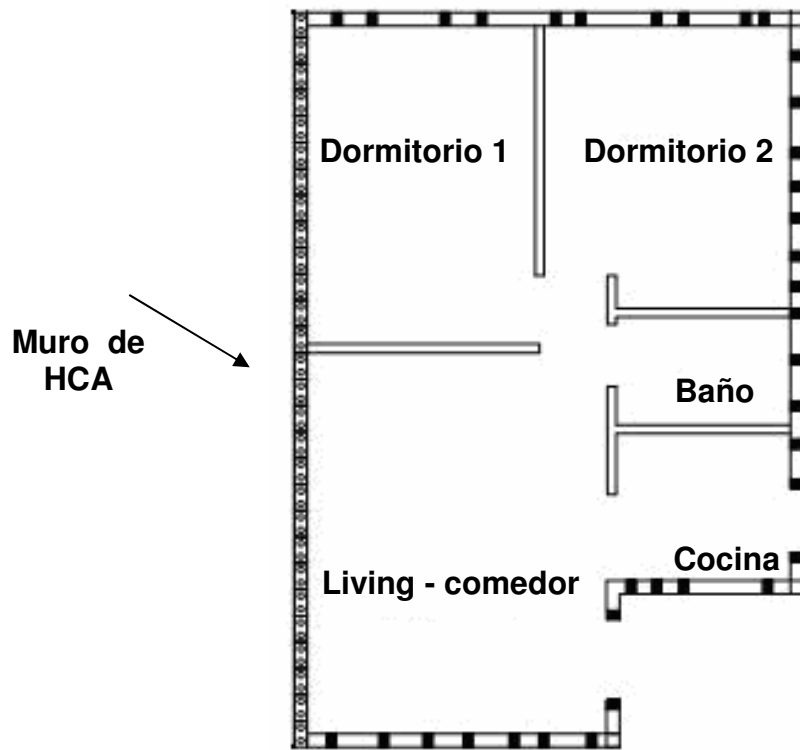


Figura N° 2.6: Planta tipo



Figura N° 2.7: Casa tipo

En ese estudio realizado para investigar los deterioros en las viviendas se inspeccionó un total de 121 viviendas del tipo mencionado, que dio origen a un levantamiento de las fisuras existentes reparadas y no reparadas, se encontró en ellas un gran número de fisuras verticales y un número menor de fisuras de otro tipo (diagonales y horizontales), las observaciones se resumen en la tabla siguiente:

Tabla N° 2.12: Fisuras inspeccionadas en viviendas

Tipo de Fisura	Numero de Viviendas	Porcentaje
Verticales Muro	110	91 %
Diagonales Extremos Muro	23	19 %
Diagonales Interior Muro	31	26 %
Horizontales	21	17 %

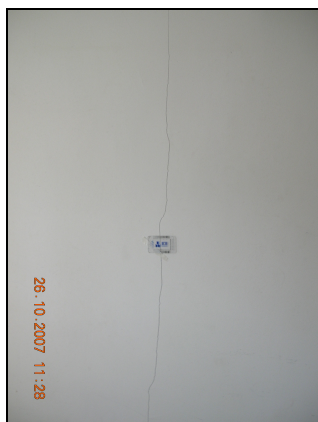


Figura N° 2.8: Fisuras verticales en albañilería de HCA



Figura N° 2.9: Fisuras en albañilería de HCA

El diagnóstico emitido por los profesionales especialistas, atribuyó los problemas de fisuración detectados desde el primer año de entregadas las viviendas, a un fenómeno propio de la inestabilidad dimensional del hormigón celular, que sufre de variaciones de volumen con los cambios en su contenido de humedad (ciclos humedad-secado). En este caso estos cambios de humedad se produjeron por una deficiencia en el diseño de canaletas de evacuación de las aguas lluvia de la techumbre lo que producía que el agua cayera sobre los muros, aumentando así el contenido de humedad de la albañilería en períodos de lluvias y secándose posteriormente. Son estas deformaciones volumétricas las causantes de estados tensionales en el paño de la albañilería que se encuentra confinado por la estructura de hormigón armado, generándose la fisuración al sobrepasarse la resistencia a tracción del material.

2.9.1 Solución para reparación: Refuerzo de malla de fibra de vidrio

Cuando una albañilería de bloques de HCA se observa dañada (con fisuras en su superficie) y siempre y cuando los daños no sean de índole estructural (asentamientos o esfuerzos producidos por cargas) en la cual sea haga necesario diseñar refuerzos estructurales compatibles con el tipo de deficiencia estructural, es posible repararlos mediante la colocación de refuerzos locales en la zona de las grietas impidiendo así su aparición en la superficie del muro.

Esta solución consiste en la colocación de un refuerzo y recubrimiento en la zona fisurada, dependiendo del nivel de daño (cantidad de fisuras por paño), donde se hace la diferencia si la reparación es local o global. En caso de que el daño sea local se realiza la reparación sólo en el sector afectado (fisura aislada), por otro lado si el daño es global se realiza la misma reparación para cada fisura en el paño pero además se agrega una provisión en toda la extensión del paño en cuestión.

El esquema de reparación es el siguiente:

Paso 1: Se deben ubicar e individualizar las fisuras marcándolas de manera notoria, además se marca una franja longitudinal a lo largo de la fisura de 13 cm a cada lado.

Paso 2: Rebajar 3 mm la zona de la fisura con un esmeril angular y se remarca la fisura en toda su extensión.



Figura N° 2.10: Ejemplo de rebaje

Paso 3: Despejar la zona de todo resto de pintura suelta o de polvo presente.

Paso 4: Aplicar producto cementiceo, que incluye una dispersión polimérica (acrílica) con rodillo en la franja longitudinal de la fisura a modo de imprimación de la superficie afectada por la grieta.

Paso 5: Aplicar pasta cementicea acrílica en toda la extensión de la fisura. Se debe dejar un tiempo abierto de aproximadamente 1 hora, para permitir la salida de elementos volátiles.



Figura N° 2.11: Aplicación de pasta acrílica en zona de la grieta

Paso 6: Aplicar una capa de producto indicado en Paso 4, con llana, y sobre esta colocar malla de Fibra de Vidrio recubierta (resistente a álcalis) de 139 g/m² y de 25 cm de ancho (franja longitudinal antes despejada). Dejar endurecer por un período aproximado de 48 horas.

Figura Nº 2.12: Colocación de malla de fibra de vidrio



Paso 7: Una vez endurecida la primera capa, aplicar el producto indicado en Paso 4 con mejor consistencia en el sector de la faja en capas hasta nivelar con la superficie del muro.

Para los objetivos del presente estudio, que incluye la colocación de la solución de reparación de fisuras de HCA, fue necesario recurrir a productos similares a los utilizados en la reparación de esas viviendas. Se realizaron las gestiones con diferentes fabricantes para encontrar una alternativa factible para utilizar en la reparación de los muros de HCA y finalmente Productos CAVE se ofreció a fabricar el producto requerido denominado Mortero Cementicio Fino, compuesto por una dispersión acrílica y una parte seca de cemento con cuarzo finamente molido, cuya dosificación se ensayó para así obtener la óptima entre 3 opciones. El esquema de aplicación es muy similar al anterior salvo que se reemplazan los productos de imprimación y anclaje de a malla por una única pasta que corresponde al mortero cementicio fino de CAVE.

En el Anexo se adjuntan las fichas técnicas de los productos de reparación utilizados.

Capítulo 3 Comportamiento de las albañilerías de HCA

En este capítulo se abordará el sistema constructivo de las albañilerías de HCA así como los cuidados y riesgos presentes en este tipo de construcciones.

3.1 Método Constructivo

En la construcción de las albañilerías confinadas o armadas de HCA es necesario que las superficies donde se levantarán los muros (los cimientos) estén bien nivelados, es por esto que la primera hilada de bloques debe colocarse sobre una capa de mortero considerada de nivelado (espesor entre 5 mm y 30 mm) el cual permite absorber las irregularidades de la base y con esto asegurar la verticalidad de la albañilería. Las caras verticales así como las sucesivas filas de bloques deberán adherirse entre sí por un mortero especial que permite pegar este tipo de material.

Una vez que se ha finalizado la primera hilada y se ha confirmado su perfecta nivelación, es posible comenzar a ejecutar el resto de la albañilería. Al igual que en la albañilería tradicional, se deben traslapar las unidades sucesivas en al menos 15 cm (se recomienda medio bloque), teniendo la precaución de eliminar el polvo suelto de las superficies para una mejor adherencia del mortero de pega. Al colocar un nuevo bloque sobre el mortero, éste se considerará correctamente colocado cuando al golpear el bloque verticalmente con un martillo de goma el adhesivo revienta en toda la junta de pega.



Figura N° 3.1: Primera hilada e hiladas sucesivas traslapadas

En los encuentros con pilares se deberán dejar los bloques endentados con un desfase de 2,5 cm y adicionalmente hilada por medio se deberá instalar una lámina conectora. En el encuentro con las cadenas se deberá colocar una lámina conectora, bloque por medio, en las juntas de pega verticales.

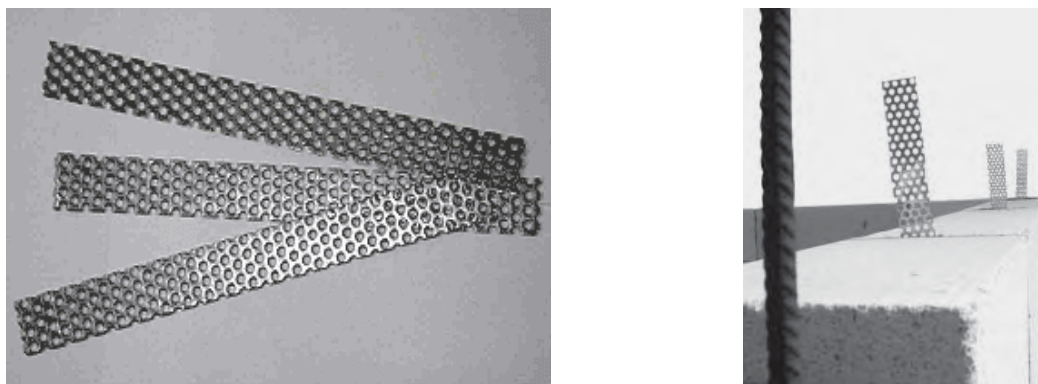


Figura N° 3.2: Láminas conectoras

3.2 Comportamiento frente a ataques químicos

Dependiendo del lugar de utilización el HCA puede interactuar con diferentes sustancias químicas ya sean éstas líquidas, gaseosas o sólidas. El HCA al igual que otros materiales puede verse afectado por agentes químicos bajo ciertas condiciones, es por esto que se hace necesario mencionar estos posibles ataques y atender a algunas recomendaciones para así evitar problemas posteriores. En general al colocar HCA en edificios industriales, el uso que se le dará a éste debe ser conocido para así tomar las precauciones de protección necesarias, como revestimientos o pinturas, y permitir aumentar la vida útil del material.

a) Resistencia del HCA al ataque de gases

El HCA no se verá afectado por gases, siempre y cuando estos no produzcan ácidos en presencia de agua (en el aire a humedad ambiente). Luego en esta situación el HCA no tiene que ser protegido en presencia de vapores solventes comunes como el

nitrobenzeno, alcohol etílico, acetona, acetona etílica. Esta consideración se aplica también para gases como el metano, propano, butano, acetileno o gases nobles.

Para un productor de ácido como es el dióxido de carbono (CO_2) es necesario utilizar un revestimiento impermeable al vapor cuando éste se encuentra en una concentración mayor de 0,035% en el aire, así mismo ocurre, en presencia de amoníaco.

En el caso de presencia de dióxido de azufre (SO_2), el cual forma ácidos sulfurosos con el aire húmedo, éste causa descomposición en la estructura del HCA. Lo mismo ocurre en presencia de vapores minerales como es el caso del ácido hidrocloreídrico, ácido sulfúrico, ácido acético. En algunos de estos casos (ácido sulfúrico, ácido nítrico) es recomendable no utilizar el HCA, sin embargo, si se toma la decisión de colocarlo se debe proteger mediante revestimientos impermeables al vapor.

b) Resistencia del HCA al ataque de líquidos

El HCA no se verá atacado en presencia de líquidos tales como: agua, soluciones neutrales de sal (sal común, sulfato de sodio), soluciones de sal alcalina (soda) y soluciones alcalinas como lechada de cal.

Todo líquido orgánico como combustibles, aceites vegetales y solventes, no es dañino para el HCA; ni tampoco sus gases y vapores.

Ácidos como el hidrocloreídrico, sulfúrico y nítrico descomponen al HCA de forma relativamente rápida, ácidos orgánicos como el ácido acético, ácido oxálico, ácido tartárico y ácido cítrico también son dañinos para el HCA. En todos estos casos se deberá tomar las respectivas precauciones para evitar daños en las estructuras. De la misma manera se deberá tomar las precauciones respectivas en lugares con altas concentraciones de sulfatos (> 600mg/l).

c) Resistencia del HCA al ataque de sólidos

En general no habrá interacción entre el HCA y materiales sólidos completamente secos. Sin embargo, en el caso de almacenamientos de cereales de toda clase o polvos orgánicos (fécula, azúcar, polvos de dispersión), se debe considerar un nivel de escape o de concentración de CO₂ por lo cual se deben tomar las mismas precauciones que en el punto a).

3.3 Patologías Constructivas

En las construcciones con albañilería de bloques de HCA, al igual que en cualquier obra construida con sistemas tradicionales o no tradicionales, se espera que, si éstas están bien diseñadas y bien construidas no presenten problemas durante su vida útil. Sin embargo, hay casos en los cuales se presentan algunas patologías producidas por diversos factores. Estos factores pueden ser producto de un mal diseño, no construir de acuerdo a las reglas del arte, acciones climáticas extremas o cambios de las propiedades de los suelos. Por otro lado, si el problema se manifiesta en las paredes esto no significa que la causa se encuentre en ellas; por ejemplo, si se produce un movimiento de suelos o ceden las fundaciones, los muros sufren esa deformación y podrían aparecer fisuras. Si se dilata en exceso una losa, se fisura el muro sobre la cual ésta se apoya, lo mismo puede ocurrir si trabaja la madera de los techos.

3.3.1 Origen de las fisuras

Los muros construidos con albañilería de HCA no tienen problemas para resistir esfuerzos de compresión (que estén considerados en el diseño), sin embargo esto no ocurre cuando el esfuerzo a resistir es de tracción. Éstos son los responsables principales de la aparición de fisuras en los muros.

Si el muro ha sido construido correctamente puede resistir esfuerzos de tracción mínimos los cuales generalmente se producen debido al asentamiento de la construcción o por las variaciones dimensionales propias de las unidades que conforman la albañilería. Ahora si el muro no ha sido construido correctamente se

fisurará al menor esfuerzo de tracción. En ocasiones no es claro determinar si la fisura se produjo por un movimiento excesivo de la estructura o por falta de resistencia de la albañilería.

3.3.2 Patologías más usuales

Se detallan a continuación las patologías recurrentes en la construcción de albañilerías de bloques de HCA.

3.3.2.1 Fisuras debido a una deficiente colocación de los bloques

Fisura horizontal coincidente con la junta entre bloques

Para este caso las posibles causas son:

- a) Falta de adherencia entre los bloques y el mortero de unión. Siempre es necesario al momento de colocar los bloques cepillar y humedecer (cepillo húmedo) las caras de los bloques para eliminar el polvo acumulado.

- b) Falta de resistencia del mortero adhesivo, debido a una deficiente preparación del mismo (dosificación incorrecta) o por un excesivo tiempo de preparado sin utilizarlo, se recomienda que la mezcla no pase mas de una hora en el balde, luego de transcurrido este tiempo debe desecharse.

- c) Incorrecto asentamiento del ladrillo. Es necesario realizar una buena nivelación de la superficie donde se colocará la albañilería para así no recurrir a malas prácticas, con el fin de nivelar y acomodar los bloques sucesivos, las que llevan a un incorrecto asentamiento de los bloques sobre el mortero adhesivo.

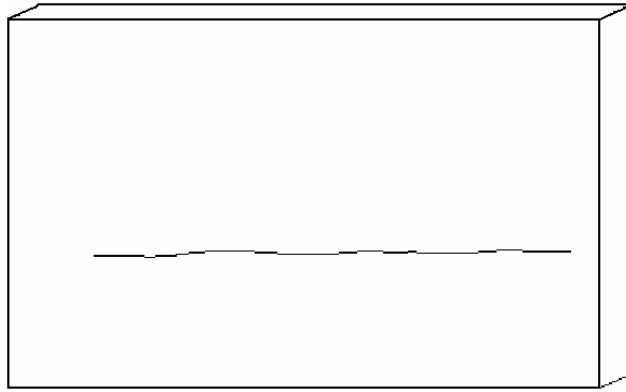


Figura N° 3.3: Ejemplo de fisura horizontal

Falta de trabazón entre muros

En este caso deben respetarse las longitudes mínimas de trabazón entre muros, que van desde un mínimo de 15 cm hasta medio bloque cuando sea posible, para que la albañilería se comporte correctamente.



Figura N° 3.4: Trabazón de muros perpendiculares

3.3.2.2 Fisuras debido a acciones mecánicas externas

Si la fisura se manifiesta tanto de manera horizontal como vertical o diagonal, entonces se produjeron movimientos que generaron tensiones mayores a las que es capaz de resistir el muro. Estas fisuras pueden encontrarse a lo largo de una junta horizontal como vertical o pueden cortar el bloque en forma diagonal y vertical.

Este tipo de patologías se puede evitar tomando las debidas precauciones en el proyecto mismo, previo a comenzar la obra. Las acciones mecánicas externas se pueden clasificar de la siguiente manera:

a) Asentamientos diferenciales de los cimientos

Dado que el sistema de albañilería con bloques de HCA no requiere de cimientos especiales, el tipo de cimiento a utilizar sólo dependerá de las condiciones existentes en el terreno, como son; el tipo de suelo, calidad, profundidad de estrato firme, etc. Es en este punto donde la decisión del diseño de los cimientos es clave en el comportamiento de la albañilería, debido a que siempre se producirán asentamientos una vez que la obra se encuentra finalizada, lo importante es que estos sean parejos, de lo contrario, si son diferenciales, se producirán fisuras en la albañilería.

Cuando se trata de arcillas expansivas éstas suelen tener comportamientos poco deseables ante cambios de humedad (contenido), si éste aumenta tienden a empujar hacia arriba con tensiones, a veces superiores a las que ejerce la construcción por el contrario cuando disminuye su contenido de humedad éstas tienden a hundirse.

Los suelos conformados por rellenos mal compactados sufren deformaciones superiores a lo habitual y por su condición de mal compactados éstas tienden a ser disperejas provocando agrietamientos en las albañilerías.

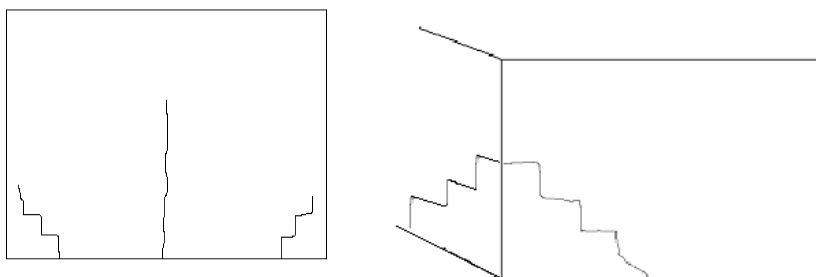


Figura Nº 3.5: Fisura producida por asentamiento diferencial

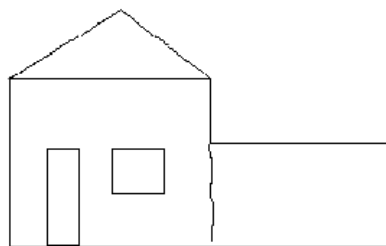
c) Cargas puntuales

El HCA tiene una resistencia a la compresión conocida y declarada por el fabricante, cuando se encuentra en presencia de cargas puntuales (dinteles, vigas de hormigón o perfiles metálicos) que superan esta resistencia, se producen fisuras verticales desde el punto de acción de la carga hacia abajo.

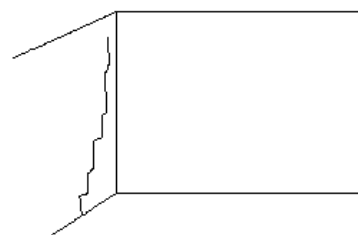
En estos puntos, donde se prevea la acción de cargas puntuales es recomendable reforzar con armadura vertical o ubicar en los apoyos dados de hormigón para distribuir la carga en una mayor superficie.

d) Encuentro de muros

Para el caso de encuentro de muros, los cuales están sometidos a distintos niveles de carga, generalmente se producirán fisuras verticales debido a esta diferencia. Por lo tanto, los muros verticales no se traban con muros divisorios interiores ni con muros que estén ausentes de carga (cierros divisorios) durante algún período de su vida útil. Para el primer caso se deben utilizar placas conectoras cada dos hiladas, en el segundo se deben independizar los muros mediante una junta vertical.



Muro trabado con cierre



Muro perimetral trabado con muro divisorio

Figura N° 3.6: Fisura por trabazón de muros en estados de carga disímiles

e) Flechas excesivas en losas o vigas de apoyo de albañilerías

En ocurrencia de este hecho, la fisura se manifiesta, generalmente, en forma vertical y en el centro de la luz del muro o tabique. Si el muro es de gran extensión la fisura

puede manifestarse en forma horizontal entre el mortero de nivelación y la primera hilada o por sobre ésta.

Cuando es posible prever esta situación se recomienda reforzar la losa en los posibles puntos problemáticos, o bien colocar una viga para transmitir la carga de mejor forma, en especial si el muro es portante.

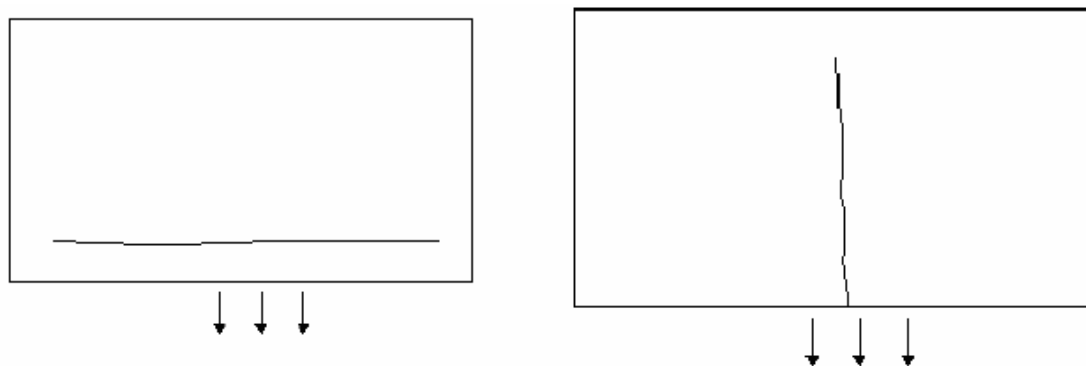


Figura N° 3.7: Fisura en muros divisorios por luz excesiva en losa

De la misma manera, en los encuentros entre la albañilería con otros materiales, es recomendable reforzar los estucos con malla de fibra de vidrio para evitar fisuras en éste.

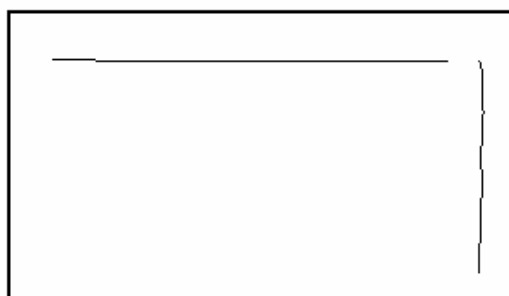


Figura N° 3.8: Fisura en estucos sin refuerzo de fibra de vidrio

f) **Giro de losas en el apoyo**

En losas prefabricadas con escaso apoyo en el muro perimetral (menor a $2/3$ del espesor del muro) se pueden producir fisuras horizontales debido al giro de la losa en el apoyo. Este fenómeno se incrementa en losas de grandes luces y por lo tanto habrá mayores deformaciones. Se recomienda en casos de luces mayores a 6 metros, colocar bloques de espesores superiores a 15 cm.

g) **Dilataciones excesivas de cubiertas planas**

El empuje provocado por una losa (terraza o techo), mal diseñada o mal aislada, por dilatación, en épocas de altas temperaturas, supera la capacidad de los muros y provoca fisuras horizontales en el encuentro entre la losa y el muro.

Para prevenir la aparición de fisuras por esta causa, se recomienda realizar un adecuado aislamiento térmico en la losa de techo. Además, es recomendable colocar refuerzos de malla de fibra de vidrio en los encuentros entre muros y losas, con el fin de evitar apariciones de fisuras en los estucos por pequeñas dilataciones.

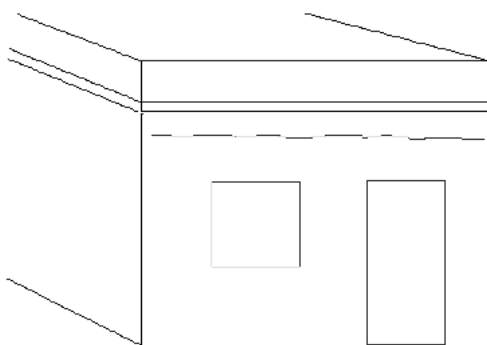


Figura N° 3.9: Fisura provocada por dilatación de losa de techo

h) **Aberturas**

Las aberturas tales como ventanas y puertas, generan a los muros, en general y por lo tanto, también a las albañilerías de bloques de HCA, una redistribución de las cargas

hacia los costados de las mismas; lo que se manifiesta como esfuerzos diferenciales que generan tracciones en los elementos componentes de la albañilería. Luego, los dinteles y la hilada de antepechos son lugares muy propensos a verse fisurados por esta acción.

Se recomienda la incorporación de refuerzos horizontales en estas áreas y asimismo el refuerzo mediante malla de fibra de vidrio para evitar aparición de fisuras en los estucos y terminaciones.

i) Acciones por variación de las condiciones ambientales

Las variaciones de temperatura y de humedad producen dilataciones y contracciones en los materiales. Al estar expuesto al calor un muro de albañilería de HCA no sufre una dilatación significativa debido a su inercia térmica, sin embargo, es recomendable materializar una junta de dilatación cuando se tenga el caso de encuentros entre albañilería de HCA y albañilería convencional ya que ésta última, sí sufrirá dilataciones importantes y provocará un empuje.

Ante bajas temperaturas o ante una pérdida de humedad el muro podrá contraerse y es por lo tanto es recomendable, en muros de extensiones mayores a 6 metros, cortar el paño con refuerzos verticales, o bien, materializar una junta con pilar de hormigón armado.

3.3.2.3 Fisuras de los estucos

Las albañilerías de HCA generalmente van revestidas por estucos de bajo espesor. Es por esto que los estucos son propensos a manifestar micro fisuras que se pueden producir por alguno de los motivos antes mencionados. En general se recomienda incorporar refuerzos de malla de fibra de vidrio bajo el estuco en los siguientes lugares o situaciones:

- Esquinas
- Bordes de las aberturas cubriendo antepechos y uniones de dinteles
- Encuentro entre HCA y otro material (hormigón, albañilería tradicional, etc.).

- Rellenos de instalaciones
- Uniones de refuerzos verticales
- Línea de encadenados horizontales

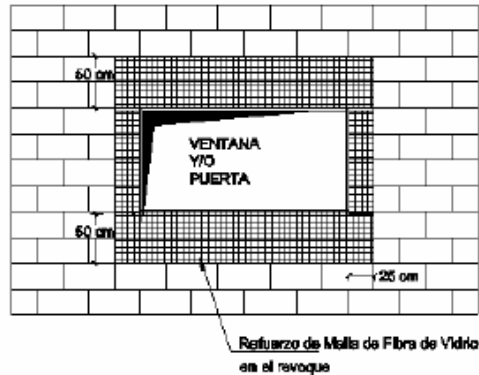


Figura N° 3.10: Ejemplo de refuerzo de malla de fibra de vidrio

3.3.2.4 Fisuras debido a la humedad

A continuación se mencionan las causas recurrentes de fisuras, debido a humedad, en las albañilerías de bloques de HCA y las recomendaciones para evitar estos problemas.

a) Humedad desde el exterior

En aquellas albañilerías en las que se deja al bloque a la vista con una terminación de pintura para exteriores, se debe tener especial cuidado en la calidad de la mano de obra ejecutora del muro, ya que la impermeabilidad del muro depende, principalmente, de que éste se encuentre prolijamente construido. Si han quedado espacios abiertos o si no se han sellado correctamente las juntas, existe la probabilidad de ingreso de agua desde el exterior, lo que provocará cambios volumétricos en las unidades que conforman la albañilería.

b) Humedad en el entorno

En primer lugar se debe realizar una capa de nivelación con mortero impermeable, para así conformar la barrera hidrófuga horizontal.

Si se tiene el siguiente escenario, en que la primera hilada de bloques está o estará en contacto con el suelo, entonces será necesario realizar un cajón hidrófugo de protección, ya que la condición de humedad permanente es más exigente. De lo contrario no será necesario realizar esta protección.

Si existe la posibilidad de encharcamiento de agua en el perímetro de la vivienda, se recomienda realizar un zócalo con mortero impermeable.

c) Humedad proveniente de aberturas

Tal como ocurre con la albañilería tradicional y en los muros en general, se deben sellar adecuadamente las uniones de los marcos (para ventanas y puertas) con la albañilería de HCA, para evitar la penetración de humedad en las unidades y el correspondiente cambio dimensional, al igual que los casos anteriores.

Capítulo 4 Normativa Nacional e Internacional Vigente

En este capítulo se describen las normas internacionales referentes al HCA en cuanto a propiedades y especificaciones de las unidades de bloques. Se incluye en esta descripción la Norma Chilena vigente que se refiere a las unidades de HCA, sin embargo, el INN se encuentra desarrollando, actualmente, el estudio de una nueva Norma para el diseño de las albañilerías de HCA que corresponde al proyecto de norma NCh 3073.

4.1 Norma Chilena NCh 2432 Of.1999 “Bloques macizos de hormigón celular, especificaciones”

Define el hormigón celular como “hormigón de densidad seca menor a 1.2 kN/m^3 , obtenido al mezclar cemento, arena, agua y algún agente, aditivo o producto químico especial, que incorpore micro burbujas de aire o gas. Puede contener otros materiales finamente molidos como cal hidratada, cuarzo, sílica fume, cenizas volantes, puzolanas, pigmentos, en cantidades apropiadas”.

Esta norma establece la clasificación y los requisitos de los bloques macizos de hormigón celular que se empleen en la construcción de elementos de albañilería.

De acuerdo a sus dimensiones clasifica a los bloques en series según el ancho del bloque, esta clasificación se muestra a continuación:

Tabla 4.1: Clasificación por Dimensiones

Serie	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)
75	625	75	200
100	625	100	200
125	625	125	200
150	625	150	200
200	625	200	200
250	625	250	200

Nota: Se acepta una variación máxima de más/ menos 1.5 milímetros en cualquier dimensión.

Por otra parte, clasifica a los bloques en grados según su resistencia a la compresión, lo cual se indica en la tabla siguiente:

Tabla 4.2: Requisitos de Resistencia a Compresión y Densidad

Grado	Resistencia mínima, MPa		Densidad máxima kg/m ³
	Individual	Promedio de cinco unidades	
2	2.0	2.5	600
4	4.0	5	700
6	6.0	7.5	800

De igual manera indica que pueden establecerse grados mayores a 6, limitando la densidad seca a un máximo de 1200 kg/m³.

Además esta norma establece otros requisitos como es el de adherencia que deben cumplir los bloques con el mortero adhesivo utilizado para su colocación y conformación de albañilerías, los que son establecidos en el punto 4.3.1 y dice que “la adherencia entre los bloques macizos de hormigón celular y el mortero adhesivo de capa delgada debe tener una resistencia a 28 días mayor o igual a 0,4 MPa determinada según NCh. 2258/1” y también requisitos de contracción los que corresponden al punto 4.3.2 y dice que “ la contracción máxima es de 0.3 mm/m determinada según procedimiento de A.4, del Anexo A”, este procedimiento concuerda en su totalidad con la norma Europea EN 680.

Por otro lado la Norma indica algunas propiedades que deben cumplir los bloques y éstas son Conductividad térmica y el Coeficiente de dilatación térmica, en la primera indica que la conductividad térmica de los bloques de hormigón celular debe ser:

Tabla 4.3: Conductividad térmica

Densidad máxima, kg/m ³	Conductividad térmica, λ
600	0.13
700	0.16
800	0.19

En cuanto a la segunda propiedad establece que “el coeficiente de dilatación térmica de los bloques macizos de hormigón celular es $8 \times 10^{-6} / ^\circ\text{K}$ ”.

Otros aspectos considerados en esta norma son su identificación, su inspección (control interno y externo), almacenamiento y uso de los bloques, en este punto se especifica que “los bloques de hormigón celular se utilizan en la construcción de albañilerías que cumplan con NCh 1928 y NCh 2123 y en elementos no estructurales tales como tabiques y rellenos livianos” y que si los bloques quedan expuestos a la intemperie al igual que el adhesivo de capa delgada deben recibir una capa de recubrimiento.

4.2 Norma ASTM C - 1386 - 98

La norma americana clasifica los bloques prefabricados de Hormigón Celular según su nivel de resistencia a la compresión, por otro lado hace referencia a las materias primas utilizadas en la fabricación de los bloques e indica que especificaciones deben cumplir (norma) cada una de ellas.

En cuanto a los requerimientos físicos de las unidades, como son, la resistencia a compresión, densidad seca y retracción por secado, esta norma especifica los procedimientos para obtener estos valores (métodos de ensayo, aparatos involucrados y formulas necesarias) y además entrega los valores mínimos, promedios y máximos que las unidades deben cumplir según clase.

Tabla 4.4: Requisitos de Resistencia a Compresión y Densidad

Clase	Resistencia, MPa		Densidad nominal kg/m ³	Densidad (límites) kg/m ³	Retracción máxima %
	Mínima	Promedio			
PAAC - 2	2.0	2.5	400 500	350-450 450-550	≤ 0.02
PAAC - 4	4.0	5	500 600 700 800	450-550 550-650 650-750 750-850	
PAAC - 6	6.0	7.5	600 700 800	550-650 650-750 750-850	

Finalmente indica que las dimensiones de los bloques deben ser declaradas por el fabricante y que estas no pueden diferir con respecto a la declarada en más de 3 mm.

4.3 Norma UNE-EN 771-4:2004 “Especificaciones de piezas de fábrica de albañilería, Parte 4: Bloques de hormigón celular curado en autoclave”

Esta norma especifica las características y los requisitos de comportamiento de los bloques de HCA usados principalmente tanto para muros estructurales como para tabiques, divisiones de contención incluyendo muros corta fuego.

Indica que los bloques de hormigón curado en autoclave (HCA) deben ser fabricados usando: “ligantes hidráulicos tales como cemento y/o cal, combinado con materiales finos de naturaleza silicea, materiales aireantes y agua, y curados con vapor de agua a alta presión en autoclaves.”

Las dimensiones máximas y sus tolerancias deben ser declaradas en milímetros, y ceñirse a los valores correspondientes que esta Norma indica, los que corresponden a:

Tabla 4.5: Dimensiones máximas para los bloques de HCA

	Dimensiones en milímetros
Longitud	1500
Anchura	600
Altura	1000

Tabla 4.6: Desviaciones límites en milímetros para bloques de forma regular

Dimensiones	Elementos HCA para elevación con juntas de:		
	Mortero de uso general y mortero ligero	Capa fina de mortero	
		GPLM	TLMA
Longitud	+ 3 - 5	± 3	± 1,5
Altura	+ 3 - 5	± 2	± 1,0
Anchura	± 3	± 2	± 1,5
Planeidad de las caras de apoyo	No requerido	No requerido	≤ 1,0
Paralelismo de las caras de apoyo	No requerido	No requerido	≤ 1,0

Esta norma no limita la densidad máxima de los bloques, aunque si menciona que la densidad seca absoluta se encuentra “normalmente dentro del rango 300 kg/m³ y 1000 kg/m³” y hace referencia a que la densidad declarada con la medida no deben diferir en mas de 50 kg/m³.

En cuanto a la resistencia a compresión de las unidades no indica valores de referencia, sólo indica que ésta no puede ser menor a 1,5 N/mm² (1,5 MPa). Además se refiere al contenido de humedad de las probetas al momento de ensayarlas, el cual debe ser de 6% +/- 2%.

De las propiedades características generales de los bloques, como son las propiedades térmicas, durabilidad, variación debida a la humedad, permeabilidad al vapor de agua, absorción de agua, reacción al fuego, la Normativa vigente indica, en general, que permitirá medir las propiedades y con esto el fabricante debe declarar los valores, cuando corresponda según su utilización. En particular para la durabilidad, menciona que, cuando corresponda, el fabricante debe declarar la resistencia a los ciclos hielo/deshielo de los bloques.

Finalmente especifica y detalla los ítems que se deben cumplir para la descripción, designación y clasificación de los bloques, como también su marcado y evaluación de la conformidad con la presente norma.

Capitulo 5 Estudio experimental de comportamiento frente a la humedad del HCA

5.1 Introducción

En éste capitulo se detallan los ensayos realizados para caracterizar las distintas propiedades del HCA relacionadas con el comportamiento frente a la humedad y su estabilidad dimensional, además de sus propiedades mecánicas básicas como son la resistencia a compresión y a tracción. Finalmente se presentan los resultados obtenidos para probetas de prueba, los que permitieron verificar los supuestos tomados para los ciclos de humedad-secado.

5.2 Variación dimensional en ciclos humedad-secado

La metodología adoptada para esta parte del estudio se basa en el ensayo RILEM correspondiente y en los métodos de ensayo de la Norma UNE-EN 771-4:2005, para comportamiento de unidades de albañilería frente a variaciones en el nivel de humedad ambiental.

El ensayo consiste en exponer dos grupos de probetas a ciclos consecutivos de humedad y secado consecutivos, registrando los valores para la variación dimensional del material. Ambos grupos se diferenciarán en la capacidad de absorción de agua por capilaridad, a un grupo se le aplicará un tratamiento hidrófugo y el otro se colocará en su estado natural.

Equipos utilizados:

- Balanza, con precisión de 0,1 g.
- Extensómetro Huggenberger, precisión de 0,0001 pulgadas.
- Ambiente controlado con temperatura 20 +/- 2°C, y humedad relativa de 95 +/- 5%
- Estufa ventilada, capaz de mantener una temperatura de 50 +/- 5 °C.



Balanza, precisión de 0,1 g



Extensómetro Huggenberger

Figura N° 5.1: Equipos utilizados

Preparación de las Probetas:

A partir de cada bloque G4, de 15 cm de espesor, se cortan tres probetas, una en cada tercio del bloque (superior, inferior y central) de acuerdo a norma chilena NCH2432 of.99. Las dimensiones de cada probeta son 40 x 40 x 350 mm. Se ensayan un total de 18 probetas, de las cuales, 9 son previamente impregnadas con un tratamiento hidrófugo a base de silicona.

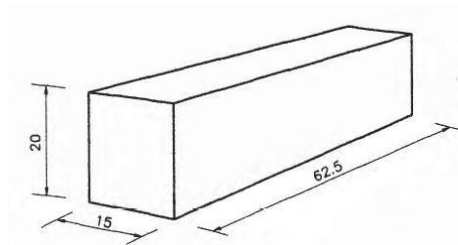


Figura N° 5.2: Dimensiones del bloque tipo

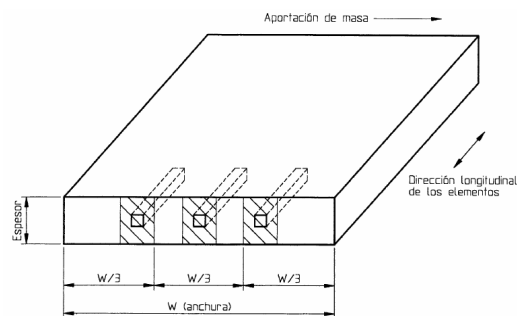


Figura N° 5.3: Esquema de muestreo según Norma NCH2432 Of.99

Para efectos de medir la variación dimensional, se instalan topes en los extremos de cada una de las 18 probetas, la separación de los topes la fija una barra calibrada del equipo Huggenberger y se adosan los topes mediante un pegamento epóxico el cual no sufre variaciones con las temperaturas y humedades involucradas.



Figura N° 5.4: Probetas para Ensayo de ciclos

Procedimiento:

Las probetas se colocan en el ambiente controlado a una temperatura de 20 ± 2 °C y a humedad de $95 \pm 5\%$, hasta alcanzar masa constante. Se toman repetidas medidas hasta alcanzar lecturas consecutivas, que difieran en no mas de un máximo de 0.2% en masa (criterio de masa constante). En ese momento se procede a medir la variación longitudinal con el extensómetro Huggenberger, tanto en las probetas como en la barra patrón, esto último para efectuar las correcciones por temperatura correspondientes.



Figura N° 5.5: Probetas en Cámara Húmeda

Posteriormente se procede a secar la muestra en la estufa ventilada a 50 ± 5 °C hasta que se obtenga una masa constante, estado que se obtiene cuando, después de al menos 24 horas de secado, la masa no cambia en más de un 0.2% para 2 medidas consecutivas. Una vez lograda esta condición, se procede a medir nuevamente la variación longitudinal con el extensómetro.

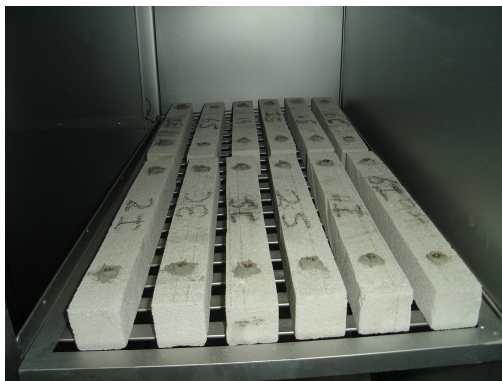


Figura N° 5.6: Probetas en Estufa Ventilada

Se repite el proceso por 2 ciclos adicionales, registrándose los cambios dimensionales para las probetas con y sin tratamiento hidrófugo. Estos últimos ciclos tienen la particularidad, de que el peso inicial de las probetas será el peso seco; en cambio para el primer ciclo, el peso inicial es aquel que considera el contenido de humedad de los bloques al momento de su puesta en obra.

5.3 Capacidad de absorción de agua por succión

Para medir la absorción por succión se adoptarán dos metodologías, una de la Norma NCH 167 Of.2001 (Ensayos para ladrillos cerámicos) y la segunda a la Norma Europea UNE-EN 771-4: 2003. Estas Normas difieren en la definición y cálculo de la capacidad de absorción, así también consideran distintos criterios para realizar el ensayo. Respectivamente las Normas indican:

- Norma NCH 167 Of.2001: una medición, transcurrido 1 minuto de entrar la probeta en contacto con el agua.
- Norma Europea UNE-EN 771-4:2003: tres mediciones, a los 10, 30 y 90 minutos.

Equipos a utilizar:

- Balanza, con precisión de 0,1 g.
- Un recipiente limpio y soportes que permitan mantener las probetas parcialmente sumergidas, cubriendo un mínimo del área.
- Estufa ventilada, capaz de mantener una temperatura de 70 ± 5 °C.

Probetas:

Se ensayaron 3 cubos de arista 100 mm, obtenidos de forma aleatoria, a partir de los bloques originales.



Figura N° 5.7: Probetas para Ensayo de Absorción por Succión

Procedimiento:

Se secan las probetas en estufa ventilada, a temperatura de 70 ± 5 °C, hasta lograr masa constante (diferencia entre dos mediciones consecutivas del peso no exceda el 0.1% de la masa total). Las probetas se dejan enfriar a temperatura ambiente, se registra su peso P_i y se mide la superficie bruta de apoyo, A_s (superficie que estará sumergida). Se llena el recipiente con agua destilada hasta que los soportes queden sumergidos 5 ± 1 mm bajo el nivel de agua, como se muestra en la figura 5.8, posteriormente, se colocan las probetas sobre los soportes logrando que los cubos se

sumerjan a la profundidad requerida durante toda la duración del ensayo. En cada medición se procede a retirar el cubo y secar con un paño húmedo los excedentes de agua y se pesan nuevamente para obtener P1, P10, P30 y P90 respectivamente. Finalmente se calcula la absorción según las Normas antes mencionadas.



Figura N° 5.8: Ensayo de Absorción por Succión

5.4 Ascensión capilar

La obtención de los valores para la ascensión capilar en el Hormigón Celular, se realiza paralelamente al ensayo de absorción por succión, esto significa que, cada vez que se realiza una medición de peso para medir la absorción (a los 1, 10, 30 y 90 minutos), se realiza la medición de la ascensión capilar (en mm) en forma simultánea.

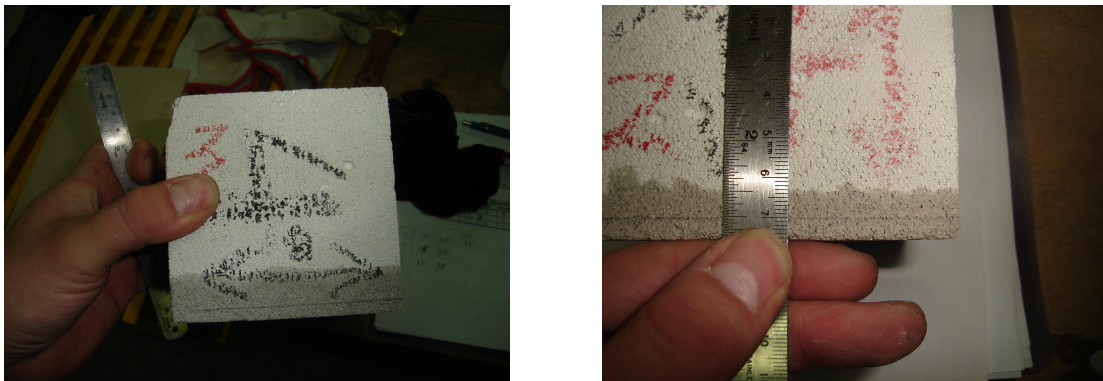


Figura N° 5.9: Ascensión capilar

5.5 Resistencia Mecánica

5.5.1 Resistencia a compresión

Para realizar este ensayo, se utiliza la metodología detallada en RILEM AAC 2.2, tal como recomienda la norma NCH 2432 of.99 en el anexo A, para propósitos de control. Para este efecto se procede como se detalla a continuación:

Equipos utilizados:

- Balanza, con precisión de 0.1 g.
- Habitación con temperatura controlada de $20 \pm 2^\circ\text{C}$,
- Estufa ventilada, capaz de mantener una temperatura de $50 \pm 5^\circ\text{C}$.
- Equipo de carga a compresión que permita cargar a una velocidad de 0,1 MPa/s.

Probetas:

Se ensayan 3 cubos de arista 100 mm, los que se obtienen de forma aleatoria, a partir de los bloques originales y con esto se determina la resistencia característica del material.



Figura N° 5.10: Probetas para Ensayo a Compresión

Procedimiento:

Se miden las dimensiones de dos caras opuestas para obtener el área que será cargada (A1 y A2), estas áreas deben estar orientadas de forma tal que, la dirección de carga sea perpendicular a la dirección del espesor del bloque original. Posteriormente, se coloca cada cubo en la máquina y se somete a la carga de compresión, a una velocidad de 0,1 MPa/s.

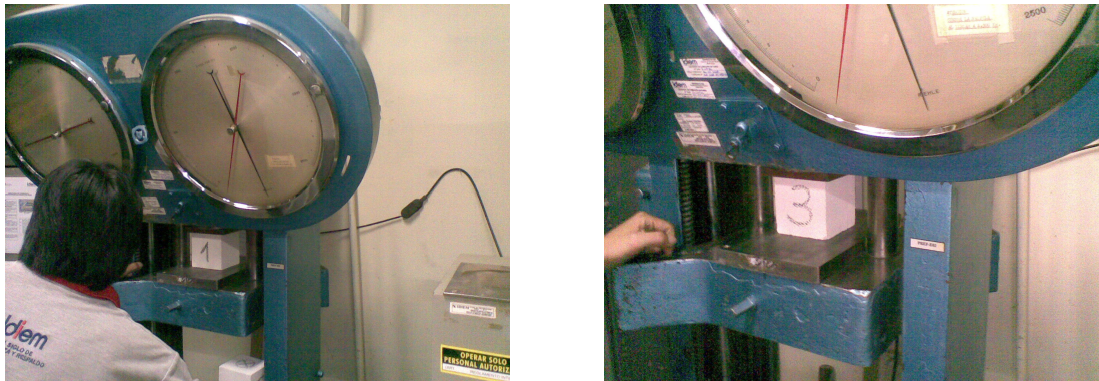


Figura N° 5.11: Ensayo a Compresión

5.5.2 Resistencia a tracción directa

Este ensayo permite obtener la curva tensión v/s deformación del material junto con caracterizar su capacidad de deformación permitiendo de esta forma, ligar el comportamiento en los ciclos de humedad-secado con la eventual fisuración en servicio. Para este ensayo no existe norma vigente relacionada para este material.

Equipos a utilizados:

- Balanza, con precisión de 0.1 g.
- Estufa ventilada, capaz de mantener una temperatura de 50 +/- 5 °C.
- Máquina de ensayos para Tracción Directa. (Monsanto)

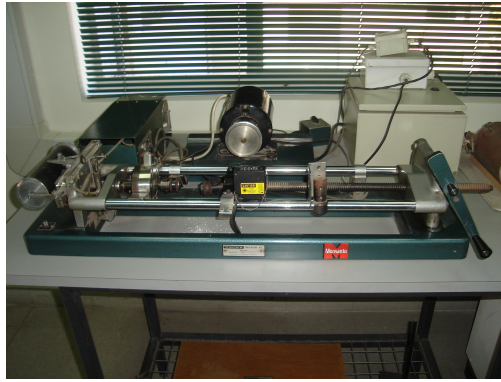


Figura Nº 5.12: Equipo Monsanto

Probetas:

Se ensayaron 3 testigos cilíndricos de diámetro 2" (5,08cm), los que se obtienen de forma aleatoria, a partir de bloques de la misma procedencia que los utilizados en todos los ensayos.



Figura Nº 5.13: Probetas cilíndricas para Ensayo a Tracción Directa

Procedimiento:

Se miden los diámetros de los cilindros en tres puntos (centro, superior e inferior) para lograr un promedio y obtener el área involucrada, ésta es paralela a un corte transversal de un bloque. Posteriormente, se adosan mediante un pegamento epóxico platos con rótulas para la aplicación de la carga de tracción. Posteriormente se procede con el ensayo y se obtienen las curvas tensión v/s deformación correspondientes.

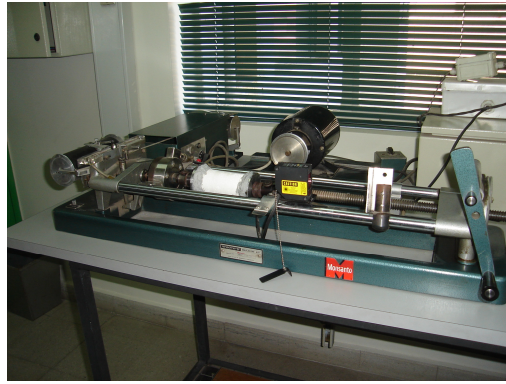


Figura N° 5.14: Ensayo a Tracción

5.6 Solución de reparación

Para la realización de estos ensayos se procederá de la misma manera que para el ensayo de tracción, para obtener la curva tensión v/s deformación del material reparado junto con caracterizar su capacidad de alargamiento y así lograr validar esta propuesta de reparación.

Como se indico en el Capitulo 2, debido a la mala disposición del fabricante de las pastas utilizadas en la solución de reparación original (pasta acrílica elástica y elastocril), se hizo necesario cambiar estos materiales y realizar una nueva propuesta la cual es producida por Productos CAVE y se denomina Mortero Cementicio Fino.

Equipos a utilizar:

- Balanza, con precisión de 0.1 g.
- Estufa ventilada, capaz de mantener una temperatura de $50\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Maquina de ensayos para Tracción Directa. (Monsanto)

Probetas:

Se ensayaron 3 testigos cilíndricos de diámetro nominal 2" (5,08cm) previamente fracturados, y a los cuales se les aplicará la solución de reparación compuesta por el mortero cementicio fino y la malla de fibra de vidrio, punto 2.9.



Figura N° 5.15: Probetas cilíndricas para Ensayo de Solución de Reparación

Procedimiento:

Posterior a la aplicación de la solución de reparación, las probetas fueron ensayadas a tracción directa obteniéndose la curva carga deformación de igual forma que la obtenida para caracterizar el comportamiento del material original.

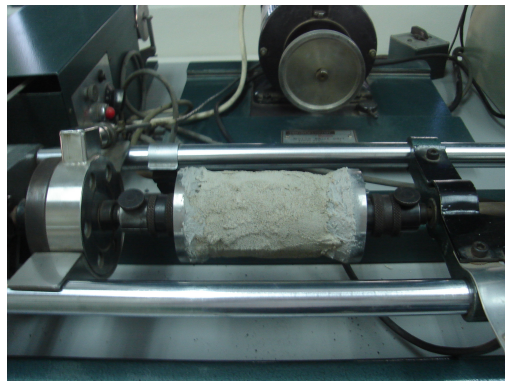


Figura N° 5.16: Ensayo a Tracción de Solución de Reparación

5.7 Resultados

Previamente a los ensayos descritos, se realizó una prueba conformada por tres probetas cortadas de un bloque, correspondiente a los tercios respectivos, con el fin de verificar el comportamiento del material y el cumplimiento de los supuestos tomados de absorción en cámara, estabilización de peso y secado. Los resultados de esta prueba se presentan en la Tabla N° 5.1:

Tabla N° 5.1: Absorción de humedad en etapa de prueba

Probeta		Día							
		0	1	2	3	4	5	6	7
Peso [g]	S	442,3		447,2			455,4	456,0	456,4
	C	428,1		432,2			439,7	441,1	441,8
	I	422,4		425,4			431,6	433,1	433,2

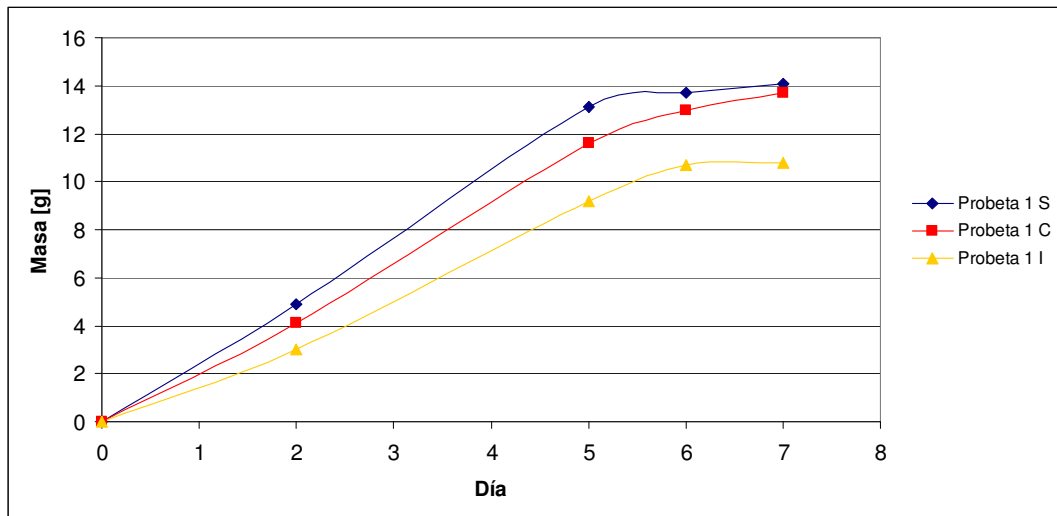


Figura N° 5.17: Absorción acumulada en etapa de prueba

Tabla N° 5.2: Secado en estufa ventilada

Probeta		Día		
		0	1	2
Peso [g]	S	454,6	378,5	377,8
	C	439,2	364,4	363,6
	I	433,2	356,1	354,5

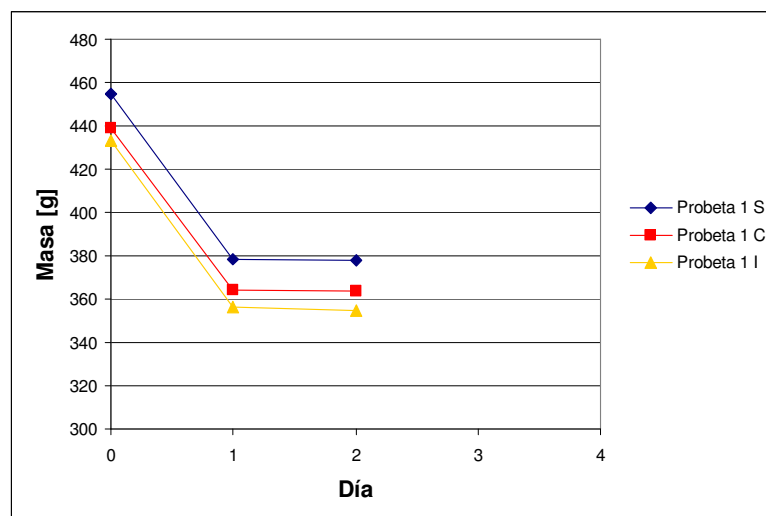


Figura N° 5.18: Pérdida de humedad para probetas de prueba

A partir de los resultados obtenidos, es posible inferir que, tanto para la absorción en cámara húmeda como en el secado en estufa ventilada, se logra la estabilización del peso en un cierto período razonable de tiempo. Además se observa y registra que efectivamente existe una absorción importante al exponer las probetas en un ambiente húmedo. A partir de estos resultados, el ensayo resulta factible y los criterios adoptados se mantendrán.

5.8 Fisuración observada para probeta secada a 110°C

Durante la preparación de los ensayos una de las posibilidades que se manejaban para los ensayos a tracción, fue realizarlos para testigos de 6" de diámetro, ya que en sala de maquinas se dispone de equipos para medir las deformaciones y la carga para este tipo de probetas. Éstos testigos fueron cortados de bloques tipo G4 y puestos a secar de acuerdo a las condiciones que la norma NCH 2432 Of.99 indica, es decir, a 105 +/- 5°C. Una vez logrado el estado de masa constante, se procedió a estabilizar las probetas a temperatura y humedad ambiente (26°C y 36% H.R.) y posteriormente se procedió a prepararlas para el ensayo a tracción.

Durante este proceso se detectó un inconveniente, al cabo de 2 días (aprox.) de retiradas las probetas de la estufa, éstas presentaron fisuras generalizadas tanto en su

manto como en los extremos, atribuibles al cambio de temperatura. Dada la inercia térmica del material éste se enfría superficialmente pero en su interior mantenía una elevada temperatura, lo que presumiblemente produjo el efecto de fisuración por tensiones internas en la capa superficial.

Es importante hacer referencia a este hecho, ya que tanto la Norma chilena como la americana permiten el secado de las probetas a esta temperatura, la Norma europea, en cambio, indica el secado de las probetas a una menor temperatura, con la cual el choque térmico se disminuye y podría evitarse la obtención de resultados erróneos y problemas en la preparación de las probetas.

A continuación, en las Figuras 5.19 y 5.20 se puede observar el nivel de fisuración que presentaron esas probetas:



Figura N° 5.19: Probeta N°1 fisurada al enfriarse después de secado en horno a 110°C



Figura N° 5.20: Probeta N°2 fisurada al enfriarse después de secado en horno a 110°C

Capitulo 6 Resultados del estudio experimental

En el presente capitulo se presentan los resultados obtenidos en los ensayos de caracterización de las propiedades del HCA, explicados en el Capitulo 5, así como su comportamiento frente a la humedad y a su estabilidad dimensional.

6.1 Resistencia Mecánica

6.1.1 Resistencia a compresión

Como se explicó anteriormente, en el capitulo 5, se ensayaron tres probetas cúbicas de arista 100mm. Los resultados para la resistencia a compresión así como los estados finales de las probetas se presentan en la Tabla 6.1:

Tabla N° 6.1 Resistencia a Compresión

Bloque	Área [cm ²]	Carga [kgf]	Resistencia [kgf/cm ²]	Resistencia [MPa]
1	101,6	5156	50,7	5,1
3	101,5	4895	48,2	4,8
5	102,0	4557	44,7	4,5
Promedio de Resistencia			47,9	4,8

A continuación se muestra el estado final de las probetas, luego del ensayo:



Figura N° 6.1: Ensayo a Compresión Bloque 1



Figura N° 6.2: Ensayo a Compresión Bloque 3



Figura N° 6.3: Ensayo a Compresión Bloque 5

De los valores obtenidos para la resistencia a compresión es posible afirmar que éstos son consistentes con la clasificación que utiliza la Norma NCH2432 Of.99, según el tipo de bloque, los bloques utilizados en el estudio son del tipo G4 y por lo tanto su resistencia mínima debe ser de 4 MPa (40 Kg/cm²) por unidad, valor superado por todas las probetas.

6.1.2 Resistencia a tracción directa

Tal como se detalló en el capítulo anterior se procedió con el ensayo a tracción para tres probetas cilíndricas de diámetro nominal 2" (5.08 cm). Los resultados obtenidos para el ensayo de resistencia a tracción, las curvas tensión v/s deformación y los estados finales de las probetas se presentan a continuación:

Tabla N° 6.2: Resistencia a Tracción

Testigo	Área [cm ²]	Carga [kgf]	Resistencia [kgf/cm ²]	Resistencia [MPa]
1	23,06	118,5	5,1	0,51
2	23,05	137,6	6,0	0,60
3	23,08	95,1	4,1	0,41
Promedio de Resistencia			5,1	0,51

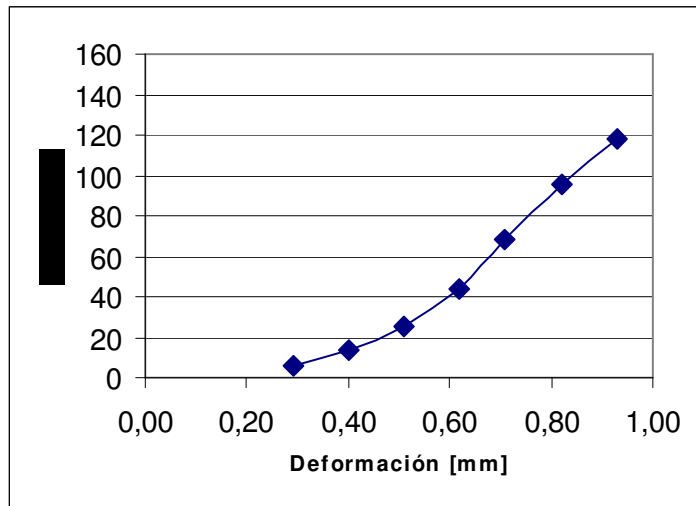


Figura N° 6.4: Curva tensión v/s deformación testigo 1

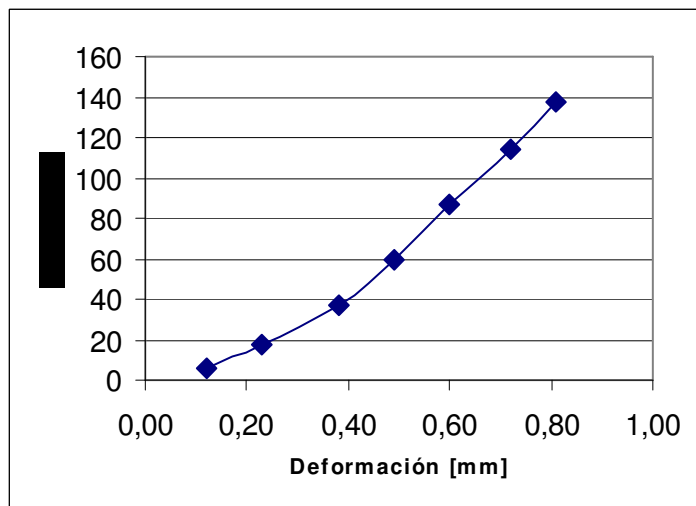


Figura N° 6.5: Curva tensión v/s deformación testigo 2

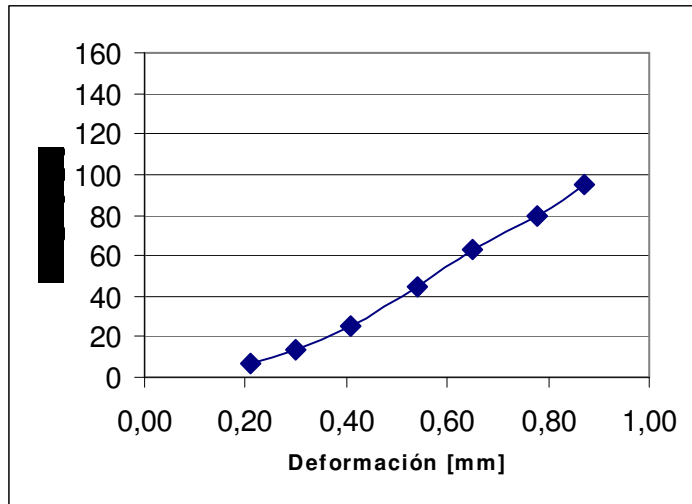


Figura N° 6.6: Curva tensión v/s deformación testigo 3

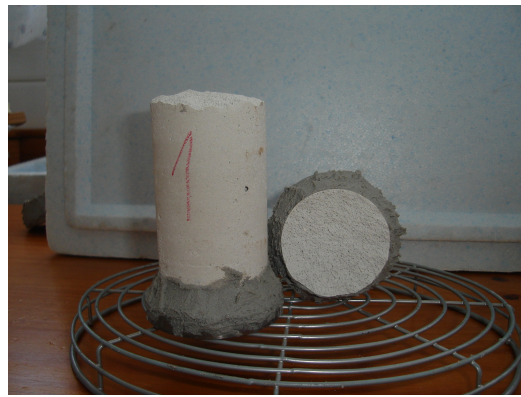


Figura N° 6.7: Ensayo a tracción testigo 1



Figura N° 6.8: Ensayo a tracción testigo 2



Figura N° 6.9: Ensayo a tracción testigo 3

A partir de la Tabla 6.2, resultados obtenidos para la resistencia a tracción directa, se observa que los valores están en torno al 10% de la resistencia a compresión lo que es un valor esperable según la literatura en general. Sin embargo, estos valores no son los esperados por la Norma NCh2432 Of.99, la cual indica en el Anexo B que “la resistencia a tracción directa es alrededor del 15% al 35% de la resistencia a compresión”, y por tanto su resistencia mínima debiera ser de 0.67 MPa (6.7 kgf/cm²).

6.2 Capacidad de absorción de agua por succión

La absorción de agua por succión se midió en 4 intervalos de tiempo, mencionados en el capítulo anterior, y se calculó para cada una de las Normas, según las formulas correspondientes, indicadas más adelante.

Tabla N° 6.3: Absorción por succión para cada intervalo de tiempo

Bloque	Peso (g)				
	Inicial	1 min	10 min	30 min	90 min
2	0,00	15,76	29,38	41,44	58,38
4	0,00	19,37	38,71	49,17	67,91
6	0,00	14,52	31,53	42,42	59,38

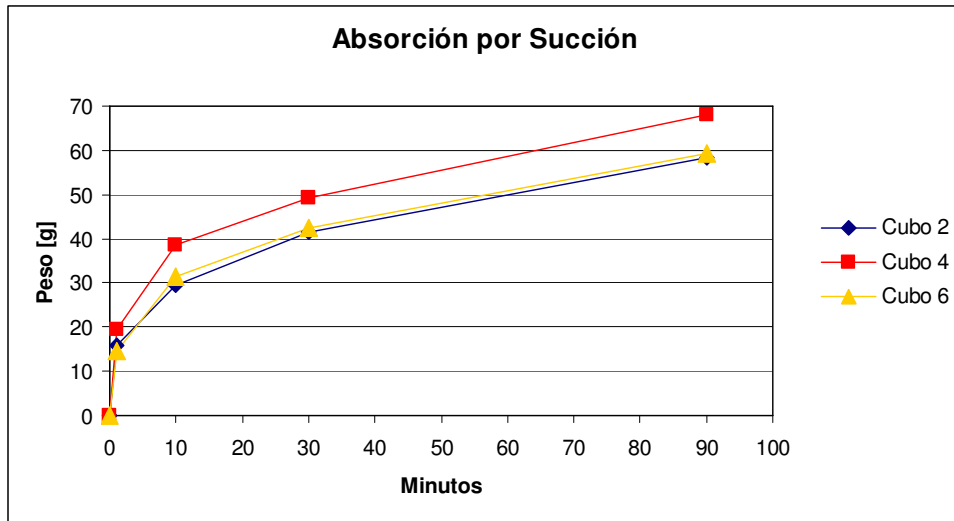


Figura N° 6.10: Absorción para cada intervalo de tiempo

A partir de los valores de la Tabla 6.3, es posible calcular la absorción por unidad de tiempo de acuerdo a las fórmulas indicadas en cada una de las normas:

- Norma NCH 167 Of.2001

$$S = \frac{P_2 - P_1}{A_s}$$

- Norma Europea UNE-EN 771-4: 2003

$$C = \frac{P_2 - P_1}{A_s \times \sqrt{t_{so}}} \times 10^6$$

Donde:

S: Absorción según NCh 167 Of.2001

C: Absorción UNE-EN 771-4: 2003

P₂: Peso final de la probeta, en el período de tiempo respectivo.

P₁: Peso Seco de la probeta.

A_s: Área bruta de la superficie sumergida.

T_{so}: Tiempo de inmersión.

Tabla N° 6.4: Absorción según NCH167 Of.2001

Bloque	Largo [cm]	Ancho [cm]	Área [cm ²]	Absorción [g/cm ² xmin]
2	10,07	10,05	101,16	0,16
4	10,50	10,85	113,99	0,17
6	10,10	10,01	101,05	0,14

Tabla N° 6.5: Absorción según UNE-EN 771-4: 2003

Bloque	Largo [mm]	Ancho [mm]	Área [mm ²]	Absorción [g/m ² x s ^{0,5}]		
				10 min	30 min	90 min
2	100,71	100,45	10116,32	118,56	96,55	78,53
4	105,04	108,52	11398,94	138,64	101,67	81,07
6	100,96	100,09	10105,09	127,38	98,95	79,97

De los resultados obtenidos se observa que el nivel de absorción que presenta este material al cabo de 90 minutos de contacto con el agua, está en torno al 9% de la masa inicial, lo que se considera un valor medianamente alto, si se considera que se está trabajando con un material cuyos poros no son interconectados y que se presenta como un material de baja absorción.

6.3 Ascensión capilar

Los valores de succión medidos para cada una de las probetas cúbicas, según el procedimiento antes descrito, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla N° 6.6: Ascensión medida en cada intervalo de tiempo

Cubo	Ascensión [mm]				
	Inicial	1 min.	10 min.	30 min.	90 min.
2	0	7	9	12	16
4	0	7	10	13	20
6	0	6	10	12	17

Esquemáticamente se muestran, a continuación, imágenes comparativas para cada cubo. Se observa, inicialmente, el nivel de ascensión que se registró transcurrido un minuto de exposición al agua y posteriormente, el nivel que se obtuvo transcurridos 90

minutos. La línea inferior que se observa en las imágenes, indica el nivel al cual fueron sumergidas las probetas (5 mm) y sirve también, de referencia para las medidas.

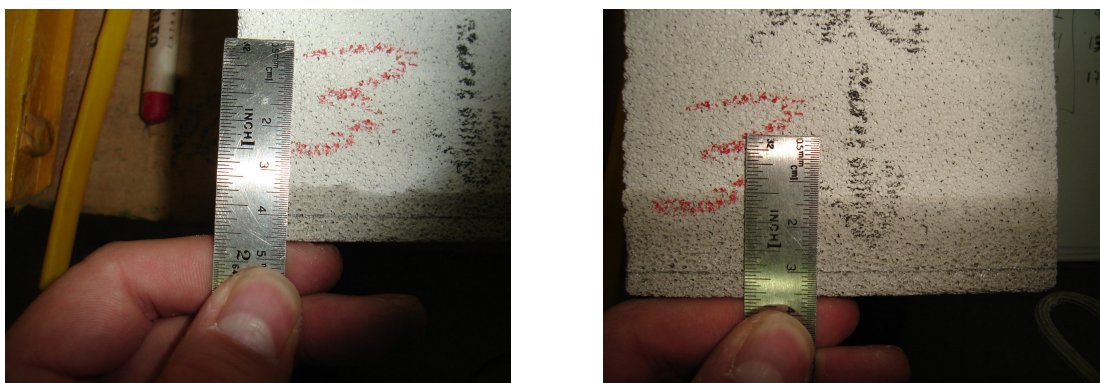


Figura N° 6.11: Ascensión observada en Cubo 2



Figura N° 6.12: Ascensión observada en Cubo 4

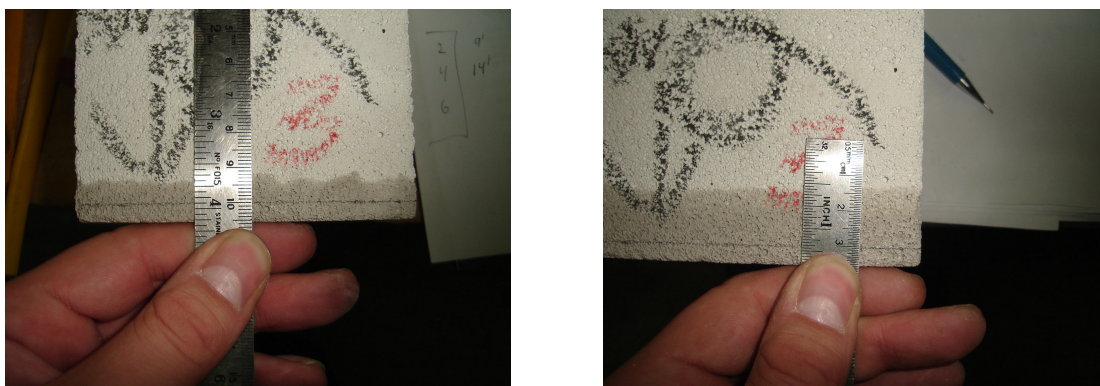


Figura N° 6.13: Ascensión observada en Cubo 6

En términos generales los valores medidos para las probetas en cada intervalo de tiempo se mantuvieron estables al ser comparados entre sí. Este comportamiento indica cierta uniformidad del material en cuanto al nivel de succión capilar.

6.4 Variación Dimensional en ciclos humedad-secado

Los resultados así como los valores relevantes obtenidos para cada una de las probetas en los distintos ciclos, se muestran a continuación, el registro detallado de esta experiencia se puede apreciar en los Anexos de este documento.

Tabla N° 6.7: Densidad de las probetas (humedad original)

Probeta	Largo [mm]	Alto [mm]	Ancho [mm]	Peso [gr]	Densidad [kg/m³]	Promedio [kg/m³]
1S	352,8	40,6	41,8	419,7	701	705
1C	353,8	38,8	42,1	406,1	705	
1I	352,3	39,0	39,0	379,1	708	
2S	352,5	41,7	39,8	387,4	664	669
2C	353,3	40,8	38,5	372,6	672	
2I	351,8	41,0	40,5	391,0	670	
3S	352,3	45,2	41,0	434,8	667	667
3C	353,0	41,7	40,7	392,4	656	
3I	352,8	44,4	41,0	434,3	677	
4S	354,3	41,1	39,4	385,7	672	671
4C	353,8	41,1	40,7	390,8	662	
4I	353,8	41,2	39,2	387,0	678	
5S	352,5	39,2	39,4	382,3	702	688
5C	353,5	39,6	39,5	376,4	682	
5I	352,3	40,8	39,6	385,0	678	
6S	353,8	40,1	41,1	397,3	682	687
6C	352,8	39,7	40,2	388,4	690	
6I	352,0	39,9	39,2	378,3	688	

Es importante recordar, que las probetas se cortaron de cada uno de los tercios de los bloques y para identificar cada probeta se identificó con la letra S a la superior, C a la central e I ala inferior. Por otra parte se observa un efecto del tratamiento de hidrofugación que se les aplico a la probetas 4, 5 y 6.

Tabla N° 6.8: Absorción de humedad al final de cada ciclo

Probeta		Peso seco [g]	P. final Ciclo 1 [g]	P. final Ciclo 2 [g]	P. final Ciclo 3 [g]	C. H. final Ciclo 1 [%]	C. H. final Ciclo 2 [%]	C. H. final Ciclo 3 [%]
1	S	419,7	528,0	455,0	457,5	25,8	8,4	9,0
	C	406,1	505,6	433,3	440,9	24,5	6,7	8,6
	I	379,1	479,0	404,5	419,5	26,4	6,7	10,7
2	S	387,4	452,5	421,8	424,0	16,8	8,9	9,4
	C	372,6	468,2	396,8	411,5	25,7	6,5	10,5
	I	391,0	490,6	416,8	427,6	25,5	6,6	9,4
3	S	434,8	520,8	462,5	480,9	19,8	6,4	10,6
	C	392,4	487,2	425,7	426,1	24,2	8,5	8,6
	I	434,3	540,5	460,9	481,6	24,5	6,1	10,9
4	S	385,7	454,0	413,1	412,6	17,7	7,1	7,0
	C	390,8	458,4	413,1	417,9	17,3	5,7	6,9
	I	387,0	459,2	410,4	413,8	18,7	6,0	6,9
5	S	382,3	436,4	403,9	407,5	14,1	5,6	6,6
	C	376,4	438,4	400,9	402,6	16,5	6,5	7,0
	I	385,0	449,6	411,3	411,3	16,8	6,8	6,8
6	S	397,3	467,7	418,4	423,6	17,7	5,3	6,6
	C	388,4	459,0	409,1	413,8	18,2	5,3	6,5
	I	378,3	450,2	400,6	405,2	19,0	5,9	7,1

Los gráficos siguientes pretenden mostrar el nivel de absorción que se midió para cada una de las probetas durante los tres ciclos.

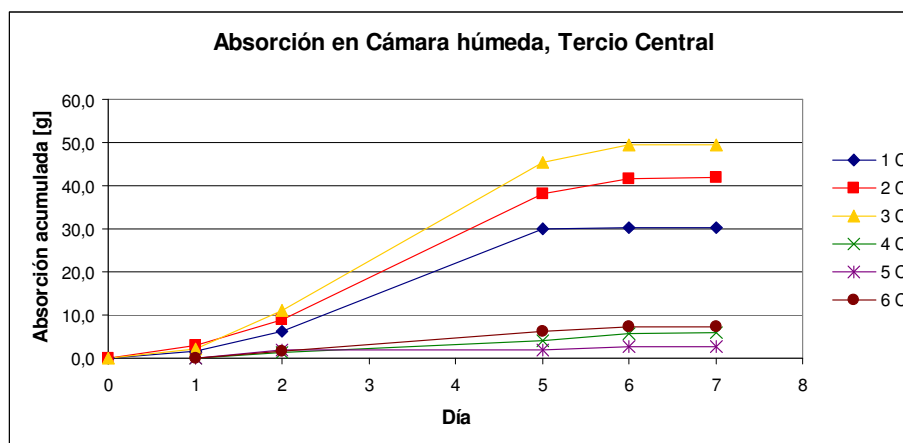


Figura N° 6.14: Absorción acumulada para el tercio Central en Primer Ciclo

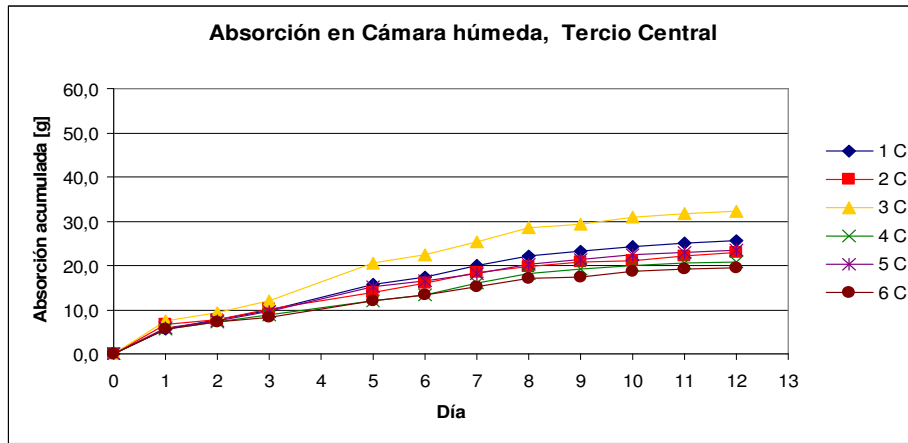


Figura N° 6.15: Absorción acumulada para el tercio Central en Segundo Ciclo

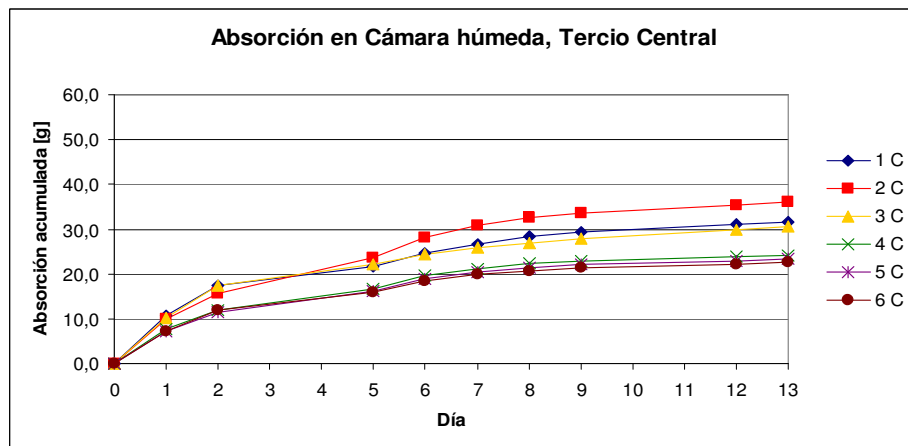


Figura N° 6.16: Absorción acumulada para el tercio Central en Tercer Ciclo

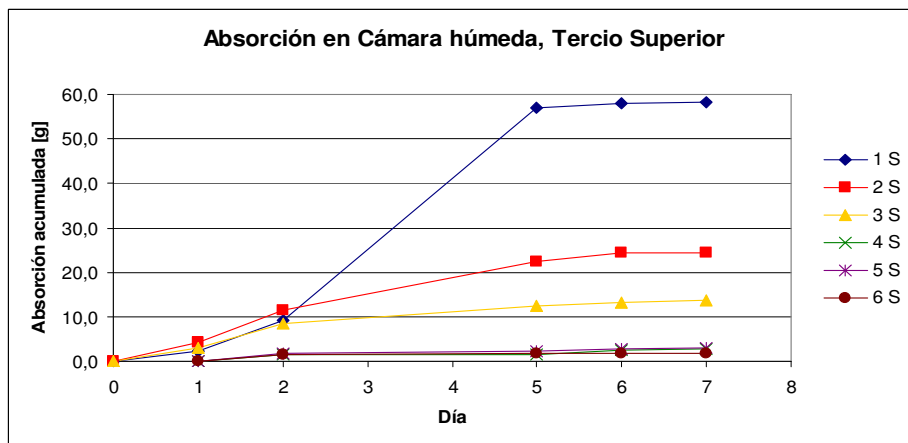


Figura N° 6.17: Absorción acumulada para el tercio Superior en Primer Ciclo

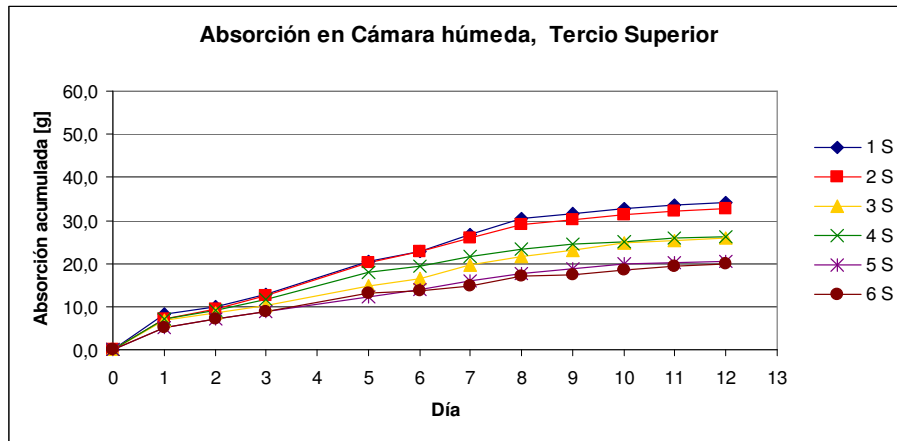


Figura Nº 6.18: Absorción acumulada para el tercio Superior en Segundo Ciclo

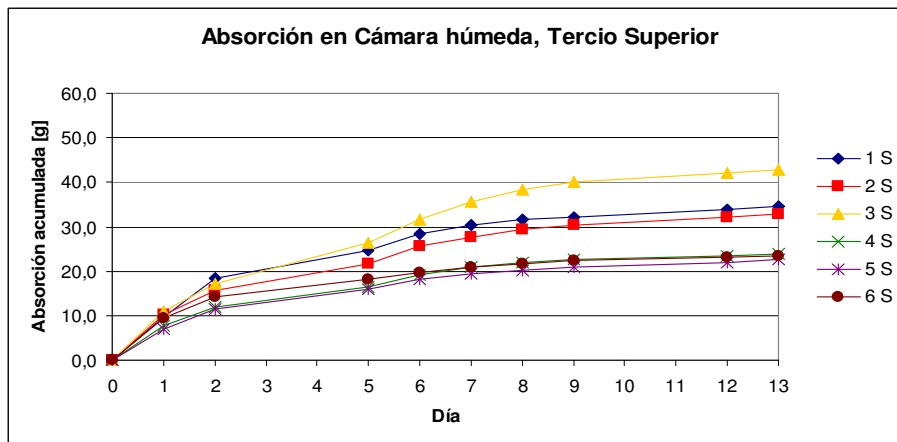


Figura Nº 6.19: Absorción acumulada para el tercio Superior en Tercer Ciclo

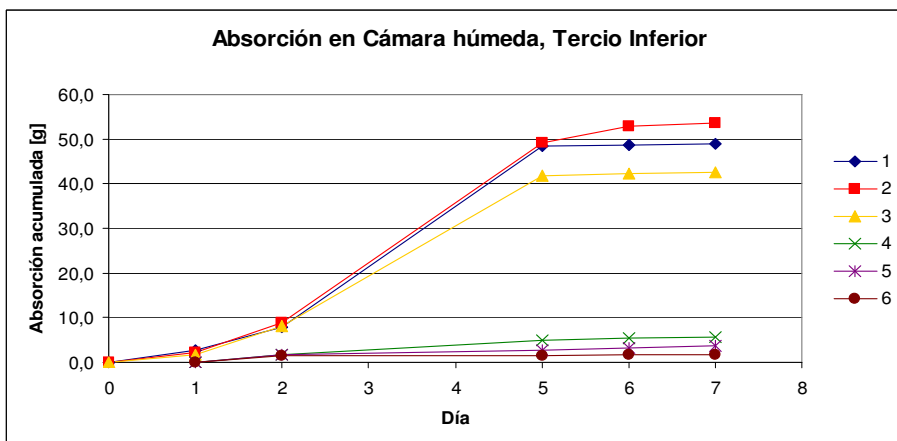


Figura Nº 6.20: Absorción acumulada para el tercio Inferior en Primer Ciclo

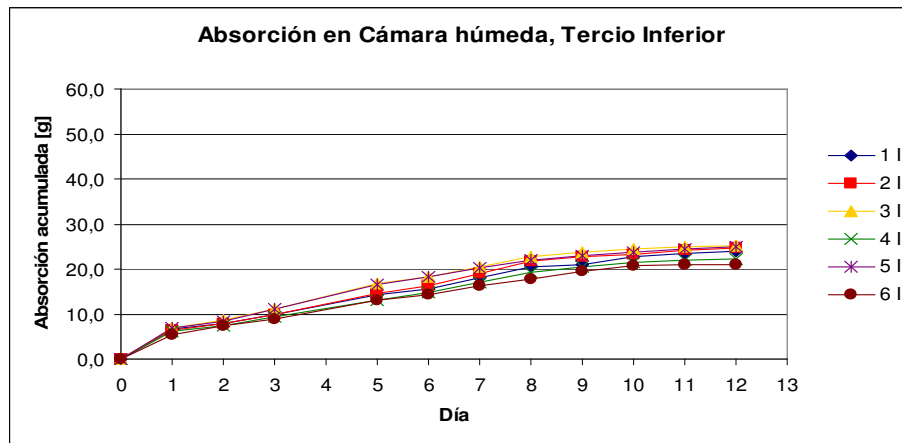


Figura N° 6.21: Absorción acumulada para el tercio Inferior en Segundo Ciclo

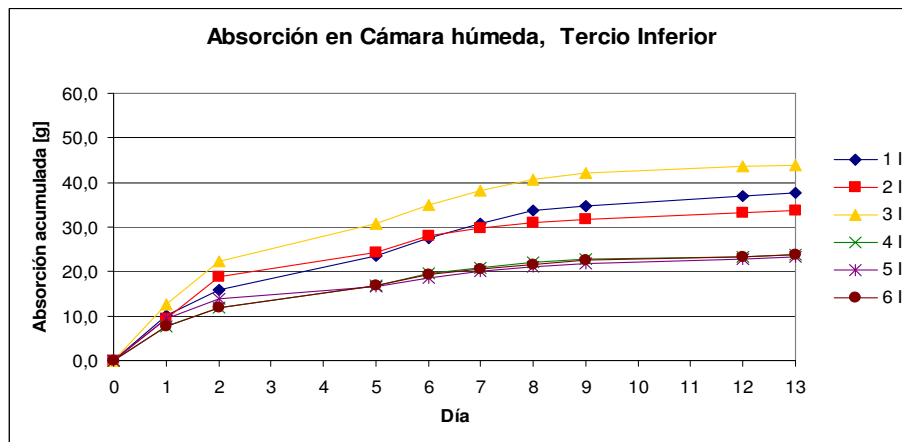


Figura N° 6.22: Absorción acumulada para el tercio Inferior en Tercer Ciclo

A continuación se presentan gráficos donde es posible observar el comportamiento de de las probetas, separadas por tercio, durante el proceso de secado posterior a cada uno de los tres ciclos de absorción de humedad en cámara.

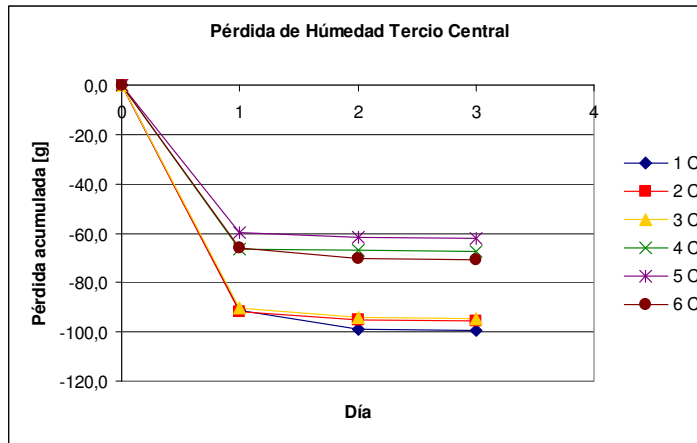


Figura N° 6.23: Pérdida de humedad para el tercio Central en Primer Ciclo

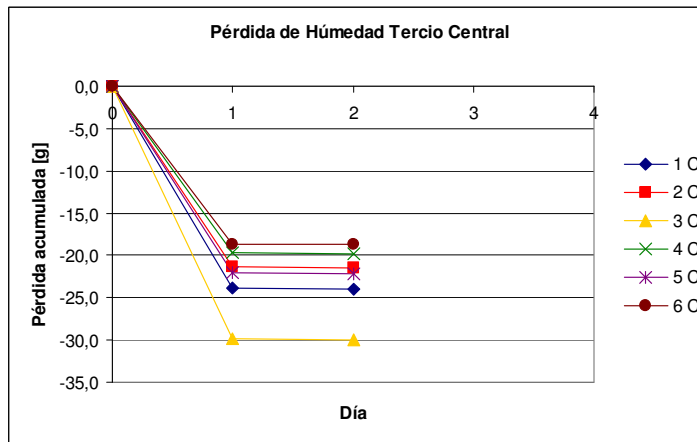


Figura N° 6.24: Pérdida de humedad para el tercio Central en Segundo Ciclo

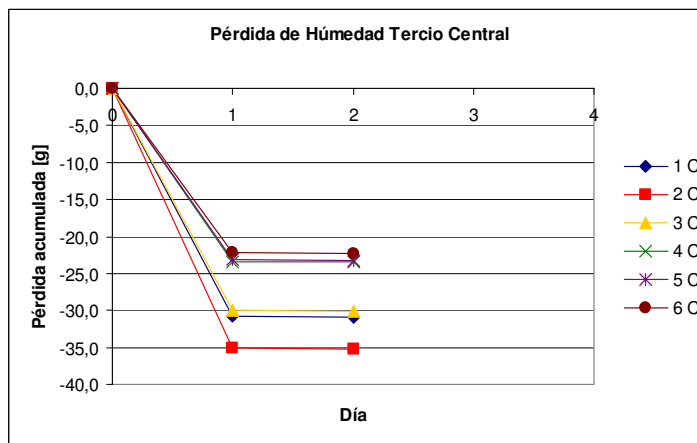


Figura N° 6.25: Pérdida de humedad para el tercio Central en Tercer Ciclo

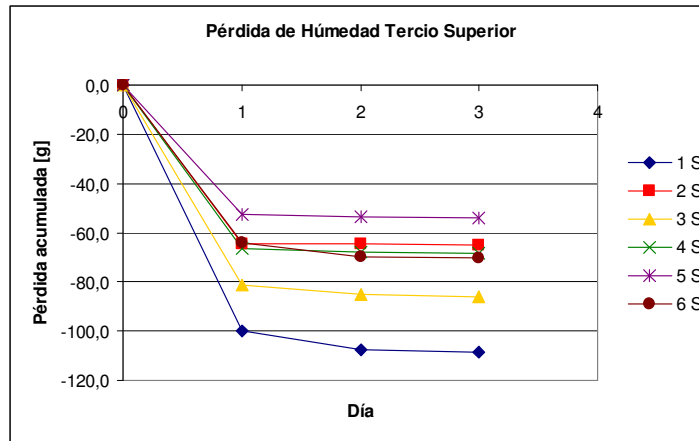


Figura N° 6.26: Pérdida de humedad para el tercio Superior en Primer Ciclo

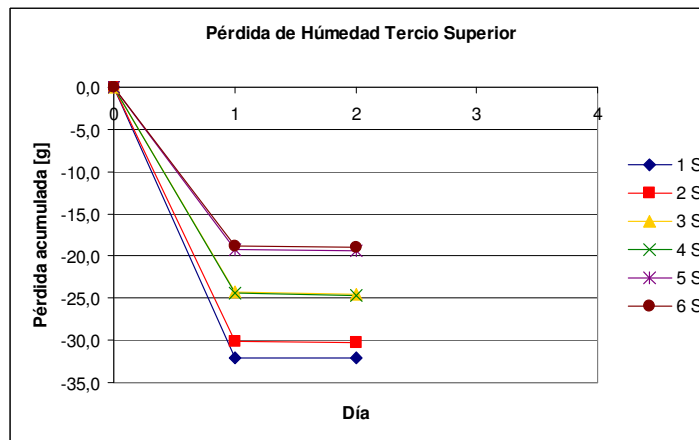


Figura N° 6.27: Pérdida de humedad para el tercio Superior en Segundo Ciclo

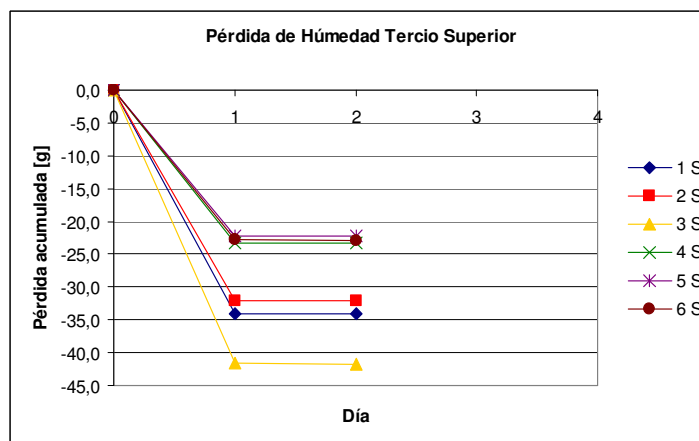


Figura N° 6.28: Pérdida de humedad para el tercio Superior en Tercer Ciclo

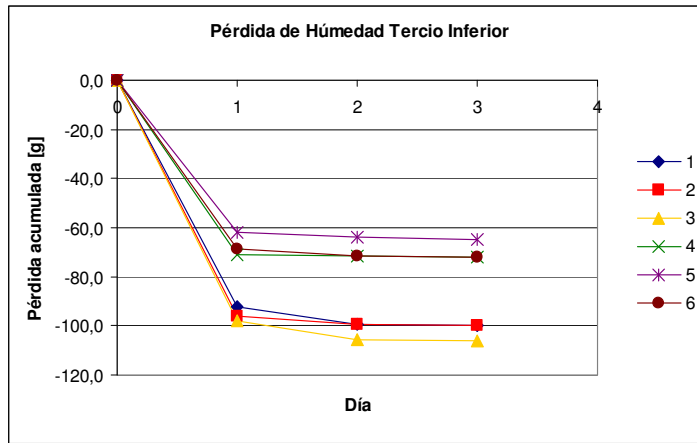


Figura Nº 6.29: Pérdida de humedad para el tercio Inferior en Primer Ciclo

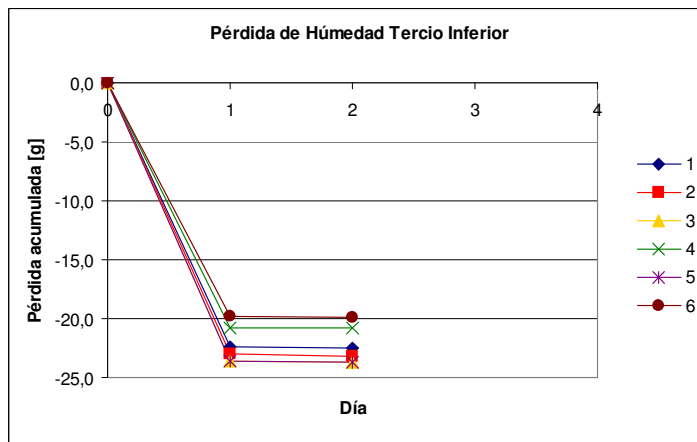


Figura Nº 6.30: Pérdida de humedad para el tercio Inferior en Segundo Ciclo

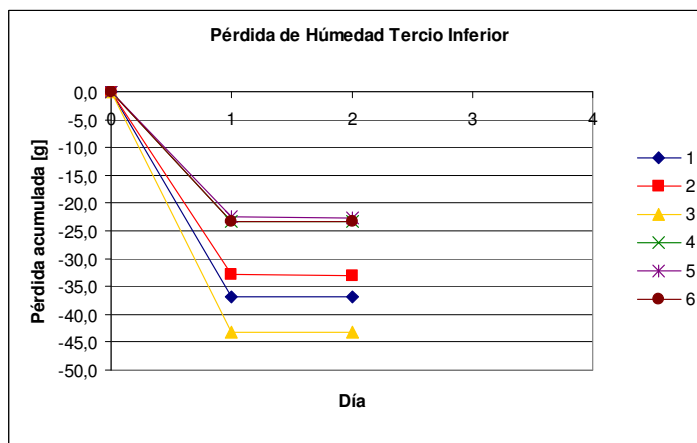


Figura Nº 6.31: Pérdida de humedad para el tercio Inferior en Tercer Ciclo

En los gráficos anteriores se identificaron, comportamientos que pueden ser asociados a ciertas situaciones características de los ensayos. Por ejemplo el efecto de aplicar el hidrofugante a las probetas se refleja considerablemente sólo en el primer ciclo, ya que en los dos posteriores no es tan evidente el resultado aunque se observa el efecto de todas formas. Otro punto relevante es el hecho de que al comenzar los ciclos 2 y 3 con las probetas secas, el contenido de humedad al final del ciclo baja considerablemente (al no tener una humedad inicial).

Por otro lado, se observa una acumulación de humedad remanente en las probetas al finalizar cada ciclo. Luego el peso seco que se obtiene de cada probeta, al final de cada ciclo no es el mismo que el del ciclo anterior, sino que registra un incremento en una pequeña fracción de su peso, lo que se muestra en la Tabla 6.9:

Tabla N° 6.9: Pesos secos para cada ciclo

Probeta		Peso seco ciclo 1 [g]	Peso seco ciclo 2 [g]	Peso seco ciclo 3 [g]
1	S	419,7	421,2	423,4
	C	406,1	407,9	410,0
	I	379,1	380,7	382,6
2	S	387,4	389,8	391,9
	C	372,6	374,3	376,3
	I	391,0	392,4	394,6
3	S	434,8	436,7	439,2
	C	392,4	394,0	396,0
	I	434,3	435,8	438,3
4	S	385,7	387,3	389,3
	C	390,8	392,4	394,4
	I	387,0	388,6	390,5
5	S	382,3	383,7	385,3
	C	376,4	377,7	379,4
	I	385,0	386,6	388,6
6	S	397,3	398,6	400,7
	C	388,4	389,7	391,5
	I	378,3	379,9	381,9

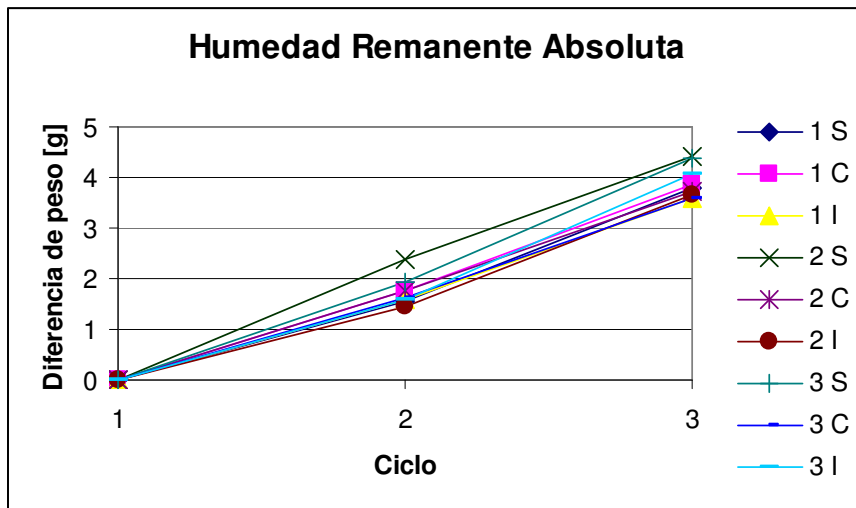


Figura N° 6.32: Humedad remanente para probetas no hidrofugadas

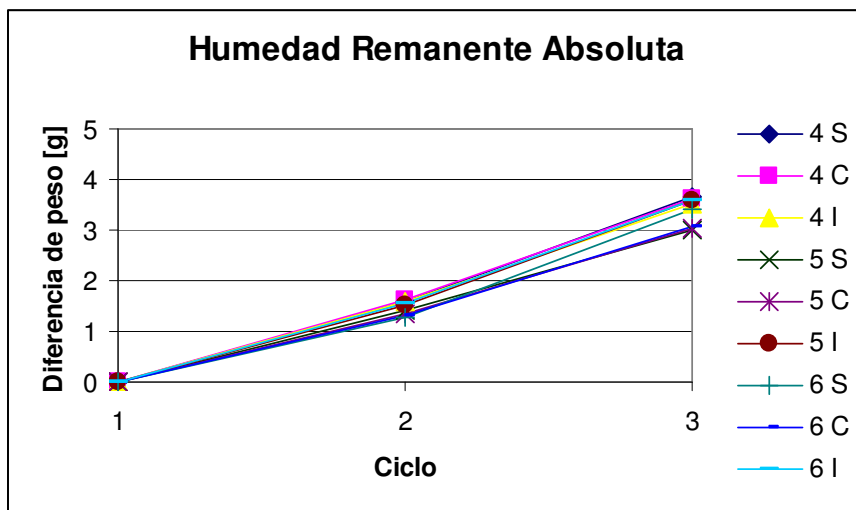


Figura N° 6.33: Humedad remanente para probetas hidrofugadas

La variación dimensional para las condiciones de las probetas de humedad final estable y secado final estable (peso constante) en cada ciclo se entrega en la tabla 6.10:

Tabla N° 6.10: Variación dimensional en milímetros

Probeta	Inicial	Ciclo 1 H	Ciclo 1 S	Ciclo 2 H	Ciclo 2 S	Ciclo 3 H	Ciclo 3 S
1S	0,0000	0,0381	-0,0635	0,0711	-0,1143	0,1549	-0,1651
1C	0,0000	0,0330	-0,0838	0,1016	-0,0991	0,1118	-0,1473
1I	0,0000	0,0457	-0,0889	0,0965	-0,0965	0,1245	-0,1549
2S	0,0000	0,0356	-0,0737	0,0914	-0,1219	0,1473	-0,1549
2C	0,0000	0,0432	-0,0889	0,1118	-0,1067	0,1219	-0,1626
2I	0,0000	0,0635	-0,0965	0,1067	-0,0914	0,1092	-0,1346
3S	0,0000	0,0406	-0,0711	0,0940	-0,1041	0,1194	-0,1321
3C	0,0000	0,0457	-0,0940	0,1168	-0,1067	0,1143	-0,1473
3I	0,0000	0,0406	-0,0787	0,0940	-0,1270	0,1524	-0,1549
4S	0,0000	0,0406	-0,0787	0,0889	-0,1143	0,1346	-0,1346
4C	0,0000	0,0406	-0,0838	0,1016	-0,0965	0,1041	-0,1245
4I	0,0000	0,0356	-0,0864	0,1016	-0,1245	0,1448	-0,1473
5S	0,0000	0,0356	-0,0838	0,1194	-0,1067	0,1219	-0,1473
5C	0,0000	0,0356	-0,0711	0,0991	-0,0965	0,1194	-0,1473
5I	0,0000	0,0305	-0,0813	0,1041	-0,1168	0,1372	-0,1397
6S	0,0000	0,0254	-0,0737	0,1016	-0,1194	0,1346	-0,1372
6C	0,0000	0,0305	-0,0864	0,1067	-0,1219	0,1397	-0,1499
6I	0,0000	0,0279	-0,0787	0,1092	-0,1194	0,1422	-0,1397

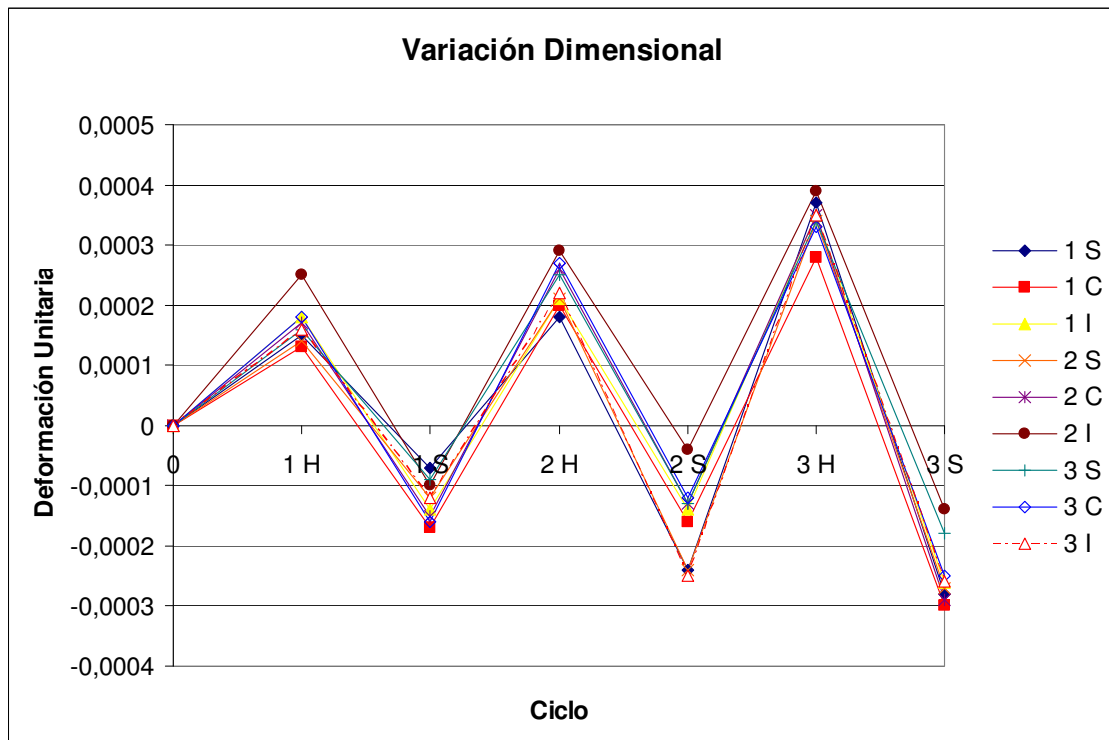


Figura N° 6.34: Variación dimensional para probetas no hidrofugadas

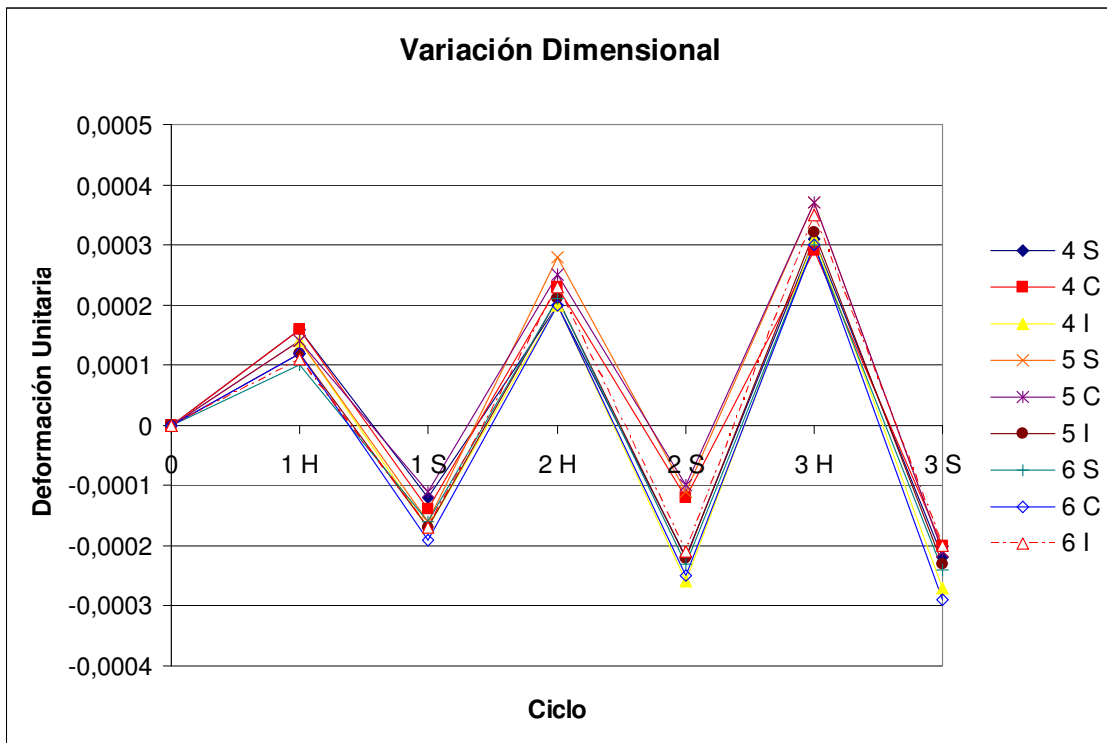


Figura N° 6.35: Variación dimensional para probetas hidrofugadas

De los gráficos anteriores se observa que el hormigón celular sufre una variación dimensional directamente ligada al nivel de humedad contenida y se puede inferir que esta variación irá aumentando en el tiempo a medida que sufra ciclos de exposición a humedad y secado.

Los valores máximos de variación dimensional, ver Tabla 6.11, se registraron en el tercer ciclo, tal como lo muestran las Figuras 6.34 y 6.35, estos se consideran desde el punto en que la probeta está estabilizada en absorción de humedad hasta que la probeta se seca.

Tabla N° 6.11: Valores máximos para la variación dimensional

Probeta		Variación tercer ciclo [mm]	Variación tercer ciclo [mm/m]
1	S	0,165	0,65
	C	0,147	0,58
	I	0,155	0,61
2	S	0,155	0,61
	C	0,163	0,64
	I	0,135	0,53
3	S	0,132	0,52
	C	0,147	0,58
	I	0,155	0,61
4	S	0,135	0,53
	C	0,125	0,49
	I	0,147	0,58
5	S	0,147	0,58
	C	0,147	0,58
	I	0,140	0,55
6	S	0,137	0,54
	C	0,150	0,59
	I	0,140	0,55

A partir de la tabla anterior, se observa que los valores de la variación dimensional para el material en este ensayo son importantes, especialmente si se observa la deformación por unidad de longitud (mm/m), además si se comparan estos valores con los valores de la deformación a la falla obtenidos en el ensayo a tracción, se puede hacer la relación de que un paño de un metro afectado por este tipo de ciclos estaría a la mitad de la capacidad total de deformación que soporta, esto a la tercera iteración.

6.5 Solución de reparación

Como se detalló en el capítulo anterior se procedió con el ensayo a tracción de la solución de reparación para tres probetas cilíndricas de diámetro nominal 2" (5.08 cm). Los resultados obtenidos para la resistencia y las curvas tensión v/s deformación de los ensayos a tracción pura se presentan a continuación. Además se muestra el estado de falla de las probetas.

Tabla N° 6.12: Resistencia de solución de reparación

Testigo	Área [cm ²]	Carga [kgf]	Resistencia [kgf/cm ²]	Resistencia [MPa]
4	23,06	81,2	3,5	0,35
5	23,07	79,0	3,4	0,34
6	23,08	78,7	3,4	0,34
Promedio de Resistencia			3,4	0,34

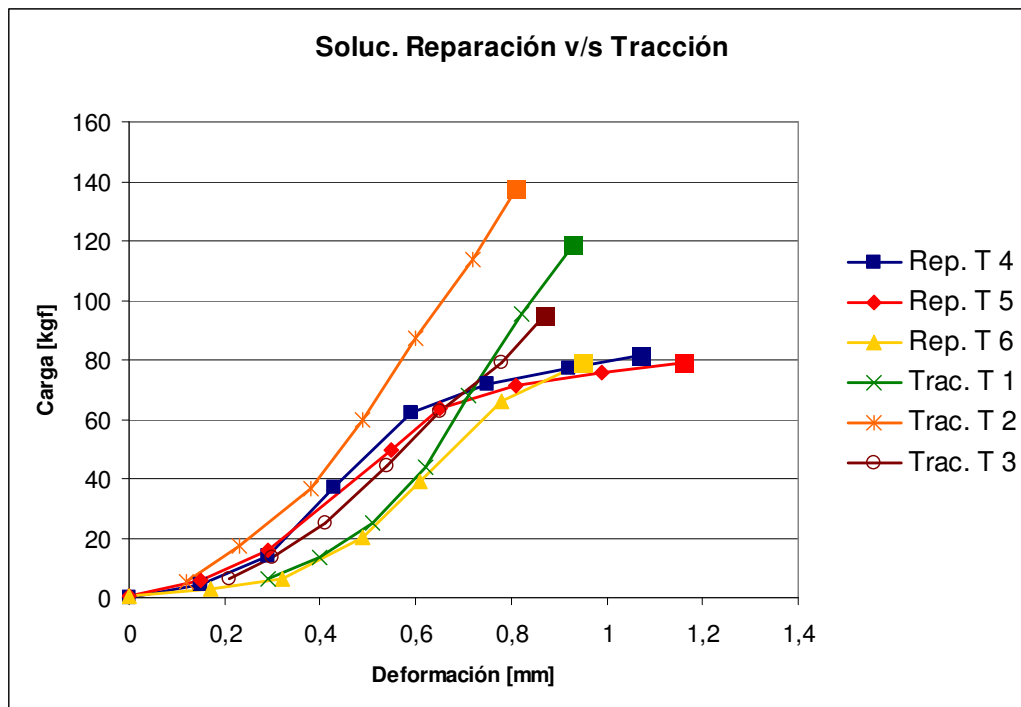


Figura N° 6.36: Curvas para la solución de reparación y el ensayo a tracción



Figura N° 6.37: Ensayo a tracción de solución de reparación testigo 4



Figura N° 6.38: Ensayo a tracción de solución de reparación testigo 5



Figura N° 6.39: Ensayo a tracción de solución de reparación testigo 6

A partir de los resultados del ensayo de la solución de reparación es posible afirmar que los valores de resistencia máxima que se obtienen alcanzan, a los 7 días de curado de la pasta, el 68 % de la resistencia original y un comportamiento bastante similar al material original en pequeñas deformaciones. Se observa también un efectivo aumento en la deformación máxima de rotura para las probetas reparadas comparadas con la original.

Capítulo 7 Conclusiones y Recomendaciones

7.1 Conclusiones

El objetivo del estudio abordado era investigar el comportamiento de las albañilerías de Hormigón Celular Autoclavado (HCA) y explicar el origen de patologías recurrentes de fisuras que lo afectan. De acuerdo con la información analizada y a los resultados obtenidos en los diversos ensayos realizados, se puede afirmar que este tipo de albañilería debe tratarse con cierto grado de precaución ya que es bastante susceptible a sufrir fisuración, ya sea por esfuerzos no considerados en el diseño, como también por condiciones intrínsecas al material de estructura celular higroscópica. Existen resguardos para evitar o controlar la inestabilidad dimensional y la fisuración de los muros y tabiques construidos con este material, como son las armaduras y refuerzos en puntos en los cuales se puedan producir concentraciones de tensión debido a los cambios volumétricos por variación del contenido de humedad de las unidades.

En el aspecto Normativo hay dos puntos importantes:

- El nivel de ensayos que exige la Norma Europea UNE-EN 771-4:2004, siendo la más completa de las tres normas estudiadas, aporta la información requerida para un adecuado diseño con este material, no así la norma NCh 2432 Of.99.
- El procedimiento para medir la retracción por secado de la Norma NCh 2432 Of.99, que corresponde al de la norma Europea EN-680, debería ser actualizado para incorporar las mejoras introducidas a esta última.

En cuanto a las propiedades mecánicas evaluadas para los bloques de HCA, los valores obtenidos en el ensayo a compresión fueron consistentes con la categorización de la Norma NCh 2432 Of.99 para bloques estructurales, correspondiendo estos a la clase G4, obteniéndose valores para la resistencia superiores a los 44 kgf/cm².

Por otra parte, a partir de los niveles de resistencia a la tracción directa obtenidos en los ensayos correspondientes, se puede afirmar que estos se encuentran dentro de los niveles esperables para este tipo de materiales, en el rango del 10 % de la resistencia a compresión, sin embargo, según el Anexo B de la Norma NCH 2432 Of.99 éstos debieran estar en el rango 15% al 35%, valores que no se alcanzan en este caso.

Al comparar los resultados de los ensayos a tracción directa del material HCA en estudio con los obtenidos para evaluar la solución de reparación, es posible afirmar que los valores de resistencia máxima de las probetas reparadas alcanzan, a los 7 días de curado, el 68 % de la resistencia original y un comportamiento bastante similar al del material original para pequeñas deformaciones. Lo que indica, preliminarmente, que esta solución debiera comportarse en forma satisfactoria al aplicarla a la reparación de fisuras en los muros o tabiques de albañilería.

El comportamiento observado para el HCA en los ensayos de absorción como de ascensión indica que se debe cuidar este aspecto ya que el material tiende a absorber agua y por ende tiende a variar dimensionalmente después de instalado en el muro. Luego es indispensable recubrir las albañilerías de manera prolija con algún estuco impermeable o pintura hidrorrepelente para evitar este fenómeno. Dados los valores de la ascensión capilar se infiere que existe una cierta uniformidad ante este fenómeno.

En cuanto al comportamiento de las probetas en los ciclos de humedad – secado, cabe destacar el excelente comportamiento de las que fueron hidrofugadas, principalmente durante el desarrollo del primer ciclo, donde fue más notoria la menor absorción. Este es un aspecto que debería ser investigado en profundidad.

Otro punto a destacar es el hecho de que al comenzar los ciclos 2 y 3 con las probetas secas, el contenido de humedad al final del ciclo baja considerablemente (al no tener una humedad inicial), por lo tanto podría ser esta otra opción de controlar la fisuración en las albañilerías (secar los bloques antes de colocarlos).

Se puede afirmar que el HCA sufre una variación dimensional importante, directamente ligada al nivel de humedad absorbida y a su vez se puede inferir, a partir de los

resultados, que esta variación aumenta en el tiempo a medida que las albañilerías estén sujetas a ciclos de exposición a humedad y secado. Se podría explicar este fenómeno como un efecto de interconexión de los poros por efecto de los ciclos humedad – secado, lo que sería necesario investigar.

El nivel de humedad remanente que se observó en el desarrollo de las experiencias puede indicar que para muros en constante interacción con condiciones climáticas extremas podría presentarse un aumento en el nivel de humedad considerable, esto debiera analizarse mas a fondo para confirmar o descartar.

Finalmente los valores máximos obtenidos para la variación dimensional, los cuales se presentaron en el tercer ciclo, merecen una preocupación especial ya que éstos son no menores en relación a la longitud normal de un paño de albañilería, y si se compara esto con los valores obtenidos en los ensayos a tracción, hace presumir un posible estado de fisuración bajo estas condiciones.

Para cerrar este capítulo, se hará referencia a algunos aspectos del material y su comportamiento con los cuales se debió lidiar para la ejecución de este estudio y que pueden tener alguna relevancia en el comportamiento del material. Uno de estos aspectos es el hecho de la fisuración que se produjo en algunos testigos al ser secados a la temperatura de 110 °C, la cual está permitida por la Norma chilena.

Otro punto que vale la pena mencionar fue que al adquirir bloques en el mercado para la fabricación de las probetas se encontraron algunos que venían con grandes grietas en su interior (Ver Anexo), al ser consultado el fabricante al respecto, éste indicó que estas fallas podrían deberse a una falla en el proceso de reacción del polvo de aluminio utilizado como agente expansor, la cual se detecta fácilmente y no debieran afectar las propiedades mecánicas del bloque.

7.2 Recomendaciones para albañilerías de HCA

De acuerdo a los resultados obtenidos y a la experiencia adquirida en el desarrollo de este trabajo, es posible hacer algunas recomendaciones en relación con la estabilidad dimensional de las albañilerías de HCA y su comportamiento:

- Realizar estucos hidrófugos sobre los muros de HCA como lo indican los fabricantes, de la manera más prolija posible y en un espesor adecuado, no obstante a lo anterior, evitar construir albañilerías de HCA sin la adecuada protección que asegure que no queden expuestas directamente a la lluvia (alero, techo, etc.) en regiones de pluviometría alta.
- Evitar construir muros de HCA en ambientes con altos niveles de vapor de agua (baños, logias) o donde puedan existir fluctuaciones de vapor.
- En la colocación en obra cerciorarse de que hayan sido estabilizados en cuanto al nivel de humedad desde la fabricación de los bloques para así asegurar un grado de estabilidad de los muros.

7.3 Recomendaciones para futuros estudios

De acuerdo al comportamiento observado y de los resultados obtenidos se recomienda para profundizar estos:

- Realizar seguimiento de la variación dimensional, diariamente, para ciclos de humedad – secado y con esto obtener curvas de variación con respecto a variaciones en el contenido de humedad.
- Intentar realizar seguimiento a bloques recién fabricados (paletizados lo mas recientemente posible), en cuanto a su estabilización y secado.
- Investigar la dosificación que produce el comportamiento óptimo de la solución de reparación para verificar si hubiera una dosificación mejor a la utilizada.

- Investigar la variación en la resistencia de los bloques tanto a compresión como a tracción según su contenido de humedad, se prevé que los niveles de resistencia disminuyan al aumentar la humedad contenida en los bloques, especialmente la resistencia a tracción.

- Realizar una caracterización del tamaño y las propiedades de los poros, lo que sin duda tiene una importancia para explicar el comportamiento observado en los ciclos humedad – secado de los bloques estudiados.

Bibliografía

[1] AACPA, 2002, "Code of Best Practice for the Use of Aircrete Products", UK.

[2] ACI, Informe Comité ACI 224, "Control de la Fisuración en Estructuras de Hormigón", 2001.

[3] AENOR, UNE-EN 771 - 4:2004 "Especificaciones de piezas para fabrica de albañilería, Parte 4: Bloques de hormigón celular curado en autoclave".

[4] AENOR, UNE-EN 772 - 11:2001 "Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería, Parte 11: determinación de la absorción de agua por capilaridad de piezas para fabrica de albañilería, en hormigón, hormigón celular curado en autoclave, piedra natural y artificial, y de la tasa de absorción de agua inicial de las piezas de arcilla cocida para fabrica de albañilería".

[5] Albornoz Martínez, Iván, 1998, "Uso de hormigón celular en Chile como albañilería y otros", Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil, Mención Estructuras y Construcción.

[6] ASTM C 1386 – 98, "Standard Specification for Precast Autoclaved Aerated Concrete (PAAC) Wall Construction Units".

[7] Bravo D. Rodrigo, 1999, publicación en Revista Técnica de la Construcción Nº16.

[8] CELCON, "Manual práctico de instalación, especificaciones técnicas de tabiques y muros estructurales de hormigón celular".

[9] Eurobloque, "Características técnicas/Gama de productos, Siporex Hebel".

[10] HEBEL, 1999, HEBEL International Handbook.

- [11] HEBEL, 2008, Fichas Técnicas, Chile.
- [12] Helbling , A.K., Schober, G., Trunk , B., Wittmann, F.H., 1999, “Fracture mechanics parameters of autoclaved aerated concrete”.
- [13] IDIEM, Problema de Agrietamiento de albañilerías de HCA. Conjunto habitacional “Los Creadores”, Temuco. Informe Técnico.
- [14] INN, NCh 2432 Of.1999: “Bloques macizos de hormigón celular – Especificaciones”, Instituto Nacional de Normalización, Santiago, Chile, 1999.
- [15] INN, NCh 167 Of.2001: “Construcción – Ladrillos cerámicos – Ensayos”.
- [16] ITEC, 2008, DAU: “Documento de adecuación al uso: Ytong - Siporex”, España.
- [17] RILEM Technical Committees, 1993, S. Aroni, G.J. de Groot, M.J. Robinson, G. Svanholm y F.H.Wittman; “Autoclaved Aerated Concrete Properties, Testing and design, E&FN Spon”, London, U.K.
- [18] Rojas Jiroz, Patricio Rodrigo, 2001, “Estudio experimental, análisis e interpretación del comportamiento estructural de muros de albañilería con hormigón celular”, Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil, Mención Estructuras y Construcción.
- [19] YTONG, XELLA, “Guía Técnica”. España.

Anexos

Bloques Fisurados por fallas en el proceso de reacción del aluminio.

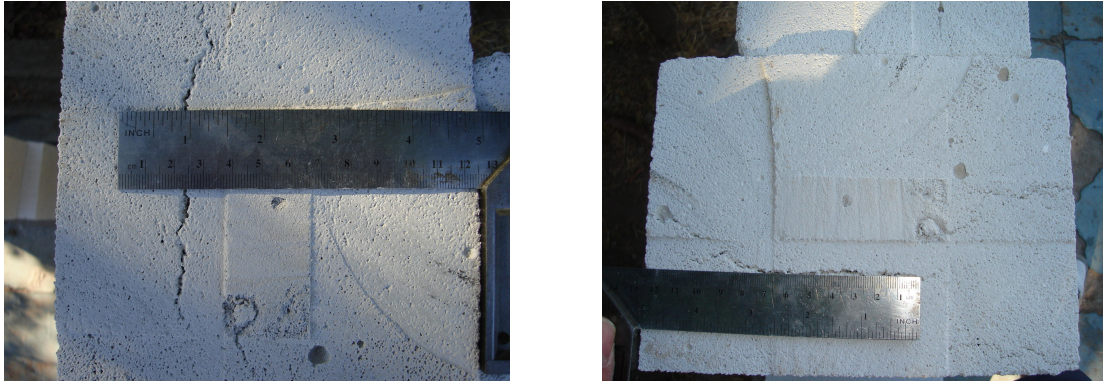


Figura N° A.1: Bloques fisurados por falla de proceso

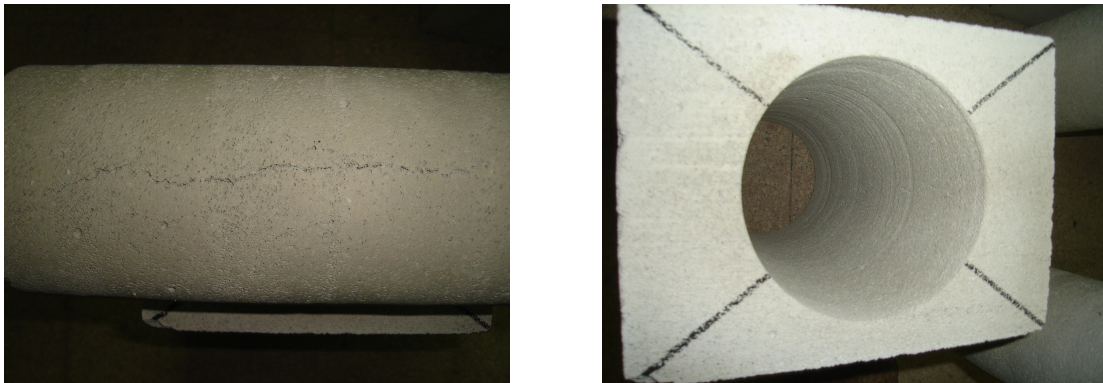


Figura N° A.2: Bloques fisurados por falla de proceso

Se presentan a continuación propiedades, características y resultados obtenidos para las probetas utilizadas, previo y durante los distintos ensayos.

Probetas para ciclos de Humedad-Secado

Contenido de Humedad Inicial

De acuerdo a los datos iniciales y finales para el primer ciclo de humedad-secado es posible obtener el contenido de humedad inicial de los bloques:

Tabla N° A.1: Contenido de humedad inicial

Probeta		P. Inicial (g)	P. Final (g)	C. Humedad (g)	% Agua	Promedio
1	S	469,8	419,7	50,2	11,95	14,1%
	C	475,3	406,1	69,2	17,04	
	I	430,0	379,1	50,9	13,44	
2	S	428,0	387,4	40,6	10,47	12,2%
	C	426,4	372,6	53,9	14,45	
	I	436,9	391,0	45,9	11,75	
3	S	507,0	434,8	72,2	16,62	14,3%
	C	437,7	392,4	45,3	11,55	
	I	498,0	434,3	63,8	14,68	
4	S	451,3	385,7	65,6	17,02	16,7%
	C	452,5	390,8	61,7	15,79	
	I	453,5	387,0	66,5	17,18	
5	S	433,5	382,3	51,2	13,39	15,0%
	C	435,6	376,4	59,2	15,74	
	I	446,0	385,0	61,0	15,84	
6	S	465,9	397,3	68,6	17,27	17,4%
	C	451,7	388,4	63,3	16,30	
	I	448,4	378,3	70,1	18,52	

Dimensiones de los bloques originales

Tabla N° A.2: Dimensiones de bloques utilizados

Bloque	Largo [mm]	Alto [mm]	Ancho [mm]
1	627	199	149
	629	199,5	148,5
2	626	199,5	150
	626	200	149
3	626	200	150
	626	200	149,5
4	626,5	200	150
	626,5	200	151
5	625,5	200	149
	625	200	149,5
6	626,5	200	149
	626,5	200	149

Dimensiones Iniciales de las probetas

Tabla N° A.3: Dimensiones de las probetas

Probeta	Largo [mm]	Alto [mm]	Ancho [mm]
1S	352,8	40,6	41,8
1C	353,8	38,8	42,1
1I	352,3	39,0	39,0
2S	352,5	41,7	39,8
2C	353,3	40,8	38,5
2I	351,8	41,0	40,5
3S	352,3	45,2	41,0
3C	353,0	41,7	40,7
3I	352,8	44,4	41,0
4S	354,3	41,1	39,4
4C	353,8	41,1	40,7
4I	353,8	41,2	39,2
5S	352,5	39,2	39,4
5C	353,5	39,6	39,5
5I	352,3	40,8	39,6
6S	353,8	40,1	41,1
6C	352,8	39,7	40,2
6I	352,0	39,9	39,2

Tabla N° A.4: Valores tomados con extensómetro, sin corregir

Probeta	Inicial	Ciclo 1 H	Ciclo 1 S	Ciclo 2 H	Ciclo 2 S	Ciclo 3 H	Ciclo 3 S	
1	S	0,0483	0,0498	0,0473	0,0501	0,0456	0,0517	0,0452
	C	0,0488	0,0501	0,0468	0,0508	0,0469	0,0513	0,0455
	I	0,0447	0,0465	0,0430	0,0468	0,0430	0,0479	0,0418
2	S	0,0509	0,0523	0,0494	0,0530	0,0482	0,0540	0,0479
	C	0,0429	0,0446	0,0411	0,0455	0,0413	0,0461	0,0397
	I	0,0485	0,0510	0,0472	0,0514	0,0478	0,0521	0,0468
3	S	0,0490	0,0506	0,0478	0,0515	0,0474	0,0521	0,0469
	C	0,0471	0,0489	0,0452	0,0498	0,0456	0,0501	0,0443
	I	0,0490	0,0506	0,0475	0,0512	0,0462	0,0522	0,0461
4	S	0,0498	0,0514	0,0483	0,0518	0,0473	0,0526	0,0473
	C	0,0468	0,0484	0,0451	0,0491	0,0453	0,0494	0,0445
	I	0,0477	0,0491	0,0457	0,0497	0,0448	0,0505	0,0447
5	S	0,0451	0,0465	0,0432	0,0479	0,0437	0,0485	0,0427
	C	0,0481	0,0495	0,0467	0,0506	0,0468	0,0515	0,0457
	I	0,0411	0,0423	0,0391	0,0432	0,0386	0,0440	0,0385
6	S	0,0470	0,0480	0,0451	0,0491	0,0444	0,0497	0,0443
	C	0,0456	0,0468	0,0434	0,0476	0,0428	0,0483	0,0424
	I	0,0486	0,0497	0,0466	0,0509	0,0462	0,0518	0,0463

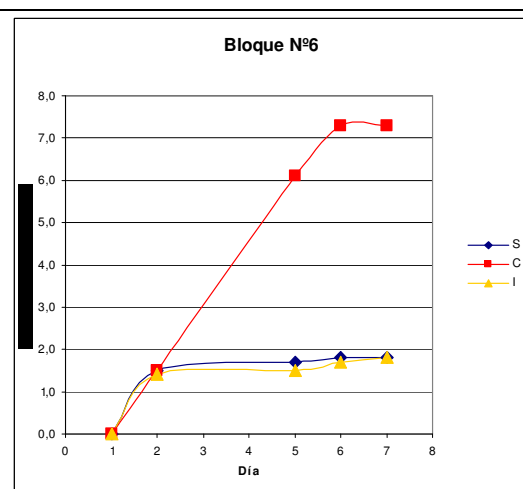
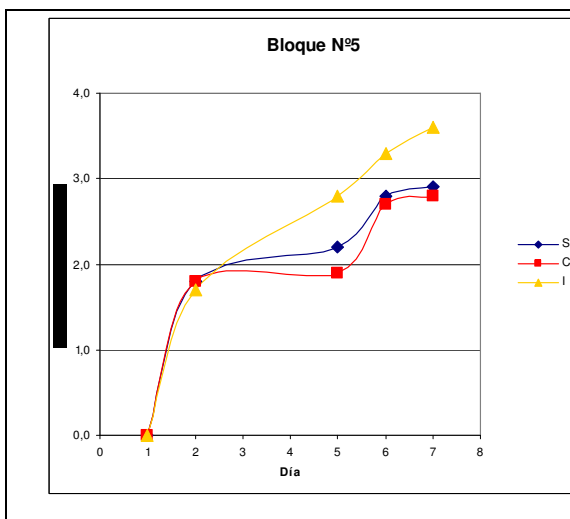
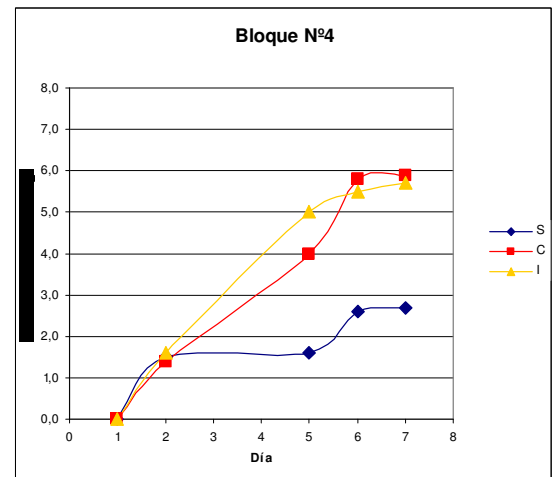
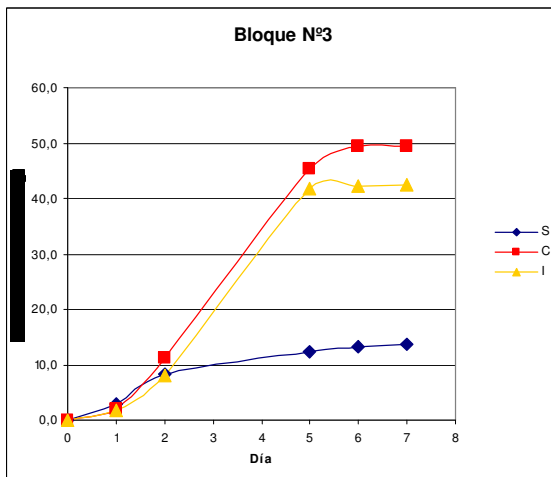
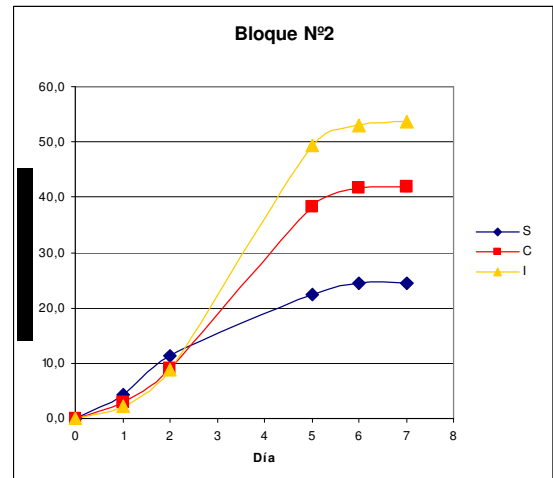
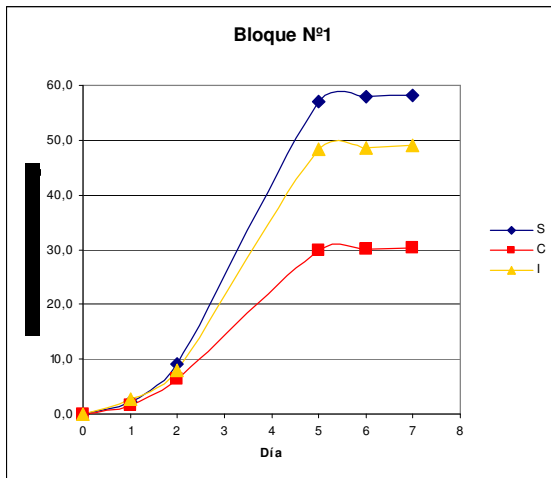


Figura N° A.3: Absorción por bloque en primer ciclo

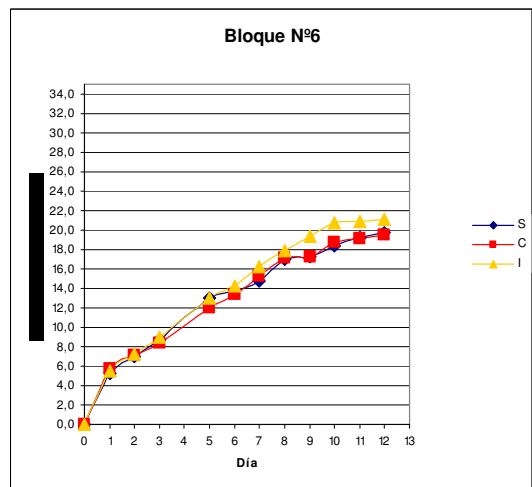
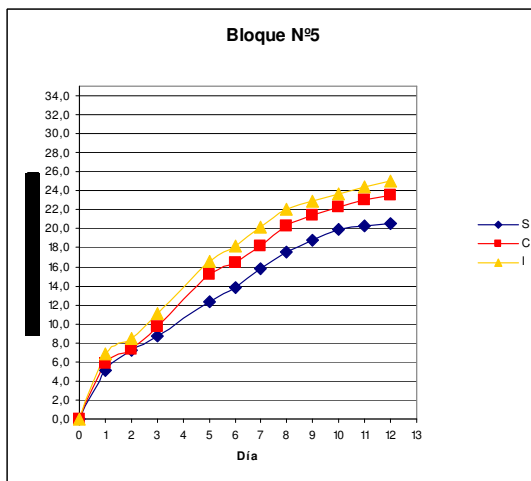
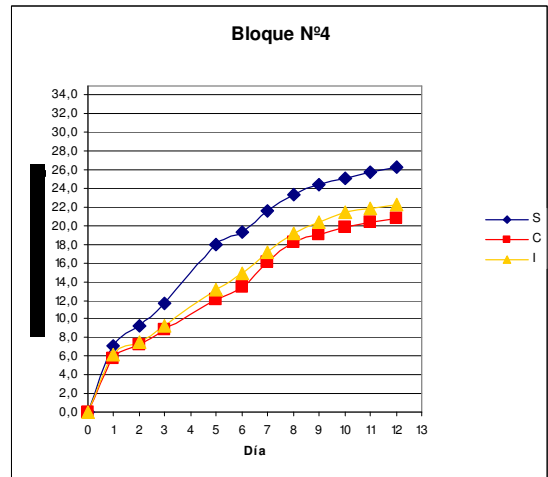
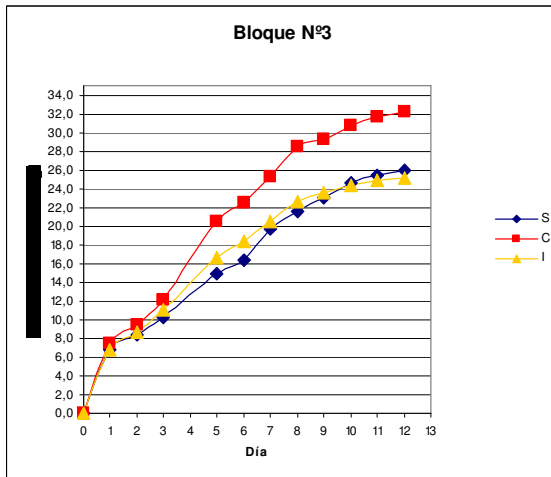
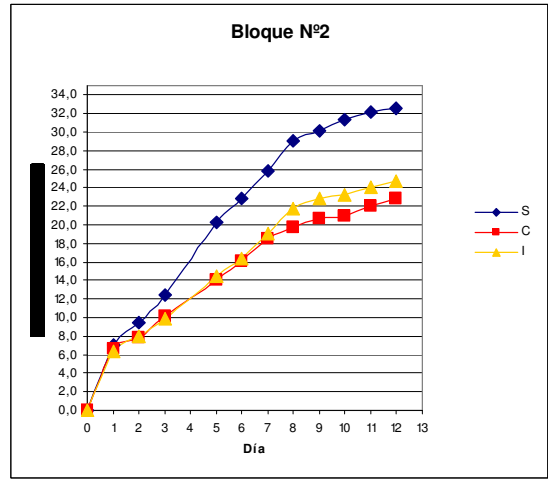
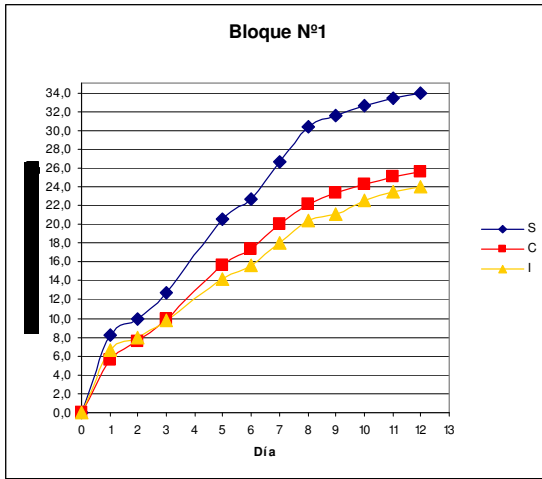


Figura N° A.4: Absorción por bloque en segundo ciclo

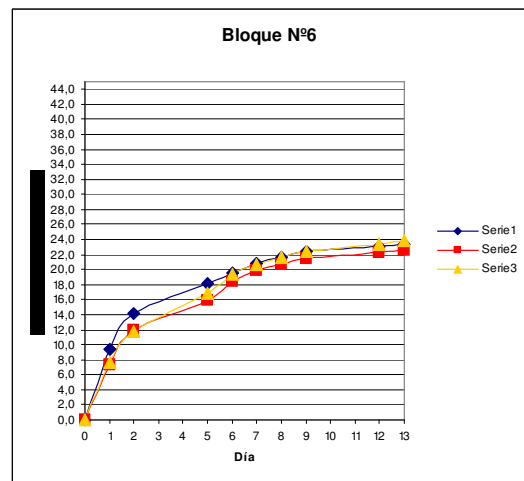
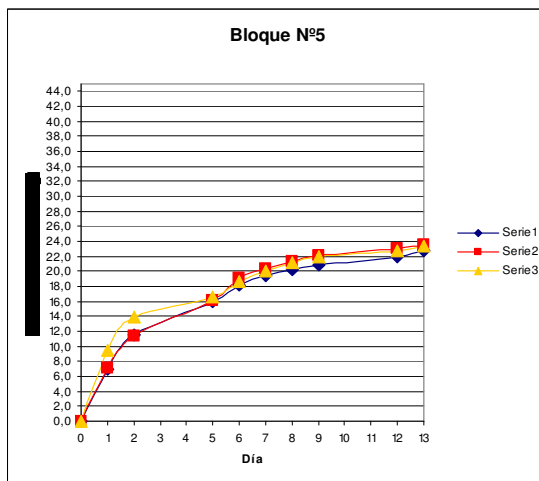
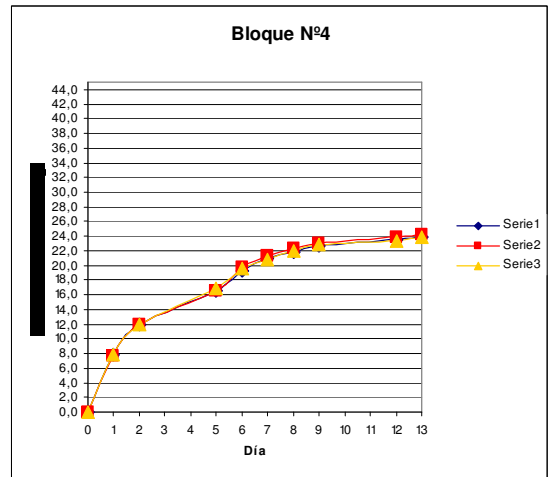
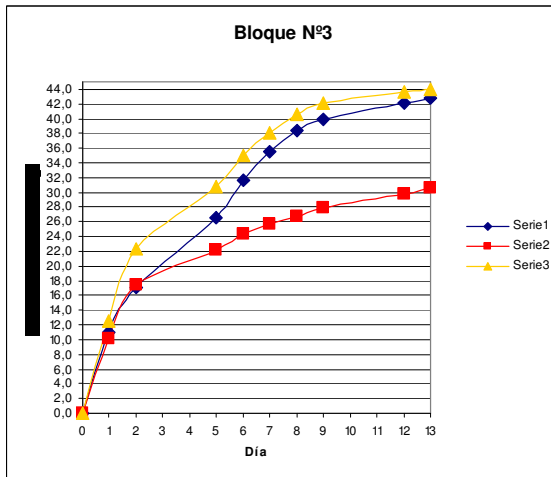
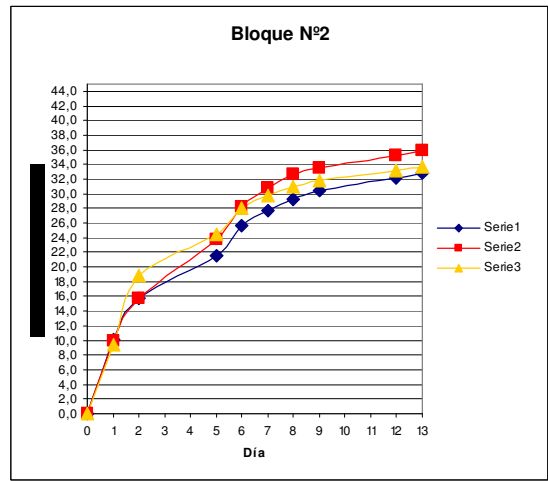
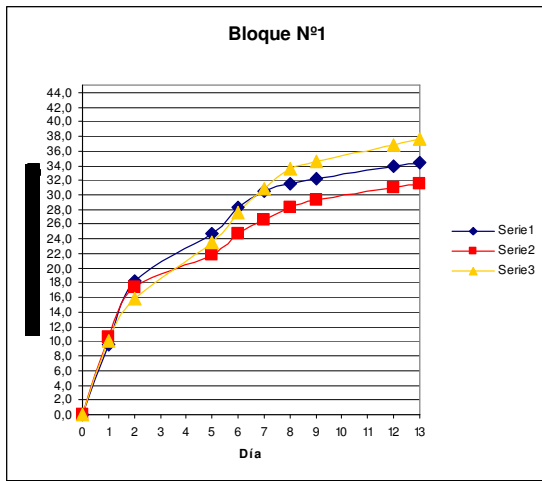


Figura N° A.5: Absorción por bloque en tercer ciclo

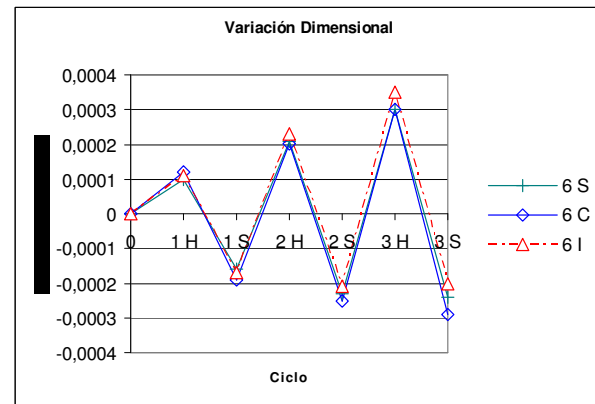
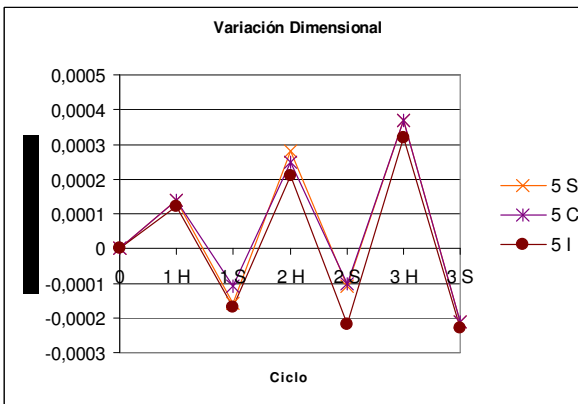
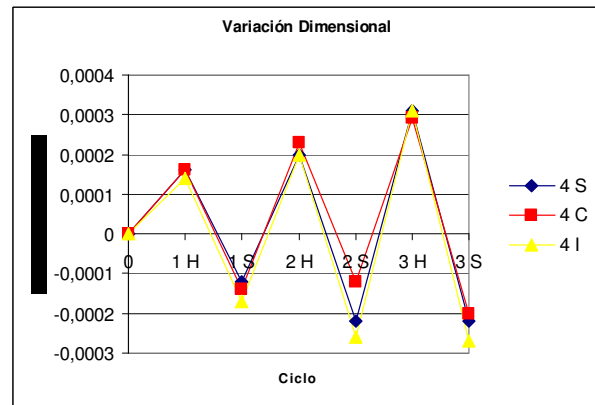
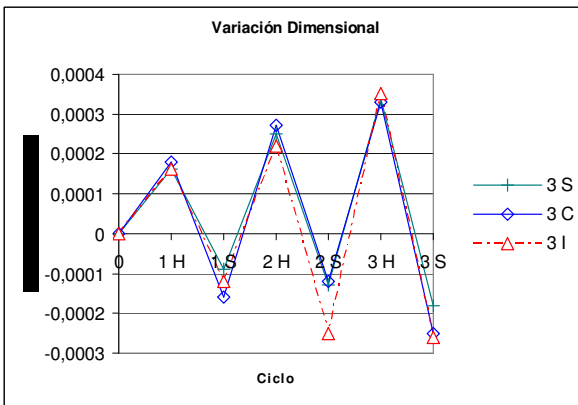
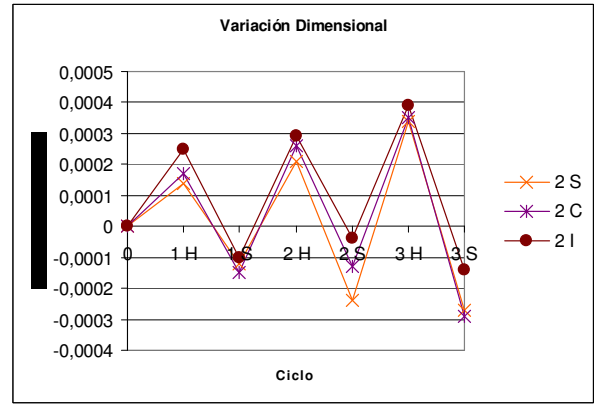
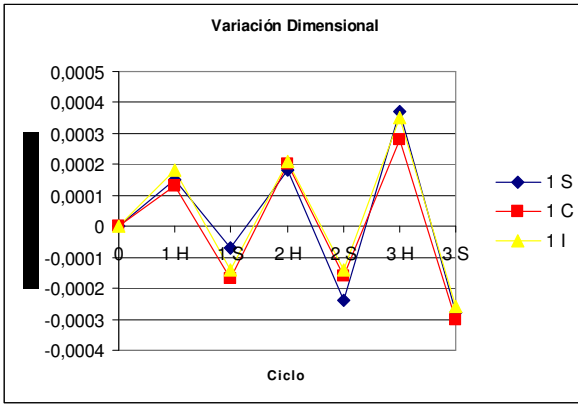


Figura Nº A.6: Variación dimensional por bloque

Probetas para Ensayos de Compresión y Absorción

Tabla N° A.5: Secado de cubos [g]

Probeta	Inicial	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	
Cubos	1	796,3	709,0	702,4	700,4	700,0
	2	775,1	684,9	680,0	679,8	679,6
	3	779,3	678,2	672,0	671,2	671,0
	4	782,3	682,0	676,0	675,5	675,0
	5	783,0	695,3	690,2	689,8	689,4
	6	826,9	697,8	688,4	685,3	685,1

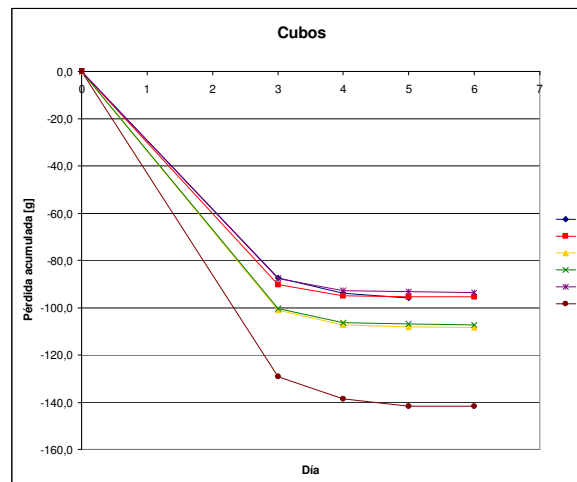


Figura N° A.7: Secado de cubos

Probetas para Ensayos a Tracción y solución de reparación

Tabla N° A.6: Secado de testigos [g]

Probeta	Inicial	Día 4	Día 5	
Testigos	1	208,4	175,7	175,7
	2	200,8	179,3	179,3
	3	208,0	178,8	178,7
	4	201,9	182,4	182,4
	5	211,2	176,1	176,0
	6	194,7	176,4	176,4

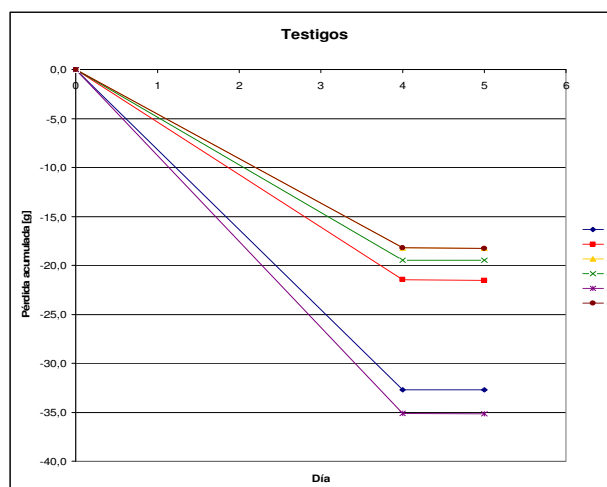


Figura N° A.8: Secado de testigos

Se realizaron ensayos de adherencia para encontrar la dosificación óptima entre Acrílico y Agua para 3 opciones propuestas, las que corresponden a 1:1, 1:2 y 1:3. Los resultados obtenidos son:

Tabla N° A.7: Resultados de adherencia

Probeta	Partes de Acrílico	Partes de Agua	Carga Máxima [N]	Promedio [N]
1.1	1	1	29,6	24,6
1.2	1	1	19,5	
2.1	1	2	17	25,8
2.2	1	2	34,6	
3.1	1	3	24,3	28,5
3.1	1	3	32,6	

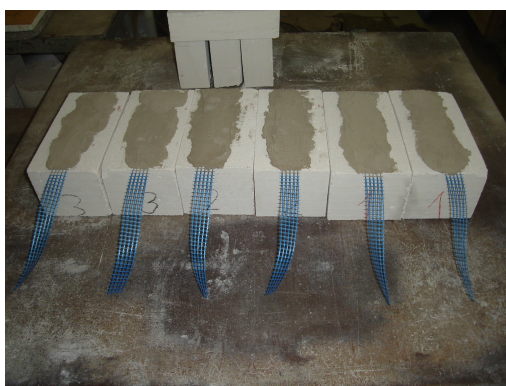


Figura N° A.9: Ensayo de adherencia

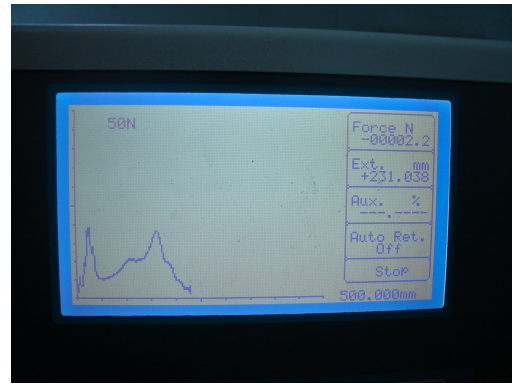
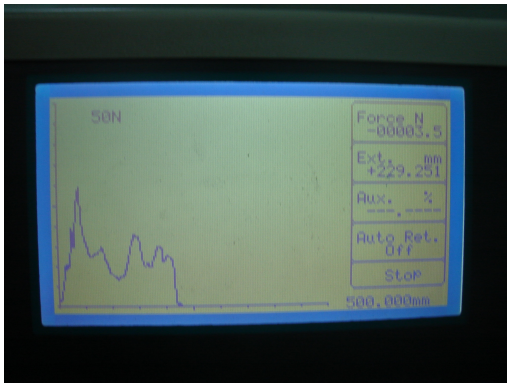


Figura N° A.10: Curvas obtenidas para probeta 1.1 y 1.2

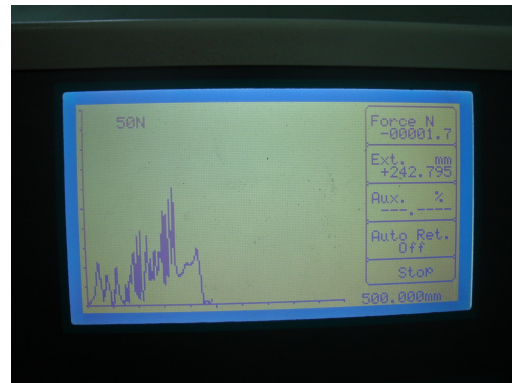
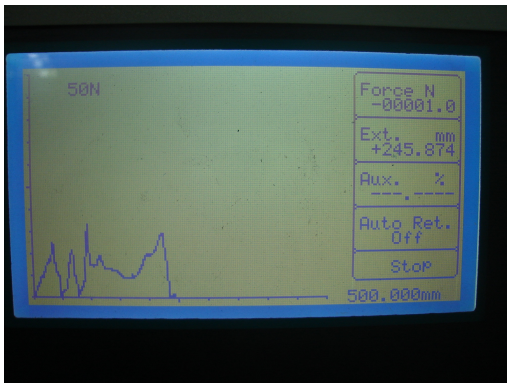


Figura N° A.11: Curvas obtenidas para probeta 2.1 y 2.2

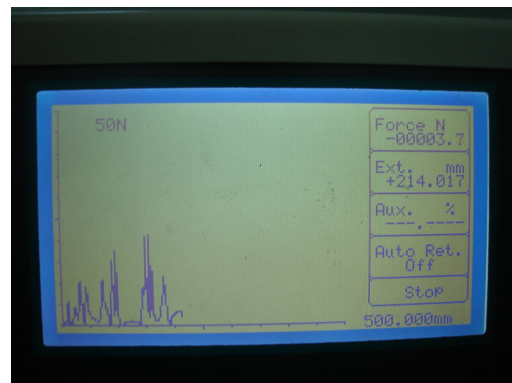
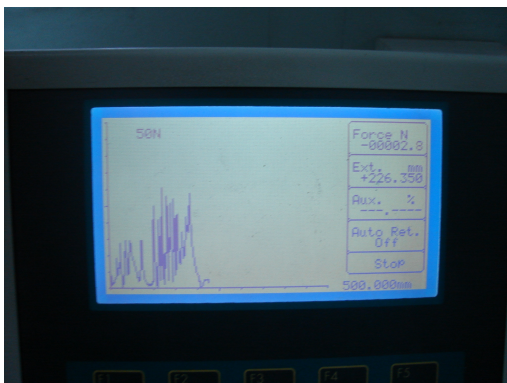


Figura N° A.12: Curvas obtenidas para probeta 3.1 y 3.2

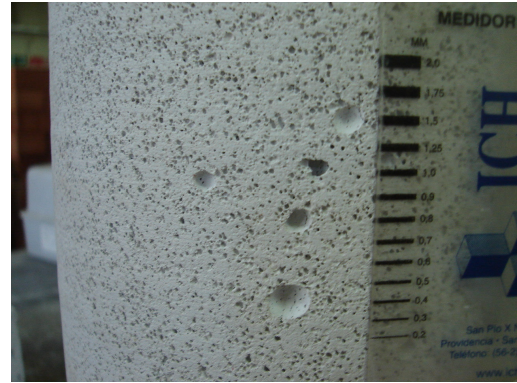
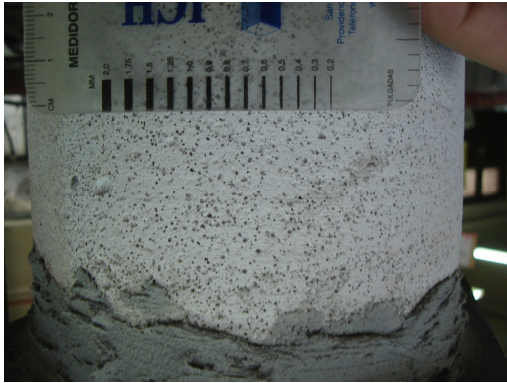


Figura N° A.13: Tamaño de poros

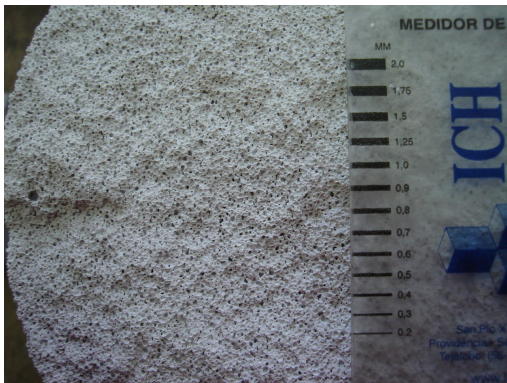


Figura N° A.14: Tamaño de poros

**PRODUCTO CAVE:
MORTERO CEMENTICIO FINO PARA REPARACION DE ALBAÑILERÍA DE HORMIGÓN
CELULAR AUTOCLAVADO (HCA).**

CARACTERÍSTICA FÍSICA:

Polvo de color gris.

DESCRIPCIÓN:

Es un mortero pre-dosificado de fraguado rápido, formulado en base a cementos y cuarzo fino de granulometría controlada. Diseñado para la restauración de estructuras de hormigón y albañilería.

PROPIEDADES:

Fraguado rápido.

No requiere de encofrados.

Producto de muy fácil aplicación.

Una vez fraguado toma el color del hormigón

CAMPO DE APLICACIÓN:

Para restauración de:

Albañilería conformada por bloques de HCA.

FORMA DE APLICACIÓN:

Preparación de la superficie:

Eliminar todo el hormigón dañado hasta dejar una base sólida y sana.

En caso de haber enfierraduras expuestas, eliminar el óxido suelto de éstas.

Aplicar en ellas una imprimación protectora e inhibidora de corrosión.

Preparación del mortero:

Mezclar la solución acrílica con agua potable en una relación de 1 parte de solución acrílica por 3 partes de agua, posteriormente agregar el mortero cementicio fino hasta obtener una consistencia pastosa.

Aplicación:

Humedecer abundantemente con agua la zona a reparar, hasta obtener una estructura saturada superficialmente seca

Aplicar la pasta presionándola firmemente hasta que quede colocado en el lugar deseado compactándolo con espátula o llana.

La aplicación debe efectuarse en capas no mayores de 25 mm. de espesor. En reparaciones de mayor espesor, el producto se aplicará por sobre posición de capas teniendo la precaución de dejar rugosa la superficie para un mejor anclaje de la capa siguiente. Se debe esperar que la aplicación anterior haya fraguado (15 minutos aprox.) para aplicar la capa siguiente.

Evite sobre trabajar el producto.

Los tiempos de fraguado y endurecimiento varían en función de la temperatura del agua y de las condiciones ambientales.

Curado:

En ambientes muy calurosos, es recomendable una vez que a fraguado, enfriar con agua y mantener húmeda la reparación por lo menos durante una hora.

OBSERVACIONES:

No agregar productos ajenos a la formulación original.

No reamasar el producto sobrante.



EUCLID CHEMICAL