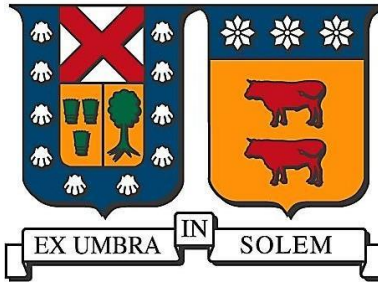


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES

VALPARAÍSO - CHILE



TÍTULO

“MORTERO LIVIANO ELABORADO CON ADITIVOS NO CONVENCIONALES”

Memoria de titulación presentada por:

CARLOS RAMÍREZ VALDÉS

Memoria para optar al título de:

Constructor Civil

Profesor Guía:

SR. SERGIO CARMONA MALATESTA

VALPARAISO, 2024



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: Mortero liviano elaborado con aditivos no convencionales _____

Nombre del candidato(a): Carlos Nicolas Ramirez Valdes _____

Carrera / Grado: Construcción Civil _____

Campus: Casa Central _____ **Departamento:** Obras Civiles _____

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Sergio Carmona Malatesta, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (**marcar una opción**):

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 28-10-2025

Firma: _____

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 28-10-2025

Firma: _____

Dedicatoria

A mis padres,

Con profundo respeto y gratitud, dedico este trabajo a ustedes, quienes con su dedicación, valores y apoyo incondicional han sido el pilar fundamental en mi formación personal y profesional. Su ejemplo de integridad, esfuerzo y perseverancia ha guiado cada uno de mis pasos a lo largo de este proceso académico.

Este logro es reflejo del amor, la confianza y el respaldo que siempre me han brindado.

Resumen

Esta investigación se centra en la tecnología del hormigón, con énfasis en el mortero liviano, que ha ganado relevancia en la construcción moderna debido a sus propiedades únicas. A lo largo de la historia, el hormigón ha sido un material clave en diversas civilizaciones, pero el hormigón liviano representa una innovación que combina ligereza con eficiencia energética su producción se basa en la incorporación de un aditivo espumante que genera una estructura porosa, resultando en un material de menor densidad y excelentes propiedades aislantes.

Este informe detalla la metodología para la producción de mortero liviano espumado, destacando la selección de materiales, la dosificación y la realización de ensayos de retracción, compresión y flexotracción. Se plantea una investigación comparativa entre morteros celulares espumados convencionales y morteros obtenidos con aditivos espumante no convencionales, con el objetivo de esclarecer la viabilidad técnica y económica de estos últimos en aplicaciones constructivas, así como su capacidad para satisfacer las exigencias actuales del mercado

Palabras clave: hormigón liviano, mortero espumado, ensayo de compresión, ensayo de flexotracción, ensayo de retracción.

Tabla de contenidos

Dedicatoria	1
Resumen	2
1. Introducción	1
2. Marco teórico	1
2.1 Historia del hormigón	1
2.1.1 Historia del hormigón liviano	2
2.2 Fundamentación teórica	2
2.2.1 Concepto de hormigón	2
2.2.2 Concepto de mortero	2
2.2.3 Concepto de hormigón liviano	3
2.2.4 Tipos de producción de hormigón liviano	3
3. Investigación propuesta	3
3.1 Objetivos específicos	3
3.2 Selección de materiales	3
3.3 Preparación de mezcla	4
3.3 Procedimiento Experimental	4
4. Detalles experimentales	4
5. Ensayos y resultados	5
5.1 Ensayo de retracción	5
5.2 Propiedades Mecánicas	9
5.2.1 Resistencia a flexotracción	9
5.2.2 Resistencia a la Compresión	10
5.3 Discusión de resultados	12
6. Conclusiones 	12
7. Lista de referencias	13
8. Anexos	15
8.1 Anexo A: Tablas y datos	15

Índice de Imágenes

<i>Imagen 1: Desmolde probetas de retracción.</i>	6
<i>Imagen 2: Aparato medidor.</i>	6

<i>Imagen 3: Ensayo a flexotracción, equipo Tonindustrie Berlín – West.</i>	9
<i>Imagen 4: Ensayo a compresión, equipo Tonindustrie Berlín – West.</i>	11

Índice de Gráficos

<i>Gráfico 1: Resultados del ensayo de retracción Mortero Celular A (MCLA).</i>	7
<i>Gráfico 2: Resultados del ensayo de retracción Mortero Celular B (MCLB).</i>	7
<i>Gráfico 3: Resultados del ensayo de retracción mortero celular convencional y mortero corriente curados en cámara húmeda. (fuente: Lizama, 2000)</i>	8
<i>Grafico 4: Resultados del ensayo de retracción mortero celular convencional y mortero corriente curados al aire. (fuente: Lizama, 2000)</i>	8
<i>Grafico 5: Resultados del ensayo de flexotracción Mortero Celular A (MCLA) y Mortero Celular B (MCLB).</i>	9
<i>Gráfico 6: Resultados del ensayo de flexotracción mortero celular convencional (MCL) y mortero corriente (MC) curados en cámara húmeda. (fuente: Lizama, 2000)</i>	10
<i>Gráfico 7: Resultados del ensayo de compresión MCLA y MCLB.</i>	11
<i>Grafico 8: Resultados del ensayo de compresión mortero celular convencional (MCL) y mortero corriente (MC) curados en cámara húmeda. (Fuente: Lizama, 2000)</i>	12

Índice de tablas

<i>Tabla 1: Datos de ensayo de retracción MCLA.</i>	15
<i>Tabla 2: Datos de ensayo de retracción MCLB.</i>	16
<i>Tabla 3: Datos de ensayo de flexotracción MCLA.</i>	17
<i>Tabla 4: Datos de ensayo de flexotracción MCLB.</i>	17
<i>Tabla 5: Resultados de ensayos de flexotracción MCLA y MCLB</i>	18
<i>Tabla 6: Datos de ensayo de compresión MCLA.</i>	19
<i>Tabla 7: Datos de ensayo de compresión MCLB.</i>	19
<i>Tabla 8: Resultados de ensayos de compresión MCLA y MCLB.</i>	20

1. Introducción

El mortero de cemento liviano constituye un material de construcción ampliamente valorado por su reducido peso, lo que disminuye las cargas muertas en las estructuras. Asimismo, presenta alta trabajabilidad, que facilita operaciones como el aserrado manual y la perforación con clavos. Seguido su estructura celular le otorga una elevada capacidad de absorción acústica de baja frecuencias y baja transmisión térmica, propiedades que lo hacen idóneo para aplicaciones no estructurales (Lizama, 2000).

La innovación de esta investigación radica en la sustitución de aditivos espumante convencionales por alternativas no convencionales, como detergentes domésticos. Esto se justifica desde dos perspectivas: económica, al reducir costos mediante insumos de amplia disponibilidad, y ecológica, al promover el uso de recursos de bajo impacto ambiental. El objetivo general es evaluar las propiedades mecánicas de morteros celulares elaborados con estos agentes alternativos.

2. Marco teórico

2.1 Historia del hormigón

La evolución histórica de los materiales de construcción revela hitos fundamentales para comprender el desarrollo del hormigón contemporáneo. En la Península Ibérica, evidencias arqueológicas demuestran el uso temprano de aglomerantes como el yeso (sulfato cálcico hemihidratado, $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$), cuyas propiedades de fraguado por hidratación fueron aprovechadas incluso antes de la expansión romana (Romea, 2014). Posteriormente, la técnica de la cal apagada obtenida mediante hidratación del óxido de calcio se transmitió desde Egipto y Grecia hasta Roma, donde innovaron al incorporar arena para mejorar resistencia y consistencia, sentando bases para morteros estructurales. Durante el periodo republicano romano, surgió el opus caementicium u hormigón romano, material revolucionario que combinaba tierra volcánica de Pozzuoli (puzolana), arena, cal y piedras. Este compuesto, capaz de endurecer bajo agua, permitió obras emblemáticas como el puerto de Cosa (273 a.C.) o el Panteón de Agripa, cuya durabilidad excede los dos milenios (ACI 213, 2003).

Tras la caída del Imperio Romano, se produjo un declive técnico donde la piedra sustituyó al hormigón en construcciones medievales, reflejando una pérdida de conocimiento especializado (Romea, 2014). La revolución moderna llegó en 1824 con Joseph Aspdin, quien patentó el cemento Portland al calcinar clinker a 1350-1450°C. Aunque su fraguado era más lento que el de cementos naturales, ofrecía resistencias superiores y se consolidó como estándar global.

El hormigón liviano emerge en el siglo XX como respuesta a necesidades estructurales y ambientales. En 1922, en la ampliación de un gimnasio en Kansas (EE.UU.), se utilizó para compensar suelos de baja capacidad portante. Seis años después, el edificio Southwestern Bell demostró su potencial al elevar estructuras de 14 pisos con arcillas expandidas, superando límites previos (Valdez, 2010). Actualmente, se clasifica en tres categorías según densidad y aplicación: hormigón de relleno, hormigón aislante y hormigón estructural de alto desempeño.

2.1.1 Historia del hormigón liviano

El desarrollo de hormigón estructural liviano marcó un hito a partir de 1922 con la ampliación de un gimnasio en Kansas. Posteriormente, en 1928, la compañía Southwestern Bell construyó un edificio de 14 pisos con hormigón de arcillas expandidas, superando en un 75% los límites previstos (Valdez, 2010). Estos avances impulsaron el uso de agregados como escorias industriales, pizarras, arcillas y poliestireno, consolidándose en la década de 1960 con plantas especializadas (ACI 213, 2003). En Chile, esta evolución se materializó en el ‘hormigón perlado liviano’, basado en poliestireno expandido y aditivos espumante comerciales.

2.1.2 Obras civiles emblemáticas

La aplicación del hormigón liviano se ejemplifica en proyectos pioneros como:

- Puente de Raftsundet (Noruega): Sus primeros 86 m construidos con hormigón de alto desempeño (1975 kg/m^3), en contraste con los 2400 kg/m^3 del resto de la superestructura (Valdez, 2010).
- Plataforma Hibernia (Canadá): estructura flotante de 1,2 millones de toneladas, donde la sustitución del 50% de agregados convencionales por livianos optimizó peso y durabilidad (ACI 213, 2003).
- Puente Sebastian Inlet (EE.UU.): su tramo central de 54 metros, construido con hormigón liviano presenta nulo deterioro tras 30 años, a diferencia de secciones de hormigón tradicional (Valdez, 2010).
- Isla de contención (Ártico): fabricada con cajones de hormigón liviano en Vancouver, cuya baja densidad permitió su remolque eficiente y resistencia en entornos extremos (ACI 213, 2003).
- Estos casos demuestran que el hormigón liviano no solo resuelve problemas de peso y flotabilidad, sino que también ofrece ventajas en durabilidad.

2.2 Fundamentación teórica

2.2.1 Concepto de hormigón

El hormigón es una mezcla de cemento y agregados (arena y piedra). Con agua se produce la hidratación, formando una masa compacta de densidad $2200\text{-}2400 \text{ kg/m}^3$. Los agregados representan el 65% del volumen, influyendo en densidad y resistencia. Las propiedades se mejoran mediante aditivos (NCh 1533, 2004).

2.2.2 Concepto de mortero

El mortero combina cemento o yeso con agua y arena. Su clasificación depende de la proporción cemento/arena, determinando aplicaciones como mampostería, relleno o acabado (NCh 158, 1967).

2.2.3 Concepto de hormigón liviano

El hormigón convencional reforzado tiene una densidad cercana a 2400 kg/m³, mientras que los livianos oscilan entre 300 y 1840 kg/m³ (Arce, 1997). Se clasifican en tres tipos:

1. Hormigón liviano de relleno (300-1000 kg/m³): aislante térmico, no estructural.
2. Hormigón liviano aislante (<800 kg/m³): con poliestireno expandido, resistencia 0,7-7 MPa, coeficiente térmico < 0.3 J/ms°C.
3. Hormigón estructural de alto desempeño (<=1840 kg/m³): reduce 25-75% la densidad respecto del convencional.

2.2.4 Tipos de producción de hormigón liviano.

Existen diversos métodos para producir hormigón liviano (Mohammed, 2014)

1. Hormigón sin finos: se eliminan los agregados finos, generando vacíos.
2. Hormigón con agregados ligeros: se añaden agregados de baja densidad, generando múltiples variantes.
3. Hormigón espumoso o celular: se introduce aire mediante agentes espumante, creando una estructura porosa.

3. Investigación propuesta

La producción de hormigón celular espumado ha ganado relevancia la industria de la construcción debido a sus propiedades aislantes y ligeras, que lo hacen ideal para diversas aplicaciones. La presente investigación propone evaluar la vía habilidad técnica y económica de morteros celulares elaborados con agentes espumante domésticos, en comparación con los aditivos convencionales.

3.1 Objetivos específicos

La investigación plantea tres objetivos principales:

1. Evaluar las propiedades mecánicas básicas (densidad, resistencia a compresión, flexotracción y retracción) de mortero celulares elaborados con agentes espumante domésticos.
2. Contrastar los resultados con estudios previos realizados en la UTFSM, particularmente con el trabajo de Lizama (2000).
3. Establecer recomendaciones de aplicación constructiva basadas en el desempeño técnico y económico observado.

3.2 Selección de materiales

La selección de materiales priorizó criterios de accesibilidad y viabilidad económica. Se eligieron dos detergentes lavalasas comerciales como agentes espumantes: uno de bajo costo (Marca A) y otro de mayor precio, pero amplia disponibilidad (Marca B). El cemento utilizado fue Portland de alta resistencia (ACI

523:2014), garantizando compatibilidad con aditivos y cumplimiento de estándares de durabilidad. Como agregado pétreo se utilizó árido de laboratorio, secado en horno y tamizado según protocolos normativos. El agua cumplió con los requisitos de potabilidad (NCh 409/2005).

3.3 Preparación de mezcla

La dosificación siguió estrictamente las proporciones del mortero celular convencional (Lizama, 2000), con una relación agua/cemento de 0.5 y densidad objetivo de 1400 kg/m³. El proceso se estructuró en tres etapas:

1. Generación de espuma: mediante mezclador manual y taladro eléctrico, dosificando 80 ml de agente espumante por litro de agua, determinados como óptimos para estabilidad de burbujas.
2. Mezcla base: combinación de 400 kg de cemento, 816 kg de arena y 161 L de agua (NCh 158).
3. Incorporación de espuma: adición de 380 L de espuma con agitación suave para presentar la estructura celular.

3.3 Procedimiento Experimental

La metodología experimental incluyó cuatro fases:

1. Fabricación de probetas: 12 probetas prismáticas (40×40×160 mm) por mezcla (NCh 158) para ensayos destructivos (compresión y flexotracción) y 14 probetas (25×25×285 mm) (NCh 2221) para retracción.
2. Curado controlado: probetas de retracción se desmoldadas a 72 horas y almacenadas en cámara húmeda (20°C, 95% HR) y al aire libre (19°C promedio). Probetas mecánicas desmoldadas a 96 horas, curadas en agua saturada con cal (23°C).
3. Ensayo de propiedades: retracción (hasta 90 días), flexotracción y compresión (3, 7, 28 y 90 días).
4. Análisis comparativo: contraste con morteros celulares convencionales (Lizama, 2000), evaluando viabilidad técnica y económica de los aditivos domésticos.

4. Detalles experimentales

El estudio empleó dos agentes espumógenos domésticos de alta accesibilidad: lavaloz A (MCLA) y lavaloz B (MCLB), contrastados con un agente convencional de referencia (Elasto-Foam S-55). Ambos morteros experimentales replicaron la dosificación estándar establecida por Lizama (2000), con una relación agua/cemento de 0.5 y densidad objetivo de 1400 kg/m³. La dosificación de agentes espumantes se fijó en 80 ml/L de agua, valor validado experimentalmente al estabilizar la densidad de la espuma, se estabiliza en 80 g/L.

Para la fabricación de probetas, se siguieron las normas NCh 158 (flexotracción/compresión) y NCh 2221 (retracción). Se elaboraron 12 probetas prismáticas de 40×40×160 mm por mezcla (MCLA y MCLB) para ensayos destructivos, y 14 probetas de 25×25×285 mm para retracción. El proceso de mezclado se estructuró en tres etapas:

1. Generación de espuma mediante mezclador manual y taladro eléctrico.

2. Preparación de la mezcla base con cemento Portland de alta resistencia paréntesis ACI 523:2014), arena tamizada (≤ 1 mm) y agua potable (NCh 409/2005).
3. Incorporación de la espuma a la mezcla base con agitación suave, preservando la integridad de las burbujas.

Previo al moldeado, se aplicó desmoldante en las superficies de contacto para asegurar un desmolde óptimo. Las condiciones de curado se adaptaron a los requisitos de cada ensayo:

-Probetas de retracción: desmolde a 72 horas (por resistencia insuficiente a 48 h), almacenadas en cámara húmeda (20°C, 95% HR) y en aire libre (19°C promedio).

-Probetas mecánicas: desmolde a 96 horas, seguidas de inmersión en agua saturada con cal (23°C) hasta 15 minutos antes del ensayo, cuando se secaron superficialmente.

Esta metodología permitió estandarizar variables críticas como humedad, temperatura y tiempos de fraguado, asegurando la comparabilidad con los datos históricos del mortero celular convencional (Lizama, 2000).

5. Ensayos y resultados

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos a partir de los ensayos de retracción, compresión y flexotracción, realizados en morteros celulares elaborados con agentes espumante domésticos (MCLA y MCLB). Los resultados se comparan con los datos reportados por Lizama (2000), quien utilizó aditivos espumante convencionales, con el fin de evaluar la vía habilidad técnica de los agentes alternativos.

5.1 Ensayo de retracción

El ensayo de retracción se realizó siguiendo la norma NCh 2221 en probetas de 25x25x285 mm, desmoldadas a las 72 horas y almacenadas tanto en cámara húmeda como al aire libre. Las lecturas de variación longitudinal se efectuaron periódicamente hasta los 90 días. Los resultados mostraron que:

- En cámara húmeda, la retracción fue mínima, manteniéndose estable alrededor de 0,02%.
- Al aire libre, la retracción alcanzó valores de hasta 0,12% a 90 días, superiores a los reportados en morteros con aditivos convencionales.



Imagen 1: Desmolde probetas de retracción.



Imagen 2: Aparato medidor.

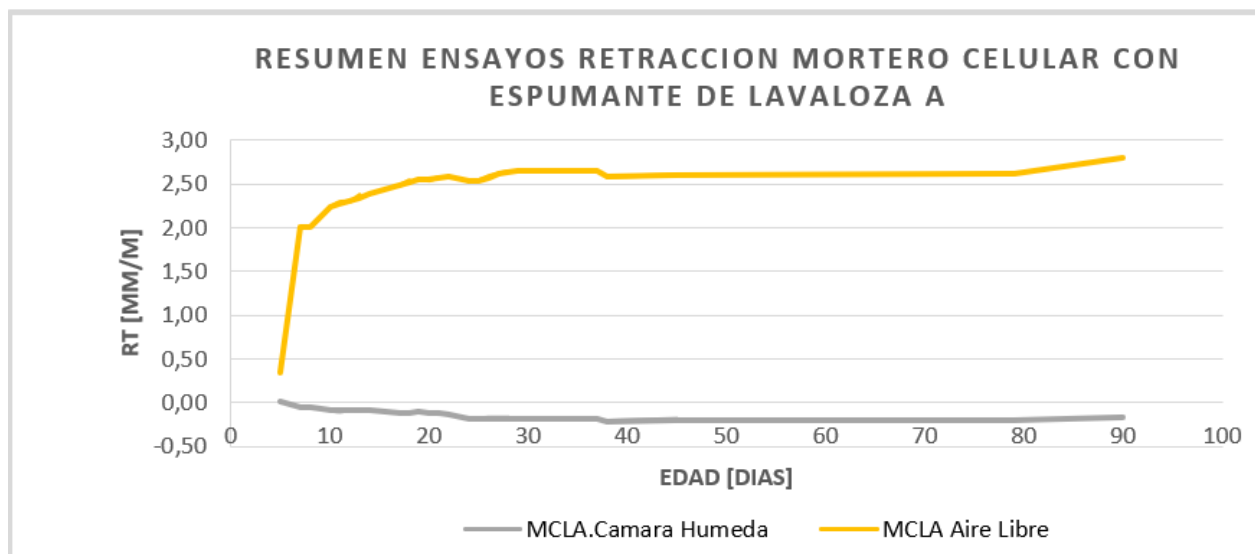


Gráfico 1: Resultados del ensayo de retracción Mortero Celular A (MCLA).

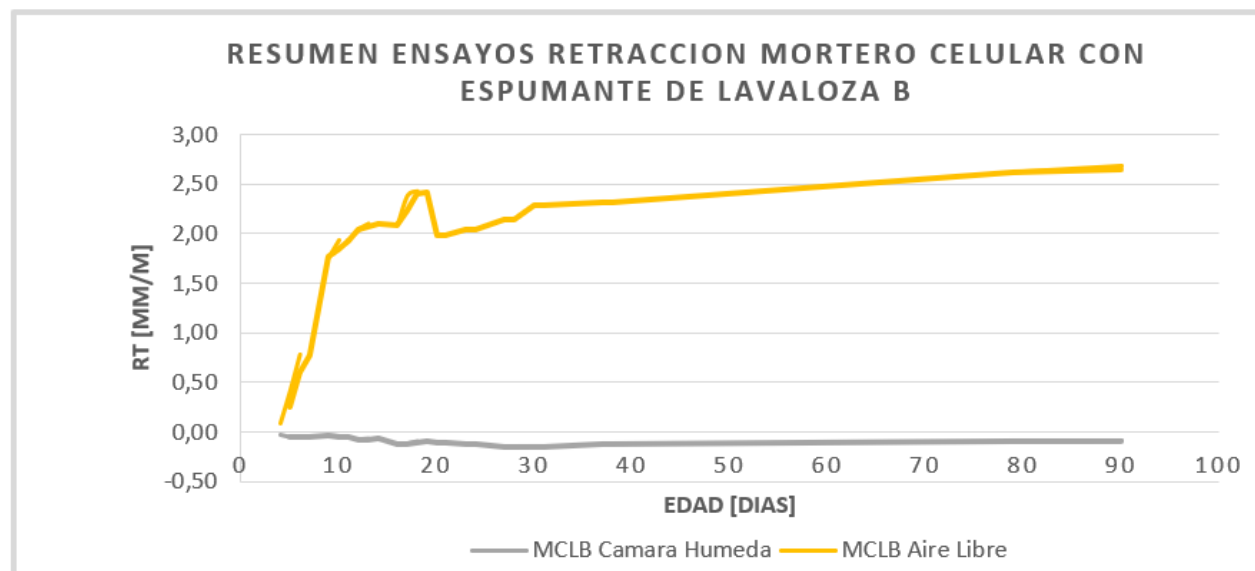


Gráfico 2: Resultados del ensayo de retracción Mortero Celular B (MCLB).

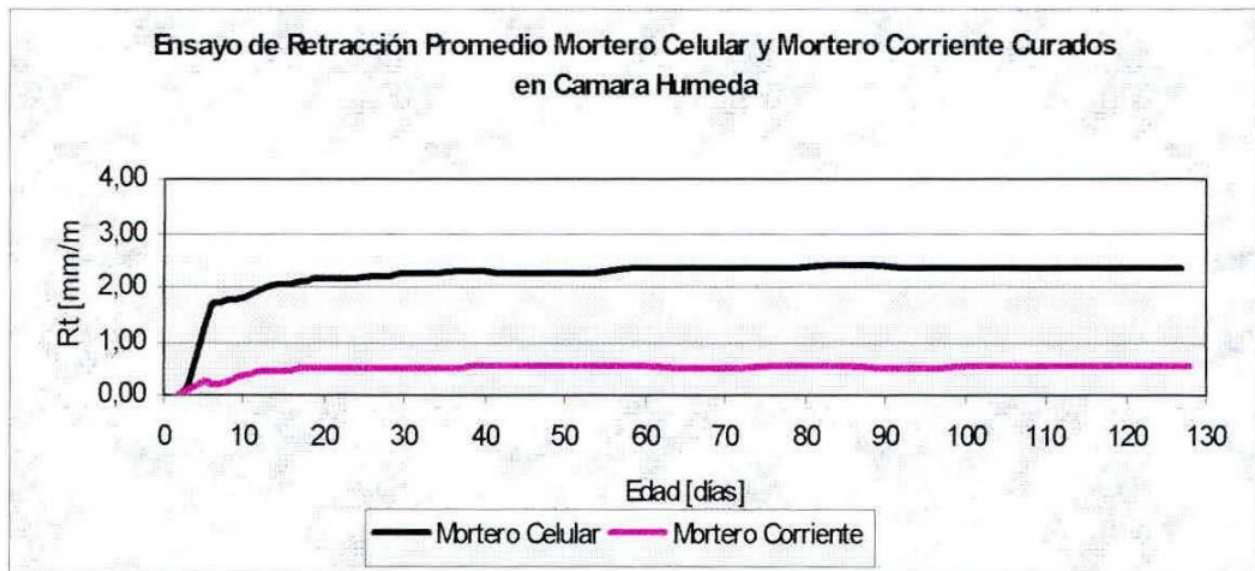


Gráfico 3: Resultados del ensayo de retracción mortero celular convencional y mortero corriente curados en cámara húmeda. (fuente: Lizama, 2000)

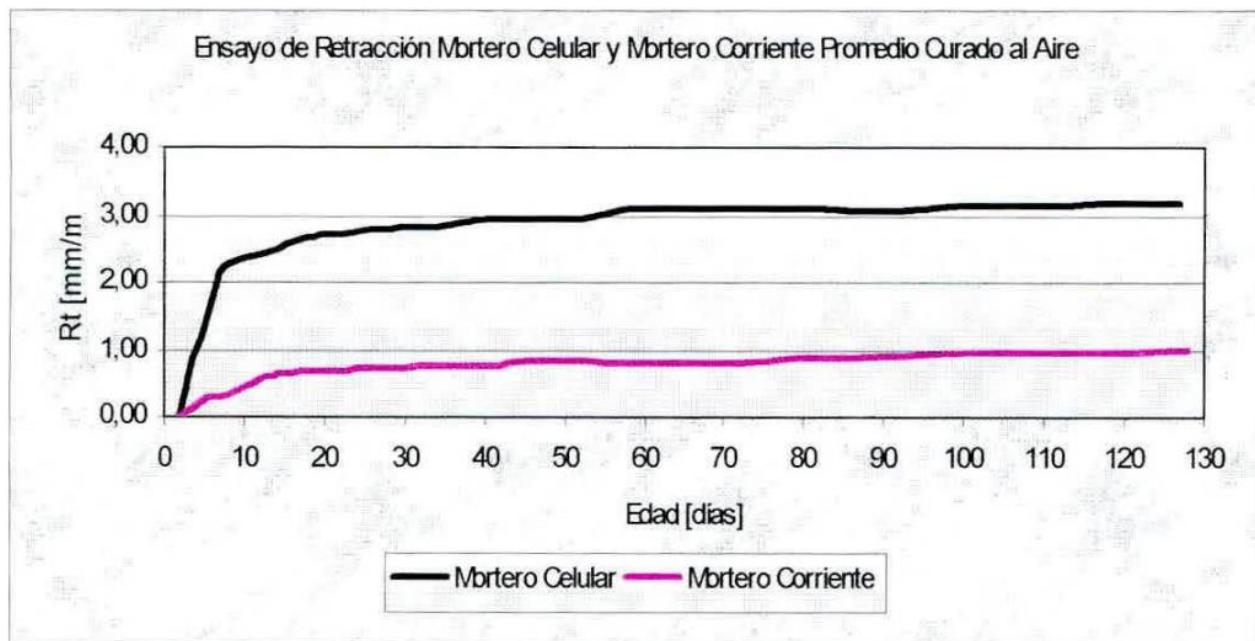


Gráfico 4: Resultados del ensayo de retracción mortero celular convencional y mortero corriente curados al aire. (fuente: Lizama, 2000)

5.2 Propiedades Mecánicas

5.2.1 Resistencia a flexotracción

En ensayo de flexotracción se realizó en probetas de $40 \times 40 \times 160$ mm, a edades de 3, 7, 28 y 90 días, siguiendo la norma NCh 158. Los resultados mostraron resistencias máximas de 1,1 MPa (MCLA) y 1,3 MPa (MCLB) a 28 días, comparables con el rango 1,0-1,4 MPa obtenido por Lizama (2000). A los 90 días, se observó un aumento moderado de hasta 1,5 MPa en MCLB, lo que indica una evolución positiva con el tiempo.



Imagen 3: Ensayo a flexotracción, equipo Tonindustrie Berlín – West.

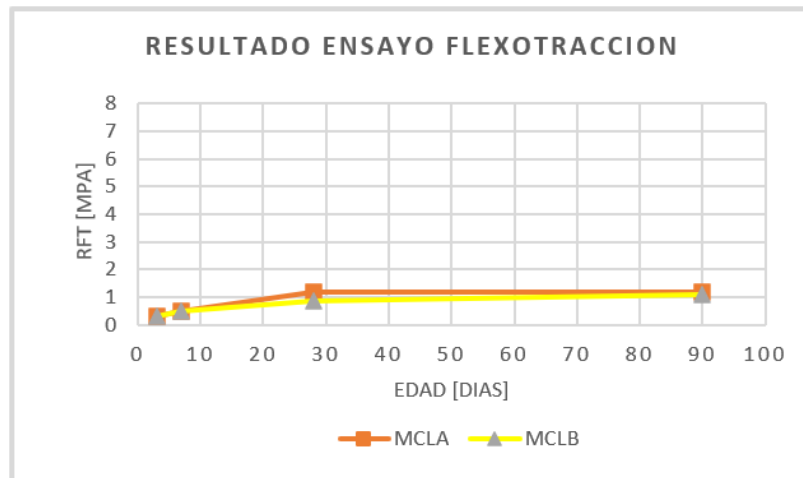


Grafico 5: Resultados del ensayo de flexotracción Mortero Celular A (MCLA) y Mortero Celular B (MCLB).

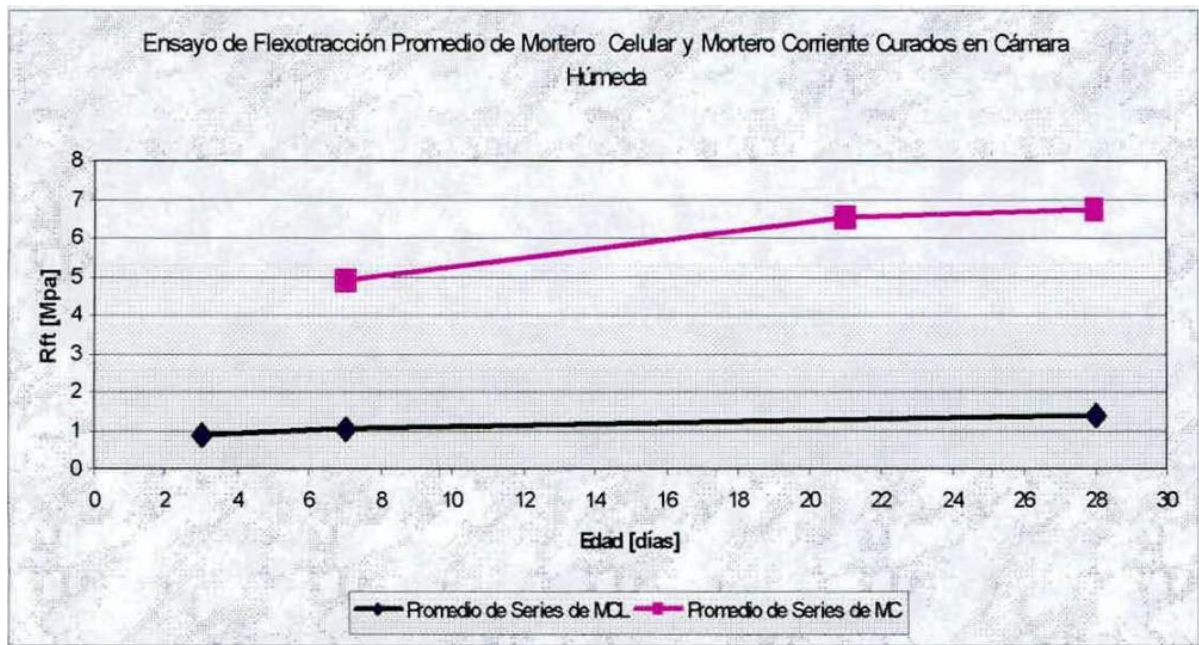


Gráfico 6: Resultados del ensayo de flexotracción mortero celular convencional (MCL) y mortero corriente (MC) curados en cámara húmeda. (fuente: Lizama, 2000)

5.2.2 Resistencia a la Compresión

Las mitades de las probetas ensayadas a flexotracción se sometieron a compresión axial, según la norma NCh 158. Los resultados evidenciaron resistencias de 3,2 MPa (MCLA) y 3,8 MPa (MCLB) a 28 días, valores cercanos al rango de 3,5-4,0 MPa de morteros con aditivos convencionales. A 90 días, las resistencias alcanzaron hasta 4,5 MPa en el caso de MCLB, confirmando un desempeño mecánico aceptable para aplicaciones no estructurales.



Imagen 4: Ensayo a compresión, equipo Tonindustrie Berlín – West.

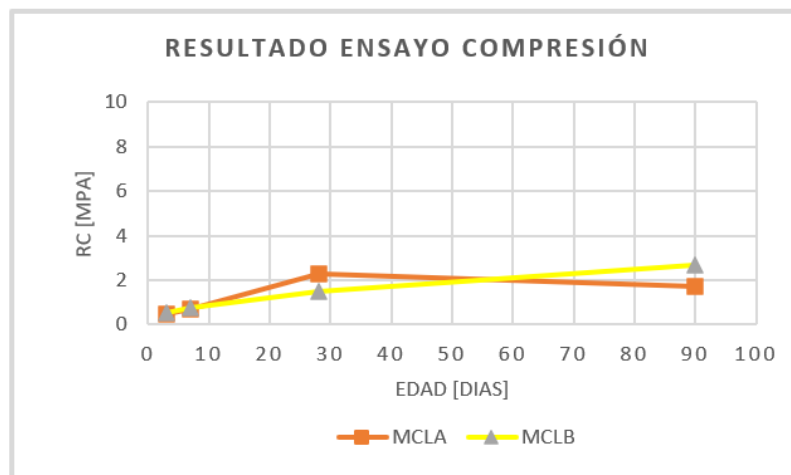


Gráfico 7: Resultados del ensayo de compresión MCLA y MCLB.

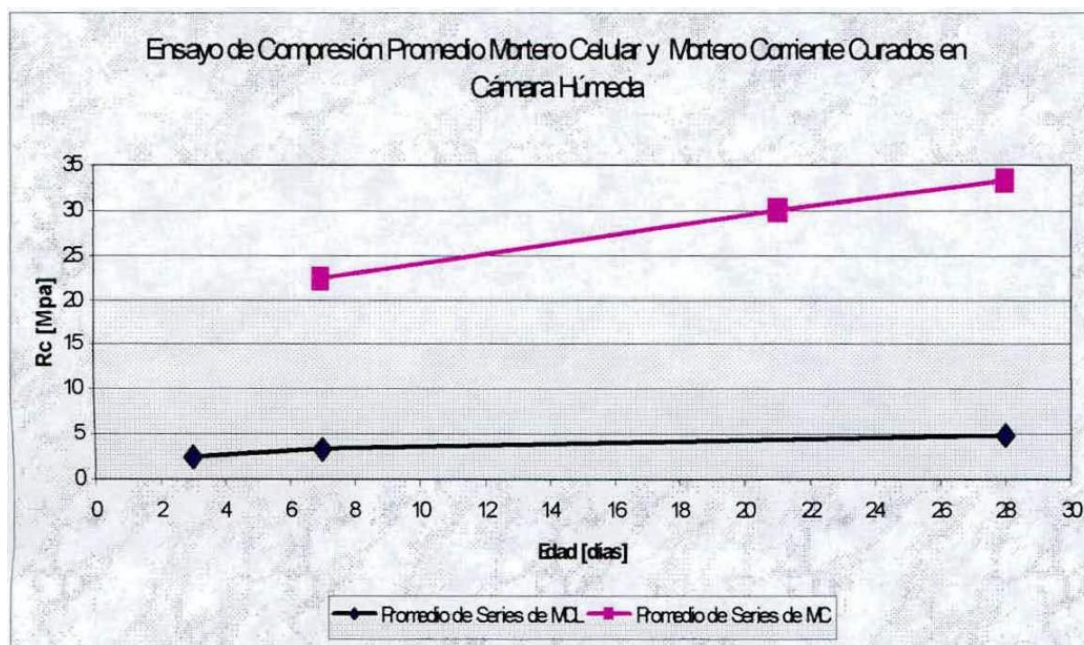


Gráfico 8: Resultados del ensayo de compresión mortero celular convencional (MCL) y mortero corriente (MC) curados en cámara húmeda. (Fuente: Lizama, 2000)

5.3 Discusión de resultados

En términos generales, los morteros celulares con aditivos domésticos mostraron un comportamiento similar al reportado por Lizama (2000), con diferencias principalmente en la retracción, que fue más pronunciada en condiciones de exposición al aire libre. Las resistencias mecánicas, tanto en compresión como en flexotracción, se situaron dentro de los márgenes esperados para morteros livianos destinados a elementos no estructurales. Estos resultados avalan la factibilidad técnica de utilizar agentes espumantes alternativos en la producción de morteros celulares.

6. Conclusiones

El hormigón celular espumado se presenta como una solución innovadora y versátil en el ámbito de la construcción moderna. Su estructura porosa no solo reduce el peso de las edificaciones, sino que también ofrece beneficios significativos en términos de aislamiento térmico y resistencia al fuego. A medida que la industria de la construcción busca materiales más eficientes y sostenibles, el hormigón celular espumado destaca como una opción viable que puede satisfacer estas exigencias.

Los estudios realizados en este informe han demostrado que, a través de una cuidadosa selección de materiales y una dosificación adecuada, es posible producir hormigón celular espumado con propiedades mecánicas competitivas en comparación con hormigones convencionales. La investigación futura podría centrarse en la optimización de técnicas de producción y la evaluación de su desempeño a largo plazo en diversas aplicaciones constructivas.

No obstante, el estudio presenta limitaciones que contextualizan sus hallazgos siendo que el análisis se restringe a dos agentes domésticos, sin explorar variantes químicas o concentraciones; por otro lado los ensayos se realizaron exclusivamente en condiciones controladas de laboratorio, sin exponer las probetas a agentes ambientales agresivos; y no se evaluaron propiedades complementarias como aislamiento acústico o resistencia térmica, cruciales para aplicaciones integrales.

Para futuras investigaciones, se recomienda optimizar dosificaciones mediante diseño experimental factorial, considerando interacciones cemento-espumante; extender los plazos de evaluación a 365 días para cuantificar degradación a largo plazo; y validar desempeño en entornos reales, midiendo impacto de humedad, ciclos hielo-deshielo y exposición a sulfatos. Complementariamente, sería valioso analizar la huella de carbono de estos morteros, integrando criterios de sostenibilidad en su evaluación.

Estos morteros con agentes domésticos representan una alternativa técnicamente sólida y económicamente competitiva para la construcción sostenible, siempre que se apliquen en contextos donde la resistencia temprana no sea crítica. Su implementación a escala industrial podría democratizar el acceso a hormigones celulares, impulsando soluciones ligeras en zonas con limitaciones de recursos.

7. Lista de referencias

1. ACI 213 (2003). Guide for Structural Lightweight-Aggregate Concrete.
2. ACI 523 (2014). Guide for Cellular Concretes above 50 lb/ft³ (800 kg/m³).
3. Arce, J. (1997). Hormigón Liviano: Conceptos y Aplicaciones.
4. Lizama, R. (2000). Estudio del mortero celular espumado. UTFSM.
5. Mohammed, T., & Hamad, A. (2014). Lightweight Concrete Technology.
6. NCh 158 (1967). Hormigón - Ensayo de flexión y compresión de probetas prismáticas.
7. NCh 2221 (1996). Hormigón - Ensayo de retracción por secado.

8. Olavarría, C. (2008). Prefabricados de hormigón celular.
9. Romea, J. (2014). Historia del hormigón: de Roma a la actualidad.
10. Valdez, P. (2010). Hormigones Livianos: Estado del Arte.

8. Anexos

8.1 Anexo A: Tablas y datos

ENSAYO DE RETRACCION MORTERO CELULAR						
LAVALOZA A [mm/m]						
EDAD [dias]	CAMARA HUMEDA			AIRE LIBRE		6
	1	2	3	4	5	
4	-0,020	-0,01	-0,02	-0,38	-0,31	-0,36
5						
6						
7	0,000	0,08	0,08	-1,96	-1,99	-2,07
8						
9						
10	0,050	0,1	0,1	-2,18	-2,24	-2,29
11	0,070	0,11	0,12	-2,26	-2,3	-2,34
12	0,040	0,1	0,09	-2,29	-2,32	-2,31
13	0,080	0,09	0,09	-2,36	-2,38	-2,4
14	-31,750	-24,940	-22,030	-23,360	-24,560	-22,750
15						
16						
17	0,070	0,14	0,14	-2,45	-2,49	-2,52
18	0,070	0,13	0,13	-2,49	-2,57	-2,58
19						
20	0,100	0,13	0,13	-2,49	-2,57	-2,58
21	0,100	0,15	0,14	-2,54	-2,59	-2,62
22						
23						
24	0,158	0,19	0,20	-2,48	-2,54	-2,57
25	0,148	0,208	0,208	-2,512	-2,552	-2,582
26	0,148	0,208	0,178	-2,542	-2,582	-2,662
27	0,148	0,198	0,188	-2,562	-2,622	-2,692
28	0,148	0,208	0,178	-2,582	-2,642	-2,722
29						
30						
31	0,130	0,21	0,20	-2,60	-2,65	-2,69
37						
38	0,168	0,24	0,25	-2,56	-2,59	-2,61
45	0,140	0,23	0,21	-2,58	-2,62	-2,63
79						
90	0,110	0,22	0,18	-2,78	-2,82	-2,79

Tabla 1: Datos de ensayo de retracción MCLA.

ENSAYO DE RETRACCIÓN MORTERO CELULAR								
LAVALOZA B [mm/m]								
EDAD [días]	CAMARA HUMEDA				AIRE LIBRE			8
	1	2	3	4	5	6	7	
4	0,03	0,02	0,02	0,06	-0,09	-0,07	-0,07	-0,11
5	0,07	0,04	0,04	0,06	-0,47	-0,29	-0,33	-0,56
6	0,07	0,04	0,04	0,06	-1,41	-0,43	-0,48	-0,79
7								
8								
9	0,05	0,038	0,028	0,048	-1,782	-1,712	-1,742	-1,822
10	0,05	0,04	0,03	0,06	-1,86	-1,83	-1,87	-2,16
11								
12	0,08	0,06	0,07	0,09	-2,06	-2,02	-1,99	-2,1
13	0,08	0,05	0,06	0,08	-2,12	-2,03	-2,06	-2,17
14								
15								
16	0,13	0,11	0,14	0,13	-2,11	-2,02	-2,06	-2,14
17	0,128	0,118	0,088	0,118	-2,142	-2,072	-3,092	-2,212
18	0,11	0,078	0,078	0,108	-2,182	-2,112	-3,142	-2,252
19								
20	0,14	0,08	0,08	0,13	-2,24	-2,16	-1,25	-2,29
21								
22								
23	0,14	0,12	0,1	0,13	-2,3	-2,21	-1,27	-2,39
24								
25								
26								
27	0,17	0,15	0,14	0,17	-2,27	-2,21	-1,70	-2,36
28								
29								
30	0,15	0,138	0,128	0,168	-2,302	-2,222	-2,272	-2,372
31								
37	0,13	0,11	0,11	0,15	-2,37	-2,28	-2,28	-2,33
38								
45								
79	0,10	0,08	0,07	0,13	-2,60	-2,54	-2,65	-2,67
90	0,10	0,07	0,07	0,11	-2,75	-2,54	-2,69	-2,73

Tabla 2: Datos de ensayo de retracción MCLB.

RESISTENCIA A LA FLEXOTRACCIÓN [MPa] AGENTE ESPUMANTE A					
PROBETA	DENSIDAD	EDAD [días]			
Nº	[Kg/m3]	3	7	28	90
1	1203	0,29			
2	1137	0,29			
3	1137	0,29			
4	1215		0,49		
5	1234		0,49		
6	1211		0,49		
7	1422			1,08	
8	1406			1,08	
9	1473			1,37	
10	1270				1,08
11	1246				1,27
12	1254				1,27

Tabla 3: Datos de ensayo de flexotracción MCLA.

RESISTENCIA A LA FLEXOTRACCIÓN [MPa] AGENTE ESPUMANTE B					
PROBETA	DENSIDAD	EDAD [días]			
Nº	[Kg/m3]	3	7	28	90
1	1133	0,29			
2	1113	0,29			
3	1090	0,29			
4	1227		0,49		
5	1223		0,49		
6	1211		0,49		
7	1262			0,88	
8	1250			0,88	
9	1270			0,78	
10	1336				1,27
11	1293				0,98
12	1348				0,98

Tabla 4: Datos de ensayo de flexotracción MCLB.

Ensayo a flexotracción 3 días						
Espumante	Probeta	Peso [kg]	Volumen [m3]	Densidad [Kg/m3]	P [Kgf/cm2]	P [MPa]
A	1	0,308	0,000256	1203,125	3	0,29
	2	0,291	0,000256	1136,719	3	0,29
	3	0,291	0,000256	1136,719	3	0,29
B	1'	0,29	0,000256	1132,813	3	0,29
	2'	0,285	0,000256	1113,281	3	0,29
	3'	0,279	0,000256	1089,844	3	0,29

Ensayo a flexotracción 7 días						
Espumante	Probeta	Peso [kg]	Volumen [m3]	Densidad [Kg/m3]	P [Kgf/cm2]	P [MPa]
A	4	0,311	0,000256	1214,844	5	0,49
	5	0,316	0,000256	1234,375	5	0,49
	6	0,31	0,000256	1210,938	5	0,49
B	4'	0,314	0,000256	1226,563	5	0,49
	5'	0,313	0,000256	1222,656	5	0,49
	6'	0,31	0,000256	1210,938	5	0,49

Ensayo a flexotracción 28 días						
Espumante	Probeta	Peso [kg]	Volumen [m3]	Densidad [Kg/m3]	P [Kgf/cm2]	P [MPa]
A	7	0,364	0,000256	1421,875	11	1,08
	8	0,36	0,000256	1406,250	11	1,08
	9	0,377	0,000256	1472,656	14	1,37
B	7'	0,323	0,000256	1261,719	9	0,88
	8'	0,32	0,000256	1250,000	9	0,88
	9'	0,325	0,000256	1269,531	8	0,78

Ensayo a flexotracción 90 días						
Espumante	Probeta	Peso [kg]	Volumen [m3]	Densidad [Kg/m3]	P [Kgf/cm2]	P [MPa]
A	4	0,325	0,000256	1269,531	11	1,08
	5	0,319	0,000256	1246,094	13	1,27
	6	0,321	0,000256	1253,906	13	1,27
B	4'	0,342	0,000256	1335,938	13	1,27
	5'	0,331	0,000256	1292,969	10	0,98
	6'	0,345	0,000256	1347,656	10	0,98

Tabla 5: Resultados de ensayos de flexotracción MCLA y MCLB

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN [Kg/cm2] AGENTE ESPUMANTE A					
PROBETA	DENSIDAD	EDAD [días]			
N°	[Kg/m3]	3	7	28	90
1	1203	5,1			
2	1137	4,7			
3	1137	4,3			
4	1215		6,9		
5	1234		7,3		
6	1211		7,2		
7	1422			26,8	
8	1406			19,2	
9	1473			23,5	
10	1270				16,8
11	1246				17,1
12	1254				18,2

Tabla 6: Datos de ensayo de compresión MCLA.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN [Kgf/cm2] AGENTE ESPUMANTE B					
PROBETA	DENSIDAD	EDAD [días]			
N°	[Kg/m3]	3	7	28	90
1	1133	5,2			
2	1113	5,5			
3	1090	5,4			
4	1227		7,8		
5	1223		8,5		
6	1211		7,5		
7	1262			16,0	
8	1250			16,2	
9	1270			12,7	
10	1336				22,9
11	1293				28,1
12	1348				31,0

Tabla 7: Datos de ensayo de compresión MCLB.

Ensayo a compresión 3 días							
Espumante	Probeta	Peso [kg]	Volumen [m3]	Densidad [Kg/m3]	P1.1 [KN]	P1.2 [KN]	PROMEDIO P[KN]
A	1	0,308	0,000256	1203,125	0,78	0,83	0,805
	2	0,291	0,000256	1136,719	0,73	0,75	0,74
	3	0,291	0,000256	1136,719	0,68	0,68	0,68
B	1'	0,29	0,000256	1132,813	0,95	0,69	0,82
	2'	0,285	0,000256	1113,281	0,86	0,86	0,86
	3'	0,279	0,000256	1089,844	0,76	0,94	0,85

Ensayo a compresión 7 días							
Espumante	Probeta	Peso [kg]	Volumen [m3]	Densidad [Kg/m3]	P1.1 [KN]	P1.2 [KN]	PROMEDIO P[KN]
A	4	0,311	0,000256	1214,844	1,03	1,15	1,09
	5	0,316	0,000256	1234,375	1,11	1,19	1,15
	6	0,31	0,000256	1210,938	1,09	1,16	1,125
B	4'	0,314	0,000256	1226,563	1,23	1,22	1,225
	5'	0,313	0,000256	1222,656	1,25	1,43	1,34
	6'	0,31	0,000256	1210,938	1,21	1,13	1,17

Ensayo a compresión 28 días							
Espumante	Probeta	Peso [kg]	Volumen [m3]	Densidad [Kg/m3]	P1.1	P1.2	PROMEDIO P[KN]
A	4	0,364	0,000256	1421,875	3,81	4,6	4,205
	5	0,36	0,000256	1406,250	2,9	3,12	3,01
	6	0,377	0,000256	1472,656	3,98	3,39	3,685
B	4'	0,323	0,000256	1261,719	2,32	2,72	2,52
	5'	0,32	0,000256	1250,000	2,89	2,21	2,55
	6'	0,325	0,000256	1269,531	1,88	2,11	1,995

Ensayo a compresión 90 días							
Espumante	Probeta	Peso [kg]	Volumen [m3]	Densidad [Kg/m3]	P1.1	P1.2	PROMEDIO P[KN]
A	4	0,325	0,000256	1269,531	2,57	2,7	2,635
	5	0,319	0,000256	1246,094	2,55	2,81	2,68
	6	0,321	0,000256	1253,906	2,29	3,42	2,855
B	4'	0,342	0,000256	1335,938	3,5	3,69	3,595
	5'	0,331	0,000256	1292,969	4,67	4,15	4,41
	6'	0,345	0,000256	1347,656	5,04	4,7	4,87

Tabla 8: Resultados de ensayos de compresión MCLA y MCLB.