



**Aplicación del sistema Echostone en Chile para la construcción de viviendas
sociales**

Proyecto de Título para optar al Título de Constructor Civil

Estudiante:
Juan Ernesto Benavides Villaseca

Profesor Guía:
Michael Silva Espinoza

Fecha:
Diciembre 2021
Santiago, Chile

Resumen

El sistema Echostone busca resolver el problema de la vivienda a nivel mundial, se utiliza para la construcción de viviendas básicas, buscando poder entregar una vivienda económica y de calidad a las personas que no pueden acceder a ellas. Se ha utilizado en diferentes partes del mundo, sin embargo, para su aplicación en Chile se deben realizar algunas adaptaciones para que pueda cumplir con la normativa Chilena. Al ser un sistema que utiliza hormigón celular armado de baja resistencia, es que esta tesis se enfoca en mejorar dicha resistencia manteniendo sus características básicas, como lo es la incorporación de aire, baja densidad y fabricación en terreno, a través de laboratorios y ensayos realizados en la universidad.

Summary

Echostone system tries to solve the housing problem at a global level, its mission is to construct high quality housing for low and middle income communities. It has been used in different countries, but to be applied in Chile there has to be some adaptations so it can fit the Chilean law. Being a system that utilizes cellular lightweight concrete with very low resistance for Chilean standards, this thesis focuses on improve the resistance mantaining basic characteristics, such as air incorporation, low density and on site concrete production, through essays and lab work at Mayor University in Santiago.

ÍNDICE

Introducción	7
Motivación: Erradicar los campamentos en Chile	7
Realidad de los campamentos en Chile	8
Problemas de los campamentos en Chile.....	9
Problemas de la vivienda social en Chile	10
Sistemas y soluciones para la vivienda definitiva	10
Normativa y Leyes.....	10
Sistema ECHOSTONE como posible solución.....	14
Objetivos y objetivos específicos	17
Objetivos	17
Objetivos específicos.....	17
Metodología	17
Análisis de las características técnicas del sistema con respecto a la normativa chilena	17
Selección del punto más importante a desarrollar, para lograr el cumplimiento con la norma.....	20
Laboratorios técnicos.....	20
Desarrollo.....	20
Selección y características de los materiales	20
Arenas y cemento.....	21
Aditivo (Darafill 200)	22
Dosificación.....	23
Experimentos con el hormigón.....	28
Experimentos sin aditivo	28
Experimentos con aditivo	31
Mezcla Manual:	32
Mezcla Mecánica:	35
Ensayo a la compresión:	38
Comparación de resultados	39
Comparación con sistemas actuales	40

Conclusiones41
 Conclusiones del trabajo41
 Trabajo futuro.....41
Referencias bibliográficas42

SOLO USO ACADÉMICO

ÍNDICE GRAFICOS

Gráfico 1: Cantidad de formación de campamentos por década.....	7
Gráfico 2: n° de campamentos en Chile.....	8
Gráfico 3: n° de personas en poblaciones.....	8
Gráfico 4: Rango dosificación 1.....	24
Gráfico 5: Rango dosificación 2.....	24

ÍNDICE IMAGENES

Imagen 1: Ejemplo panel SIP.....	12
Imagen 2: Instalación panel SIP.....	12
Imagen 3: Sistema celular.....	13
Imagen 4: Radier hormigon celular.....	14
Imágenes 5 y 6: Moldajes e instalación de moldaje.....	15
Imagen 7: Armadura (malla acma).....	15
Imágenes 8 y 9: Hormigonado y descimbrado.....	16
Imagen 10: Casa terminada.....	16
Imagen 11: Muestras sin aditivo.....	29
Imagen 12: Ensayo compresión sin aditivo.....	30
Imagen 13: Resultado ensayo compresión sin aditivo.....	31
Imagen 14: Proceso mezcla manual.....	32
Imagen 15: Representación ensayos cono mezcla manual.....	33
Imagen 16: Comparación muestras con y sin aditivo.....	34
Imagen 17: Peso muestra sin aditivo mezcla manual.....	35
Imagen 18: Proceso mezcla mecánica.....	36
Imagen 19: Resultados cono mezcla mecánica.....	36
Imagen 20: Ensayo cono.....	38
Imagen 21: Peso muestras mezcla mecánica.....	37
Imagen 22: Ensayo compresión muestras mezcla mecánica.....	38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Especificaciones técnicas de Panel SIP para muro, empresa SudPanel.....	12
Tabla 2: Tabla de fuerzas a la compresión Echostone.....	18
Tablas 3 y 4: Clasificación y elección de hormigón según norma NCH 170.....	19
Tabla 5: Características árido fino.....	21
Tabla 6: Características árido grueso.....	21
Tabla 7: Características cemento.....	22
Tabla 8: Características dosificación 1.....	23
Tabla 9: Características dosificación 2.....	24
Tabla 10: Comparación resultados ensayos.....	39

SOLO USO ACADÉMICO

Introducción

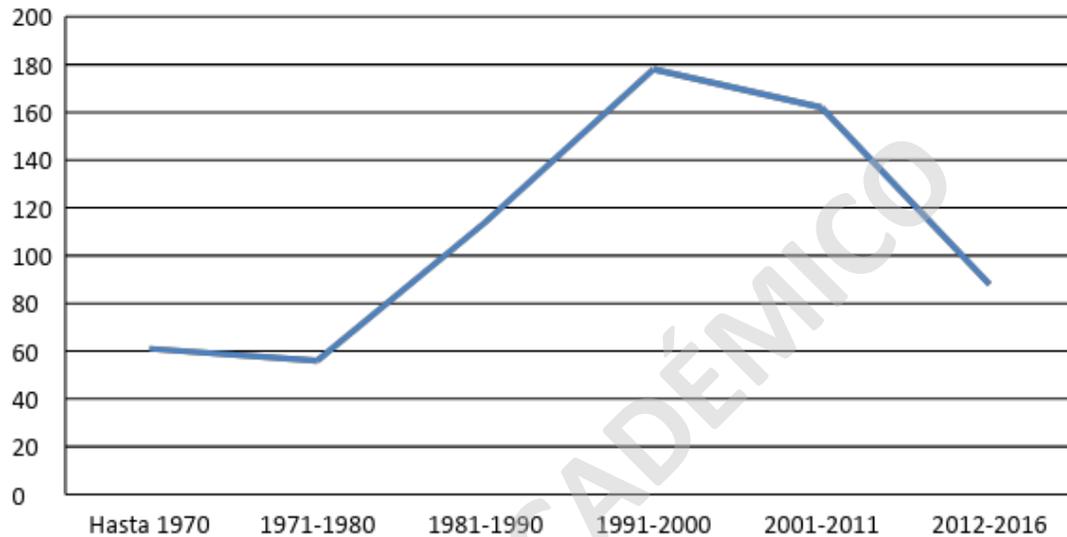
Se sabe que existe un problema alrededor del mundo con respecto a las condiciones en que viven muchas familias ya sea por la inestabilidad económica del país o falta de desarrollo. Familias que se ven obligadas a instalarse en terrenos que no les pertenece, en improvisadas construcciones con los materiales que encuentran, trayendo problemas higiénicos, de hacinamiento, legales, etc. Además está decir, que muchos tampoco cuentan con agua potable o acceso a luz eléctrica. Chile, a pesar de haber progresado bastante en este sentido, no está exento de este problema.

Motivación: Erradicar los campamentos en Chile

Existen muchas instituciones, fundaciones y ONG que ofrecen diversos tipos de ayuda y soluciones para revertir esta situación, ya sea con servicios médicos, enviando alimento, con voluntarios para construir distintos tipos de obras (como colegios y casas) o enseñar en los colegios. En Chile, tenemos empresas e instituciones que se dedican principalmente a la construcción de lo que se llama “Vivienda Social”. Este tipo de vivienda ofrece una solución de rápida construcción y de bajo costo que ha servido para entregarle una vivienda definitiva a muchas familias, sin embargo, sigue siendo una construcción de muy baja calidad, además, la solución que se ofrece es solo habitacional, ya que muchas familias terminan ocupando la red eléctrica de manera ilegal o con problemas para la cuenta de agua.

Realidad de los campamentos en Chile

Grafico 1: Cantidad de formación de campamentos por década
Cantidad de formacion de campamentos por década



Fuente: Elaboración Propia

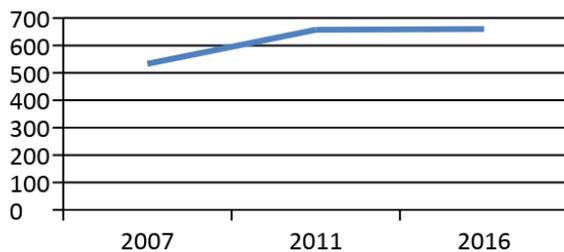
Los primeros campamentos comienzan a aparecer a fines de los años 30 debido a la gran migración que hubo del campo a las ciudades, estos cambios comienzan a hacerse notar de forma más notoria entre los años 50 y 60, cuando comienzan las tomas ilegales de los terrenos. Ya en el año 96, estos campamentos son reconocidos y comienzan planes de erradicación, creándose programas y fundaciones para lograr este objetivo.

Según una encuesta del CASEN en 2015, Chile habría resultado con el menor índice de pobreza entre los países de Sudamérica con un 11,7%, pero a pesar de ser ello, esta cifra indica que aun existen familias en Chile a las que se les puede dar una mejor calidad de vida, optimizando o erradicando los campamentos y poblaciones en las que actualmente viven.

Según un catastro de campamentos, realizado por Techo-Chile entre Mayo y Junio de 2016, revelo que existen 660 campamentos a lo largo del país, más de 38.000 familias que no tiene acceso regular a servicios básicos.

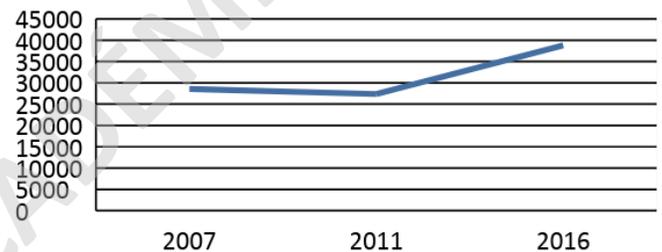
En 2015, el Centro de Investigación Social (CIS) de Techo-Chile, realiza la primera encuesta nacional de campamentos, según este estudio, un 76% de las personas que viven en campamentos, no tiene acceso a agua potable, un 91% de las viviendas no cuenta con sistema de alcantarillado (7% de éste no cuenta con acceso a servicio higiénico alguno) y un 48% no tiene un acceso formal a electricidad (3.8% de éste no cuenta con acceso a electricidad alguno). Según el mismo estudio, el ingreso mensual promedio de una familia en esta situación es de \$235.250, es decir que un 61.5% de las familias gana menos del sueldo mínimo.

Grafico 2: n° de campamentos en Chile
N° de campamentos en Chile



Fuente: Elaboración Propia

Grafico 3: n° de personas en poblaciones
N° de personas en poblaciones



Fuente: Elaboración Propia

Problemas de los campamentos en Chile

El problema de los campamentos no es solamente habitacional, hay muchas entidades que podrían intervenir para mejorar la calidad de vida de la gente en esta situación, como educación, trabajo, salud, etc. Sin embargo entregar una vivienda definitiva puede ser un buen comienzo, ya que permite mejorar los estándares básicos de vida a un corto plazo.

“Una solución partiría por Vivienda. Los trámites son demasiado largos. Para obtener una vivienda te demoras cinco o seis años según ellos. Mi comité lleva cinco años conmigo y anteriormente llevaba cuatro. Son nueve años en que la gente sigue viviendo acá. Es muy engorroso hacer los trámites de vivienda. Yo creo que el gobierno quiere demostrar una cara bonita al exterior. Yo creo que por eso muestran los índices a la baja con orgullo”. Roxana Toro, presidenta campamento san francisco, radio U. de Chile, 2 de Diciembre 2016

Problemas de la vivienda social en Chile

No solamente presentan problemas los trámites y burocracia que se deben seguir para poder adquirir una de estas viviendas definitivas, (adquisición del terreno, ente patrocinador, postulación a la subvención, etc.) sino que también hay problemas al recibirlas. Al ser viviendas sencillas, de bajo costo, con características técnicas básicas y terminaciones de baja calidad, las construcciones suelen presentar problemas durante los primeros meses de uso, como fallas eléctricas, goteras, humedad, etc. Es por esto que la construcción de una vivienda definitiva de calidad es la solución base para la solución a los campamentos.

Sistemas y soluciones para la vivienda definitiva

En base al punto anterior es que el gobierno ha ido regulando con normativa los requerimientos básicos que definen a una vivienda social, además, con el tiempo se han ido desarrollando tecnologías que permiten bajar el costo y tiempo de construcción, además de entregar un producto final de mejor calidad.

Normativa y Leyes

En la medida que los proyectos de viviendas sociales se fueron desarrollando surgieron una serie de leyes para regular tanto su calidad de construcción como los subsidios para quien quiera acceder a una.

Para los subsidios hay diferentes Decretos Supremos (DS) que básicamente determinan a cuantas Uf se puede postular dependiendo de la situación económica (DS 19, DS 174, DS49)

En términos constructivos, dentro de las más importantes, se encuentra un Decreto con Fuerza de Ley (DFL) que se publica en 1959, el cual regula y establece cuales deben ser las características básicas de una vivienda económica, lo que se conoce actualmente como DFL 2.

La Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC) en su Título VI define y establece el reglamento especial para viviendas sociales y económicas.

“Artículo 6.1.1. El presente Título fija el texto del Reglamento Especial de Viviendas Económicas a que se refieren el artículo 1° del D.F.L. N° 2, de 1959 y el TITULO IV de la Ley General de Urbanismo y Construcciones, establece las condiciones que deberá cumplir una vivienda para que sea considerada vivienda económica, las normas por las cuales se regirá su urbanización y dispone los preceptos que se considerarán en la aprobación de los proyectos que las incluyen.

Artículo 6.1.2. Para los efectos del presente Título se entiende por:
- *Vivienda económica: la que se construye en conformidad a las disposiciones del D.F.L. N° 2, de 1959; las construidas por las ex Corporaciones de la Vivienda, de Servicios Habitacionales y de Mejoramiento Urbano y por los Servicios de Vivienda y Urbanización y los edificios ya construidos que al ser rehabilitados o remodelados se transformen en viviendas, en todos los casos siempre que la superficie edificada no supere los 140 m² y reúna los requisitos, características y condiciones que se fijan en el presente Título.*
- *Vivienda Social: la vivienda económica de carácter definitivo, cuyas características técnicas se señalan en este título, cuyo valor de tasación no sea superior a 400 unidades de fomento, salvo que se trate de condominios de viviendas sociales en cuyo caso podrá incrementarse dicho valor hasta en un 30%.” Decreto con fuerza de ley N° 2 (1959, 31 julio). <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=3483>*

Lo que se traduce básicamente en que una vivienda económica es la que está construida conforme a las disposiciones del DFL 2 y no supera los 140 m², y que una vivienda social es la que no supera un valor de 400 Uf, salvo que se trate de la construcción de condominios.

Por otra parte, uno de los sistemas de construcción más comunes que hay en Chile, es el del hormigón armado, cuyas características de clasificación y el cómo deben ser usados están en la ley NCH 170, la cual fue actualizada el 2016 (exige que las muestras de hormigón sean cilíndricas) pero por motivos de infraestructura y materiales disponibles, los experimentos realizados se basaron según la penúltima actualización de la norma, NCH 170 de 1985 (exige que las muestras de hormigón sean cúbicas)

Norma nch 2432

Tecnologías

Con el desarrollo de la tecnología, se han ido desarrollando nuevas soluciones constructivas que permiten una construcción rápida, económica y con características técnicas suficientes como para poder realizar la construcción de una vivienda. Dentro de los principales sistemas, podemos encontrar dos:

Panel SIP

El panel SIP (Structural Isolated Panel) consiste en un panel estructural aislante con centro de espuma de poliestireno expandido, lo que ofrece una buena aislación térmica, resistencia estructural, y debido a que son livianos, no necesita de mucha mano de obra para ser instalados lo que le da facilidad y rapidez de instalación.

Se diseña la vivienda, se fabrican las piezas estructurales para luego ser transportadas a la obra, donde son ensambladas.

Imagen 1: Ejemplo panel SIP



Imagen 2: Instalación panel SIP



Fuente: Rescatado de www.sudpanel.cl

Tabla 1: Especificaciones técnicas de Panel SIP para muro, empresa SudPanel

UNION DE CLAVIJAS		ESPESOR PANEL SIP OSB/OSB (mm)				
Tipo de carga	UNIDAD	75	90	114	160	210
Carga vertical*	kg/m	2300	2900	3500	4250	4950
Carga horizontal*	kg/m	500	500	500	500	500
Carga Transversal*	kg/m ²	120	150	200	300	370
UNION DE MADERAS		ESPESOR PANEL SIP OSB/OSB (mm)				
Tipo de carga	UNIDAD	75	90	114	160	210
Carga vertical*	kg/m	3000	3650	4800	5850	6850
Carga horizontal*	kg/m	500	500	500	500	500
Carga Transversal*	kg/m ²	120	150	200	300	370

*Criterio de deformación H/244
Paneles fabricados con OSB 11,1 mm, excepto panel de 75 mm fabricado con OSB 9,5 mm

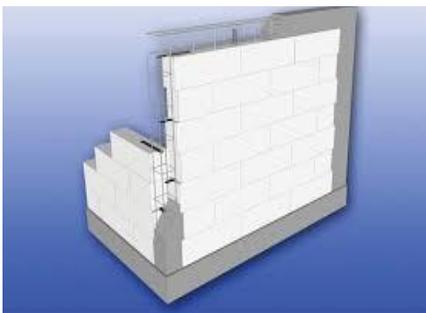
Fuente: Rescatado de www.sudpanel.cl

Hormigón celular

“Cellular Lightweight Concrete” (CLC) o Hormigón celular, es un sistema que consiste en bloques de hormigón con aire incorporado. Como dice su nombre, es un hormigón de baja densidad y gracias a la incorporación de aire, es muy liviano y manejable.

Se produce en una fábrica, se mezclan los áridos con un agente espumante que es el que genera microburbujas de aire en el producto final, esto es lo que permite que el hormigón sea liviano y tenga características aislantes. En Chile, la construcción de viviendas con este sistema se lleva a cabo a modo de albañilería confinada, es decir, se construyen los muros colocando los bloques uno sobre otro, adhiriéndolos con un mortero. Se le llama confinado ya que los muros van protegidos con vigas, cadenas y pilares de hormigón armado. También existe la modalidad de albañilería armada, que consiste en la instalación de enfierraduras de manera horizontal y vertical entre los bloques, de modo que no es necesaria la confinación.

Imagen 3: Sistema celular



Fuente: Rescatado de www.celcon.cl

Sistema ECHOSTONE como posible solución

El sistema Echostone consiste en un diseño, desarrollo y elementos constructivos de primera categoría, buscando entregar la mejor calidad para las comunidades que lo necesitan.

La construcción de una obra con este sistema puede realizarse de manera local, es decir, no es necesario contar con una mano de obra muy especializada, basta con el tradicional maestro, gasfiter o eléctrico, y con los tradicionales materiales para el sistema constructivo, el hormigón puede ser desarrollado por una planta local, al igual que los moldajes u otros tipos de materiales que se puedan necesitar.

Lo que busca el sistema principalmente es entregar una vivienda de la mejor calidad posible, estas son diseñadas de acuerdo con las necesidades a través de sistemas estandarizados.

El sistema Echostone trabaja con Hormigón celular, pero en vez de trabajar con bloques, éste es fabricado “in situ” con la maquina “Aecrete 625” que mezcla los áridos con un agente espumógeno, para luego bombear el hormigón resultante a los moldajes

El sistema en sí es sencillo y rápido, permitiendo tener la casa lista en alrededor de siete días, con el procedimiento siguiente:

-Preparación del terreno: Se prepara el terreno donde se construirá la vivienda, se pueden preparar varios a la vez, se debe nivelar y fundar debidamente, para luego realizar la losa con un hormigón celular liviano (CLC).

Imagen 4: Radier hormigon celular



Fuente: Rescatado de www.echostonehousing.com

-Moldajes: A diferencia de la construcción tradicional, en que los moldajes se colocan por muro a hormigonar, con Echostone, se instalan todos los moldajes en conjunto con el sistema de armadura, cada panel de moldaje no pesa más de 11 kilos, por lo que no es necesario el uso de grúa, entre 5 trabajadores completan la casa tipo en alrededor de 5 horas, posteriormente se realizan las instalaciones eléctricas.

Imágenes 5 y 6: Moldajes e instalación de moldaje



Fuente: Rescatado de www.echostonehousing.com

-Armadura: Se coloca solo una cara de los moldajes para luego instalar la malla de enfierraduras (malla electrosoldada tipo ACMA), luego se coloca la segunda cara del moldaje para proceder al hormigonado.

Imagen 7: Armadura (malla acma)



Fuente: Rescatado de www.echostonehousing.com

-Hormigonado: Como los moldajes se arman considerando la casa completa, el proceso de hormigonado también se realiza en su totalidad, proceso que demora en concretar en alrededor de una hora, luego de 12 horas de fraguado, son removidos los moldajes.

Imágenes 8 y 9: Hormigonado y descimbrado



Fuente: Rescatado de www.echostonehousing.com

-Terminaciones: La cubierta es instalada entre uno y dos días, las terminaciones, sistemas eléctricos, gasfitería, instalaciones de puertas y ventanas, todas están estandarizadas, lo que permite que sean instaladas rápidamente.

Imagen 10: Casa terminada



Fuente: Rescatado de www.echostonehousing.com

De entre los proyectos que ha realizado Echostone, destaca su trabajo en Nigeria con varias casas construidas durante el 2017 y con un objetivo de 2.000 casas por construir durante el 2018.

Parte del sello de la marca, es que es un sistema amigable con el medio ambiente, los materiales que se utilizan son reciclables o reutilizables, y todo lo que es transporte, almacenamiento, producción de materiales y otros puntos de logística, buscan reducir al máximo la huella de carbono del proyecto. Además, dentro de lo que la marca vende, es que se pueden equipar las casas con sistemas de auto sustentabilidad, contando con sistemas de reutilización de aguas, calentadores solares de agua, paneles solares, sistemas de energía eólica, etc.

Objetivos y objetivos específicos

Objetivos

1. Evaluar el uso del sistema ECHOSTONE en Chile como solución constructiva para viviendas sociales y económicas

Si se analizan todos los puntos mencionados anteriormente, se puede llegar a la conclusión de que el sistema Echostone podría ser una solución viable y competitiva para la construcción de viviendas económicas definitivas y de calidad.

Objetivos específicos

1. Adaptación para el cumplimiento con la normativa chilena

Metodología

Análisis de las características técnicas del sistema con respecto a la normativa chilena

El sistema Echostone se rige principalmente bajo normas y estándares internacionales, pero en Chile es diferente, hay normas que son más exigentes debido a las condiciones climáticas y sísmicas del país, siendo esta última, la más importante.

En el caso de las características de aislación térmica, acústica, resistencia al fuego u otras, es fácil compensar en caso de no cumplir con la norma, ya que se pueden aplicar tratamientos a los materiales, trabajar con barreras aislantes o incluso con revestimientos que tienen características técnicas suficientes como para apoyar al sistema en el sentido que se necesite.

Por otro lado, nos encontramos con un sistema de hormigón celular, el cual se rige por la norma NCH 2432, sin embargo, la norma rige para hormigón celular trabajado como bloques, y este sistema trabaja el hormigón celular como hormigón armado, por lo que debe regirse por la norma NCH 170, y como se menciono anteriormente, se trabajara según la norma NCH 170 de 1985.

A continuación, se presenta un cuadro con las características técnicas del sistema Echostone seguido de dos cuadros con las exigencias de la norma NCH 170:

Tabla 2: Tabla de fuerzas a la compresión Echostone

Resultados de fuerza a la compresión del sistema Echostone (muestras de 15x15x15 cm)			
Referencia de probeta	densidad	Carga de rotura (Kn)	Fuerza de compresión (MPa)
Fc1000-1	1000	74,8	3,29
Fc1000-2	1010	78,5	3,50
FC1000-3	980	73,3	3,28
Fc1200-1	1330	128,2	5,73
Fc1200-2	1310	136,0	6,02
Fc1200-3	1310	135,7	5,99

Fuente: Elaboración propia

Tablas 3 y 4: Clasificación y elección de hormigón según norma NCH 170

Tabla de clasificación de hormigones según norma NCH 170 85 (muestras de 20x20x20cm)				
Grado	MPa	Kgf/cm ²		
H5	5	50		
H10	10	100		
H15	15	150		
H20	20	200		
H25	25	250		
H30	30	300		
H35	35	350		
H40	40	400		
H45	45	450		
H50	50	500		
Tabla de Elección de Hormigón según norma NCH 170 85				
Grado	Solicitud y Exposición	Elementos Estructurales		
		En masa	Armados	Pretensados
H5	Elementos poco solicitados y sin peligro de heladas	Cimientos corridos, implantados, etc.	-	-
H10	Elementos poco solicitados y con peligro de heladas	Muros de contención, Radias	-	-
H15-H20	Elementos medianamente solicitados y con peligro de heladas	Elementos corrientes de la construcción, pavimentos, prefabricados		
H20-H35	Elementos altamente solicitados con o sin peligro de heladas	-	-	Elementos especiales de la construcción, prefabricados en taller.
>H35				

Fuente: Elaboración propia

Se destacan en los cuadros las filas que cumplen con las condiciones del estudio. Los elementos a construir con el sistema Echostone son radieres y muros, por lo que la norma exige que sean de categoría H10 y H20 respectivamente, lo que exige una resistencia de 10MPa para radieres y 20MPa para muros, pero la muestra del sistema que presentó mayor resistencia fue de 5,99MPa quedando considerablemente por debajo de la norma.

Selección del punto más importante a desarrollar, para lograr el cumplimiento con la norma

Conforme al punto anterior y considerando el enfoque del estudio, es que se ha tomado en cuenta el hormigón propiamente tal, para ser desarrollado de manera que cumpla con las características lo más similares posibles a las originales y que al mismo tiempo se encuentre acorde a la normativa chilena.

Laboratorios técnicos

Para poder llevar a cabo el desarrollo del hormigón y alcanzar el objetivo específico de adaptar a la norma Chilena el sistema Echostone, es que se la ha solicitado a la Universidad Mayor, el acceso a su laboratorio para realizar ensayos para el desarrollo hormigón celular conforme a las exigencias de la norma NCH 170.

Desarrollo

Selección y características de los materiales

Los principales materiales que se necesitan para hacer hormigón son los áridos (grava, arena), cemento y agua, el cemento actúa como aglomerante entre las partículas de los áridos generando la cohesión entre ellas a través de la reacción química que se genera con el agua. El hormigón celular es liviano, por lo que los áridos deben ser principalmente arenas finas y gruesas.

A la mezcla del hormigón, además, se le pueden añadir distintos tipos de aditivos que le otorgan diferentes características, como reducción en el uso de agua, mayor resistencia o un fraguado más rápido (velocidad al endurecerse). La característica que se busca en este caso es la incorporación de microburbujas de aire, para obtener así la característica principal del hormigón celular, es por esto que se optó por utilizar el producto Darafill 200.

Arenas y cemento

Para poder lograr un hormigón liviano, como lo es el hormigón celular, se optó por la utilización de arenas finas, gruesas y cemento. Para obtener las características de los áridos se realizó un procedimiento estándar a través de un proceso de tamizado, en el cual los áridos se filtran a través de mallas de distintas medidas, anotando los porcentajes de la cantidad de arena que pasa a través de la malla y la cantidad que queda retenida, de esta manera se puede obtener las características específicas de las partículas que conforman el árido y su densidad, de manera que se pueda determinar si serán útiles para el experimento, los cuadros reflejan los resultados:

Tabla 5: Características árido fino

Arena Fina (500gr)				
Malla		gr ret	% ret	% pasa
ASTM	mm		0	100
n°4	4,75	27	5,4	94,6
n°10	2,00	16	3,2	91,4
n°40	4,25	33	6,6	84,8
100	0,15	260	52	32,8
200	0,075	119	23,8	9
Densidad				
Apisonada		1,56 gr/cm ³		
Real		3 gr/cm ³		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6: Características árido grueso

Arena Gruesa (500gr)				
Malla		gr ret	% ret	% pasa
ASTM	Mm		0	100
n°4	4,75	104	20,8	79,2
n°10	2,00	102	20,4	58,8
n°40	4,25	137	27,4	31,4
100	0,15	129	25,8	5,6
200	0,075	21	4,2	1,4
Densidad				
Apisonada		1,89 gr/cm ³		
Real		3,3 gr/cm ³		

Fuente: Elaboración propia

El cemento que se utilizó fue Polpaico Especial, proporcionado por la Universidad Mayor, cuya ficha técnica se muestra a continuación:

Tabla 7: Características cemento

Atributo	Detalle
Contenido	42,5kg
Envase	Saco
Origen	Nacional
Marca	Polpaico
Tiempo de secado al tacto	5 días
Rendimiento	5 sacos x m ²
Recomendaciones	Un correcto almacenamiento, en lugares protegidos de la humedad, es necesario para mantener por más tiempo sus cualidades
Material	Clinker/Puzolana/Yeso
Peso	42,5kg
Características	Usado en obras con grandes masas, donde se requiera un bajo calor de hidratación
Uso	Hormigones en general

Fuente: Elaboración propia

Aditivo (Darafill 200)

Darafill 200 es un aditivo para rellenos de densidad controlada. Es una solución viscosa que se usa en morteros para rellenos, fue seleccionado para este experimento debido a las propiedades que logra en el hormigón sin aditivos. La empresa Grace Química proporcionó una muestra gratis de 1lt para este experimento.

Propiedades:

- Incorporación de burbujas por medio de acción mecánica (mezcla): Propiedad esencial ya que lo que se busca es generar hormigón celular, cuya principal característica es el aire incorporado. Darafill incorpora de un 20 a un 35% de aire.

- Reducción del requerimiento de agua (hasta un 50%)

- No produce cambios en tiempos de fraguado

- Se puede variar la cantidad dosis utilizada en función de la fluidez requerida

- Reduce la densidad promedio, facilitando el bombeo

Dosificación

Para realizar la dosificación, primero se definió qué porcentaje de material se debería utilizar, para esto se introdujeron los datos de los áridos obtenidos a través del proceso de tamizado realizado anteriormente, y los posibles porcentajes que cada uno ocuparía dentro de la mezcla en una tabla con una fórmula del programa Excel, proporcionada por el Profesor Nicolás Moreno, la cual entrega como resultado un gráfico con los límites de resistencia máxima y mínima exigidos por la norma. Considerando los datos entregados por estos gráficos, se tomó la decisión de realizar dos dosificaciones

Dosificación 1:

Relación agua cemento = 0,6

Relación cemento arena: 1:2

Arena fina: 30%

Arena gruesa: 70%

Tabla 8: Características dosificación 1

ARIDO 1	ARIDO 2	ARIDO 3	ARIDO 4	TAMIZ mm	Nch 163 Limite inf.	Nch 163 Limite sup.	Granulometría Arena
100	100			10	100	100	100
100	100			5	95	100	100
93	72			2,50	80	100	78
90	50			1,25	50	85	62
86	39			0,63	25	60	53
50	20			0,32	10	30	29
33	6			0,16	2	10	14
9,00	2,00			0,080			
30	70			100			

%ARIDOS

Fuente: Elaboración propia

Dosificación 2:

Relación agua cemento = 0,6

Relación cemento arena: 1:2

Arena fina: 20%

Arena gruesa: 80%

Tabla 9: Características dosificación 2

ARIDO 1	ARIDO 2	ARIDO 3	ARIDO 4	TAMIZ mm	Nch 163 Limite inf.	Nch 163 Limite sup.	Granulometría Arena
100	100			10	100	100	100
100	100			5	95	100	100
93	72			2,50	80	100	76
90	50			1,25	50	85	58
86	39			0,63	25	60	48
50	20			0,32	10	30	26
33	6			0,16	2	10	11
9,00	2,00			0,080			
20	80			100			

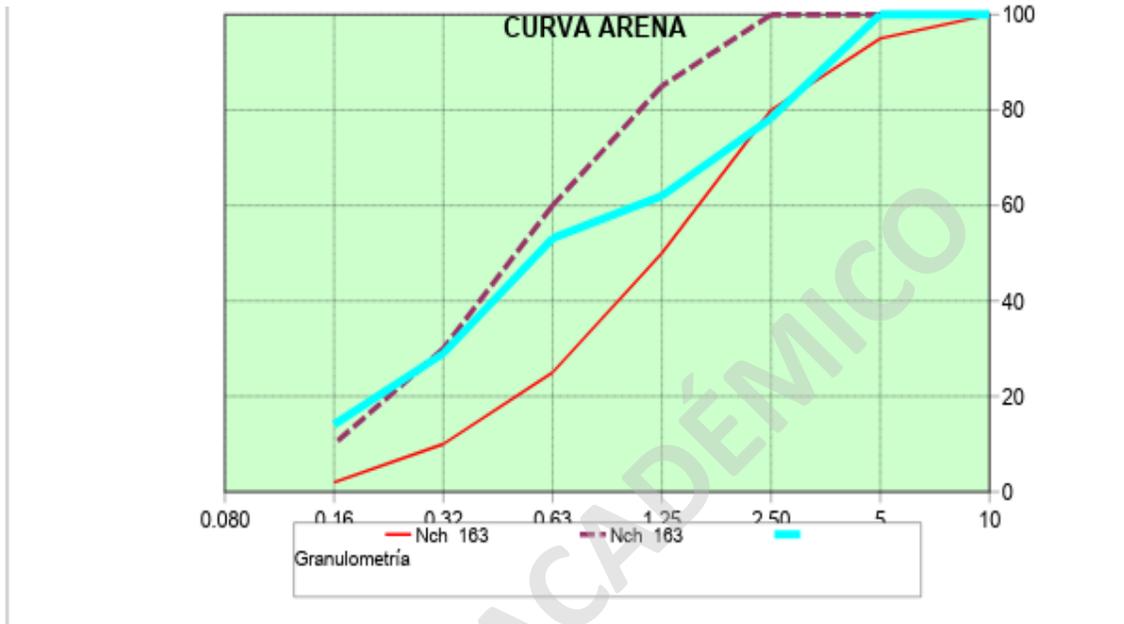
%ARIDOS

Fuente: Elaboración propia

Curvas de arena:

Dosificación 1 70/30:

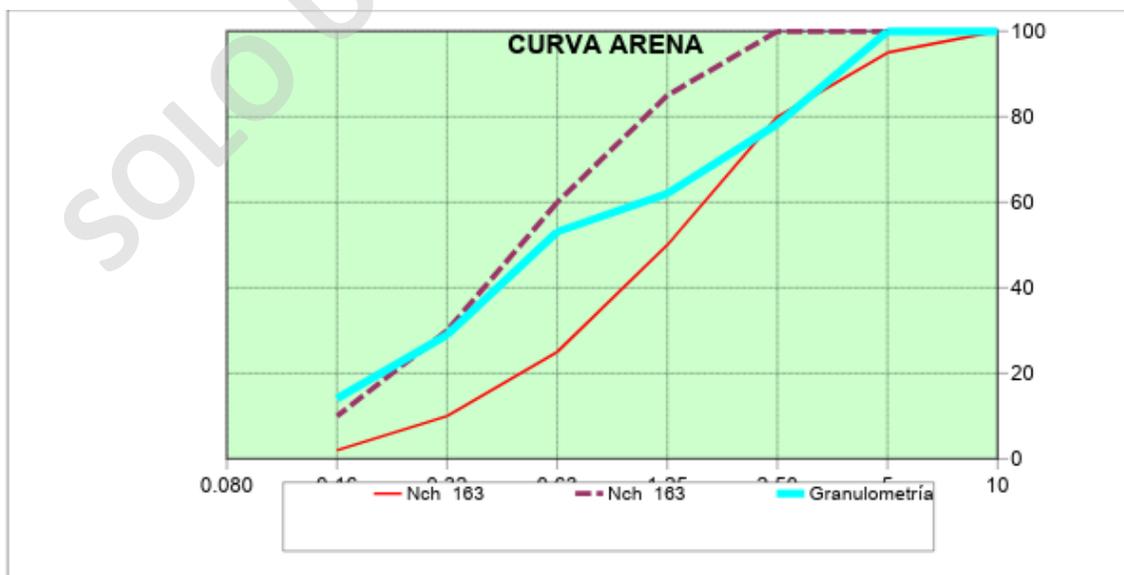
Grafico 4: Rango dosificación 1



Fuente: Elaboración propia

Dosificación 2: 80/20:

Grafico 5: Rango dosificación 2



Fuente: Elaboración propia

Luego, considerando los datos técnicos anteriores, se procede al cálculo de los distintos materiales para la mezcla del cemento,

Cálculos Dosificación 1:

Cubo de 15x15x15 = 3375cm³ Relación cemento arena: 1:2

$$\frac{3375}{3} = 1125$$

por lo tanto, el volumen del cemento que ocupa en el cubo en el molde es de 1125cm³

$$3375 - 1125 = 2250$$

Volumen de arena fina:

$$30\% \text{ de } 2250 = 675\text{cm}^3$$

Volumen de arena gruesa:

$$70\% \text{ de } 2250 = 1575\text{cm}^3$$

Kg arena fina = Volumen x densidad

$$675 \times 3 = 2,025\text{kg}$$

Kg arena gruesa

$$1575 \times 3,3 = 5,1975\text{kg}$$

Kg cemento: Considerando que el cemento es una de 3 partes:

$$\frac{51975 + 1015}{2} = 3,61125\text{kg}$$

Relación agua cemento: $\square = 3,611 \times 0,6 = 2,166\text{lbs}$

*Desde ahora llamaremos a las muestras con esta dosificación 70/30

Cálculos Dosificación 2

Como los volúmenes son los mismos, pero en distintos porcentajes de las arenas, los cálculos son los siguientes:

Volumen de arena fina:

$$20\% \text{ de } 2250 = 450\text{cm}^3$$

Volumen de arena gruesa:

$$80\% \text{ de } 2250 = 1800\text{cm}^3$$

Kg arena fina = Volumen x Masa

$$450 \times 3 = 1,350\text{kg}$$

Kg arena gruesa

$$1800 \times 3,3 = 5,94\text{kg}$$

Kg cemento: Considerando que el cemento es una de 3 partes:

$$\frac{5940 + 1350}{2} = 3,645\text{kg}$$

Relación agua cemento: $A = 3,645 \times 0,6 = 2,187\text{ts}$

*Desde ahora llamaremos a las muestras con esta dosificación 80/20

Dosificación Darafill 200:

Según las instrucciones del fabricante, se deben adicionar de 0,2 a 0,4 lts de Darafill 200 por cada metro cubico de hormigón, considerando que las muestras son de 15x15x15cm los cálculos resultan de la siguiente manera:

$$0.15 \times 0.15 \times 0.15 = 0.003375 \text{m}^3$$

$$\frac{0,2 \text{lt} \times 0,003375 \text{m}^3}{1 \text{lt}} = 0,000675 \text{lt}$$

$$\frac{0,4 \text{lt} \times 0,003375 \text{m}^3}{1 \text{lt}} = 0,0015 \text{lt}$$

Por lo tanto, se deben utilizar entre 0,675 a 1,5 ml para las muestras.

Experimentos con el hormigón

Luego de clasificar y analizar los áridos, se concluye que cumplen con las características necesarias para comenzar la mezcla. Se realizaron varias muestras, primero, sin Darafill, para saber cuáles serían las características del hormigón que vamos a lograr sin aditivos y así poder compararlo con la mezcla con aditivo apreciar las diferencias, y demostrar que funciona.

Experimentos sin aditivo

Se realizó la mezcla de forma manual. Los áridos (arena gruesa, fina y cemento) se mezclaron en un recipiente y el agua fue vertiéndose de a poco mientras se revolvía para realizar la mezcla, una vez lograda la consistencia deseada, se vertió la mezcla en los moldes de las muestras. Se realizó el llenado por capas, siendo apisonadas para que no quede aire al interior, se cubrieron con un plástico y se dejaron fraguar. No se realiza prueba de Cono de Abrams. A los 14 días, fueron desmoldados, hidratados y se volvieron a envolver y guardar.

Al día 28, los cubos fueron analizados:

Visualmente, se ven sanos, sin grietas o quiebres, y no presentan nidos o muchos orificios por exceso de aire al interior.

Imagen 11: Muestras sin aditivo



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se determinaron sus densidades en base a la fórmula estándar de masa/volumen:

El volumen de los cubos es de $3375\text{cm}^3 = 0.003375\text{ m}^3$

Cubo 1 (80/20):

$$\frac{7.773\text{kg}}{0.003375\text{m}^3} = 2303.1\text{ kg/m}^3$$

Cubo 2 (70/30):

$$\frac{6.313\text{kg}}{0.003375\text{m}^3} = 1870.5\text{ kg/m}^3$$

Tomando en cuenta los tipos de áridos que se están usando, y que se añadirá a las muestras, un aditivo incorporador de aire, es de esperarse que las densidades y resistencias de los cubos sean bajas. Considerando que la densidad ideal para un hormigón “estándar” debiese estar por sobre los 2000 kg/m^3 , la muestra que mejor cumpliría con los requisitos

deseados, es la del cubo con dosificación 80/20 con 2303.1 kg/m³, sin embargo, cabe destacar que lo que se está buscando es un hormigón liviano, por lo que su densidad será necesariamente más baja que la de un hormigón tradicional, por lo que no se puede descartar de manera inmediata al cubo 2 con dosificación 70/30.

Luego del fraguado, desmolde y análisis visual de las muestras, fueron sometidas a una prueba de compresión, en la maquina proporcionada por el laboratorio de la Universidad Mayor.

Los resultados no fueron los esperados, primero por un problema que tuvo la máquina, que no arrojó los resultados con la fuerza que aplicó para poder romper los cubos, que es información necesaria para el resultado final del experimento. En segundo lugar, visualmente se pudo apreciar que los cubos no ofrecieron resistencia alguna, surgiendo en éstos, grietas durante los primeros instantes, dejando en evidencia que no estaban logrando la resistencia deseada.

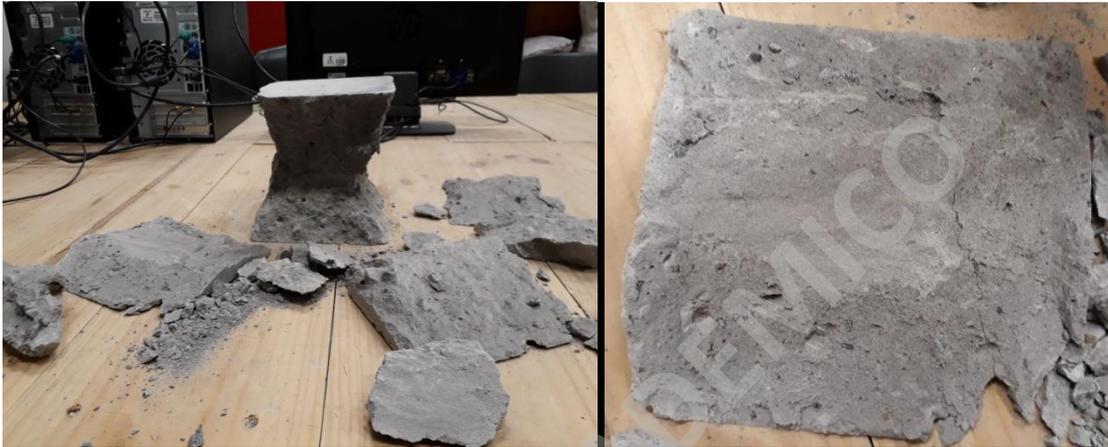
Imagen 12: Ensayo compresión sin aditivo



Fuente: Elaboración propia

Una vez terminada la prueba, se realizó un análisis de los cubos, se puede apreciar claramente que los lugares de corte son principalmente cercanos a las caras laterales del cubo y que predominan cantidades de arena fina, lo que reduce la adherencia entre las partículas de arena gruesa que se traduce en una baja resistencia de la muestra.

Imagen 13: Resultado ensayo compresión sin aditivo



Fuente: Elaboración propia

En conclusión, el hormigón desarrollado no cumpliría con las exigencias de la norma por la baja resistencia que presentaron las muestras. Por otra parte, es de esperarse que las siguientes muestras, con el aditivo, también presenten una resistencia aún menor, ya que genera micro burbujas, sin embargo, Darafill, funciona también como plastificante, lo que puede compensar la reducción de la resistencia por la incorporación de aire. Tomando esto en cuenta vale la pena seguir trabajando con las dosificaciones anteriormente seleccionadas.

Experimentos con aditivo

Se realizaron varias muestras con Darafill, sin embargo, todas muy parecidas, principalmente por las dosificaciones utilizadas, pero caben destacar dos:

Primera prueba, de mezcla manual

Ultima prueba, de mezcla mecánica

Mezcla Manual:

El objetivo final, es realizar un hormigón celular bombeable para la construcción de viviendas, por lo que se deben producir grandes cantidades de hormigón que, por motivos lógicos, es mejor realizarlo de manera mecánica. Sin embargo, se pueden dar situaciones en que la mezcla del hormigón deba hacerse de manera manual por lo que debemos tener en cuenta cómo será el comportamiento del producto terminado a través de este proceso.

El proceso es parecido al anterior, se utilizan los mismos áridos en las mismas cantidades, pero se le reduce el agua de 2 a 1.85lts de agua, además, esta vez solo se trabaja con la dosificación 80/20 ya que es la de mayor densidad, y esta será la primera prueba con incorporador de aire, con el cual se presume, la densidad será menor. Los áridos se encuentran mezclados en un recipiente, mientras que el agua en una batea aparte, a la cual se le añade el Darafill y se comienza a revolver para generar una espuma, luego se le van añadiendo los áridos. Inmediatamente la mezcla adquiere un color más oscuro que el normal, aparecen burbujas, y se expande un poco, así se comprueba que el aditivo está generando la reacción deseada.

Al lograr la consistencia necesaria, se vierte la mezcla en el molde, como se utilizaron las mismas dosificaciones, pero esta vez con aditivo, la mezcla se expande y a pesar de que existe un excedente, de todas formas, se sigue el proceso tradicional. Se envuelven en plástico hasta el día 14, momento en que son desmoldados e hidratados, para volver a ser guardados hasta el día 28.

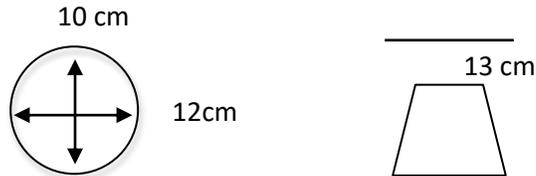
Imagen 14: Proceso mezcla manual



Fuente: Elaboración propia

Con el excedente se realiza un ensayo de Cono de Abrams obteniendo los siguientes resultados:

Imagen 15: Representación ensayos cono mezcla manual



Fuente: Elaboración propia

El diámetro de la base aumenta poco, lo importante es que el cono se asienta 13cm, lo que quiere decir que quedo bastante fluido como para ser bombeado. Los resultados consideran una mezcla sana dentro de los rangos permitidos.

Al cabo de 28 días, el cubo es analizado:

No presenta nidos, fisuras o grietas, y en comparación con las muestras sin aditivo, tiene un color más oscuro y una textura un poco más áspera, sin embargo, no presenta los orificios esperados por la incorporación de aire.

Imagen 16: Comparación muestras con y sin aditivo



Fuente: Elaboración propia

Su peso fue de 6,852 kg por lo que su densidad es:

$$\frac{6.852\text{kg}}{0.003375\text{m}^3} = 2030.33 \text{ kg/m}^3$$

En comparación con la densidad de la muestra sin el aditivo, se puede apreciar que disminuyó de 2303.1 a 2030.33 kg/m³ lo que demuestra que el aditivo efectivamente hizo efecto, pero no de manera considerable debido a que la mezcla manual no es la óptima.

Imagen 17: Peso muestra sin aditivo mezcla manual



Fuente: Elaboración propia

Mezcla Mecánica:

Como se mencionó en la presentación del sistema, para la fabricación del hormigón in situ se utiliza la Acrete 625, al no contar con ella y considerando que el volumen es mucho menor, se opta por utilizar un mezclador de cemento eléctrico.

El proceso es igual al manual, se comienza a revolver el aditivo Darafill 200 con los 1,85lts de agua, inmediatamente se nota un cambio en la espuma, siendo ésta mucho más contundente. Se agrega la mezcla de árido de manera racionalizada he inmediatamente se ven resultados como los anteriores, la mezcla toma un tono oscuro, pero se expande más, dejando en evidencia la eficiencia del revolventor y su influencia en la generación de una mejor espuma. Al conseguir la consistencia deseada, se vierte la mezcla en los moldes y se envuelven en plástico, para ser hidratados a los 14 días y descimbrados a los 28 días.

Imagen 18: Proceso mezcla mecánica

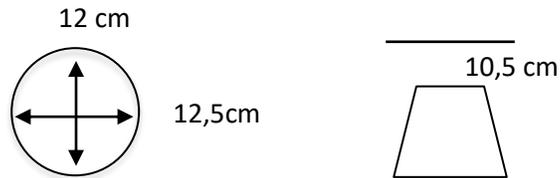


Fuente: Elaboración propia

El excedente nos permite realizar una prueba de cono de Abrams a escala, obteniendo los siguientes resultados:

Imagen 19: Resultados conos mezcla mecánica

70/30:



80/20:



Fuente: Elaboración propia

En conclusión, los resultados son los esperados, el asentamiento del cono, en el caso del 80/20, es un poco baja pero es aceptable, ya que puede ser compensada con un plastificante o añadiendo agua.

Imagen 20: Ensayo cono



Fuente: Elaboración propia

Llegado el día 28, se analiza el cubo:

Es similar al anterior, no presenta fisuras, tiene un color más oscuro y textura áspera, destacan las porosidades producto del Darafill 200, es decir, de esta manera se logra obtener la incorporación de aire que se buscaba.

Imagen 21: Peso muestras mezcla mecánica



Fuente: Elaboración propia

Los pesos fueron:

70/30: 5,420kg

80/20: 5,467kg

Es decir, más de un kg menos que las muestras anteriores demostrando la efectividad del producto con mezcla de manera mecánica, acercándose a los resultados final esperados.

Las densidades fueron:

$$70/30: \frac{5.420kg}{0.003375m^3} = 1605.92 \text{ kg}/m^3$$

$$80/20: \frac{5.467kg}{0.003375m^3} = 1619.85 \text{ kg}/m^3$$

Ensayo a la compresión:

El siguiente paso viene a ser el más importante, ya que el ensayo a la compresión lo que realmente determinara si el hormigón es apto para la construcción. Por falla de la máquina del laboratorio de la Universidad Mayor, el Profesor Carlos Aguirre amablemente realiza las gestiones para poder utilizar el laboratorio de la universidad de las Américas.

De las muestras que se analizan con Darafill 200, es decir: Mezcla manual 80/20, mezcla mecánica 70/30 y mezcla mecánica 80/20 se obtuvieron los siguientes resultados:

Mezcla Manual:

80/20: 7,54Mpa

Mezcla Mecánica:

70/30: 8,92Mpa

80/20: 9,2Mpa

Imagen 22: Ensayo compresión muestras mezcla mecánica



Fuente: Elaboración propia

Comparación de resultados

En la siguiente tabla se muestra la comparación de los resultados obtenidos de las distintas muestras con las diferentes dosificaciones:

Tabla 10: Comparación resultados ensayos

Tipo de muestra	Dosificación	Darafill	Peso Kg	Densidad Kg/m ³	Resistencia Mpa
Mezcla Manual	80/20	No	7,773	2303,11	-
	70/30	No	6,313	1870,52	-
	80/20	Si	6,852	2030,22	7,54
Mezcla Mecánica	70/30	Si	5,42	1605,93	8,92
	80/20	Si	5,467	1619,85	9,2

Fuente: Elaboración propia

Con la tabla resumen se puede determinar claramente la importancia y efectividad tanto de la mezcla mecánica como del aditivo Darafill 200, cumpliendo su función como incorporador de aire y plastificante, acercando bastante las muestras a lo que sería un equivalente a un hormigón H10, manteniendo las características de un hormigón celular de baja densidad como lo es el del sistema Echostone. Lamentablemente, no alcanza la resistencia mínima requerida para que cumpla como hormigón estructural. Será necesario entonces continuar con pruebas y alternativas hasta lograr los resultados que se buscan.

Comparación con sistemas actuales

Como se menciona anteriormente, hay varios sistemas que hoy en día se utilizan para la construcción de viviendas básicas, destacándose principalmente dos: Paneles SIP y bloques de hormigón celular.

Ventajas del sistema Echostone adaptado a la norma Chilena:

- Construcción sólida
- Buenas características aislantes
- Sistema constructivo sencillo y rápido
 - o Armaduras de fierro de bajo diámetro
 - o Moldajes tipo, livianos y fáciles de transportar
- Posibilidad de aplicar en lugares remotos

Desventajas:

- Alto costo de implementación inicial
 - o Traer maquinaria
 - o Desarrollar moldajes
- Falta de desarrollo para lograr resistencia y tiempos de fraguado requeridos
- Fuerte desarrollo de sistemas alternativos con características similares

En definitiva, usar sistemas como el Panel SIP que permite producción en serie de los elementos de la vivienda, reduciendo costos de producción y tiempo de construcción en terreno, siendo fácil de transportar y ensamblar, entregando características sísmicas similares, o usar el sistema de bloques de hormigón celular, que también permiten producción en serie y fácil sistema constructivo para entregar una estructura sólida, aún puede ser mejor opción que el sistema Echostone, cabe mencionar también, que estos sistemas ya están más que probados en la práctica y para adaptar el sistema Echostone a la norma Chilena, aún se necesita mayor trabajo de investigación.

Conclusiones

Conclusiones del trabajo

Echostone es un sistema constructivo que presenta varias ventajas y características que pueden ser atractivas para su uso en la construcción de viviendas básicas, sin embargo no es una solución al problema, más bien podría considerarse una alternativa a los sistemas actuales, ya que como todos, presenta ventajas y desventajas, siendo una grande, su adaptación a la norma chilena y la falta de investigación y desarrollo para su uso a nivel nacional, no conforme con eso, acostumbrar a la cultura y tradición constructiva chilena a utilizar este tipo de sistemas alternativos. Cabe mencionar también los costos que implica la implementación, dado que se debe traer maquinaria especializada, entrenar mano de obra, fabricación de moldajes tipo y que el hecho de usar hormigón como tal también aumenta costos en comparación con otros sistemas.

Finalmente, el análisis anterior se resume en que es un sistema que podría implementarse, pero que aún necesita desarrollo, los costos de implementación pueden ser absorbidos con la venta de viviendas o subvenciones, sin embargo, aún se deben desarrollar los materiales, especialmente el hormigón para que cumpla con la norma.

Trabajo futuro

Ésta tesis se enfocó principalmente en el desarrollo del hormigón celular para que pueda ser utilizado como hormigón estructural en la construcción de las viviendas básicas, luego de varios meses de ensayos y pruebas no se alcanzaron los resultados requeridos, sin embargo se pueden seguir realizando pruebas con diferentes dosificaciones, tipos de áridos y aditivos como plastificantes o acelerantes. De continuar, es posible que se alcancen los resultados, que el hormigón cumpla con la norma y que su implementación a nivel nacional se convierta en una realidad y logre entrar al mercado de sistemas constructivos como competencia, mejorando la calidad de las viviendas básicas en Chile.

Referencias bibliográficas

Echo Stone Housing. (s. f.). *Building System*. <https://echostonehousing.com>. Recuperado 29 de noviembre de 2021, de <https://echostonehousing.com/system/>

BIBLIOTECA NACIONAL DE CHILE. "Poblamiento", en: *Santiago (1930-2006)*. Memoria Chilena . Disponible en <http://www.memoriachilena.gob.cl/602/w3-article-93813.html> . Accedido en 29/11/2021.

NINISTERIO DEL DESARROLLO SOCIAL. (2015, 22 septiembre). *CASEN 2015, Situación de la pobreza en Chile*. <http://www.desarrollosocialyfamilia.gob.cl/>. Recuperado 29 de noviembre de 2021, de http://observatorio.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/storage/docs/casen/2015/CASEN_2015_Situacion_Pobreza.pdf

CIS Techo-Chile- (2016). *Catastro Nacional de Campamentos 2016*. <https://chile.techo.org/cis/monitor/monitor.php>. Recuperado 29 de noviembre de 2021, de <https://drive.google.com/file/d/0B0Em6tqGXXKpJOElZdnlfVmZvdEE/view?resourcekey=0-qYl48vJAgTCqEr8Ny2hccA>

Sudpanel. (s. f.). *Panel SIP Sudpanel*. sudpanel.cl. Recuperado 29 de noviembre de 2021, de <https://www.sudpanel.cl/index.php/productos/panel-sip-sudpanel>

Celcon. (s. f.). *Características Técnicas – Celcon*. celcon.cl. Recuperado 29 de noviembre de 2021, de <https://www.celcon.cl/caracteristicas-tecnicas/>

Decreto Supremo N° 19 (2016, 14 julio). <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1092547>

Decreto Supremo N° 174 (2005, 30 septiembre). <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=247299>

Decreto con fuerza de ley N° 2 (1959, 31 julio). <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=3483>

Ordenanza general urbanismo y construcciones. Título IV, Capítulo 1 (s. f.). http://www.regularizacion.cl/oguc_titulo_4_capitulo_1.htm

Norma Chilena Aprobada N° 170-85 (1985). https://www.academia.edu/18615607/NCH170_1985_Hormigon_Requisitos_generales

Norma Chilena Aprobada N°2432-99 (1999). https://www.academia.edu/5719469/Nch_2432_of_1999_bloques_macizos_de_hormig%C3%B3n_celular_especificaciones_ok

Espinoza, M. (2016, 12 diciembre). *Campamentos: Los contrastes de una realidad invisible*. Radio U de Chile. <https://radio.uchile.cl/2016/12/02/la-pobreza-baja-y-los-campamentos-suben-los-contrastes-de-una-realidad-invisible/>

SOLO USO ACADÉMICO