

ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO DE UN MÉTODO CONSTRUCTIVO HABITACIONAL INDUSTRIALIZADO PARA LA FABRICACIÓN DE PANELES DE POLIESTIRENO EXPANDIDO REFORZADO CON GRC.

Mario Aravena V.¹, Marcelo Behrens R.² y Felipe González M.³

RESUMEN

Este proyecto de grado tiene como objetivo principal comprobar experimentalmente la factibilidad de una técnica de construcción de paneles de manera industrializada que permita buscar solución al déficit habitacional en Chile.

Se realizó una serie de ensayos de resistencia a la compresión y a la flexo-tracción de GRC (Glassfibre Reinforced Concrete) en trabajo combinado con poliestireno expandido de alta densidad fresados por máquinas CNC (Control Numérico por Computadora).

Para el GRC se realizó una mezcla compuesta por cemento, arena, plastificante, un aditivo de pega (RDP), fibra de vidrio, nanosílice y agua, con el fin de obtener los resultados mecánicos requeridos para la realización del diseño del panel, que además considera la inclusión de tuberías eléctricas y sanitarias.

Los resultados indican que es posible fresar 75m² de paneles por ambas caras en 7 hrs. 30 min., aproximadamente. Esto permite que se pueda generar la fabricación de los paneles necesarios para la construcción de la envolvente de una vivienda de 50m², por lo que se genera un presupuesto como propuesta-solución a la problemática social anteriormente mencionada.

PALABRAS CLAVES: GRC, poliestireno expandido, CNC, código G, aditivo, nanosílice, polímero, policarboxilato, fibra de vidrio, pie derecho, canalización.

ABSTRACT

The main objective of this thesis is to experimentally prove the feasibility of an industrialized panel construction technique to find a solution to the housing deficit in Chile.

A series of compressive and flexural strength tests of GRC (glass fiber reinforced concrete) combined with high density expanded polystyrene milled by CNC (Computer Numerical Control) machines were carried out.

For the GRC, a mixture composed of cement, sand, plasticizer, an adhesive additive (RDP), fiberglass, nanosilica and water was used to obtain the mechanical results necessary for the realization of the panel design, which also takes into account the incorporation of electrical and sanitary pipes.

The results show that it is possible to mill 75 m² of panels on both sides in about 7 h. 30 minutes. This makes it possible to produce the panels necessary for the construction of the shell of a 50m² house, thus generating a budget as a proposed solution to the social problem mentioned above.

KEY WORDS: GRC, expanded polystyrene, CNC, G-code, additive, nanosilica, polymer, polycarboxylate, fiberglass, right foot, channeling.

¹Estudiante, Carrera de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, maravenav@ing.ucsc.cl

²Profesor Guía, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, ebahrens@ucsc.cl

³Profesor Asistente, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, fagonzalez@ing.ucsc.cl

AGRADECIMIENTOS:

En primer lugar, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a Dios, fuente de fortaleza y sabiduría

A mi amada madre, Inés Varas, le agradezco de todo corazón por su infinito amor, sacrificio y apoyo incondicional. Tus palabras de aliento y tu firme creencia en mí me han impulsado a alcanzar mis sueños. Gracias por ser mi roca en los momentos de dificultad y por celebrar conmigo cada logro.

A mi querida familia, les agradezco por su constante estímulo, comprensión y apoyo en cada etapa de esta travesía, y estoy eternamente agradecido por su amor incondicional.

A mis amigos, quienes han compartido conmigo risas, lágrimas y momentos inolvidables, les agradezco por su amistad sincera y su apoyo constante. Su compañía ha enriquecido mi vida y ha hecho este camino más llevadero.

A la empresa MC- Bauchemie quien generosamente donó los materiales necesarios para la realización de esta investigación, le estoy profundamente agradecido. Su generosidad ha hecho posible llevar a cabo este proyecto y ha contribuido significativamente a su éxito.

Por último, a esa persona especial cuya presencia ha iluminado mi vida con amor, inspiración y alegría, quiero expresar mi más profundo agradecimiento. Tu apoyo incondicional y tu cariño han sido un regalo invaluable en este viaje, y estoy infinitamente agradecido de conocerte.

A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento. Este logro no habría sido posible sin su amor, apoyo y presencia en mi vida.

¡Gracias!

1 INTRODUCCIÓN

Las necesidades habitacionales de la población en Chile, a lo largo del siglo XX y XXI, se configuran como un problema gubernamental a partir del uso de la cuantificación como herramienta básica de las prácticas de conocimiento estatal, las que traducen la complejidad de la cuestión residencial a un número: el “déficit de viviendas”.

La cuestión de las condiciones de vida y, con ello, lo que en cada periodo histórico es concebido como una necesidad, ha sido parte del núcleo temático central del pensamiento social de América Latina del siglo XX (Álvarez, 2005) y, desde la década de 1950 aproximadamente, a propósito de los procesos de modernización y de las condiciones necesarias para alcanzar el desarrollo, se han vuelto uno de los ejes articuladores de discursos de expertos y de la ciencia aplicada derivada de la Economía y las Ciencias Sociales.

En este marco, la vivienda tiene y ha tenido una gran relevancia por considerarse como parte esencial de los satisfactores asociados a la superación de la pobreza y la marginalidad, como mecanismo de integración social, como reactivador de la economía, y como estrategia de contención de conflictos sociales (Raposo, 2001), según el momento histórico que se observe. Por otro lado, su vinculación a la idea de familia (Bourdieu, 2010), la han convertido en un objeto que trasciende su materialidad, volviéndose el centro de anhelos, de luchas y de reivindicaciones que dan cuenta de importantes transformaciones sociales urbanas.

En el caso de Chile, es común la referencia a su importancia dentro de los planes familiares a través del mentado “sueño de la casa propia” que abrazarían todos los hogares, así como a la necesidad de superar el déficit habitacional, de terminar con los asentamientos informales y de reconstruir las viviendas destruidas como resultado de los desastres socioambientales, volviéndose un elemento importante tanto a nivel del discurso público, de las políticas sociales, como del desarrollo del capitalismo nacional a través de la industria de la construcción.

Según los resultados de la encuesta Casen-Vivienda (2022) el déficit habitacional cuantitativo alcanza las 552.046 viviendas, lo que equivale al 7,9% del total de hogares, mientras que el déficit cualitativo es de 1.263.576 viviendas a ser mejoradas o ampliadas. Los requerimientos son mayores en zonas rurales (21%) en relación con urbanas (3%), siendo las regiones con mayor porcentaje de hogares en déficit cuantitativo: Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta y Metropolitana; y las regiones con mayor déficit cualitativo: Atacama (28,6%), Los Lagos (26,7%), La Araucanía (26,7%) y Los Ríos (26,3%).

Es un desafío para la ingeniería civil encontrar la manera de solucionar efectivamente esta problemática a través de construcciones rápidas y planificadas que cumplan con las necesidades habitacionales básicas de los tiempos modernos. Es por esto, que en la presente investigación experimental se entregará una propuesta de construcción de paneles de GRC y poliestireno de alta densidad, los cuales -según su composición- son resistentes a diversos esfuerzos externos y livianos, lo que permite su fácil traslado e instalación.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

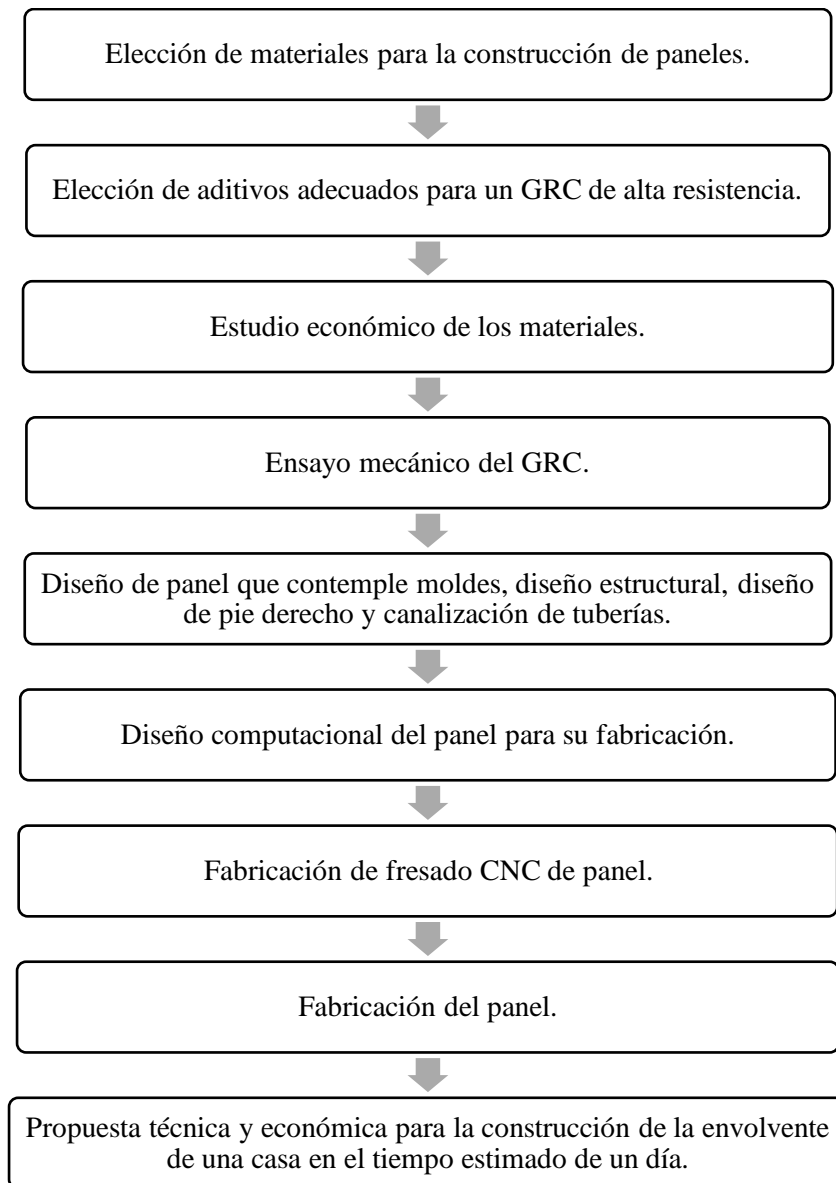
Comprobar experimentalmente la factibilidad de una técnica de construcción de paneles de manera industrializada que permita buscar solución al déficit habitacional.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar ensayos experimentales de probetas de hormigón reforzado con fibra de vidrio para obtener las características mecánicas para una dosificación determinada.
- Analizar la industrialización de los paneles mediante fresado CNC en poliestireno.
- Analizar el costo de fabricación de los paneles descritos.

3 METODOLOGÍA

La propuesta metodológica para la realización de este estudio técnico y económico se organizó de la siguiente manera:



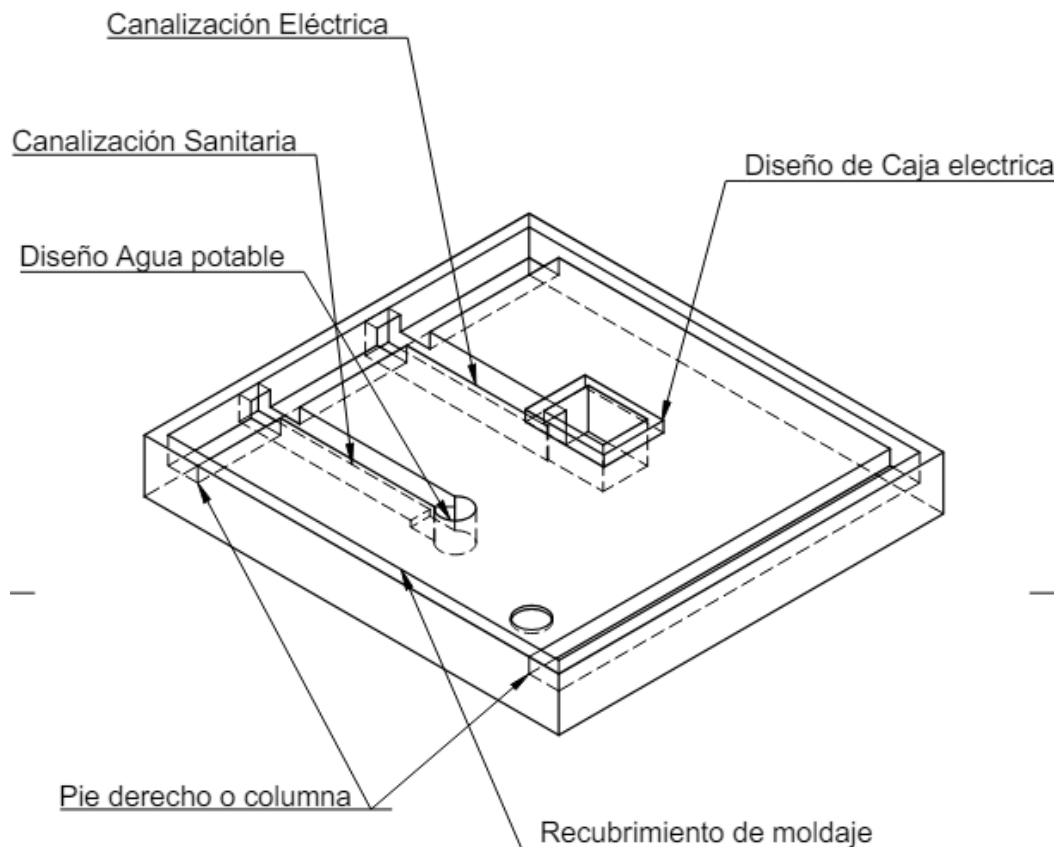


Figura 1: Panel Propuesto.
Fuente: Elaboración propia.

En Chile, actualmente no están normados los ensayos de poliestireno con cemento reforzado con fibra de vidrio, por lo que -luego de investigar distintas normas- se concluyó que el “Estudio experimental sobre el comportamiento mecánico del hormigón armado con fibras de polipropileno sometido a cargas monótonas.” (Núñez et al., 2021), si bien no cumple a cabalidad con los objetivos de ésta, se acerca a los requerimientos de esta investigación, por lo que se utilizó como referencia para establecer normas.

3.1 Investigación y elección de la fibra de vidrio.

La fibra de vidrio se compone de fibras continuas o discontinuas de vidrio incorporadas en una matriz plástica, y su producción y uso son abundantes debido a las siguientes características (Muñoz, 2007): Posee una alta resistencia y es fácil de transformar en fibras mediante hilado; Se encuentra ampliamente disponible y se puede utilizar económicamente en la fabricación de materiales compuestos reforzados con vidrio mediante una variedad de técnicas de fabricación; Cuando se combina con una matriz plástica, genera un compuesto con una resistencia específica muy elevada; Al unirse con diferentes plásticos, se obtienen materiales compuestos químicamente inertes que resultan muy útiles en entornos corrosivos diversos.

Para la realización del presente proyecto fue necesario investigar sobre los distintos tipos de fibra de vidrio existentes y sus propiedades, con la finalidad de escoger la adecuada, llegando a la conclusión de que la de tipo AR (Assambled Roving) -diseñada especialmente para reforzar el concreto- ofrece una resistencia excepcional a los compuestos alcalinos durante el curado, además de proporcionar una alta resistencia a la tracción, poseer buena capacidad de corte, propiedad antiestática, fácil despliegue y eliminación de ampollas, moldeabilidad de superficies verticales y propiedades mecánicas.

Tabla 1: Especificaciones Técnicas Fibra de Vidrio.

Identificación	
Tipo de vidrio	E
Ensamblado itinerante	R
Diámetro del filamento	13 μm
Densidad lineal	2400,3000 kg/m^3
Size Code	170

Por las características del diseño se decidió utilizar 5% de fibra de vidrio en razón al peso del cemento en la mezcla total. Estos son incorporados en un tamaño de 3 cm de longitud. Cantidad suficiente para que pueda dar las prestaciones mecánicas adecuadas en el GRC.

3.2 Investigación y elección de los aditivos.

Para realizar un GRC de alta resistencia, fue necesaria la búsqueda de aditivos que permitieran lograr la cohesión requerida, siendo necesario que la fibra con la mezcla se adhiriera de manera adecuada.

La mezcla de GRC contiene bajo porcentaje de agua, no superior al 34% de razón agua/cemento, por lo que un polycarboxilato es completamente necesario y recomendado para obtener una mezcla homogénea y mayor trabajabilidad. Además, hay un aditivo, una nanopartícula, que se posiciona entre la arena y el cemento y que permite aumentar considerablemente la resistencia de la mezcla.

Se utilizó tres tipos de aditivos que cumplen con los requerimientos: a) Polímero/Resina Redispersable (RDP); b) Centrilit Fume (Nanosílice); y c) Plastificante MC-POWERFLOW 1108.

a) **Producto: Polímero/Resina Redispersable (Polvo) Denominación: Dx-RDP.**

Definición: Dx-RDP es un polímero en polvo redispersable producido por secado por atomización de una emulsión especial a base de agua, principalmente a base de acetato de vinilo y etileno. Se disuelve en agua fácilmente y forma rápidamente una emulsión.

Propiedades:

- Suministra flexibilidad y adhesión.
- Mejora la trabajabilidad y plasticidad.
- Mejora la impermeabilidad, cohesión y la resistencia final.
- Reduce la absorción del agua.

Datos técnicos:
Tabla 2: Especificaciones Técnicas RDP.

Parámetros	Valor
% de Sólidos	98 % min.
Apariencia	Polvo blanco, fluye libremente
% de ceniza (1000°C)	8 - 12 %
Densidad	400 – 600 g/L
Tamaño de partícula (Prom.)	70 - 100 μm pH 5.0 – 8.0
Temperatura mínima de formación de película	1°C

b) Producto: Centrilit Fume (Nanosílice).

Definición: Es un aditivo que se mezcla fácilmente con el hormigón, el tamaño de partícula es más pequeño que las de cemento.

Las partículas de CENTRILIT FUME P rellenan en menor o mayor medida las cavidades de la pasta de cemento, aumentando la resistencia y la densidad del hormigón.

La acción de las partículas de CENTRILIT FUME P provoca que la migración de cloruros se reduzca, la resistencia contra sustancias perjudiciales se mejore y normalmente, la durabilidad del hormigón aumente.

CENTRILIT FUME P hace que la fabricación del hormigón sea lo más homogénea posible, mejorando la calidad de la superficie de éste.

Propiedades:

- Mejora la homogeneidad del hormigón
- Incrementa la densidad del hormigón
- Reduce la migración de cloruros
- Incrementa la resistencia mecánica y durabilidad
- No perjudica al medio ambiente
- Mayor resistencia al ataque de sulfatos
- Disminuye la permeabilidad del hormigón

Datos técnicos:
Tabla 3: Especificaciones Técnicas nano sílice.

Característicos	Unidad	Valor	Observaciones
Densidad	Kg/L	2,2 +/-0,02	
Dosis recomendada	% en peso	5 a 15	Dosis con respecto a la dosis de cemento.

c) Plastificante MC-POWERFLOW 1108.

Definición: MC POWERFLOW 1108 es un superplastificante sintético basado en la nueva tecnología de polímeros (PCE) desarrollada por MC. Su mecanismo específico de funcionamiento hace posible la producción de hormigón con contenidos de agua extremadamente bajos y excelente trabajabilidad (cono de Abrams). Las propiedades deseadas para el hormigón fresco pueden ser logradas con dosificación económica.

Una combinación especial de diversos agentes activos permite una producción de hormigones homogéneos y sin segregación. Considerando la mantención del contenido de agua se puede producir hormigones con diversas consistencias.

Propiedades:

- Gran reducción en la cantidad de agua
- Mantención de la trabajabilidad controlada
- Rápida dispersión en el hormigón
- Dosificación económica
- Buena compatibilidad con incorporadores de aire
- Buena estabilización en altas consistencias
- Buen funcionamiento con una gran variedad de cementos

Datos técnicos:
Tabla 4: Especificaciones Técnicas Poli-carboxilato.

Característicos	Unidad	Valor	Observaciones
Densidad	g/cm ³	1,08	
Dosis recomendada	%	0,2 a 1,5	Porcentaje en peso del cemento.

3.3 Estudio económico sobre la (materiales) mezcla a desarrollar.

Para desarrollar el estudio económico, en primer lugar, se debe definir y establecer los materiales a utilizar y la cantidad específica que se requiere, se cotizó en distintas empresas fabricantes, optando por la opción más conveniente en relación precio-calidad.

Tabla 5: Volumen de GRC por 25kg de Cemento.

Material	Peso (Kg)	Porcentaje con respecto al cemento	Densidad (Kg/m ³)	m ³
Cemento Bio-Bio	25	1	3000	0,0083
Arena BIO-BIO	21	0,84	2610	0,0080
1Polimero (DEMIX RDP)	2,5	0,1	600	0,0042
Plastificante (MC powerflow 1008)	0,5	0,0125	1080	0,0005
Fibra de vidrio	1,25	0,05	2400	0,0005
Centrlit fume	1,25	0,05	2200	0,0006
Agua	8,5	0,34	998	0,0085
			Total	0,0306

Los precios de la mezcla de GRC para realizar 1 metro cubico de ésta es:

Tabla 6: Presupuesto 1 metro cubico de GRC

Material	Rendimiento(kg/m3)	Precio/Kg + IVA	Precio + IVA
Cemento Bio-Bio	816,59	\$ 132	\$107.790
Arena BIO-BIO	685,94	\$ 42	\$ 28.809
Polimero (RDP)	81,66	\$ 2.750	\$ 224.562
Plastificante (PCP)	10,21	\$ 3.600	\$ 36.747
Fibra de vidrio	40,83	\$ 2.650	\$ 108.198
Centrilit fume	40,83	\$ 700	\$ 30.176
		Total + IVA	\$ 536.282

*Precios estimados en proporción a la densidad de la mezcla. Sin conocimiento del rendimiento real, debido a que no se consideró el tamaño de partícula.

3.4 Elaboración de moldes.

Los moldes fueron fabricados con pino cepillado seco y recubrimiento de MDF. Luego se atornillaron, cuidando la precisión de las dimensiones establecidas.

a) Dimensiones de las probetas ensayadas a compresión:

Si bien en el estudio experimental se opta por probetas de tipo cilíndricas, el GRC de este estudio no lo permite, puesto que contiene aditivos escasos para la cantidad de probetas que se requieren. Es por esto que se optó por fabricar probetas mas pequeñas y pero a la vez mas representativas de lo que se desea hacer con el panel.

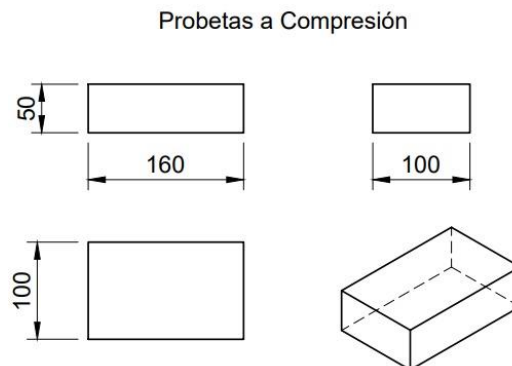


Figura 2: Probetas a Compresión.

Fuente: Elaboración propia.

b) Dimensiones de las probetas ensayadas a flexo-tracción:

En el diseño estructural de estos paneles se contempló tener pies derechos de GRC al interior de éstos. Para un panel de 200ml de espesor, los pies derechos propuestos son de 5x5cm en su sección transversal. Las probetas que más se acercan a este requerimiento son las probetas de tipo *rilem*.

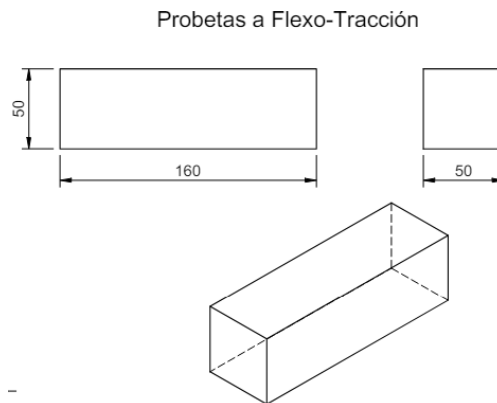


Figura 3: Probetas a Flexo-Tracción.

Fuente: Elaboración propia.

Fueron generadas dieciséis probetas por dosificación: la mitad de ellas ensayadas a compresión y la otra mitad a flexo-tracción.

3.5 Fabricación de probetas.


Figura 4: Mezcladora de Cemento 2100w, 6 velocidades.

Fuente: Elaboración propia.

Para la elaboración de las mezclas anteriormente mencionadas se utilizó una revolvedora y un recipiente cilíndrico donde se realizaron 48 probetas, 24 probetas de compresión y 24 de flexo tracción, de las cuales estas se dividieron en 3 dosificaciones, es decir, 16 probetas por dosificación, 8 probetas a compresión y 8 a flexo tracción, elaboradas de la siguiente manera:

Tabla 7: Cubicación probetas dosificación 1.

Dosificación 1: Sin aditivos			
Material	Peso (Kg)	Densidad (Kg/m ³)	m ³
Cemento Bio-Bio	9,5	3000	0,0032
Arena BIO-BIO	7,98	2610	0,0031
Plastificante (MC powerflow 1008)	0,11875	1080	0,0001
Agua	3,23	998	0,0032
Total			0,0096

Tabla 8: Cubicación probetas dosificación 2.

Dosificación 2: 5% de RDP			
Material	Peso (Kg)	Densidad (Kg/m ³)	m ³
Cemento Bio-Bio	8,5	3000	0,0028
Arena BIO-BIO	7,14	2610	0,0027
Polimero (DEMIX RDP)	0,425	600	0,0007
Plastificante (MC powerflow 1008)	0,10625	1080	0,0001
Fibra de vidrio	0,425	2400	0,0002
Centrilit fume	0,425	2200	0,0002
Agua	2,89	998	0,0029
Total			0,0096

Tabla 9: Cubicación probetas dosificación 3.

Dosificación 3: 10% de RDP			
Material	Peso (Kg)	Densidad (Kg/m ³)	m ³
Cemento Bio-Bio	7,9	3000	0,0026
Arena BIO-BIO	6,636	2610	0,0025
Polimero (DEMIX RDP)	0,79	600	0,0013
Plastificante (MC powerflow 1008)	0,09875	1080	0,0001
Fibra de vidrio	0,395	2400	0,0002
Centrilit fume	0,395	2200	0,0002
Agua	2,686	998	0,0027
Total			0,0096

**dosificaciones efectuadas para cumplir con el volumen correspondiente de los moldes 0.0096m³*

Preparación de la mezcla:

En primer lugar, se mezcló el agua con cemento y plastificante, siendo este último el responsable de unificar ambos materiales y lograr una mezcla homogénea y sin grumos. Luego, sin dejar de revolver, se agregó arena fina y 100% seca -para no agregar humedad a la dosificación- y los aditivos de resistencia como el centrilirfume, un nanosílice que se posiciona entre las partículas del cemento y de la arena, logrando que esta tenga una mayor densidad. Posterior a esto, se agregó fibra de vidrio y RDP de marca Demix, el cual es un aditivo de pega que permite que la fibra de vidrio se adhiera a la mezcla de una forma óptima y se cree una malla interna tipo polímero. Se aplicó en todas las caras de los moldes un desmoldante que permite que, al momento de desmoldar, esta no sufra alguna grieta o desprendimiento de una de sus partes, lo que es muy común en la fabricación de probetas. Finalmente, se vació la mezcla y se dejó reposar sobre una superficie plana y completamente nivelada, con el fin de que su proceso de fraguado sea eficaz.

Proceso de curado:

Una vez que se observó que las probetas están superficialmente secas, se retiró del molde y dejó reposar a la sombra con el fin de que sigan fraguando y madurando. Fueron hidratadas diariamente para que estas no se fracturaran o agrietaran. La duración de este proceso fue de veintiocho días.

3.6 Ensayos mecánicos de probetas.



Figura 5: Refrentado a probetas a compresión.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 6: Resultado a refrentado probetas a compresión.

Fuente: Elaboración propia.

Para poder ensayar las probetas a compresión fue necesario realizar un refrentado, ya que, para que los resultados sean correctos, las superficies deben ser completamente planas y paralelas entre ellas. Esto, porque la prensa se posiciona sobre la cara y sus resultados se basan en la superficie que está tocando; por ende, si esta es irregular, la cantidad que alcanza a tocar es mucho menor, por lo que no sería representativo. (Imagen)

Esta mezcla se realiza vertiendo cemento con agua sobre una bolsa de basura anteriormente demarcada por pegote blanco, y luego se posiciona la probeta sobre esta, aplastándola y rellenando las irregularidades que esta tenía antes, dejando la probeta en óptimas condiciones para ser ensayada.

En el caso de las probetas a flexo-tracción no es necesario tal refrentado, debido a que sobre ella se genera una fuerza puntual, siendo solamente requerido que esté plana la superficie inferior.

La norma utilizada permitió un procedimiento experimental basado en la resistencia mecánica, según la medición de esfuerzos: **En el ensayo a compresión** se ensayaron las 3 dosificaciones por separado. 8 probetas por dosificación que fueron sometidas a la prensa hidráulica hasta su fallo con la máquina *Prensa de compresión Pilot 3, marca Controls, modelo 65 – L11G2/C*; mientras que, en el **ensayo a flexo-tracción** la probeta se somete a dos apoyos, separado a una distancia de X , y se le aplica una fuerza en el centro de esta para verificar la tracción del material mediante una fuerza a flexión.



Figura 7: Prensa UCSC ensayos Compresión y Flexo-Tracción

Fuente: Elaboración propia.

3.7 Elaboración del panel.

La elaboración del panel se dividió en dos grandes pasos: el diseño computacional y la ejecución práctica de este, siendo este último fundamental, puesto que permite observar los posibles errores y determinar mejoras para el desarrollo correcto y semi automatizado, con el fin de industrializar la fabricación en masa de estos; además, permite tener conocimiento sobre la factibilidad en proyectos habitacionales y con ello estimar tiempos concretos sobre la propuesta-solución.

3.7.1 Diseño Computacional.

El diseño computacional se llevó a cabo con el software de la empresa *Autodesk Fusion 360*, debido a que es amigable con el sistema de coordinación BIM, el cual nos permite apreciar nuestros proyectos constructivos en un formato 3D, y con ello abarcar varias áreas de proyectos e incluirlos en el modelo general, por lo que para un sistema semi automatizado como el que se pretende usar, es el indicado.

Este software permite herramientas CAD (Computer Aided Design o Diseño Asistido por Ordenador), CAM (fabricación asistida por computadora) y CAE (ingeniería asistida por computadora). Para la fabricación del presente panel se utilizó el sistema CAM, con el que se realizó el modelo y posteriormente se generó un código G de la máquina fresadora.

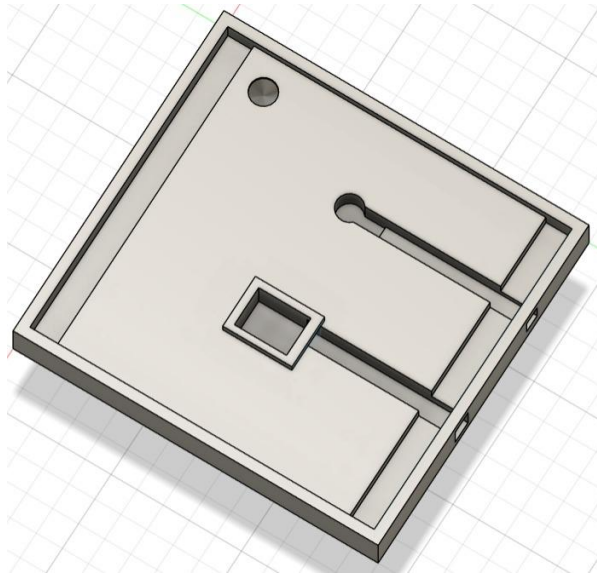
Modelo 3d:


Figura 8: Diseño computacional de panel a fabricar.
Fuente: Elaboración propia.

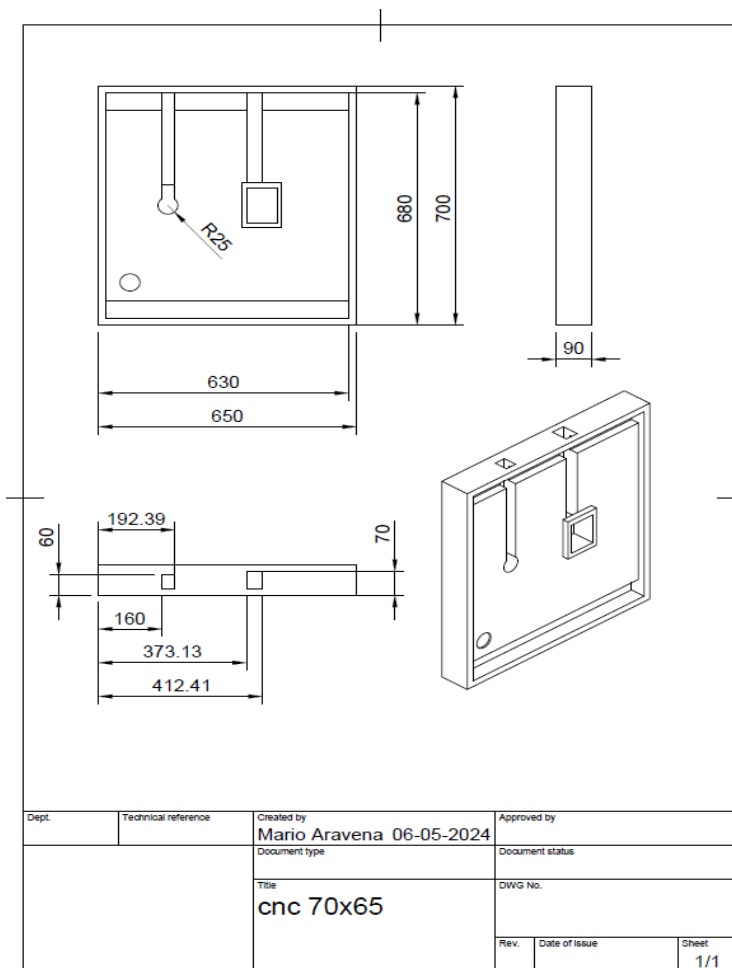


Figura 9: Planos panel poliestireno con GRC, CNC 70x65.
Fuente: Elaboración propia.

Fabricación en modelo 3D:

Previo a la realización práctica de fresado y posterior recubrimiento del panel, es necesario definir ciertos parámetros al modelo 3D, como el tipo de máquina a utilizar y sus diferentes consideraciones, como también el tipo de fresas que se utilizará: La fresa es de punta plana con 4 puntas de corte, y un diseño que ayuda a eliminar el fresado hacia abajo, lo que permite mejores terminaciones. Esta fresa tiene una longitud de fresado igual a 31.29mm con un diámetro de 6 mm. Gracias a estos datos se puede estimar el volumen que fresa.

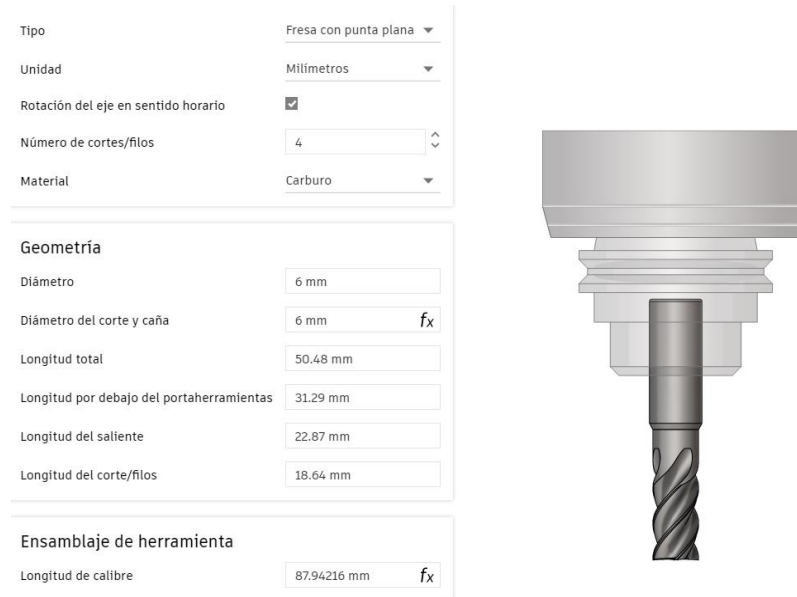


Figura 10: Dimensiones de fresas.

Fuente: Elaboración propia.

Es necesario, además, definir la velocidad de la máquina, con la finalidad de poder estimar los tiempos en proyectos más extensos en durabilidad. Para este estudio se consideraron las recomendaciones del proveedor, decidiendo una velocidad de fresado de 16000 mm/min, como se muestra en la figura.

Velocidad	
Velocidad de Husillo	10000 rpm
Vel. Superficial	188.49556 m/min f_x
Revoluciones de husillo en la rampa	10000 rpm

Velocidades de avance	
Vel. avance corte	16000 mm/min
Avance por diente	0.4 mm f_x
Vel. avance entrada	160000 mm/min f_x
Vel. avance salida	16000 mm/min f_x
Velocidad de avance de transición	16000 mm/min f_x
Velocidad de avance de la rampa	1000 mm/min

Figura 11: Velocidades de fresado.

Fuente: Elaboración propia.

3.8 Código G:

El código G, también conocido como Lenguaje G-Code o Programación G-code, se utiliza en máquinas CNC (Control Numérico por Computadora) para controlar y dar instrucciones a una fresadora u otra máquina o herramienta. Los códigos G se componen de comandos alfanuméricos que indican las operaciones a realizar, como movimientos, velocidades, avances y otras funciones.

Es el código que entrega el Software una vez configurada la fresa, las velocidades de ésta y todos los parámetros necesarios para arrancar el modelo.

En la imagen que se observa a continuación, el color azul representa los sectores que serán fresados, mientras que el color amarillo representa las veces que se levanta la fresa para continuar hacia otro sector y volver a introducirse.

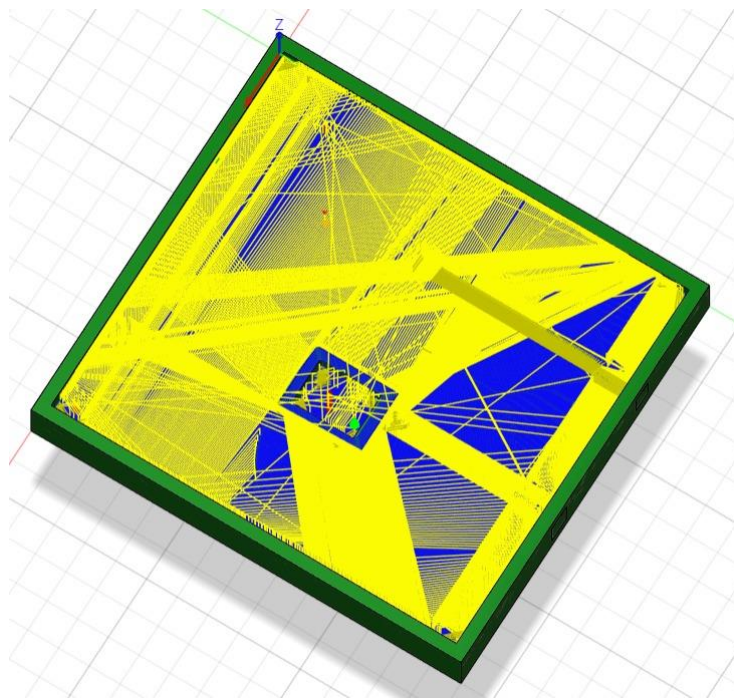


Figura 12: Simulación de fresado

Fuente: Elaboración propia.

Una vez verificada y aprobada la simulación, el software entrega el Código G, el cual informa las acciones que debe hacer la fresa, como su desplazamiento en todas las direcciones. Busca, además, la ruta óptima en relación tiempo y energía.

Como se puede apreciar en la siguiente figura, el código explicita la información del panel en las primeras acciones, mientras que desde la número 13 entrega información del fresado. El código completo tiene 7025 acciones. (Anexo).

```

1 (Fresado Muro Polietileno)
2 (Maquina)
3 ( proveedor: Autodesk)
4 ( model: cnc)
5 ( description: Generic 3-axis)
6 (T1 D=6 CR=0 - ZMIN=20 - fresa con punta plana)
7 G90 G94
8 G17
9 G21
10
11 (plano2)
12 T1
13 S15000 M3
14 G54
15 G0 X176.064 Y350.955
16 Z105
17 Z23.5
18 G1 Z22.5 F333.3
19 X176.05 Y351.011 Z22.498 F1000
20 X175.864 Y351.444 Z22.482
    
```

Figura 13: Muestra Código G.
Fuente: Elaboración propia.

Diseño práctico:

El panel que se utilizó corresponde un poliestireno recubierto de aluminio, el cual fue retirado y dimensionado para ser fresado.

En la siguiente imagen, se puede observar la llegada del panel al lugar donde será construido.



Figura 14: Panel de Poliestireno Expandido para fresar.
Fuente: Elaboración propia.

Es posible apreciar en la siguiente figura el resultado del panel fresado como el modelo antes descrito, al que -además- se le agregaron tuberías para agua y un sistema eléctrico. Dado el espesor de la pieza de poliestireno, los ductos correspondientes se dejaron a la vista y no bajo las columnas o denominados *pies derechos* que se diseñaron.

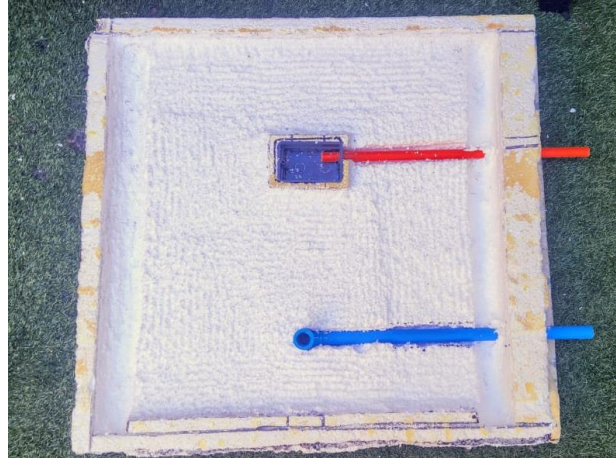


Figura 15: Panel de Poliestireno Expandido fresado y canalizado
Fuente: Elaboración propia.



Figura 16: Panel de Poliestireno Expandido fresado y canalizado 2
Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente se le vierte la mezcla, procurando que no ingrese donde no corresponde, e intentando conseguir planicie en la superficie.



Figura 17: Vaciado de GRC sobre molde de poliestireno expandido
Fuente: Elaboración propia.

4 RESULTADOS

a) Resistencia a Flexo-Tracción:

Tabla 10: Resultados Ensayos a Flexo-Tracción.

Probetas a traccion sin aditivos	Descripción de la probeta						Resistencia traccion (MPa)	Densidad (kg/m ³)	Resistencia media (MPa)
	Fuerza (Ton)	Presión (kg/cm ²)	Peso (gr)	b (mm)	h (mm)	w (mm)			
Probeta 1	0,72	29,1	536,8	50	50	160	2,854	1342,0	2,93
Probeta 2	0,76	30,98	552,2	50	50	160	3,038	1380,5	
Probeta 3	0,71	28,66	536,7	50	50	160	2,811	1341,8	
Probeta 4	0,75	30,3	591,1	50	50	160	2,971	1477,8	
Probeta 5	0,73	29,7	522,8	50	50	160	2,913	1307,0	
Probeta 6	0,65	26,5	540	50	50	160	2,599	1350,0	
Probeta 7	0,79	32,2	505,7	50	50	160	3,158	1264,3	
Probeta 8	0,77	31,4	546	50	50	160	3,079	1365,0	

Probetas a traccion 5%	Descripción de la probeta						Resistencia traccion (MPa)	Densidad (kg/m ³)	Resistencia media (MPa)
	Fuerza (Ton)	Presión (kg/cm ²)	Peso (gr)	b (mm)	h (mm)	w (mm)			
Probeta 1	1,16	47,24	234	50	50	160	4,633	585,0	5,13
Probeta 2	1,28	51,92	244,3	50	50	160	5,092	610,8	
Probeta 3	1,27	51,64	235,9	50	50	160	5,064	589,8	
Probeta 4	1,11	45,27	239,3	50	50	160	4,439	598,3	
Probeta 5	1,36	55,23	245,8	50	50	160	5,416	614,5	
Probeta 6	1,37	55,59	241	50	50	160	5,452	602,5	
Probeta 7	1,30	52,95	236,5	50	50	160	5,193	591,3	
Probeta 8	1,45	58,83	234	50	50	160	5,769	585,0	

Probetas a traccion 10%	Descripción de la probeta						Resistencia traccion (MPa)	Densidad (kg/m ³)	Resistencia media (MPa)
	Fuerza (Ton)	Presión (kg/cm ²)	Peso (gr)	b (mm)	h (mm)	w (mm)			
Probeta 1	1,66	67,38	367,6	50	50	160	6,608	919,0	6,59
Probeta 2	1,74	70,53	367,3	50	50	160	6,917	918,3	
Probeta 3	0,91	37,04	366	50	50	160	3,632	915,0	
Probeta 4	2,07	84,27	371,1	50	50	160	8,264	927,8	
Probeta 5	2,04	83,06	376,4	50	50	160	8,145	941,0	
Probeta 6	1,58	64,4	355,2	50	50	160	6,315	888,0	
Probeta 7	1,53	62,31	370,1	50	50	160	6,111	925,3	
Probeta 8	1,69	68,6	370,5	50	50	160	6,727	926,3	

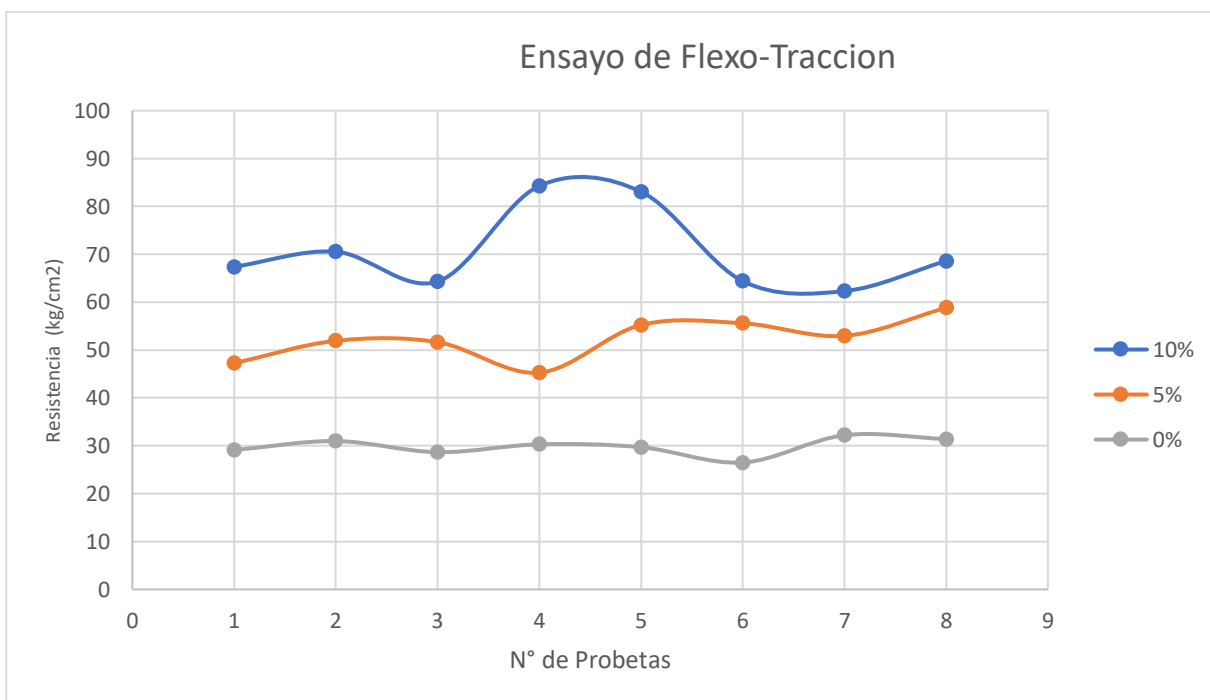


Figura 18: Grafico de resistencia a la Flexo- Tracción de GRC

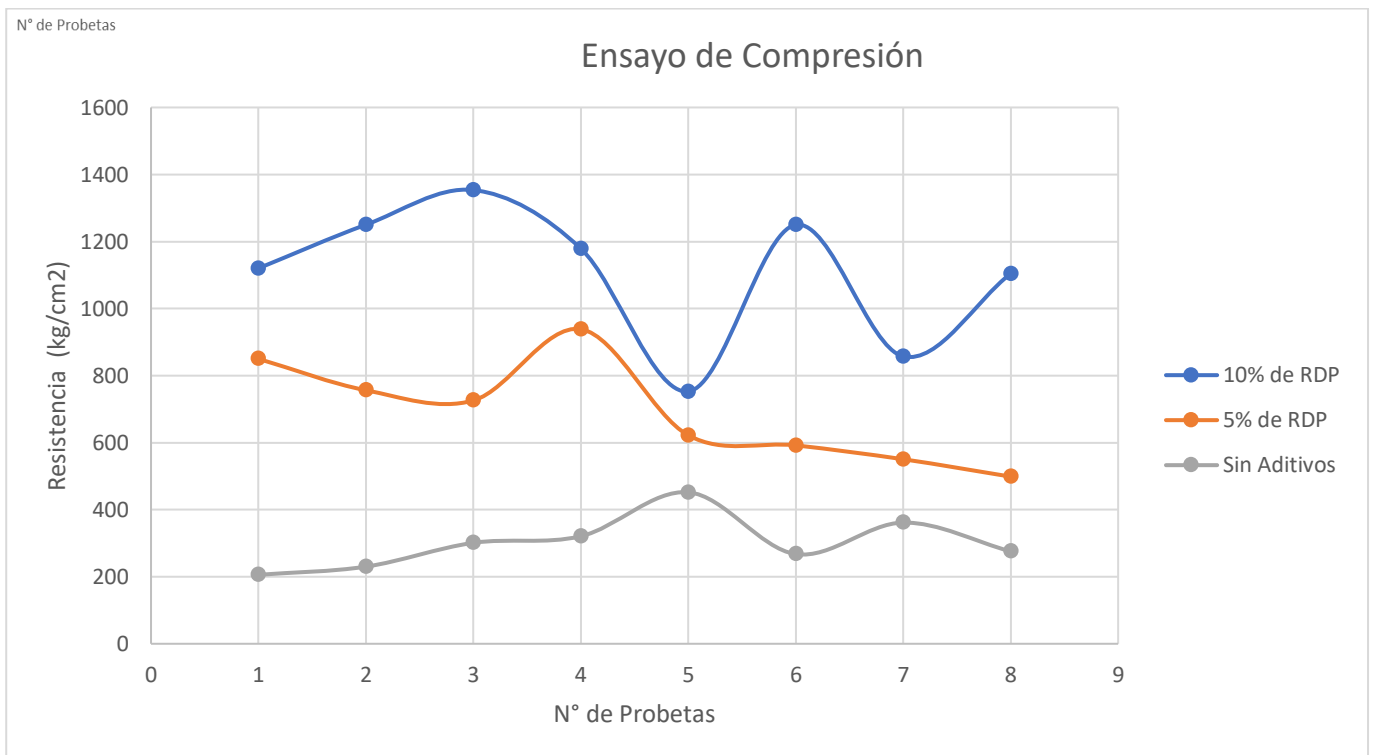
Fuente: Elaboración propia.

b) Resistencia a Compresión:
Tabla 11: Resultados Ensayos a Compresión.

Probetas a compresion Sin Aditivos	Descripción de la probeta						Resistencia compresión (MPa)	Densidad (kg/m3)	Resistencia media (MPa)
	Fuerza (Ton)	Presión (kg/cm2)	Peso (gr)	b (mm)	h (mm)	w (mm)			
Probeta 1	32,92	205,78	1912	100	50	160	20,19	2390	29,61
Probeta 2	36,82	230,14	1895	100	50	160	22,58	2368,75	
Probeta 3	48,20	301,23	2042	100	50	160	29,55	2552,5	
Probeta 4	51,33	320,84	2012	100	50	160	31,47	2515	
Probeta 5	72,31	451,95	2015	100	50	160	44,34	2518,75	
Probeta 6	42,82	267,62	2028	100	50	160	26,25	2535	
Probeta 7	57,84	361,52	2095	100	50	160	35,47	2618,75	
Probeta 8	44,10	275,62	1992	100	50	160	27,04	2490	

Probetas a compresion 5% de RDP	Descripción de la probeta						Resistencia compresión (MPa)	Densidad (kg/m3)	Resistencia media (MPa)
	Fuerza (Ton)	Presión (kg/cm2)	Peso (gr)	b (mm)	h (mm)	w (mm)			
Probeta 1	136,00	850	690	100	50	160	83,39	862,5	67,86
Probeta 2	121,02	756,37	695	100	50	160	74,20	868,75	
Probeta 3	116,15	725,94	650	100	50	160	71,21	812,5	
Probeta 4	150,16	938,47	720	100	50	160	92,06	900	
Probeta 5	99,52	622	655	100	50	160	61,02	818,75	
Probeta 6	94,72	592	655	100	50	160	58,08	818,75	
Probeta 7	88,08	550,5	665	100	50	160	54,00	831,25	
Probeta 8	79,79	498,67	695	100	50	160	48,92	868,75	

Probetas a compresion 10% de RDP	Descripción de la probeta						Resistencia compresión (MPa)	Densidad (kg/m3)	Resistencia media (MPa)
	Fuerza (Ton)	Presión (kg/cm2)	Peso (gr)	b (mm)	h (mm)	w (mm)			
Probeta 1	179,23	1120,17	990	100	50	160	109,844	1237,50	108,69
Probeta 2	200,02	1250,15	1005	100	50	160	122,590	1256,25	
Probeta 3	216,57	1353,58	955	100	50	160	132,732	1193,75	
Probeta 4	188,63	1178,91	970	100	50	160	115,604	1212,50	
Probeta 5	120,45	752,81	960	100	50	160	73,821	1200,00	
Probeta 6	200,00	1250	765	100	50	160	122,575	956,25	
Probeta 7	137,19	857,44	915	100	50	160	84,081	1143,75	
Probeta 8	176,72	1104,48	950	100	50	160	108,305	1187,50	


Figura 19: Grafico de resistencia a la Compresión de GRC
Fuente: Elaboración propia.

5 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

a) Análisis de Resistencia (Gráfico comparativo MPA)

Se analizó una comparativa de los resultados de las diferentes dosificaciones, basándose en el promedio de las resistencias de todas las probetas ensayadas.

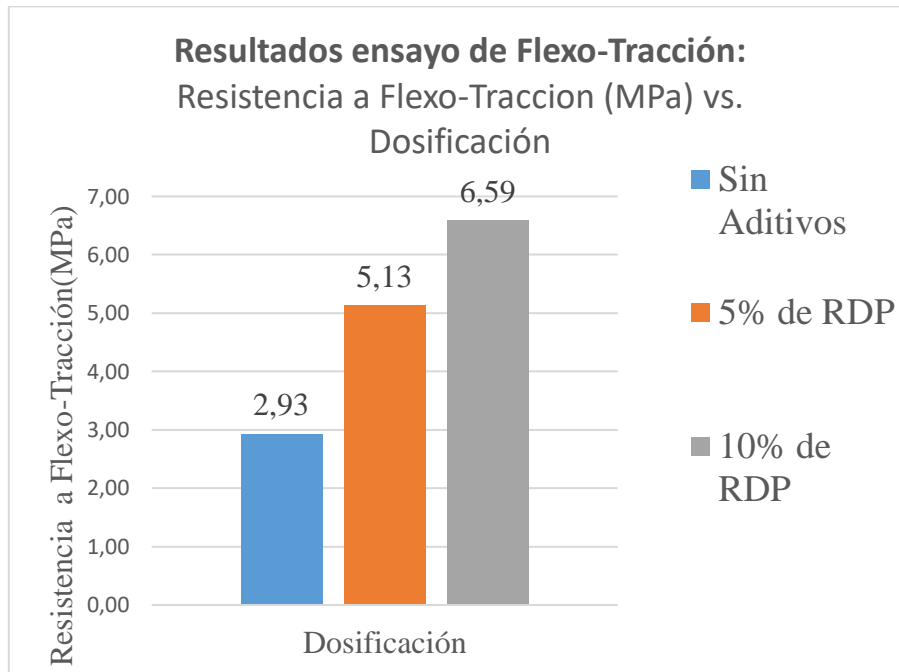


Figura 20: Resultados ensayo Flexo-Tracción.
Fuente: Elaboración propia.

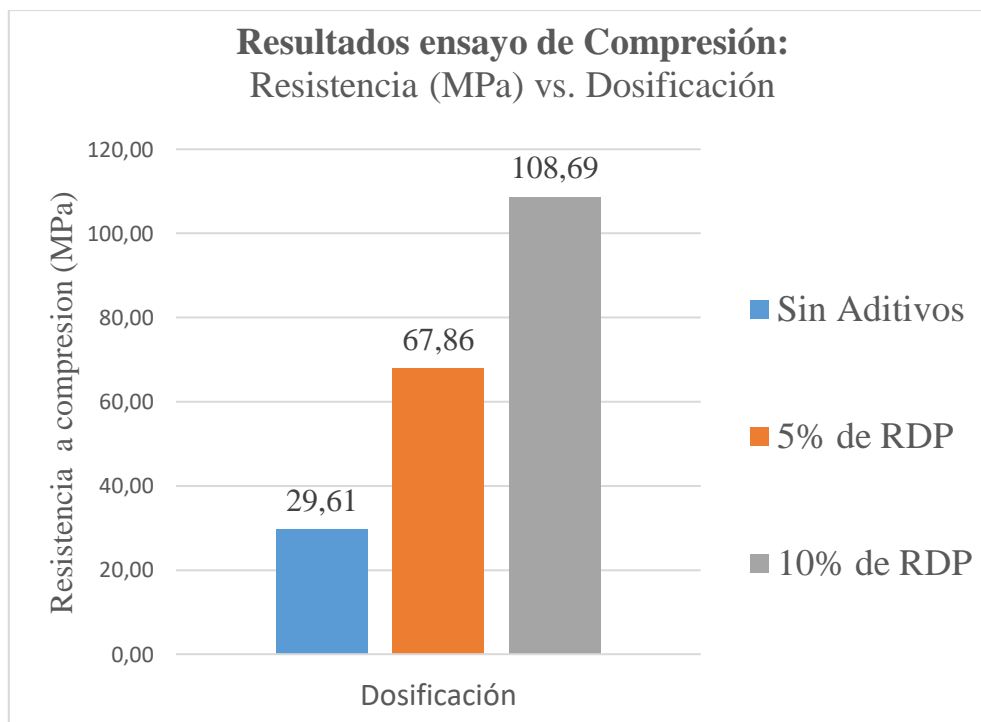


Figura 21: Resultados ensayo Compresión.
Fuente: Elaboración propia.

b) Análisis de velocidad de construcción para propuesta-solución:

$$\text{Velocidad de fresado} = \text{Longitud efectiva fresa} * \text{Diametro de fresa} * \text{Velocidad de corte} \frac{\text{mm}^3}{\text{min}}$$

$$\text{Velocidad de fresado: } 18.64 \text{ mm} * 6 \text{ mm} * 8000 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

$$\text{Velocidad de fresado: } 894.720 \frac{\text{mm}^3}{\text{min}}$$

$$\text{Velocidad de fresado: } 0.05368 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}}$$

Dado el diseño de panel, se estima el tiempo que puede tardar en ser fresado completamente:

$$\text{Volumen de muro a fresar: } 20\text{mm} * 560\text{mm} * 610\text{mm} + 2 * (50\text{mm} * 45\text{mm} * 610\text{mm})$$

$$\text{Volumen de muro: } 0.009577 \text{ m}^3$$

Área fresada panel:

$$\text{Area de muro fresado: } 610\text{mm} * 660\text{mm}$$

$$\text{Area de muro fresado: } 0.426\text{m}^2$$

Finalmente, el tiempo de fresado estimado para 0.4026 m2 es:

$$\text{Tiempo} = \frac{\text{Volumen de muro } \text{m}^3}{\text{Velocidad de fresado } \frac{\text{m}^3}{\text{hora}}}$$

$$\text{Tiempo: } \frac{0.009577}{0.0536832} = 0.1784 \text{ horas} = 10.7 \text{ min} = 10 \text{ minutos con } 42 \text{ segundos}$$

El tiempo de fresado estimado para 1 m2 es:

$$\text{Tiempo} = \left(\frac{10.7 \text{ min} * 1 \text{ m}^2}{0.4026\text{m}^2} \right) = 26.59\text{min} = 0.44\text{horas por } 1 \text{ m}^2$$

Es decir, que el área fresada para el diseño propuesto en una hora es:

$$\text{Area fresada de muros en } 1 \text{ hora} = \frac{1 \text{ hora}}{0.44 \frac{\text{horas}}{\text{m}^2}} = 2.27\text{m}^2$$

Según el Minvu (2016) para las viviendas destinadas a familias vulnerables, específicamente tratándose de casas, se deberá considerar una superficie mínima edificada de 47 m2; tratándose de departamentos, se deberá considerar una superficie mínima edificada de 52 m2. Bajo esta información, se estiman los m2 del panel.

Considerando una casa de 10mx5m, se cumple con los estándares anteriormente mencionados, es decir, toda la envolvente tendría un perímetro igual a 30 metros en la parte interior de estos. Con ello se puede tener certeza de cuántos metros cuadrados de panel se necesitan para ser fresados considerando el espesor de estos y poder, así, determinar el tiempo que conllevaría a esta máquina realizar la envolvente de una casa con las medidas mencionadas.

Para efectos de cálculos concretos, a continuación, se realiza un ejemplo que considera un espesor de panel igual a 200mm y una altura de 2.4 metros:

$$\text{Envolvente (m}^2\text{)} = \text{Area interior} + \text{Area exterior}$$

$$\text{Envolvente(m}^2\text{)} = (10m + 10m + 5m + 5m) * 2.4m + (10m + 10m + 5m + 5m + 8 * 0.2) * 2.4$$

$$\text{Envolvente(m}^2\text{)} = 147.84$$

Es decir que, con los métodos aplicados, la envolvente de una casa será construida en:

$$\text{Tiempo por casa} = \frac{147.84m^2}{2.27 \frac{m^2}{hora}} = 65.12 \text{ horas}$$

Sin embargo, es posible reducir los tiempos de fabricación aumentando el diámetro de la fresa, con el fin de realizar este trabajo con un equipo industrial de fresado CNC, como se puede observar en la siguiente figura:



Figura 22: CNC de tamaño Industrial.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra la velocidad de fresado de esta máquina, para un espesor de fresa de 20mm y un largo efectivo de la fresa de 50mm, manteniendo las configuraciones de la máquina ya analizada.

$$\text{Velocidad de fresado: } 50 \text{ mm} * 20 \text{ mm} * 8000 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

$$\text{Velocidad de fresado: } 0.48 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{\text{Volumen de muro } \text{m}^3}{\text{Velocidad de fresado } \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{0.009577 \text{ m}^3}{0.48 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}}$$

$$\text{Tiempo} = 0.02 \text{ horas} \approx 1.2 \text{ minutos}$$

Es decir, si se invierte en esta máquina, el panel que se hizo demoraría 1.2 minutos en realizarse, reduciendo el tiempo empleado considerablemente.

El tiempo empleado para 1 metro cuadrado según el diseño propuesto, es:

$$\text{Tiempo} = \left(\frac{1.2 \text{ min} * 1 \text{ m}^2}{0.4026 \text{ m}^2} \right) = 2.98 \text{ min} = 0.04967 \text{ horas por } 1 \text{ m}^2$$

En 1 hora, esta máquina fresa aproximadamente:

$$\text{Area fresada de muros en 1 hora} = \frac{1 \text{ hora}}{0.04967 \frac{\text{horas}}{\text{m}^2}} = 20.13 \text{ m}^2$$

Finalmente, esta máquina demorara en fresar nuestra propuesta en:

$$\text{Tiempo por casa} = \frac{147.84 \text{ m}^2}{20.13 \frac{\text{m}^2}{\text{hora}}} = 7.34 \text{ horas}$$

Según sus especificaciones, una máquina sería necesaria para cubrir la ejecución de la envolvente de una casa en una jornada laboral (1 día), debido a que permite mayores espesores de fresado, revoluciones por minuto, y un sistema de extracción de material óptimo, con un valor de \$69000 US aproximadamente más los costos de envío (FOB Qingdao), esta máquina podría realizar paneles de hasta 15 metros, además incluye una cámara de vacío para afirmar el material de una forma segura.

Se cotizó, además, una mezcladora vertical que permitiera cubrir la necesidad de construcción de la envolvente de una casa diaria: la capacidad de mezcla es de 0.5 m³, con un valor de \$12400 US aproximadamente.



Figura 23: Mezclador Planetario para mezclas de GRC.
Fuente: Elaboración propia.

Para realizar este proyecto se necesitan 4 operadores de máquinas CNC; 4 trabajadores para realizar mezclas; la canalización y planificación, quedan sujetos al desarrollo completo de una casa. Para ello es necesario el isométrico de todas las instalaciones eléctricas y sanitarias, como también el costo del revestimiento y mobiliario que se le empleará, además de su radier, techumbre, etc.

Análisis de Precio Unitario (APU):

Para este análisis de precios unitarios, se busca estimar el costo de fabricación de paneles en la envolvente completa de una casa con una superficie de 50m², envolvente 2.4 metros de altura y un espesor de panel de 200mm. Esto, con el fin de determinar el precio de producción y, así, calcular la inversión inicial para desarrollar esta envolvente en un día.

Si bien el proceso está condicionado a tiempos de fraguado, se pretende llegar a una velocidad de producción de un día, más un tiempo de holgura de aproximadamente 7 días de fraguado por lado de panel, generando así, tiempos de entregas limitados a ello, estimando una velocidad de construcción consecuente en búsqueda de solucionar la problemática habitacional en Chile, ya sienta números concretos de casas en un tiempo determinado para poder estimar bien los procesos necesarios para aumentar la producción masiva de estos paneles.

Además de esto, se calculó la cantidad de material de forma experimental, ya que, al formarse una matriz interna dentro de la mezcla, ésta da más volumen de lo calculado teóricamente, dando 730 kilos de cemento por 1 metro cubico de mezcla aproximadamente.

Tabla 12: APU Fresado CNC

Nombre	Fresado CNC								
Unidad	m2								
Fecha									
	Unidad	Rendimiento Unitario	Unidad	Rendimiento Conjunto	Unidad	Precio Unitario	Unidad	Precio Total	Unidad
Mano de obra									
Operador CNC 1	dia	75	m2/dia	150	m2/dia	\$ 45.000	dia	\$ 300	\$/m2
Operador CNC 2	dia	75	m2/dia	150	m2/dia	\$ 45.000	dia	\$ 300	\$/m2
Operador CNC 3	dia	75	m2/dia	150	m2/dia	\$ 45.000	dia	\$ 300	\$/m2
Operador CNC 4	dia	75	m2/dia	150	m2/dia	\$ 45.000	dia	\$ 300	\$/m2
								\$ 1.200	
						LS	30%	\$ 1.560	\$/m2
						Total Mano de Obra		\$ 2.760	\$/m2
Equipos									
Maquina CNC	m2	150	m2/dia	150	m2/dia				
Materiales									
8 Fresas e=20mm	unidad	3200	m2/unidad	3200	m2/unidad	15000	\$/unidad	4,6875	\$/m2
Poliestireno e=200mm	unidad	3,6	m2/unidad	3,6	m2/unidad	31000	\$/unidad	8611,11	\$/m2
						Total Materiales		8615,80	\$/m2
						Total		\$ 11.376	\$/m2

Tabla 13: APU GRC

Nombre	mezcla GRC								
Unidad	m3								
Fecha									
	Unidad	Rendimiento Unitario	Unidad	Rendimiento Conjunto	Unidad	Precio Unitario	Unidad	Precio Total	Unidad
Mano de obra									
Operador Mezcla 1	dia	1	m3/dia	4	m3/dia	\$ 35.000	dia	\$ 8.750	\$/m3
Operador Mezcla 2	dia	1	m2/dia	4	m3/dia	\$ 35.000	dia	\$ 8.750	\$/m3
Operador Mezcla 3	dia	1	m2/dia	4	m3/dia	\$ 35.000	dia	\$ 8.750	\$/m3
Operador Mezcla 4	dia	1	m2/dia	4	m3/dia	\$ 35.000	dia	\$ 8.750	\$/m3
								\$ 35.000	
						LS	30%	\$ 45.500	\$/m3
						Total Mano de Obra		\$ 80.500	\$/m3
Equipos									
Mezcladora Vertical	m3	4	m3/dia	4	m3/dia				
Materiales									
Cemento Bio-Bio	kg	730	kg/m3			132	\$/kg	96360	\$/m3
Arena BIO-BIO	kg	613,2	kg/m3			42	\$/kg	25754,4	\$/m3
Polimero (RDP)	kg	73	kg/m3			2750	\$/kg	200750	\$/m3
Plastificante (PCP)	kg	9,125	kg/m3			3600	\$/kg	32850	\$/m3
Fibra de vidrio	kg	36,5	kg/m3			2650	\$/kg	96725	\$/m3
Centrilit fume	kg	36,5	kg/m3			700	\$/kg	25550	\$/m3
						Total Materiales		477989,40	\$/m3
						Total		\$ 558.489	\$/m3

Presupuesto del Envolverte de una casa:
Tabla 11: Resultado Económico fabricación paneles para propuesta solución.

Presupuesto Envolverte para casa 50m2 Panel GRC Mario Aravena				
	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
CNC	m2	148	\$ 11.376	\$ 1.683.618
Mezcla GRC	m3	3,5	\$ 558.489	\$ 1.954.713
Precio envolvente				\$ 3.638.331

Carga de Transporte:

*peso total (envolvente) = Volumen mezcla * Densidad mezcla + Volumen poliestireno * Densidad poliestireno*

$$peso\ total\ (envolvente) = 3.5m^3 * 1045.16 \frac{kg}{m^3} + [(10.4 + 10.4 + 5m + 5m) * 2.4m * 0.2m] - 3.5m^3 * 30 \frac{kg}{m^3}$$

$$peso\ total\ (envolvente) = 3.658kg + 90,2kg$$

$$peso\ total\ (envolvente) = 3.748kg \approx 3.75\ toneladas$$

Con el presente resultado demuestra ser un panel liviano y capaz de ser transportado al lugar de instalación, con un camión de transporte acorde con las anteriormente mencionadas especificaciones y dimensiones de los paneles.

Volumen de Transporte:

Este volumen contemplo a los paneles ya fabricados y listos para transportar, este volumen se calcula:

$$Volumen\ (envolvente) = [(10.4 + 10.4 + 5m + 5m) * 2.4m * 0.2m] = 14.784m^3$$

Se propone un camión semirremolque como se muestra en la **Figura 24**, el cual cumple a cabalidad con la carga máxima, sin embargo, para cumplir con el volumen será necesario apilar hasta en 3 paneles de 2.4mts de ancho y 200mm de espesor (largo variable según diseño).



Figura 24: Camión semirremolque

Fuente: Elaboración propia.

Capacidad de operación:

- Plataforma plana de 13.5 m.
- Estanque de 25 m³
- Capacidad de Carga: 27.000 kg.

6 CONCLUSIONES

- El GRC comienza como una mixtura bastante espesa que, al solidificarse durante el fraguado, incorpora aire entre las partículas de este y logra como resultado una mezcla liviana y de sencilla manipulación. De esta manera, reduce su peso y al mismo tiempo aumenta su resistencia.
- En la mezcla de GRC hubo un aumento en la resistencia flexotracción de hasta dos veces más que en un mortero tradicional, lo que es positivo para la realización del panel, quien constantemente se ve expuesto a esfuerzo de flexotracción.
- La resistencia de la mezcla en la *dosificación 3* aumentó 3,7 veces en comparación con la *dosificación 1*, generando una resistencia similar a un hormigón tipo G100, una cifra bastante positiva. Es posible determinar que el aditivo Nanocílice fue fundamental para lograr este resultado, ya que, al momento de ser ensayado, la probeta no tenía una fractura tradicional dentro de los ensayos a compresión, debido a que disminuía su volumen con tal de seguir resistiendo. Esto quiere decir que, al momento de verse expuesto, sus partículas se van reacomodando hasta generar la falla completa en ella, por lo que es necesario controlar la deformación en base a la resistencia adecuada, que debe ser estudiada antes de deformarse.
- El fresado con el código G de la máquina CNC es sencillo gracias a que la fabricación del modelo computacional es muy preciso. Esto permitió un resultado limpio y sin fallas, dando resultados idénticos al modelo computacional, lo que es positivo al momento de canalizar las tuberías interiores, ductos, ventilación, electricidad, sanitaria, etc., sin errores.
- El comportamiento GRC al momento de verter la mezcla sobre el poliestireno no presentó ningún percance y soportó el peso de este mismo sin dañarse; el recubrimiento, por su parte, soportó el vaciado de este sin ningún problema y delimitando correctamente el espesor del panel. Al ser un GRC con una razón de agua muy baja, el poliestireno reacciona positivamente junto a la mezcla y la unificación es muy buena, no habiendo problemas de humedad.
- Se proponen máquinas destinadas a la industrialización de estos paneles que permita generar la cantidad necesaria de paneles para cubrir la construcción de la envolvente de una casa, estableciendo tiempos concretos que permita dar solución a la problemática mencionada. Estos paneles, además, al realizarse de forma industrializada, no solo se fabricarán en poco tiempo, sino que además la instalación será también rápida, ya que al incluir un sistema de canalización se ahorrará mucho tiempo al momento de ser instalada. Es decir, los paneles no solo se fabricarán de forma rápida, sino que también se entregarán rápidamente, superando así el tiempo destinado al que se acostumbra en Chile.
- El estudio económico de estos paneles arroja que, pese a que se ocupan aditivos de alto valor, estos no son requeridos en grandes cantidades, por lo que de cierta manera resulta económico y rentable tanto para la empresa fabricante, como para la persona que reciba esta vivienda.
- El aumento del RDP en la dosificación 3, nos demuestra como funciona dentro de la mezcla de GRC, ya que, este aumenta su peso con respecto a la dosificación 2, esto tiene una explicación con respecto al funcionamiento del polímero, ya que su matriz interna a mayor cantidad acumula menos aire dentro de su estructura, es por eso que a mayor cantidad de RDP, su matriz interna será más cerrada y esta tendrá menos aire al interior.

7 RECOMENDACIONES

- Se recomienda el uso de más cabezales de fresado, para aumentar aún más la producción de los paneles, existen varios proveedores que trabajan con sistemas de fresado de hasta 15 metros, con cintas de producción y trenes de transporte que facilitarían los trabajos en fábrica en la construcción de estos paneles, y con ello se optimizaría la producción de estos. Como también, analizar otras fresas que aumenten la velocidad de fresado, manteniendo la precisión de la fresa estudiada.
- Se recomienda utilizar rodillos con puntas en la mezcla, con el fin de quitar aire de esta; y posteriormente, presionar la cara superficial con un sistema de plancha metálica al momento de vaciar, lo que permitiría concluir con un acabado superficial óptimo.
- Se debe estudiar diferentes diseños estructurales, dado los datos entregados, para observar el efecto conjunto de toda la estructura, como el radier, los paneles y la techumbre y evaluar un posible segundo nivel.
- El poliestireno expandido es conocido por ser un muy buen aislante térmico y también acústico, por lo que se recomienda realizar un estudio sobre estos parámetros a diferentes espesores de panel, lo que permitiría analizar cálculos de envolvente térmica en diferentes sectores del país, y el ahorro energético que este puede significar según el espesor a usar.
- La combinación de poliestireno expandido de alta densidad y una mezcla de GRC liviano, conlleva a una reducción de cargas solicitantes en toda la envolvente. Se recomienda un estudio de disipación energética en los paneles a cargar con diferentes frecuencias, como sísmicas, y con ello ajustar el diseño final de panel, con el fin de obtener mayor resistencia por un mejor diseño.
- Se recomienda hacer un estudio de anclajes de estos paneles con un plan de instalación, en un diseño en conjunto con el radier de la casa, canalizando toda el área donde se posicionará el panel en la instalación, con el fin de apernar los paneles desde el exterior.
- Se recomienda, además, el cambio de poliestireno por poliuretano, ya que, hay derivados de este que presentan mejores parámetros resistentes, tanto mecánicos, de aislación térmica y acústica, pero por sobre todo, presenta mejor resistencia al fuego.
- Considerando los resultados, es posible afirmar que estos paneles son amigables con las energías renovables, debido a que dentro de su diseño eléctrico se podría conectar con paneles fotovoltaicos, que, junto con un sistema de aire acondicionado y una buena aislación de estos paneles, lograría un ahorro energético considerable en la vivienda construida. Además, se podrían incluir sensores de temperatura, humedad y CO2 en los paneles, y mediante un controlador se podría establecer un ambiente de confort dentro del hogar.

REFERENCIAS

- **Álvarez, S.** (2005). Los discursos minimistas sobre las necesidades básicas y los umbrales de ciudadanía como reproductores de la pobreza. En Álvarez, S. (Comp.), Trabajo y Producción de la pobreza en Latinoamérica y el Caribe: estructuras, discursos y actores (pp.239-274). Recuperado de <http://bibliotecavirtual.clacso.org.ar/ar/libros/crop/Trabprod.pdf>.
- **Muñoz, C.** (2007). Comportamiento mecánico del hormigón reforzado con fibra de vidrio. Tesis de grado. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, escuela de construcción civil. 83 p.
- **Raposo, A.** (2001). Estado, ethos social y política de vivienda. Recuperado de http://www.uceval.cl/fid/pdf/i_paradigma_corvi/estado_ethos.pdf.
- **Bourdieu, P.** (2010). Las estructuras sociales de la economía. Buenos Aires: Manantial.
- **Biblioteca del Congreso Nacional de Chile / BCN.** (2016). Decreto 19: Vivienda. Art. 10. Extraído de <https://www.bcn.cl/leychile/>.
- **Ministerio de desarrollo Social y Familia.** (2022). Recuperado de: <https://www.desarrollosocialyfamilia.gob.cl/noticias/ministros-toro-y-montes-presentaron-los-resultados-de-la-encuesta-casen-el-deficit-habitacional-cuan>
- **Núñez-Castellanos, E., Torres-Moreno, R., Ligas-Fonseca, S., Bustamante-Laissle, G., Maureira-Carsaladea, N., & Roco-Videlac, A.** (2021). Experimental study on the mechanical behavior of polypropylene fibre reinforced concrete subjected to monotonic loads.

ANEXOS

Código G:

(Fresado panel poliestireno)

(Maquina)

(proveedor: Autodesk)

(model: cnc)

(description: Generic 3-axis)

(T1 D=6 CR=0 - ZMIN=20 - fresa con punta plana)

G90 G94

G17

G21

(plano2)

T1

S15000 M3

G54

G0 X176.064 Y350.955

Z105

Z23.5

G1 Z22.5 F333.3

X176.05 Y351.011 Z22.498 F1000

X175.864 Y351.444 Z22.482

X175.61 Y351.84 Z22.465

X175.294 Y352.188 Z22.449

X174.925 Y352.48 Z22.432

X174.512 Y352.708 Z22.416

X174.068 Y352.864 Z22.399

X173.605 Y352.945 Z22.383

X173.134 Y352.948 Z22.367

X172.669 Y352.875 Z22.35

X172.223 Y352.725 Z22.334

X171.807 Y352.504 Z22.317

X171.433 Y352.218 Z22.301

X171.112 Y351.874 Z22.284

X170.851 Y351.482 Z22.268

X170.659 Y351.052 Z22.251

X170.54 Y350.597 Z22.235

X170.498 Y350.128 Z22.219
X170.533 Y349.659 Z22.202
X170.645 Y349.202 Z22.186
X170.831 Y348.769 Z22.169
X171.085 Y348.373 Z22.153
X171.401 Y348.024 Z22.136
X171.771 Y347.733 Z22.12
X172.183 Y347.505 Z22.104
X172.627 Y347.349 Z22.087
X173.09 Y347.268 Z22.071
X173.561 Y347.264 Z22.054
X174.026 Y347.338 Z22.038
X174.472 Y347.488 Z22.021
X174.888 Y347.709 Z22.005
X175.262 Y347.995 Z21.989
X175.583 Y348.339 Z21.972
X175.844 Y348.731 Z21.956
X176.036 Y349.16 Z21.939
X176.155 Y349.616 Z21.923
X176.197 Y350.085 Z21.906
X176.162 Y350.554 Z21.89
X176.05 Y351.011 Z21.873
X175.864 Y351.444 Z21.857
X175.61 Y351.84 Z21.841
X175.294 Y352.188 Z21.824
X174.925 Y352.48 Z21.808
X174.512 Y352.708 Z21.791
X174.068 Y352.864 Z21.775
X173.605 Y352.945 Z21.758
X173.134 Y352.948 Z21.742
X172.669 Y352.875 Z21.726
X172.223 Y352.725 Z21.709
X171.807 Y352.504 Z21.693
X171.433 Y352.218 Z21.676
X171.112 Y351.874 Z21.66
X170.851 Y351.482 Z21.643
X170.659 Y351.052 Z21.627

X170.54 Y350.597 Z21.611
X170.498 Y350.128 Z21.594
X170.533 Y349.659 Z21.578
X170.645 Y349.202 Z21.561
X170.831 Y348.769 Z21.545
X171.085 Y348.373 Z21.528
X171.401 Y348.024 Z21.512
X171.771 Y347.733 Z21.496
X172.183 Y347.505 Z21.479
X172.627 Y347.349 Z21.463
X173.09 Y347.268 Z21.446
X173.561 Y347.264 Z21.43
X174.026 Y347.338 Z21.413
X174.472 Y347.488 Z21.397
X174.888 Y347.709 Z21.38
X175.262 Y347.995 Z21.364
X175.583 Y348.339 Z21.348
X175.844 Y348.731 Z21.331
X176.036 Y349.16 Z21.315
X176.155 Y349.616 Z21.298
X176.197 Y350.085 Z21.282
X176.162 Y350.554 Z21.265
X176.05 Y351.011 Z21.249
X175.864 Y351.444 Z21.233
X175.61 Y351.84 Z21.216
X175.294 Y352.188 Z21.2
X174.925 Y352.48 Z21.183
X174.512 Y352.708 Z21.167
X174.068 Y352.864 Z21.15
X173.605 Y352.945 Z21.134
X173.134 Y352.948 Z21.118
X172.669 Y352.875 Z21.101
X172.223 Y352.725 Z21.085
X171.807 Y352.504 Z21.068
X171.433 Y352.218 Z21.052
X171.112 Y351.874 Z21.035
X170.851 Y351.482 Z21.019

X170.659 Y351.052 Z21.002
X170.54 Y350.597 Z20.986
X170.498 Y350.128 Z20.97
X170.533 Y349.659 Z20.953
X170.645 Y349.202 Z20.937
X170.831 Y348.769 Z20.92
X171.085 Y348.373 Z20.904
X171.401 Y348.024 Z20.887
X171.771 Y347.733 Z20.871
X172.183 Y347.505 Z20.855
X172.627 Y347.349 Z20.838
X173.09 Y347.268 Z20.822
X173.561 Y347.264 Z20.805
X174.026 Y347.338 Z20.789
X174.472 Y347.488 Z20.772
X174.888 Y347.709 Z20.756
X175.262 Y347.995 Z20.74
X175.583 Y348.339 Z20.723
X175.844 Y348.731 Z20.707
X176.036 Y349.16 Z20.69
X176.155 Y349.616 Z20.674
X176.197 Y350.085 Z20.657
X176.162 Y350.554 Z20.641
X176.05 Y351.011 Z20.624
X175.864 Y351.444 Z20.608
X175.61 Y351.84 Z20.592
X175.294 Y352.188 Z20.575
X174.925 Y352.48 Z20.559
X174.512 Y352.708 Z20.542
X174.068 Y352.864 Z20.526
X173.605 Y352.945 Z20.509
X173.134 Y352.948 Z20.493
X172.669 Y352.875 Z20.477
X172.223 Y352.725 Z20.46
X171.807 Y352.504 Z20.444
X171.433 Y352.218 Z20.427
X171.112 Y351.874 Z20.411

X170.851 Y351.482 Z20.394
X170.659 Y351.052 Z20.378
X170.54 Y350.597 Z20.362
X170.498 Y350.128 Z20.345
X170.533 Y349.659 Z20.329
X170.645 Y349.202 Z20.312
X170.831 Y348.769 Z20.296
X171.085 Y348.373 Z20.279
X171.401 Y348.024 Z20.263
X171.771 Y347.733 Z20.247
X172.183 Y347.505 Z20.23
X172.627 Y347.349 Z20.214
X173.09 Y347.268 Z20.197
X173.561 Y347.264 Z20.181
X174.026 Y347.338 Z20.164
X174.472 Y347.488 Z20.148
X174.888 Y347.709 Z20.131
X175.262 Y347.995 Z20.115
X175.583 Y348.339 Z20.099
X175.844 Y348.731 Z20.082
X176.036 Y349.16 Z20.066
X176.155 Y349.616 Z20.049
X176.197 Y350.085 Z20.033
X176.162 Y350.554 Z20.016
X176.05 Y351.011 Z20
G3 X173.834 Y350.678 I-1.083 J-0.333 F8000
X176.1 Y350.678 I1.133 J0
X176.05 Y351.011 I-1.132 J0
G2 X176.92 Y353.824 I2.497 J0.768
G3 X177.521 Y356.706 I-1.434 J1.803
G1 X176.897 Y357.922
X176.54 Y358.641
G3 X174.603 Y358.778 I-1.009 J-0.501
G1 X173.951 Y357.83
G2 X172.761 Y356.217 I-24.897 J17.122
G1 X170.871 Y353.825
G3 X174.418 Y345.662 I3.962 J-3.131

G1 X174.688 Y345.64
G3 X179.504 Y353.147 I0.415 J5.033
G1 X177.814 Y356.161
X177.521 Y356.706
G2 X177.674 Y360.57 I3.395 J1.801
G3 X178.19 Y364.402 I-3.888 J2.475
G2 X176.682 Y375.237 I32.655 J10.068
G1 X177.095 Y393.622
G3 X176.429 Y394.302 I-0.665 J0.015
G1 X175.984 Y394.301
G3 X175.32 Y393.619 I0.001 J-0.665
G1 X175.764 Y375.918
G2 X168.747 Y357.029 I-27.109 J-0.679
G1 X168.279 Y356.513
G3 X181.621 Y344.421 I6.671 J-6.046
X182.521 Y355.338 I-6.671 J6.046
G1 X182.109 Y355.979
G2 X178.19 Y364.402 I28.737 J18.491
X179.202 Y369.39 I5.081 J1.566
G3 X180.95 Y374.17 I-5.703 J4.795
G1 X180.997 Y397.437
G3 X179.797 Y398.639 I-1.2 J0.002
G1 X172.604 Y398.64
G3 X171.404 Y397.433 I0 J-1.2
G1 X171.55 Y373.579
G2 X165.972 Y360.171 I-18.63 J-0.114
G1 X165.505 Y359.713
G3 X174.198 Y336.993 I9.295 J-9.466
G1 X174.481 Y336.98
G3 X185.738 Y358.138 I0.602 J13.253
G1 X185.326 Y358.693
G2 X180.945 Y371.995 I17.868 J13.257
G1 X180.95 Y374.17
G2 X182.991 Y378.25 I5.117 J-0.01
G3 X185.046 Y382.322 I-3.095 J4.117
G1 X185.211 Y401.607
G3 X184.011 Y402.818 I-1.2 J0.01

G1 X168.381 Y402.817
G3 X167.182 Y401.605 I0 J-1.2
G1 X167.493 Y372.59
G2 X164.224 Y364.226 I-12.004 J-0.129
G1 X162.171 Y362.049
G3 X174.135 Y332.5 I12.76 J-12.03
X188.73 Y360.842 I0.796 J17.519
G1 X188.317 Y361.369
G2 X184.951 Y371.25 I12.426 J9.746
G1 X185.046 Y382.322
G2 X187.225 Y386.639 I5.454 J-0.044
G1 X187.229 Y386.642
G3 X189.393 Y390.972 I-3.249 J4.33
G1 Y407
X163
Y370
X162.988 Y369.728
X162.951 Y369.459
X162.89 Y369.194
X162.805 Y368.936
X162.697 Y368.686
X162.567 Y368.447
X162.416 Y368.221
X162.245 Y368.01
X162.055 Y367.815
X161.849 Y367.637
X161.094 Y367.047
X160.411 Y366.465
X159.752 Y365.857
X159.117 Y365.221
X158.509 Y364.56
X157.929 Y363.876
X157.377 Y363.168
X156.855 Y362.439
X156.363 Y361.689
X155.902 Y360.92
X155.473 Y360.131

X155.076 Y359.326
X154.712 Y358.506
X154.382 Y357.671
X154.086 Y356.824
X153.825 Y355.966
X153.6 Y355.098
X153.41 Y354.221
X153.256 Y353.337
X153.138 Y352.447
X153.056 Y351.553
X153.011 Y350.657
X153.002 Y349.759
X153.03 Y348.863
X153.095 Y347.969
X153.196 Y347.077
X153.334 Y346.19
X153.507 Y345.31
X153.716 Y344.437
X153.961 Y343.573
X154.24 Y342.72
X154.554 Y341.88
X154.902 Y341.054
X155.284 Y340.242
X155.698 Y339.446
X156.145 Y338.667
X156.623 Y337.907
X157.132 Y337.168
X157.669 Y336.449
X158.236 Y335.754
X158.83 Y335.083
X159.452 Y334.436
X160.1 Y333.815
X160.773 Y333.221
X161.47 Y332.654
X162.188 Y332.117
X162.928 Y331.609
X163.687 Y331.132

X164.466 Y330.687
X165.262 Y330.274
X166.075 Y329.893
X166.903 Y329.546
X167.744 Y329.232
X168.597 Y328.953
X169.461 Y328.71
X170.333 Y328.501
X171.213 Y328.329
X172.1 Y328.193
X172.992 Y328.093
X173.887 Y328.03
X174.785 Y328.002
X175.682 Y328.012
X176.578 Y328.057
X177.471 Y328.14
X178.36 Y328.259
X179.243 Y328.414
X180.12 Y328.605
X180.989 Y328.832
X181.848 Y329.094
X182.695 Y329.391
X183.529 Y329.721
X184.348 Y330.086
X185.152 Y330.483
X185.939 Y330.914
X186.708 Y331.376
X187.459 Y331.869
X188.188 Y332.393
X188.895 Y332.945
X189.579 Y333.526
X190.239 Y334.133
X190.873 Y334.768
X191.48 Y335.428
X192.061 Y336.112
X192.613 Y336.82
X193.136 Y337.55

X193.629 Y338.3
X194.091 Y339.069
X194.521 Y339.856
X194.918 Y340.66
X195.282 Y341.48
X195.613 Y342.314
X195.909 Y343.162
X196.171 Y344.021
X196.397 Y344.889
X196.588 Y345.766
X196.743 Y346.649
X196.861 Y347.538
X196.943 Y348.431
X196.988 Y349.328
X196.997 Y350.225
X196.97 Y351.123
X196.906 Y352.018
X196.806 Y352.91
X196.669 Y353.796
X196.497 Y354.676
X196.288 Y355.548
X196.044 Y356.412
X195.764 Y357.265
X195.451 Y358.107
X195.103 Y358.934
X194.722 Y359.746
X194.308 Y360.544
X193.898 Y361.262
X193.46 Y361.966
X192.996 Y362.654
X192.506 Y363.323
X191.991 Y363.974
X191.452 Y364.605
X190.89 Y365.215
X190.265 Y365.843
X190.069 Y366.061
X189.895 Y366.297

X189.745 Y366.549
X189.62 Y366.814
X189.521 Y367.09
X189.45 Y367.375
X189.407 Y367.665
X189.393 Y367.958
Y390.972
Y391.572
G19 G3 Y392.172 Z20.6 J0 K0.6
G0 Z95
X197.331 Y46.326
Z48.5
G1 Z47.5 F333.3
X197.274 Y46.331 Z47.498 F1000
X196.805 Y46.292 Z47.482
X196.348 Y46.176 Z47.465
X195.917 Y45.987 Z47.449
X195.523 Y45.73 Z47.432
X195.177 Y45.411 Z47.416
X194.888 Y45.04 Z47.399
X194.664 Y44.626 Z47.383
X194.511 Y44.18 Z47.367
X194.433 Y43.716 Z47.35
Y43.245 Z47.334
X194.511 Y42.781 Z47.317
X194.664 Y42.336 Z47.301
X194.888 Y41.922 Z47.284
X195.177 Y41.551 Z47.268
X195.523 Y41.232 Z47.251
X195.917 Y40.974 Z47.235
X196.348 Y40.785 Z47.219
X196.805 Y40.67 Z47.202
X197.274 Y40.631 Z47.186
X197.743 Y40.67 Z47.169
X198.199 Y40.785 Z47.153
X198.63 Y40.974 Z47.136
X199.024 Y41.232 Z47.12

X199.37 Y41.551 Z47.104
X199.66 Y41.922 Z47.087
X199.884 Y42.336 Z47.071
X200.036 Y42.781 Z47.054
X200.114 Y43.245 Z47.038
Y43.716 Z47.021
X200.036 Y44.18 Z47.005
X199.884 Y44.626 Z46.989
X199.66 Y45.04 Z46.972
X199.37 Y45.411 Z46.956
X199.024 Y45.73 Z46.939
X198.63 Y45.987 Z46.923
X198.199 Y46.176 Z46.906
X197.743 Y46.292 Z46.89
X197.274 Y46.331 Z46.873
X196.805 Y46.292 Z46.857
X196.348 Y46.176 Z46.841
X195.917 Y45.987 Z46.824
X195.523 Y45.73 Z46.808
X195.177 Y45.411 Z46.791
X194.888 Y45.04 Z46.775
X194.664 Y44.626 Z46.758
X194.511 Y44.18 Z46.742
X194.433 Y43.716 Z46.726
Y43.245 Z46.709
X194.511 Y42.781 Z46.693
X194.664 Y42.336 Z46.676
X194.888 Y41.922 Z46.66
X195.177 Y41.551 Z46.643
X195.523 Y41.232 Z46.627
X195.917 Y40.974 Z46.611
X196.348 Y40.785 Z46.594