



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE ARQUITECTURA**

**DISEÑO DE PANELES MODULARES DE HORMIGÓN CELULAR PARA MUROS
DIVISORES DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO EN CUENCA**

Trabajo de titulación previo a la obtención
del título de Arquitecto

**AUTOR: MARCO ANTONIO CORNEJO UYAGUARI
TUTORA: ARQ. NATALIA CAROLINA MEJÍA BERMEO, MG.**

Cuenca - Ecuador
2026

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, Marco Antonio Cornejo Uyaguari con documento de identificación N°
0105566079 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo y autorizo a que sin fines de lucro la
Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera
total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 25 de febrero del 2026

Atentamente



Marco Antonio Cornejo Uyaguari
0105566079

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Marco Antonio Cornejo Uyaguari con documento de identificación N° 0105566079 , expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto técnico: “Diseño de paneles modulares de hormigón celular para muros divisores de viviendas de bajo costo en Cuenca”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Arquitecto, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 25 febrero del 2026

Atentamente,



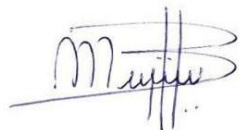
Marco Antonio Cornejo Uyaguari
0105566079

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Natalia Carolina Mejía Bermeo con documento de identificación N° 0104406830 docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO DE PANELES MODULARES DE HORMIGÓN CELULAR PARA MUROS DIVISORES DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO EN CUENCA, realizado por Marco Antonio Cornejo Uyaguari con documento de identificación N° 0105566079, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 25 de febrero del 2026

Atentamente,



Arq. Natalia Carolina Mejía Bermeo, Mg.

010277804

Dedicatoria

A dios que es el dueño de la sabiduría por darme el conocimiento.

A mis hijos que son la razón de mi superación; Daniel Sebastián y Antony David.

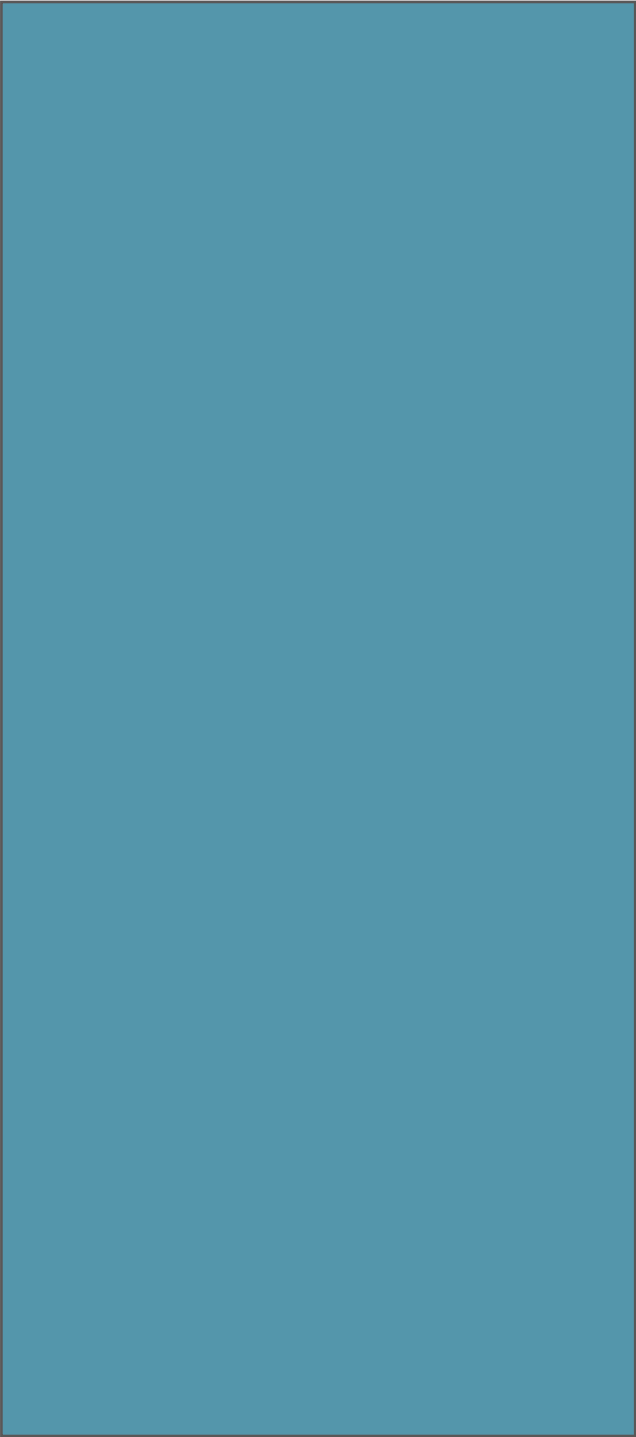
A mis padres: Miguel Antonio y Rosa Ana por su apoyo incondicional, su amor y sacrificio que me han permitido llegar hasta aquí, siendo motivo de inspiración y motor en cada paso de este camino, también por creer en mí, incluso cuando dudaba, por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia.

A mis hermanos y hermanas por su apoyo incondicional y por ser mis cómplices en esta aventura.

Agradecimientos

Quiero dejar constancia de mi sincero agradecimiento a todas las personas que de una otra manera colaboró en la culminación del presente proyecto y de manera especial a la Arquitecta Natalia Mejía que sin su ayuda no hubiera sido posible realizarlas, un profundo agradecimiento para todos.

Índice de contenido



Resumen.8

Abstract10

1 Introducción13

2 Problema14

 2.1. Antecedente16

 2.2. Importancia y alcances16

 2.3. Delimitación18

 2.3.1. Espacial o geográfica18

 2.3.2. Temporal18

 2.3.3. Sectorial o institucional18

 2.4. Problema General18

 2.5. Problemas Específicos18

3	Objetivos	19
3.1.	Objetivo General	20
3.2.	Objetivos Específicos	20
4	Hipótesis	20
4.1.	Hipótesis General	20
4.2.	Hipótesis Específicas	20
5.	Marco teórico	22
5.1.	Hormigón celular	23
5.1.1.	Definición	23
5.1.2.	Paneles Modulares	23
5.1.2.1.	Definición	23
5.1.2.1.1.	Dimensiones	23
5.1.2.1.2.	Importancia	23
5.2.	Componentes	23
5.2.1.	Dosificaciones	23
5.2.1.1.	Componentes	23
5.2.1.1.1.	Importancia	24
5.2.1.1.2.	Tipos de dosificaciones	24

5.3. Aplicaciones	24
5.3.1. Anclajes	24
5.3.1.1. Definición	24
5.3.1.1.1. Tipos de anclajes	25
5.3.1.1.2. Importancia	25
5.4. Montaje en obra	25
5.4.1. Tipos de montaje	25
5.4.1.1. Definición	25
5.4.1.2. Avance por día	25
6. Marco metodológico	28
6.1. Análisis la posibilidad de integrar las propiedades livianas y térmico-acústicas del hormigón celular en el diseño de paneles modulares, con espumantes, sin comprometer la instalación y uso en obra	29
6.1.1. Dimensiones.	29
6.1.2 Anclajes y acoples	30
6.1.2.1 Sistema de conexión media madera	31
6.1.2.2 Sistema de transición.	32
6.1.2. 3 Encofrados de paneles.	32

6.2 Desarrollo de prototipos de paneles con hormigón celular con diferentes dosificaciones...	34
6.2.1 Análisis de datos.	34
6.2.2 Proceso de elaboración	35
6.2.3 Detalles constructivos de instalaciones de paneles de hormigón celular..	37
6.2.3.1 Descripción de la instalación de paneles modulares de hormigón celular con sistema track.	37
6.2.3.2 Detalles constructivos de conexiones de elementos con sistema tracks	38
6.2. 4 Dosificaciones	44
6.2.4.1 Agentes espumantes.	44
6.2.4 .2 Pruebas de espumantes.	44
6.2.4.3 Dosificaciones de hormigón celular para las dosificaciones se realizo mediante parámetros antes mencionados en el que se realizaron dos tipos de dosificaciones	48
6.2.4.4 Elaboración de paneles modulares.	49

6.3. Evaluación de la variación en la resistencia y costo de cada uno de los prototipos desarrollados	51
6.3.1 Ensayos de probetas.	52
6.3.1.1 Ensayos de Hormigón celular	55
6.3.1.2 verificación de pesos y densidades	67
6.3.2 Evaluación de costos	68
7. Resultados	76
7.1 Procedimiento de ejecución en obra de paneles modulares.	77
7.1.1 Preparación de superficie a implementar los paneles modulares de hormigón celular	77
7.1.2 Sistema de Transición Anclajes de perfiles Tracks.	78
7.1.3 Colocación de Paneles.	79
7.1.4 Pared resultante con paneles de hormigón celular	80

8. Conclusiones	83
9. Recomendaciones	85
9.1. Preparación del espumante	85
9.2. Realización correcta de los encofrados.....	86
9.3. Tiempo adecuado de desencofrado	86
Referencias	87
ANEXOS	90
Anexo A: Matriz de Consistencia Lógica	91
Cronograma inicial	92
Registro de pruebas anteriores fallidas	93

Resumen



Resumen

El proyecto de investigación tuvo como objeto determinar nuevas alternativas de construcción, así se propone la elaboración de paneles alivianados con hormigón celular para paredes divisorias en edificaciones en la ciudad de Cuenca , se plantea reemplazar los componentes tradicionales como hormigón tradicional. Se trata de un estudio de tipo práctico del nivel descriptivo en el que se empleó el método descriptivo y el diseño comparativo con dos métodos constructivos. La variable de estudio fue paneles modulares que aportaran a la construcción algunos beneficios como: versatilidad, menor tiempo de construcción y, por lo tanto, menor costo. El instrumento empleado es el diseño de hormigón celular para los paneles modulares .Por lo tanto se concluye que es viable el uso paneles alivianados con hormigón celular para la fabricación de paneles prefabricados para su uso dentro de la construcción.

Palabras clave

Hormigón celular, Paneles alivianados, Sistemas constructivos industrializados, Construcción sostenible, Optimización de tiempos, Eficiencia energética, Manipulación en obra, Anclaje y sellado, Montaje de paneles, Desempeño en obra

Abstract



RESUMEN

The research project aimed to determine new construction alternatives, thus proposing the development of lightweight panels with cellular concrete for facade cladding and partition walls, to replace traditional components such as traditional concrete. This is a practical study at the descriptive level in which the descriptive method and comparative design with two construction methods were used. The study variable was modular panels that would provide construction with some benefits such as: versatility, shorter construction time and, therefore, lower cost. The instrument used is the design of cellular concrete for modular panels. It is concluded, therefore, that the use of lightweight panels with cellular concrete for the manufacture of prefabricated panels for use in construction is viable.

Keyword

Cellular concrete, Lightweight panels, Industrialized construction systems, Sustainable construction, Time optimization, Energy efficiency, On-site handling, Anchoring and sealing, Thermal and acoustic properties, Panel assembly, On-site performance.

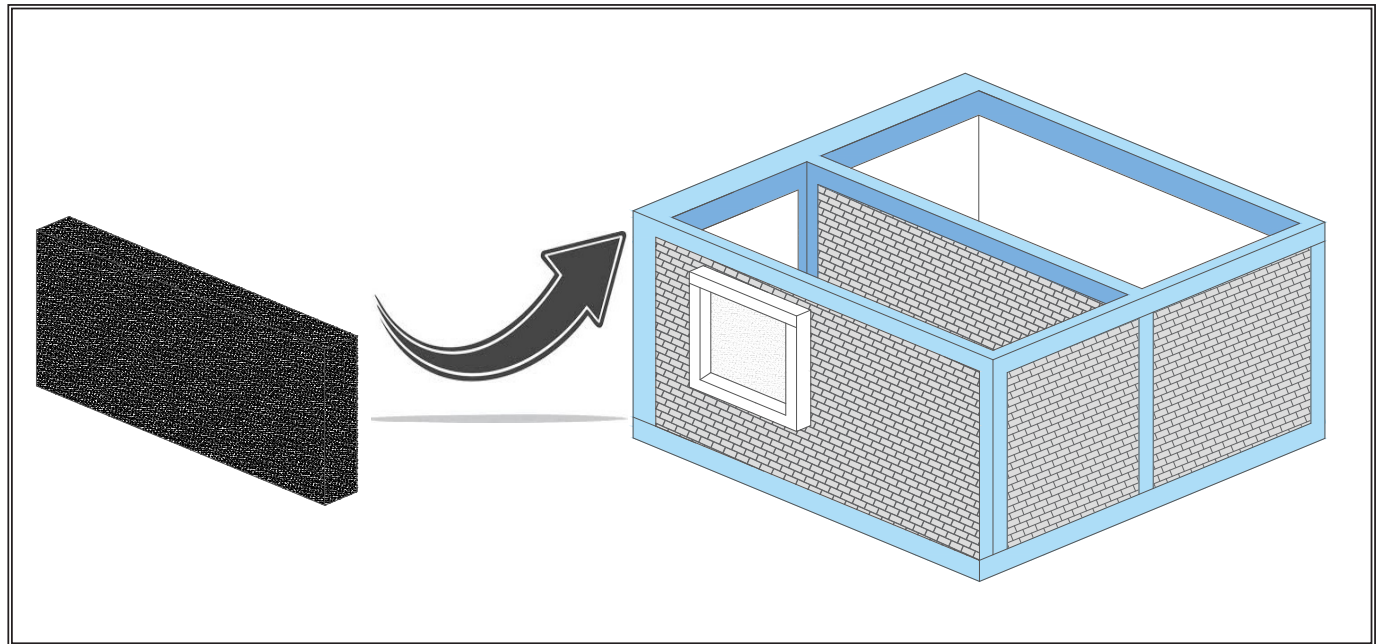
Capítulo

1

1 Introducción

El hormigón celular, debido a sus propiedades de ligereza, buen comportamiento térmico acústico y facilidad de manejo, se presenta como un material atractivo para la edificación de viviendas y edificaciones de baja y mediana altura; sin embargo, en Cuenca Ecuador su implementación aún es limitada, principalmente por la falta de conocimiento técnico especializado, normativa específica y estudios que evalúen de manera integral su desempeño en obra, especialmente en lo referente a su proceso de montaje (Romero, 20).

Imagen
Bloques de hormigón celular



Fuente : Autor

Problema

2.1. Antecedentes

El hormigón celular es un material de construcción liviano caracterizado por la presencia de una estructura interna porosa, obtenida mediante la incorporación controlada de aire o gas durante su proceso de fabricación. Su desarrollo responde a la necesidad de reducir el peso propio de las edificaciones, mejorar el aislamiento térmico y acústico, y optimizar los procesos constructivos mediante sistemas industrializados (Neville, 2011).

Los primeros antecedentes del hormigón celular se remontan a finales del siglo XIX, cuando se iniciaron investigaciones orientadas a disminuir la densidad del hormigón tradicional mediante la introducción de aire en su matriz. No obstante, estos primeros materiales presentaban deficiencias en resistencia mecánica y estabilidad dimensional, lo que limitaba su aplicación estructural (Mehta & Monteiro, 2014).

Un avance decisivo ocurrió en la década de 1920 en Suecia, cuando Johan Axel Eriksson desarrolló el hormigón celular curado en autoclave (HCCA). Este material se obtiene a partir de una mezcla de cemento, cal, arena silíceo, agua y un agente expansor generalmente polvo de aluminio que genera gas hidrógeno, formando una estructura celular uniforme. Posteriormente, el curado en autoclave a alta presión y temperatura favorece la formación de tobermorita, responsable de sus propiedades mecánicas y estabilidad (Taylor, 1997).

El curado en autoclave consiste en someter el material recién conformado a altas temperaturas y presiones dentro de un recipiente hermético llamado autoclave. En este ambiente controlado se inyecta vapor de agua saturado, lo que acelera y modifica las reacciones químicas del cemento y la cal.

Para este trabajo de titulación no se realizara el curado autoclave por lo que no se tomara en cuenta este proceso.

A partir de este desarrollo, el hormigón celular comenzó a producirse de manera industrial y a utilizarse ampliamente en Europa, especialmente en Alemania, Suecia y los Países Bajos, tanto en bloques como en paneles prefabricados. Sus ventajas, como la ligereza, facilidad de manipulación, buen comportamiento frente al fuego y elevada capacidad de aislamiento térmico, impulsaron su adopción en edificaciones residenciales e industriales (Short & Kinniburgh, 1978).

Durante la segunda mitad del siglo XX, el uso del hormigón celular se extendió a otras regiones del mundo, particularmente en Asia y, de forma progresiva, en América Latina. En estos contextos, el material se ha empleado principalmente como elemento de cerramiento y en sistemas constructivos no portantes, contribuyendo a la reducción de cargas estructurales y a la eficiencia energética de los edificios (Narayanan & Ramamurthy, 2000).

En la actualidad, el hormigón celular es considerado un material clave dentro de la construcción sostenible, debido a su bajo consumo de materias primas, su durabilidad y su contribución a la reducción de emisiones asociadas al transporte y ejecución en obra. Su aplicación en paneles modulares prefabricados permite mejorar la calidad constructiva, disminuir los tiempos de ejecución y garantizar un mayor control técnico del proceso constructivo (Mindess, Young & Darwin, 2003).

2.2 Descripción del problema

En la actualidad, el sector de la construcción en la Ciudad de Cuenca enfrenta importantes desafíos relacionados con la optimización de tiempos de ejecución en obra, reducción de costos en mano de obra, reducción de desperdicios, mejora en la eficiencia energética y sostenibilidad de las edificaciones por lo que los sistemas constructivos industrializados como los paneles de hormigón celular ha comenzado a posicionarse como alternativas viables frente a los métodos tradicionales por lo que el montaje de paneles modulares de hormigón celular implica retos particulares en términos de precisión dimensional, manipulación en obra, sistemas de anclaje y sellado, así como en la coordinación de las diferentes etapas del proceso Constructivo, además estos factores pueden afectar directamente en la calidad final de la construcción, los tiempos de ejecución y los costos asociados con la mano de obra.

El hormigón celular, debido a sus propiedades de ligereza, buen comportamiento térmico y acústico, y facilidad de manejo, se presenta como un material atractivo para la edificación de viviendas y edificaciones de baja y mediana altura, sin embargo en Cuenca Ecuador su implementación aún es limitada, principalmente por la falta de conocimiento técnico especializado, normativa específica y estudios que evalúen de manera integral su desempeño en obra, especialmente en lo referente a su proceso de montaje (Romero Huiracocha, 2024).

2.3. Importancia y alcances

Carrion (2016) señalan que en Ecuador alrededor del 45 % de los hogares habitan en viviendas inadecuadas, debido a déficit cualitativos y cuantitativos, lo que evidencia la magnitud del problema habitacional y la necesidad de soluciones alternativas en el país.

El sector de la construcción es responsable de una proporción significativa de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) a nivel global, representando aproximadamente el 39 % de las emisiones energéticas y de proceso relacionadas con edificaciones y construcción, lo cual resalta la urgencia de reducir el uso de materiales convencionales altamente contaminantes como el cemento pese a sus ventajas como material liviano, aislante y de bajo impacto ambiental (Global Alliance for Buildings and Construction & UNEP, 2019).

En el sector de la construcción de la ciudad de Cuenca se ha identificado la falta de materia prima asociada a paneles modulares de baja densidad. En este contexto, la importancia del presente trabajo de titulación se centra en el diseño de paneles prefabricados de hormigón celular y su montaje en obra, como una alternativa constructiva que contribuya a mejorar las condiciones de seguridad durante la ejecución de proyectos.

El sistema propuesto busca reducir los riesgos para los trabajadores, tanto en las etapas de montaje y desmontaje como en situaciones sísmicas, ya que, en caso de colapso, el peso de los elementos es mínimo. Debido a su baja densidad, estos paneles no requieren el uso de maquinaria pesada para su instalación, lo que disminuye significativamente el riesgo de lesiones provocadas por la caída o manipulación de elementos constructivos, protegiendo de manera directa e indirecta la integridad física de los obreros.

Este trabajo de titulación se desarrolla a nivel experimental, sin contemplar fases de producción industrial. Asimismo, se abordan aspectos como el diseño técnico del sistema, el proceso de pre fabricación utilizando materiales accesibles, y una comparación con mampostería tradicional en términos de resistencias, peso y costos. Finalmente, se analiza su posible aplicación en viviendas de baja y mediana altura, especialmente en muros divisorios no portantes.

La tabla de materiales contaminantes en la construcción identifica aquellos insumos que generan impactos ambientales negativos durante su fabricación, uso y disposición final. Entre los principales materiales analizados se encuentran el cemento, hormigón, acero, asfalto, plásticos, pinturas, disolventes y maderas tratadas, los cuales contribuyen

significativamente a la emisión de gases de efecto invernadero, la contaminación del suelo, aire y agua, y al alto consumo de recursos naturales y energía.

Se evidencia que el cemento y el acero presentan una elevada huella de carbono debido a los procesos industriales intensivos que requieren altas temperaturas y consumo energético.

Por su parte, los plásticos y pinturas generan contaminación química por la liberación de compuestos orgánicos volátiles (COV) y residuos de difícil degradación. Asimismo, los residuos de demolición y construcción mal gestionados incrementan la presión sobre los rellenos sanitarios y afectan el entorno urbano y natural.

Tabla
Materiales de construcción convencionales y su impacto ambiental

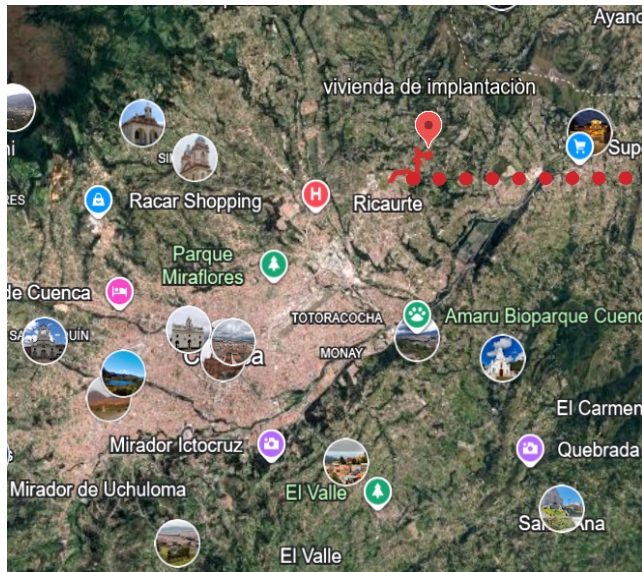
Material	Uso principal en construcción	Impacto ambiental	Emisiones asociadas	Observaciones
Cemento Portland	Elemento base del hormigón y morteros	Alto impacto ambiental por consumo energético y procesos industriales	Elevadas emisiones de CO ₂ durante la calcinación y producción	Es uno de los principales responsables de las emisiones del sector construcción
Hormigón convencional	Estructuras, losas, vigas y cimentaciones	Alto, debido al uso intensivo de cemento y agregados	Emisiones indirectas de CO ₂ por producción de cemento	Material ampliamente utilizado pese a su elevada huella de carbono
Acero de refuerzo	Elementos estructurales y refuerzo	Alto consumo energético en su fabricación	Emisiones significativas de CO ₂ por procesos siderúrgicos	Alta resistencia, pero con impacto ambiental elevado
Ladrillo cerámico	Mampostería y cerramientos	Impacto medio-alto por procesos de cocción	Emisiones por quema de combustibles fósiles en hornos	Uso tradicional, pero con alto consumo energético
Materiales prefabricados tradicionales	Cerramientos y elementos estructurales	Variable, generalmente alto si emplean cemento convencional	Asociadas al cemento y transporte	Mejoran tiempos de obra, pero no siempre reducen impacto ambiental
Hormigón celular	Paneles y bloques livianos	Bajo impacto ambiental comparado con materiales convencionales	Menor emisión de CO ₂ por reducción de material y peso	Material liviano, aislante y más eficiente energéticamente

Fuente : Global Alliance for Buildings and Construction & UNEP, 2019).

2.4. Delimitación

El estudio se desarrollará en edificaciones unifamiliar de baja y mediana altura ubicadas en la ciudad de Cuenca Ecuador considerando las condiciones climáticas y normativas constructivas Ecuatorianas aplicables a sistemas prefabricados y elementos modulares, aspectos de fabricación, montaje en obra y comportamiento estructural en condiciones reales en el sector de la construcción. Para la implementación de los paneles modulares en obra se realiza en un predio ubicado en la parroquia Llacao de la ciudad de Cuenca en el barrio Lourdes.

Imagen
Mapa de Cuenca.



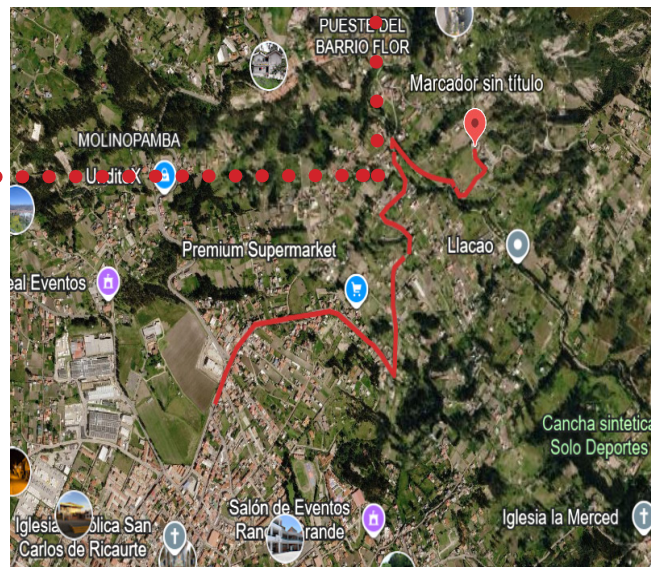
Nota: En la figura se observa la ubicación geográfica de Cuenca
Fuente : Autor

2.4.1. Espacial o geográfica

El diseño y montaje en obra de paneles modulares con hormigón celular se realizará en



Ubicación del predio
Predio 560060476



Ubicación sectorial.
Sector lourdes de Llacao

2.4.2. Temporal

El trabajo de titularización se desarrollará en el periodo académico 67 comprendidos entre los meses de septiembre del 2025 y febrero del 2026.

2.4.3. Sectorial o institucional

El trabajo de titularización se desarrollará en el sector de la construcción en el área del diseño de viviendas

2.5. Problema General

¿Como diseñar muros divisores con paneles prefabricados de hormigón celular que sean sostenibles, livianos y de bajo costo, manteniendo la eficiencia mecánica?

2.6. Problemas Específicos

¿Cuáles son las dimensiones y sistemas de anclaje que garantizan la estabilidad y eficiencia mecánica de los paneles
¿Qué dosificación de hormigón celular ofrece el mejor equilibrio entre resistencia, ligereza y sostenibilidad?
¿Cómo varían la resistencia y el costo según las diferentes dosificaciones y tipos de refuerzo implementados?

Objetivos

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Desarrollar un material de construcción a base de hormigón celular que integre criterios de sostenibilidad, ligereza y bajo precio, comparados con las características de un muro de mampostería tradicional por metro cuadrado

3.2. Objetivos Específicos

- Determinar las dimensiones (largo, ancho y profundidad) y acoples óptimos de los paneles hormigón celular, que garanticen niveles adecuados de seguridad y eficiencia mecánica.
- Desarrollar prototipos de paneles con hormigón celular con diferentes dosificaciones.
- Evaluar la variación en la resistencia y costo de cada uno de los prototipos desarrollados.

4. Hipótesis

4.1. Hipótesis General

Los paneles modulares prefabricados elaborados con hormigón celular optimizan la eficiencia constructiva en muros no portantes, al reducir el peso propio, el tiempo de montaje y costos por metro cuadrado.

4.2. Hipótesis Específicas

- Se determinarán los lineamientos y parámetros óptimos para el dimensionamiento y acoplamiento de los paneles con hormigón celular, que sigan los criterios de sostenibilidad, ligereza y bajo precio.
- Se desarrollarán los prototipos de paneles de hormigón celular con diferentes dosificaciones.
- Se evaluará el desempeño a tracción y compresión de los diferentes prototipos de paneles de hormigón celular, además de analizar la variación en sus costos.

Capitulo

2

Marco Teórico

5. Marco Teórico

El hormigón celular es un material ligero, poroso y prefabricado que ofrece ventajas ambientales y sociales frente al hormigón convencional. Su bajo peso reduce la cantidad de materia prima utilizada, disminuye la energía necesaria para transporte y montaje, y contribuye a la eficiencia energética de los edificios (Regalado González y De la Cruz Hernández, 2015).

En el trabajo de titulación se propone el Diseño y montaje en obra de paneles modulares con hormigón celular que permite ampliar el conocimiento de este nuevo sistema constructivo, combinando teoría y práctica para entender su comportamiento, ventajas y limitaciones que a través de este estudio se analiza cómo las propiedades del hormigón celular como su ligereza, resistencia pueden mejorarse aún más incorporando refuerzos que aportan mayor resistencia a la compresión, durabilidad y estabilidad dimensional además acelerando el montaje en obra disminuyendo desperdicios y disminuyendo costos de construcción de viviendas por ello tendremos el diseño y montaje de obra de paneles modulares con hormigón celular cumpliendo con los ODS12 (busca garantizar patrones de consumo y producción sostenibles, reduciendo el uso ineficiente de recursos naturales y minimizando la generación de residuos y contaminación. Promueve el uso eficiente de materiales y energía, la gestión ambiental mente adecuada de desechos, el reciclaje, y la adopción de prácticas sostenibles por parte de empresas, gobiernos y consumidores, para disminuir el impacto) y

El ODS 13 busca adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos también promueve la reducción de emisiones, la adaptación y resiliencia frente a riesgos climáticos, la integración del cambio climático en políticas y planes nacionales, y el fortalecimiento de la educación y la conciencia climática, con el fin de disminuir los impactos ambientales, sociales y económicos del cambio climático.

5.1. Hormigón celular

5.1.1. Definición

Sobre el concepto de hormigón celular se dice que ...es un material de construcción ligero que se caracteriza por tener numerosas celdas de aire distribuidas por toda su masa. Estas celdas se crean al agregar un agente espumante a la mezcla de hormigón durante su producción. Este material ofrece propiedades como ligereza, aislamiento térmico y acústico, y resistencia al fuego, lo que lo hace versátil para diversas aplicaciones en la construcción (Gauto, 2024)

5.1.2. Paneles Modulares

5.1.2.1. Definición

Estos paneles son componentes prefabricados fabricados con hormigón reforzado, que pueden ser utilizados para la construcción de muros, fachadas, techos y suelos (Novas Cabrera, 2010)

5.1.2.1.1. Dimensiones

Se utilizará diferentes dimensiones de paneles modulares Se propone diferentes tipos de formatos para los paneles de hormigón celular:

Modulo 1	0.60 m x 1.20 m	espesor 0.09 m
Módulo 2	0.60 m x 0.60 m	espesor 0.09 m

5.1.2.1.2. Importancia

Los paneles estandarizados en arquitectura son cruciales porque ofrecen ventajas significativa en términos de eficiencia, costo y versatilidad. Su uso permite una construcción más rápida y económica, además de facilitar la estandarización y modularidad, lo que optimiza la gestión del proyecto y reduce el desperdicio (Sánchez González, 2016)

5.2. Componentes

5.2.1. Dosificaciones

Definiendo " Es la forma en como interactúan sus componentes y se comunican para lograr los objetivos funcionales como técnicos. En esencia determina la organización, la distribución y las interacciones de las diferentes partes que lo componen (González Pérez y Soto Galindo, 2023)

Marco normativo ecuatoriano aplicable

La dosificación y uso de estos paneles se enmarca principalmente en:

NEC-SE-HM (Hormigón): criterios de calidad de materiales, dosificación, curado y control.

NEC-SE-CG (Cargas permanentes): reducción de cargas por uso de elementos livianos.

NEC-HS (Habitabilidad y sostenibilidad): mejora del confort térmico y eficiencia energética.

Dosificación de hormigón celular (referencia NEC)

Dosificación por 1 m³ (densidad objetivo: 700–800 kg/m³)

Material	Cantidad
Cemento Portland Tipo GU	320 kg
Arena fina sílicea (<1 mm)	300 kg
Agua	190 litros
Agente espumante	1,0 litro
Aire incorporado	35 – 40 % del volumen

5.2.1.1. Componentes

Componentes detallados:

a)Cemento: Agente ligante que une los demás componentes y le da resistencia al material.

b)Arena fina : Material particulado que proporciona masa y contribuye a la estructura final.

c) Cal: Aporta propiedades de trabajabilidad y ayuda a la expansión del hormigón.

d) Agua: Disuelve los componentes y permite la reacción química para el fraguado.

e) Agente espumante (ej. lavavajillas) Al reaccionar con la mezcla, genera las burbujas de aire que caracterizan al hormigón celular.

5.2.1.1.1. Importancia

“La importancia de los componentes del hormigón celular radica en su capacidad para crear un material de construcción ligero, aislante y resistente, con múltiples aplicaciones en la construcción, trabajan en conjunto para otorgarle propiedades únicas al hormigón celular(Sánchez González, 2016)

5.2.1.1.2. Tipos de dosificaciones

Tipos de dosificaciones para hormigón celular

a). Dosificación liviana (aislante)

Uso: rellenos, aislamiento térmico y acústico, capas no portantes.

Densidad objetivo: 400 – 600 kg/m³

Resistencia a compresión: 0,5 – 1,5 MPa

b). Dosificación media (paneles y bloques no estructurales)

Uso: paneles modulares, bloques, cerramientos y divisiones interiores/exteriores.

Densidad objetivo: 650 – 800 kg/m³

Resistencia a compresión: 2,0 – 3,5 MPa

c) Dosificación semirresistente

Uso: muros de cerramiento con mayores exigencias mecánicas, prefabricados especiales.

Densidad objetivo: 800 – 1.000 kg/m³

Resistencia a compresión: 3,5 – 6,0 MPa

Neville (2011)

5.2.1.1.3. Aplicaciones

La aplicación sera en muros divisiones interiores, donde reemplazan a la mampostería tradicional. En este contexto, permiten reducir las cargas muertas de la edificación, mejorar la rapidez de ejecución y optimizar el rendimiento de la mano de obra.

5.3 Anclajes

5.3.1. Definición

Los anclajes “ son los sistemas o componentes utilizados para fijar y asegurar estos paneles a una estructura o cimiento, garantizando su estabilidad y resistencia a diversas cargas y fuerzas externas, pueden ser elementos fijos integrados en la estructura o sistemas desmontables que permiten la instalación, en caso necesario para la remoción de los paneles ” (Romero, 20)

5.3.2. Tipos de anclajes

Para este trabajo de titulación se diseñaron dos tipos de módulos de diferentes medidas. Modulo 1 : 0.60 mx0.60 m

Modulo 2 0.60 mx1.20 m

También para una mejor relación entre elemento se propone diferentes tipos de anclajes:

Anclaje 1 : Se utilizar un tipo de unión entre paneles llamados comúnmente Uniones media madera (o lengüeta y ranura)

Para ello se utiliza un sistema de transición con perfiles Tracks

5.3.2.1 Importancia

Los anclajes son cruciales para paneles modulares, ya que aseguran su correcta fijación y estabilidad, previniendo desplazamientos o caídas, especialmente en situaciones de viento o movimientos sísmicos.

La correcta selección y aplicación de anclajes garantiza la seguridad, durabilidad y rendimiento de la instalación modular (Fernández Botero y Giraldo Hincapié, 2024)

Tabla
Comparación de rendimientos por día

Descripción	Unidad	Rendimiento x 8 horas	# Unidades	Área x unidad(m ²)
Bloque 0.40x0.12 cm	m ²	12	150	0,08
Ladrillo 0.28x0.09 cm	m ²	10	330	0,0252
Panel modular 1 (0.60x0.60 m)	m ²	43,5	15	3
Panel modular 2 (1.20x0.60m)	m ²	22,32	30	0,744

Nota: Se puede observar el rendimiento por día de mano de obra de paneles modulares con relación a mampostería tradicional (creación propia) .

5.4. Montaje en obra

5.4.1. Definición

El montaje en obra se refiere al proceso de ensamblar y colocar las diferentes partes prefabricadas o construidas en el lugar donde se llevará a cabo la estructura o edificación (Fernández Botero y Giraldo Hincapié, 2024)

Se utilizará el montaje manual sin la utilización de maquinaria pesada ni equipos especializados

5.4.1.2. Avance por día

El avance diario en la instalación de paneles de hormigón celular depende principalmente del tamaño del panel, el peso, el sistema de anclaje y la organización de la cuadrilla. Al tratarse de un sistema prefabricado y liviano, el rendimiento es superior al de la mampostería tradicional.

Capitulo

3

Marco metodológico

6. Marco metodológico

6.1 Determinación de las dimensiones (largo, ancho y profundidad) y acoples óptimos de los paneles hormigón celular, que garanticen niveles adecuados de seguridad y eficiencia mecánica.

6.1.1. Dimensiones

Las dimensiones propuestas son las siguientes

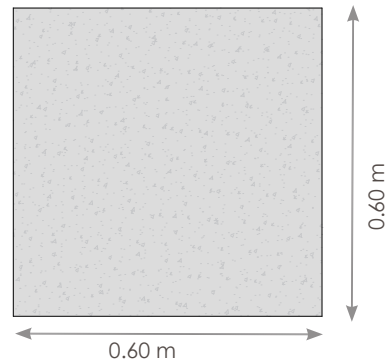
Modulo 1 : 0.60 m x 0.60 m

Modulo 2 : 0.60 m x 1.20 m

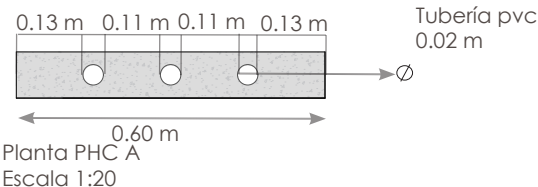
Estos módulos son elementos prefabricados ligeros compuestos por hormigón con millones de burbujas de aire atrapadas, que ayudan a que los paneles sean más livianos de gran aislamiento térmico acústico, resistencia al fuego y a la humedad, permitiendo construcciones rápidas, sostenibles y energéticamente eficientes, ideales para muros divisorios por lo que reducen el peso en las edificaciones.

Imagen
Definición de dimensiones de paneles modulares

Modulo 1 PHC A

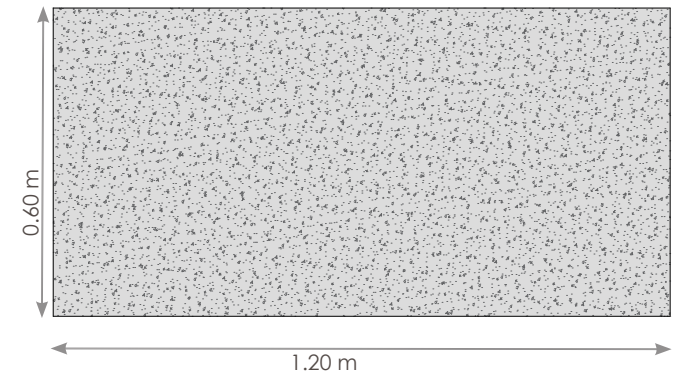


Alzados
Escala 1:20

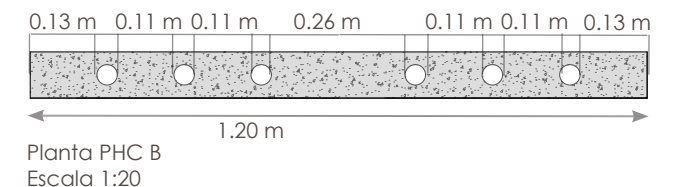


Planta PHC A
Escala 1:20

Modulo 2 PHC B



Alzado
Escala 1:20



Planta PHC B
Escala 1:20

Escala 1:20

Fuente : Autor

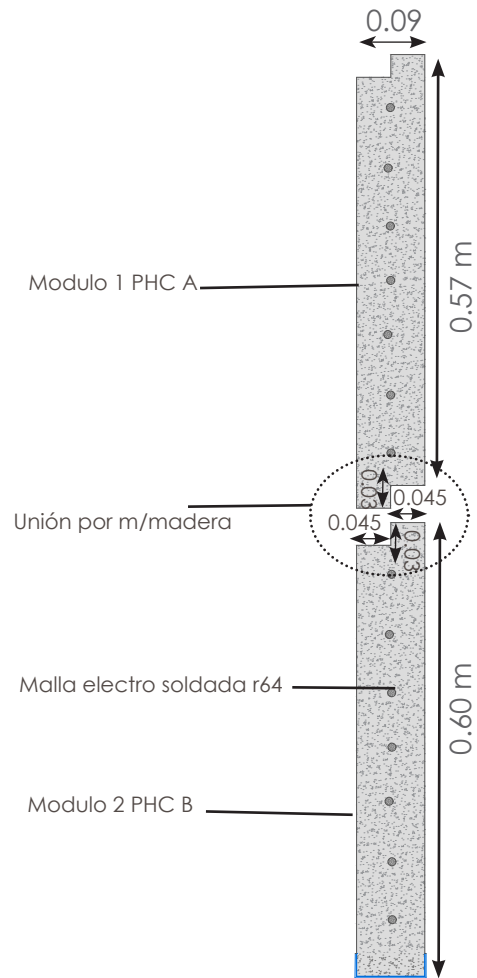
6.1.2. Acoples y Anclajes

Son sistemas de fijación y conexión que aseguran elementos a una estructura base como losas de hormigón para transmitir fuerzas y garantizar estabilidad, ya sea para protección contra caídas, reforzar estructuras o soportar cargas, mediante dispositivos mecánicos. Se propone dos sistemas de anclajes :

6.1.2.1 Sistema de conexión por media madera.

El sistema de media madera es un método de unión constructiva en el que dos piezas se ensamblan mediante un saliente y una ranura , permitiendo un encaje continuo, firme y alineado, que mejora la estabilidad, la resistencia y el acabado de los elementos constructivos.

Imagen
Anclaje tipo media madera



Fuente : Autor



6.1.2.2 Un sistema de transición

El sistema de transición en construcciones se refiere a elementos estructurales, arquitectónicos o de diseño que conectan de forma segura y fluida dos áreas o estilos diferentes, como escaleras/rampas, vestíbulos/pasillos o entre estilos (arquitectura). Pueden ser elementos físicos para pasar entre niveles (rampas, pasarelas). Para el sistema de transición de paneles modulares con lozas de cimentación o entre pisos se utilizara perfiles tracks que es del sistema Steel Framing que son de fácil acceso y económicos.

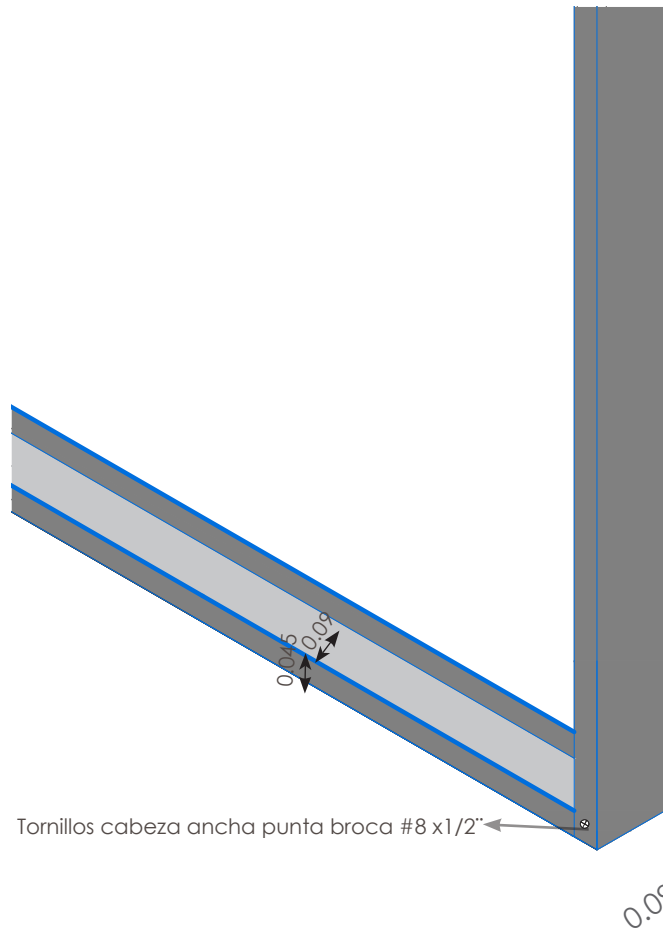
Imagen

Tipo de anclaje en lozas de entre pisos.

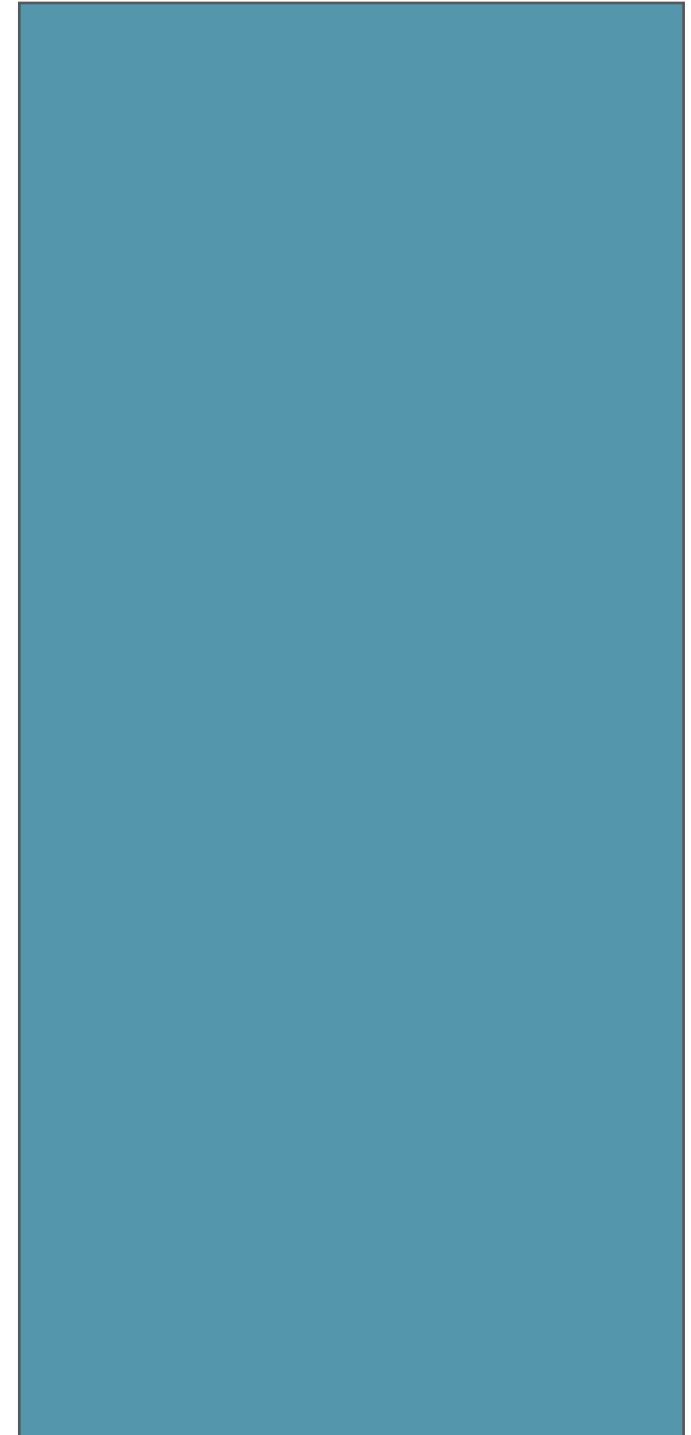


Imagen

Unión entre tracks



Escala 1:10
Fuente : Autor



6.1.2. 3 Encofrados de paneles.

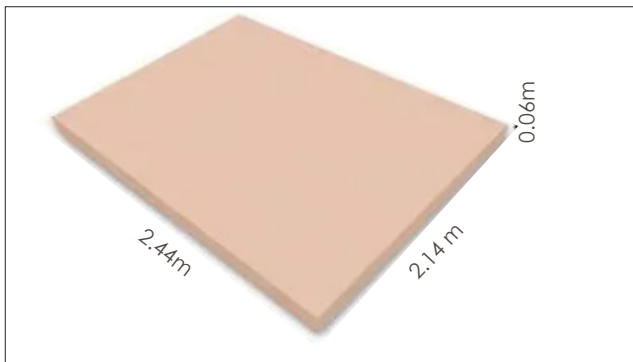
Detalle de encofrados

Los encofrados de madera son sistemas provisionales utilizados en la construcción para contener, moldear y dar forma al hormigón fresco hasta que este alcanza la resistencia necesaria para mantenerse por sí mismo. Están fabricados principalmente con madera natural, tablones, listones o paneles de madera, y se emplean en la ejecución de elementos estructurales como cimientos, columnas, vigas, losas y muros.

Su función principal es garantizar la forma, dimensiones, alineación y acabado superficial del elemento de hormigón, además de soportar las cargas temporales producidas por el peso del concreto fresco y las actividades de construcción.

Para el encofrado de paneles modulares de 60cmx60cm y 60cmx 120cm se utilizó planchas de mdf que vienen con un formato de 2.44 m x 2.14 m x 0,06m y posteriormente separado en piezas de acuerdo al requerimiento de los paneles modulares.

Imagen
Medidas de planchas mdf



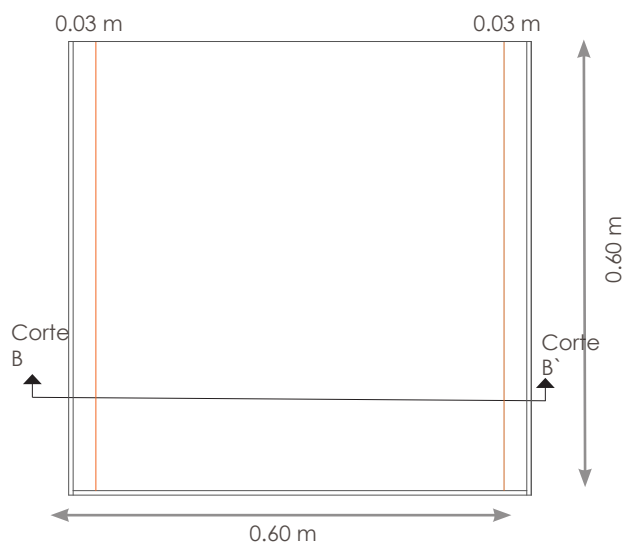
Fuente : Placa centro

Imagen
Encofrados con planchas mdf de paneles modulares

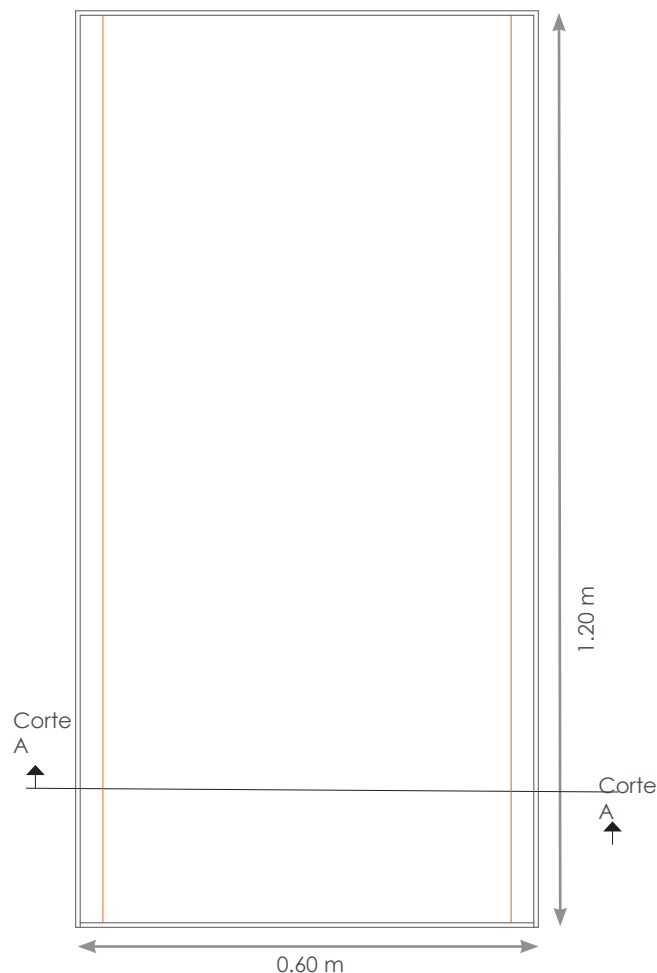


Fuente : Autor

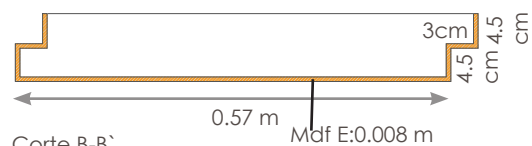
0.03 m 0.03 m



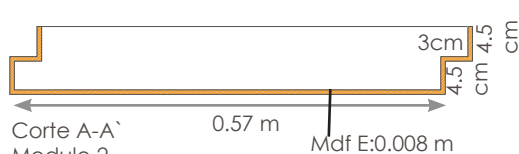
Planta Arquitectónico modulo 1
Escala 1:10



Planta Arquitectónica modulo 1
Escala 1:1



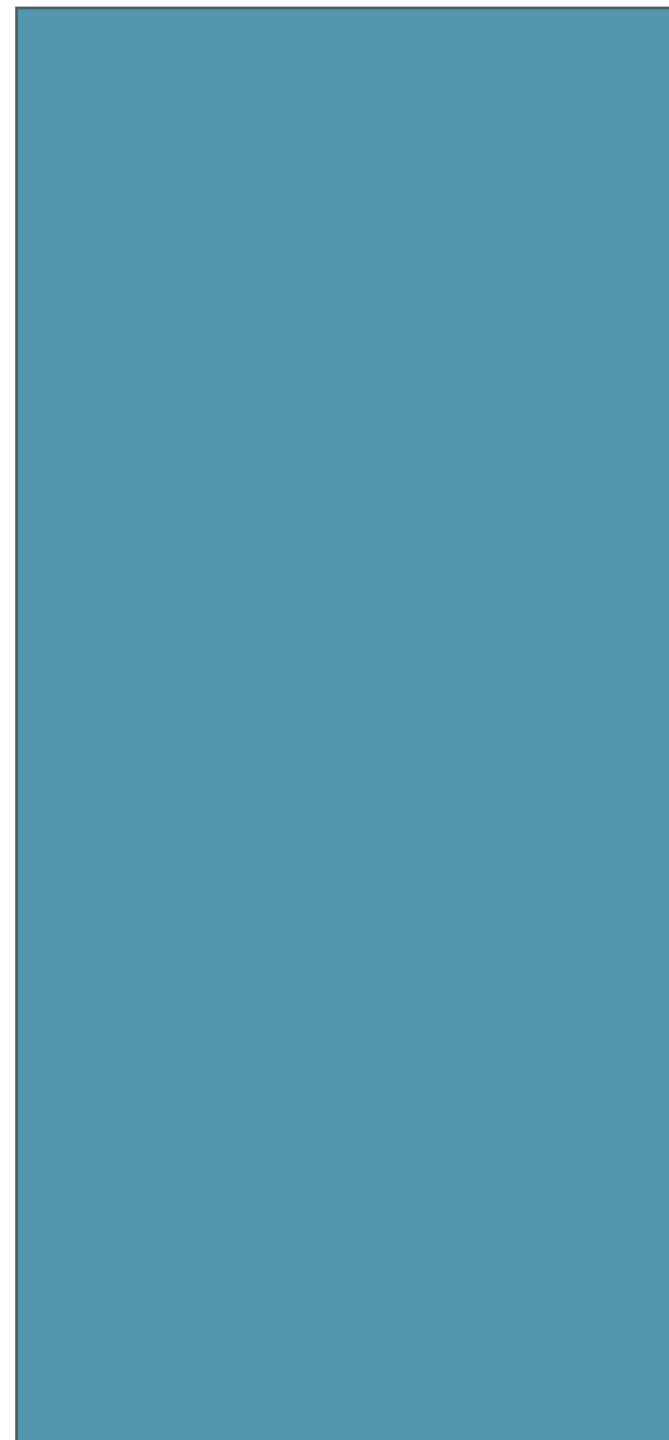
Corte B-B'
Modulo 1
Escala 1:10



Corte A-A'
Modulo 2
Escala 1:10

Fuente : Autor

Fuente : Autor



6.2 Desarrollo de prototipos de paneles con hormigón celular con diferentes dosificaciones.

Las dosificaciones de hormigón celular son las proporciones exactas de sus componentes (arena de sílice, cemento, cal, agua y un agente espumante) para lograr una densidad y resistencia específicas, creando un material ligero y aislante con burbujas de aire, diferente del hormigón tradicional, que busca controlar características como resistencia, aislamiento térmico y peso. Para analizar la resistencia a la compresión se estudian las densidades obtenidas mediante el método experimental, estos datos son seleccionados por sus densidades baja y según normas (ACI Committee 523, 2014, cap. 8, pp. 10–12) que son aptas para paredes divisorias no estructurales.

6.2.1 Análisis de datos

Para este trabajo de titulación se realiza paneles y cilindros de hormigón celular, con dos densidades con el objetivo de analizar la resistencia a la compresión de las probetas, además se analizará los pesos de las probetas, densidades húmedas, densidades secas, relación de diseño de mezclas y dimensiones. Es por esto que se debe considerar que los ensayos de las probetas se realizarán a los 7,14,21,28 días para comparar su resistencia y como aumenta o disminuye con el tiempo con el objetivo de verificar si este tipo de hormigón se puede utilizar en mampostería.

Después de realizar los ensayos en laboratorios se obtendrá resultados comparativos de densidades y resistencia a la compresión, el objetivo es llegar a una resistencia adecuada para que los paneles celulares se puedan utilizar como mampostería en edificaciones en la ciudad de Cuenca.

6.2.2 Proceso de elaboración

a) Selección de Materiales

Materiales que componen el hormigón celular

6.2.2.1 Materiales principales

a) Cemento Portland Tipo GU

Dentro del trabajo de elaboración de paneles de hormigón celular se estableció el uso del Cemento Guapán como principal y único conglomerante dado las características e información que se presenta a continuación. El cemento hidráulico tipo GU Guapán, perteneciente a la empresa Unión Cementera Nacional (UCEM), producida en la planta de Cemento Guapán que se encuentra ubicada en el cantón Azogues, provincia del Cañar, Ecuador.

Los distintos procedimientos para la elaboración del cemento están en base a las normas Técnicas Ecuatorianas y bajo el Sistema de Gestión de Calidad establecido en la Norma ISO 9001.

Propiedades del Cemento Guapán:

- Mayor resistencia a la compresión, superando en un 30%, los valores de resistencia establecidos en la Norma INEN 2380.
- Mayor resistencia al ataque de sulfatos.
- Mayor impermeabilidad.
- Menor calor de hidratación (UCEM).

Función del cemento en el hormigón celular

El cemento en el hormigón celular actúa como aglutinante principal, proporcionando cohesión, resistencia mecánica y estabilidad dimensional, además de participar en las reacciones químicas que permiten la formación de una estructura porosa resistente y liviana (Rengifo 2013).

Imagen de cemento tipo GU



Fuente : UCEM

b) Arena Granulometría fina)

La arena fina es uno de los componentes fundamentales del hormigón celular ya que actúa como la principal fuente de sílice dentro de la mezcla. Su función no es únicamente como agregado fino, sino que participa activamente en las reacciones químicas que se producen durante el proceso. En presencia de cemento, cal y agua y espumante granulometría fina de la arena es esencial para garantizar una reacción homogénea y una estructura porosa uniforme, característica principal del hormigón celular.

Función de la arena en el hormigón celular

La arena fina finamente cumple una función esencial en el hormigón celular, ya que actúa como la principal fuente de sílice reactiva del sistema. Durante el proceso la arena reacciona con el calcio proveniente del cemento y la cal, formando silicatos de calcio hidratados, principalmente tobermorita, los cuales son responsables de la resistencia mecánica, estabilidad dimensional y durabilidad del material. Asimismo, la finura y homogeneidad de la arena permiten una reacción química uniforme y contribuyen a la formación de una estructura porosa regular, característica del hormigón celular, sin comprometer su comportamiento estructural (Cabrera 2013).

Imagen de arena fina de Rio



Fuente : Propia

c) Cal (viva o hidratada)

La cal es un material de origen mineral obtenido a partir de la calcinación de la piedra caliza (carbonato de calcio). La cal viva (óxido de calcio, CaO) se produce mediante la descomposición térmica de la caliza y se caracteriza por su alta re-actividad química. Al entrar en contacto con el agua, la cal viva se transforma en cal hidratada o apagada (hidróxido de calcio, Ca(OH)_2), liberando calor en un proceso exotérmico (Cazalla Vázquez, O. (2002).

Función de la cal en el hormigón celular

En el hormigón celular, la cal hidratada desempeña un papel fundamental como fuente de calcio, ya que reacciona con la sílice presente en la arena fina y el cemento durante el curado en autoclave, formando silicatos de calcio hidratados, principalmente tobermorita, responsables de la resistencia mecánica y estabilidad dimensional del material.

Imagen de Cal



Fuente : Propia

6.2.3 Detalles constructivos de instalaciones de paneles de hormigón celular.

El hormigón celular es un material de construcción liviano, prefabricado y de alta eficiencia térmica y acústica. Su uso se ha incrementado en edificaciones residenciales, educativas y de equipamiento urbano debido a su rapidez de montaje, reducción de cargas muertas y facilidad de instalación. En la presente tesis se desarrollan los detalles constructivos de instalación de paneles de hormigón celular, describiendo criterios técnicos, procesos constructivos y recomendaciones normativas.

6.2.3.1 Descripción de la instalación de paneles modulares de hormigón celular con sistema track

La instalación de paneles modulares de hormigón celular se realiza mediante un sistema de track metálico, el cual funciona como elemento de transición, alineación y anclaje entre los paneles y la estructura portante del edificio. Previamente, se verifica la nivelación y limpieza de la losa o sobre cimiento, asegurando una superficie plana y continua para la correcta colocación del Track inferior.

El Track inferior, generalmente fabricado en acero galvanizado, se fija mecánicamente a la losa mediante anclajes o tacos fisher pernos y arandelas, respetando las distancias y especificaciones del fabricante.

Este elemento cumple la función de guiar y recibir el panel, permitiendo una correcta distribución de cargas y absorbiendo pequeñas tolerancias dimensionales.

Posteriormente, los paneles modulares de hormigón celular se colocan dentro del track, asegurando su alineación vertical y plomada, y se fijan lateralmente mediante conectores a los elementos estructurales adyacentes.

En la parte superior, se instala un track de coronación, el cual actúa como sistema de transición entre el panel y la losa superior, permitiendo movimientos diferenciales de la estructura y evitando la transmisión directa de esfuerzos que puedan generar fisuras. Las juntas entre paneles se sellan con morteros adhesivos, garantizando la continuidad superficial, estanqueidad y comportamiento térmico del cerramiento. Finalmente, se procede a los acabados superficiales, asegurando una correcta integración del sistema dentro del conjunto constructivo.

Consideraciones técnicas y normativas

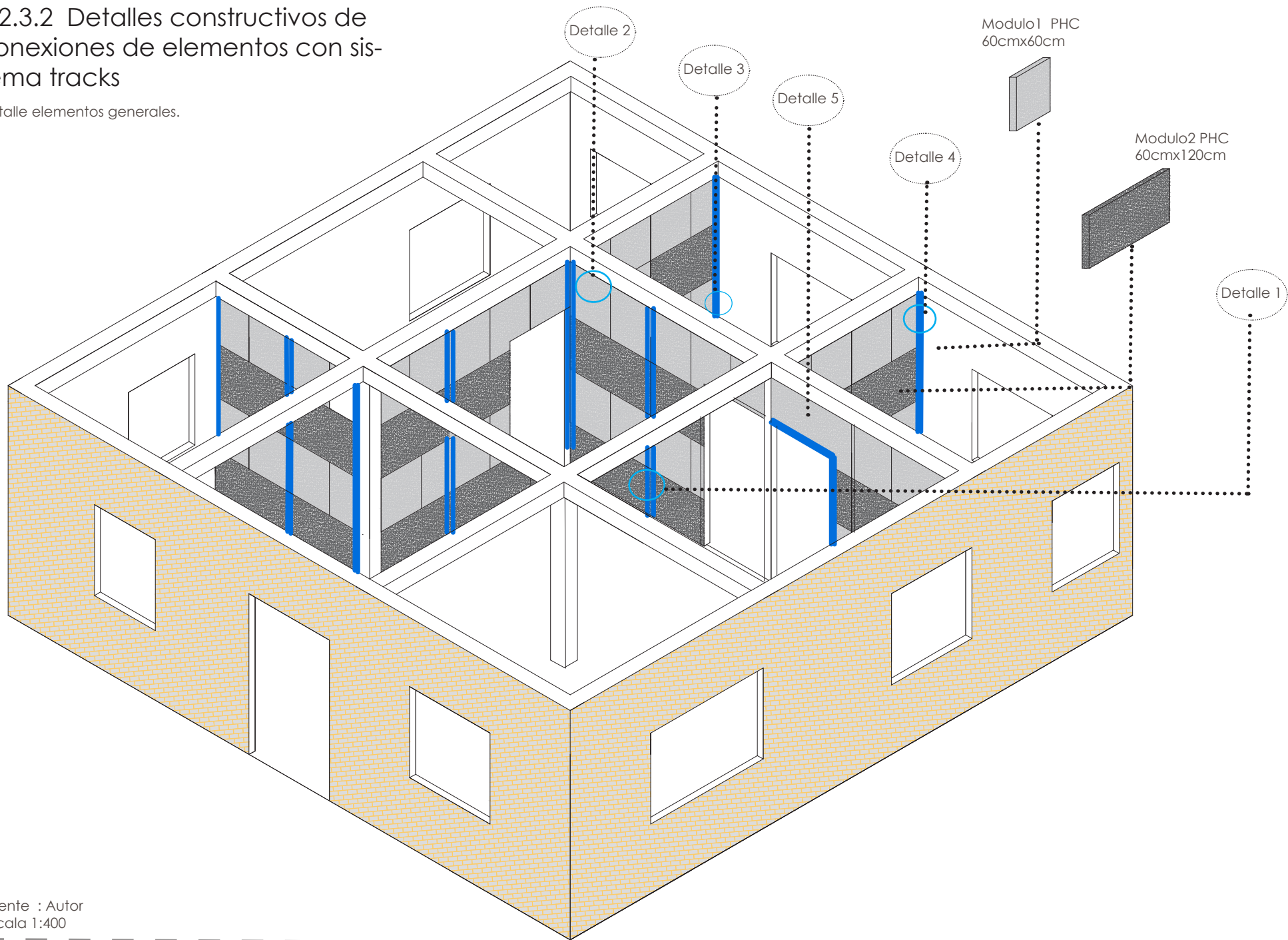
- Sistema no estructural.
- Reduce cargas muertas sobre la estructura.
- Cumple criterios de eficiencia energética.
- Compatible con normativa de edificación sostenible.

Conclusiones

La correcta instalación de los paneles de hormigón celular garantiza un sistema constructivo eficiente, durable y técnicamente viable. La aplicación adecuada de los detalles constructivos descritos permite mejorar el desempeño estructural, térmico y acústico del cerramiento, aportando soluciones constructivas modernas y sostenibles.

6.2.3.2 Detalles constructivos de conexiones de elementos con sistema tracks

Detalle elementos generales.

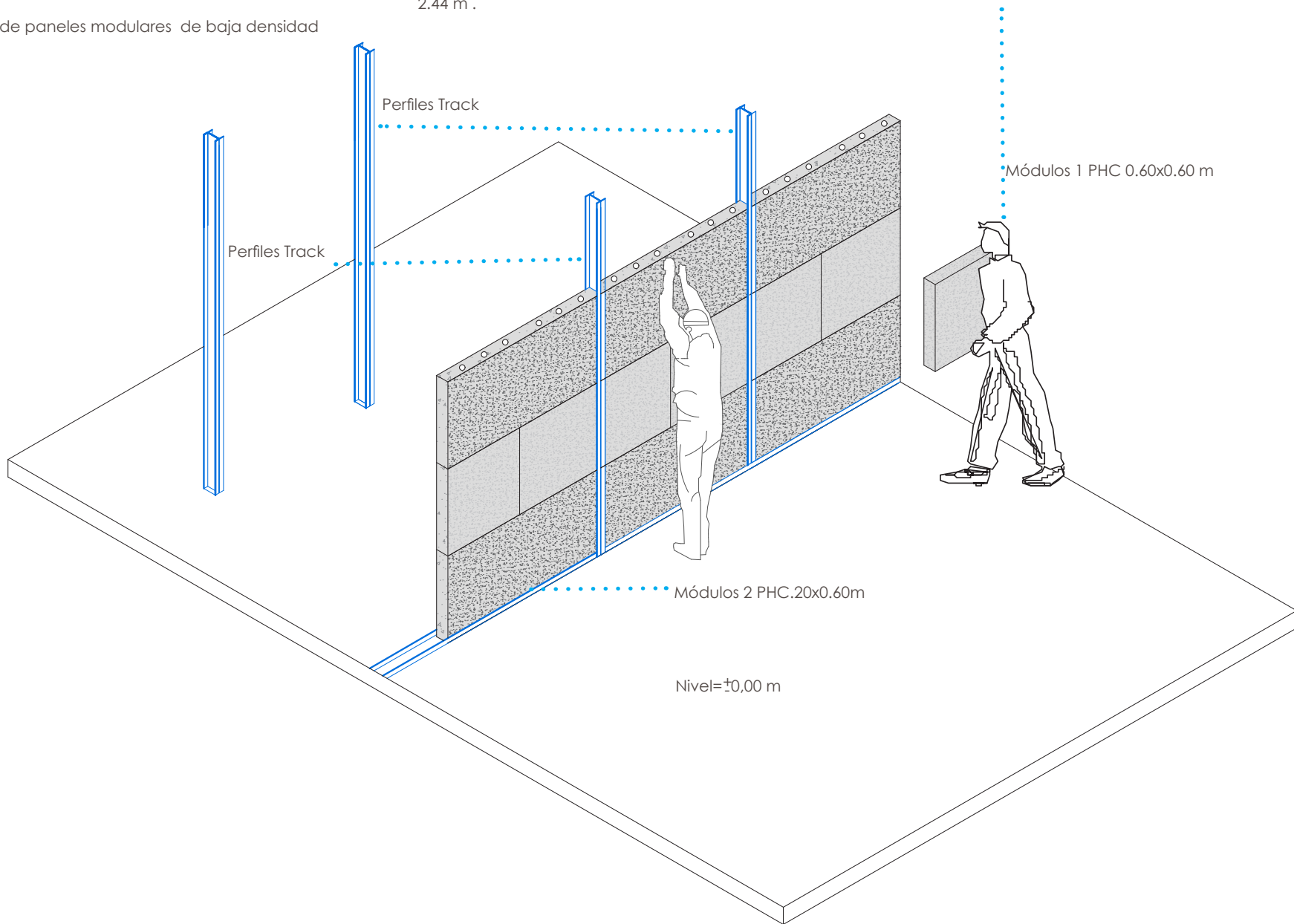


Fuente : Autor
Escala 1:400

Detalle 1
Instalación de paneles modulares de baja densidad

Se utilizan perfiles metálicos galvanizados para el sistema de transición de los paneles de hormigón. Los perfiles son denominados tracks de 40 mm, mm y 92 mm, con largos estándar de 2.44 m.

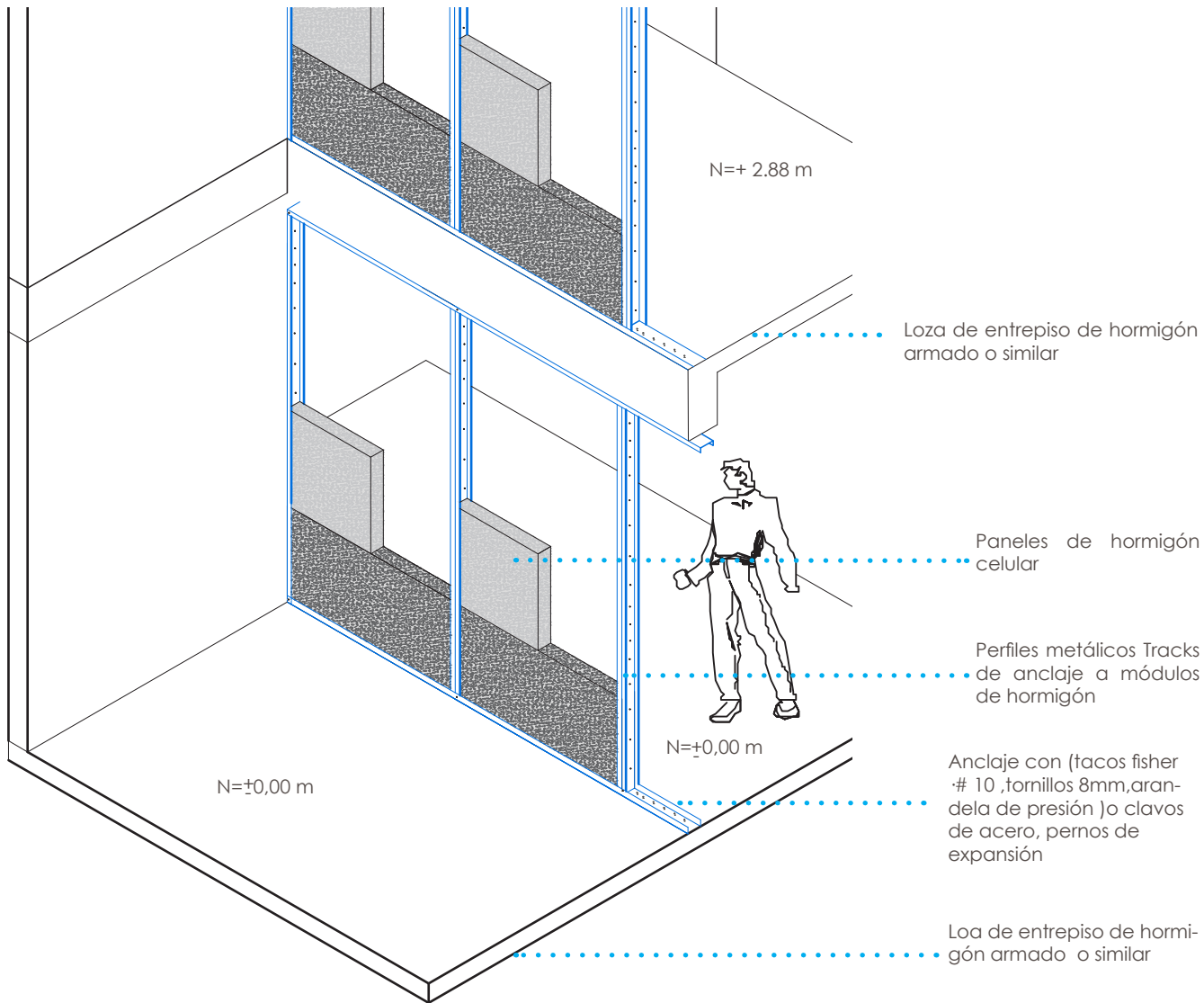
Los paneles de hormigón celular son muy livianos por lo que puede manipular una persona sola sin la necesidad de maquinaria pesada



Escala 1:40

Fuente : Autor

Detalle 2
Unión de piso a losa de entrepisos

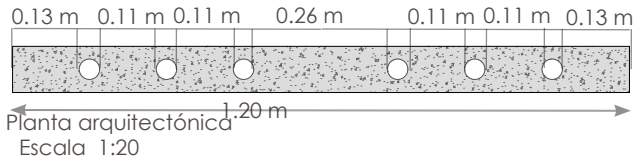


Escala 1:50
Fuente : Autor

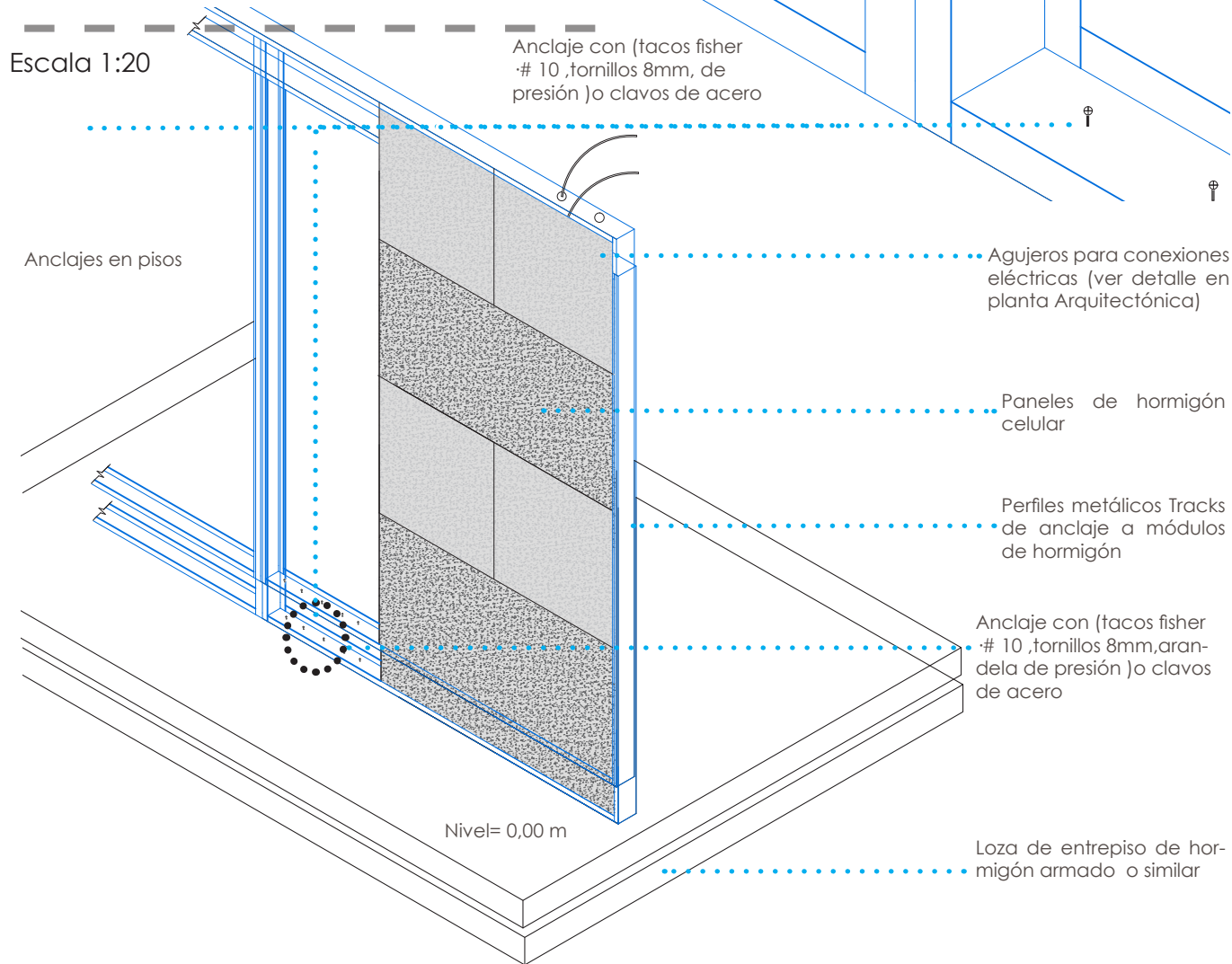


Detalle 3

Arranque del paneles a piso de concreto existente



Escala 1:20



Escala 1:50

Fuente : Autor

Colocación del primer panel

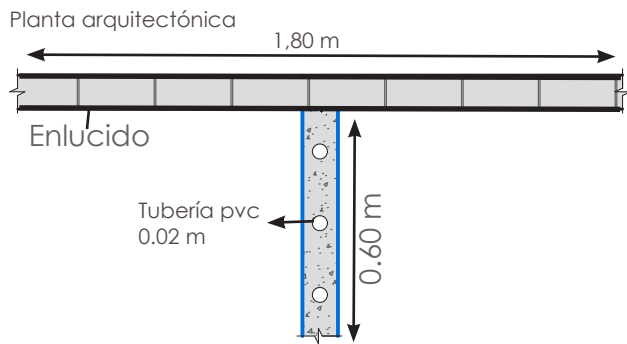
El anclaje de paneles en losas es un sistema constructivo fundamental para garantizar la estabilidad, seguridad y correcta transmisión de cargas entre los elementos verticales (paneles) y horizontales (losas). Este procedimiento permite fijar los paneles a la losa, asegurando en teoría su comportamiento adecuado frente a cargas verticales, acciones sísmicas y cargas de viento.

El anclaje se realiza generalmente mediante perfiles Track con pernos de anclaje, varillas roscadas, placas metálicas o perfiles embebidos en el hormigón de la losa. La elección del sistema depende del tipo de panel, las cargas actuantes y las condiciones constructivas (ver detalle 1).

Además de utilizar perfiles metálicos también se utilizaran mortero para la conexión entre paneles entre el panel y la losa para permitir tolerancias constructivas, absorber deformaciones y evitar concentraciones de esfuerzo. En zonas sísmicas, el diseño del anclaje debe permitir cierto grado de ductilidad, garantizando que los paneles no se desprendan durante un sismo.

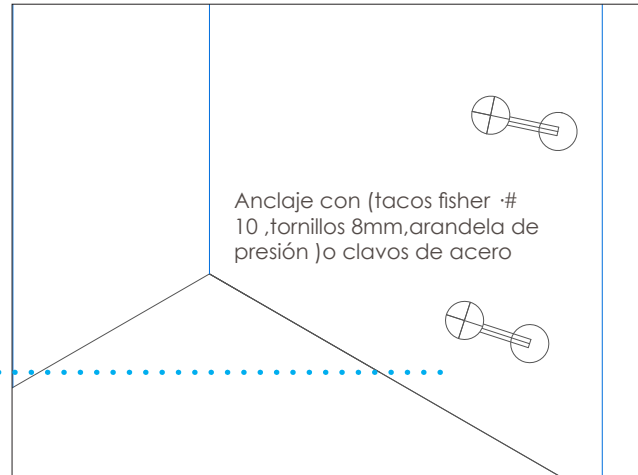
En conclusión, un adecuado sistema de anclaje de paneles en losas asegura la integridad estructural, prolonga la vida útil de la edificación y cumple con los requisitos normativos de seguridad y desempeño estructural.

Detalle 4 Encuentros con mampostería tradicional.

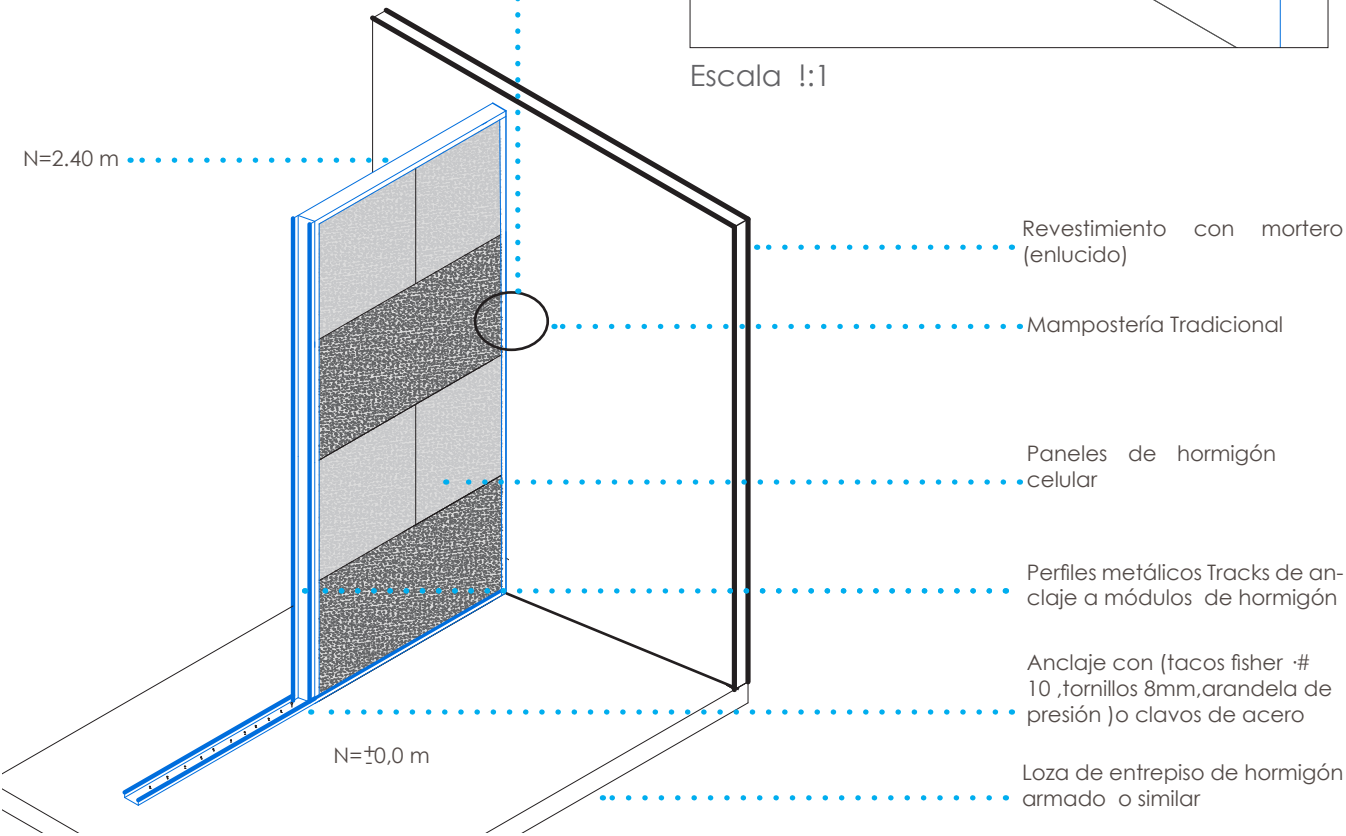


Escala 1:20

Conexión con mampostería



Escala 1:1



Escala 1:50
Fuente : Autor

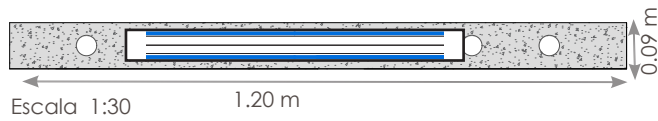
El encuentro entre mampostería tradicional (bloque, ladrillo o mampuesto) y paneles de hormigón celular se resuelve mediante un sistema de transición flexible, que permita la correcta unión entre ambos materiales sin comprometer su comportamiento estructural. Dado que la mampostería tradicional y el hormigón celular presentan diferentes propiedades mecánicas, pesos propios y coeficientes de dilatación, es fundamental garantizar un contacto controlado que absorba movimientos diferenciales.

En este detalle, el panel de hormigón celular se vincula a la mampostería existente mediante anclajes metálicos o conectores galvanizados, dispuestos de forma puntual o continua, los cuales aseguran la estabilidad lateral del panel sin transmitir cargas estructurales excesivas. Entre ambos elementos se dispone una junta de separación, rellena con mortero expansivo compatible entre paneles para evitar en su mayoría la aparición de fisuras en el punto de contacto.

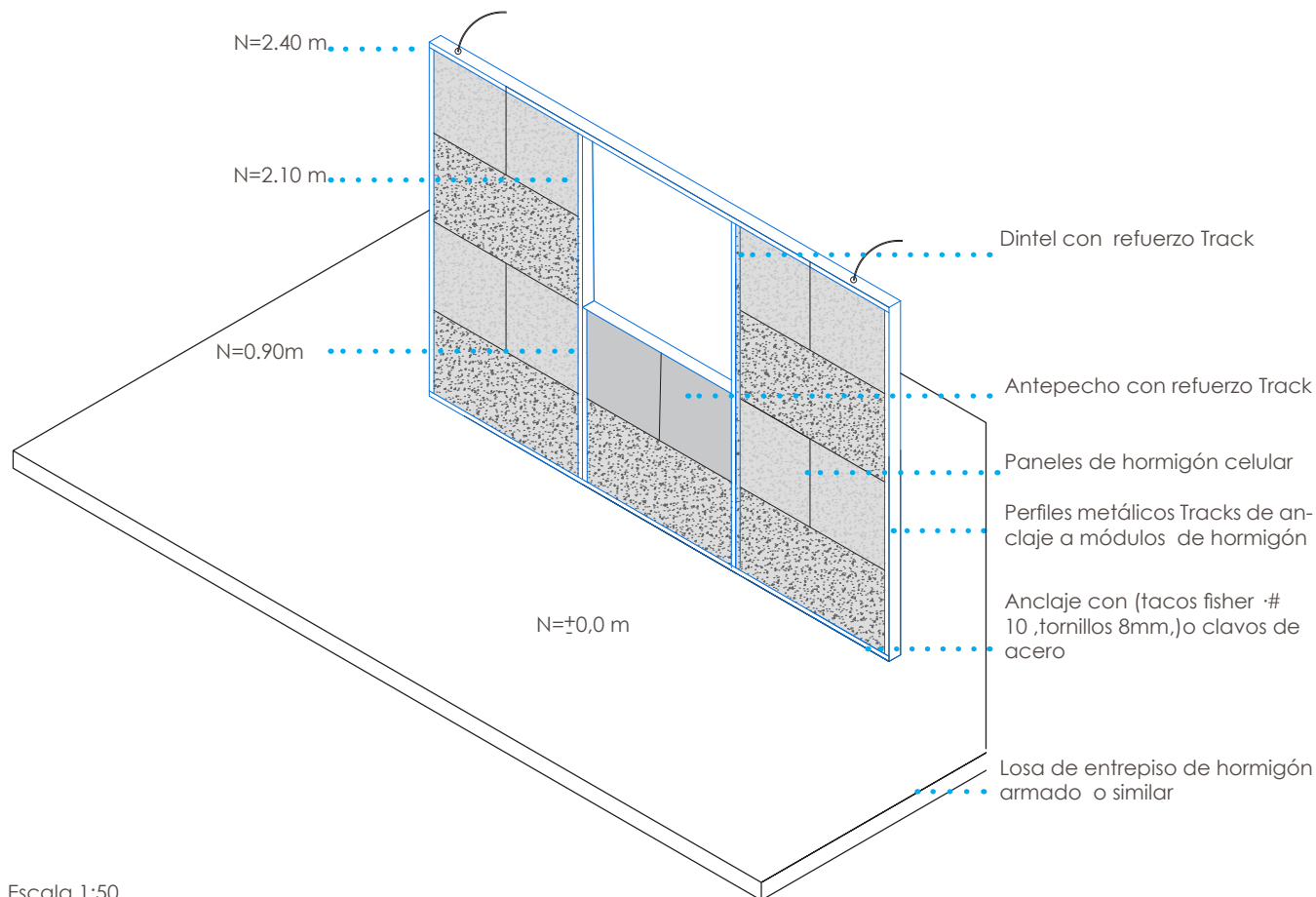
Este sistema garantiza la compatibilidad constructiva, la continuidad térmica y acústica y una adecuada integración entre la mampostería tradicional y los paneles de hormigón celular dentro del sistema constructivo general.

Detalle 5 Refuerzos en dinteles

Planta arquitectónica



Refuerzos en dinteles



Escala 1:50
Fuente : Autor

Los refuerzos en vanos de ventanas reforzados con perfiles tipo track en sistemas de paneles de hormigón celular cumplen la función de garantizar estabilidad estructural, correcta transmisión de cargas y control de fisuras alrededor del vano. Estos perfiles metálicos se colocan principalmente en el dintel, jambas y antepecho de la ventana, actuando como elementos.

En el dintel, el perfil track permite distribuir las cargas verticales superiores hacia los paneles laterales, evitando concentraciones de esfuerzos que puedan generar fisuras. En las jambas, los perfiles refuerzan los bordes del vano, mejorando la resistencia a impactos, vibraciones y deformaciones, además de facilitar la fijación de marcos de ventanas. En el antepecho, el refuerzo contribuye a la estabilidad del panel y al anclaje adecuado.

La correcta instalación de estos perfiles debe contemplar anclajes mecánicos bien fijados, alineación precisa y continuidad estructural con los paneles adyacentes. En conjunto el uso de perfiles track en ventanas asegura un mejor desempeño estructural, durabilidad del sistema y adecuada terminación arquitectónica en edificaciones con paneles de hormigón celular.

6.2.3 Dosificaciones

6.2.3.1 Agentes espumantes

Los agentes espumantes son sustancias que facilitan la creación de burbujas y espuma en líquidos o materiales sólidos. Se usan para reducir peso y costos en plásticos, hormigones etc.

Su principal función de los agentes espumantes es formar la espuma al mezclar con agua así de esta forma se incorpora aire a la mezcla .

6.2.3.2 Pruebas de espumantes

Tabla
Validación de espumantes

Cod	Agente	Cantidad de agua	tiempo de mezclado	duración de espuma	volumen obten	costo (\$)
prueba 1	espumante lavav	1000 ml	2 min	14 horas	0.02 m3	0,5
prueba 2	espumante deter	1000 ml	2min	6 horas	0.18 m3	1
prueba 3	espumante Glicer	1000 ml	2min	16 horas	0,2 m3	11,5

Fuente : Autor

prueba 1	Cod	Agente	Costo materiales	costo mano obra	Costo indirecto	Costo final	
prueba 2	espumante deter		1,1	3,45	1,2	5,75	1
prueba 3	espumante Glicer		11,6	3,45	1,35	16,4	11,5

Tabla
Costo de espumantes

Fuente : Autor

6.2.3.3 Dosificaciones de hormigón celular

Para las dosificaciones se realizó mediante parámetros antes mencionados en el que se realizaron dos tipos de dosificaciones. En la dosificación incluye el diseño y ajustes para elaborar 1 m³ de hormigón celular

Tabla de Toma de muestras de probetas

Dosificación 1

Cemento	Arena	Espumante	Cal	Agua
2.50 kg	2.50 kg	0.150 kg	0.83 kg	1.8 litros

Imagen 7

Proceso de elaboración de hormigón celular



Imagen de espumante



Imagen de bandeja metálica

Fuente : Autor

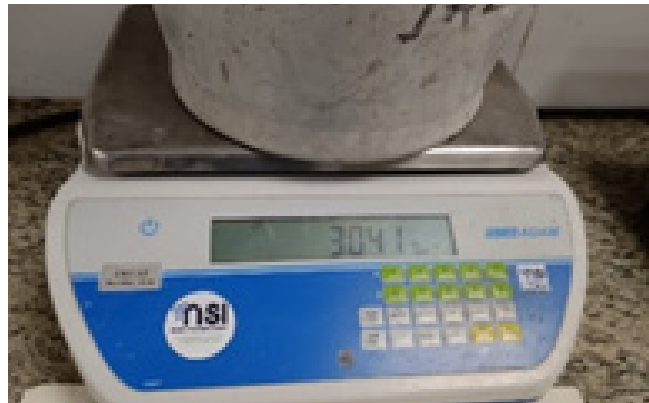


Imagen de balanza digital



Imagen de cilindros

EPP Overol, guantes, gafas, mandil.

Herramientas : 4 cilindros de Ø 10 cm x h = 20 cm, Flexómetro, libró de obra, combo de goma, varilla liza de 60 cm, regleta metálica de 3,5 cm x 45 cm, cuchara metálica, balde metálico, batidora eléctrica, caneca, bailejo, medidor digital de temperatura

Materiales: cemento ,arena, cal, agua, agente espumante

PROCEDIMIENTO

Se inició el proceso de elaboración de las muestras, para lo cual se emplearon 2,5 kg de cemento, 2,5 kg de arena, 1,8 litros de agua, 0,150 kg de agente espumante (lavavajillas) y 0,83 kg de cal.

En primer lugar, se realizó la mezcla en seco de arena y cemento en un balde metálico, asegurando su adecuada homogeneización. De manera paralela, en una caneca se preparó el agente espumante, utilizando 0,015 kg de lavavajillas, el cual fue batido con una batidora eléctrica hasta obtener una espuma estable y uniforme. Posteriormente, la espuma generada se incorporó a la mezcla de arena y cemento, procediéndose a mezclar nuevamente con la batidora eléctrica durante un minuto, con el fin de lograr una distribución homogénea del aire en la matriz. Finalmente, se añadió la cal, continuando la mezcla hasta obtener una consistencia uniforme.

Una vez concluida la preparación, la mezcla se vertió en los moldes cilíndricos, los cuales se dejaron en reposo para su secado durante el tiempo requerido previo a la realización de las pruebas posteriores. El desencofrado se efectuó a las 24 horas, tras lo cual las probetas fueron destinadas al curado y a las pruebas de resistencia a la compresión.

Cemento	Arena	Espumante	Cal	Agua
2.23 kg	1.57 kg	0.160 kg	0.32 kg	3 litros

Imagen 8
 Proceso de elaboración de hormigón celular

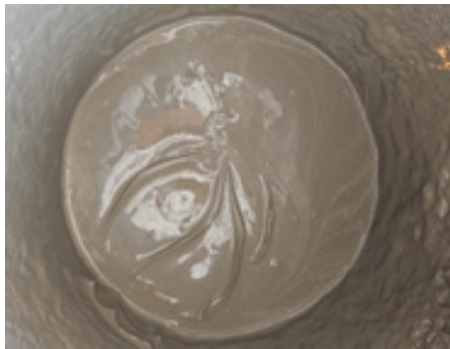


Imagen de mezcla



Balanza digital



Mezcla homogénea



Espumante



Espuma



Cilindros

EPP: Overol, guantes, gafas, mandil.

Herramientas: 4 cilindros de \varnothing 10 cm x h = 20 cm, Flexómetro, libró de obra, combo de goma, varilla liza de 60 cm, regleta metálica de 3,5 cm x 45 cm, cuchara metálica, balde metálico, batidora eléctrica, caneca, bailejo, medidor digital de temperatura
 Materiales: Cemento, Arena, Cal, Espumante lavavajillas

PROCEDIMIENTO

Se comenzó con las muestras para ello se ha utilizado 1,67 kg de cemento, 2,23 kg de arena 1.00 litros de agua 0.50 kg de espumante lavavajillas, 0.32 kg de cal

Se comienza haciendo la mezcla arena – cemento en un balde metálico, en una caneca se genera el espumante para ello se utiliza 0.50kg de lavavajillas para esto se utiliza una batidora eléctrica para generar la espuma, después se agrega el espumante a la mezcla de arena cemento, se mezcla con la batidora eléctrica durante un minuto y finalmente se agrega el yeso.

Terminada la mezcla se vacía en los cilindros para dejarlos a secar durante los días requeridos para las pruebas posteriores

6.2.3.4 Elaboración de paneles modulares
REALIZACIÓN DE MODULO 60X60X0.09 cm
 con conexión con espiga
 Dosificación 2

Tabla de realización de módulos

Cemento	Arena	Espumante	Cal	Agua
9.38 kg	2.88 kg	0.0228 kg	0.32 kg	7.60 litros

Imagen 11
 Proceso de elaboración de hormigón celular



Encofrados

En base a los resultados obtenidos se eligió la dosificación 2 ver pagina 55



Modulo final

Fuente : Autor

EPP: Overol, guantes, gafas, mandil.
Herramientas: bandeja de muestra, recipiente de muestras, medidor agua, batidora balanza manual Flexómetro, libró de obra.
Materiales: Cemento tipo GU, cal, espumante, encofrados
PROCEDIMIENTO

Se inició el proceso con la construcción de un encofrado de dimensiones 0,60 × 0,60 × 0,09 m, destinado al vaciado del hormigón celular. En primer lugar, se procedió a la preparación del agente espumante, seguido de la elaboración de la mezcla base compuesta por cemento, arena, cal y agua, asegurando una adecuada homogeneización de los materiales. Posteriormente, el espumante fue incorporado a la mezcla, la cual se agitó mediante una batidora eléctrica hasta obtener una mezcla final uniforme.

RESULTADOS

Después de dejar 24 horas se realiza el desencofrado para dejarlo que se seque y verificar el peso final y la resistencia del panel y finalmente a los 15 días se verifica la resistencia de forma empírica y el modulo es factible para utilizar en paredes divisorios.

Conclusiones

El módulo final después del desencofrado y secado llega a un peso final de 21 kg y al hacer la prueba de rotura manualmente a una altura de 0,90 cm y dejarla caer el módulo no se rompe y sirve para poder instalarlo posteriormente en obra.

6.2.3.4 Elaboración de paneles modulares REALIZACIÓN DE MODULO 60X60X0.09 cm con conexión con espiga Dosificación 2

En base a los resultados obtenidos se eligió la dosificación 2 ver pagina 55

Imagen
Aplicación de desmoldante



Imagen
Verificación de peso de materiales



Imagen
Mezcla de hormigón celular



Imagen
Espumante generado



Imagen
Paneles Antes de desencofrado.



Imagen
Panel final



6.2.3.4 Elaboración de paneles modulares REALIZACIÓN DE MODULO 60X1.20X0.09 cm

Tabla de realización de módulos

Cemento	Arena	Espumante	Cal	Agua
18.76 kg	5.76 kg	0.0456 kg	0.61 kg	15.20 litros

Imagen 12
Proceso de elaboración de hormigón celular



Encofrados
Fuente : Autor



Paneles finales

EPP: Overol, guantes, gafas, mandil.

EPP: Overol, guantes, gafas, mandil.
Herramientas: bandeja de muestra, recipiente de muestras, medidor agua, batidora balanza manual Flexómetro, libró de obra.
Materiales: Cemento tipo GU, cal, espumante, encofrados

PROCEDIMIENTO

Se comenzó haciendo un encofrado de 0.60x1.20x0.09 vaciar el hormigón celular, posteriormente se realiza el espumante, después se hace la mezcla de cemento arena, cal, agua finalmente se añade el espumante y se mezcla con una batidora y se obtiene la mezcla final para verterlo en el encofrado. Se deja que se seque a temperatura ambiente para verificar el peso posteriormente.

RESULTADOS

Después de dejar 24 horas se realiza el desencofrado para dejarlo que se seque y verificar el peso final y la resistencia del panel y finalmente a los 15 días se verifica la resistencia de forma empírica y el modulo es factible para utilizar en paredes divisorios.

Conclusiones

El módulo final después del desencofrado y secado llega a un peso final de 21 kg y al hacer la prueba de rotura manualmente a una altura de 0,90 cm y dejarla caer el módulo no se rompe y sirve para poder instalarlo posteriormente en obra.

Diseño de mezcla

Propiedades de los materiales	tipo	Densidad	Norma
cemento	Hidraulico GU	3250 kg/m ³	INEN 2380
arena	Granulometria fina	1450 kg/m ³	----
agua	Agua potable	1000 kg/m ³	INEN 1108
cal	cal hidraulica	3300 kg/m ³	.-----
espumante lavavajillas	liquido lavavajillas	1030 kg/m ³	.-----

Tablas de diseño y dosificación de mezclas 1

Cantidad para 1m ³	dosificación 1		
material	kg	volumen	
cemento	240,74	0,24	
arena	219,13	0,24	
cal	43,82	0,048	
agua	209,72	0,2	
espumante	14,2	0,28	
	total	1,008	

Tablas de diseño y dosificación de mezclas 2

Cantidad para 1m ³	dosificación 2		
material	kg	volumen	
cemento	337,03	0,24	
arena	131,48	0,24	
cal	43,82	0,048	
agua	279,62	0,21	
espumante	12,77	0,27	
	total	1,008	

Fuente . Autor

6.3. Evaluación de la variación en la resistencia y costo de cada uno de los prototipos desarrollados.

Para este análisis se realiza cilindros y Paneles modulares de hormigón celular en donde se plantea dos dosificaciones ,con el objetivo de realizar las pruebas de resistencia a la compresión de estos en donde se analizara los pesos de las probetas densidades secas y dimensiones . Para esto se toma en consideración que los ensayos se realizan a los 7,14,21,28 días y se verifica como aumenta o disminuye la resistencia con el tiempo con el objetivo de verificar que este tipo de concreto se puede utilizar en la mampostería.

6.3.1 Ensayos de probetas

6.3.1.1 Ensayos de Hormigón celular

Ensayo # 1

Dosificación 1

Con la dosificación numero 1 la probeta no es apta para los ensayos de compresión.

Imagen
Fallo de probeta



Fuente : Autor

Ensayo de compresión

Para el ensayo a compresión se deja secar las muestra ya que no podemos ensayar las probetas en húmedo; esto se debe a que el agua interna altera los resultados del ensayo. Por este motivo los ensayos son realizados en seco y se llevarán a cabo a los 7, 14 21 y 28 días, en los laboratorios de la Universidad politecnica Salesiana en la maquina de ensayos de compresión.

Los ensayos se realizarán a una velocidad de 0.05 MPa/s, la cual fue calculada en base a la resistencia esperada (2 MPa). Todo esto se encuentra indicado en la norma ASTM C495, la cual especifica que la velocidad de carga debe ser constante, sin carga de impacto, y que se debe alcanzar la carga máxima en un tiempo de 65 ± 15 segundos.

En el caso de los bloques, se tuvo que adicionar una placa metálica en la prensa, acorde a la NTE INEN 3066, de esta manera se asegura que la carga se distribuya de manera uniforme sobre el bloque.

Dosificación 2

Con la dosificación 2 la probetas son las adecuadas para los ensayos de compresión.

Ensayo 1 Edad 7 días

Imagen
Muestras de cilindro para ensayo a los 7 días



Fuente : Autor

Imagen
Ensayo de cilindros
edad 7 días



Utilización de capping con azufre para pruebas de resistencias



Cilindros con base Capping de Azufre



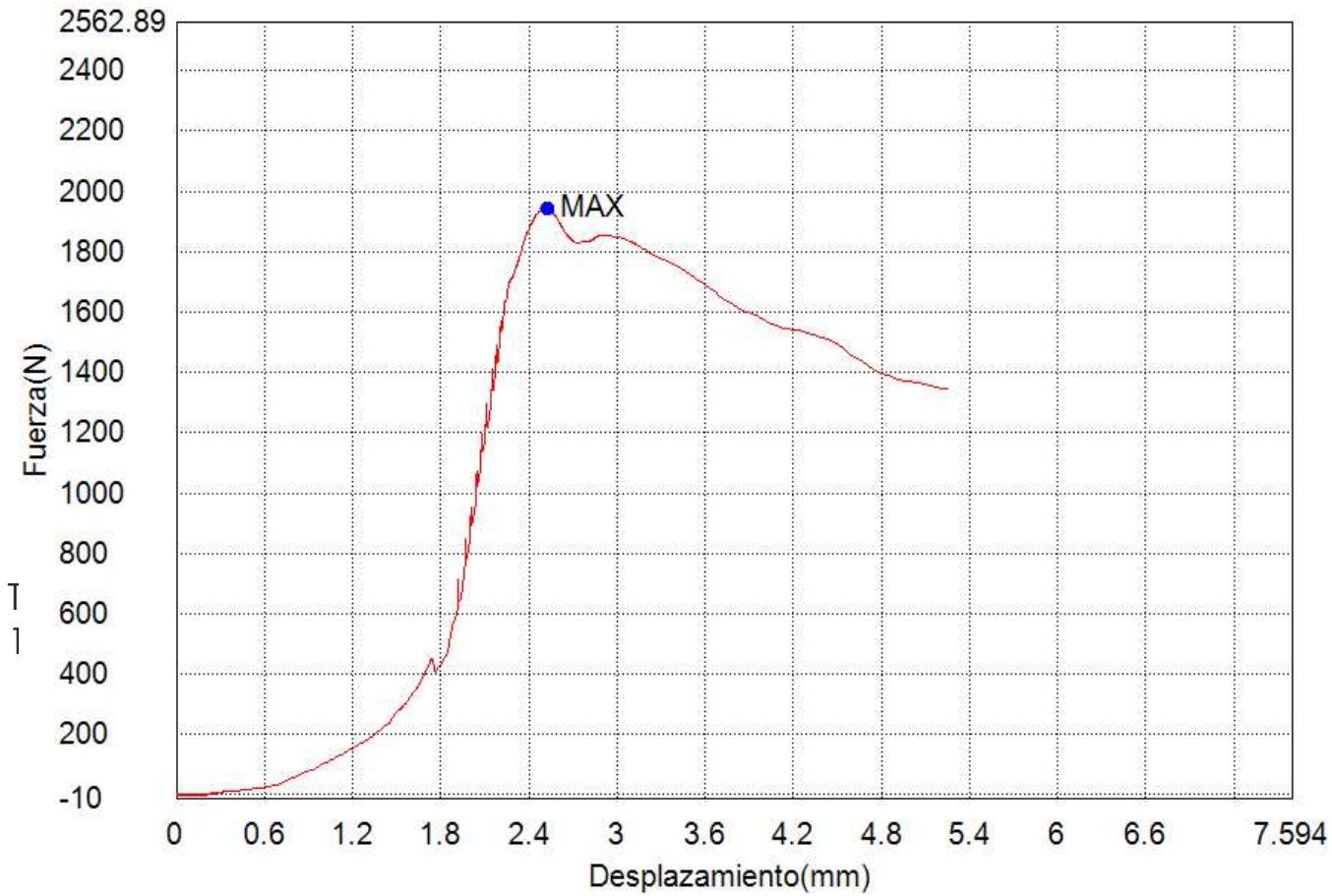
Ensayo de resistencia

Tabla de Ensayo 1
 Datos de Ensayo de compresión a los 7 días

Palabra llave		Nombre de producto		
Nombre de archivo de ensayo	Compresión 7 días	Nombre de método de Ensayo	Compresión	
Fecha de informe	12/8/2025	Fecha de ensayo	12/8/2025	
Modo de ensayo	sencillo	Tipo de ensayo	Compresión	
Velocidad	0.05/mm2/sec	Forma	Cilíndrica	
N de partidas	1	N de muestras	1	
Nombre	Max_Fuerza	Max _ Tensión	Max Desplaza	Max Deforma- ción
Parámetros	Calc at Entire Áreas	Calc at Entire Áreas	Calc at Entire Áreas	Calc at Entire Áreas
Unidad	N	N/mm2	mm	%
1 _ 1	1945.26	0.24768	2.53028	1.26524
Nombre	Rotura : Fuerza	Rotura Tensión	Rotura _Despla- zamiento	Rotura _ Defor- mación
Parámetros	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10
Unidad	N	N/mm2	mm	%
1 _ 1	_ _	_ _	_ _	_ _

Fuente : Laboratorios UPS

Gráfica # 1
Ensayo de compresión a los 7 días



Fuente : Laboratorios UPS

Ensayo de compresión Dosificación 2

Con la dosificación 2 las probetas son las adecuadas para los ensayos de compresión.

Ensayo 2

Edad 14 días

Imagen

Muestras de cilindro para ensayo a los 14 días



Verificación de peso de cilindros



Verificación de altura de cilindro para ensayo



Prueba de resistencia de cilindros

Fuente : Autor

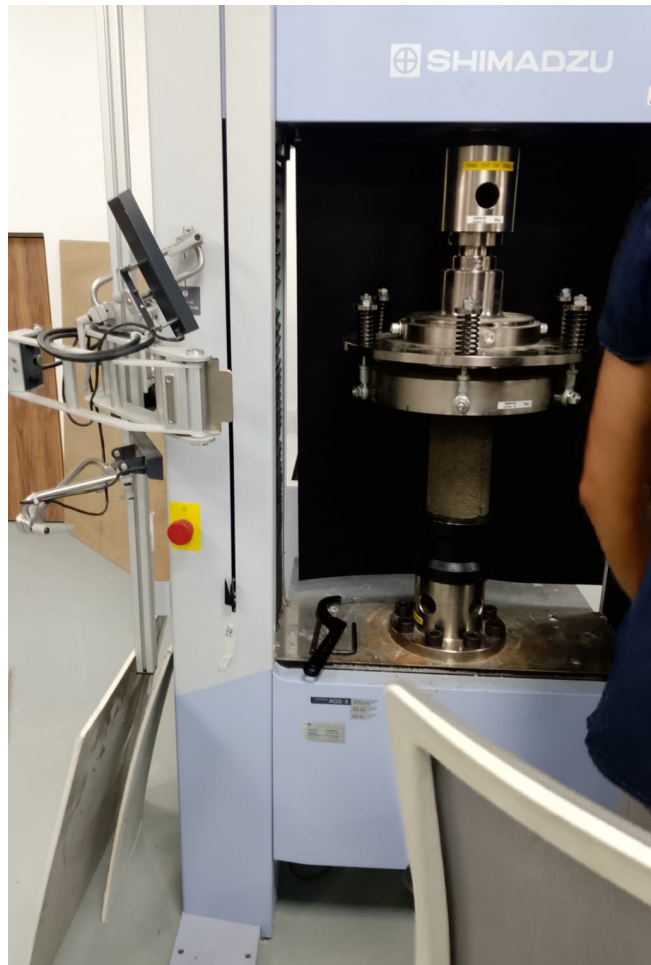
Ensayo 2
Edad 14 días

Con la dosificación 2 la probetas son las adecuadas para los ensayos de compresión.

Imagen
Ensayo de cilindros
Edad 14 días



Colocación de cilindro



Prueba de cilindro



Rotura de cilindros

Fuente :Laboratorios UPS

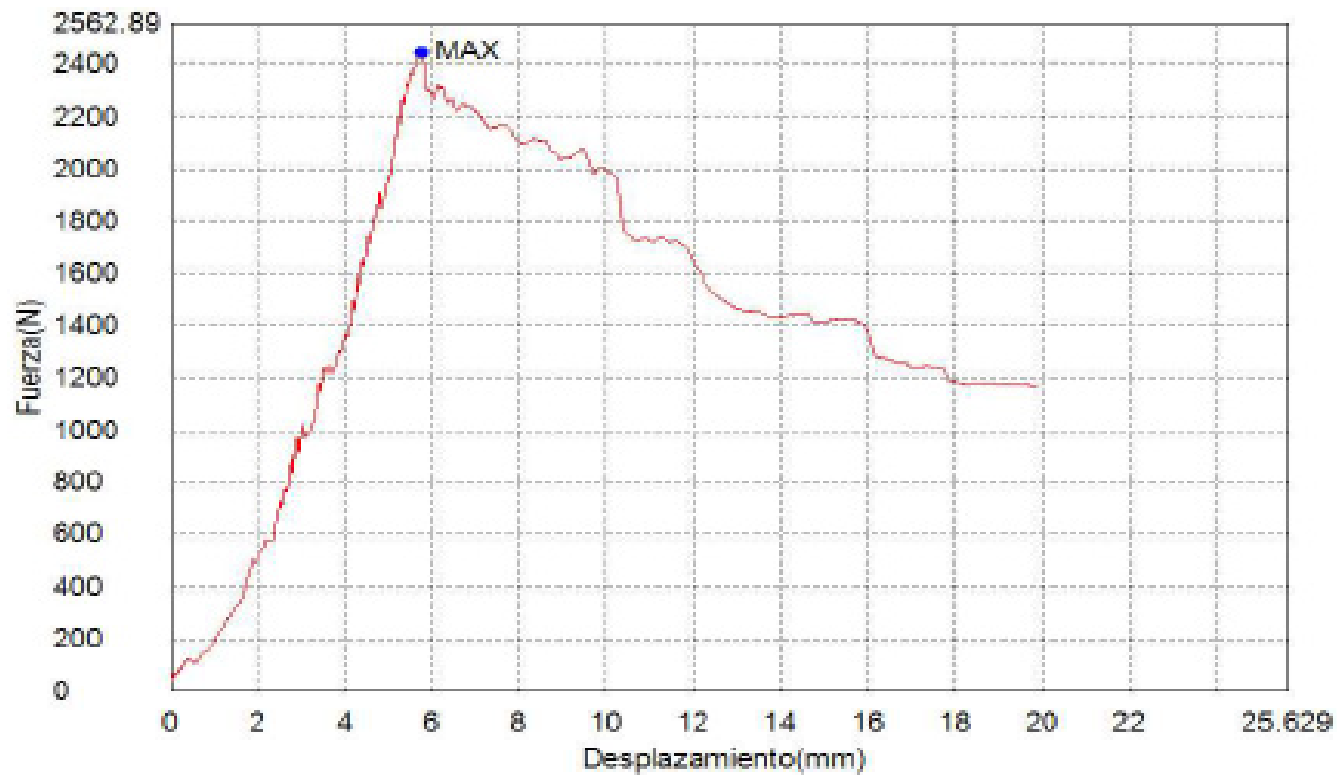
Tabla de Ensayo 2
 Datos de Ensayo de compresión a los 14 días

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	Compresión 14 días	Nombre de método de Ensayo	
Fecha de informe	12/15/2025	Fecha de ensayo	12/15/2025
Modo de ensayo	sencillo	Tipo de ensayo	Compresión
Velocidad	0.05/mm2/sec	Forma	Cilíndrica
N de partidas	1	N de muestras	1

Nombre	Max_Fuerza	Max _ Tensión	Max Desplaza	Max Deforma- ción
Parámetros	Calc at Entire Áreas	Calc at Entire Áreas	Calc at Entire Áreas	Calc at Entire Áreas
Unidad	N	N/mm2	mm	%
1 _ 1	2444.17	0.31120	5.74881	2.87441
Nombre	Rotura : Fuerza	Rotura Tensión	Rotura _Despla- zamiento	Rotura _ Defor- mación
Parámetros	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10
Unidad	N	N/mm2	mm	%
1 _ 1	--	--	--	--

Fuente : Laboratorios UPS

Gráfica # 2
Ensayo de compresión a los 14 días



Fuente : Laboratorios UPS

Ensayo de compresión Dosificación 2

Con la dosificación 2 las probetas son las adecuadas para los ensayos de compresión.

Ensayo 3

Edad 21 días

Imagen

Muestras de cilindro para ensayo a los 21 días



Verificación de peso de cilindro



Cilindro apto para prueba



Prueba de cilindro

Fuente : Propia

Ensayo de compresión Dosificación 2

Con la dosificación 2 la probetas son las adecuadas para los ensayos de compresión.

Ensayo 3

Edad 21 días

Imagen

Muestras de cilindro para ensayo a los 21 días



Verificación de medidas de cilindro



Prueba de Cilindro



Ruptura de cilindro

Fuente :Laboratorios UPS

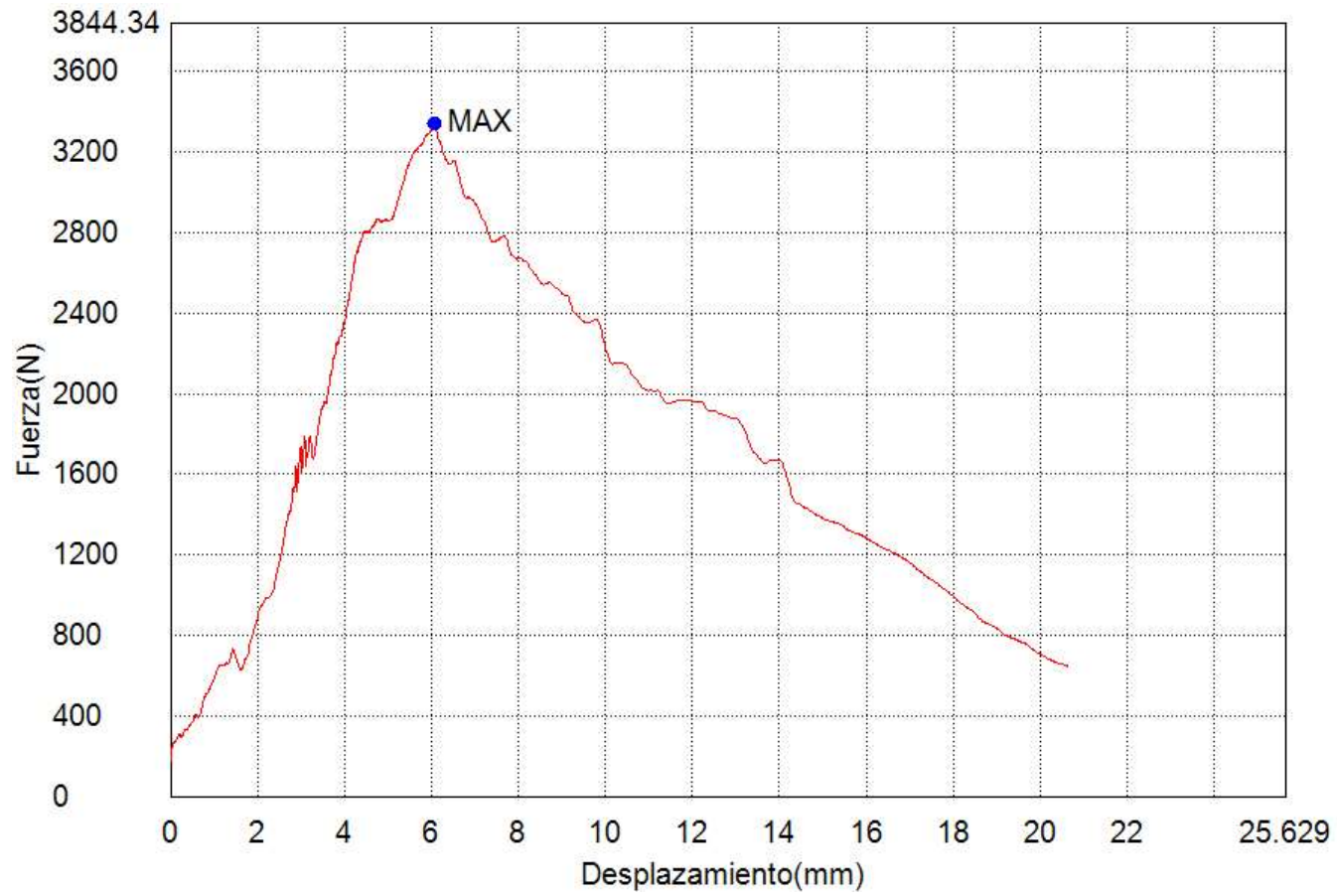
Tabla de Ensayo 3
 Datos de Ensayo de compresión a los 21 días

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	Compresión 21 días	Nombre de método de Ensayo	
Fecha de informe	12/25/2025	Fecha de ensayo	12/25/2025
Modo de ensayo	sencillo	Tipo de ensayo	Compresión
Velocidad	0.05/mm2/sec	Forma	Cilíndrica
N de partidas	1	N de muestras	1

Nombre	Max_Fuerza	Max _ Tensión	Max Desplaza	Max Deforma- ción
Parámetros	Calc at Entire Áreas	Calc at Entire Áreas	Calc at Entire Áreas	Calc at Entire Áreas
Unidad	N	N/mm2	mm	%
1 _ 1	3340.63	0.42534	6.07441	3.03721
Nombre	Rotura : Fuerza	Rotura Tensiòn	Rotura _Despla- zamiento	Rotura _ Defor- mación
Parámetros	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10
Unidad	N	N/mm2	mm	%
1 _ 1	--	--	--	--

Fuente : Laboratorios UPS

Gráfica # 3
Ensayo de compresión a los 21 días



Fuente : Laboratorios UPS

Ensayo de compresión Dosificación 2

Con la dosificación 2 las probetas son las adecuadas para los ensayos de compresión.

Ensayo 4

Edad 28 días

Imagen

Muestras de cilindro para ensayo a los 28 días



Cilindro apto para prueba



Prueba de resistencia



Ruptura de cilindro

Fuente :Laboratorios UPS

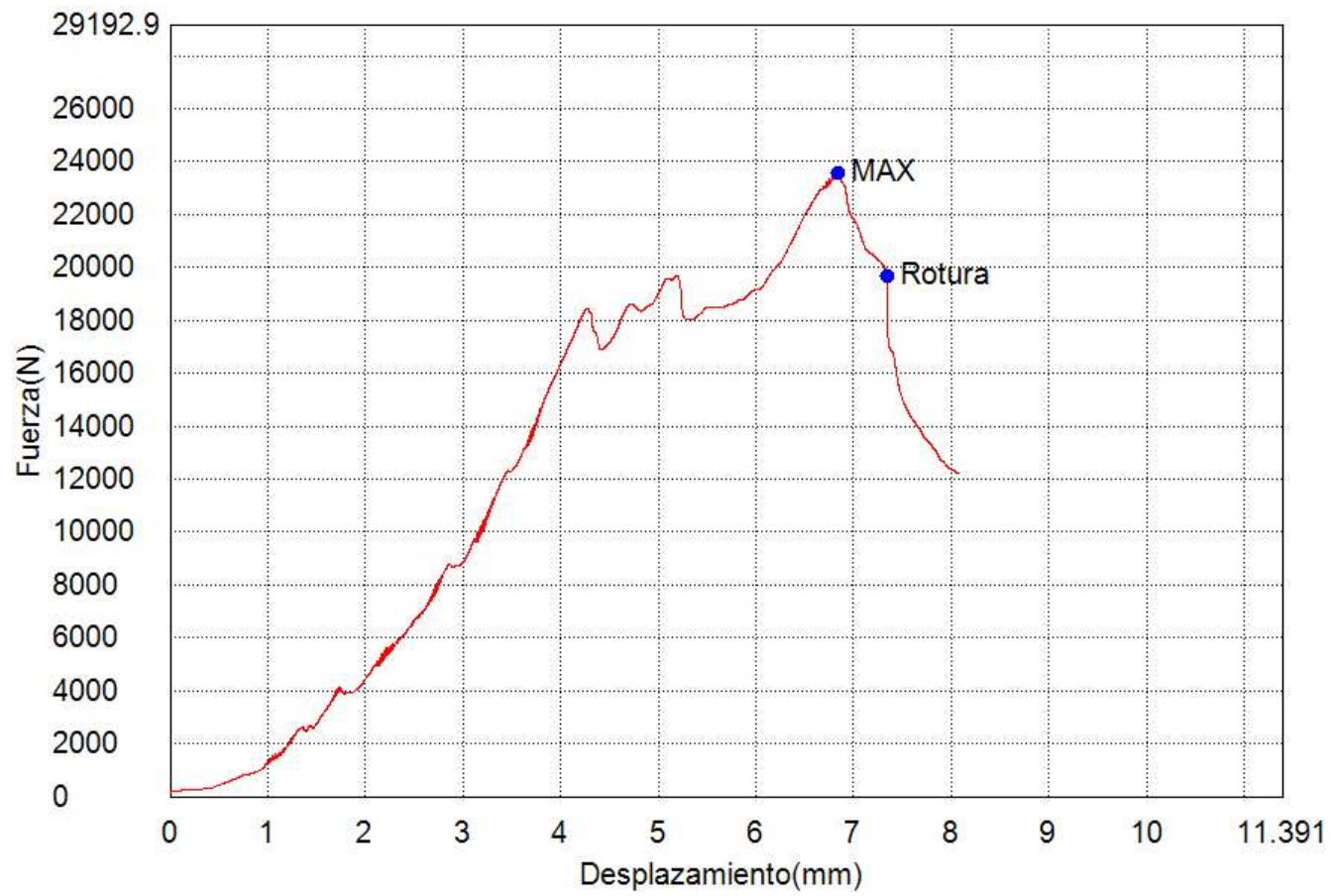
Tabla de Ensayo 4
 Datos de Ensayo de compresión a los 28 días

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	Compresión 28 días	Nombre de método de Ensayo	
Fecha de informe	1/5/2026	Fecha de ensayo	1/5/2026
Modo de ensayo	sencillo	Tipo de ensayo	Compresión
Velocidad	0.05/mm2/sec	Forma	Cilíndrica
N de partidas	1	N de muestras	1

Nombre	Max_Fuerza	Max _ Tensión	Max Desplaza	Max Deforma- ción
Parámetros	Calc at Entire Áreas	Calc at Entire Áreas	Calc at Entire Áreas	Calc at Entire Áreas
Unidad	N	N/mm2	mm	%
1 _ 1	23582.8	3.00266	6.84326	3.42163
Nombre	Rotura : Fuerza	Rotura Tensión	Rotura _Despla- zamiento	Rotura _ Defor- mación
Parámetros	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10
Unidad	N	N/mm2	mm	%
1 _ 1	19698.8	2.50813	7.34153	3.67077

Fuente : Laboratorios UPS

Gráfica # 4
Ensayo de compresión a los 28 días



Fuente : Laboratorios UPS

6.3.1.2 Verificación de pesos y densidades .

La verificación de pesos y densidades de los paneles de hormigón celular es un proceso fundamental para garantizar el cumplimiento de los objetivos planteados

Este procedimiento consiste en comparar las dimensiones geométricas y el peso real de cada panel con las medidas establecidas en el diseño

El proceso inicia con la medición precisa de las dimensiones del panel (largo, ancho y espesor), a partir de las cuales se determina su volumen. Posteriormente, se registra el peso del elemento mediante una balanza digital. Con estos datos se calcula la densidad aparente del panel, dividiendo la masa entre el volumen obtenido.

Tabla # 4
Muestras de concreto celular

codigo	tipo	fecha de el	fecha de ru	Peso en estado fresco(g)	Densida en estado fresco(kg	Edad(Dias)
L1	cilindro	1/12/2025	5/12/2025	995,34	636	5
L1	cilindro	1/12/2025	8/12/2025	1658,9	1060	7
L2	cilindro	1/12/2025	5/12/2025	931,26	592,8	5
L2	cilindro	1/12/2025	15/12/2025	1552,1	988	14
L3	cilindro	1/12/2025	5/12/2025	600,6	382,2	5
L3	Cilindro	1/12/2025	22/12/2025	1001	637	21
L4	Cilindro	1/12/2025	5/12/2025	709,38	451,8	5
L4	Cilindro	1/12/2025	5/1/2026	1182,3	753	28
Leyenda						
	Dias de prueba					

Fuente : Autor

Tabla # 4
Muestras de concreto celular

codigo	tipo	fecha de el	fecha de p	Peso en estado fresco(kg)	Densida en estado fresco(kg	Edad(Dias)
m1	panel 60x60 cm	2/12/2025	8/12/2025	18,17	560,8	5
m2	panel 60x60 cm	2/12/2025	8/12/2025	19,3	595,67	5
m3	panel 60x60 cm	8/12/2025	15/12/2025	18,97	585,49	5
m4	panel 60x60 cm	8/12/2025	15/12/2025	19,43	599,69	7
m5	panel 120x60 cm	15/12/2025	22/12/2025	31,23	963,88	7
m6	panel 120x60 cm	22/12/2025	12/1/2026	32,29	996,6	20

Fuente : Autor

6.3.2 Evaluación de costos

La evaluación de costos de los paneles modulares y sus componentes constituye una etapa clave en la planificación y viabilidad económica de este proyecto. Este análisis permite determinar el costo real del sistema completo, considerando no solo el valor unitario de los paneles, sino también todos los elementos complementarios e instalación en obra de paneles modulares necesarios para su correcta instalación y funcionamiento.

El proceso inicia con la identificación y cuantificación de los paneles modulares, tomando en cuenta sus dimensiones, tipología y densidad, lo cual influye directamente en el costo por unidad y por metro cuadrado. A continuación, se incorporan los costos de los componentes asociados, tales como perfiles metálicos (tracks, montantes y anclajes), fijaciones mecánicas, adhesivos o morteros de unión, sellos, refuerzos estructurales y elementos de terminación.

Tabla # 4
Referencia de precios para elaboración de paneles

Descripción	Unidad	Precio unit \$	Referencias
cemento Guapan	saco 50 kg	7.35	Frank ferreteria
arena Fina	Volqueta 8 m	90.00	Arenas Balarezo
Cal	saco 25 kg	7.20	Ferreteria Mega Hierro
Lavavajillas	720 ml (Axion)	0.95	centro Comercial Super Boom
Malla electrosoldada R 64	6,40x2,40 m	18.90	Frank ferreteria
Tubo eléctrico PVC	3x4 pulg	2.50	Ferreteria Mega Hierro
Plancha MDF 6 mm	2,14x2,44 x0,009 m	16.90	Placacentro

Fuente : Autor

Asimismo, la evaluación contempla los costos de transporte, manipulación y almacenamiento, debido a las características de peso y volumen de los paneles. Se incluyen también los costos de mano de obra especializada para el montaje, así como los equipos y herramientas requeridas durante la instalación.

Finalmente, el análisis comparativo del costo total del sistema modular frente a sistemas constructivos tradicionales permite evaluar su eficiencia económica, destacando ventajas como la reducción de tiempos de ejecución, disminución de desperdicios y optimización de recursos. Esta evaluación integral facilita la toma de decisiones técnicas y económicas, asegurando un equilibrio entre costo, calidad y desempeño constructivo del sistema de paneles modulares de hormigón celular.

Costo de espumantes

RUBRO 1.1	ESPUMANTE 1 : Detergente lavavajillas	UNIDAD	Galon
ESPECIFICACIÓN:	Incluye mano de obra y materiales		8

ENSAYOS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A * B	R	D = C * R
Herramienta manual y menor de construcción		5% M.O.			0,10
Batidora, bandeja	2	0,1	0,20	0,50	0,10
SUBTOTAL M					\$0,20

MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO (horas/u)	COSTO
	A	B	C = A * B	R	D = C * R
Maestro mayor en ejecución de obras civiles (E.O.C1)	0,0	3,82	0,00	1,00	0,00
Albañil (E.O.D2)	1	3,45	3,45	1,00	3,45
Peón (E.O. E2)	0	3,41	0,00	1,00	0,00
SUBTOTAL N					\$3,45

MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
		A	B	C = A * B	
espumante	g	1	0,95	0,95	
agua	m3	0,001	0,1000	0,00	
SUBTOTAL O					\$0,95

TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA TRANSPORTE	DISTANCIA (km)	COSTO
		A	B	C	C = A * B * C
transporte	un	0,00	0,0000	1,00	0,000
SUBTOTAL P					\$0,000

ANEXO
ANEXO COLUMNAS

TOTAL DE COSTO DIRECTO (M + N + O + P)	\$4,60
INDIRECTOS Y UTILIDADES 22%	\$1,01
COSTO TOTAL DEL RUBRO	\$5,61

Costos de espumantes

RUBRO 1.2	ESPUMANTE 2 :Texapol ,glicerina	UNIDAD	galon
ESPECIFICACIÓN:	Incluye mano de obra y materiales		8

ENSAYOS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A * B	R	D = C * R
Herramienta manual y menor de construcción		5% M.O.			0,10
Batidora,bandeja	2	0,1	0,20	0,50	0,10
SUBTOTAL M					\$0,20

MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO (horas/u)	COSTO
	A	B	C = A * B	R	D = C * R
Maestro mayor en ejecución de obras civiles (E.O.C1)	0,0	3,82	0,00	1,00	0,00
Albañil (E.O.D2)	1	3,45	3,45	1,00	3,45
Peón (E.O. E2)	0	3,41	0,00	1,00	0,00
SUBTOTAL N					\$3,45

MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO
		A	B	C = A * B
texapol, glicerina	g	2	8,5	17,00
agua	m3	0,001	0,1000	0,00
SUBTOTAL O				\$17,00

TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA TRANSPORTE	DISTANCIA (km)	COSTO
		A	B	C	C = A * B * C
transporte	un	0,00	0,0000	1,00	0,000
SUBTOTAL P					\$0,000

ANEXO
ANEXO COLUMNAS

TOTAL DE COSTO DIRECTO (M + N + O + P)	\$20,65
INDIRECTOS Y UTILIDADES 22%	\$4,54
COSTO TOTAL DEL RUBRO	\$25,19

Costo de paneles

RUBRO 1.3	MODULO 60X60X9 cm con espumante lavavajillas	UNIDAD	UN
ESPECIFICACIÓN:	Incluye mano de obra y materiales		1

ENSAYOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A * B	R	D = C * R
Herramienta manual y menor de construcción		5% M.O.			0,10
Batidora, bandeja	2	0,1	0,20	0,50	0,10
SUBTOTAL M					\$0,20

MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO (horas/u)	COSTO
	A	B	C = A * B	R	D = C * R
Maestro mayor en ejecución de obras civiles (E.O.C1)	0,0	3,82	0,00	1,00	0,00
Albañil (E.O.D2)	1	3,45	3,45	1,10	3,80
Peón (E.O. E2)	0	3,41	0,00	1,00	0,00
SUBTOTAL N					\$3,80

MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
		A	B	C = A * B	
espumante lavavajillas	g	0,5	0,9	0,45	
cemento	kg	0,2	7,3	1,46	
arena	kg	1	0,5	0,50	
mala electrosoldad	m2	0,09	18,9	1,70	
tuberia 3/4	ml	0,5	2,5	1,25	
cal	kg	0,5	0,25	0,13	
agua	m3	0,001	0,1000	0,00	
SUBTOTAL O					\$5,49

TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA TRANSPORTE	DISTANCIA (km)	COSTO
		A	B	C	C = A * B * C
transporte	un	0,00	0,0000	1,00	0,000
SUBTOTAL P					\$0,000

ANEXO
ANEXO COLUMNAS

TOTAL DE COSTO DIRECTO (M + N + O + P)	\$9,48
INDIRECTOS Y UTILIDADES 5%	\$0,47

Costo de paneles

RUBRO 1.4	MODULO 120X60X9 cm con espumante	UNIDAD	UN
ESPECIFICACIÓN:	Incluye mano de obra y materiales		1

ENSAYOS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A * B	R	D = C * R
Herramienta manual y menor de construcción		5% M.O.			0,10
Batidora, bandeja	2	0,1	0,20	0,50	0,10
SUBTOTAL M					\$0,20

MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO (horas/u)	COSTO
	A	B	C = A * B	R	D = C * R
Maestro mayor en ejecución de obras civiles (E.O.C1)	0,0	3,82	0,00	1,00	0,00
Albañil (E.O.D2)	1	3,45	3,45	1,10	3,80
Peón (E.O. E2)	0	3,41	0,00	1,00	0,00
SUBTOTAL N					\$3,80

MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
		A	B	C = A * B	
espumante lavavajillas	g	0,75	0,9	0,68	
cemento	kg	0,4	7,3	2,92	
arena	kg	0,5	1	0,50	
mala electrosoldad	m2	0,15	18,9	2,84	
tubería 3/4	ml	0,75	2,5	1,88	
cal	kg	0,5	0,25	0,13	
agua	m3	0,001	0,1000	0,00	
SUBTOTAL O					\$8,93

TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA TRANSPORTE	DISTANCIA (km)	COSTO
		A	B	C	C = A * B * C
transporte	un	0,00	0,0000	1,00	0,000
SUBTOTAL P					\$0,000

ANEXO
ANEXO COLUMNAS

TOTAL DE COSTO DIRECTO (M + N + O + P)	\$12,93
INDIRECTOS Y UTILIDADES 5%	\$0,65
COSTO TOTAL DEL RUBRO	\$13,57

Análisis de costos: Instalación de paneles

RUBRO 1.5	Instalacion de paneles	UNIDAD	m2
ESPECIFICACIÓN:	Incluye mano de obra y materiales		2,88

ENSAYOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A * B	R	D = C * R
Herramienta manual y menor de construcción		5% M.O.			0,10
taladro ,flexometro	2	0,1	0,20	0,50	0,10
SUBTOTAL M					\$0,20

MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO (horas/u)	COSTO
	A	B	C = A * B	R	D = C * R
Maestro mayor en ejecución de obras civiles (E.O.C1)	0,0	3,82	0,00	1,00	0,00
Albañil (E.O.D2)	1	3,45	3,45	0,50	1,73
Peón (E.O. E2)	1	3,41	3,41	0,50	1,71
SUBTOTAL N					\$3,43

MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
		A	B	C = A * B	
panel	un	4	12,93	51,72	
perfiles Track	un	3	1,8	5,40	
Tornillos autoperforantes	un	10	0,03	0,30	
anclajes con facos Fished	un	6	0,09	0,54	
mortero de junta	kg	0,5	0,25	0,13	
SUBTOTAL O					\$58,09

TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA TRANSPORTE	DISTANCIA (km)	COSTO
		A	B	C	C = A * B * C
transporte	un	1,00	1,0000	1,00	1,000
SUBTOTAL P					\$1,000

ANEXO
ANEXO COLUMNAS

TOTAL DE COSTO DIRECTO (M + N + O + P)	\$62,72
INDIRECTOS Y UTILIDADES 5%	\$3,14
COSTO TOTAL DEL RUBRO	\$65,85
COSTO POR METRO CUADRADO	\$21,78

Análisis de costos:
Instalación de mampostería Tradicional

RUBRO 1.6	Instalacion de mamposteria tradicional	UNIDAD	m2
ESPECIFICACIÓN:	Incluye mano de obra y materiales		1

ENSAYOS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A * B	R	D = C * R
Herramienta manual y menor de construcción		5% M.O.			0,10
taladro ,flexometro	2	0,1	0,20	0,50	0,10
SUBTOTAL M					\$0,20

MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO (horas/u)	COSTO
	A	B	C = A * B	R	D = C * R
Maestro mayor en ejecución de obras civiles (E.O.C1)	0,0	3,82	0,00	1,00	0,00
Albañil (E.O.D2)	1	3,45	3,45	1,10	3,80
Peón (E.O. E2)	0	3,41	0,00	1,00	0,00
SUBTOTAL N					\$3,80

MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO
		A	B	C = A * B
bloques de 12 cm	un	12,5	0,58	7,25
tornillos autoperforantes	un	10	0,03	0,30
Anclajes (chicotes varilla 10 mm)	un	0,25	10	2,50
mortero de junta	kg	1	7	7,00
SUBTOTAL O				\$17,05

TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA TRANSPORTE	DISTANCIA (km)	COSTO
		A	B	C	C = A * B * C
transporte	un	1,00	2,5000	1,00	2,500
SUBTOTAL P					\$2,500

ANEXO
ANEXO COLUMNAS

TOTAL DE COSTO DIRECTO (M + N + O + P)	\$23,55
INDIRECTOS Y UTILIDADES 5%	\$1,18
COSTO TOTAL DEL RUBRO	\$24,72
COSTO POR METRO CUADRADO	\$23,55

El análisis de costos entre la mampostería tradicional y la mampostería ejecutada con paneles de hormigón celular evidencia diferencias económicas y constructivas relevantes para la toma de decisiones en proyectos de edificación. La mampostería tradicional presenta un costo unitario de 23,55 USD, mientras que la mampostería con paneles de hormigón celular alcanza un costo de 21,78 USD, ambos valores expresados por unidad de superficie equivalente.

Imagen con paneles de hormigón celular



El costo es de forma manual, pero con la posibilidad de ser industrializado y que reducen aun el costo de instalación de los paneles. La comparación directa muestra que el sistema de paneles de hormigón celular representa una reducción de costo de 1,77 USD, lo que equivale aproximadamente a un ahorro del 7,5 % respecto a la mampostería tradicional. Esta disminución se asocia principalmente a la menor cantidad de materiales complementarios, la reducción del peso propio del sistema y una mayor rapidez en el proceso de instalación.

Imagen mamposteria con bloque de pomes



Además del beneficio económico directo, los paneles de hormigón celular aportan ventajas adicionales, como la disminución de cargas estructurales, mejor aislamiento térmico y acústico, y una optimización de los tiempos de obra, factores que pueden traducirse en ahorros indirectos y una mayor eficiencia constructiva.

En conclusión, desde el punto de vista económico y técnico, la mampostería con paneles de hormigón celular se presenta como una alternativa competitiva frente a la mampostería tradicional, al ofrecer un menor costo unitario y ventajas constructivas que favorecen la eficiencia global del proyecto.

Resultados

7. Resultados

7.1 Procedimiento de ejecución en obra de paneles modulares

El procedimiento de ejecución en obra de paneles modulares de hormigón celular comprende la recepción y verificación de los elementos prefabricados, asegurando su conformidad dimensional y estado superficial.

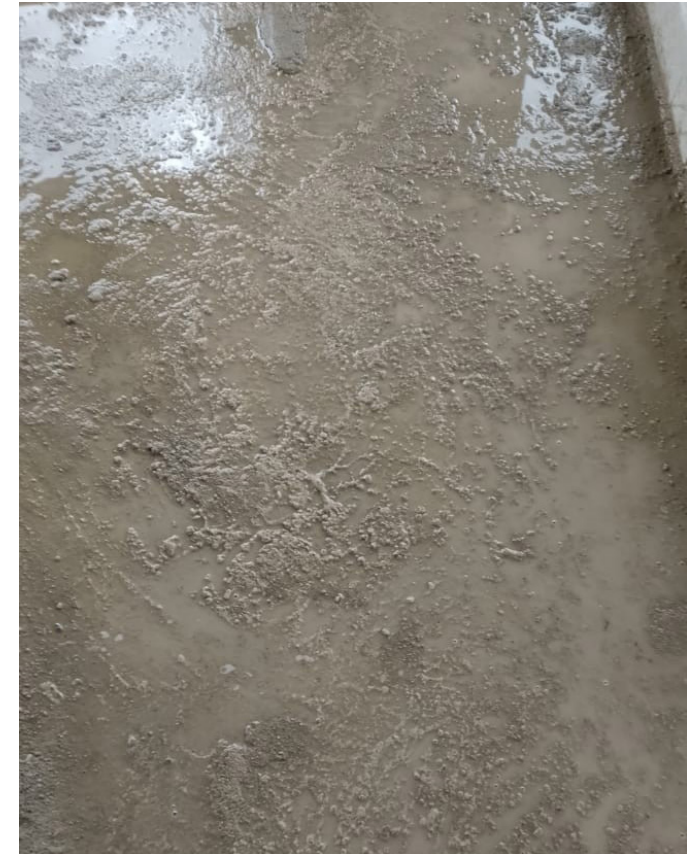
Imagen
Preparación de superficie



7.1.1 Preparación de superficie a implementar los paneles modulares de hormigón celular

Se debe verificar que la base a implementar los paneles se encuentre nivelada y limpia para ello se debe de utilizar herramientas de verificación de nivel de pisos que pueden ser manuales o digitales

Además limpiar la base para una mejor implementación también se recomienda verificar que el piso este libre de cualquier tipo de humedad que puede posteriormente dañar a la estructura metálica como son los perfiles tracks.



Fuente : Autor

7.1.2 Sistema de Transición

Anclajes de perfiles Tracks

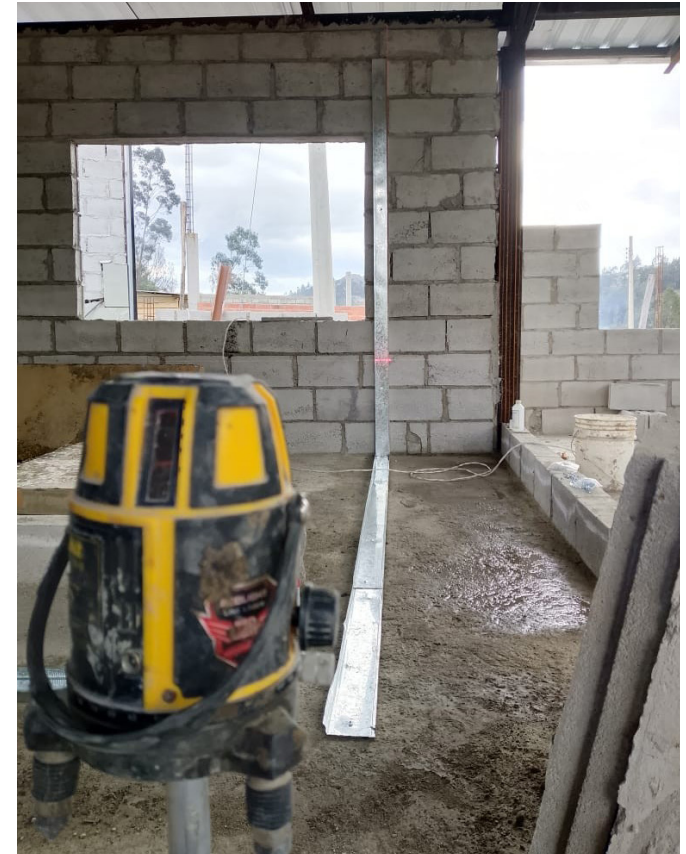
Los perfiles track se anclan a los pisos de hormigón con el objetivo de garantizar la estabilidad, alineación y correcta transmisión de cargas en este sistema constructivo como paneles de hormigón celular. El anclaje se realiza mediante anclajes mecánicos (tacos fisher, tornillos autorroscantes para hormigón)

Imagen
Anclaje de Perfiles



colocados a intervalos regulares, según especificaciones. Previo a la fijación, la superficie del hormigón debe estar limpia, nivelada y libre de polvo o residuos para asegurar una correcta adherencia y apoyo continuo del perfil. También se puede incorporar una banda aislante o cinta acústica entre el perfil track y el piso, con el fin de reducir la transmisión de vibraciones, mejorar el sellado y compensar pequeñas irregularidades.

La correcta instalación de los anclajes permite que los perfiles track funcionen como elemento de transición entre el piso de hormigón y los paneles, asegurando precisión geométrica, seguridad estructural y un adecuado desempeño del sistema constructivo en obra.



Fuente : Autor

7.1.3 Colocación de Paneles

La instalación de paneles modulares de hormigón celular se realiza siguiendo un proceso ordenado que garantiza estabilidad, alineación y buen desempeño constructivo. Los paneles utilizados, de dimensiones 1,20 × 0,60 m y 0,60 × 0,60 m, se colocan de forma trabada, evitando la continuidad de juntas verticales y mejorando el comportamiento estructural del muro.

El proceso inicia con el replanteo y la colocación de perfiles track o guías sobre el piso de hormigón, asegurando su correcta nivelación y anclaje. Posteriormente, los paneles se instalan desde una esquina, aplicando mortero tradicional para hormigón celular en las juntas horizontales y verticales, lo que permite una adecuada adherencia y continuidad del sistema.

Durante la colocación se verifica constantemente la plomada y alineación de los paneles, alternando los formatos para lograr el trabajo. Finalmente, se realizan los ajustes, sellos y refuerzos, obteniendo un sistema constructivo liviano, rápido de ejecutar y con buenas prestaciones térmicas y constructivas.

Imagen
Colocación de paneles



Fuente : Autor

Se utiliza un mortero convencional como junta en paneles de hormigón celular cumple la función de unir, sellar y nivelar los elementos modulares, el correcto desempeño del sistema constructivo. Generalmente se emplea un mortero de pega de capa delgada, formulado específicamente para este tipo de material, lo que permite una adecuada adherencia sin incrementar de forma significativa el peso del muro.

Las juntas de mortero se aplican en los encuentros horizontales y verticales entre paneles, con espesores controlados que aseguran una correcta alineación y reducen la aparición de puentes térmicos. Gracias a la porosidad del hormigón celular, el mortero penetra superficialmente en el material, generando una adhesión eficiente y duradera.

Además de su función de unión, el mortero contribuye al sellado de las juntas, mejorando el comportamiento frente al paso del aire y la humedad, y proporcionando una base uniforme para los acabados posteriores, como enlucidos o revestimientos. Su correcta dosificación y aplicación son fundamentales para mantener la ligereza, estabilidad y eficiencia del sistema de paneles de hormigón celular.

Imagen
Mortero como junta en paneles de hormigón celular



Fuente : Autor

7.1.4 Pared resultante con paneles de hormigón celular

La pared está conformada por paneles modulares de 1,20 m x 0.60 m y 0.60 m x 0.60 m, dispuestos de forma vertical y correctamente alineados. Los paneles se colocan sobre una base nivelada, asegurando una adecuada transmisión de cargas y estabilidad del conjunto.

Imagen

Colocación de paneles



La unión entre los paneles se realiza mediante mortero adhesivo de capa delgada, aplicado en juntas verticales y horizontales, garantizando una conexión. Las juntas presentan espesores controlados, lo que reduce la aparición de fisuras.



La pared ofrece buen comportamiento térmico y acústico, además de resistencia al fuego, características propias del hormigón celular. Finalmente la superficie resultante es uniforme y regular, apta para recibir acabados como enlucidos, o pintura, convirtiéndose en una solución eficiente y funcional para cerramientos interiores no portantes.



Fuente : Autor

Conclusiones

8. Conclusiones

Se ha llegado a la conclusión de que este proyecto de investigación de paneles modulares de hormigón celular son viables por la rápida instalación, el peso de los paneles y los tipos de anclajes que se ha utilizado para esta investigación experimental.

El desarrollo de un material de construcción a base de hormigón celular cumple de manera efectiva con los criterios de sostenibilidad, ligereza y bajo costo planteados en el objetivo, especialmente al compararse con un muro de mampostería tradicional por metro cuadrado. El hormigón celular presenta una reducción significativa de peso propio, lo que disminuye las cargas estructurales y, en consecuencia, el consumo de materiales en la estructura portante. Asimismo, su proceso constructivo optimiza el uso de insumos, reduce desperdicios y mejora el rendimiento en obra, aportando a una construcción más sostenible.

Desde el punto de vista económico, el costo por metro cuadrado del sistema con hormigón celular resulta inferior al de la mampostería tradicional, evidenciando una alternativa viable y competitiva para proyectos de vivienda y edificación en general. Adicionalmente, sus propiedades de aislamiento térmico y facilidad de instalación generan ahorros indirectos en tiempos de ejecución y consumo energético durante la vida útil de la edificación. En conjunto, el hormigón celular se consolida como una solución constructiva eficiente, sostenible y accesible frente a los sistemas tradicionales de mampostería.

Norma del Código del Trabajo (Ecuador)

El Código del Trabajo ecuatoriano establece que está prohibido el transporte manual de cargas cuyo peso sea superior a 175 libras (equivalente a unos 79 kg) cuando toda la carga es soportada por una persona sin ayuda mecánica.

Imagen

Peso de panel de 1.20x0.60 m

Peso 31.23 kg



Fuente : Autor

La Guía Básica de Prevención de Riesgos Laborales en Construcción del Ministerio de Trabajo del Ecuador recomienda que:

- Para trabajo manual de levantamiento y traslado de cargas, el peso generalmente no debe exceder de unos ~23 kg por persona en condiciones normales.

Imagen

Peso de panel de 0.60 x 0.60 m

Peso 18.17 kg



Se cumple con el objetivo 1 que es la determinación de las dimensiones óptimas de largo, ancho y profundidad de los paneles de hormigón celular, junto con el diseño adecuado de sus sistemas de acople, permite garantizar un comportamiento mecánico seguro y eficiente. La correcta proporción dimensional de los paneles facilita una adecuada distribución de cargas, reduce concentraciones de esfuerzos y mejora la estabilidad del sistema constructivo. Asimismo, los acoples optimizados aseguran una correcta transmisión de esfuerzos entre paneles, incrementando la rigidez del conjunto y minimizando el riesgo de fisuración o fallas durante su uso. En conjunto, estos criterios contribuyen a una solución constructiva confiable, ligera y eficiente, adecuada para su aplicación en edificaciones modernas y sostenibles.

En cuanto al objetivo 2, El desarrollo de prototipos de paneles de hormigón celular con diferentes dosificaciones permitió evaluar el comportamiento del material frente a variaciones en su composición, identificando mezclas que optimizan la relación entre resistencia mecánica, peso propio y desempeño funcional. Este proceso facilitó la selección de una dosificación más eficiente, capaz de cumplir con los requerimientos constructivos, sin comprometer las ventajas de ligereza y sostenibilidad propias del hormigón celular. En consecuencia, la experimentación con distintas dosificaciones constituye una base técnica sólida para la estandarización y aplicación segura de los paneles en sistemas constructivos modulares.

Se cumple el objetivo 3 de La evaluación de la variación en la resistencia y el costo de cada uno de los prototipos desarrollados permitió establecer una relación directa entre la dosificación del hormigón celular, su desempeño mecánico y su viabilidad económica. Los resultados evidencian que incrementos en la resistencia suelen implicar mayores costos de producción, mientras que dosificaciones optimizadas logran un equilibrio adecuado entre capacidad resistente y reducción de costos. Este análisis se logró en comparación entre mampostería de paneles de hormigón celular y mampostería tradicional con bloque .

Recomendaciones

9. Recomendaciones

En las recomendaciones se sugieren que se realicen investigaciones futuras relacionadas al tema desarrollado, considerando variables o condiciones (parámetros) que no se consideraron en el trabajo de titulación.

Además es muy importante trabajar en los tiempos establecidos adecuados en la elaboración de los paneles de hormigón celular como son los diferentes parámetros:

9.1. Preparación del espumante .

Se debe tener en cuenta los tiempos del colapso de las burbujas por lo que es muy importante para la elaboración del hormigón celular, de acuerdo a las pruebas realizadas y al espumante utilizado el tiempo máximo de espera después de la preparación del espumante no debe ser mayor a 30 minutos .

Imagen
Prueba de espumante Lavavajillas



Fuente : Autor

9.2. Realización correcta de los encofrados

Los encofrados en la parte muy importante en el proceso de elaboración del hormigón celular por lo que de ello dependerá que los paneles salgan con su forma geométrica perfecta con la que se a diseñado los módulos , por esto utilizar planchas de cualquier formato para que salgan uniformes los paneles , no es recomendable utilizar tablas de encofrado por lo que estos no vienen de la misma dimensión en cuanto al espesor y por lo mismo se forman las líneas en las uniones de las tablas y los paneles no se ven de una manera correcta también es muy importante la utilización de un agente desmoldante como es la utilización de cualquier tipo de aceite o químico desmoldante debe de ser aplicado en toda la zona de los encofrados ya que también de esto depende que el hormigón se desprenda fácilmente de la madera.

Imagen
aplicación de desmoldante en encofrados



Fuente : Autor

9.3. Tiempo adecuado de desencofrado

El desencofrado a tiempo de los paneles de hormigón celular es dentro del proceso de fabricación, ya que influye directamente en la calidad, resistencia y estabilidad dimensional del elemento final. Realizar el desencofrado en el momento adecuado permite que el panel haya alcanzado la resistencia inicial suficiente para mantener su forma sin deformaciones, evitando fisuras, roturas de bordes o colapsos parciales.

Por el contrario, un desencofrado prematuro puede generar rupturas en los paneles, Por ello controlar el tiempo de desencofrado tiene que ser como mínimo 72 horas después de colar el hormigón resulta esencial para asegurar paneles de hormigón celular seguros, durables y de calidad uniforme, aptos para su posterior manipulación e instalación en obra.

Imagen
Desencofrado de panel sin el tiempo adecuado



Fuente : Autor

Referencias

Referencias

1. Neville, A. M. (2011). *Properties of concrete* (5th ed.). Pearson Education Limited.
2. Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). *Concrete: Microstructure, properties, and materials* (4th ed.). McGraw-Hill Education.
3. Taylor, H. F. W. (1997). *Cement chemistry* (2nd ed.). Thomas Telford.
4. Short, A., & Kinniburgh, W. (1978). *Lightweight concrete*. Applied Science Publishers.
5. Narayanan, N., & Ramamurthy, K. (2000). Structure and properties of aerated concrete: A review. *Cement and Concrete Composites*, 22(5), 321–329. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(00\)00016-0](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(00)00016-0)
6. Mindess, S., Young, J. F., & Darwin, D. (2003). *Concrete* (2nd ed.). Prentice Hall.
7. Romero Huiracocha, M. L. (2024). Evaluación de la resistencia a la compresión de bloques de concreto celular no autoclavado reforzado con fibras sintéticas de polipropileno y vidrio.
8. Carrion, F. (2016). La situación de la vivienda en el Ecuador. Documento de análisis sobre el déficit habitacional y condiciones de vivienda (Informe del MIDUVI). Disponible en FLACSO Andes.
9. Global Alliance for Buildings and Construction & United Nations Environment Programme. (2019). 2019
10. Caballon Poemape, M. R. (2021). Plan de mejora en metodología de gestión de prefabricados en la construcción de puentes.
11. Cevallos, M. (2023). *Cómo redactar la introducción en un trabajo de tesis*.
Fernández Botero, M. Á., y Giraldo Hincapié, M. (2024). Variación de acoples mecánicos para la conexión de elementos prefabricados para edificaciones de uno y dos niveles en zonas sísmicas.
12. Gauto, T. A. (2024). Ampliación y optimización de una planta de hormigón celular en la ciudad de resistencia, chaco.
13. Arbito Contreras, G. V. (2016). *Concreto celular para uso estructural*.
14. Cruz Ricardo, R. R., y Anrango Sánchez, C. S. (2023). Estudio comparativo para la fabricación de hormigón celular de densidad 400 kg/m³ con diferentes líquidos espumantes kv-lite afff, sika poro plus, rv 2000-2 y jaboncillo sapindus saponaria. (B.S. thesis). La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2023.



Referencias

15. Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010). Inen 1574: Hormigones. determinación de la resistencia a la compresión [Manual de software informático]. Quito, Ecuador.
16. Lantigua de la Cruz, S. (2015). Pre fabricación ligera por paneles enfocados en la vivienda. Neira, A. C. (2006). Técnicas de medición del trabajo. FC Editorial.
17. Pizarro Ballardo, E. E. (2025). Diseño de kit modular para vivienda progresiva y auto construcción en zonas vulnerables.
18. Regalado González, J., y De la Cruz Hernández, D. (2015). Sistema constructivo basado en hormigón celular y estudio comparativo con el sistema de hormigón tradicional.
19. Sánchez González, J. C. (2016). Construcción modular ligera energéticamente eficiente (Tesis Doctoral no publicada). Arquitectura.
20. Vela Ortiz, J. L., y Díaz Zumaeta, J. H. (2023). Análisis comparativo de tiempos y costos entre sistema constructivo en concreto celular autoclave y sistema constructivo con paneles muros prefabricados de concreto en una vivienda en el distrito de Julcán, provincia de ulcán, departamento de la libertad.
21. Novas Cabrera, J. A. (2010). Sistemas constructivos prefabricados aplicables a la construcción de edificaciones en países en desarrollo (Tesis Doctoral no publicada). Caminos.
22. Romero, J. (20). Paneles para revestimientos de fachadas, fabricados en base a hormigón, con estructura de fibras sintéticas (Master thesis). Universidad Estatal de Cuenca.
23. Sánchez González, J. C. (2016). Construcción modular ligera energéticamente eficiente (Tesis Doctoral no publicada). Arquitectura.
25. Rengifo Cuenca, M. C., & Yupangui Cushicondor, R. V. (2013). Estudio del hormigón celular (Bachelor's thesis, QUITO/EPN/2013).
- Cabrera, O. A. (2013). Caracterización de la durabilidad de hormigones con arenas de trituración.
- Cazalla Vázquez, O. (2002). Morteros de cal: aplicación en el patrimonio histórico (Doctoral dissertation).
- Neville, A. M. (2011). Properties of Concrete (5th ed.). Pearson Education Limited.

ANEXOS

Matriz de consistencia.

MATRIZ DE CONSISTENCIA				
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	MARCO TEÓRICO
¿Se pueden diseñar soluciones estructurales que sean sostenibles y livianas, manteniendo seguridad y eficiencia mecánica?	Diseñar soluciones estructurales que integren criterios de sostenibilidad y bajo peso, garantizando niveles adecuados de seguridad y eficiencia mecánica conforme a las normativas vigentes.	El diseño de soluciones estructurales que integren criterios de sostenibilidad y bajo peso permite garantizar niveles adecuados de seguridad y eficiencia mecánica, cumpliendo con las normativas vigentes para edificaciones.	-VI: Diseño. -VD: agregados.	Diseño mecánico y de control módulos/ dimensiones
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLES	MARCO TEÓRICO
¿Es posible disminuir el tiempo en obra con paneles modulares de hormigón celular en relación con mampostería de bloque?	Disminuir los tiempos de ejecución en obra mediante la implementación de paneles modulares prefabricados de hormigón celular.	La implementación de paneles modulares prefabricados de hormigón celular permite disminuir los tiempos de ejecución en obra, optimizando el proceso constructivo sin afectar la calidad ni la seguridad estructural.	-VI: diseño de dosificaciones para paneles de hormigón celular. -VD: diferentes tipos.	rendimiento en obra m ² / día
¿Es factible diseñar un sistema de montaje en obra para paneles modulares de hormigón celular que reduzca tiempos de instalación y garantice seguridad y precisión estructural?	Diseñar un sistema de anclajes para el montaje en obra para paneles modulares de hormigón celular que reduzca los tiempos de instalación y garantice la seguridad y precisión estructural durante el proceso constructivo.	El diseño de un sistema de montaje en obra para paneles modulares de hormigón celular reduce significativamente los tiempos de instalación y garantiza la seguridad y precisión estructural durante el proceso constructivo.	-VI: Diseño. -VD: aplicaciones y anclajes.	sistema de anclajes
¿Es factible diseñar un sistema de montaje en obra para paneles modulares de hormigón celular que reduzca tiempos de instalación y garantice seguridad y precisión estructural?	Analizar la posibilidad de integrar las propiedades livianas y térmico-acústicas del hormigón celular en el diseño de paneles modulares, con espumantes sin comprometer la instalación y uso en obra.	Es posible integrar las propiedades livianas y térmico-acústicas del hormigón celular con espumantes en el diseño de paneles modulares, sin comprometer su instalación ni su desempeño durante el uso en obra.	-VI: Diseño de diferentes dosificaciones y componentes. -VD: diferentes dosificaciones y componentes.	diferentes dosificación- nes componente

UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA			FACULTAD DE ARQUITECTURA		
DISEÑO DE PANELES MODULARES DE HORMIGÓN CELULAR PARA MUROS DIVISORES DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO EN CUENCA.					
AUTOR: MARCO ANTONIO CORNEJO UYAGUARI TUTOR: ARQ NATALIA MEJIA					
PRUEBA DE ENSAYO DE ESPUMANTES ESPUMANTE 1: Detergente lavavajillas fecha: 4/10/2025					
AGUA	LAVAVAJILLAS	DURACIÓN DE MEZCLADO (MIN)	HERRAMIENTA	TIEMPO DE DURACION DE ESPUMA	VOLUMEN OBTENIDO 20 LIT
1 LITRO	500 g	2 MINUTOS	BATIDORA	14 HORAS	0,02 m3
				<p>EPP: Overol, guantes, gafas, mandil. Herramientas: bandeja de muestra, recipiente de muestras, medidor agua, batidora. Materiales: Espumante tipo lavavajillas de 500 g</p> <p style="text-align: center;">PROCEDIMIENTO</p> <p>Muestreo 1: Se utilizo 1 litro de agua y 500 gramos de lavavajillas para la prueba del espumante, se utiliza una batidora casera para hacer la prueba, luego se continua con el batido de el lavavajillas durante 2 minutos para generar el espumante. Finalmente se deja en reposo para verificar el tiempo de duración de la espuma.</p>	
<p style="text-align: center;">Foto de lavavajillas</p> <p style="text-align: center;">Foto de espumante en reposo</p>					
<p style="text-align: center;">CONDICIONES AMBIENTALES</p> <p>Temperatura ambiente :18 Grados Celsius</p>			<p style="text-align: center;">RESULTADOS</p> <p>Después de dejar un tiempo se verifica que la espuma empieza a desvanecerse después de 14 horas llegando a hacerse liquida finalmente</p>		
CONCLUSIONES					
<p>Las conclusiones de la práctica son importantes, estas se obtienen en referencia a los objetivos establecidos en la práctica, tomando en cuenta los datos que se han obtenido al realizar el ensayo ya que muchas veces no se verifica el tiempo de duración y el costo del espumante que es muy importante para poder utilizar finalmente en el hormigón celular, y en este caso se llega a concluir que el costo es de 0.50 centavos por 20 litros de espuma y es conveniente utilizar este agente espumante</p>					

DISEÑO DE PANELES MODULARES DE HORMIGÓN CELULAR PARA MUROS DIVISORES DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO EN CUENCA.

PRUEBA DE ENSAYO DE ESPUMANTES

ESPUMANTE 2: Detergente Ciclón fecha : 4/10/2025

AGUA	ciclón	DURACIÓN DE MEZCLADO (MIN)	HERRAMIENTA	TIEMPO DURACION DE ESPUMA	VOLUMEN OBTENIDO 18LIT
LITRO	500 g	2 MINUTOS	BATIDORA	6 HORAS	0,018 m ³



Foto de espumante en reposo



Foto de agente espumante

EPP: Overol, guantes, gafas, mandil. **Herramientas:** bandeja de muestra, recipiente de muestras, medidor agua, batidora.

Materiales: Espumante detergente ciclón de 500 g

PROCEDIMIENTO

Muestreo 1: Se utilizo 1 litro de agua y 500 gramos de detergente ciclón para la prueba del espumante, se utiliza una batidora casera para hacer la prueba, luego se continua con el batido del detergente durante 2 minutos para generar el espumante. Finalmente se deja en reposo para verificar el tiempo de duración de la espuma.



CONDICIONES AMBIENTALES
temperatura ambiente :18 Grados Celsius

RESULTADOS

Después de dejar un tiempo se verifica que la espuma empieza a desvanecerse después de 6 horas llegando a hacerse liquida finalmente

CONCLUSIONES

Las conclusiones de la práctica son importantes, estas se obtienen en referencia a los objetivos establecidos en la práctica, tomando en cuenta los datos que se han obtenido al realizar el ensayo ya que muchas veces no se verifica el tiempo de duración y el costo del espumante que es muy importante para poder utilizar finalmente en el hormigón celular, y en este caso se llega a concluir que el costo es de 1.00 por 20 litros de espuma además el tiempo de duración de la espuma dura poco y no resistiría las burbujas para generar el hormigón celular y nos es conveniente utilizar este agente espumante.

UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA			FACULTAD DE ARQUITECTURA		
DISEÑO DE PANELES MODULARES DE HORMIGÓN CELULAR PARA MUROS DIVISORES DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO EN CUENCA.					
PRUEBA DE ENSAYO DE ESPUMANTES					
ESPUMANTE 3: Texapol, Glicerina			fecha : 10/10/2025		
AGUA	Texapol 50 ml Glicerina 500 ml	DURACIÓN DE MEZCLADO (MIN)	HERRAMIENTA	TIEMPO DURACION DE ESPUMA	VOLUMEN OBTENIDO
1 LITRO	550 ml	2 MINUTOS	BATIDORA	16 HORAS	20 litros 0,02m3
				<p>EPP: Overol, guantes, gafas, mandil. Herramientas: bandeja de muestra, recipiente de muestras, medidor agua, batidora. Materiales: Espumante Texapol, Glicerina</p> <p style="text-align: center;">PROCEDIMIENTO</p> <p>Muestreo 1: Se utilizo 1 litro de agua y 50 ml de texapol con 500 ml de glicerina para la prueba del espumante, se utiliza una batidora casera para hacer la prueba, luego se continua con el batido de los componentes durante 2 minutos para generar el espumante. Finalmente se deja en reposo para verificar el tiempo de duración de la espuma.</p>	
<p>CONDICIONES AMBIENTALES Temperatura ambiente :18 Grados Celsius</p>			<p>RESULTADOS Después de dejar un tiempo se verifica que la espuma empieza a desvanecerse después de 16 horas llegando a hacerse liquida finalmente</p>		
CONCLUSIONES					
<p>Las conclusiones de la práctica son importantes, estas se obtienen en referencia a los objetivos establecidos en la práctica, tomando en cuenta los datos que se han obtenido al realizar el ensayo ya que muchas veces no se verifica el tiempo de duración y el costo del espumante que es muy importante para poder utilizar finalmente en el hormigón celular, y en este caso se llega a concluir que el costo es de 11.50 dólares por 20 litros a pesar que el tiempo de duración es el optimo para generar el hormigón celular pero el costo es muy elevado por lo encarece el costo final del panel del hormigón celular.</p>					

DISEÑO DE PANELES MODULARES DE HORMIGÓN CELULAR PARA MUROS DIVISORES DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO EN CUENCA.

AUTOR: MARCO ANTONIO CORNEJO UYAGUARI
TUTOR: ARQ NATALIA MEJIA

PRUEBA 1 DE MODULO 60X60X0.05 cm

ESPUMANTE 1: Detergente Ciclón Fecha :10/10/2025

Cemento	Arena	Cal	Agua	Espumante	Temperatura	Volumen	Peso especifico
2.5kg	6.81kg	0.05 kg	14.62 litros	3,76 L (0,0037 m3)	18	0.018 m3	28.2 kg



Herramientas



Balanza manual



Modulo 60x60x0.05m



ruptura de modulo

EPP: Overol, guantes, gafas, mandil.

Herramientas: bandeja de muestra, recipiente de muestras, medidor agua, batidora balanza manual Flexómetro, libró de obra.

Materiales: Cemento tipo GU, cal, espumante, encofrados

PROCEDIMIENTO

Se comenzó haciendo un encofrado de 0.60x0.60x0.05 vaciar el hormigón celular, posteriormente se realiza el espumante, después se hace la mezcla de cemento arena, cal, agua finalmente se añade el espumante y se mezcla con una batidora y se obtiene la mezcla final para verterlo en el encofrado. Se deja que se seque a temperatura ambiente para verificar el peso posteriormente.

DISEÑO DE PANELES MODULARES DE HORMIGÓN CELULAR PARA MUROS DIVISORES DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO EN CUENCA.

AUTOR: MARCO ANTONIO CORNEJO UYAGUARI

TUTOR: ARQ NATALIA MEJIA

PRUEBA 3 DE MODULO 60X60X0.09 cm
 ESPUMANTE 3: ESPUMANTE CON GLICERINA Y TEXAPOL
 05 /11/2025

Cemento	Arena	Yeso	Agua	Espumante	Temperatura	Volumen	Peso especifico
9 kg	9 kg	2.20 kg	7,60 litros	3,96 L (0,00396 m3)	16	0.036 m3	29 kg



Espumante con Texapon y Glicerina

EPP: Overol, guantes, gafas, mandil.

Herramientas: bandeja de muestra, recipiente de muestras, medidor agua, batidora balanza manual Flexómetro, libró de obra.

Materiales: **Cemento tipo GU, cal, espumante, encofrados**

PROCEDIMIENTO

Se comenzó haciendo un encofrado de 0.60x0.60x0.09 vaciar el hormigón celular, posteriormente se realiza el espumante, después se hace la mezcla de cemento arena, cal, agua finalmente se añade el espumante y se mezcla con una batidora y se obtiene la mezcla final para verterlo en el encofrado.

Se deja que se seque a temperatura ambiente para verificar el peso posteriormente.



tres elementos

Modulo resultante de 60x60x0.09 cm

CONDICIONES AMBIENTALES

Temperatura ambiente :18 Grados Celsius

RESULTADOS

Después de dejar 8 horas se realiza el desencofrado para dejarlo que se seque y verificar el peso final y la resistencia del panel y finalmente a los 15 días se verifica la resistencia de forma empírica y el módulo fracaso.

Conclusiones

El módulo final después del desencofrado y secado llega a un peso final de 29 kg y al hacer la prueba de rotura manualmente a una altura de 0,90 cm y dejarla caer el modulo no se rompe y sirve para poder instalarlo posteriormente en obra.

DISEÑO DE PANELES MODULARES DE HORMIGÓN CELULAR PARA MUROS DIVISORES DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO EN CUENCA.

AUTOR: MARCO ANTONIO CORNEJO UYAGUARI

TUTOR: ARQ NATALIA MEJIA

PRUEBA 3 DE MODULO 120X120X0.09 cm
ESPUMANTE 1: LAVAVAJILLAS
15/11/2025

Cemento	Arena	Yeso	Agua	Espumante	Temperatura	Volumen	Peso específico
3.9	3.6 KG	0.78 kg	7,60 litros	3,96 L (0,00396 m3)	16	0.036 m3	29 kg



EPP: Overol, guantes, gafas, mandil.

Herramientas: bandeja de muestra, recipiente de muestras, medidor agua, batidora balanza manual Flexómetro, libró de obra.

Materiales: Cemento tipo GU, cal, espumante, encofrados

PROCEDIMIENTO

Se comenzó haciendo un encofrado de 1.20x1.20x0.09 m vaciar el hormigón celular, posteriormente se realiza el espumante, después se hace la mezcla de cemento arena, agua finalmente se añade el espumante y se mezcla con una batidora y se obtiene la mezcla final para verterlo en el encofrado.

También se deja un anclaje y agujeros para instalaciones eléctricas al momento de instalaciones en obra.

Se deja que se seque a temperatura ambiente para verificar el peso posteriormente.



Módulos de 60x 120 cm con agujeros de 5 cm de diámetro



Módulos finales

CONDICIONES AMBIENTALES

Temperatura ambiente :18 Grados Celsius

RESULTADOS

Después de dejar 8 horas se realiza el desencofrado para dejarlo que se seque y verificar el peso final y la resistencia del panel y finalmente a los 15 días se verifica la resistencia de forma empírica y el módulo fracasa en el desencofrado del mismo..

Conclusiones

El módulo final después del desencofrado a llegado a fracasar por falta de secado y por desencofrado antes del tiempo

