



UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DE CUENCA

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERIA,  
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE ARQUITECTURA**

**ELABORACIÓN DE UN PROTOTIPO DE PANEL  
PREFABRICADO DE HORMIGÓN, COMO ELEMENTO  
ALTERNATIVO PARA EL RECUBRIMIENTO DE LAS  
FACHADAS**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE ARQUITECTO**

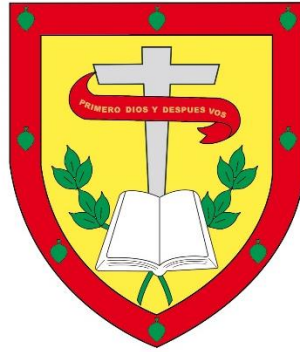
**AUTOR: DANNY PATRICIO QUIZHPI FAREZ**

**DIRECTOR: ARQ. RAFAEL ENRIQUE BORJA POZO**

**CUENCA - ECUADOR**

**2024**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA INGENIERIA, INDUSTRIA Y  
CONSTRUCCIÓN.**

**CARRERA DE ARQUITECTURA.**

**ELABORACIÓN DE UN PROTOTIPO DE PANEL PREFABRICADO  
DE HORMIGÓN, COMO ELEMENTO ALTERNATIVO PARA EL  
RECUBRIMIENTO DE LAS FACHADAS**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE ARQUITECTO.**

**AUTOR: DANNY PATRICIO QUIZHPI FAREZ.**

**DIRECTOR: ARQ. RAFAEL ENRIQUE BORJA POZO.**

**CUENCA - ECUADOR**

**2024**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**

## DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD

Yo, Danny Patricio Quizhpi Farez portador de la cédula de ciudadanía N° 0107322273. Declaro ser el autor de la obra: “Elaboración de un prototipo de panel prefabricado de hormigón, como elemento alternativo para el recubrimiento de las fachadas”, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 9 de octubre de 2024



F: .....

Danny Patricio Quizhpi Farez  
0107322273

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Danny Patricio Quizhpi Farez, bajo mi supervisión.

Cuenca, 9 de octubre de 2024

---

**Arq. Rafael Enrique Borja Pozo.**

**DIRECTOR**

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a Dios, quien ha sido mi guía y fortaleza en cada paso de este camino. A mi abuelo, que en paz descanse, por inculcarme el valor del trabajo duro y la perseverancia. A mi difunto padre, por enseñarme que el esfuerzo siempre trae recompensas. Y, especialmente, a mi madre, cuya dedicación y esfuerzo diario han sostenido y cuidado de nuestra familia. Su amor y sacrificio son los cimientos de todos mis logros.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi familia, especialmente a mis padres y hermanas, quienes me apoyaron incondicionalmente durante todo este proceso. Su amor y aliento fueron fundamentales para seguir adelante.

A mis amigos, quienes siempre estuvieron a mi lado con sus palabras de apoyo y aliento, especialmente en esos momentos en los que sentía que no podía continuar. Su presencia hizo la diferencia.

A mi director de tesis, el arquitecto Rafael Borja, por su invaluable apoyo y guía en la elaboración de este trabajo. Su experiencia y consejos fueron cruciales para el desarrollo de esta investigación. Al ingeniero Juan Monge, quien me orientó en el desarrollo de las pruebas de laboratorio. Su conocimiento y dedicación fueron de gran ayuda.

## RESUMEN

La problemática de la investigación se centra en la falta de procesos industrializados y un sistema constructivo eficiente de paneles prefabricados utilizados para el recubrimiento de fachadas. El objetivo principal de este estudio es desarrollar un prototipo de panel prefabricado que sirva como alternativa viable para el revestimiento de fachadas. La estrategia metodológica adoptada se basa en un análisis de referentes exitosos, enfocándose en la identificación de especificaciones, dosificaciones y técnicas empleadas en sistemas constructivos similares. Para desarrollar el prototipo, se implementa un enfoque experimental que incluye pruebas de laboratorio, donde se evalúan diferentes combinaciones de materiales para asegurar la viabilidad y resistencia del panel propuesto. Este proceso experimental se complementa con un análisis comparativo de metodologías previas, lo que permite identificar mejoras y adaptaciones necesarias para optimizar el diseño del prototipo. Además, se desarrollan propuestas de anclaje y acabados, asegurando que el panel cumpla con los estándares de calidad y funcionalidad requeridos. Al concluir la investigación, se espera que los hallazgos incluyan la identificación de procedimientos óptimos para la fabricación del panel y propuestas de anclaje eficientes, fomentando así un uso más efectivo de los prefabricados en proyectos nuevos y en la renovación de revestimientos de fachadas existentes. Este trabajo no solo busca ser un recurso aplicable en la construcción, sino también contribuir a la industrialización del sector, reduciendo la brecha existente en conocimientos y prácticas en la elaboración de paneles prefabricados.

*Palabras clave:* fachada, prefabricados, industrialización, materiales compuestos, mortero.

## **ABSTRACT**

The research problem focuses on the lack of industrialized processes and an efficient construction system for prefabricated panels used for facade cladding. This study aims to develop a prototype of a prefabricated panel that is a viable alternative for facade coverings. The adopted methodological strategy is based on an analysis of successful references, concentrating on identifying specifications, dosages, and techniques employed in similar construction systems. In order to develop the prototype, an experimental approach is implemented, which includes laboratory tests where different combinations of materials are evaluated to ensure the viability and strength of the proposed panel. This experimental process is complemented by a comparative analysis of previous methodologies, allowing for the identification of necessary improvements and adaptations to optimize the design of the prototype. Additionally, proposals for anchoring and finishing are developed to ensure that the panel meets the required quality and functionality standards. Upon concluding the research, it is expected that the findings will include the identification of optimal procedures for the panel's manufacturing and efficient anchoring proposals, thereby promoting a more effective use of prefabricated elements in new projects and the renovation of existing facade claddings. This work aims not only to be an applicable resource in construction but also to contribute to the industrialization of the sector, reducing the existing gap in knowledge and practices in producing prefabricated panels.

*Keywords:* facade, prefabricated, industrialization, composite materials, mortar.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD.....	I
CERTIFICACIÓN .....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
RESUMEN.....	V
ABSTRACT.....	VI
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	VII
LISTA DE FIGURAS.....	IX
LISTA DE TABLAS .....	XII
LISTA DE ANEXOS.....	XIII
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>- 3 -</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>- 3 -</b>
1.1 PREÁMBULO .....	- 4 -
1.2 ANTECEDENTES.....	- 5 -
1.3 EL PROBLEMA.....	- 7 -
1.4 JUSTIFICACIÓN .....	- 10 -
1.5 OBJETIVOS.....	- 11 -
1.6 METODOLOGÍA.....	- 12 -
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>- 15 -</b>
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>- 15 -</b>
2.1 CONSTRUCCIÓN CON PREFABRICADOS.....	- 16 -
2.2 ORÍGENES Y EVOLUCIÓN DE LOS PANELES PREFABRICADOS .....	- 28 -
2.3 MODIFICACIÓN DE LO EXISTENTE CON PREFABRICADOS. ....	- 30 -
2.4 INNOVACIÓN EN REVESTIMIENTOS DE FACHADAS .....	- 32 -
2.5 IMPACTO SOCIOECONÓMICO Y CULTURAL DEL DETERIORO DE FACHADAS .....	- 35 -
2.6 PANELES PREFABRICADOS .....	- 36 -
2.7 RECUBRIMIENTO DE FACHADAS .....	- 37 -
2.8 EL DISEÑO Y LOS PANELES PREFABRICADOS.....	- 38 -
2.9 LA SOSTENIBILIDAD Y LOS PANELES PREFABRICADOS .....	- 39 -
2.10 CASOS REFERENTES.....	- 40 -
2.11 CONSIDERACIONES PARA EL DESARROLLO DE LA PROPUESTA .....	- 59 -
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>- 62 -</b>
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS (METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN) .....</b>	<b>- 62 -</b>
3.1 MATERIALES.....	- 63 -
3.2 CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO FINO.....	- 67 -
3.3 DOSIFICACIÓN DE MATERIALES.....	- 72 -
3.4 ENSAYOS DE RESISTENCIA MECÁNICA .....	- 76 -
3.5 ENSAYOS DE RESISTENCIA FÍSICA .....	- 83 -
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>- 87 -</b>
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>- 87 -</b>

4.1	EL PANEL .....	- 88 -
4.2	ANCLAJES .....	- 93 -
4.3	ACABADOS .....	- 103 -
4.4	FORMATOS DE PANELES PARA REMATES. ....	- 119 -
4.5	COSTO DE APLICACIÓN DEL PANEL. ....	- 123 -
4.6	VALOR AGREGADO DE LA PROPUESTA. ....	- 126 -
<b>CAPÍTULO V .....</b>		<b>- 128 -</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>- 128 -</b>
5.1	CONCLUSIONES .....	- 129 -
5.2	RECOMENDACIONES .....	- 130 -
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>		<b>- 131 -</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>- 140 -</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> <i>Proceso de enlucido de pared</i> .....	- 6 -
<b>Figura 2:</b> <i>Desperdicios de construcción contaminando el medio natural</i> .....	- 7 -
<b>Figura 3:</b> <i>Desprendimiento de revestimientos de fachada</i> .....	- 8 -
<b>Figura 4:</b> <i>Escombrera temporal en Rayoloma a 550 metros del redondel del Hospital-IESS</i> .....	- 9 -
<b>Figura 5:</b> <i>Comparación constructiva del periodo Románico y Gótico.</i> .....	- 16 -
<b>Figura 6:</b> <i>Polietileno</i> .....	- 18 -
<b>Figura 7:</b> <i>Mortero polimérico (Brickaffix)</i> .....	- 19 -
<b>Figura 8:</b> <i>Esquema de fabricación de productos</i> .....	- 21 -
<b>Figura 9:</b> <i>Fabricación del adobe</i> .....	- 24 -
<b>Figura 10:</b> <i>Configuración básica de un compuesto</i> .....	- 25 -
<b>Figura 11:</b> <i>Configuración de los refuerzos en un material compuesto</i> .....	- 26 -
<b>Figura 12:</b> <i>Comparativa de propiedades de hormigón armado in situ con hormigón pretensad</i> -	28 -
<b>Figura 13:</b> <i>La Ópera de Sídney en construcción en 1966</i> .....	- 29 -
<b>Figura 14:</b> <i>Fachada con planes prefabricados texturizados</i> .....	- 31 -
<b>Figura 15:</b> <i>Ladrillo visto en la Casa CM de Sergio Zalamea</i> .....	- 33 -
<b>Figura 16:</b> <i>Proceso de enlucido de pared</i> .....	- 33 -
<b>Figura 17:</b> <i>Montaje de pared prefabricada</i> .....	- 34 -
<b>Figura 18:</b> <i>Hotel Shoreditch</i> .....	- 34 -
<b>Figura 19:</b> <i>Prueba de compresión de probeta de hormigón</i> .....	- 35 -
<b>Figura 20:</b> <i>Edificio IBM en Madrid</i> .....	- 36 -
<b>Figura 21:</b> <i>Conjunto Residencial Spatrul Preda</i> .....	- 37 -
<b>Figura 22:</b> <i>Edificio de Oficinas Ante jardín</i> .....	- 38 -
<b>Figura 23:</b> <i>Edificio 1200 Intrepid</i> .....	- 39 -
<b>Figura 24:</b> <i>Encofrado referente 1</i> .....	- 43 -
<b>Figura 25:</b> <i>Arena y grava según la dosificación referente 1</i> .....	- 43 -
<b>Figura 26:</b> <i>Arena, grava y cemento dosificado referente 1</i> .....	- 43 -
<b>Figura 27:</b> <i>Arena, grava, cemento y agua según la dosificación referente 1</i> .....	- 44 -
<b>Figura 28:</b> <i>Arena, grava, cemento y agua según la dosificación referente 1</i> .....	- 44 -
<b>Figura 29:</b> <i>Adición de Espumaflex a la mezcla de hormigón referente 1</i> .....	- 44 -
<b>Figura 30:</b> <i>Mezclado de hormigón con aligerante (Espumaflex) referente 1</i> .....	- 45 -
<b>Figura 31:</b> <i>Vertido de la mezcla aligerada sobre el molde referente 1</i> .....	- 45 -
<b>Figura 32:</b> <i>Esparcimiento de la mezcla en el molde referente 1</i> .....	- 45 -
<b>Figura 33:</b> <i>Nivelado de la mezcla en el molde referente 1</i> .....	- 46 -
<b>Figura 34:</b> <i>Modulación de prefabricados referente 1</i> .....	- 48 -
<b>Figura 35:</b> <i>Diferentes tamaños de los moldes</i> .....	- 48 -
<b>Figura 36:</b> <i>Esquema de aplicación referente 1</i> .....	- 49 -
<b>Figura 37:</b> <i>Estructura del encofrado referente 2</i> .....	- 50 -
<b>Figura 38:</b> <i>Encofrado utilizado referente 2</i> .....	- 50 -
<b>Figura 39:</b> <i>Materiales para la elaboración de los paneles referente 2</i> .....	- 50 -
<b>Figura 40:</b> <i>Colocación de la mezcla en los moldes referente 2</i> .....	- 51 -
<b>Figura 41:</b> <i>Nivelación y alisado de la superficie de los paneles con codal de madera referet 2</i> -	51 -
<b>Figura 42:</b> <i>Segregación en los paneles de 20% y 50% plástico pet referente 2</i> .....	- 51 -
<b>Figura 43:</b> <i>Fraguado final de los paneles de mortero referente 2</i> .....	- 52 -
<b>Figura 44:</b> <i>Paneles de mortero en estado de endurecimiento referente 2</i> .....	- 52 -
<b>Figura 45:</b> <i>Moldes para los paneles referente 2</i> .....	- 54 -
<b>Figura 46:</b> <i>Viguetas prefabricadas referente 2</i> .....	- 54 -
<b>Figura 47:</b> <i>Pesado de materiales referente 3</i> .....	- 55 -
<b>Figura 48:</b> <i>Agregado de materiales a la mezcladora referente 3</i> .....	- 55 -
<b>Figura 49:</b> <i>Agregado de plastificante, papel periódico para mezclarlo por 1,5 minutos ref 3</i> .....	- 56 -
<b>Figura 50:</b> <i>Colocado de la malla como refuerzo referente 3</i> .....	- 56 -
<b>Figura 51:</b> <i>Alisado final referente 3</i> .....	- 57 -

<b>Figura 52:</b> Sistema de machimbrado en el Panel referente 3.....	- 58 -
<b>Figura 53:</b> Cemento Guapán.....	- 64 -
<b>Figura 54:</b> Árido fino (arena de río) .....	- 64 -
<b>Figura 55:</b> Tamices.....	- 65 -
<b>Figura 56:</b> Balanza electrónica.....	- 65 -
<b>Figura 57:</b> Horno.....	- 66 -
<b>Figura 58:</b> Moldes para probetas .....	- 66 -
<b>Figura 59:</b> Maquina de compresión.....	- 66 -
<b>Figura 60:</b> Árido fino secada durante 24 horas .....	- 67 -
<b>Figura 61:</b> Tamizado de agregado fino .....	- 68 -
<b>Figura 62:</b> Tamizadora .....	- 68 -
<b>Figura 63:</b> Consistencia del árido fino.....	- 69 -
<b>Figura 64:</b> Pesado del picnómetro con agua .....	- 70 -
<b>Figura 65:</b> Pesado de la muestra dentro del picnómetro con agua .....	- 70 -
<b>Figura 66:</b> Pesado de componentes para probetas.....	- 76 -
<b>Figura 67:</b> Aplicación de aceite quemado a los moldes.....	- 77 -
<b>Figura 68:</b> Mezclado de materiales para probetas.....	- 77 -
<b>Figura 69:</b> Rellenado de moldes .....	- 78 -
<b>Figura 70:</b> Probetas desmoldadas .....	- 78 -
<b>Figura 71:</b> Ensayo de compresión.....	- 79 -
<b>Figura 72:</b> Ensayo de flexión.....	- 81 -
<b>Figura 73:</b> Sección sana de probetas ensayadas a flexión .....	- 83 -
<b>Figura 74:</b> Secado de probetas.....	- 84 -
<b>Figura 75:</b> Probetas sumergidas 5mm en agua .....	- 84 -
<b>Figura 76:</b> Pesaje de probetas .....	- 85 -
<b>Figura 77:</b> Fabricación de encofrado para prototipo .....	- 88 -
<b>Figura 78:</b> Aplicación de aceite al molde .....	- 89 -
<b>Figura 79:</b> Mezclado de los componentes .....	- 89 -
<b>Figura 80:</b> Adición de agua a la mezcla .....	- 90 -
<b>Figura 81:</b> Aplicación de aceite al molde .....	- 90 -
<b>Figura 82:</b> Nivelación de la mezcla con codal.....	- 91 -
<b>Figura 83:</b> Nivelación de la mezcla con codal.....	- 91 -
<b>Figura 84:</b> Desmolde del horigón. ....	- 91 -
<b>Figura 85:</b> Prototipo de panel 1:1 .....	- 92 -
<b>Figura 86:</b> Propuesta de anclaje 1 .....	- 95 -
<b>Figura 87:</b> Propuesta de anclaje 2 .....	- 95 -
<b>Figura 88:</b> Propuesta de anclaje 3 .....	- 96 -
<b>Figura 89:</b> Propuesta de anclaje 4 .....	- 96 -
<b>Figura 90:</b> Propuesta de anclaje 5 .....	- 97 -
<b>Figura 91:</b> Propuesta de anclaje 6 .....	- 97 -
<b>Figura 92:</b> Propuesta de anclaje 7 .....	- 98 -
<b>Figura 93:</b> Propuesta de anclaje 8 .....	- 98 -
<b>Figura 94:</b> Propuesta de anclaje 9 .....	- 99 -
<b>Figura 95:</b> Propuesta de anclaje 10 .....	- 99 -
<b>Figura 96:</b> Propuesta de anclaje 11 .....	- 100 -
<b>Figura 97:</b> Propuesta de anclaje 12 .....	- 100 -
<b>Figura 98:</b> Propuesta de anclaje 13 .....	- 101 -
<b>Figura 99:</b> Propuesta de anclaje 14 .....	- 101 -
<b>Figura 100:</b> Propuesta de anclaje 15 .....	- 102 -
<b>Figura 101:</b> Esquema general de remate en esquina, remate superior y remate inferior .....	- 119 -
<b>Figura 102:</b> Sección de paneles para esquinas de 60°, 90° y 135° .....	- 120 -
<b>Figura 103:</b> Esquema en esquina de 60° .....	- 121 -
<b>Figura 104:</b> Esquema en esquina de 90° .....	- 121 -

<b>Figura 105:</b> Esquema en esquina de 135° .....	- 121 -
<b>Figura 106:</b> Sección de paneles para remates inferiores .....	- 122 -
<b>Figura 107:</b> Sección de paneles para remates superiores .....	- 122 -
<b>Figura 108:</b> Casa UK.....	- 126 -
<b>Figura 109:</b> Banco de Guayaquil.....	- 126 -

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Dosificación para 1 m <sup>3</sup> de hormigón de resistencia 180 kg/cm <sup>2</sup> .....	- 46 -
<b>Tabla 2:</b> Dosificación para un panel de hormigón (0,60m x 0,90m x 0,04m) de resistencia de 180 kg/cm <sup>2</sup> .....	- 47 -
<b>Tabla 3:</b> Cantidad de material para el encofrado. ....	- 48 -
<b>Tabla 4:</b> Proporciones para la elaboración de 1 m <sup>3</sup> de mortero, mezcla del panel de 20% plástico, 80% arena natural .....	- 53 -
<b>Tabla 5:</b> Características del superplastificante utilizado. ....	- 53 -
<b>Tabla 6:</b> Resistencia del hormigón a los 7, 14 y 28 días. ....	- 57 -
<b>Tabla 7:</b> Tipos de encofrados. ....	- 58 -
<b>Tabla 8:</b> Clasificación de los materiales cementantes. ....	- 63 -
<b>Tabla 9:</b> Granulometría del árido. ....	- 68 -
<b>Tabla 10:</b> Datos método gravimétrico de arena. ....	- 71 -
<b>Tabla 11:</b> Dosificación de tres tipos de mortero (N, S y M) según la norma ASTM C1329 (2004). ....	- 72 -
<b>Tabla 12:</b> Dosificación de materiales para elaborar 1m <sup>3</sup> de mortero con una resistencia de 120 kg/cm <sup>2</sup> .....	- 74 -
<b>Tabla 13:</b> Cantidad de material para nueve probetas de 50 mm de arista. ....	- 76 -
<b>Tabla 14:</b> Resultados de ensayo a compresión mortero patrón.....	- 79 -
<b>Tabla 15:</b> Resultados de ensayo a compresión mortero con fibra al 2% del peso seco de la mezcla. ....	- 80 -
<b>Tabla 16:</b> Resultados de ensayo a compresión mortero con fibra al 0,5% del peso del cemento. ....	- 80 -
<b>Tabla 17:</b> Resultados de ensayo a compresión mortero con fibra al 0,027% del peso seco de la mezcla (recomendado por el fabricante).....	- 80 -
<b>Tabla 18:</b> Resultados de ensayo a flexión mortero patrón. ....	- 81 -
<b>Tabla 19:</b> Resultados de ensayo a flexión mortero con fibra al 2% del peso seco de la mezcla. ....	- 82 -
<b>Tabla 20:</b> Resultados de ensayo a flexión mortero con fibra al 0,5% del peso del cemento. ....	- 82 -
<b>Tabla 21:</b> Resultados de ensayo a flexión mortero con fibra al 0,027% del peso seco de la mezcla (recomendado por el fabricante). ....	- 82 -
<b>Tabla 22:</b> Coeficiente de absorción por capilaridad a probetas con 28 días de curado. ....	- 85 -
<b>Tabla 23:</b> Cantidad de material para prototipo de 100cm x 100cm x 1,8 cm. ....	- 89 -
<b>Tabla 24:</b> Acabados con texturas llanas que se pueden emplear en los paneles prefabricados de hormigón, en dimensiones de “1m x 1m” y “2m x 1m”. ....	- 103 -
<b>Tabla 25:</b> Acabados con texturas en 3D que se pueden emplear en los paneles prefabricados de hormigón, en dimensiones de “1m x 1m” y “2m x 1m”. ....	- 108 -
<b>Tabla 26:</b> Tipos de paneles según el tamaño.....	- 120 -
<b>Tabla 27:</b> Costos de acabados para fachadas en Cuenca- Ecuador.....	- 124 -
<b>Tabla 28:</b> Costos de materiales y mano de obra.....	- 124 -
<b>Tabla 29:</b> Costos de fabricación de un panel de 1m x 1m x 1,5cm.....	- 124 -

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo 1:</b> Probeta con la mejor resistencia a compresión a los 7 días de curado. ....	- 140 -
<b>Anexo 2:</b> Probeta con la mejor resistencia a compresión a los 14 días de curado. ....	- 141 -
<b>Anexo 3:</b> Probeta con la mejor resistencia a compresión a los 28 días de curado. ....	- 142 -
<b>Anexo 4:</b> Probeta con la mejor resistencia a flexión a los 7 días de curado. ....	- 143 -
<b>Anexo 5:</b> Probeta con la mejor resistencia a flexión a los 14 días de curado. ....	- 144 -
<b>Anexo 6:</b> Probeta con la mejor resistencia a flexión a los 28 días de curado. ....	- 145 -
<b>Anexo 7:</b> APU de enlucido vertical tarrajado.....	- 146 -
<b>Anexo 8:</b> APU de Empaste exterior.....	- 146 -
<b>Anexo 9:</b> APU de Pintura de caucho exterior.....	- 146 -
<b>Anexo 10:</b> APU de revestimiento de piedra busardeada (mortero 1:3). ....	- 147 -
<b>Anexo 11:</b> APU de cerámica para pared.....	- 147 -
<b>Anexo 12:</b> APU de revestimiento interior perfil 1 5/8" galvanizado no estructural plancha cementicia fibrocemento 11mm. ....	- 148 -
<b>Anexo 13:</b> APU de revestimiento perimetral metalpol acuapanel cementicio 12.5mm. ....	- 148 -
<b>Anexo 14:</b> APU Mortero cemento: arena 1:3. ....	- 148 -
<b>Anexo 15:</b> APU de Encofrado y desencofrado con tablero contrachapado.....	- 149 -

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN



## 1.1 Preámbulo

En este capítulo se establece la problemática y el diseño de la investigación sobre el uso de paneles prefabricados como alternativa para el recubrimiento de fachadas. Además, se explora cómo la implementación de estos paneles puede impactar en la duración de las obras. La problemática surge a partir de la inserción de nuevos materiales en la construcción, pero sin que se adopten nuevos métodos de aplicación, lo que resulta en contaminación ambiental y aplicación deficiente de los métodos de revestimiento tradicionales. Esta situación conduce gradualmente a la degradación de las edificaciones debido a la falta de métodos de renovación que no impliquen altos costos, lo que plantea importantes desafíos medioambientales generados por los escombros. Los antecedentes revelan prácticas constructivas deficientes al no emplear el método de prefabricados en fachadas. Esta metodología obsoleta ayuda a comprender la magnitud del problema y su evolución si no se adoptan nuevos métodos constructivos de manera adecuada para mejorar la eficiencia en obra. El presente proyecto se fundamenta en la importancia de efectuar y optimizar soluciones técnicas que ayuden a mitigar los efectos negativos asociados a los métodos constructivos tradicionales. En consecuencia, se propone la aplicación del sistema de prefabricación en fachadas para optimizar el tiempo de aplicación de los revestimientos. Esta solución busca reducir los tiempos en la aplicación de acabados y establecer un modelo replicable para su implementación tecnificada en edificaciones, sin afectar su estructura ni sus características frente a las inclemencias climáticas (De la Piedra, 2020).

## 1.2 Antecedentes

### 1.2.1 Impacto de la producción de los materiales sobre el medio ambiente.

El crecimiento urbano en Cuenca se lleva a cabo sin considerar criterios medioambientales, lo que produce que las construcciones sean poco eficientes debido al uso excesivo de materiales como aluminio y vidrio, mismos que generan una potencial contaminación. Estos materiales tienen un ciclo de vida que conlleva ciertos métodos de fabricación con un elevado consumo de energía y emisiones contaminantes. Además la producción de materiales de construcción tiene un impacto negativo en el medio ambiente, iniciando en la extracción de materias primas hasta el tratamiento de los residuos generados (Correa, 2010). Los gases emitidos y los residuos producidos durante estas etapas afectan directamente la calidad del aire, el suelo y agua (Rosales et al., 2022).

La energía incorporada, que abarca tanto la energía directa empleada en la producción y la energía indirecta asociada a los procesos y servicios hasta la obtención del producto final que llega al consumidor, son aspectos claves que garantizan la calidad de los materiales de construcción (Espí, 2001). La producción de ladrillo cocido, por ejemplo, los niveles de contaminación e impacto medioambiental por la emisión de CO<sub>2</sub> producidas durante la quema en hornos de leña son niveles críticamente altos y significativamente mayores que el de otros sistemas constructivos, como la mampostería de bloque o el adobe y cal (Matute & Ordóñez, 2022).

Suárez-Silgado et al. (2019) indica que el análisis del ciclo de vida de los materiales de construcción es complejo y variable debido a las diferentes composiciones y métodos de fabricación. Según Matute y Ordóñez (2022), el contenido de energía en los materiales de construcción varía según la disponibilidad de las materias primas, la cantidad utilizada y la eficacia de los procesos de fabricación. A menudo, en muchos países, estos factores no están debidamente regulados.

### 1.2.2 La gestión de los residuos de construcción en Cuenca.

El crecimiento de la industria de la construcción ha generado una problemática ambiental y social debido al gran volumen de residuos generados por la construcción, resultado del consumo desmedido de recursos naturales. El sector de la construcción es el principal usuario de recursos naturales no renovables, ya que utiliza el 60% de los materiales extraídos de la litosfera, además de una porción considerable de madera y agua dulce (Cordova, 2022). También es responsable del 33% de las emisiones de dióxido de carbono, producto de los procesos de extracción y transformación de los materiales de construcción (Matute & Ordóñez, 2022).

Matute y Ordóñez (2022), indican que en Ecuador los sistemas constructivos y la mayoría de los materiales son elaborados manualmente in situ, lo que ha resultado en construcciones y materiales poco eficientes, ver la **Figura 1**. Además, la falta de indicadores para cuantificar los recursos utilizados y los residuos generados complica el desarrollo de proyectos de gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) por parte de empresas públicas y privadas (Blas et al., 2023). Esto contrasta con los países europeos y norteamericanos, donde los procesos de

fabricación de materiales y los sistemas constructivos están estandarizados e industrializados, facilitando una mejor gestión de los residuos (Reina et al., 2023).

Aunque no hay datos precisos sobre los porcentajes y tipos de residuos de construcción en Ecuador, Tocco y Vásquez determinaron que los materiales predominantes con potencial de reutilización en la escombrera "Conchán del Carmen" son la tierra y el concreto (Vásquez & Prieto, 2013). Por otro lado, la falta de conciencia ambiental en Ecuador ha impedido el avance de modelos de gestión para el tratamiento de residuos de construcción. Esto se debe a la falta de regulaciones y sanciones, además de la disminución de estudios que ayuden a reducir y medir la generación de estos residuos (Vanga et al., 2022).



**Figura 1:** *Proceso de enlucido de pared*

**Fuente:** *(Wicitec, 2014)*

### 1.3 El problema

El sector de la construcción es una de las mayores fuentes de residuos a nivel global, derivados de la demolición, rehabilitación y construcción, generando un impacto ambiental negativo progresivo como se observa en la **Figura 2**. Estos efectos se manifiestan directamente en la calidad del suelo, aire y agua, afectando las condiciones de vida de las comunidades (Shen & Tam, 2002). La importancia de un manejo eficiente de residuos, enfatizando la necesidad de implementar prácticas de reciclaje y reutilización de recursos (Castaño et al., 2013). Este enfoque además de reducir el impacto ambiental también disminuye los costos de construcción al reducir los gastos asociados al transporte de escombros y el consumo de recursos como áridos y materiales cementantes (Cuchí & Sagrera, 2007).

En la construcción, es crucial potenciar el uso eficiente de los recursos debido a su limitada disponibilidad. Acosta (2002) enfatiza la importancia de considerar usos alternativos para los materiales de construcción para obtener el mayor beneficio con la menor cantidad de recursos. Una preocupación central surge en la renovación de edificios antiguos con nuevas tendencias arquitectónicas, lo que a menudo conlleva problemas de compatibilidad y mala adherencia entre materiales existentes y nuevos materiales propuestos. Esta incompatibilidad frecuentemente lleva a la elección de la demolición como única solución, agravando el impacto ambiental al generar residuos que, en muchas ocasiones, terminan en vertederos sin control, incrementando la huella ambiental de la construcción (Sánchez, 1995).



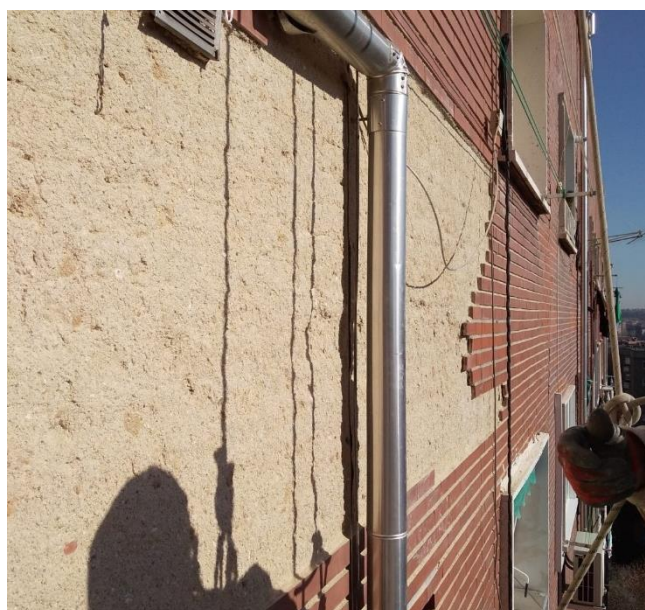
**Figura 2:** Desperdicios de construcción contaminando el medio natural

**Fuente:** (Portillo, 2014)

La ausencia de procesos industrializados en la fabricación de ciertos materiales de construcción conlleva elevados costos, ya que los tiempos de producción en el sitio son prolongados, generando así una ineficiencia considerable (Lozano et al., 2018). Esta situación se repite por la carencia de trabajadores capacitados, lo que ocasiona, en muchos casos, un aumento adicional en los costos operativos. La falta de trabajadores calificados ha desencadenado una serie de incidentes, el más recurrente es la caída de revestimientos desde alturas considerables, esta situación en muchos casos se ha convertido en tragedias mortales asociadas con accidentes que afectan a transeúntes cercanos a los edificios en construcción (Delgado et al., 2015).

La vulnerabilidad del mortero adhesivo empleado en los revestimientos convencionales es notable, especialmente por su exposición directa a las inclemencias climáticas como el sol y la lluvia, lo cual debilita su adherencia y, en consecuencia, causa desprendimientos frecuentes como se observa en la **Figura 3** (Acosta, 2002). Asimismo, la dificultad para reemplazar las piezas, adheridas con mortero, complica el proceso de mantenimiento y reparación. La estandarización y prefabricación de componentes reduce los costos laborales y de materiales; además, disminuye los errores de instalación y el desperdicio de material (Buitrago, 2014).

Diversos análisis han confirmado la eficiencia de construcciones que poseen elementos prefabricados en comparación con construcciones que carecen de estos elementos. El principal beneficio de los prefabricados es la disminución de los tiempos de construcción. La eficacia en la envolvente del edificio juega un papel crucial, ya que estos elementos se caracterizan por la elevada resistencia a compresión, a flexión y a tracción (Alor & Alfaro, 2020). Además, posee una gran resistencia al impacto y al fuego por la naturaleza de sus componentes. El deterioro acelerado de las edificaciones denota la importancia de emplear soluciones constructivas que mejoren estas condiciones (Sánchez et al., 2017).

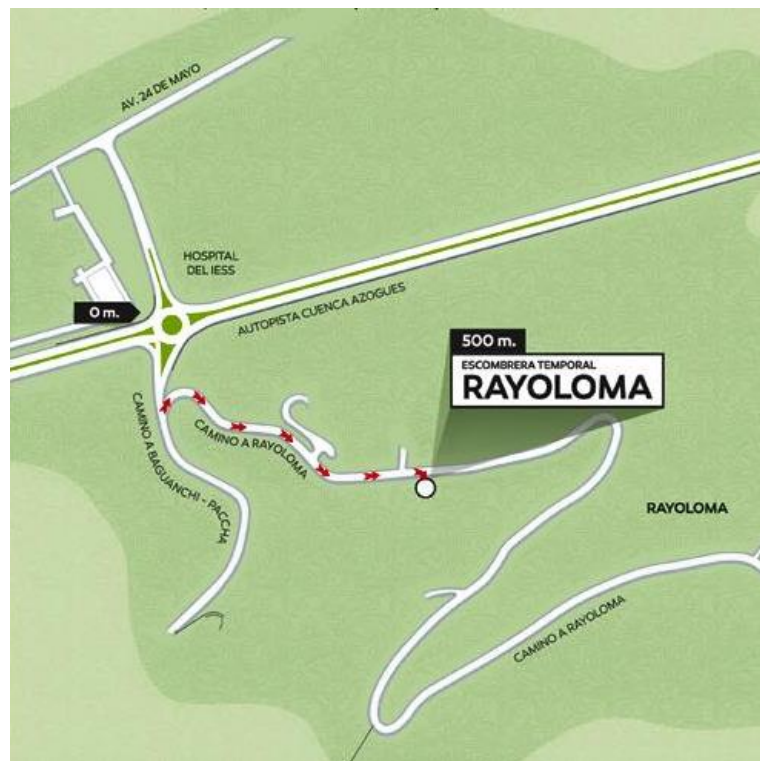


**Figura 3:** Desprendimiento de revestimientos de fachada

**Fuente:** (Oro y Piedra, 2023)

En Cuenca, al igual que en muchas ciudades del Ecuador, la falta de una escombrera fija ha llevado a la instalación de áreas temporales para la disposición de escombros de construcción. Sin embargo, esta situación ha resultado en la acumulación de residuos en terrenos baldíos y calles secundarias, lo que evidencia una carencia en la regulación y gestión adecuada de estos desechos por parte de las autoridades municipales. A pesar de las disposiciones que responsabilizan a propietarios y constructores, el vacío en las competencias municipales ha impedido el desarrollo de soluciones integrales para la disposición y reutilización de estos materiales, así como la promoción de edificaciones sostenibles (Vanga et al., 2022).

En el ámbito internacional, países como Alemania, Países Bajos y Bélgica han avanzado en el estudio del ciclo de vida de los materiales de construcción, lo que ha permitido comprender mejor su impacto ambiental (Reina et al., 2023). En países como Dinamarca y Holanda, donde la escasez de áridos naturales y los altos costos de vertido han incentivado el reciclaje, las tasas de reciclaje superan el 75% (Castro, 2011). Esta tendencia se refuerza con impuestos elevados sobre el uso de materias primas vírgenes y la prohibición o costos significativos asociados al vertido de desechos de construcción (Porrás & Cortés, 2014) (Matute & Ordóñez, 2022).



**Figura 4:** Escombrera temporal en Rayoloma a 550 metros del redondel del Hospital-IESS

**Fuente:** (EMAC EP, 2024)

## 1.4 Justificación

Los elementos prefabricados en las edificaciones forman parte de una nueva tendencia al servicio de la arquitectura. Su aplicación consciente permite alcanzar estándares más altos en la calidad del elemento, en su costo, en el tiempo de ejecución y en su expresión formal. Es de vital importancia estudiar el comportamiento del panel prefabricado, ya que bajo esta condición se pueden cumplir los requerimientos exigibles, independientemente de la tecnología o de los medios y materiales aplicados en su ejecución (Sánchez et al., 2017).

Esta información resalta la importancia de intervenir en la fase de modelación, restauración y nuevas aplicaciones de los prefabricados, permitiendo maximizar su uso en fachadas y su aporte a las corrientes arquitectónicas actuales, mejorando las características estéticas de las edificaciones (Fernández, 2019). La aplicación del sistema prefabricado reduce los tiempos de construcción y el costo de mano de obra, lo que representa un beneficio sustancial para la industria de la construcción (Cuchí & Sagrera, 2007). Su correcto funcionamiento como una segunda piel, además de su fácil montaje, se evidencia en la reducción del tiempo de construcción. Asimismo, la mayor resistencia a la intemperie de los paneles prolonga su vida útil, lo que reduce significativamente los residuos en comparación con la instalación de otros revestimientos. Además, abre la posibilidad de reutilizarlos en otras construcciones, ayudando a minimizar el impacto ambiental causado por la construcción (Sánchez, 1995).

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo general.**

Diseñar un prototipo de panel prefabricado de mortero, como elemento alternativo para el recubrimiento exterior de las fachadas.

### **1.5.2 Objetivos específicos.**

Analizar los procesos de fabricación de los paneles prefabricados de mortero para definir las propiedades óptimas de su elaboración.

Realizar pruebas mecánicas y físicas de paneles de mortero mediante la Normativa NTE INEN 2380 para evidenciar los materiales y dosificaciones propicios en su elaboración.

Proponer las características de diseño de un prototipo de panel que permita fabricar este elemento para mejorar la durabilidad y calidad del sistema constructivo de prefabricados de mortero considerando las normativas existentes.

## 1.6 Metodología

La metodología de esta investigación se constituye de tres fases relacionadas entre sí. La fase uno se centra en la investigación mediante la revisión bibliográfica y el análisis de tres referentes de fabricación de elementos prefabricados. La fase dos, de experimentación, evalúa la información obtenida a través de pruebas de laboratorio para validar y complementar la información teórica. La última fase, de aplicación, implica la elaboración de un prototipo de panel prefabricado acompañado de estrategias de anclaje y distintos tipos de acabados que se pueden aplicar.

### **Fase 1: Revisión Bibliográfica.**

Recopilación bibliográfica y conceptual de la evolución de los paneles prefabricados, aplicación e industrialización. Además, la evaluación de metodología de fabricación de paneles prefabricados aplicados como alternativa para el recubrimiento de fachadas.

#### 1.1. Antecedentes.

1.1.1. Trascendencia de los paneles prefabricados.

1.1.2. Industrialización de los paneles prefabricados.

1.1.3. Aplicación de los paneles prefabricados.

#### 1.2. Casos referentes.

1.2.1. Selección de tres referentes de éxito que hayan elaborado paneles prefabricados.

1.2.2. Descripción del proceso de elaboración de paneles de los tres casos referenciales.

1.2.3. Identificación de dosificaciones en la elaboración de los paneles prefabricados en los tres casos.

1.2.4. Determinación de aditivos empleados para la fabricación de los paneles prefabricados.

1.2.5. Selección de los encofrados más eficientes empleados en la ejecución de los paneles prefabricados.

### **Fase 2: Experimental.**

Identificación de materiales usados en la ejecución de paneles prefabricados y las dosificaciones empleadas en su fabricación, acompañado de ensayos de laboratorio que corroboren la efectividad de las dosificaciones previamente obtenidas de la fase 1.

#### 2.1. Caracterización de los materiales usados en los paneles.

2.1.1. Tablas de dosificación empleadas en la fabricación de paneles.

2.1.2. Aditivos empleados en la fabricación de paneles prefabricados.

2.1.3. Encofrados empleados en la fabricación de paneles.

## 2.2. Ensayos de laboratorio

2.2.1. Establecer los requerimientos de resistencia de materiales según la Normativa Ecuatoriana.

2.2.2. Pruebas de compresión a probetas de la dosificación planteada.

2.2.3. Pruebas de flexión a probetas de la dosificación planteada.

2.2.4. Pruebas absorción a probetas con adición de impermeabilizante.

2.2.5. Recolección de datos resultado de los ensayos de compresión, flexión y absorción de agua, para identificar la dosificación apropiada para la elaboración de la propuesta.

## **Fase 3: Propuesta.**

Se fabricará un prototipo de panel prefabricado, acompañado de propuestas constructivas para la implementación, incluye anclaje y acabados. Se considerará aspectos prácticos, normativa y recomendaciones de fabricantes.

3.1. Análisis de resultados de los ensayos de laboratorio para plantear la dosificación óptima para el panel.

3.2. Elaboración del encofrado para moldear el panel prefabricado.

3.3. Elaboración del prototipo de panel.

3.4. Análisis de precios unitarios para la elaboración y aplicación.

3.5. Propuesta de conexiones y anclajes de los paneles, se detalla el sistema constructivo que se utiliza en la aplicación de prefabricados en fachadas, incluye el método de fijación y los elementos de soporte.

3.7. Elaboración digital de varios tipos de acabados que se pueden emplear en los paneles.

La metodología descrita se basa en la investigación de Briede-Westermeyer, quien plantea esta estrategia para visualizar y poner en práctica el proceso creativo. La aplicación de esta metodología mostro un progreso claro desde la idea inicial hasta la identificación de atributos para el diseño. La metodología es fácil de implementar y útil, aunque los aspectos más desafiantes están

relacionados a la creación de la red semántica. Dicho paso resultó ser el más complicado, aunque el análisis de referentes podría ser una herramienta valiosa para la propuesta.

La investigación progresa de forma metódica desde la fase experimental hasta la elaboración del prototipo, garantizando que cada paso esté sustentado en datos y análisis detallados. Una vez concluidos los ensayos de laboratorio, que abarcan pruebas de compresión, flexión y absorción en probetas con diversas dosificaciones y aditivos, se procede a una recopilación y análisis de los resultados. Estos datos permiten determinar la dosificación ideal que asegura la resistencia y durabilidad requeridas para los paneles prefabricados. Con la dosificación ideal establecida, se procede al diseño y producción del encofrado, una pieza esencial que dará forma al panel prefabricado.

La elaboración del prototipo se lleva a cabo utilizando los materiales y aditivos seleccionados, aplicando la dosificación identificada como óptima. Este proceso de creación del prototipo es preciso, garantizando que cada panel fabricado cumpla con los estándares de calidad definidos en las fases anteriores. Una vez completado el prototipo, se formula una propuesta constructiva para su implementación. Esta propuesta incluye el diseño de sistemas de anclaje y conexiones que faciliten la instalación segura y eficaz de los paneles en las fachadas. Se especifica el método de fijación y se eligen los elementos de soporte adecuados, asegurando que el sistema constructivo sea sólido y cumpla con la normativa vigente.

Este enfoque integral, desde los ensayos de laboratorio hasta la implementación del prototipo, garantiza que el desarrollo de los paneles prefabricados esté basado en un profundo entendimiento de los materiales y técnicas, optimizando así su rendimiento y aplicación en el ámbito de la construcción.

## CAPÍTULO II

### 2. REVISIÓN DE LITERATURA

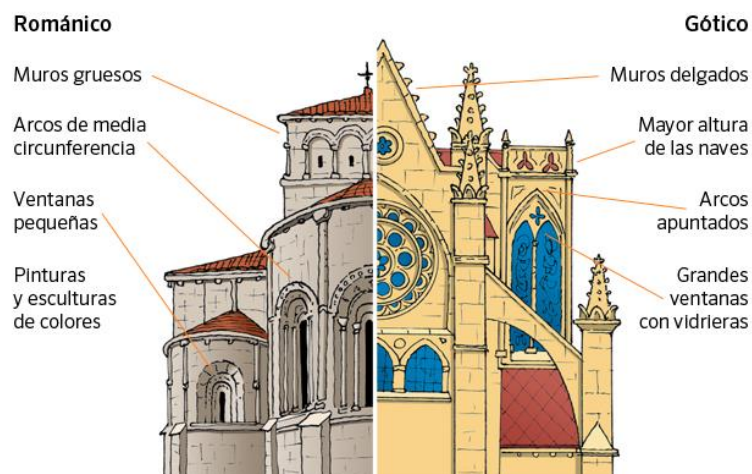


## 2.1 Construcción con prefabricados

### 2.1.1 Evolución de las técnicas de construcción.

El progreso en el ámbito de la construcción es un indicador del avance y la transformación económica (Díaz et al., 2022). Además, la aptitud para edificar no solo implica la creación de nuevas estructuras, sino también la reutilización de lo ya existente (Arcila, 2022). El avance en las técnicas constructivas ha estado siempre vinculado a la accesibilidad de materiales y metodologías, factores que han configurado sus propiedades y dimensiones. A lo largo de la historia, la piedra y los ladrillos de arcilla cocida han sido los componentes fundamentales en la edificación. Un ejemplo importante es la Gran Pirámide de Giza (2560 a.C.), la cual no solo se destacó como la construcción más elevada del mundo durante siglos, sino que también aportó innovaciones que perduran hasta la actualidad. Al examinar estas contribuciones, la más notable es la modulación de materiales, la cual optimiza el ensamblaje y minimiza el desperdicio en obra (Tasende, 2024).

Los materiales de construcción primitivos presentaban ciertas restricciones en su aplicación. Sin embargo, esta limitación fue superada durante el período gótico, donde se logró una mejora sustancial utilizando los mismos materiales, pero con técnicas de aplicación diferentes. La transición de las características arquitectónicas del Románico al Gótico ilustra claramente esta evolución, como se observa en la **Figura 5** (Carvajal et al., 2021). La modulación de materiales puede considerarse como el precursor de la prefabricación, ya que permite un ensamblaje más eficiente. La introducción de nuevos sistemas constructivos y materiales como el acero y el hormigón revolucionó la edificación, permitiendo la construcción de los primeros rascacielos. La conclusión es que estas nuevas estructuras se caracterizaban por tener un esqueleto independiente de los muros, una técnica que, como indica Delgado (2021), sigue siendo eficiente y ampliamente utilizada en la actualidad.



**Figura 5:** Comparación constructiva del periodo Románico y Gótico.

**Fuente:** (CEIP Ntra, 2018)

## 2.1.2 Desarrollo de materiales de construcción utilizados en fachadas.

### a. *Los materiales y su contribución histórica.*

En la antigüedad, la piedra en conjunto con los huesos de animales y la madera se empleaban para la elaboración de armas y herramientas. Después de la Edad de Piedra, que perduró hasta el año 2000 a.C (Vidal & Peraza, 2018), se comenzó a usar la obsidiana, conocida también como el vidrio natural. Cronológicamente, hasta el año 700 a.C, se identifica la era del bronce, también conocida como la era de los metales, marcando un avance tecnológico importante, con los conocimientos y herramientas necesarios para la fabricación de estos materiales (Mariezkurrena, 1990).

La era del hierro, que abarcó desde el 700 a.C hasta el 100 d.C, se caracterizó por la popularización del uso del hierro en la creación de armas y herramientas. Paralelamente, en el siglo I, surgieron los primeros artículos de vidrio. El trabajo con hierro permitió la fabricación del acero, uno de los materiales más eficaces y empleados en la actualidad. La producción masiva de acero dio lugar a nuevas aplicaciones y versiones mejoradas (Mariezkurrena, 1990).

A comienzos del siglo XV, la ciencia y la tecnología se unieron a la relevancia del arte y la cultura en la sociedad (Andrade & Rodríguez, 2020). Grandes pensadores como Leonardo Da Vinci, Galileo Galilei y Leonard Euler contribuyeron al estudio de las propiedades mecánicas de los materiales. La metalurgia experimentó un gran avance en los siglos XV y XVI, consolidándose en la industria europea. Expertos como Vannoccio Biringuccio (1480-1539) y George Agrícola (1494-1555) documentaron sus hallazgos en libros, explicando las técnicas manuales que se fueron perfeccionando gradualmente (Cid, 2024).

Durante el siglo XVIII, se dio la Revolución Industrial y las innovaciones en la fabricación de metales. El acero y el hierro facilitaron la producción de máquinas que sustituyeron la mano de obra humana, incrementando la calidad y disminuyendo los costos de producción. La industria textil fue una de las principales beneficiarias de estos avances. Estos progresos desencadenaron cambios socioeconómicos, tecnológicos y culturales que favorecieron la producción y aumentaron su eficiencia (Ferrer, 2022)

En el siglo XX, gracias al avance de la electrónica y la fabricación de nuevos dispositivos, surgieron nuevos materiales semiconductores y aún más característico del siglo encontramos la cerámica. La electrónica desempeñó un papel fundamental en el ámbito de los materiales. A inicios del siglo XX se inició la investigación sobre polímeros, macromoléculas creadas por la repetición de monómeros (Seymour & Charraher, 2021). Un ejemplo es el polietileno, que es un polímero con diferentes aplicaciones en varias industrias, ver **Figura 6**. El surgimiento de la baquelita en 1907 y del nailon en 1930 marcó la revolución de los materiales poliméricos (Bolaños, 2022).



**Figura 6:** Polietileno

**Fuente:** (Repsol, 2024)

Los avances científicos y tecnológicos actuales han permitido mejorar los usos de materiales metálicos, cerámicos y poliméricos. Aunque el uso de materiales metálicos convencionales ha disminuido, el acero se mantiene como un material estructural difícilmente reemplazable en su totalidad. El desarrollo de productos cerámicos, polímeros y materiales compuestos ha facilitado la sustitución de materiales convencionales. Asimismo, los progresos en el campo de la química han impulsado la industria polimérica. Estos materiales se utilizan por sus propiedades útiles en diversas aplicaciones, hasta el punto de ser empleados masivamente y caracterizar a las sociedades modernas (Bolaños, 2022).

El vidrio, junto con la tecnología actual, ha experimentado un desarrollo notable. Sus aplicaciones incluyen la producción de espejos, focos, lentes, espejos de alta calidad para microscopios y telescopios, la creación de fibra óptica, y su uso como envolvente en construcciones, entre otros. En las últimas cinco décadas, la ciencia se ha interesado en combinar diferentes materiales para obtener nuevos elementos con características de distintos materiales. Esto ha posibilitado la obtención de materiales compuestos con propiedades mejoradas o adaptadas para aplicaciones específicas. Un ejemplo destacado es la mezcla de cemento con grava, que resulta en el concreto, combinando la resistencia de las rocas y la maleabilidad del cemento.

La facilidad de fabricación y la resistencia son las principales propiedades del concreto. Existen, además, numerosas propiedades físicas, químicas y de procesamiento que pueden optimizarse mediante combinaciones adecuadas. Un material compuesto está conformado por un material base y sus refuerzos. El material base asimila ser una matriz, mientras que los refuerzos pueden ser fibras, láminas o partículas y tejidos. Estas fibras se utilizan a nivel macro y pueden ser largas, continuas o cortas, por lo general se utilizan para fortalecer la matriz o el material base. En cambio, las partículas se trabaja a nivel micro funcionando para alterar las propiedades físicas, ópticas, mecánicas, eléctricas y/o magnéticas (Nogal et al., 2023).

La nanotecnología surge a inicios del siglo XXI, consolidándose como una gran innovación en materiales. Paulatinamente, se incorpora la nanociencia, y juntas han tenido un impacto significativo en la vida contemporánea (Babaeyan & Gallego, 2021). Esta rama abarca usos como

medicamentos, microchips para análisis genéticos complejos, fuentes de energía, lucha contra plagas y contaminación, y en el área de la construcción, la fabricación de edificios utilizando micro robots, materiales inteligentes con múltiples funciones, y materiales con propiedades mecánicas y físicas mejoradas, como el mortero polimérico que se observa en la **Figura 7**.

El uso eficiente de los materiales está estrechamente vinculado al avance tecnológico y a los métodos de producción. En el pasado, los procesos de producción eran manuales, pero con el tiempo evolucionaron hacia procesos semiautomáticos y luego completamente automatizados (Ferrer, 2022). Los países desarrollados poseen un sector industrial fuerte y tecnológicamente potenciales generando mayores beneficios económicos. Esto contrasta con los países en desarrollo, como Ecuador, que dependen de la exportación de materias primas.



**Figura 7:** Mortero polimérico (Brickaffix)

**Fuente:** (BrickAffix, 2023)

Las cifras del Banco Central del Ecuador revelan que el sector manufacturero aportó con un 14,1% al PIB en 2010, y hasta agosto de 2011, su aporte fue del 14,0% (Quishpe, 2011). Este sector se considera el principal consumidor de materias primas, evidenciando un notable impacto económico, social y tecnológico debido al uso intensivo de estos recursos. Por ello, resulta crucial que la industria incorpore conocimientos, equipamiento adecuado y tecnologías para optimizar la producción, con el propósito de satisfacer la demanda local y extender si alcanza al mercado internacional, lo que a largo plazo transformará los métodos de producción. Por lo tanto, es fundamental seleccionar adecuadamente los materiales y perfeccionar los métodos de producción para facilitar una fabricación en masa eficiente, estimular la creatividad y generar un impacto positivo en la economía nacional (Guerrero, 2022).

El término "materiales innovadores" surgió en 1980, y durante una década, diversas publicaciones científicas y organizaciones de investigación lo adoptaron. En Latinoamérica y Ecuador, se popularizaron las expresiones "nuevos materiales" o "materiales avanzados". Además, se acuñaron términos específicos para cada material novedoso con funciones particulares, propiedades avanzadas que han sido obtenidas mediante procesos de producción innovadores. Los materiales cerámicos, por ejemplo, recibieron la denominación de "cerámicos de alto rendimiento" debido a sus características particulares. De manera similar, se comenzó a conocer los "aceros

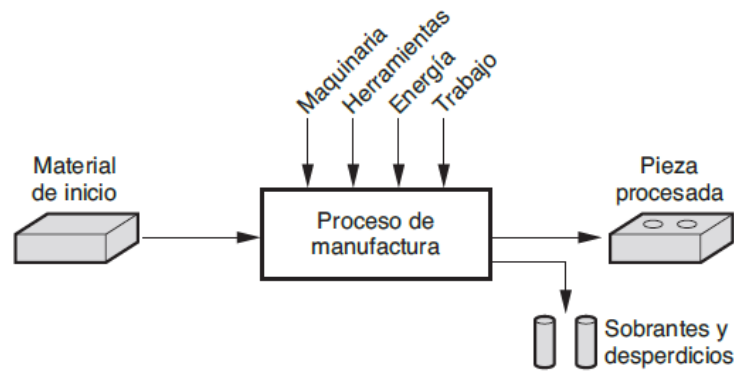
especiales". En Ecuador, estas expresiones han empezado a utilizarse recientemente, sugiriendo también avances en los métodos de producción (Escario, 2020).

Los "materiales nuevos" se caracterizan por poseer propiedades superiores a los convencionales, y en su fabricación se emplean técnicas y procesos innovadores o avanzados. Cualquier material común puede transformarse en "nuevo" si se aplican y combinan adecuadamente.

Actualmente, estos materiales han permitido progresos significativos en diversos sectores industriales, como la industria química, petrolera, biomedicina y medicina. Pero sobre todo destacamos su uso en: la industria automotriz, el campo de la construcción, el sector aeroespacial y de aviación. La calidad de estos materiales está vinculada a la tecnología utilizada en su creación y fabricación. Es decir, las propiedades de un material se basan en su composición química y están influenciadas por el método de procesamiento aplicado (Arauz & Aguilar, 2022).

Los materiales tienen principalmente dos usos, el estructural y el físico-funcional. En el uso estructural los materiales se emplean netamente en construcciones donde se implican las características mecánicas y físicas, además se enfocan en mejorar productos ya existentes. Por otro lado, en el uso físico-funcional, el material busca cumplir una función específica y es esencial para la creación de nuevas aplicaciones y sistemas constructivos innovadores. Sin embargo, desde una perspectiva ingenieril, es crucial distinguir entre las propiedades mecánicas y físicas-funcionales. El proceso convencional de fabricación de un producto sigue una secuencia lógica, como se ilustra en la **Figura 8**.

Así, se puede concluir que la clave para crear un nuevo material reside en la tecnología empleada en su fabricación. La industria del acero sirve como ejemplo, habiendo modificado sus métodos de producción en los últimos treinta años, especialmente en la etapa de fabricación (Núñez & Lechuga, 2021). Es importante destacar que estos cambios no alteran significativamente el proceso tradicional de fabricación, pero los resultados obtenidos influyen directamente en el perfeccionamiento de las propiedades. Actualmente, el enfoque de investigación implica analizar las microestructuras de los elementos para seleccionar el método de fabricación más adecuado. Resulta fundamental controlar cada proceso individual durante el procesamiento, ya que cada etapa puede afectar las propiedades finales y el rendimiento del producto.



**Figura 8:** Esquema de fabricación de productos

**Fuente:** (Frías J, 2015)

El progreso en las técnicas de procesamiento de materiales ha generado resultados favorables. En las últimas tres décadas, la investigación ha permitido desarrollar materiales con características optimizadas. Estos progresos se han visto impulsados por el avance de diversas disciplinas científicas, considerando que una gran cantidad de métodos productivos están controlados por sistemas computarizados, análisis matemáticos, instrumentos de detección, entre otras herramientas tecnológicas. Cabe destacar que numerosos materiales de reciente creación han sido sometidos a una amplia gama de pruebas para su análisis y descripción.

Es importante recalcar que el crecimiento económico e industrial se debe en gran parte a los adecuados procesos de producción y fabricación. La modernización de los métodos de producción conduce a la generación de nuevos materiales y productos que ofrecen mayor calidad, fiabilidad, rendimiento superior y costos más bajos. Estas mejoras hacen que los productos resulten más atractivos para los consumidores, ya que el objetivo principal es satisfacer sus necesidades y expectativas (Luna & Lizarazo, 2022).

#### **b. Desarrollo de nuevos materiales con el aporte de la ciencia e ingeniería.**

La contribución fundamental para los materiales de parte de la ciencia e ingeniería se centra en su capacidad para no solo describir, sino también examinar y prever el comportamiento de diversos materiales. Esta metodología implica el estudio de características que no son perceptibles a simple vista. Estos fenómenos pueden originarse no únicamente desde aspectos físicos o mecánicos, sino que también pueden involucrar factores térmicos, químicos, eléctricos, magnéticos u ópticos, o incluso una combinación de estos. Es importante mencionar que el alcance de los materiales analizados va más allá de aquellos destinados a fines estructurales y sometidos a pruebas en máquinas universales. También se incluyen materiales con aplicaciones multifuncionales. Adicionalmente, la ciencia e ingeniería de materiales se ocupa de evaluar los procesos de fabricación y aplicación, teniendo en cuenta los retos que enfrenta la sociedad contemporánea (Sandoval, 2021).

### ***c. Tendencias actuales en el desarrollo de nuevos materiales.***

Existen diversas formas de categorizar los materiales, sin embargo, es crucial comprender la clasificación tradicional para entender cómo se organizan efectivamente los nuevos materiales. La categorización clásica incluye metales, polímeros, cerámicos y composites. Una versión más actualizada propone seis categorías: híbridos, metales, elastómeros, polímeros, vidrios y cerámico. Cada componente comparte características análogas, como también comparte los procesos de fabricación afines e incluso aplicaciones comparables. El desarrollo de los productos ha estado estrechamente vinculado a los avances en las tecnologías de fabricación industrial. Es fundamental que los métodos de producción sean económicamente viables y apropiados para permitir la innovación a costos accesibles. En la era actual, se da prioridad a la producción de materiales novedosos y al empleo de tecnologías y métodos de producción innovadores. Las empresas dedicadas a los polímeros y materiales compuestos están experimentando un crecimiento acelerado debido a las cualidades distintivas de estos materiales (Guadamud & Mieles, 2023).

La innovación en materiales actuales abarca una amplia gama que incluye superaleaciones, polímeros especiales, cerámicas técnicas, materiales compuestos, biomateriales, materiales biodegradables y nanomateriales (Luna & Lizarazo, 2022). Estos elementos son el resultado de una inspección minuciosa de su composición o de la combinación de numerosos materiales. Su desarrollo exige métodos eficientes, de esta manera se puede obtener análisis de sus propiedades para consiguiente poder realizar las verificaciones según sea necesario. Además, la innovación en materiales persigue la optimización de costos de producción, la minimización del impacto ambiental y la planificación del destino final del producto tras su vida útil ya sea mediante reciclaje, degradación o eliminación.

A escala mundial, el progreso en ingeniería de materiales se enfoca en la innovación existente, nuevos compuestos y el uso de nanotecnologías, con el fin de obtener resultados superiores a los materiales tradicionales. Esta área tecnológica está en expansión, aunque aún no ha sido ampliamente explorada en Ecuador. En este país, la investigación se centra en materiales de construcción, minería e industria aurífera, polímeros reciclados y compuestos con fibras naturales.

Los materiales compuestos, que inicialmente se limitaban a sectores de alta tecnología como la industria aeroespacial, han ampliado su aplicación gracias al avance tecnológico y la reducción de costos. En la actualidad, se utilizan en industrias como la automotriz, transporte, construcción, fabricación de equipos, electrodomésticos y productos de consumo. Los composites más prometedores son aquellos que emplean materiales poliméricos como base y fibras como refuerzo, debido a su fácil procesamiento, bajo costo y gran potencial industrial (Luna & Lizarazo-Marriaga, 2022).

En Ecuador, la SENESCYT busca orientar el desarrollo y la aplicación de políticas tecnológicas científicas para beneficiar al país, con el propósito de fundamentar la economía en la generación, utilización, acceso y distribución del conocimiento. Esto implica un cambio de

paradigma, transitando la producción existente para de esta manera agilizar exportaciones de materias base a este modelo que adicional agregue valor mediante la transformación a productos elaborados. Es fundamental que los avances estén vinculados al progreso social, fomentando la creación y uso de nuevas tecnologías en sectores con recursos valiosos y alto potencial competitivo a nivel global. Las políticas incluyen el impulso a la industria y la producción, promoviendo el diseño, desarrollo y optimización de procesos y productos innovadores, lo cual es esencial para la formulación y explotación de nuevos materiales. El fomento de la investigación, innovación, adaptación y transferencia tecnológica es crucial para potenciar el sector industrial y productivo, con el fin de incrementar la capacidad productiva y abarcar tanto el mercado nacional como, potencialmente, el internacional (Mendoza et al., 2020).

### **2.1.3 Materiales compuestos.**

Los materiales compuestos son conocidos por ser sistemas que integran dos o más materiales con propiedades, formas o composiciones distintas, dando lugar a un nuevo material con características singulares. Las fases que los constituyen potencian una o más propiedades específicas, buscando lograr la combinación más favorable en su conjunto. Los ejemplos más comunes de estos materiales están formados por dos fases diferenciadas que pueden separarse mecánicamente, conocidas como matriz (elemento aglutinante) y refuerzo (Gomez et al., 2022). Adicionalmente, un material compuesto puede incorporar elementos como capas y rellenos. Para que un componente de construcción se clasifique como material compuesto, debe cumplir ciertos criterios:

- Debe estar constituido por al menos dos elementos químicamente distintos, separables de manera mecánica.
- Es preciso mencionar que las propiedades deben ser únicas en aspectos particulares específicamente, y sus compuestos deben tener características superiores de manera individual.

En años recientes, el uso de estos materiales ha experimentado un crecimiento notable debido a su capacidad para reemplazar materiales tradicionales como el acero y el aluminio, gracias a su ligereza y resistencia (alta resistencia específica). Según Taib & Julkapli (2019), los materiales compuestos se forman mediante el fortalecimiento con láminas o fibras hacia la matriz. Dentro del entorno natural que nos desarrollamos podemos visualizar ejemplos análogos; los compuestos de hemicelulosas y lignina reforzada por fibras celulosas, es el resultado de la madera, material compuesto. (Ortega et al., 2022). Algunos investigadores los denominan "materiales híbridos". Teter & Gawryluk (2016) sostienen que la utilización de varios tipos de materiales de refuerzo es considerado un material compuesto híbrido; a diferencia de, Vigneshwaran et al. (2020) definen que dos o más materiales combinados de manera específica generan propiedades únicas y a esta combinación la podemos denominar material híbrido.

En la actualidad, la investigación en materiales compuestos se enfoca en desarrollar materiales con propiedades mejoradas, así como en explorar opciones respetuosas con el medio

ambiente. A nivel nacional, materiales como el asfalto y el cemento son frecuentemente empleados en proyectos de construcción civil. La combinación de cemento, varillas de acero, grava; constituye un compuesto híbrido. Según datos del INECYC, el consumo de cemento en 2015 alcanzó las 6'278.365 toneladas. La producción de cemento se rige por la norma INEN 490-5, basada en la norma ASTM C595.

#### ***a. Importancia de los materiales compuestos.***

La esencia del material compuesto se fundamenta en las diversas formas de combinar materiales monofásicos de naturalezas distintas. Se define como un material multifásico que incorpora propiedades de cada uno de sus componentes, resultando en una mejora de sus características. Cabe destacar que las propiedades que se atribuyen en el proceso final de composición; no equivalen a la suma de las propiedades individuales; las mismas están condicionadas por el proceso de fabricación (Benítez, 2022)

Durante las últimas cuatro décadas; plásticos, cerámicos y materiales sintéticos, son los más destacados para la industria. Existen diversos motivos por lo cual materiales compuestos se están posesionando en la importancia de mercados internacionales, principalmente debido a su fortaleza y ligereza en comparación con otros materiales. Además, el incremento en el uso de compuestos se atribuye a la insatisfacción con el rendimiento de ciertos productos y la creciente competencia global en la fabricación de componentes livianos. Existe la posibilidad de que estos materiales puedan reemplazar materiales comunes como: el acero y/o el aluminio. Asimismo, numerosas tecnologías actuales establecen que materiales poco convencionales no son compensados por elementos tradicionales entre ellos: metales, polímeros o cerámicos (Gomez et al., 2022).

El concepto de material compuesto no es nuevo, pues se remonta a las primeras sociedades agrícolas. El adobe (ver **Figura 9**) es un ejemplo ilustrativo de material compuesto antiguo, fabricado con barro (que actúa como matriz) mezclado con fibras vegetales o paja (que funcionan como refuerzo). A través de la historia, esta idea de combinar materiales para mejorar sus propiedades ha evolucionado significativamente. En los materiales compuestos modernos, los polímeros son frecuentemente utilizados como refuerzos, sustituyendo a las fibras naturales de antaño. Esta evolución ha permitido crear materiales con propiedades superiores que satisfacen las demandas contemporáneas (Benítez, 2022).



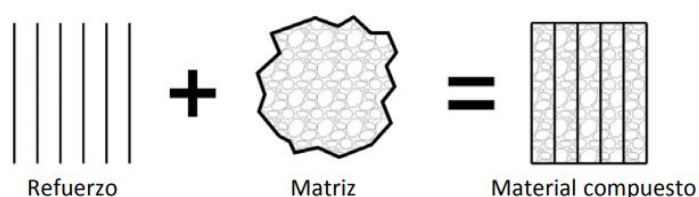
***Figura 9: Fabricación del adobe***

**Fuente:** (Pietrantonio M, 2012)

Cada ámbito de aplicación requiere características específicas. En el sector de la construcción, las propiedades más valoradas incluyen la rigidez, la resistencia mecánica, la capacidad de resistir la corrosión, la impermeabilidad, la resistencia al fuego y el aislamiento térmico. Los materiales compuestos suelen exhibir varias de estas propiedades de manera simultánea. Lograr una combinación óptima de resistencia mecánica, ligereza, rigidez y resistencia a la temperatura es un desafío complejo que requiere una cuidadosa selección de componentes, métodos de fabricación y otros factores relevantes. La amplia gama de materiales disponibles para la creación de compuestos añade un valor significativo, permitiendo una selección más precisa y eficiente. En los diseños de materiales compuestos multifuncionales, el objetivo principal es maximizar su eficacia en múltiples aspectos (Diez, 2023).

#### 2.1.4 Componentes de materiales compuestos.

Este tipo de material se caracteriza por ser una combinación de al menos dos tipos distintos de materiales, cuya unión resulta en características superiores a las que presentan los materiales por separado. La estructura básica de un material compuesto de fibras reforzadas se puede observar en la **Figura 10**. En su definición más amplia, un material compuesto se describe como uno que consta de múltiples fases, siendo cada una de estas fases de crucial importancia en su composición (Herrera, 2022).



**Figura 10:** Configuración básica de un compuesto

**Fuente:** (Salazar, 2023)

La fabricación de materiales compuestos tiene como objetivo principal desarrollar propiedades específicas requeridas para diversas aplicaciones. La selección de los elementos que conforman estos nuevos materiales se basa en criterios como sus dimensiones, disposición, forma y configuración. Actualmente, estos materiales han ganado una posición predominante en la ingeniería y la construcción. En la estructura de un material compuesto, se identifican dos componentes principales: la matriz y el refuerzo. Además, existe una zona de unión entre estos componentes denominada interfaz (Diez, 2023).

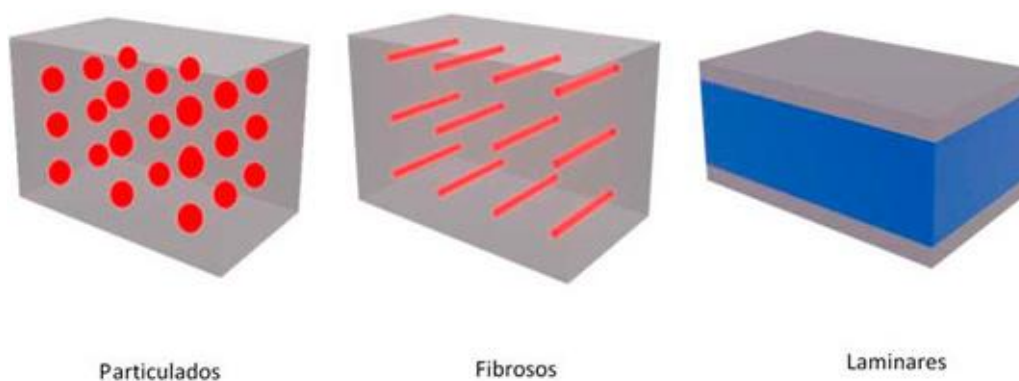
##### a. Matrices y refuerzos.

En la composición de un material compuesto, la matriz cumple diversas funciones esenciales. Su papel principal es proporcionar soporte y englobar los elementos de refuerzo, otorgando al material coherencia y continuidad. Además, la matriz unifica los refuerzos, distribuye las cargas aplicadas desde la matriz hacia los refuerzos, protege la superficie contra la abrasión y actúa como

una barrera frente a los efectos ambientales. En los materiales reforzados con fibras, la matriz también ofrece el soporte necesario para prevenir el pandeo debido a cargas de compresión (Herrera, 2022).

Las propiedades del material utilizado como matriz afectan notablemente las características fisicoquímicas y/o electromecánicas del compuesto resultante. Por ejemplo, la resistencia al impacto dependerá del tipo de refuerzo y la configuración empleada según las propiedades mecánicas, la resistencia a la tracción y la ductilidad (Raveda, 2006). La matriz y su compatibilidad con el refuerzo afectan la forma en que falla el compuesto. Sin embargo, es esencial determinar la resistencia del material según las condiciones ambientales para verificar sus propiedades químicas.

El refuerzo tiene como función primordial perfeccionar las características de la matriz. Este componente es responsable de soportar la carga y aportar propiedades adicionales al material, como la conductividad eléctrica, la estabilidad térmica, el aislamiento y las propiedades estructurales, entre otras. Los refuerzos, como partículas, fibras y elementos estructurales como láminas, pueden visualizarse en la **Figura 11** (Diez, 2023).



**Figura 11:** Configuración de los refuerzos en un material compuesto

**Fuente:** (Phemtycs, 2022)

### **b. La interfaz.**

La interfaz alcanza su máxima eficacia cuando se logra una adherencia sólida entre el refuerzo y la matriz. Esta conexión adquiere una relevancia aún mayor en los materiales reforzados con fibras, dado que las características mecánicas del compuesto están relacionadas de manera directa con la cohesión entre sus componentes. Una unión efectiva permite que las cargas aplicadas se distribuyan de manera eficiente en todo el entorno. Por el contrario, si esta conexión es deficiente, las fibras no podrán desempeñar su función de refuerzo y tenderán a separarse de la matriz, comprometiendo la integridad estructural del material (Caisaguano et al., 2022).

### **c. La Matriz.**

Las matrices se clasifican en tres categorías principales: metálicas, cerámicas y poliméricas. La elección del tipo de matriz influye significativamente en el comportamiento químico, la resistencia

al cambio de temperaturas y sus propiedades eléctricas. Entre estas, la matriz metálica destaca por sus características superiores, exhibiendo una notable resistencia mecánica, una rigidez considerable y la capacidad de funcionar en diversas condiciones operativas. Es importante señalar que la orientación de la matriz y las propiedades del compuesto desempeñan un papel fundamental en la definición del tema.

Particularmente, las partículas compuestas con matriz metálica han ganado atención debido a la mayor flexibilidad en los materiales compuestos, convirtiéndose en una opción atractiva para diversas aplicaciones (Lascano et al., 2020). Para que los refuerzos sean compatibles con las matrices metálicas, deben cumplir una serie de criterios específicos. Estos incluyen una baja concentración, un coeficiente de dilatación térmica reducido, compatibilidad química, estabilidad a temperaturas que eviten la deformación, capacidad para soportar tensiones y presiones elevadas, facilidad de procesamiento y un costo económico. El cumplimiento de estos requisitos asegura una sinergia efectiva entre la matriz y el refuerzo, optimizando así las propiedades del material compuesto resultante.

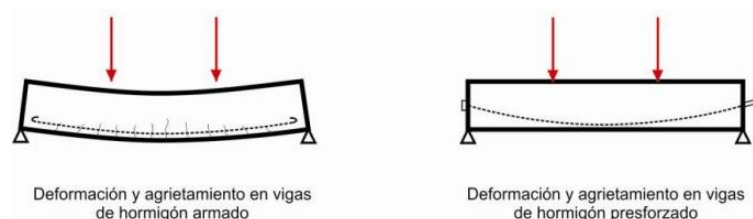
## 2.2 Orígenes y evolución de los paneles prefabricados

La incorporación de técnicas industriales en el sector de la construcción, conocida como prefabricación, dio inicio a la revolución industrial, originada en la segunda mitad del siglo XVIII, con un impacto profundo en la arquitectura al introducir nuevos materiales, entre ellos el acero y el vidrio. Este cambio influyó significativamente en el desarrollo de la prefabricación como una modalidad de industrialización en la construcción.

Como consecuencia, la arquitectura experimentó transformaciones sustanciales que dieron lugar a estilos innovadores dentro del contexto industrial. No obstante, fue la sinergia entre un material específico (el hormigón) y una técnica particular (la prefabricación) lo que culminó en la creación del concreto prefabricado. Este avance trascendental se materializó en la segunda mitad del siglo XX. Desde entonces, la construcción con elementos prefabricados ha experimentado un progreso constante. Este avance se ha visto impulsado por la mejora de las técnicas de fabricación y los adelantos tecnológicos en la construcción, haciendo énfasis en los materiales utilizados en esta época (Caldera, 2021). Estos desarrollos han permitido que la prefabricación se convierta en una técnica cada vez más eficiente y versátil en la industria de la construcción.

### 2.2.1 Primera etapa (1850-1940).

Durante este periodo, el concreto comenzó a ser considerado como una alternativa viable a la piedra natural, debido a su capacidad para crear formas complejas gracias a su maleabilidad. Sin embargo, es importante destacar que la prefabricación en esta etapa se llevaba a cabo principalmente de forma manual y en el sitio mismo de la construcción. Un hito significativo ocurrió en 1928, cuando el ingeniero francés Eugene Freyssinet patentó el concreto pretensado. Esta innovación marcó un punto de inflexión en las técnicas de construcción de edificios. Hasta ese momento, el concreto se había considerado un material pasivo e inerte, caracterizado por su baja resistencia a la tracción, lo cual era la principal causa de su deterioro. La introducción del pretensado transformó las propiedades del concreto, dotándolo de características activas y mejorando notablemente su resistencia a la compresión. Estas nuevas propiedades se pueden identificar en la **Figura 12**. La aparición de este material altamente duradero impulsó el desarrollo de aceros con un alto límite elástico y hormigones capaces de alcanzar una alta resistencia inicial (Gálvez, 2023), además de abrir nuevas posibilidades en el diseño arquitectónico y estructural.



**Figura 12:** Comparativa de propiedades de hormigón armado in situ con hormigón pretensado

**Fuente:** (Torres & Morales, 2011)

### 2.2.2 Segundo período (1940-1970).

La evolución de la construcción prefabricada se vio influenciada por dos factores cruciales en el contexto histórico. En primer lugar, las secuelas devastadoras de la Segunda Guerra Mundial dejaron grandes extensiones de Europa en ruinas, generando una urgente necesidad de reconstruir edificaciones e infraestructuras de manera eficiente y económica. Paralelamente, surgió la oportunidad de aprovechar la capacidad industrial desarrollada durante el conflicto bélico para atender las demandas logísticas del momento. En respuesta a estas circunstancias, la implementación de componentes prefabricados de concreto emergió como una solución de industrialización en el ámbito de la construcción, adaptándose a las exigencias de la época.

Este período vio el surgimiento de sistemas de construcción cerrados, diseñados para maximizar la eficiencia económica a través de la producción a gran escala (Fernández, 2023). Estos sistemas permitieron una producción estandarizada de elementos constructivos, facilitando una reconstrucción más rápida y sistemática de las áreas afectadas. La convergencia de la necesidad de reconstrucción rápida con la disponibilidad de capacidad industrial marcó una transformación significativa en la adopción y desarrollo de técnicas de prefabricación en la construcción, sentando las bases para futuras innovaciones en este campo.

### 2.2.3 Última parte del siglo XX.

En esta etapa, se vuelve crucial mejorar la apariencia estética de los componentes prefabricados, aspecto que había sido descuidado hasta entonces. Esto se logra principalmente mediante la incorporación de elementos decorativos en las fachadas (Gracia, 2021). Un ejemplo icónico de esta época es la Ópera de Sídney en Australia, donde se utilizaron enormes conchas prefabricadas para formar los techos de la estructura (ver **Figura 13**). En Estados Unidos, el uso de elementos prefabricados se generaliza en edificios emblemáticos, destacando su aspecto arquitectónico, aunque su aplicación en viviendas residenciales sigue siendo limitada. Las propiedades resistentes de los componentes prefabricados, junto con la facilidad de transporte y montaje, evidenciaron la mejora gradual de las prestaciones de esta técnica constructiva en comparación con otras alternativas (Bermejo, 2021).



**Figura 13:** La Ópera de Sídney en construcción en 1966

**Fuente:** (Nuseibeh, 2019)

A finales del siglo XX, el uso del concreto experimentó un auge significativo. Este crecimiento se debió a una serie de avances en diversos aspectos de su producción y aplicación. Se lograron importantes mejoras en áreas como la dosificación de los componentes, los procesos de curado y la implementación de rigurosos controles de calidad. Además, se observaron notables progresos en el diseño y fabricación de moldes, así como en la calidad de los acabados finales. La innovación en materiales también jugó un papel crucial en esta evolución. Un ejemplo destacado de estos avances se aprecia en el desarrollo de elementos para forjados, que abarcaron desde la prefabricación de viguetas y bovedillas hasta la creación de sofisticados sistemas alveolares. Todos estos avances convergieron para dar como resultado una metodología constructiva capaz de satisfacer de manera integral los requerimientos técnicos y funcionales de la edificación moderna (Gracia, 2021).

#### **2.2.4 El concreto en la actualidad.**

El concreto continúa siendo considerado un material uniforme, ya sea que se utilice como mezcla fresca curada in situ o en forma de elementos prefabricados producidos en entornos industriales. Si bien la percepción negativa del término 'prefabricado' está disminuyendo, aún persiste un desconocimiento generalizado sobre las ventajas de esta técnica, lo que frena el avance del sector debido a ideas preconcebidas. Algunos especialistas señalan que la prefabricación representa una evolución en el uso convencional del concreto. La concepción y elaboración en ambientes más técnicos y regulados producen componentes y soluciones con mayor exactitud dimensional. Esta metodología también optimiza el uso de la fuerza laboral y la maquinaria necesaria en los proyectos de construcción (Rodríguez et al., 2021).

La edificación industrializada ofrece la posibilidad de desensamblar y reutilizar componentes. Los métodos computarizados facilitan el manejo de la forma y su aplicación industrial, permitiendo crear elementos intrincados que serían complicados de realizar a mano. Actualmente, la combinación de diseño arquitectónico y técnicas de prefabricación permite elaborar elementos estructurales y de cerramiento que se ajustan completamente a los criterios arquitectónicos modernos en cuanto a formas y terminaciones. Una ventaja notable de este enfoque es la capacidad de generar diseños flexibles para las edificaciones, lo que permite modificar su función sin comprometer la estructura o los muros exteriores. Esta adaptabilidad contribuye a extender la vida útil de los inmuebles, disminuyendo así su huella ecológica.

#### **2.3 Modificación de lo existente con prefabricados.**

Los elementos prefabricados han demostrado su capacidad para satisfacer eficazmente las exigencias de innovación en diversos aspectos, incluyendo los técnicos, funcionales, estéticos y arquitectónicos, y se proyecta un futuro en el que se sigan implementando. Esta evolución ha evidenciado el aumento de la resistencia mecánica del concreto, introduciendo el concepto de "alta resistencia". Los avances que han aportado mayor dinamismo al aspecto formal abarcan un incremento en la variedad de sus formas, texturas, relieves y colores, así como la reducción de peso en componentes exteriores como pavimentos, fachadas y mobiliario urbano. Además, se han introducido diseños innovadores, como fachadas que permiten el ingreso de luz o la habilidad de

emular otros materiales de construcción (Cotallo, 2023). Estas características innovadoras se pueden apreciar en la **Figura 14**.

El perfeccionamiento de los cementos, la creación de nuevos aditivos, la implementación de aceros más resistentes para el pretensado y la incorporación de fibras, entre otros avances, han permitido alcanzar dimensiones, ligereza y acabados que anteriormente eran difíciles de concebir. Adicionalmente, se han logrado mejoras significativas en propiedades como la durabilidad, la eficiencia energética, la resistencia al fuego y el aislamiento acústico (Montes et al., 2021). Estos progresos en la tecnología de prefabricados no solo han ampliado las posibilidades de diseño y construcción, sino que también han mejorado el rendimiento general de las estructuras. La capacidad de combinar resistencia mecánica con ligereza, por ejemplo, permite la creación de estructuras más esbeltas y eficientes. Al mismo tiempo, la mejora en las propiedades térmicas y acústicas contribuye a la creación de edificios más confortables y energéticamente eficientes.

La posibilidad de imitar otros materiales de construcción ofrece a los arquitectos y diseñadores una gama más amplia de opciones estéticas, sin comprometer las ventajas estructurales y funcionales del concreto prefabricado. Esta flexibilidad permite una mayor libertad creativa en el diseño arquitectónico, al tiempo que mantiene los beneficios de la producción industrializada.



**Figura 14:** Fachada con planes prefabricados texturizados

**Fuente:** (Anónimo, 2019)

Cabe resaltar la evolución tecnológica de los productores de equipamiento industrial, lo cual está facilitando que las instalaciones de prefabricados logren un grado de automatización considerable. Esta mejora se refleja en la integración de diversos elementos, como moldes de variadas características y mayor longevidad, mecanismos de vertido más productivos, métodos de curado más eficaces y técnicas de envejecimiento artificial que posibilitan la creación de geometrías intrincadas con un nivel de exactitud superior. Este avance paralelo en la tecnología de fabricación está transformando la industria de los prefabricados de manera significativa.

## 2.4 Innovación en revestimientos de fachadas

La evolución de la construcción ha traído consigo numerosos avances en el ámbito de los revestimientos de fachadas, transitando desde métodos rudimentarios hasta sistemas altamente sofisticados. Esta progresión ha centrado el desarrollo de innovadores sistemas de revestimiento y técnicas de instalación, con el objetivo de perfeccionar la funcionalidad y la estética de las edificaciones. Los exteriores de las construcciones, más conocidas como fachadas, en sus inicios se componían principalmente de elementos nativos y naturales como la madera, piedra y arcilla, utilizados en forma de recubrimientos básicos. Con el transcurso del tiempo, se implementaron métodos más elaborados, como la utilización de mortero para unir los componentes del revestimiento, lo que resultó en un incremento significativo de la longevidad y resistencia de las estructuras (Pozo & Huanca, 2023).

El avance tecnológico y la aparición de nuevos materiales han propiciado progresos significativos en la construcción de fachadas. El siglo XIX marcó un hito importante con la introducción del hierro y el acero, materiales que permitieron la edificación de fachadas más elevadas y esbeltas, capaces de soportar tanto cargas verticales como horizontales. Asimismo, la implementación de técnicas como el enladrillado y la creación de muros cortina abrió nuevas posibilidades en el diseño arquitectónico. El siglo XX trajo consigo una revolución en la concepción de las fachadas, impulsada por el desarrollo de materiales sintéticos y técnicas de fabricación avanzadas. La incorporación de materiales como el vidrio, el aluminio y los paneles compuestos permitió la construcción de fachadas más ligeras, transparentes y resistentes, ampliando significativamente las opciones de diseño y funcionalidad (Ferrés & Martín, 2023).

### 2.4.1 Tipos de fabricación de fachadas:

La cobertura de los muros exteriores juega un papel crucial en el diseño arquitectónico, trascendiendo más allá de su mero impacto estético. Este elemento cumple funciones vitales como la protección contra las inclemencias del tiempo y la optimización del rendimiento energético de las construcciones. La amplia gama de opciones en fachadas refleja la evolución tecnológica así como las distintas soluciones que se han desarrollado para satisfacer las tendencias y exigencias arquitectónicas en la construcción e industria en general (Jiménez et al., 2022).

#### a. *Fachadas de fábrica vista.*

Se caracterizan por emplear componentes, tanto estructurales como ornamentales, que debido a su composición y acabado, se dejan expuestos sin necesidad de aplicar capas adicionales. Uno de los ejemplos más representativos en este tipo de fachadas es el uso de ladrillos decorativos. Típicamente, estos elementos se disponen de manera entrelazada, unidos entre sí mediante una mezcla convencional de cemento y arena, como se puede apreciar en la **Figura 15**. Una de las ventajas es que, al no requerir recubrimientos posteriores, se elimina la necesidad de periodos de

espera entre etapas, lo que resulta en una reducción considerable del tiempo de ejecución y de los recursos de mano de obra necesarios (Jiménez et al., 2022).



**Figura 15:** Ladrillo visto en la Casa CM de Sergio Zalamea

**Fuente:** (Zalamea S, 2016)

#### **b. Fachadas de fábrica para revestir.**

Los muros exteriores diseñados para ser recubiertos se construyen de una manera que no exige una colocación sumamente precisa, ya que posteriormente se les aplicará un revestimiento que cubrirá cualquier imperfección que pudiera surgir. Por lo general, estos muros se construyen con ladrillos, que pueden ser de cemento o arcilla, colocados en posiciones entrelazadas (ver **Figura 16**), utilizando mortero como material de unión (Jiménez et al., 2022).



**Figura 16:** Proceso de enlucido de pared

**Fuente:** (Guía Reforma, 2023)

#### **c. Fachadas con Paneles Prefabricados Pesados.**

Estos elementos se emplean en el exterior de los cerramientos de un edificio. Aunque pueden fabricarse con diversos materiales, el más frecuentemente utilizado es el hormigón. Cabe destacar que estos paneles no desempeñan ninguna función de soporte estructural, sino que se fijan a la estructura principal del edificio mediante sistemas de anclaje (ver **Figura 17**) (Jiménez et al., 2022).



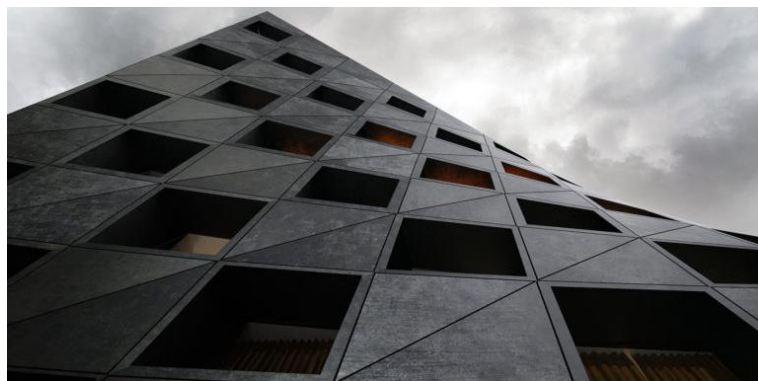
**Figura 17:** Montaje de pared prefabricada

**Fuente:** (Prilhofer et al., 2020)

#### **d. Fachadas con Paneles Prefabricados Livianos.**

Estos elementos se instalan en la parte exterior de las construcciones, de manera similar a los paneles prefabricados pesados. Sin embargo, en este caso se emplean materiales de menor peso, como plásticos, metales o hormigones aligerados. El uso de estos paneles ligeros ha ganado considerable aceptación en el mercado global (Jiménez et al., 2022). Generalmente, se fabrican con un núcleo basado en polímeros que contribuye a reducir el peso total de la estructura.

El hormigón de agregados ligeros es conocido por su reducida masa y su composición en materiales utilizados en su fabricación. El desarrollo se origina en la búsqueda de un material de construcción con propiedades similares a las de los tradicionales, pero que sea más liviano y económico. Estos paneles resultan de reemplazar los agregados convencionales empleados en la fabricación de hormigón tradicional por agregados ligeros, ya sean orgánicos o inorgánicos. Exteriormente, su apariencia puede ser similar a los paneles comunes, pero internamente presentan una distribución heterogénea de agregados ligeros. Un ejemplo de edificación que utiliza este sistema constructivo es el Hotel Shoreditch (ver **Figura 18**) (Jiménez et al., 2022).



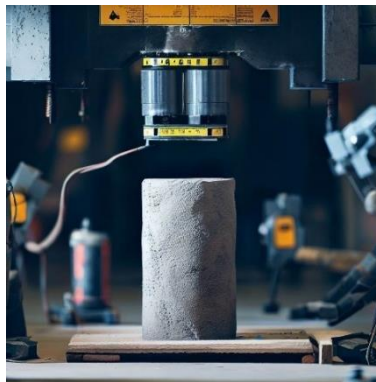
**Figura 18:** Hotel Shoreditch

**Fuente:** (Aguirre et al., 2020)

## 2.5 Impacto socioeconómico y cultural del deterioro de fachadas

En el ámbito internacional, el cemento se posiciona como el material de construcción más utilizado. Una proporción significativa de la infraestructura mundial se erige empleando este material, lo que hace imprescindible el conocimiento profundo de su tecnología en todas las etapas del proceso edificatorio. Numerosas estructuras han experimentado inconvenientes relacionados con la durabilidad, lo que ocasiona que pierdan su funcionalidad o eficiencia, impidiéndoles alcanzar su vida útil proyectada. Las cuestiones de resistencia no se limitan al diseño inicial y la fase de construcción, sino que también afectan considerablemente el desempeño y generan gastos y pérdidas económicas, ya sea por reparaciones en zonas deterioradas, sustitución de elementos dañados o costos de conservación y renovación (Gonzalez & Ledesma, 2022).

Las dificultades relacionadas con la durabilidad comenzaron a manifestarse antes del siglo XX. A pesar de que no es un fenómeno reciente, las construcciones actuales continúan enfrentando esta problemática debido a la escasa divulgación y al alto costo que este implica. Un material económico puede ser resistente a las cargas que debe soportar, pero no necesariamente duradero, lo que podría resultar en gastos adicionales de mantenimiento. Por otro lado, un material resistente y duradero puede suponer una inversión inicial más elevada, pero conlleva ahorros considerables a largo plazo. Cabe mencionar que para evaluar la resistencia de un material, se llevan a cabo ensayos mecánicos, como es el caso del hormigón, ilustrado en la **Figura 19** (García, 2020).



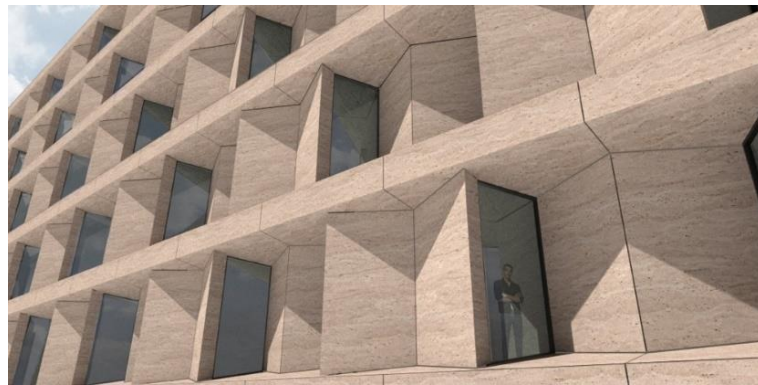
**Figura 19:** Prueba de compresión de probeta de hormigón

**Fuente:** (Anónimo, 2024)

La durabilidad juega un papel fundamental en el hormigón, pues este debe ser capaz de resistir las condiciones de uso previstas para mantener su integridad a lo largo del tiempo. Según la definición del ACI-201 (1997), la durabilidad se entiende como "la capacidad de resistir la influencia del tiempo, daños químicos, desgaste u otros tipos de deterioro". Un material duradero mantendrá sus características originales, incluyendo su forma, calidad y estado, incluso cuando se encuentre expuesto a las condiciones de su entorno (ACI, Sección Centro y Sur de México, 1996).

## 2.6 Paneles prefabricados

Los elementos prefabricados son componentes elaborados en un lugar distinto al de su uso final, lo que permite asegurar su protección durante el proceso de fabricación (López & Bartolomé, 2019). Este proceso se realiza mediante un método industrial con un estricto control de producción en la planta, lo que conlleva a una reducción en los plazos de entrega. La prefabricación busca optimizar los procesos de manufactura para lograr eficiencia y avances a través de actividades planificadas y repetitivas en condiciones óptimas (López, 2022). En la fabricación de estos paneles, se emplean principalmente refuerzos, y según se requiera, se pueden incorporar aislamientos térmicos o acústicos. En comparación con los métodos tradicionales o convencionales, esta técnica de prefabricación mejora la calidad y precisión en la producción y también acorta los tiempos de construcción. Un ejemplo destacado de esta técnica es el Edificio IBM, diseñado por el arquitecto Miguel Fisac, que se muestra en la **Figura 20**. En esta construcción, los prefabricados se utilizan como una solución innovadora para cumplir con los principios del estilo internacional que el diseñador buscaba plasmar.



**Figura 20:** Edificio IBM en Madrid

**Fuente:** (Gayoso, 2020)

Además de ofrecer una amplia gama de posibilidades de diseño los elementos prefabricados de hormigón se presentan como una alternativa versátil y adaptable en la construcción de fachadas, facilitando la creación de formas elaboradas y acabados personalizados (Guerrero & Isabel, 2018). Esta técnica permite la integración de componentes tanto estéticos como funcionales, mejorando así el aspecto visual de la edificación. En el ámbito industrial, estos paneles se producen en serie, utilizando métodos y tecnologías de fabricación convencionales. Se caracterizan por su eficiencia en cuanto a los requerimientos de calidad y resistencia establecida durante su proceso de elaboración. Su facilidad de desmontaje y su conveniente transportabilidad los convierten en una opción económica y práctica para diversos proyectos constructivos, abarcando desde áreas residenciales hasta zonas comerciales e industriales (Oliveira, 2020).

## 2.7 Recubrimiento de fachadas

El revestimiento de muros consiste en la aplicación de una capa externa adicional a una estructura con el propósito de protegerla, realzar su apariencia y potenciar su funcionalidad. Se puede emplear una variedad de materiales para este fin, incluyendo piedra, ladrillo, madera, metal, vidrio, cerámica y hormigón, entre otros. Este proceso, además de mejorar la estética, cumple funciones cruciales como la protección contra los elementos climáticos, proporciona aislamiento acústico y térmico que permite el control de la humedad, así como la resistencia al desgaste y a los impactos.

En este procedimiento, es esencial seleccionar cuidadosamente los materiales de revestimiento, prepararlos e instalarlos de manera apropiada para asegurar la durabilidad y resistencia del recubrimiento exterior. La selección de materiales se basa en factores como el clima, el diseño arquitectónico y los requerimientos específicos del proyecto. Desde una perspectiva puramente arquitectónica, el embellecimiento de las paredes exteriores se considera fundamental en la construcción de edificios, ya que influye significativamente en su atractivo visual. Los materiales y métodos se eligen meticulosamente para crear efectos visuales y espaciales que expresen la identidad del edificio y su interacción con el entorno urbano.

El revestimiento de fachadas exteriores tiene como objetivo resaltar elementos arquitectónicos, aportar contraste y textura, e incorporar detalles decorativos como patrones, relieves y colores. Un ejemplo ilustrativo es el Conjunto Residencial Spatrul Preda, mostrado en la **Figura 21**, que utiliza elementos prefabricados para minimizar el mantenimiento de la fachada. Gracias al avance de la tecnología en fabricación, se ha desarrollado sistemas de revestimiento más duraderos y ecológicos, que además son adaptables a diversas aplicaciones arquitectónicas (Acero & Preciado, 2022).



**Figura 21:** Conjunto Residencial Spatrul Preda

**Fuente:** (Seguí, 2007)

## 2.8 El diseño y los paneles prefabricados

La planificación y el desarrollo de estructuras funcionales y estéticas fundamentadas en los principios del diseño arquitectónico son esenciales para la producción y organización de estos componentes prefabricados. En este marco, el proceso de diseño abarca la concepción y elaboración de los paneles prefabricados de hormigón, considerando aspectos como su configuración, dimensiones, acabado superficial y elementos decorativos, con el objetivo de satisfacer tanto los requerimientos funcionales como estéticos del proyecto arquitectónico en cuestión (Diez, 2023). Estos paneles se integran en la composición general del edificio, teniendo en cuenta factores como la organización del espacio, las proporciones, el tamaño y la relación con el entorno circundante (Hurtado, 2016). Un ejemplo que ilustra la flexibilidad en términos de apariencia y rapidez de construcción es el Edificio de oficinas Antejardín, mostrado en la **Figura 22**, donde se han empleado paneles prefabricados de concreto, caracterizados por su ligereza y modularidad, para cumplir con las especificaciones de diseño del proyecto.



**Figura 22:** Edificio de Oficinas Antejardín

**Fuente:** (Mesa & Mesa, 2019)

La configuración de los paneles debe ser perfeccionada para facilitar su producción, traslado e instalación en el sitio de obra. Es fundamental cumplir con las especificaciones de resistencia, longevidad y armonía con otros componentes del sistema constructivo para garantizar la solidez estructural de la edificación (Hierro & Santiago, 2012). Bajo esta perspectiva, el diseño y la arquitectura se enfocan en la calidad y la eficiencia de la construcción, características primordiales que disminuyen los costos y el tiempo de la ejecución. Esto implica una constante búsqueda de soluciones innovadoras que optimicen tanto el proceso constructivo como el resultado final. La flexibilidad en el diseño permite abordar diversos desafíos arquitectónicos, desde la creación de fachadas estéticamente atractivas hasta la resolución de complejos requisitos funcionales. Los paneles prefabricados ofrecen la ventaja de poder ser personalizados en términos de forma, textura y acabado, permitiendo una gran variedad de expresiones arquitectónicas. Su correcta implementación resulta en edificaciones con los mejores estándares de calidad y seguridad, por lo que destacan también por su estética y funcionalidad (Portilla, 2018).

## 2.9 La sostenibilidad y los paneles prefabricados

En este contexto, se manifiesta la capacidad de satisfacer necesidades actuales sin comprometer las necesidades de generaciones futuras para cumplir con las suyas. Esto implica buscar un equilibrio entre satisfacer las necesidades humanas, conservar los recursos naturales y respetar los límites medioambientales. Se busca lograr una sinergia entre los aspectos sociales, económicos y ambientales para garantizar un desarrollo sostenible que no agote los recursos del planeta. En la práctica, implica la implementación de técnicas y estrategias orientadas que permitan disminuir cualquier tipo de afección ambiental y maximizar la eficiencia en la producción, transporte y la instalación de estos componentes. Esto abarca la selección de materiales con bajas emisiones de carbono, la adopción de tecnologías de fabricación más limpias y eficientes, y la optimización del diseño para reducir el desperdicio de materiales y energía durante el proceso constructivo.

La versatilidad de los paneles prefabricados contribuye a la posibilidad de readaptar edificaciones, promoviendo así un desarrollo urbano sostenible y resiliente a lo largo del tiempo. Desde esta perspectiva, la sostenibilidad se enfoca en garantizar la viabilidad durante un tiempo prolongado en el campo de la construcción, mientras se minimiza su huella ecológica y se promueve el bienestar social. Un ejemplo ilustrativo de esta aproximación se puede observar en el edificio 1200 Intrepid, representado en la **Figura 23**. Esta construcción aprovecha las ventajas inherentes a la metodología de paneles prefabricados para desarrollar soluciones arquitectónicas que optimizan tiempo, costos y calidad, demostrando cómo la prefabricación puede alinearse con los principios de sostenibilidad y eficiencia. La adopción de estas prácticas sostenibles en la construcción con paneles prefabricados no solo beneficia al medio ambiente, sino que también puede resultar en ventajas económicas a largo plazo. La reducción de desperdicios, optimización de recursos e incremento de la eficacia energética pueden traducirse en ahorros significativos durante el ciclo de vida del edificio (Martiradonna, 2021).



**Figura 23:** Edificio 1200 Intrepid

**Fuente:** (GRANDE - Grupo Bjarke Ingels, 2016)

## 2.10 Casos referentes

### 2.10.1 Investigación y selección de casos referentes.

Para enriquecer el análisis, se revisaron investigaciones similares en bases científicas, las cuales incluían datos detallados sobre dosificación y resistencia. Basado en estos datos, se optó por seleccionar aquellas investigaciones que orientaban la propuesta hacia el desarrollo de paneles aplicables a fachadas. Estos estudios fueron seleccionados no solo por su enfoque innovador, sino también por la información detallada que proporcionaban sobre el proceso de fabricación del elemento. Se eligieron tres investigaciones como referencia principal para guiar el desarrollo de esta investigación. La selección se basó en los siguientes criterios:

#### ***a. Propuesta de aplicación en fachadas.***

Las investigaciones debían centrar su enfoque en la aplicación de paneles en fachadas, asegurando su relevancia para el objetivo del estudio.

#### ***a. Información detallada del proceso de fabricación***

Se priorizaron estudios que ofrecieran una descripción exhaustiva de los pasos involucrados en la fabricación, desde la dosificación hasta el acabado final.

#### ***b. Diseño adaptable para viviendas nuevas y antiguas.***

Una condición esencial para los casos seleccionados fue que el proceso de fabricación incluyera un diseño que facilitara la aplicación de los paneles tanto en construcciones nuevas como en renovaciones de estructuras existentes.

### 2.10.2 Análisis de Dosificaciones

En el análisis de dosificaciones, se consideraron varios factores clave para garantizar la eficacia y sostenibilidad de los paneles prefabricados. A continuación, se detalla el enfoque adoptado:

#### ***a. Resistencia Mecánica.***

Se evaluó la capacidad de las mezclas para soportar cargas mediante pruebas de compresión y flexión, asegurando que los paneles cumplan con los estándares de seguridad y durabilidad requeridos en aplicaciones de construcción.

#### ***b. Composición de Materiales.***

Se analizaron las proporciones de materiales utilizados, como cemento, agregados y aditivos, con el objetivo de optimizar la mezcla en términos de resistencia y costo. Esta optimización es crucial para desarrollar un producto competitivo y eficiente.

### ***c. Sostenibilidad.***

Se consideró el uso de materiales reciclados y la reducción del contenido de cemento para disminuir el impacto ambiental. Este enfoque promueve prácticas de construcción más sostenibles y ecológicas.

### **2.10.3 Criterio para analizar el proceso constructivo**

#### ***a. Eficiencia del Proceso.***

Se evalúa la rapidez con la que los paneles pueden ser fabricados y ensamblados. Un proceso eficiente reduce costos y tiempos de construcción, lo cual es crucial para proyectos a gran escala. Además, se analiza el uso de materiales y energía durante el proceso de fabricación para minimizar el desperdicio y maximizar la sostenibilidad.

#### ***b. Calidad del Producto Final.***

Se examina la calidad del acabado del panel, asegurando que cumpla con los estándares estéticos y funcionales requeridos para su aplicación en fachadas. También se verifica que los paneles producidos mantengan una consistencia en términos de dimensiones y propiedades físicas, lo cual es esencial para su correcta instalación y desempeño.

#### ***c. Adaptabilidad y Flexibilidad.***

Se considera la capacidad de los paneles para adaptarse a diferentes estilos arquitectónicos y requerimientos de diseño, tanto en construcciones nuevas como en renovaciones. También se evalúa el diseño de los paneles para asegurar que sean fáciles de manejar e instalar, reduciendo la necesidad de mano de obra especializada y tiempo en obra.

#### ***d. Durabilidad y Mantenimiento.***

Se evalúa la durabilidad de los paneles frente a diferentes condiciones climáticas, asegurando su longevidad y reducción de costos de mantenimiento. Además, se analizan los procedimientos necesarios para mantener los paneles en óptimas condiciones, reduciendo así el costo y esfuerzo a lo largo de la vida útil.

#### ***e. Innovación en el Proceso.***

Se evalúan prácticas que promuevan la sostenibilidad, como el uso de energías renovables y la implementación de estrategias de economía circular en la fabricación. Además, estos criterios aseguran que el proceso constructivo no solo sea eficiente y rentable, sino también sostenible y adaptable, cumpliendo con las demandas actuales de la industria de la construcción.

### **2.10.4 Otros criterios de selección de casos referentes**

La elección de buenos ejemplos es clave para entender qué funciona mejor, qué avances se han logrado y qué problemas existen en esta industria. Estos ejemplos ayudan no solo a reconocer las prácticas más efectivas y duraderas, sino también a entender la manera en que esta tecnología

se ha ajustado y avanzado en distintas situaciones geográficas y comerciales. Se han tenido en cuenta los siguientes criterios para elegir casos relevantes de paneles prefabricados.

**a. Innovación Tecnológica.**

Se consideran investigaciones que hayan integrado tecnologías avanzadas en la fabricación de paneles, como la automatización, el empleo de materiales reciclados y modernas técnicas de prefabricación.

**b. Sostenibilidad.**

Se consideran investigaciones que implementan estrategias sostenibles en la creación y empleo de paneles prefabricados, como el uso de materiales reciclados, la disminución de emisiones de carbono y una mayor eficiencia energética en las operaciones de producción.

**c. Excelencia y resistencia.**

Se abarca la resistencia a condiciones climatológicas desfavorables, la estabilidad de la estructura y el bajo requerimiento de mantenimiento.

**d. Ejemplos de éxito.**

Se consideran proyectos representativos que han empleado paneles prefabricados para revestir fachadas, mostrando su efectividad y ventajas estéticas y funcionales.

**2.10.5 Concreto Alivianado con Espumaflex.**

Las investigaciones llevadas a cabo en este estudio han evidenciado que los paneles de hormigón armado elaborados con concreto aligerado mediante Espumaflex satisfacen los requisitos de calidad y seguridad esenciales para su aplicación en el ámbito de la construcción. Las pruebas de resistencia, durabilidad y aislamiento han validado su aptitud para el revestimiento de fachadas, situándolo como una opción viable y ventajosa en comparación con los materiales convencionales.

El uso de concreto aligerado con Espumaflex se presenta como una solución novedosa y ecológica en la producción de paneles de hormigón armado, aportando beneficios notables en cuanto a eficacia, sostenibilidad y posibilidades de diseño. Este material tiene el potencial de revolucionar el enfoque en la construcción de fachadas, promoviendo estructuras más livianas, eficientes y con mayor versatilidad estética. Para la formulación de la mezcla, se definen las proporciones necesarias de cada componente que forma el hormigón, cantidades de los sólidos, agregados y el cemento, se dosifican en kilogramos por metro cúbico. En cuanto a la dosificación de agua, se mide en litros o kilogramos, teniendo en cuenta que un kilogramo de agua corresponde a un litro (Espinosa, 2016).

**a. Proceso de elaboración.**

El primer paso implica alistar los componentes necesarios como moldes, materiales y equipos para la fabricación. El sistema de encofrado se compone de Plywood de 8mm de espesor, listones de madera y clavos de 2 1/2 pulgadas. El encofrado se puede observar en la **Figura 24**.



**Figura 24:** Encofrado referente 1

**Fuente:** (Espinosa, 2016).

El segundo paso consiste en la combinar de los agregados conforme a la dosificación.



**Figura 25:** Arena y grava según la dosificación referente 1

**Fuente:** (Espinosa, 2016).

En la tercera fase del proceso, se procede a depositar el cemento encima de la arena y grava.



**Figura 26:** Arena, grava y cemento dosificado referente 1

**Fuente:** (Espinosa, 2016).

En el cuarto paso del procedimiento implica la incorporación del agua a la combinación de materiales secos, seguida de su homogeneización.



**Figura 27:** Arena, grava, cemento y agua según la dosificación referente 1

**Fuente:** (Espinosa, 2016).

En el quinto paso se continúa el proceso de mezclado hasta lograr una composición uniforme y de consistencia adecuada.



**Figura 28:** Arena, grava, cemento y agua según la dosificación referente 1

**Fuente:** (Espinosa, 2016).

En el sexto paso del proceso consiste en la adición del material Espumaflex a la mezcla de ya preparada.



**Figura 29:** Adición de Espumaflex a la mezcla de hormigón referente 1

**Fuente:** (Espinosa, 2016).

En la séptima fase, se procede a integrar todos los elementos de la mezcla, dejándola lista para su posterior vertido en los encofrados preparados.



**Figura 30:** Mezclado de hormigón con aligerante (Espumaflex) referente 1

**Fuente:** (Espinosa, 2016).

El octavo paso implica el vaciado de la mezcla preparada en los moldes previamente dispuestos, utilizando una pala como herramienta de apoyo.



**Figura 31:** Vertido de la mezcla aligerada sobre el molde referente 1

**Fuente:** (Espinosa, 2016).

En la novena fase del procedimiento, se procede a distribuir uniformemente la mezcla dentro del encofrado, asegurando que se llenen todos los espacios disponibles.



**Figura 32:** Esparcimiento de la mezcla en el molde referente 1

**Fuente:** (Espinosa, 2016).

La décima etapa consiste en igualar la superficie de la mezcla a lo largo del molde hasta lograr uniformidad. Tras esto, se espera un breve período para que la mezcla adquiera cierta consistencia, para luego proceder al alisado de la parte superior, otorgándole así terminados definitivos.



**Figura 33:** Nivelado de la mezcla en el molde referente 1

**Fuente:** (Espinosa, 2016).

Culminado este procedimiento, se procede al desmoldeo transcurridas 24 horas. Posteriormente, se somete el panel a un proceso de curado durante un período de 7 días, permitiendo que alcance el nivel de resistencia requerido.

#### **b. Dosificación.**

El proceso de determinación de las cantidades precisas de cada componente de la mezcla se inicia a partir de una fórmula estándar de hormigón, la cual se presenta en la **Tabla 1**. Esta dosificación de referencia está diseñada para lograr una resistencia de 180 Kg/cm<sup>2</sup> (Espinosa, 2016).

**Tabla 1:** Dosificación para 1 m<sup>3</sup> de hormigón de resistencia 180 kg/cm<sup>2</sup>.

Materiales	Dosificación
Cemento	375 kg
Agua	0,160 m <sup>3</sup>
Arena	0,419 m <sup>3</sup>
Grava	0,910 m <sup>3</sup>

**Fuente:** (Espinosa, 2016).

Una vez establecida la mezcla de referencia, se procede a sustituir una porción del cemento por ciertos agregados de baja densidad que mejoran las propiedades y el desempeño de la mezcla, como es el caso de la Espumaflex. Esta modificación en la dosificación resulta en un ahorro económico significativo, dado que parte del volumen del hormigón es reemplazado por espuma. Este material puede obtenerse a partir de residuos de embalajes de diversos productos (Baquerizo & Espinoza, 2016).

Los componentes empleados para la formulación de la mezcla son los siguientes: arena, cemento Rocafuerte, grava, agua potable local y Espuma Flex. Tomando como base la dosificación

previamente mencionada, la **Tabla 2** detalla la composición específica utilizada para la elaboración de un panel con dimensiones de 60cm x 90cm x 4cm.

**Tabla 2:** Dosificación para un panel de hormigón (0,60m x 0,90m x 0,04m) de resistencia de 180 kg/cm<sup>2</sup>.

Materiales	Dosificación
Cemento	0,107 kg
Agua	0,003 m <sup>3</sup>
Arena	0,010 m <sup>3</sup>
Grava	0,013 m <sup>3</sup>
Espuma	0,007 m <sup>3</sup>

**Fuente:** (Espinosa, 2016).

En la nueva dosificación, se ha incorporado Espumaflex en una proporción equivalente al 33% del volumen total de agregados en la mezcla. Esta modificación tiene como resultado una disminución en el peso específico del producto final y en sus costos de producción (Espinosa, 2016).

### **c. Aditivos empleados.**

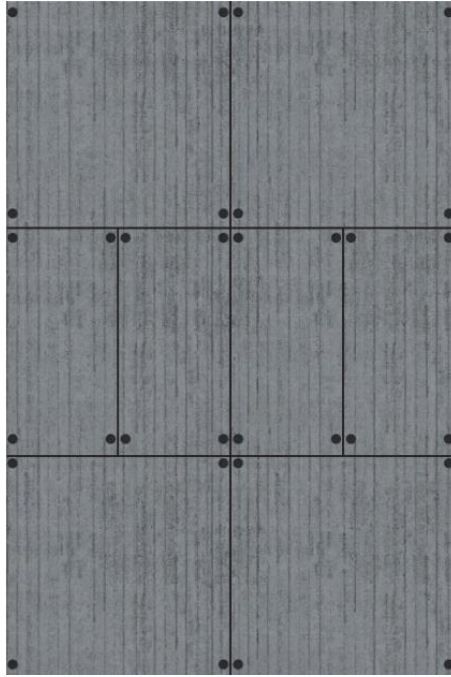
En esta aplicación específica, se utilizan aditivos que reducen el contenido de agua y otros que alteran el tiempo de fraguado, siempre que estos cumplan con los estándares normativos establecidos. Los aditivos plastificantes y aquellos que combinan propiedades plastificantes con retardo del fraguado, empleados en la producción de hormigón fluido, deben ajustarse a los requisitos que se establecen según la norma ASTM C1017/C1017M, la cual proporciona las "Especificaciones para aditivos químicos utilizados en la elaboración de hormigón fluido" (Espinosa, 2016).

### **d. Encofrados empleados en la elaboración de los paneles prefabricados.**

En la industria actual de elementos constructivos prefabricados existe una gama amplia de dimensiones disponibles cumplir con las demandas específicas de cada proyecto. Sin embargo, esta diversidad en medidas y tamaños puede resultar en un incremento del tiempo requerido para la fabricación y montaje, lo que a su vez puede generar pérdidas económicas y de materiales (Espinosa, 2016).

Debido a esto, se hace evidente la necesidad de establecer un dimensionamiento estandarizado que pueda adaptarse a los requerimientos espaciales y funcionales de una vivienda típica. Uno de los sistemas modulares más frecuentemente utilizados en el dimensionamiento se encuentra documentado en el Neuffer, donde se propone un módulo base de 10cm, a partir del cual se derivan los demás módulos (Espinosa, 2016).

Considerando estos datos previamente establecidos, y teniendo en cuenta una vivienda funcional de características establecidas como: disposición de ventanas, puertas, pasillos y áreas de circulación, entre otros elementos, se ha llegado a determinar una medida modular de 0.90m x 0.90m x 0.04m, o alternativamente de 0.90m x 0.60m x 0.04m. Esta modulación puede ser representada gráficamente mediante una retícula simple, como se ilustra en la **Figura 34**, que muestra un ejemplo de sistema prefabricado (Espinosa, 2016).



**Figura 34:** Modulación de prefabricados referente 1

**Fuente:** (Espinosa, 2016).

Tomando como referencia esta información, es posible determinar las dimensiones apropiadas para los encofrados. El material usado en los moldes se describe en la **Tabla 3**, Los moldes que se emplearán en este proceso se fabricarán utilizando Ply Wood de 8mm como base, junto con clavos de 2 1/2". Este sistema de encofrado ha sido concebido para permitir su reutilización en hasta 6 ocasiones, y su diseño se puede apreciar en la **Figura 35**.

**Tabla 3:** Cantidad de material para el encofrado.

Materiales	Cantidad
Plywood	0,055 U
Clavos	0,100 lb

**Fuente:** (Espinosa, 2016).

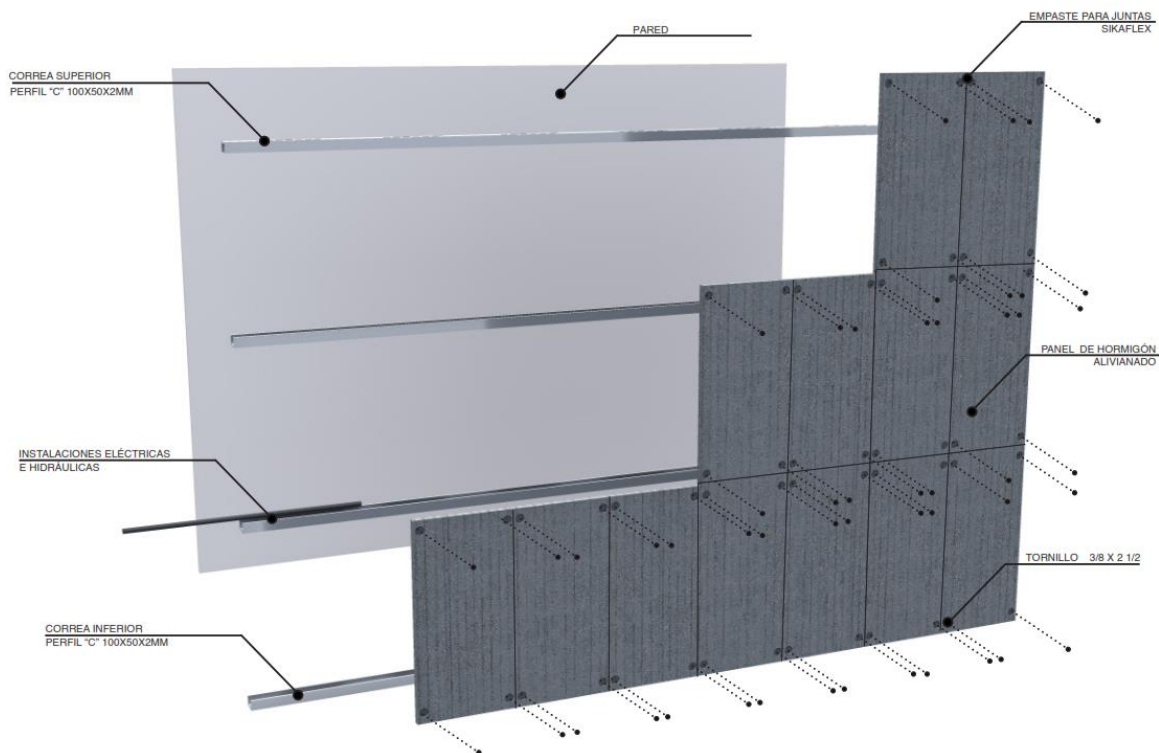


**Figura 35:** Diferentes tamaños de los moldes

**Fuente:** (Espinosa, 2016).

### **e. Ensamblado empleado para los paneles prefabricados.**

La configuración del armazón de soporte, con sus diversos componentes y elementos, se ilustra en la **Figura 36**. Esta estructura ha sido diseñada con la capacidad de sostener el peso de los paneles de manera eficiente, sin comprometer su integridad. Además, su diseño facilita tanto el proceso de desmontaje como la sustitución de piezas individuales cuando sea necesario (Espinosa, 2016).



**Figura 36:** Esquema de aplicación referente 1

**Fuente:** (Espinosa, 2016).

### **2.10.6 Panel prefabricado de mortero con agregados plástico.**

El estudio se enfoca en las deficiencias del micro hormigón, particularmente en sus bajas propiedades mecánicas de compresión y flexión. Para superar estas limitaciones, se implementan materiales de refuerzo con el fin de mejorar las características del micro hormigón. En este caso particular, se emplean fibras obtenidas de plástico PET reciclado. El propósito es incorporar la mayor cantidad posible de plástico, de esta manera generar una conciencia ambiental y tratar de reducir la contaminación producida por este material. La metodología cuantitativa (empírico-analítica) es la base de esta investigación, ya que es un proceso predominantemente experimental que permite cumplir con los objetivos planteados (Carballo et al., 2020).

#### **a. Proceso de elaboración.**

El primer paso es la construcción del encofrado para los paneles. Este se fabrica utilizando perfiles en forma de L, con dimensiones de 1 ½" x 1 ½" y un espesor correspondiente a la chapa #16, que conforman el marco. Para la superficie del encofrado, se emplea lámina de zinc liso. La

configuración y apariencia de este encofrado se pueden observar en detalle en las **Figura 24** y **Figura 25** (Carballo et al., 2020).



**Figura 37:** Estructura del encofrado referente 2

**Fuente:** (Carballo et al., 2020).



**Figura 38:** Encofrado utilizado referente 2

**Fuente:** (Carballo et al., 2020).

El segundo paso del proceso consiste en el cribado de la arena y la medición precisa de los materiales. Estos componentes se depositan en una carretilla, donde se procede a su mezcla de forma manual utilizando la cuchara de albañil (Carballo et al., 2020).



**Figura 39:** Materiales para la elaboración de los paneles referente 2

**Fuente:** (Carballo et al., 2020).

En la tercera fase del procedimiento, se distribuye la mezcla preparada en cada uno de los tres moldes disponibles como se observa en la **Figura 40** y **Figura 41** (Carballo et al., 2020).



**Figura 40:** Colocación de la mezcla en los moldes referente 2

**Fuente:** (Carballo et al., 2020).



**Figura 41:** Nivelación y alisado de la superficie de los paneles con codal de madera referente 2

**Fuente:** (Carballo et al., 2020).

La cuarta etapa del proceso consiste en la nivelación con un codal de madera. En esta fase, se observa un fenómeno de segregación en los paneles que contienen 20% y 50% de plástico PET. Este efecto se origina por la diferencia en las densidades en los materiales empleados, provocando el asentamiento de los componentes pétreos. El panel con mayor segregación contiene 50% de plástico, mientras que la segregación es menos pronunciada en el panel con 20% de plástico. Este fenómeno se puede apreciar claramente en la **Figura 42** (Carballo et al., 2020).



**Figura 42:** Segregación en los paneles de 20% y 50% plástico pet referente 2

**Fuente:** (Carballo et al., 2020).

El quinto paso del proceso consiste en permitir que los paneles fragüen durante un período de 24 horas. Una vez transcurrido este tiempo inicial de fraguado, se procede a la fase de curado, la cual se extiende por un lapso de 7 días completos.



**Figura 43:** Fraguado final de los paneles de mortero referente 2

**Fuente:** (Carballo et al., 2020).



**Figura 44:** Paneles de mortero en estado de endurecimiento referente 2

**Fuente:** (Carballo et al., 2020).

La **Figura 43** muestra el aspecto final de los tres paneles de mortero en su estado endurecido. En el extremo izquierdo se encuentra el panel de control, que presenta notablemente superficies lisas en comparación con aquellos que incorporan agregado de plástico PET. En el extremo derecho, se puede apreciar que el panel con 50% de plástico exhibe una superficie ligeramente más porosa con relación al panel con 20% de plástico. Esta diferencia en la porosidad se atribuye a la mayor proporción de plástico utilizada, que resultó en un incremento de la porosidad superficial.

Es interesante notar que el panel con 20% de plástico mostró un aspecto similar al panel de control. Mientras que en las características de peso, se observó que el panel más ligero fue el que contenía 50% de plástico, mientras que el panel de control resultó ser el más pesado de los tres (Carballo et al., 2020).

#### **b. Dosificación**

Tras el análisis de los paneles fabricados con la mezcla de control y aquellos con reemplazo de agregado fino por plástico en proporciones de 20% y 50%, se llegó a la siguiente conclusión:

La mezcla que incorporó 20% de plástico demostró el mejor desempeño de resistencia a la compresión según las pruebas realizadas. Por otro lado, la mezcla con 50% de plástico produjo un panel con carácter representativo. La decisión de incluir esta alta proporción de agregado plástico se fundamenta en el objetivo de generar un impacto más significativo en términos de aprovechamiento de estos residuos, que son conocidos por su efecto contaminante en el medio ambiente (Carballo et al., 2020).

**Tabla 4:** Proporciones para la elaboración de 1 m<sup>3</sup> de mortero, mezcla del panel de 20% plástico, 80% arena natural

Materiales	Dosificación Por Parte (LAMSA)	Factor de dosificación (LAMSA)	Volumen del panel (9147,81 cm <sup>3</sup> )	Densidad (Según laboratorio)	Peso (gr)	Dosificación por parte de peso
Cemento	1	0,13	1166,04	2,84	3311,57	1
Agua	2,49	0,32	2904,18	1	2904,18	0,88
80 % Arena	2,22	0,28	2584,70	2,82	7288,85	2,20
20% Plástico	0,55	0,07	646,17	1,38	891,72	0,27
Mat. 0	1,58	0,20	1846,71	2,94	5429,32	1,64
Aditivo	-	-	-	-	-	-
Total	7,85	1	8501,64	-	-	-

**Fuente:** (Carballo et al., 2020).

### c. Aditivos empleados.

Para la elaboración de la mezcla, se incorporó un aditivo específico denominado Sikament®-100 MX (cuyas características se detallan en la **Tabla 5**). Este producto cumple con dos funciones: disminuye el agua cuando en la mezcla se presenta un alto rango superplastificante y acelera las resistencias. Es importante destacar que este aditivo cumple con los estándares establecidos en la norma ASTM C 494 para aditivos tipo F, así como con la norma ASTM C1017 Tipo I (Carballo et al., 2020).

La razón principal para incluir este aditivo en la mezcla de mortero, que ya contaba con una alta relación agua/cemento, es facilitar el trabajo con el mortero. Para determinar las cantidades adecuadas de aditivo a utilizar, se siguieron las recomendaciones proporcionadas en la ficha técnica del fabricante, y, además, se realizaron pruebas preliminares para ajustar la dosificación. Tras este proceso de evaluación, se optó por utilizar la dosis máxima recomendada de aditivo, que corresponde a 8,5 cm<sup>3</sup> por cada kilogramo de cemento empleado (Carballo et al., 2020).

**Tabla 5:** Características del superplastificante utilizado.

Material	Generación	Tipo	Densidad (kg/l)	Dosificación
Sikament®-100 MX	4	F	1,08	5-8,5 cm <sup>3</sup> /kg cemento

**Fuente:** (Carballo et al., 2020).

### d. Encofrados empleados en la elaboración de los paneles prefabricados.

Considerando las características de durabilidad inherentes tanto al mortero como al plástico, la propuesta de diseño para los paneles incorpora un 20% de agregado plástico PET en su composición. Las dimensiones establecidas para estos paneles son las siguientes: 98cm x 98cm x

3.81 cm. Estas medidas han sido seleccionadas para optimizar el rendimiento y la funcionalidad de los paneles, aprovechando las propiedades combinadas del mortero y el plástico PET reciclado (Carballo et al., 2020).



**Figura 45:** Moldes para los paneles referente 2

**Fuente:** (Carballo et al., 2020).

#### **e. Ensamblado empleado para los paneles prefabricados.**

Tanto al mortero como al plástico se ha implementado una propuesta para el cerramiento de una vivienda, teniendo en cuenta la durabilidad de este material y las características que poseen. Esta propuesta consiste en la utilización de paneles de mortero que incorporan un 20% de agregado plástico PET. Las especificaciones de estos paneles son las siguientes: 98cm x 98cm x 3.81cm y con una resistencia de 1592 Psi (equivalente a 111.94 kg/cm<sup>2</sup>). Para la instalación y fijación de estos elementos prefabricados, se usa un sistema que emplea viguetas prefabricadas. Un aspecto clave del diseño de estas viguetas es la inclusión de un carril. Este carril tiene una profundidad igual al espesor del panel, lo que permite que el panel descansa de manera segura sobre la vigueta.

El proceso de fijación se completa mediante la utilización de pernos, que aseguran una unión firme entre el panel y la vigueta. Este método de fijación se puede observar claramente en la **Figura 46**, que proporciona una representación visual del sistema de montaje (Carballo et al., 2020).



**Figura 46:** Viguetas prefabricadas referente 2

**Fuente:** (Carballo et al., 2020).

### 2.10.7 Panel prefabricado de hormigón aliviano a base de papel periódico y cartón reciclado, destinado a vivienda de interés social.

En el proceso de fabricación de paneles prefabricados que incorporan materiales reutilizables, es fundamental seguir un procedimiento específico para la preparación del hormigón ligero. Este proceso implica una etapa previa de trituración de los componentes reciclados, específicamente el cartón y el papel, antes de su incorporación a la mezcla definitiva. Esta acción de triturado facilita la integración de estos materiales en la matriz del hormigón, lo que resulta en una buena cohesión entre todos los elementos de la mezcla (Prieto, 2014).

#### a. Proceso de elaboración.

La fabricación de los paneles sigue un protocolo específico, detallado en la norma NTE INEN 488 (2009), establece una secuencia de pasos precisos. El primer paso es el pesaje meticuloso de cada uno de los componentes seleccionados. Este proceso de medición debe ajustarse rigurosamente a las proporciones establecidas en la dosificación predeterminedada. La **Figura 47** proporciona una ilustración visual de este procedimiento de pesaje (Prieto, 2014). Seguidamente, se mezcla, esta etapa comienza con la introducción del agua en el equipo mezclador y se procede a la adición del cemento. El paso final de esta secuencia en la mezcla es la incorporación de la arena. Este proceso de adición secuencial de los materiales se encuentra representado gráficamente en la **Figura 48** (Prieto, 2014).



**Figura 47:** Pesado de materiales referente 3

**Fuente:** (Prieto, 2014).



**Figura 48:** Agregado de materiales a la mezcladora referente 3

**Fuente:** (Prieto, 2014).

La secuencia de fabricación continúa con la adición de un componente dual en el tercer paso: el aditivo que funciona como plastificante y acelerante. Seguidamente, en la cuarta etapa, se incorporan los materiales reciclados, en este caso el cartón y el papel periódico. Este proceso de integración se ilustra claramente en la **Figura 49**. Para concluir, el quinto paso consiste en un proceso de mezclado que se extiende por un periodo preciso de 1,5 minutos (Prieto, 2014).



**Figura 49:** Agregado de plastificante, papel periódico para mezclarlo por 1,5 minutos referente 3

**Fuente:** (Prieto, 2014).

En la sexta fase del proceso, se procede a la aplicación de una capa inicial con un grosor específico de 2.50 cm. Esta capa se extiende y se comprime utilizando instrumentos manuales para asegurar una distribución uniforme. Posteriormente, se superpone una malla de configuración hexagonal, cuyas celdas miden 1 pulgada. La implementación de esta malla se encuentra ilustrada visualmente en la **Figura 50** (Prieto, 2014).



**Figura 50:** Colocado de la malla como refuerzo referente 3

**Fuente:** (Prieto, 2014).

La séptima etapa del procedimiento implica completar el molde con la mezcla restante. Este proceso sigue un método similar al empleado en la capa inicial, donde se realiza una compactación y distribución uniforme a lo largo de toda la extensión del molde. La fase final de este paso consiste en el alisado de la superficie del panel, un proceso que se encuentra representado gráficamente en la **Figura 51** (Prieto, 2014).



**Figura 51:** Alisado final referente 3

**Fuente:** (Prieto, 2014).

### **b. Dosificación.**

Tras evaluar las características de fluidez de las diversas mezclas, se ha determinado que la formulación más apropiada para la producción del panel corresponde a la identificada con el número 6. Esta composición específica demuestra una capacidad de resistencia de 121.90 kg/cm<sup>2</sup> al alcanzar los 28 días de curado. Es pertinente señalar que, si bien existen otras formulaciones, como la número 1, que presentan niveles de resistencia superiores, la consistencia más densa de estas las hace más adecuadas para aplicaciones alternativas (Prieto, 2014).

**Tabla 6:** Resistencia del hormigón a los 7, 14 y 28 días.

N° Prueba	Dosificación				Relación a/c	Aditivo (%) Plastocrete	F´ 7 Días kg/cm <sup>2</sup>	F´ 14 Días kg/cm <sup>2</sup>	F´ 28 Días kg/cm <sup>2</sup>
	Cemento	Arena	Cartón	Papel					
1	1	2	0,05	0,05	0,7	2	84,21	86,00	125,35
2	1	3	0,05	0,05	0,7	2	88,24	99,70	119,95
3	1	4	0,05	0,05	0,7	2	42,58	46,43	57,49
4	1	2	0,05	0,05	0,7	1	80,56	85,30	97,07
5	1	3	0,025	0,025	0,88	0	16,65	59,00	76,08
6	1	2	0,05	0,05	0,9	2	71,96	113,19	121,90
7	1	2,75	0,05	0,05	0,9	2	67,91	79,80	107,60

**Fuente:** (Prieto, 2014).

### **c. Aditivos empleados.**

En la formulación se incorpora un aditivo que cumple una doble función como plastificante y acelerante para el hormigón. Este componente contribuye a incrementar la resistencia del concreto tanto en sus etapas iniciales como finales y mejora la facilidad de trabajo de la mezcla. La implementación de este aditivo posibilita un uso más temprano de la estructura, facilita un desencofrado más rápido y mejora considerablemente el acabado de los elementos prefabricados. Para fabricar el panel, se ha añadido el aditivo en una proporción del 2% en relación al contenido de cemento. Esta dosificación se ha establecido en conformidad con las instrucciones estipulados en la norma INEN 488 2009 para la combinación de los diversos componentes (Prieto, 2014).

#### **d. Encofrados empleados en la elaboración de los paneles prefabricados.**

Para atender a los requerimientos de la construcción de viviendas utilizando paneles, se ha diseñado una gama de siete paneles con dimensiones variadas. Las especificaciones detalladas de estos paneles se encuentran recopiladas en la **Tabla 7**. El sistema de modulación fundamental que se ha adoptado para estos paneles se basa en una unidad de 30 cm (Prieto, 2014).

**Tabla 7:** Tipos de encofrados.

Tipo	Largo (cm)	Ancho (cm)
P1	120	120
P2	120	90
P3	120	60
P4	120	30
P5	90	60
P6	90	30
P7	60	30

**Fuente:** (Prieto, 2014).

#### **e. Ensamblado empleado para los paneles prefabricados.**

El método de ensamblaje elegido para estos paneles es el sistema machihembrado, como se observa en la **Figura 52**. El sistema está compuesto por dos elementos complementarios: uno macho y otro hembra. Cuando se ensamblan, estos forman un mecanismo ideal para este tipo de panel. Las ranuras de la parte hembra y las protuberancias de la parte macho miden 2.5 cm x 2.5 cm (ver **Figura 15**). En cuanto al grosor del panel, se ha determinado que sea de 5 cm, considerando tanto los requisitos estructurales como la necesidad de que pueda ser manipulado manualmente. Las dimensiones de longitud y altura de los paneles varían en un rango de 0.30 m a 1.20 m, adaptándose a las especificaciones del diseño de la edificación según la modulación establecida. Cabe mencionar que existe la posibilidad de modificar la orientación del elemento según sea necesario (Prieto, 2014).



**Figura 52:** Sistema de machimbrado en el Panel referente 3

**Fuente:** (Prieto, 2014).

## **2.11 Consideraciones para el desarrollo de la propuesta**

### **2.11.1 Conclusiones de los referentes.**

El estudio de referentes relevantes en el campo de los paneles prefabricados nos ofrece una perspectiva valiosa para concebir un nuevo diseño de panel, en este caso, reforzado con fibras. Las tendencias actuales y los avances en este sector han revelado aspectos fundamentales que orientarán el desarrollo de la propuesta.

Los paneles prefabricados se han consolidado como una alternativa eficaz y económicamente viable en la construcción, destacándose por su rápida instalación y uniformidad en la calidad. No obstante, los paneles tradicionales de hormigón suelen ser bastante pesados, lo que implica el uso de maquinaria especializada para su manejo, limitando así su aplicación en ciertos contextos. Por esta razón la propuesta buscara reducir el espesor para posibilitar su aplicación sin la necesidad de maquinaria.

La incorporación de fibras como refuerzo en los paneles ha potencializado las características mecánicas del material, incrementando su resistencia a la flexión y disminuyendo la posibilidad de agrietamiento. Estas mejoras son esenciales para desarrollar paneles más finos y livianos sin sacrificar su resistencia y funcionalidad.

En este contexto, una propuesta innovadora que aporte valor a la investigación actual se enfoca principalmente en el desarrollo de un panel prefabricado delgado, categorizado dentro de los morteros prefabricados. El objetivo principal de esta propuesta es implementar estos paneles como una opción para el revestimiento de fachadas, lo que permitirá acelerar los tiempos de acabado en los proyectos de construcción. Además, al ser delgados y ligeros, estos paneles serán manejables y fáciles de instalar, obteniendo resultados en la construcción de reducción de costos y tiempos.

Esta propuesta busca fomentar la reutilización de elementos prefabricados, en sintonía con las corrientes de economía y sostenibilidad en el área de la construcción. La posibilidad de reutilizar paneles prefabricados y disminuir la acumulación 108 con esto se reduce el impacto ambiental, y genera ventajas económicas al permitir su uso en múltiples proyectos a lo largo del tiempo.

#### **a. *Innovación Tecnológica.***

El uso de Espumaflex en el concreto alivianado ha resultado ser una estrategia segura para potenciar la durabilidad y las propiedades aislantes de los paneles prefabricados (Tejada, 2023). Esta innovación mejora aspectos estructurales y funcionales, y también promueve la sostenibilidad en la construcción. Por otra parte, el uso de las fibras recicladas de plástico PET trabajan como refuerzo en el mortero; con esto es un hito importante en el progreso de la resistencia mecánica del micro hormigón (Romero, 2022). Esta técnica no solo resuelve el problema de la baja resistencia, sino que también ofrece una solución práctica para el manejo de residuos plásticos.

Asimismo, se ha explorado la adición de papel reciclado al hormigón, con resultados que indican mejoras en ciertas propiedades mecánicas del material, además de aportar significativamente a la sostenibilidad ambiental. Estos hallazgos prometedores resaltan que el uso de fibras recicladas no solo aprovecha un recurso abundante y poco utilizado, con estos manejos se minimiza los rastros de carbono en el área de la construcción.

En el contexto de esta investigación, se propone incorporar fibras como refuerzo en la elaboración de paneles prefabricados de mortero, aprovechando los beneficios demostrados por estas innovaciones.

#### ***b. Proceso de Elaboración y Dosificación.***

La fabricación de paneles prefabricados ya sea que incorporen Espumaflex, papel reciclado o fibras plásticas, requiere un proceso meticuloso que abarca etapas específicas de mezclado y curado. Estas fases son fundamentales para garantizar que el producto final sea homogéneo y estable. Es de vital importancia medir con exactitud los componentes para lograr las características deseadas en el panel. En este proyecto en particular, la proporción de los materiales se ajustará estrictamente a lo establecido en la normativa ecuatoriana vigente.

#### ***c. Aditivos y Encofrados.***

Aunque la utilización de aditivos como acelerantes y superplastificantes podría mejorar considerablemente la manejabilidad y el rendimiento mecánico de los paneles, este proyecto específico ha decidido no incorporarlos. Esta decisión se debe a que la implementación de estos aditivos requeriría un análisis profundo y prolongado, lo cual excede el alcance temporal de esta investigación. Por otra parte, es crucial considerar cuidadosamente el diseño de los encofrados, ya que estos elementos son los que determinarán las dimensiones finales de los paneles prefabricados. La correcta planificación de los encofrados es un aspecto fundamental en el proceso de fabricación de estos elementos constructivos.

#### ***d. Ensamblado.***

Según los estudios realizados, existen diversas técnicas efectivas para ensamblar los paneles prefabricados. Entre estas, destacan métodos como el sistema de machihembrado o la utilización de tornillos para la fijación. Independientemente del método elegido, es fundamental que el proceso de ensamblaje facilite tanto la instalación como la posterior remoción de los paneles. Además, es crucial que el sistema seleccionado garantice una adecuada cohesión estructural entre los elementos, asegurando así la integridad y estabilidad del conjunto una vez montado.

#### **2.11.2 Normativas aplicables.**

Para poder fabricar paneles prefabricados es necesario preparar la mezcla considerando las normativas para garantizar la adecuada resistencia.

#### **a. Norma Ecuatoriana de la Construcción.**

En contexto la elaboración de paneles prefabricados de mortero se considera de suma importancia un conjunto de normativas, estándares específicos según los elementos y un marco regulatorio aplicable. La Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1806 (2010) "Cemento para mampostería. Requisitos" se establece como un punto de partida para la selección del cemento adecuado. Esta normativa establece los parámetros que debe cumplir el cemento destinado a la elaboración de morteros, lo cual es directamente aplicable a la fabricación de paneles prefabricados (Romero, 2022).

Complementariamente, las normas NTE INEN 152 (2012), NTE INEN 490 (2011) y NTE INEN 2380 (2011) ofrecen especificaciones para diferentes tipos de cemento (Romero, 2022). Estas regulaciones son cruciales para la comprensión de las propiedades específicas de cada variante cementicia y la selección del tipo más apropiado para la elaboración del prototipo. Para los ensayos de granulometría, la NTE INEN 696 (2011) establece los métodos estándar para la clasificación de partículas de los agregados según sus dimensiones, un aspecto crucial en la determinación de la calidad y propiedades del mortero resultante.

#### **b. Norma Internacional.**

En lo que respecta a los agregados, la norma internacional ASTM C-33 se presenta como una referencia ampliamente reconocida. Esta proporciona directrices detalladas sobre la calidad y gradación de los agregados, aspectos críticos para la obtención de un mortero de características óptimas.

## CAPÍTULO III

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS (Metodología de la Investigación)



### 3.1 Materiales

En esta investigación, existen dos tipos de materiales: materiales de construcción y equipos e instrumentos de laboratorio (Romero, 2022).

#### 3.1.1 Materiales de construcción.

En este ítem se establece mezclas simples y mezclas reforzadas con fibra. (Romero, 2022).

##### a. Cemento.

Según norma NTE INEN 1806 (2010) 'Cemento para mampostería. Requisitos', los cementos adecuados para la construcción y recubrimiento de mamposterías se dividen en tres categorías (ver **Tabla 8**): puros (Cementos Portland), compuestos (Cementos hidráulicos compuestos) y por desempeño (Cementos hidráulicos) (Romero, 2022).

**Tabla 8:** Clasificación de los materiales cementantes.

Grupo	Tipo	Descripción	Norma NTE INEN / ASTM	
Puros (Cementos Portland)	I	Debe ser utilizado cuando no se requieren las propiedades especiales especificadas para cualquier otro tipo.	152	C150
	II	Para uso general, en especial cuando se desea una moderada resistencia a los sulfatos.	152	C150
	III	Para ser utilizado cuando se desea alta resistencia inicial o temprana.	152	C150
	IV	Para ser utilizado cuando se desea bajo calor de hidratación.	152	C150
	V	Para ser utilizado cuando se desea alta resistencia a la acción de los sulfatos	152	C150
También existen los cementos con incorporador de aire (IA, IIA, IIMHA y IIIA) y con moderado calor de hidratación (IIMH) (Romero, 2022).				
Compuestos (Cementos hidráulicos compuestos)	IS	Cemento portland de escoria de altos hornos.	490	C595
	IP	Cemento portland puzolánico.	490	C595
	IT	Cemento compuesto ternario.	490	C595
También existen los morteros con moderada resistencia a los sulfatos (MS), alta resistencia a los sulfatos (HS), moderado calor de hidratación (MH), bajo calor de hidratación (LH) y con incorporador de aire (A) (Romero, 2022).				
Por desempeño (Cementos hidráulicos)	GU	Para construcción en general. Se lo debe utilizar cuando no se requieren uno o más de los tipos especiales.	2380	C1157
	HE	Alta resistencia inicial.	2380	C1157
	MS	Moderada resistencia a los sulfatos.	2380	C1157
	HS	Alta resistencia a los sulfatos	2380	C1157
	MH	Moderado calor de hidratación	2380	C1157
	LH	Bajo calor de hidratación	2380	C1157
Si adicionalmente tiene R, indica baja reactividad con áridos álcali-reactivos (Romero, 2022).				

**Fuente:** (Romero, 2022). NTE INEN 152 (2012), NTE INEN 490 (2011) y NTE INEN 2380 (2011).

Para esta investigación se empleará cemento Portland puzolánico tipo IP de la marca Guapán, cemento que es calificado según la norma NTE INEN 490 y cumple todos los requisitos. El Cemento Guapan está en la categoría de cementos hidráulicos compuestos (ver **Tabla 14**), con una composición de un 85% de cemento Portland y un 15% de puzolana de escoria granulada de alto horno (Romero, 2022). Savastano et al. (2009) sugiere que el uso de puzolana de escoria granulada de alto horno reduce el contenido alcalino del mortero de cemento, con ello genera una mayor durabilidad de las fibras en el compuesto (Romero, 2022).



**Figura 53:** Cemento Guapán

**Fuente:** (UCEM, 2024)

#### **b. Áridos Finos.**

Según la norma NTE INEN 2536 (2010) 'Áridos para uso en morteros para mampostería. Requisitos', la arena utilizada debe ser natural o procesada, con un tamaño de partícula que varíe entre 0,074 mm y 4,76 mm, es decir, partículas que pasen por el tamiz No 4 y sean retenidas en el tamiz No 200 (ver **Tabla 8**). Además, la norma establece la necesidad de considerar la composición, las impurezas inorgánicas, la degradación por sulfatos y el muestreo del árido (Romero, 2022). En general, el tamaño de las partículas del agregado fino y su distribución se ha mantenido dentro de los límites recomendados para concreto normal según la norma ASTM C-33. El agregado fino seleccionado debe tener un módulo de finura entre 2.7 y 3.0. El árido fino que se utilizará en la presente investigación proviene de la ferretería Sayausi (ver **Figura 37**), ubicada en la parroquia Sayausí del cantón Cuenca.



**Figura 54:** Árido fino (arena de río)

**Fuente:** Autor

### **c. Agua.**

De acuerdo con la norma NTE INEN 2518 (2010) "Morteros para unidades de mampostería. Requisitos", la mezcla debe realizarse con agua potable libre de contaminantes como ácidos, álcalis, aceites, sales, materiales orgánicos, alcoholes u otras sustancias que puedan afectar al mortero. Para esta investigación, se utilizará agua proporcionada por la empresa local ETAPA, que garantiza la entrega de agua potable apta para el consumo humano y su uso en construcción, asegurando la potabilización en sus plantas de tratamiento en diversos sectores de la ciudad (Romero, 2022).

### **d. Fibra.**

Basándose en los estudios revisados en el capítulo 2, las investigaciones trabajan con fibras que varían entre el 0,5% y el 2% del peso total de la mezcla (Romero, 2022). Sin embargo, este estudio evaluará tres niveles de porcentaje de fibra: 2% del peso total de la mezcla seca, 0,5% del peso del cemento, y el porcentaje sugerido por el fabricante (600g por cada m<sup>3</sup> de hormigón o mortero).

### **3.1.2 Equipos e Instrumentos de Laboratorio.**

Las pruebas se desarrollan en las instalaciones de Suelos y Geotecnia de la Universidad Católica de Cuenca. Bajo la guía del Ing. Juan Monje, se realizaron los ensayos utilizando los equipos e instrumentos del laboratorio. A continuación, se enumeran los instrumentos y equipos más relevantes utilizados en este capítulo.



**Figura 55:** Tamices

**Fuente:** Autor.



**Figura 56:** Balanza electrónica

**Fuente: Autor.**



**Figura 57: Horno**

**Fuente: Autor.**



**Figura 58: Moldes para probetas**

**Fuente: Autor.**



**Figura 59: Maquina de compresión**

**Fuente: Autor.**

## 3.2 Caracterización del agregado fino

Es importante conocer las características de los materiales antes de realizar la dosificación. Aunque todos los materiales tienen características estudiadas, es fundamental conocer las de la arena, ya que su configuración puede variar según el origen. Por esta razón, se deben conocer las características del árido para determinar la dosificación para las probetas. Cada ensayo revela una característica del árido, por lo que se realizarán varios análisis para determinar sus propiedades y evitar que afecten la resistencia de la mezcla.

### 3.2.1 Análisis granulométrico.

Para hallar el módulo de finura se realiza tamizado del árido. Este ensayo se basa en la norma NTE INEN 696 (2011), este proceso se realiza siguiendo los pasos descritos a continuación:

#### a. Pesaje del material.

El primer paso es pesar una muestra de arena en estado saturado, para esta prueba se utilizaron 803 g, consiguiendo se seca la muestra a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  por 24 horas.



**Figura 60:** Árido fino secada durante 24 horas

**Fuente:** Autor

#### b. Montaje de tamices.

Se comienza desde la parte superior con el tamiz de mayor abertura. El orden es: N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, N°200, y el fondo que retiene las partículas más finas de la muestra (ver **Figura 37**).



**Figura 61:** Tamizado de agregado fino

*Fuente:* Autor

**c. Tamizado.**

El tercer paso es el tamizado; para ello, se registra el peso de la muestra. Este proceso se lleva a cabo con la máquina agitadora de tamiz (ver **Figura 62**) durante 3 minutos, logrando la separación del agregado según la granulometría de sus componentes. Con una balanza electrónica, se pesa el material retenido en cada tamiz, como se muestra en la **Tabla 9**.



**Figura 62:** Tamizadora

*Fuente:* Autor

**Tabla 9:** Granulometría del árido.

Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso retenido (gramos)	Peso retenido acumulado (gramos)	% Retenido	% Pasa
3/8"	9,52	0	0	0	100,00
N°4	4,76	0,2	0,2	0,03	99,97
N°8	2,38	12,7	12,9	1,61	98,39
N°16	1,19	75,5	88,4	11,01	88,99
N°30	0,58	165,3	253,7	31,59	68,41
N°50	0,3	200,6	454,3	56,57	43,43
N°100	0,15	109,8	564,3	70,24	29,76
N°200	0,075	40,8	604,9	75,33	24,66
Fondo		1,2	-----		
Total		606,1	-----		

**Fuente:** ASTM C-33.

#### **d. Determinación del módulo de finura.**

Para el cálculo del módulo de finura, se emplean los valores de la **Tabla 9**, los datos deben ser sustituidos en la fórmula que se muestra a continuación:

$$MF = \frac{\Sigma \% \text{acumulado de cada tamiz (\#4, \#8, \#16, \#30, \#50, \#100, \#200)}}{100}$$

$$MF = \frac{0 + 0,3 + 1,61 + 11,01 + 31,59 + 56,57 + 70,24 + 75,33}{100}$$

$$MF = \frac{246,65}{100} = 2,46$$

#### **3.2.2 Gravedad específica de la arena: Método gravimétrico.**

Mediante el método gravimétrico, se determinan la gravedad específica y la densidad relativa de la arena.

##### **a. Arena en estado SSS.**

La preparación de una muestra de arena en estado SSS (saturado superficialmente seco) es el primer paso. Para lograrlo, se satura la muestra durante 24 horas y se seca superficialmente posteriormente. La muestra debe ser capaz de no desmoronarse del molde cónico, tal como se indica en la **Figura 63**.



**Figura 63:** Consistencia del árido fino

**Fuente:** Autor

##### **b. Pesaje de muestra seca de arena.**

Se mide el peso de la muestra de arena, que en este caso es de 300 gramos, y se deja secar durante 24 horas hasta que se estabilice su peso. Luego, se deja enfriar a temperatura ambiente y se vuelve a medir su peso en estado seco.

### **c. Pesaje del picnómetro.**

Se pesa el picnómetro vacío y posteriormente lleno de agua hasta la marca de calibración, como se muestra en la **Figura 64**. Es esencial registrar estos datos, ya que serán necesarios para cálculos posteriores.



**Figura 64:** Pesado del picnómetro con agua

**Fuente:** Autor

### **d. Arene en picnómetro.**

El picnómetro se vacía antes de depositar la muestra seca en el recipiente. Una vez que toda la muestra está colocada dentro del picnómetro, este se llena nuevamente con agua hasta la marca de calibración. Tras completar este proceso, se pesa el picnómetro con la muestra de arena (ver **Figura 65**: Pesado de la muestra dentro del picnómetro con agua).



**Figura 65:** Pesado de la muestra dentro del picnómetro con agua

**Fuente:** Autor

### **e. Secado de la muestra.**

La muestra debe retirarse del picnómetro y secarse durante 24 horas antes de registrar su peso. Los resultados obtenidos en este ensayo se consignan en la **Tabla 10**.

**Tabla 10:** Datos método gravimétrico de arena.

Variante	Peso (g)	Descripción
A	290,8	Masa de muestra seca al horno
B	657,2	Picnómetro + Agua hasta la marca de calibración
C	839,4	Picnómetro + Agua + Muestra hasta la marca de calibración
S	300	Masa de muestra SSS.

**Fuente:** (Prieto, 2014).

**f. Determinación de las características del árido fino.**

Utilizando los datos de la **Tabla 10** y las fórmulas siguientes, se pueden determinar las características de la arena.

$$\text{Gravedad específica seca al horno} = \frac{A}{(B + S - C)} = 2,4618$$

$$\text{Gravedad específica SSS} = \frac{S}{(B + S - C)} = 2,5466$$

$$\text{Gravedad específica aparente} = \frac{A}{(B + A - C)} = 2,6703$$

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{(S - A) \times 100}{A} = 3,16368$$

### 3.3 Dosificación de Materiales

En esta investigación se ha adoptado como referencia la norma ASTM C1329 (2004). Dicha norma permite verificar que la mezcla de materiales sea la correcta, al especificar las proporciones de volumen para los tres tipos de morteros. Los morteros M, S y N se distinguen por su resistencia mínima a compresión a los 7 y 28 días (ver **Tabla 11**) (Romero, 2022).

**Tabla 11:** Dosificación de tres tipos de mortero (N, S y M) según la norma ASTM C1329 (2004).

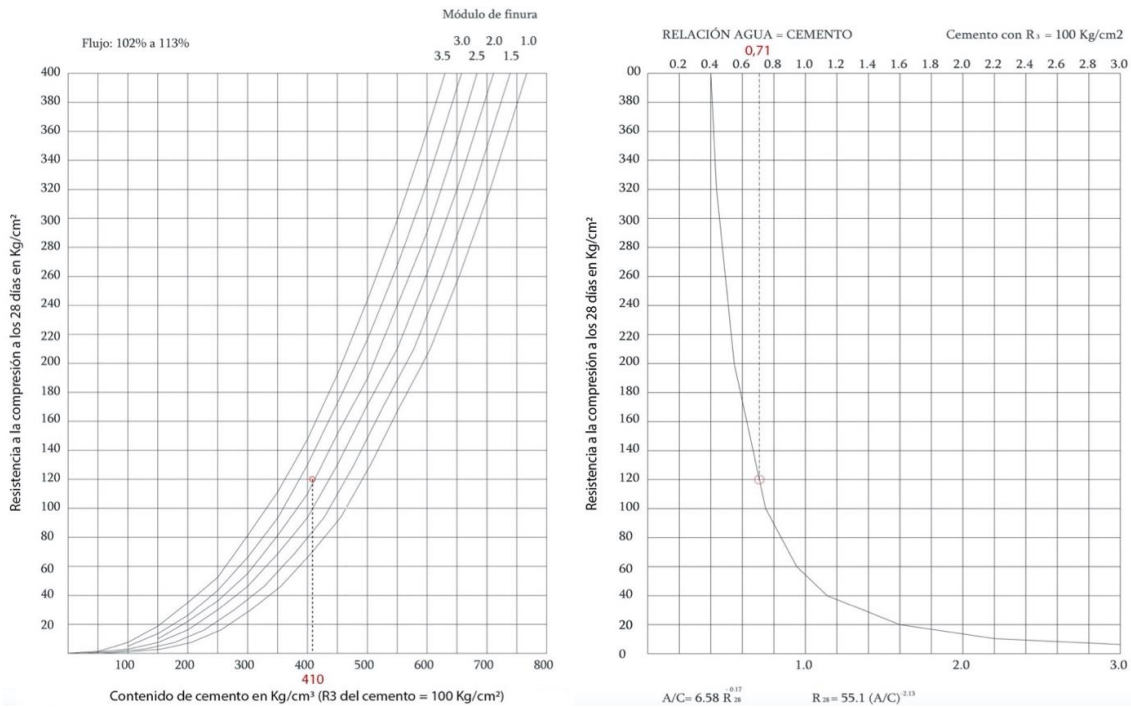
Tipos de Mortero	N	S	M
Finura, residuo en un tamiz de 45 $\mu\text{m}$ (No. 325), máx, %	24	24	24
Expansión en autoclave, máx, %	1,0	1,0	1,0
Tiempo de fraguado, método Gillmore:			
– Conjunto inicial, min, no menos de	120	90	90
– Conjunto final, min, no más de	1440	1440	1440
Resistencia a la compresión (promedio de tres cubos):			
– La resistencia a la compresión de los cubos de mortero, compuestos por 1 parte de cemento y 3,375 partes de arena mezclada (arena estándar medio graduada y mitad arena estándar 20-30) por volumen, preparada y probada de acuerdo con esta especificación, será igual o mayor que los valores especificados para las edades indicadas a continuación:			
– 7 días, mínima, MPa (psi)	3,5 (500)	9,0 (1300)	12,4 (1800)
– 28 días, mínima, Mpa (psi)	6,2 (900)	14,5 (2100)	20,0 (2900)
Resistencia a la flexión:			
– 28 días, mínima, MPa (psi)	0,5 (70)	0,7 (100)	0,8 (115)
Contenido de aire del mortero:			
– Volumen, mínimo en %	8	8	8
– Volumen, mínimo en %	17	15	15
Valor de retención de agua, mínimo, %, del flujo original	70	70	70

**Fuente:** (Romero, 2022).

Es crucial indicar que para los ensayos de esta investigación se usarán morteros tipo N, que son aplicables en interiores y exteriores con resistencias moderadas entre 14 y 21 MPa. Según Romero (2022), la investigación del Ing. Rodrigo Salamanca es la mejor opción para determinar la mezcla adecuada de materiales y para diseñar un mortero tipo N con una resistencia a la compresión de 120 kg/cm<sup>2</sup> (11.8 MPa) a los 28 días, con una fluidez entre el 100-120% y un módulo de finura de la arena de 2.60.

Conforme a la norma ASTM C1329 (2004), la resistencia a la compresión del mortero tipo N a los 28 días debe estar entre 63.2 kg/cm<sup>2</sup> y 147.9 kg/cm<sup>2</sup>. Por esta razón, este estudio ha optado por diseñar un mortero tipo N con una resistencia intermedia de 120 kg/cm<sup>2</sup> (Romero, 2022).

El método del Ing. Rodrigo Salamanca, divide el diseño de 1 m<sup>3</sup> de mortero en cuatro pasos (Romero, 2022). En cada paso, utilizaremos diversas gráficas.



**Gráfico 1:** Determinación del contenido de cemento y de la relación agua/cemento

**Fuente:** (Salamanca, 2001).

El **Gráfico 1** ilustra la relación agua-cemento, permitiendo determinar el volumen de cemento en kg/cm<sup>3</sup> necesario para fabricar 1 m<sup>3</sup> de mortero con una resistencia a la compresión de 120 kg/cm<sup>2</sup> (Romero, 2022). Este gráfico también indica la cantidad de agua requerida para mantener la resistencia de la mezcla. Además, se debe tener en cuenta que el módulo de finura de la arena es de 2.46 y que la mezcla debe alcanzar una fluidez entre 100-120% (Romero, 2022).

### 3.3.1 Contenido de cemento.

Con este análisis, se puede determinar la cantidad de cemento necesario:

$$\text{Cemento} = 410 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ de mortero}$$

### 3.3.2 Contenido de agua.

El **Gráfico 1** también detalla la cantidad de agua necesaria para la mezcla. Al analizar la gráfica, se puede determinar el volumen de agua requerido para lograr una resistencia de 120 kg/cm<sup>2</sup>:

$$\frac{\text{Agua}}{\text{Cemento}} = 0,71$$

$$\text{Agua} = 0,71 \times 410 = 291,1 \frac{\text{l}}{\text{m}^3}$$

### 3.3.3 Contenido de arena.

Para determinar la cantidad óptima de arena en la mezcla, se consideran los ensayos de laboratorio previamente realizados. Según Romero (2022), los datos relevantes son:

La densidad del cemento puzolánico tipo IP = 2,96 Kg/cm<sup>3</sup> = 2960 kg/m<sup>3</sup>.

El peso específico de la arena saturada y superficialmente seca = 2,55 gr/cm<sup>3</sup> = 2550 kg/m<sup>3</sup>.

El peso unitario suelto de la arena = 1,6 gr/cm<sup>3</sup> = 1600 kg/m<sup>3</sup>.

El volumen del cemento (V<sub>c</sub>) se calcula con la siguiente fórmula:

$$V_c = \frac{\text{Contenido de cemento}}{\text{Densidad del cemento}} = \frac{410}{2960} = 0,139 \frac{m^3}{m^3 \text{ de mortero}}$$

El volumen de aire incluido = Para este caso se asume un valor 0

El volumen de agua = 291,1 litros = 0,291 m<sup>3</sup>.

El volumen de arena (V<sub>ar</sub>) se calcula con la siguiente fórmula:

$$V_{ar} = 1 - (V_{cemento} + V_{agua} + V_{aire})$$

$$V_{ar} = 1 - (0,139 + 0,291 + 0,0)$$

$$V_{ar} = 0,57 \frac{m^3}{m^3 \text{ de mortero}}$$

La masa de la arena se calcula con la siguiente fórmula = (V<sub>ar</sub>) x (Densidad de la arena).

$$\text{Masa de arena} = (V_{ar}) \times (\text{Densidad de la arena})$$

$$\text{Masa de arena} = 0,57 \times 2550$$

$$\text{Masa de arena} = 1453,5 \frac{m^3}{m^3 \text{ de mortero}}$$

### 3.3.4 Proporciones de mezcla.

Mediante los cálculos anteriores, se pueden definir las proporciones necesarias (ver **Tabla 12**) para elaborar 1 m<sup>3</sup> de mortero con una resistencia de 120 kg/cm<sup>2</sup>.

**Tabla 12:** Dosificación de materiales para elaborar 1m<sup>3</sup> de mortero con una resistencia de 120 kg/cm<sup>2</sup>.

Tipo de mortero	Materiales	Proporción	Dosificación por volumen	Dosificación por peso (kg/m <sup>3</sup> )
N	Cemento	1	0,139	410 (1)
	Arena	3,5	0,570	1453,5 (3,5)
	Agua	0,71	0,291	291,1 (0,7)

**Fuente:** (Romero, 2022), ASTM C 1329 (2004)

### **3.3.5 Porcentaje de fibra.**

De acuerdo con las investigaciones del capítulo 2, los referentes coinciden en que el porcentaje óptimo para reforzar las mezclas con fibras está entre el 0,5% y el 2% del peso total de la mezcla. Los estudios incluyeron ensayos con tres porcentajes de fibra diferentes. Para este estudio, se tomaron en cuenta los siguientes porcentajes: el 2% del peso de la mezcla como límite superior, el 0,5% del peso de cemento como porcentaje intermedio, y el recomendado por el fabricante del polipropileno (600 g por m<sup>3</sup> de mortero), que equivale al 0,0027% del peso total de la mezcla (Romero, 2022).

### 3.4 Ensayos de Resistencia Mecánica

Es esencial conocer las características de la mezcla para determinar su resistencia a los distintos esfuerzos que el panel debe soportar. A través de ensayos mecánicos, se pueden identificar estas características frente a diversos esfuerzos (Rosales, 2016).

#### 3.4.1 Fabricación de probetas para resistencia mecánica.

El proceso para la elaboración de ensayos de compresión y flexión de morteros se llevará a cabo conforme a lo establecido por la norma técnica ecuatoriana (Normalizacion.gob.ec, 2016). A continuación, se detalla el procedimiento realizado para cada ensayo de compresión y flexión.

##### a. Determinación de cantidades de material.

El primer paso consiste en determinar las cantidades de materiales requeridos para fabricar las 9 probetas de mortero (Romero, 2022). El tamaño de las probetas es de 50 mm de arista, y se incluye un 15% de desperdicio de material en el cálculo (ver **Tabla 13**).

**Tabla 13:** Cantidad de material para nueve probetas de 50 mm de arista.

Tipo de mortero	Materiales	Proporción	Dosificación por volumen	Dosificación por peso (kg)	Dosificación + 15% de desperdicio (kg)
N	Cemento	1	0,139	1,635	1,88
	Arena	3,5	0,570	0,461	0,53
	Agua	0,71	0,291	0,327	0,37

**Fuente:** ASTM C 1329 (2004) (Romero, 2022).

##### b. Pesaje de materiales.

Los materiales se pesan utilizando una balanza eléctrica (ver **Figura 66:** Pesado de componentes para probetas) para lograr mayor precisión en los resultados.



**Figura 66:** Pesado de componentes para probetas

**Fuente:** Autor

### **c. Preparación de moldes.**

En este paso se aplica desmoldante (aceite quemado) para facilitar el posterior desmolde (ver **Figura 67**). Este procedimiento cumple con la NORMA NTE INEN 488, misma que nos permite determinar la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm y en viguetas de 40 mm x 40 mm x 160 mm para pruebas de flexión.



**Figura 67:** Aplicación de aceite quemado a los moldes

**Fuente:** Autor

### **d. Mezclado de materiales.**

Se mezclan los componentes del mortero (ver **Figura 68**). La mezcla se hace de manera manual durante 3 minutos como indica la norma ya que no es posible usar la mezcladora.



**Figura 68:** Mezclado de materiales para probetas

**Fuente:** Autor

#### ***e. Rellenado de moldes.***

Los moldes se rellenan asegurándose de que no queden espacios de aire, es decir, que estén bien compactados (ver la **Figura 69**). Los especímenes de 50 mm de arista deben presentar una cara libre con un acabado uniforme para no afectar los resultados de laboratorio.



**Figura 69:** Rellenado de moldes

**Fuente:** Autor

#### ***f. Desmolde de probetas.***

Los morteros se desmoldan en este paso tras 24 horas de fraguado. Luego, se deben someter a curado (ver **Figura 70**) conforme a lo establecido en la NORMA NTE INEN 1 576.



**Figura 70:** Probetas desmoldadas

**Fuente:** Autor

### **3.4.1 Resistencia a la compresión.**

La resistencia a la compresión proporciona una idea de la consistencia interna del mortero, indicando el esfuerzo máximo que puede soportar. Se calcula mediante la superficie que puede soportar al ser sometida a una compresión simple. Para esta prueba, se utilizan cubos de 50 mm de arista según la NORMA NTE INEN 488. Una vez moldeados, se dejan fraguar durante 24 horas antes de ser desencofrados e inmediatamente curados. El número de especímenes se establece según el número de ensayos. La norma establece que los ensayos deben realizarse a los 7 días, luego a los 14 y finalmente a los 28 días de edad, utilizando 3 especímenes por cada ensayo.



**Figura 71:** Ensayo de compresión

**Fuente:** Autor

En este paso, se deben registrar los datos de peso y dimensiones de cada espécimen. Tras registrar estos datos, se procede a realizar la prueba (ver **Figura 71**). La resistencia a la compresión de los morteros en cubos de 50 mm se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Fm = \frac{P}{A}$$

Donde:

Fm = Resistencia a la compresión en Mpa.

P = Carga total máxima de la falla, en N.

A = Área de la sección transversal del cubo a la que se aplica la carga, en mm<sup>2</sup>.

A continuación, en la **Tabla 14**, **Tabla 14**, **Tabla 14** y **Tabla 14** se muestran los datos obtenidos en cada ensayo de resistencia a compresión de acuerdo con la dosificación de fibra y los días de curado.

**Tabla 14:** Resultados de ensayo a compresión mortero patrón.

Fecha de elaboración	Fecha de ensayo	Espécimen	Días de curado	Peso (g)	Resistencia kg/cm <sup>2</sup>
20-junio-2024	27-junio-2024	CMP1	7	238,7	53,51
20-junio-2024	27-junio-2024	CMP2	7	247,3	81,60
20-junio-2024	27-junio-2024	CMP3	7	243,3	65,96
20-junio-2024	04-julio-2024	CMP4	14	240,7	57,90
20-junio-2024	04-julio-2024	CMP5	14	258,8	115,18
20-junio-2024	04-julio-2024	CMP6	14	244,7	52,70
20-junio-2024	18-julio-2024	CMP7	28	276,1	136,86
20-junio-2024	18-julio-2024	CMP8	28	246,9	84,94
20-junio-2024	18-julio-2024	CMP9	28	257,9	49,27

**Fuente:** ASTM C 1329 (2004)

**Tabla 15:** Resultados de ensayo a compresión mortero con fibra al 2% del peso seco de la mezcla.

Fecha de elaboración	Fecha de ensayo	Espécimen	Días de curado	Peso (g)	Resistencia kg/cm <sup>2</sup>
25-junio-2024	02-julio-2024	CMA1	7	256,4	44,97
25-junio-2024	02-julio-2024	CMA2	7	275,1	68,66
25-junio-2024	02-julio-2024	CMA3	7	263,2	48,01
25-junio-2024	09-julio-2024	CMA4	14	275,9	92,99
25-junio-2024	09-julio-2024	CMA5	14	247,7	50,04
25-junio-2024	09-julio-2024	CMA6	14	273,6	85,15
25-junio-2024	23-julio-2024	CMA7	28	248,0	98,79
25-junio-2024	23-julio-2024	CMA8	28	261,3	62,57
25-junio-2024	23-julio-2024	CMA9	28	261,8	78,48

**Fuente:** ASTM C 1329 (2004).

**Tabla 16:** Resultados de ensayo a compresión mortero con fibra al 0,5% del peso del cemento.

Fecha de elaboración	Fecha de ensayo	Espécimen	Días de curado	Peso (g)	Resistencia kg/cm <sup>2</sup>
26-junio-2024	03-julio-2024	CMB1	7	270,6	122,43
26-junio-2024	03-julio-2024	CMB2	7	275,8	115,20
26-junio-2024	03-julio-2024	CMB3	7	271,0	101,63
26-junio-2024	10-julio-2024	CMB4	14	276,8	138,00
26-junio-2024	10-julio-2024	CMB5	14	276,2	139,00
26-junio-2024	10-julio-2024	CMB6	14	277,3	137,00
26-junio-2024	24-julio-2024	CMB7	28	.	.
26-junio-2024	24-julio-2024	CMB8	28	.	.
26-junio-2024	24-julio-2024	CMB9	28	.	.

**Fuente:** ASTM C 1329 (2004).

**Tabla 17:** Resultados de ensayo a compresión mortero con fibra al 0,027% del peso seco de la mezcla (recomendado por el fabricante).

Fecha de elaboración	Fecha de ensayo	Espécimen	Días de curado	Peso (g)	Resistencia kg/cm <sup>2</sup>
27-junio-2024	04-julio-2024	CMC1	7	266,4	80,00
27-junio-2024	04-julio-2024	CMC2	7	277,4	97,91
27-junio-2024	04-julio-2024	CMC3	7	273,6	87,29
27-junio-2024	11-julio-2024	CMC4	14	272,5	105,8
27-junio-2024	11-julio-2024	CMC5	14	271,0	122,0
27-junio-2024	11-julio-2024	CMC6	14	271,6	142,0
27-junio-2024	25-julio-2024	CMC7	28	271,6	141,33
27-junio-2024	25-julio-2024	CMC8	28	271,5	131,41
27-junio-2024	25-julio-2024	CMC9	28	272,6	149,34

**Fuente:** ASTM C 1329 (2004).

El promedio de resistencia de las probetas con un 0,5% de fibra respecto al peso del cemento fue el que arrojó los mejores resultados en los ensayos. Por esta razón, se eligió esta dosificación para realizar el prototipo de panel.

### 3.4.1 Resistencia a la flexión.

Esta técnica permite medir el módulo de deformación máximo de un material compuesto bajo esfuerzos perpendiculares a su eje longitudinal. Las muestras probadas presentan una grieta visible

(ver **Figura 72**). La resistencia a la flexión está significativamente influenciada por el tipo de fibra utilizada como refuerzo. Además, es fundamental la adherencia de la fibra con la matriz y su orientación dentro del compuesto (Romero, 2022).



**Figura 72:** Ensayo de flexión

**Fuente:** Autor

La norma NTE INEN 0198 (1987) describe el procedimiento para probar la resistencia a la flexión de morteros elaborados con cemento hidráulico, utilizando muestras de 40x40x160 mm, y se fundamenta en la norma ASTM C 348 (1985). Los métodos para estas pruebas, que incluyen el tiempo de curado y la cantidad de especímenes, son comparables a los utilizados para evaluar la resistencia a la compresión. La resistencia a la flexión de los morteros en prismas de 40x40x160 mm se calcula mediante la siguiente fórmula (Romero, 2022).

$$Sf = 0,0028x(P)$$

Donde:

Sf = Resistencia a la flexión, en Mpa.

P = Carga total máxima de la falla, en N.

A continuación, en la **Tabla 18**, **Tabla 19**, **Tabla 20** y **Tabla 21** se presentan los datos obtenidos en cada ensayo de resistencia a la flexión según la dosificación de fibra y los días de curado.

**Tabla 18:** Resultados de ensayo a flexión mortero patrón.

Fecha de elaboración	Fecha de ensayo	Especímen	Días de curado	Peso (g)	Carga (kg)	Resistencia (Mpa)
20-junio-2024	27-junio-2024	FMP1	7	495,9	63,00	1,73
20-junio-2024	27-junio-2024	FMP2	7	524,9	72,28	1,99
20-junio-2024	27-junio-2024	FMP3	7	521,0	55,62	1,53
20-junio-2024	04-julio-2024	FMP4	14	534,7	110,00	3,02
20-junio-2024	04-julio-2024	FMP5	14	540,6	119,42	3,28
20-junio-2024	04-julio-2024	FMP6	14	543,8	88,78	2,44

20-junio-2024	18-julio-2024	FMP7	28	540,3	146,56	4,03
20-junio-2024	18-julio-2024	FMP8	28	514,4	120,68	3,31
20-junio-2024	18-julio-2024	FMP9	28	532,7	141,50	3,89

**Fuente:** ASTM C 1329 (2004).

**Tabla 19:** Resultados de ensayo a flexión mortero con fibra al 2% del peso seco de la mezcla.

Fecha de elaboración	Fecha de ensayo	Espécimen	Días de curado	Peso (g)	Carga (kg)	Resistencia (Mpa)
25-junio-2024	02-julio-2024	FMA1	7	532,4	51,05	1,40
25-junio-2024	02-julio-2024	FMA2	7	533,4	46,64	1,28
25-junio-2024	02-julio-2024	FMA3	7	536,1	46,64	1,28
25-junio-2024	09-julio-2024	FMA4	14	535,3	77,44	2,13
25-junio-2024	09-julio-2024	FMA5	14	530,4	67,00	1,84
25-junio-2024	09-julio-2024	FMA6	14	526,6	75,00	2,06
25-junio-2024	23-julio-2024	FMA7	28	523,5	78,96	2,17
25-junio-2024	23-julio-2024	FMA8	28	522,5	81,06	2,23
25-junio-2024	23-julio-2024	FMA9	28	535,2	82,46	2,27

**Fuente:** ASTM C 1329 (2004).

**Tabla 20:** Resultados de ensayo a flexión mortero con fibra al 0,5% del peso del cemento.

Fecha de elaboración	Fecha de ensayo	Espécimen	Días de curado	Peso (g)	Carga (kg)	Resistencia (Mpa)
26-junio-2024	03-julio-2024	FMB1	7	550,0	94,20	2,59
26-junio-2024	03-julio-2024	FMB2	7	551,4	75,20	2,07
26-junio-2024	03-julio-2024	FMB3	7	550,3	82,50	2,27
26-junio-2024	10-julio-2024	FMB4	14	539,5	----	----
26-junio-2024	10-julio-2024	FMB5	14	545,6	116,00	3,19
26-junio-2024	10-julio-2024	FMB6	14	541,8	99,20	2,72
26-junio-2024	24-julio-2024	FMB7	28	543,5	175,65	4,82
26-junio-2024	24-julio-2024	FMB8	28	537,0	192,92	5,30
26-junio-2024	24-julio-2024	FMB9	28	532,7	183,98	5,05

**Fuente:** ASTM C 1329 (2004).

**Tabla 21:** Resultados de ensayo a flexión mortero con fibra al 0,027% del peso seco de la mezcla (recomendado por el fabricante).

Fecha de elaboración	Fecha de ensayo	Espécimen	Días de curado	Peso (g)	Carga (kg)	Resistencia (Mpa)
27-junio-2024	04-julio-2024	FMC1	7	538,7	74,20	2,04
27-junio-2024	04-julio-2024	FMC2	7	543,9	70,79	1,94
27-junio-2024	04-julio-2024	FMC3	7	540,0	64,11	1,76
27-junio-2024	11-julio-2024	FMC4	14	549,1	101,68	2,79
27-junio-2024	11-julio-2024	FMC5	14	550,6	----	----
27-junio-2024	11-julio-2024	FMC6	14	540,1	101,80	2,80
27-junio-2024	25-julio-2024	FMC7	28	553,6	148,24	4,07
27-junio-2024	25-julio-2024	FMC8	28	548,1	----	----
27-junio-2024	25-julio-2024	FMC9	28	537,9	121,6	3,34

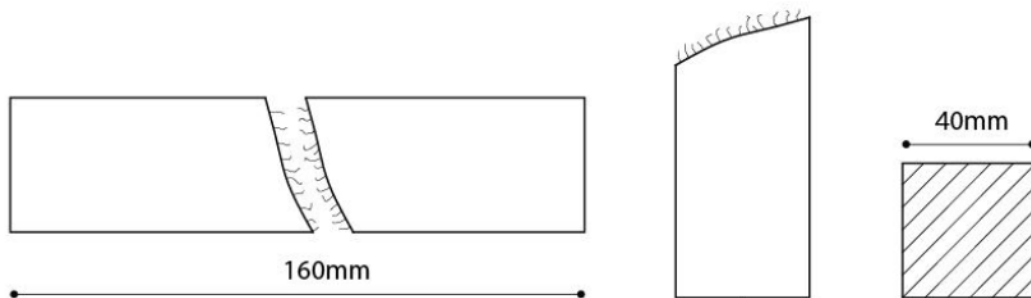
**Fuente:** ASTM C 1329 (2004).

De manera similar a las probetas de compresión, el promedio de resistencia de las probetas de flexión con un 0,5% de fibra con relación al peso del cemento fue superior; por lo tanto, se elegirá esta dosificación.

### 3.5 Ensayos de resistencia física

#### 3.5.1 Fabricación de probetas para resistencia física.

Una vez conocida la mejor dosificación para elaborar el panel, es crucial verificar la efectividad del impermeabilizante en la superficie de las probetas. Para ello, se deben realizar ensayos con especímenes en buen estado y con todas sus caras lisas, ya que estarán en contacto con agua. Las probetas que se utilizarán en este análisis serán las ensayadas a flexión, puesto que los laterales de las probetas no presentan daños (ver **Figura 73**) que puedan afectar los resultados.



**Figura 73:** Sección sana de probetas ensayadas a flexión

*Fuente:* (Masaco, 20218).

#### 3.5.2 Absorción de agua por capilaridad.

Este método permite medir y determinar la absorción de agua que un material compuesto puede adquirir con el tiempo. La porosidad es la característica principal de la que depende el material en este método. Los poros son los elementos clave que facilitan la absorción de humedad del exterior. Un material con un bajo coeficiente de absorción de agua presenta menor permeabilidad en el mortero, lo que prolonga su uso y vida útil, así como la de la estructura en general (Romero, 2022).

La norma ASTM C 1585 establece cómo determinar el coeficiente de absorción de agua por capilaridad en morteros y hormigones. Para ello, se emplea un conjunto de tres especímenes en buen estado. Estos especímenes son secados en un horno durante 48 horas, registrando su peso inicial en estado seco. Posteriormente, se calcula la superficie de la cara que está sumergida a cierta profundidad y, para concluir el procedimiento, se determina el coeficiente de absorción en distintos tiempos de curado (Romero, 2022).

##### a. Secado de muestras.

Inicialmente, las muestras se someten a un proceso de secado a temperaturas entre 60 y 65 grados Celsius (ver **Figura 74**). A continuación, se procede a registrar el peso de las muestras secas.



**Figura 74:** Secado de probetas

**Fuente:** Autor.

**b. Recolección de datos.**

Posteriormente, se realiza una medición precisa del área superficial que entrará en contacto con el agua durante el experimento. Para la prueba, cada muestra se coloca sobre un soporte, como se muestra en la **Figura 75**, asegurando que no toque el fondo del recipiente que contiene el agua. Es crucial mantener un nivel constante de agua, entre 5 y 6 milímetros, durante toda la duración del ensayo.



**Figura 75:** Probetas sumergidas 5mm en agua

**Fuente:** Autor.

A lo largo del experimento, se registra el peso de la muestra en intervalos de tiempo específicos: 1, 3, 5, 10, 15, 20 y 40 minutos. Esta medición permite observar y evaluar cómo cambia la tasa de absorción de agua por capilaridad con el tiempo. Este enfoque proporciona datos sobre la capacidad de absorción de agua del material, lo que resulta en información crucial para determinar su importancia en la aplicación del prototipo.

**c. Resultados del ensayo.**

Para determinar el porcentaje de absorción, se registran el peso de las probetas secas y el peso después de estar sumergidas durante distintos intervalos de tiempo, utilizando una balanza de precisión para obtener datos exactos (ver **Figura 76**).



**Figura 76:** Pesaje de probetas

**Fuente:** Autor.

Por la diferencia de pesos se obtuvo la cantidad de agua absorbida (P) (ver **Figura 75**). Posteriormente, se midió el fleco capilar en cm<sup>2</sup>, que corresponde al área del mortero que se ha humedecido a partir de 1 centímetro medido (S). La capilaridad se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$C_{c,t} = \frac{(m_t - m_o)}{A * \sqrt{T}} \times 10^3 \left[ \frac{g}{m^2 * s^{0,5}} \right]$$

Donde:

C<sub>c,t</sub>= Es el coeficiente de capilaridad

M<sub>t</sub>= masa después del contacto con el agua en un tiempo (g)

M<sub>o</sub>= Masa de inicial seca (g).

A<sub>s</sub>= Superficie de la cara sumergida en el agua (mm<sup>2</sup>).

T= tiempo de contacto con el agua (s).

**Tabla 22:** Coeficiente de absorción por capilaridad a probetas con 28 días de curado.

Espécimen	Impermeabilizante	60 s (g/(m <sup>2</sup> s <sup>0,5</sup> ))	300 s (g/(m <sup>2</sup> s <sup>0,5</sup> ))	600 s (g/(m <sup>2</sup> s <sup>0,5</sup> ))	1200 s (g/(m <sup>2</sup> s <sup>0,5</sup> ))	1800 s (g/(m <sup>2</sup> s <sup>0,5</sup> ))
AMC1	NO	21,3	19,7	23,9	20,8	21,9
AMC2	NO	20,6	19,2	21,3	18,5	18,1

AMC3	NO	21,0	17,0	19,2	17,0	17,6
iAMC4	SI	6,3	6,4	9,1	8,5	9,5
iAMC5	SI	4,7	6,7	8,2	7,9	9,7
iAMC6	SI	5,6	5,0	10,6	8,9	10,5

**Fuente:** Autor.

La aplicación de impermeabilizante ha demostrado ser efectiva en la prevención de la absorción capilar, como se observa en la **Figura 22**. Este tratamiento crea una barrera que impide la penetración de agua en el material. Al implementar esta solución en el prototipo, se espera evitar que el panel aumente de peso debido a la absorción de humedad, lo cual es crucial para mantener la estabilidad estructural y prevenir riesgos de colapso.

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN



## 4.1 El panel

### 4.1.1 Dosificación.

Una vez finalizados los ensayos de resistencia mecánica, se concluye que la adición del 0,5% de fibra de polipropileno respecto al peso del cemento es adecuada para incluirla en la mezcla, ya que mejora las características del mortero. Los mejores resultados de los ensayos con esta dosificación se observan en los **Anexo 1** y **Anexo 2**.

### 4.1.2 Fabricación.

Para fabricar el prototipo, se selecciona la dosificación con las mejores características y se siguen los procedimientos establecidos. Antes de comenzar, es esencial preparar un área protegida de factores climáticos como sol, lluvia y viento (Baquerizo & Espinoza, 2016). En el siguiente apartado se detallan los pasos para la producción y fabricación del panel.

#### a. *Fabricación del molde para el prototipo.*

Las dimensiones propuestas para fabricar el panel son de 1 m x 1 m, ya que los referentes coinciden en usar medidas en intervalos de 10 cm. Por ello, se fabricará el prototipo con estas dimensiones. La fabricación del panel se ilustra en el conjunto de imágenes de la **Figura 77**.

Para la fabricación del molde, se eligió una plancha de playwood de pino debido a su gran formato, alta calidad, resistencia y ausencia de defectos, lo que garantiza la durabilidad y estabilidad del encofrado. En la plancha se marcan las dimensiones del molde, se procede a cortar y se ensamblan con ayuda de tornillos para asegurar una construcción sólida pero fácil de desmoldar.



**Figura 77:** Fabricación de encofrado para prototipo

**Fuente:** Autor

### **b. Preparación del molde para el prototipo.**

Para facilitar el desmolde del panel, se debe aplicar un desmoldante. En este caso, se utilizará aceite quemado para evitar que la mezcla se adhiera al molde (ver **Figura 78**).



**Figura 78:** Aplicación de aceite al molde

**Fuente:** Autor

### **c. Pesaje de materiales para el prototipo.**

Para lograr una resistencia equivalente a la de las probetas, se realiza el pesado de los materiales utilizando una balanza electrónica. La cantidad de cada material se describe en la **Tabla 23**, se considera el 15 % de desperdicio.

**Tabla 23:** Cantidad de material para prototipo de 100cm x 100cm x 1,8 cm.

Tipo de mortero	Materiales	Dosificación por peso (kg)	Dosificación + 15% de desperdicio (kg)
N	Cemento	7,38	8,48
	Arena	26,16	30,08
	Agua	5,24	6,03
	Fibra	0,0369	0,0424

**Fuente:** ASTM C 1329 (2004).

### **d. Mezcla de materiales secos.**

Los componentes de la mezcla se revuelven manualmente hasta conseguir una consistencia uniforme, como se observa en la **Figura 79**. Es primordial desmenuzar la fibra para que se integre correctamente en toda la mezcla.



**Figura 79:** Mezclado de los componentes

**Fuente:** Autor

**e. Adición de agua a la mezcla.**

Una vez mezclada correctamente, es importante adicionar el agua en pequeñas proporciones (ver **Figura 80**) para lograr una mezcla uniforme, ya que se debe obtener una consistencia pastosa al final del proceso.

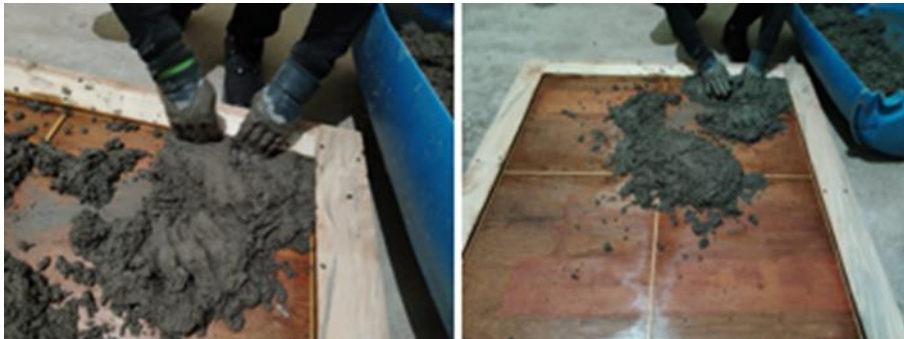


**Figura 80:** Adición de agua a la mezcla

**Fuente:** Autor

**f. Vertido de la mezcla en el molde.**

Una vez terminado el proceso de mezcla con agua, se vierte la mezcla en el molde y se extiende de manera uniforme, asegurándose de que llegue bien a las esquinas para evitar la formación de vacíos en el molde (ver **Figura 81**).



**Figura 81:** Aplicación de aceite al molde

**Fuente:** Autor

**g. Nivelación de la mezcla.**

Después de extender manualmente la mezcla, se nivela con ayuda de un codal para alisarla lo mejor posible (ver **Figura 82**).



**Figura 82:** Nivelación de la mezcla con codal

**Fuente:** Autor

#### **h. Alisado final.**

El alisado final consiste en rellenar posibles huecos en la superficie del panel. Con ayuda de un bailejo, se agrega mezcla a los espacios que lo requieran (ver **Figura 83**).



**Figura 83:** Nivelación de la mezcla con codal

**Fuente:** Autor

#### **i. Desmoldado de prototipo.**

Transcurridas 24 horas desde el proceso anterior, se debe proceder al desmolde, como se observa en la **Figura 84**. El desmolde es el paso más difícil, ya que la resistencia del panel es muy baja y puede fracturarse fácilmente.



**Figura 84:** Desmolde del panel.

**Fuente:** Autor

**j. Prototipo final de panel.**

El resultado final del panel refleja el diseño plasmado en el molde; las líneas que se observan en la **Figura 85** son parte del diseño de este prototipo.



**Figura 85:** Prototipo de panel 1:1

**Fuente:** Autor

## 4.2 Anclajes

### 4.2.1 Requerimientos para el anclaje de los paneles.

#### a. *Resistencia Estructural.*

La pared debe tener la capacidad de soportar el peso adicional de los paneles y la estructura de soporte sin comprometer su integridad. Esto implica que debe estar construida con materiales resistentes y adecuadamente reforzada para evitar deformaciones o fallos estructurales. Cada panel de 100 cm x 100 cm x 1,8 cm pesa 33,3 kg, lo cual es comparable al peso del acabado tradicional de enlucido, ya que el espesor es similar.

#### b. *Superficie Plana y Nivelada.*

Es esencial que la superficie de la pared sea plana y nivelada para garantizar un ajuste preciso y seguro de los paneles. Cualquier irregularidad en la superficie puede afectar la estabilidad de los paneles y comprometer el acabado. La estructura puede fijarse a un muro de bloque o ladrillo tochano, siempre que la fijación de la subestructura se realice directamente en las juntas de la mampostería. En el caso del ladrillo panelón enlucido, se pueden utilizar elementos de fijación puntuales, los cuales deben instalarse en el perímetro del panel. La cantidad de anclajes puntuales será de 8 para paneles de 100 cm x 100 cm x 1,8 cm, y aumentará a 14 para paneles de 200 cm x 100 cm x 1,8 cm. Además, en los dos casos de anclaje se debe incorporar un refuerzo cada 6 metros de altura para evitar la transmisión de cargas entre los paneles.

#### c. *Capacidad de Carga.*

La pared debe estar diseñada para soportar no solo el peso estático de los paneles, sino también las cargas dinámicas, como las causadas por el viento, vibraciones o movimientos sísmicos. Esto asegura que la estructura permanezca estable y segura bajo diversas condiciones.

#### d. *Compatibilidad de Materiales.*

Los materiales de la pared deben ser compatibles con los sistemas de anclaje utilizados. Esto es crucial para evitar reacciones químicas adversas que puedan debilitar la fijación y comprometer la seguridad de la instalación. Para asegurar el anclaje, se utilizará una subestructura distribuida con un máximo de 61 cm de separación entre cada hilada. Cada hilada se fijará a la pared con tornillos de fijación, manteniendo una distancia no mayor a 40 cm entre cada tornillo. Esta disposición garantiza una sujeción firme y uniforme, mejorando la estabilidad y durabilidad de la instalación.

#### e. *Accesibilidad para la Instalación.*

Debe haber suficiente espacio alrededor de la pared para permitir la instalación de la estructura de soporte y los paneles. Esto incluye el acceso para herramientas y equipos necesarios, así como espacio para que los instaladores trabajen de manera eficiente y segura.

#### **f. Condiciones Ambientales Adecuadas.**

La pared debe estar protegida de condiciones ambientales extremas durante la instalación, como humedad excesiva, temperaturas extremas o exposición directa a elementos climáticos adversos. Estas condiciones pueden afectar negativamente los materiales de fijación y anclaje, comprometiendo la calidad de la instalación.

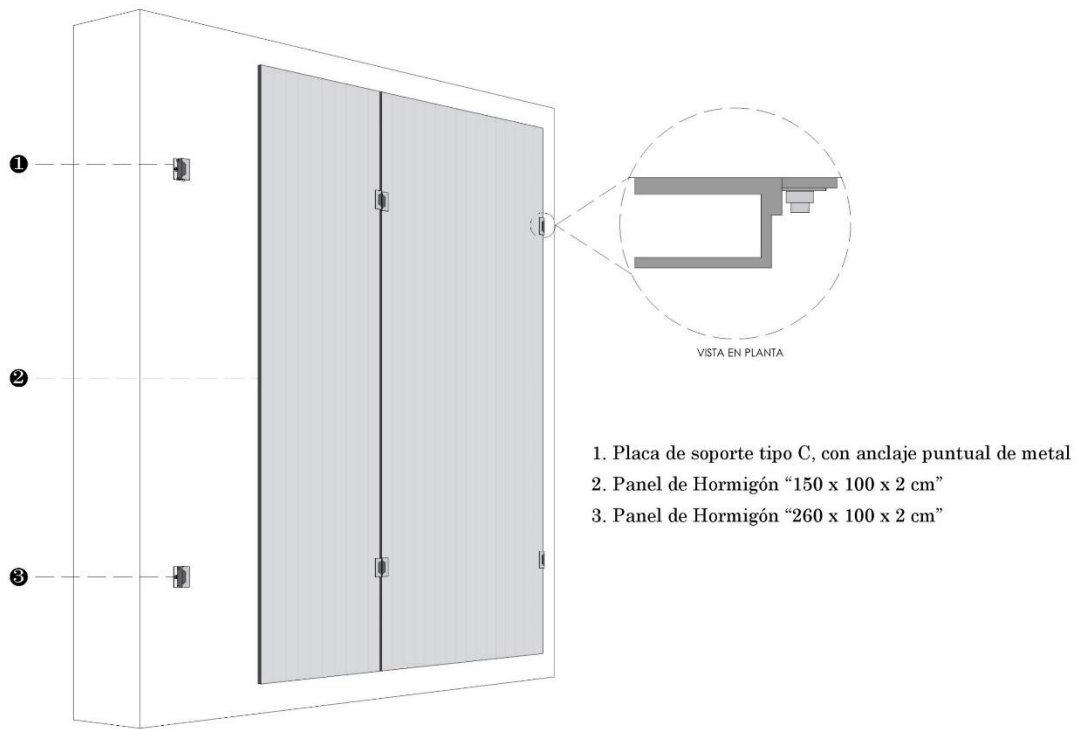
#### **g. Cumplimiento Normativo.**

La pared debe cumplir con las normativas y códigos de construcción de la NEC, esto asegura que la instalación sea legal, segura y conforme a los estándares de la industria.

#### **4.2.2 Propuesta de anclaje.**

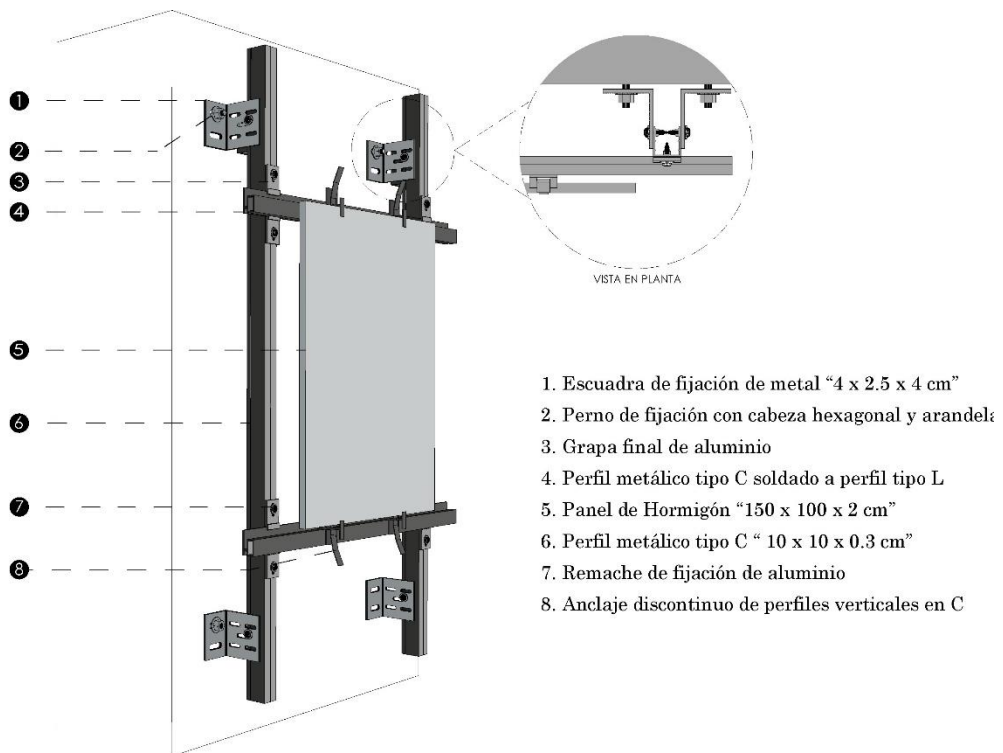
En el contexto de esta investigación, se proponen distintos diseños de anclaje como alternativas viables. El primer diseño propuesto (ver **Figura 86**) se caracteriza por su simplicidad y eficacia. Se trata de un sistema de anclaje que utiliza pernos de expansión y una placa de soporte tipo C. Esta solución, aunque no es nueva, ha demostrado ser confiable en numerosas aplicaciones. Sin embargo, conscientes de que cada proyecto tiene sus particularidades, no se consideró suficiente conformarse con esta opción y se continuó explorando. Así, se concibieron los siguientes diseños que incorporan mecanismos de ajuste. Esta idea surgió de la observación de que, en muchos casos, la precisión en la instalación es crucial para el rendimiento óptimo del sistema. Un mecanismo que permita pequeños ajustes después de la instalación inicial marca una gran diferencia en la calidad final del montaje.

Cada uno de los diseños tiene sus propias ventajas y desafíos, y es evidente que la elección final dependerá de varios factores, incluyendo costos, facilidad de instalación y requisitos específicos del proyecto. Sin embargo, haber generado estas alternativas proporciona un abanico de opciones que pueden adaptarse a diferentes escenarios y necesidades. En última instancia, se espera que estos diseños de anclaje alternativos no solo cumplan con los requisitos técnicos del proyecto, sino que también aporten valor añadido en términos de eficiencia, durabilidad y facilidad de uso. A continuación, se ilustran varias propuestas de anclaje para fijar estos paneles a la estructura del edificio, empleando materiales que están disponibles en el mercado nacional.



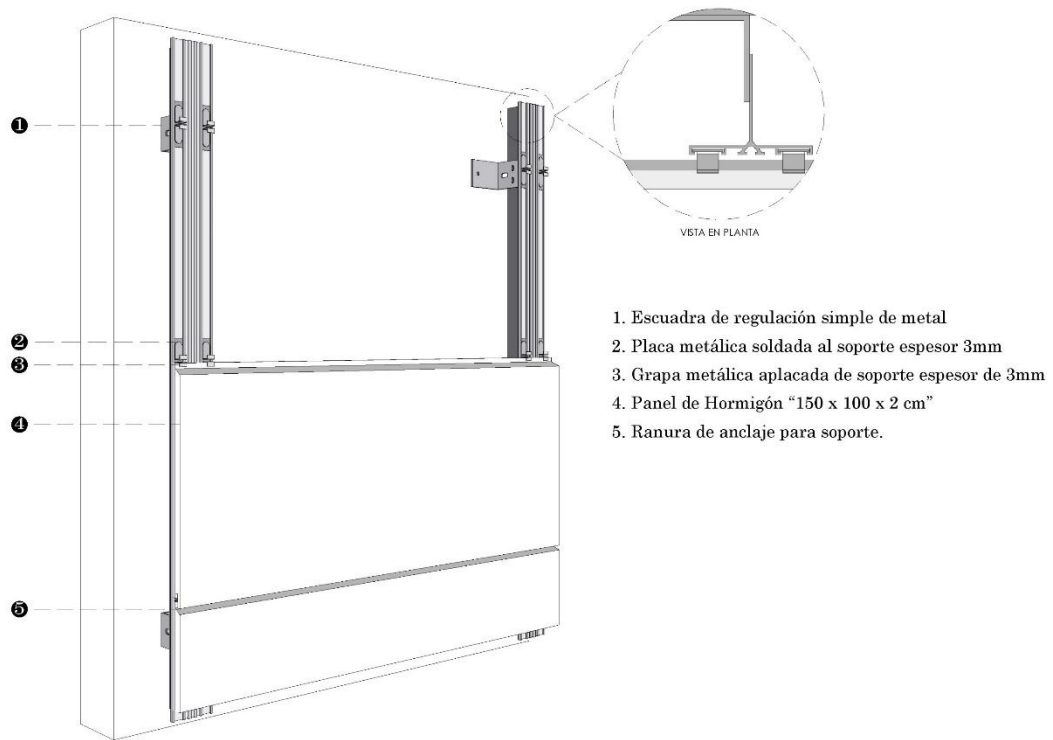
**Figura 86:** Propuesta de anclaje 1

**Fuente:** Autor



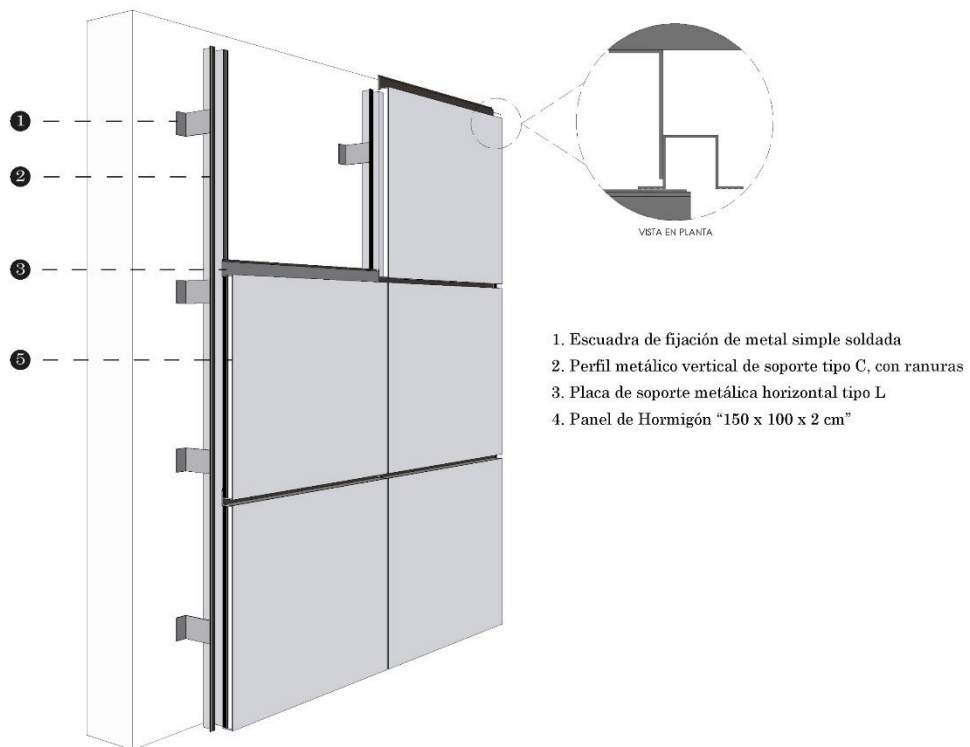
**Figura 87:** Propuesta de anclaje 2

**Fuente:** Autor



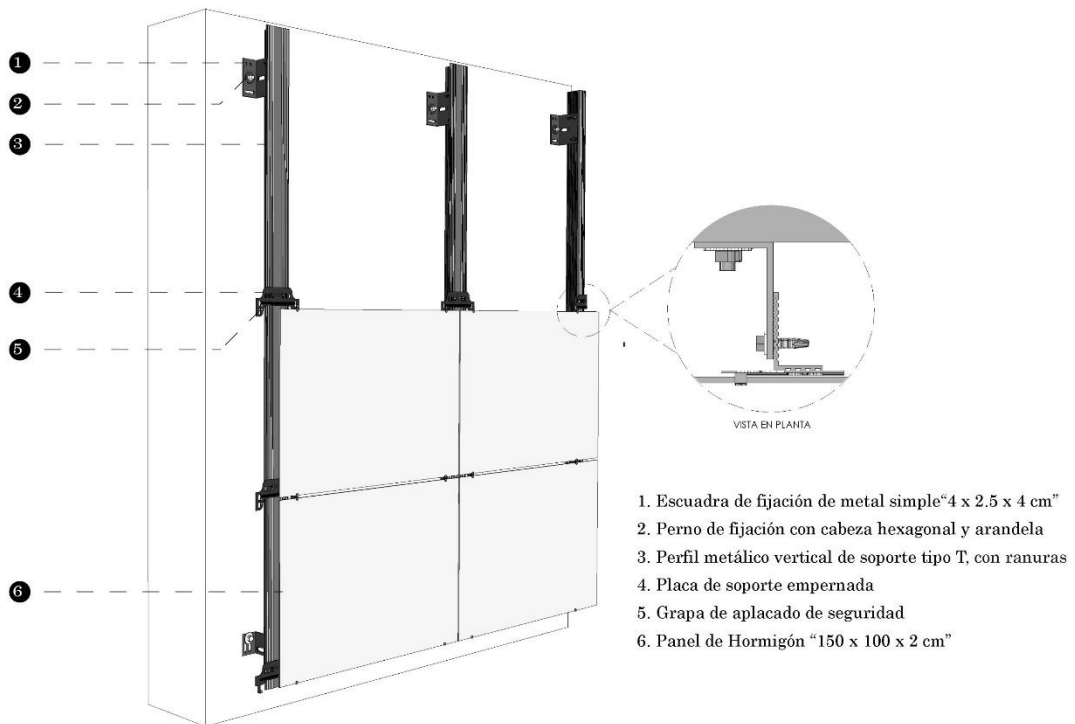
**Figura 88:** Propuesta de anclaje 3

**Fuente:** Autor



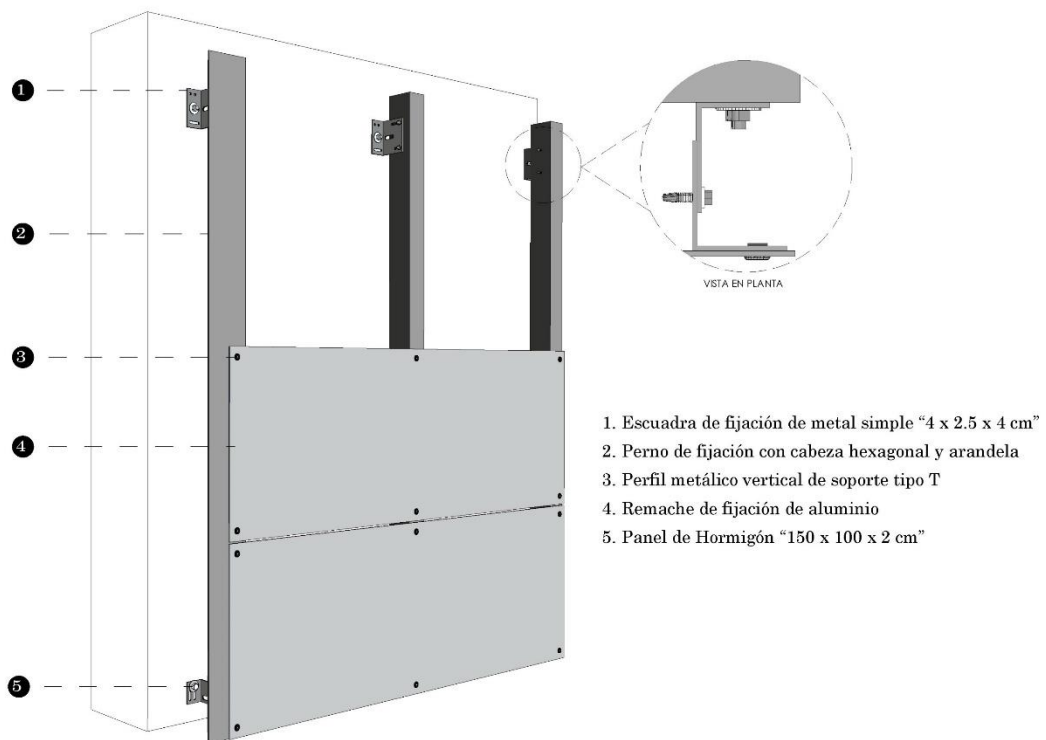
**Figura 89:** Propuesta de anclaje 4

**Fuente:** Autor



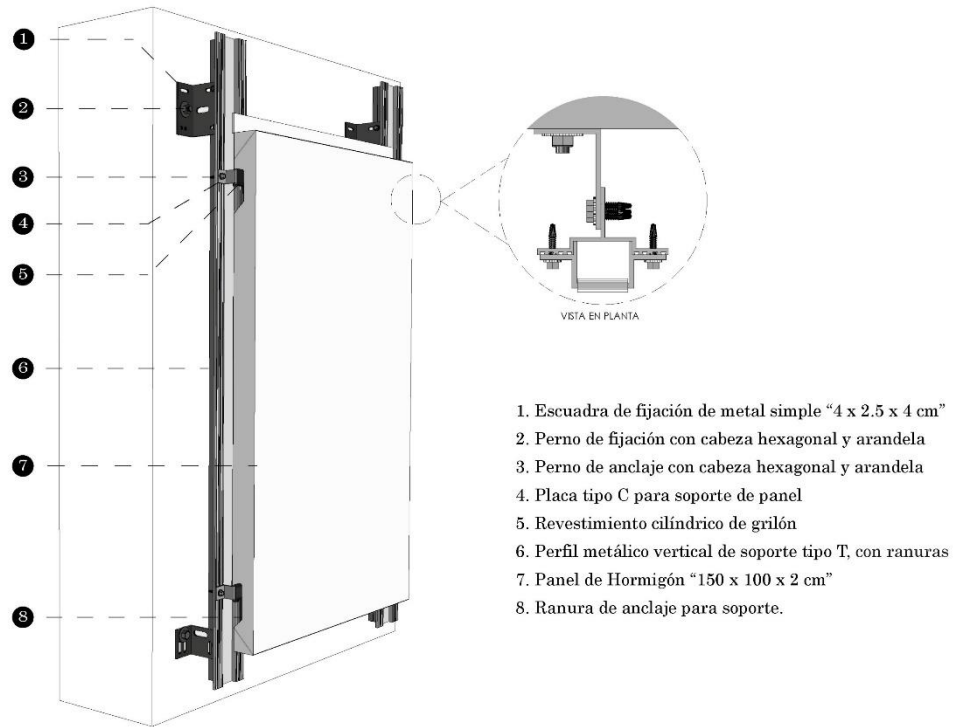
**Figura 90: Propuesta de anclaje 5**

**Fuente: Autor**



**Figura 91: Propuesta de anclaje 6**

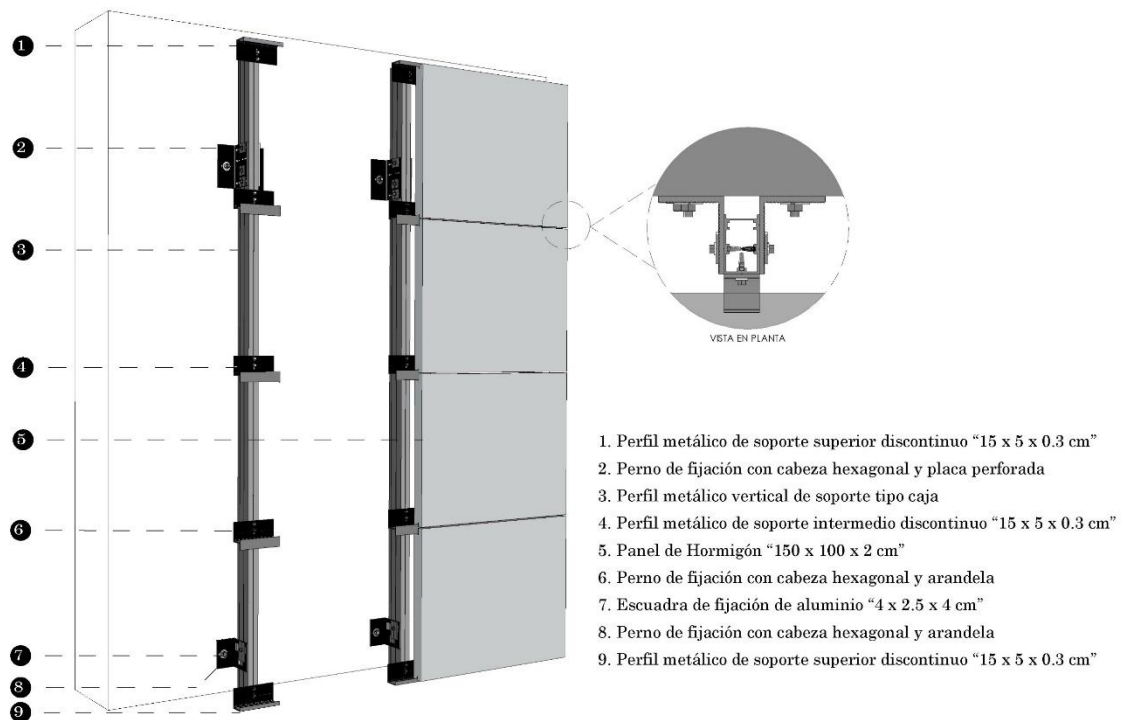
**Fuente: Autor**



1. Escuadra de fijación de metal simple "4 x 2.5 x 4 cm"
2. Perno de fijación con cabeza hexagonal y arandela
3. Perno de anclaje con cabeza hexagonal y arandela
4. Placa tipo C para soporte de panel
5. Revestimiento cilíndrico de grilón
6. Perfil metálico vertical de soporte tipo T, con ranuras
7. Panel de Hormigón "150 x 100 x 2 cm"
8. Ranura de anclaje para soporte.

**Figura 92:** Propuesta de anclaje 7

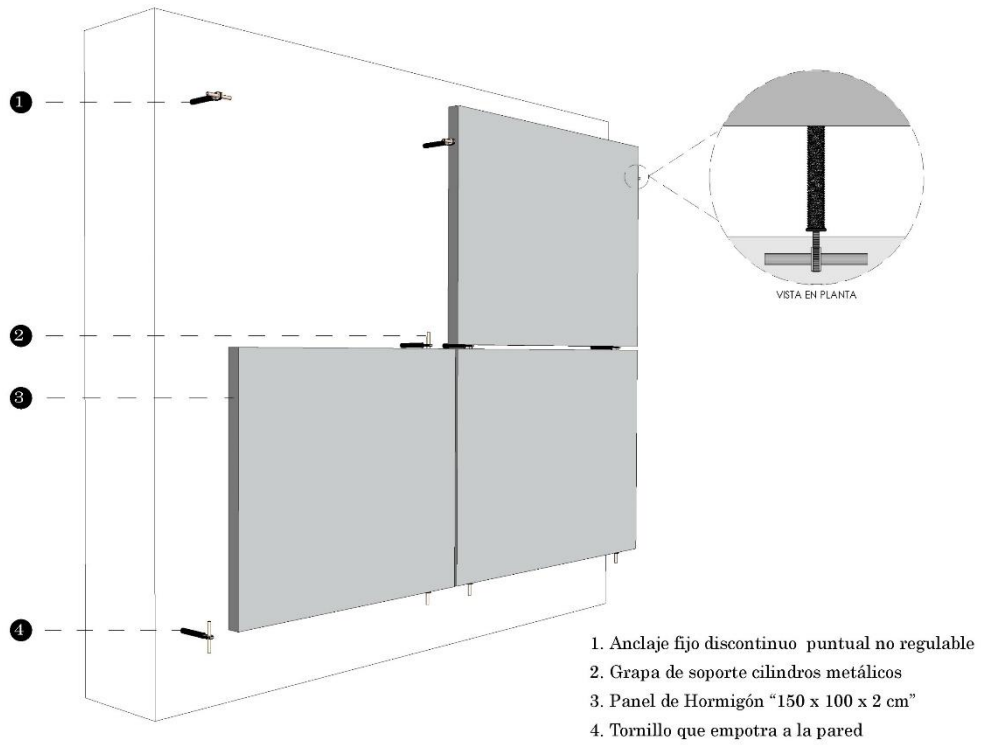
**Fuente:** Autor



1. Perfil metálico de soporte superior discontinuo "15 x 5 x 0.3 cm"
2. Perno de fijación con cabeza hexagonal y placa perforada
3. Perfil metálico vertical de soporte tipo caja
4. Perfil metálico de soporte intermedio discontinuo "15 x 5 x 0.3 cm"
5. Panel de Hormigón "150 x 100 x 2 cm"
6. Perno de fijación con cabeza hexagonal y arandela
7. Escuadra de fijación de aluminio "4 x 2.5 x 4 cm"
8. Perno de fijación con cabeza hexagonal y arandela
9. Perfil metálico de soporte superior discontinuo "15 x 5 x 0.3 cm"

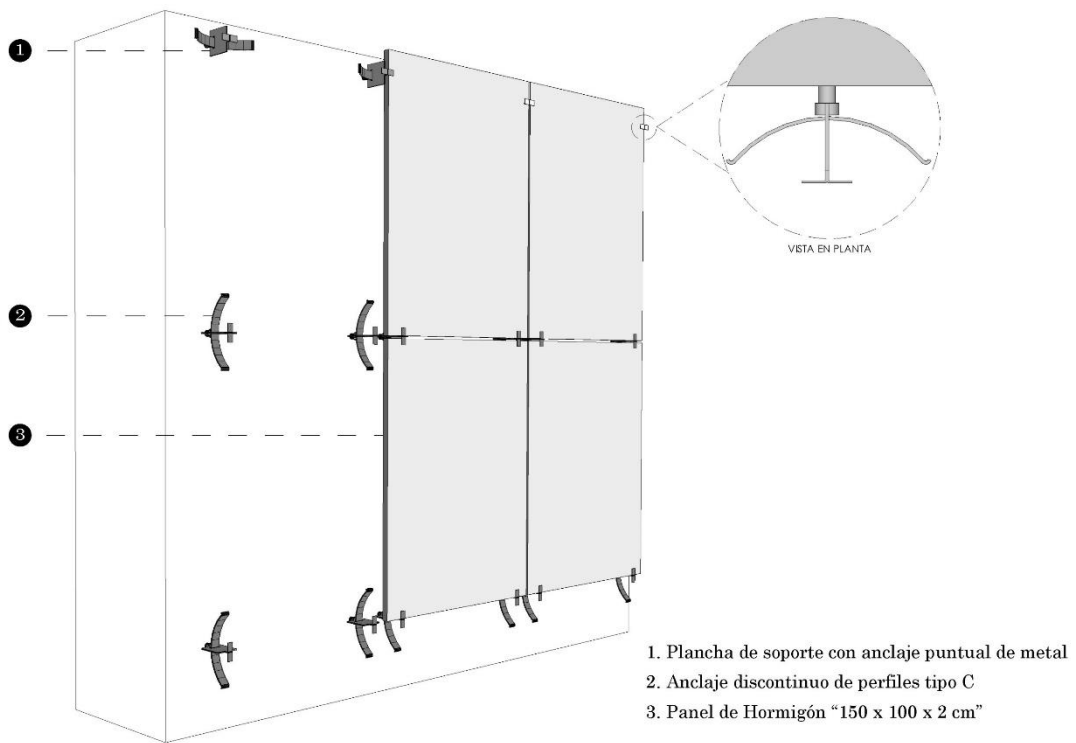
**Figura 93:** Propuesta de anclaje 8

**Fuente:** Autor



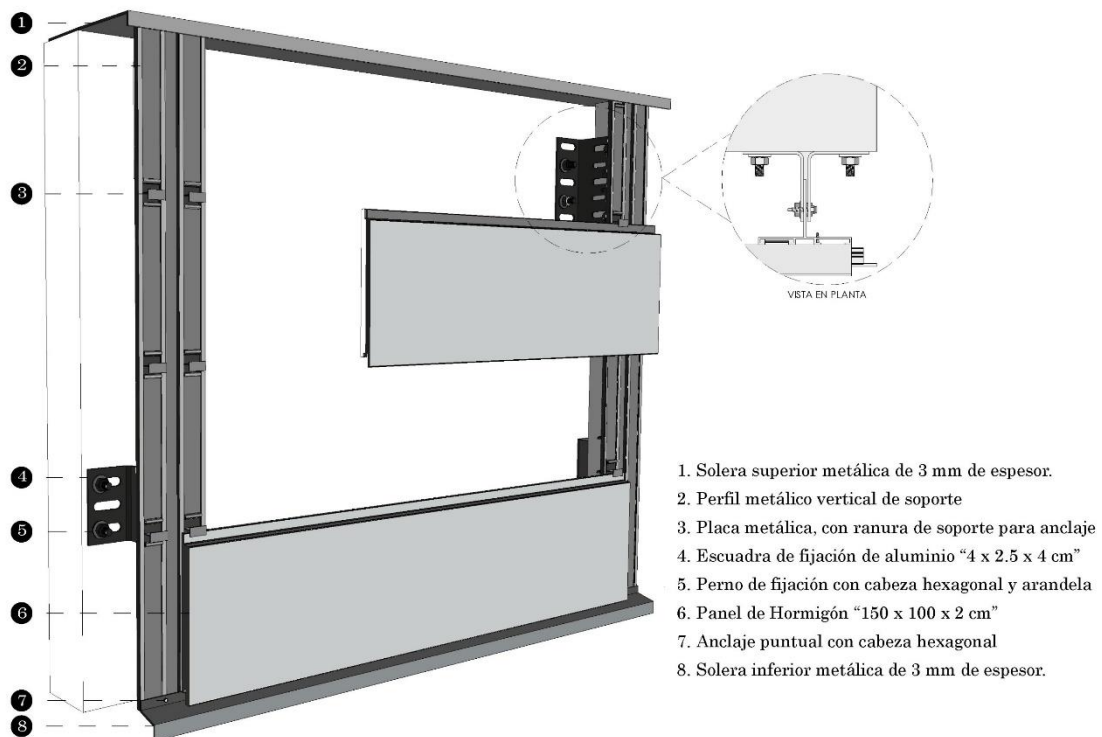
**Figura 94:** Propuesta de anclaje 9

**Fuente:** Autor



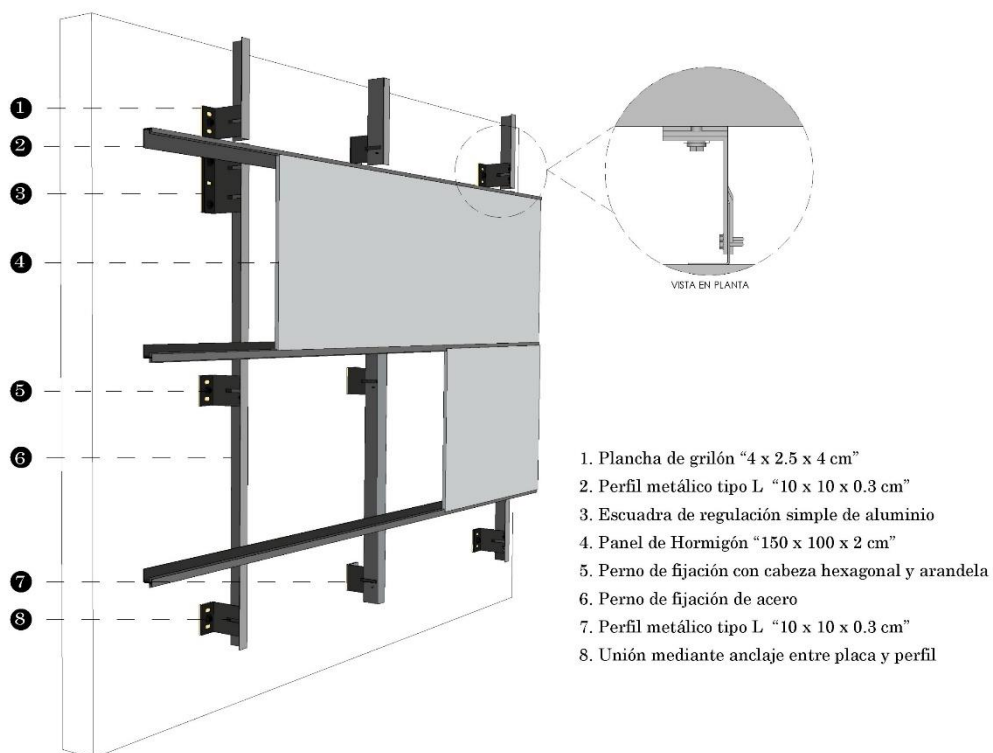
**Figura 95:** Propuesta de anclaje 10

**Fuente:** Autor



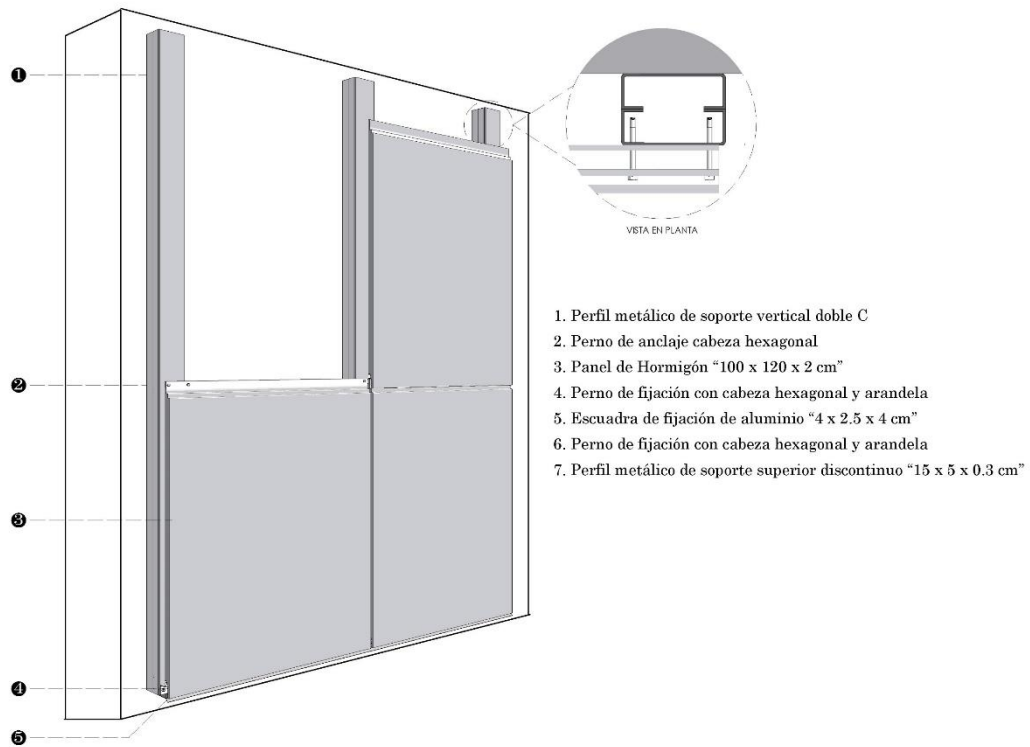
**Figura 96: Propuesta de anclaje 11**

**Fuente: Autor**



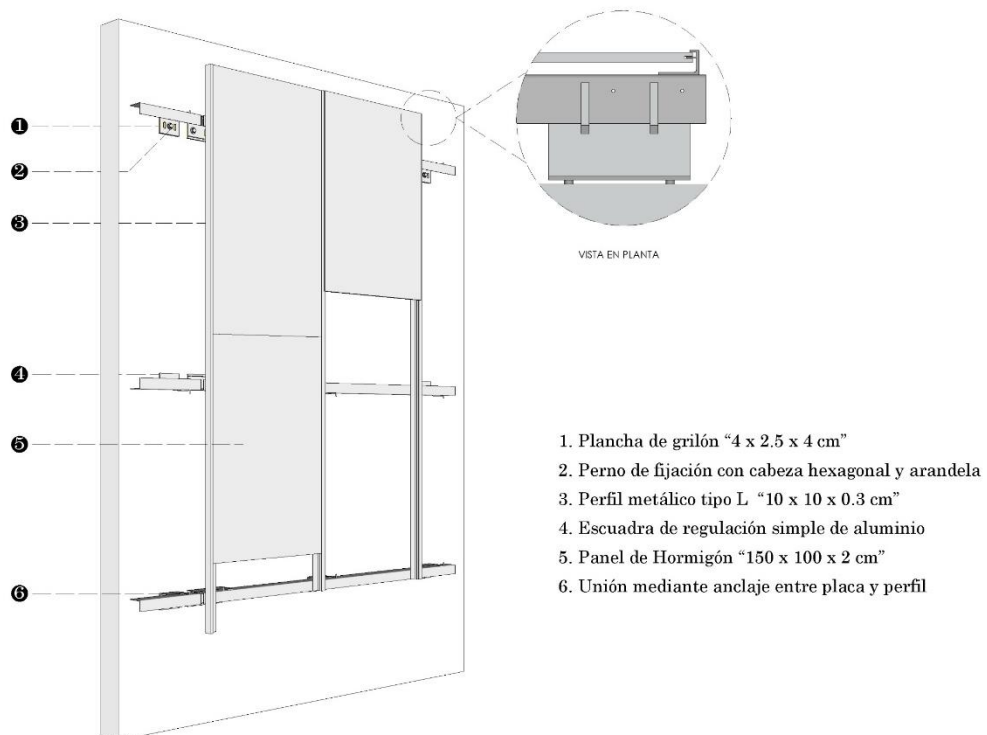
**Figura 97: Propuesta de anclaje 12**

**Fuente: Autor**



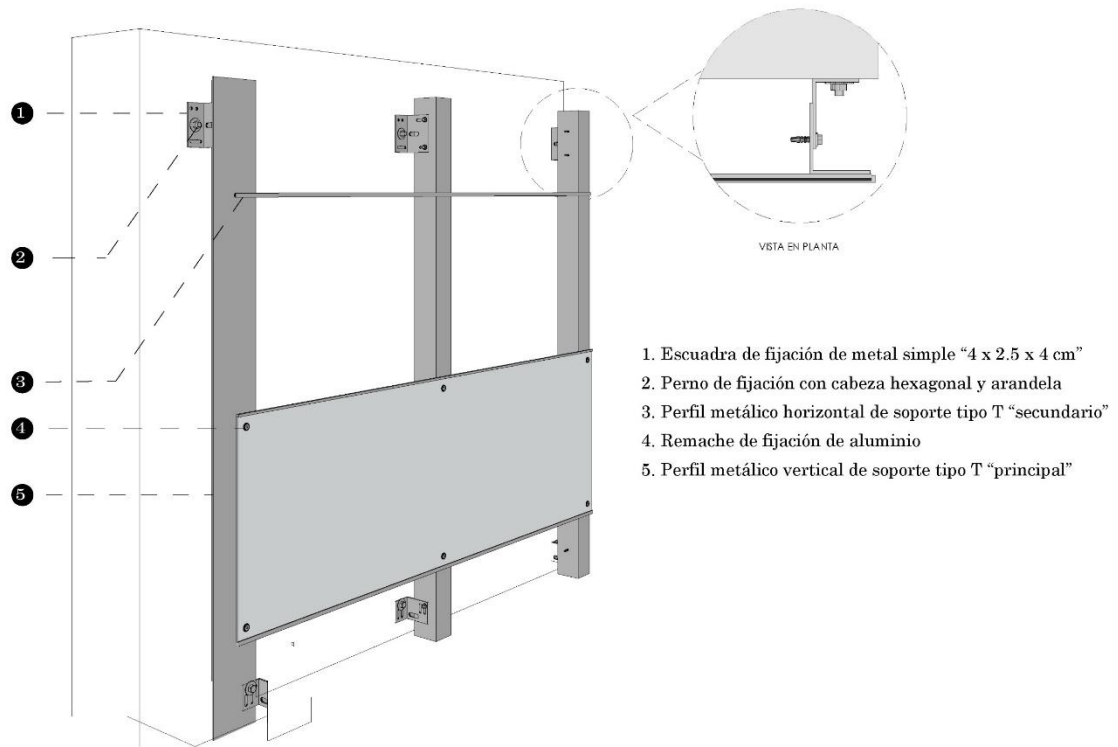
**Figura 98:** Propuesta de anclaje 13

**Fuente:** Autor



**Figura 99:** Propuesta de anclaje 14

**Fuente:** Autor



**Figura 100: Propuesta de anclaje 15**

**Fuente: Autor**

### 4.3 Acabados

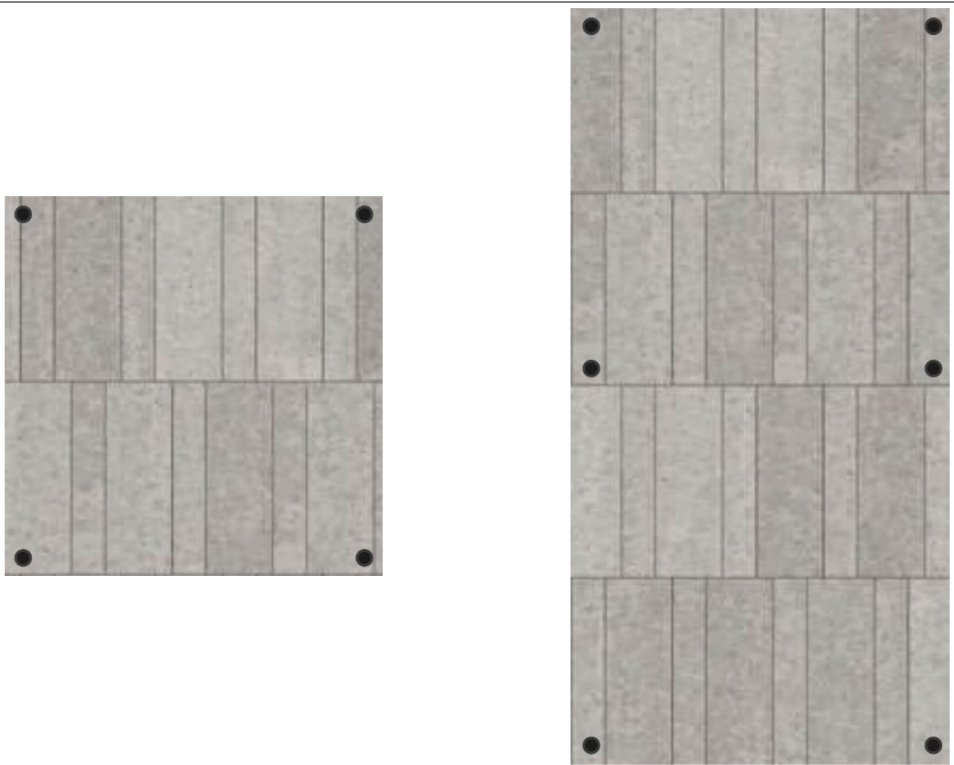
Las propuestas de diseño de acabados para los paneles prefabricados de mortero en fachadas deben alinearse con las tendencias actuales de construcción, que priorizan la sostenibilidad, la innovación y una estética moderna. Las texturas naturales, los colores integrados, los acabados mate y brillantes, los elementos decorativos y los acabados sostenibles son opciones que no solo mejoran la apariencia del edificio, sino que también contribuyen a su durabilidad y eficiencia.

#### a. Acabados lisos.

Las primeras alternativas consideradas fue el acabado liso con distintos colores. Esta opción ofrece una apariencia limpia y moderna, ideal para edificios contemporáneos. Los colores seleccionados no son al azar, ya que ayudan en la resistencia a la intemperie y la contaminación urbana. Sin embargo, no todos los proyectos requieren una apariencia tan minimalista. Por ello, se desarrollaron opción que incorporan texturas sutiles. Pensando en proyectos que buscan un aspecto más natural, se propuso acabados que reproduce la apariencia de materiales como la piedra o madera. Al elegir y combinar estos acabados, es posible crear fachadas únicas y atractivas que se adapten a las necesidades y preferencias del mercado actual como se observa en la **Tabla 24**.

**Tabla 24:** Acabados con texturas llanas que se pueden emplear en los paneles prefabricados de hormigón, en dimensiones de "1m x 1m" y "2m x 1m".

<b>Patrón:</b>	Rectangular asimétrico	
<b>Relación:</b>	1/1	2/1

---

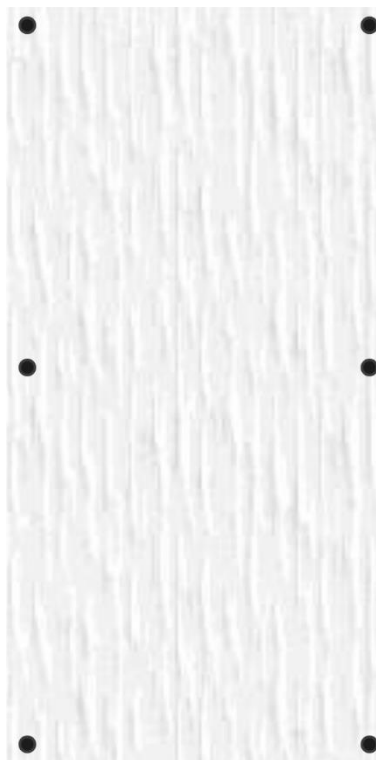
**Patrón:** Estrías lineales irregulares

---

**Relación:** 1/1

2/1

---



---

**Patrón:** Estrías curvas irregulares

---

**Relación:** 1/1

2/1

---



---

**Patrón:** Semicírculos enlazados

---

**Relación:** 1/1

2/1

---



---

**Patrón:** Piedra de cantera irregular

---

**Relación:** 1/1

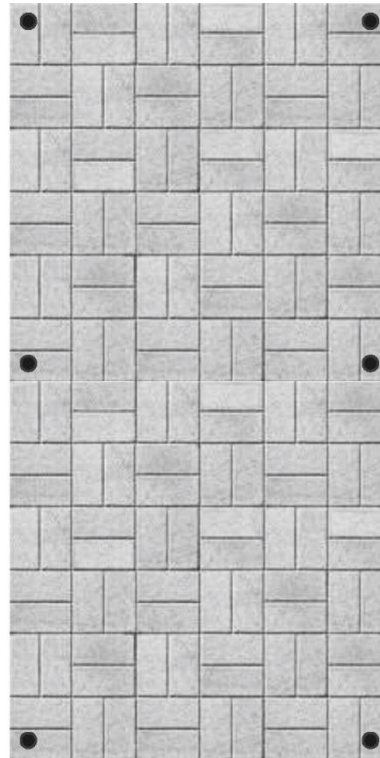
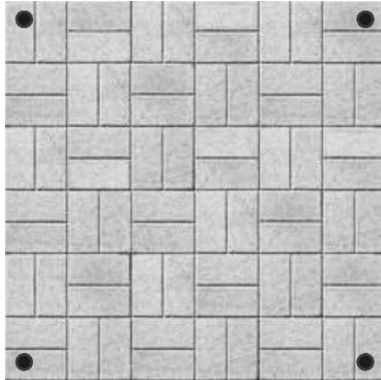
2/1

---





<b>Patrón:</b>	<b>Forma de adoquín en cuadrados</b>	
<b>Relación:</b>	1/1	2/1



*Fuente: Autor*

### **b. Acabados 3D.**

Los acabados 3D han emergido como una opción innovadora y versátil que está revolucionando la forma en que se conciben las superficies. Esta tecnología variedad de posibilidades creativas, permitiendo la creación de texturas y patrones que antes eran difíciles, si no imposibles, de lograr. Uno de los aspectos más interesantes de los acabados 3D es su capacidad para jugar con la luz y la sombra. Se han desarrollado paneles con relieves geométricos que cambian de apariencia a lo largo del día, creando un efecto dinámico en las fachadas. Estos diseños no solo ofrecen un atractivo visual, sino que también pueden ayudar en el control solar pasivo del edificio, agregando una función práctica a su apariencia estética.

La versatilidad de los acabados 3D se extiende más allá de los patrones geométricos. Se han propuesto acabados que imitan texturas naturales como cortezas de árboles, formaciones rocosas o incluso patrones inspirados en organismos marinos. Estos diseños no solo aportan un toque de naturaleza a los entornos urbanos, sino que también pueden mejorar las propiedades acústicas de los espacios interiores. Al elegir y combinar los acabados 3D, permite adaptar las fachadas a las preferencias del mercado actual como se observa en la **Tabla 25**.

**Tabla 25:** Acabados con texturas en 3D que se pueden emplear en los paneles prefabricados de hormigón, en dimensiones de "1m x 1m" y "2m x 1m".

---

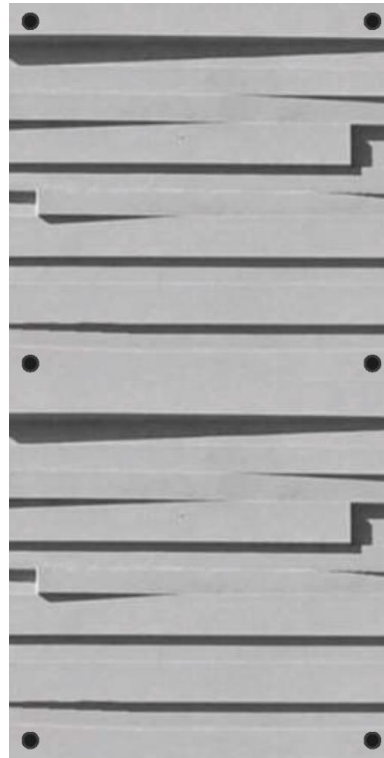
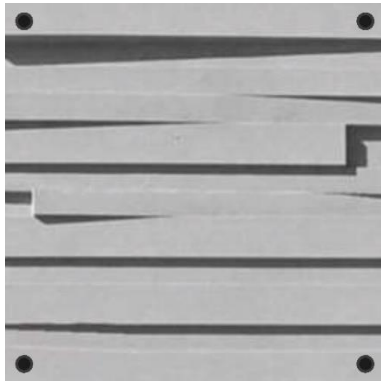
**Patrón:** Rectángulos regulares

---

**Relación:** 1/1

2/1

---



---

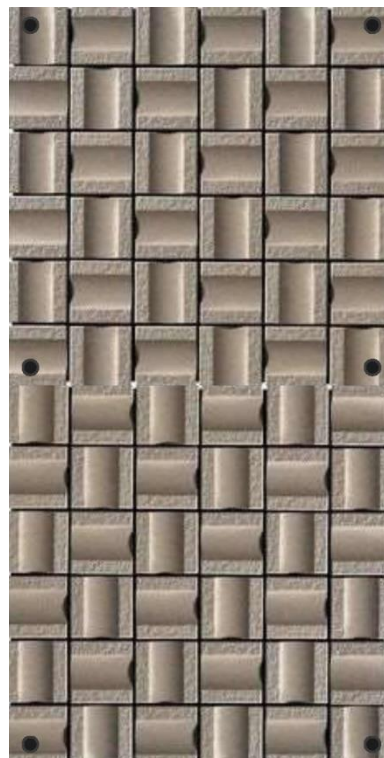
**Patrón:** Cuadrados con diseño

---

**Relación:** 1/1

2/1

---





---

**Patrón:** Cubos en forma de ajedrez

---

**Relación:** 1/1

2/1

---



---

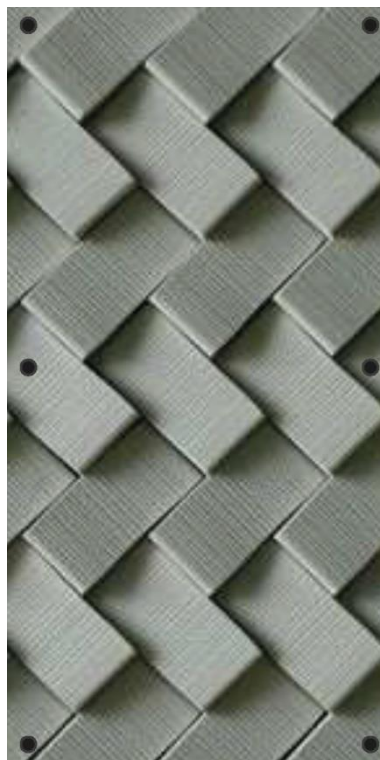
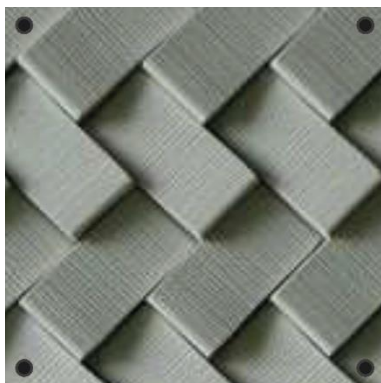
**Patrón:** Adoquines en 60°

---

**Relación:** 1/1

2/1

---



---

**Patrón:** Diseño con curvas en abanico

---

**Relación:** 1/1 2/1

---



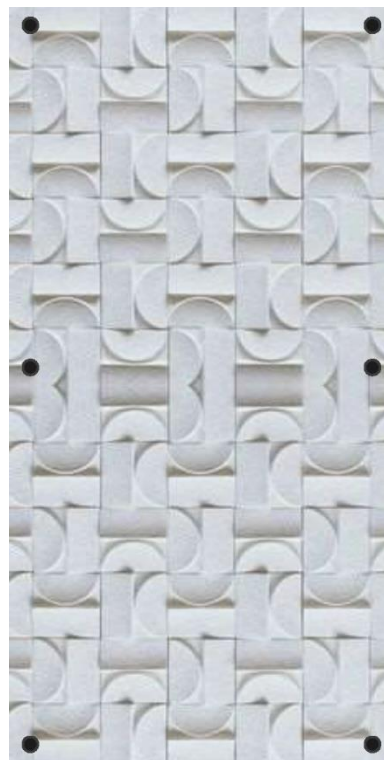
---

**Patrón:** Fusión de formas rectas y curvas en dimensiones de adoquín

---

**Relación:** 1/1 2/1

---



---

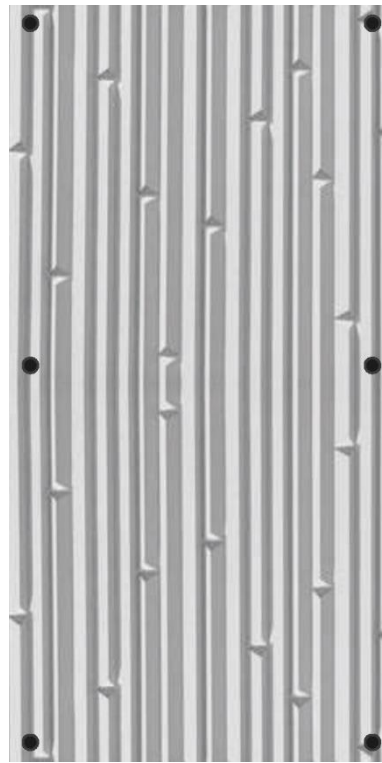
**Patrón:** Forma Lineal

---

**Relación:** 1/1

2/1

---



---

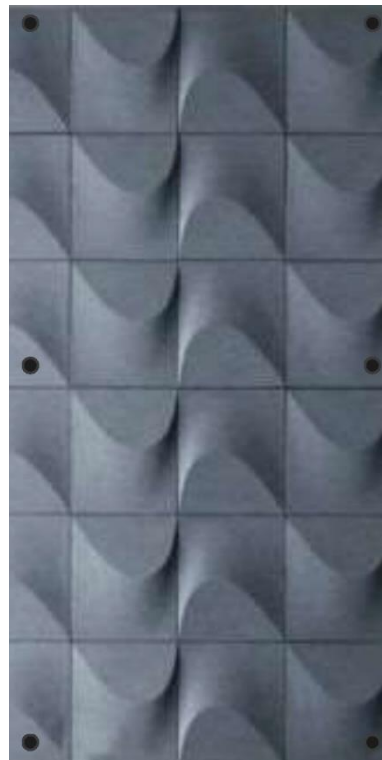
**Patrón:** Cuadrados con curvas

---

**Relación:** 1/1

2/1

---







---

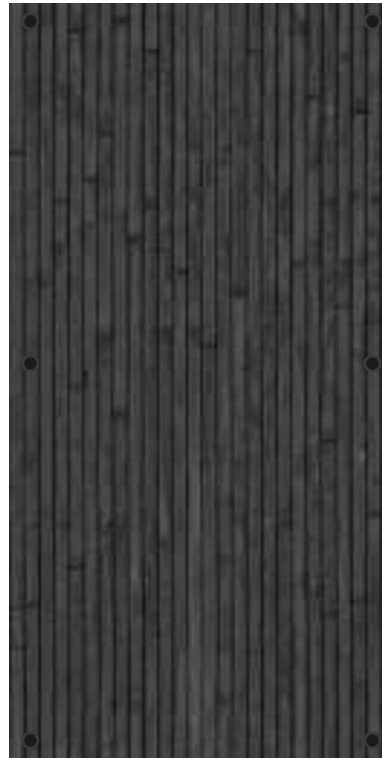
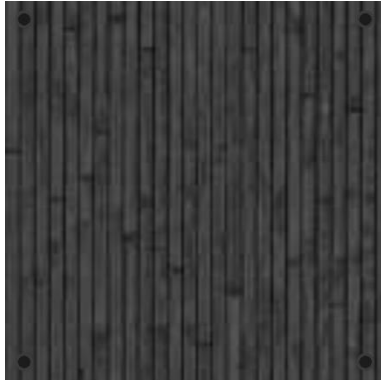
**Patrón:** Forma de madera en vertical

---

**Relación:** 1/1

2/1

---



---

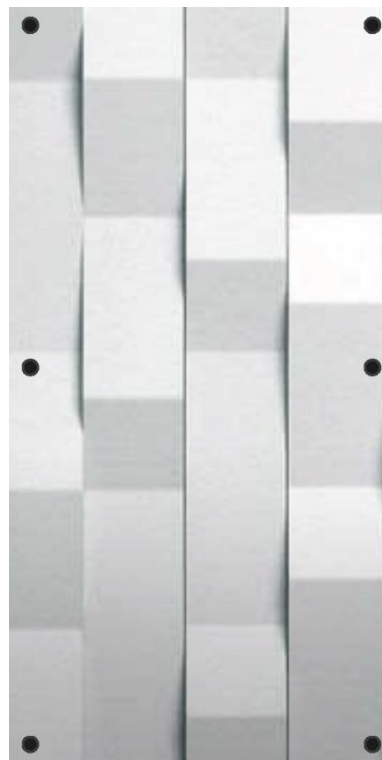
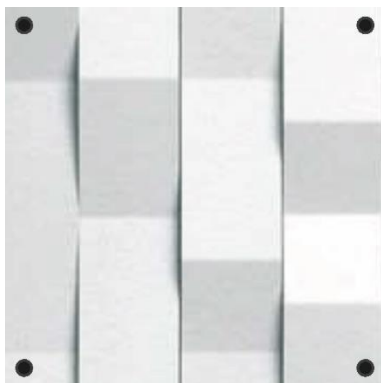
**Patrón:** Rectángulos verticales, que sobresalen los vértices

---

**Relación:** 1/1

2/1

---





---

**Patrón:** Cubos y rectángulos irregulares

---

**Relación:** 1/1 2/1

---



---

**Patrón:** Rectángulos Irregulares

---

**Relación:** 1/1 2/1

---



---

**Patrón:** Filas de rectángulos gruesos y delgados fusionados

---

**Relación:** 1/1

2/1

---

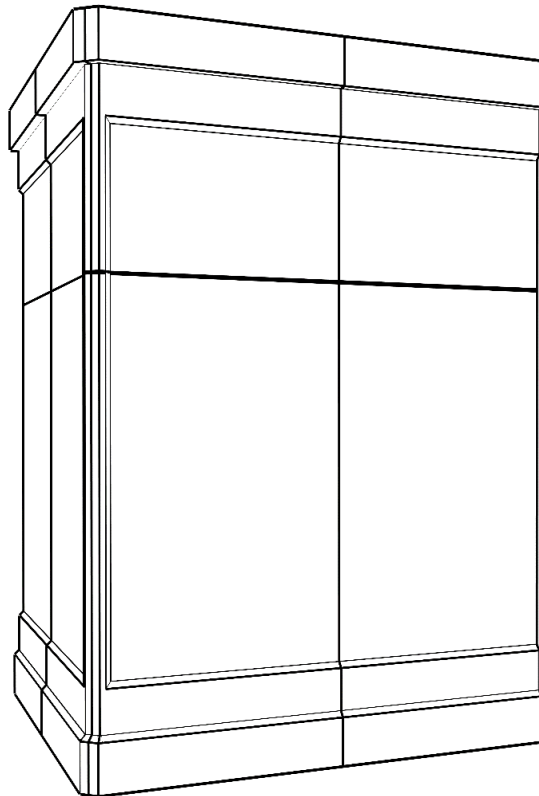


---

*Fuente: Autor*

#### 4.4 Formatos de paneles para remates.

La propuesta incluye remates para esquinas, remates inferiores y remates superiores, lo que permite una continuidad estética y funcional cuando se aplica en fachadas de viviendas que poseen esquinas (ver **Figura 101**). Estos remates no solo aportan un valor estético, sino que también son altamente funcionales. El remate para esquinas ayuda a que la junta sea precisa, asegurando un acabado limpio y profesional. El remate inferior refuerza esta parte crítica, ya que, al estar en contacto con el suelo, el panel podría sufrir golpes. Este refuerzo adicional proporciona mayor resistencia, prolongando la vida útil del panel. En cuanto al remate superior, este actúa como un gotero, evitando que la lluvia deteriore el panel o provoque manchas debido al efecto combinado de la lluvia y el polvo.



**Figura 101:** Esquema general de remates en esquina, remates superiores y remates inferiores

*Fuente:* Autor

Estas características ofrecen un valor añadido a la propuesta sobre otras opciones ya existentes en el mercado. Además, se plantean diferentes tamaños de paneles para ajustarse a las necesidades de distintos proyectos. Los tamaños propuestos se detallan en la **Tabla 26**, donde se puede observar que las medidas están diseñadas para adaptarse a la mayoría de las variantes que pueden existir en un proyecto. Esta flexibilidad en las dimensiones permite que los paneles se integren eficientemente en diversos contextos arquitectónicos.

**Tabla 26:** Tipos de paneles según el tamaño.

Tipo	Largo (cm)	Ancho (cm)
P1	200	100
P2	100	100
P3	200	50
P4	100	50
P5	200	30
P6	100	30
P7	100	10

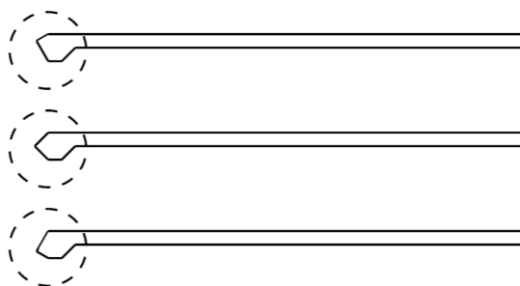
**Fuente:** (Autor).

Para su implementación, se dispone de la cantidad de opciones descritas en la **Tabla 26**. En caso de que las dimensiones propuestas no se adapten perfectamente a las necesidades específicas del proyecto, es posible recortar los paneles, siempre y cuando el ancho del prefabricado no sea menor a 10 cm. Esta flexibilidad permite ajustar los paneles a una variedad de configuraciones arquitectónicas, asegurando así su versatilidad y adaptabilidad en distintos contextos de diseño.

#### 4.4.1 Remates en esquinas.

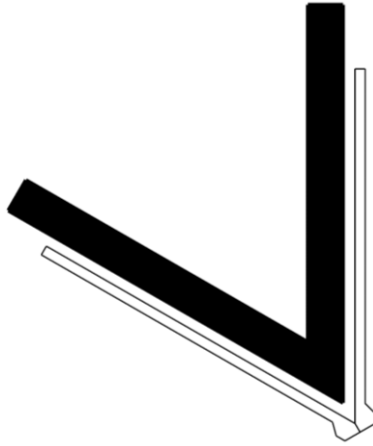
Los remates en esquinas están diseñados con un refuerzo adicional para asegurar su vida útil, ya que son áreas susceptibles a recibir golpes y daños. Este refuerzo no solo proporciona una mayor resistencia estructural, sino que también garantiza que las esquinas mantengan su integridad y apariencia a lo largo del tiempo. Al estar cuidadosamente reforzadas, estas esquinas contribuyen a la durabilidad general del sistema de paneles, ofreciendo una solución estilizada y continua para aplicaciones arquitectónicas exigentes.

Se plantea el uso de distintos paneles para esquina con las características mostradas en la **Figura 103**, **Figura 104** y **Figura 105**. Cada uno de estos paneles está diseñado con disposiciones variadas para adaptarse a esquinas que podrían variar en ángulos de 60°, 90° y 135°, respectivamente. De igual forma, se pueden emplear según las necesidades específicas del proyecto, asegurando una integración armoniosa y funcional en diferentes configuraciones arquitectónicas. Esta variedad en el diseño de los paneles de esquina permite una mayor flexibilidad y personalización, garantizando que cada proyecto pueda beneficiarse de una solución adaptada a sus requisitos únicos.



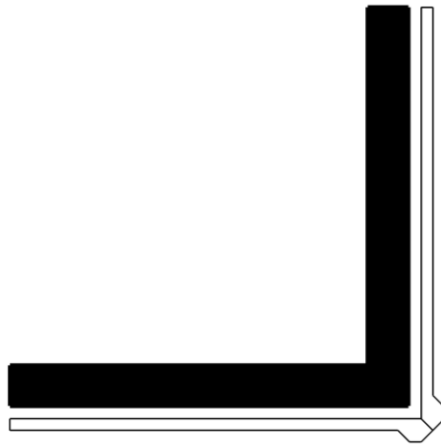
**Figura 102:** Sección de paneles para esquinas de 60°, 90° y 135°

**Fuente:** Autor



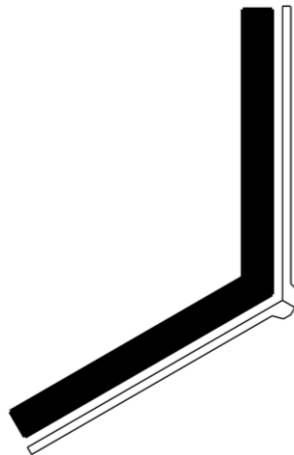
**Figura 103:** Esquema en esquina de 60°

**Fuente:** Autor



**Figura 104:** Esquema en esquina de 90°

**Fuente:** Autor

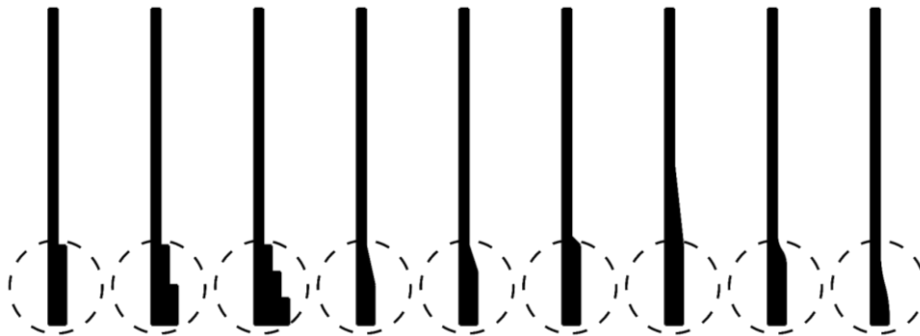


**Figura 105:** Esquema en esquina de 135°

**Fuente:** Autor

#### 4.4.2 Remates inferiores.

El remate inferior está especialmente diseñado para ofrecer una protección robusta contra golpes y daños mecánicos, que son comunes en las áreas más bajas de una estructura (ver **Figura 106**). Este remate actúa como una barrera protectora que absorbe impactos, protegiendo así la integridad del panel principal. La incorporación de materiales resistentes en el remate inferior asegura que pueda soportar el desgaste diario y los posibles golpes causados por el tráfico peatonal o el contacto con equipos de mantenimiento. Esta característica no solo prolonga la vida útil del sistema de paneles, sino que también mantiene su apariencia estética a lo largo del tiempo, asegurando que la fachada permanezca en óptimas condiciones.

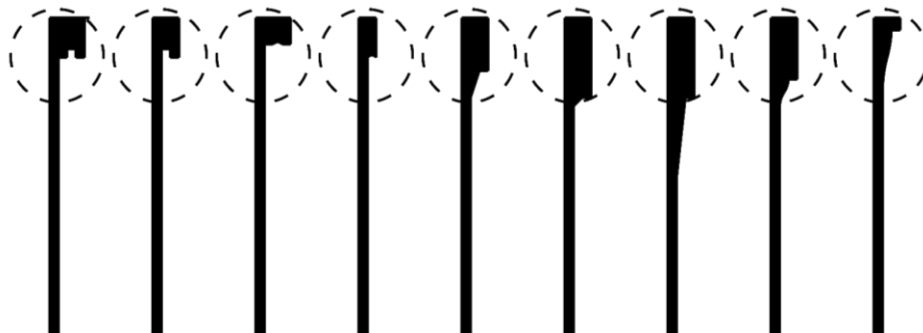


**Figura 106:** Sección de paneles para remates inferiores

*Fuente: Autor*

#### 4.4.1 Remates superiores.

El remate superior está diseñado para ofrecer una protección eficaz contra la lluvia al funcionar como un gotero (ver **Figura 107**). Este diseño permite que el agua se desvíe adecuadamente, evitando que se acumule en la superficie del panel y minimizando el riesgo de infiltraciones o manchas causadas por la combinación de agua y polvo. Al canalizar el agua lejos de la estructura, el remate superior protege la integridad del panel y contribuye a mantener su apariencia estética a lo largo del tiempo. Esta función no solo asegura la durabilidad del sistema de paneles, sino que también mejora la eficiencia de mantenimiento de la fachada, garantizando que se mantenga en condiciones óptimas frente a las inclemencias del clima.



**Figura 107:** Sección de paneles para remates superiores

*Fuente: Autor*

## 4.5 Costo de aplicación del panel.

Para implementar los paneles prefabricados de mortero en fachadas se debe considerar el costo inicial ya que puede parecer más costoso en comparación con los recubrimientos tradicionales, pero los factores que pueden hacer que valga la pena la inversión a largo plazo son varios y se explican a continuación.

### **a. Costos Iniciales.**

En el caso de los paneles prefabricados son más costosos en cuanto a los materiales debido a la calidad del mortero y los procesos de fabricación involucrados. En cuanto al transporte puede incrementar a comparación de otros acabados ya que son de dimensiones grandes y por tanto es necesario vehículos grandes y espaciosos para su transporte. En cuanto a la instalación requiere una estructura que puede elevar el costo, así mismo se necesita mano de obra con experiencia para cumplir con las especificaciones necesarias.

En comparación los recubrimientos Tradicionales como el empaste o la pintura suelen ser más económicos. Ya que para el transporte no es necesario vehículos grandes. Así mismo la instalación es menos especializada y puede ser realizada por trabajadores sin mucha experiencia reduciendo con esto los costos de mano de obra.

### **b. Costos a largo plazo.**

Los paneles prefabricados de mortero son más durables y resistentes a las inclemencias del tiempo, lo que reduce la minimiza la necesidad de mantenimientos frecuentes y reparaciones. La eficiencia energética con relación a el aislamiento térmico y acústico, minimizando los costos de energía. Como se mencione se requiere menos mantenimiento a lo largo del tiempo, lo que reduce los costos operativos.

Los recubrimientos tradicionales se deterioran más rápido, especialmente en condiciones climáticas adversas, lo que conlleva reparaciones y reemplazos más frecuentes. Además, ofrece menor aislamiento térmico y acústico, lo que resulta en mayores costos de energía. El mantenimiento y retoques periódicos, incrementando los costos a largo plazo.

### **c. Consideraciones Adicionales.**

El tiempo de instalación de los paneles prefabricados pueden reducir significativamente el tiempo de instalación en comparación con los métodos tradicionales, lo que resulta crucial en proyectos con plazos ajustados.

La estética y valor añadido que ofrecen los paneles se ve traducida en una estética más moderna y personalizada, lo que puede incrementar el valor de la propiedad.

#### d. APUS.

Si consideramos como un análisis de precios unitarios es necesario analizar el costo de diferentes acabados en fachadas. En este caso se consideran los costos de revestimientos más utilizados en Cuenca-Ecuador. En la tabla 27 se muestra el costo referencial de los acabados. Los costos están basados en los

**Anexo 7, Tabla 8, Tabla 9, Tabla 10, Tabla 11**, consideran solo gasto de material, mano de obra y herramientas.

**Tabla 27:** Costos de acabados para fachadas en Cuenca- Ecuador.

Acabado	Unidades	Costo por unidad
Enlucido y pintado	m <sup>2</sup>	9,88
Enlucido, empastado y pintado	m <sup>2</sup>	12,29
Revestimiento de piedra busardeada (mortero 1:3).	m <sup>2</sup>	36,61
Cerámica para pared	m <sup>2</sup>	12,50

**Fuente:** Autor.

En la **Tabla 29** se detallan los costos de los materiales y mano de obra con precios actualizados al año 2024. El costo referencial del mortero que se encuentra en el **Anexo 14**. Para el costo aproximado del encofrado se considera el costo de encofrado que se encuentra en el anexo 15, en este APU se reduce el costo de materiales innecesarios, además se considera el encofrado para usarse al menos 6 veces, por ello la cantidad en la fabricación del panel se establece en 1/6. Para el respectivo cálculo de los costos de mano de obra, se toma en cuenta el tiempo que tomo fabricar el prototipo que fue de 1 hora con 30 minutos desde el ensamble del encofrado hasta el alisado final más el tiempo de desmolde que fue de aproximadamente 30 minutos dándonos como resultado el tiempo de fabricación aproximado de 2 horas de albañil.

**Tabla 28:** Costos de materiales y mano de obra.

Materiales	Unidades	Costo por unidad
Mortero	m <sup>3</sup>	118,93
Fibra	Kg	23,33
Encofrado	m <sup>2</sup>	11,45
M.O. Albañil	Hora	4,10

**Fuente:** Autor.

**Tabla 29:** Costos de fabricación de un panel de 1m x 1m x 1,5cm.

Materiales	Cantidad	Unidades	Costo por unidad
------------	----------	----------	------------------

Mortero	0,0173	m <sup>3</sup>	2,06
Fibra	0,009	Kg	0,21
Encofrado	1/6	m <sup>2</sup>	1,91
M.O. Albañil	2	hora	8,20
Total			12,38

**Fuente:** Autor.

Para calcular el costo de implementación del panel prefabricado de mortero tomando como información base los anexos 12 que posee materiales y mano de obra similar, el único valor que se modifica es el costo del panel. Para ello reemplazamos los valores de la plancha clementica fibrocemento 11mm panel con el costo del panel prototipo. Considerando solamente la estructura de soporte del panel es de 8,23 dólares, si la sumamos con el costo de 1m<sup>2</sup> del panel obtenemos como resultado 20,61 dólares.

El costo aproximado de instalación del panel inicialmente es más elevado, pero a comparación de otros recubrimientos no requiere mantenimiento periódico como es el caso de los acabados de pintura y empaste. Esto a largo plazo sería un ahorro significativo.

#### 4.6 Valor agregado de la propuesta.

La empresa CASTAA ofrece un producto similar a la propuesta presentada en esta investigación, pero sus paneles son de menor dimensión (ver **Figura 108** y **Figura 109**) y utilizan un sistema de fijación con mortero de pega. Esto puede limitar ciertas aplicaciones y la facilidad de instalación en comparación con los sistemas de fijación propuestos en esta investigación.



**Figura 108:** Casa UK

**Fuente:** JAC Studio (2016)



**Figura 109:** Banco de Guayaquil

**Fuente:** Guerreo Construcciones (2016)

La propuesta de paneles prefabricados presentada se distingue notablemente de las opciones actualmente disponibles en el mercado. Aunque existen paneles prefabricados, estos suelen tener un costo elevado, lo que limita su accesibilidad para muchos proyectos. Además, los paneles convencionales a menudo carecen de remates de terminación detallados, lo que puede afectar tanto la estética como la funcionalidad del acabado final. Estos detalles no solo aportan un valor estético, sino que también contribuyen a la durabilidad y la resistencia del panel.

Una característica destacada de la propuesta es su capacidad para ser empleada como una fachada ventilada. Esto ofrece beneficios adicionales en términos de eficiencia energética y confort térmico, al permitir una mejor circulación del aire entre el panel y la estructura del edificio.

## **CAPÍTULO V**

### **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 5.1 Conclusiones

La investigación realizada ofrece resultados prometedores en el ámbito de la mejora de las propiedades mecánicas del mortero mediante la inclusión de fibras. Se ha identificado que la mezcla con un 5% de fibra de polietileno proporciona una resistencia superior a la compresión y flexión, superando tanto a las mezclas con un 2% de fibra como a las dosificaciones estándar recomendadas por los fabricantes. Este hallazgo es de gran relevancia, ya que indica que la adición de fibra de polietileno puede mejorar significativamente las características estructurales del panel.

Además, se ha determinado que la prefabricación de elementos es una estrategia eficaz para mejorar la eficiencia en la construcción. Este enfoque no solo minimiza el desperdicio de materiales y mejora la calidad de los acabados, sino que también acelera los procesos de fabricación, lo que se traduce en un ahorro considerable de tiempo y recursos. Los elementos prefabricados optimizan los procesos constructivos en términos de rapidez, eficiencia de recursos y costos.

En la fabricación del prototipo, se empleó la dosificación de mortero con fibras de polipropileno, obteniendo los mejores resultados con un 0,5% del peso del cemento. Este porcentaje se considera óptimo para mejorar la resistencia del material. No obstante, sería valioso investigar si la sustitución parcial de la fibra por cemento podría modificar las propiedades del mortero, lo que permitiría evaluar la posibilidad de reducir el uso de cemento, logrando así un ahorro significativo de recursos en aplicaciones industriales.

Las aplicaciones de esta investigación son amplias y pueden implementarse tanto en edificaciones nuevas como en renovaciones, promoviendo el ahorro de recursos y la reutilización de materiales. La facilidad de montaje y desmontaje de los paneles prefabricados permite una implementación flexible y eficiente, adaptándose a diversas necesidades constructivas.

A pesar de los resultados positivos, uno de los principales desafíos encontrados fue el proceso artesanal de fabricación del prototipo, que incrementó el tiempo de producción y pudo haber afectado la consistencia y calidad del producto final. Sin embargo, los resultados obtenidos indican que los paneles prefabricados con fibra de polietileno poseen un gran potencial como alternativa viable para el recubrimiento de fachadas. Con una producción optimizada y un análisis económico detallado, estos paneles podrían revolucionar el recubrimiento de fachadas en la industria de la construcción, ofreciendo una solución sostenible y eficiente.

## 5.2 Recomendaciones

Concluida esta investigación, se han obtenido resultados prometedores que abren nuevas oportunidades en el campo de la construcción sostenible. No obstante, como en cualquier proyecto, existe margen para mejorar y explorar nuevas posibilidades. A continuación, se presentan recomendaciones basadas en las dificultades y hallazgos observados durante el estudio. Estas sugerencias están orientadas a optimizar el proceso de fabricación, ampliar el conocimiento sobre las aplicaciones del producto y evaluar su viabilidad económica.

**Automatización del Proceso de Fabricación:** es crucial explorar métodos industriales y automatizados para la fabricación de paneles prefabricados de hormigón. La automatización no solo mejorará la eficiencia y la consistencia del producto, sino que también podría reducir significativamente los costos y tiempos de producción. Se recomienda establecer alianzas con fabricantes de materiales de construcción para desarrollar tecnologías de producción avanzadas que incorporen automatización robótica y sistemas de control de calidad en tiempo real.

**Investigación en Sistemas de Fachadas Ventiladas:** llevar a cabo investigaciones adicionales sobre el uso de estos paneles en sistemas de fachadas ventiladas. Este enfoque podría ofrecer beneficios adicionales en términos de aislamiento térmico y acústico, además de mejorar la durabilidad y eficiencia energética del edificio. La integración de sistemas de ventilación pasiva y materiales aislantes avanzados podría potenciar aún más estas ventajas.

**Optimización de la Mezcla:** realizar pruebas adicionales con fibra de polipropileno y otros aditivos para optimizar aún más la mezcla. También sería útil evaluar el comportamiento de los paneles bajo diversas condiciones climáticas y de carga para asegurar su adecuación en una variedad de entornos. La inclusión de aditivos que mejoren la resistencia al fuego y a la humedad podría ser objeto de futuras investigaciones.

**Análisis Económico:** un análisis económico exhaustivo que compare los costos a largo plazo de los paneles prefabricados con fibra de polipropileno frente a otros materiales de recubrimiento de fachadas. Este análisis debe considerar factores como el costo inicial, el mantenimiento, la durabilidad y el ahorro energético. Una evaluación detallada del retorno de inversión proporcionará una base sólida para la adopción de esta tecnología en el mercado.

**Colaboraciones Estratégicas:** establecer colaboraciones con fabricantes y expertos en materiales de construcción para desarrollar y perfeccionar el proceso de producción a escala industrial. Estas colaboraciones pueden facilitar la adopción de esta tecnología en el mercado, asegurando que los paneles cumplan con los estándares de calidad y rendimiento necesarios. Además, la participación en proyectos piloto podría mejorar la aceptación y confianza en el producto.

Implementar estas recomendaciones fortalecerá el desarrollo y la comercialización de los paneles prefabricados de hormigón, promoviendo una construcción más sostenible y eficiente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acero, W., & Preciado, J. (2022). *Manual para la elaboración de un plan de mantenimiento en fachadas de ladrillo y pañete de una edificación*.  
<https://repository.ugc.edu.co/handle/11396/7213>
- Alor, J. S., & Alfaro, J. C. (2020, octubre 16). *Mejoramiento a la compresión, flexión y tracción del concreto con agregado grueso reciclado, fino natural y virutas de acero para el uso de viviendas en Lima Metropolitana*. <https://doi.org/10.19083/tesis/653421>
- Andrade, D. C., & Rodríguez, L. Ji. (2020). *Estudio de las propiedades mecánicas de un material compuesto de fibra de vidrio y resina polimérica modificada con poliestireno expandido*.  
<http://repository.unicatolica.edu.co/handle/20.500.12237/1810>
- Arauz, D. S., & Aguilar, A. S. (2022). *El yeso en la arquitectura histórica*. Universidad Politécnica de Madrid. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=869550>
- Arcila, J. D. A. (2022). *Materiales de construcción con materiales reciclados. Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería*. <https://doi.org/10.26507/paper.2299>
- Azman Mohammad Taib, M. N., & Julkapli, N. M. (2019). Dimensional stability of natural fiber-based and hybrid composites. En M. Jawaid, M. Thariq, & N. Saba (Eds.), *Mechanical and physical testing of biocomposites, fibre-reinforced composites and hybrid composites* (pp. 61-79). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102292-4.00004-7>
- Babaeyan, H., & Gallego Sánchez-Torija, J. (2021). Aplicaciones de la nanotecnología en arquitectura e inspirándose en ella en diseños innovadores. *Anales de Edificación*, 7, 53-61. <https://doi.org/10.20868/ade.2021.4903>
- Baquerizo, C. A., & Espinoza, D. E. M. (2016). *Paneles prefabricados de hormigón armado como alternativa de recubrimiento para fachadas en la región costa* [bachelorThesis].  
<http://repositorio.uees.edu.ec/handle/123456789/490>
- Benítez Soxo, W. I. (2022). *Materiales compuestos cementicios reforzados con tejidos de fibra natural aplicados en estructuras de hormigón armado, estudio de revisión* [bachelorThesis, Riobamba, Universidad Nacional de Chimborazo].  
<http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/9055>
- Bermejo Soler, J. (2021). *Primeros prefabricados de mortero y hormigón: Ejemplos de su degradación y su conservación*. <https://doi.org/10/52809>

- Blas Cano, J. W., Milla Vergara, E. A., & Cantu Prado, V. H. (2023). Propuesta de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición Procedentes de la Ejecución de Obras Públicas y Privadas. *Aporte Santiaguino*. <https://doi.org/10.32911/as.2023.v16.n1.1022>
- Bolaños Rivera, J. O. (2022). *Procesamiento y evaluación de materiales cerámicos porosos derivados de un polímero precerámico basado en silicio* [Thesis, Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ingeniería. Argentina]. <http://rinfi.fi.mdp.edu.ar/xmlui/handle/123456789/707>
- Caldera Paniagua, C. (2021). *El dibujo arquitectónico en el hormigón prefabricado. El museo internacional del Barroco, Toyo Ito*.
- Carballo, J. A., Cerda, L. H., & Zepeda, L. J. (2020). *Crear un panel prefabricado de mortero con agregados plástico implementándolo en viviendas de interés social* [Tesis de grado, UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA]. <http://ribuni.uni.edu.ni/3765/1/95231.pdf>
- Carvajal, E. A., Arias, I. M., & Parras, A. P. de las. (2021). *Las Artes en la edad del Gótico*. Editorial Centro de Estudios Ramon Areces SA.
- Castaño, J. O., Misle Rodríguez, R., Lasso, L. A., Gómez Cabrera, A., & Ocampo, M. S. (2013). Gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en Bogotá: Perspectivas y limitantes. *Tecnura*, 17(38), 121-129. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0123-921X2013000400010&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0123-921X2013000400010&lng=en&nrm=iso&tlng=es)
- Castro, M. (2011, octubre 15). *Estudio de morteros con árido reciclado de hormigón*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Estudio-de-morteros-con-%C3%A1rido-reciclado-de-hormig%C3%B3n-Castro/167f2e4f309648d972a3c04266749d3df7c1eb1e>
- Cid, M. F. (2024). El olvido de la metalurgia mesoamericana: Una historia de la arqueología. *Graphen. Revista de historiografía*, 1(9), Article 9. <https://revistagraphen.com/index.php/ojs/article/view/46>
- Cordova, I. A. (2022). Análisis comparativo de habitabilidad entre una vivienda diseñada tradicionalmente y una vivienda con base en criterios sostenibles y resilientes enfocados en la optimización de recursos y uso de energías renovables. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(4), 5774-5792. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v6i4.3048](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i4.3048)

- Correa, P. (2010, julio 2). *Estudio Mediante Trazadores de la Disolución de Hidratos de Cemento Portland y sus Implicaciones en la Durabilidad e Impacto Ambiental de los Materiales de Construcción*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Estudio-Mediante-Trazadores-de-la-Disoluci%C3%B3n-de-de-Correa/c754850e899b0bf8a88fc56050670ba2fb971eb0>
- Cotallo Blanco, F. (2023). *Nuevos modos de habitar / nuevos modelos de convivencia*. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/59659>
- Cuchí, A., & Sagrera, A. (2007). Reutilización y reciclaje de los residuos del sector de la construcción. *Ambienta: revista del Ministerio de Medio Ambiente*, 66, 59-68. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/388627>
- De la Piedra, J. M. (2020). Fachada ventilada como alternativa sostenible en la arquitectura contemporánea en la ciudad de Piura. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/48101>
- Delgado Marcet, M. (2021). *Modulación y prefabricación: La modulación de la edificación como alternativa en la construcción y desarrollo urbano sostenible* [Bachelor thesis, Universitat Politècnica de Catalunya]. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/343556>
- Delgado-Méndez, L., Moral-Ávila, C. del, Valverde-Palacios, I., & Valverde-Espinosa, I. (2015). Diagnóstico de una patología en gres porcelánico pegado en fachada. *Informes de la Construcción*, 67(539), Article 539. <https://doi.org/10.3989/ic.14.085>
- Díaz Kovalenko, I. E., Larrea Rosas, K. P., & Barros Naranjo, J. (2022). El sector de la construcción en la economía ecuatoriana, importancia y perspectivas. *Ciencias Sociales y Económica*, 6(2), 58-69. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8804869>
- Diego Andres Buitrago Torres. (2014). *Evaluación técnica y análisis costo/beneficio para la implementación del sistema constructivo durapanel para proyectos de vivienda, comerciales, institucionales e industriales*. <http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/13287>
- Diez Barcenilla, G. (2023). *Diseño, desarrollo e implementación de la sostenibilidad para el moldeo de materiales compuestos* (p. 1) [Http://purl.org/dc/dcmitype/Text, Universidad del País Vasco - Euskal Herriko Unibertsitatea]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=323054>

- Escario Elosúa, M. (2020, junio). *Arquitectura y naturaleza: Patrones de crecimiento* [Info:eu-repo/semantics/bachelorThesis]. E.T.S. Arquitectura (UPM). <https://oa.upm.es/63024/>
- Espí, M. V. (2001). Construcción e impacto sobre el ambiente: El caso de la tierra y otros materiales. *Informes de la Construcción*, 52(471), Article 471. <https://doi.org/10.3989/ic.2001.v52.i471.681>
- Fernández Fernández, L. (2023, enero). *Prefabricación de viviendas tras la Segunda Guerra Mundial. Koolhaas. Kume. Neff. Yoshikawa* [Info:eu-repo/semantics/bachelorThesis]. E.T.S. Arquitectura (UPM). <https://oa.upm.es/72542/>
- Fernández, M. B. (2019). *Los sistemas de cerramiento de fachada ventilada y el CTE*.
- Ferrer, A. (2022). *Historia de la globalización II: La Revolución Industrial y el Segundo Orden Mundial*. Fondo de Cultura Económica Argentina.
- Ferrés Padró, X., & Martín Goñi, P. (2023). *Fachadas ligeras par una arquitectura extrema*. 185-204. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/408054>
- Gálvez, O. (2023). Historia institucional y económica de la primera planta de prefabricación de paneles de hormigón armado (K.P.D.), 1971-1973. *Izquierdas*, 52, 26.
- García, N. A. (2020). *Primordiales problemas de la durabilidad del concreto: Una revisión general*. <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3658605>
- Gomez, S. A., Córdoba, E. J., Santos, A., Gomez, S. A., Córdoba, E. J., & Santos, A. (2022). Fabricación y caracterización morfológica, mecánica y dinámica de un cuadricóptero elaborado con material compuesto de fibra de fique. *Información tecnológica*, 33(6), 55-70. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642022000600055>
- Gonzalez, L., & Ledesma, J. (2022). Patologías del concreto armado y estrategias de prevención para reducir su deterioro en las viviendas del malecón Colón Centro, balneario de Buenos Aires, distrito de Víctor Larco-2022. *Universidad Privada del Norte*. <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/4719525>
- Gracia Lanzarote, C. (2021). *De la prefabricación a la industrialización*. <https://riunet.upv.es/handle/10251/171547>
- Guadamud, B. A. C., & Mieles, P. A. G. (2023). Arquitectura habitacional: Estímulos que motivan tendencias estéticas de diseño arquitectónico en Manta post año 2000. *Dominio de las Ciencias*, 9(3), Article 3. <https://doi.org/10.23857/dc.v9i3.3468>

- Guerrero, B. (2022, febrero 9). Henry Yandún - Sector Construcción: Perspectivas 2022 - Revista CLAVE! *Clave!* <https://www.clave.com.ec/henry-yandun-sector-construccion-perspectivas-2022/>
- Guerrero, M., & Isabel, M. (2018, septiembre 17). *Caracterización de hormigones especiales con mejora de sus propiedades térmicas para el desarrollo de sistemas prefabricados de cerramientos de bloque*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Caracterizaci%C3%B3n-de-hormigones-especiales-con-mejora-Guerrero-Isabel/058a276d1cfd0d468b593b7e4f871de0a371eb0b>
- Herrera, A. M. C. (2022). Diseño e implementación de un proceso automatizado para curado de materiales compuestos. *Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa*, 6(4), Article 4. <https://doi.org/10.24133/RCSD.VOL06.N04.2021.04>
- Hierro, S. D., & Santiago, P. (2012). *Estado del arte de los paneles prefabricados de hormigón para fachadas*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Estado-del-arte-de-los-paneles-prefabricados-de-Hierro-Santiago/addb135beee2a67242b8608abff7dc7f46d70889>
- Hurtado, J. F. S. (2016). *Paneles prefabricados de hormigón en fachada* [Universidad Politécnica Madrid]. [https://oa.upm.es/4518/1/TESIS\\_MASTER\\_JUAN\\_FRANCISCO\\_SANCHEZ\\_HURTADO.pdf](https://oa.upm.es/4518/1/TESIS_MASTER_JUAN_FRANCISCO_SANCHEZ_HURTADO.pdf)
- Jiménez-Pulido, C., Jiménez-Rivero, A., & García-Navarro, J. (2022). Caracterización de fachadas: Clasificación de las tipologías constructivas más habituales en España. *Informes de la Construcción*, 74(568), Article 568. <https://doi.org/10.3989/ic.88694>
- Lascano, D., Valcárcel, J., Balart, R., Quiles-Carrillo, L., & Boronat, T. (2020). *Fabricación de materiales compuestos de alto rendimiento medioambiental con resina epoxi de origen renovable y núcleos ligeros permeables para infusión asistida por vacío*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18270>
- López, A. (2022). Proyectos y obras con elementos prefabricados de hormigón (III). *Cemento Hormigón*, 1011, 20. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8531916>
- López, A., & Bartolomé, C. (2019). Fachadas de hormigón arquitectónico. Industrialización, eficiencia y estética. *Alzada*, 119, 52-57. <http://www.riarte.es/handle/20.500.12251/1678>

- Lozano, Sara., Patiño, Ivonne, Gómez, Adriana, & Torres, Andrés. (2018, junio). *Identificación de factores que generan diferencias de tiempo y costos en proyectos de construcción en Colombia*. Scielo. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-91652018000100117&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-91652018000100117&script=sci_arttext)
- Luna, P., & Lizarazo-Marriaga, J. M. (2022). Fibras naturales como refuerzo en materiales compuestos de matriz polimérica. *MOMENTO*, 65, Article 65. <https://doi.org/10.15446/mo.n65.103151>
- Mariezkurrena, K. (1990). *Hunting and domestication during the neolithic and metal age in the Basque country*.
- Martiradonna, S. (2021). *Sistemas de construcción prefabricados inteligentes: Proyecto, materialización y tecnología de mantenimiento para la optimización de la sostenibilidad ambiental y económica* (p. 1) [Http://purl.org/dc/dcmitype/Text, Universidad de Cantabria]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=307858>
- Matute, A. C. A., & Ordóñez, M. M. V. (2022). *Propuesta de revestimiento exterior de bajo impacto ambiental en base a RCD como estrategia pasiva para mejorar el comportamiento térmico de la vivienda en la ciudad de Cuenca*. <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/11484>
- Mendoza Cantos, J. G., Vanga Arvelo, M. G., Mendoza Cantos, J. G., & Vanga Arvelo, M. G. (2020). Realidad y expectativa sobre la construcción sostenible en Ecuador. *Revista San Gregorio*, 43, 197-209. <https://doi.org/10.36097/rsan.v1i43.1116>
- Montes-Ponce, W. M., López-Altamirano, O. J., & Ortega-del-Valle, C. A. (2021). Técnicas Constructivas de la Arquitectura Moderna en México (1920—1950). *Procesos Urbanos*, 8(2), Article 2. <https://doi.org/10.21892/2422085X.544>
- Nogal, U., Sánchez-Nájera, J. C., Hernández-Oliva, N., Luviano, L., Rojas, A., Hernández-Wong, J., Rojas-Trigos, J. B., Marín, E., & Calderón, A. (2023). *Silicio poroso, elaboración, formación y aplicaciones*. 17(2).
- Núñez García, A., & Lechuga Cardozo, J. I. (2021). Safeguarding: The case of the steel industry in Mexico. *Revista Política, Globalidad y Ciudadanía*, 7(13), 93. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9083966>
- Oliveira, M. (2020). *Casas préfabricadas modulares* (1.<sup>a</sup> ed., Vol. 1). Independently published.

- Ortega Díaz, M., Ríos Rojas, D. S., Gómez Rosales, E., Solano Meza, J. K., & Orjuela Yepes, D. (2022). Materiales compuestos de fibras naturales y polímero reciclados: Mezclas, pretratamientos, agentes de acople y propiedades mecánicas. - Una revisión. *Avances Investigación en Ingeniería*, 19(1). <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.7579>
- Porras, Á. C., & Cortés, N. L. G. (2014, julio 31). *Gestión logística y operacional de la unidad de reciclaje de residuos de construcción y demolición*.  
<https://www.semanticscholar.org/paper/Gesti%C3%B3n-log%C3%ADstica-y-operacional-de-la-unidad-de-de-Porras-Cort%C3%A9s/d276937f8ae0e023cfd57d9df15d8ee8cfc33>
- Pozo, A. R. V., & Huanca, F. C. (2023). Innovación en los morteros de cal/puzolana para una construcción sostenible de viviendas sociales. *Orbis Tertius - UPAL*, 7(13), Article 13. <https://doi.org/10.59748/ot.v7i13.127>
- Prieto Jiménez, S. (2014). *Panel prefabricado de hormigón aliviano a base de papel periódico y cartón reciclado, destinado a vivienda de interés social*.  
<https://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/27646>
- Quishpe, J. I. I. (2011). *Análisis de impacto en la inversión extranjera directa con la implementación del 1% de impuesto a la salida de divisas (ISD)*. [masterThesis, Quito : EPN, 2011.]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/7734>
- Raveda, V. (2006). Materiales compuestos reforzados con fibra. *Ciencia y Sociedad*, 31(4), Article 4. <https://doi.org/10.22206/cys.2006.v31i4.pp544-564>
- Reina, J. O. F., Vera, C. E. C., & Coello, D. O. S. (2023). La gestión integral de residuos de construcción y demolición, un enfoque hacia la sostenibilidad de las ciudades. *South Florida Journal of Development*, 4(6), 2254-2277. <https://doi.org/10.46932/sfjdv4n6-004>
- Rodriguez, J. A. S., Zamora, J. J. A., & Pérez, S. P. M. (2021). Uso de los agregados PET en la elaboración del concreto: Revisión de la literatura. *Avances Investigación en Ingeniería*, 18(2 (Julio-Diciembre)), Article 2 (Julio-Diciembre). <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.2.6942>
- Romero, A. X. E. (2022). *Diseño experimental de un mortero de cemento reforzado con fibras naturales de origen animal "Plumas de Aves"* [Thesis, LOJA/UIDE/2022].  
<https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/4984>

- Rosales-Calvo, S. M., Abarca-Guerrero, L., & Leandro-Hernandez, A. G. (2022). Residuos peligrosos de la construcción en Costa Rica y sus impactos al ambiente. *Revista Tecnología en Marcha*. <https://doi.org/10.18845/tm.v35i4.6400>
- Salamanca Correa, R. (2001). La tecnología de los morteros. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*; Vol. 11 (2001); 41-48. <https://doi.org/10.18359/rcin.1353>
- Salazar, M. A. F. (2023). *Metodologías para la investigación de fallas en estructuras de concreto* [Trabajo de grado - Maestría, Escuela Colombiana de Ingeniería]. <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/2625>
- Sánchez-García, D., Rubio Bellido, C., Marrero Meléndez, M., Guevara García, F. J., & Canivell, J. (2017). *El control adaptativo en instalaciones existentes y su potencial en el contexto del cambio climático*. <https://doi.org/10.22320/07190700.2017.07.02.01>
- Sánchez-Ostiz, A. (1995). Técnicas para la rehabilitación de fachadas. Actuaciones desde el exterior. *Re. Revista de Edificación*, 21, 57-65. <https://doi.org/10.15581/020.21.34928>
- Sandoval-Ruiz, C. E. (2021). *Laboratorio de Energías Renovables y Aplicaciones Ambientales*.
- Seymour, R., & Charraher, C. E. (2021). *Introducción a la química de los polímeros* (3.ª ed., Vol. 3). Reverté, S.A.
- Shen, L. Y., & Tam, V. W. Y. (2002). Implementation of environmental management in the Hong Kong construction industry. *International Journal of Project Management*, 20(7), 535-543. [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(01\)00054-0](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(01)00054-0)
- Suárez-Silgado, S. S., Betancourt-Quiroga, C., Molina-Benavides, J., & Mahecha-Vanegas, L. (2019). La gestión de los residuos de construcción y demolición en Villavicencio: Estado actual, barreras e instrumentos de gestión\*. *Entramado*, 15(1), 224-244. <https://www.redalyc.org/journal/2654/265460762014/html/>
- Tasende Augusto, A. (2024). *Análisis ambiental y sistema de monitoreo en las pirámides de Guiza* [Bachelor thesis, Universitat Politècnica de Catalunya]. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/404210>
- Tejada, R. O. (2023). *Optimización de las propiedades de tenacidad e impacto de formulaciones de ácido poliláctico (PLA), mediante mezclas con polímeros flexibles y optimización de los sistemas de compatibilización* (p. 1) [Http://purl.org/dc/dcmitype/Text, Universitat Politècnica de València]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=326072>

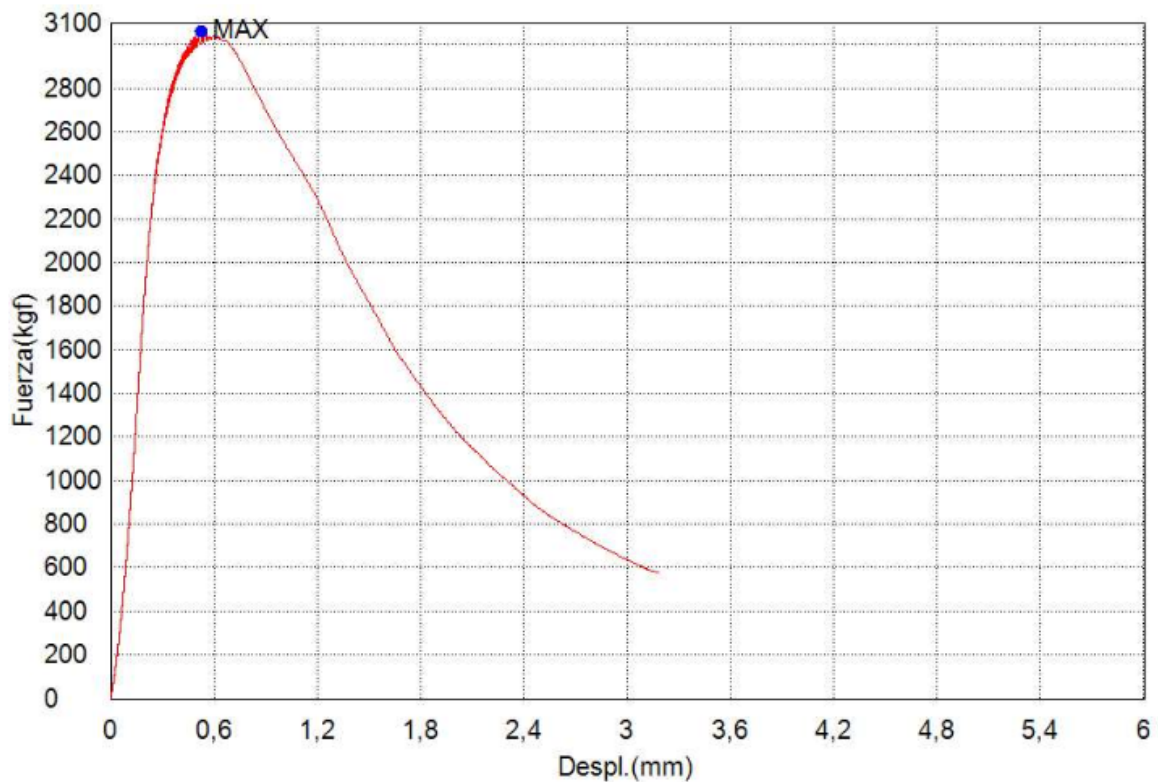
- Teter, A., & Gawryluk, J. (2016). Experimental modal analysis of a rotor with active composite blades. *Composite Structures*, 153, 451-467.  
<https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2016.06.013>
- UCEM. (2024). *Cemento Chimborazo—Cobertura Nacional*. UCEM.  
<https://www.ucem.com.ec/cemento-chimborazo-hormigon-prefabricados-cobertura-nacional/>
- Vanga, M. G. A., Ortega Bravo, B. H., Piñero Martín, M. L., Esteban Rivera, E. R., Rodríguez Gámez, M., & Mora Pisco, C. I. (2022, agosto). *La legislación ambiental en Ecuador: ¿nulidad o eficacia en sostenibilidad?* <https://doi.org/10.46498/upelipb.lib.0014>
- Vascones Portilla, A. M. (2018). Paneles de Hormigón Prefabricado como alternativa Arquitectónica y Económica para la construcción de viviendas sociales en Trujillo. *UCV-SCIENTIA*, 9(2). <https://doi.org/10.18050/RevUcv-Scientia.v9n2a1>
- Vásquez, C., & Prieto, A. (2013). La fachada ventilada. *ARQ (Santiago)*, 84, 102-105.  
<https://doi.org/10.4067/S0717-69962013000200016>
- Vidal, E. S., & Peraza, D. S. (2018). NanoZebra: De la edad de piedra a la edad nano y como un pez puede ayudarnos a navegar por ella. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, 11(21), Article 21.  
<https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2018.21.62753>
- Vigneshwaran, S., Sundarakannan, R., John, K. M., Joel Johnson, R. D., Prasath, K. A., Ajith, S., Arumugaprabu, V., & Uthayakumar, M. (2020). Recent advancement in the natural fiber polymer composites: A comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*, 277, 124109. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124109>
- Zurita Caisaguano, J. R., Coello Tapia, L. Á., & Jacome Guevara, F. A. (2022). Análisis sistemático de estructuras de materiales compuestos (carbono-epoxi) tipo sándwich, utilizadas en aplicaciones aeronáuticas. *Dominio de las Ciencias*, 8(2), 886-906.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8638039>

## ANEXOS

**Anexo 1:** Probeta con la mejor resistencia a compresión de la dosificación empleada en el panel a los 7 días de curado.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240704_1714.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	4/7/2024	Fecha de ensayo	4/7/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Plana
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

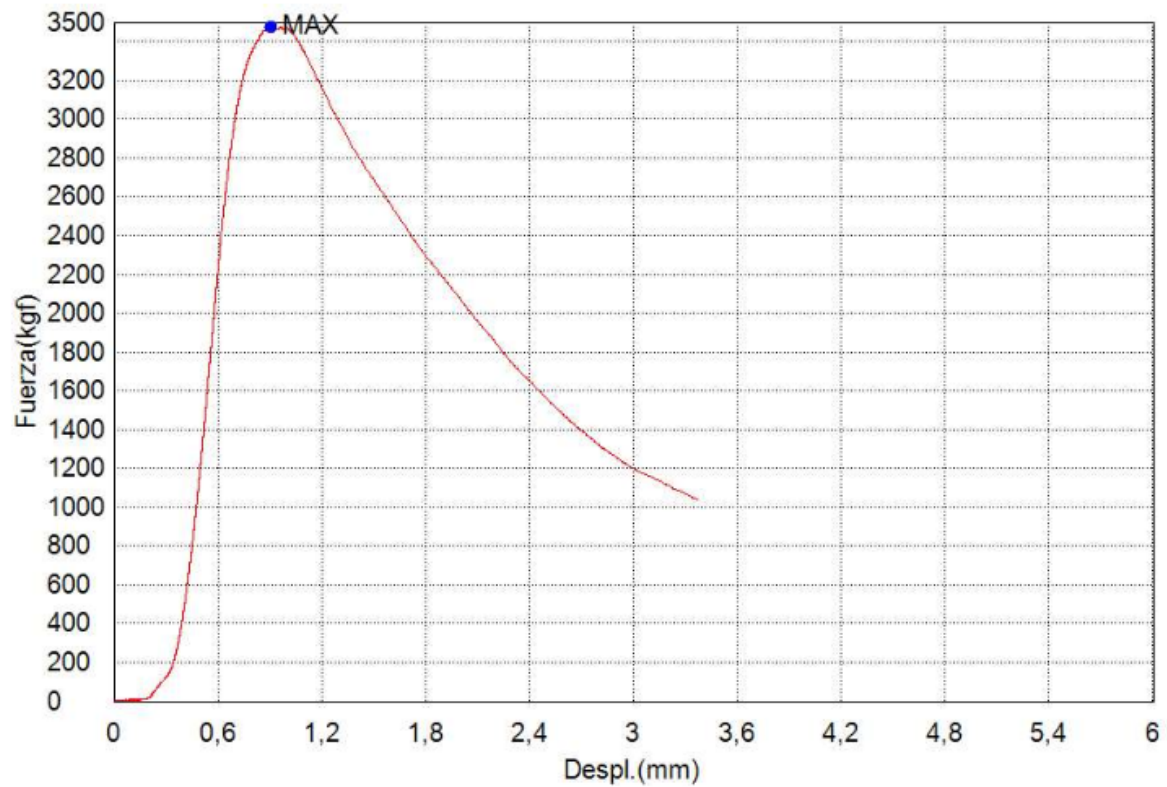
Nombre	Max_Fuerza	Max_ESFUERZO	Max._Desplazamiento	Max_Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2	mm	%
1_1	3060,84	122,434	0,53088	1,06175
Media	3060,84	122,434	0,53088	1,06175
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000



**Anexo 2:** Probeta con la mejor resistencia a compresión de la dosificación empleada en el panel a los 14 días de curado.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240711_1139.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	11/7/2024	Fecha de ensayo	11/7/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Plana
N°de partidas:	1	N°de muestras:	1

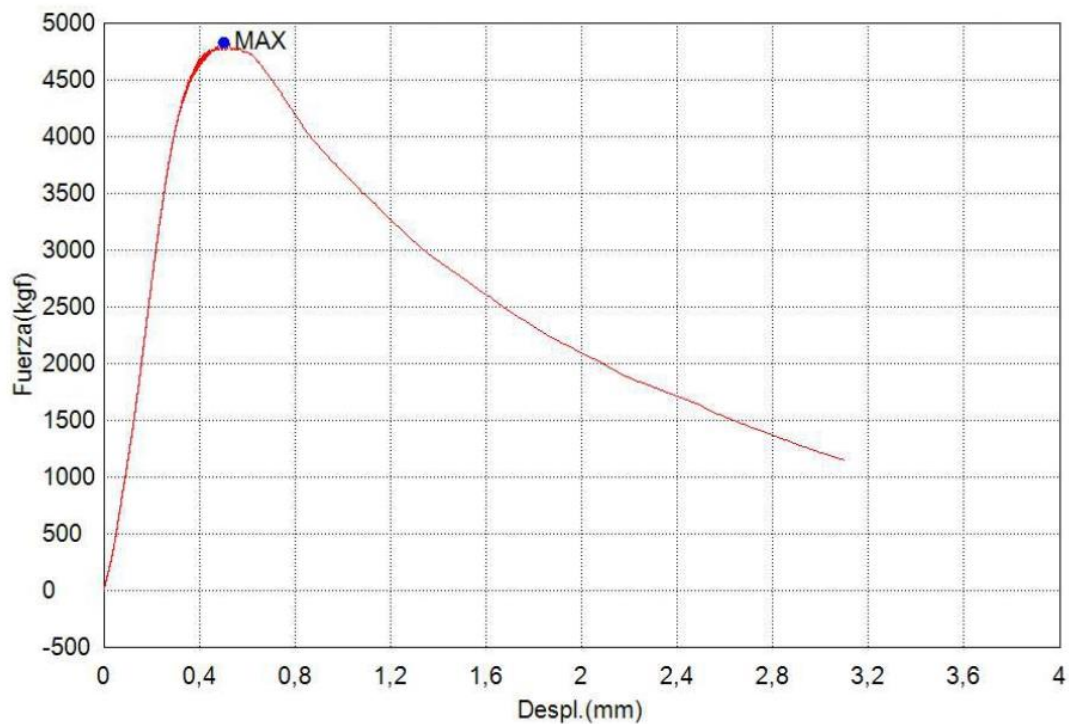
Nombre	Max_Fuerza	Max_ESFUERZO	Max._Desplazamiento	Max_Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2	mm	%
1_1	3479,07	139,163	0,90588	1,81175
Media	3479,07	139,163	0,90588	1,81175
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000



**Anexo 3:** Probeta con la mejor resistencia a compresión de la dosificación empleada en el panel a los 28 días de curado.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	20240730_1739.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	30/7/2024	Fecha de ensayo	30/7/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

Nombre	Max_Fuerza	Max_ESFUERZO	Max._Desplazamiento	Max_Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2	mm	%
1_1	4822,87	192,915	0,50488	1,00975
Media	4822,87	192,915	0,50488	1,00975
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

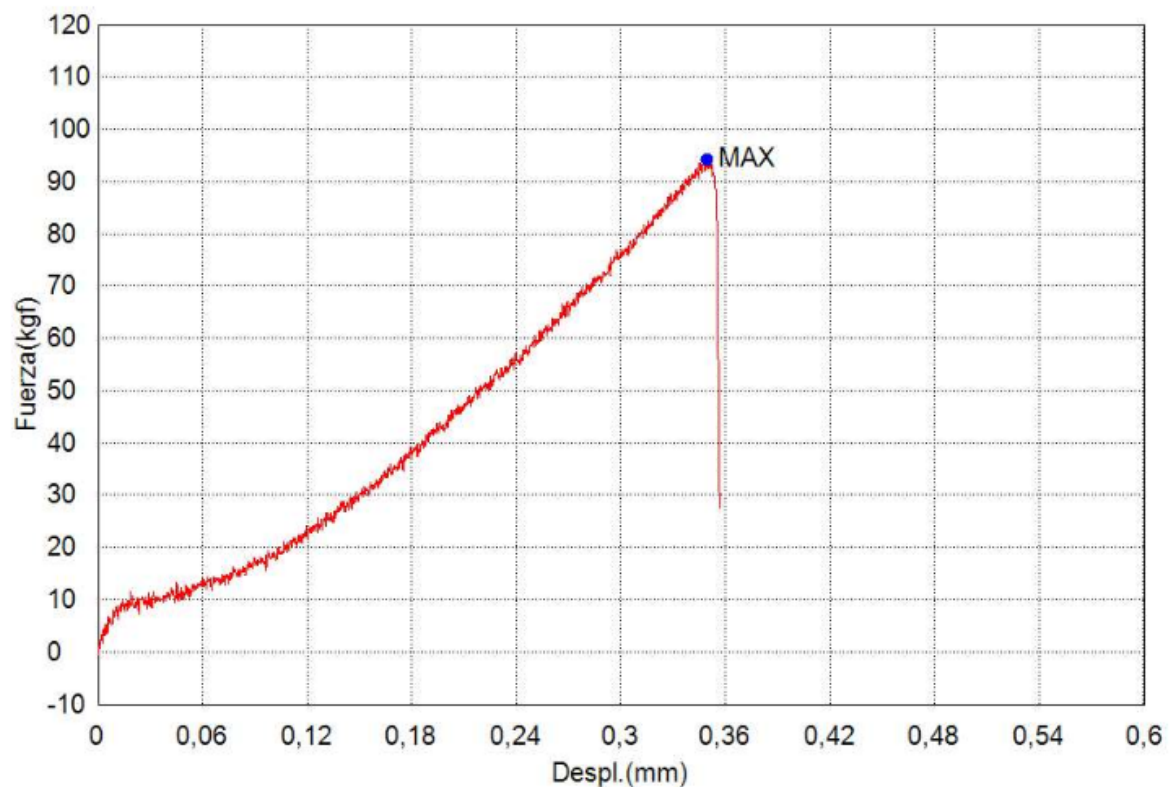


Comentarios

**Anexo 4:** Probeta con la mejor resistencia a flexión de la dosificación empleada en el panel a los 7 días de curado.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240704_1807.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	4/7/2024	Fecha de ensayo	4/7/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Flexión 3 ptos.
Velocidad	0,6mm/min	Forma	Plana
N°de partidas:	1	N°de muestras:	1

Nombre	Max_Fuerza	Max._Desplazamiento	Max._Deformacion	Max._Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	mm	%	%
1_1	94,2006	0,34938	0,69298	0,69298
Media	94,2006	0,34938	0,69298	0,69298
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

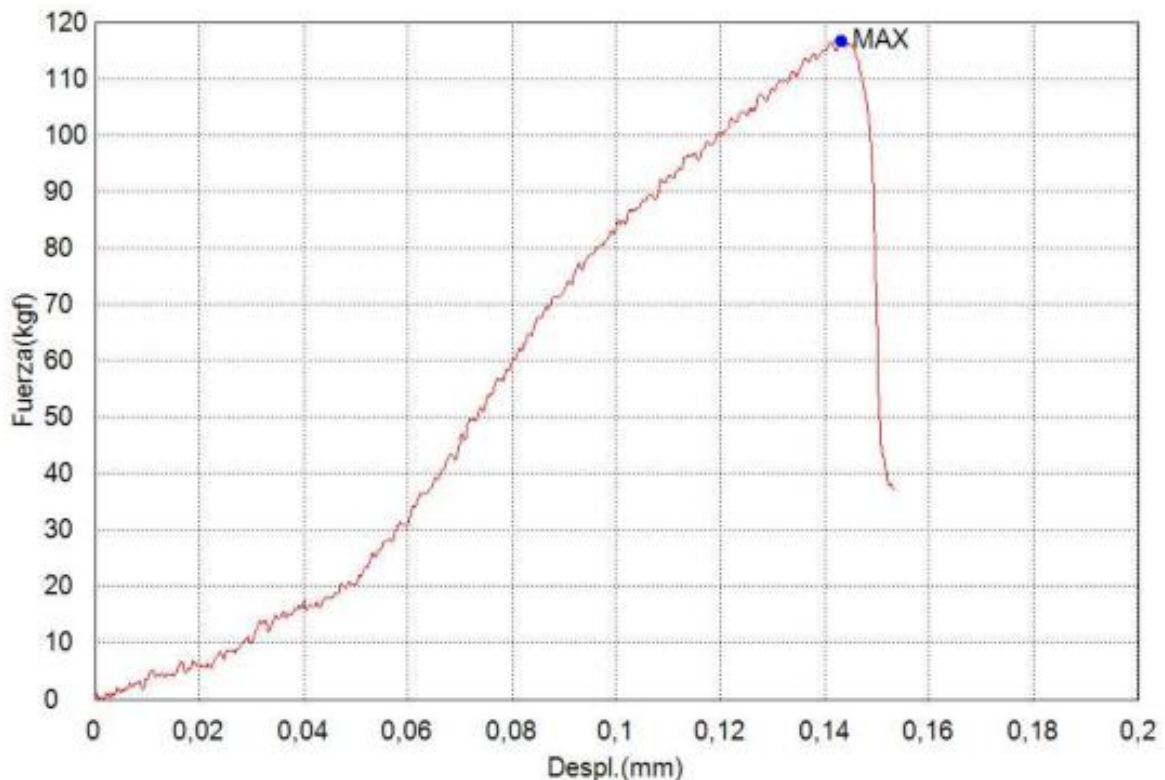


**Anexo 5:** Probeta con la mejor resistencia a flexión de la dosificación empleada en el panel a los 14 días de curado.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240711_1158.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	11/7/2024	Fecha de ensayo	11/7/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Flexión 3 ptos.
Velocidad	1mm/min	Forma	Plana
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre	Max_Fuerza	Max_Desplazamiento	Max_Deformacion	Max_Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	mm	%	%
1_1	116,665	0,14313	0,28388	0,28388
Media	116,665	0,14313	0,28388	0,28388
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

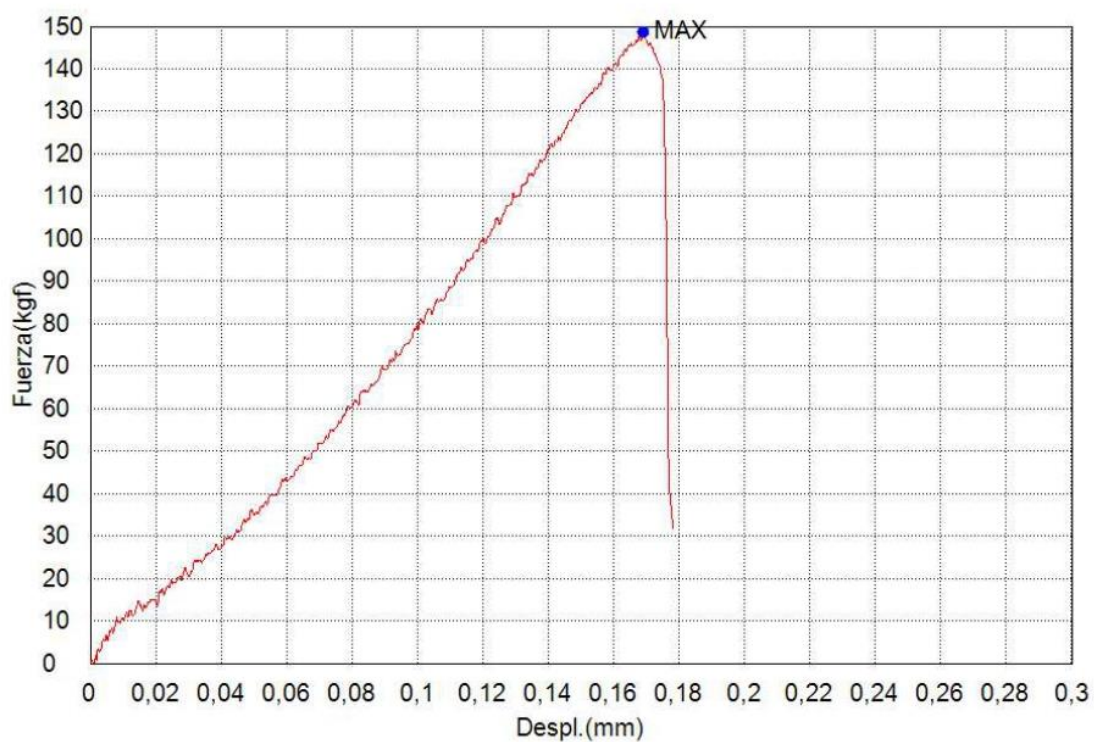
Nombre	Max_TENSIÓN
Parametros	Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf/cm2
1_1	30,0777
Media	30,0777
Desviacion Estandar	--
Rango	0,00000



**Anexo 6:** Probeta con la mejor resistencia a flexión de la dosificación empleada en el panel a los 28 días de curado.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240730_1828.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	30/7/2024	Fecha de ensayo	30/7/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Flexión 3 ptos.
Velocidad	1mm/min	Forma	Plana
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre	Max_Fuerza	Max._Desplazamiento	Max._Deformacion	Max._Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	mm	%	%
1_1	148,821	0,16900	0,33521	0,33521
Media	148,821	0,16900	0,33521	0,33521
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000



Comentarios

**Anexo 7: APU de enlucido vertical tarrajado.**

1. MATERIALES					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
15914	Cemento Fuerte Tipo GU Saco 50 Kg - Holcim DISENSA	saco	0.15	7.68	1.14
18054	Arena	m3	0.02	13.50	0.33
18056	Agua	m3	0.01	0.85	0.01
<b>Total materiales</b>					<b>1.47</b>
2. MANO DE OBRA					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
15837	Peón	Hora	0.93	4.05	3.75
15838	Albañil	Hora	0.93		
15868	Maestro de Obra	Hora	0.15	4.33	0.65
<b>Total mano de obra</b>					<b>4.40</b>
3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
18102	Andamio	Hora	0.84	0.06	0.05
				Herramientas menores % M.O.	5.00%
					0.22
<b>Total equipo, maquinaria y herramientas</b>					<b>0.27</b>
4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					
5. UTILIDAD					
6. IMPUESTOS					
<b>Total Precio Unitario de Enlucido vertical tarrajado</b>					<b>6.14</b>

**Anexo 8: APU de Empaste exterior.**

1. MATERIALES					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
21813	Resina y Empaste para exterior 20Kg	m2	0.08	19.27	1.54
<b>Total materiales</b>					<b>1.54</b>
2. MANO DE OBRA					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
15837	Peón	Hora	0.17	4.05	0.69
15838	Albañil	Hora	0.33		
15872	Inspector de obra	Hora	0.03	4.55	0.14
<b>Total mano de obra</b>					<b>0.83</b>
3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
				Herramientas menores % M.O.	5.00%
					0.04
<b>Total equipo, maquinaria y herramientas</b>					<b>0.04</b>
4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					
5. UTILIDAD					
6. IMPUESTOS					
<b>Total Precio Unitario de Empaste exterior</b>					<b>2.41</b>

**Anexo 9: APU de Pintura de caucho exterior.**

1. MATERIALES					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
15916	Yeso	kg.	0.10	0.63	0.06
17090	Látex Supremo int/ext	4000 cc	0.06	16.00	0.96
17604	Lija de agua N80	u	0.10	0.39	0.04
17605	Lija de agua N100	u	0.10	0.34	0.03
18107	Cemento blanco Tolteca	kg	0.10	0.46	0.05
<b>Total materiales</b>					<b>1.14</b>
2. MANO DE OBRA					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
15837	Peón	Hora	0.30	4.05	1.22
15840	Pintor	Hora	0.30	4.10	1.23
<b>Total mano de obra</b>					<b>2.45</b>
3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
18102	Andamio	Hora	0.50	0.06	0.03
				Herramientas menores % M.O.	5.00%
					0.12
<b>Total equipo, maquinaria y herramientas</b>					<b>0.15</b>
4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					
5. UTILIDAD					
6. IMPUESTOS					
<b>Total Precio Unitario de Pintura de caucho exterior</b>					<b>3.74</b>

**Anexo 10: APU de revestimiento de piedra busardeada (mortero 1:3).**

<b>1. MATERIALES</b>					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
15914	Cemento Fuerte Tipo GU Saco 50 Kg - Holcim DISENSA	saco	0.16	7.68	1.23
18054	Arena	m3	0.02	13.50	0.27
18056	Agua	m3	0.01	0.85	
18108	Disco de corte	u	0.10	1.65	0.17
18115	Piedra busardeada 30x30	m2	1.00	23.70	23.70
<b>Total materiales</b>					<b>25.37</b>
<b>2. MANO DE OBRA</b>					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
15838	Albañil	Hora	2.00		
15868	Maestro de Obra	Hora	2.00	4.33	8.66
<b>Total mano de obra</b>					<b>8.66</b>
<b>3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
18110	Amoladora electrica	Hora	0.50	4.30	2.15
				Herramientas menores % M.O.	5.00%
					0.43
<b>Total equipo, maquinaria y herramientas</b>					<b>2.58</b>
<b>4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>					
<b>5. UTILIDAD</b>					
<b>6. IMPUESTOS</b>					
<b>Total Precio Unitario de Revestimiento de piedra busardeada (mortero 1:3)</b>					<b>36.61</b>

**Anexo 11: APU de cerámica para pared.**

<b>1. MATERIALES</b>					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
15914	Cemento Fuerte Tipo GU Saco 50 Kg - Holcim DISENSA	saco	0.05	7.68	0.35
18054	Arena	m3	0.02	13.50	0.28
18056	Agua	m3	0.01	0.85	0.01
18105	Ceramica para paredes	m2	1.00	8.00	8.00
<b>Total materiales</b>					<b>8.64</b>
<b>2. MANO DE OBRA</b>					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
15837	Peón	Hora	0.80	4.05	3.24
15838	Albañil	Hora	0.80		
15868	Maestro de Obra	Hora	0.10	4.33	0.43
<b>Total mano de obra</b>					<b>3.67</b>
<b>3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
				Herramientas menores % M.O.	5.00%
					0.18
<b>Total equipo, maquinaria y herramientas</b>					<b>0.18</b>
<b>4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>					
<b>5. UTILIDAD</b>					
<b>6. IMPUESTOS</b>					
<b>Total Precio Unitario de Ceramica para pared</b>					<b>12.50</b>

**Anexo 12: APU de revestimiento interior perfil 1 5/8" galvanizado no estructural plancha cementicia fibrocemento 11mm.**

1. MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total	
16645 FIBROLIT 1,22 mts x 2,44 mts x 11 mm	pln	0.34	27.22	9.25	
16738 Perfil Track 1 5/8 x 8". Gauge 25	u	0.50	1.68	0.84	
16739 Perfil Stud 1 5/8 x 8". Gauge 25	u	0.77	1.88	1.45	
19066 Fulminantes y clavo	u	0.68	0.55	0.37	
19067 Tornillos LH para estructura	u	10.02	0.01	0.12	
23659 Tornillos DRYWALL P/BR (EP) #6-20X1" (250 und)	u	0.12	7.50	0.90	
<b>Total materiales</b>				<b>12.93</b>	
2. MANO DE OBRA					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total	
15863 Perfilero	Hora	1.00	4.33	4.33	
<b>Total mano de obra</b>				<b>4.33</b>	
3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total	
Herramientas menores % M.O.			5.00%	0.22	
<b>Total equipo, maquinaria y herramientas</b>				<b>0.22</b>	
4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					
5. UTILIDAD					
6. IMPUESTOS					
<b>Total Precio Unitario de REVESTIMIENTO INTERIOR perfil 1 5/8" galvanizado no estructural Plancha Cementicia FIBROCEMENTO 11mm</b>				<b>17.48</b>	

**Anexo 13: APU de revestimiento perimetral metalpol acuapanel cementicio 12.5mm.**

1. MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total	
23659 Tornillos DRYWALL P/BR (EP) #6-20X1" (250 und)	u	0.08	7.50	0.60	
23749 Placa Acuapanel Cementicia 1,22x4,44x12.5mm	u	0.34	43.69	14.85	
<b>Total materiales</b>				<b>15.45</b>	
2. MANO DE OBRA					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total	
15849 Instalador de revestimiento en general	Hora	0.45	4.10	1.85	
15868 Maestro de Obra	Hora	0.10	4.33	0.43	
<b>Total mano de obra</b>				<b>2.28</b>	
3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total	
Herramientas menores % M.O.			5.00%	0.11	
<b>Total equipo, maquinaria y herramientas</b>				<b>0.11</b>	
4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					
5. UTILIDAD					
6. IMPUESTOS					
<b>Total Precio Unitario de REVESTIMIENTO PERIMETRAL METALPOL Acuapanel Cementicio 12.5mm</b>				<b>17.85</b>	

**Anexo 14: APU Mortero cemento: arena 1:3.**

1. MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total	
15914 Cemento Fuerte Tipo GU Saco 50 Kg - Holcim DISENSA	saco	10.30	7.68	79.10	
18054 Arena	m3	1.04	13.50	14.04	
18056 Agua	m3	0.32	0.85	0.28	
<b>Total materiales</b>				<b>93.42</b>	
2. MANO DE OBRA					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total	
15837 Peón	Hora	6.00	4.05	24.30	
15838 Albañil	Hora	1.20			
<b>Total mano de obra</b>				<b>24.30</b>	
3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total	
Herramientas menores % M.O.			5.00%	1.22	
<b>Total equipo, maquinaria y herramientas</b>				<b>1.22</b>	
4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					
5. UTILIDAD					
6. IMPUESTOS					
<b>Total Precio Unitario de Mortero cemento : arena 1:3</b>				<b>118.93</b>	

**Anexo 15: APU de Encofrado y desencofrado con tablero contrachapado.**

<b>1. MATERIALES</b>						
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total	
18047	Clavos	kg	0.20	1.03	0.21	
18050	Pingos	m	1.50	1.10	1.65	
18059	Aceite quemado	gl	0.50	0.44	0.22	
18130	Tablero contrachapado "B" 15mm	u	0.08	24.00	2.02	
18144	Alfaja eucalipto 7x7	m	0.25	0.72	0.18	
<b>Total materiales</b>					<b>4.27</b>	
<b>2. MANO DE OBRA</b>						
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total	
15837	Peón	Hora	1.00	4.05	4.05	
15844	Carpintero	Hora	1.00	4.10	4.10	
15868	Maestro de Obra	Hora	0.10	4.33	0.43	
<b>Total mano de obra</b>					<b>8.58</b>	
<b>3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>						
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total	
				Herramientas menores % M.O.	5.00%	0.43
<b>Total equipo, maquinaria y herramientas</b>					<b>0.43</b>	
<b>4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>						
<b>5. UTILIDAD</b>						
<b>6. IMPUESTOS</b>						
<b>Total Precio Unitario de Encofrado y desencofrado con tablero contrachapado</b>					<b>13.28</b>	

## AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, Danny Patricio Quizhpi Farez portador de la cédula de ciudadanía N.º 0107322273. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “Elaboración de un prototipo de panel prefabricado de hormigón, como elemento alternativo para el recubrimiento de las fachadas” de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 9 de octubre de 2024



F: .....

Danny Patricio Quizhpi Farez  
0107322273