

**DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS
DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS**

Angie Valentina Sotelo Niño



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

Vigilada MINEDUCACIÓN

Arquitectura, Facultad de arquitectura

Universidad la gran Colombia

Bogotá D.C

2024

Diseño de un Prototipo de Bloque de concreto Reforzado con Macrofibras Sintéticas Derivadas de Botellas PET Recicladas: Una Alternativa Sostenible para la Construcción en Mampostería Reforzada y la Reducción de la Contaminación por Acero

Angie Valentina Sotelo Niño

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Arquitecta

Director: Arq. Mg. Jose Alcides Ruiz



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

Vigilada MINEDUCACIÓN

Arquitectura

Universidad la gran Colombia

Bogotá D.C

2024

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

Dedicatoria

A mi querida hija, Antonella Ramos Sotelo, quien ha sido mi mayor fuente de inspiración y motivación. Su amor y alegría han iluminado cada paso de este viaje, y este logro es en gran parte gracias a ella.

A mis padres, por su amor incondicional, apoyo constante y por contribuir de manera directa a este proyecto con sus conocimientos y su invaluable ayuda en la construcción del bloque. Su dedicación y confianza en mí no solo me han dado la fuerza para seguir adelante, sino que también fueron fundamentales en el desarrollo de esta obra.

A mi hermana, por su compañía y apoyo constante en cada etapa de este proyecto, y a mi esposo, por ser mi pilar fundamental y mi mayor apoyo emocional. Su paciencia y comprensión han sido esenciales para que pudiera dedicarme plenamente a este trabajo.

A todos ustedes, mi más profundo agradecimiento por ser parte indispensable en la culminación de esta tesis. Sin su amor, apoyo y contribuciones, este logro no habría sido posible.

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Arq. José Alcides Ruiz, mi director de tesis, por su incansable apoyo, orientación y valiosos consejos a lo largo de este proceso. Su experiencia y dedicación han sido fundamentales para la realización de este trabajo, y me siento profundamente agradecida por su compromiso y paciencia.

**DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS
DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS**

Tabla de contenido

RESUMEN.....	10
ABSTRACT.....	11
INTRODUCCIÓN.....	12
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
PREGUNTA PROBLEMA.....	16
JUSTIFICACIÓN.....	16
OBJETIVOS.....	18
OBJETIVO GENERAL.....	18
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
HIPÓTESIS.....	19
MARCO CONCEPTUAL.....	21
CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS.....	21
ENSAYOS DEL CONCRETO REFORZADO.....	22
FIBRAS SINTÉTICAS.....	25
MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	26
NORMATIVA.....	27
MARCO REFERENCIAL.....	43
METODOLOGÍA.....	51
INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS PRELIMINARES.....	52
PROPUESTA DE DISEÑO.....	52
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	53
DOCUMENTACIÓN Y REPORTE.....	53
CAPÍTULO 1: DESARROLLO DEL BLOQUE PREFABRICADO.....	55
COMPOSICIÓN DE DISEÑO.....	55
CAPÍTULO 2: DISEÑO DE TRASLAPO.....	58
CONCEPTO DE UNIÓN MODULAR.....	59
TIPOLOGÍAS.....	60
FORMACIÓN DEL MURO CON TRASLAPES REPETIDOS.....	61
ESTÉTICA Y FUNCIONALIDAD.....	61
MODULACIÓN.....	62

**DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS
DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS**

CAPÍTULO 3: PLANIMETRÍA TÉCNICA.....	66
CAPÍTULO 4: DISEÑO DE LA MEZCLA.....	69
CAPÍTULO 5: ELABORACIÓN DEL PROTOTIPO.....	70
ELABORACIÓN DE LA FORMALETA.....	70
PREPARACIÓN DE LA MEZCLA.....	71
FUNDIDA DEL CONCRETO.....	72
SECADO Y FRAGUADO.....	72
PROTOTIPO FINAL.....	73
ACABADOS ARQUITECTÓNICOS.....	73
CAPÍTULO 6: ENSAYOS DE RESISTENCIA.....	75
RESISTENCIA TÉRMICA.....	75
RESISTENCIA COMPRESIÓN.....	76
RESISTENCIA FLEXIÓN.....	77
FICHA TÉCNICA.....	79
CAPÍTULO 7: ANÁLISIS DE PRESUPUESTOS.....	80
DETALLE ESTRUCTURAL COMPARATIVO COSTOS.....	80
MURO CON BLOQUE ESTÁNDAR.....	80
MURO CON BLOQUE FIBERBLOCK.....	81
CONCLUSIONES.....	82
RECOMENDACIONES.....	83
BIBLIOGRAFÍA.....	85

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Proceso de fabricación del acero - Impacto ambiental</i>	15
Figura 2 <i>Fisuraciones en el concreto</i>	24
Figura 3 <i>Proceso de fabricación de fibra sintética</i>	26
Figura 4 <i>Requisitos mínimos de espesor para unidades perforadas</i>	30
Figura 5 <i>Emisiones mundiales de gases de efecto invernadero por industria</i>	36
Figura 6 <i>Las emisiones mundiales de la producción de acero y cemento tendrán que disminuir en más de un 90% para 2050</i>	38
Figura 7 <i>Análisis de conexiones de referentes encontrados como apoyo a este proyecto</i>	42
Figura 8 <i>Flujograma metodología</i>	51
Figura 9 <i>Retícula de diseño</i>	56
Figura 10 <i>Retícula del bloque</i>	56
Figura 11 <i>Elementos de composición</i>	57
Figura 12 <i>Tribales indígenas</i>	59
Figura 13 <i>Plano de traslapo</i>	60
Figura 14 <i>Tipologías</i>	60
Figura 15 <i>Composición para muro</i>	62
Figura 16 <i>Modulación de muro</i>	63
Figura 17 <i>Modulación en planta</i>	64
Figura 18 <i>Plano detalle estructural</i>	65

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

Figura 19 <i>Axonometría bloque</i>	66
Figura 20 <i>Plano vista superior bloque</i>	66
Figura 21 <i>Plano de vista frontal bloque</i>	67
Figura 22 <i>Plano de vista posterior bloque</i>	67
Figura 23 <i>Plano de vistas laterales bloque</i>	68
Figura 24 <i>Plano de formaleta</i>	70
Figura 25 <i>Formaleta</i>	71
Figura 26 <i>Mezcla</i>	71
Figura 27 <i>Fundición</i>	72
Figura 28 <i>Secado</i>	72
Figura 29 <i>Prototipo final</i>	73
Figura 30 <i>Acabados arquitectónicos</i>	74
Figura 31 <i>Resistencia Térmica</i>	75
Figura 32 <i>Resistencia a la compresión</i>	76
Figura 33 <i>Resistencia a la deformación</i>	77
Figura 34 <i>M2 muro bloque estándar</i>	80
Figura 35 <i>M2 muro bloque fiberblock</i>	81

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Cuadro de propiedades técnicas de la fibra sintética</i>	25
Tabla 2 <i>Clasificación por peso</i>	28
Tabla 3 <i>Espesor mínimo de las paredes y de los tabiques</i>	29
Tabla 4 <i>Materiales NSR 10</i>	31
Tabla 5 <i>Diseño estructural NSR 10</i>	32
Tabla 6 <i>Refuerzo estructural NSR 10</i>	33
Tabla 7 <i>Propuesta de cuadro comparativo en factibilidad</i>	40
Tabla 8 <i>Diseño de mezcla</i>	70
Tabla 9 <i>Ficha técnica</i>	79
Tabla 10 <i>Lista de precios muro estándar</i>	81
Tabla 11 <i>Lista de precios muro fiberblock</i>	82

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

Resumen

Esta monografía examina el impacto ambiental de la producción de acero en la construcción, un sector que genera entre 1.5 y 3 toneladas de CO₂ por cada tonelada de acero producido. Para mitigar este efecto, se propone usar macrofibras sintéticas en paneles de concreto prefabricados como alternativa a las mallas electrosoldadas tradicionales. El objetivo es diseñar un prototipo de bloque de concreto reforzado con macrofibras y evaluar su viabilidad para reducir el uso de acero y el impacto ambiental en la mampostería estructural.

La investigación analiza las propiedades mecánicas, la durabilidad y el rendimiento de las macrofibras en el concreto, y evalúa su aplicabilidad en estructuras de mampostería reforzada. Además, se da especial énfasis al trabajo de los recicladores de Bogotá, quienes jugarán un papel fundamental en el suministro de botellas PET que serán utilizadas en el proyecto. Se evaluarán sus dinámicas diarias de recolección y cómo el uso de botellas PET en la fabricación de los bloques puede generar una economía circular, ofreciendo una oportunidad para integrar prácticas de reciclaje en la construcción sostenible.

Este enfoque busca no solo mejorar la eficiencia y durabilidad de las estructuras, sino también contribuir a la sostenibilidad al disminuir la huella de carbono del acero, y al mismo tiempo generar beneficios sociales a través del trabajo de los recicladores.

Palabras clave: Concreto reforzado con fibras, manejabilidad, macrofibra, traslapo, bloque en concreto, materiales ecoeficientes, economía circular, reciclaje.

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

Abstract

This monograph examines the environmental impact of steel production in the construction industry, a sector that generates between 1.5 and 3 tons of CO₂ per ton of steel produced. To mitigate this effect, the use of synthetic macrofibers in prefabricated concrete panels is proposed as an alternative to traditional welded wire mesh. The goal is to design a prototype of a concrete block reinforced with macrofibers and evaluate its viability in reducing steel usage and its environmental impact in structural masonry.

The research analyzes the mechanical properties, durability, and performance of macrofibers in concrete and evaluates their applicability in reinforced masonry structures. Moreover, special emphasis is placed on the work of Bogotá's recyclers, who will play a key role in providing PET bottles to be used in the project. Their daily collection dynamics will be evaluated, and the use of PET bottles in block production could foster a circular economy, offering an opportunity to integrate recycling practices into sustainable construction.

The economic and environmental impacts are also examined, considering the benefits of reducing steel usage and potential construction cost savings. This approach aims not only to improve the efficiency and durability of structures but also to contribute to sustainability by reducing the carbon footprint of steel while generating social benefits through the work of recyclers.

Keywords: Fiber-reinforced concrete, workability, macrofiber, lap, concrete block, eco-efficient materials, circular economy, recycling.

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

Introducción

En la actualidad, uno de los desafíos ambientales más críticos es la elevada emisión de dióxido de carbono (CO₂) resultante de la producción de acero, un material fundamental en la industria de la construcción. Cada tonelada de acero producida libera entre 1.5 y 3 toneladas de CO₂ a la atmósfera, lo que contribuye significativamente al cambio climático y a la degradación ambiental global (Emisiones mundiales de gases de efecto invernadero por industria, 2014). Este impacto subraya la necesidad urgente de desarrollar alternativas más sostenibles para las prácticas constructivas.

En respuesta a este problema, la presente monografía propone una solución eficiente y ecológicamente responsable: el uso de macrofibras sintéticas en bloques prefabricados de concreto reforzado. Estas macrofibras, fabricadas a partir de botellas PET recicladas y reprocesadas, no solo ofrecen una alternativa al acero en la construcción, sino que también generan una oportunidad para fortalecer una economía circular.

El objetivo principal de esta investigación es diseñar y desarrollar un prototipo de bloque prefabricado de concreto reforzado con macrofibras sintéticas, evaluando su viabilidad técnica y económica como una alternativa para reducir el uso de acero y minimizar el impacto ambiental en la construcción en mampostería estructural. Este estudio se centrará especialmente en la resistencia de estos bloques cuando se utilizan en muros, un aspecto crucial ya que las macrofibras actualmente se emplean principalmente en pisos y contrapisos.

La investigación incluirá un análisis exhaustivo de las propiedades mecánicas, durabilidad y desempeño de las macrofibras en concreto, además de un estudio comparativo de costos frente al uso de acero. Asimismo, se estudiarán los efectos de incorporar botellas PET recicladas desde una perspectiva de

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

economía circular, evaluando los beneficios tanto ambientales como sociales, al integrar a los recicladores en el proceso productivo.

Este enfoque no solo busca mejorar la eficiencia constructiva y la durabilidad de las estructuras, sino también contribuir a la sostenibilidad en la construcción al reducir la huella de carbono asociada con el acero. Al promover el uso de materiales reciclados y reducir la dependencia del acero, se generarán beneficios sociales y ambientales, creando un modelo que podría transformar las prácticas de construcción actuales en Colombia.

En conclusión, esta investigación pretende ofrecer una solución eficiente que revolucione las prácticas de construcción en Colombia, integrando una economía circular que beneficie tanto al entorno natural como a las comunidades de recicladores. Los bloques prefabricados de concreto reforzado con macrofibras podrían convertirse en una alternativa viable y sostenible, disminuyendo la huella de carbono y promoviendo un desarrollo habitacional más respetuoso con el medio ambiente y económicamente accesible.

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

Planteamiento del problema

La construcción es una industria clave para el desarrollo económico global y el crecimiento urbano, pero también es una de las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero. El acero, como material esencial en la construcción, juega un papel crucial en la creación de estructuras resistentes y duraderas. Sin embargo, su producción implica un alto costo ambiental. La fabricación de acero es responsable de una significativa liberación de dióxido de carbono (CO₂), uno de los principales gases de efecto invernadero. Cada tonelada de acero producida emite entre 1.5 y 3 toneladas de CO₂ a la atmósfera, lo que contribuye de manera sustancial al calentamiento global y al cambio climático (Hamdi-Cherif, 2023).

El proceso de producción de acero involucra varias etapas intensivas en energía, que incluyen la extracción de mineral de hierro, el procesamiento en altos hornos, y el refinamiento del acero. En cada una de estas etapas, se utilizan grandes cantidades de energía y se queman combustibles fósiles, generando elevadas emisiones de CO₂. Esta producción masiva no solo satisface la demanda en la construcción, sino que también incrementa el impacto ambiental general asociado con el acero. En la construcción, el acero se utiliza extensamente en la fabricación de muros y estructuras, donde se incorpora en forma de mallas o varillas dentro del concreto para mejorar la resistencia y durabilidad de los bloques de construcción (Gervásio, n.d.).

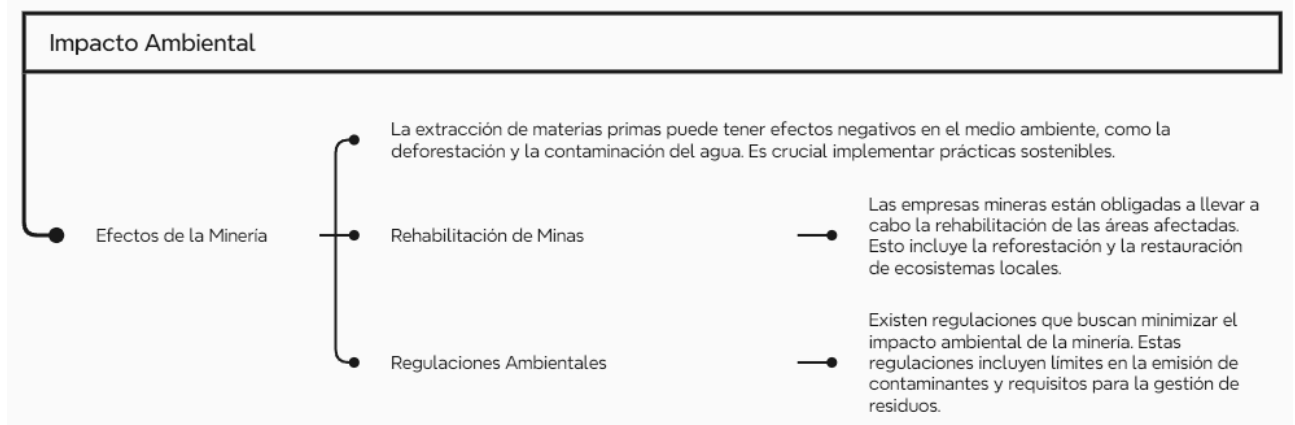
El uso del acero en la construcción tradicional implica un ciclo de vida que va más allá de su producción. Durante la vida útil de las estructuras de acero, se requiere un mantenimiento constante, así como reparaciones y, eventualmente, demolición. Cada una de estas fases contribuye al impacto ambiental, ya que el mantenimiento y la reparación de estructuras de acero consumen recursos adicionales y generan

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

emisiones. La demolición y el reciclaje del acero también conllevan costos ambientales, aunque el reciclaje es menos contaminante que la producción inicial, sigue siendo un factor relevante en la huella de carbono total (Gervásio, n.d.).

Figura 1

Proceso de fabricación del acero - Impacto ambiental



Nota: Elaboración propia

Tomado de: <https://mapify.so/es/app/3d8c1b97-fef8-4da0-81c3-1a4493b91c84>

Además, el reciclaje de acero, aunque es una práctica que mitiga en parte el impacto ambiental, no elimina la huella de carbono del proceso. La energía necesaria para recolectar, transportar y procesar el acero reciclado sigue generando emisiones. Por lo tanto, la alta demanda de acero en la construcción no sólo exacerba las emisiones durante su producción, sino que también incrementa el impacto ambiental durante el ciclo de vida de las estructuras.

La necesidad de buscar alternativas que reduzcan la dependencia del acero es esencial para mitigar el impacto ambiental de la construcción. Explorar soluciones que puedan disminuir la huella de carbono asociada con el acero y promover prácticas más eficientes es crucial para avanzar hacia un sector de la

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

construcción que sea más respetuoso con el medio ambiente y económicamente viable. La identificación y adopción de estas alternativas podría transformar significativamente las prácticas constructivas, ayudando a reducir las emisiones de CO₂ y fomentar un desarrollo más sostenible.

Pregunta problema

A partir del análisis del impacto ambiental asociado con la producción de acero y su uso extensivo en la construcción, se puede concluir que la alta emisión de dióxido de carbono (CO₂) derivada de este material afecta negativamente la sostenibilidad y la eficiencia ecológica de las prácticas constructivas actuales. La producción de acero no solo contribuye significativamente al cambio climático, sino que también tiene implicaciones ambientales adicionales relacionadas con la extracción de recursos y la contaminación. Esto plantea una pregunta central para la investigación:

¿Cómo el diseño de un prototipo de bloque de concreto reforzado con macrofibras sintéticas, provenientes de botellas PET recicladas, puede contribuir a reducir la contaminación ambiental en la construcción de mampostería reforzada?

Justificación

El enfoque de esta investigación responde a una necesidad crucial en el contexto de la construcción en Colombia: abordar el impacto ambiental significativo asociado con el uso de acero. A pesar de la creciente preocupación por la sostenibilidad y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, el uso extensivo de acero en la construcción sigue siendo una práctica común, con un alto costo ambiental asociado a su producción y uso. La fabricación de acero genera grandes cantidades de dióxido de carbono (CO₂) y otros impactos ambientales negativos, debido a su proceso de producción intensivo en energía y la explotación de recursos naturales (Gervásio, n.d.).

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

El acero es fundamental en la construcción por su resistencia y durabilidad, pero su producción es responsable de una importante liberación de CO₂, contribuyendo de manera significativa al cambio climático. Cada tonelada de acero producida emite entre 1.5 y 3 toneladas de CO₂, lo que refleja el impacto negativo en términos de sostenibilidad y conservación ambiental (Hamdi-Cherif, 2023). Además, el uso continuo de acero en la construcción contribuye a la demanda de recursos, la degradación de ecosistemas y la contaminación ambiental.

La investigación se justifica por la necesidad de encontrar alternativas constructivas que mitiguen estos impactos ambientales. Los bloques prefabricados de concreto reforzado con macrofibras sintéticas emergen como una solución prometedora. Estas macrofibras, fabricadas a partir de botellas PET recicladas, ofrecen una alternativa sostenible al acero, al reducir la dependencia de materiales con alto impacto ambiental (Eucomex, 2017). Las propiedades del concreto reforzado con fibras, como la mejora en la resistencia y durabilidad, han sido documentadas y validadas en estudios anteriores (Valera, 2017; Rodríguez & Segura, 2013; Vargas Ortiz & Yataco Barreda, 2020).

La incorporación de estas fibras sintéticas en el concreto no solo tiene el potencial de reducir significativamente la huella de carbono de la construcción, sino que también promueve una economía circular mediante el reciclaje de materiales. El uso de macrofibras sintéticas puede ofrecer beneficios tanto en términos de sostenibilidad ambiental como de eficiencia económica, al disminuir los costos asociados con la producción y el mantenimiento de estructuras reforzadas con acero (Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C., 2016).

Por lo tanto, esta investigación busca evaluar la viabilidad y los beneficios de utilizar bloques prefabricados de concreto con macrofibras sintéticas como alternativa al acero en la construcción en

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

mampostería estructural. La justificación radica en la necesidad de reducir el impacto ambiental de la industria de la construcción y en la búsqueda de soluciones más ecológicas y eficientes. El estudio proporcionará una base sólida para la adopción de prácticas constructivas más eficientes y contribuirá al desarrollo de un entorno urbano más respetuoso con el medio ambiente, alineado con los objetivos de sostenibilidad global.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar un prototipo de bloque de concreto reforzado con macrofibras sintéticas, provenientes del reciclaje de botellas PET, como alternativa para reducir el uso de acero en la construcción de mampostería reforzada.

Objetivos Específicos

1. Estudiar las propiedades del concreto reforzado con macrofibras sintéticas, la normativa vigente, los ensayos de resistencia y durabilidad aplicables, así como el comportamiento de los bloques prefabricados en la construcción en mampostería reforzada.
2. Definir las especificaciones técnicas y normativas necesarias para el diseño de bloques de concreto reforzados destinados a mampostería estructural, considerando la forma, dimensiones óptimas, características de resistencia mecánica, durabilidad y criterios de calidad establecidos por estándares actuales.
3. Diseño y elaboración del prototipo de bloque de concreto reforzado, definiendo su forma, diseño de mezcla, proporciones de los materiales, y el diseño de la formaleta, asegurando

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

que cumpla con los estándares técnicos y funcionales para su aplicación en mampostería estructural.

4. Evaluar el rendimiento final del bloque con macrofibras sintéticas, determinando su viabilidad en comparación con el uso de acero en la construcción ambiental de mampostería reforzada, y estimando los beneficios en términos de reducción de costos y disminución de impactos ambientales.

Hipótesis

Dada la creciente preocupación por el impacto ambiental del acero en la construcción, esta investigación busca explorar soluciones eficientes y eficientes para mitigar el problema. La hipótesis planteada es que el diseño y la implementación de un prototipo de bloque prefabricado de concreto reforzado con macrofibras sintéticas puede contribuir significativamente a la reducción de la contaminación ambiental en la construcción en mampostería estructural, en comparación con el uso tradicional de acero.

El acero, esencial para la resistencia y durabilidad en la construcción, tiene un alto costo ambiental debido a su proceso de producción intensivo en energía, que genera grandes cantidades de dióxido de carbono (CO₂). Este impacto negativo se amplifica en el ciclo de vida de los edificios, desde la extracción y procesamiento del mineral de hierro hasta su uso en la construcción y su posterior mantenimiento y demolición (Hamdi-Cherif, 2023; Gervásio, n.d.). Por tanto, la dependencia del acero en la construcción contribuye de manera considerable a las emisiones de gases de efecto invernadero y al agotamiento de los recursos naturales.

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

En contraste, se plantea que el uso de bloques prefabricados de concreto reforzado con macrofibras sintéticas —fabricadas a partir de botellas PET recicladas— ofrece una alternativa más ecológica y sostenible. Estas macrofibras no solo reducen la necesidad de acero, sino que también tienen un menor impacto ambiental durante su producción y uso. La integración de estas macrofibras en el concreto puede mejorar la durabilidad y la resistencia de los bloques sin incrementar significativamente la huella de carbono asociada (Gervásio, n.d.).

La hipótesis sugiere que la adopción de bloques prefabricados de concreto con macrofibras sintéticas en lugar de acero en la construcción de viviendas permitirá una reducción sustancial en las emisiones de CO₂ y otros impactos ambientales relacionados con la construcción. Además, el uso de materiales reciclados en las macrofibras contribuye a una economía circular, reduciendo la demanda de nuevos recursos y promoviendo la sostenibilidad.

Se espera que los resultados de esta investigación demuestran que el empleo de esta tecnología no solo representa una mejora en términos de sostenibilidad ambiental, sino que también ofrece ventajas económicas al disminuir los costos asociados con la producción y el mantenimiento de estructuras reforzadas con acero. Este enfoque tiene el potencial de transformar las prácticas constructivas en Colombia, ofreciendo una alternativa más verde y económica que podría ser adoptada ampliamente en la industria de la construcción.

El impacto esperado de esta investigación es proporcionar una solución integral que no solo aborde la problemática de las emisiones de CO₂, sino que también impulse el desarrollo de prácticas constructivas más eficientes en el país. La investigación se centrará en evaluar los beneficios ambientales, sociales y económicos del uso de macrofibras sintéticas y en identificar las estrategias efectivas para integrar esta

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

tecnología en el mercado de la construcción, contribuyendo así a la creación de un entorno urbano más respetuoso con el medio ambiente.

Marco conceptual

En el desarrollo de un bloque prefabricado de concreto reforzado con macrofibras sintéticas como alternativa para la construcción sostenible en Colombia, es fundamental considerar una variedad de enfoques técnicos, ambientales y económicos. Los siguientes referentes ofrecen una base integral que orienta la propuesta desde diferentes perspectivas, cada una de las cuales aporta perspectivas valiosas al proyecto.

Concreto reforzado con fibras

El análisis de las propiedades del concreto reforzado con fibras cortas de acero y macrofibras de polipropileno (López Román, 2015) es crucial para comprender cómo estos aditivos afectan el rendimiento del concreto. Este estudio proporciona un análisis comparativo de cómo las fibras cortas de acero y las macrofibras de polipropileno influyen en las propiedades del concreto, tanto en estado fresco como endurecido. Se evaluaron propiedades como la resistencia a la compresión, la trabajabilidad y la tenacidad, mostrando que ambos tipos de fibras mejoran significativamente la resistencia a grietas y la durabilidad del concreto. Este conocimiento es fundamental para nuestro proyecto, ya que nos permite seleccionar las fibras más adecuadas para nuestro bloque prefabricado, asegurando que cumpla con los estándares de calidad y rendimiento requeridos para reducir el impacto ambiental en la construcción.

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

Ensayos del Concreto Reforzado

Ensayo de Compresión: Este ensayo es fundamental para determinar la resistencia del concreto. Se aplica una carga de compresión sobre una muestra cilíndrica o cúbica hasta que se rompe. La resistencia a la compresión es una de las propiedades más importantes del concreto, ya que indica su capacidad para soportar cargas sin fallar. (Patazca, P., & Tafur, J. , 2013)

$$f'_c = \frac{P}{A}$$

Donde:

f'_c = Resistencia a la compresión del concreto (en MPa o psi).

P = Carga máxima soportada por la muestra durante el ensayo (en Newtons o libras fuerza).

A = Área de la sección transversal de la muestra (en mm² o in²).

Ensayo de Flexión: Mide la capacidad del concreto para resistir fuerzas de flexión. Es relevante para evaluar la tenacidad del concreto reforzado con fibras, ya que las fibras ayudan a prevenir la propagación de grietas bajo cargas flexibles.

$$R = \frac{PL}{bd^2}$$

Donde:

R : Resistencia a la flexión o módulo de rotura (MPa o N/mm²).

P : Carga máxima aplicada al centro de la viga (N).

L : Longitud de la luz de la viga, es decir, la distancia entre los soportes (mm).

b : Ancho de la muestra de la viga (mm).

d : Profundidad de la muestra de la viga (mm).

Ensayo de Tracción Indirecta (Split Test): Evalúa la resistencia a la tracción del concreto de manera indirecta. Se coloca una muestra cilíndrica en una máquina de compresión, y la carga aplicada se traduce en

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

tensión a lo largo del diámetro del cilindro. Este ensayo es esencial para entender la capacidad del concreto reforzado con fibras para resistir fuerzas de tracción. (Patazca, P., & Tafur, J. , 2013)

$$f_t = \frac{2P}{\pi LD}$$

Donde:

f_t : Resistencia a la tracción indirecta (MPa o N/mm²).

P : Carga máxima aplicada antes de la falla (N).

L : Longitud del cilindro (mm).

D : Diámetro del cilindro (mm).

Ensayo de Abrasión: Mide la resistencia del concreto a la abrasión superficial, lo que es crucial en pavimentos y superficies donde el desgaste por tráfico es un factor importante.

La pérdida de abrasión se calcula como:

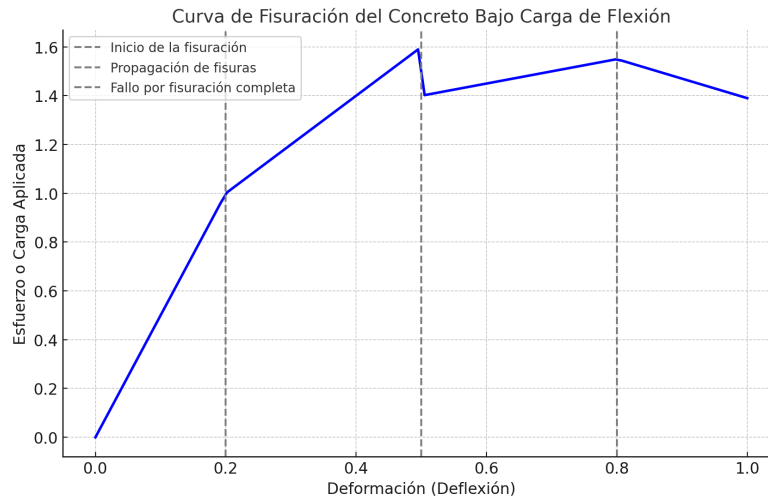
$$\text{Pérdida de Abrasión (\%)} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

Fisuraciones: La fisuración del concreto es un fenómeno que se presenta por diversas causas, entre ellas la composición de la mezcla, los cambios térmicos, las sobrecargas entre otras. Una fisura representa realmente la incapacidad del material de soportar un esfuerzo actuante específico. (Abacol, 2023).

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

Figura 2

Fisuraciones en el concreto



Nota. Elaboración propia.

La gráfica muestra la curva de fisuración del concreto bajo carga de flexión. A medida que la carga aplicada aumenta, el concreto pasa por varias fases:

1. Zona Elástica Lineal (0 - 0.2 de deformación): El concreto se deforma de manera elástica sin fisuras visibles.
2. Inicio de la Fisuración (0.2 de deformación): Aparecen las primeras fisuras cuando la carga aplicada supera la resistencia a la tracción del concreto.
3. Propagación de Fisuras (0.5 de deformación): Las fisuras comienzan a propagarse y a crecer en tamaño, disminuyendo la capacidad de carga del concreto.
4. Fallo por Fisuración Completa (0.8 de deformación): Las fisuras se unen o se vuelven significativas, resultando en el fallo estructural del concreto.

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

Fibras Sintéticas

Microfibras Sintéticas: Las macrofibras sintéticas, diseñadas específicamente para su uso en concreto, están hechas de materiales capaces de resistir el ambiente alcalino del concreto a lo largo del tiempo. Estas fibras se incorporan al concreto durante o antes del proceso de mezclado. Generalmente, el uso de fibras sintéticas no requiere modificar el diseño de la mezcla de concreto. En las etapas tempranas del concreto, los cambios volumétricos pueden generar áreas de debilidad y fisuras debido a tensiones que superan la resistencia del concreto en un momento dado. Estas fisuras causadas por contracción se evitan gracias al efecto de bloqueo mecánico de las macrofibras sintéticas. Este sistema de soporte interno también previene la formación de grietas por asentamiento plástico.

Tabla 1

Cuadro de propiedades técnicas de la fibra sintética

CONCEPTO	VALOR
Diámetro Promedio (mm)	0,6
Tipo de Macrofibra	Sintética
Longitud (mm)	55
Fibras por KG. Promedio (mm)	36600
Dosificación Frecuente (Kg./m3)	3.0 a 6.0
Fibras m3 dosificación promedio (un)	183000
Gravedad Especifica (Gr/cm3)	1.27
Resistencia máxima a la tensión (Mpa)	524
Módulo de elasticidad promedio (Gpa)	4,8
Textura Superficial	Marcado de Máximo Anclaje
Punto de Fusión (°C)	260
Presentación de empaque soluble	92
Relación de aspecto	Gris Metalizado
Color	Nula
Absorción	Alta
Resistencia a sales y ácidos	Alta
Resistencia al álcalis	Alta
Resistencia a Hongos-Mohos	Nula
Conductividad Eléctrica	Nula
Conductividad térmica	Nula

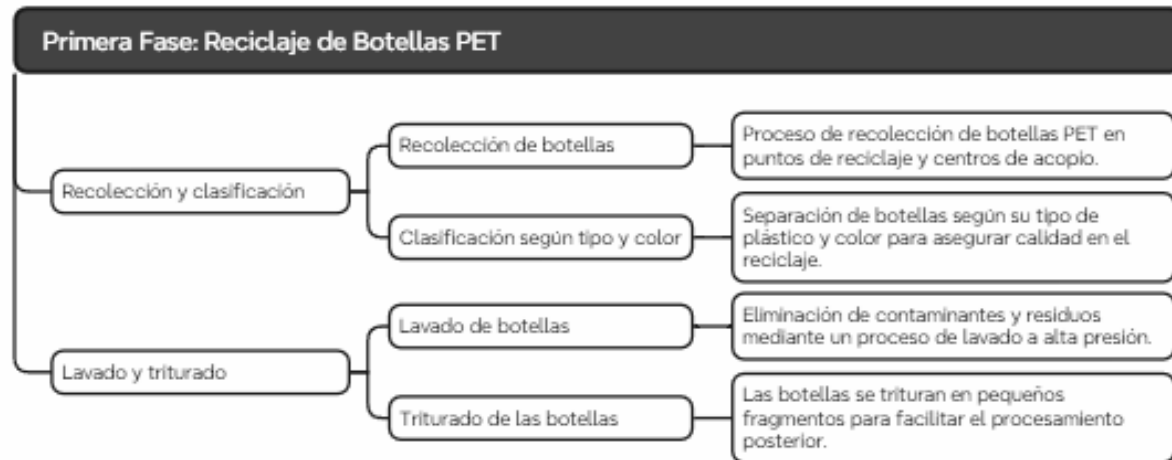
Nota: Adaptado de “Macrofibras sintéticas para el concreto.” Fibraplas concrete. (2023).

https://www.abacol.co/fibraplas_concrete/assets/fibraplas-concrete_libro_baja.pdf

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

Figura 3

Proceso de fabricación de fibra sintética



Nota. Elaboración propia.

Tomado de: <https://mapify.so/es/app/3d8c1b97-fef8-4da0-81c3-1a4493b91c84>

Además, la distribución uniforme de las fibras en el concreto ayuda a evitar la creación de grandes poros capilares provocados por el movimiento del agua de exudación, reduciendo así la capilaridad. Los beneficios del uso de fibras sintéticas no solo son evidentes en las primeras etapas, sino que también se extienden al concreto endurecido. Entre las mejoras que aportan al concreto endurecido se incluyen la disminución de la permeabilidad y un aumento en la resistencia a fracturas, abrasión y fuerzas de impacto. (Abacol, 2023)

Mampostería Reforzada

La mampostería reforzada es un sistema constructivo que utiliza bloques de concreto o ladrillos de barro cocido reforzados con barras de acero y grout (mortero de alta fluidez) para mejorar la resistencia estructural. Este tipo de construcción se utiliza ampliamente en regiones de alta actividad sísmica debido a

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

su capacidad para resistir fuerzas laterales y proporcionar mayor seguridad estructural. A continuación, se presentan las partes principales y la formulación del diseño de la mampostería reforzada (Pérez Hernández, 2007).

Unidades prefabricadas: Las unidades utilizadas en la mampostería reforzada son ladrillos de barro cocido o bloques de concreto. Estas deben cumplir con las normativas de calidad, dimensiones, absorción y resistencia específicas, como las establecidas por COGUANOR para ladrillos y bloques de concreto. (Pérez Hernández, 2007)

Mortero de Pega: Es una mezcla plástica de materiales cementantes y arena bien graduada que une las unidades prefabricadas. El mortero debe proporcionar trabajabilidad, capacidad de retención de agua, durabilidad y contribuir a la resistencia a la compresión del elemento estructural. (Pérez Hernández, 2007)

Refuerzo de Acero: Consiste en varillas corrugadas que cumplen con las normas ASTM, colocadas vertical y horizontalmente en los muros para proporcionar resistencia adicional. El refuerzo puede ser de barras lisas o de alta resistencia, utilizadas principalmente en estribos y dispositivos de amarre. (Pérez Hernández, 2007)

Normativa

NTC 4026

La NTC 4026 establece los requisitos para unidades de mampostería de concreto, perforadas o macizas, elaboradas con cemento Pórtland, agua y agregados minerales. Estas unidades son aptas para mampostería estructural y no estructural.

Se clasifican en tres tipos según su peso: peso normal, peso medio y peso liviano (ver Tabla 2).

Existen dos tipos de unidades de mampostería de concreto según el control de humedad: Tipo I (controlada) y Tipo II (no controlada).

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

La resistencia a la compresión define dos clases: resistencia alta y resistencia baja.

Tabla 2

Clasificación por peso

CLASIFICACIÓN POR PESO	DENSIDAD
Peso liviano	Menor de 1,680 kg/m ³
Peso mediano	Entre 1,680 kg/m ³ y menos de 2,000 kg/m ³
Peso normal	2,000 kg/m ³ o más

Nota: Elaboración propia

Materiales

Materiales Cementantes

Los materiales cementantes utilizados deben cumplir con normas específicas, tales como la NTC 121 y NTC 321 para el cemento Pórtland, y la NTC 1362 para el cemento Pórtland blanco.

Agregados

Los agregados deben cumplir con las normas pertinentes, como la NTC 174 para agregados de peso normal y la NTC 4045 para agregados livianos.

Las unidades perforadas deben cumplir con los espesores de pared y tabique establecidos en la norma (ver Tabla 3).

Las unidades sólidas deben tener un área neta transversal que no sea menor del 75% del área bruta.

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

Tabla 3

Espesor mínimo de las paredes y de los tabiques

ESPESOR NOMINAL DE LAS UNIDADES (EN)	ESPESOR DE PARED (EP)	ESPESOR DE TABIQUE (ET)	ESPESOR DE TABIQUE EQUIVALENTE (ETE)
mm	Mínimo, mm	Mínimo, mm	Mínimo, mm/mm
80	20	20	0,150
100	20	20	0,150
120	22	20	0,165
150	25	25	0,188
200	30	25	0,188
250	35	30	0,225
300	40	30	0,225

Nota: Adaptado de “NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 4026.” Espesor mínimo de las paredes y de los tabiques. (2007).

<https://repository.ugc.edu.co/server/api/core/bitstreams/8270d79e-6356-4102-956b-b686b4bdfe5b/content>

Para las unidades de mampostería, se requiere que el espesor de la pared y del tabique se mida en tres unidades diferentes, tomando como referencia el punto más delgado, de acuerdo con lo establecido en la NTC 4024 (ASTM C 140). En unidades con paredes de acabado especial, se permite que hasta un 10% del área de la pared tenga un espesor menor que el indicado en la Tabla 2, pero este espesor no debe ser inferior a 20 mm. En los casos en que las perforaciones de las unidades se llenan con mortero de inyección, el límite del 10% no aplica, pero sí debe cumplirse el espesor mínimo de pared.

Para los tabiques, el espesor mínimo, medido en las unidades donde la separación entre tabiques es menor a 25 mm, debe ser de al menos 20 mm. Por otro lado, el espesor de tabique equivalente se calcula

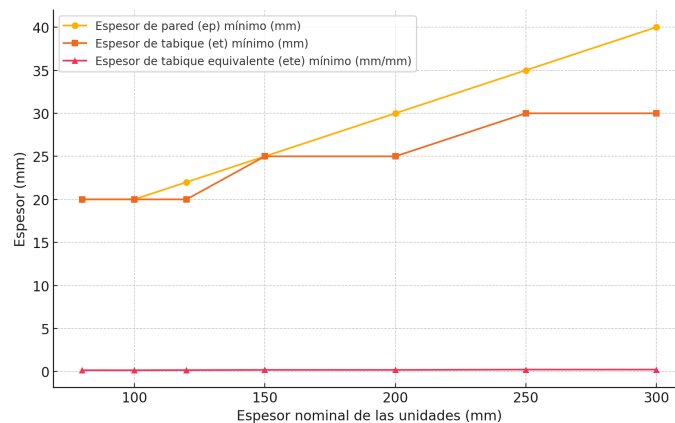
DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

sumando los espesores de todos los tabiques de una unidad y dividiéndolo por la longitud nominal de la unidad. Este cálculo no se aplica a la parte de la unidad que se rellena con mortero de inyección, por lo que se descuenta la longitud de esta porción de la unidad.

Finalmente, cuando el espesor de la pared (ep) se reduce en comparación con los espesores básicos mencionados, la carga de diseño admisible debe ajustarse proporcionalmente, a menos que las unidades se rellenen completamente con mortero de inyección, en cuyo caso no es necesario reducir la carga de diseño admisible.

Figura 4

Requisitos mínimos de espesor para unidades perforadas



Nota. Elaboración propia.

En conclusión, se puede inferir que el espesor de pared mínimo presenta una dependencia directa con el espesor nominal de las unidades, mientras que el espesor de tabique mínimo muestra un crecimiento limitado, alcanzando una especie de estabilización.

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

NSR 10 - TÍTULO D

Tabla 4

Materiales NSR 10

Los materiales como bloques de concreto, arcilla, mortero y grout son fundamentales en la construcción. Cada uno tiene propiedades mecánicas específicas que contribuyen a la resistencia de la estructura.	
Tipos de materiales y sus propiedades	Bloques de concreto Los bloques de concreto son conocidos por su alta resistencia a compresión y durabilidad, lo que los hace ideales para muros y estructuras de soporte.
	Arcilla La arcilla, utilizada en ladrillos, ofrece buena capacidad de aislamiento térmico y acústico, además de ser un material sostenible.
	Mortero y grout El mortero actúa como un adhesivo entre los bloques, mientras que el grout se utiliza para rellenar espacios y proporcionar estabilidad.
Todos los materiales deben cumplir con normativas de resistencia y durabilidad. Esto asegura que las estructuras sean seguras y funcionales a largo plazo.	
Requisitos de resistencia	Normativas de construcción Las normativas locales establecen estándares mínimos que los materiales deben cumplir, garantizando la seguridad estructural.
	Pruebas de laboratorio Las pruebas de laboratorio son esenciales para verificar que los materiales cumplen con las especificaciones requeridas.

Nota: Elaboración propia

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

Tabla 5

Diseño estructural NSR 10

Diseño Estructural

El diseño estructural es crucial para garantizar que una edificación soporte las cargas y fuerzas a las que estará expuesta.		
Importancia del diseño en la construcción	Cálculo de cargas	Los ingenieros realizan cálculos precisos para determinar las cargas que la estructura debe soportar, incluyendo peso propio y cargas externas.
	Distribución de fuerzas	Un buen diseño asegura que las fuerzas se distribuyan de manera uniforme, evitando puntos de tensión que puedan causar fallos.
Los elementos estructurales como vigas, columnas y losas son fundamentales en el diseño.		
Elementos del diseño	Vigas	Las vigas son responsables de soportar cargas y transferirlas a las columnas. Su diseño debe considerar el material y la longitud.
	Columnas	Las columnas soportan el peso de la estructura y deben ser diseñadas para resistir compresión y flexión.

Nota: Elaboración propia

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

Tabla 6

Refuerzo estructural NSR 10

Refuerzo Estructural

El refuerzo con varillas de acero es esencial para aumentar la resistencia a la tracción de las estructuras de concreto.		
Uso de varillas de acero	Propiedades del acero	El acero tiene una alta resistencia a la tracción, lo que complementa la compresión del concreto, creando un material compuesto más fuerte.
	Técnicas de colocación	La correcta colocación de las varillas es crucial para asegurar que el refuerzo funcione adecuadamente en la estructura.
Las normativas también regulan el uso de refuerzo en estructuras.		
Normativas de refuerzo	Códigos de construcción	Los códigos de construcción especifican el tipo y la cantidad de refuerzo necesario para diferentes tipos de estructuras.
	Inspecciones	Las inspecciones durante la construcción aseguran que se cumplan las normativas de refuerzo.

Nota: Elaboración propia

NSR-10 en el diseño de bloques de prototipo

Cumplimiento de requisitos normativos de materiales y proporciones adecuadas, En el contexto de la NSR-10, es esencial garantizar que los bloques prefabricados de concreto reforzado con macrofibras, propuestos como alternativa ecoeficiente, cumplan con los estándares de resistencia y durabilidad establecidos para mampostería reforzada. La norma exige que los materiales estructurales, incluyendo las fibras sintéticas, sean evaluados y diseñados de manera que cumplan con propiedades mecánicas adecuadas, como la resistencia a la compresión y la durabilidad frente a condiciones ambientales adversas.

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

Este aspecto es crucial para demostrar la viabilidad del uso de macrofibras como sustituto parcial o total del acero.

Diseño sísmico adaptado a zonas de alta actividad sísmica como Bogotá, Dado que el proyecto se desarrolla en Bogotá, una región con alta sismicidad, el diseño de los bloques debe seguir estrictamente las indicaciones de la NSR-10 para garantizar la resistencia estructural ante terremotos. La mampostería reforzada en zonas sísmicas requiere que los muros soporten tanto cargas laterales como verticales. En este sentido, la incorporación de fibras sintéticas en los bloques de concreto debe ser evaluada en términos de su capacidad para absorber energía y mantener la integridad estructural frente a fuerzas sísmicas, lo que fortalecerá el análisis comparativo entre los bloques reforzados con fibras y los sistemas tradicionales con acero.

Integración del refuerzo para cumplir con los estándares estructurales, Aunque el proyecto busca reducir el uso de acero a través de la inclusión de macrofibras, la NSR-10 exige la disposición de un sistema de refuerzo adecuado en la mampostería. Esto implica que, además de las fibras, será necesario cumplir con las indicaciones normativas en cuanto a la cantidad, disposición y traslape de las varillas de refuerzo. El desafío radica en demostrar cómo la adición de macrofibras puede complementar o, en ciertos casos, reducir la dependencia del acero sin comprometer la seguridad estructural. Este aspecto reforzará la validez técnica de la propuesta frente a las exigencias sísmicas y estructurales del contexto colombiano.

Control de calidad y supervisión del proceso constructivo, La NSR-10 establece procedimientos rigurosos para la supervisión y control de calidad en la fabricación y construcción de mampostería reforzada. En este proyecto, es crucial implementar estos procedimientos para garantizar que los bloques prefabricados con macrofibras mantengan los estándares exigidos. Tanto en la fase de producción de los bloques como en la de construcción, se debe asegurar la correcta mezcla, proporción de materiales,

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

disposición de refuerzos y el control de propiedades mecánicas del concreto. Esto incluye pruebas de laboratorio para validar las características de resistencia a la compresión, densidad y durabilidad, lo cual es indispensable para respaldar los resultados del proyecto.

El impacto ambiental del uso de acero en la construcción

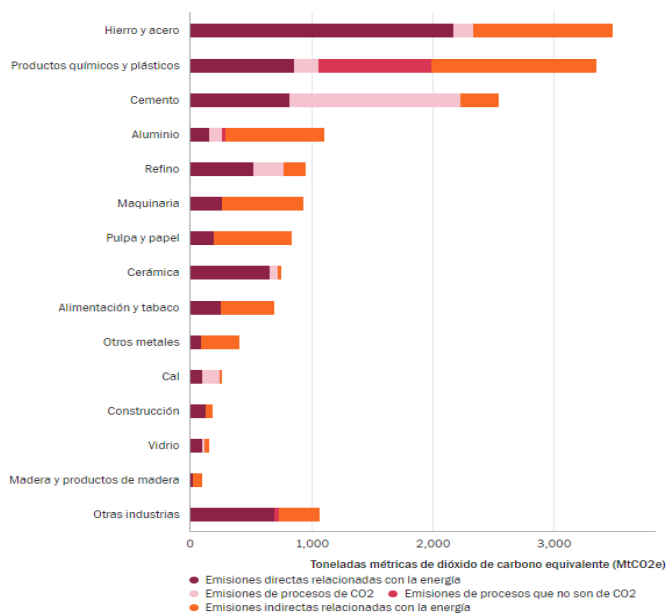
Tal como se analiza en el estudio sobre la sustentabilidad del acero (Gervásio, n.d.), destaca los desafíos asociados con la producción de acero, un material comúnmente utilizado en la construcción. La producción de acero, especialmente en procesos como el alto horno, tiene un alto impacto ambiental debido a sus emisiones de gases de efecto invernadero y consumo de recursos. A pesar de los avances en la tecnología del horno eléctrico de arco, que utiliza acero reciclado y emite menos CO₂, el acero sigue siendo una de las actividades industriales más contaminantes. Este enfoque es relevante para nuestro proyecto ya que justifica la necesidad de buscar alternativas más eficientes, como el uso de bloques de concreto reforzado con fibras en lugar de acero, para mitigar el impacto ambiental asociado con la construcción.

El impacto ambiental del acero y el cemento en la construcción es significativo y constituye un desafío urgente en el contexto de la crisis climática. Según el estudio de Gervásio y la información proporcionada, la producción de acero y cemento es altamente intensiva en emisiones de gases de efecto invernadero debido a los procesos de alta temperatura y el uso de combustibles fósiles. Específicamente, la producción de acero genera alrededor del 8% de todas las emisiones globales de CO₂, mientras que el cemento representa un 6%. (Comisión de Transición Energética, 2018).

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

Figura 5

Emisiones mundiales de gases de efecto invernadero por industria



Nota: Adaptado de “¿Cómo pueden el acero y el cemento impulsar la década de acción en el contexto del cambio climático?” Industrial analytics platform. (2014).

<https://iap.unido.org/es/articles/como-pueden-el-acero-y-el-cemento-impulsar-la-decada-de-accion-en-el-contexto-del-cambio>

Emisiones de gases efecto invernadero, La producción de acero y cemento es una de las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel mundial. En la fabricación de acero, la mayor parte de las emisiones provienen del proceso de reducción de hierro en altos hornos, donde el carbón se utiliza como agente reductor. Este proceso libera grandes cantidades de CO₂, lo que convierte al acero en un contribuyente significativo a las emisiones globales de GEI. De manera similar, la producción de cemento implica la calcinación de carbonato de calcio (CaCO₃) en cao (CaO), un proceso que también emite

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

CO₂ en grandes volúmenes. Adicionalmente, tanto en la producción de acero como en la de cemento, la alta demanda de energía, que todavía depende en gran medida de combustibles fósiles, agrava aún más las emisiones. Dado que estos sectores representan más del 50% de todas las emisiones industriales, su descarbonización es esencial para alcanzar los objetivos climáticos establecidos en acuerdos internacionales como el Acuerdo de París (Comisión de Transición Energética, 2018).

La descarbonización, la reducción de emisiones de carbono en los sectores del acero y el cemento es crucial para cumplir con los objetivos climáticos globales. Esto requiere una transformación significativa en la manera en que se producen estos materiales. Una de las tecnologías emergentes es el uso de hornos de arco eléctrico (EAF), que permiten reciclar chatarra de acero, reduciendo así la necesidad de mineral de hierro y, consecuentemente, las emisiones asociadas. Además, el hidrógeno producido de manera renovable está siendo explorado como un sustituto potencial del carbón en el proceso de reducción del hierro, lo que podría eliminar gran parte de las emisiones de carbono. Por otro lado, la captura y almacenamiento de carbono (CAC) se está desarrollando como una solución para capturar las emisiones de CO₂ antes de que lleguen a la atmósfera, alimentándose de manera segura o utilizándose en otros procesos industriales. La adopción y escalamiento de estas tecnologías son indispensables para reducir al menos un 30% de las emisiones de la industria del acero para 2030, y alcanzar las emisiones netas cero en la industria del cemento para 2050 (Comisión de Transición Energética, 2018).

Mercados de materiales eficientes, La creación de mercados para materiales de construcción con bajas emisiones de carbono es esencial para acelerar la transición hacia una economía sostenible. Una de las iniciativas más destacadas en este ámbito es la Iniciativa de Descarbonización Industrial Profunda (IDDI),

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

lanzada en la COP26. Esta iniciativa busca movilizar la demanda de acero, cemento y hormigón producidos con bajas emisiones de carbono, utilizando el poder adquisitivo de los gobiernos para garantizar un mercado para estos productos. Al comprometerse a comprar materiales eficientes, los gobiernos envían una señal clara a la industria, incentivando la inversión en tecnologías y procesos de producción más limpios. Este tipo de mercados no solo ayudará a reducir las emisiones en los sectores del acero y cemento, sino que también promoverá la eficiencia y la competitividad en la industria, facilitando la transición hacia una economía baja en carbono (Comisión de Transición Energética, 2018).

Figura 6

Las emisiones mundiales de la producción de acero y cemento tendrán que disminuir en más de un 90% para 2050



Nota: Adaptado de “¿Cómo pueden el acero y el cemento impulsar la década de acción en el contexto del cambio climático?” Industrial analytics platform. (2014).

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

<https://iap.unido.org/es/articles/como-pueden-el-acero-y-el-cemento-impulsar-la-decada-de-accion-en-el-contexto-del-cambio>

El análisis de costos y tiempos en la construcción con macrofibras sintéticas, presentado por Álvarez Zuluaga y Silva Siempira (2020), es relevante para este proyecto, ya que muestra cómo estas fibras pueden ofrecer ventajas significativas en términos económicos y de eficiencia. Al comparar las macrofibras con las mallas electrosoldadas, se evidencia que las macrofibras no solo permiten una reducción de costos, sino que también optimizan el tiempo de ejecución del proyecto. Esto resulta clave tanto para la fabricación de los bloques prefabricados como para la propuesta de construcción rural en Bogotá.

Desde una perspectiva presupuestal, el uso de macrofibras reduce los costos directos en la construcción de los bloques prefabricados al eliminar la necesidad de mallas de acero. La adquisición y transporte de mallas electrosoldadas implica gastos adicionales que se evitan al integrar las macrofibras directamente en la mezcla de concreto. Esto simplifica el proceso de fabricación, ya que no se requiere una mano de obra especializada para la instalación del refuerzo de acero dentro de los moldes. El ahorro derivado de este cambio en los materiales, junto con la menor complejidad en la logística de producción, contribuye a una disminución global en los costos de construcción.

En términos de tiempo, la eliminación del paso de colocación de las mallas permite acelerar el proceso de producción de los bloques. Las macrofibras se mezclan con el concreto en el mismo proceso de dosificación, lo que acorta significativamente los tiempos de preparación y ensamble. Este ahorro en tiempo es esencial para la producción en serie de bloques, especialmente en proyectos que requieren una ejecución rápida. A su vez, este beneficio se refleja en la reducción de costos indirectos, como la menor necesidad de horas laborales y una mayor eficiencia en el uso de los recursos.

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

El estudio de Álvarez Zuluaga y Silva Siempira también señala que el uso de la metodología BIM (Building Information Modeling) es clave para gestionar adecuadamente los costos y tiempos de un proyecto. En este sentido, aplicar una herramienta como BIM en la planificación de la propuesta de rural permite realizar simulaciones detalladas y una planificación precisa. Esto ayuda a prever posibles retrasos y a optimizar la asignación de recursos, lo que refuerza la viabilidad económica de la construcción con macrofibras. Al evitar retrasos y maximizar la eficiencia en cada etapa de construcción, se garantiza una ejecución más rápida y económica del proyecto.

En resumen, la inclusión de macrofibras en la construcción de bloques prefabricados y en la propuesta de vivienda no solo tiene un impacto positivo en la sostenibilidad del proyecto, sino que también influye directamente en la viabilidad económica y en la optimización de los tiempos de construcción. La posibilidad de reducir costos en materiales y mano de obra, junto con la eficiencia en la ejecución, respalda la pertinencia de las macrofibras como una alternativa costo-efectiva para la construcción moderna en Colombia.

Tabla 7

Propuesta de cuadro comparativo en factibilidad

ELEMENTO	ACERO	MACROFIBRAS SINTÉTICAS
Costo de materiales	Alto	Medio
Costo de mano de obra	Alto	Bajo
Tiempo de instalación	Prolongado	Bajo
Costo de transporte y almacenamiento	Alto	Bajo
Durabilidad y mantenimiento	Medio	Alto
Total de costos directos	Alto	Medio
Total tiempos de ejecución	Lento	Rápido

Nota: Elaboración propia

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

El diseño de un prototipo de bloque con mezcla de cemento y poliestireno expandido (Camacho Velandia & Baquero Guerrero, 2022) proporciona una visión sobre la eficiencia en la construcción de bloques. Este estudio demuestra cómo el poliestireno expandido puede mejorar las propiedades físico-mecánicas del bloque, reduciendo tiempos de obra y costos, al tiempo que minimiza los impactos ambientales. La implementación de técnicas de modelación como Revit para la planificación y optimización de la construcción muestra cómo la integración de tecnología puede facilitar una construcción más eficiente y sostenible. Los resultados de este estudio refuerzan la viabilidad de nuestro enfoque al utilizar materiales innovadores y técnicas modernas para mejorar la eficiencia constructiva y reducir los costos, al mismo tiempo que se contribuye al reciclaje y la sostenibilidad.

Integrar estos enfoques en el desarrollo de nuestro bloque prefabricado permite abordar el proyecto desde una perspectiva integral. La comprensión de cómo las fibras influyen en las propiedades del concreto, los impactos ambientales del acero, la viabilidad económica de las macrofibras, y la eficiencia en el diseño de bloques proporciona una base sólida para desarrollar una solución constructiva más eficiente y sostenible. Los gráficos de análisis y los diagramas de conexión entre estos referentes han sido elaborados para visualizar cómo estos aspectos se interrelacionan y contribuyen al objetivo final del proyecto: reducir el impacto ambiental y mejorar la eficiencia en la construcción en mampostería reforzada.

El diseño del bloque prefabricado para el proyecto debe alinearse con la normativa vigente, especialmente en lo que respecta a la NSR-10 (Norma Sismo Resistente 2010) y la NTC 4026. El Título D de la NSR-10 establece las especificaciones y criterios de diseño para mampostería reforzada, asegurando que las construcciones sean sismo-resistentes y cumplan con los estándares de seguridad estructural en Colombia. Es fundamental que el diseño del bloque considere estos requisitos, garantizando la adecuada

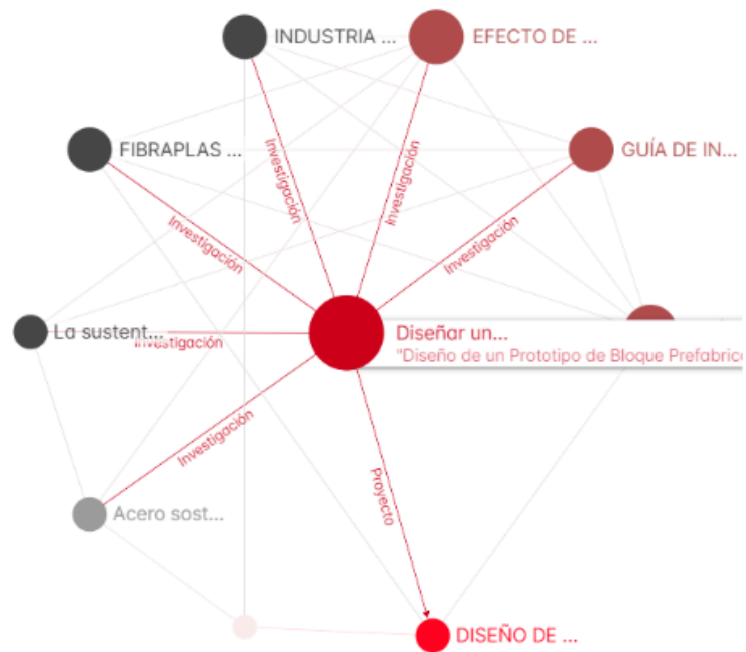
DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

integración de refuerzos que maximicen la resistencia estructural y la durabilidad del material en condiciones sísmicas.

Asimismo, la NTC 4026, que regula las especificaciones para la fabricación de bloques de concreto, será crucial en el desarrollo del prototipo. Esta norma especifica los parámetros que deben cumplir los bloques en términos de resistencia a la compresión, densidad, y durabilidad. La idea de respetar estas normativas no solo asegura que el bloque prefabricado cumpla con los estándares de calidad, sino que también facilita su aceptación en el mercado y su uso en proyectos de construcción.

Figura 7

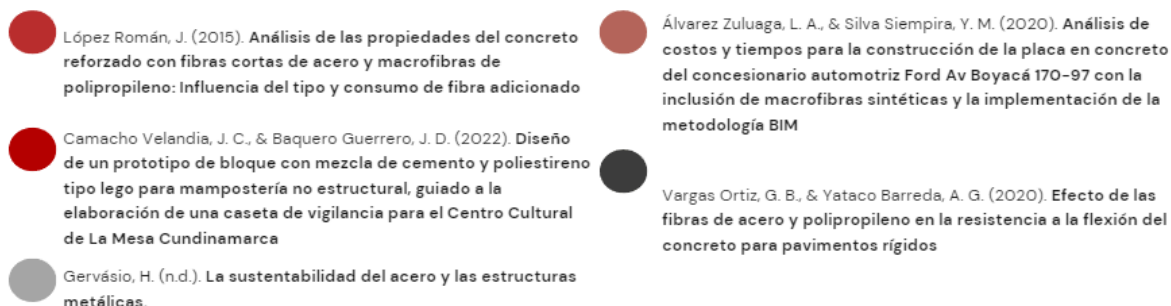
Análisis de conexiones de referentes encontrados como apoyo a este proyecto



Nota: Elaboración propia

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

Tomado de: <https://graphcommons.com/graphs/742b4046-1a97-473d-965b-3a6e51a3b24c>



López Román, J. (2015). Análisis de las propiedades del concreto reforzado con fibras cortas de acero y macrofibras de polipropileno: Influencia del tipo y consumo de fibra adicionado

Álvarez Zuluaga, L. A., & Silva Siempira, Y. M. (2020). Análisis de costos y tiempos para la construcción de la placa en concreto del concesionario automotriz Ford Av Boyacá 170-97 con la inclusión de macrofibras sintéticas y la implementación de la metodología BIM

Camacho Velandia, J. C., & Baquero Guerrero, J. D. (2022). Diseño de un prototipo de bloque con mezcla de cemento y poliestireno tipo lego para mampostería no estructural, guiado a la elaboración de una caseta de vigilancia para el Centro Cultural de La Mesa Cundinamarca

Vargas Ortiz, G. B., & Yataco Barreda, A. G. (2020). Efecto de las fibras de acero y polipropileno en la resistencia a la flexión del concreto para pavimentos rígidos

Gervásio, H. (n.d.). La sustentabilidad del acero y las estructuras metálicas.

Marco referencial

La investigación en el campo del concreto reforzado ha evolucionado significativamente en las últimas décadas, con un enfoque creciente en la incorporación de fibras como método para mejorar las propiedades mecánicas y la durabilidad del material. Una de las investigaciones más relevantes en este ámbito es la realizada por López Román (2015) "Análisis de las propiedades del concreto reforzado con fibras cortas de acero y macrofibras de polipropileno: influencia del tipo y consumo de fibra adicionado", donde exploró en profundidad el impacto de las fibras cortas de acero y las macrofibras de polipropileno en las propiedades del concreto. Este estudio se destaca por su enfoque experimental riguroso, en el que se fabricaron ocho mezclas de concreto con diferentes porcentajes volumétricos de fibras, utilizando agregados provenientes de los Estados de México e Hidalgo.

Las mezclas de concreto incluyeron una de referencia sin fibra y varias con adiciones de fibra de acero (0.5%, 0.75%, 1.0%) y macrofibra de polipropileno (0.25%, 0.5%, 0.75%, 1.0%). En el diseño de las mezclas, se consideraron parámetros clave como un revestimiento de 15 cm y una relación agua/cemento

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

de 0.5 para el concreto sin fibra. Además, se empleó un aditivo plastificante para mantener el revenimiento, asegurando así la consistencia en las propiedades reológicas de las mezclas.

Esta metodología permitió evaluar con precisión la influencia de las fibras en una variedad de propiedades tanto en estado fresco como endurecido, como el revenimiento, la masa volumétrica, el contenido de aire atrapado, la resistencia a compresión, la resistencia a tensión, la flexión, el impacto, y la abrasión .

Los resultados del estudio de López Román (2015) son reveladores en varios aspectos. Por un lado, se confirmó que la adición de fibras cortas de acero y macrofibras de polipropileno mejora ciertas propiedades del concreto, como la resistencia a las grietas por contracción plástica y la tenacidad. Estas mejoras son particularmente significativas en aplicaciones donde la durabilidad del material es crucial. Sin embargo, el estudio también reveló que la trabajabilidad del concreto disminuye a medida que se incrementa el contenido de fibras, un efecto que es más pronunciado en el caso de las fibras de acero. Este hallazgo subraya la importancia de equilibrar la dosificación de fibras para optimizar las propiedades mecánicas sin comprometer la manejabilidad del concreto durante el proceso de construcción .

En cuanto a la resistencia a compresión, los resultados indicaron que, a los 28 días, la incorporación de fibras de acero no produjo cambios significativos, mientras que las macrofibras de polipropileno lograron un ligero aumento en la resistencia. Este comportamiento diferencial sugiere que las macrofibras podrían ofrecer ventajas adicionales en situaciones donde la resistencia a compresión es un criterio de diseño crítico. Además, se observaron mejoras en la resistencia a cortante y abrasión con el uso de fibras de acero, aunque se destacó una mayor permeabilidad al agua con la incorporación de macrofibras. Estos resultados son fundamentales para el desarrollo de materiales de construcción más eficientes y duraderos, ya que

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

proporcionan una comprensión detallada de cómo las fibras pueden ser utilizadas para optimizar el rendimiento del concreto en diversas condiciones .

La relevancia de estos hallazgos se extiende al presente proyecto, que busca desarrollar un bloque de concreto prefabricado reforzado con macrofibras sintéticas como una alternativa sostenible para reducir la contaminación ambiental en la construcción en mampostería estructural. El análisis comparativo entre un concreto sin fibra y aquellos reforzados con diferentes tipos y porcentajes de fibra, como el realizado por López Román (2015), proporciona una base sólida para la comprensión de las ventajas y limitaciones del uso de fibras en el concreto. Este enfoque es especialmente valioso en la fase de diseño y prototipado del bloque prefabricado, donde es esencial lograr un equilibrio entre la resistencia, la durabilidad y la sostenibilidad del material, contribuyendo así a la reducción de la dependencia de refuerzos tradicionales como el acero y, en consecuencia, a la disminución de la contaminación ambiental asociada con su producción y uso.

En cuanto al impacto del acero en la construcción En su trabajo titulado La sustentabilidad del acero y las estructuras metálicas, Gervásio (s.f.) aborda los desafíos ambientales que enfrenta la industria del acero, un material que, aunque se considera "amigo del ambiente" debido a su capacidad de reciclaje, presenta impactos ambientales significativos. En particular, Gervásio destaca que la producción de acero mediante el proceso de alto horno genera aproximadamente 2.494 gramos de CO₂ por kilogramo de acero, mientras que el proceso de horno eléctrico de arco, más eficiente, emite solo 462 gramos de CO₂ por kilogramo y utiliza un mayor porcentaje de acero reciclado .

La industria siderúrgica, responsable de una gran parte de las emisiones industriales a nivel global, consume cantidades considerables de energía y recursos. Según Gervásio (s.f.), más de la mitad de estos

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

recursos se convierten en efluentes gaseosos y residuos sólidos, lo que representa un reto significativo para la sostenibilidad. A pesar de las ventajas del horno eléctrico de arco, como la menor producción de residuos y una mayor eficiencia energética, el proceso de alto horno sigue siendo predominante debido a la limitada disponibilidad de chatarra reciclada. Esto subraya la necesidad de una transición hacia prácticas más eficientes dentro de la industria del acero para reducir su huella ecológica.

Estos aspectos son especialmente relevantes para la industria de la construcción, que es uno de los mayores consumidores de acero y, por lo tanto, uno de los principales contribuyentes a sus impactos ambientales. Gervásio (s.f.) sugiere que, a pesar de los desafíos ambientales del acero, sus propiedades permiten una optimización eficaz de recursos, contribuyendo a una construcción más racional y eficiente desde el punto de vista ambiental. En el contexto del presente proyecto, que busca reducir la dependencia de refuerzos de acero mediante el desarrollo de bloques de concreto prefabricado reforzados con macrofibras sintéticas, la reducción del uso de acero podría mitigar parte del impacto ambiental asociado con la construcción, alineándose con los objetivos de sostenibilidad a largo plazo .

La industria de la construcción tiene la responsabilidad de reducir su significativo impacto ambiental para proteger a las futuras generaciones. A través de la eficiencia en materiales y técnicas constructivas, como las exploradas en este proyecto, es posible avanzar hacia un modelo de construcción más sostenible que optimice el uso de recursos y minimice las emisiones. La combinación de materiales tradicionales con tecnologías más eficientes, como el concreto reforzado con macrofibras sintéticas, puede representar una solución viable para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de las estructuras construidas.

En el estudio titulado Análisis de costos y tiempos para la construcción de la placa en concreto del concesionario automotriz Ford Av Boyacá 170-97 con la inclusión de macrofibras sintéticas y la

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

implementación de la metodología BIM, Álvarez Zuluaga y Silva Siempira (2020) examinan la viabilidad económica y técnica de emplear macrofibras sintéticas como una alternativa eficientes a las mallas electrosoldadas en proyectos de construcción. Este trabajo aborda la necesidad de una gestión eficiente de materiales y recursos en la construcción, con el objetivo de minimizar el impacto ambiental y prolongar la vida útil de las estructuras. Las macrofibras sintéticas, que mejoran la resistencia, la tenacidad y reducen la fisuración del concreto, son evaluadas no sólo en términos de rendimiento técnico, sino también en cuanto a su impacto en los costos y tiempos de ejecución del proyecto.

El análisis presentado por Álvarez Zuluaga y Silva Siempira (2020) se centra en la construcción de una placa en concreto para un concesionario automotriz, donde se comparan los costos y beneficios de utilizar macrofibras sintéticas frente a las tradicionales mallas electrosoldadas. Según los autores, la implementación de macrofibras sintéticas no solo reduce la fisuración y mejora la durabilidad del concreto, sino que también ofrece ventajas económicas significativas. El estudio revela que tres de las cinco macrofibras evaluadas permiten un ahorro promedio de 1.18% en comparación con las mallas electrosoldadas. Además, el uso de macrofibras, como las de Fibraplas Concrete y SikaFiber, contribuye a una reducción en el tiempo de ejecución del proyecto en dos días, lo que se traduce en un ahorro directo de aproximadamente diez millones de pesos. Estas macrofibras cumplen con las normas internacionales de calidad, como la Norma Internacional ASTM C-1116-10 Tipo 3 y la Norma NSR 10, lo que refuerza su idoneidad como reemplazo de las mallas electrosoldadas en aplicaciones estructurales. Sin embargo, es importante destacar que algunas macrofibras, aunque cumplen con los requisitos técnicos, tienen un costo más elevado debido a su origen importado, lo que resalta la necesidad de una selección cuidadosa del tipo de macrofibra a utilizar, considerando tanto las especificaciones técnicas del proyecto como las condiciones económicas y de mercado .

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

La implementación de la metodología BIM (Building Information Modeling) es otro aspecto crucial discutido en la investigación de Álvarez Zuluaga y Silva Siempira (2020). El BIM permite una gestión más eficiente y coherente de los proyectos de construcción al integrar y optimizar los costos, tiempos y materiales desde la fase de diseño hasta la ejecución. Esta metodología facilita una visión integral del proyecto, lo que permite identificar y mitigar riesgos potenciales, optimizar el uso de recursos y mejorar la coordinación entre los diferentes equipos de trabajo. En el contexto del estudio, la aplicación del BIM fue fundamental para evaluar de manera precisa el impacto de las macrofibras en la reducción de costos y tiempos, así como para asegurar que el diseño del proyecto cumpliera con los estándares de sostenibilidad y eficiencia requeridos .

Los hallazgos de Álvarez Zuluaga y Silva Siempira (2020) son particularmente relevantes para el presente proyecto, que busca desarrollar bloques de concreto prefabricado reforzados con macrofibras sintéticas como una solución sostenible para la construcción en Colombia. La evidencia aportada por este estudio destaca los beneficios potenciales de las macrofibras sintéticas, no sólo en términos de mejora de

las propiedades mecánicas del concreto, sino también en la reducción de costos y tiempos de construcción. Además, la integración de la metodología BIM subraya la importancia de utilizar herramientas tecnológicas avanzadas para lograr una gestión más eficiente y sostenible de los proyectos constructivos. Estos aspectos son esenciales para avanzar hacia un modelo de construcción más responsable y alineado con los objetivos globales de sostenibilidad.

El referente más enfocado al prototipo es, Diseño de un prototipo de bloque con mezcla de cemento y poliestireno tipo lego para mampostería no estructural, guiado a la elaboración de una caseta de vigilancia para el Centro Cultural de La Mesa Cundinamarca, Camacho Velandia y Baquero Guerrero (2022),

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

guiado a la elaboración de una caseta de vigilancia para el Centro Cultural de La Mesa Cundinamarca, Camacho Velandia y Baquero Guerrero (2022) desarrollan una solución eficiente para abordar la inseguridad en el Municipio de La Mesa, Cundinamarca, mediante la construcción de una caseta de vigilancia. La investigación, que combina enfoques cuantitativos y cualitativos, propone el uso de bloques ensamblables fabricados con una mezcla de cemento y poliestireno expandido. Estos bloques no solo mejoran las características físico-mecánicas del material, sino que también reducen los tiempos de obra y minimizan los impactos ambientales en comparación con los bloques convencionales de arcilla.

La metodología del proyecto se basa en ensayos de laboratorio y en el cumplimiento de normativas técnicas colombianas, lo que garantiza la calidad y la sostenibilidad del producto final. Además, el uso de poliestireno expandido como agregado en la mezcla de cemento ofrece beneficios adicionales, como el reciclaje de un material comúnmente considerado como residuo, contribuyendo así a la reducción del impacto ambiental. Este enfoque se alinea con los objetivos de desarrollo sostenible, particularmente en las áreas de industria, eficiencia e infraestructura, y demuestra cómo la ingeniería civil puede ofrecer soluciones eficientes, éticas y responsables para la comunidad.

El análisis de Camacho Velandia y Baquero Guerrero (2022) también subraya la importancia de utilizar herramientas tecnológicas avanzadas, como el software REVIT, para la modelación y planificación del proyecto. La implementación de este software facilita la optimización de la construcción y permite un ahorro significativo en el presupuesto. Los resultados obtenidos muestran que los bloques ensamblados con poliestireno expandido afectan la resistencia a la compresión, aunque cumplen con los estándares de absorción de agua. Esta combinación de eficiencia tecnológica y materiales eficientes demuestra el

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

potencial de los bloques de cemento y poliestireno como una alternativa viable para proyectos de mampostería no estructural.

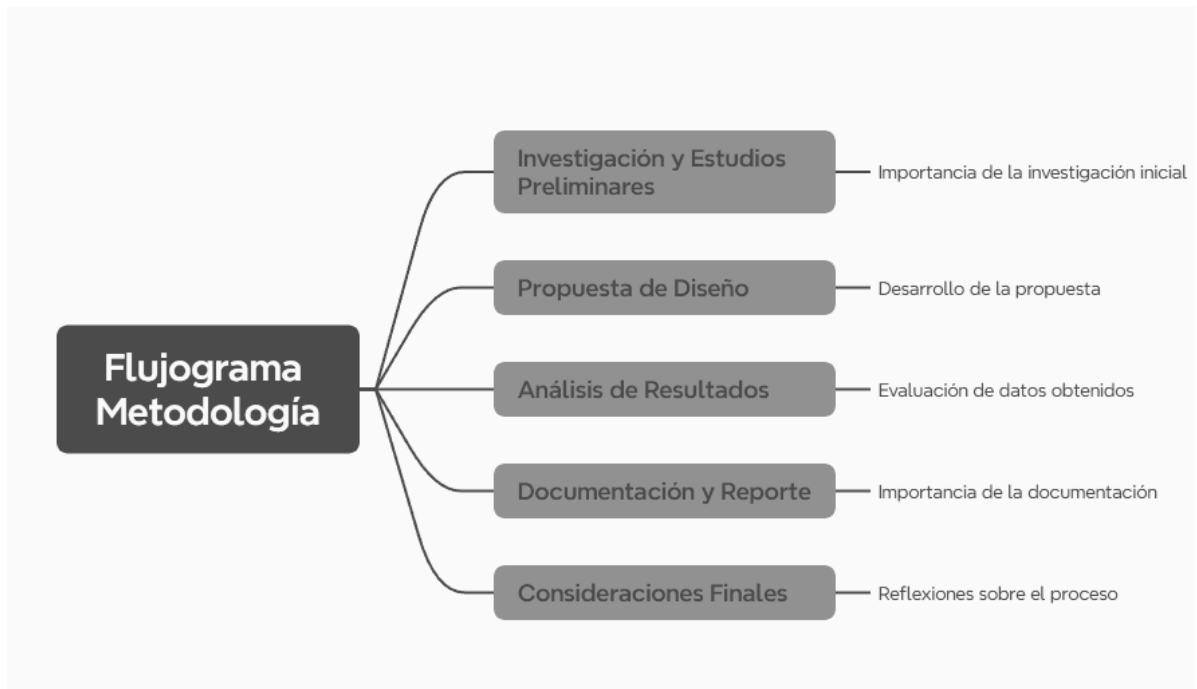
La aplicación de estos conceptos es especialmente relevante para el desarrollo de mi proyecto, que busca crear bloques prefabricados de concreto reforzado con macrofibras sintéticas como una solución sostenible para la construcción en Colombia. Al igual que en el estudio de Camacho Velandia y Baquero Guerrero (2022), la integración de materiales reciclados y tecnologías de construcción avanzada puede ofrecer mejoras significativas en términos de eficiencia, costos y sostenibilidad. La metodología aplicada en su proyecto proporciona un marco valioso para el desarrollo y la implementación de soluciones constructivas eficientes que respondan a las necesidades de la sociedad contemporánea.

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

Metodología

Figura 8

Flujograma metodología



Nota: Elaboración propia

En el enfoque de investigación para este proyecto, se opta por un estudio experimental con un análisis comparativo. Este enfoque es particularmente adecuado dado que se pretende evaluar y comparar el rendimiento de diferentes mezclas de concreto y tipos de refuerzos. El paradigma cuantitativo es el más apropiado para este estudio debido a que se buscan resultados medibles y objetivos sobre las propiedades del concreto reforzado con fibras sintéticas frente al uso de varilla. Este enfoque permitirá una evaluación

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

precisa de las diferencias en resistencia, densidad y otros atributos importantes, proporcionando datos claros que sustentan las conclusiones del proyecto.

Investigación y Estudios Preliminares

El propósito de la investigación y los estudios preliminares es establecer una comprensión sólida de las propiedades de las macrofibras en el concreto y su viabilidad en aplicaciones constructivas. A través de una revisión exhaustiva de la literatura existente y un análisis comparativo de diferentes tipos de macrofibras, se busca identificar cómo estos aditivos pueden mejorar la resistencia y durabilidad del concreto. Este enfoque no solo permite conocer las ventajas técnicas de las macrofibras, sino que también contextualiza su uso en la industria de la construcción, destacando su impacto potencial en la reducción de costos y en la mejora del rendimiento del concreto en diversas aplicaciones, como pavimentos y estructuras de soporte.

Propuesta de Diseño

La propuesta de diseño tiene como objetivo desarrollar un prototipo de bloque prefabricado de concreto reforzado con macrofibras, basándose en los hallazgos obtenidos durante la fase de investigación. Este proceso incluye la creación de la planimetría del bloque y la determinación de la dosificación óptima del concreto. La propuesta también contempla la realización de ensayos de resistencia para asegurar que el diseño del bloque cumple con los requisitos estructurales y funcionales necesarios. Adicionalmente, se sugieren estudios adicionales para explorar el uso de macrofibras en otros contextos constructivos, proporcionando una base para la implementación y mejora continua del diseño en futuros proyectos.

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

Análisis de Resultados

El diseño experimental de la investigación se llevará a cabo en los laboratorios de ingeniería de la Universidad La Gran Colombia. El estudio implica el ensayo de dos tipos de muestras de concreto reforzado: una con fibras sintéticas y otra con varilla. Estos ensayos se centrarán en evaluar la resistencia a compresión, peso, densidad y resistencia a la humedad, con mediciones realizadas a los 11 y 28 días. Además, se diseñará una formaleta para las diferentes tipologías del bloque propuesto. Esta formaleta permitirá la fundición de bloques a escala para evaluar aspectos como traslapes, forma y estética. El diseño de la mezcla, incluyendo su dosificación, será esencial para garantizar que los bloques cumplan con los requisitos técnicos y estéticos. Los resultados de estos ensayos permitirán una evaluación detallada de la efectividad de cada tipo de refuerzo y mezcla, lo que se complementará con un análisis exhaustivo de costos y presupuestos para determinar la viabilidad económica de las alternativas propuestas.

El propósito del análisis de resultados es interpretar y evaluar los datos obtenidos de las pruebas realizadas en las muestras de concreto con macrofibras. Este análisis incluye una evaluación estadística detallada para identificar diferencias significativas en las propiedades mecánicas y de durabilidad entre los bloques con macrofibra y los de control. A partir de estos resultados, se desarrollan recomendaciones para la implementación de macrofibras en proyectos de construcción, basadas en las mejoras observadas en la resistencia y vida útil del concreto. El análisis proporciona una base para validar la efectividad de las macrofibras como una alternativa sostenible en la construcción.

Documentación y Reporte

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

La documentación y el reporte final tienen como propósito recopilar y presentar de manera formal todos los datos, análisis y conclusiones del proyecto. Esto incluye la elaboración de un informe detallado que abarque la introducción, metodología, resultados, discusión y conclusiones del estudio. Además, se prepara una presentación visual para comunicar los hallazgos a las partes interesadas y a la comunidad científica. Esta fase es crucial para garantizar que los resultados del proyecto sean accesibles y comprensibles, facilitando la difusión del conocimiento y la discusión sobre las implicaciones y aplicaciones prácticas de las macrofibras en la construcción.

La metodología comparativa se implementará para analizar cómo se comportan las diferentes mezclas de concreto y tipos de refuerzos bajo las mismas condiciones experimentales. En este proceso, se compararon las propiedades del concreto reforzado con fibras sintéticas versus el concreto reforzado con varilla, evaluando sus ventajas y desventajas en términos de resistencia, durabilidad y coste. Las técnicas de análisis incluirán la medición de parámetros técnicos y la realización de un análisis de costos y beneficios.

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

CAPÍTULO 1: Desarrollo del bloque prefabricado

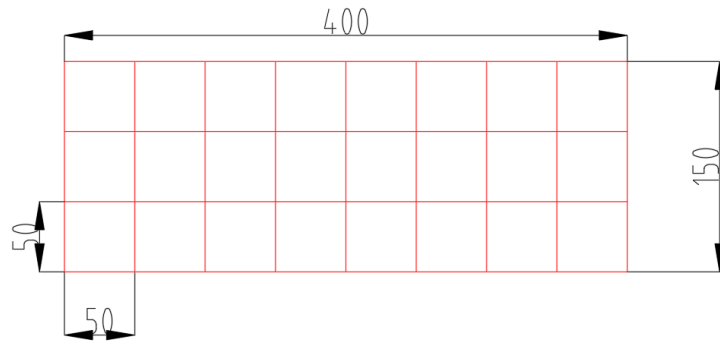
Composición de diseño

Este bloque de concreto reforzado con macrofibras sintéticas presenta un diseño innovador, inspirado en un bloque tradicional, pero con dos cortes adicionales en la parte superior que permiten un traslape eficiente entre piezas. La inclusión de estos cortes facilita un mejor anclaje entre los bloques, incrementando la estabilidad estructural del muro. Este bloque, con unas dimensiones de 40 x 15 x 20 cm, está diseñado para ser versátil: puede ser cortado tanto vertical como horizontalmente en su parte central, lo que lo convierte en una opción ideal para remates en esquinas y finales de muros. La capacidad de realizar cortes precisos sin comprometer su integridad estructural permite adaptarse a diversos ajustes y necesidades constructivas, optimizando tanto el tiempo de instalación como la cantidad de material necesario. Desde una perspectiva de diseño, la combinación de un formato estandarizado con detalles que facilitan la adaptabilidad y el refuerzo mediante macrofibras sintéticas lo posiciona como una solución moderna y eficiente para construcciones de bajo costo, como es el caso de viviendas rurales, donde la durabilidad, el costo y la facilidad de construcción son prioritarios. Este enfoque innovador también mejora la resistencia a fuerzas como la tracción y la compresión en comparación con los estándar.

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

Figura 9

Retícula de diseño

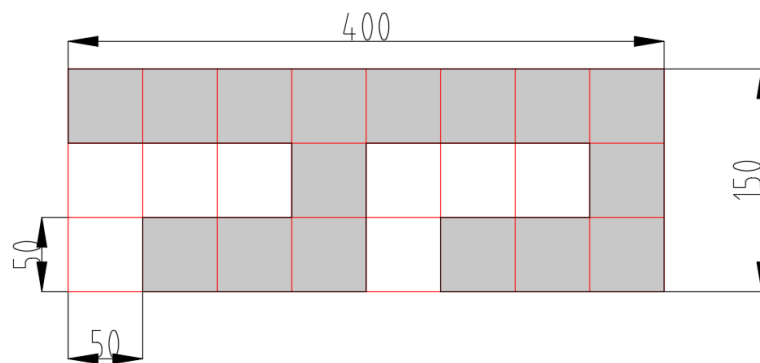


Nota: Elaboración propia

El bloque se desarrolla utilizando una retícula compuesta por módulos de 50x50 mm, como se muestra en la figura, con el propósito de lograr un diseño modular que optimice su adaptación y versatilidad en sistemas constructivos estandarizados.

Figura 10

Retícula del bloque



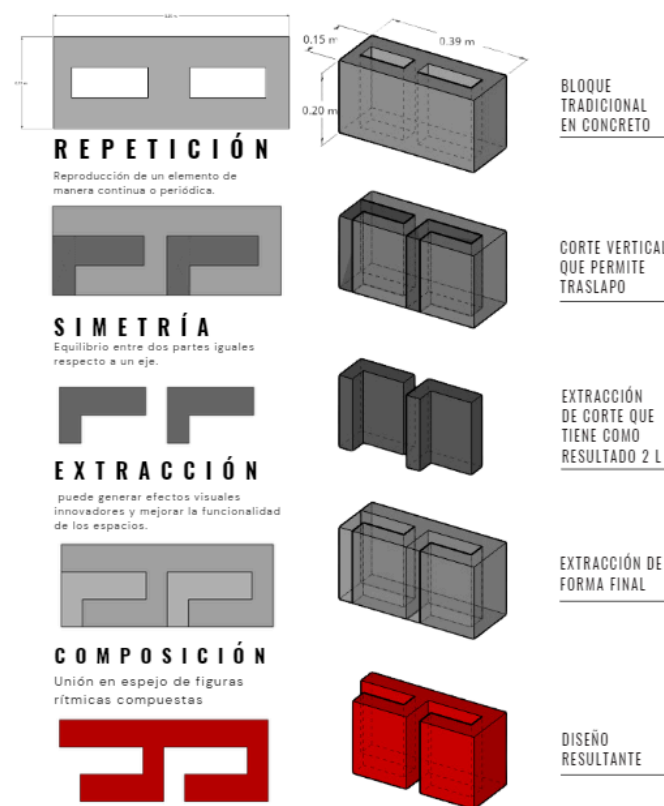
Nota: Elaboración propia

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

La retícula, marcada con líneas rojas, organiza el bloque en una estructura ordenada con dimensiones generales de 400 mm de largo por 150 mm de alto. Los módulos de la retícula definen las proporciones y posicionamiento de las áreas macizas (en gris) y las cavidades interiores del bloque. Este diseño modular asegura precisión y uniformidad en el bloque, permitiendo compatibilidad con sistemas constructivos y facilitando su producción en serie.

Figura 11

Elementos de composición



Nota: Elaboración propia

Tomado de: <https://www.canva.com/design/DAGP0najcwY/xF9wk46XDLihjNF0uyn2mg/edit>

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

CAPÍTULO 2: Diseño de traslapo

El estilo abstracto que caracteriza gran parte del arte indígena de América Latina se refleja en la simplicidad y la repetición de las formas geométricas. Lejos de representar objetos o figuras de manera literal, los artistas indígenas recurren a formas abstractas para simbolizar flujos energéticos, como el agua, el viento o las fuerzas invisibles del universo. Estos patrones, que pueden parecer sencillos a primera vista, poseen una gran carga simbólica y espiritual.

El minimalismo de los diseños, que muchas veces se basa en la repetición de un mismo motivo en bloques o en la superposición de formas geométricas, permite transmitir la idea de que todo en el universo está interrelacionado y que, al igual que en los tejidos, cada hilo forma parte de un todo mayor. El concepto de traslapo es clave aquí: las formas geométricas se colocan una sobre otra o se combinan de manera armoniosa, reflejando la idea de que las energías naturales, espirituales y humanas no existen de manera aislada.

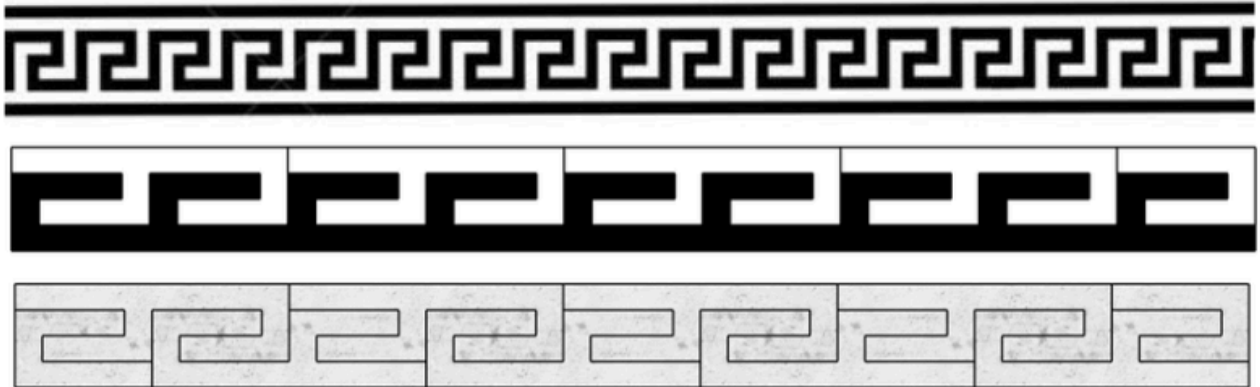
En este sentido, el uso de patrones repetitivos y el traslapo de bloques geométricos son una metáfora visual de la interconexión entre las diferentes dimensiones de la vida. Cada tribu tiene sus propios motivos y estilos, pero el uso de estas formas abstractas es un lenguaje común que atraviesa.

Aunque los estilos varían de una tribu a otra, el uso de patrones geométricos en el arte indígena de América Latina es una característica compartida que habla de una profunda conexión con la naturaleza y el mundo espiritual. En los pueblos que habitan la Amazonia, por ejemplo, los diseños que se ven en las cerámicas o en las pinturas corporales a menudo representan la energía vital que fluye a través de los animales, las plantas y los seres humanos, mientras que en las culturas de los Andes, estos patrones están más vinculados al ciclo agrícola y la relación con las deidades de la tierra y el cielo.

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

Figura 12

Tribales indígenas



Nota: Elaboración propia

Tomado de: <https://www.canva.com/design/DAGP0najcwY/xF9wk46XDLihjNF0uyn2mg/edit>

Concepto de Unión Modular

Cada tipología de bloque (A, B, y C) ha sido diseñada con un sistema de encaje "hembra-macho" que permite que los bloques se traslapan tanto en sentido vertical como horizontal. Este sistema asegura un amarre más compacto entre los bloques, mejorando la estabilidad y rigidez del muro. El eje central de cada bloque actúa como un conector, permitiendo una integración perfecta en cada traslape y creando una estructura sólida que distribuye las cargas de manera uniforme.

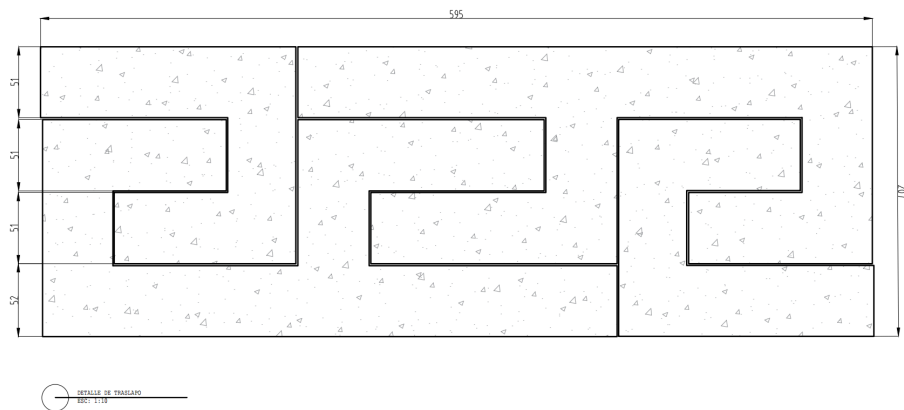
El sistema de traslape ha sido concebido para maximizar el uso del material, garantizando al mismo tiempo que los bloques encajan con precisión dentro de las tolerancias establecidas por la norma. Esto no

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

solo mejora la calidad del ensamblaje y la alineación de los muros, sino que también facilita el proceso de construcción, reduciendo tiempos y costos.

Figura 13

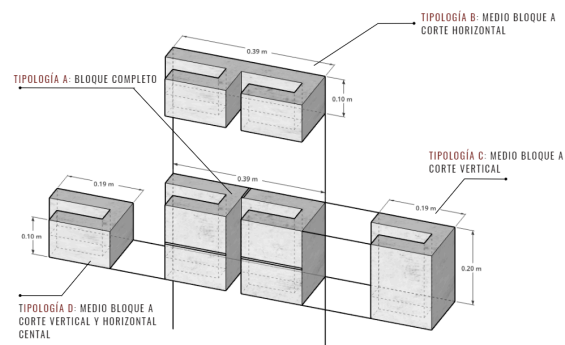
Plano de traslapo



Nota: Elaboración propia

Tipologías

Figura 14 *Tipologías*



Nota: *Elaboración propia*

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

Formación del Muro con Traslapes Repetidos

Cuando se utiliza este sistema en un muro completo, el juego de traslapes genera una malla estructural compacta que refuerza la integridad del muro. Visualmente, el traslape de las tipologías crea un patrón dinámico de líneas y formas, aportando ritmo y textura a la fachada del muro. Este patrón modular no solo es estéticamente agradable, sino que también responde a las exigencias normativas al garantizar la correcta distribución de fuerzas y refuerzos.

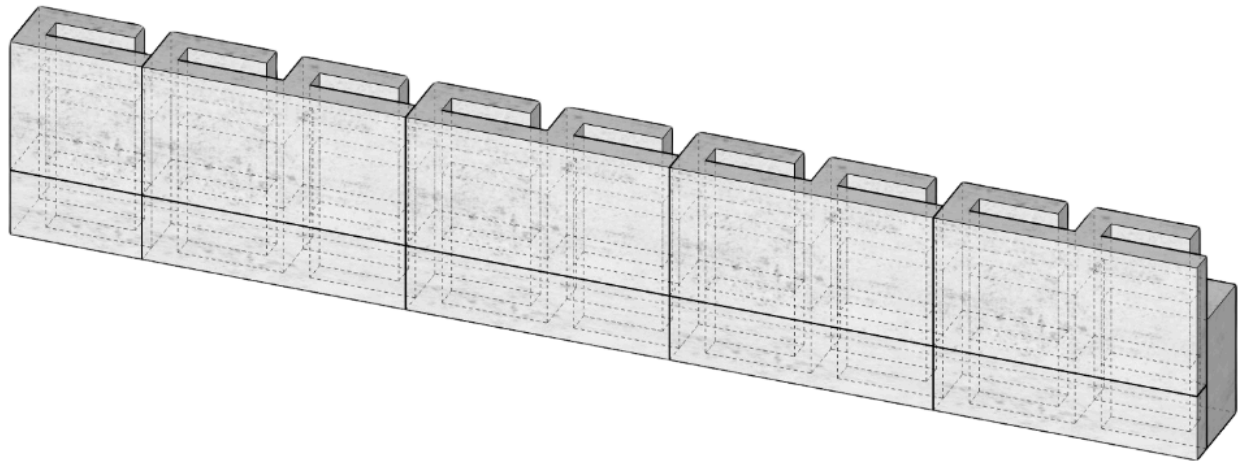
El traslape continuo de bloques en el muro permite una distribución homogénea de las cargas, mejorando la resistencia a la compresión y absorbiendo posibles tensiones gracias a su diseño de encaje. Además, al alternar la disposición de los bloques A, B y C, se pueden generar distintas configuraciones de muros, adaptándose a las necesidades específicas del proyecto, ya sea para mejorar la ventilación, la iluminación natural, o simplemente crear un efecto estético distintivo.

Estética y Funcionalidad

El diseño de estos bloques se realizó teniendo en cuenta las medidas establecidas por las normas de construcción para garantizar un ajuste preciso y una construcción eficiente. La posibilidad de formar traslapes tanto verticales como horizontales mediante un sistema hembra-macho ofrece una solución constructiva robusta y versátil. Esta propuesta no solo se centra en la estabilidad y seguridad del muro, sino que también proporciona una solución estética única, donde la repetición y el orden de los bloques generan una estética moderna y atractiva.

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

Figura 15 *Composición para muro*



Nota: Elaboración propia

Modulación

El método de pared terminada es un sistema constructivo integral que utiliza bloques de concreto reforzados, como el FiberBlock, para levantar muros de manera eficiente, organizada y práctica. Este método se caracteriza por permitir la integración de todos los elementos estructurales y de instalaciones del muro (columnas, vigas, ductos y aberturas) durante el proceso de construcción, eliminando la necesidad de realizar trabajos adicionales posteriormente.

El sistema se fundamenta en el uso de componentes y bloques reforzados específicos, como el FiberBlock, que al emplearse correctamente contribuyen a una reducción notable en los costos de construcción. Esto se debe a las características propias del sistema, que permiten optimizar recursos y acelerar el tiempo de ejecución en obra.

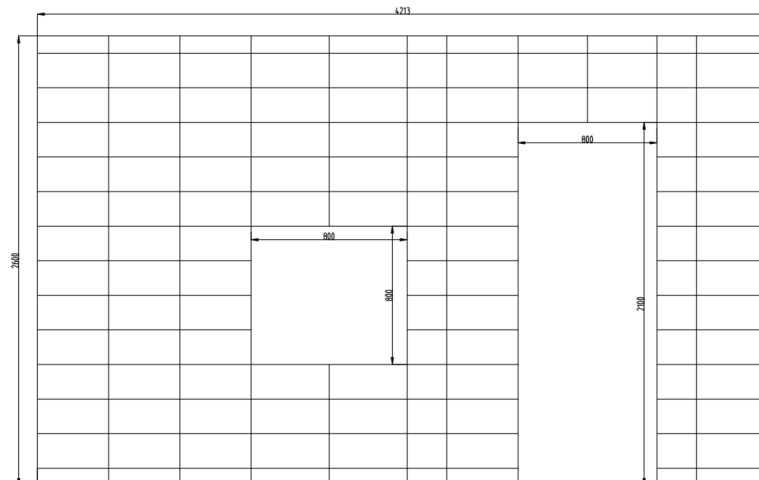
DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

Al planificar la distribución del edificio, se recomienda utilizar una malla modular de 20 cm a escala 1:50. Esto facilita definir con precisión las unidades de la primera y segunda hilada, así como los espacios para puertas y ventanas.

En este proyecto, se ha diseñado la planta utilizando una grilla de 20 cm x 20 cm, donde se ha dibujado cada bloque de la primera hilada, incluyendo las juntas verticales. Este enfoque permite verificar que no se produzcan cortes indebidos y asegura que las aberturas para puertas y ventanas tengan un ancho múltiplo de 20 cm. Cabe destacar que los tabiques no portantes se vinculan a los muros portantes mediante una junta vertical continua, evitando el trabajo en estas uniones, como se detalla más adelante.

Figura 16

Modulación de muro



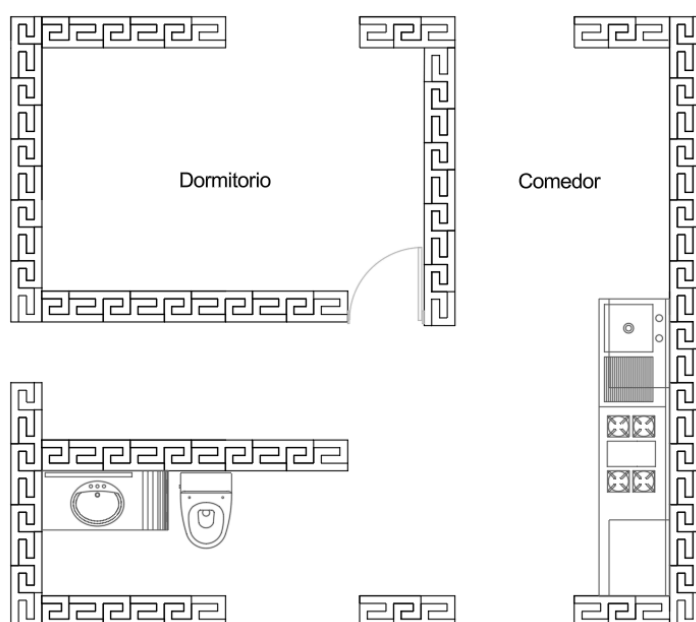
Nota: Elaboración propia

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

El desarrollo previo del esquema para la segunda hilada es igualmente crucial, ya que permite prever el desplazamiento de los bloques y la inclusión de medios bloques si se opta por una junta trabada verticalmente, optimizando así el diseño y la ejecución del muro.

Figura 17

Modulación en planta



Nota: Elaboración propia

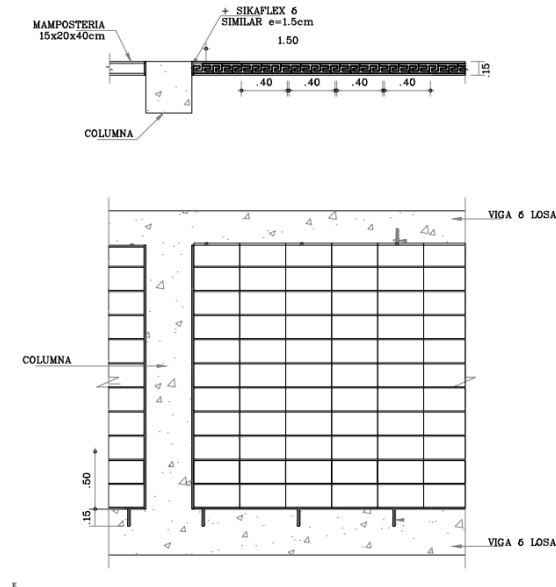
Adicionalmente, el método de pared terminada con bloques reforzados como el FiberBlock permite una mayor uniformidad en la estructura final, mejorando el rendimiento del muro tanto en términos de capacidad portante como de aislamiento térmico y acústico. La disposición precisa de los bloques y la integración de elementos estructurales desde el inicio del proceso constructivo contribuyen a minimizar

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

errores y retrabajos, incrementando la productividad en obra. Además, el uso de este sistema facilita la compatibilidad con distintos tipos de acabados, reduciendo el grosor necesario para enlucidos y revestimientos, lo que se traduce en una superficie más lisa y uniforme, lista para recibir acabados finales con menos preparación. Esta metodología es especialmente ventajosa en proyectos de construcción en serie o en edificaciones de interés social, donde el tiempo y el costo de ejecución son factores críticos.

Figura 18

Plano detalle estructural



Nota: Elaboración propia

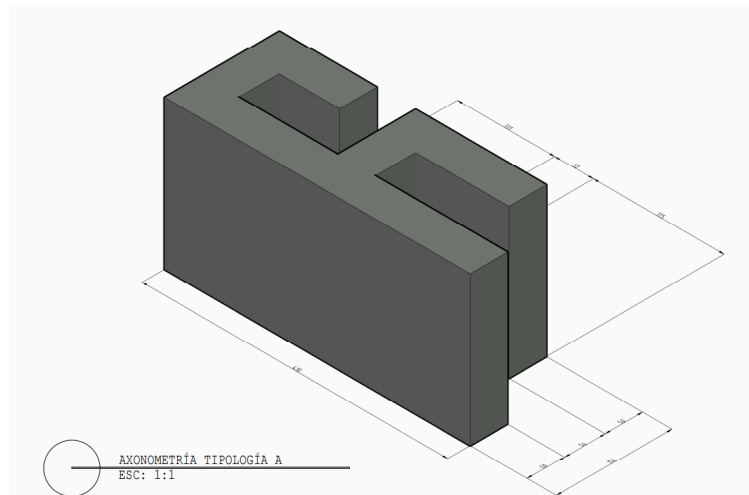
Este tipo de bloque permite una construcción más eficiente, ya que no requiere la colocación de varillas de acero o estribos, simplificando el proceso de armado y reduciendo los tiempos de construcción. A nivel estructural, los bloques de fibra cumplen con los requisitos de resistencia y durabilidad, ofreciendo un comportamiento adecuado frente a cargas tanto estáticas como dinámicas

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

CAPÍTULO 3: Planimetría técnica

Figura 19

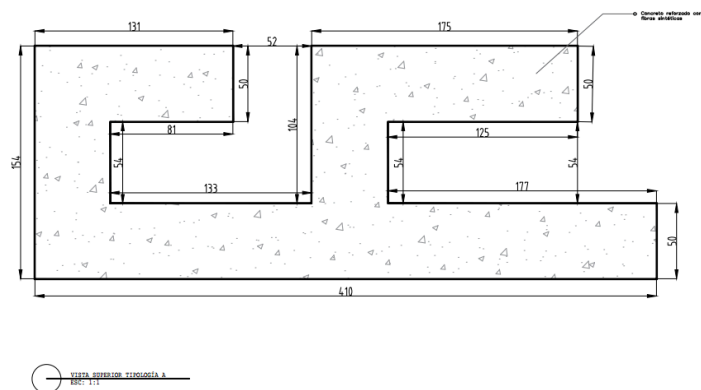
Axonometría de bloque



Nota: Elaboración propia

Figura 20

Plano vista superior bloque

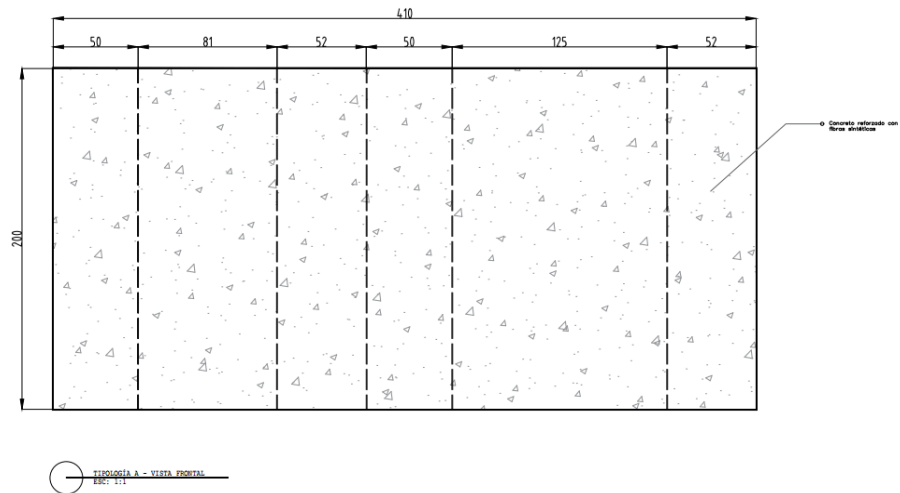


Nota: Elaboración propia

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

Figura 21

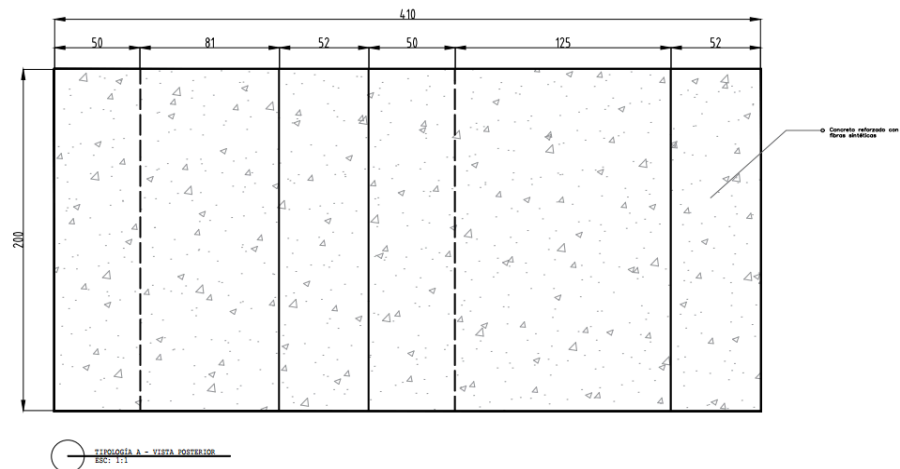
Plano de vista frontal bloque



Nota: Elaboración propia.

Figura 22

Plano de vista posterior bloque

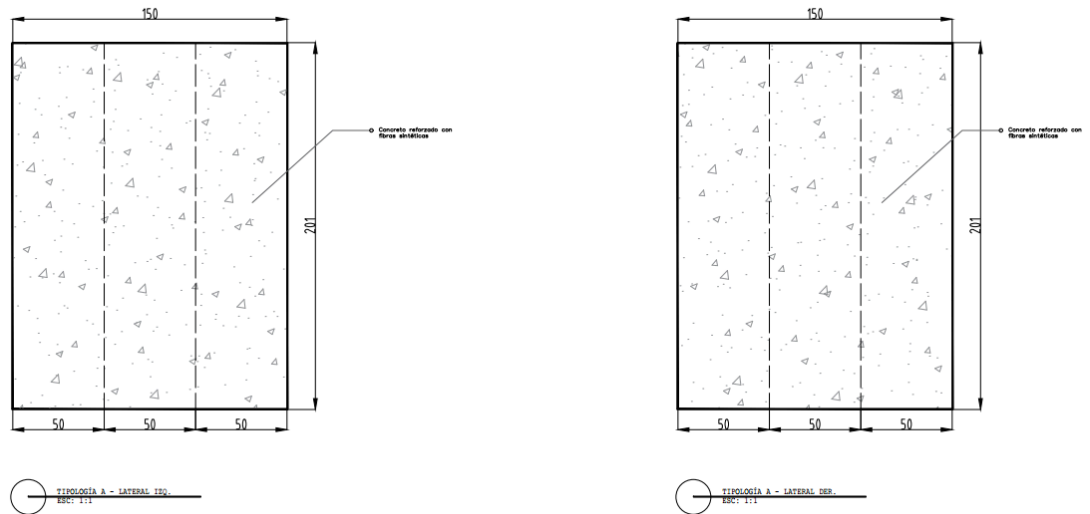


Nota: Elaboración propia

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

Figura 23

Plano de vistas laterales bloque



Nota: Elaboración propia

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

CAPÍTULO 4: Diseño de la mezcla

La mezcla de concreto con una proporción de 4 partes de arena con grava por 1 parte de cemento, además de un 0.5% de fibra sintética, se considera una opción ideal para la fabricación de bloques de concreto estándar

La adición de la fibra sintética al 0.5% tiene como objetivo proporcionar un refuerzo equilibrado, mejorando la resistencia a la tracción del bloque y reduciendo la posibilidad de formación de grietas o fisuras. Esta fibra actúa distribuyendo mejor las tensiones dentro del material, lo que mejora la capacidad de absorción de cargas sin comprometer.

La mezcla sin la fibra ya es eficiente, logrando una resistencia de aproximadamente 2700 psi (189 kg/cm² o 11 MPa), dentro de las especificaciones generales para bloques de concreto estándar. Sin embargo, la incorporación de las fibras sintéticas mejora el comportamiento del concreto frente a tensiones de flexión y cargas dinámicas, logrando una mayor durabilidad y resistencia frente a las demandas típicas.

Esta combinación de cemento, agregados y fibras resulta ideal no sólo para proporcionar la resistencia y estabilidad necesarias, sino también para optimizar la trabajabilidad de la mezcla y garantizar un proceso de fabricación eficiente. Además, se obtiene una compactación adecuada que reduce la porosidad, mejorando la resistencia del bloque.

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

Tabla 8
Diseño de mezcla

MEZCLA		RESISTENCIA	
1-2-2-0,5	189 KG/CM3	2700 PSI	11 MPA

Nota: Elaboración propia

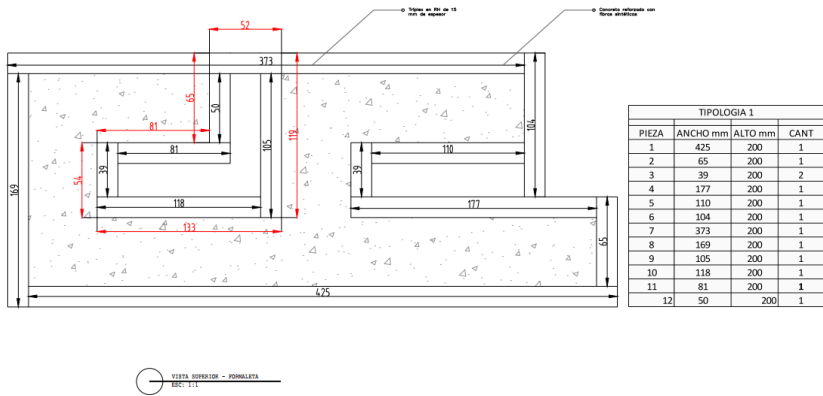
CAPÍTULO 5: Elaboración del prototipo

Elaboración de la formaleta

Se construyó una formaleta utilizando triplay de 15 mm de espesor en RH, material resistente a la humedad y adecuado para soportar el peso y la presión del concreto durante el vaciado y fraguado. Esta formaleta garantiza que el bloque adquiera la forma y las dimensiones precisas.

Figura 24

Plano de formaleta



Nota: Elaboración propia

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

Figura 25 *Formaleta*



Nota: Elaboración propia

Preparación de la mezcla

Se mezclaron 4 partes de arena y grava por 1 parte de cemento, junto con un 0,5% de fibra sintética para reforzar el bloque. La mezcla se trabajó hasta lograr una consistencia homogénea, asegurando la correcta distribución de las fibras.

Figura 26 *Mezcla*



Nota: Elaboración propia

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

Fundida del concreto

La mezcla fue vertida en la formaleta, cuidando de eliminar posibles burbujas de aire a través de vibración y compactación, lo que garantiza una estructura densa y sólida.

Figura 27 *Fundición*



Nota: Elaboración propia

Secado y fraguado

El bloque fue dejado a reposar en la formaleta durante el tiempo necesario para el fraguado y secado del concreto, permitiendo que el material adquiriera su resistencia estructural óptima.

Figura 28 *Secado*



DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

Nota: Elaboración propia

Prototipo final

Después del proceso de secado, se retiró la formaleta para obtener el bloque de concreto reforzado con fibras sintéticas. El prototipo final fue evaluado para verificar que cumpliera con los estándares de resistencia y calidad requeridos.

Figura 29 *Prototipo final*



Nota: Elaboración propia

Acabados arquitectónicos

Se desarrolló un muestrario de colores y texturas para los acabados arquitectónicos del bloque, utilizando la misma composición de la mezcla base. Este muestrario permite ofrecer opciones estéticas que conservan la uniformidad y calidad del material, posibilitando que el bloque sea dejado a la vista cuando así lo desee el cliente. Dichos acabados no alteran las propiedades estructurales ni funcionales del bloque, garantizando su desempeño óptimo en aplicaciones de mampostería estructural mientras se adapta a requisitos estéticos y arquitectónicos específicos.

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

Figura 30

Acabados arquitectónicos



Nota: Elaboración propia

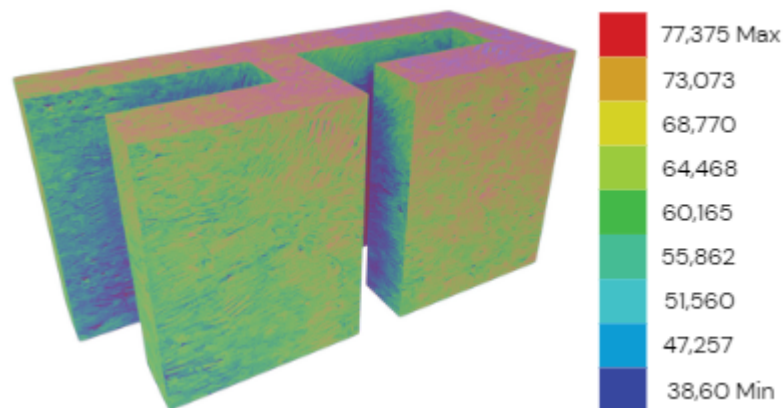
Como parte del desarrollo de los acabados arquitectónicos del bloque, se realizaron nueve muestras combinando diferentes estampados y cuatro opciones de color: azul, verde, rojo y amarillo. Este proceso permitió generar un catálogo versátil de diseños que conservan la funcionalidad estructural del bloque, ofreciendo a los clientes la posibilidad de utilizarlo a la vista con acabados personalizados y estéticamente atractivos, sin comprometer su desempeño técnico.

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

CAPÍTULO 6: Ensayos de resistencia

Resistencia térmica

Figura 31 Resistencia Térmica



Nota: Elaboración propia

Tomado de: <https://www.solidworks.com/es>

En cuanto al comportamiento térmico del FiberBlock, se ha observado que la temperatura final transferida a través del bloque es de 38.6°C. Este rendimiento superior se debe en gran medida al diseño optimizado de sus cavidades internas, que funcionan como cámaras de aire aislantes. Estas cavidades crean una barrera térmica efectiva que reduce la transmisión de calor, brindando una mayor resistencia térmica en comparación con otros tipos de bloques tradicionales.

El aire atrapado dentro de las cavidades actúa como un aislante natural, disminuyendo el flujo de calor hacia el interior de la edificación y mejorando el confort térmico de los espacios habitables. Además,

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

este diseño contribuye a la eficiencia energética del edificio, ya que se requiere menos uso de sistemas de climatización para mantener una temperatura interior adecuada, especialmente en climas cálidos. En resumen, las características estructurales del FiberBlock proporcionan ventajas adicionales en términos de aislamiento térmico, lo que lo convierte en una opción preferible para construcciones que buscan eficiencia energética y mejor rendimiento ambiental.

Resistencia compresión

Figura 32 Resistencia a la compresión



Nota: Elaboración propia

Con base en los ensayos de resistencia a la compresión realizados a los 28 días de edad del bloque prototipo, se obtuvieron valores satisfactorios que cumplen con los requisitos de la NTC 4026 (Norma Técnica Colombiana para Bloques de Concreto para Mampostería Estructural). Los resultados de los ensayos

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

indicaron una resistencia promedio de 11 MPa, valor que se encuentra dentro del rango especificado para bloques de concreto estructural tipo C (mínimo 7 MPa).

Los bloques fabricados con adición del 0.5% de fibras sintéticas macro demostraron un comportamiento mecánico adecuado, mostrando una mejor distribución de esfuerzos y una menor propagación de fisuras en comparación con bloques tradicionales sin refuerzo. La inclusión de fibras permite una mayor absorción de energía y un incremento en la ductilidad del material, lo que se traduce en una mejora en la resistencia post-pico del bloque.

En comparación con bloques reforzados con acero, los bloques con fibra mantienen una resistencia competitiva, mientras que proporcionan beneficios adicionales como una reducción en el peso del bloque y una mejor resistencia a la corrosión. Los resultados obtenidos sugieren que este nuevo enfoque es una alternativa viable para sistemas de mampostería estructural, presentando ventajas tanto en el desempeño mecánico como en el costo de construcción, alineado con los requerimientos de la normativa vigente.

Resistencia Flexión

Figura 33 *Resistencia a la deformación*



Nota: Elaboración propia

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

Tras la realización de los ensayos de resistencia a la flexión a los 28 días de curado, el bloque prototipo mostró un rendimiento satisfactorio, cumpliendo con los requisitos de la NTC 4026, que establece parámetros mínimos para elementos de mampostería estructural. La resistencia a la flexión promedio registrada fue de 2.5 MPa, destacando una mejora significativa respecto a bloques convencionales sin refuerzo, cuyo valor típicamente oscila entre 1.5 y 2.0 MPa.

La incorporación de un 0.5% de fibras sintéticas macro en la mezcla contribuyó a una mayor capacidad de absorción de energía antes de la falla, evidenciada por una menor propagación y extensión de fisuras durante la prueba. Esta mejora en el comportamiento post-fisuración indica una mayor capacidad del material para redistribuir tensiones y soportar deformaciones, atributos esenciales para estructuras en regiones con alta actividad sísmica, como Bogotá.

Además, el refuerzo con fibras sintéticas proporcionó una mayor tenacidad al bloque, lo que se traduce en un incremento de la capacidad de carga bajo flexión, incluso después del inicio del agrietamiento. Este desempeño superior sugiere que el bloque prototipo es una alternativa viable y económica a los sistemas tradicionales reforzados con acero, manteniendo un buen rendimiento mecánico y reduciendo riesgos de corrosión, lo cual es particularmente relevante para construcciones en entornos rurales o con alta humedad.

En conclusión, los resultados del ensayo de flexión evidencian que el bloque con refuerzo de fibras sintéticas macro cumple con los estándares de la NTC 4026 y proporciona una solución innovadora y eficiente para la construcción de mampostería estructural en aplicaciones tanto urbanas como rurales.

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

Ficha Técnica

Tabla 9 *Ficha técnica*

Nota: Elaboración propia

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

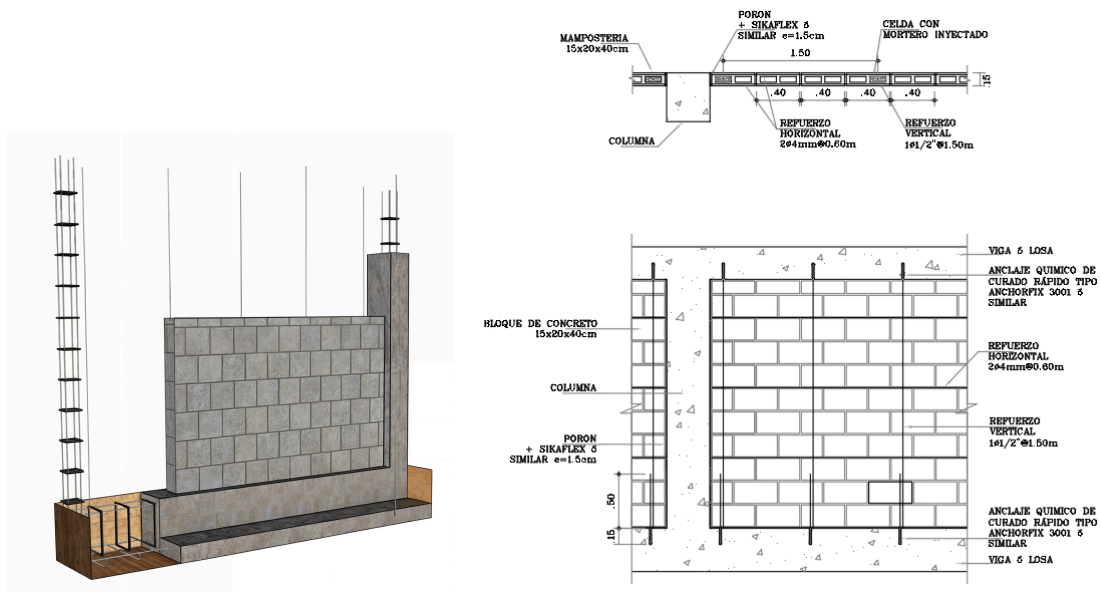
CAPÍTULO 7: Análisis de presupuestos

Detalle estructural comparativo costos

Muro de 15 cm de espesor de mampostería reforzada de bloque de concreto, liso estándar color gris, 40x20x15 cm, resistencia normalizada R10 (10 N/mm²), para revestir, recibida con mortero de cemento confeccionado en obra, con 300 kg/m³ de cemento, color gris, dosificación 1:5, suministrado en sacos, bloques en "U" en formación de vigas perimetrales de atado y dinteles, reforzado con mortero de relleno, fundido con medios manuales, volumen 0,015 m³/m², y acero Grado 60 (fy=4200 kg/cm²), cuantía 0,35 kg/m³; armadura horizontal en las juntas de acero galvanizado en caliente con recubrimiento de resina epoxi de 3,7 mm de diámetro y de 75 mm de anchura, rendimiento 2,45 m/m³.

Muro con bloque estándar

Figura 34 M2 muro bloque estándar



Nota: Elaboración propia

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

Tabla 10

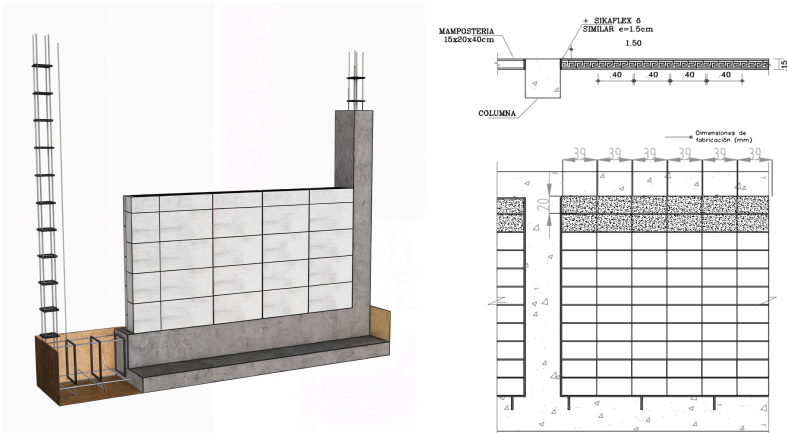
Lista de precios muro estándar

Unidad	Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor parcial
Materiales				
Ud	Bloque de concreto, liso estándar, color gris, 40x20x15 cm, resistencia normalizada R10 (10 N/mm²), densidad 1200 kg/m³, para revestir.	12	\$ 3.300,00	\$ 39.600,00
Ud	Medio bloque de concreto, liso estándar, color gris, 20x20x15 cm, resistencia normalizada R10 (10 N/mm²), densidad 1200 kg/m³, para revestir.	3	\$ 1.897,77	\$ 5.693,31
Ud	Bloque de esquina de concreto, liso estándar, color gris, 40x20x15 cm, resistencia normalizada R10 (10 N/mm²), densidad 1200 kg/m³, para revestir.	3	\$ 4.900,57	\$ 14.701,71
Ud	Bloque en "U" de concreto, liso, color gris, 40x20x15 cm, resistencia normalizada R10 (10 N/mm²), para revestir.	3	\$ 3.867,61	\$ 11.602,83
kg	Acero en barras corrugadas, Grado 60 (fy=4200 kg/cm²), de varios diámetros, según NTC 2289 y ASTM A 706.	0,63	\$ 2.109,85	\$ 1.329,21
kg	Alambre galvanizado para atar, de 1,30 mm de diámetro.	0,015	\$ 3.289,66	\$ 49,34
m	Armadura horizontal prefabricada en las juntas de acero galvanizado en caliente con recubrimiento de resina epoxi, de 3,7 mm de diámetro y 75 mm de anchura, con dispositivos de separación, geometría diseñada para permitir el solape y sistema de autocontrol del operario (SAO).	2,45	\$ 5.376,33	\$ 13.172,01
m³	Agregado grueso homogeneizado, de tamaño máximo 12,5 mm.	0,015	\$ 56.407,65	\$ 846,11
Subtotal materiales:				\$ 86.994,52

Nota: Elaboración propia

Muro con bloque Fiberblock

Figura 35 M2 muro bloque fiberblock



Nota: Elaboración propia

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

Tabla 11

Lista de precios muro fiberblock

Unidad	Descripción	Cantidad	Valor	
			unitario	parcial
	Materiales			
Ud	Bloque de concreto, FIBERBLOCK , color gris, 40x20x15 cm, resistencia normalizada R10 (10 N/mm²), densidad 1200 kg/m³, para revestir.	18	\$ 3.200,00	\$ 57.600,00
Ud	Medio bloque de concreto, FIBERBLOCK, color gris, 20x20x15 cm, resistencia normalizada R10 (10 N/mm²), densidad 1200 kg/m³, para revestir.	15	\$ 1.800,00	\$ 27.000,00
		Subtotal materiales:		\$ 84.600,00

Nota: Elaboración propia

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

Conclusiones

En términos de resistencia , el bloque de fibra ofrece un rendimiento estructural equivalente al bloque estándar reforzado con acero, cumpliendo con los requisitos normativos y mejorando su comportamiento frente a tensiones y agrietamientos. Este reforzamiento uniforme, proporcionado por las fibras sintéticas, asegura una mayor durabilidad del material, reduciendo las probabilidades de fallas estructurales a lo largo del tiempo.

Respecto a los acabados arquitectónicos , el bloque de fibra también puede adaptarse a diseños personalizados, integrando texturas y colores sin afectar sus propiedades mecánicas. Esto permite su uso a la vista, brindando un valor estético adicional y eliminando la necesidad de recubrimientos adicionales, lo que puede ser un atractivo diferencial para arquitectos y clientes.

En cuanto a funcionalidad , el bloque de fibra simplifica el proceso constructivo al eliminar la necesidad de incorporar refuerzos de acero durante su instalación. Esto mejora la eficiencia de la obra al reducir los tiempos de construcción, disminuyendo la complejidad y los costos asociados a la mano de obra. Además, su facilidad de manejo contribuye a una ejecución más rápida y sencilla.

Desde una perspectiva de costos , el bloque de fibra resulta más económico, con un costo por metro cuadrado de \$84.600,00 frente a los \$86.994,52 de un muro de bloque estándar reforzado con acero. Si bien la diferencia de \$2.394,52 por metro cuadrado puede parecer pequeña, en proyectos de gran escala esta diferencia representa un ahorro significativo, mejorando la rentabilidad de la construcción.

Por último, en términos de presupuestos , la implementación de bloques de fibra no solo reduce los costos directos de materiales y mano de obra, sino que también optimiza los tiempos de ejecución, lo que

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

permite minimizar gastos indirectos asociados a la prolongación de la obra. Esto hace del bloque de fibra una solución eficiente, sostenible y costo-efectiva, ideal para proyectos que buscan maximizar recursos sin comprometer la calidad estructural ni la estética del diseño.

Recomendaciones

1. Uso de formaletas metálicas, para garantizar un acabado más uniforme y de alta calidad en los bloques, se recomienda emplear formaletas fabricadas en material metálico. Este tipo de formaletas ofrece mayor precisión dimensional, durabilidad y facilidad de limpieza, asegurando consistencia en la producción y un mejor acabado arquitectónico.
2. Optimización de la mezcla, aunque se ha planteado una dosificación base para la mezcla, es aconsejable continuar evaluando y ajustando sus proporciones según las necesidades del proyecto o los requerimientos específicos de los acabados. Esto permitirá lograr superficies más lisas y estéticas, así como mejorar el comportamiento del bloque ante factores ambientales.
3. Ensayos periódicos de calidad, realizar pruebas regulares de resistencia, absorción y acabados en lotes de producción es clave para garantizar que los bloques cumplan con las especificaciones técnicas y funcionales. Estos ensayos también ayudan a identificar mejoras potenciales en el proceso de fabricación.
4. Selección de pigmentos y aditivos, en el caso de bloques con acabados arquitectónicos personalizados, se recomienda utilizar pigmentos y aditivos de alta calidad, resistentes a la intemperie y al desgaste, para mantener la estética y durabilidad a lo largo del tiempo.

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

Bibliografía

- López Román, J. (2015). Análisis de las propiedades del concreto reforzado con fibras cortas de acero y macrofibras de polipropileno: Influencia del tipo y consumo de fibra adicionado (Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México).
<https://www.macrofibras.org/images/pdf/BASF-CONCRETO-REFORZADO-CON-MACROFIBRAS-UNAM.pdf>
- Eucomex. (2017). Guía de ingeniería: Concreto reforzado con fibras: Historia, propiedades, diseño y aplicaciones exitosas de concreto reforzado con fibras (CRF) para construcciones de concreto (2.^a ed.). © 2017 Eucomex.
- Valera, E. (2017). Incorporación de Fibras de Polipropileno (SikaFiber Force PP48) para Mejorar las Propiedades Elásticas y Mecánicas en un Concreto con Resistencia a la Compresión 28Mpa para el Departamento de Lima. Obtenido de
http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/22053/Valera_PEA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rodríguez, J., & Segura, E. (2013). Análisis Comparativo del Efecto de los Distintos tipos de Fibras en el Comportamiento Post Fisura del Hormigón Reforzado con Fibras. Obtenido de
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/33350/Proyecto%20Final%20de%20Grado.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Vargas Ortiz, G. B., & Yataco Barreda, A. G. (2020). Efecto de las fibras de acero y polipropileno en la resistencia a la flexión del concreto para pavimentos rígidos (Tesis de ingeniería civil). Universidad Ricardo Palma, Facultad de Ingeniería.

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/3678/CIV-T030_72636801_T%20%20%20YATACO%20BARREDA%20ALVARO%20GUSTAVO.pdf;jsessionid=2DB72F07B12AFCA8F4F27DDA973637CD?sequence=1

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C. (2016). *Industria de la construcción - Fibras poliméricas para concreto: Especificaciones y métodos de ensayo*

(Proyecto de norma mexicana PROY-NMX-C-537-ONNCCE-2016). ONNCCE.

<https://www.macrofibras.org/images/pdf/PROY-NMX-C-537-ONNCCE-2016.pdf>

Abacol Tejas y Drywall. (2022). Fibraplas concrete (2ª ed.). Todos los derechos reservados

Gervásio, H. (n.d.). La sustentabilidad del acero y las estructuras metálicas. Tecnología, 2, 18-25.

<https://www.icha.cl/wp-content/uploads/2014/12/LA-Sustentabilidad-del-Acero-y-Las-Estructuras-Met%C3%A1licas1.pdf>

Hamdi-Cherif, C. (2023, 27 de septiembre). Acero sostenible: ¿qué tiene que ver el cambio climático con el acero? climatescience. <https://climatescience.org/es/advanced-steel-climate#>

Álvarez Zuluaga, L. A., & Silva Siempira, Y. M. (2020). Análisis de costos y tiempos para la construcción de la placa en concreto del concesionario automotriz Ford Av Boyacá 170-97 con la inclusión de macrofibras sintéticas y la implementación de la metodología BIM (Tesis de grado). Universidad Católica de Colombia.

<https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/5d58b8f8-579b-4f14-b59c-1a8558978fdd/content>

Camacho Velandia, J. C., & Baquero Guerrero, J. D. (2022). Diseño de un prototipo de bloque con mezcla de cemento y poliestireno tipo lego para mampostería no estructural, guiado a la elaboración de una caseta de vigilancia para el Centro Cultural de La Mesa Cundinamarca (Trabajo de grado para optar

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

al título de Ingeniero civil). Universidad Piloto de Colombia.

<https://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/12079/DISE%C3%91O%20DE%20UN%20PROTOTIPO%20DE%20BLOQUE%20CON%20MEZCLA%20DE%20CEMENTO%20Y%20POLIESTIRENO%20TIPO%20LEGO%20PARA%20MAMPOSTER%C3%8DA%20NO%20ESTRUCTURAL%2C%20GUIADO%20A%20LA%20ELABORACI%C3%93N%20DE%20UNA%20CASETA%20DE%20VIGILANCIA%20PARA%20EL%20CENTRO%20CULTURAL%20DE%20LA%20MESA%20CUNDINAMAR%20%283%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Secretaría de Planeación. (2009). Conociendo la localidad de San Cristóbal: Diagnóstico de los aspectos físicos, demográficos y socioeconómicos.

<https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/documentos/04%20Localidad%20de%20San%20Crist%C3%B3bal.pdf>

Weather Spark. (n.d.). El clima y el tiempo promedio en todo el año en Bogotá, Colombia. Weatherspark.

<https://es.weatherspark.com/y/23324/Clima-promedio-en-Bogot%C3%A1-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o>

Patazca, P., & Tafur, J. (2013). Evaluación Comparativa de la Resistencia a Compresión y a Flexión del Concreto Convencional, Concreto con Fibra de Acero SikaFiber CHO 80/60 NB, y Concreto con Fibra Sintética SikaFiber Force PP/PE-700/55. Obtenido de

<http://repositorio.uss.edu.pe/handle/uss/1133?show=full>

Pérez Hernández, F. J. (2007). *Normas y requisitos básicos para el diseño estructural de viviendas de mampostería reforzada*. Universidad Rafael Landívar. Disponible en

[http://www.construaprende.com/​;contentReference\[oaicite:7\]{index=7}](http://www.construaprende.com/​;contentReference[oaicite:7]{index=7}).

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE CONCRETO REFORZADO CON MACROFIBRAS SINTÉTICAS DERIVADAS DE BOTELLAS PET RECICLADAS

Comisión de Transición Energética. (2018). *Misión posible: Alcanzar las emisiones netas de carbono cero de los sectores más difíciles de reducir a mediados de siglo*. Comisión de Transición Energética. Tomado de: <https://www.energy-transitions.org/publications/mission-possible/#download-form>

Alcaldía de Bogotá. (2019). *Guía de vivienda rural para Bogotá* (Publicación digital, obra independiente). <https://www.agrarquitectos.com/web/wp-content/uploads/2020/12/Guia-de-Vivienda-Rural-para-Bogota.pdf>

Norma sismorresistente NSR-10: Título D - Diseño de estructuras de mampostería. Bogotá: ICONTEC.

NTC 4026: Mampostería estructural - Requisitos para el diseño y la construcción. Bogotá: ICONTEC.

Decreto 097 de 2006: Por el cual se reglamenta la expedición de licencias urbanísticas en suelo rural y se expiden otras disposiciones.

<https://www.uaesp.gov.co/sites/default/files/documentos/Caracterizacion%20poblacion%20recicladora%202020%20publicar.pdf>