

**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TEMA:

**Desempeño técnico ambiental y económico de hormigones de
alto desempeño**

AUTORES:

Gavilanes Quezada, Fabricio Josue

Lozano Siavichay, Adriana Elizabeth

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO CIVIL**

TUTORA:

Alcívar Bastidas, Stefany Esther

Guayaquil, Ecuador

8 de septiembre del 2025



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Gavilanes Quezada, Fabricio Josue** y **Lozano Siavichay, Adriana Elizabeth**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

TUTORA

f. _____

Ing. Stefany Alcívar Bastidas Ph.D.

DECANO DE LA CARRERA

f. _____

Ing. Federico von Buchwald de Janon Ph.D.

Guayaquil, a los 8 días del mes de septiembre del año 2025



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA CIVIL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **Gavilanes Quezada, Fabricio Josue y Lozano Siavichay, Adriana Elizabeth**

DECLARAMOS QUE:

El Trabajo de Titulación, **Desempeño técnico ambiental y económico de hormigones de alto desempeño**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 8 días del mes de septiembre del año 2025

EL AUTOR

f. 

Gavilanes Quezada Fabricio

Josue

LA AUTORA

f. 

Lozano Siavichay Adriana

Elizabeth



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Gavilanes Quezada, Fabricio Josué y Lozano Siavichay, Adriana Elizabeth**

Autorizamos a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Desempeño técnico ambiental y económico de hormigones de alto desempeño**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 8 días del mes de septiembre del año 2025

EL AUTOR

f. Gavilanes Fabricio

Gavilanes Quezada Fabricio

Josue

LA AUTORA

f. Lozano Siavichay S.

Lozano Siavichay Adriana

Elizabeth



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA CIVIL
REPORTE COMPILATO



FABRICIO GAVILANES & ADRIANA LOZANO 28

10%
Textos sospechosos

0% Similitudes
0% similitudes entre comillas
0% entre las fuentes mencionadas
2% Idiomas no reconocidos
8% Textos potencialmente generados por la IA

Nombre del documento: FABRICIO GAVILANES & ADRIANA LOZANO 28.docx
ID del documento: 07101e5b37d1f5d4e8bcf01d189ad31d68a1f665
Tamaño del documento original: 1,24 MB

Depositante: Clara Catalina Gios Cevallos
Fecha de depósito: 11/9/2025
Tipo de carga: interface
Fecha de fin de análisis: 11/9/2025

Número de palabras: 9524
Número de caracteres: 61.818

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	Nathaly Freire, Juan Vega, P73.docx Nathaly Freire, Juan Vega, P73 #16666 Viene de de mi grupo 10 fuentes similares	3%		Palabras idénticas: 3% (308 palabras)
2	localhost Prevalencia de hiperactividad y su asociación con trastornos de ansiedad... http://localhost:8080/vmla/bistream/33175963/3/T-UCSG-PRE-MED-545.pdf.zip 5 fuentes similares	3%		Palabras idénticas: 3% (308 palabras)
3	repositorio.ucsg.edu.ec Desempeño ambiental de fibras naturales de abacá ve... http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/331752274375/UCSG-C388-22291.pdf 7 fuentes similares	3%		Palabras idénticas: 3% (293 palabras)
4	localhost Desarrollo de estrategias de mantenimiento según el tipo de material... http://localhost:8080/vmla/bistream/33175463/3/T-UCSG-PRE-ING-4C-156.pdf.zip 4 fuentes similares	3%		Palabras idénticas: 3% (273 palabras)
5	localhost Evaluación a 5 años, de los efectos terapéuticos del metotrexato pare... http://localhost:8080/vmla/bistream/33175935/3/T-UCSG-PRE-MED-634.pdf.zip 5 fuentes similares	3%		Palabras idénticas: 3% (273 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repositorio.ucsg.edu.ec Gestión del proceso de selección e inducción del perso... http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317524136/1/UCSG-468-23685.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (27 palabras)
2	Documento de otro usuario #176511 Viene de de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (25 palabras)
3	Documento de otro usuario #668912 Viene de de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (24 palabras)
4	repositorio.ucsg.edu.ec El derecho a la defensa de las partes procesales dentro... http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/331753035/1/T-UCSG-PRE-MD-DP-53.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (12 palabras)
5	Documento de otro usuario #581142 Viene de de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (12 palabras)

TUTORA

f.

Ing. Stefany Alcívar Bastidas Ph.D.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por la salud y la fortaleza que me permitió culminar esta etapa.

A mis padres, mis abuelitos, quienes supieron estar cuando más los necesitaba; y a toda mi familia, por su inquebrantable respaldo y cariño, por ser mi pilar, sin ustedes todo esto no habría sido posible.

Quiero agradecer a mis amigos Ángel y Adriana, por estar siempre presentes en todo momento de este trayecto, por brindarme su apoyo, su confianza y así culminar esta etapa juntos. A mi enamorada Margarita, por ser mi motivación, por sus consejos y su impulso en cada momento difícil que se vivió, pero se logró salir.

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento A mi tutora, PhD. Stefany Alcívar Bastidas, por su guía, paciencia y valiosos aportes en el desarrollo de este trabajo.

Y a cada persona que, de una u otra forma, aportó con sus conocimientos, consejos o compañía, gracias porque sin ustedes este logro no hubiera sido posible.

Gavilanes Quezada, Fabricio Josue

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación, a mis amados padres, por su constante apoyo, sabiduría y amor incondicional; a mi querido abuelito Euclates desde el cielo, por haber sido ese pilar fundamental en mi vida, pese que ya no está físicamente conmigo, me sigue dando fuerzas para continuar; a mis demás abuelitos, que han sido incondicionales en todo este trayecto universitario y a mis demás familiares, por su aliento y compañía en mis momentos más difíciles, mi más profundo agradecimiento por ser parte fundamental en la realización de este éxito.

Gavilanes Quezada, Fabricio Josue

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios, fuente de sabiduría, fortaleza y guía en cada paso de mi vida, quien me ha concedido la dicha de culminar este proyecto y enfrentar cada desafío con fe y perseverancia. A mis padres, por ser mi mayor ejemplo de amor, esfuerzo y sacrificio, y por brindarme siempre su apoyo incondicional. A mi esposo, Carlos, mi compañero de vida por su amor, paciencia y apoyo constante, que fueron la fuerza que me sostuvo en este camino.

Extiendo también mi gratitud a mis amigos; Ángel, Santiago, Elian, Luis, Fabricio y Amy, por acompañarme con su apoyo y ánimo sincero en los momentos de cansancio y por celebrar conmigo cada pequeño logro. A mis profesores, por compartir sus conocimientos, consejos y guiar mi formación académica, en especial a la Ing. Steffany Alcívar, cuya motivación y confianza me inspiraron a continuar cuando sentí que ya no podía más.

Mi agradecimiento sincero al grupo ACI UCSG, por haberme abierto sus puertas y haberme permitido aprender varias habilidades cruciales para mi vida académica y profesional.

Lozano Siavichay, Adriana Elizabeth

DEDICATORIA

"El Señor es mi pastor; nada me faltará" (Salmo 23, 1960).

Este trabajo lo dedico con todo mi amor y con profundo agradecimiento a Dios, quien ha sido mi guía para alcanzar mis metas. A la Virgencita María, quien ha sido mi protectora en toda mi vida. A mi esposo que ha sido mi aliento durante cada jornada de esfuerzo. Principalmente a mis padres, quienes con su cariño y apoyo incondicional han sido siempre mi mayor motivación. Y finalmente, a mi querida abuelita, *mamacita*, que desde el cielo siempre me acompaña.

Lozano Siavichay, Adriana Elizabeth

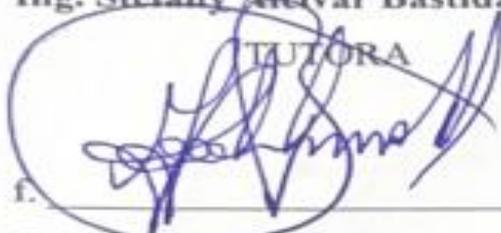


UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA INGENIERIA CIVIL

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 
Ing. Stefany Aleívar Bastidas Ph.D.


TUTORA

Ing. Federico von Buchwald de Janon Ph.D.
DECANO DE CARRERA

f. 
Ing. Nancy Varela Terreros Ph.D.

DELEGADO DEL ÁREA

f. 
Ing. Daniel Petroche Sánchez, M.Sc
OPONENTE

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I.....	xv
1. Introducción	2
1.1. Objetivo general.....	5
1.2. Objetivos específicos	5
CAPÍTULO II	7
2. Marco Teórico.....	7
2.1. Revisión de Literatura.....	7
2.2. Materiales.....	10
2.3. Diseño de Edificación de Hormigón Convencional (CC).....	11
2.4. Diseño de Edificación de Hormigón de Alto Desempeño (HPC).....	13
CAPITULO III.....	17
3. Metodología	17
CAPITULO IV.....	21
4. Resultados	21
4.1. Análisis de Ciclo de Vida (LCA) de la producción de Hormigón Convencional (CC) vs el Hormigón de Alto Desempeño (HPC).	21
4.1.1. Análisis de Ciclo de Vida de la producción de Hormigón Convencional (CC). 21	
4.1.2. Análisis de Ciclo de Vida de producción de Hormigón de Alto Desempeño (HPC).	21
4.1.3. Análisis de Ciclo de Vida de Hormigón Convencional.	22
4.1.4. Análisis de Ciclo de Vida de Hormigón de Alto Desempeño.....	24
4.2. Análisis de Ciclo de Costo de la construcción del edificio con Hormigón Convencional (CC) vs el Hormigón de Alto Desempeño (HPC).	27
4.2.1. Análisis de Ciclo de costo de Hormigón Convencional (CC).....	27
4.2.2. Análisis de Costo de Hormigón de Alto Desempeño (HPC))......	29
5. Conclusiones.....	33
6. Referencias.....	35

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química y otras propiedades del cemento tipo HE.	10
Tabla 2. Distribución de elementos estructurales del caso de estudio.	11
Tabla 3. Dosificación de concreto convencional y concreto de alto desempeño.....	16
Tabla 4. Propiedades físicas del concreto convencional y concreto de alto desempeño.	16
Tabla 5. Alcance de estudio, etapa de producto (A1–A3), etapa de construcción (A4– A5).....	18
Tabla 6 Análisis de Ciclo de Vida LCA del diseño del edificio de 40 pisos con CC.23	
Tabla 7. Análisis de Ciclo de Vida LCA del diseño del edificio de 40 pisos con HPC.	25
Tabla 8. Análisis de Ciclo de Costo LCC del diseño del edificio de 40 pisos con CC.	28
Tabla 9. Análisis de Ciclo de Costo LCC del diseño del edificio de 40 pisos con HPC.	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Modelo tridimensional del edificio de 40 pisos considerado como caso de estudio Fuente: Beltrán & Mora 2024 y Autores.....	13
Fig. 2. Sección de Columnas Piso 1–5, (CC) Hormigón Convencional, (HPC) Hormigón de alto desempeño. Fuente: Beltrán & Mora 2024 y Autores.	15

ÍNDICE DE GRAFICAS

Grafica 1 Comparación de emisiones LCA CC vs HPC por proceso en la construcción del edificio.....	27
Grafica 2. Comparación de costos LCC CC vs HPC por proceso en la construcción del edificio.....	32

RESUMEN

Este estudio analiza el desempeño de los concretos de alto desempeño (HPC) en términos técnicos, ambientales y económicos, considerando su aplicación en el contexto de la construcción en Ecuador. La acelerada urbanización en países en desarrollo ha incrementado la presión sobre los recursos naturales, intensificando las emisiones de CO₂ y generando impactos directos en los ecosistemas locales. En este escenario, la producción y uso de materiales de construcción adquiere un papel central para la sostenibilidad.

El HPC se distingue del hormigón convencional (CC) por su mayor resistencia y durabilidad respecto al concreto convencional, además de ofrecer ventajas en la reducción de mantenimiento y en la optimización del diseño estructural. Aunque en las últimas dos décadas su uso ha ganado reconocimiento a nivel internacional, su aplicación en Ecuador se mantiene limitada debido a factores de inversión inicial, normativas y disponibilidad tecnológica. Sin embargo, su incorporación constituye una alternativa con potencial para disminuir la huella ecológica asociada a la edificación, sin comprometer el ritmo de crecimiento urbano.

La presente investigación busca aportar evidencia académica sobre las ventajas del HPC en comparación con el concreto convencional, evaluando indicadores ambientales mediante el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y métricas económicas de costo de construcción (ACC). Los resultados aspiran a respaldar decisiones de diseño y políticas de construcción orientadas hacia prácticas más sostenibles, que respondan a las necesidades de infraestructura de países en desarrollo, promoviendo al mismo tiempo la eficiencia estructural y la mitigación de impactos ambientales.

Palabras Claves:

Sostenibles, hormigón de alto desempeño, CO₂, crecimiento urbano, economía, impacto ambiental

ABSTRACT

This study analyzes the performance of high-performance concrete (HPC) in technical, environmental, and economic terms, considering its application in the context of construction in Ecuador. Rapid urbanization in developing countries has increased pressure on natural resources, intensifying CO₂ emissions and generating direct impacts on local ecosystems. In this scenario, the production and use of construction materials plays a central role in sustainability.

HPC differs from conventional concrete (CC) in that it is stronger and more durable than conventional concrete, as well as offering advantages in terms of reduced maintenance and optimized structural design. Although its use has gained international recognition in the last two decades, its application in Ecuador remains limited due to initial investment factors, regulations, and technological availability. However, its incorporation constitutes an alternative with the potential to reduce the ecological footprint associated with construction, without compromising the pace of urban growth.

This research seeks to provide academic evidence on the advantages of HPC compared to conventional concrete, evaluating environmental indicators through Life Cycle Assessment (LCA) and economic metrics of construction cost (ACC). The results aim to support design decisions and construction policies geared toward more sustainable practices that respond to the infrastructure needs of developing countries, while promoting structural efficiency and mitigating environmental impacts.

Keywords:

Sustainability, high-performance, concrete, CO₂, urban growth, economy, environmental impact.

CAPÍTULO I

1. Introducción

El acelerado crecimiento urbano global alcanzará una población de 8 mil millones para 2025 y alrededor de 10 mil millones hacia 2050 (United Nations, 2010), aumentando significativamente la presión sobre la industria de la construcción y la sostenibilidad ambiental. Este fenómeno genera una creciente desconexión entre la sociedad y la naturaleza, principalmente debido al alto ritmo de extracción y transformación de recursos, modelos tecnológicos inadecuados y patrones de consumo excesivos (Leff, 1990). La urbanización implica la sustitución de espacios naturales por zonas edificadas. Este cambio no solo altera físicamente los entornos naturales, sino que también afecta negativamente la conciencia ambiental de las comunidades involucradas, profundizando la separación entre las sociedades humanas y el medio ambiente (Hunter, 2011). Según Architecture2030 (2018), el mundo está experimentando actualmente la mayor ola de crecimiento urbano de la historia de la humanidad. la concentración poblacional se inclina hacia lo urbano, con más de la mitad de la humanidad residiendo en ciudades; hacia 2060, se calcula que dos tercios de una población estimada en 10 000 millones estarán en áreas urbanas. Además, se proyecta que para 2060, el mundo añadirá 230 000 millones de m² de edificios, o una superficie equivalente a todo el parque edificado mundial actual.

Esta expansión responde a una demanda habitacional creciente, que se mantiene incluso durante crisis económicas, y provoca un incremento constante del déficit de vivienda (Díaz-Kovalenko et al., 2022). Pese a que la industria constructiva favorece el desarrollo del nivel de vida de la población, asimismo es el principal causante del elevado impacto ambiental. En 2021, el sector de la construcción fue el mayor consumidor de energía a nivel mundial con un porcentaje del 34 % y el mayor emisor de CO₂ con 37 %, superando al transporte y la industria (Zhang et al., 2024). Además, se ha revelado mediante estudios de análisis del ciclo vida que la fase de construcción puede simbolizar entre el 20 % y el 50 % de las emisiones totales de CO₂ de un edificio (Chen et al., 2023).

En este contexto, el hormigón adquiere un rol central, al ser el segundo material más

utilizado por el ser humano después del agua (Francisca Puertas et al., 2020), siendo su componente principal, el cemento, el responsable de entre el 8% de las emisiones globales de CO₂ (Fraile, 2024; Petroche & Ramirez, 2022).

En territorios en transición hacia el desarrollo, como Ecuador, la urbanización acelerada impone desafíos aún mayores. La expansión vertical de las ciudades se ha convertido en una respuesta necesaria frente a la escasez de suelo urbanizable (Alvarado-López et al., 2017), consolidando al concreto como el principal material estructural por su disponibilidad, bajo costo (Petroche & Ramirez, 2022). Se estima que el concreto representa aproximadamente el 60% de la masa total de una edificación, lo que evidencia su peso estructural y ambiental (Aytekin & Mardani-Aghabaglou, 2022).

Sin embargo, construir edificios de gran altura conlleva requerimientos estructurales más estrictos y un notable incremento de la huella de carbono, esto debido a que se necesitan secciones más grandes y por ende, una mayor cantidad de materiales (Gedik et al., 2023). Según Al-Kodmany (2018) un edificio alto puede generar durante su fase de construcción emisiones equivalentes entre 15 y 30 años de operación. Esto subraya la importancia de buscar e implementar estrategias integradas que se consideren desde el diseño arquitectónico hasta la selección de materiales, fomentando una construcción sostenible.

El Hormigón de Alto Desempeño, en sus siglas en inglés High Performance Concrete (HPC), surge como alternativa para edificaciones con gran altura, ya que satisface de manera óptima las demandas específicas en términos de calidad, resistencia, durabilidad y otras propiedades del hormigón (Castro Riquetti & Ojeda Bravo, 2019), donde el hormigón convencional ha alcanzado sus límites en términos de rendimiento técnico, resistencia y durabilidad. Según Restrepo et al. (2024), el HPC se desarrolla mediante el método de empaquetamiento de partículas con el fin de mejorar la densidad de su matriz y disminuir el contenido de agua, lo que potencia de manera notables sus propiedades estructurales. Este tipo de hormigón incorpora aditivos superplastificantes y materiales ultrafinos que contribuyen a un nivel de resistencia compresiva mayor a 60 MPa, todo ello sin requerir métodos complejos de curado.

El hormigón de alto desempeño (HPC) destaca por el potencial de ser una de las alternativas más sostenible dentro del sector constructivo (García & Mosquera, 2015). Dentro de las ventajas del uso de este hormigón frente a otras alternativas, destaca su alta resistencia mecánica y durabilidad, lo que beneficiaría a infraestructuras exigentes, como puentes, estructuras prefabricadas y edificaciones que se encuentren dentro de zonas de alto riesgo sísmico (Restrepo et al., 2024). Además, el HPC permite una mayor eficiencia en el diseño estructural al posibilitar elementos más delgados sin comprometer la seguridad, reduciendo así el consumo de materiales (Castro Riquetti & Ojeda Bravo, 2019).

No obstante, en países con economías emergentes como Ecuador, Bolivia, Nigeria, Argelia, Bangladesh e incluso regiones de India y Pakistán, la implementación del hormigón de alto desempeño (HPC) continúa siendo limitada o casi nula. A pesar de sus múltiples beneficios, entre ellos mayor durabilidad, menor permeabilidad y la posibilidad de reducir el tamaño de los elementos estructurales (Aïtcin, 2011), su aplicación real se enfrenta a importantes barreras económicas, técnicas y normativas.

Hay estudios que señalan la adopción de tecnologías avanzadas como el HPC está restringida por factores como el alto costo inicial, la falta de experiencia técnica e industrial y la ausencia de normativas de diseño ampliamente aceptadas (Amran et al., 2022; Bachtiar et al., 2020). En el caso de Ecuador se ha reportado que el desarrollo de HPC ha avanzado de manera muy lenta debido a la falta de estandarización en la normativa y la escasa capacidad de producción a nivel local (Yépez & Calderón, 2014).

Aunque existen proyectos piloto que han demostrado su viabilidad técnica, como en Argelia, estos no han logrado consolidarse en la práctica constructiva general debido a limitaciones de escala y sostenibilidad económica (ZELMAT, 2023). Además, la carencia de políticas que promuevan el análisis de ciclo de vida o criterios de carbono incorporado contribuye a que predominen mezclas convencionales de alto impacto ambiental (Perera et al., 2022). Así, el HPC sigue siendo una tecnología prometedora pero lejana en gran parte del mundo en desarrollo.

La Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (UCSG), ha realizado investigaciones en el campo de material cementicio de desempeño superior,

destacando el trabajo de titulación “*Evaluación de hormigones de alto desempeño en Guayaquil y su impacto en el análisis y diseño de edificaciones*” escrito por Beltrán & Mora 2024. En este trabajo, se analizaron los beneficios técnicos del uso de CCP Enfocado en disminuir las dimensiones de columnas y vigas en una edificación de 40 niveles en la ciudad de Guayaquil, desde una perspectiva técnica-económica analizando requisitos sismo-resistentes y costo de materias primas, sin indagar en los beneficios ambientales.

En este marco, el actual proyecto de titulación “*Desempeño técnico, ambiental y económico de hormigones de alto desempeño*”, dará continuidad al caso base de Beltrán & Mora, 2024, en un edificio de 40 pisos con diseño sismo-resistente en Guayaquil. Donde nuestro enfoque se centra en calcular los beneficios ambientales del uso de Hormigones de Alto Desempeño (HPC) mediante Aplicación del Análisis de Ciclo de Vida (LCA) junto con la estimación de beneficios financieros mediante el Análisis de Costo del Ciclo de Vida (LCC).Objetivo general

- Comparar el comportamiento técnico, ambiental y económico del hormigón de alto desempeño frente al hormigón convencional, para establecer si es una opción más eficaz y sustentable en el ámbito de la construcción en Ecuador.

1.1. Objetivos específicos

1. Comparar el diseño estructural del edificio de 40 pisos utilizando hormigón convencional CC (35 MPa) y hormigón de alto desempeño HPC (60 MPa), identificando las variaciones en dimensiones de elementos portantes y en el consumo de materiales.
2. Determinar las emisiones de CO₂ equivalentes (GWP100) generadas en la producción y uso de ambos tipos de hormigón, aplicando la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (LCA) bajo normativa internacional.
3. Analizar los costos directos de construcción asociados a los escenarios con hormigón convencional y con hormigón de alto desempeño, estableciendo diferencias en función de materiales, transporte y procesos constructivos.
4. Identificar los componentes estructurales y no estructurales con mayor

incidencia tanto en el costo económico como en la huella ambiental del edificio, a fin de evidenciar las partidas críticas en cada escenario.

5. Integrar los resultados ambientales y económicos en un análisis comparativo que permita valorar la factibilidad del uso de hormigón de alto desempeño en edificaciones de gran altura en el contexto de Guayaquil.

CAPÍTULO II

2. Marco Teórico

2.1. Revisión de Literatura

Diversos estudios internacionales han evidenciado que la utilización de hormigones avanzados con gran capacidad estructural (HPC) contribuye tanto a la optimización estructural como a la reducción de impactos ambientales. Mack-Vergara (2024) compara el desempeño ambiental del concreto convencional (35 MPa) y del concreto de alto desempeño (59 MPa). El estudio evalúa una columna estructural de 3 m de altura y carga de 18.750 kN, considerando las etapas de producción hasta el despacho en planta. Los resultados muestran que el concreto de alto desempeño presenta impacto ambiental minimizado en cada categoría evaluada cambio climático, toxicidad humana, agotamiento fósil y escasez hídrica. En particular, El potencial de efecto invernadero (GWP) correspondió a 184,64 kg CO₂ eq. para el concreto convencional y de 105.81 kg CO₂ eq. para el concreto de alto desempeño, lo que representa una reducción del 42.7%. Además, se destaca que se requiere un 40.7% menos de volumen de concreto de alto desempeño para una función estructural equivalente, lo que impulsa una optimización material. Recomienda el uso de datos primarios locales para afinar los resultados del inventario.

De manera similar, Hájek et al. (2016) comparan el desempeño ambiental de tres alternativas estructurales para una edificación de seis pisos, mediante LCA que abarca desde la producción hasta la demolición. Las alternativas evaluadas son: V1, una estructura monolítica con concreto capaz de resistir una presión de compresión de 30 MPa; V2, un sistema prefabricado también con concreto de 30 MPa; y V3, una estructura sutil optimizada con material cementicio de alto desempeño, con resistencia a la compresión de 70 MPa y fibras de acero añadidas (60 kg/m³) para refuerzo. Los resultados muestran que V3 presenta el menor impacto ambiental. En términos de potencial de calentamiento global (GWP), se observan reducciones de hasta 47% respecto a V1 y 16% frente a V2. Además, el diseño con HPC permitió ahorrar más del 30% de materia prima frente a V1, lo que demuestra que el uso de concreto de alta resistencia optimiza recursos, reduce emisiones y mejora la sostenibilidad estructural.

En la misma línea, Fiala et al. (2013) realizan una evaluación ambiental comparativa mediante LCA con un enfoque cradle-to-gate, de tres alternativas de columnas prefabricadas para edificaciones energéticamente eficientes, enfocándose especialmente en comparar una opción con concreto de alto desempeño (HPC) y una convencional. La columna HPC (V2) exhibe una capacidad de compresión de 155 MPa y utiliza exclusivamente fibras de acero como refuerzo, mientras que la columna convencional (V3) fabricada con concreto con una fortaleza frente a cargas de compresión de 30 MPa y refuerzo de varillas de acero.. Las columnas comparten las mismas dimensiones de 2,5 m de largo por 100×200 mm de sección. Los resultados muestran que la columna HPC hubo una disminución del 34,7 % en el potencial de calentamiento global, con valores que bajaron de 49 a 32 kg CO₂ eq.. Asimismo, permite un ahorro del 14.8% en consumo de materiales (169 kg vs. 144 kg), lo que confirma que el uso de HPC mejora la eficiencia estructural y ambiental.

En cuanto a los beneficios económicos, la literatura también respalda la aplicación de HPC, Daigle & Lounis (2006) reportan que puentes construidos con HPC pueden reducir el costo de ciclo de vida entre un 40 % y 45 %, y las emisiones de CO₂ hasta un 65 %, comparado con hormigón convencional. Asimismo, Ji et al. (2022) evidencian menores emisiones por unidad de carga con UHPC frente al concreto tradicional. A través de simulaciones estructurales adaptadas a Guayaquil y modelación de costos basada en datos locales como en el transporte, energía y materiales, se pretende demostrar que el HPC ofrece ventajas técnico-ambientales y económicas reales en edificaciones altas, estableciendo una base para proponer recomendaciones que promuevan el uso de evaluaciones LCA/LCC en proyectos de construcción en Ecuador.

Por otro lado; Pushkar & Ribakov (2021) evalúan el impacto ambiental de dos diseños de vigas de concreto de alta resistencia con fibras de acero mediante Análisis de Ciclo de Vida (LCA), considerando una viga de capa única (SLB) y una de doble capa (TLB). Ambas vigas tienen una resistencia a la compresión de clase C70/85 y una capacidad última de 104,17 kN, pero difieren en la distribución del material: la SLB emplea concreto de alta resistencia en toda la sección, mientras que la TLB lo utiliza solo en la zona comprimida, combinándolo con concreto de resistencia normal en la

zona traccionada. El estudio se realizó con el software SimaPro y la base de datos Ecoinvent v3.2, bajo la metodología ReCiPe2016. Los resultados muestran que el diseño TLB reduce GWP en un 15 % y disminuye el uso de acero y cemento, logrando además un ahorro de material del 27 % en fibras de acero. Estas mejoras consolidan al diseño TLB como una alternativa ambientalmente preferible.

Además, Dossche et al. (2016) estudian elementos prefabricados pretensados de concreto de alta resistencia (HSPC), específicamente vigas de hormigón, para comparar un diseño convencional con una alternativa ecológica que sustituye parte del cemento por material vegetal proveniente de subproductos agrícolas. Se analizan dos alternativas: la HSPC tradicional (resistencia a compresión > 80 MPa) y una variante con agregado vegetal, evaluándose encaminamiento cradle-to-gate mediante LCA con SimaPro (ReCiPe midpoint) y base de datos Ecoinvent v3. La variante ecológica alcanza una resistencia a compresión similar, lo que permite mantener integridad estructural en vigas pretensadas. En términos de desempeño ambiental, presenta una reducción significativa del GWP (aproximadamente 25 %) y un ahorro de material, dado que la menor densidad del agregado reduce el volumen total sin comprometer la resistencia. Esta opción demuestra ser una alternativa viable para reducir emisiones de CO₂ y consumo de recursos, ofreciendo una ruta prometedora hacia estructuras más sostenibles en la prefabricación de elementos de concreto de alta prestación.

En síntesis, estos hallazgos indican que el hormigón de alto desempeño ofrece ventajas estructurales y ambientales, así como económicas; no obstante, la mayor parte de la evidencia proviene de estudios realizados en escenarios internacionales con inventarios y bases de datos externas. Este aspecto abre una oportunidad de investigación para contextos locales como el de Guayaquil, donde el uso de datos primarios y escenarios ajustados a la realidad constructiva nacional permitirán evaluar con mayor precisión los beneficios ambientales y económicos del HPC en edificaciones de gran altura.

2.2. Materiales

Para la elaboración del hormigón convencional y del hormigón de alto desempeño, se utilizó cemento tipo HE del proveedor Holcim Ecuador, elaborado bajo la normativa ASTM C1157 (ASTM International, 2023), las propiedades del cemento se muestran en la Tabla 1. En agregados, se utilizaron dos tipos de agregados gruesos: Piedra 19 mm y Piedra 12 mm, ambas de origen basáltico correspondientes a la cantera Holcim Loma Alta. Se utilizaron dos tipos de agregados finos, la primera es arena de tipo natural del proveedor Anropevi con fuente en el Km. 26 vía Yaguachi, la segunda arena triturada de la cantera Loma Alta de Holcim Ecuador. Se utilizaron aditivos para hormigón, del proveedor Sika, un plastificante y un retardante. El agua utilizada fue tomada de la red de agua potable de Guayaquil y cumple con lo especificado en ASTM C270 (ASTM International, 2019).

Tabla 1. Composición química y otras propiedades del cemento tipo HE.
Fuente: Autores.

Materiales	Cantidad
SiO ₂ [%]	22.9
Al ₂ O ₃ [%]	4.77
Fe ₂ O ₃ [%]	2.65
CaO [%]	59.1
MgO [%]	0.98
SO ₃ [%]	3.09
K ₂ O [%]	0.33
Na ₂ O [%]	0.44
TiO ₂ [%]	0.23
P ₂ O ₅ [%]	0.26
LOI [%]	5.4
Gravedad específica [g/ml]	3.05
Superficie específica [m ² /kg]	404
Resistencia a la compresión [MPa]	
1 día	16.4
3 días	29.5
7 días	36.3
28 días	44.8

2.3. Diseño de Edificación de Hormigón Convencional (CC)

Con la definición y caracterización con relación a los materiales implementados, se examinó su respuesta estructural. se basa en el estudio de Beltrán & Mora 2024. Dicho trabajo plantea el diseño sismo-resistente de una edificación de 40 pisos en la ciudad de Guayaquil, sustentado en la caracterización del peligro sísmico conforme a su localización geográfica. Dado a que Guayaquil se encuentra en una de las zonas de mayor amenaza sísmica del país, se adopta un factor de zonificación $Z = 0.4$ y un terreno clasificado como tipo E, además de un factor de reducción sísmica $R = 3$.

Bajo estas condiciones, la configuración estructural contempla en la dirección X se disponen 7 pórticos de 6 m de luz, mientras que en la dirección Y se ubican cinco pórticos con tramos de 7, 5, 5, 5 y 7 m., definiendo así una planta de 42×29 m.

Para el diseño con hormigón convencional (CC), las vigas fueron proyectadas con secciones transversales constantes de 0.40×0.60 m, mientras que las columnas presentan una disminución progresiva de sus dimensiones conforme aumenta la altura del edificio. Inicialmente se estableció una sección de 1.20×1.20 m en los primeros niveles, la cual se reduce en 10 cm cada cinco pisos, como se indica en la **tabla 2**. La altura de entrepiso se mantuvo dentro de un rango de 3.5 m a 4.5 m, garantizando uniformidad en la distribución vertical y cumplimiento con las especificaciones técnicas de diseño acorde a ACI 318 (ACI, 2019).

Tabla 2. Distribución de elementos estructurales del caso de estudio.

Fuente: Beltrán & Mora 2024.

Pisos	Hormigón Convencional (CC)		Hormigón de Alto Desempeño (CC)	
	Vigas (cm)	Columnas (cm)	Vigas (cm)	Columnas (cm)
1–5	40×60	120×120	40×50	100×100
6–10	40×60	110×110	40×50	90×90
11–15	40×60	100×100	40×50	80×80
16–20	40×60	90×90	40×50	70×70
21–25	40×60	80×80	40×50	60×60
26–30	40×60	70×70	40×50	50×50
31–35	40×60	50×50	40×50	40×40
36–40	40×60	40×40	40×50	40×40

Los ensayos de laboratorio evidencian un comportamiento mecánico satisfactorio del hormigón convencional empleado en la estructura. Los resultados obtenidos reflejan a los 28 días, el material mostró un comportamiento estructural que se traduce en 36,18 MPa de resistencia a la compresión, valor que supera al objetivo del diseño inicial de 35 MPa. De igual manera, posee un módulo de elasticidad de 29 GPa, lo cual indica una rigidez adecuada frente a cargas estructurales habituales; un coeficiente de Poisson promedio de 0.21, reflejando un comportamiento transversal con deformación lateral típica al ser sometido a cargas axiales; un módulo de corte de 11.7 GPa y un asentamiento de 200 mm. Toda esta información se resume en la Tabla 4.

A fin de asegurar el respeto de las especificaciones técnicas determinadas, se define una dosificación óptima por metro cúbico de mezcla que corresponde a: 369 kg de cemento HE, 820 kg de piedra de 19 mm de material, junto con 709 kg de arena de río y 298 kg de arena triturada. 3.5 kg de aditivo plastificante, 2.4 kg de aditivo retardante, 175 kg de agua. Esta información se detalla en la En cuanto a la dosificación, el HPC se elaboró con 450 kg de cemento por metro cúbico y 140 kg de agua, lo que corresponde a una proporción agua-cemento de 0,31, añadiéndose 1,8 kg de plastificante y 2,5 kg de retardante. (0,56 % respecto al peso del cemento).

Tabla 3. Con estos valores se obtiene una relación agua/cemento de 0.47, la cantidad de aditivo plastificante es de 0.95% y el aditivo retardante un 0.65% respecto al peso del cemento. Dichas proporciones garantizan la trabajabilidad de la mezcla sin comprometer su resistencia mecánica ni su durabilidad.

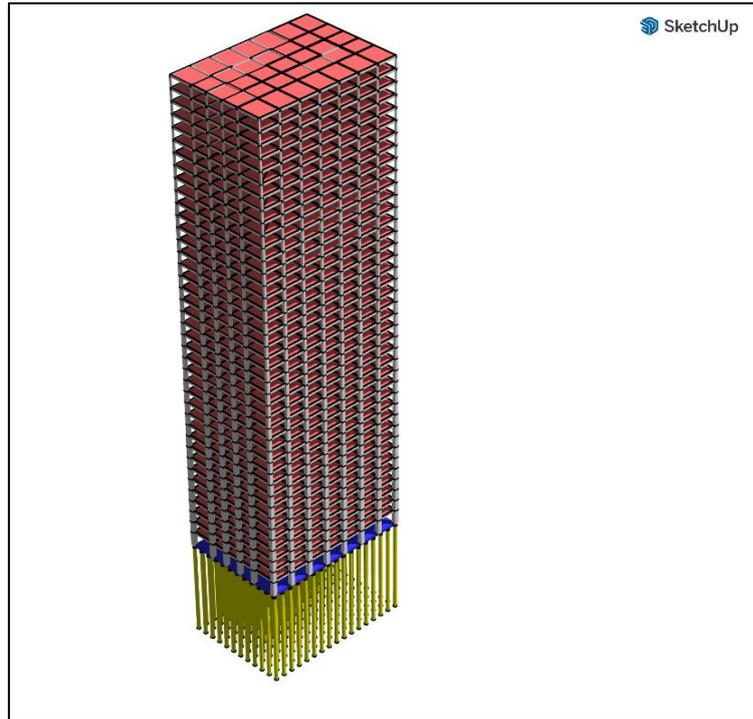


Fig. 1 Modelo tridimensional del edificio de 40 pisos considerado como caso de estudio **Fuente:** Beltrán & Mora 2024 y Autores

2.4. Diseño de Edificación de Hormigón de Alto Desempeño (HPC)

En el diseño sismo-resistente con Hormigón de Alto Desempeño (HPC), descrito por Beltrán & Mora 2024, las columnas inician con secciones de 100×100 cm desde el primer hasta el quinto nivel, reduciéndose cada cinco pisos en 10 cm hasta alcanzar 40×40 cm en los últimos niveles (pisos 36–40). Las vigas, por su parte, mantienen dimensiones de 40×50 cm en toda la edificación, como se muestra en la Con la definición y caracterización con relación a los materiales implementados, se examinó su respuesta estructural. se basa en el estudio de Beltrán & Mora 2024. Dicho trabajo plantea el diseño sismo-resistente de una edificación de 40 pisos en la ciudad de

Guayaquil, sustentado en la caracterización del peligro sísmico conforme a su localización geográfica. Dado a que Guayaquil se encuentra en una de las zonas de mayor amenaza sísmica del país, se adopta un factor de zonificación $Z = 0.4$ y un terreno clasificado como tipo E, además de un factor de reducción sísmica $R = 3$.

Bajo estas condiciones, la configuración estructural contempla en la dirección X se disponen 7 pórticos de 6 m de luz, mientras que en la dirección Y se ubican cinco pórticos con tramos de 7, 5, 5, 5 y 7 m., definiendo así una planta de 42×29 m.

Para el diseño con hormigón convencional (CC), las vigas fueron proyectadas con secciones transversales constantes de 0.40×0.60 m, mientras que las columnas presentan una disminución progresiva de sus dimensiones conforme aumenta la altura del edificio. Inicialmente se estableció una sección de 1.20×1.20 m en los primeros niveles, la cual se reduce en 10 cm cada cinco pisos, como se indica en la **tabla 2**. La altura de entrepiso se mantuvo dentro de un rango de 3.5 m a 4.5 m, garantizando uniformidad en la distribución vertical y cumplimiento con las especificaciones técnicas de diseño acorde a ACI 318 (ACI, 2019).

Tabla 2. Al comparar el diseño sismo-resistente con hormigón de alto desempeño frente al hormigón convencional, se evidencia una optimización importante en el uso de concreto. En el caso de las vigas, la reducción de la sección de 40×60 cm a 40×50 cm representa un ahorro constante cercano al 17 % por piso. En cuanto a las columnas, el ahorro varía según el nivel: en los primeros cinco pisos la reducción alcanza alrededor del 31 %, entre los pisos (11–15) llega al 36 %, en los pisos (21–25) se incrementa hasta un 44 %, y en los pisos (31–35) vuelve a ser del 36 %. Únicamente en los últimos pisos (36–40) ambos diseños coinciden en la misma sección de 40×40 cm, por lo que no hay reducción. Considerando vigas y columnas en conjunto, la optimización de concreto se mantiene en un rango aproximado del 19 al 23 % por piso, lo que refleja un diseño más eficiente y liviano con el uso de hormigón de alto desempeño. Esta reducción de secciones permite optimizar la carga intrínseca de la estructura y en consecuencia, el cortante basal, mejorando la eficiencia sísmica del edificio y reduciendo el consumo de acero y hormigón, como se presenta en la Fig. 2.

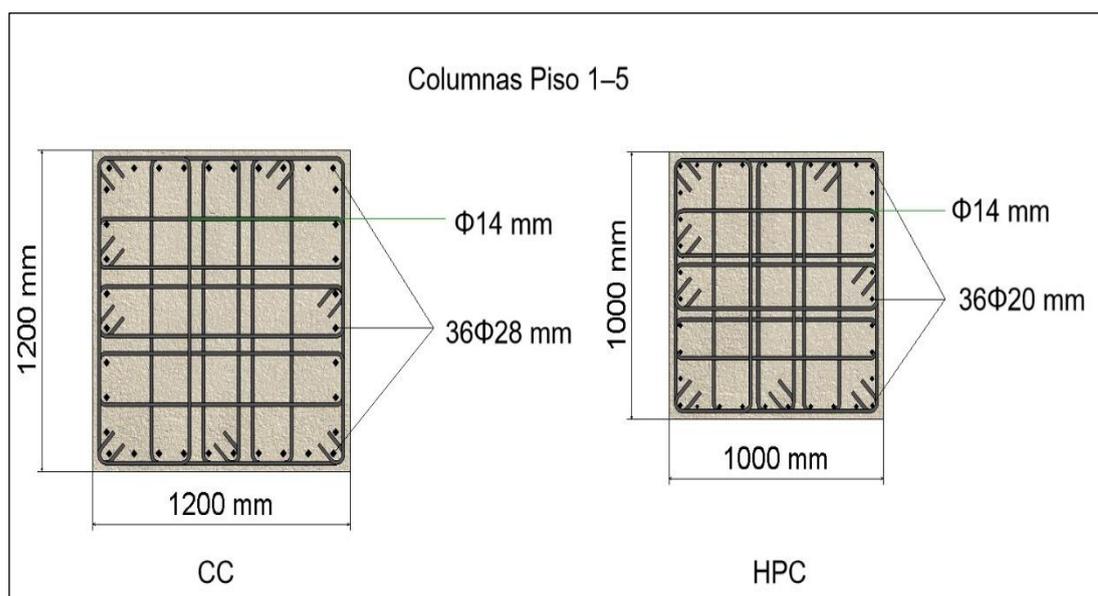


Fig. 2. Sección de Columnas Piso 1-5, (CC) Hormigón Convencional, (HPC) Hormigón de alto desempeño. **Fuente:** Beltrán & Mora 2024 y Autores.

Los ensayos de laboratorio confirman que el HPC alcanzó un f'_c de 60 MPa a los 28 días, consolidándose como el valor de referencia para el diseño estructural. El módulo de elasticidad (E_c) se estableció en aproximadamente 42 GPa y el coeficiente de Poisson en 0,20-0,22, ambos determinados mediante ensayos realizados a los 7, 14 y 28 días. Por su parte, el revenimiento fue de 240 mm, evaluado en estado fresco el mismo día de la mezcla. Estos resultados evidencian que las principales propiedades del HPC se consolidaron en el transcurso de los 28 días de curado, confirmando su comportamiento superior frente al hormigón convencional (Tabla 4).

En cuanto a la dosificación, el HPC se elaboró con 450 kg de cemento por metro cúbico y 140 kg de agua, lo que corresponde a una proporción agua-cemento de 0,31, añadiéndose 1,8 kg de plastificante y 2,5 kg de retardante. (0,56 % respecto al peso del cemento).

Tabla 3. Dosificación de concreto convencional y concreto de alto desempeño.**Fuente:** Beltrán & Mora 2024.

Mix ID	Cemento HE	Piedra 19 mm	Piedra 12 mm	Arena Natural	Arena Triturada	Agua	AP	AR
CC	369	820	--	709	298	175.1	3.5	2.4
HPC	450	--	810	764	322	140.1	1.8	2.5

CC: Hormigón convencional

HPC: Hormigón de alto desempeño

AP: Aditivo Plastificante

AR: Aditivo Retardante

Tabla 4. Propiedades físicas del concreto convencional y concreto de alto desempeño.**Fuente:** Beltrán & Mora 2024.

Mix ID	Resistencia a la compresión f'_c (MPa)	Módulo de elasticidad E_c (GPa)	Coefficiente de Poisson	Módulo de cortante (GPa)	Asentamiento (mm)
CC	36	29	0.21	11.54	200
HPC	62	35	0.20	14.14	240

CC: Hormigón convencional

HPC: Hormigón de alto desempeño

AP: Aditivo Plastificante

AR: Aditivo Retardante

CAPITULO III

3. Metodología

3.1. *Análisis de Ciclo de Vida (LCA)*

La metodología LCA ofrece un enfoque sistemático para evaluar los efectos ambientales de un producto, proceso o servicio a lo largo de todas sus etapas. De acuerdo con las normas internacionales ISO 14040 y ISO 14044, el LCA se estructura en cuatro fases interrelacionadas: definición de objetivo y alcance, análisis de inventario (Life Cycle Inventory, LCI), evaluación de impacto (Life Cycle Impact Assessment, LCIA) e interpretación ISO, (2006b); *ISO 14040:(2006)*. Estas fases se presentan como un marco metodológico que se destina al sector de obras civiles y construcción para la comparación de alternativas de diseño y de materiales con base en criterios ambientales.

3.1.1. *Definición de Objetivo y Alcance*

3.1.1.1. *Objetivo*

De acuerdo con la ISO 14040, la definición del objetivo en un estudio de LCA establece el propósito de la evaluación, el público destinatario y la forma en que se utilizarán los resultados (ISO, 2006a). En el contexto de la construcción, la norma EN 15978:2011 indica que el objeto de la evaluación debe ser el edificio en su conjunto, considerando sus cimientos, parcela y obras externas, con el fin de cuantificar su comportamiento ambiental en un periodo de estudio de referencia. Además, introduce el concepto de equivalente funcional, entendido como la descripción técnica y funcional mínima que permite la comparación transparente de diferentes alternativas constructivas (CEN, 2011).

En concordancia con esta normativa, el estudio actual busca comparar el desempeño ambiental de un edificio construido con hormigón convencional (CC) frente a otro edificado con hormigón de alto desempeño (HPC). Para el nivel de edificio, la unidad funcional se define equivalente a 1 m² de área útil con una vida útil de 50 años de referencia, conforme a lo establecido en EN 15978. A nivel de materiales, en cumplimiento con EN 15804:2012 y EN 16757:2017, se adopta la unidad funcional de

1 m³ de hormigón listo para su uso en obra, Comparando hormigón convencional y de alto rendimiento, las etapas descritas se presentan como una metodología empleada en el sector constructivo para la comparación de alternativas de diseño y de materiales con base en criterios ambientales.

3.1.1.2. Alcance

El alcance de un LCA especifica los límites del sistema, las etapas del ciclo de vida consideradas y los procesos incluidos. La EN 15978 establece que la evaluación de un edificio debe abarcar todas las fases desde la producción de materiales hasta su fin de vida, agrupadas en módulos A1 a D: etapa de producto (A1–A3), etapa de construcción (A4–A5), etapa de uso (B1–B7), etapa de fin de vida (C1–C4) y beneficios y cargas más allá del sistema (D). No obstante, la misma norma permite delimitar el estudio a ciertos módulos, siempre que ello se documente de manera transparente y justificada (CEN, 2011).

Tabla 5. Alcance de estudio, etapa de producto (A1–A3), etapa de construcción (A4–A5)
Fuente: Autores.

Fase de Producción			Fase de Construcción		Fase de Uso							Fase de Fin de Vida				Beneficios y cargas para el próximo sistema de productos
Suministro de materia prima	Transporte	Fabricación	Transporte	Proceso de construcción / instalación	Utilización	Mantenimiento incluido transporte	Reparación incluido transporte	Reemplazo incluido transporte	Rehabilitación incl. transporte	Uso de energía en operación	Uso de agua en operación	Demolición	Transporte	Reutilizar el reciclaje	Disposición final	Reutilización, recuperación Potencial de reciclaje
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

En este trabajo, el análisis a nivel de edificio se restringe a los módulos A1–A5, que incluyen la producción de materias primas, su transporte a planta, los procesos de fabricación, el transporte hasta la obra y la construcción e instalación final. Esta delimitación responde a que la mayor parte de las emisiones de gases de efecto invernadero en edificaciones se generan en estas etapas iniciales Anderson & Moncaster, (2020)

En el caso particular de los materiales, la producción de los concretos CC y HPC se estudia bajo los módulos A1–A3, en concordancia con la norma EN 15804, que

establece el enfoque de “cuna a puerta” para productos de construcción. En este sentido, se incluyen la extracción y procesamiento de materias primas (cemento, agregados, agua y adiciones), el transporte promedio de 20 km hasta la planta y el proceso de mezclado y fabricación del hormigón.

Los procesos contemplados en el sistema de análisis abarcan la extracción de insumos primarios, el transporte de materiales hasta la obra (20 km en promedio), la producción de las mezclas de hormigón, así como las actividades de construcción relacionadas con su colocación, vertido, bombeo, encofrado y gestión de desperdicios. Se excluyen las etapas de uso, mantenimiento, fin de vida y beneficios más allá del sistema (módulo D), las cuales forman parte del marco de EN 15978 pero no se consideran en este estudio.

3.1.2. Análisis de Inventario de Ciclo de Vida (LCI)

El análisis de inventario constituye la recopilación y cuantificación de los flujos de materia y energía que ingresan y salen del sistema evaluado (ISO, 2006a). En este estudio, el inventario de la producción de los concretos CC y HPC se fundamenta en los datos proporcionados por Petroche & Ramirez (2022), quienes realizaron un análisis de ciclo de vida del cemento y el concreto en Ecuador, con datos primarios de procesos industriales locales, así pues las dosificaciones corresponden a las establecidas en estudios técnicos previos en el contexto ecuatoriano (Beltrán & Mora, 2024).

Para la etapa de construcción del edificio se emplean datos primarios recopilados en obra lo cual otorga representatividad local al estudio por ello las distancias de transporte de materiales entre plantas de producción y obra se fijan en un promedio de 20 km.

Los inventarios de acero, procesos de transporte y otros insumos se obtienen de la base de datos internacional Ecoinvent v3.10, mientras que el consumo eléctrico se modela a partir del mix de generación nacional descrito por Ramirez (2019). De esta manera, el inventario combina datos primarios nacionales con fuentes internacionales reconocidas, lo cual fortalece la consistencia metodológica del estudio.

3.1.3. Análisis de Impacto de Ciclo de Vida (LCIA)

La fase de evaluación de impacto traduce los flujos de inventario en categorías de impacto ambiental relevantes. En este caso, se emplea el método ReCiPe 2016 v1.03 midpoint (H), de uso frecuente en el sector de la construcción, considerando únicamente el indicador de Potencial de Calentamiento Global (GWP100-total, kg CO₂ eq). Esta selección responde a lo establecido en la norma EN 15804, que recomienda reportar de forma obligatoria el indicador de huella de carbono en productos de construcción (CEN, 2011).

Los cálculos se realizan con el software open LCA 2.5, el cual permite integrar los inventarios de entrada con los factores de caracterización del método seleccionado y generar resultados comparables. De este modo se obtiene una cuantificación de los impactos ambientales que facilita la comparación entre el uso de hormigón convencional y hormigón de alto desempeño en edificaciones en el contexto ecuatoriano.

CAPITULO IV

4. Resultados

4.1. Análisis de Ciclo de Vida (LCA) de la producción de Hormigón Convencional (CC) vs el Hormigón de Alto Desempeño (HPC).

4.1.1. Análisis de Ciclo de Vida de la producción de Hormigón Convencional (CC).

En el análisis del ciclo de vida asociado a la producción del hormigón convencional (CC) con resistencia de diseño de 35 MPa, se obtuvo un valor total de 329,38 kg CO₂ eq./m³ de concreto, lo que refleja la magnitud de emisiones generadas a lo largo de las etapas productivas. Dentro de este resultado el proceso de producción de cemento tipo HE constituye el principal contribuyente al potencial de cambio climático (GWP100), alcanzando un 86,99% del total de emisiones, seguido de la producción de aditivos químicos orgánicos, que representa un 4,76%.

De manera complementaria, el transporte por camión de carga participa con un 3,23%, mientras que la producción de agregados gruesos (grava) alcanza un 2,53% y la producción de arena contribuye con un 1,54% y así los procesos propios de la planta de producción, como el consumo de energía eléctrica, el uso de agua y otros insumos menores, representan el 0,95% del impacto total.

4.1.2. Análisis de Ciclo de Vida de producción de Hormigón de Alto Desempeño (HPC).

En el caso del hormigón de alto desempeño (HPC), se determinó un total de 389,98 kg CO₂ eq./m³ de concreto, valor superior al obtenido en el diseño convencional. En esta configuración, la producción de cemento tipo HE continúa siendo el principal contribuyente, con una participación del 89,83% dentro del total de emisiones generadas. Esta proporción refleja la mayor presencia de cemento en la mezcla de alto desempeño, necesaria para alcanzar las propiedades mecánicas y de durabilidad propias de este tipo de diseño.

La producción de aditivos químicos orgánicos aporta un 2,94%, mientras que el transporte mediante camión de carga representa un 2,90%. En cuanto a los agregados, la producción de grava registra un 2,12% y la producción de arena concentra un 1,41%,

cifras que corresponden a los procesos de extracción, trituración y clasificación de los materiales pétreos. Por último, los procesos complementarios asociados a la planta de producción, tales como el suministro de energía, el uso de agua y otros insumos menores, participan con un 0,80% del total. Estos resultados permiten identificar de manera detallada la participación relativa de cada proceso dentro de la producción del hormigón de alto desempeño, donde el predominio de la fase de producción de cemento se mantiene como el principal factor en la estructura de emisiones, mientras que los demás procesos aportan porcentajes menores en comparación.

En las tablas se presenta la comparación de los resultados obtenidos en el análisis de ciclo de vida para la producción del hormigón convencional (CC) y de alto desempeño (HPC) en los que se puede evidenciar la distribución relativa de emisiones entre ambos diseños de hormigón, destacando la consistencia en el predominio del cemento sobre los demás componentes.

4.1.3. Análisis de Ciclo de Vida de Hormigón Convencional.

El análisis de ciclo de vida correspondiente a la construcción del edificio de 40 pisos con concreto convencional (CC, 35 MPa) muestra que la producción del concreto concentra el mayor porcentaje de contribución al potencial de calentamiento global, con un 46,51% del total y una intensidad de 329,38 kg CO₂ eq./m³. Este valor corresponde al uso del material en columnas, vigas, losas, muros, pilotes y cimentación.

El segundo rubro en magnitud corresponde a las ventanas, con un 28,95% del total, equivalente a 110,89 kg CO₂ eq./m². A continuación, se ubica el acero de refuerzo, con un 16,74%, distribuido en 9,06% para columnas y vigas, 5,60% en pilotes y 2,08% en la losa de cimentación. Entre los materiales y procesos de menor participación se encuentran la mampostería y enlucidos (2,77%), los otros materiales auxiliares (2,82%) y el tratamiento de residuos (1,59%). Finalmente, los aportes de combustibles y energías (0,47%) y transporte (0,13%) se registran como los valores más bajos dentro del inventario ambiental considerado para este escenario. Toda esta información se detalla en la Tabla 6.

Tabla 6 Análisis de Ciclo de Vida LCA del diseño del edificio de 40 pisos con CC.**Fuente:** Gavilanes & Lozano 2025.

RUBROS	HUELLA DE CARBONO Kg CO₂	% CONTRIBUCION	HUELLA CARBONO kg CO₂ eq/m²
CC, 35 MPa (Columnas+Vigas)	2979444,68	15,08%	57,74
CC, 35 MPa (Losas+Muro)	4373953,75	22,13%	84,77
CC, 35 MPa (Losa de cimentación)	361076,54	1,83%	7,00
CC, 35 MPa (Pilotes)	1477706,22	7,48%	28,64
Acero de refuerzo (Columnas+Vigas)	1790530,09	9,06%	34,70
Acero de refuerzo (Losa de cimentación)	412047,82	2,08%	7,99
Acero de refuerzo (Pilotes)	1107315,87	5,60%	21,46
Ventanas	5721988,145	28,95%	110,89
Mamposteria, bloques, pegado + enlucido	546866,5544	2,77%	10,60
Otros materiales	557634,2383	2,82%	10,81
Combustibles y energías	93856,88672	0,47%	1,82
Transporte	26003,58	0,13%	0,50
Tratamiento de Residuos	315219,1474	1,59%	6,11
Total de CO ₂	19763643,51		383,02

4.1.4. Análisis de Ciclo de Vida de Hormigón de Alto Desempeño.

En el escenario con hormigón de alto desempeño (HPC, 60 MPa), aplicado a la construcción del edificio de 40 pisos, se detalla en la Tabla 6 como la producción del concreto representa en conjunto un 46,89% del total y mantiene una intensidad de 329,39 kg CO₂ eq./m³. Este porcentaje está conformado por el concreto convencional (CC) utilizado en losas y muros, que aporta un 22,99% (84,77 kg CO₂ eq./m²), y por el hormigón de alto desempeño (HPC), empleado en columnas y vigas (13,62%), losa de cimentación (1,87%) y pilotes (8,41%), cuya suma alcanza un 23,90% del total.

El segundo rubro corresponde a las ventanas, con un 30,08%, equivalente a 110,89 kg CO₂ eq./m². En tercer lugar, el acero de refuerzo registra un 14,95%, distribuido en 7,92% en columnas y vigas, 5,34% en pilotes y 1,69% en la losa de cimentación. Entre los materiales y procesos de menor incidencia se identifican la mampostería y enlucidos (2,87%), los otros materiales auxiliares (2,93%) y el tratamiento de residuos (1,66%). Finalmente, los procesos de combustibles y energías (0,49%) y transporte (0,13%) presentan los valores más bajos en este escenario.

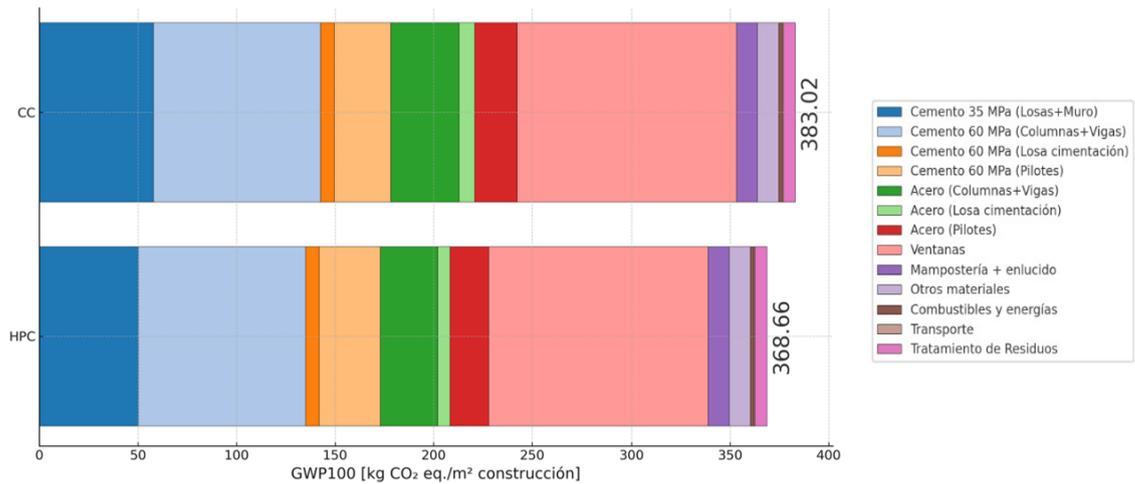
Tabla 7. Análisis de Ciclo de Vida LCA del diseño del edificio de 40 pisos con HPC.
Fuente: Gavilanes & Lozano 2025.

RUBROS	HUELLA DE CARBONO Kg CO₂	% CONTRIBUCIÓN	HUELLA DE CARBONO kg CO₂eq/m²
HPC, 60 MPa (Columnas + Vigas)	2590124,17	13,62%	50,20
CC, 35 MPa (Losas + Muro)	4373953,75	22,99%	84,77
HPC, 60 MPa (Losa de cimentación)	355325,72	1,87%	6,89
HPC, 60 MPa (Pilotes)	1599568,64	8,41%	31,00
Acero de refuerzo (Columnas + Vigas)	1506996,52	7,92%	29,21
Acero de refuerzo (Losa de cimentación)	320565,19	1,69%	6,21
Acero de refuerzo (Pilotes)	1015081,32	5,34%	19,67
Ventanas	5721988,145	30,08%	110,89
Mampostería, bloques, pegado + enlucido	546866,5544	2,87%	10,60
Otros materiales	557634,2383	2,93%	10,81
Combustibles y energías	93856,88672	0,49%	1,82
Transporte	25566,83674	0,13%	0,50
Tratamiento de Residuos	315219,1474	1,66%	6,11
Total CO₂	19022747,12		368,66

El análisis del potencial de calentamiento global (GWP100, kg CO₂ eq./m² construcción) para los elementos estructurales de columnas, vigas, cimentación y pilotes muestra que el diseño con concreto convencional (CC) alcanza un valor de 4.818.227,43 kg CO₂ eq./m² construcción, mientras que el hormigón de alto desempeño (HPC) registra 4.545.018,53 kg CO₂ eq./m² construcción. La diferencia entre ambos escenarios corresponde a 273.208,90 kg CO₂ eq./m² construcción, lo que representa una reducción del 5,67% respecto al valor obtenido con concreto convencional.

En relación con el acero de refuerzo, los resultados reflejan una reducción aún más relevante en términos ambientales. El diseño con CC presenta un impacto de 3.309.893,78 kg CO₂ eq./m² construcción, mientras que con HPC se obtiene un valor de 2.842.643,03 kg CO₂ eq./m² construcción. La diferencia corresponde a 467.250,75 kg CO₂ eq./m² construcción, lo que equivale a una disminución del 14,12% en comparación con el escenario de referencia, esta variación se visualiza por la optimización geométrica derivada del empleo de HPC, que posibilita el diseño de secciones estructurales más eficientes, reduciendo así la cantidad de acero necesaria y con ello las emisiones asociadas a su producción. Los demás procesos muestran variaciones menores.

La comparación de los porcentajes obtenidos en ambos escenarios se resume en la Grafica 1 , en la cual se muestra la participación relativa de cada categoría para el caso del concreto convencional y del hormigón de alto desempeño lo cual muestra que el empleo de HPC permite disminuir la carga ambiental asociada a la etapa de construcción, debido a que se logra un mejor desempeño mecánico con un ajuste en la composición de la mezcla, lo que repercute en menores emisiones globales.



Grafica 1 Comparación de emisiones LCA CC vs HPC por proceso en la construcción del edificio.
Fuente: Gavilanes & Lozano 2025.

4.2. Análisis de Ciclo de Costo de la construcción del edificio con Hormigón Convencional (CC) vs el Hormigón de Alto Desempeño (HPC).

4.2.1. Análisis de Ciclo de costo de Hormigón Convencional (CC).

El mayor costo dentro de la obra corresponde al concreto de 35 MPa, cuya suma de partidas alcanza \$7.338.077,28 dólares, lo que representa el 50,83 % del presupuesto total. Dentro de este valor se incluyen losas y muros (24,19 %), columnas y vigas (16,47 %), pilotes (8,17 %) y la losa de cimentación (2,00 %).

En segundo lugar, se ubica el acero de refuerzo, con un valor acumulado de 3.536.292,28 dólares, equivalente al 24,49 % del total, este monto corresponde al acero utilizado en columnas, vigas, pilotes y losa de cimentación lo que lo convierte en el segundo componente estructural de mayor incidencia.

El tercer puesto lo ocupa la mampostería, bloques, mortero de pega y enlucido, con 1.519.442,26 dólares (10,52 %), seguido de las ventanas con 504.143,74 dólares (3,49 %) y el tratamiento de residuos con 364.988,33 dólares (2,53 %). En menor proporción aparecen los apartados de otros materiales (0,61 %), transporte (0,21 %) y combustibles y energías (0,20 %), cuya participación resulta marginal frente a los

materiales principales. La distribución detallada de estos resultados se presenta en la Tabla 8.

Tabla 8. Análisis de Ciclo de Costo LCC del diseño del edificio de 40 pisos con CC.

Fuente: Gavilanes & Lozano 2025.

RUBRO	COSTO TOTAL CONSTRUCCION	% Contribución	COSTO eq/m²
CC, 35 MPa (Columnas+Vigas)	\$2.378.477,41	16,47%	46,09
CC, 35 MPa (Losas+Muro)	\$3.491.707,79	24,19%	67,67
CC, 35 MPa (Losa de cimentación)	\$288.245,79	2,00%	5,59
CC, 35 MPa (Pilotes)	\$1.179.646,29	8,17%	22,86
Acero de refuerzo (Columnas+Vigas)	\$1.271.615,50	8,81%	24,64
Acero de refuerzo (Losa de cimentación)	\$292.632,00	2,03%	5,67
Acero de refuerzo (Pilotes)	\$786.404,00	5,45%	15,24
Ventanas	\$504.143,74	3,49%	9,77
Mamposteria, bloques, pegado + enlucido	\$1.519.442,26	10,52%	29,45
Otros materiales	\$2.294.834,21	15,90%	44,47
Combustibles y energías	\$38.313,37	0,27%	0,74
Transporte	\$26.915,00	0,19%	0,52
Tratamiento de Residuos	\$364.938,33	2,53%	7,07
Total de CO ₂	\$14.437.315,7		279,79

4.2.2. Análisis de Costo de Hormigón de Alto Desempeño (HPC).

El análisis de los costos asociados al uso de concreto de diferente resistencia evidencia una marcada concentración del presupuesto en este rubro. En el caso del hormigón convencional de 35 MPa (CC), aplicado principalmente en losas y muros, el valor asciende a \$3.491.707,79 USD, lo que representa el 24,19 % del total. Por su parte, el hormigón de alto desempeño de 60 MPa (HPC), utilizado en elementos críticos como columnas, vigas, pilotes y losa de cimentación, alcanza los \$4.456.034,93 USD, equivalente al 29,02 % de la inversión. En conjunto, el concreto suma \$7.947.742,72 USD, absorbiendo el 53,21 % del presupuesto total de la obra y confirmando su papel central en el costo de la estructura. Estos resultados se sintetizan en la Tabla 9, donde se presenta la desagregación de los costos de construcción por rubro.

El segundo componente en importancia es el acero de refuerzo, con un monto de \$2.706.526,50 USD, que representa el 17,95 % del total. Este valor se distribuye entre columnas y vigas (\$1.196.636,03 USD), pilotes (\$1.282.377,22 USD) y losa de cimentación (\$227.662,00 USD) reforzando la condición del acero como material complementario indispensable para la capacidad portante y la seguridad estructural.

En un nivel intermedio se ubica la mampostería (bloques, mortero de pega y enlucido), con \$1.519.442,26 USD, que equivale al 10,09 % del presupuesto. Otros rubros presentan participaciones menores: ventanas (\$504.143,74 USD; 3,34 %), tratamiento de residuos (364.938,33 USD; 2,43 %) y la categoría de otros materiales (2.294.834,21 USD; 15,23 %), que reúne partidas con menor detalle de desglose así pues los apartados de combustibles y energías (\$38.313,37 USD; 0,25 %) y transporte (\$26.915,00 USD; 0,18 %) registran una incidencia marginal dentro del presupuesto global.

Tabla 9. Análisis de Ciclo de Costo LCC del diseño del edificio de 40 pisos con HPC.
Fuente: Gavilanes & Lozano 2025

RUBRO	COSTO TOTAL CONSTRUCCION	% Contribución	COSTO eq/m²
HPC, 60 MPa (Columnas+Vigas)	\$1.969.636,03	14,36%	38,17
CC, 35 MPa (Losas+Muro)	\$3.491.707,79	25,46%	67,67
HPC, 60 MPa (Losa de cimentación)	\$270.204,17	1,97%	5,24
HPC, 60 MPa (Pilotes)	\$1.216.377,22	8,87%	23,57
Acero de refuerzo (Columnas+Vigas)	\$1.070.252,96	7,80%	20,74
Acero de refuerzo (Losa de cimentación)	\$227.662,00	1,66%	4,41
Acero de refuerzo (Pilotes)	\$720.900,00	5,26%	13,97
Ventanas	\$504.143,74	3,68%	9,77
Mamposteria, bloques, pegado + enlucido	\$1.519.442,26	11,08%	29,45
Otros materiales	\$2.294.834,21	16,73%	44,47
Combustibles y energías	\$38.313,37	0,28%	0,74
Transporte	\$26.915,00	0,20%	0,52
Tratamiento de Residuos	\$364.938,33	2,66%	7,07
Total Construcción	\$13.715.327,08		265,80

En el análisis de costos asociados al uso de concreto en los elementos estructurales de columnas, vigas, cimentación y pilotes, se observa que el diseño con concreto convencional (CC) presenta un valor total de \$3.846.369,49 USD, mientras que el hormigón de alto desempeño (HPC) alcanza \$3.456.217,41 USD. La diferencia entre ambos escenarios corresponde a \$390.152,08 USD, lo que equivale a una reducción del 10,14% con respecto al costo inicial del concreto convencional. Este resultado muestra la magnitud del impacto económico que representa la incorporación de HPC en estos componentes estructurales, considerando únicamente la fase constructiva.

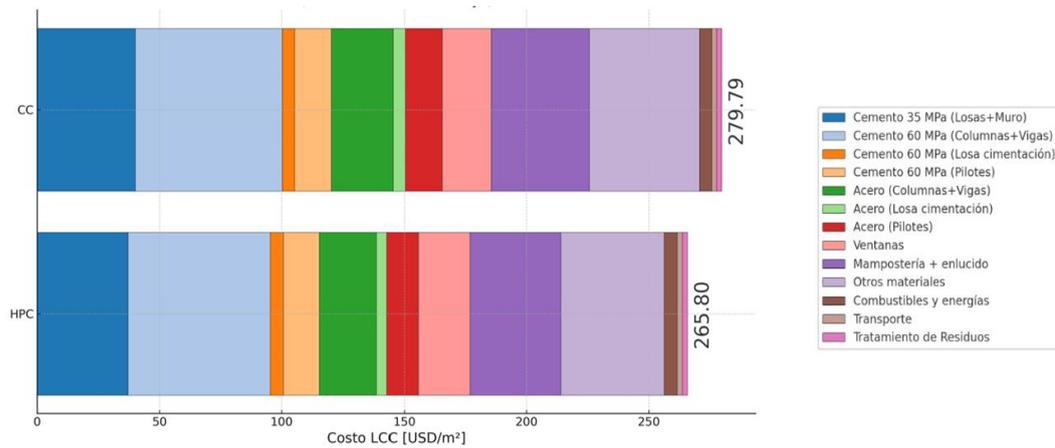
En cuanto al acero de refuerzo, los costos siguen una tendencia similar. Para los mismos elementos estructurales, el diseño con CC alcanza un costo de \$2.350.651,50 USD, mientras que la alternativa con HPC se reduce a \$2.018.814,96 USD. La diferencia registrada asciende a \$331.836,54 USD, lo que representa un 14,12% en relación con el valor obtenido con concreto convencional. Esta reducción pone en evidencia que además de optimizar el consumo de concreto el empleo de HPC contribuye a una disminución en la demanda de acero de refuerzo debido a que las secciones estructurales pueden ser diseñadas con menores dimensiones manteniendo los mismos niveles de seguridad y desempeño.

La coherencia entre estas variaciones de costo y las diferencias observadas en los impactos ambientales permite integrar ambos enfoques dentro del análisis comparativo de CC y HPC.

En este marco, el análisis de impactos ambientales bajo el indicador GWP100 (kg CO₂ eq./m² de construcción) muestra que el CC presenta un valor de 383,02 kg CO₂ eq./m², mientras que el HPC alcanza 368,66 kg CO₂ eq./m². La diferencia absoluta entre ambos es de 14,36 kg CO₂ eq./m², lo que equivale a una reducción relativa del 3,75% respecto al escenario convencional de este modo la disminución aunque porcentualmente moderada resulta significativa al proyectarse a la escala total del edificio, confirmando la influencia del tipo de material en la huella ambiental asociada a la fase constructiva.

De forma complementaria, el análisis de los costos unitarios por metro cuadrado muestra una tendencia coherente con los resultados ambientales. En la Grafica 2, El

CC registra un costo de \$279,79 USD/m², frente a los \$265,80 USD/m² obtenidos para el HPC. La diferencia corresponde a \$13,99 USD/m², equivalente a un ahorro relativo del 5,00% con respecto al concreto convencional. Este resultado evidencia que además de reducir las emisiones el HPC contribuye a la optimización económica de la construcción, derivado de una mayor eficiencia material y estructural que permite disminuir el volumen de recursos empleados sin comprometer las propiedades mecánicas del diseño.



Grafica 2. Comparación de costos LCC CC vs HPC por proceso en la construcción del edificio.
Fuente: Gavilanes & Lozano 2025.

5. Conclusiones.

El análisis comparativo del ciclo de vida (LCA) y del ciclo de costos (LCC) entre el hormigón convencional (CC, 35 MPa) y el hormigón de alto desempeño (HPC, 60 MPa) permite establecer las siguientes conclusiones:

1. En la etapa de construcción del edificio de 40 pisos, el concreto constituye el principal aporte a las emisiones en ambos escenarios; no obstante, la incorporación del hormigón de alto desempeño en los elementos estructurales permite alcanzar una reducción del 5,67 % en las emisiones totales, debido a la optimización de secciones estructurales más eficientes.
2. El uso de hormigón de alto desempeño posibilita una disminución significativa en el consumo de acero de refuerzo con una reducción del 14,12 % respecto al hormigón convencional, atribuida a la optimización geométrica derivada de sus propiedades mecánicas superiores.
3. Desde la perspectiva económica, tanto el hormigón convencional como el hormigón de alto desempeño destinan más de la mitad de los costos a la producción del concreto mientras que el acero de refuerzo constituye el segundo rubro en importancia, presentando una menor incidencia en el escenario con HPC.
4. En los elementos estructurales principales, correspondientes a columnas, vigas, pilotes y cimentación, la utilización de hormigón de alto desempeño genera una reducción del 10,14 % en los costos frente al escenario con hormigón convencional, complementada con una disminución del 14,12 % en el acero de refuerzo, lo que evidencia una mayor eficiencia económica en la fase constructiva.
5. El análisis integral de los resultados refleja que si bien la producción del hormigón de alto desempeño implica mayores emisiones iniciales por ello este efecto se ve compensado en la etapa de construcción mediante una reducción en el consumo de materiales, menores costos y disminución de impactos ambientales globales.

6. En términos generales los resultados permiten concluir que el hormigón de alto desempeño constituye una alternativa técnicamente sólida, económicamente eficiente y ambientalmente favorable para edificaciones de gran altura, consolidándose como una opción alineada con los principios de sostenibilidad en la construcción.
7. El análisis de ciclo de vida bajo el indicador GWP100 (kg CO₂ eq./m² de construcción) demuestra que la utilización de hormigón de alto desempeño (HPC) reduce las emisiones en comparación con el hormigón convencional (CC). La diferencia de 14,36 kg CO₂ eq./m² equivalente al 3,75%, confirma que la elección del material influye directamente en la disminución de la huella ambiental asociada a la fase constructiva.
8. Desde el punto de vista económico los costos unitarios por metro cuadrado reflejan la misma tendencia de mejora. El HPC registra un valor de \$265,80 USD/m² frente a los \$279,79 USD/m² del CC, generando un ahorro relativo del 5,00%. Este resultado evidencia que la reducción de emisiones está acompañada de un beneficio financiero.
9. La evaluación conjunta de indicadores ambientales y económicos permite concluir que el HPC constituye una alternativa eficiente dentro del proceso constructivo ya que logra optimizar simultáneamente el desempeño ambiental y los costos de construcción sin comprometer las propiedades estructurales del diseño analizado.

6. Referencias

- ACI. (2019). ACI CODE-318-19: Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary. In *American Concrete Institute*.
- Aïtcin, P. C. (2011). High-Performance Concrete. *High-Performance Concrete*, 1–591. <https://doi.org/10.4324/9780203475034/HIGH-PERFORMANCE-CONCRETE-PIERRE-CLAUDE-A>
- Al-Kodmany, K. (2018). The Sustainability of Tall Building Developments: A Conceptual Framework. *Buildings* 2018, Vol. 8, Page 7, 8(1), 7. <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS8010007>
- Alvarado-López, J. R., Correa-Quezada, R. F., & Tituaña-Castillo, M. del C. (2017). Migración interna y urbanización sin eficiencia en países en desarrollo: Evidencia para Ecuador. *Papeles de Poblacion*, 23(94), 99–123. <https://doi.org/10.22185/24487147.2017.94.033>
- Amran, M., Huang, S. S., Onaizi, A. M., Makul, N., Abdelgader, H. S., & Ozbakkaloglu, T. (2022). Recent trends in ultra-high performance concrete (UHPC): Current status, challenges, and future prospects. *Construction and Building Materials*, 352. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2022.129029>
- Anderson, J., & Moncaster, A. (2020). Embodied carbon of concrete in buildings, Part 1: analysis of published EPD. *Buildings and Cities*, 1(1), 198–217. <https://doi.org/10.5334/BC.59>
- Architecture2030. (2018). *ZERO Code: The Future Has Arrived*.

- ASTM International. (2019). ASTM C270-19ae1, Standard Specification for Mortar for Unit Masonry. In *Annual Book of ASTM Standards: Vol. 04.05*. <https://doi.org/10.1520/C0270-19AE01>
- ASTM International. (2023). ASTM C1157/C1157M-23, Standard Performance Specification for Hydraulic Cement. *Annual Book of ASTM Standards, 04.01*. https://doi.org/10.1520/C1157_C1157M-23
- Aytekin, B., & Mardani-Aghabaglou, A. (2022). Sustainable Materials: A Review of Recycled Concrete Aggregate Utilization as Pavement Material. *Transportation Research Record*, 2676(3), 468–491. <https://doi.org/10.1177/03611981211052026;WGROU:STRING:PUBLICATION>
- Bachtiar, E., Mustaan, M., Jumawan, F., Artayani, M., Tahang, T., Rahman, M. J., Setiawan, A., & Ihsan, M. (2020). Examining Polyethylene Terephthalate (PET) as Artificial Coarse Aggregates in Concrete. *Civil Engineering Journal*, 6(12), 2416–2424. <https://doi.org/10.28991/cej-2020-03091626>
- Beltrán, M., & Mora, M. (2024). *Evaluación de hormigones de alto desempeño en Guayaquil y su impacto en el análisis y diseño de edificaciones*.
- Castro Riquetti, J. D., & Ojeda Bravo, G. L. (2019). *Diseño y elaboración de hormigones especiales de alto desempeño*.
- CEN. (2011). *Sostenibilidad en la construcción. Evaluación del comportamiento ambiental de los edificios. Método de cálculo. UNE-EN 15978*.
- Chen, L., Huang, L., Hua, J., Chen, Z., Wei, L., Osman, A. I., Fawzy, S., Rooney, D.

- W., Dong, L., & Yap, P. S. (2023). Green construction for low-carbon cities: a review. *Environmental Chemistry Letters* 2022 21:3, 21(3), 1627–1657. <https://doi.org/10.1007/S10311-022-01544-4>
- Daigle, L. ., & Lounis, Z. (2006, November). *Life cycle cost analysis of high performance concrete bridges considering their environmental impacts.*
- Díaz-Kovalenko, I. E., Larrea-Rosas, K. P., & Barros-Naranjo, J. (2022). El sector de la construcción en la economía ecuatoriana, importancia y perspectivas. *Revista de Ciencias Sociales y Económicas*, 6(2), 58–69. <https://doi.org/10.18779/CSYE.V6I2.598>
- Dossche, C., Boel, V., De Corte, W., Van den Heede, P., & De Belie, N. (2016). A plant based LCA of high-strength prestressed concrete elements and the assessment of a practical ecological variant. *Cement and Concrete Composites*, 73, 192–202. <https://doi.org/10.1016/J.CEMCONCOMP.2016.07.011>
- Fiala, C., Novotná, M., & Hájek, P. (2013). *Central Europe towards Sustainable Building 2013 Decision-support tools and assessment methods*
METHODOLOGY OF LIFE-CYCLE ASSESSMENT OF RC STRUCTURES USING HIGH PERFORMANCE CONCRETE.
- Fraile, C. (2024). *El cemento, responsable del 8% de las emisiones de CO₂ – Escuela Taller Cobijo Natural.*
- Francisca Puertas, Alonso Lopez, Palacios Marta, & M. del Mar. (2020). *Construcción sostenible. El papel de los materiales | DIGITAL.CSIC. Construcción Sostenible. El Papel de Los Materiales.*

- García, N., & Mosquera, J. (2015). *Hormigón de alto desempeño con módulo de rotura 4,5 MPa. a las 24 Horas.*
- Gedik, B. F., Ay, B. Ö., & Çakmaklı, A. B. (2023). An analysis of comparative studies on embodied carbon and embodied energy assessment of tall building structures. *MEGARON / YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY, FACULTY OF ARCHITECTURE E-JOURNAL*, 18(3), 387–400. <https://doi.org/10.14744/MEGARON.2023.88972>
- Hájek, P., Fiala, C., & Lupíšek, A. (2016). High Performance Concrete for Environmentally Efficient Building Structures. *Key Engineering Materials*, 691, 272–284. <https://doi.org/10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/KEM.691.272>
- Hunter, M. R. (2011). Impact of ecological disturbance on awareness of urban nature and sense of environmental stewardship in residential neighborhoods. *Landscape and Urban Planning*, 101(2), 131–138. <https://doi.org/10.1016/J.LANDURBPLAN.2011.02.005>
- ISO. (2006a). *ISO-14040 Environmental management–life cycle assessment–principles and framework: International Organization for Standardization.*
- ISO. (2006b). *ISO 14044:2006 — Evaluación del ciclo de vida — Requisitos y directrices.* 47–48. <https://www.iso.org/standard/38498.html>
- ISO 14040:2006 - Gestión ambiental — Evaluación del ciclo de vida — Principios y marco.* (2006). <https://www.iso.org/standard/37456.html>
- Ji, C., Wu, Y., Zhao, Z., Chen, C., & Yao, L. (2022). Life Cycle Assessment of Off-Site Construction Using Ultra-High-Performance Concrete. *Sustainability* 2022,

Leff, E. (1990). *Poblacion , y medio ambiente*. 25–26.

Mack-Vergara, Y. L. (2024). Comparing conventional concrete to high performance concrete through life cycle assessment. *Brazilian Journal of Science*, 3(3), 42–55. <https://doi.org/10.14295/bjs.v3i3.531>

Perera, D., Poologanathan, K., Gillie, M., Gatheeshgar, P., Sherlock, P., Upasiri, I. R., & Rajanayagam, H. (2022). Novel conventional and modular LSF wall panels with improved fire performance. *Journal of Building Engineering*, 46, 103612. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2021.103612>

Petroche, D. M., & Ramirez, A. D. (2022). The Environmental Profile of Clinker, Cement, and Concrete: A Life Cycle Perspective Study Based on Ecuadorian Data. *Buildings*, 12(3), 311. <https://doi.org/10.3390/buildings12030311>

Pushkar, S., & Ribakov, Y. (2021). ENVIRONMENTAL BENEFIT OF TWO-LAYER STEEL FIBERED HIGH-PERFORMANCE CONCRETE BEAMS. *Journal of Green Building*, 16(3), 237–250. <https://doi.org/10.3992/JGB.16.3.237>

Ramirez, A. D., Rivela, B., Boero, A., & Melendres, A. M. (2019). Lights and shadows of the environmental impacts of fossil-based electricity generation technologies: A contribution based on the Ecuadorian experience. *Energy Policy*, 125, 467–477. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2018.11.005>

Restrepo, A., López, S., & Echeveria, C. (2024). *Properties of a High Performance Concrete manufactured with a conventional production process*. 42, 2024–2145.

<https://doi.org/10.14482/inde.42.02.089.456>

Salmo 23. (1960). *Salmos 23 RVR1960 - Jehová es mi pastor -Salmo de David. - Bible Gateway*.

United Nations. (2010). *Capítulo 9: Población Y Medio Ambiente*. 1–36.

Yépez, F., & Calderón, F. X. (2014). Diseño de hormigones de alto desempeño: alta resistencia a la compresión, trabajabilidad adecuada y alta resistencia a la erosión - abrasión para obras hidráulicas. *ACI Avances En Ciencias e Ingenierías*, 6(1).
<https://doi.org/10.18272/ACI.V6I1.162>

ZELMAT, Y. (2023). DEVELOPMENT OF HIGH-PERFORMANCE CONCRETE (HPC) FROM LOCAL MATERIALS. *Journal of Jilin University*.
<https://doi.org/10.5281/ZENODO.10123856>

Zhang, S., Ma, M., Zhou, N., Yan, J., Feng, W., Yan, R., You, K., Zhang, J., & Ke, J. (2024). Estimation of global building stocks by 2070: Unlocking renovation potential. *Nexus*, 1(3), 100019. <https://doi.org/10.1016/J.YNEXS.2024.100019>



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Gavilanes Quezada, Fabricio Josue** con C.C: # **0705266617** y **Lozano Siavichay, Adriana Elizabeth** con C.C: **0955497979** autores del trabajo de titulación: **Desempeño técnico ambiental y económico de hormigones de alto desempeño**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaramos tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, **8 de septiembre de 2025**

EL AUTOR

f. Gavilanes Fabricio

Gavilanes Quezada Fabricio

Josue

LA AUTORA

f. Adriana Elizabeth

Lozano Siavichay Adriana

Elizabeth

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	Desempeño técnico ambiental y económico de hormigones de alto desempeño.		
AUTOR(ES)	Gavilanes Quezada, Fabricio Josue Lozano Siavichay, Adriana Elizabeth		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Alcívar Bastidas, Stefany Esther		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Ingeniería		
CARRERA:	Ingeniería civil		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero civil		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	8 de septiembre de 2025	No. DE PÁGINAS:	41
ÁREAS TEMÁTICAS:	Economía de la construcción, análisis del ciclo de costo, impacto ambiental, construcción sostenible.		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Sostenibles, hormigón de alto desempeño, CO ₂ , crecimiento urbano, economía, impacto ambiental.		

RESUMEN/ABSTRACT:

Este estudio analiza el desempeño de los concretos de alto desempeño (HPC) en términos técnicos, ambientales y económicos, considerando su aplicación en el contexto de la construcción en Ecuador. La acelerada urbanización en países en desarrollo ha incrementado la presión sobre los recursos naturales, intensificando las emisiones de CO₂ y generando impactos directos en los ecosistemas locales. En este escenario, la producción y uso de materiales de construcción adquiere un papel central para la sostenibilidad.

El HPC se distingue del hormigón convencional (CC) por su mayor resistencia y durabilidad respecto al concreto convencional, además de ofrecer ventajas en la reducción de mantenimiento y en la optimización del diseño estructural. Aunque en las últimas dos décadas su uso ha ganado reconocimiento a nivel internacional, su aplicación en Ecuador se mantiene limitada debido a factores de inversión inicial, normativas y disponibilidad tecnológica. Sin embargo, su incorporación constituye una alternativa con potencial para disminuir la huella ecológica asociada a la edificación, sin comprometer el ritmo de crecimiento urbano.

La presente investigación busca aportar evidencia académica sobre las ventajas del HPC en comparación con el concreto convencional, evaluando indicadores ambientales mediante el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y métricas económicas de costo de construcción (ACC). Los resultados aspiran a respaldar decisiones de diseño y políticas de construcción orientadas hacia prácticas más sostenibles, que respondan a las necesidades de infraestructura de países en desarrollo, promoviendo al mismo tiempo la eficiencia estructural y la mitigación de impactos ambientales.

ABSTRACT:

This study analyzes the performance of high-performance concrete (HPC) in technical, environmental, and economic terms, considering its application in the context of construction in Ecuador. Rapid urbanization in developing countries has increased pressure on natural resources, intensifying CO₂ emissions and generating direct impacts on local ecosystems. In this scenario, the production and use of construction materials plays a central role in sustainability.

HPC differs from conventional concrete (CC) in that it is stronger and more durable than conventional concrete, as well as offering advantages in terms of reduced maintenance and optimized structural design. Although its use has gained international recognition in the last two

decades, its application in Ecuador remains limited due to initial investment factors, regulations, and technological availability. However, its incorporation constitutes an alternative with the potential to reduce the ecological footprint associated with construction, without compromising the pace of urban growth.

This research seeks to provide academic evidence on the advantages of HPC compared to conventional concrete, evaluating environmental indicators through Life Cycle Assessment (LCA) and economic metrics of construction cost (ACC). The results aim to support design decisions and construction policies geared toward more sustainable practices that respond to the infrastructure needs of developing countries, while promoting structural efficiency and mitigating environmental impacts.

ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593 984036622 +593 984360652	E-mail: adriana_lozanos@hotmail.com fabricio.gavilanes@cu.ucsg.edu.ec
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Clara Glas Cevallos	
	Teléfono: +593-4-2206956	
	E-mail: clara.glass@cu.ucsg.edu.ec	
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA		
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):		
Nº. DE CLASIFICACIÓN:		
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):		