

**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

TEMA:

**Evaluación de hormigones de alto desempeño en Guayaquil
y su impacto en el análisis y diseño de edificaciones.**

AUTORAS:

**Beltrán Mendoza, Meiby Arlhet
Mora Rey, Marena Mercedes**

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

TUTOR:

Ing. Ponce Vásquez, Guillermo Alfonso, M.Sc

Guayaquil, Ecuador

9 de febrero del 2024



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Beltrán Mendoza, Meiby Arlhet y Mora Rey, Marena Mercedes**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

TUTOR

f. 
Ing. Ponce Vásquez, Guillermo Alfonso, M.Sc

DIRECTOR DE LA CARRERA

f. 
Ing. Alcívar Bastidas, Stefany Esther, M.Sc

Guayaquil, a los 9 del mes de febrero del año 2024



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotras, **Beltrán Mendoza, Meiby Arlhet**
Mora Rey, Marena Mercedes

DECLARO QUE:

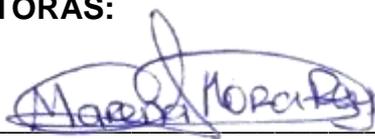
El Trabajo de Titulación: **Evaluación de hormigones de alto desempeño en Guayaquil y su impacto en el análisis y diseño de edificaciones**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el 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 9 del mes de febrero del año 2024

LAS AUTORAS:

f. 
Beltrán Mendoza, Meiby Arlhet

f. 
Mora Rey, Marena Mercedes



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

AUTORIZACIÓN

Nosotras, **Beltrán Mendoza, Meiby Arlhet
Mora Rey, Marena Mercedes**

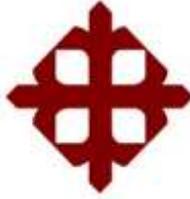
Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **Evaluación de hormigones de alto desempeño en Guayaquil y su impacto en el análisis y diseño de edificaciones**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 9 del mes de febrero del año 2024

LAS AUTORAS:

f. Meiby Beltrán m
Beltrán Mendoza, Meiby Arlhet

f. Marena Mora Rey
Mora Rey, Marena Mercedes



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
REPORTE COMPILATIO**



CERTIFICADO DE ANÁLISIS
magíster

**TRABAJO DE TITULACION B2023
BELTRÁN-MORA**

6%
Textos sospechosos

3% Similitudes
= 1% similitudes entre comillas
= 3% entre las fuentes mencionadas

3% Idiomas no reconocidos

Nombre del documento: TRABAJO DE TITULACION B2023 BELTRAN-MORA.docx
ID del documento: 218a78172a7e78d9cd84be91644f28996b9e543e
Tamaño del documento original: 11,58 MB

Depositante: Clara Catalina Glas Cevallos
Fecha de depósito: 2/2/2024
Tipo de carga: Interface
Fecha de fin de análisis: 3/2/2024

Número de palabras: 21.602
Número de caracteres: 139.874

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	bibdigital.egn.edu.ec 73 Fuentes similares	5%		Palabras idénticas: 5% (1054 palabras)
2	repositorio.ucsg.edu.ec 59 Fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (203 palabras)
3	repositorio.puce.edu.ec 23 Fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (224 palabras)
4	repositorio.ucsg.edu.ec 49 Fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (238 palabras)
5	www.sclero.cl Medición de resistencia a tempranas edades del hormigón: método... 28 Fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (208 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	Documento de otro usuario #1077 11 documentos proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (24 palabras)
2	Documento de otro usuario #11349f 11 documentos proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (24 palabras)
3	archive.org https://arxiv.org/pdf/physics/0602010v1.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (23 palabras)
4	pubs.sciepub.com https://pubs.sciepub.com/aj/ee/1/5/31aj/ee-1-5-3.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (25 palabras)
5	Documento de otro usuario #1400f 11 documentos proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (13 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas) Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

- 1 https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6208/mod_resource/content/1/Hormigon_02_Tipos_y_propiedades.pdf
- 2 https://www.becosan.com/es/hormigon-endurecido/#Caracteristicas_fisicas_del_hormigon_endurecido
- 3 <https://www.becosan.com/es/hormigon-fresco/>
- 4 <https://www.chryso.es/news/879/agregados-en-el-hormig-n-chryso-aditivos>
- 5 <https://www.concretosolido.mx/concreto-convensional/>

TUTOR



f. _____
Ing. Ponce Vásquez, Guillermo Alfonso, M.Sc

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todos los que han sido parte de este viaje académico y la culminación de mi proyecto de investigación. Mi familia ha sido mi pilar inquebrantable, especialmente mi mamá, Viviana, y su compañero, Gerardo, quienes me han brindado un apoyo constante, así como mis queridas tías, y mi tío Carlos, cuyo respaldo ha sido fundamental en mi trayectoria lejos de casa. A mis abuelos, Carlos y Nelly, Rosa y Beltrán, quienes han sido una fuente continua de inspiración, les agradezco de todo corazón por su amor incondicional y por ser ejemplos de perseverancia. Deseo profundamente hacerlos sentir orgullosos con este logro alcanzado.

Agradezco a mis hermanos por su constante motivación, a mi sobrino Emilio y mi muñeca Almita por alegrar mis días. Quiero agradecer a mi padre, cuyas palabras de aliento, aunque ausente físicamente, me recordaron que podía lograrlo. Sin el amor y apoyo de mi familia, no habría alcanzado esta meta.

Quiero expresar mi sincero agradecimiento al Ingeniero Guillermo Ponce, mi tutor y docente, por su apoyo y orientación a lo largo de mi carrera, especialmente durante esta etapa de titulación. Su constante motivación fue fundamental en momentos de dificultad. A mis amigos de la facultad de ingeniería, les agradezco por su compañerismo y los momentos compartidos. Y a mi compañera de tesis y amiga, te agradezco por tu apoyo incondicional en las largas noches de trabajo y por nuestro compromiso compartido en este proyecto.

Quiero resaltar la valiosa contribución de mis compañeros del Centro de Innovación de Holcim (CIH), Charlie, Christopher, Tony y Félix, quienes estuvieron ahí para brindarme su apoyo adicional cuando lo necesité. Asimismo, quiero reconocer que el apoyo y la experiencia de los ingenieros Raúl Cabrera, Cristian Velasco y Henry Zambrano fueron fundamentales en este proyecto. Agradezco sinceramente a todo el equipo del CIH y a mis amigos en Planta San Eduardo por su colaboración continua y apoyo indispensable. Sin su aporte, el desarrollo de este proyecto no habría sido posible.

Beltrán Mendoza, Meiby Arlhet

DEDICATORIA

Con un profundo sentido de amor y gratitud, dedico este logro a mi familia, quienes han sido mi pilar fundamental en cada etapa de este camino, a mi versión inmadura e inestable, quien perseveró a pesar de las dudas y los desafíos; y a mi querida bisabuela Eusebia (+), cuya fe en mí ha sido mi mayor inspiración y guía. Este logro es de ustedes.

Beltrán Mendoza, Meiby Arlhet

AGRADECIMIENTO

A mi mamá, por apoyarme en terminar mi carrera y estar a mi lado siguiendo mis logros. Por enseñarme a amar los números cuando era pequeña y no me gustaban, también enseñarme el amor a la lectura, esta que me ha hecho soñar toda mi vida. No existe mejor maestra en la vida y espero seguir tus pasos, gracias.

A mi familia, por apoyarme y ayudarme todo el tiempo. Ustedes que me hicieron sentir siempre acompañada, aunque estaba lejos. Especialmente, a mi tía Mary, ella tan resiliente y luchadora, también mi primo Denis, el que me ha dado los mejores consejos para sobrevivir la universidad. A mi mami Tiotá, no existe mujer más luchadora e inteligente y su gran amor por la familia.

A mis amigas de la vida, ellas que me han sacado una sonrisa y siempre me han alentado, les agradezco Génesis y Anabel. También a Valeria y Joel, amigos que me dio la universidad y han sido mis compañeros en estos últimos años, especialmente Amy.

A mi tutor de tesis el Ing. Guillermo Ponce, le agradezco su guía en la elaboración en el trabajo y a lo largo de toda la etapa estudiantil por su impulso para dar lo mejor de nosotros.

Finalmente, a mi compañera de tesis le agradezco su apoyo el último año, no solo en este trabajo también en muchos anteriores. Estos retos nos han hecho mejores y espero seguir por mucho tiempo más. También, gracias por las reuniones de Sweet.

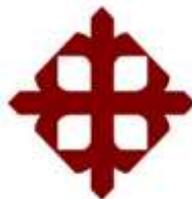
Mora Rey, Marena Mercedes

DEDICATORIA

A mi mamá, ella que me ha acompañado y apoyado siempre para realizar mis sueños. Ella que, con cada acto, me dice se puede cumplir todo y soñar con todo.

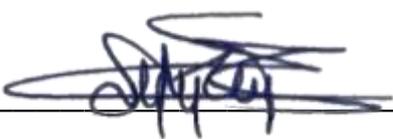
Este trabajo es para ti mamá.

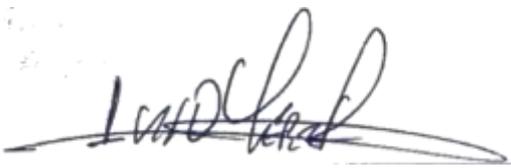
Mora Rey, Marena Mercedes

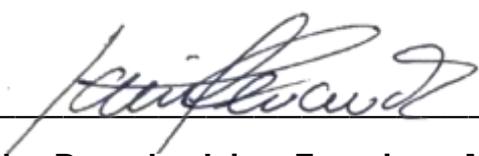


**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 
Ing. Alcívar Bastidas, Stefany Esther, M.Sc
DIRECTORA DE CARRERA

f. 
Ing. Yépez, Luis Octavio, M.Sc
DOCENTE DE LA CARRERA

f. 
Ing. Hernández Barredo, Jaime Francisco, M.Sc
OPONENTE

ÍNDICE

RESUMEN.....	XXI
ABSTRACT	XXII
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	2
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Objetivo General.....	2
1.3 Objetivos específicos.....	2
1.4 Alcance.....	3
CAPÍTULO II: MARCO TEORICO	4
2.1 Propiedades del hormigón	4
2.1.1 Propiedades del hormigón fresco	5
2.1.2 Propiedades del hormigón endurecido	8
2.2 Hormigón Convencional (HC)	14
2.2.1 Característica del Hormigón Convencional.....	14
2.2.2 Ventajas del Hormigón Convencional.....	16
2.3 Hormigón de Alto Desempeño (HAD)	16
2.3.1 Características del Hormigón de Alto desempeño.....	17
2.3.2 Ventajas del Hormigón de Alto desempeño.....	18
2.4 Materiales, ensayos y normas	19
2.4.1 Agregados.....	19
2.4.2 Agua.....	22
2.4.3 Cemento	23
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	25

3.1	Ensayos de Agregados.....	26
3.1.1	Granulometría	26
3.2	Elaboración de Especímenes	27
3.2.1	Ensayos del Hormigón Fresco	29
3.2.2	Ensayos del Hormigón Endurecido	31
3.3	Diseño de Estructura	34
3.3.1	Espectros de diseño.....	34
3.3.2	Factor de reducción sísmica.....	39
3.3.3	Descripción de Edificación	39
3.3.4	Prediseño de Estructura.....	41
3.3.5	Diseño de Viga.....	42
3.3.6	Diseño de Columna.....	44
3.4	Costo del Hormigón y Acero	46
3.4.1	Costo de Hormigón	46
3.4.2	Costo de Acero	46
CAPÍTULO IV: ENSAYOS		47
4.1	Ensayo de Agregados.....	47
4.1.1	Piedra de 12 mm.....	47
4.1.2	Piedra de 19 mm.....	48
4.1.3	Arena de río	49
4.2	Ensayo de Hormigón Fresco.....	51
4.3	Ensayo de Hormigón Endurecido	52
4.3.1	Resistencia a Compresión Simple.....	52

4.3.2	Módulo de Elasticidad	56
4.3.3	Coeficiente de Poisson.....	61
4.3.4	Resistencia a la flexión (MPa)	62
CAPÍTULO V: IMPACTO EN EL DISEÑO		66
5.1	Diseño de Elementos.....	66
5.2	Análisis Estructural	69
5.3	Dimensión de la Estructura	71
CAPÍTULO VI: RESULTADOS		73
6.1	Cortante Sísmico	73
6.2	Variación de Peso.....	74
6.3	Cantidad de Material.....	75
6.3.1	Cantidad de Hormigón	75
6.3.2	Cantidad de Acero.....	81
6.4	Costo de Construcción.....	88
CONCLUSIONES		92
RECOMENDACIONES.....		93
REFERENCIAS		94
ANEXOS		101
Anexo 1 Diseño de Elemento		101
Anexo 2 Planos de diseño.....		106

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1. Hormigón fresco y endurecido	5
Figura 2. Ensayo de Asentamiento del Hormigón (Revenimiento)	6
Figura 3. Equipo del Ensayo de Contenido de Aire.....	7
Figura 4. Proceso de la Fabricación y Curado de Especímenes de Hormigón	8
Figura 5. Ensayo de Compresión Simple	10
Figura 6. Ensayo de Flexión en vigas	11
Figura 7. Gráfica Esfuerzo – Deformación	13
Figura 8. Agregado de los diseños	26
Figura 9. Ensayo de Granulometría	27
Figura 10. Pesado de Agregados	27
Figura 11. Colocar cemento y agregados a la concreteira	28
Figura 12. Aditivo Plastificante y Retardante.....	28
Figura 13. Ensayos de hormigón fresco de revenimiento, temperatura y contenido de aire	29
Figura 14. Moldes de vigas y cilindros	30
Figura 15. Especímenes de cilindro y viga de los diseños	30
Figura 16. Especímenes desencofrados del diseño HC y HAD	31
Figura 17. Especímenes en la piscina de curado del diseño HAD	31
Figura 18. Pesaje de los especímenes	32
Figura 19. Ensayo de Resistencia Compresión Simple.....	32
Figura 20. Ensayo de Módulo de Elasticidad y Coeficiente de Poisson	33

Figura 21. Ensayo de Flexión	33
Figura 22. Espectro de diseño, según la NEC-16	34
Figura 23. Mapa del Ecuador con sus respectivas aceleraciones para cada provincia y ciudades del Ecuador	35
Figura 24. Espectro de diseño para suelo Tipo E	38
Figura 25. Planta de la Edificación.....	40
Figura 26. Corte de columna	41
Figura 27. Curva granulométrica de Piedra 12 mm.....	48
Figura 28. Curva granulométrica de Piedra 19 mm.....	49
Figura 29. Curva granulométrica de Arena de Río	50
Figura 30. Curva granulométrica de Arena triturada	51
Figura 31. Curva de Resistencia vs Tiempo.....	53
Figura 32. Resistencia a Compresión a los 3 días	54
Figura 33. Resistencia a Compresión a los 7 días	55
Figura 34. Resistencia a Compresión a los 14 días	55
Figura 35. Resistencia a Compresión a los 28 días	56
Figura 36. Módulo de Elasticidad a los 7 días.....	57
Figura 37. Módulo de Elasticidad a los 14 días.....	58
Figura 38. Módulo de Elasticidad a los 28 días.....	58
Figura 39. Curva de Módulo de Elasticidad vs Tiempo de Diseño HC	60
Figura 40. Curva de Módulo de Elasticidad vs Tiempo de Diseño HAD	60
Figura 41. Curva de Coeficiente de Poisson vs Edades	61
Figura 42. Curva de Resistencia la Flexión vs Edades	62

Figura 43. Resistencia a Flexión a los 14 días.....	63
Figura 44. Resistencia a Flexión a los 28 días.....	63
Figura 45. Curva de Resistencia a la Flexión vs Tiempo de Diseño HC.....	64
Figura 46. Curva de Resistencia a la Flexión vs Tiempo de Diseño HAD	65
Figura 47. Elementos para Diseñar	66
Figura 48. Propiedades de los Materiales	67
Figura 49. Dimensiones de columna.....	67
Figura 50. Sección de viga	68
Figura 51. Modelado de Edificación en Etabs	69
Figura 52. Derivas en el modelo de Hormigón Convencional (HC)	70
Figura 53. Derivas en el modelo de Hormigón Alto Desempeño (HAD)	71
Figura 54. Cantidad de Hormigón en vigas diseñadas de los diseños HC y HAD.....	78
Figura 55. Cantidad de Hormigón en columnas diseñadas de los diseños HC y HAD	79
Figura 56. Cantidad total de Hormigón de los diseños HC y HAD de todo el edificio.	80
Figura 57. Cantidad de Acero Longitudinal en vigas diseñadas de los diseños HC y HAD.....	83
Figura 58. Cantidad de Acero Transversal en vigas diseñadas de los diseños HC y HAD	84
Figura 59. Cantidad de Acero Longitudinal en columnas diseñadas de los diseños HC y HAD.....	85
Figura 60. Cantidad de Acero Transversal en columnas diseñadas de los diseños HC y HAD.....	86

Figura 61. Cantidad total de Acero de los diseños HC y HAD de todo el edificio.	87
Figura 62. Costo Total de los Materiales.....	91
Figura 63. Momentos Máximo y Mínimo del eje 2 piso 11.....	101

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1. Tamaño de la muestra para ensayo del árido grueso.	20
Tabla 2. Requisitos para el agua de mezclado	23
Tabla 3. Clasificación de los Cementos	24
Tabla 4. Dosificación de Diseño de Hormigón Convencional (HC) por metro cúbico	25
Tabla 5. Dosificación de Diseño de Hormigón de Alta Desempeño (HAD) por metro cúbico	25
Tabla 6. Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada.....	35
Tabla 7. Valores del factor de Z por población.....	36
Tabla 8. Tipo de suelo y factores de sitio Fa.....	36
Tabla 9. Tipo de suelo y factores de sitio Fd.....	36
Tabla 10. Tipo de suelo y factores de sitio Fs (NEC , 2015)	37
Tabla 11. Datos del Espectro.....	38
Tabla 12. Factor de reducción para pórticos (NEC , 2015)	39
Tabla 13. Resultados de la granulometría de la Piedra 12 mm usado en el diseño HAD.	47
Tabla 14. Resultados de la granulometría de la Piedra 19 mm usado en el diseño HAD.	48
Tabla 15. Resultados de la granulometría de la Arena de río usado en el diseño HAD.	49
Tabla 16. Resultados de la granulometría de la Arena de río usado en el diseño HAD.	50
Tabla 17. Ensayo de Hormigón Fresco de HC.....	51
Tabla 18. Ensayo de Hormigón Fresco de HAD	51

Tabla 19. Valores de peso y densidad en Diseños	52
Tabla 20. Resistencia a la compresión (MPa)	52
Tabla 21. Porcentaje Resistencia a la compresión requerida.....	54
Tabla 22. Módulo de Elasticidad (GPa).....	57
Tabla 23. Módulo de Elasticidad (GPa) según ACI	59
Tabla 24. Coeficiente de Poisson	61
Tabla 25. Resistencia a la flexión (MPa)	62
Tabla 26. Resistencia a la Flexión obtenido por ACI (MPa)	64
Tabla 27. Derivas en dos direcciones de los diseños HC y HAD	70
Tabla 28. Dimensiones de Edificación	72
Tabla 29. Cortante Basal de los diseños HC y HAD	73
Tabla 30. Carga de los diseños HC y HAD	74
Tabla 31. Diferencia entre peso de elementos estructurales de los diseños HC y HAD	74
Tabla 32. Diferencia entre total de cargas muertas y carga viva de los diseños HC y HAD	75
Tabla 33. Cantidad de Hormigón de los elementos diseñados de Hormigón Convencional.....	75
Tabla 34. Cantidad de Hormigón de los elementos diseñados de Hormigón de Alto Desempeño	76
Tabla 35. Cantidad de Hormigón en vigas diseñadas de los diseños HC y HAD	77
Tabla 36. Cantidad de Hormigón en columnas diseñadas de los diseños HC y HAD.....	78

Tabla 37. Cantidad de Hormigón en vigas de los diseños HC y HAD de todo el edificio.	79
Tabla 38. Cantidad de Hormigón en columnas de los diseños HC y HAD de todo el edificio.....	80
Tabla 39. Cantidad de Acero de elementos diseñados de Hormigón Convencional.....	81
Tabla 40. Cantidad de Acero de elementos diseñados de Hormigón de Alto Desempeño	82
Tabla 41. Cantidad de Acero en vigas diseñadas de los diseños HC y HAD	83
Tabla 42. Cantidad de Acero en columnas diseñadas de los diseños HC y HAD	84
Tabla 43. Cantidad de Acero en vigas de los diseños HC y HAD de todo el edificio.	86
Tabla 44. Cantidad de Acero en columnas de los diseños HC y HAD de todo el edificio.	87
Tabla 45. Costo del Hormigón para el diseño de Hormigón Convencional...	88
Tabla 46. Costo del Hormigón para el diseño de Hormigón Alto Desempeño	89
Tabla 47. Costo del Acero para el diseño de Hormigón Convencional.....	89
Tabla 48. Costo del Acero para el diseño de Hormigón Alto Desempeño	90
Tabla 49. Datos para diseño a Flexión.....	901

RESUMEN

Esta investigación se enfoca en la evaluación del impacto del Hormigón de Alto Desempeño (HAD) en el diseño estructural de edificaciones en Guayaquil, mediante la evaluación de propiedades mecánicas y ensayos de vigas para el análisis de la capacidad a tensión. Los ensayos se llevaron a cabo en el Centro de Innovación de Holcim, siguiendo las normativas INEN y ASTM. Los resultados indican propiedades mecánicas superiores del HAD, destacando una resistencia a la compresión optimizada, módulo de elasticidad mejorado y coeficiente de Poisson optimizado. En un proyecto de 40 niveles, se logra una eficiencia destacada en el uso de materiales, con notables reducciones en las cantidades de hormigón y acero, generando ahorros significativos en costos de acero. El alcance abarcó ensayos de laboratorio y el diseño comparativo de una edificación. La metodología incluyó la caracterización detallada de parámetros del hormigón y un análisis estructural comparativo. La eficiencia del HAD reconfigura paradigmas en ingeniería, consolidándose como un componente esencial en la construcción sostenible. Como recomendación clave, se propone la adaptación de dimensiones y la implementación de monitoreo a largo plazo para perfeccionar aún más el uso del HAD en futuros proyectos.

Palabras Claves:

Hormigón, Estructural, Eficiencia, Construcción, Sostenibilidad, Desempeño.

ABSTRACT

This research focuses on the evaluation of the impact of High-Performance Concrete (HAD) in the structural design of buildings in Guayaquil, through the evaluation of mechanical properties and tests of beams for the analysis of tension capacity. The tests were carried out at the Holcim Innovation Center, following INEN and ASTM regulations. The results indicate superior mechanical properties of the HAD, highlighting optimized compressive strength, improved elastic modulus and optimized Poisson's ratio. In a 40-level project, outstanding efficiency is achieved in the use of materials, with notable reductions in the quantities of concrete and steel, generating significant savings in steel costs. The scope included laboratory tests and the comparative design of a building. The methodology included detailed characterization of concrete parameters and a comparative structural analysis. The efficiency of HAD reconfigures engineering paradigms, consolidating itself as an essential component in sustainable construction. As a key recommendation, the adaptation of dimensions and the implementation of long-term monitoring is proposed to further refine the use of the HAD in future projects.

Keywords:

Concrete, Structural, Efficiency, Construction, Sustainability, Performance.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

En las últimas décadas, Guayaquil ha experimentado un crecimiento demográfico acelerado y un desarrollo urbano continuo. Este aumento en la población y la expansión de la ciudad han generado una creciente demanda de edificaciones más altas y eficientes en términos de uso del espacio. Como respuesta a esta necesidad, se ha observado un incremento significativo en la construcción de edificios de gran altura para aprovechar el poco espacio disponible. Este auge en la construcción de edificios de mayor altura ha generado una necesidad imperante de emplear materiales de mayor capacidad para asegurar la seguridad y durabilidad de estas estructuras y optimizar recursos. En respuesta a esta demanda, el hormigón de alto desempeño se ha convertido en una opción destacada en la industria de la construcción a nivel mundial, gracias a sus propiedades mecánicas y de durabilidad superiores. En consecuencia, ha surgido un interés creciente en la utilización de materiales de construcción avanzados, y el hormigón de alto desempeño se ha destacado como una opción atractiva por lo que se hace necesaria una evaluación más profunda de su impacto en los procesos de análisis y diseño de edificaciones, convirtiéndose en un tema de gran relevancia en la ingeniería civil local.

1.2 Objetivo General

Evaluar las características principales de hormigones de alto desempeño disponibles en la ciudad Guayaquil, a través de ensayos de laboratorio, para proporcionar información que permita optimizar los diseños estructurales en edificaciones que consideren el uso de estos hormigones.

1.3 Objetivos específicos

- Evaluar mediante ensayos de laboratorio las propiedades principales de los hormigones de alto desempeño comercializados en Guayaquil.
- Ensayar especímenes de vigas para evaluar efectos en la capacidad a tensión.

- Comparar las diferencias principales de analizar y diseñar una edificación considerando hormigón convencional y considerando hormigón de alto desempeño.

1.4 Alcance

Se llevó a cabo ensayos de laboratorio en el Centro de Innovación de Holcim con el propósito de obtener la caracterización de parámetros del hormigón en estado endurecido, tales como peso unitario, resistencia a la compresión, coeficiente de Poisson, módulo de elasticidad, entre otros, siguiendo las normativas INEN y ASTM respectivas. Evaluando experimentalmente los diferentes efectos en las propiedades mecánicas del hormigón en distintos prototipos, comparando especímenes de resistencia convencional y hormigones de alto desempeño.

Determinando el módulo de elasticidad y el coeficiente de Poisson en especímenes de hormigón de resistencia convencional y alto desempeño con el objetivo de conocer el comportamiento del material, siguiendo lo establecido en la norma ASTM C 469. Con la caracterización de estos materiales, realizan dos diseños estructurales comparativos para un mismo proyecto de edificación de más de 30 pisos, considerando un hormigón de resistencia convencional de 35 MPa y uno de alto desempeño de 60 MPa. Evalúan las diferencias más importantes desde los puntos de vista de comportamiento estructural, cantidad de materiales y costos asociados al hormigón y al acero.

CAPÍTULO II: MARCO TEORICO

2.1 Propiedades del hormigón

El hormigón es uno de los materiales de la construcción más usado desde su invención antes de cristo en Roma, constituido por una mezcla de cal, arena y agua. Con el paso del tiempo, la mezcla fue cambiando hasta componerse a base de cemento, arena y grava. Las propiedades principales del hormigón son las siguientes (Flores, 2020):

- **Trabajabilidad:** Es la facilidad de los ingredientes para mezclarse, esta mezcla puede manejarse, transportarse y fundir sin pérdida de homogeneidad. Esta propiedad muy importante para las aplicaciones del hormigón.

- **Durabilidad:** Su capacidad de resistir los efectos del medio ambiente, las acciones de productos químicos y desgastes, de las cuales el hormigón está sometido en el servicio. Por ejemplo, muchas estructuras de hormigón construidas en los años cincuenta siguen en funcionamiento aun en la actualidad (Materiales de Construcción, 2007).

- **Impermeabilidad:** Es la capacidad del material para resistir la penetración de líquidos como el agua, contribuyendo a la durabilidad y vida útil de la estructura (Mehta, 2014). Al reducir la cantidad de agua a la mezcla se puede mejorar esta propiedad tan importante en el hormigón.

- **Resistencia:** Se define como la carga máxima que puede soportar una sin sufrir deformaciones excesivas o fallas. Factores como la proporción de mezcla, el tipo de agregados y el adecuado proceso de curado influyen significativamente en la resistencia del hormigón (American Concrete Institute, 2019).

Adicionalmente, su gran resistencia al fuego lo convierte en un material seguro para este tipo de siniestro.

El hormigón tiene diferentes propiedades según sus dos tipos de estados que son los siguiente:

- Estado fresco o plástico, es cuando el hormigón está recién mezclado y puede ser manipulado para encofrarlo, mostrar Figura 1.

- En el estado endurecido, el material experimenta un proceso de fraguado completo, adquiriendo rigidez de manera que ya no puede manipularse sin riesgo de fractura. Además, durante este estado, se ha fortalecido adquiriendo mayor resistencia.

Figura 1.

Hormigón fresco y endurecido



Fuente: Elaboración propia.

2.1.1 Propiedades del hormigón fresco

Es un material heterogéneo, formado por elementos en 3 estados: sólido son el cemento y los áridos, líquido es el agua y gaseoso contiene aire. Las propiedades del hormigón fresco son las siguientes (BECOSAN, 2021):

- Consistencia: Es la capacidad para deformarse que tiene el hormigón fresco, se calcula por medio del ensayo del cono de Abrams a través del descenso en centímetros del hormigón.

- Docilidad: Es la trabajabilidad del material, es su capacidad de movilizar de un lugar a otro de destino con los medios de compactación que se tiene. Depende de la cantidad de agua y la granulometría y naturaleza de los áridos.

- Homogeneidad: Distribución de la misma proporción de todos los elementos que componen el hormigón por toda la masa.

- Masa Específica: Relación entre la masa del hormigón fresco y volumen ocupado, este se puede medir compactado o sin compactar. Su unidad es en kg/m³.

2.1.1.1 Ensayos del hormigón fresco

Los ensayos de hormigón fresco son los siguientes (INECYC, 2023):

- La prueba de Asentamiento del Hormigón, también conocida como ensayo de revenimiento, constituye una medida indirecta de la consistencia del hormigón (2010). Se realiza mediante el empleo de un cono truncado denominado cono de Abrams, que se llena en tres capas de volumen aproximadamente igual (2008). Este procedimiento sigue las pautas establecidas por las normativas, en este caso, el INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización) 1578, ASTM (American Society for Testing and Materials) C 143 (Figura 2).

- La medición del contenido de aire en el hormigón se lleva a cabo mediante el método de Presión, según las normativas INEN 3121 (2016) y ASTM C231 (2010). Este método implica la determinación del contenido de aire en el hormigón fresco a través de la observación del cambio de volumen inducido por variaciones en la presión (Figura 3).

Figura 2.

Ensayo de Asentamiento del Hormigón (Revenimiento)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.

Equipo del Ensayo de Contenido de Aire



Fuente: Elaboración propia.

- La evaluación del contenido de aire en el hormigón se enfoca en la determinación de mezclas que incorporan una variedad de agregados, tales como denso, celular o liviano. Este proceso de análisis se realiza a través del método volumétrico, ASTM C 173 (2010).
- Control de temperatura se da por las normas INEN 3119 (2016), ASTM C1064 (2011). Para la determinación de la temperatura del hormigón fresco.
- Muestreo del Hormigón, es el procedimiento para la obtención de muestras del hormigón fresco obtenidas en sitio y siguiendo las normas INEN 1763 (2010), ASTM C172 (2010).
- La producción y curado de especímenes de hormigón se lleva a cabo de acuerdo con las normativas INEN 1573 (2011) y ASTM C31 (2009). Este procedimiento abarca la elaboración y curado de probetas cilíndricas y vigas, utilizando muestras representativas de hormigón fresco destinadas a la construcción de un proyecto específico. La Figura 4 proporciona una representación visual de una fase de este proceso.

Figura 4.

Proceso de la Fabricación y Curado de Especímenes de Hormigón



Nota: a. Proceso de inserciones de varillas y b. Acabado en superficie. Fuente: Elaboración propia.

- Peso unitario y rendimiento es para la determinación de la densidad del hormigón fresco y usando fórmulas para el cálculo del rendimiento, el contenido de cemento y el contenido de aire del hormigón proporcionado las normas INEN 1579 (2013), ASTM C138 (2001).

- Tiempos de Fraguado del Hormigón de Cemento Hidráulico ASTM C403 (2016), es un ensayo para la determinación del tiempo de fraguado del hormigón con un asentamiento mayor de cero, por medio de mediciones de resistencia a la penetración de mortero tamizado de la mezcla de hormigón.

2.1.2 Propiedades del hormigón endurecido

Las propiedades del hormigón endurecido son las siguientes (BECOSAN, 2021):

- Retracción: Resulta del acortamiento del hormigón debido a la evaporación del agua, manifestándose en tres estados: agua intercrystalina, agua de gel y agua de cristalización.

- Densidad: Es la relación entre la masa del hormigón y el volumen que ocupa. En el caso de un hormigón bien endurecido con áridos normales, la

densidad varía entre 2300-2500 kg/m³; utilizando áridos ligeros, oscila entre 1000-1300 kg/m³, y con áridos pesados, la densidad se sitúa entre 3000-3500 kg/m³.

- **Compacidad:** Se refiere a la máxima densidad permitida por los materiales utilizados. A mayor compacidad, el hormigón presenta una mayor resistencia a sustancias perjudiciales.

- **Permeabilidad:** Indica la accesibilidad de un hormigón a líquidos y gases, siendo la relación agua y cemento (a/c) el factor crucial en esta propiedad. A medida que el hormigón se expone a agresiones adicionales, su permeabilidad aumenta.

- **Resistencia:** Se divide en tres acciones fundamentales: compresión, tracción y desgaste. La compresión, medida en Megapascuales (MPa), destaca como la más significativa. La resistencia al desgaste se revela crucial en pavimentos de naves industriales y se logra mediante una apropiada relación agua-cemento junto a áridos resistentes.

- **Dureza:** Evoluciona con el tiempo debido al proceso de carbonatación, siendo una propiedad superficial que puede evaluarse mediante el esclerómetro Schmidt.

2.1.2.1 Ensayos del hormigón endurecido

- **Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros,** conforme a las regulaciones INEN 1573 (2011) y ASTM C39 (2005), ver Figura 5. Este estándar define el procedimiento de prueba para evaluar la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico con una densidad superior a 800 kg/m³.

Figura 5.

Ensayo de Compresión Simple



Fuente: Constuneic (2023)

- Determinación de la resistencia a la compresión de morteros estándar a través de cubos, según las directrices de las normativas INEN 488 (2009) y ASTM C109 (2017). Este estándar describe el procedimiento de prueba para evaluar la resistencia a la compresión de morteros elaborados con cemento hidráulico, empleando cubos con una arista de 50 mm.
- Ensayo de flexión en vigas INEN 2554 (2011), ASTM C78 (2008). Esta norma establece el método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del hormigón mediante el uso de una viga simple apoyada en los extremos y cargada en los tercios de la luz libre, mostrar Figura 6.

Figura 6.

Ensayo de Flexión en vigas



Fuente: Elaboración propia.

Con este ensayo obtenemos la medida de la resistencia a flexión, es el módulo de rotura o conocido como módulo de ruptura. Es la capacidad del material para resistir fuerzas de flexión antes de fracturarse (American Concrete Institute, 2019).

Para calcular el módulo de rotura del hormigón, cuando la falla se produce en el tercio medio se utiliza la fórmula:

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

Si la falla ocurre fuera del tercio medio, pero no está separado de el por más del 5% de la luz libre, se calcula con la siguiente fórmula:

$$MR = \frac{3Pa}{bd^2}$$

Donde:

- MR= Módulo de rotura.
- P=Carga máxima aplicada durante la prueba de flexión.
- L= Distancia entre los apoyos.
- b= Ancho de la probeta de hormigón.

- d = Espesor de la probeta de hormigón.
- a = Distancia entre la línea de rotura y el apoyo máximo más próximo, medido a lo largo del eje longitudinal de la cara inferior de la viga.

Si es lo contrario a lo anterior, es decir está separado por más de 5% de la luz libre, el ensayo de desecha.

Según el ACI 318 (American Concrete Institute, 2019), se puede obtener el módulo de rotura con la siguiente fórmula:

$$MR = 2\sqrt{f'c}$$

Adicionalmente a estos ensayos, existe uno muy importante que es Ensayo de Módulo de Elasticidad y Coeficiente de Poisson con la norma ASTM C 469 “Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression” (2010).

El Módulo de elasticidad es la relación entre el esfuerzo al que está sometido el material y su deformación unitaria, esta representa la rigidez del material ante una carga impuesta sobre este (Osorio, 2022).

La fórmula matemática para el módulo de elasticidad (E) se expresa como:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Donde:

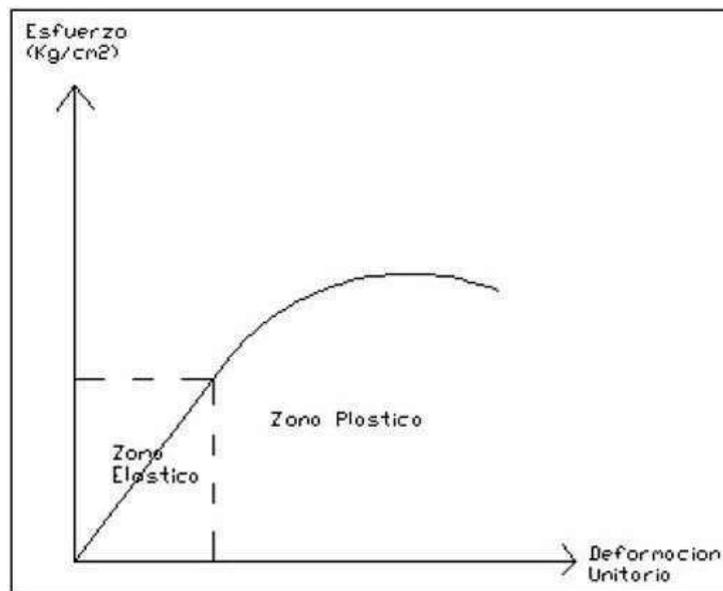
- E es el módulo de elasticidad.
- σ es el esfuerzo aplicado (fuerza por unidad de área).
- ε es la deformación unitaria (cambio relativo de longitud).

Si esta relación es lineal, constante y los esfuerzos aplicados no alcanzan el límite de proporcionalidad, se dice que el material tiene un comportamiento elástico que cumple con la Ley de Hooke. Es decir que se encuentra en la zona elástica, donde tanto el esfuerzo como la deformación unitaria pueden variar aproximadamente del 0% al 40% y 45% de la resistencia a la compresión del hormigón.

Cuando pasa el límite el material tiene comportamiento inelástico, está representado como una línea curva, se dice que es la zona plástica como muestra en la Figura 7. Resultado de microfisuras que surgen en el hormigón al ser sometido a una carga, estas grietas se localizan en la interfaz entre el agregado y la pasta, abarcando un rango desde el 45% hasta el 98% de la resistencia del hormigón.

Figura 7.

Gráfica Esfuerzo – Deformación



Fuente: Osorio (2022).

El coeficiente de Poisson es una medida de la relación entre la deformación lateral y la deformación axial de un material cuando se le somete a un esfuerzo. Es una propiedad elástica que describe cómo un material cambia su forma en respuesta a una carga (Chacón Guerra & Lema Carrera, 2012).

La fórmula matemática para el coeficiente de Poisson (ν) se expresa como:

$$\nu = -\frac{\epsilon_{lateral}}{\epsilon_{axial}}$$

Donde:

- ν es el coeficiente de Poisson.
- $\epsilon_{lateral}$ es la deformación lateral.
- ϵ_{axial} es la deformación axial.

Tiene valores comprendidos entre -1 y 0.5. Cuando un valor de -1 indica una contracción lateral máxima sin cambio en la longitud axial y un valor de 0.5 indica que no hay cambio en la longitud lateral, es decir, ningún cambio en la sección transversal (Chacón Guerra & Lema Carrera, 2012).

2.2 Hormigón Convencional (HC)

Hormigón Convencional o HC, Es el tipo de hormigón más común compuesto por cemento, agua, áridos y dependiendo de lo necesario aditivos. Para ser un hormigón convencional, se debe cumplir con los requisitos de trabajabilidad, consistencia, resistencia, durabilidad y economía, estas están ligadas estrechamente.

El HC se refiere generalmente a la mezcla estándar o común en la construcción, pero la resistencia puede variar según las especificaciones del proyecto.

Implementado en las estructuras de hormigón convencionales, su utilización se determina por las dimensiones y la cantidad de refuerzo de los elementos a colocar, así como por el tipo y proporción de agregado requerido. Este método es generalmente adecuado para cualquier construcción sin especificaciones particulares que afecten la calidad del hormigón. Puede considerarse agregado estándar (hasta 1 pulgada de tamaño), agregado mediano (hasta 3/4 de pulgada de tamaño) o agregado fino (hasta 1/2 pulgada de tamaño). Esto depende de las necesidades del sitio.

2.2.1 Característica del Hormigón Convencional

Las características del HC varían dependiendo de las necesidades específicas del proyecto. Sin embargo, algunas características comunes incluyen (Chacón Guerra & Lema Carrera, 2012):

- Composición de la Mezcla:

Este tiene tres tipos de elemento, el primero es la utilización de cemento Portland u otros tipos según las necesidades del proyecto, los agregados son arena y grava o piedra triturada para proporcionar resistencia y durabilidad. Y

el agua debe estar controlada para mantener una relación agua-cemento adecuada.

- Trabajabilidad:

El hormigón convencional se diseña para tener una buena trabajabilidad, lo que facilita su colocación y compactación durante la construcción.

- Resistencia a la Compresión:

La resistencia a la compresión puede variar, pero en muchos casos, se apunta a resistencias típicas de 20 MPa a 40 MPa, dependiendo de los requisitos del proyecto (Concreto Sólido de México, 2023).

- Durabilidad:

Se busca una buena resistencia a la intemperie, ataques químicos y condiciones ambientales adversas.

- Densidad:

El HC tiene una densidad moderada, pero puede variar según los agregados utilizados.

- Volumen de Aire:

Control del contenido de aire para mejorar la resistencia a las heladas y la durabilidad.

- Aditivos:

En algunos casos, se pueden agregar aditivos para mejorar propiedades específicas, como retardar el tiempo de fraguado, mejorar la trabajabilidad o aumentar la resistencia temprana.

Es importante tener en cuenta que estas características pueden ajustarse según las especificaciones del proyecto, y los ingenieros y diseñadores deben personalizar la mezcla de hormigón de acuerdo con las necesidades particulares de la construcción.

2.2.2 Ventajas del Hormigón Convencional

A continuación, se destacan algunas ventajas del hormigón convencional en comparación con el hormigón de alto desempeño:

- Costo del HC tiende a ser más económico en términos de materiales y producción en comparación con el hormigón de alto desempeño. Los aditivos y materiales especiales utilizados en el hormigón de alto desempeño pueden aumentar los costos.
- Disponibilidad de Materias Primas, debido a que los materiales básicos para la elaboración del hormigón convencional, como cemento, arena y grava, son ampliamente disponibles y generalmente más asequibles en comparación con los materiales más especializados requeridos para el hormigón de alto desempeño (Siqueira Ríos, 2020).
- Producción y Colocación del HC son procesos más familiares y menos exigentes en términos de equipos y habilidades especializadas en comparación con el hormigón de alto desempeño. Esto puede simplificar la logística y reducir los costos asociados.
- Versatilidad es importante para la amplia gama de aplicaciones de construcción. Puede ser utilizado con éxito en diversas estructuras y proyectos de infraestructura (Concreto Sólido de México, 2023).
- Mejor manejo en obra por la manipulación y colocación del hormigón convencional pueden requerir menos esfuerzo y técnicas especializadas en comparación con el hormigón de alto desempeño, lo que puede facilitar su uso en obras de construcción cotidianas.
- Normativas y Estándares Establecidos del HC son bien establecidos y ampliamente aceptados en la industria de la construcción, facilitando la conformidad con las regulaciones (Siqueira Ríos, 2020).

2.3 Hormigón de Alto Desempeño (HAD)

Según el ACI en el 2000, se define el Hormigón de Alto Desempeño o sus siglas HAD como material que cumple ciertos requisitos específicos de

resistencia, durabilidad, trabajabilidad y otras propiedades. A través de sus documentos técnicos, ACI desarrolla una serie de especificaciones y recomendaciones relacionadas con el hormigón de alto desempeño.

Otro concepto es que la expresión de “Hormigón de Alto Desempeño” no es muy acertada porque sus características principales no son muy diferentes del hormigón usado constantemente, debido a que no contiene ningún ingrediente nuevo y sus procesos en obra son las mismas. El HAD ha evolucionado en los últimos 15 años, debido a que las resistencias son cada vez más altas, llegando a 120 MPa sin confundir con el Hormigón de Alta Resistencia (Neville & Aitcin, 1999).

También se define como un tipo de hormigón específicamente formulado para ser más duradero y, en caso necesario, más resistente que el hormigón convencional, según el Departamento federal de administración de carreteras de los Estados Unidos (FHWA). Se destaca que estos compuestos están fundamentalmente constituidos por los mismos materiales que el hormigón convencional, pero se distinguen por las proporciones cuidadosamente diseñadas. Estas, están concebidas para garantizar la resistencia y durabilidad requeridas según las necesidades estructurales y medioambientales del proyecto (Barriga, 2007).

2.3.1 Características del Hormigón de Alto desempeño

Las características más importantes son las siguientes:

- Alta Resistencia a la Compresión:

El HAD suele tener una resistencia a la compresión significativamente mayor en comparación con el hormigón convencional. Según el Instituto de Hormigón Pretensado (1994), la resistencia a la compresión es igual o mayor a 55.2 MPa.

- Baja Relación Agua-Cemento:

Se caracteriza por tener una baja relación agua-cemento, lo que contribuye a una mayor densidad y durabilidad. Según el Instituto de Hormigón Pretensado (1994), la relación de agua-cemento es de 0.38 o menos.

- Trabajabilidad Mejorada:

A pesar de la baja relación agua-cemento, se logra una buena trabajabilidad mediante la incorporación de aditivos superplastificantes.

- Durabilidad Mejorada:

Según el Ing. C.H. Goodspeed, el HAD está diseñado para resistir mejores condiciones ambientales adversas, incluyendo la corrosión y la abrasión.

- Módulo de Elasticidad Elevado:

Puede exhibir un módulo de elasticidad más alto, proporcionando rigidez adicional en aplicaciones estructurales, relacionado con su alta resistencia.

2.3.2 Ventajas del Hormigón de Alto desempeño

Según Salcedo Barrera, las ventajas del Hormigón de Alto Desempeño son los siguiente (Salcedo Barrera, 2006):

- Reducción de las dimensiones y las cantidades de refuerzo, lo que facilita el manejo arquitectónico de los espacios, redundando en la economía de las obras y permite el uso de mayores luces y alturas en elementos estructurales.

- Facilita la colocación y consolidación sin afectar resistencia, debido a que el HAD puede lograr una buena trabajabilidad mediante el uso de aditivos superplastificantes.

- Características mecánicas a largo plazo y mejoradas, como un módulo de elasticidad más alto, lo que proporciona una mayor rigidez en aplicaciones estructurales.

- Alta resistencia temprana, debido a que su resistencia es mayor al HC.

- Durabilidad es mayor, debido a su composición y características específicas, el HAD tiende a ser más duradero y resistente a condiciones ambientales agresivas, como la corrosión y la abrasión.

- Agiliza la ejecución del programa de obra, debido a que los elementos tendrán menor dimensiones.

2.4 Materiales, ensayos y normas

A continuación, se explica los ensayos y normas de los materiales que se usan para la elaboración del hormigón.

2.4.1 Agregados

Son una serie de partículas naturales o artificiales, estos saben ser tratados o elaborados y tener diversos tamaños, pueden ser trozos de piedra o partículas muy finas (Chryso Aditivos, 2021). Otro concepto más simple, los agregados son una mezcla de arena y piedra de granulometría diferente (Reyes, 2014).

Los agregados ocupan entre el 60% y 75% del volumen del hormigón, su uso ayuda a disminuir el costo, aumentar resistencia a la aplicación de carga y a la abrasión y también aporta a contrarrestar la filtración de humedades y la acción de otros agentes externos (Monroy & Luna, 1985).

Existen dos tipos de agregados:

- **Agregados Finos:**

Es el material de arena o grava que pasa por tamiz cuya medida es de 4.75 mm (N° 4), su origen es de la trituración de gravas, rocas o escorias siderúrgicas (Chryso Aditivos, 2021).

- **Agregados Gruesos:**

Es el material de grava retenida en el tamiz 4.75 mm (N°4), procede de la trituración de grava o de rocas metamórficas, ígneas o sedimentarias. Sus características principales son que sus fragmentos limpios, aporta resistencia elevada y el agregado es durable (Chryso Aditivos, 2021).

El agregado para su uso debe cumplir normas de INEN y ASTM, estas determinan las siguientes características: granulometría, peso específico y absorción, densidades aparentes, contenido de humedad, desgaste a la abrasión y contenido orgánico.

2.4.1.1 Granulometría

La norma para obtener es la distribución granulométrica debe seguir las normas INEN 696 “Áridos. Análisis Granulométrico en los Áridos, Fino y Grueso” (2011) y ASTM C 136 “Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates” (2006), los pasos estas normas son las siguientes:

a. Obtener la muestra siguiendo la norma INEN 695 “Áridos. Muestreo” (2011) y ASTM D 75 “Standard Practice for Sampling Aggregates” (2009). Para obtener la muestra debe mezclarse bien y los ensayos sean correctos, para el agregado fino el tamaño de muestre es mínimo 300 g y para agregado grueso se debe seguir lo de la siguiente Tabla 1 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011).

Tabla 1.

Tamaño de la muestra para ensayo del árido grueso.

Tamaño nominal máximo, Aberturas cuadradas, en mm (pulgadas).	Tamaño de la muestra del ensayo Mínimo (kg).
9,5	1
12,5	2
19,0	5
25,0	10
37,5	15
50,0	20
63,0	35
75,0	60
90,0	100
100,0	150
125,0	300

Fuente: INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011)

b. Seleccionar los tamices adecuados con la norma INEN 872 “Áridos para hormigón. Requisitos” (2011) y ASTM C 33 “Standard Specification for Concrete Aggregates” (2008), pero estos deben estas estandarizados con la norma INEN 154 “Tamices de ensayo. Dimensiones nominales de las aberturas” y ASTM E 11 “Standard Specification for Wire-cloth sieves for testing purposes” (1970).

Los tamices son ordenadas en forma decreciente, estos serán agitados de forma manual o mediante dispositivos mecánicos durante un tiempo adecuado, ya sea el período establecido por el ensayo o controlado mediante

la masa de la muestra de ensayo, hasta que en cada tamiz tenga no más del 1% de la muestra.

c. Se procede a pesar cada fracción de material retenido en los tamices y registrar los pesos de las fracciones y el material que pasa a través de los tamices.

d. Calcular los porcentajes acumulativos retenidos y los porcentajes acumulativos que pasan y representar gráficamente la curva granulométrica utilizando estos porcentajes en función del tamaño de partícula.

2.4.1.2 *Peso Específico y Absorción*

La densidad relativa (peso específico) de un agregado se define como la proporción entre su peso y el peso de un volumen absoluto equivalente de agua (agua desplazada por inmersión). Este valor se emplea en ciertos cálculos para la elaboración de mezclas y su control (Chacón Guerra & Lema Carrera, 2012).

La medición de la absorción de los agregados se realiza con el propósito de supervisar el contenido efectivo de agua en el hormigón y facilitar la determinación de los pesos precisos en cada mezcla (Chacón Guerra & Lema Carrera, 2012).

Para obtener estos resultados se debe seguir la siguiente norma, para agregados finos INEN 856 “Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino” (2010) y ASTM C 128 “Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate” (2007).

Para agregado grueso es la norma INEN 857 “Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso” (2010) y ASTM C 127 “Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate” (2007).

2.4.1.3 Densidad aparente

Densidad Aparente. La relación entre la masa en el aire de un volumen dado de agregado, incluyendo sus poros saturables y no saturables, (pero sin incluir los vacíos entre las partículas) y la masa de un volumen igual de agua destilada libre de gas a una temperatura establecida (ConstruAprende, 2022). La norma INEN 858 “Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos” y ASTM C 29 “Standard Test Method for Bulk Density (Unit Weight) and Voids in Aggregate” son los procedimientos para obtener la densidad aparente sueltas y compactadas (2009).

2.4.1.4 Contenido de Humedad

Para este parámetro se basará en los procedimientos de la norma INEN 862 “Áridos. Determinación del contenido de humedad” (2011) y ASTM C 566 “Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying” (2004).

El "contenido de humedad" se refiere a la cantidad de agua presente en un material o sustancia en relación con su peso o volumen. Es una medida que expresa la proporción de agua contenida en una muestra en comparación con su masa o volumen total (Ramos Sanchez, 2018).

2.4.2 Agua

Para la elaboración del hormigón es idóneo usar agua potable para que el hormigón no se vea afectados. Las impurezas presentes en el agua de mezclado, como azúcares, ácidos, materia orgánica, aceites, sulfatos, sales alcalinas, efluentes de cloacas, sólidos suspendidos y gases, el impacto es el siguiente (Chacón Guerra & Lema Carrera, 2012):

- Modificaciones en el proceso de fraguado, en las propiedades físicas y en las resistencias del hormigón.
- La presencia de cloruros en el agua puede dar lugar a la corrosión de la armadura de refuerzo.

- Un elevado contenido de materia orgánica puede resultar en una disminución de la resistencia última.

Si no se cuenta con agua potable, el agua a usar debe seguir la siguiente norma ASTM C 1602 “Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete” (2005) y los parámetros principales están en la siguiente Tabla 2.

Tabla 2.

Requisitos para el agua de mezclado

CONCENTRACIONES EN AGUA DE MEZCLA	LÍMITES (máx.)
Cloruros, como Cl.	
-para hormigón pretensado.	500 miligramos/litro
-para hormigón armado o con elementos metálicos embebidos.	1000 miligramos/litro
Sulfatos, como SO ₄ .	3000 miligramos/litro
Álcalis, como (Na ₂ O + 0,658K ₂ O).	600 miligramos/litro
Total de sólidos (por masa).	50000 miligramos/litro

Fuente: INECYC. (El Manual de Pepe Hormigón, 2007)

2.4.3 Cemento

El cemento es un polvo producido a partir de la mezcla y calcinación de materiales como piedra caliza y arcilla. Al mezclarse con agua, forma una pasta utilizada como aglutinante en la construcción para unir y adherir materiales, especialmente en la producción de hormigón y mortero. Al fraguar y endurecer, la pasta de cemento proporciona cohesión y resistencia a las mezclas de construcción.

El cemento hidráulico cumple con los requisitos de la siguiente norma INEN 2380 “Cemento hidráulico. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos” (2011) y ASTM C 1157 “Standard Performance Specification for Hydraulic Cement” (2010), en esta se mencionan los diferentes tipos de cementos como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3.

Clasificación de los Cementos

TIPO	USO
GU	Para construcción en general.
HE	Alta resistencia inicial.
MS	Moderada resistencia a los sulfatos.
HS	Alta resistencia a los sulfatos.
MH	Moderado calor de hidratación.
LH	Bajo calor de hidratación.

Fuente: INEN (2011). INEN 2380 "Cemento hidráulico. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos"

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

Se llevó a cabo un análisis detallado de las características esenciales para el Hormigón Convencional (HC) y el Hormigón de Alta Desempeño (HAD). Como resultado, se determinó que la resistencia característica será de 30 MPa para el HC y 60 MPa para el HAD. Estos valores son cruciales para el diseño y rendimiento estructural en proyectos de construcción. En la Tabla 4 y Tabla 5, se observa una evaluación detallada de la dosificación por metro cúbico elegida para los distintos tipos de hormigón en estudio.

Tabla 4.

Dosificación de Diseño de Hormigón Convencional (HC) por metro cúbico

Diseño	Hormigón Convencional f'c 35 MPa	
Cemento HE	Kg	369
Piedra 19 mm		820
Arena de Río		709
Arena Triturada		298
Aditivo	Kg	3,5
		2,4
Agua	Lt	175

Nota: La tabla exhibe los valores medidos en kilogramos por metro cúbico (m³). Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.

Dosificación de Diseño de Hormigón de Alta Desempeño (HAD) por metro cúbico

Diseño	Hormigón Alto Desempeño f'c 60 MPa	
Cemento HE	Kg	450
Piedra 12 mm		810
Arena de Río		764
Arena Triturada		322
Aditivo	Kg	1,8
		2,5
Agua	Lt	140

Nota: La tabla exhibe los valores medidos en kilogramos por metro cúbico (m³). Fuente: Elaboración propia.

3.1 Ensayos de Agregados

Antes de llevar a cabo el proceso de fundición, se ejecutan los ensayos pertinentes en los agregados, que incluyen piedra, arena de río y arena triturada, como se detalla a continuación en la Figura 8.

Figura 8.

Agregado de los diseños



Nota: a. Se muestra la Arena de Río, b. Es la Arena triturada, c. Piedra de 12 mm del diseño de HAD y d. Piedra de 19 mm del diseño de HC. Fuente: Elaboración propia.

3.1.1 Granulometría

Se efectuó el ensayo de granulometría de los agregados conforme a las normativas INEN 696 y ASTM C 136, tal como se detalla en la sección posterior Figura 9.

Figura 9.

Ensayo de Granulometría



Nota: En el lado derecho se muestra la arena de río siendo colocada en la tamizadora, mientras que en el lado izquierdo se presenta la máquina de tamizado. Fuente: Elaboración propia.

3.2 Elaboración de Especímenes

Después de realizar las pruebas necesarias en los agregados destinados al uso, se procede a la mezcla de los dos tipos de hormigón. El inicio de esta etapa implica la medición precisa de los materiales, como se describe en la Figura 10.

Figura 10.

Pesado de Agregados



Fuente: Elaboración propia.

Inicia el proceso depositando los agregados y el cemento en la concreteira, mezclándolos según se muestra en la Figura 11. Posteriormente, se incorpora el agua, dando comienzo al proceso de mezclado.

Figura 11.

Colocar cemento y agregados a la concreteira



Fuente: Elaboración propia.

En la etapa de mezcla, se introducen los aditivos designados, retardante y plastificante, como se indica en la Figura 12. La mezcla se prolonga hasta alcanzar la homogeneidad integral de todos los materiales.

Figura 12.

Aditivo Plastificante y Retardante



Fuente: Elaboración propia.

3.2.1 Ensayos del Hormigón Fresco

Al concluir el proceso de mezcla, se procede a realizar los ensayos correspondientes al hormigón fresco, específicamente para determinar el revenimiento, la temperatura y el contenido de aire. Estas evaluaciones se rigen por las normativas ya mencionadas, que son ASTM C143, ASTM C31 y ASTM C231 para revenimiento, temperatura y contenido de aire, respectivamente. La Figura 13 proporciona una visualización detallada de este procedimiento.

Figura 13.

Ensayos de hormigón fresco de revenimiento, temperatura y contenido de aire



Nota: a. Ensayo de revenimiento, b. Ensayo de temperatura y c. Ensayo de contenido de aire. Fuente: Elaboración propia.

Es esencial destacar que se replicó el mismo procedimiento para cada uno de los diseños con el fin de evaluar propiedades clave del hormigón, como el Módulo de Elasticidad, el Coeficiente de Poisson y la capacidad de tensión. Por esta razón, se procedió a la fabricación de cilindros de 150 x 300 mm y vigas de 150 x 150 x 540 mm, tal como se detalla en la Figura 14.

Figura 14.

Moldes de vigas y cilindros



Nota: a. Moldes de viga y b. Molde de cilindros. Fuente: Elaboración propia.

Terminada la mezcla, se procede a verterla en moldes previamente engrasados. Después de un día, se lleva a cabo el desmolde, como se ilustra en la Figura 15. Se realiza una identificación clara de los especímenes de cada mezcla para evitar confusiones, como se aprecia en la Figura 16.

Figura 15.

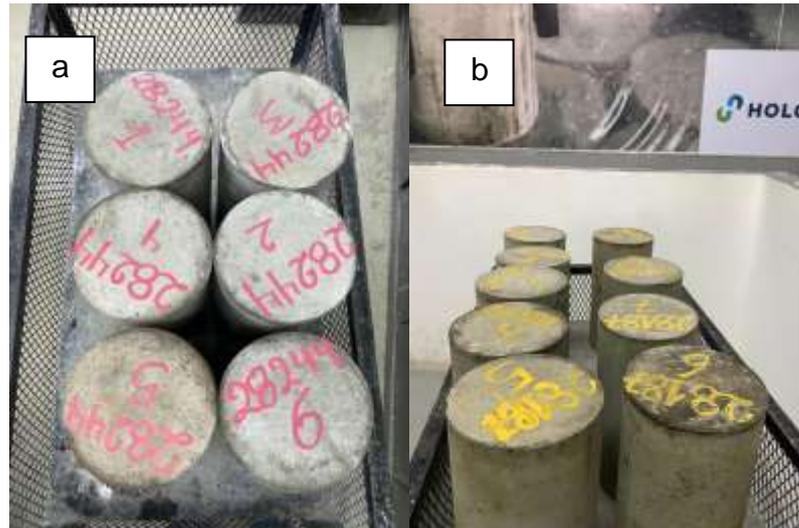
Especímenes de cilindro y viga de los diseños



Nota: a. Los especímenes de cilindro y b. Los de viga. Fuente: Elaboración propia.

Figura 16.

Especímenes desencofrados del diseño HC y HAD



Nota: a. Especímenes del Diseño de Hormigón Convencional y b. Especímenes del Diseño de Hormigón Alto Desempeño. Fuente: Elaboración propia.

3.2.2 Ensayos del Hormigón Endurecido

Siguiendo las pautas establecidas por ASTM C31, durante el período de espera previo a la realización de los ensayos, se dispone de los especímenes en una piscina de curado, tal como se muestra en la Figura 17.

Figura 17.

Especímenes en la piscina de curado del diseño HAD



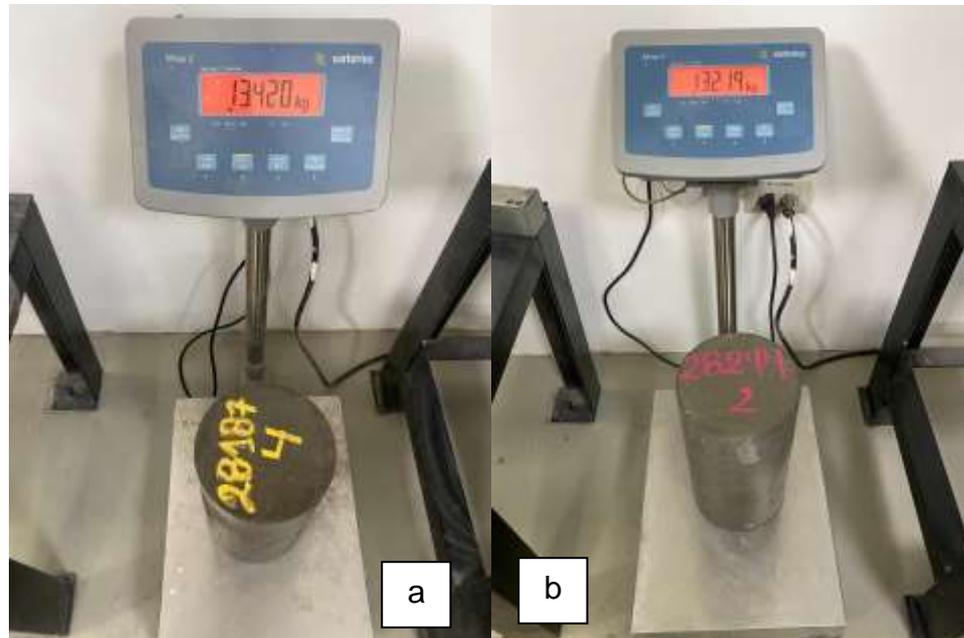
Fuente: Elaboración propia.

Se efectúa la medición de peso de cada espécimen antes de su ensayo, tal como se representa en la Figura 18. Los cilindros serán sometidos a ensayos

de compresión simple a los 3, 7, 14 y 28 días, conforme a las directrices establecidas por INEN 1573 y ASTM C39, tal como se evidencia en la Figura 19.

Figura 18.

Pesaje de los especímenes



Nota: a. Pesaje del espécimen del diseño HC y b. Pesaje del espécimen del diseño HAD. Fuente: Elaboración propia.

Figura 19.

Ensayo de Resistencia Compresión Simple



Nota: a. Antes del ensayo y b. Después del ensayo. Fuente: Elaboración propia.

Figura 20.

Ensayo de Módulo de Elasticidad y Coeficiente de Poisson

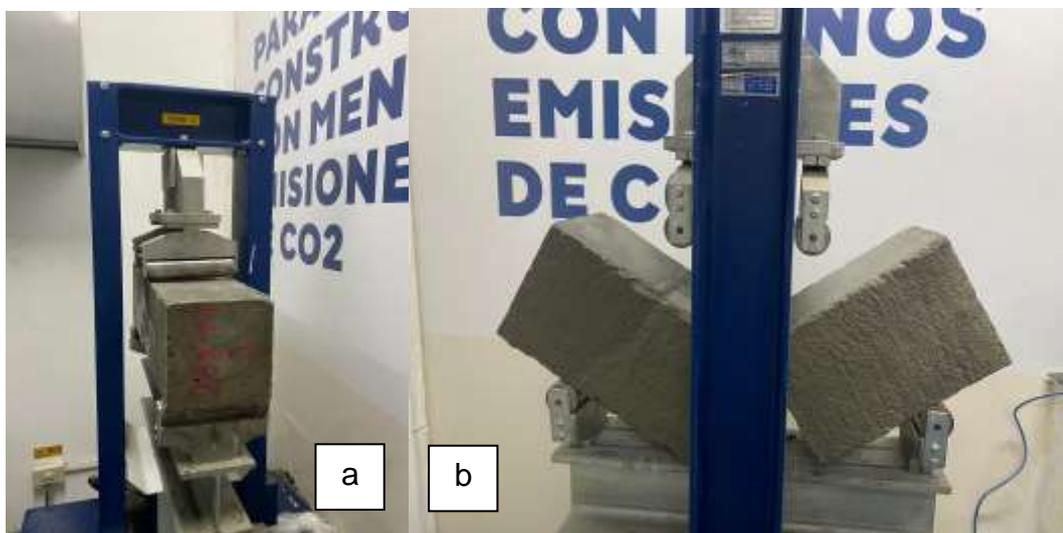


Nota: a. Colocación del cilindro con los anillos de lectura para el ensayo en la máquina y b. Lectura de los valores en el ensayo. Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, a los 7, 14 y 28 días, se procede con el ensayo de Módulo de Elasticidad y Coeficiente de Poisson según la normativa ASTM C39, detallado en la Figura 20. Posteriormente, a los días 14 y 28, se ejecuta el ensayo a flexión de acuerdo con las normativas INEN 2554 y ASTM C78, utilizando las vigas previamente elaboradas, tal como se ilustra en la Figura 21.

Figura 21.

Ensayo de Flexión



Nota: a. Antes del ensayo y b. Después del ensayo. Fuente: Elaboración propia.

3.3 Diseño de Estructura

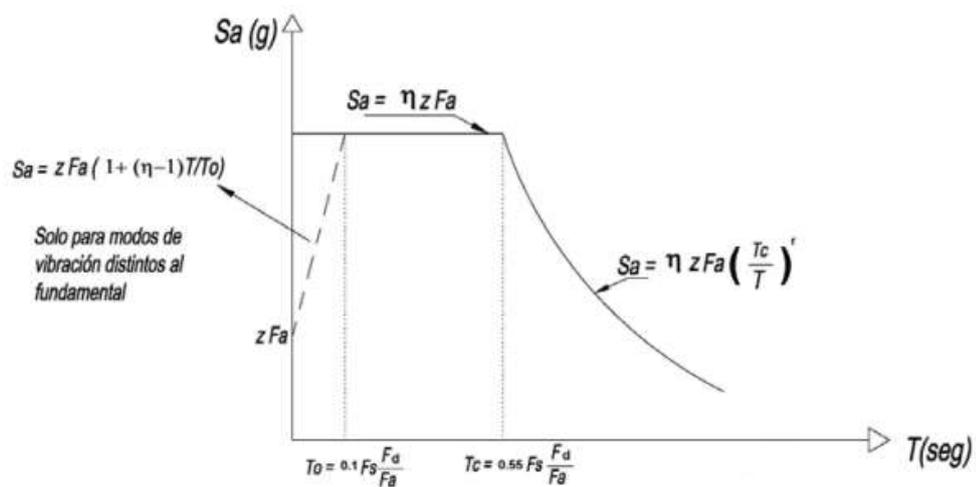
3.3.1 Espectros de diseño

Según la NEC-16, para realizar el espectro para el tipo de Suelo E de Guayaquil con esta normativa lo primero que se debe saber es lo siguiente, en la Figura 22 se muestra el espectro:

- Factor de Zona Sísmica Z.
- Tipo de suelo del sitio donde se construirá.
- Valores de los coeficientes de amplificación de suelo F_a , F_d y F_s .

Figura 22.

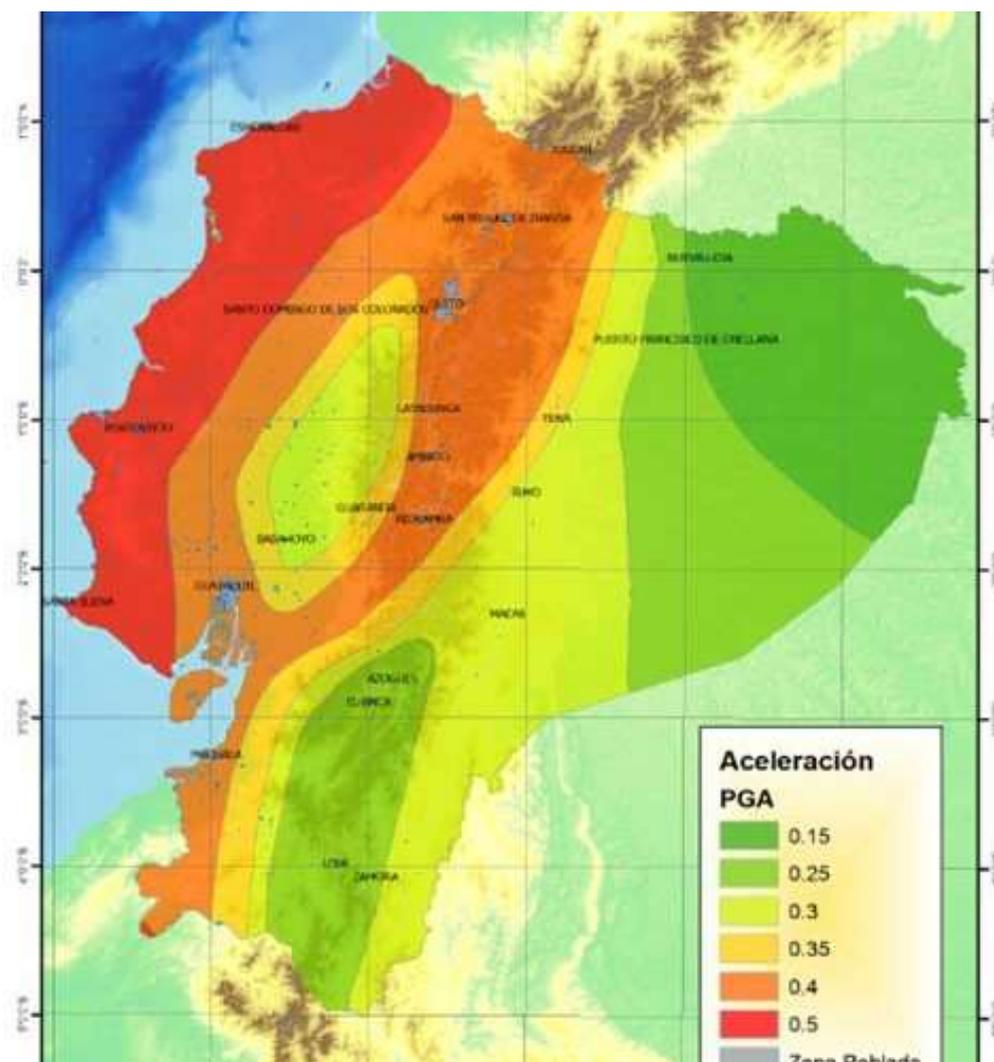
Espectro de diseño, según la NEC-16



Fuente: NEC (2015)

Figura 23.

Mapa del Ecuador con sus respectivas aceleraciones para cada provincia y ciudades del Ecuador



Fuente: NEC (2015)

El valor de Z se obtiene según la zona sísmica en el caso de Guayaquil, es la V, por lo que el factor es 0,40, como se muestra en la Tabla 6 y en la Figura 23.

Tabla 6.

Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Fuente: NEC (2015)

Para comprobar en la NEC se encuentra el factor de Z por población como en la Tabla 7.

Tabla 7.

Valores del factor de Z por población.

POBLACIÓN	PARROQUIA	CANTÓN	PROVINCIA	Z
ELOY ALFARO	ELOY ALFARO (DURAN)	DURAN	GUAYAS	0.40
GUAYAQUIL	GUAYAQUIL	GUAYAQUIL	GUAYAS	0.40

Fuente: NEC (2015)

Los coeficientes de ampliación del suelo Fa, Fd y Fs, se obtiene dependiendo del tipo de suelo y la zona sísmica del lugar como se observa en Tabla 8, Tabla 9 y Tabla 10.

Tabla 8.

Tipo de suelo y factores de sitio Fa

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.4	1.25	1.1	1.0	0.85
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y la sección 10.5.4					

Fuente: NEC (2015)

Tabla 9.

Tipo de suelo y factores de sitio Fd

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.36	1.28	1.19	1.15	1.11	1.06
D	1.62	1.45	1.36	1.28	1.19	1.11
E	2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

Fuente: NEC (2015)

Tabla 10.

Tipo de suelo y factores de sitio F_s (NEC , 2015)

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C	0.85	0.94	1.02	1.06	1.11	1.23
D	1.02	1.06	1.11	1.19	1.28	1.40
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

Fuente: NEC (2015)

Los periodos se obtienen con la siguiente fórmula:

$$T_C = 0.55 * F_S * \frac{F_D}{F_a}$$

$$T_L = 2,4$$

Para los perfiles de suelo tipo D y E, los valores de TL se limitarán a un valor máximo de 4 segundos.

Se obtiene la aceleración de la respuesta espectral S_a , en los siguientes casos:

- Cuando $T < T_C$:

$$S_a = \eta * Z * F_a$$

- Cuando $T > T_C$:

$$S_a = \eta * Z * F_a \left(\frac{T_C}{T} \right)^r$$

Donde:

- η : Razón entre la aceleración espectral S_a ($T = 0.1$ s) y el PGA para el periodo de retorno seleccionado
 - $\eta = 1,80$: Provincias de la Costa (excepto Esmeraldas),
 - $\eta = 2,48$: Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos
 - $\eta = 2,60$: Provincias del Oriente
- r : Factor usado en el espectro de diseño elástico, cuyos valores dependen de la ubicación geográfica del proyecto.

- $r=1$ para suelos tipo A, B, C
- $r=1,5$ para suelos tipo D o E

En la Tabla 11, se muestra los datos a utilizar para los espectros y la Figura 24 es el espectro de diseño del suelo tipo E de Guayaquil.

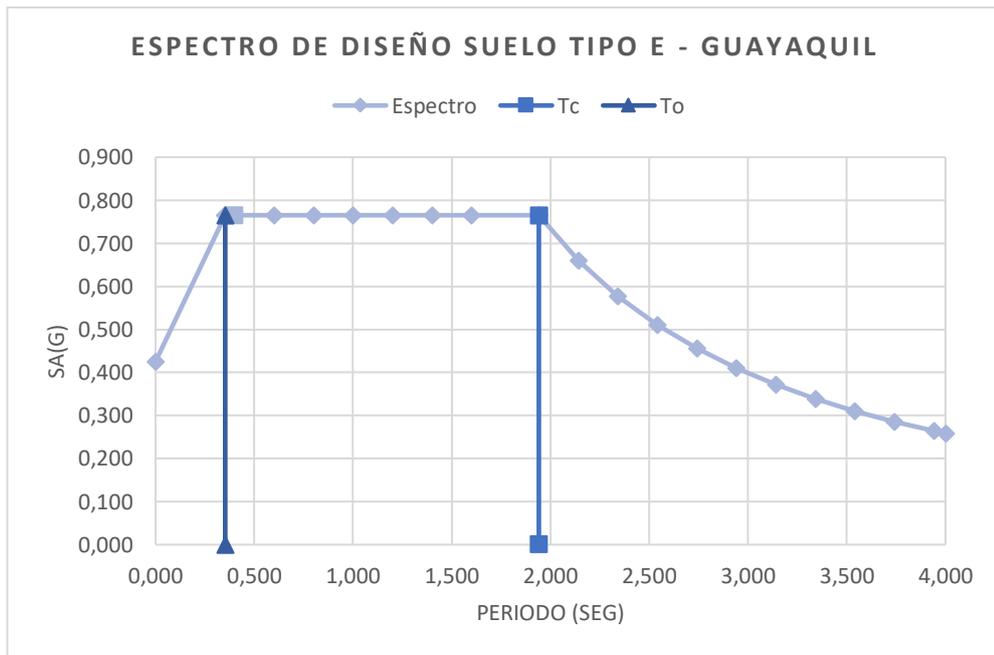
Tabla 11. Datos del Espectro

Guayaquil	
<i>H</i>	1,8
<i>Z</i>	0,5
<i>Fa</i>	0,85
<i>Fd</i>	1,50
<i>Fs</i>	2
<i>To</i>	0,35
<i>Tc</i>	1,94
<i>Tl</i>	4,00
<i>r</i>	1,5
<i>Zfa</i>	0,425
<i>Sa=nZFa</i>	0,765

Fuente: Elaboración propia.

Figura 24.

Espectro de diseño para suelo Tipo E



Fuente: Elaboración propia.

3.3.2 Factor de reducción sísmica.

El factor R a utilizar es 3, según la Tabla 7. Este aspecto posibilita la mitigación de las fuerzas sísmicas de diseño, siempre y cuando se tenga en cuenta que la estructura, incluyendo sus conexiones, esté siendo diseñada para resistir un mecanismo de falla previsible.

Tabla 12.

Factor de reducción para pórticos (NEC, 2015)

Sistemas Estructurales de Ductilidad Limitada	R
Pórticos resistentes a momento	
Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la NEC-SE-HM , limitados a viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 metros.	3
Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la NEC-SE-HM con armadura electrosoldada de alta resistencia	2.5
Estructuras de acero conformado en trío, aluminio, madera, limitados a 2 pisos.	2.5
Muros estructurales portantes	
Mampostería no reforzada, limitada a un piso.	1
Mampostería reforzada, limitada a 2 pisos.	3
Mampostería confinada, limitada a 2 pisos.	3
Muros de hormigón armado, limitados a 4 pisos.	3

Tabla 16 : Coeficiente R para sistemas estructurales de ductilidad limitada

Fuente: NEC (2015)

3.3.3 Descripción de Edificación

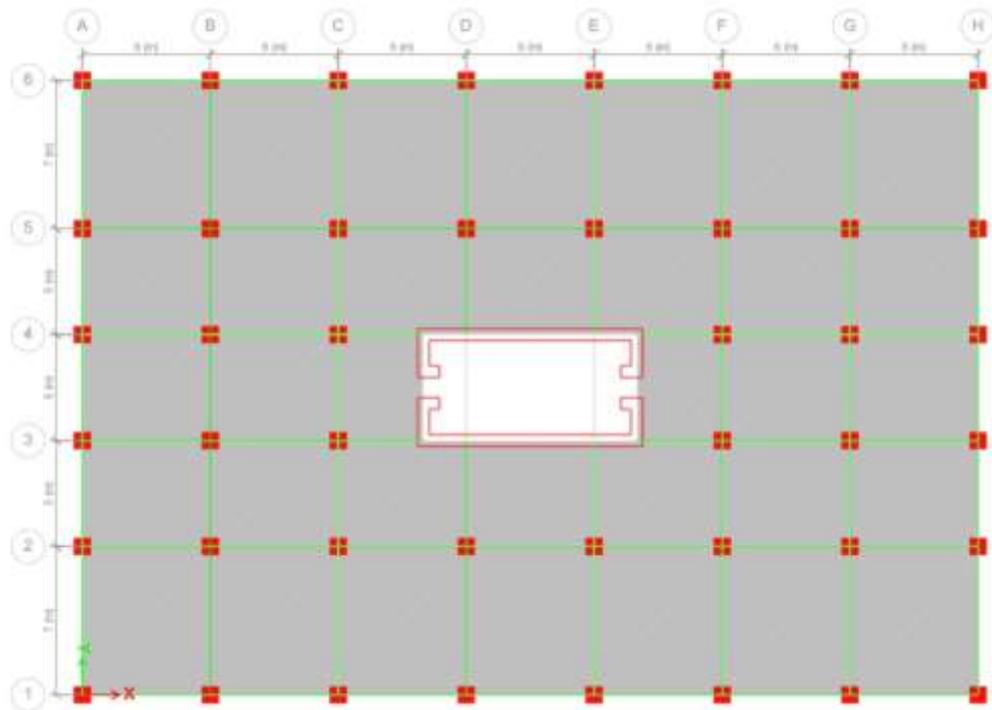
Posterior a la obtención de los datos críticos de resistencia a la compresión, módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson, se da inicio al proceso de diseño de un edificio de 40 niveles. La estructura se compone de 7 pórticos en la dirección X, con tramos de 6 m cada uno, y 5 pórticos en la dirección Y, con tramos de 7, 5, 5, 5 y 7 m respectivamente. Las dimensiones totales del edificio se establecen en 42 m x 29 m.

Este proyecto asigna los primeros 10 pisos para funciones de oficinas, reservando los 30 pisos subsiguientes para servicios hoteleros. El primer entresuelo presentará una altura de 4,5 m, seguido por entresuelos sucesivos con una altura de 3,5 m cada uno. Se ha seleccionado la ciudad de Guayaquil como la ubicación para la construcción, en un terreno clasificado como tipo E. En el núcleo central de la estructura se instalará un ascensor, por lo cual se

erigirán muros tanto en el centro como en los laterales, con el propósito de proporcionar una mayor estabilidad, tal como se visualiza en la Figura 25.

Figura 25.

Planta de la Edificación



Fuente: Elaboración propia.

Mediante la aplicación del software de ingeniería estructural ETABS, para el cual se dispone de una licencia proporcionada por el tutor, y el cumplimiento de las normativas establecidas por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC , 2015), junto con las directrices especificadas por el ACI 318, se procede a llevar a cabo un análisis detallado para determinar las dimensiones óptimas de columnas y vigas. Este estudio se focaliza en distintos tipos de hormigón, específicamente el Hormigón Convencional (HC) y el Hormigón de Alto Desempeño (HAD). Las cargas para la estructura son la siguientes:

- Carga muerta es la de los elementos de la estructura
- Carga vida de las oficinas, según la NEC es 2,4 kN/m².
- Carga vida del hotel, según la NEC es 2,0 kN/m².

3.3.4 Prediseño de Estructura

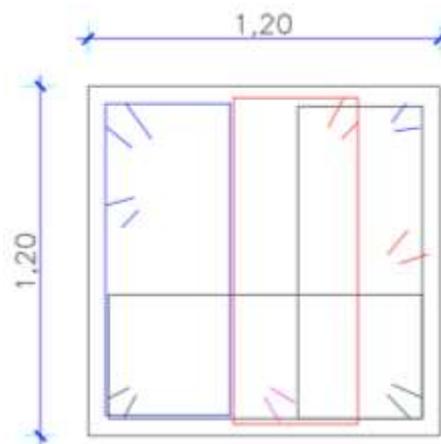
Se aplicó una ecuación de acero requerido simplificada para determinar el área de la columna en función de su demanda axial. A continuación, se llevó a cabo una revisión minuciosa para verificar que las dimensiones seleccionadas satisficieran los requisitos mínimos establecidos en (ACI 318). Este procedimiento se ejecutó con el propósito de asegurar la integridad estructural de la columna.

$$A_{rqd} = \frac{P_u}{f'_c}$$

En el inicio del prediseño de columnas, se analizaron los parámetros del proyecto, seleccionando propiedades de materiales y calculando dimensiones iniciales mediante ecuaciones simplificadas. La Figura 26, muestra las dimensiones de las columnas del piso 1 para el edificio con Hormigón Convencional (HC).

Figura 26.

Corte de columna



Nota: Se muestra corte de columna y sus dimensiones en etapa de prediseño. Fuente: Elaboración propia.

Estas dimensiones se ajustaron para cumplir con criterios de capacidad y desplazamiento. Considerando aspectos geométricos y configuraciones estructurales, la sección resultante se aplicará en toda la planta de los pisos correspondientes.

En el predimensionamiento de las vigas, se examinaron las demandas máximas, principalmente a partir del piso 10, aplicando las fórmulas de los coeficientes del ACI 318 (2019). El modelado se realizó con los resultados obtenidos en el programa Etabs, y se llevó a cabo un análisis estructural conforme a la normativa, abordando dos enfoques específicos:

- Análisis Estático Equivalente (ASE): Cálculo del cortante basal.
- Análisis Dinámico Espectral por Superposición Modal:

Según la norma 6.2.2. (NEC , 2015), se establecieron los siguientes requisitos:

Número de modos: Se seleccionó un número suficiente de modos para asegurar que la participación de la masa modal total alcanzara al menos el 90% de la masa total de la estructura en cada dirección considerada.

Cortante basal mínimo: El cortante basal resultante del análisis dinámico espectral no puede ser inferior a un porcentaje específico del cortante basal obtenido del análisis estático equivalente (6.2.2.b). Para estructuras regulares, se consideró un 80%, y para estructuras irregulares, un 85%.

Tras completar estos análisis, se procedió al diseño de las vigas y columnas de los pisos seleccionados, siguiendo las normativas establecidas por el ACI 318.

3.3.5 Diseño de Viga

Mediante el software Etabs, se obtiene el momento último (M_u) para la viga sujeta a análisis. Las fórmulas siguientes son empleadas para el diseño a flexión y cortante:

3.3.5.1 Diseño a Flexión

Se inicia el proceso obteniendo el Acero Requerido con el fin de evaluar el cumplimiento de los requisitos establecidos para el acero, tanto en su cantidad mínima como máxima.

$$A_s \text{ requerido} = \frac{M_u}{33.78 * d}$$

$$A_s \text{ min} = \frac{0.8\sqrt{f'c}}{f_y} b \cdot d$$

$$A_s \text{ max} = 0.025b \cdot d$$

Se realiza la verificación tanto del momento negativo como positivo de la viga para asegurar que el acero seleccionado satisface los requerimientos. Este análisis se lleva a cabo mediante las fórmulas siguientes:

$$\rho = \frac{A_s}{bd}$$

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'c * b}$$

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$\Phi M_n = 0.9(M_n)$$

$$M_{pr} = 1.25 * A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

3.3.5.2 Diseño Cortante

En el cálculo del cortante, se requiere considerar el acero positivo presente en ambos apoyos de la viga para determinar el momento resistente máximo (M_{pr}).

$$V_E = \frac{M_{pr_1} + M_{pr_2}}{L_n} + V_g$$

V_g representa el valor de cortante obtenido a través del programa.

$$SI \frac{\Sigma M_{pr}}{L} > V_g \rightarrow \Phi V_c = 0$$

$$\Phi V_s = \frac{\Phi M_u f_y d}{S}$$

La separación entre las varillas se determina mediante la siguiente fórmula:

$$s < \min\left(\frac{d}{4}; 100\text{mm}\right)$$

Debe satisfacer las siguientes condiciones:

$$\Phi V_n = \Phi V_s$$

$$\Phi V_n > V_E$$

3.3.6 Diseño de Columna

En primera instancia, se determina la carga axial máxima (P_u) que actúa sobre la columna a diseñar. Se verifica el predimensionamiento mediante la siguiente fórmula:

$$\Phi P_n = \Phi 0.85 A_g * f'_c$$

$$A_g \geq \frac{P_u}{0.85 f'_c (0.3)}$$

$$b = \sqrt{A}$$

Es fundamental considerar que la dimensión mínima de la sección (b_{\min}) debe ser igual o mayor a 30 cm. En este contexto, se calcula el Momento Nominal de la columna.

$$\sum M_{nc} > \sum M_{nb}$$

En el diseño por confinamiento en la zona protegida "Lo", se opta por seleccionar la mayor opción disponible.

- $H_{nc}/6$
- *base*
- 45 cm

En la separación máxima en "Lo", se decide elegir la opción de menor magnitud disponible.

- $6\Phi b$
- $base/4$
- $S_0 = 10 + \left(\frac{35-hx}{3}\right)$

En el caso de la separación fuera de "Lo", se determina que se debe controlar utilizando el valor mínimo disponible.

- $6\Phi b$
- $15cm$

$$\rho_{st} = \frac{0.09f'c}{f_y}$$

$$\rho_{st} = 0.3 \left(\frac{Ag}{Ash} - 1 \right) \frac{f'c}{f_y}$$

$$\rho_{utilizado} = \frac{Ash}{bc * S}$$

Fuera de la zona de "Lo", se permite utilizar la mitad del refuerzo transversal según la normativa correspondiente.

Evaluación de conexiones:

$$\sum V_{ej} = 1.25 \sum A_s f_y$$

$$\Phi V_n = \Phi \alpha \sqrt{f'c} A_j$$

Cumplir con lo siguiente:

$$\Phi V_n > V_{ej}$$

3.4 Costo del Hormigón y Acero

3.4.1 Costo de Hormigón

Según Holcim (2024), los precios por metro cúbico de los tipos de hormigón son lo siguiente:

- Hormigón Convencional= \$132,31 dólares estadounidense
- Hormigón de Alto Desempeño= \$159,51 dólares estadounidense

Con la información precisa sobre la demanda de hormigón y acero para los elementos específicos, se llevará a cabo un análisis comparativo entre los hormigones convencional (HC) y de alto desempeño (HAD).

3.4.2 Costo de Acero

Según la página Insucons, que es una herramienta ágil y sencilla para consultar costos, analizar matrices de precios unitarios (APU) y crear presupuestos en la industria de la construcción en Ecuador (2013), el valor del acero de refuerzo es \$1,35 dólares estadounidense cada kg.

CAPÍTULO IV: ENSAYOS

En este capítulo, se presentan los resultados de ensayos realizados en los laboratorios del Centro de Innovación de Holcim, abordando tanto el Hormigón Convencional (HC) como el Hormigón de Alto Desempeño (HAD). El objetivo principal es evaluar el impacto del uso de HAD en el diseño de grandes edificaciones en comparación con HC, considerando factores cruciales como el costo del hormigón y el acero.

4.1 Ensayo de Agregados

Los resultados del ensayo de granulometría de cada agregado son los siguientes:

4.1.1 Piedra de 12 mm

En la Tabla 13, se expone el peso retenido en los tamices, permitiendo la obtención del porcentaje de material que atraviesa, esencial para la construcción de la Curva Granulométrica.

Tabla 13.

Resultados de la granulometría de la Piedra 12 mm usado en el diseño HAD.

Tamices ASTM	Abertura (Mm)	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
3/4"	19,05	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,70	130,00	6,50	6,50	93,50
3/8"	9,53	740,00	37,00	43,50	56,50
1/4"	6,350				
# 4	4,75	1030,00	51,50	95,00	5,00
# 8	2,36	80,00	4,00	99,00	1,00
# 10	2,000				
# 16	1,18	0,00	0,00	99,00	1,00
# 200	0,075				
Base		20,00	1,00	100,00	0,00
Total		2.000,00	100,00	-	-

Fuente: Elaboración propia.

Se evidencia una retención significativa del agregado en el tamiz N°4, con un 51,5% del total del agregado, seguido por el tamiz 3/8" con un 37%, equivalente a 2000 gramos. Figura 27, correspondiente a la Curva

Granulométrica, se aprecia que los resultados se sitúan dentro de los límites establecidos por la normativa aplicable.

Figura 27.

Curva granulométrica de Piedra 12 mm



Fuente: Elaboración propia.

4.1.2 Piedra de 19 mm

Tabla 14.

Resultados de la granulometría de la Piedra 19 mm usado en el diseño HAD.

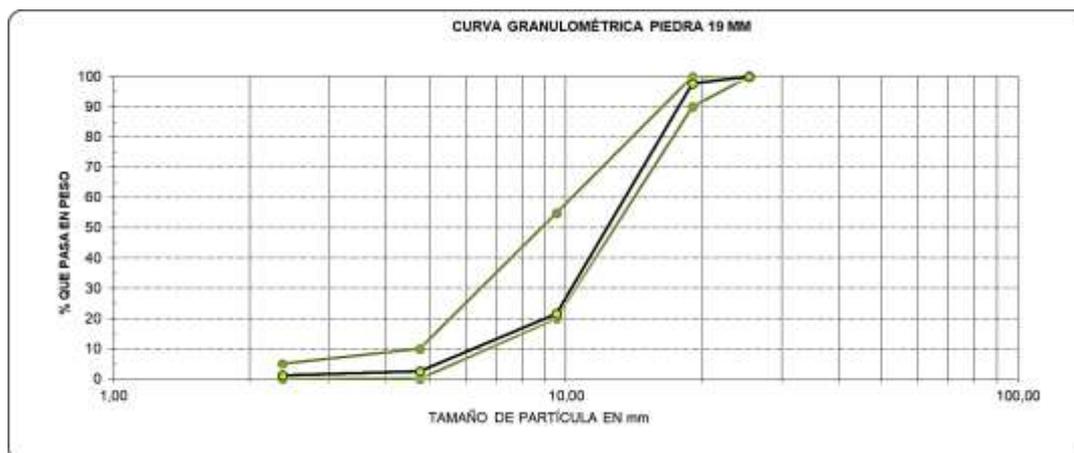
Tamices ASTM	Abertura (mm)	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
1"	25,400	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,05	137,00	2,39	2,39	97,61
1/2"	12,70				
3/8"	9,53	4353,00	76,06	78,46	21,54
1/4"	6,350				
# 4	4,75	1084,00	18,94	97,40	2,60
# 8	2,36	82,00	1,43	98,83	1,17
# 10	2,000				
Base		67,00	1,17	100,00	0,00
Total		5.723,00	100,00	-	-

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 14, se muestra el porcentaje de material que pasa para realizar la Curva Granulométrica en cada tamiz. El agregado utilizado para el ensayo fue 5.723 gramos, el tiene mayor retenido de agregado es en al Tamiz 3/8" siendo el 76,06% del agregado total y Tamiz N°4 es el segundo con mayor material retenido, es el 18,94%. En la Curva Granulométrica de la Figura 28, se observa que se encuentra entre los límites establecido según la norma.

Figura 28.

Curva granulométrica de Piedra 19 mm



Fuente: Elaboración propia.

4.1.3 Arena de río

En la Tabla 15, se muestra los resultados del ensayo granulométrico. Se observa que en el Tamiz N°50 con el 31,1% del agregado total se encuentra el mayor retenido, en el Tamiz N°30 se retiene el 21,6% del agregado total, este es 2.000 gramos. En la Curva Granulométrica de la Figura 27, se observa que se encuentra entre los límites establecido según la norma.

Tabla 15.

Resultados de la granulometría de la Arena de río usado en el diseño HAD.

Tamices ASTM	Abertura (mm)	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
3/8"	9,53	18,00	0,90	0,90	99,10
# 4	4,75	158,00	7,90	8,80	91,20
# 8	2,36	220,00	11,00	19,80	80,20
# 16	1,18	269,00	13,45	33,25	66,75
# 30	0,600	432,00	21,60	54,85	45,15
# 50	0,300	622,00	31,10	85,95	14,05
# 100	0,149	233,00	11,65	97,60	2,40
# 200	0,075				
BASE TOTAL		48,00	2,40	100,00	0,00
		2.000,00	100,00	-	-

Fuente: Elaboración propia.

Figura 29.

Curva granulométrica de Arena de Río



Fuente: Elaboración propia.

4.1.3.1 Arena de Triturada

En la Tabla 16, se muestra los resultados del ensayo granulométrico en el cual se usó 2.000 gramos de muestra. En el Tamiz N°8 se retuvo el 28% del agregado total y en el Tamiz N°16 se retiene el 26% del agregado total, se puede observar una diferencia del 2% del agregado.

Tabla 16.

Resultados de la granulometría de la Arena de río usado en el diseño HAD.

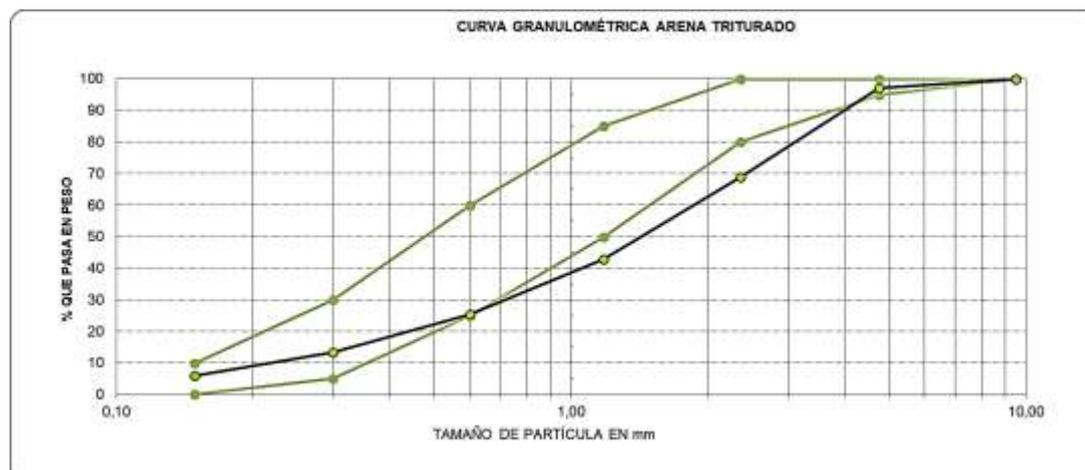
Tamices ASTM	Abertura (mm)	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
3/8"	9,53	0,00	0,00	0,00	100,00
# 4	4,75	60,00	3,00	3,00	97,00
# 8	2,36	560,00	28,00	31,00	69,00
# 16	1,18	520,00	26,00	57,00	43,00
# 30	0,600	350,00	17,50	74,50	25,50
# 50	0,300	240,00	12,00	86,50	13,50
# 100	0,149	150,00	7,50	94,00	6,00
# 200	0,075				
BASE		120,00	6,00	100,00	0,00
TOTAL		2.000,00	100,00	-	-

Fuente: Elaboración propia.

En la Curva Granulométrica de la Figura 30, se observa que se encuentra entre los límites establecido según la norma.

Figura 30.

Curva granulométrica de Arena triturada



Fuente: Elaboración propia.

4.2 Ensayo de Hormigón Fresco

En la Tabla 17, se encuentra los resultados de ensayo de hormigón fresco para HC, mientras que en la Tabla 18 son del HAD.

Tabla 17.

Ensayo de Hormigón Fresco de HC

Hormigón Convencional (HC)

Revenimiento	22 cm
Temperatura	23,5 °C
Contenido de aire	1.5%

Fuente: Elaboración propia.

Entre los dos tipos de hormigón, se observa que los valores de HAD es mayor a HC. En el revenimiento el HC tiene mejor trabajabilidad por su menor valor, pero no hay mucha diferencia. Las temperaturas cumplen como tal la norma de los ensayos.

Tabla 18.

Ensayo de Hormigón Fresco de HAD

Hormigón Alto Desempeño (HAD)

Revenimiento	24 cm
Temperatura	25,1 °C
Contenido de aire	1.8%

Fuente: Elaboración propia.

4.3 Ensayo de Hormigón Endurecido

Antes de realizar los ensayos correspondientes se procedió a pesar los especímenes cilíndricos y junto con el área obtener la densidad del hormigón en cada uno. Con ello se tiene el promedio de densidad para HC y HAD, observar Tabla 19.

Tabla 19.

Valores de peso y densidad en Diseños

Diseño	Cilindros	Área (mm²)	Peso (kg)	Densidad (kg/m³)
<i>Hormigón Convencional (HC)</i>	HC C1	17.671,46	13,100	2.471,03
	HC C2		13,160	2.482,35
	HC C3		13,200	2.489,89
	HC C4		13,220	2.493,66
	HC C5		13,260	2.501,21
	HC C6		13,210	2.491,78
	HC C7		13,450	2.537,05
	HC C8		13,400	2.527,62
	Promedio		13,250	2.499,32
Diseño	Cilindros	Área (mm²)	Peso (kg)	Densidad (kg/m³)
<i>Hormigón Alto Desempeño (HAD)</i>	HAD C1	17.671,46	12,930	2.438,96
	HAD C2		12,820	2.418,21
	HAD C3		13,420	2.531,39
	HAD C4		13,590	2.563,46
	HAD C5		13,520	2.550,25
	HAD C6		13,410	2.529,50
	HAD C7		13,480	2.542,71
	HAD C8		13,450	2.537,05
	Promedio		13,328	2.513,94

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1 Resistencia a Compresión Simple

Los resultados del ensayo de compresión simple, obtenidos a los 3, 7, 14 y 28 días, se presentan en la Tabla 20 para los dos diseños.

Tabla 20.

Resistencia a la compresión (MPa)

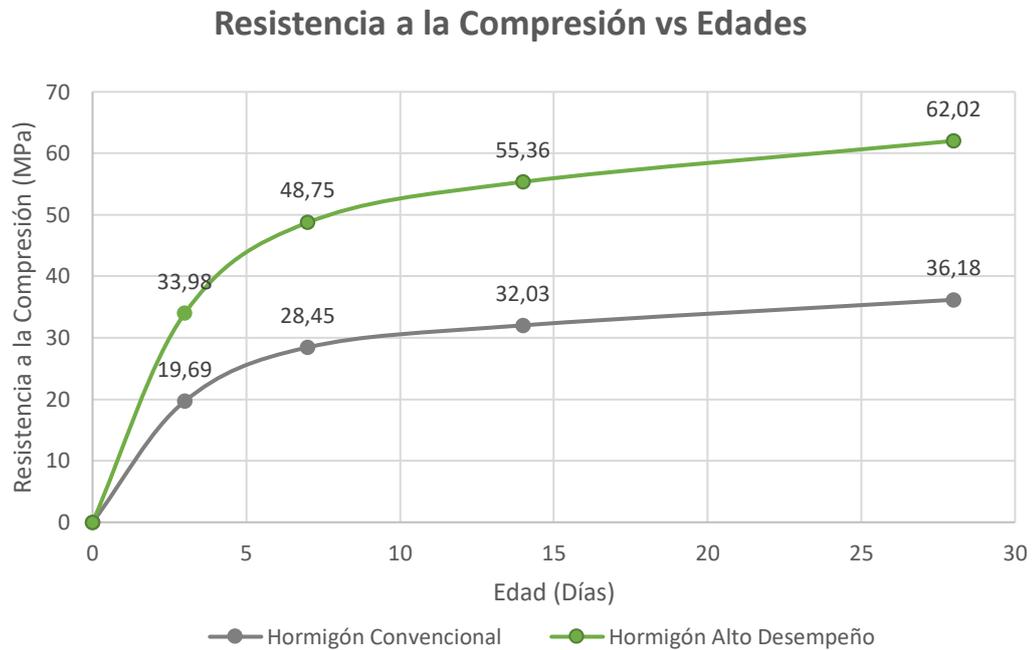
Edad	Hormigón Convencional (MPa)	Hormigón Alto Desempeño (MPa)
3	19,69	33,98
7	28,45	48,75
14	32,03	55,36
28	36,18	62,02

Nota: El Resistencia a la compresión medida en unidades de Gigapascales (MPa). Fuente: Elaboración propia.

La resistencia del diseño de Hormigón Convencional llegó a 36,18 MPa, siendo el objetivo llegar a 35 MPa, este diseño está correcto debido que el HC tiene resistencia entre 20 a 40 MPa. Mientras que el diseño de Hormigón de Alto Desempeño dio 62,02 MPa, este se encuentra dentro de lo establecido que es 60 MPa recordando que un HAD tiene resistencia mayor a 55 MPa.

Figura 31.

Curva de Resistencia vs Tiempo



Nota: El gráfico ilustra la curva de resistencia, en unidades de Megapascales (MPa), correspondiente a cada diseño. Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 31, se observa la Curva de Resistencia de Compresión Simple vs Tiempo de HC y HAD. La resistencia de los diseños va aumentando a medida que transcurre los días, siendo HAD el de mayor resistencia que HC. La evolución del hormigón de cada diseño de los días 3, 7, 14 y 28 días se encuentra en la Tabla 21 en porcentaje.

El día 3, el HC tiene el 57% de la resistencia requerida que es 35 MPa, mientras que HAD tiene el 56% de 60 MPa. En el día 7, el porcentaje es de 83% y 80% de los diseños HC y HAD, respectivamente. A los 14 días, la evolución de HC es 93% y HAD es de 91% de la resistencia requerida.

Tabla 21.

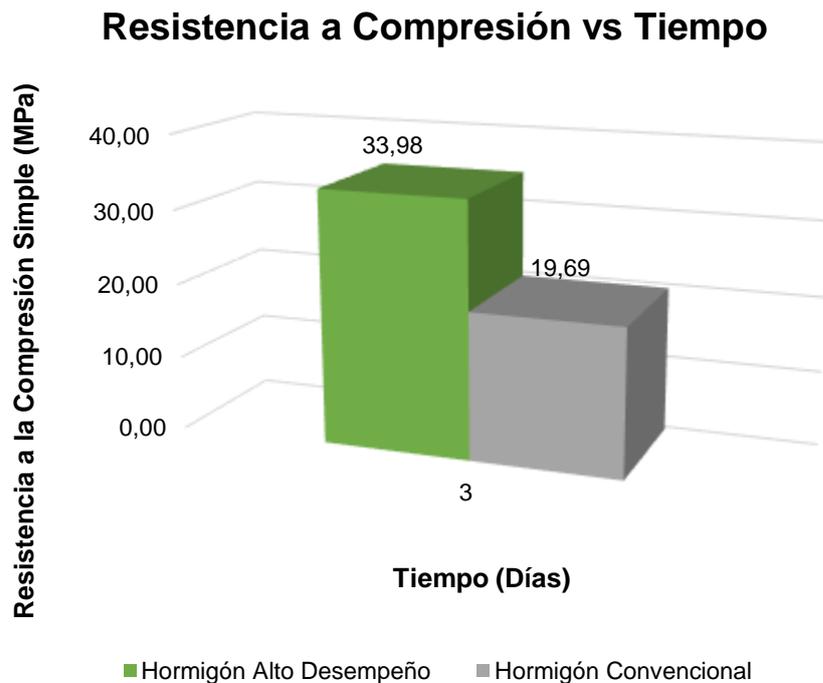
Porcentaje Resistencia a la compresión requerida

Edad	Hormigón Convencional (HC)	Hormigón Alto Desempeño (HAD)
3	57%	56%
7	83%	80%
14	93%	91%
28	-	-

Fuente: Elaboración propia.

Figura 32.

Resistencia a Compresión a los 3 días



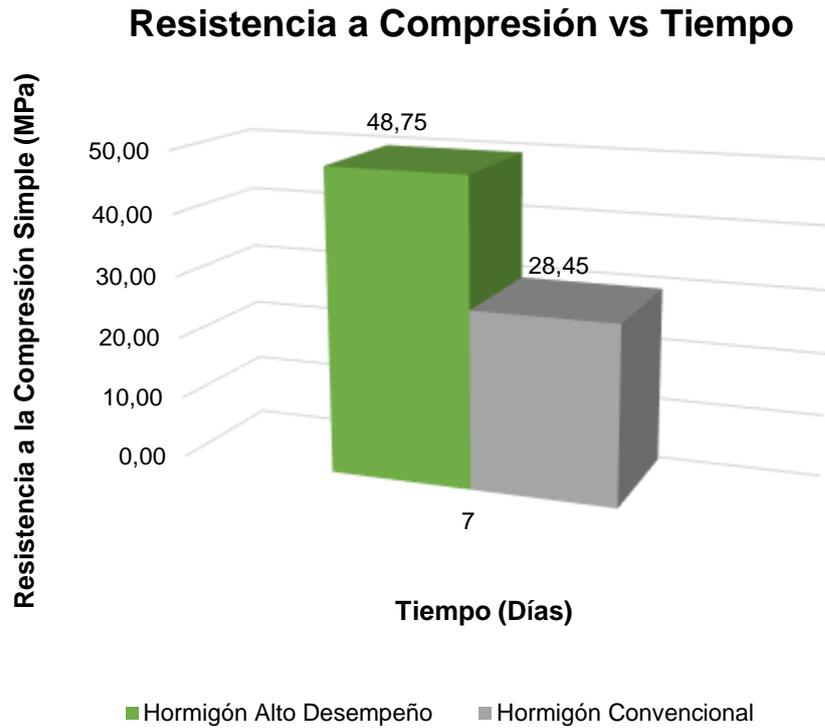
Nota: El gráfico muestra la resistencia a la compresión, medida en unidades de Megapascales (MPa), de cada diseño a la edad de 3 días. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 32, la resistencia de compresión simple de HC es 16,69 MPa y HAD tiene 33,98 MPa con una diferencia de 17,29 MPa, su porcentaje es 42,05%.

A los 7 días, la resistencia de compresión simple es de 28,45 MPa en HC y 48,75 MPa en HAD su diferencia es de 20,3 MPa, es decir 41,64%, entre los dos diseños.

Figura 33.

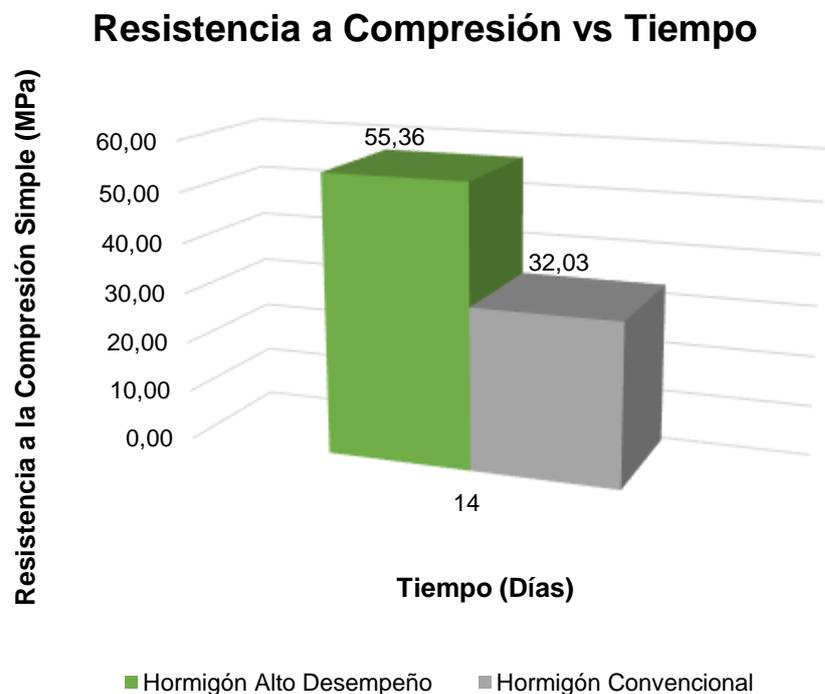
Resistencia a Compresión a los 7 días



Nota: El gráfico muestra la resistencia a la compresión, medida en unidades de Megapascales (MPa), de cada diseño a la edad de 7 días. Fuente: Elaboración propia.

Figura 34.

Resistencia a Compresión a los 14 días

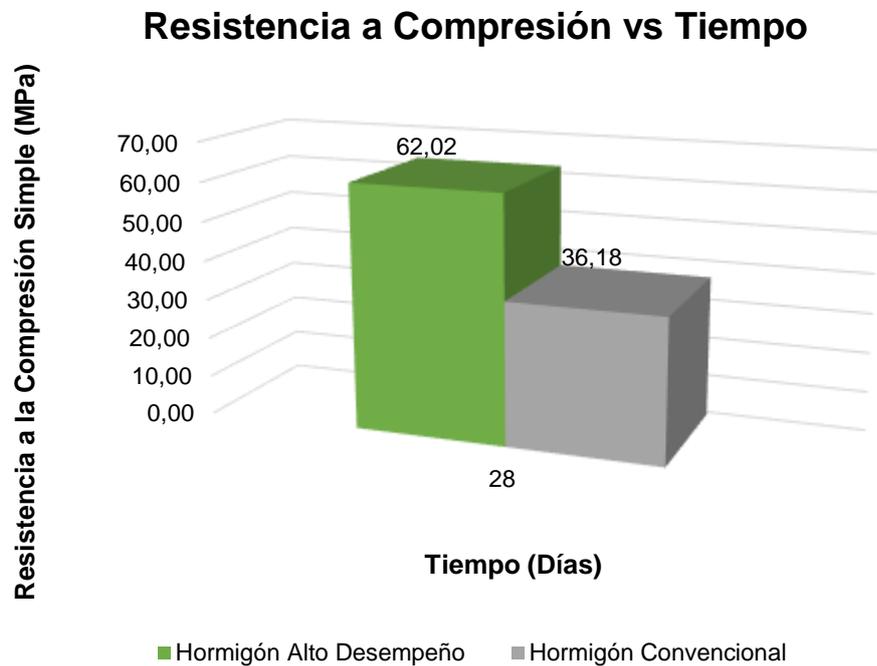


Nota: El gráfico muestra la resistencia a la compresión, medida en unidades de Megapascales (MPa), de cada diseño a la edad de 14 días. Fuente: Elaboración propia.

La resistencia a compresión simple en el diseño HC es de 32,02 MPa y 55,36 MPa para HAD en el día 14 según la Figura 34. La diferencia entre los diseños es 23,33 MPa y representa un 42,14%.

Figura 35.

Resistencia a Compresión a los 28 días



Nota: El gráfico muestra la resistencia a la compresión, medida en unidades de Megapascuales (MPa), de cada diseño a la edad de 28 días. Fuente: Elaboración propia.

La diferencia es de un 41,66%, es decir de 25,84 MPa porque el diseño HC tiene 36,18 MPa y HAD tiene 62,02 MPa a los 28 días, ver Figura 35. Estos cumplen los requerimientos anteriormente explicados.

4.3.2 Módulo de Elasticidad

Los resultados de los ensayos del Módulo de Elasticidad son los de Tabla 22, en esta se refleja la diferencia de valores entre los dos diseños en los días es un promedio de 7 GPa. Dando como resultado final a los 28 días en el diseño HC de 29 GPa y en el HAD de 35 GPa.

Tabla 22.

Módulo de Elasticidad (GPa)

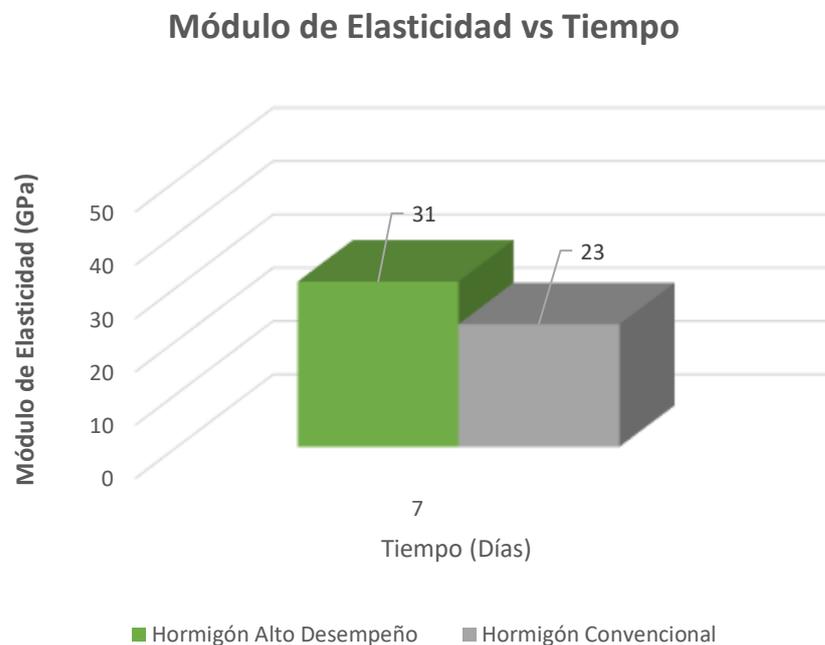
Edad	Hormigón Convencional (GPa)	Hormigón Alto Desempeño (GPa)
7	23	31
14	26	33
28	29	35

Nota: El Módulo de Elasticidad medida en unidades de Gigapascales (GPa). Fuente: Elaboración propia.

En los 7 días, el diseño HC tiene módulo de elasticidad de 23 GPa, mientras que el diseño HAD su valor es de 31 GPa, se observa en la Figura 36. Es una diferencia de 8 GPa entre los dos diseños, siendo un porcentaje diferencial 25,81%.

Figura 36.

Módulo de Elasticidad a los 7 días

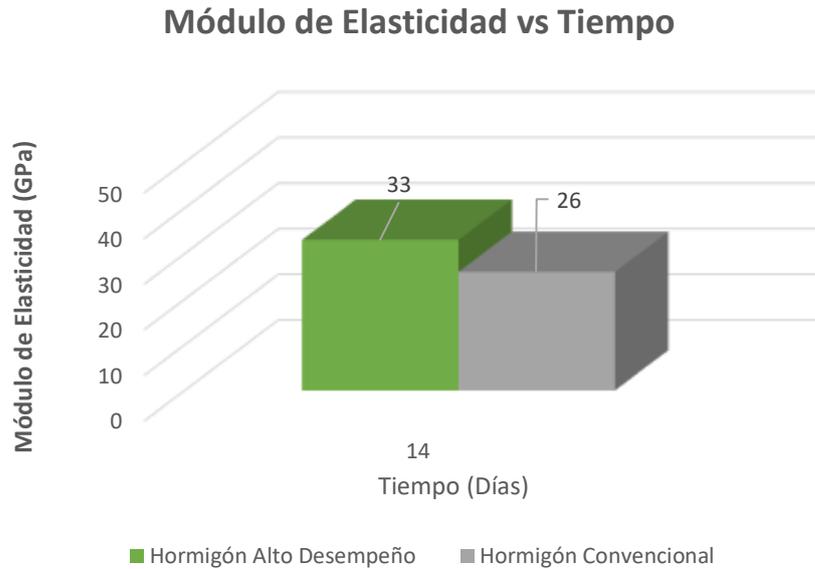


Nota: El gráfico muestra la Módulo de Elasticidad, medida en unidades de Gigapascales (GPa), de cada diseño a la edad de 7 días. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 37, se muestra los resultados de los 14 días del ensayo en los cuales el valor del diseño de HC es de 26 GPa y el HAD es de 33 GPa. La diferencia en porcentaje es de 21,21%, siendo un valor de 7 GPa.

Figura 37.

Módulo de Elasticidad a los 14 días

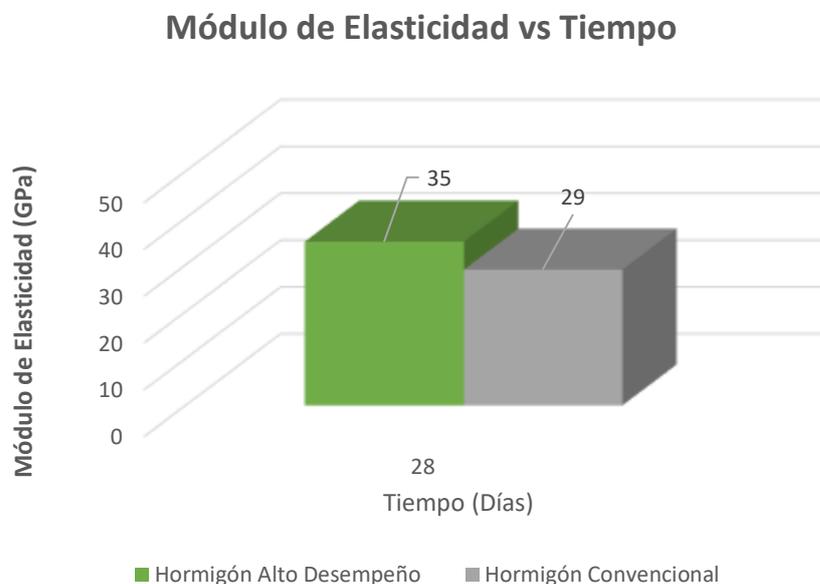


Nota: El gráfico muestra la Módulo de Elasticidad, medida en unidades de Gigapascales (GPa), de cada diseño a la edad de 14 días. Fuente: Elaboración propia.

En el diseño HC a los 28 días el resultado de valor de módulo de elasticidad es 29 GPa con una diferencia 6 GPa con referencia al diseño de HAD, siendo su valor de 35 GPa, observar Figura 38. La diferencia porcentual es de 17,14%.

Figura 38.

Módulo de Elasticidad a los 28 días



Nota: El gráfico muestra la Módulo de Elasticidad, medida en unidades de Gigapascales (GPa), de cada diseño a la edad de 28 días. Fuente: Elaboración propia.

El módulo de elasticidad se puede obtener también con la fórmula del ACI (2019), es la siguiente:

$$E = 15100\sqrt{f'c} \text{ (MPa)}$$

Siendo $f'c$ la resistencia a compresión del hormigón.

Reemplazando los valores de resistencia a compresión en la fórmula de los ensayos, se obtiene los resultados de módulo de elasticidad observados en la Tabla 23. La diferencia promedio de los diseños es de 8,34 GPa, en el día 28 su valor del diseño HC es de 28,44 GPa, mientras el de HAD es de 37,24 GPa.

Tabla 23.

Módulo de Elasticidad (GPa) según ACI

Edad	Hormigón Convencional (GPa)	Hormigón Alto Desempeño (GPa)
7	25,22	33,02
14	26,76	35,18
28	28,44	37,24

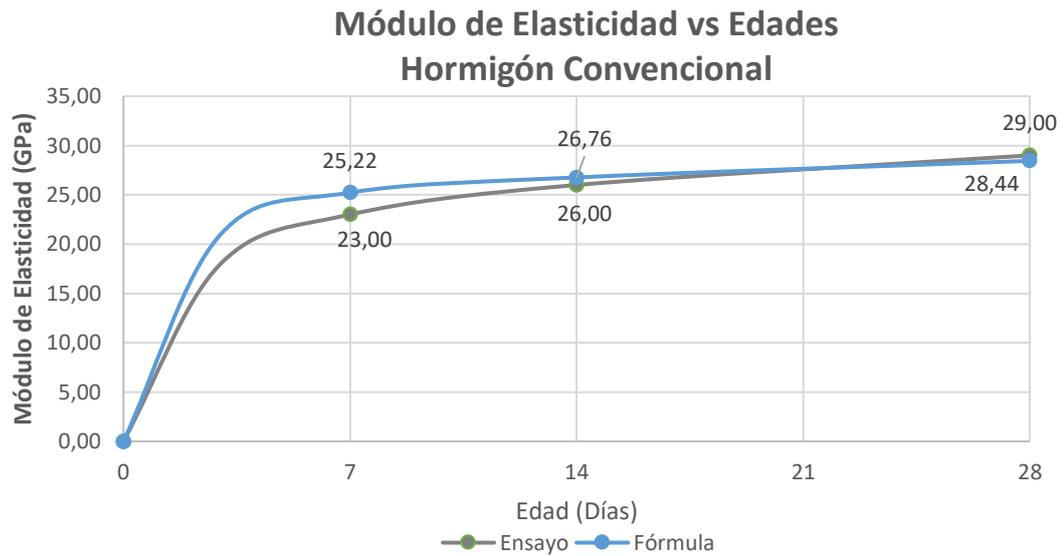
Nota: El Módulo de Elasticidad medida en unidades de Gigapascales (GPa). Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar en la Figura 39, las curvas de módulo de elasticidad vs tiempo de los valores obtenidos por medio de ensayo y fórmula de ACI del diseño HC.

En el día 7, el valor de fórmula es de 25,22 GPa, mientras que de ensayo es de 23 GPa con una diferencia de 3,22 GPa. A los 14 días, el dato de fórmula es de 26,76 GPa y de ensayo es de 26 GPa, su diferencia es de 0,76 GPa. Para finalizar a los 28 días los valores son 28,44 GPa y 29GPa de fórmula y ensayo, respectivamente. En los primeros días el módulo de fórmula es mayor, pero a los 28 días, esta cambia a ser la menor con una diferencia de 0,66 GPa.

Figura 39.

Curva de Módulo de Elasticidad vs Tiempo de Diseño HC

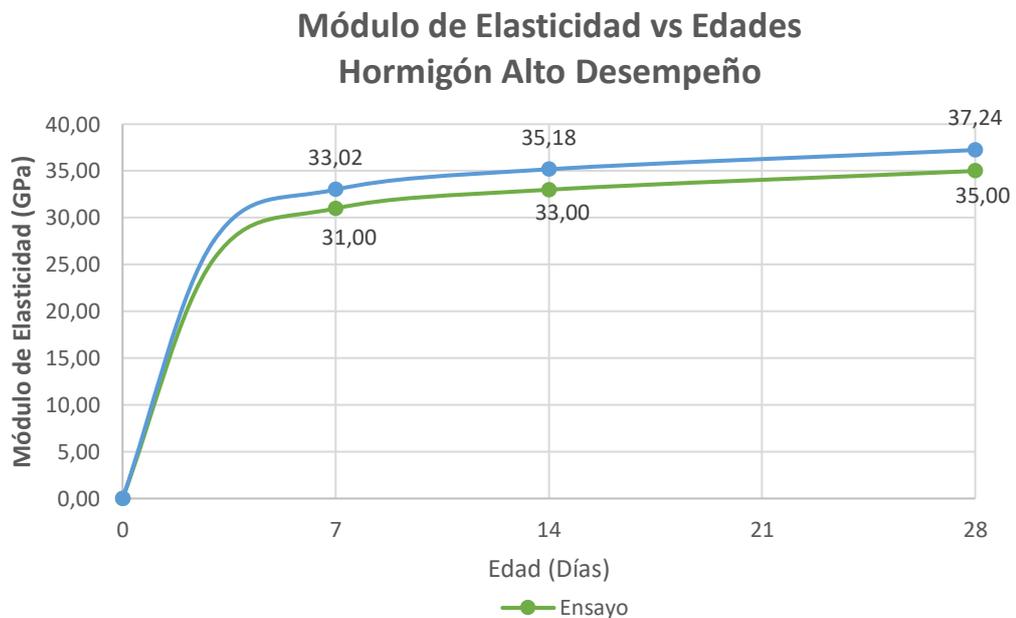


Nota: El gráfico ilustra la curva de módulo de elasticidad, en unidades de Gigapascales (GPa), correspondiente a al Diseño HC. Fuente: Elaboración Propia.

Para el diseño de HAD, se observa que el valor de fórmula es mayor que la de ensayo. A los 7 días, los datos de fórmula y ensayo son de 33,02 GPa y 31,00 GPa, respectivamente y la diferencia entre los dos es de 2,02 GPa.

Figura 40.

Curva de Módulo de Elasticidad vs Tiempo de Diseño HAD



Nota: El gráfico ilustra la curva de módulo de elasticidad, en unidades de Gigapascales (GPa), correspondiente a al Diseño HAD. Fuente: Elaboración Propia.

El día 14 la diferencia entre fórmula y ensayo es 2,18 GPa, siendo el valor de fórmula es 35,18 GPa y de ensayo es 33,00 GPa. Los datos de fórmula y ensayo son de 37,24 GPa y 35,00 GPa, respectivamente con una diferencia de 2,24 GPa.

Los datos de ensayos son menores que los de fórmula, es decir, cuando se diseña por medio de la fórmula este valor es más grande por lo que puede dar un error en el cálculo.

4.3.3 Coeficiente de Poisson

Los valores obtenidos de coeficiente de Poisson, se puede observar en la Tabla 24 de los dos tipos de diseño y la diferencia es de 0,1.

Tabla 24.

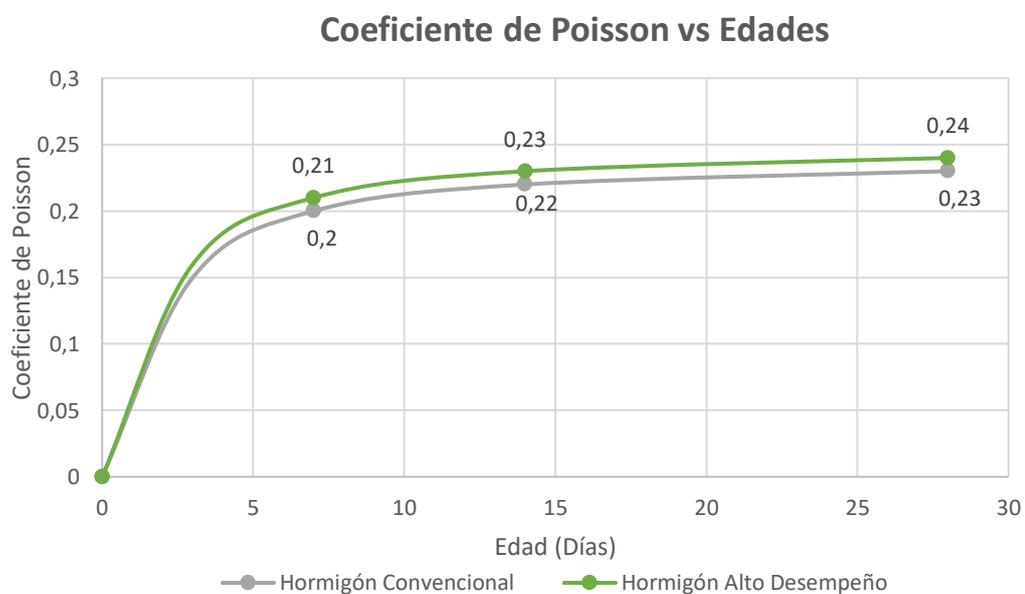
Coeficiente de Poisson

Edad	Hormigón Convencional (HC)	Hormigón Alto Desempeño (HAD)
7	0,20	0,21
14	0,22	0,23
28	0,23	0,24

Fuente: Elaboración propia.

Figura 41.

Curva de Coeficiente de Poisson vs Edades



Nota: El gráfico ilustra la curva de Coeficiente de Poisson, correspondiente a los Diseños HC y HAD.

Fuente: Elaboración propia.

En el diseño de HC su valor es de 0,20 GPa a los 7 días mientras el diseño de HAD es de 0,21 GPa, en los 14 días son 0,22 GPa y 0,23 GPa, respectivamente. El valor en HC es de 0,23 GPa y HAD es de 0,24 GPa a los 28 días, se observa en la Curva de Coeficiente de Poisson vs Edades en la Figura 41.

4.3.4 Resistencia a la flexión (MPa)

En la Tabla 25, están los resultados del ensayo de resistencia a flexión realizado en las vigas, estos se realizaron a los 14 y 28 días. Se observa que los datos del diseño HAD son mayores que el diseño HC, dando resultado final en HC de 4,99 MPa y HAD de 7,80 MPa.

Tabla 25.

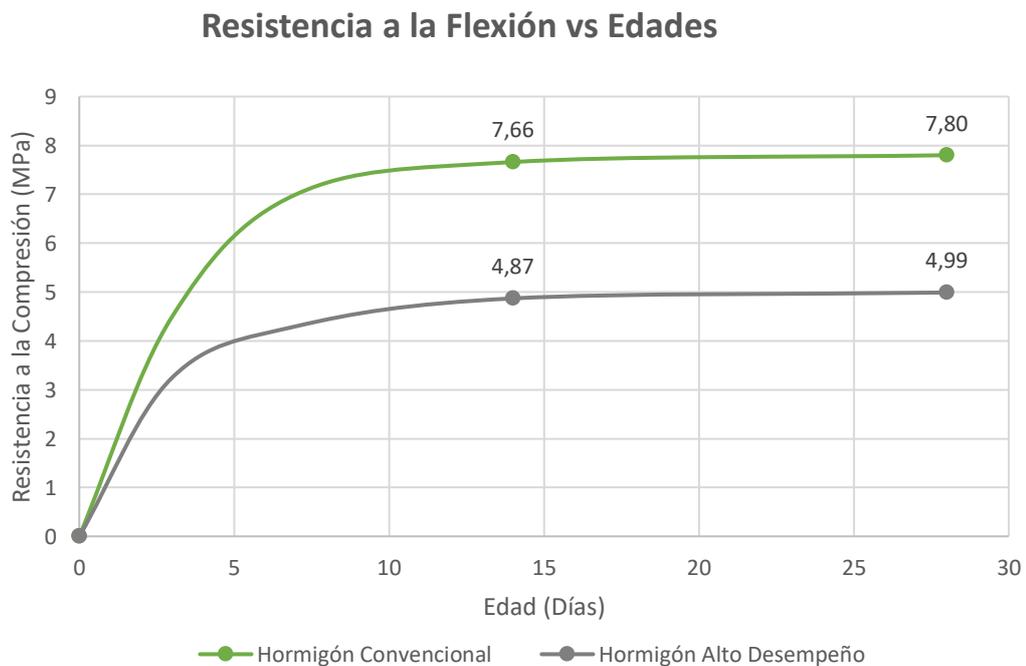
Resistencia a la flexión (MPa)

Edad	Hormigón Convencional (MPa)	Hormigón Alto Desempeño (MPa)
14	4,87	7,66
28	4,99	7,80

Nota: El Resistencia a flexión medida en unidades de Megapascales (MPa). Fuente: Elaboración propia.

Figura 42.

Curva de Resistencia la Flexión vs Edades

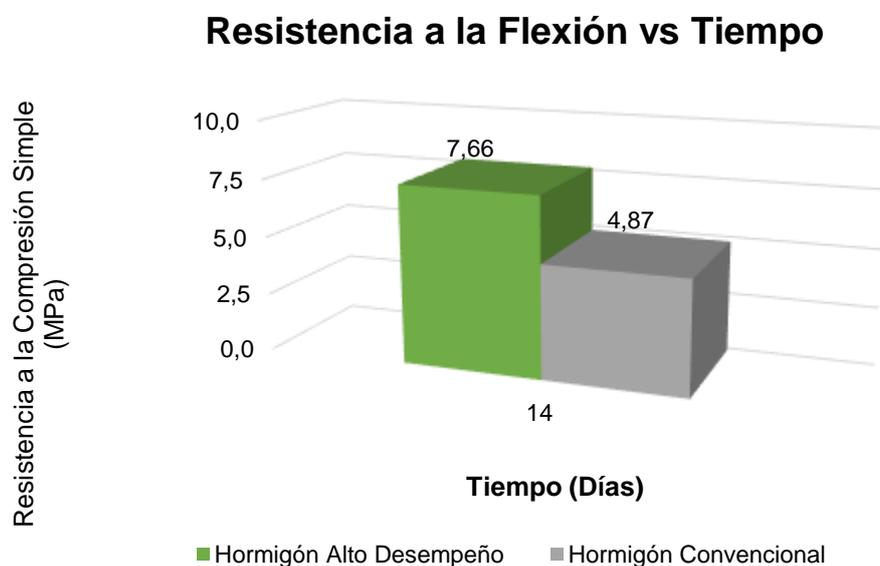


Nota: El gráfico ilustra la curva de Resistencia la Flexión, en unidades de Megapascales (MPa), correspondiente a los Diseños HC y HAD. Fuente: Elaboración propia.

Se visualiza en la Figura 42 la curva de resistencia a flexión vs edades en el cual el diseño de HC es mayor a HAD. A los 7 días, existe una diferencia notable entre los dos diseños de 2,79 MPa, debido a que el diseño HAD es de 7,66 MPa y el diseño HC es de 4,87 MPa se observa en la Figura 43.

Figura 43.

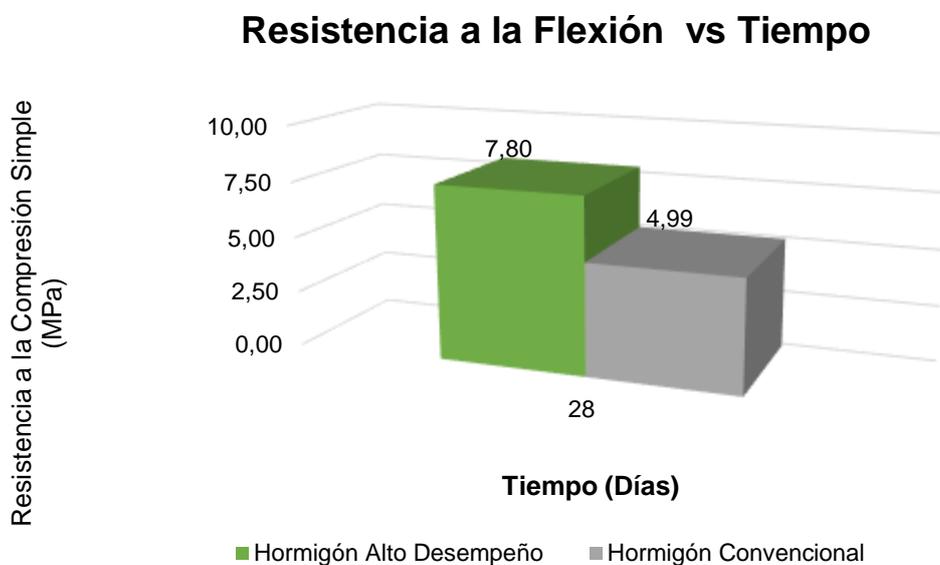
Resistencia a Flexión a los 14 días



Nota: El gráfico muestra la resistencia a flexión, medida en unidades de Megapascales (MPa), de cada diseño a la edad de 14 días. Fuente: Elaboración propia.

Figura 44.

Resistencia a Flexión a los 28 días



Nota: El gráfico muestra la resistencia a flexión, medida en unidades de Megapascales (MPa), de cada diseño a la edad de 28 días. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 44, se visualiza el resultado de la resistencia a la flexión a los 28 días entre los dos diseños los resultados tienen una diferencia de 2,81 MPa. El valor del diseño de HC es de 4,99 MPa y de HAD es de 7,80 MPa

Sabiendo que la resistencia a flexión es la medida del módulo de rotura y lo podemos obtener con la siguiente fórmula de ACI 318:

$$MR = 2\sqrt{f'c}$$

Reemplazando el valor de $f'c$ ya obtenido en la resistencia a compresión, podemos calcular el resultado de Resistencia a Flexión y compararlo con los obtenidos. En la Tabla 26, se puede ver como la diferencia entre los diseños es mucho menor que el valor de los ensayos.

Tabla 26.

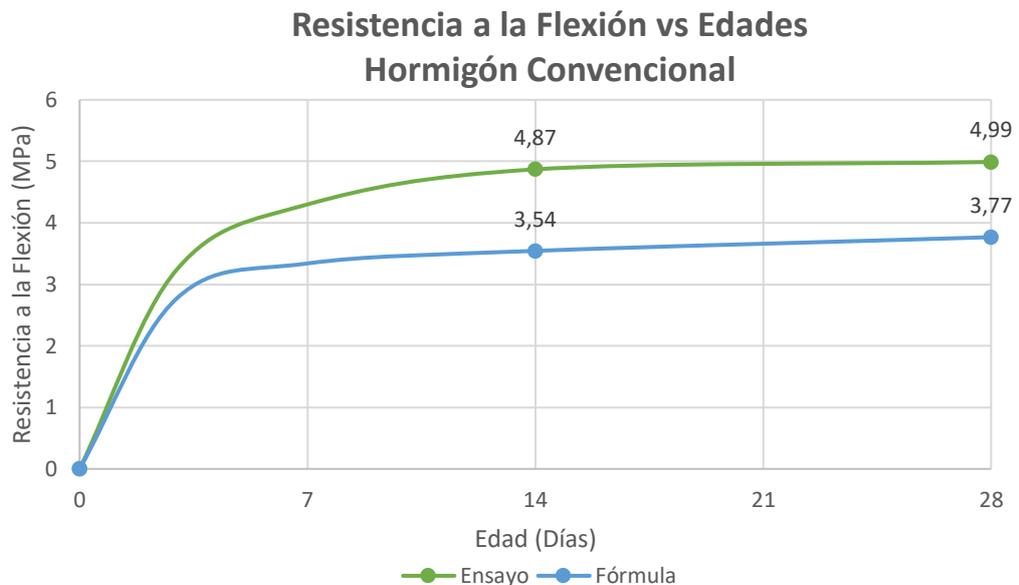
Resistencia a la Flexión obtenido por ACI (MPa)

Edad	Hormigón Convencional (MPa)	Hormigón Alto Desempeño (MPa)
14	3,54	4,66
28	3,77	4,93

Nota: El Resistencia a flexión medida en unidades de Megapascales (MPa). Fuente: Elaboración propia.

Figura 45.

Curva de Resistencia a la Flexión vs Tiempo de Diseño HC

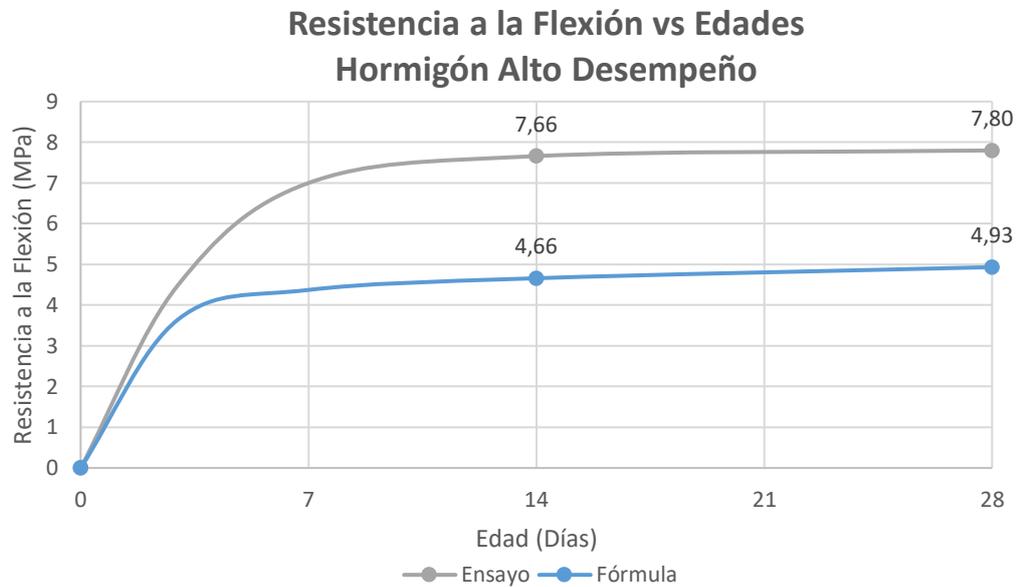


Nota: El gráfico ilustra la curva de Resistencia a la Flexión, en unidades de Megapascales (MPa), correspondiente a al Diseño HC. Fuente: Elaboración Propia.

La diferencia del diseño de HC a los 14 días es de 1,33 MPa y a los 28 días es de 1,22 MPa. El valor de ensayo es mayor que el de fórmula, se observa en la Figura 45.

Figura 46.

Curva de Resistencia a la Flexión vs Tiempo de Diseño HAD



Nota: El gráfico ilustra la curva de Resistencia a la Flexión, en unidades de Megapascales (MPa), correspondiente a al Diseño HAD. Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 46, se observa los valores del diseño de HAD de fórmula y ensayo, este último es mayor. La diferencia entre los dos a los 14 días es de 3,00 MPa y a los 28 días es de 2,87 MPa.

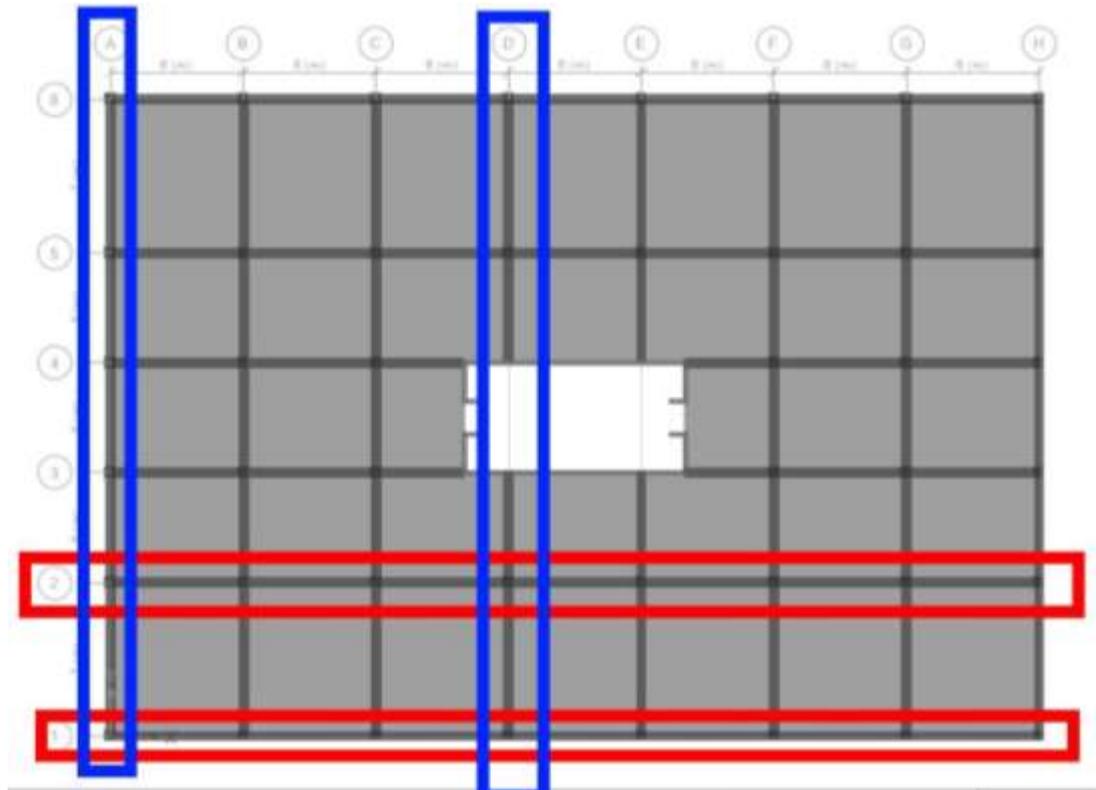
CAPÍTULO V: IMPACTO EN EL DISEÑO

5.1 Diseño de Elementos

Con fines prácticos, se diseñaron tres vigas y columnas, como se representa en la Figura 47, en tres niveles distintos para cada edificio. Los pisos escogidos fueron los pisos 1, 11, 21 y 31.

Figura 47.

Elementos para Diseñar



Fuente: Elaboración propia.

Cada modelo fue caracterizado mediante las propiedades correspondientes, las cuales fueron adquiridas tras 28 días de experimentación en el laboratorio. Los datos respectivos se exhiben en Figura 48.

Figura 48.

Propiedades de los Materiales

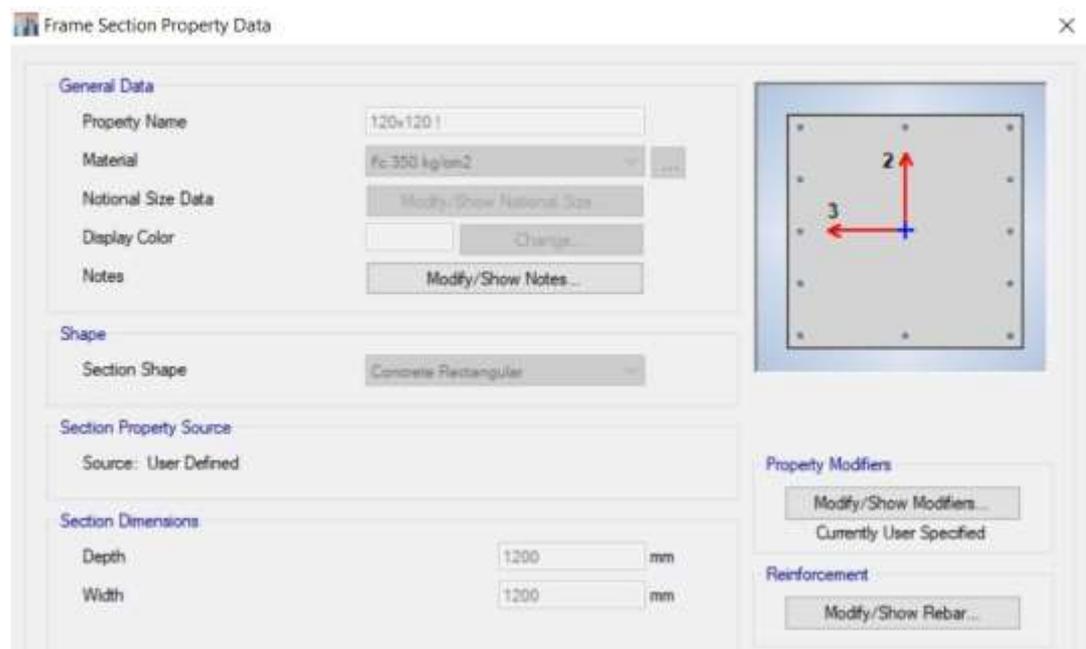


Nota: Lado derecho propiedades del Hormigón Convencional (HC), lado izquierdo propiedades del Hormigón de Alto Desempeño (HAD). Fuente: Elaboración propia.

Después de introducir las propiedades y realizar un prediseño, se llevó a cabo el diseño definitivo de las secciones con una reducción sistemática de dimensiones cada 5 pisos hacia arriba.

Figura 49.

Dimensiones de columna



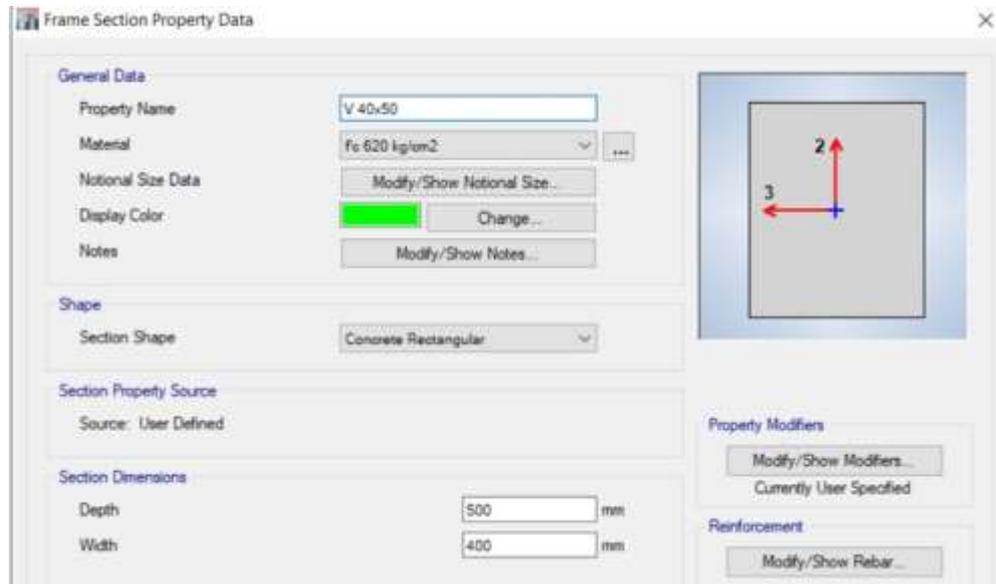
Nota: Sección de columna de edificación diseñada con Hormigón Convencional (HC). Fuente: Elaboración propia.

En el modelo de Hormigón Convencional (HC), las columnas se inician con dimensiones de 120x120 cm en el primer piso véase Figura 49, disminuyendo

a 40X40 cm en el piso 40. Respecto al edificio con Hormigón de Alto Desempeño (HAD), las secciones varían desde 100x100 cm en el primer piso hasta 40x40 cm en el último. Este enfoque estructural optimizado asegura eficiencia a lo largo de la altura de las edificaciones.

Figura 50.

Sección de viga



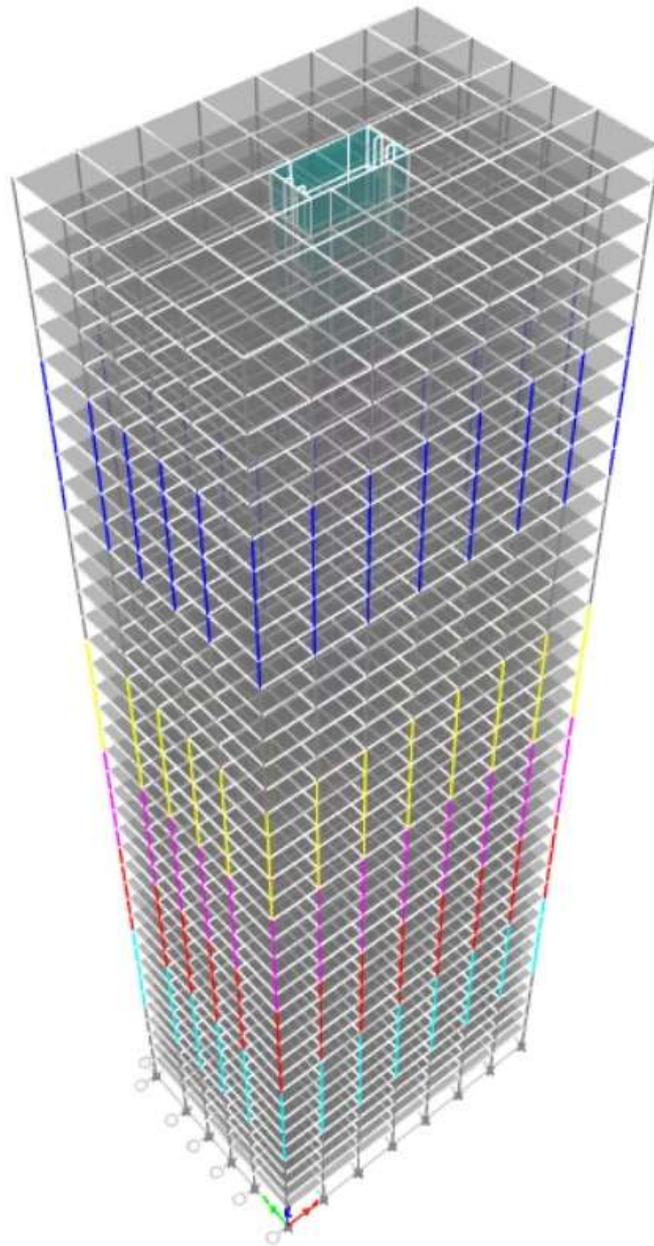
Nota: Sección de viga de edificación diseñada con Hormigón de Alto Desempeño (HAD). Fuente: Elaboración propia.

Las vigas presentan dimensiones de 40x60 cm en el modelo de Hormigón Convencional (HC) Figura 50, y 40x50 cm en el modelo del Hormigón de Alto Desempeño (HAD).

En el análisis de las vigas, se incorporaron valores de inercia agrietada igual a 0.5, mientras que para la inercia gruesa de las columnas se empleó el valor de 0.8. En la Figura 51, se observa el modelado de la edificación en Etabs con lo considerado.

Figura 51.

Modelado de Edificación en Etabs



. Fuente: Elaboración propia

5.2 Análisis Estructural

Al analizar el diseño de ambos edificios, se han detallado las derivas sísmicas en las direcciones X e Y Tabla 27. Derivas en dos direcciones de los diseños HC y HAD Tabla 27. Estos parámetros son cruciales para comprender el comportamiento estructural del edificio durante eventos sísmicos,

proporcionando información valiosa para la toma de decisiones en el diseño y la construcción.

Tabla 27.

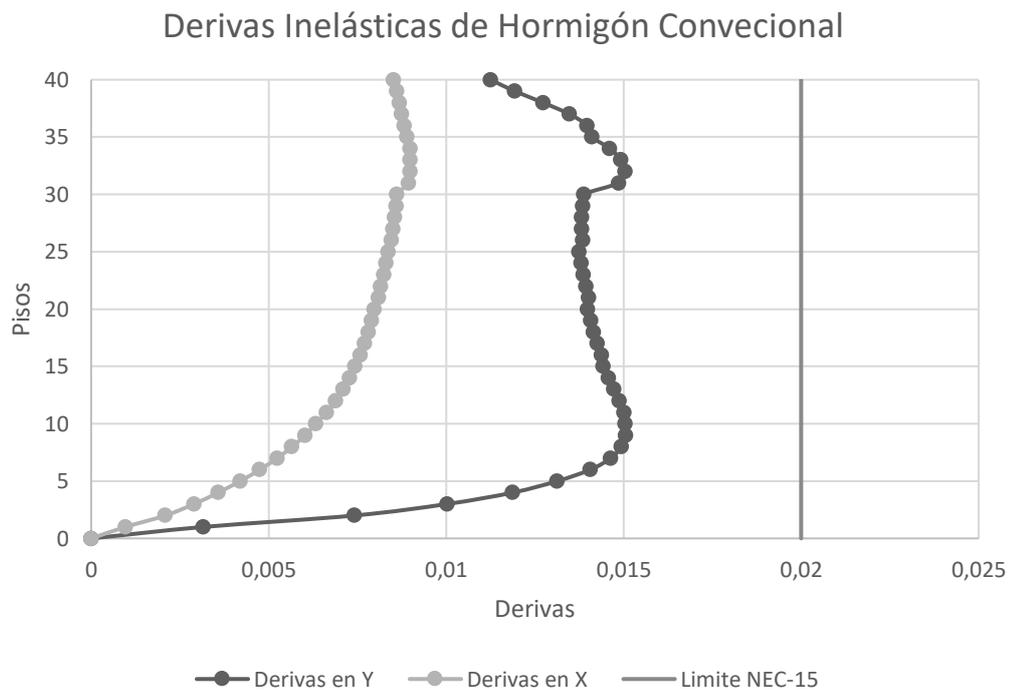
Derivas en dos direcciones de los diseños HC y HAD

Diseño	Dirección	Deriva	Deriva Inelástica	
<i>Hormigón Convencional</i>	X	0,003997	0,0089933	0,90%
	Y	0,0066922	0,0150575	1,51%
<i>Hormigón Alto Desempeño</i>	X	0,004103	0,0092318	0,92%
	Y	0,007868	0,017703	1,77%

Fuente: Elaboración propia

Figura 52.

Derivas en el modelo de Hormigón Convencional (HC)

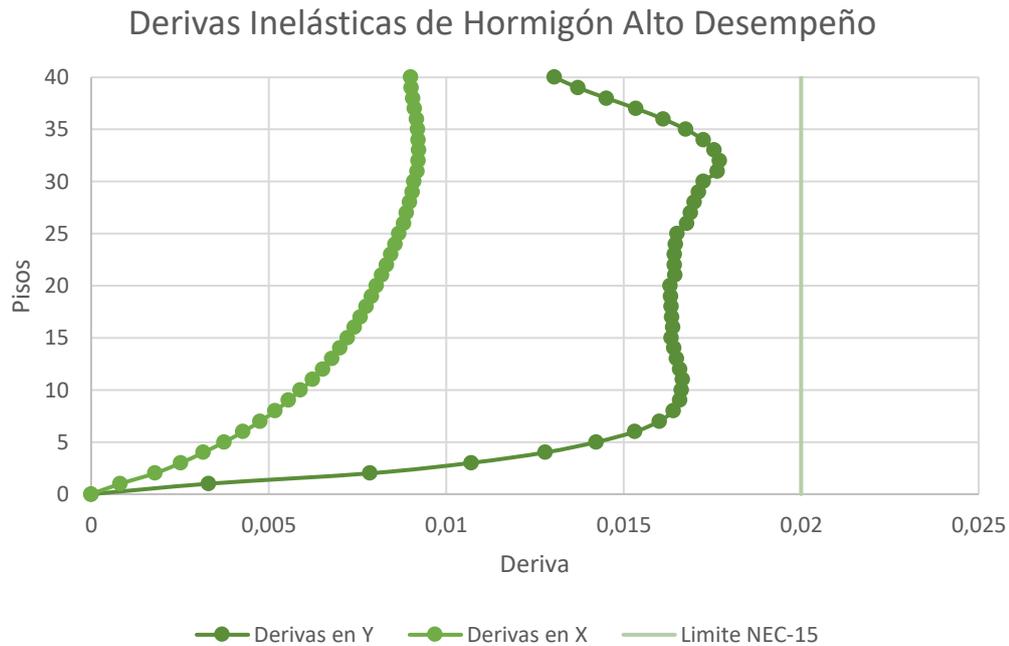


Fuente: Elaboración propia.

En resumen, ambas estructuras cumplen con los estándares de seguridad, ya que las derivas se mantienen dentro de límites aceptables. Esto asegura un funcionamiento óptimo.

Figura 53.

Derivas en el modelo de Hormigón Alto Desempeño (HAD)



Fuente: Elaboración propia.

5.3 Dimensión de la Estructura

Luego de completar el análisis estructural, se procede al diseño de las vigas y columnas previamente mencionadas, empleando las fórmulas especificadas por el ACI 318. En la Tabla 28, se detallan las dimensiones finales obtenidas para ambas edificaciones. Es importante señalar que los valores de muros y losa son los mismos en ambos diseños. En el caso de los muros, comienzan con una dimensión de 60 cm y experimentan una reducción de 5 cm cada 10 niveles. La losa, por su parte, mantiene una constancia de 30 cm en todos los niveles.

A diferencia de las vigas y columnas, el diseño de las vigas en hormigón convencional (HC) posee una dimensión de 40 cm x 60 cm. En cuanto a las columnas, estas inician con una dimensión de 120 cm x 120 cm y experimentan una reducción de 10 cm cada 5 niveles. Sin embargo, al llegar al diseño del piso 31, se verificó la posibilidad de una disminución adicional, resultando en una dimensión de 50 cm x 50 cm.

Esta reducción se mantiene para los últimos 5 pisos, donde las columnas alcanzan una dimensión de 40 cm x 40 cm. En el caso del diseño HAD, el

valor de las vigas es de 40 cm x 50 cm y las columnas comienza 100 cm x 100 cm, este disminuye 10 cm cada 5 niveles y en los últimos 5 niveles no disminuye por lo que los valores 40 cm x 40 cm.

Tabla 28.

Dimensiones de Edificación

Pisos		Hormigón Convencional (HC)		Hormigón Alto Desempeño (HAD)		Ambas	
Des de	Has ta	Vigas (cm)	Columnas (cm)	Vigas (cm)	Columnas (cm)	Muros (cm)	Losa (cm)
1	5	40x60	120x120	40x50	100x100	60	30
6	10		110x110		90x90		
11	15		100x100		80x80	55	
16	20		90x90		70x70		
21	25		80x80		60x60	50	
26	30		70x70		50x50		
31	35		50x50		40x40	45	
36	40		40x40		40x40		

Fuente: Elaboración propia.

A través de este procedimiento, se realiza la cuantificación precisa del hormigón y acero necesario para cada componente estructural, así como la cantidad total requerida. En los documentos anexos, se incluyen los planos detallados de las vigas y columnas diseñadas, proporcionando información detallada sobre las varillas y las dimensiones específicas.

CAPÍTULO VI: RESULTADOS

6.1 Cortante Sísmico

La evaluación de las cargas en los diseños estructurales es crucial para obtener una comprensión completa de la capacidad y el desempeño de un edificio frente a diversas condiciones. En este contexto, se exponen los datos relativos a los casos de carga de dos diseños diferentes: uno edificado con hormigón convencional y otro con hormigón de alto desempeño Tabla 29.

Tabla 29.

Cortante Basal de los diseños HC y HAD

Diseño	Load Case	P (ton)	Modal/Estático
<i>Hormigón Convencional</i>	Ex modal	3.041,44	115%
	Ey modal	2.153,8	81%
	V estático	2.654	
<i>Hormigón Alto Desempeño</i>	Ex modal	2.775	115%
	Ey modal	1.923	80%
	V estático	2.403	

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados resaltan las diferencias en las cargas asignadas a cada diseño en circunstancias particulares. Por ejemplo, en el escenario "Ex Modal", se observa que el diseño construido con HC sostiene una carga ligeramente superior (3.041,44 ton) en comparación con el diseño de alto desempeño (2.775 ton).

No obstante, resulta fundamental tener en cuenta los porcentajes modales, ya que estos indican cómo cada carga afecta dinámicamente la estructura en relación con su capacidad. Además, el caso de "V Estático" revela las cargas aplicadas de manera estática en ambas configuraciones.

En los dos modelos estructurales, específicamente en el sentido y, se identificó que la carga no alcanzaba el 80% de la magnitud del análisis estático equivalente. En respuesta a esta observación, se procedió a realizar una amplificación para que la carga alcanzara y se igualara al 80% de la respuesta estática.

En el HAD, la carga fue amplificada mediante un factor de 1,4, mientras que en el caso del modelo de Hormigón Convencional (HC), la amplificación se llevó a cabo con un factor de 1,25. Estas amplificaciones buscan equiparar la respuesta dinámica a la obtenida a través del análisis estático, asegurando así un enfoque coherente y preciso en la evaluación del comportamiento estructural bajo diversas condiciones de carga.

6.2 Variación de Peso

Otro factor importante para diseñar la cimentación es la variación de peso de los dos diseños, para ello se obtiene las cargas muertas, super muerta (SD) y vivas del nivel inferior de la estructura, como se muestra en Tabla 30. En el diseño HC, el total de las cargas es 62.078,16 ton, mientras para el diseño HAD es 57.126,90 ton.

Tabla 30.

Carga de los diseños HC y HAD

Diseño	Carga	P (ton)
<i>Hormigón Convencional</i>	Muerta	35.446,49
	SD	16.352,78
	Viva	10.278,89
<i>Total</i>		62.078,16
<i>Hormigón Alto Desempeño</i>	Muerta	30.495,23
	SD	16.352,78
	Viva	10.278,89
<i>Total</i>		57.126,90

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 31 se observa el peso de los elementos (carga viva), en el diseño HC es de 35.446,49 ton y el diseño HAD es 30.495,23 ton, dando una diferencia en el peso de los elementos de 4.951,26 ton representando que el diseño HAD pesa 13,97% menos.

Tabla 31.

Diferencia entre peso de elementos estructurales de los diseños HC y HAD

Peso de Elementos Estructurales (ton)	
<i>Hormigón Convencional</i>	35.446,49
<i>Hormigón Alto Desempeño</i>	30.495,23
<i>Relación</i>	86,03%

Fuente: Elaboración propia.

También se debe considerar la diferencia de la suma de las cargas, en el caso del diseño HC el valor es de 62.078,16 ton y en el HAD es de 52.126,9 ton, la diferencia es la misma de la anterior (4.951,26 ton) porque las cargas SD y viva no varía entre los diseños.

Tabla 32.

Diferencia entre total de cargas muertas y carga viva de los diseños HC y HAD

Peso de Cargas Muertas y Carga Viva (ton)	
<i>Hormigón Convencional</i>	62.078,16
<i>Hormigón Alto Desempeño</i>	57.126,9
<i>Relación</i>	92,02%

Fuente:

Elaboración propia.

Con esto el diseño HAD pesa un 7,98% menos al diseño HC. Esto nos da como referencia la disminución en la carga neta para el cálculo de cimentaciones entre los dos diseños.

6.3 Cantidad de Material

6.3.1 Cantidad de Hormigón

En la Tabla 33, se presentan las cantidades de hormigón correspondientes a los elementos diseñados del diseño HC, totalizando una cantidad de 139,03 m³.

Tabla 33.

Cantidad de Hormigón de los elementos diseñados de Hormigón Convencional

Cantidades de hormigón	b (m)	h (m)	L (m)	Total (m3)
<i>Vigas</i>				
<i>Piso 1 Eje 1</i>	0,40	0,60	43,00	10,32
<i>Piso 1 Eje 2</i>	0,40	0,60	33,00	7,92
<i>Piso 1 Eje A</i>	0,40	0,60	30,00	7,20
<i>Piso 1 Eje D</i>	0,40	0,60	25,00	6,00
<i>Piso 11 Eje 1</i>	0,40	0,60	42,90	10,30
<i>Piso 11 Eje 2</i>	0,40	0,60	32,90	7,90
<i>Piso 11 Eje A</i>	0,40	0,60	29,90	7,18
<i>Piso 11 Eje D</i>	0,40	0,60	24,90	5,98
<i>Piso 21 Eje 1</i>	0,40	0,60	42,80	10,27
<i>Piso 21 Eje 2</i>	0,40	0,60	32,80	7,87
<i>Piso 21 Eje A</i>	0,40	0,60	29,80	7,15
<i>Piso 21 Eje D</i>	0,40	0,60	24,80	5,95

<i>Piso 31 Eje 1</i>	0,40	0,60	42,80	10,27
<i>Piso 31 Eje 3</i>	0,40	0,60	32,80	7,87
<i>Piso 31 Eje A</i>	0,40	0,60	29,80	7,15
<i>Piso 31 Eje D</i>	0,40	0,60	24,80	5,95
Columnas				
<i>Piso 1</i>	1,20	1,20	4,50	21,60
<i>Piso 11</i>	1,00	1,00	3,50	14,00
<i>Piso 21</i>	0,80	0,80	3,50	8,96
<i>Piso 31</i>	0,50	0,50	3,50	3,50
Total (m3)				139,03

Fuente: Elaboración propia.

La suma total de las cantidades de hormigón correspondientes a los elementos diseñados en la edificación con HAD resulta 135,64 m³, como se detalla en la Tabla 34.

Tabla 34.

Cantidad de Hormigón de los elementos diseñados de Hormigón de Alto Desempeño

Cantidades de hormigón	b (m)	h (m)	L (m)	Total (m3)
Vigas				
<i>Piso 1 Eje 1</i>	0,40	0,50	43,00	8,60
<i>Piso 1 Eje 2</i>	0,40	0,50	33,00	6,60
<i>Piso 1 Eje A</i>	0,40	0,50	30,00	6,00
<i>Piso 1 Eje D</i>	0,40	0,50	25,00	5,00
<i>Piso 11 Eje 1</i>	0,40	0,50	42,90	8,58
<i>Piso 11 Eje 2</i>	0,40	0,50	32,90	6,58
<i>Piso 11 Eje A</i>	0,40	0,50	29,90	5,98
<i>Piso 11 Eje D</i>	0,40	0,50	24,90	4,98
<i>Piso 21 Eje 1</i>	0,40	0,50	42,80	8,56
<i>Piso 21 Eje 2</i>	0,40	0,50	32,80	6,56
<i>Piso 21 Eje A</i>	0,40	0,50	29,80	5,96
<i>Piso 21 Eje D</i>	0,40	0,50	24,80	4,96
<i>Piso 31 Eje 1</i>	0,40	0,50	42,80	8,56
<i>Piso 31 Eje 2</i>	0,40	0,50	32,80	6,56
<i>Piso 31 Eje A</i>	0,40	0,50	29,80	5,96
<i>Piso 31 Eje D</i>	0,40	0,50	24,80	4,96
Columnas				
<i>Piso 1</i>	1,00	1,00	4,50	15,00
<i>Piso 11</i>	0,80	0,80	3,50	8,96
<i>Piso 21</i>	0,60	0,60	3,50	5,04
<i>Piso 31</i>	0,40	0,40	3,50	2,24
Total (m3)				135,64

Fuente: Elaboración propia.

En correspondencia con los datos anteriores, la edificación sigue un diseño uniforme cada 5 niveles. Por lo tanto, al analizar y establecer los parámetros estructurales para el piso 1, los niveles consecutivos (2, 3, 4 y 5) comparten las mismas magnitudes y dimensiones. De manera análoga, al realizar el diseño para el piso 11, los resultados obtenidos son aplicables a los niveles 12, 13, 14 y 15. Este enfoque sistemático garantiza coherencia y eficiencia en la implementación de los datos estructurales a lo largo de la edificación.

En la Tabla 35, se consolida la demanda total de hormigón para las vigas en cinco niveles consecutivos, aplicando un factor multiplicador de 5 a las cantidades detalladas en la tabla anterior. Este cálculo se realiza considerando la replicación del diseño estructural en dichos niveles.

Tabla 35.

Cantidad de Hormigón en vigas diseñadas de los diseños HC y HAD

Columnas	Hormigón Convencional (HC)		Hormigón Alto Desempeño (HAD)	
	Piso	Dimensión (m)	Cantidad (m3)	Dimensión (m)
1-5	0,4x0,6	157,20	0,4x0,5	131,00
11-15		156,72		130,60
21-25		156,24		130,20
31-35		156,24		130,20
	Total	626,40	Total	522,00

Fuente: Elaboración propia.

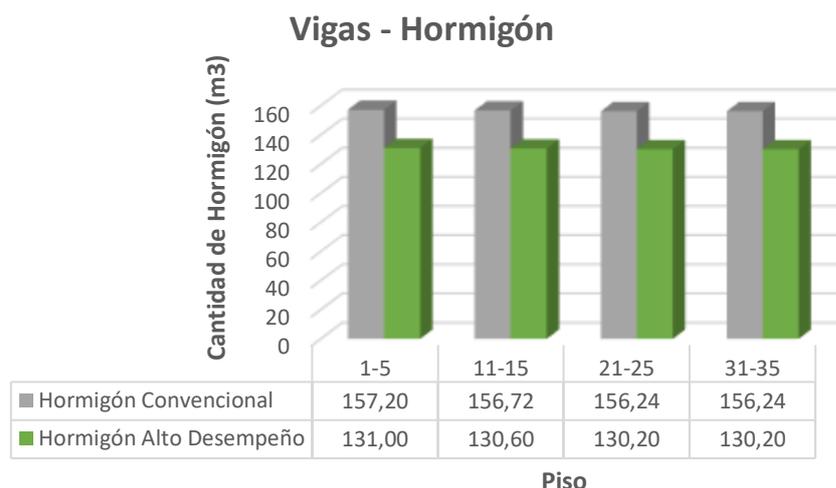
La cantidad total de hormigón en las vigas de 20 pisos en el diseño HC es de 626,40 m³ y el de diseño HAD es de 522,00 m³, presentando una diferencia de 104,4 m³ de hormigón.

Del piso 1 al 5 para el diseño HC, tiene una cantidad de 157 m³, mientras que para HAD tiene 131,0 m³ con una variación de 26,20 m³. En el diseño HC, los pisos 11 al 15 contienen una cantidad de hormigón de 156,72 m³, y en el diseño HAD es de 130,60 m³ con una variación de 26,12 m³.

En los pisos del 21 al 25, los resultados son 156,24 m³ y 130,20 m³ para diseño HC y HAD, respectivamente, con una diferencia de 26,04 m³. Estos valores se repiten para los pisos 31 al 35. Observar Figura 53.

Figura 54.

Cantidad de Hormigón en vigas diseñadas de los diseños HC y HAD



Fuente: Elaboración propia.

Se lleva a cabo el mismo proceso de cuantificación de hormigón, pero esta vez aplicado a las columnas. Los resultados muestran una cantidad total de 240,30 m³ y 156,20 m³ para los diseños HC y HAD, respectivamente. Se destaca una mayor magnitud en el diseño HC, con una diferencia de 84,10 m³, según se detalla en la Tabla 36.

Tabla 36.

Cantidad de Hormigón en columnas diseñadas de los diseños HC y HAD

Columnas	Hormigón Convencional (HC)		Hormigón Alto Desempeño (HAD)	
	Dimensión (m)	Cantidad (m3)	Dimensión (m)	Cantidad (m3)
1-5	120x120	108,00	100x100	75,00
11-15	100x100	70,00	80x80	44,80
21-25	80x80	44,80	60x60	25,20
31-35	50x50	17,50	40x40	11,20
	Total	240,30	Total	156,20

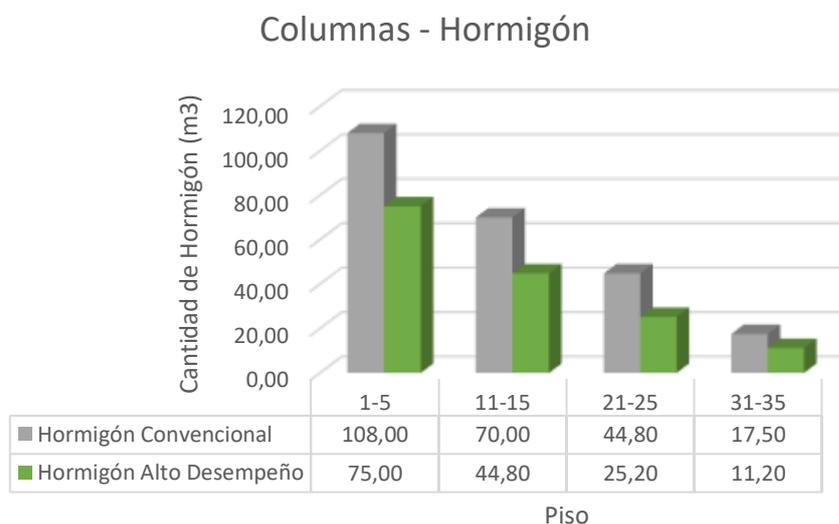
Fuente: Elaboración propia.

Se evidencia la diferencia en las cantidades de hormigón entre los distintos pisos de los diseños HC y HAD. En los niveles 1 al 5, los resultados muestran 108,00 m³ y 75,00 m³ para HC y HAD, respectivamente, con una brecha de 33,00 m³. En los pisos 11 al 15, la cantidad para HC es de 70,00 m³, mientras que para HAD es de 44,80 m³, generando una diferencia de 25,20 m³.

La variación entre los niveles 21 al 25 de ambos diseños es de 19,60 m³, ya que en HC la cantidad asciende a 44,80 m³, mientras que en HAD se reduce a 25,20 m³. Finalizando, en el piso 31 al 35, HC registra 17,50 m³ y HAD muestra 11,20 m³, resultando en una diferencia de 6,30 m³, observar Figura 55.

Figura 55.

Cantidad de Hormigón en columnas diseñadas de los diseños HC y HAD



Fuente: Elaboración propia.

A partir de los datos de diseño de los pisos, se procede al cálculo de la cantidad total del edificio, tomando en consideración la recurrencia sistemática en el diseño de hormigón cada 5 niveles. Esta metodología simplifica la evaluación integral de la estructura de manera eficiente, proporcionando una perspectiva clara del conjunto edificado.

Tabla 37.

Cantidad de Hormigón en vigas de los diseños HC y HAD de todo el edificio.

Vigas	Hormigón Convencional (HC)		Hormigón Alto Desempeño (HAD)	
	Dimensión (m)	Total (m³)	Dimensión (m)	Total (m³)
1-10	0,4x0,6	1.075,20	0,4x0,5	896,00
11-20		1.071,84		893,20
21-30		1.068,48		890,40
31-40		1.068,48		890,40
Total		4.284,00	Total	3.570,00

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 37 presenta los valores totales de las vigas para ambas edificaciones, reflejando un ahorro de 714 m³, atribuido a la implementación del Hormigón de Alto Desempeño (HAD).

Tabla 38.

Cantidad de Hormigón en columnas de los diseños HC y HAD de todo el edificio.

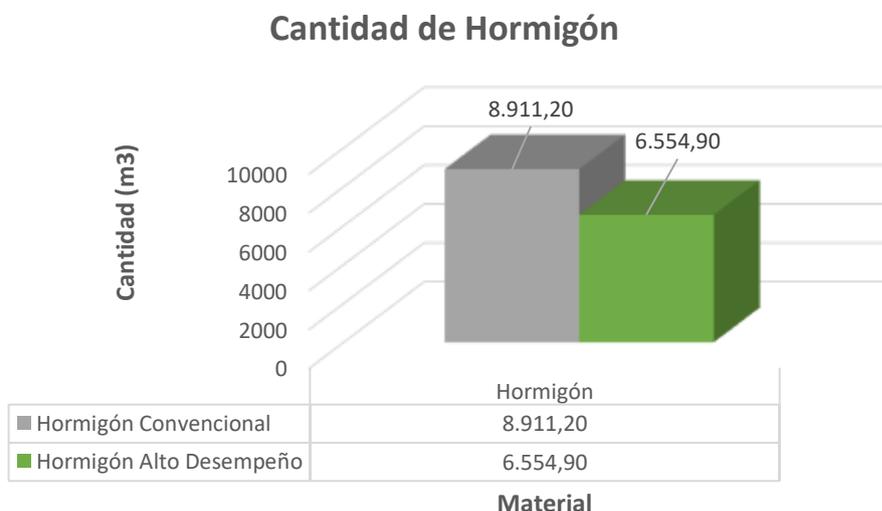
Columnas	Hormigón Convencional (HC)		Hormigón Alto Desempeño (HAD)	
	Dimensión (m ²)	Total (m ³)	Dimensión (m ²)	Total (m ³)
1-5	1,2x1,2	1.116,00	1,0x1,0	775,00
6-10	1,1x1,1	931,70	0,9x0,9	623,70
11-15	1,0x1,0	770,00	0,8x0,8	492,80
16-20	0,9x0,9	623,70	0,7x0,7	377,30
21-25	0,8x0,8	492,80	0,6x0,6	277,20
26-30	0,7x0,7	377,30	0,5x0,5	192,50
31-35	0,5x0,5	192,50	0,4x0,4	123,20
36-40	0,4x0,4	123,20	0,4x0,4	123,20
	Total	4.627,20	Total	2.984,90

Fuente: Elaboración propia.

Al analizar los datos presentados en la Tabla 38 que detallan las cantidades de hormigón para columnas en ambos diseños, se observa una diferencia significativa. El diseño con HAD exhibe una cantidad total de 2.984,90 m³, contrastando con los 4.627,20 m³ del diseño con HC con una diferencia de 1.642,30 m³.

Figura 56.

Cantidad total de Hormigón de los diseños HC y HAD de todo el edificio.



Fuente: Elaboración propia.

Al sumar la cantidad de hormigón de las vigas y columnas de los diseños, da como resultado una diferencia de 2.356,30 m³, ver Figura 56. Este resultado resalta la eficacia del HAD al lograr una notable reducción en la cantidad de hormigón requerido para las vigas y columnas, lo que no solo representa un ahorro en materiales, sino también implica posibles beneficios económicos y medioambientales en el proyecto estructural.

6.3.2 Cantidad de Acero

En la Tabla 39, se detallan las cantidades de acero de los elementos diseñados en el modelo HC, sumando un total de 19.595,92 kg por construcción. Al incorporar un margen del 5%, la cantidad final asciende a 20.575,71 kg.

Tabla 39.

Cantidad de Acero de elementos diseñados de Hormigón Convencional

Cantidades de acero	Longitud Total (m)	Total (kg)
Vigas		
<i>Piso 1 Eje 1</i>	716,82	922,97
<i>Piso 1 Eje 2</i>	862,62	1012,98
<i>Piso 1 Eje A</i>	528,98	663,20
<i>Piso 1 Eje D</i>	508,22	682,93
<i>Piso 11 Eje 1</i>	781,28	1051,91
<i>Piso 11 Eje 2</i>	845,55	1126,42
<i>Piso 11 Eje A</i>	985,63	1291,16
<i>Piso 11 Eje D</i>	616,12	1199,67
<i>Piso 21 Eje 1</i>	608,42	1041,32
<i>Piso 21 Eje 2</i>	634,96	1143,75
<i>Piso 21 Eje A</i>	477,52	858,97
<i>Piso 21 Eje D</i>	634,34	1242,07
<i>Piso 31 Eje 1</i>	608,42	989,17
<i>Piso 31 Eje 2</i>	634,96	1073,99
<i>Piso 31 Eje A</i>	493,71	828,76
<i>Piso 31 Eje D</i>	539,45	921,89
Columnas		
<i>Piso 1</i>	848,64	1693,26
<i>Piso 11</i>	892,56	1060,83
<i>Piso 21</i>	653,84	585,61
<i>Piso 31</i>	260,00	205,07
Total (kg)		19.595,92
TOTAL + 5%(Kg):		20.575,71

Fuente: Elaboración propia.

La cantidad total de acero para los elementos diseñados en el modelo HAD es de 17.471,41 kg. Considerando un incremento del 5%, el total final es de 18.344,98 kg, como se detalla en la Tabla 40.

Tabla 40.

Cantidad de Acero de elementos diseñados de Hormigón de Alto Desempeño

Cantidades de acero	Longitud Total (m)	Total (kg)
<i>Vigas</i>		
<i>Piso 1 Eje 1</i>	728,51	782,42
<i>Piso 1 Eje 2</i>	728,51	782,42
<i>Piso 1 Eje A</i>	537,63	564,74
<i>Piso 1 Eje D</i>	596,14	721,58
<i>Piso 11 Eje 1</i>	801,00	1057,72
<i>Piso 11 Eje 2</i>	801,00	1057,72
<i>Piso 11 Eje A</i>	749,83	1069,40
<i>Piso 11 Eje D</i>	777,40	1120,39
<i>Piso 21 Eje 1</i>	629,14	983,42
<i>Piso 21 Eje 2</i>	660,42	1089,87
<i>Piso 21 Eje A</i>	500,04	799,96
<i>Piso 21 Eje D</i>	555,74	994,76
<i>Piso 31 Eje 1</i>	629,24	988,66
<i>Piso 31 Eje 2</i>	639,81	1028,96
<i>Piso 31 Eje A</i>	502,24	784,50
<i>Piso 31 Eje D</i>	608,57	1038,20
<i>Columnas</i>		
<i>Piso 1</i>	922,80	1347,76
<i>Piso 11</i>	793,60	705,47
<i>Piso 21</i>	249,62	344,06
<i>Piso 31</i>	191,68	209,39
<i>Total (kg)</i>		17.471,41
<i>TOTAL + 5%(Kg):</i>		18.344,98

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 41.

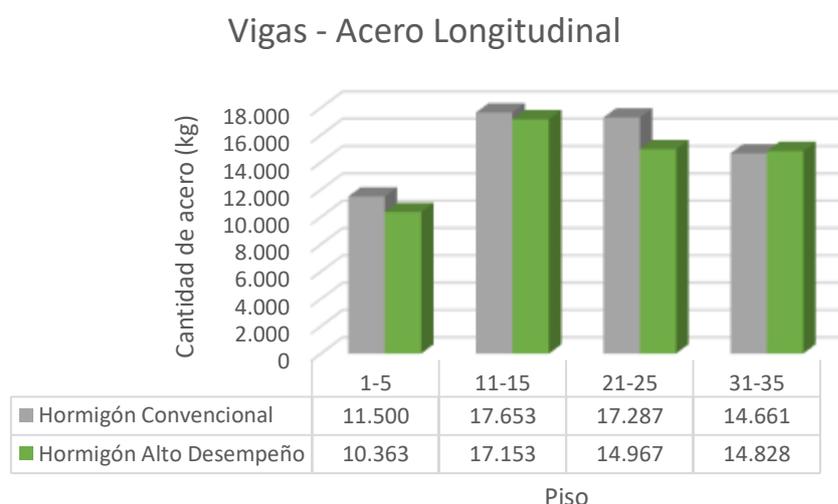
Cantidad de Acero en vigas diseñadas de los diseños HC y HAD

Vigas	Hormigón Convencional (HC)		Hormigón Alto Desempeño (HAD)	
	Longitudinal (kg)	Transversal (kg)	Longitudinal (kg)	Transversal (kg)
1-5	11.500	4.189	10.363	4.265
11-15	17.653	5.081	17.153	4.373
21-25	17.287	4.392	14.967	4.373
31-35	14.661	4.144	14.828	4.373
Total	61.102	17.806	57.311	17.385

Fuente: Elaboración propia.

Figura 57.

Cantidad de Acero Longitudinal en vigas diseñadas de los diseños HC y HAD.



Fuente: Elaboración propia.

En el análisis de resultados de la Figura 57, se observa que en el primer nivel las solicitaciones son mínimas, indicando una carga relativamente baja en comparación con otros niveles. Sin embargo, en el piso 11 se presenta la mayor demanda de momentos, señalando una carga sustancial en esa sección específica de la viga. A medida que se avanza hacia los niveles 21 y 31, se observa una disminución progresiva en las solicitaciones.

Es importante destacar que, a lo largo de toda la viga, se mantiene una tendencia de acero mínimo, generando cantidades similares de acero en varios tramos. Este patrón sugiere una eficiencia estructural al optimizar el uso del material.

En los puntos de apoyo, se evidencia que el modelo con HAD exhibe una menor demanda de solicitaciones, lo que se traduce en una reducción correspondiente en las cantidades de acero requeridas en comparación con el modelo de HC, alcanzan un total destacado de 61.102 kg. En contraste, el diseño con hormigón de alto desempeño (HAD) presenta una suma menor, registrando 57.311 kg, lo que representa una diferencia significativa de 3.791 kg a favor del HC.

Figura 58.

Cantidad de Acero Transversal en vigas diseñadas de los diseños HC y HAD



Fuente: Elaboración propia.

Las cifras precisas de kilogramos de acero para los dos diseños están presentadas en la Figura 58. Estas suman un total de 17.806 kg para el diseño con hormigón convencional (HC) y 17.385 kg para el diseño con hormigón de alto desempeño (HAD), reflejando una diferencia de 421 kg de acero en el diseño HAD.

Tabla 42.

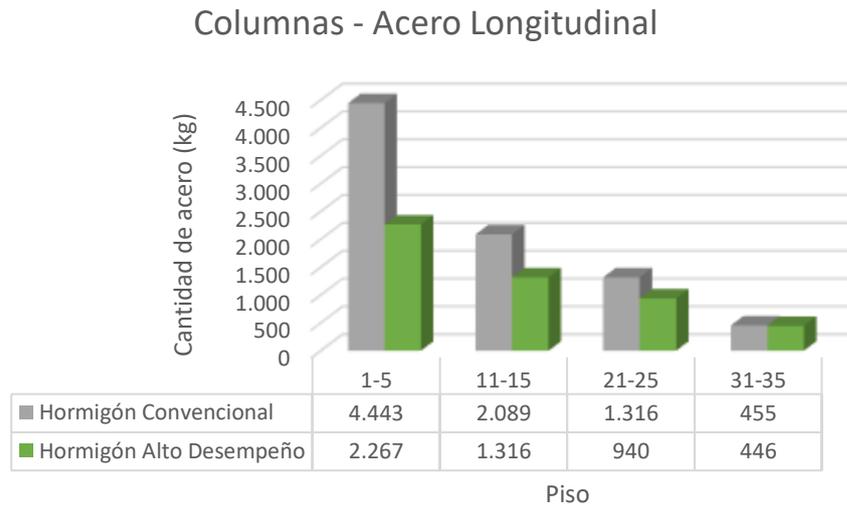
Cantidad de Acero en columnas diseñadas de los diseños HC y HAD

Columnas	Hormigón Convencional (HC)		Hormigón Alto Desempeño (HAD)	
	Longitudinal (kg)	Transversal (kg)	Longitudinal (kg)	Transversal (kg)
1-5	4.443	4.023	2.267	4.472
11-15	2.089	3.215	1.316	3.527
21-25	1.316	1.612	940	692
31-35	455	570	446	601
Total	8.303	9.421	4.969	9.292

Fuente: Elaboración propia.

Figura 59.

Cantidad de Acero Longitudinal en columnas diseñadas de los diseños HC y HAD



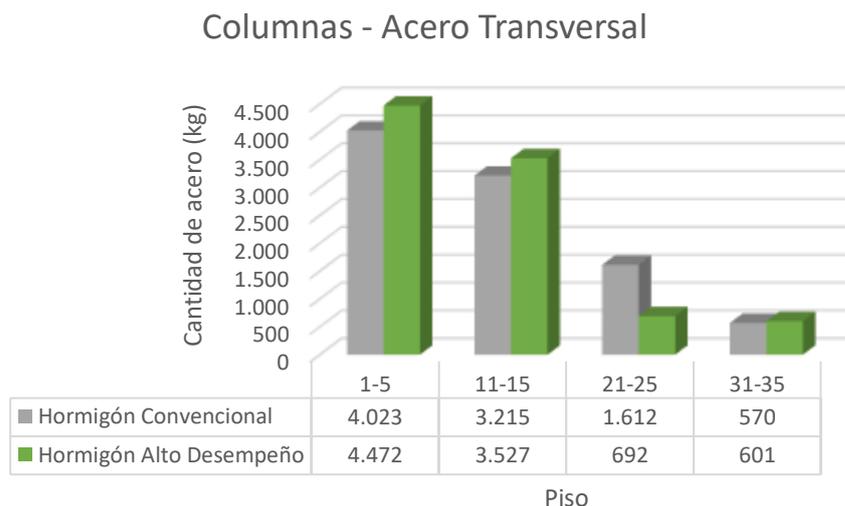
Fuente: Elaboración propia.

En el primer nivel, se identifican demandas estructurales que exigen cantidades de acero superiores al mínimo establecido. En los niveles subsiguientes, se emplean columnas con dimensiones gradualmente menores a medida que se asciende en la estructura. Dado que la cuantía mínima es del 1%, en ambas situaciones se observa una reducción en la cantidad de acero a medida que disminuyen las dimensiones de las columnas.

Además, en la Figura 59 se detallan con precisión las cantidades de acero longitudinal para las columnas, diferenciando entre el hormigón convencional y el de alto desempeño en diversos segmentos de pisos. Se destaca que el peso total en kilogramos para la estructura con hormigón convencional asciende a 8.303 kg, mientras que la estructura con hormigón de alto desempeño presenta un peso de 4.969 kg. Este análisis revela una reducción significativa de 3.334 kg en la estructura de alto desempeño en comparación con la convencional.

Figura 60.

Cantidad de Acero Transversal en columnas diseñadas de los diseños HC y HAD



Fuente: Elaboración propia.

La columna del modelo con hormigón convencional (HC) muestra un aumento del 44% en su sección transversal, lo que se traduce en un incremento en la cantidad de acero de confinamiento, representando el 77% del peso total. En términos cuantitativos, el HC presenta una carga de 9.421 kg, mientras que el hormigón de alto desempeño (HAD) registra 9.292 kg, generando una diferencia mínima de 129 kg entre ambas estructuras, ver Figura 60.

Se procede a repetir el mismo proceso anterior para el cálculo de la cantidad total del edificio, la recurrencia sistemática en el diseño de acero se toma cada 10 niveles. En la Tabla 43, se observa la cantidad de acero en las vigas del todo el edificio dando como resultado una diferencia en la cantidad de acero de 71.849,13 kg.

Tabla 43.

Cantidad de Acero en vigas de los diseños HC y HAD de todo el edificio.

Vigas	Hormigón Convencional (HC)		Hormigón Alto Desempeño (HAD)	
	Dimensión (m ²)	Total (kg)	Dimensión (m ²)	Total (kg)
1-10	0,4x0,6	111.923,54	0,4x0,5	77.359,49
11-20		164.982,97		138.463,71
21-30		149.593,79		138.707,40
31-40		131.920,79		132.041,35
Total		558.421,09	Total	486.571,95

Fuente: Elaboración propia.

Si se analiza el total de acero a usar en las columnas para los dos diseños, resultando en un ahorro de 41.275,88 kg en el diseño HAD respecto al diseño HC. Al observar en la Tabla 44, el resultado del primer diseño es 155.969,64 kg y del segundo es de 114.693,76.

Tabla 44.

Cantidad de Acero en columnas de los diseños HC y HAD de todo el edificio.

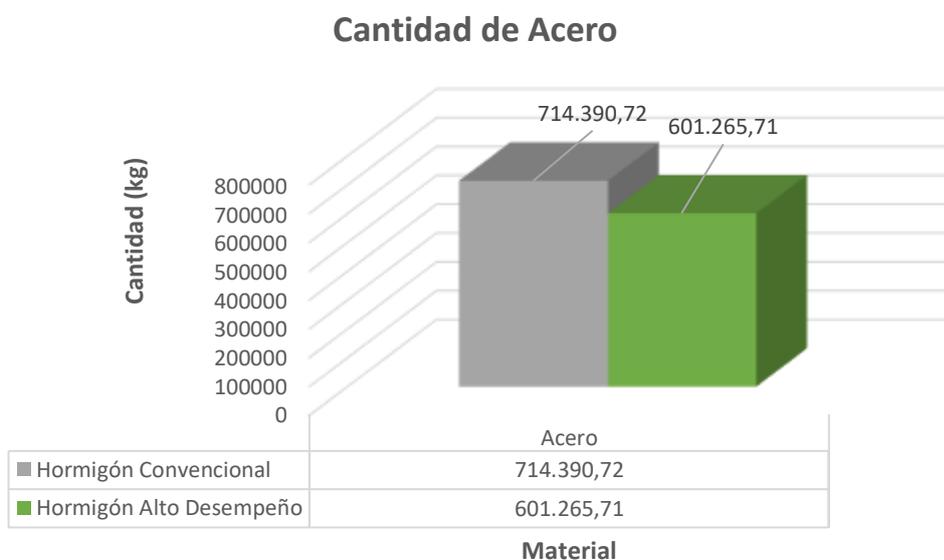
Columnas	Hormigón Convencional (HC)		Hormigón Alto Desempeño (HAD)	
	Dimensión (m2)	Total (kg)	Dimensión (m2)	Total (kg)
1-10	1,2x1,2	74.503,28	1,0x1,0	59.301,39
11-20	1,0x1,0	46.676,58	0,8x0,8	31.040,53
21-30	0,8x0,8	25.766,72	0,6x0,6	15.138,76
31-40	0,5x0,5	9.023,07	0,4x0,4	9.213,07
	Total	155.969,64	Total	114.693,76

Fuente: Elaboración propia.

El ahorro total del acero entre las vigas y columnas es de 113.125,01 kg, lo que destaca la eficiencia del diseño HAD en la reducción del uso de acero, se observa la que el diseño HC tiene una cantidad total de acero de 714.390,72 kg y HAD es de 601.265,71 kg en la Figura 61.

Figura 61.

Cantidad total de Acero de los diseños HC y HAD de todo el edificio.



Fuente: Elaboración propia.

6.4 Costo de Construcción

Luego de determinar las cantidades de elementos y materiales necesarios, se procede a realizar un análisis de costos específico para cada diseño, evaluando detalladamente los aspectos económicos asociados. En la Tabla 45, se observa el costo del Hormigón del diseño HC, el cual por vigas el costo es de \$ 566.816,04 y en columnas es de \$ 612.224,83 dando como total final \$ 1.179.040,87.

Tabla 45.

Costo del Hormigón para el diseño de Hormigón Convencional

Hormigón Convencional					
Piso	Elemento	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Subtotal
1-5	Vigas	m3	1075,20	\$ 132,31	\$ 142.259,71
11-15		m3	1071,84		\$ 141.815,15
21-25		m3	1068,48		\$ 141.370,59
31-35		m3	1068,48		\$ 141.370,59
		Total	4284,00	Total	\$ 566.816,04
1-5	Columnas	m3	1.116,00	\$ 132,31	\$ 147.657,96
6-10		m3	931,70		\$ 123.273,23
11-15		m3	770,00		\$ 101.878,70
16-20		m3	623,70		\$ 82.521,75
21-25		m3	492,80		\$ 65.202,37
26-30		m3	377,30		\$ 49.920,56
31-35		m3	192,50		\$ 25.469,68
36-40		m3	123,20		\$ 16.300,59
		Total	4.627,20	Total	\$ 612.224,83
	Total Final		8.911,20		\$ 1.179.040,87

Fuente: Elaboración propia.

El costo final del hormigón para el diseño HAD es de \$ 1.045.572,10, el costo de las vigas es de \$ 569.450,70 y de columnas es \$ 476.121,40, se observa en la Tabla 46.

Tabla 46.

Costo del Hormigón para el diseño de Hormigón Alto Desempeño

Hormigón Alto Desempeño					
Piso	Elemento	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Subtotal
1-5	Vigas	m3	896,00	\$ 159,51	\$ 142.920,96
11-15		m3	893,20		\$ 142.474,33
21-25		m3	890,40		\$ 142.027,70
31-35		m3	890,40		\$ 142.027,70
		Total	3570,00	Total	\$ 569.450,70
1-5	Columnas	m3	775,00	\$ 159,51	\$ 123.620,25
6-10		m3	623,70		\$ 99.486,39
11-15		m3	492,80		\$ 78.606,53
16-20		m3	377,30		\$ 60.183,12
21-25		m3	277,20		\$ 44.216,17
26-30		m3	192,50		\$ 30.705,68
31-35		m3	123,20		\$ 19.651,63
36-40		m3	123,20		\$ 19.651,63
		Total	2984,90	Total	\$ 476.121,40
	Total Final		6554,90		\$ 1.045.572,10

Fuente: Elaboración propia.

Los componentes de las vigas presentan un costo total de \$ 753.868,47 en términos de la cantidad de acero requerido para el diseño HC, mientras que las columnas exhiben un costo de \$ 210.559,01. La suma total asciende a \$ 964.427,48, como se detalla en la Tabla 47.

Tabla 47.

Costo del Acero para el diseño de Hormigón Convencional

Hormigón Convencional					
Piso	Elemento	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Subtotal
1-5	Vigas	kg	111.923,54	\$ 1,35	\$ 151.096,78
11-15		kg	164.982,97		\$ 222.727,00
21-25		kg	149.593,79		\$ 201.951,61
31-35		kg	131.920,79		\$ 178.093,07
		Total	558.421,09	Total	\$ 753.868,47
1-5	Columnas	kg	74.503,28	\$ 1,35	\$ 100.579,42
11-15		kg	46.676,58		\$ 63.013,38
21-25		kg	25.766,72		\$ 34.785,07
31-35		kg	9.023,07		\$ 12.181,14
		Total	155.969,64	Total	\$ 210.559,01
	Total Final		714.390,72		\$ 964.427,48

Fuente: Elaboración propia.

En el análisis detallado de costos para el diseño de hormigón de alto desempeño (HAD), se destaca una distribución eficiente de recursos. En las vigas, la inversión en acero se cifra en \$ 656.872,14, mientras que en las columnas es de \$ 154.836,57. La suma final de ambos elementos totaliza \$ 811.708,71, ver Tabla 48. Esta asignación precisa de costos subraya la rentabilidad y eficacia financiera del diseño HAD, enfatizando sus ventajas en el análisis general de resultados estructurales.

Tabla 48.

Costo del Acero para el diseño de Hormigón Alto Desempeño

Hormigón Alto Desempeño					
Piso	Elemento	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Subtotal
1-5	Vigas	kg	77.359,49	\$ 1,35	\$ 104.435,31
11-15		kg	138.463,71		\$ 186.926,00
21-25		kg	138.707,40		\$ 187.254,99
31-35		kg	132.041,35		\$ 178.255,83
		Total			486.571,95
1-5	Columnas	kg	59.301,39	\$ 1,35	\$ 80.056,88
11-15		kg	31.040,53		\$ 41.904,72
21-25		kg	15.138,76		\$ 20.437,32
31-35		kg	9.213,07		\$ 12.437,65
		Total			114.693,76
Total Final			601.265,71		\$ 811.708,71

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 62 exhibe un detallado análisis de resultados, donde se enfatiza un aspecto crucial al evaluar el costo de materiales en ambos diseños estructurales. Al considerar el costo final del hormigón para los elementos previamente especificados, el diseño HC arroja un total de \$ 1.179.040,87, mientras que el HAD presenta un registro de \$ 1.045.572,10 por metro cúbico.

Esta discrepancia de \$ 133.468,77 destaca no solo la eficacia económica sino también la optimización de recursos característica del diseño HAD. Este análisis financiero respalda la elección de este último como una alternativa más rentable en términos de costos de construcción.

Figura 62.

Costo Total de los Materiales



Nota: El costo es en dólares americanos. Fuente: Elaboración propia.

En el marco del análisis de resultados, es fundamental destacar que el diseño de hormigón de alto desempeño (HAD) presenta una ventaja económica notable en comparación con el diseño de hormigón convencional (HC).

Al realizar el análisis comparativo de tesis, se observa que el costo total del acero en el diseño HC alcanza los \$ 964.427,48, mientras que en el diseño HAD se reduce a \$ 811.708,71. Esta diferencia es de \$ 152.718,77 a favor del HAD no solo subraya su eficiencia estructural sino también su impacto positivo en los costos totales del proyecto.

Este análisis resalta la importancia económica del diseño de HAD, evidenciando su capacidad para ofrecer soluciones estructurales robustas con un impacto financiero favorable. Constituye un indicador claro de la eficacia integral del diseño de HAD en términos de sostenibilidad económica y rendimiento estructural.

CONCLUSIONES

En este estudio enfocado en la evaluación del Hormigón de Alto Desempeño (HAD) en el diseño estructural, se destaca claramente que:

- El HAD presenta propiedades mecánicas superiores, evidenciando una resistencia a la compresión superior, un módulo de elasticidad optimizado y un coeficiente de Poisson mejorado. Estas características conllevan a una respuesta estructural más eficiente en comparación con el hormigón convencional.
- La implementación del HAD en un diseño estructural de 40 niveles ha demostrado eficiencia al optimizar el uso de materiales, con una significativa reducción en las cantidades de hormigón y acero. Este enfoque no solo minimiza la carga ambiental asociada a la extracción de recursos, sino que también mejora la viabilidad del proyecto, generando un ahorro sustancial de \$ 286.187,54 en costos de acero y hormigón en comparación con el hormigón convencional.
- La disminución del peso del edificio, junto con la reducción del cortante basal, no solo optimiza la eficiencia estructural, sino que también resulta en ahorros en los costos de cimentación al requerir menos pilotes. Este enfoque técnico contribuye de manera integral al diseño y construcción.
- Además, se destaca la eficiencia del HAD, respaldada por una gestión efectiva de recursos y aporte a la sostenibilidad. La capacidad del HAD para mantener eficiencia estructural, incluso con secciones reducidas, añade un componente adicional de economía y eficiencia al diseño. Cabe destacar que el comportamiento dinámico del edificio no se ha visto perjudicado al reducir las secciones.
- En resumen, el HAD no solo reconfigura paradigmas en ingeniería estructural, sino que también se consolida como un pilar esencial en la construcción sostenible, proporcionando eficiencia técnica y económica, junto con una capacidad destacada para optimizar secciones estructurales.

RECOMENDACIONES

En propósito de optimizar aún más el uso del Hormigón de Alto Desempeño (HAD) en futuros proyectos estructurales, se sugiere considerar las siguientes recomendaciones:

- Explorar la posibilidad de ajustar las dimensiones de vigas y columnas con Hormigón de Alto Desempeño (HAD) para maximizar la eficiencia en el uso de materiales.
- Estudiar la adherencia del refuerzo en estos hormigones para fortalecer la integridad estructural.
- Implementar un programa de monitoreo a largo plazo para evaluar el comportamiento y la durabilidad de la estructura construida con HAD.
- Colaborar con instituciones académicas para investigar más sobre resistencia a largo plazo, durabilidad y adaptabilidad del HAD.
- Considerar la integración de tecnologías sostenibles, como el uso de materiales reciclados, para fortalecer la sostenibilidad del proyecto.

Estas recomendaciones buscan no solo mejorar la eficiencia en el uso de materiales sino también contribuir al conocimiento continuo y la sostenibilidad a largo plazo de las estructuras construidas con HAD.

REFERENCIAS

- Materiales de Construcción*. (2007). Obtenido de https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6203/mod_resource/content/1/Hormigon_02._Tipos_y_propiedades.pdf
- American Concrete Institute (ACI). (2000). *High Strength Concrete*. Comité 363. Detroit, Estados Unidos.
- American Concrete Institute. (2019). *ACI 318*.
- American Society for Testing and Materials. (1970). *ASTM E 11. "Standard Specification for Wire-cloth sieves for testing purposes."*. Philadelphia: ASTM.
- American Society for Testing and Materials. (2001). *ASTM C 138. "Standard Test Method for Unit Weight, Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete."*. Philadelphia: ASTM.
- American Society for Testing and Materials. (2004). *ASTM C 566. "Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying"*. Philadelphia: ASTM.
- American Society for Testing and Materials. (2005). *ASTM C 1602. "Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete"*. Philadelphia: ASTM.
- American Society for Testing and Materials. (2005). *ASTM C 39. "Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens"*. Philadelphia: ASTM.
- American Society for Testing and Materials. (2006). *ASTM C 136. "Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates"*. Philadelphia: ASTM.
- American Society for Testing and Materials. (2007). *ASTM C 127. "Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate"*. Philadelphia: ASTM.

American Society for Testing and Materials. (2007). *ASTM C 128. "Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate"*. Philadelphia: ASTM.

American Society for Testing and Materials. (2008). *ASTM C 143. "Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete"*. ASTM: Philadelphia.

American Society for Testing and Materials. (2008). *ASTM C 33. "Standard Specification for Concrete Aggregates"*. Philadelphia: ASTM.

American Society for Testing and Materials. (2008). *ASTM C 78. "Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)"*. Philadelphia: ASTM.

American Society for Testing and Materials. (2009). *ASTM C 29. "Standard Test Method for Bulk Density (Unit Weight) and Voids in Aggregate"*. Philadelphia: ASTM.

American Society for Testing and Materials. (2009). *ASTM C 31. "Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the field."*. Philadelphia: ASTM.

American Society for Testing and Materials. (2009). *ASTM D 75. "Standard Practice for Sampling Aggregates"*. Philadelphia: ASTM.

American Society for Testing and Materials. (2010). *ASTM C 1157. "Standard Performance Specification for Hydraulic Cement"*. Philadelphia: ASTM.

American Society for Testing and Materials. (2010). *ASTM C 172. "Standard Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete"*. Philadelphia: ASTM.

American Society for Testing and Materials. (2010). *ASTM C 173. "Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Volumetric Method"*. Philadelphia: ASTM.

American Society for Testing and Materials. (2010). *ASTM C 231. "Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method."*. Philadelphia: ASTM.

- American Society for Testing and Materials. (2010). *ASTM C 469. "Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression"*. Philadelphia: ASTM.
- American Society for Testing and Materials. (2011). *ASTM C 1064. "Standard Test Method for Temperature of Freshly Mixed Hydraulic-Cement Concrete."*. Philadelphia: ASTM.
- American Society for Testing and Materials. (2016). *ASTM C 403. "Standard Test Method for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance."*. Philadelphia: ASTM.
- American Society for Testing and Materials. (2017). *ASTM C 109. "Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)."*. Philadelphia: ASTM.
- Barriga, P. C. (2007). *Tecnología del concreto de alto desempeño*.
- BECOSAN. (19 de marzo de 2021). *Hormigón endurecido*. Obtenido de BECOSAN: https://www.becosan.com/es/hormigon-endurecido/#Caracteristicas_fisicas_del_hormigon_endurecido
- BECOSAN. (28 de junio de 2021). <https://www.becosan.com/es/hormigon-fresco/>. Obtenido de BECOSAN: <https://www.becosan.com/es/hormigon-fresco/>
- Chacón Guerra, E. J., & Lema Carrera, G. A. (2012). *Estudio comparativo de Elementos Fabricados de Hormigón con material reciclado PET (Polietileno Tereftalato) y de Hormigón Convencional*. Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Quito. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4837/1/CD-4430.pdf>
- Chryso Aditivos. (28 de septiembre de 2021). *Agregados para la elaboración del hormigón* . Obtenido de Chryso Aditivos: <https://www.chryso.es/news/879/agregados-en-el-hormig-n-chryso-aditivos>

- Concreto Sólido de México. (2023). *Concreto convencional*. Obtenido de Concreto Sólido de México: <https://www.concretosolido.mx/concreto-convencional/>
- ConstruAprende. (2022). *Densidad y Absorción de Agregados Pétreos*. Obtenido de JH - Soluciones Integrales S.A.S: <https://www.sioingenieria.com/portal/novedades/densidad-y-absorcion-de-agregados-petres>
- Construneic. (17 de febrero de 2023). *Ensayo de Resistencia a la compresión*. Obtenido de Construneic: <https://construneic.com/concreto-armado/ensayo-de-resistencia-a-la-compresion/>
- Flores, N. (5 de noviembre de 2020). *Características y propiedades del hormigón o concreto*. Obtenido de Laminas y Aceros: <https://blog.laminasyaceros.com/blog/caracteristicas-y-propiedades-del-hormigon>
- INECYC. (2007). *El Manual de Pepe Hormigón*.
- INECYC. (2023). *Hórmigon Fresco*. Obtenido de Instituto Ecuatoriano del Cemento y del Hormigón: <https://www.inecyc.org.ec/hormigon-fresco/>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1986). *NTE INEN 154. "Tamices de ensayo. Dimensiones nominales de las aberturas"*. Quito.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2009). *NTE INEN 0488. "Cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista"*. Quito.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010). *NTE INEN 1578. "Hormigón de cemento hidráulico. Determinación del asentamiento"*. Quito.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010). *NTE INEN 1763. "Hormigón de cemento hidráulico. Muestreo"*. Quito.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010). *NTE INEN 695. "Áridos. Muestreo"*. Quito.

- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010). *NTE INEN 856. "Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino"*. Quito.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010). *NTE INEN 857. "Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso"*. Quito.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010). *NTE INEN 858. "Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos"*. Quito.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011). *NTE INEN 1573. "Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la tracción por compresión diametral de especímenes cilíndricos de hormigón."*. Quito.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011). *NTE INEN 2380. "Cemento hidráulico. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos"*. Quito.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011). *NTE INEN 2554. "Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la flexión del hormigón. (Utilizando una viga simple con carga en los tercios)"*. Quito.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011). *NTE INEN 636. "Áridos. Análisis Granulométrico en los Áridos, Fino y Grueso"*. Quito.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011). *NTE INEN 696. "Áridos. Análisis Granulométrico en los Áridos, Fino y Grueso"*. Quito.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011). *NTE INEN 862. "Áridos para hormigón. Determinación del contenido de humedad"*. Quito.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011). *NTE INEN 872. "Áridos para hormigón. Requisitos"*. Quito.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). *NTE INEN 1579. "Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la densidad, rendimiento y contenido de aire (Método Gravimétrico)"*. Quito.

- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2016). *NTE INEN 3119. "Hormigón fresco de cemento hidráulico. Método para determinar la temperatura."*. Quito.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2016). *NTE INEN 3121. "Hormigón Endurecido. Determinación del número de rebote. Método de ensayo."*. Quito.
- Insucons. (2013). *Análisis de Precio Unitario*. Obtenido de Insucons: <https://www.insucons.com/ec/analisis-precio-unitario>
- Mehta, P. K. (2014). *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*. McGraw-Hill Education.
- Monroy, C., & Luna, G. (1985). *Cementos y hormigones. Instructivo de Laboratorio*. Quito, Ecuador.
- NEC . (2015). *www.habitatyvivienda.gob.ec*. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-CG-Cargas-Sismicas.pdf>
- Neville, A., & Aitcin, P. (1999). *Hormigón de Alto Desempeño*. Obtenido de IMCYC Instituto: <http://www.imcyc.com/revista/1999/dic99/hormigón1.htm>
- Osorio, J. D. (2022). *¿Qué es el módulo de elasticidad en el concreto?* Obtenido de 360 en Concreto: <https://360enconcreto.com/blog/detalle/elasticidad-del-concreto/>
- Ramos Sanchez, D. M. (9 de Junio de 2018). *Contenido de humedad agregados informe*. Obtenido de SlideShare: <https://es.slideshare.net/ChotaDelbosque/contenido-de-humedad-agregados-informe>
- Reyes, S. (2014). *Constituyentes del Hormigón (Concreto), Los agregados*. Obtenido de ConstruyeAprende: <https://www.construyeaprende.com/docs/trabajos/313-constituyentes-hormigon?start=3>
- Salcedo Barrera, M. L. (2006). *Concreto de alto desempeño en Colombia*. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Artes, Colombia.

Siqueira Ríos, M. (2020). *Hormigón de alto desempeño: evaluación de costos y viabilidad del empleo de HAR y HAD en Uruguay*. Universidad de la República Uruguay, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Montevideo. Obtenido de https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/26763/1/TDCOA_Siqueira-Rios-Marianela.pdf

ANEXOS

Anexo 1 Diseño de Elemento

Proceso de diseño para los elementos, a continuación, se diseña del eje 2 piso 11.

Diseño por Flexión

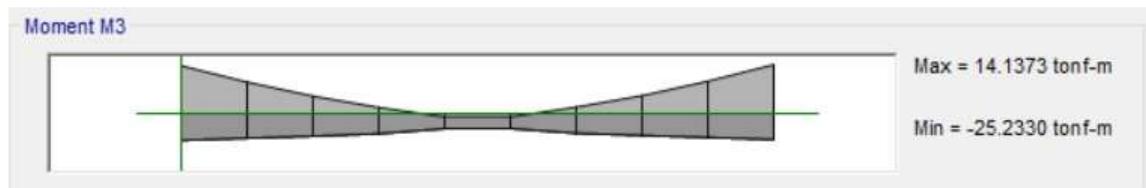
Tabla 49. Datos para diseño a Flexión

$f'c$	620 kg/cm²
f_y	4200 kg/cm ²
Base	40 cm
Altura	60 cm
Peralte	45 cm
$M_u (-)$	25.23 T.m
$M_u (+)$	14.13 T.m

Fuente: Elaboración propia.

Figura 63.

Momentos Máximo y Mínimo del eje 2 piso 11.



Fuente: Elaboración propia.

$$As \text{ requerido} = \frac{Mu}{34 * d}$$

$$As \text{ requerido} = \frac{25.87 \times 1000}{34 * 45} = 16.91 \text{ cm}^2$$

Usar un adicional de 2 Φ 18

$$As \text{ min} = \frac{0.8 \sqrt{f'c}}{f_y} b \cdot d$$

$$A_s \text{ min} = \frac{0.8\sqrt{620}}{4200} (40)(45) = 8.54 \text{ cm}^2$$

Usar acero continuo de 4 Φ 18= 10.16 cm^2

$$4 \Phi 18 > 8.54 \text{ cm}^2 \therefore OK$$

$$A_s = 15.24 \text{ cm}^2$$

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c * b}$$

$$a = \frac{37.68(4200)}{0.85(620)(40)} = 3.04 \text{ cm}$$

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = (15.24)(4200) \left(45 - \frac{1.25(3.04)}{2} \right) = 27.83 \text{ T.m}$$

$$\Phi M_n = 0.9(27.83) = 25.05 = 25.23 \text{ T.m}$$

$$A_s \text{ inferior} = \frac{13.67 \times 1000}{(34)(45)} = 8.93 \text{ cm}^2$$

Usar acero continuo de 4 Φ 18= 10.16 cm^2

$$M_{pr} = 1.25 * A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_{pr} = 1.25(15.24)(4200) \left(45 - \frac{13.04}{2} \right) = 34.79 \text{ T.m}$$

$$M_{pr} = 1.25(10.16)(4200) \left(45 - \frac{1.25(2.02)}{2} \right) = 23.33 \text{ T.m}$$

$$V_{1.2D+1L} = 9.19 \text{ T}$$

$$\frac{\Sigma M p_r}{L n} = \frac{34.49 + 23.33}{6}$$

$$\frac{\Sigma M p_r}{L n} > V_{1.2D+1L \rightarrow \Phi} V c = 0$$

$$V_E = 9.19 + 18.83$$

$$V_E = 18.83 T$$

$$\Phi V_S = \frac{\Phi M u f_y d}{s} = \frac{(0.75)(2 \cdot 0.79)(4200)(45)}{10}$$

$$\Phi V_S = 22.27 T > V_E$$

$$A_s = 8 \Phi 20 = 25.12 \text{ cm}^2$$

$$M_n = 54.41 T.m$$

$$\Phi M_n = 0.9(54.41) = 48.96 T.m$$

$$M_{pr} = 68.01 T.m$$

$$V_E = \frac{M_{pr_1} + M_{pr_2}}{L n} + V g$$

$$V_E = \frac{97.63 + 68.01}{5} + (9.18)$$

$$V_E = 33.13$$

$$SI \frac{\Sigma M p_r}{L} > V g \rightarrow \Phi V c = 0$$

$$33.13 > 9.18 \rightarrow \Phi V c = 0$$

$$\Phi V_s = \frac{\Phi M u f_y d}{s} = \frac{(0.75)(2 \cdot 0.79)(55)}{5}$$

$$\Phi V_s = 55.41 T > VE \therefore OK$$

Separación en 2H (100 cm)

$$6\Phi b = 6(1.8) = 10.8 \text{ cm}$$

$$\frac{d}{4} = 11.25 \text{ cm} \therefore OK$$

Diseño de columna

Se tiene un axial máximo de $P_u = 913.64$ Ton para la expresión de prediseño

$$\Phi P_n > P_u \cdot M_{u\max} = 20.39 \text{ T.m}, M_{nb1} = 18.77 \text{ T.m}, M_{nb2} = 27.83 \text{ T.m}$$

$$\sum M_{nb} = 18.77 + 27.83 = 46.6 \text{ T.m}$$

Se genera un diagrama de interacción para una columna de 80x80 con 28 Φ 18

$$\rho = \frac{A_s}{b_1 \times b_2} = \frac{28 \times 2.54}{80 \times 80} = 0.0011 \therefore OK$$

Según el diagrama $M_{nc} \times 220 \text{ T.m} = 2 \times 220 = 440 \text{ T.m}$

$$M_{nc} = \frac{440}{46.6} = 9.47 \text{ T.m}$$

$$\sum M_{nc} > \sum M_{nb} \therefore CUMPLE$$

Observación: La columna tiene esas dimensiones por las solicitaciones de fuerza axial. Por tanto, solo se requiere acero mínimo como refuerzo longitudinal.

Diseño por confinamiento zona protegida "Lo"

- $H_{nc}/6 = 350 - 50/6 = 50 \text{ cm}$
- $base = 80 \text{ cm} \leftarrow \text{Controla}$
 - 45 cm

Separación máxima en “Lo”

- $6\Phi b = 6(1.8) = 10.8 \text{ cm} \leftarrow \text{Controla}$
 - $base/4 = 80/4 = 20 \text{ cm}$
- $S_0 = 10 + \left(\frac{35-hx}{3}\right) = 10 + \left(\frac{35-20}{3}\right) = 15 \text{ cm}$

Separación fuera de “Lo”

- $6\Phi b = 6(1.8) = 10.8 \text{ cm}$
 $15 \text{ cm} \leftarrow \text{Controla}$

$$\rho_{st} = \frac{0.09f'c}{f_y} = \frac{0.09(620)}{4200} = 0.0133 \leftarrow \text{Controla}$$

$$\rho_{st} = 0.3 \left(\frac{Ag}{Ash} - 1 \right) \frac{f'c}{f_y} = 0.3 \left(\frac{80^2}{72^2} - 1 \right) \frac{350}{4200} = 0.0103$$

$$\rho_{utilizado} = \frac{Ash}{bc * S} = \frac{8 * 1.13}{(72)(10)}$$

$$\rho_{utilizado} = 0.013 \therefore \text{OK}$$

En “Lo” usar 8EΦ12 cada 10

Fuera de 2H se permite reducir la cuantía transversal al 50% = $0.5(0.013) = 0.0065$

Revisión de Conexiones

La columna no está bien confinada $\frac{bu}{bc} = 0.5 < 0.75$ Por lo tanto, el valor de α
= 3.2

$$\Phi V_n = \Phi \alpha \sqrt{f'c} A_j$$

$$\Phi V_n = (0.85)(3.2) * \sqrt{620} (80 * 80)$$

$$\Phi V_n = 433.45 \text{ Ton}$$

$$\sum V_{ej} = 1.25 \sum A_s f_y$$

$$\sum V_{ej} = 1.25 (10.16 + 15.24)(4200)$$

$$V_{ej} = 133.35 \text{ Ton}$$

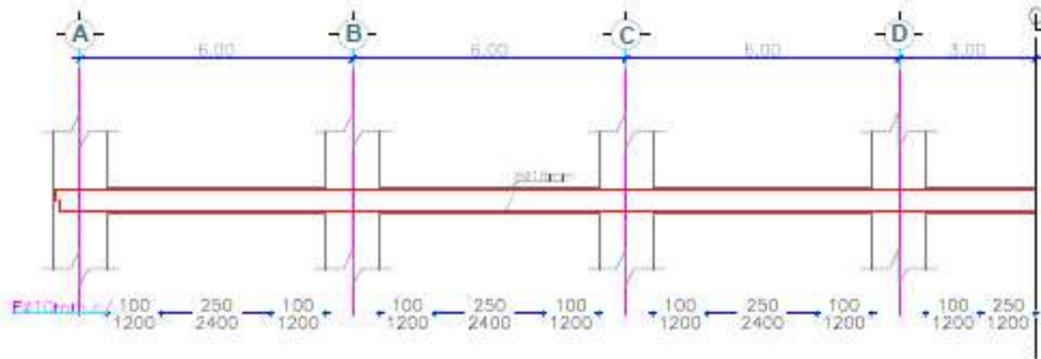
$\Phi V_n > V_{ej} \therefore OK$; Se cumplen satisfactoriamente todas las condiciones de resistencia y capacidad contempladas en el código ACI 318-19.

Anexo 2 Planos de diseño

A continuación, se encuentran los planos de diseño de los elementos seleccionados.

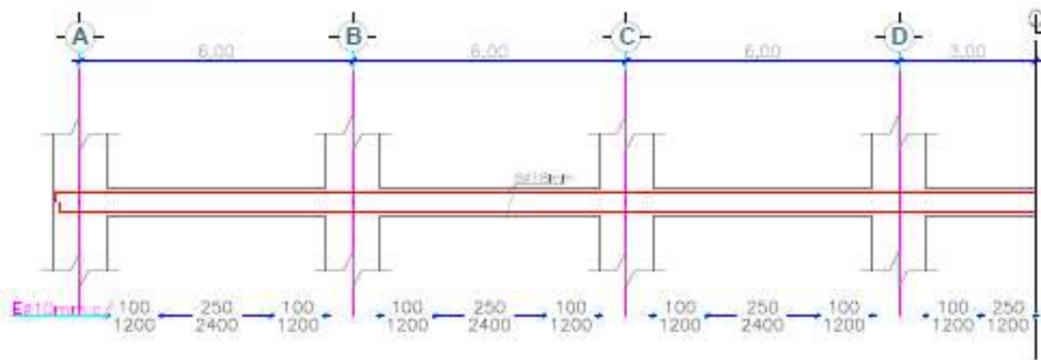
VIGA PISO 1 - EJE 1 400x600

Escala 1:100



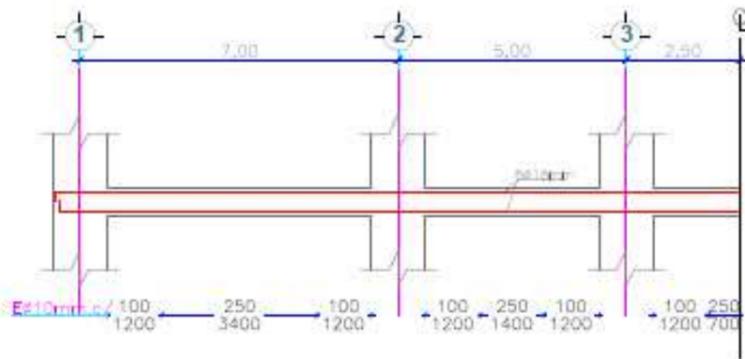
VIGA PISO 1 - EJE 2 400x600

Escala 1:100



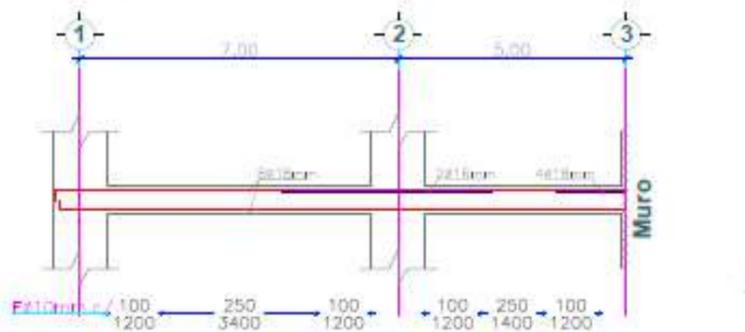
VIGA PISO 1 - EJE A 400x600

Escala 1:100



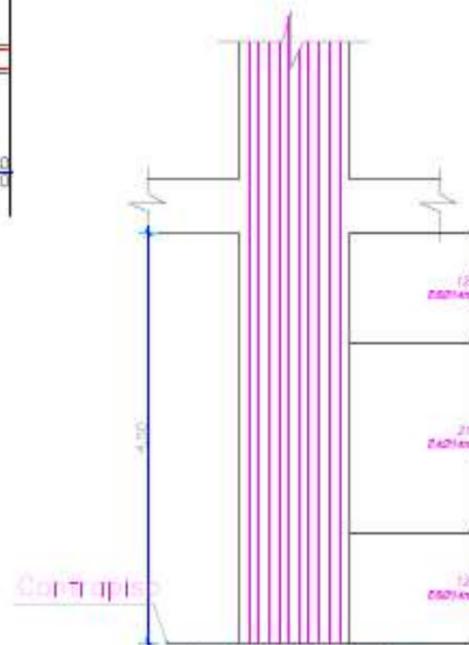
VIGA PISO 1 - EJE D 400x600

Escala 1:100



Corte elevación Columna Piso 1

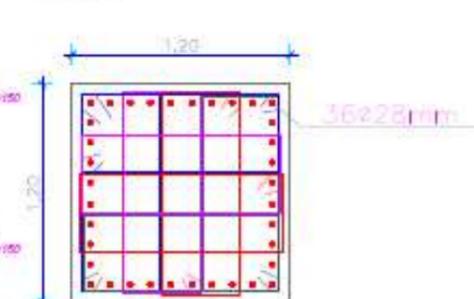
Escala 1:50



Cantidades de hormigón	b (m)	h (m)	L (m)	Total (m3)
Vigas				
Piso 1 Eje 1	0,40	0,60	43,00	10,32
Piso 1 Eje 2	0,40	0,60	33,00	7,92
Piso 1 Eje A	0,40	0,60	30,00	7,20
Piso 1 Eje D	0,40	0,60	25,00	6,00
Piso 11 Eje 1	0,40	0,60	42,90	10,30
Piso 11 Eje 2	0,40	0,65	32,90	8,55
Piso 11 Eje A	0,40	0,60	29,90	7,18
Piso 11 Eje D	0,40	0,60	24,90	5,98
Piso 21 Eje 1	0,40	0,60	42,80	10,27
Piso 21 Eje 2	0,40	0,60	32,80	7,87
Piso 21 Eje A	0,40	0,60	29,80	7,15
Piso 21 Eje D	0,40	0,60	24,80	5,95
Piso 31 Eje 1	0,40	0,60	42,80	10,27
Piso 31 Eje 3	0,40	0,60	32,80	7,87
Piso 31 Eje A	0,40	0,60	29,80	7,15
Piso 31 Eje D	0,40	0,60	24,80	5,95
Columnas				
Piso 1	1,20	1,20	4,50	6,48
Piso 11	1,00	1,00	3,50	3,50
Piso 21	0,80	0,80	3,50	2,24
Piso 31	0,50	0,50	3,50	0,88
Total (m3)				139,03

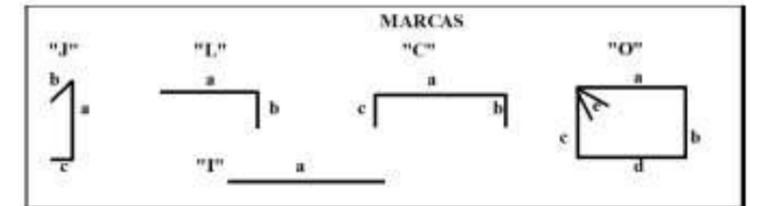
Corte Columna 1,20x,1,20m

Escala 1:25



PLANILLA DE ACERO DE REFUERZO

Mc.	Tipo	Ø mm.	No. Cortes	Longitud (metro)					Longitud desarrollo del corte	Longitud total	Peso kg/ml	PESO kg	Observaciones
				a	b	c	d	e					
VIGAS													
	C	18	8	43,00	0,22	0,22			43,43	347,46	2,000	694,96	VIGA EJE 1 PISO 1 Longitudinal
	D	10	243	0,30	0,49	0,48	0,30	0,12	1,52	369,36	0,617	228,01	VIGA EJE 1 PISO 1 Estructo
	C	18	8	43,00	0,22	0,22			43,43	347,46	2,000	694,96	VIGA EJE 2 PISO 1 Longitudinal
	D	10	243	0,30	0,78	0,78	0,30	0,12	2,12	515,16	0,617	318,02	VIGA EJE 2 PISO 1 Estructo
	C	18	8	38,80	0,22	0,22			39,23	243,46	2,000	486,94	VIGA EJE A PISO 1 Longitudinal
	D	10	166	0,30	0,58	0,58	0,30	0,12	1,72	287,52	0,617	176,26	VIGA EJE A PISO 1 Estructo
	L	18	18	13,32	0,22				14,14	226,18	2,000	452,38	VIGA EJE D PISO 1 Longitudinal
	I	16	4	4,60					4,60	18,80	1,580	29,88	VIGA EJE D PISO 1 Reflector
	I	18	8	3,50					3,50	28,00	2,000	56,00	VIGA EJE D PISO 1 Reflector
	D	10	137	0,30	0,58	0,58	0,30	0,12	1,72	235,64	0,617	145,47	VIGA EJE D PISO 1 Estructo
COLUMNAS													
	D	14	144	0,43	1,18	1,18	0,43	0,2	3,26	448,44	1,210	540,00	COLUMNA PISO 1 Estructo
	D	14	68	0,43	1,18	1,18	0,43	0,2	3,26	195,60	1,210	236,67	COLUMNA PISO 1 Estructo
	I	28	36	5,10					5,10	183,00	4,840	884,59	COLUMNA PISO 1 Acero Long.
TOTAL:											4975,33		
TOTAL + 5% (kg):											5224,10		





**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

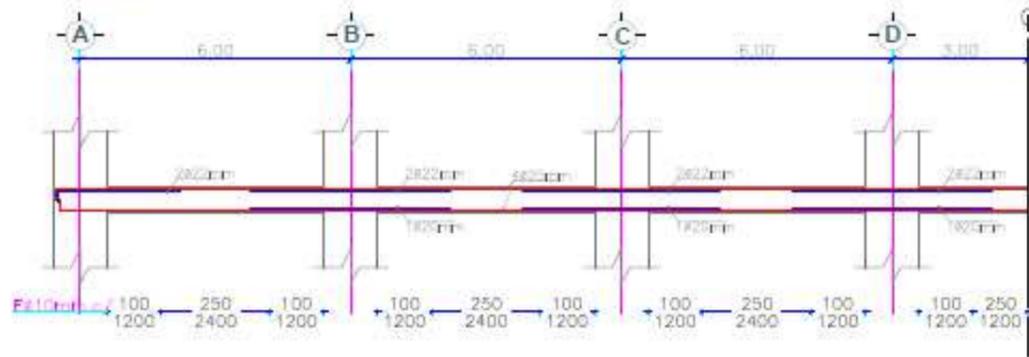
TEMA:
Evaluación de hormigones de alto desempeño en Guayaquil y su impacto en el análisis y diseño de edificaciones

CONTIENE: Hormigón Conveccional
Diseño Estructural - Piso 1

AUTORES: Dairán Mendoza, Melby Arbet Mora Rey, Mariana Mercedes	TUTOR: Ing. Ponca Viquez, Guillermo Alfonso	
FECHA: ENE/2024	ESCALA: Indicada	LAMINA: E 1/4

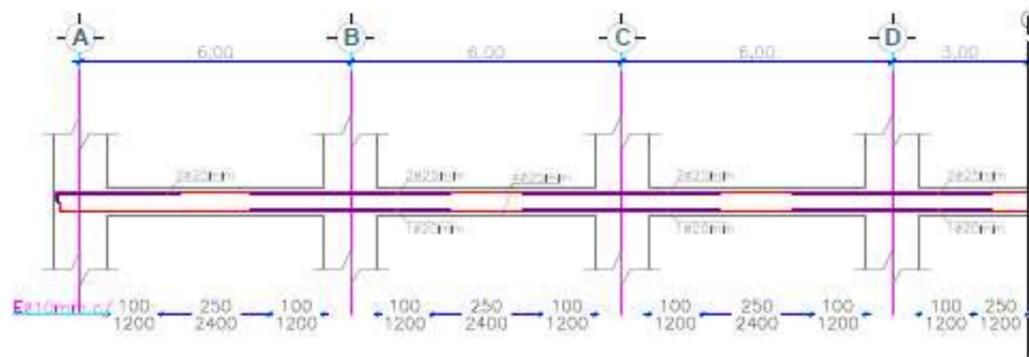
VIGA PISO 21 - EJE 1 400x600

Escala 1:100



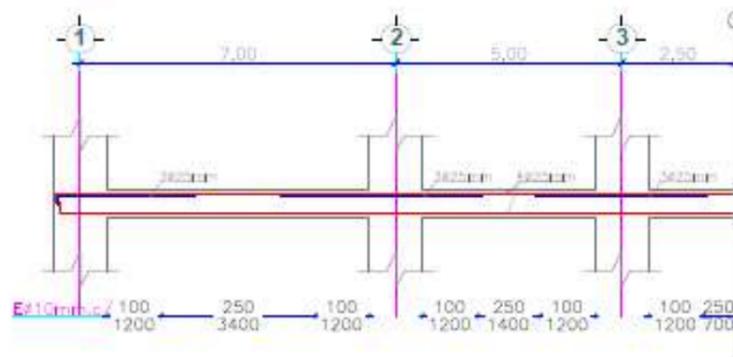
VIGA PISO 21 - EJE 2 400x600

Escala 1:100



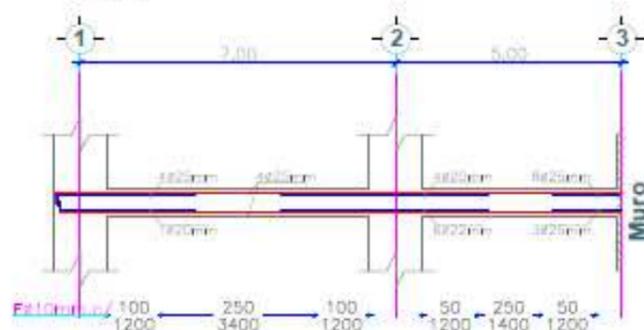
VIGA PISO 21 - EJE A 400x600

Escala 1:100



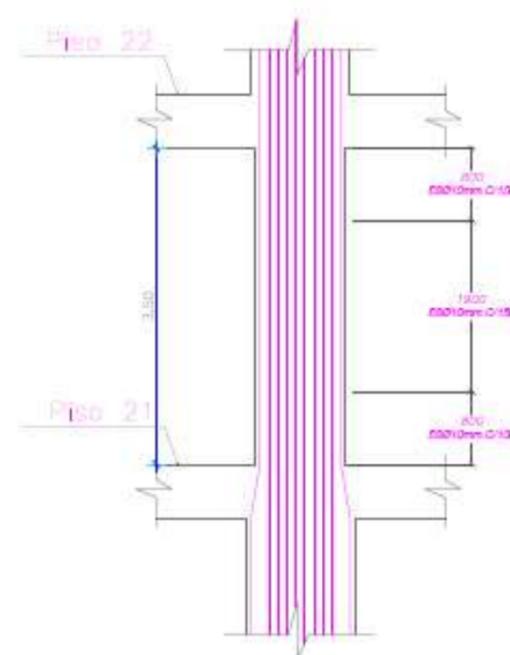
VIGA PISO 21 - EJE D 400x600

Escala 1:100



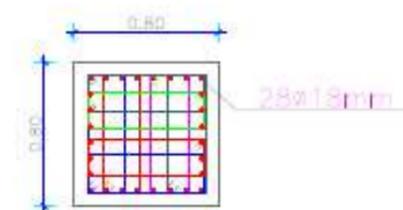
Corte elevación Columna Piso 21

Escala 1:50



Corte Columna 0,80x0,80m

Escala 1:25



PLANILLA DE ACERO DE REFUERZO

Mc.	Tipo	Ø mm.	No. Cortes	Longitud (metro)					Longitud desarrollo del corte	Longitud total	Peso kg/ml	PESO kg	Observaciones
				a	b	c	d	e					
VIGAS													
	C	25	4	43,00	0,30	0,30			43,60	174,40	3,556	620,13	VIGA EJE 1 PISO 21 Longitudinal
	L	25	4	2,70	0,20				2,90	11,64	2,988	31,42	VIGA EJE 1 PISO 21 Refuerzo
	I	22	12	4,40					4,40	52,80	2,888	157,76	VIGA EJE 1 PISO 21 Refuerzo
	I	20	6	4,40					4,40	26,40	2,469	65,19	VIGA EJE 1 PISO 21 Refuerzo
	O	10	243	0,20	0,40	0,40	0,20	0,12	1,32	369,36	0,617	228,01	VIGA EJE 1 PISO 21 Estribos
	C	25	4	43,00	0,30	0,30			43,60	174,40	3,556	620,13	VIGA EJE 2 PISO 21 Longitudinal
	L	25	4	2,70	0,20				2,90	11,64	2,988	31,42	VIGA EJE 2 PISO 21 Refuerzo
	I	25	12	4,40					4,40	52,80	3,556	187,75	VIGA EJE 2 PISO 21 Refuerzo
	I	20	6	4,40					4,40	26,40	2,469	65,19	VIGA EJE 2 PISO 21 Refuerzo
	O	10	243	0,20	0,40	0,40	0,20	0,12	1,32	369,36	0,617	228,01	VIGA EJE 2 PISO 21 Estribos
	C	25	4	30,00	0,30	0,30			30,60	122,40	3,556	435,23	VIGA EJE A PISO 21 Longitudinal
	L	25	6	3,05	0,20				3,25	20,10	3,556	71,47	VIGA EJE A PISO 21 Refuerzo
	I	25	6	4,45					4,45	20,70	3,556	94,94	VIGA EJE A PISO 21 Refuerzo
	I	25	6	3,80					3,80	22,80	3,556	81,07	VIGA EJE A PISO 21 Refuerzo
	O	10	166	0,20	0,50	0,50	0,20	0,12	1,32	285,52	0,617	176,28	VIGA EJE A PISO 21 Estribo
	L	25	8	14,92	0,20				14,22	113,76	3,556	404,51	VIGA EJE D PISO 21 Longitudinal
	L	25	8	3,05	0,20				3,25	26,80	3,556	95,29	VIGA EJE D PISO 21 Refuerzo
	L	20	2	3,05	0,24				3,29	6,58	2,469	18,25	VIGA EJE D PISO 21 Refuerzo
	I	20	8	4,60					4,60	36,80	2,469	98,87	VIGA EJE D PISO 21 Refuerzo
	I	22	12	4,60					4,60	55,20	2,988	164,93	VIGA EJE D PISO 21 Refuerzo
	I	25	10	3,50					3,50	36,00	3,556	128,01	VIGA EJE D PISO 21 Refuerzo
	I	25	6	3,50					3,50	21,00	3,556	74,67	VIGA EJE D PISO 21 Refuerzo
	O	10	185	0,20	0,50	0,50	0,20	0,12	1,32	318,20	0,617	196,43	VIGA EJE D PISO 21 Estribo
COLUMNAS													
	O	10	254	0,20	0,72	0,72	0,20	0,2	2,84	522,24	0,617	322,39	COLUMNA PISO 21 Estribo
	I	18	28	4,70					4,70	131,60	2,000	265,22	COLUMNA PISO 21 Acero Long.
TOTAL:											4871,72		
TOTAL + 5% (Kg):											5115,31		



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

TEMA:
Evaluación de hormigones de alto desempeño en Guayaquil y su impacto en el análisis y diseño de edificaciones

CONTIENE: Hormigón Conveccional
Diseño Estructural - Piso 21

AUTORES:

Beltrán Mendoza, Melby Arbat

Mora Ray, Mariana Mercedes

TUTOR:

Ing. Ponce Viquez, Guillermo Alfonso

FECHA:

ENE/2024

ESCALA:

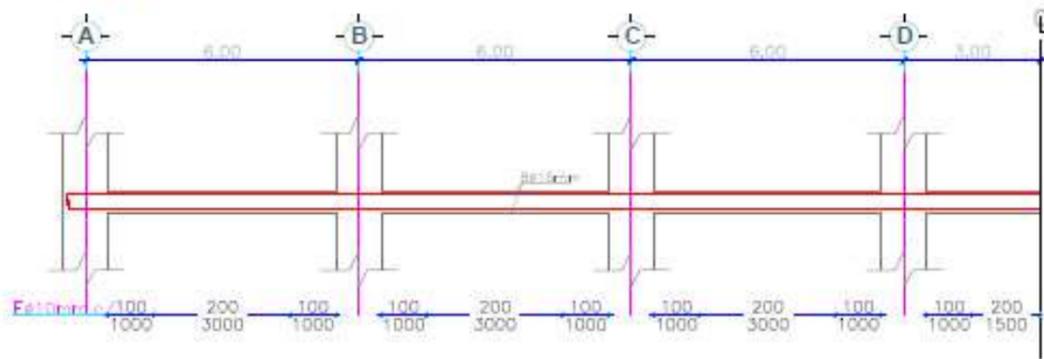
Indicada

LAMINA:

E 3/4

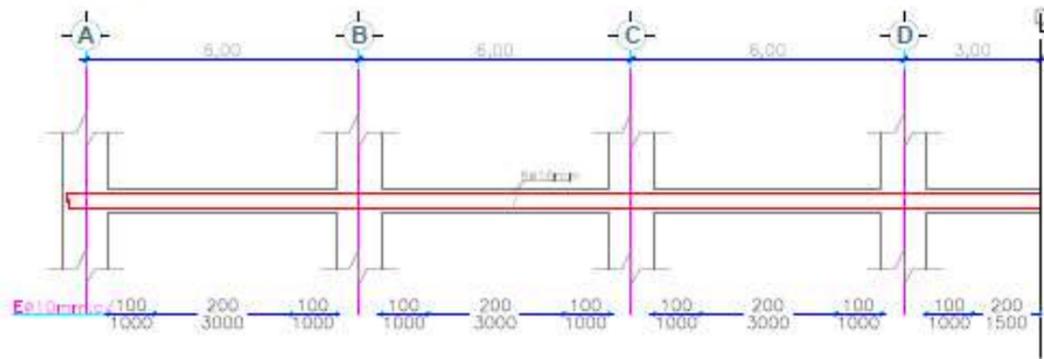
VIGA PISO 1 - EJE 1 400x500

Escala 1:100



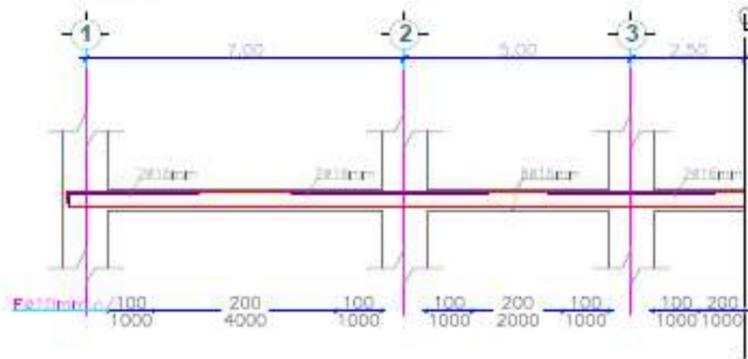
VIGA PISO 1 - EJE 2 400x500

Escala 1:100



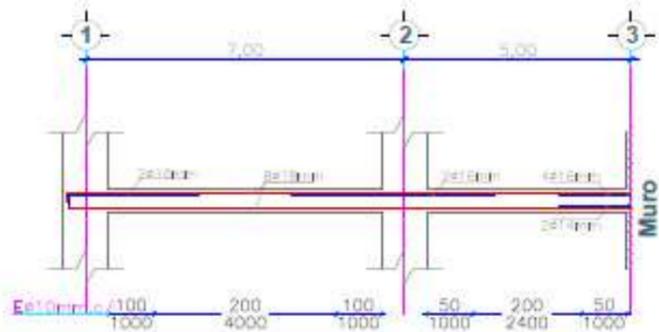
VIGA PISO 1 - EJE A 400x500

Escala 1:100



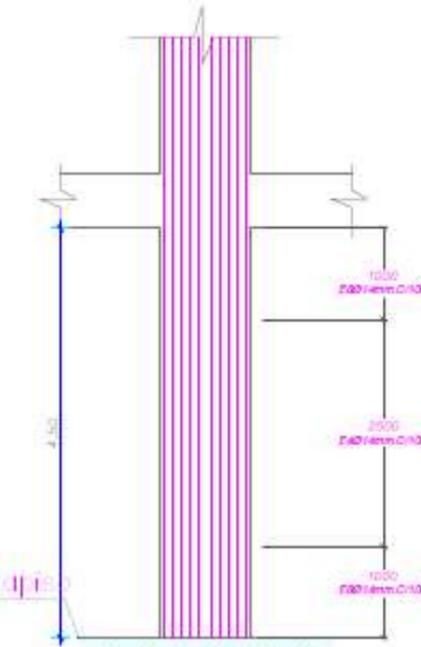
VIGA PISO 1 - EJE D 400x500

Escala 1:100



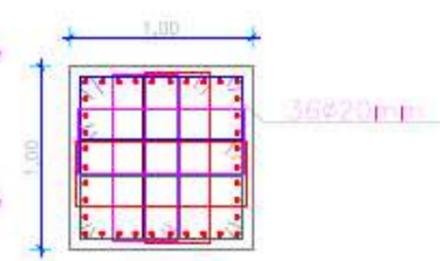
Corte elevación Columna Piso 1

Escala 1:50



Corte Columna 1,00x1,00m

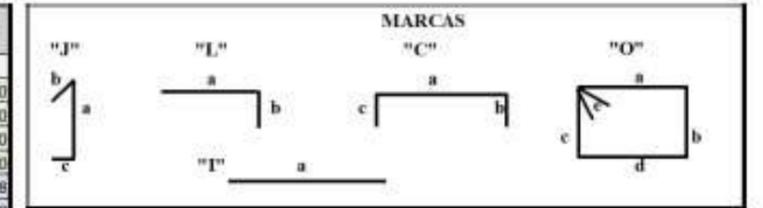
Escala 1:25



PLANILLA DE ACERO DE REFUERZO

Mc.	Tipo	Ø mm.	No. Cortes	Longitud (metro)					Longitud desarrollo del corte	Longitud total	Peso kg/ml	PESO kg	Observaciones
				a	b	c	d	e					
VEGAS													
	C	16	8	42,80	0,18	0,19			43,18	345,47	1,580	545,97	VIGA EJE 1 PISO 1 Longitudinal
	O	10	252	0,38	0,48	0,40	0,38	0,12	1,52	383,64	0,617	236,46	VIGA EJE 1 PISO 1 Entzibus
	C	16	8	42,80	0,18	0,19			43,18	345,47	1,580	545,97	VIGA EJE 2 PISO 1 Longitudinal
	O	10	252	0,38	0,48	0,40	0,38	0,12	1,52	383,64	0,617	236,46	VIGA EJE 2 PISO 1 Entzibus
	C	16	8	25,44	0,18	0,19			26,22	241,79	1,580	382,12	VIGA EJE A PISO 1 Longitudinal
	L	16	4	2,90	0,18						1,580		VIGA EJE A PISO 1 Refuerzo
	I	16	8	4,35							1,580		VIGA EJE A PISO 1 Refuerzo
	O	10	172	0,38	0,58	0,50	0,38	0,12	1,72	295,84	0,617	182,83	VIGA EJE A PISO 1 Entzibus
	L	18	14	13,75	0,22				13,57	217,06	2,800	434,14	VIGA EJE D PISO 1 Longitudinal
	L	16	4	2,90	0,18				3,89	12,37	1,580	19,55	VIGA EJE D PISO 1 Longitudinal
	I	16	4	4,50					4,50	18,00	1,580	26,45	VIGA EJE D PISO 1 Refuerzo
	I	16	8	2,40					2,40	19,20	1,580	30,34	VIGA EJE D PISO 1 Refuerzo
	I	14	4	2,40					2,40	9,60	1,210	11,82	VIGA EJE D PISO 1 Refuerzo
	O	10	186	0,38	0,58	0,50	0,38	0,12	1,72	319,92	0,617	197,49	VIGA EJE D PISO 1 Entzibus
COLUMNAS													
	O	14	176	0,38	0,92	0,92	0,38	0,2	2,64	464,64	1,210	562,19	COLUMNA PISO 1 Entzibus
	O	14	104	0,38	0,92	0,92	0,38	0,2	2,64	274,56	1,210	332,20	COLUMNA PISO 1 Entzibus
	I	20	36	5,10					5,10	183,60	2,469	453,36	COLUMNA PISO 1 Acero Long.
TOTAL:											4198,94		
TOTAL + 5% (Kg):											4408,88		

Cantidades de hormigón	b (m)	h (m)	l (m)	Total (m3)
Vigas				
Piso 1 Eje 1	0,40	0,50	43,00	8,60
Piso 1 Eje 2	0,40	0,50	33,00	6,60
Piso 1 Eje A	0,40	0,50	30,00	6,00
Piso 1 Eje D	0,40	0,50	25,00	5,00
Piso 11 Eje 1	0,40	0,50	42,90	8,58
Piso 11 Eje 2	0,40	0,50	32,90	6,58
Piso 11 Eje A	0,40	0,50	29,90	5,98
Piso 11 Eje D	0,40	0,50	24,90	4,98
Piso 21 Eje 1	0,40	0,50	42,80	8,56
Piso 21 Eje 2	0,40	0,50	32,80	6,56
Piso 21 Eje A	0,40	0,50	29,80	5,96
Piso 21 Eje D	0,40	0,50	24,80	4,96
Piso 31 Eje 1	0,40	0,50	42,80	8,56
Piso 31 Eje 2	0,40	0,50	32,80	6,56
Piso 31 Eje A	0,40	0,50	29,80	5,96
Piso 31 Eje D	0,40	0,50	24,80	4,96
Columnas				
Piso 1	1,00	1,00	4,50	4,50
Piso 11	0,80	0,80	3,50	2,24
Piso 21	0,60	0,60	3,50	1,26
Piso 31	0,40	0,40	3,50	0,56
Total (m3)				112,96



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

TEMA: Evaluación de hormigones de alto desempeño en Guayaquil y su impacto en el análisis y diseño de edificaciones

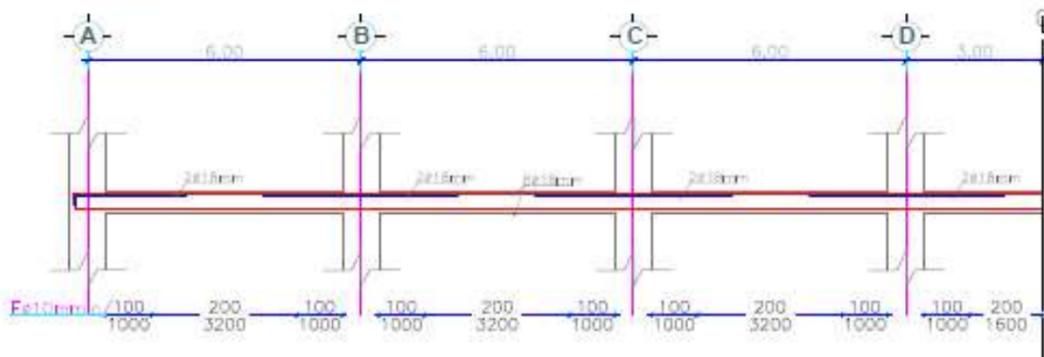
CONTIENE: Hormigón Alto Desempeño
Diseño Estructural - Piso 1

AUTORES: Balbín Mendoza, Wilby Añat
TUTOR: Ing. Ponce Viquez, Guillermo Albarracín
Mora Ray, Mariana Mercedes

FECHA: ENE/2024
ESCALA: Indicada
LAMINA: E 1/4

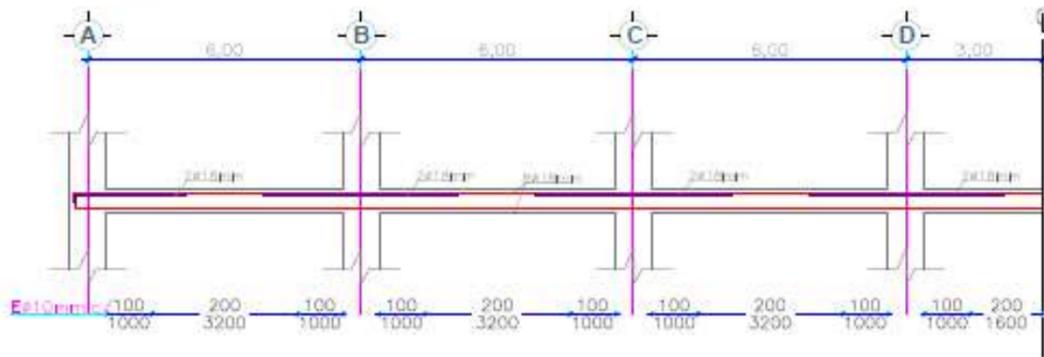
VIGA PISO 11 - EJE 1 400x500

Escala 1:100



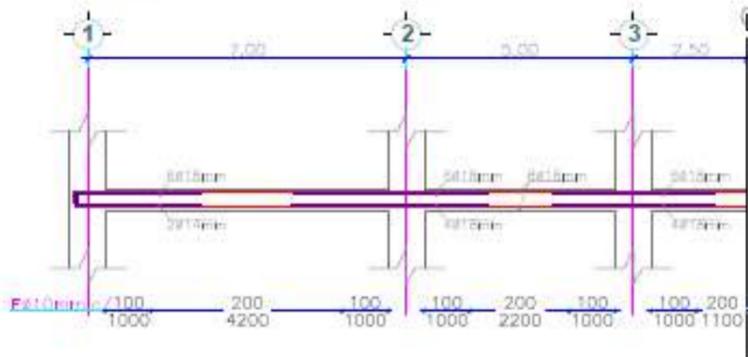
VIGA PISO 11 - EJE 2 400x500

Escala 1:100



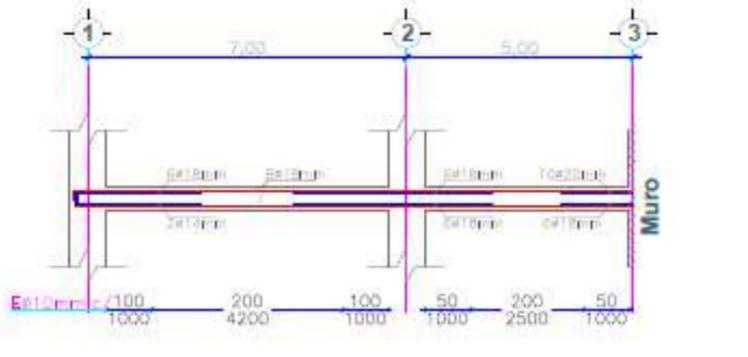
VIGA PISO 11 - EJE A 400x500

Escala 1:100



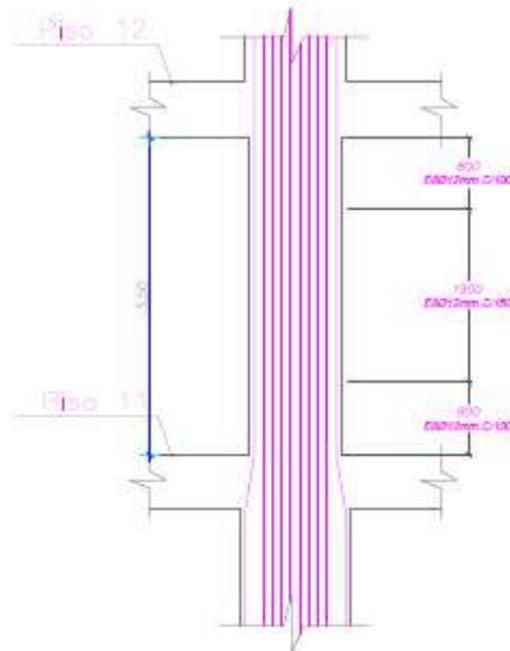
VIGA PISO 11 - EJE D 400x500

Escala 1:100



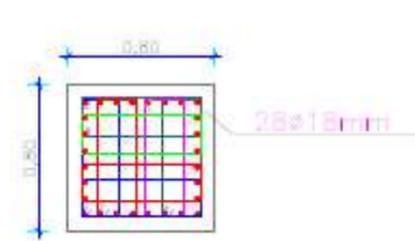
Corte elevación Columna Piso 11

Escala 1:50



Corte Columna 0,80x,0,80m

Escala 1:25



PLANILLA DE ACERO DE REFUERZO

Mc.	Tipo	Ø mm.	No. Cortes	Longitud (metro)					Longitud desarrollo del corte	Longitud total	Peso kg/ml	PESO kg	Observaciones
				a	b	c	d	e					
VIGAS													
	C	18	8	42.70	0.22	0.22			43.13	145.66	2.000	698.16	VIGA EJE 1 PISO 11 Longitud
	L	18	4	2.45	0.22				2.67	10.68	2.000	21.33	VIGA EJE 1 PISO 11 Refuerzo
	I	18	12	4.30					4.30	51.60	2.000	103.21	VIGA EJE 1 PISO 11 Refuerzo
	O	10	259	0.30	0.48	0.48	0.30	0.12	1.52	293.68	8.817	243.03	VIGA EJE 1 PISO 11 Estribos
	C	18	8	42.70	0.22	0.22			43.13	145.66	2.000	698.16	VIGA EJE 2 PISO 11 Longitud
	L	18	4	2.45	0.22				2.67	10.68	2.000	21.33	VIGA EJE 2 PISO 11 Refuerzo
	I	18	12	4.30					4.30	51.60	2.000	103.21	VIGA EJE 2 PISO 11 Refuerzo
	O	10	259	0.30	0.48	0.48	0.30	0.12	1.52	293.68	8.817	243.03	VIGA EJE 2 PISO 11 Estribos
	L	18	8	29.70	0.22				29.92	239.33	2.000	478.69	VIGA EJE A PISO 11 Longitud
	L	18	12	2.80	0.22				3.02	36.19	2.000	72.39	VIGA EJE A PISO 11 Refuerzo
	L	14	4	2.80	0.17				2.97	11.87	1.210	14.36	VIGA EJE A PISO 11 Refuerzo
	I	18	20	4.30					4.30	86.00	2.000	172.01	VIGA EJE A PISO 11 Refuerzo
	I	18	20	3.60					3.60	72.00	2.000	144.01	VIGA EJE A PISO 11 Refuerzo
	O	10	177	0.30	0.50	0.50	0.30	0.12	1.72	304.44	8.817	187.94	VIGA EJE A PISO 11 Estribo
	L	18	16	13.25	0.22				13.47	215.46	2.000	430.94	VIGA EJE D PISO 11 Longitud
	L	18	12	2.80	0.22				3.02	36.19	2.000	72.39	VIGA EJE D PISO 11 Refuerzo
	L	14	4	2.80	0.17				2.97	11.87	1.210	14.36	VIGA EJE D PISO 11 Refuerzo
	I	18	24	4.40					4.40	105.60	2.000	211.21	VIGA EJE D PISO 11 Refuerzo
	I	20	20	2.60					2.60	52.00	2.469	128.40	VIGA EJE D PISO 11 Refuerzo
	I	18	12	2.60					2.60	31.20	2.000	62.40	VIGA EJE D PISO 11 Refuerzo
	O	10	189	0.30	0.50	0.50	0.30	0.12	1.72	325.68	8.817	288.68	VIGA EJE D PISO 11 Estribo
COLUMNAS													
	O	12	250	0.72	0.20	0.20	0.72	0.14	3.1	783.60	8.899	705.47	COLUMNA PISO 11 Estribo
	L	18	28	36	4.70				9.80	2.000	0.00	0.00	COLUMNA PISO 11 Ancho Long
TOTAL:											8016.69		
TOTAL + 5% (kg):											5261.23		



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

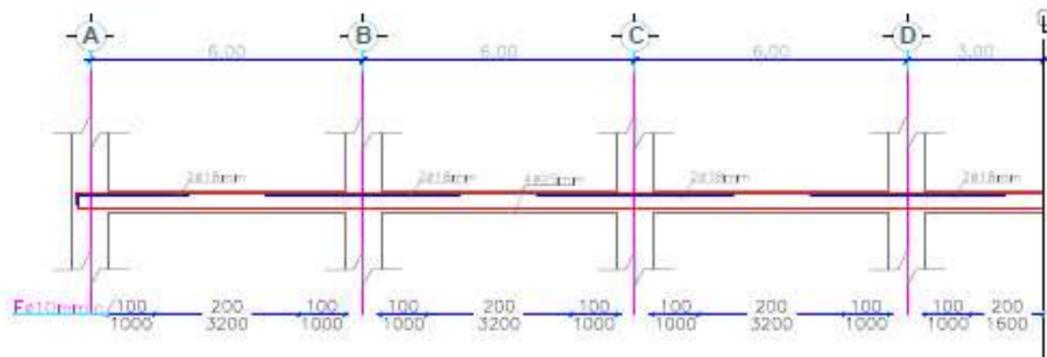
TEMA:
Evaluación de hormigones de alto desempeño en Guayaquil y su impacto en el análisis y diseño de edificaciones

CONTIENE: Hormigón Alto Desempeño
Diseño Estructural - Piso 11

AUTORES: Beltrán Mendoza, Wilby Arístiz	TUTOR: Ing. Porco Viquez, Guillermo Alfonso
FECHA: ENE/2024	ESCALA: Indicada
LAMINA: E 2/4	

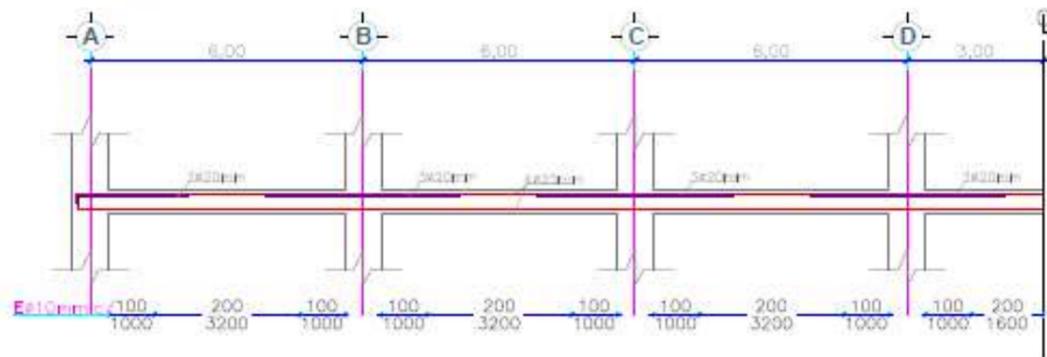
VIGA PISO 21 - EJE 1 400x500

Escala 1:100



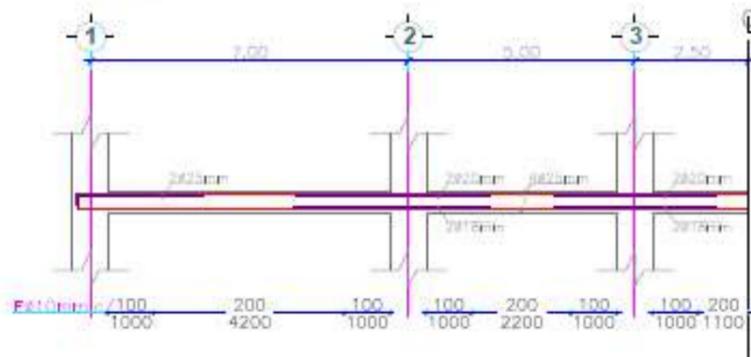
VIGA PISO 21 - EJE 1 400x500

Escala 1:100



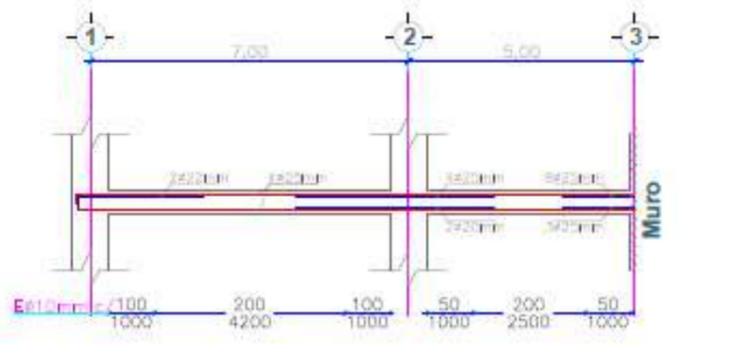
VIGA PISO 21 - EJE A 400x500

Escala 1:100



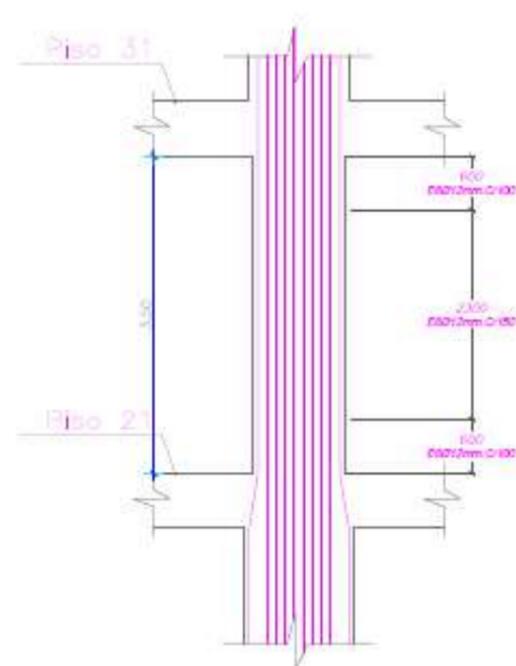
VIGA PISO 21 - EJE D 400x500

Escala 1:100



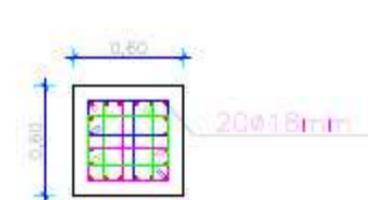
Corte elevación Columna Piso 21

Escala 1:50



Corte Columna 0,60x0,60m

Escala 1:25



PLANILLA DE ACERO DE REFUERZO

Me.	Tipo	Ø mm.	No. Cortes	Longitud (metro)					Longitud desarrollo del corte	Longitud total	Peso kg/ml	PESO kg	Observaciones
				a	b	c	d	e					
VIGAS													
	C	25	4	42.70	0.30	0.30			43.30	173.20	3.556	615.86	VIGA EJE 1 PISO 21 Longitudal
	L	18	4	2.45	0.22				2.67	10.66	2.000	21.33	VIGA EJE 1 PISO 21 Refuerzo
	I	18	12	4.30					4.30	51.60	2.000	103.21	VIGA EJE 1 PISO 21 Refuerzo
	O	10	299	0.30	0.40	0.40	0.30	0.12	1.52	393.68	0.617	243.03	VIGA EJE 1 PISO 21 Entibos
	C	25	4	42.70	0.30	0.30			43.30	173.20	3.556	615.86	VIGA EJE 2 PISO 21 Longitudal
	L	20	6	2.45	0.24				2.69	16.14	2.469	39.85	VIGA EJE 2 PISO 21 Refuerzo
	I	20	18	4.30					4.30	77.40	2.469	191.12	VIGA EJE 2 PISO 21 Refuerzo
	O	10	299	0.30	0.40	0.40	0.30	0.12	1.52	393.68	0.617	243.03	VIGA EJE 2 PISO 21 Entibos
	L	25	4	29.70	0.30				30.00	120.00	3.556	426.69	VIGA EJE A PISO 21 Longitudal
	L	25	4	2.80	0.30				3.10	12.40	3.556	44.09	VIGA EJE A PISO 21 Refuerzo
	I	20	4	4.30					4.30	17.20	2.469	42.47	VIGA EJE A PISO 21 Refuerzo
	I	18	4	4.30					4.30	17.20	2.000	34.40	VIGA EJE A PISO 21 Refuerzo
	I	20	4	3.60					3.60	14.40	2.469	35.56	VIGA EJE A PISO 21 Refuerzo
	I	18	4	3.60					3.60	14.40	2.000	28.80	VIGA EJE A PISO 21 Refuerzo
	O	10	177	0.30	0.50	0.50	0.30	0.12	1.72	304.44	0.617	187.94	VIGA EJE A PISO 21 Entibo
	L	25	8	13.25	0.30				13.55	108.40	3.556	385.45	VIGA EJE D PISO 21 Longitudal
	L	22	4	2.80	0.20				3.00	12.20	2.888	36.62	VIGA EJE D PISO 21 Refuerzo
	I	25	8	4.40					4.40	35.20	3.556	125.16	VIGA EJE D PISO 21 Refuerzo
	I	20	4	4.40					4.40	17.60	2.469	43.46	VIGA EJE D PISO 21 Refuerzo
	I	25	22	2.60					2.60	57.20	3.556	203.39	VIGA EJE D PISO 21 Refuerzo
	O	10	189	0.30	0.50	0.50	0.30	0.12	1.72	325.88	0.617	200.68	VIGA EJE D PISO 21 Entibo
COLUMNAS													
	O	12	42	0.19	0.52	0.52	0.19	0.2	1.62	106.44	0.889	89.20	COLUMNA PISO 21 Entibo
	O	14	31	0.27	0.52	0.52	0.27	0.2	1.78	55.18	1.210	66.77	COLUMNA PISO 21 Entibo
	I	18	20	4.70					4.70	94.00	2.000	188.01	COLUMNA PISO 21 Acero Long.
TOTAL:											4212.07		
TOTAL + 5% (Kg):											4422.67		



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

TEMA:
Evaluación de hormigones de alto desempeño en
Guayaquil y su impacto en el análisis y diseño de
edificaciones

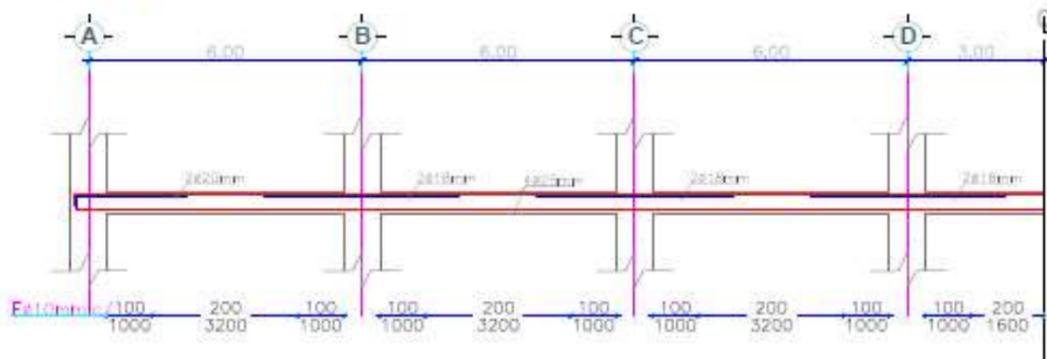
CONTIENE: Hormigón Alto Desempeño
Diseño Estructural - Piso 21

AUTORES: Beltrán Mendoza, Wilby Arbal
Mora Rey, Mariana Mercedes
TUTOR: Ing. Ponzo Viqueza, Guillermo Alfonso

FECHA: ENE/2024
ESCALA: Indicada
LAMINA: E 3/4

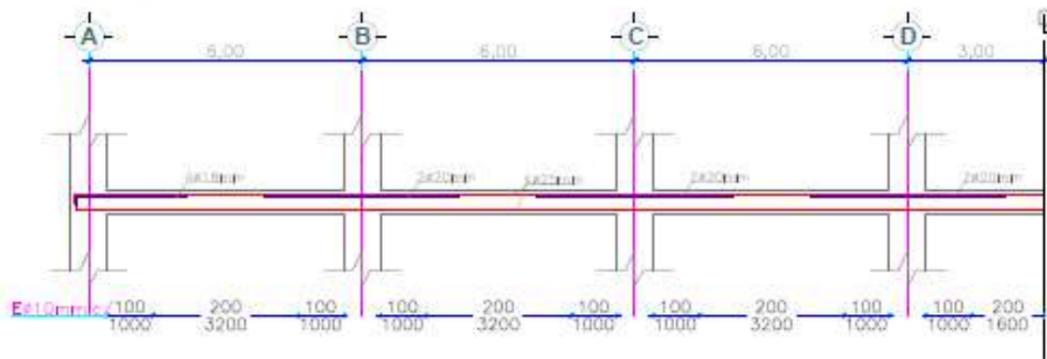
VIGA PISO 31 - EJE 1 400x500

Escala 1:100



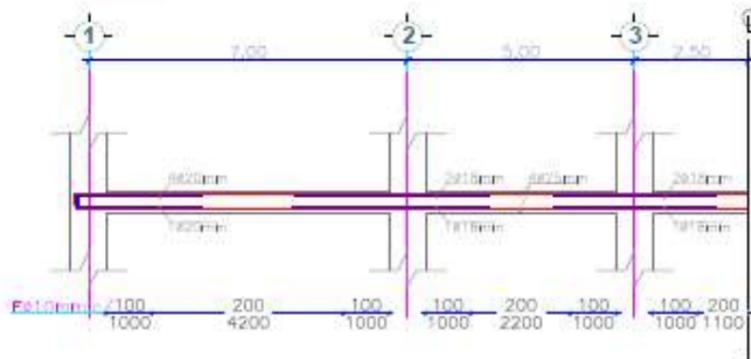
VIGA PISO 31 - EJE 2 400x500

Escala 1:100



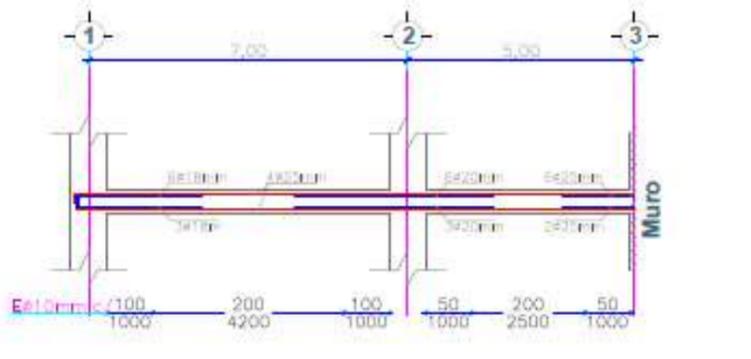
VIGA PISO 31 - EJE A 400x500

Escala 1:100



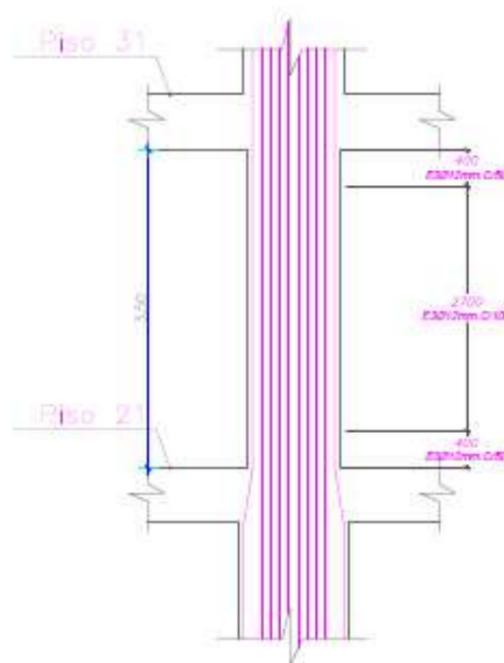
VIGA PISO 31 - EJE D 400x500

Escala 1:100



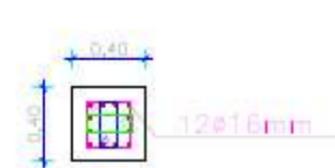
Corte elevación Columna Piso 31

Escala 1:50



Corte Columna 0,40x0,40m

Escala 1:25



PLANILLA DE ACERO DE REFUERZO

Me.	Tipo	Ø mm.	No. Cortes	Longitud (metro)					Longitud desarrollo del corte	Longitud total	Peso kg/ml	PESO kg	Observaciones
				a	b	c	d	e					
VIGAS													
	C	25	4	42.70	0.34	0.34			43.30	173.20	3.556	615.86	VIGA EJE 1 PISO 31 Longitudinal
	L	20	4	2.45	0.24				2.69	10.76	2.469	26.57	VIGA EJE 1 PISO 31 Refuerzo
	I	18	12	4.30					4.30	51.60	2.000	103.21	VIGA EJE 1 PISO 31 Refuerzo
	O	10	299	0.30	0.44	0.44	0.30	0.12	1.52	393.68	0.617	243.03	VIGA EJE 1 PISO 31 Entibo
	C	25	4	42.70	0.34	0.34			43.30	173.20	3.556	615.86	VIGA EJE 2 PISO 31 Longitudinal
	L	18	8	2.45	0.22				2.67	21.33	2.000	42.66	VIGA EJE 2 PISO 31 Refuerzo
	I	20	12	4.30					4.30	51.60	2.469	127.42	VIGA EJE 2 PISO 31 Refuerzo
	O	10	279	0.30	0.44	0.44	0.30	0.12	1.52	393.68	0.617	243.03	VIGA EJE 2 PISO 31 Entibo
	L	25	4	29.70	0.34				30.00	120.00	3.556	426.69	VIGA EJE A PISO 31 Longitudinal
	L	20	14	2.80	0.24				3.04	30.40	2.469	75.07	VIGA EJE A PISO 31 Refuerzo
	I	18	6	4.30					4.30	25.80	2.000	51.60	VIGA EJE A PISO 31 Refuerzo
	I	18	6	3.60					3.60	21.60	2.000	43.20	VIGA EJE A PISO 31 Refuerzo
	O	10	177	0.30	0.50	0.50	0.30	0.12	1.72	304.44	0.617	187.94	VIGA EJE A PISO 31 Entibo
	L	25	8	13.25	0.34				13.55	108.40	3.556	385.45	VIGA EJE D PISO 31 Longitudinal
	L	18	12	2.80	0.22				3.02	36.19	2.000	72.39	VIGA EJE D PISO 31 Refuerzo
	L	18	6	2.80	0.22				3.02	18.10	2.000	36.19	VIGA EJE D PISO 31 Refuerzo
	I	20	18	4.40					4.40	79.20	2.469	195.57	VIGA EJE D PISO 31 Refuerzo
	I	25	18	2.60					2.60	46.80	3.556	167.92	VIGA EJE D PISO 31 Refuerzo
	O	10	189	0.30	0.50	0.50	0.30	0.12	1.72	325.08	0.617	200.68	VIGA EJE D PISO 31 Entibo
COLUMNAS													
	O	12	38	0.32	0.32	0.32	0.32	0.2	1.48	56.24	0.889	49.99	COLUMNA PISO 31 Entibo
	O	12	76	0.10	0.32	0.32	0.10	0.2	1.04	79.04	0.889	70.26	COLUMNA PISO 31 Entibo
	I	16	12	4.70					4.70	56.40	3.580	89.13	COLUMNA PISO 31 Acero Long.
TOTAL:											4049.72		
TOTAL + 5% (kg):											4252.20		



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

TEMA:
Evaluación de hormigones de alto desempeño en
Guayaquil y su impacto en el análisis y diseño de
edificaciones

CONTIENE: Hormigón Alto Desempeño
Diseño Estructural - Piso 31

AUTORES:
Belbén Wardoza, Melby Añiel
More Ray, Mariana Mercedes

TUTOR:
Ing. Ponzo Viquez, Guillermo Alfonso

FECHA:
ENE/2024

ESCALA:
Indicada

LAMINA:
E 4/4

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Nosotras, **Beltrán Mendoza, Meiby Arlhet**, con C.C: **#1206460295** y **Mora Rey, Marena Mercedes**, con C.C: **#0704870773** autores del trabajo de titulación: **Evaluación de hormigones de alto desempeño en Guayaquil y su impacto en el análisis y diseño de edificaciones**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

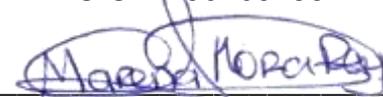
1.- Declaramos tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al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

2.- Autorizamos 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, 9 de febrero de 2024

f. 

Nombre: **Beltrán Mendoza, Meiby Arlhet**
C.C: **1206460295**

f. 

Nombre: **Mora Rey, Marena Mercedes**
C.C: **0704870773**

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	Evaluación de hormigones de alto desempeño en Guayaquil y su impacto en el análisis y diseño de edificaciones.		
AUTORES	Beltrán Mendoza, Meiby Arlhet Mora Rey, Marena Mercedes		
REVISOR/TUTOR	Ing. Ponce Vásquez, Guillermo Alfonso, M.Sc		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Ingeniería		
CARRERA:	Ingeniería Civil		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero Civil		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	9 de febrero del 2024	No. DE PÁGINAS:	114
ÁREAS TEMÁTICAS:	Innovación, Construcción, Diseño, Concreto armado		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Hormigón, Estructural, Eficiencia, Construcción, Sostenibilidad, Desempeño		
RESUMEN:	<p>Esta investigación se enfoca en la evaluación del impacto del Hormigón de Alto Desempeño (HAD) en el diseño estructural de edificaciones en Guayaquil, mediante la evaluación de propiedades mecánicas y ensayos de vigas para el análisis de la capacidad a tensión. Los ensayos se llevaron a cabo en el Centro de Innovación de Holcim, siguiendo las normativas INEN y ASTM. Los resultados indican propiedades mecánicas superiores del HAD, destacando una resistencia a la compresión optimizada, módulo de elasticidad mejorado y coeficiente de Poisson optimizado. En un proyecto de 40 niveles, se logra una eficiencia destacada en el uso de materiales, con notables reducciones en las cantidades de hormigón y acero, generando ahorros significativos en costos de acero. El alcance abarcó ensayos de laboratorio y el diseño comparativo de una edificación. La metodología incluyó la caracterización detallada de parámetros del hormigón y un análisis estructural comparativo. La eficiencia del HAD reconfigura paradigmas en ingeniería, consolidándose como un componente esencial en la construcción sostenible. Como recomendación clave, se propone la adaptación de dimensiones y la implementación de monitoreo a largo plazo para perfeccionar aún más el uso del HAD en futuros proyectos.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-99 030 9224; +593-99 383 7000	E-mail: ;marenamora97@gmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Clara Glas Cevallos		
	Teléfono: +593-4-2206956		
	E-mail: clara.glas@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):			