Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Diseño Integral de Vivienda Social de 2 Pisos Implementando Parcialmente Impresión de Hormigón 3D

INGE-2692

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Civil

Presentado por:

Paul Andrés Franco García

Pedro Carlos Herrera Mora

Guayaquil - Ecuador

Año: 2024

Dedicatoria

El presente proyecto lo dedico a mi papá, quien siempre fue mi gran ejemplo de sacrificio, amor, integridad y trabajo. A pesar de no estar físicamente aquí conmigo, espero de todo corazón hacerte sentir orgulloso en el cielo. A mi mamá, quien con su amor me ha acompañado durante toda mi vida. A mi tía Sandra, quien me enseñó tanto y es mi gran modelo de perseverancia, lucha y fe.

Paul Andrés Franco García

Dedicatoria

El presente proyecto lo dedico a Dios, mi familia y personas especiales que han hecho que la formación académica, profesional y personal siga creciendo y estén alineados con el mismo objetivo.

Pedro Carlos Herrera Mora

Agradecimientos

Mi más sincero agradecimiento a toda mi familia y amigos, quienes han sido un pilar fundamental en todo aspecto de mi vida. Gracias por todo su apoyo. Un agradecimiento especial a Paula, por todo su amor, cariño, paciencia y entendimiento. Gracias a todos por siempre estar y nunca dejarme caer. Gracias a mi querida Ing. Sammy, quien ha sido mi gran mentora a lo largo de mi carrera universitaria.

Paul Andrés Franco García

Agradecimientos

Deseo agradecer a Dios, por las oportunidades que me ha brindado durante el transcurso de esta preparación académica. A mis Padres y hermanos por el constante apoyo incondicional que han tenido para conmigo. A las personas especiales que han aportado con mucho durante todo este trayecto, han sido muy significativos. A los docentes de la ESPOL que han dejado una marca muy alta en cuanto a la perspectiva de la carrera y a las empresas involucradas.

Pedro Carlos Herrera Mora

Declaración Expresa

Nosotros Pedro Carlos Herrera Mora y Paul Andrés Franco García acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 17 de octubre del 2024.

Paul Andrés Franco García

Pedro Carlos Herrera Mora

Evaluadores

Firmado electrónicamente por:
LENIN ALEXANDER
DENDER AGUILAR

Lenin Alexander Dender Aguilar

Nombre del Profesor

Profesor de Materia

Firmado electrónicamente por:
SAMANTHA ELIZABETH
HIDALGO ASTUDILLO

Samantha Elizabeth Hidalgo Astudillo

Nombre del Profesor

Tutor de proyecto

Resumen

El déficit de vivienda que existe en Ecuador es una realidad que representa un grave problema para la sociedad, ya que esto trae consigo problemas mucho más profundos para las personas. Para darle solución a esta problemática se propuso el diseño una vivienda de interés social de dos pisos cuya configuración estructural se compone de pórticos de hormigón armado. Además, se planteó la utilización de la tecnología de hormigón impreso en 3D como una oportunidad de cambiar la industria de la construcción. Con este fin se llevaron a cabo diversas pruebas de laboratorio para elaborar el diseño de hormigón y, además, se analizó estructuralmente la edificación mediante software para calcular las armaduras de acero de los elementos que la componen. Gracias a la experimentación se logró diseñar una mezcla de hormigón que incluye materiales que normalmente son residuos de otras industrias. Adicionalmente, se encontró que la disminución de tiempo de construcción al utilizar la tecnología 3DPC es de alrededor del 60% en comparación a la construcción de una vivienda tradicional. El resultado de esta investigación representa un valor agregado significativo para el desarrollo de esta nueva industria en el país y abre paso a futuras investigaciones acerca del tema.

Palabras Clave: déficit habitacional, tecnología constructiva, diseño estructural, innovación

Abstract

The housing deficit in Ecuador is a pressing issue that poses significant challenges for society. This problem leads to a multitude of deeper issues for individuals. To address this challenge, a design for a two-story social housing unit was proposed. The structural configuration of this unit is based on reinforced concrete frames. Additionally, the use of 3D printed concrete technology was explored to revolutionize the construction industry. To this end, various laboratory tests were conducted to develop the concrete mix design. Furthermore, a structural analysis of the building was carried out using software to calculate the steel reinforcement for its components. Through experimentation, a concrete mix was designed that incorporates materials typically considered waste from other industries. Moreover, it was found that construction time can be reduced by approximately 60% when using 3D printed concrete (3DPC) technology compared to traditional construction methods. The results of this research represent a significant contribution to the development of this new industry in the country and pave the way for future research on the subject.

Keywords: *housing deficit, construction technology, structural design, innovation*

Índice general

Resumen I
Abstract II
Índice general III
Abreviaturas VII
Simbología VIII
Índice de Figuras IX
Índice de tablas XI
ÍNDICE DE PLANOS XIII
Capítulo 1 1
1. Introducción 2
1.1 Antecedentes 3
1.2 Descripción del Problema 4
1.3 Justificación del Problema 4
1.4 Objetivos 6
1.4.1 Objetivo general 6
1.4.2 Objetivos específicos 6
Capítulo 2 8
2. MATERIALES Y MÉTODOS 9
2.1 Revisión de literatura 9
2.2 Área de estudio 11
2.3 Trabajo de campo y laboratorio 11
2.4 Análisis de datos 12
2.5 Análisis de alternativas 12
Capítulo 3 15
3. DISEÑOS Y ESPECIFICACIONES 16
3.1 Diseños 16
3.1.1 Diseño Arquitectónico 16

3.1.2 Materiales y propiedades 17
3.1.3 Análisis de cargas 18
3.1.4 Consideraciones Sísmicas 18
3.1.5 Modelado y análisis 21
3.1.6 Resultados del Análisis Sísmico 22
3.1.7 Diseño Estructural 25
3.1.8 Diseño de Cimentación 27
3.1.9 Diseño de Losa 37
3.1.10 Diseño de Columnas 40
3.2 Diseño de Mezcla de Hormigón 3DPC 44
3.3 Especificaciones Técnicas 51
3.3.1 Limpieza de Terreno 51
3.3.2 Replanteo y Trazado 51
3.3.3 Excavación y Desalojo 52
3.3.4 Relleno compactado con material de sitio 52
3.3.5 Hormigón para replantillo 53
3.3.6 Hormigón premezclado f'c=280 kg/cm^2 53
3.3.7 Hormigón premezclado f'c=210 kg/cm^2 54
3.3.8 Encofrado de madera 54
3.3.9 Varillas de acero corrugado Φ12 mm 55
3.3.10 Varillas de acero corrugado Φ10 mm 55
Capítulo 4 58
4. ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL 59
4.1 Descripción del proyecto 59
4.2 Línea base ambiental 59
4.2.1 Medio físico - químico inerte. 60
4.2.2 Medio Físico – Biótico 62
4.2.3 Medio social 63

4.3 Actividades del proyecto 63
4.4 Identificación de impactos ambientales 64
4.5 Valoración de impactos ambientales 67
4.6 Medidas de prevención/mitigación 71
Capítulo 5 72
5. PRESUPUESTO 73
5.1 Estructura Desglosada de Trabajo 73
5.2 Rubros y análisis de precios unitarios (fusión) 78
5.3 Descripción de cantidades de obra (Revisar) 82
5.3.1 Limpieza de Terreno 82
5.3.2 Replanteo y Trazado 82
Excavación y Desalojo 82
Relleno Compactado con Material de Sitio 82
CIMENTACION 83
Replantillo 83
Hormigón premezclado f'c=280 kg/cm2 83
Varillas de acero corrugado Φ12mm 83
Encofrado de madera 84
Varillas de acero corrugado Φ12mm 84
Varillas de acero corrugado Φ10mm 84
$\boldsymbol{Peso = 335\ Kg}$ 84
Varillas de acero corrugado Φ12mm 85
Varillas de acero corrugado Φ10mm 85
Varillas de acero corrugado Φ12mm 85
Varillas de acero corrugado Φ10mm 86
5.4 Valoración integral del costo del proyecto 86
5.5 Cronograma de obra 88
Capítulo 6 90

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 91
6.1 Conclusiones 91
6.2 Recomendaciones 91
Referencias 90
PLANOS Y ANEXOS 94

Abreviaturas

ESPOL Escuela Superior Politécnica del Litoral

ASTM American Society for Testing and Materials

ACI American Concrete Institute

NEC Norma Ecuatoriana de la Construcción}

INEC Instituto Nacional de Estadística y Censo

3DPC 3D Printed Concrete

Simbología

mil	Milésima de pulgada
m	Metro
Ton	Tonelada
Kg	Kilogramo
Cm	Centímetro
MPa	Megapascal
N	Newton
KN	Kilo Newton

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 *Ubicación geográfica del sitio de estudio* 11
Figura 2 *Planta arquitectónica – Planta baja* 16
Figura 3 *Planta arquitectónica – Planta Alta* 17
Figura 4 *Espectro de aceleración* 20
Figura 5 *Modelo estructural en software* 21
Figura 6 *Deriva de piso sismo estático en X* 23
Figura 7 *Deriva de piso sismo estático en Y* 24
Figura 8 *Revisión de demanda de acero longitudinal en cm* 25
Figura 9 *Demanda Refuerzo longitudinal* 26
Figura 10 *Capacidad de carga admisible del suelo* 27
Figura 11 *Predimensionamiento de la zapata aislada* 30
Figura 12 *Vista transversal de zapata aislada* 36
Figura 13 *Detalle en planta del armado de la zapata aislada* 37
Figura 14 *Diseño de losa en programa estructural, verificación* 38
Figura 15 *Separación de estribos en la columna* 43
Figura 16 *Detalle de Columna de Hormigón Armado* 44
Figura 17 *Curva granulométrica de Molienda Triturada* 45
Figura 18 *Curva granulométrica de Arena Natural de Río* 45
Figura 19 *Flujo del hormigón 3DPC* 47
Figura 20 *Diferentes Perspectivas del modelo en Rhino 8* 47
Figura 21 *Diseño del proceso de voxelización dentro del complemento Grasshopper* 48
Figura 22 *Simulación de impresión de hormigón 3D Stress* 49
Figura 23 *Simulación de impresión de hormigón 3D Undulation* 49
Figura 24 *Simulación de impresión de hormigón 3D Stress Falla* 50
Figura 25 *Simulación de impresión de hormigón en 3D Undulation falla* 50
Figura 26 *Mapa de uso de suelo Guayaquil 2019-2022* 62
Figura 27 *Matriz de Leopold para EIA del proyecto* 70
Figura 28 *Etapas del proyecto* 73
Figura 29 *Fase de Planificación del Proyecto* 74
Figura 30 *Fase de Diseño del Proyecto* 75
Figura 31 *Fase de Construcción del Proyecto* 76

Figura 32 *Fase de Acabados del Proyecto* 77
Figura 33 *Fase de Entrega del Proyecto* 78
Figura 34 *Diagrama de Gantt Cronograma del Proyecto* 89

Índice de tablas

Tabla 1 *Análisis de selección de alternativa de solución para la problemática* 14
Tabla 2 *Propiedades de los materiales* 17
Tabla 3 *Tabla de cargas aplicadas a la vivienda* 18
Tabla 4 *Características sísmicas del terreno en estudio* 19
Tabla 5 *Parámetros para espectro elástico de diseño* 19
Tabla 6 *Parámetros para espectro inelástico* 20
Tabla 7 *Periodos fundamentales del método 2, ETABS* 22
Tabla 8 *Periodos fundamentales del método 2, corregidos para diseño ETABS* 22
Tabla 9 *Verificación de irregularidades de planta y elevación por medio del software ETABS* . 22
Tabla 10 *Análisis de derivas de piso con software ETABS* 24
Tabla 11 *Análisis de viga planta alta* 25
Tabla 12 *Análisis de viga cubierta* 27
Tabla 13 *Cargas de diseño para la zapata aislada* 28
Tabla 14 *Combinaciones de carga para Servicio* 29
Tabla 15 *Combinaciones de carga para Diseño* 29
Tabla 16 *Verificación de esfuerzos generados por la zapata aislada* 31
Tabla 17 *Verificación de esfuerzos incluyendo fuerzas sísmicas* 31
Tabla 18 *Esfuerzos por cargas de Diseño* 32
Tabla 19 *Verificación de corte en B* 33
Tabla 20 *Verificación de corte en L* 33
Tabla 21 *Verificación de Corte Bidireccional* 34
Tabla 22 *Verificación de resistencia al aplastamiento* 35
Tabla 23 *Resultados de Diseño a Flexión de la Cimentación* 35
Tabla 24 *Dimensiones del paño de losa en estudio* 37
Tabla 25 *Deformaciones Máximas* 38
Tabla 26 *Demanda de Aceros LN2D* 39
Tabla 27 *Especificaciones de malla electrosoldada LN2D* 39
Tabla 28 *Requerimiento de varillas para columna* 41
Tabla 29 *Dosificación por m3 de Hormigón* 46
Tabla 30 *Propiedades del material de Mohr-Coulomb utilizada en el modelo numérico* 48

Tabla 31 *Actividades relevantes en la construcción del proyecto que son con causantes de impacto ambiental* 64
Tabla 32 *Ponderaciones usados en la matriz de Leopold* 67
Tabla 33 *Valoración de Impactos Ambientales finales en la matriz de Leopold* 68
Tabla 34 *Ánalisis de Precios Unitarios* 79
Tabla 35 *Presupuesto del proyecto* 87
Tabla 36 *Costo por metro cuadrado de construcción* 88

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1 Plano de Cimentación

PLANO 2 Planos Estructurales I

PLANO 3 Planos Estructurales II

Capítulo 1

1. INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción es uno de los sectores económicos más importantes en el mundo, esto implica una contribución del 10% a la economía global, una absorción del 40% de la energía mundial por los edificios y una responsabilidad del 50% de emisiones de CO2 al ambiente [1].

Las consecuencias de estos factores no son ajenas a repercusiones y cambios drásticos en el clima y ambiente en el Ecuador, por el contrario, actualmente se observa una gran cantidad de inconvenientes a nivel forestal e hidrológico. Los recientes incendios forestales en sectores de la Costa y Sierra del país, además de ríos totalmente secos o en su caudal mínimo son una advertencia de la naturaleza al sector de la construcción para tener cuidado de los recursos que se utilizan y de la cantidad de CO2 que se genera [2-3].

En la construcción tradicional se necesita madera para encofrados y agua para el concreto, curado de los elementos de hormigón y la pasta de cemento para dar acabados a las superficies. En el contexto de la actual crisis ambiental del país, estos recursos deben ser muy bien utilizados o focalizarse en actividades de primera necesidad tal como la agricultura. Una alternativa a la construcción tradicional es la impresión de hormigón 3D, la cual no requiere de encofrados y la cantidad de agua que necesita es mínima. Otro nombre por el cual se conoce a este tipo de construcción es; fabricación aditiva, debido a que en reemplazo del agua y exigencias en el sistema de bombeo para impresión requiere propiedades específicas para ser bombeable, extruíble y edificable. Otras características de este sistema de construcción imprimible son; la gran versatilidad en las formas que puede tener la construcción, lo que indica una flexibilidad creativa en el modelado de la estructura arquitectónica, los detalles finos y económicos en los acabados de la estructura debido a que en la mayoría de ocasiones sólo es necesario utilizar pintura de muy buena calidad, el tiempo de construcción es corto, países de Europa que ya han construido casas de 1 y 2 niveles han tenido un tiempo de construcción con un promedio de 24 horas, La eficiencia en el uso de materiales es notablemente alta, ya que la intervención humana

es mínima y la precisión de la impresora garantiza una dosificación exacta, reduciendo así los residuos generados. Finalmente, un aspecto muy importante en lo ambiental es la variedad de diseños de mezclas que se pueden desarrollar con material reciclado, como residuos de vidrio reciclado, escorias de alto horno, ceniza volante, entre otros [4-6].

Esta tesis tiene como objetivo diseñar una vivienda de 2 pisos con hormigón, en la cual una parte de la vivienda se diseñará de manera tradicional haciendo uso de la normativa ACI 318 y la NEC-SE-VIVIENDA. Otra parte de la vivienda se diseñará con hormigón impreso en 3D, este diseño de mezcla de hormigón para impresión 3D se hará con ayuda de simulaciones en softwares afines al modelado 3D, elementos finitos para el caso del material cementante y ensayos en laboratorio de hormigón con el fin de obtener las propiedades de este. Esto no sólo ahorrará recursos al momento de realizar las pruebas, sino que, se podrá visualizar de manera más clara el comportamiento del material al momento de ejecutarse la impresión. Así la vivienda será evaluada y comprobada a nivel estructural, incorporando esta tecnología de construcción avanzada para optimizar el diseño y la construcción.

1.1 Antecedentes

En el Ecuador, una de las problemáticas más persistentes es la falta de acceso a una vivienda digna, pues la mayoría de los proyectos que se desarrollan no se encuentran apegados a la realidad socioeconómica del ciudadano común. Según el censo del INEC en el año 2022 que se realizó en el país, este déficit de vivienda supera el 46% (2 338 944 viviendas). Dada esta seria problemática, resulta muy importante comenzar a desarrollar proyectos que se encuentren al alcance de todos los ciudadanos y que sean amigables con el medio ambiente.

Por otro lado, la impresión 3D representa una técnica de construcción que disminuirá mucho el tiempo en que se construye una vivienda, reduciendo así los costos que implica el desarrollo

de este tipo de proyectos. En la realidad actual del país, esta tecnología aún no se encuentra en el mercado, sin embargo, se puede observar realidades de países comparables con Ecuador, tales como: Colombia, México. En estos países, esta tecnología está ganando terreno de manera bastante acelerada, llegando a imprimir casas enteras.

1.2 Descripción del Problema

En el Ecuador, una de las problemáticas más persistentes es la falta de acceso a una vivienda digna, pues la mayoría de los proyectos que se desarrollan no se encuentran apegados a la realidad socioeconómica del ciudadano común. Según el último censo que se realizó en el país, este déficit de vivienda supera el 57% (2 744 125 viviendas) [26]. Dada esta seria problemática, resulta muy importante comenzar a desarrollar proyectos que se encuentren al alcance de todos los ciudadanos y que sean amigables con el medio ambiente.

Por otro lado, la impresión 3D representa una técnica de construcción que disminuirá mucho el tiempo en que se construye una vivienda, reduciendo así los costos que implica el desarrollo de este tipo de proyectos. En la realidad actual del país, esta tecnología aún no se encuentra en el mercado, sin embargo, se puede observar realidades de países comparables con Ecuador, tales como: Colombia, México. En estos países, esta tecnología está ganando terreno de manera bastante acelerada, llegando a imprimir casas enteras inclusive.

Es por estos motivos que SEMAICA, empresa dedicada a la construcción y desarrollo de proyectos inmobiliarios, ha decidido apostar por la implementación de esta novedosa tecnología como medio para plantarle solución a este problema.

1.3 Justificación del Problema

Los aspectos ambientales, sociales y económicos son los principales pilares y factores para mejorar con este proyecto. Si bien es cierto que hay entidades públicas y privadas que están tratando de mitigar los impactos ambientales a través de incentivos financieros y la reutilización

de los materiales constructivos mediante sistemas de certificaciones a edificios ecológicos y reciclaje, respectivamente, esto no es suficiente para atenuarlo, ya que se sigue utilizando aquellos recursos que deberían tener otros fines mucho más importantes, como la madera y el agua. Además, los costos que requieren este tipo de edificaciones y la cantidad de desperdicios que se genera en su elaboración, son un tema que no puede pasarse por alto, ya que, en grandes cantidades de construcción provoca una huella de carbono relativamente considerable. Lo ideal es dejar de usar o depender de estos recursos para mitigar por completo su contaminación de CO2 en este campo de la construcción. Tal ventaja genera la fabricación aditiva o también la así llamada impresión de hormigón en 3D.

Por otro lado, el déficit de vivienda a nivel nacional es una temática que debe interesar a todos los actores de la sociedad ecuatoriana, pues esto influye directamente en la calidad de vida de los individuos. Además de esto, las personas que no tienen acceso a una vivienda digna sufren un aumento significativo en la posibilidad de contraer enfermedades tanto física como mentales. Esto se transforma a su vez en un grave problema de salud pública, ya que el estado tendrá que destinar muchos más recursos hacia la atención de estas personas, lo cual podría evitarse atacando la causa raíz de todo el problema. De aquí parte la imperiosa necesidad de proponer soluciones innovadoras para darle acceso a una vivienda digna a estas personas mediante la implementación de planes habitacionales que van acorde con la realidad del ciudadano común de la sociedad. Además de esto, la solución a esta problemática conduce al establecimiento de ciudades y comunidades sostenibles mediante la implementación de la impresión de concreto en 3D como tecnología innovadora, la cual no solamente representa un potencial de solución bastante significativo al déficit habitacional, sino que es una gran oportunidad de incluir en su elaboración materiales que disminuyan la huella de carbono del sector de la construcción.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar Integralmente una vivienda social de 2 pisos implementando parcialmente impresión de hormigón 3D, mediante el uso de normativas actuales, técnicas innovadoras y materiales sostenibles, para la reducción del déficit habitacional con soluciones ecológicas y de bajo costo.

¿Cuáles son los requisitos del diseño de una mezcla de hormigón para imprimir en 3D?

¿Qué consideraciones se deberán tener en cuenta para realizar el cálculo estructural de la vivienda?

1.4.2 Objetivos específicos

1. Calcular la estructura de hormigón armado para la vivienda, siguiendo las normativas vigentes de construcción y analizando los costos de cada propuesta, para la implementación de esta solución en el proyecto.
2. Elaborar una mezcla de hormigón funcional para imprimir en 3D, mediante la experimentación en laboratorio, para implementarla en el diseño del módulo que se propondrá elaborar con esta innovadora tecnología
3. Evaluar la mejor configuración estructural para la estructura impresa en 3D, mediante el modelado de los elementos en un software de análisis estructural, para que la solución propuesta sea factible de implementar en campo.
4. Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación mediante la aplicación de materiales que reduzcan la huella de carbono del producto sin que se vea afectada su calidad, para el desarrollo de nuevas tecnologías de la construcción.

Capítulo 2

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Revisión de literatura

Los pórticos de hormigón armado constituyen una de las configuraciones estructurales más utilizadas a nivel mundial. Titiksh y Gupta establecen que los pórticos resistentes a momentos se forman por la conexión rígida de vigas y columnas, las mismas que poseen gran capacidad de soportar cargas laterales mediante la disipación de energía. Además de que los pórticos deberán diseñarse bajo la condición de columna fuerte-viga débil [7]. En zonas con alta actividad telúrica, es imperioso que estos elementos estructurales sean diseñados de manera que puedan soportar las cargas que un sismo conlleva. Es por esto por lo que, en base a experiencias sísmicas a lo largo del tiempo, Mohele establece que se pueden aplicar diversas metodologías de diseño para que la estructura sea capaz de soportar los desplazamientos que se generan durante un evento sísmico sin que se vea afectada su resistencia de manera significativa [8]. Uno de los conceptos más asociados con el diseño sismorresistente es la ductilidad, la cual es una propiedad del elemento a desarrollar deformaciones plásticas cuando se alcanza el límite elástico en la curva de esfuerzo vs deformación [9].

En América del Sur, específicamente a lo largo del perfil costero del Océano Pacífico, pasa el Cinturón de Fuego, la cual es la denominación para una de las zonas con mayor actividad sísmica del planeta. En el caso de Ecuador, al encontrarse ubicado dentro del Cinturón de Fuego, ha experimentado varios eventos sísmicos significativos [10]. Asimismo, en el país el sistema estructural que predomina es el de pórticos de hormigón armado, por lo que es muy importante que se diseñen con miras a resistir estos desastres naturales.

Por otro lado, la necesidad de innovar en el sector de la construcción es un tema latente. Bajo este contexto, la impresión de concreto en 3D está ganando terreno de manera muy acelerada. En algunas industrias fuera de la construcción, esta tecnología se encuentra implementada de manera muy efectiva, ya que se imprime con otros materiales. Lamentablemente, en la actualidad, la impresión 3D utilizando hormigón aún se ve muy lejana, a

pesar de algunos casos de éxito [11]. Esto se debe a que la metodología en tendencia actual en impresión 3D va acompañada de un extenso proceso de ensayo y error, lo que hace que el desarrollo del producto final sea más costoso y extenso en el tiempo [12-15]. Si la técnica de ensayo y error falla, la impresión a escala real trae consigo un riesgo considerable de recursos en general y tiempo. Además, en vista de que el número de herramientas de simulación confiables es escaso, la técnica actual de impresión 3D produce diseños conservadores. La simulación virtual del proceso de impresión 3D puede aumentar la posibilidad de una impresión exitosa y rentable, sin la necesidad de comprometer recursos físicos [16-18].

El modelado numérico y la simulación pueden estimar con precisión el rendimiento estructural del proceso de impresión 3D, lo que reduce considerablemente el desperdicio de material, el tiempo de impresión, configuración y el deterioro del equipo [19]. Los resultados obtenidos también se pueden utilizar para optimizar la velocidad de impresión y así, mejorar el resultado final del proceso de impresión [20]. También, la simulación permite predecir desviaciones estructurales que se pueden corregir modificando los parámetros que sean significativos en el proyecto. Una simulación precisa también puede determinar las propiedades del material y los ajustes de impresión necesarios para un diseño específico [21]. El proceso de impresión 3D se puede personalizar modificando el material, el diseño (por ejemplo, para edificios con voladizos pronunciados) y los parámetros de impresión que incluyen el grosor de las capas y la velocidad de impresión [22]. Estas simulaciones pueden facilitar la previsión de la apariencia, la resistencia y la durabilidad del producto final, así como la detección de posibles problemas que puedan surgir durante el proceso de impresión. Además, los modelos numéricos pueden mejorar el diseño de la estructura impresa al reducir el uso de material y optimizar la eficiencia estructural [23-24].

Se utilizarán Softwares de Análisis de Elementos Finitos (FEM) y programas de modelado en 3D para generar los archivos de entrada del modelo de simulación. Por otro lado, se ajustan

los parámetros y las configuraciones numéricas para lograr una mejor respuesta estructural en el sistema. Por ejemplo, se utiliza un estabilizador automático [25].

2.2 Área de estudio

El área de estudio comprende un terreno de 640.000 [m2] ubicada en la planta la Granasa al norte de la ciudad de Guayaquil provincia del Guayas. La temperatura en esta ciudad oscila entre los 21°C y 33°C, en las temporadas de menor y mayor temperatura. Las humedades están en un rango del 40% al 70% con vientos de 15 km/h en promedio. Esto la convierte en una ciudad de clima tropical. Las extensiones en su mayoría territorial son planas y en muy pocos sectores montañosos e irregulares. El terreno se encuentra contiguo a una zona residencial privada y adyacente a una zona industrial.

Figura 1

Ubicación geográfica del sitio de estudio

Nota: Imagen obtenida de Google Earth

2.3 Trabajo de campo y laboratorio

Realizar la respectiva topografía para obtener información precisa de las dimensiones del terreno. Realizar las calicatas y sondeos correspondientes al terreno con el fin de obtener el

estudio de suelos y geotécnico. En el laboratorio se realizará la caracterización de los agregados que compongan la mezcla de hormigón. Además, se llevarán a cabo ensayos de módulo de elasticidad para obtener el coeficiente de Poisson, módulo de Young, densidad, ángulo de fricción interna y ángulo de dilatación. Estos estudios del concreto se harán de manera recurrente hasta encontrar un diseño propio de una impresión 3D.

2.4 Análisis de datos

Los datos que se obtengan del laboratorio se analizarán por medio de estadística descriptiva, se harán análisis de composición del hormigón, pruebas de asentamiento y se comparará con las normativas y especificaciones vigentes correspondientes al ACI y ASTM, para garantizar que los materiales cumplen con los requisitos necesarios. Análisis de carga y respuesta estructural en el software de modelado de elementos finitos (FEM) con el fin de analizar deformaciones, tensiones y los posibles puntos de falla de la estructura.

2.5 Análisis de alternativas

Con la finalidad de proponer un diseño que satisfaga las necesidades del proyecto, se analizan tres opciones, las cuales se encuentran descritas a continuación:

- **Alternativa 1 (A1):** Vivienda de dos pisos diseñada con estructura mixta. Las ventajas de realizar una vivienda mixta de hormigón armado y estructuras metálicas es la rapidez con la que se puede realizar la estructura metálica, por ejemplo, se reduce el tiempo de realizar el armado de ciertas vigas o columnas, asi mismo el armado de la losa, lo que conlleva a una reducción de personal en obra aminorando los costos. El inconveniente con este tipo de construcción es la cantidad de desperdicio y contaminación que se genera, ya que no es muy precisa y tiende a tener muchos errores por la poca precisión del personal en obra.

- **Alternativa 2 (A2):** Construcción modular de una vivienda empleando elementos prefabricados. Esta alternativa tiene como ventajas la rapidez de construcción estandarizada lo que en obra reduciría el costo de fabricación y debido a este proceso normalizado se reduciría el desperdicio del material teniendo como resultado un bajo impacto ambiental. En cuanto a las desventajas está el proceso de traslado de los módulos prefabricados hasta el lugar donde se instalará la vivienda, estas deben ser trasladadas con cuidado para no afectar las estructuras. Además, el transporte trae consigo un impacto ambiental debido a las emisiones de CO_2 generadas por el vehículo motorizado.
- **Alternativa 3 (A3):** Vivienda de dos pisos de hormigón armado con un módulo elaborado de hormigón impreso en 3D. Las ventajas de este método son la rapidez de construcción, la eficiencia constructiva debido a que el proceso lo realiza una máquina ordenada por computador y la capacidad de usar elementos reciclados en la elaboración del hormigón, haciendo este procedimiento más preciso, de este modo el desperdicio de hormigón se reduce drásticamente, teniendo como resultado un impacto ambiental muy bajo. La infraestructura tecnológica limitada es uno de los desafíos que presenta este tipo de construcción.

Una vez que se han planteado las alternativas para darle solución a la problemática, se decidirá cuál es la más viable realizando un análisis que consiste en:

- Definir criterios de evaluación para los proyectos
- Establecer un Factor de Importancia (F.I) para cada criterio
- Calificar las alternativas en base a los criterios establecidos con una escala del 1 al 5, donde 1 es muy desfavorable y 5 es muy favorable

En base a este análisis, la alternativa que obtenga un mayor puntaje será la adoptada como solución a la problemática planteada.

Tabla 1

Análisis de selección de alternativa de solución para la problemática

Criterio	**F.I**	**A1**		**A2**		**A3**	
Costo	1.00	4	4.00	5	5.00	5	5.00
Velocidad de construcción	0.80	4	3.20	5	4.00	4	3.20
Disponibilidad del material	0.70	3	2.10	3	2.10	5	3.50
Personal calificado	0.60	2	1.20	4	2.40	5	3.00
Emisiones CO2	0.50	4	2.00	4	2.00	5	2.50
Aceptación	0.80	4	3.20	4	3.20	5	4.00
		Total A1	15.70	**Total A2**	18.70	**Total A3**	**21.20**

El resultado de este análisis determina que la alternativa más viable para implementar en el proyecto es A3: Vivienda de dos pisos de hormigón armado con un módulo elaborado con hormigón impreso en 3D.

Capítulo 3

3. DISEÑOS Y ESPECIFICACIONES

3.1 Diseños

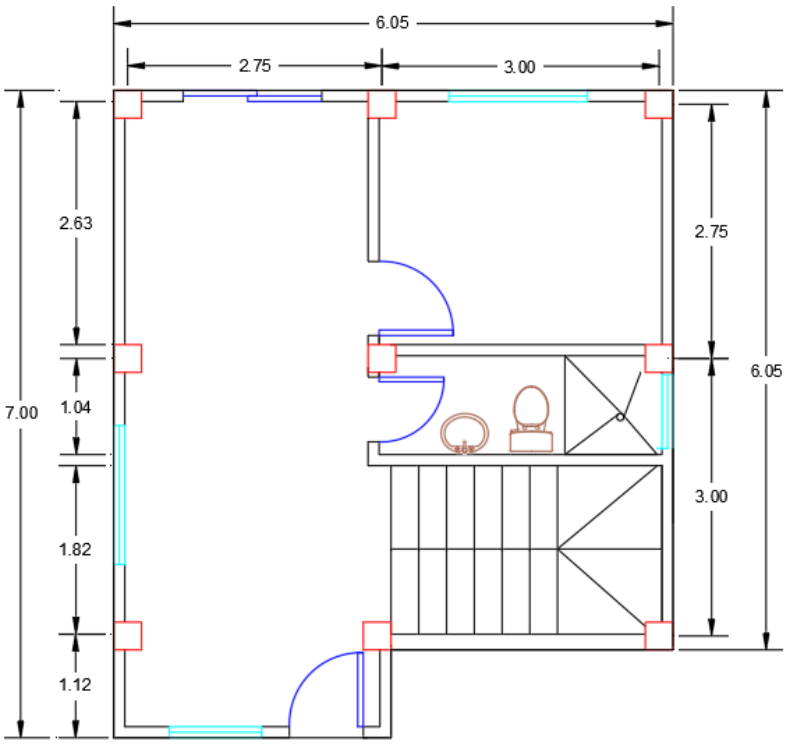
Los diseños deben aplicarse a la alternativa más conveniente. Debe incluir memoria de cálculo, hojas de cálculo, descripción y discusión de resultados, planos y anexos

3.1.1 Diseño Arquitectónico

Se propone el diseño arquitectónico de manera que cumpla con los criterios de regularidad que establece la NEC 2015, además de brindar espacios de confort para el usuario. El diseño se muestra en las siguientes ilustraciones

Figura 2

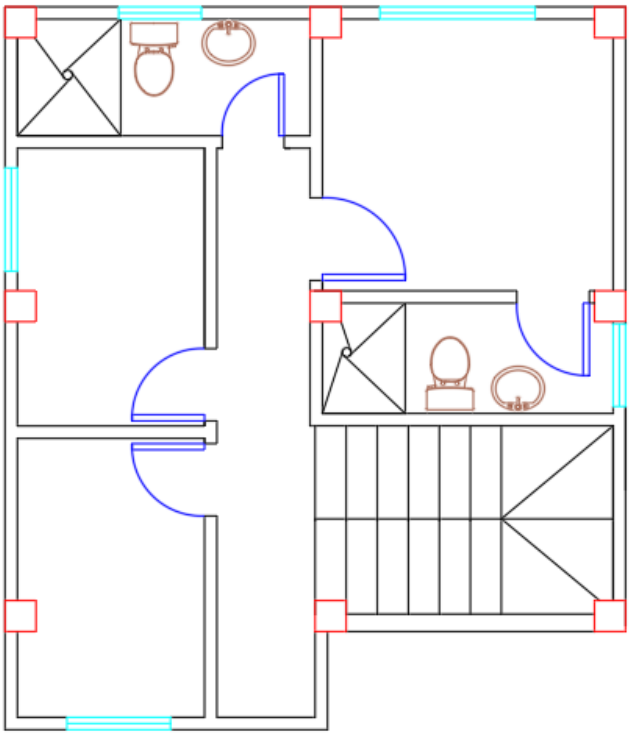
Planta arquitectónica – Planta baja



Nota: Dibujo realizado en software CAD

Figura 3

Planta arquitectónica – Planta Alta



Nota: Dibujo realizado en software CAD

3.1.2 Materiales y propiedades

Para el análisis y diseño de la vivienda de interés social, se utilizaron materiales que corresponden a los de hormigón armado tradicional.

Tabla 2

Propiedades de los materiales

	Unidad	**Valor**
Hormigón		
Peso específico	KN/m3	24

Resistencia a la compresión	MPa	21
Módulo de elasticidad	MPa	21459.61
Acero de Refuerzo		
Peso específico	KN/m3	78.5
Resistencia a la fluencia	MPa	420
Módulo de elasticidad (E)	MPa	199939.96

3.1.3 Análisis de cargas

3.1.3.1 Carga Viva

La carga viva (CV), también llamada sobrecargas de uso, que se utilizara en el cálculo depende de la ocupación a la que esté destinada la edificación y están conformadas por los pesos de personas, muebles, equipos y accesorios móviles o temporales, y otras [NEC-SE-CG].

3.1.3.2 Carga Permanente

Las cargas permanentes (CM) están constituidas por los pesos de todos los elementos estructurales que actúan en permanencia sobre la estructura. Son elementos tales como: muros, paredes, recubrimientos, máquinas y todo artefacto integrado permanente a la estructura.

Tabla 3

Tabla de cargas aplicadas a la vivienda

Tipo de carga	**Valor de carga**	**Unidad**
CV (planta alta)	*0.2*	Ton/m2
CM (planta alta)	*0.67*	Ton/m2
CV (cubierta)	*0.07*	Ton/m2
CM (cubierta)	*0.17*	Ton/m2

3.1.4 Consideraciones Sísmicas

3.1.4.1 Clasificación del suelo

Para el presente diseño se realizó un estudio geotécnico en el terreno, de 6 sondeos mecánicos y 4 calicatas para extraer muestras del subsuelo y determinar niveles freáticos. La profundidad planteada en un inicio era de hasta 6.0 m para los sondeos mecánicos de SPT, pero debido a la presencia del estrato competente a poca profundidad los sondeos alcanzaron una

profundidad de 1.0 m. Esto se llevó a cabo según la norma ASTM D-1586, que indica el proceder de este tipo de estudio de suelo. Las calicatas alcanzaron una profundidad de 0.9 m. Según la norma ASTM D-1452.

El estudio a

Tabla 4

Características sísmicas del terreno en estudio

Características del suelo tipo C	**Valores**
Zona Sísmica	V
Peligrosidad Sísmica	Alta
Factor de zona	0.40
Perfil del suelo	C
Fa	1.25
Fd	1.28
Fs	1.19
n	1.8
r (costa)	1

Tabla 5

Parámetros para espectro elástico de diseño

Parámetros	**Valores**
Sa	0.788
T	0.34
To	0.122
Tc	0.670

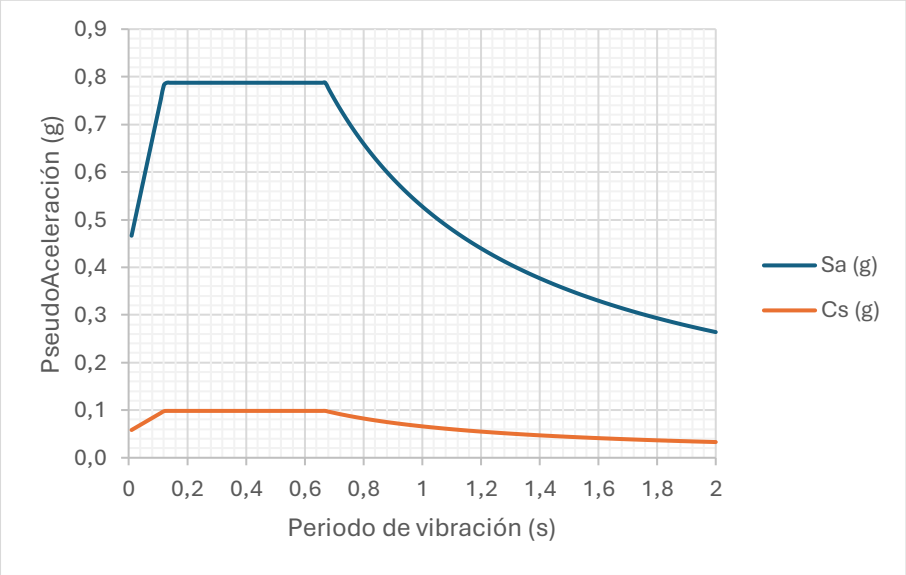
Tabla 6

Parámetros para espectro inelástico

Parámetros	Valores
I	1
R	8
Phi P	1
Phi E	1

Figura 4

Espectro de aceleración

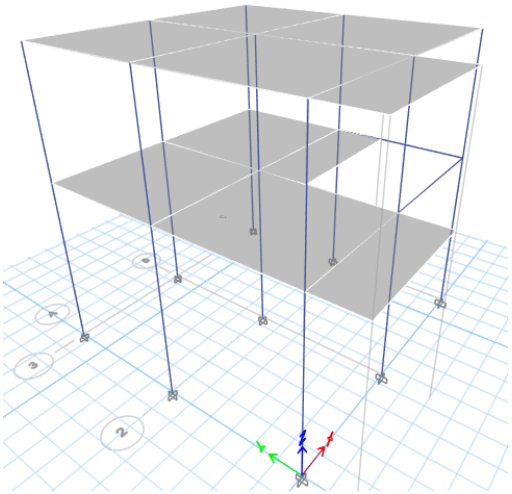


Nota: Graficado en hoja de cálculo

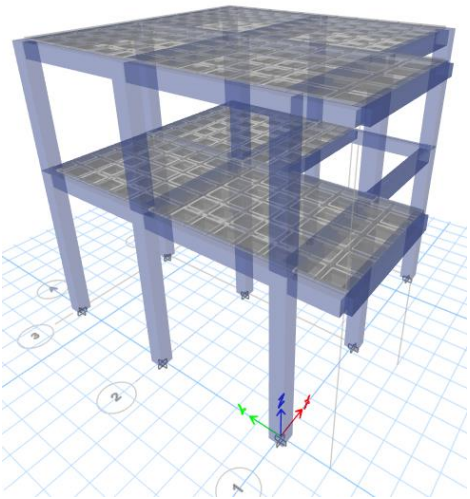
3.1.5 Modelado y análisis

Figura 5

Modelo estructural en software



a) Sin extruir



b) Extruido

Nota: Realizado en software de análisis estructural

3.1.6 Resultados del Análisis Sísmico

Tabla 7

Periodos fundamentales del método 2, ETABS

Wp (t) (peso edificación)	**60.5 Ton**
T2X (periodo fundamental en el eje X)	0.19 s
T2Y (periodo fundamental en el eje Y)	0.194 s
T1X*1,3	0.438 s
T1Y*1,3	0.438 s
Cs-pX	**0.098 s**
Cs-pY	**0.098 s**
Kx	1
Ky	1

Tabla 8

Periodos fundamentales del método 2, corregidos para diseño ETABS

Programa	
V X	5.58
V Y	5.58
$V_{NEC} = C_{s-p} * W_p$	
Vnec X	5.93
Vnec Y	5.93
Cs-pX Corr	0.1041
Cs-pY Corr	0.1041

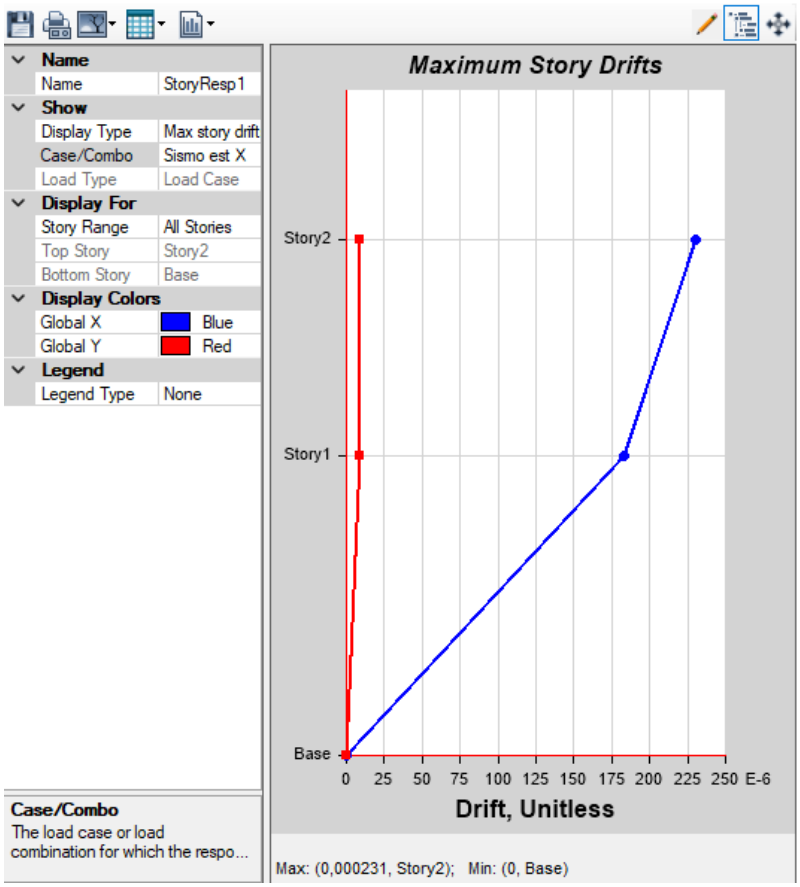
Tabla 9

Verificación de irregularidades de planta y elevación por medio del software ETABS

	Output Case	**Stiff X (ton/m)**	**Stiff Y (ton/m)**	
Story2	Sismo Est X	5746.45	0	
Story1	Sismo Est X	9436.02	0	Regular
Story2	Sismo Est Y	0	5550.64	
Story1	Sismo Est Y	0	9204.26	Regular

Figura 6

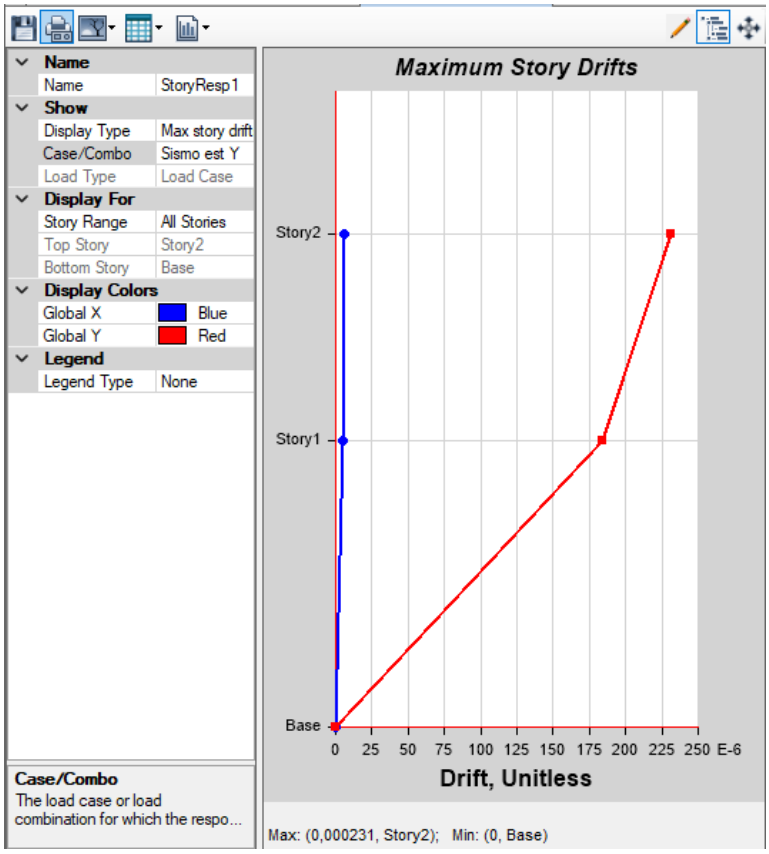
Deriva de piso sismo estático en X



Nota: Obtenido de software de análisis estructural

Figura 7

Deriva de piso sismo estático en Y



Nota: Obtenido de software de análisis estructural

Tabla 10

Análisis de derivas de piso con software ETABS

Derivas	Sismo Y			
Sismo X	0.000231	**Drift E Y Max**	0.000231	
Drift E X Max	0.001386	**Drift I Y Max**	0.001386	
Drift I X Max	0.02	**Límite**	0.02	**Cumple derivas admisibles**
Límite				

3.1.7 Diseño Estructural

Figura 8

Revisión de demanda de acero longitudinal en cm

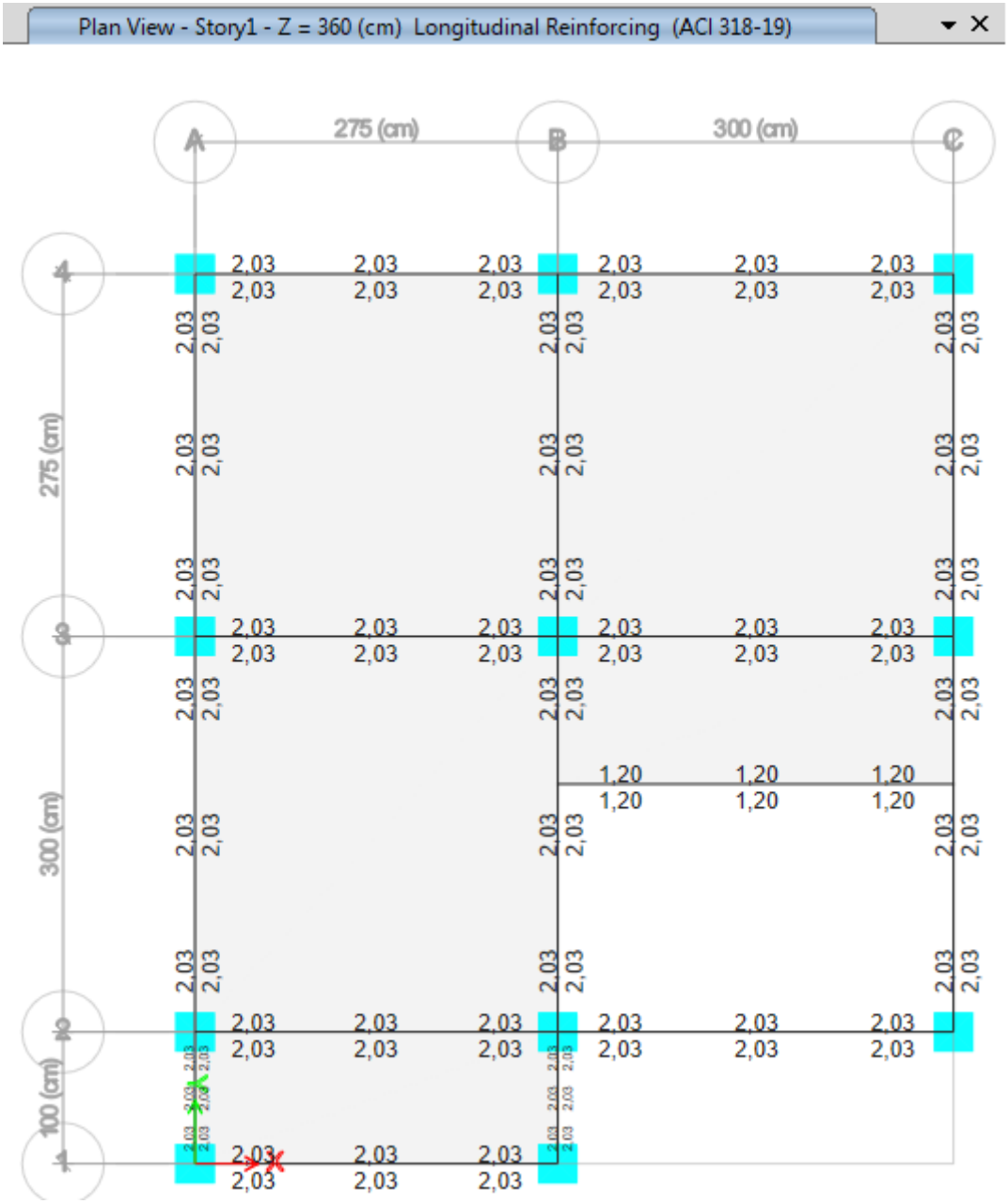


Tabla 11

Análisis de viga planta alta

Viga

⌀	cantidad	Área (cm2)	Área colocada	Área requerida	CHECK	
12	2	2.26	2.26	2.03	CUMPLE	sup.
12	0	0				
12	2	2.26	2.26	2.03	CUMPLE	Inf.
12	0	0				

Figura 9

Demanda Refuerzo longitudinal

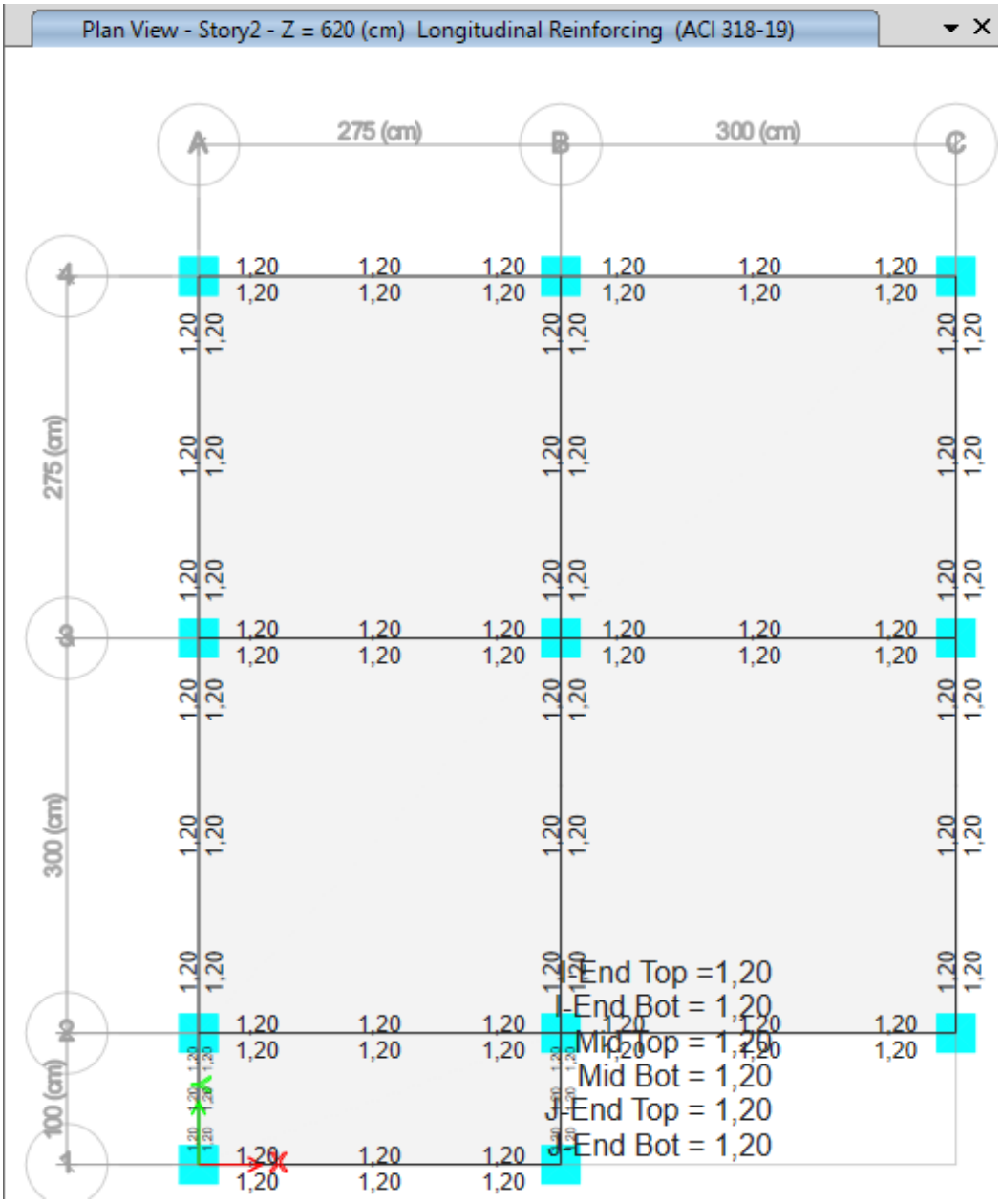


Tabla 12

Análisis de viga cubierta

Viga						
⌀	cantidad	Área (cm2)	Área colocada	Área requerida	CHECK	
10	2	1.570796327	1.570796327	1.2	CUMPLE	sup.
10	0	0				
10	2	1.570796327	1.570796327	1.2	CUMPLE	Inf.
10	0	0				

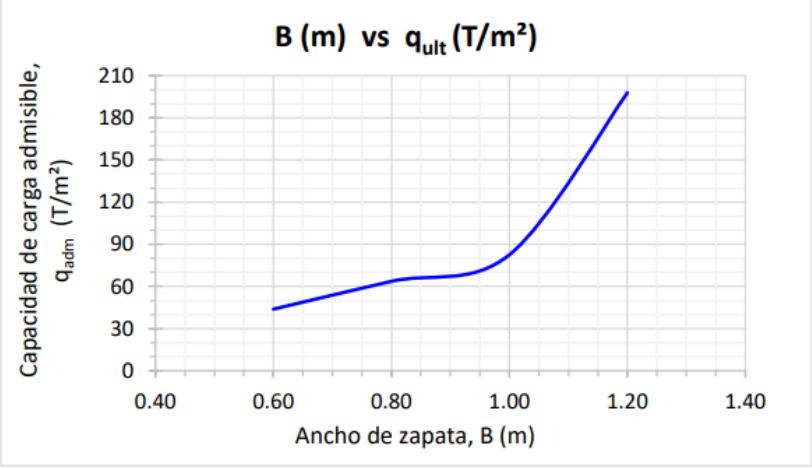
3.1.8 Diseño de Cimentación

El tipo de cimentación que se propone son zapatas aisladas o plintos cuadrados, esto con el fin de transmitir al suelo todas las cargas a la que la estructura esté sometida.

Para diseñar estos elementos estructurales, resulta necesario conocer el esfuerzo admisible del suelo (q_{adm}), propiedad que indica la capacidad que tiene el suelo para resistir determinada carga. En este caso, este valor es conocido producto del estudio de suelos que se obtuvo previamente, el cual utilizó un factor de seguridad FS=3.0.

Figura 10

Capacidad de carga admisible del suelo



Nota: Obtenida de estudio proporcionado previamente por el cliente

Por lo tanto,

$$q_{adm} = 65.8 \frac{ton}{m^2}$$

Las demandas bajo las cuales los plintos van a estar diseñados se obtuvieron del software de análisis estructural. Estas solicitaciones se muestran en la tabla que se detalla a continuación.

Tabla 13

Cargas de diseño para la zapata aislada

Cargas de Diseño	Carga Muerta	Carga Viva	Carga Sísmica
P (t)	68.79	23.60	27.45
Mx (t-m)	0.14	0.04	12.06
My (t-m)	0.15	0.04	13.58

Nota: Estas demandas fueron obtenidas mediante análisis estructural en software

Una vez conocidas las solicitaciones para el diseño, se procede al predimensionamiento del elemento. Para esto, primero se deben conocer las combinaciones de carga para los diferentes estados límites, las cuales se calculan de la siguiente manera:

Estado Límite de Servicio

$$Pu1 = D + L \qquad (3.1.5.1)$$

$$Pu2 = D + L + S \qquad (3.1.5.2)$$

Los resultados se muestran en la siguiente Tabla.

Tabla 14

Combinaciones de carga para Servicio

Servicio		
Cargas de diseño	**D+L**	**D+L+S**
P (t)	92.40	119.85
Mx (t.m)	0.18	12.24
My (t.m)	0.19	13.77

Nota: Se utilizaron las cargas obtenidas del análisis estructural en software

Estado Límite de Diseño

$$Pu1 = 1.2D + 1.6L \qquad (3.1.5.3)$$

$$Pu2 = 1.2D + 1L + 1S \qquad (3.1.5.4)$$

Los resultados se muestran en la siguiente Tabla.

Tabla 15

Combinaciones de carga para Diseño

Diseño		
Cargas de Diseño	**1,2D+1,6L**	**1,2D+1L+1S**
P (ton)	120.31	133.61
Mx (ton-m)	0.23	12.27
My (ton-m)	0.24	13.80

Nota: Se utilizaron las cargas obtenidas del análisis estructural en software

La combinación Pu1 de Diseño resulta útil para proceder a predimensionar la zapata. Para esto, se hace uso de la expresión mostrada a continuación, la cual se aumenta en un 40% la carga mayorada, ya que no se consideraron cargas sísmicas para su cálculo.

$$A_{req} = \frac{Pu*1.40}{q_{adm}} \qquad (3.1.5.5)$$

$$A_{req} = \frac{120.31 * 1.40}{65.8}$$

$$A_{req} = 2.56\, m^2$$

Ya que la cimentación es cuadrada,

$$b = l = \sqrt{A_{req}} \qquad (3.1.5.6)$$

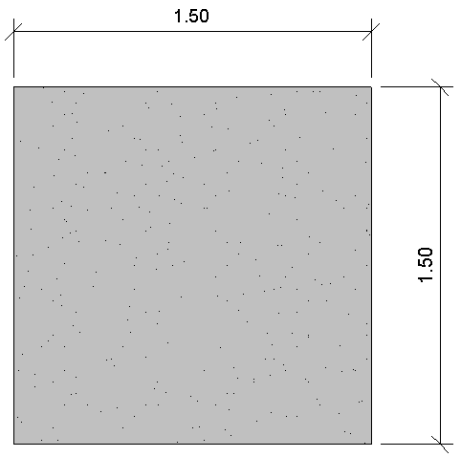
$$b = l = \sqrt{2.56\, m^2}$$

$$b = l = 1.60\, m$$

Por lo tanto, las dimensiones del elemento serían 1.60 x 1.60 [m]. Sin embargo, luego de haber realizado diversas iteraciones y comprobaciones utilizando una hoja de cálculo, se encontró que las dimensiones más eficientes para la cimentación serían 1.50 x 1.50 [m], tal como se muestra en la figura.

Figura 11

Predimensionamiento de la zapata aislada



Nota: Esta imagen muestra las dimensiones del elemento luego de optimizar el diseño.

Una vez que se ha predimensionado al elemento, resulta necesario verificar que los esfuerzos que producen los momentos en ambas direcciones que actúan sobre él no excedan el esfuerzo admisible del suelo. La verificación de esfuerzos se lleva a cabo utilizando las expresiones detalladas a continuación.

$$Esf_B = \frac{Pu}{BL} \pm \frac{6*My}{L*B^2} \qquad (3.1.5.7)$$

$$Esf_L = \frac{Pu}{BL} \pm \frac{6*Mx}{B*L^2} \qquad (3.1.5.8)$$

Los resultados considerando ambas combinaciones de carga se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 16

Verificación de esfuerzos generados por la zapata aislada

Esfuerzos	**D+L**	
Esf B1	43.32	OK
Esf B2	43.99	OK
Esf L1	43.34	OK
Esf L2	43.98	OK

Nota: Se verifican los esfuerzos con la combinación de carga muerta más carga viva

Tabla 17

Verificación de esfuerzos incluyendo fuerzas sísmicas

Esfuerzos	**D+L+S**

Esf B1	31.38	OK
Esf B2	80.34	OK
Esf L1	34.09	OK
Esf L2	77.63	OK

Nota: Para esta verificación el esfuerzo calculado no debe exceder de 4/3 $q_{adm.}$

Ya que se han verificado los esfuerzos, el siguiente paso es verificar si el elemento cumple con el Corte Unidireccional. Para esto, se calculan los esfuerzos utilizando las ecuaciones 3.1.5.7 y 3.1.5.8, considerando ahora las combinaciones de carga de diseño. Se muestran los resultados en la siguiente Tabla.

Tabla 18

Esfuerzos por cargas de Diseño

	Corte unidireccional	
	1,2D+1,6L	**1,2D+1L+1S**
Esf B1	54.20	36.00
Esf B2	55.06	85.07
Esf L1	54.22	38.72
Esf L2	55.04	82.35

Una vez conocidos estos esfuerzos, se procede a verificar el corte unidireccional de la siguiente manera.

$$Esf\ B' = Esf\ B1 + \frac{EsfB2 - EsfB1}{B} * \frac{B+e-d}{2} \qquad (3.1.5.9)$$

$$Vu = \frac{EsfB2 + EsfB'}{2} * \left(\frac{B-e}{2} - d\right) * L \qquad (3.1.5.10)$$

$$Vc = 0.17\sqrt{f'c} * Ac \qquad (3.1.5.11)$$

$$\phi Vc \geq Vu, \qquad \phi = 3/4 \qquad (3.1.5.12)$$

Los resultados se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 19

Verificación de corte en B

Corte Unidireccional		
Esf B' [ton/m2]	54.58	57.67
Vu B [ton]	10.28	13.38
ΦVc B [ton]	47.60	
Verificación	OK	OK

Nota: Se verifica que la sección cumple en el sentido de B.

Tabla 20

Verificación de corte en L

Corte Unidireccional		
Esf L' [ton/m2]	54.97	78.72
Vu L [ton]	10.31	15.10
ΦVc L [ton]	47.60	
Verificación	OK	OK

Nota: Se verifica que la sección cumple en el sentido de L.

Además, se realiza la verificación por corte bidireccional, tal como se detalla en las siguientes expresiones.

$$VuB = Pu - \frac{EsfB1+EsfB2}{2} * (e + d) * (f + d) \quad (3.1.5.13)$$

$$VuL = Pu - \frac{EsfB1+EsfB2}{2} * (e + d) * (f + d) \quad (3.1.5.14)$$

$$Vc = 0.33\sqrt{f'c} * (e + d) * 2 + (f + d) * 2 \quad (3.1.5.15)$$

Los resultados se muestran en las siguientes tablas.

Tabla 21

Verificación de Corte Bidireccional

Corte bidireccional		
	1,2D+1,6L	**1,2D+1L+1S**
Esf prom B	54.63	60.54
Esf prom L	54.63	60.54
Vu B (t)	87.50	97.25
Vu L (t)	87.50	97.25
Vc (t)	118.93	
Verificación	OK	OK

Nota: Se verifica que la sección cumple con el corte bidireccional

Luego, se verifica también que la sección propuesta cumpla por aplastamiento, tal como se muestra en la tabla a continuación.

Tabla 22

Verificación de resistencia al aplastamiento

Verificación de aplastamiento	
Coeficiente	2
Resistencia de plinto	30.33
Resistencia de columna	15.17
Cumple aplastamiento	OK

Nota: La sección cumple por aplastamiento

Finalmente, se diseña a flexión a la zapata para obtener los números de varillas que deben ir por cada lado. Los resultados se muestran a continuación.

Tabla 23

Resultados de Diseño a Flexión de la Cimentación

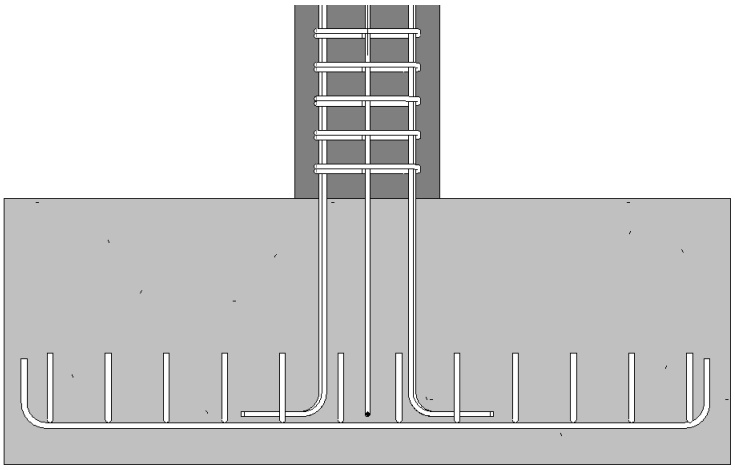
Diseño a flexión			
1,2D+1L+1S			
y B	65.44	**Y L**	64.90
Mu B (t.m)	21.20	**Mu L (t.m)**	20.66
d Nece (cm)	19.04	**d Nece (cm)**	18.79
Cumple d ?	OK	**Cumple d ?**	OK
As B (cm2)	13.39	**As L (cm2)**	13.05
Diámetro de varilla (mm)	12	**Diámetro de varilla (mm)**	12
Cantidad de varillas	12	**Cantidad de varillas**	12
Separación de varillas (cm)	12	**Separación de varillas (cm)**	13
	Requiere patas		Requiere patas

Nota: Las patas requieren tener un largo de 12 veces el diámetro de la varilla

Esquema de Armado de la Cimentación

Figura 12

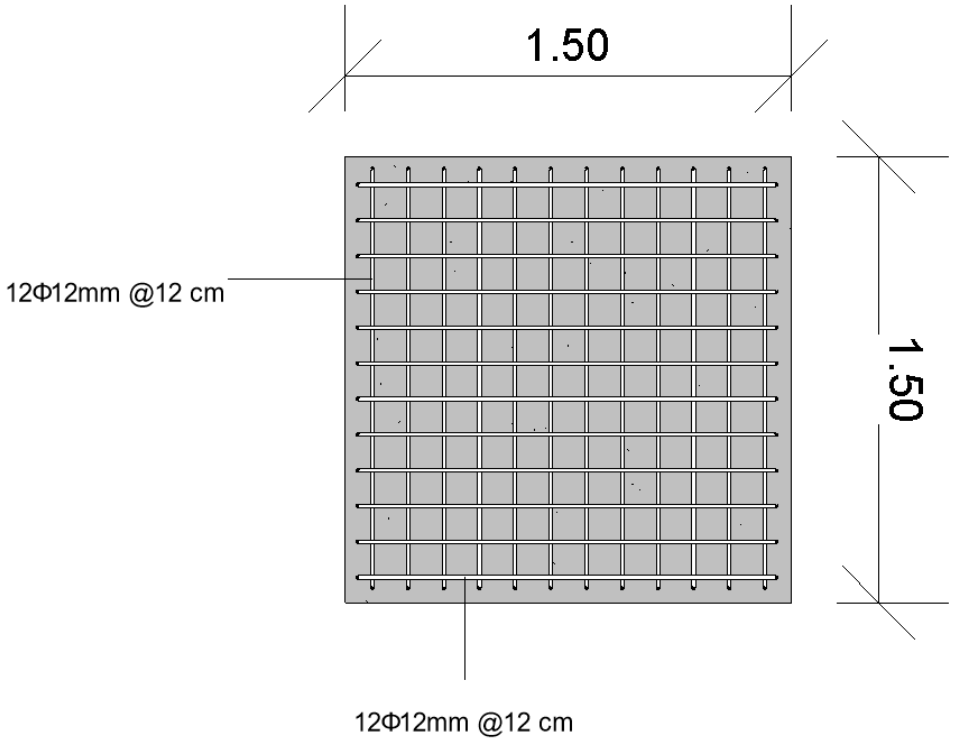
Vista transversal de zapata aislada



Nota: En esta imagen se muestra el detalle de la armadura de la cimentación

Figura 13

Detalle en planta del armado de la zapata aislada



3.1.9 Diseño de Losa

El diseño de losa se realiza con ayuda de un software de análisis estructural, para esto se usa el paño de losa más crítico que consta de las siguientes dimensiones.

Tabla 24

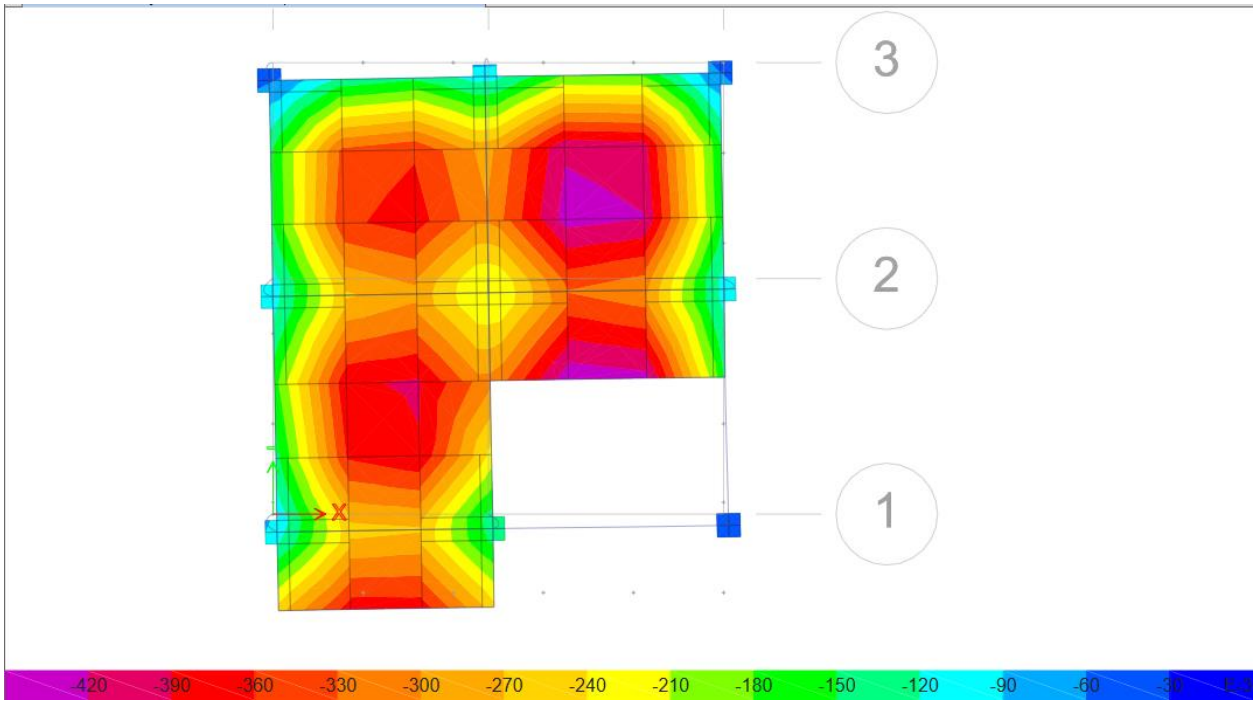
Dimensiones del paño de losa en estudio

Dimensiones	**Unidad**
X = 3	m
Y = 2.75	m
e = 20	cm

El espesor (e) corresponde a la demanda comercial que existe en el país, en cuanto a los encofrados para hormigón armado correspondientes a losa nervada en dos direcciones (LN2D)

Figura 14

Diseño de losa en programa estructural, verificación



Nota: Las unidades están en mm.

En la evaluación estructural se obtuvo los siguientes resultados en cuanto a deformaciones permisibles.

Tabla 25

Deformaciones Máximas

Deformación	**Unidad**
Max software = 0.420	mm
Max ACI 318 = L/360 = 8.33	mm

Las deformaciones según el software estructural son menores en comparación con las requeridas por la norma vigente estructural.

A continuación, se procederá con el diseño de los aceros, correspondientes a la losa nervada en dos direcciones.

Tabla 26

Demanda de Aceros LN2D

Eje	As. Superior	As. Inferior
	mm	mm
X	1⌀8	1⌀8
Y	1⌀8	1⌀8

Se realiza el cálculo correspondiente para encontrar los parámetros necesarios del acero por retracción y temperatura que necesitará la LN2D.

$$A_{retracción} = 0.0018 * L * e$$

Donde:

L: Longitud del paño de losa en unidad (1 m)

e: espesor de la losa 5 [cm]

Reemplazando:

$$A_{retracción} = 0.0018 * 100cm * 5cm$$

$$A_{retracción} = 0.9\ cm2$$

De acuerdo al Área obtenida se busca en tablas de proveedores Nacionales para asegurar su comercialización, una malla electrosoldada.

Tabla 27

Especificaciones de malla electrosoldada LN2D

Descripción	⌀ Varilla	Apertura	Peso	Peso	Separación	Área/m
-	mm	cm	kg/u	kg/cm2	cm	cm2/m
R-106	4.5	15x15	25.07	1.67	15	1,06

3.1.10 Diseño de Columnas

Para el diseño de columnas, se deben de determinar las cargas axiales a las que el elemento va a estar expuesto. Para el diseño se tomará en cuenta una columna central, ya que es la que mayor carga va a tener que soportar.

La carga muerta se define como:

$$WD = 0.748\ ton/m^2$$

La carga viva se define según la NEC 2015 como:

$$WL = 0.200\ ton/m^2$$

Por tanto, la carga P, se define según la combinación de carga descrita a continuación,

$$P1 = 1.2WD + 1.6WL$$

$$P1 = 1.224\frac{ton}{m^2}$$

Una vez definida la carga de diseño, se debe conocer el área tributaria que el elemento estará soportando. Es por esto que se define a esta área como,

$$A_{trib} = 7.11\ m^2$$

Una vez conocida la carga mayorada P y el área tributaria que la columna soportará, se procede a calcular la carga de diseño Pu,

$$Pu = 10.40\ ton$$

Se realiza el predimensionamiento del elemento con el fin de verificar que la sección de hormigon cumpla con los requerimientos de la columna. Para este caso, se definen las dimensiones del elemento como las mínimas permitidas por la normativa.

$$b = 30\ cm$$

$$h = 30\ cm$$

Y se define al área gruesa de la sección como,

$$A_g = b * h$$

$$A_g = 0.09\ m^2$$

Luego, se define la cuantía de acero. El ACI 318 establece que la cuantía de acero para columnas debe estar entre el 1% y 6%. Es por esto que se opta por definir la cuantía de acero como 1% y se calcula con esto el área requerida de refuerzo, tal como se muestra a continuación,

$$\rho = 1\%$$

$$A_{st} = Ag * \rho$$

$$A_{st} = 9\ cm^2$$

Una vez que se conoce el área de acero requerida, se define el diámetro de varilla con el que se va a diseñar, con el fin de calcular el número de estos elementos de acero que se requieren para armar la columna. Este cálculo se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 28

Requerimiento de varillas para columna

Φ varilla [cm]	**Área [cm]**	**Ast [cm2]**	**# Varillas**	**Ast colocado [cm2]**
1.2	1.13	9	7.96	9.05

Nota: Se opta por colocar 8 varillas en la columna

Luego de esto, se procede a verificar que la resistencia de la columna cumpla con la resistencia requerida. Esto se logra mediante la expresión,

$$\phi := 0.65$$

$$\phi Pn := 0.80 \cdot \phi \cdot \left(0.85 \cdot f'c \cdot \left(Ag - Ast\right) + \left(fy \cdot Ast\right)\right)$$

$$\phi Pn = 102.459 \ tonnef$$

Con esto se verifica que el diseño cumple con el principio de

$$\Phi Pn \geq Pu$$

Se define el diámetro de estribos como,

$$\phi est := 10 \ mm$$

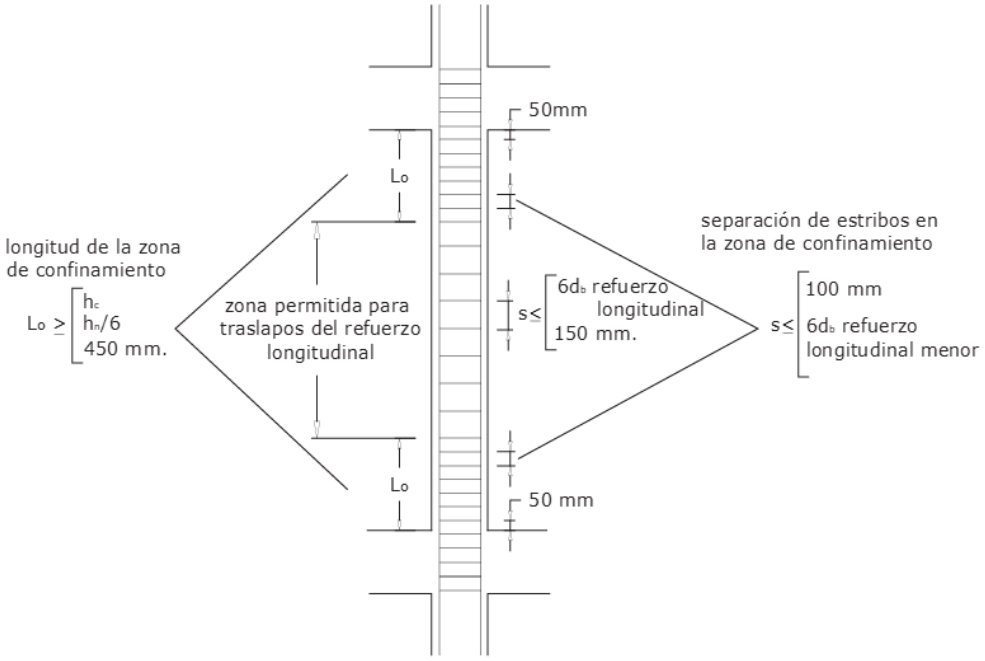
La separación de estribos sigue la siguiente expresión, según el ACI 318,

$$s := min\left(8 \cdot db, 150 \ mm\right) = 9.6 \ cm$$

Luego de esto, se procede a calcular la longitud de la zona de confinamiento de la columna, así como la separación de estribos dentro de ella. Esto se encuentra definido en la NEC 2015, tal como se muestra a continuación.

Figura 15

Separación de estribos en la columna



Nota: Se presentan las separaciones en las diferentes zonas del elemento

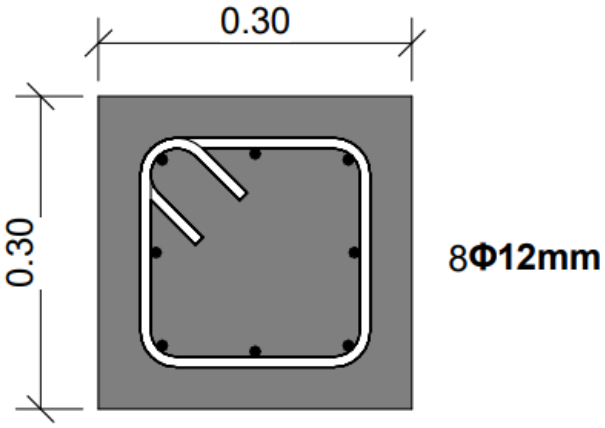
En base a esto, se define la separación de estribos en la zona de confinamiento como,

$$So := min\left(6 \cdot db, 100\ mm\right) = 7.2\ cm$$

Finalmente, se muestra el diagrama del diseño de la columna de hormigón armado.

Figura 16

Detalle de Columna de Hormigón Armado



Nota: se colocan 8 varillas de 12 mm en cada columna

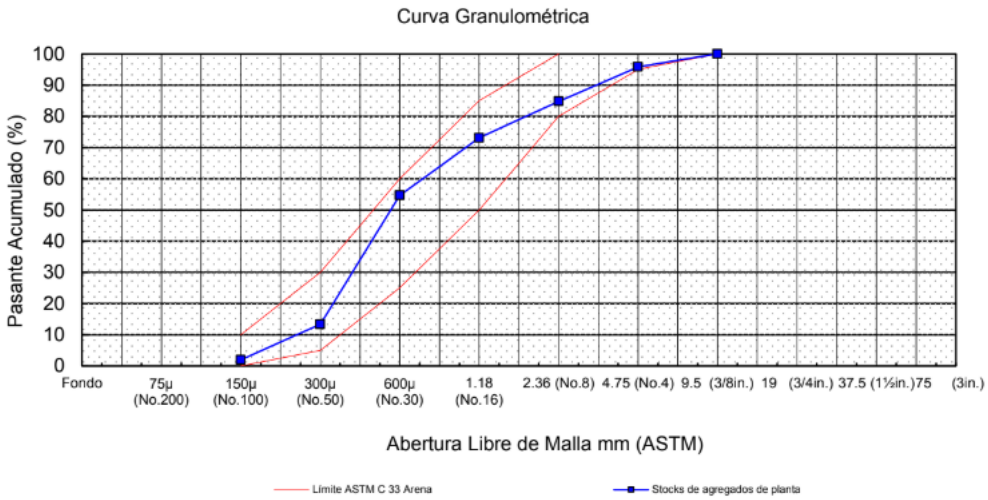
3.2 Diseño de Mezcla de Hormigón 3DPC

El diseño de la mezcla de 3DPC se lo realizó bajo condiciones de laboratorio. Para esto, se realizaron diversas pruebas, en donde se estableció que la condición para el diseño es que se debía llegar a la consistencia y trabajabilidad del hormigón al momento de salir de la boquilla de la impresora.

En primera instancia, se realizó la caracterización de los materiales. En este caso, se realizaron ensayos de granulometría a los agregados que se utilizaron en las pruebas, tal como se muestra en las ilustraciones posteriores.

Figura 17

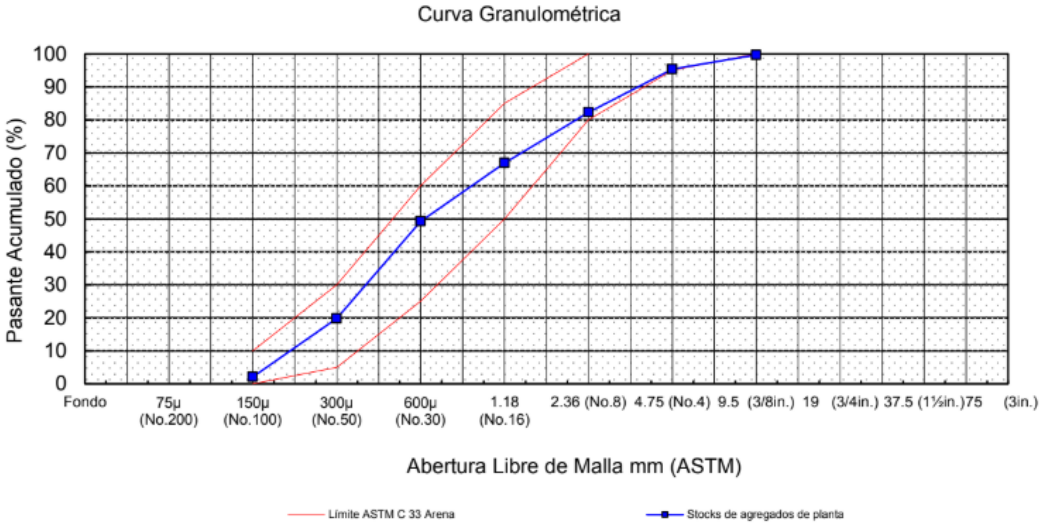
Curva granulométrica de Molienda Triturada



Nota: Ensayo realizado de una muestra significativa de material

Figura 18

Curva granulométrica de Arena Natural de Río



Nota: Ensayo realizado de una muestra significativa de material

Una vez que se ha caracterizado el material y verificado que este se encuentra dentro de norma, se procede a elaborar la dosificación de la mezcla. Para la primera prueba se ha optado inicialmente por la utilización de arena natural y arena triturada como los agregados de la

mezcla. Además, se utiliza cemento de alto desempeño. Sin embargo, luego de diversas pruebas, se ha implementado también la utilización de un filler calizo, el cual sustituirá gran parte de la arena triturada. La dosificación de la mezcla que cumple con los parámetros que hemos definido se detalla en la siguiente tabla

Tabla 29

Dosificación por m3 de Hormigón

Material	Cantidad [Kg]
Cemento	500
Arena Triturada	83
Arena Natural	1164
Microsílice	25
Filler Calizo	331
Agua	185
Ad. Plastificante	2.50

En base a esta dosificación, se realizó la prueba de mezcla en laboratorio y se obtuvieron los siguientes resultados.

Figura 19

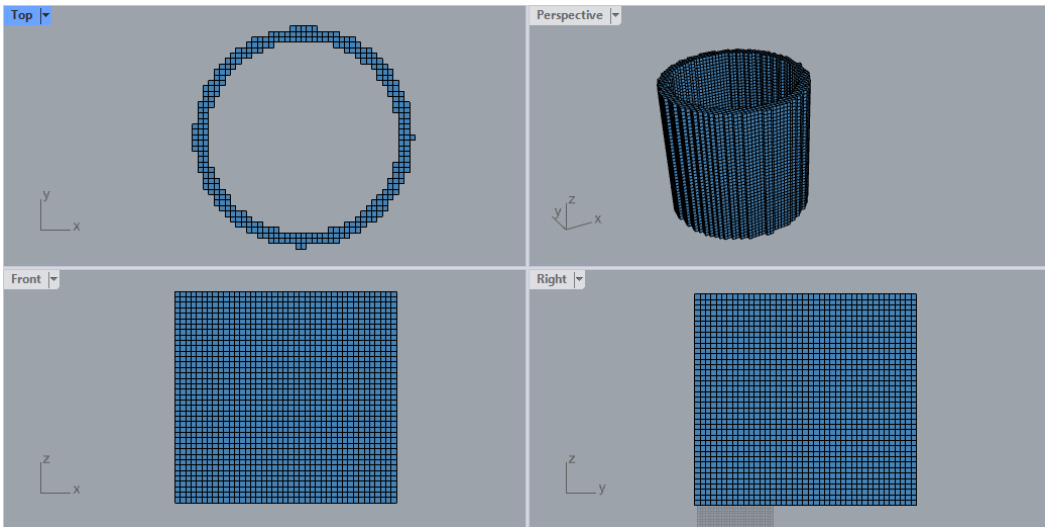
Flujo del hormigón 3DPC

Nota: El diámetro del cono invertido fue de aproximadamente 14mm

El modelado de la estructura impresa en 3D se realizó en el software Rhino 8 con ayuda de su complemento Grasshopper.

Figura 20

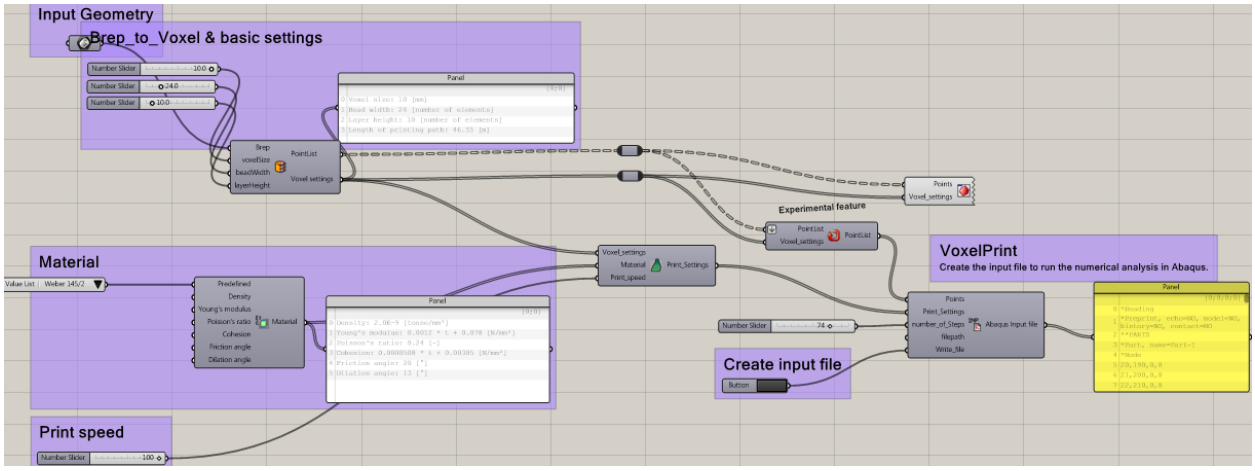
Diferentes Perspectivas del modelo en Rhino 8



Con ayuda del complemento Grasshopper se desarrolló el cilindro hueco y con ayuda de un complemento adicional llamado Voxelprint, se utilizó para desarrollar lo que se conoce como voxelización, el cuál describe el proceso de transformación de una forma 3D aleatoria en un grupo de vóxeles [27].

Figura 21

Diseño del proceso de voxelización dentro del complemento Grasshopper



Los parámetros correspondientes al comportamiento del hormigón a través del tiempo se obtuvieron según el análisis de Wolft et al [28]. Sobre pruebas de compresión triaxial y de edad temprana del hormigón impreso en 3D. Utilizamos las propiedades de la Tabla 20. Los parámetros mas relevantes del material para configurar el modelo de material de Mohr – Coulomb son la densidad del material ρ, el módulo de Young E en función del tiempo (t), el coeficiente de Poisson v, la cohesión c en función del tiempo (t), el ángulo de fricción interna φ y el ángulo de dilatación ψ.

Tabla 30

Propiedades del material de Mohr-Coulomb utilizada en el modelo numérico

Diseño de mezcla	**ρ**	**E(t)**	**ν**	**C(t)**	**φ**	**ψ**
-	[kg/cm2]	[kPa]	[-]	[kPa]	[°]	[°]

Weber 145-2	2100	1.705 t + 39.48	0.24	0.0636 t + 2.60	20	13

Figura 22

Simulación de impresión de hormigón 3D Stress

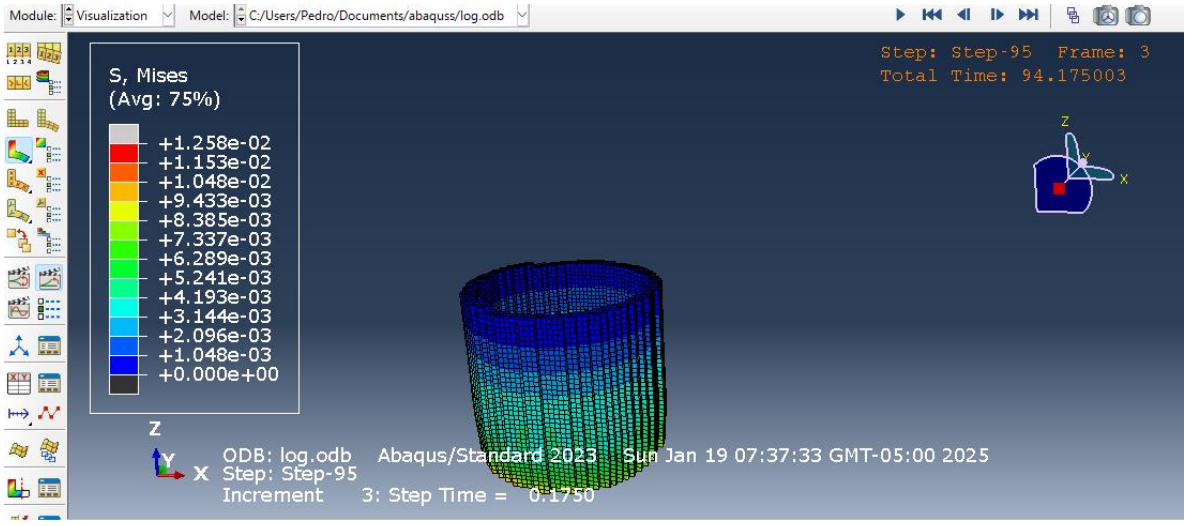


Figura 23

Simulación de impresión de hormigón 3D Undulation

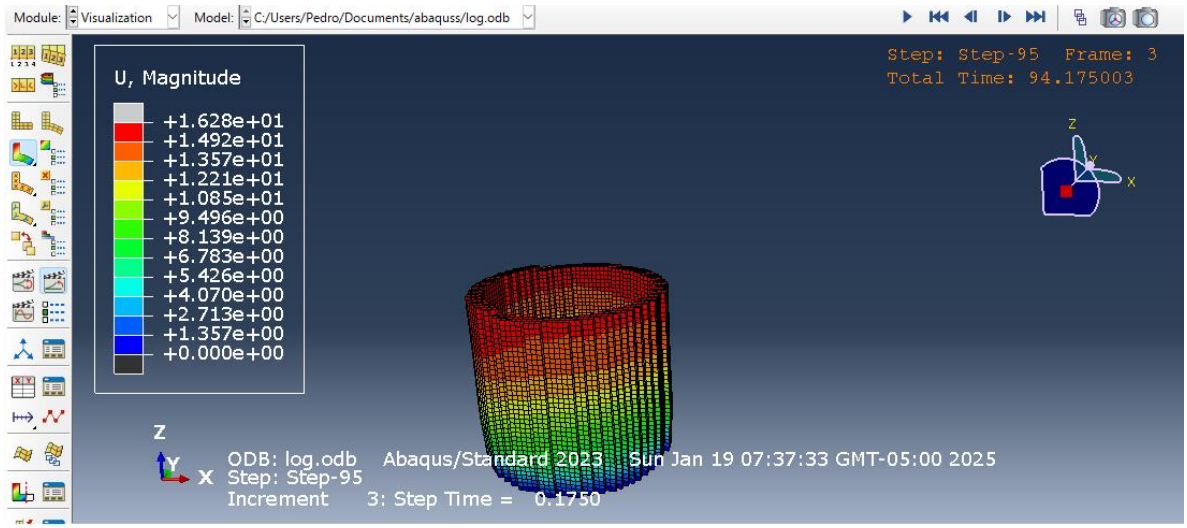


Figura 24

Simulación de impresión de hormigón 3D Stress Falla

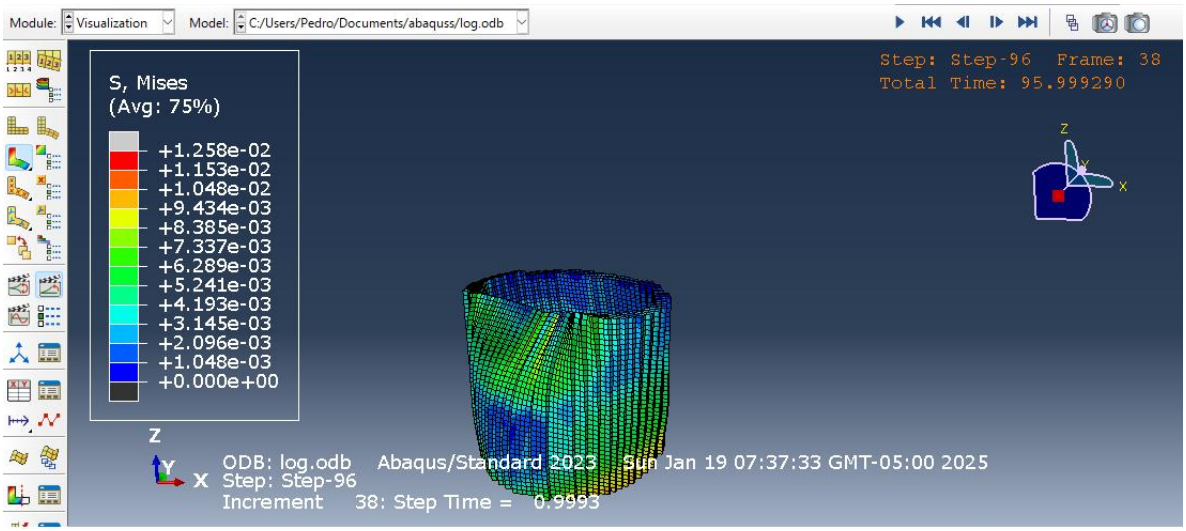
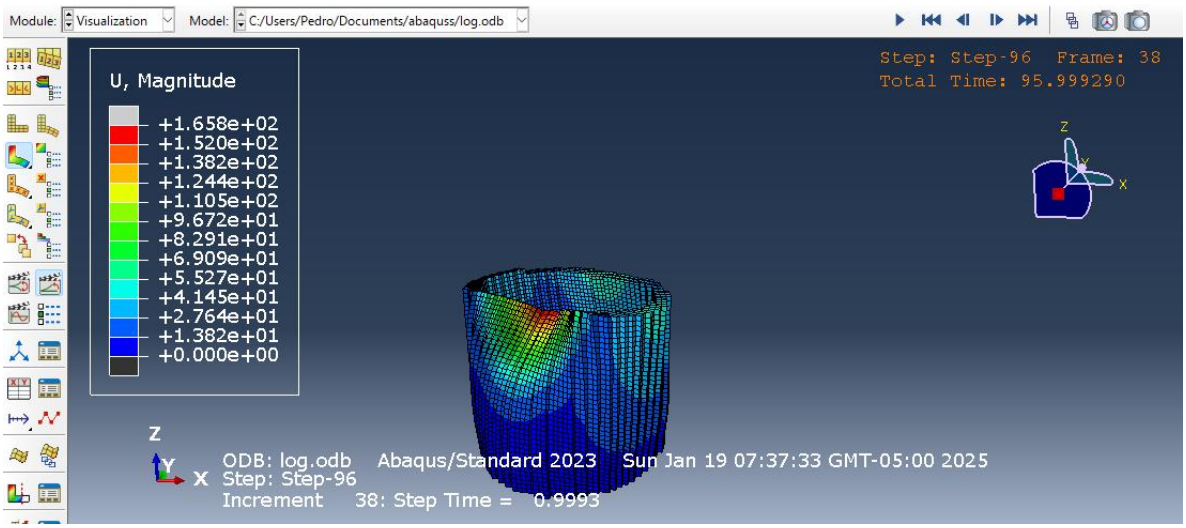


Figura 25

Simulación de impresión de hormigón en 3D Undulation falla



Las características de impresión se añaden en el complemento Voxelprint de Grasshopper, en este caso de estudio la velocidad de impresión es de 100mm/s, este diseño consta de 100 capas de impresión y se visualiza 2 tipos de análisis, por deformación y carga axial. La carga que se le ha asignado es la carga del peso propio que es dependiente de la gravedad. Se observa que a la impresión de la capa N° 95 la estructura aún permanece estable,

aunque en las capas superiores hay un margen de 16.8mm de deformación, en la capa N° 96 se produce el fallo.

Debido a la facilidad que otorga este software de Análisis de Elementos Finitos (FEM) de simular los fallos del hormigón en cada etapa de impresión se determina que un rango comprensible de impresión sin deformaciones excesivas está en el rango de 70-85 números de capas de impresión de hormigón 3D.

3.3 Especificaciones Técnicas

3.3.1 Limpieza de Terreno

Descripción del trabajo

Limpieza y remoción de capa vegetal que exista en el terreno con la finalidad de contar con un espacio libre de compuestos orgánicos que puedan llegar a afecta la estructura.

Equipos

Los equipos con los que se realizará la limpieza del terreno son palas y herramientas menores.

Unidades y Método de Pago

El trabajo se va a pagar por cada m^2 de material removido

3.3.2 Replanteo y Trazado

Descripción del trabajo

Se va a realizar el trazado en terreno según lo que indiquen los planos con la finalidad de plasmar de manera precisa las dimensiones de la vivienda

Equipos

Se realizará el trazado y replanteo en el terreno utilizando cal

Unidades y Método de Pago

El trabajo se va a pagar por cada m^2 de construcción

3.3.3 Excavación y Desalojo

Descripción del trabajo

Se realizarán las excavaciones necesarias para poder comenzar a construir las cimentaciones de la estructura.

Equipos

Las excavaciones se llevarán a cabo con una retroexcavadora operada por personal que posea las competencias para hacerlo.

Unidades y Método de Pago

El trabajo se va a pagar por cada m^3 de material excavado y desalojado

3.3.4 Relleno compactado con material de sitio

Descripción del trabajo

Se colocará relleno con el material que se ha extraído del sitio. Luego de esto, se compactará el terreno colocado.

Equipos

El relleno se llevará a cabo utilizando palas, carretillas y herramientas menores. La compactación del terreno se la realizará utilizando un pisón de 10” x 10”.

Unidades y Método de Pago

El trabajo se va a pagar por cada m^3 de material rellenado y debidamente compactado.

3.3.5 Hormigón para replantillo

Descripción

Capa de hormigón que se coloca sobre el terreno natural con el fin de que los elementos estructurales no se encuentren en contacto directo con el suelo.

Método de Elaboración

El hormigón debe de ser realizado según lo que indica la NTE INEN 1855-2.

Unidades y Método de Pago

El trabajo se va a pagar por cada m^3 de hormigón puesto en sitio.

3.3.6 Hormigón premezclado f’c=280 kg/cm²

Descripción

Concreto premezclado en planta hormigonera transportado a sitio mediante camión mixer.

Método de Elaboración

El hormigón debe de ser elaborado según lo que indica la NTE INEN 1855-1.

Unidades y Método de Pago

El trabajo se va a pagar por cada m^3 de hormigón puesto en sitio.

3.3.7 Hormigón premezclado f'c=210 kg/cm²

Descripción

Concreto premezclado en planta hormigonera transportado a sitio mediante camión mixer.

Método de Elaboración

El hormigón debe de ser elaborado según lo que indica la NTE INEN 1855-1.

Unidades y Método de Pago

El trabajo se va a pagar por cada m^3 de hormigón puesto en sitio.

3.3.8 Encofrado de madera

Descripción

Estructura de madera que servirá para definir la geometría de los elementos al fundirlos con hormigón

Materiales

Para esto se necesitarán tablones de plywood, clavos, serruchos, martillos y demás herramientas menores

Unidades y Método de Pago

El trabajo se va a pagar por cada m^2 de encofrado colocado

3.3.9 Varillas de acero corrugado Φ12 mm

Descripción

Varillas de acero que se utilizarán en el armado de los elementos que conforman la estructura de la vivienda

Método de Elaboración

Estas varillas deberán ser elaboradas bajo lo que indica la NTE INEN 2167

Unidades y Método de Pago

El trabajo se va a pagar por cada Kg de varilla de acero utilizado.

3.3.10 Varillas de acero corrugado Φ10 mm

Descripción

Varillas de acero que se utilizarán en el armado de los elementos que conforman la estructura de la vivienda

Método de Elaboración

Estas varillas deberán ser elaboradas bajo lo que indica la NTE INEN 2167

Unidades y Método de Pago

El trabajo se va a pagar por cada Kg de varilla de acero utilizado.

Capítulo 4

4. ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL

4.1 Descripción del proyecto

El proyecto por desarrollar es la construcción de una vivienda de 2 pisos construida con hormigón armado y parcialmente impreso con hormigón en 3D. Este enfoque se da debido a la necesidad de disminuir la huella de carbono e impacto ambiental en las construcciones habitacionales que actualmente se realizan a gran escala en país al desarrollar proyectos inmobiliarios. Esto permite tener fomentar ciertos Objetivos de Desarrollo sostenible (ODS), tales como el N° 9, 11 y 13. Que detallan prácticas sostenibles en la construcción y preservación de los recursos naturales.

Es importante evaluar el impacto ambiental que tendrá el proyecto en esta zona, ya que se encuentras zonas industriales y además zonas residenciales. Para esto, se propone medir la huella de carbono que deja cada actividad que se realiza en este sector. Además, se pretende evaluar el nuevo método de construcción que evita la implementación de encofrado de madera o metal.

La propuesta del proyecto para mitigar el impacto ambiental que lleva consigo la producción de concreto es la utilización de materiales eco amigables, y también así la inclusión de materia prima que son residuos de otras industrias y que normalmente son desechadas.

La ubicación del proyecto se puede evidenciar en la figura 1 del capítulo 2, esta se encuentra al norte de la ciudad de Guayaquil, a mediana distancia de una zona un poco industrial y muy cerca de una urbanización privada, en el terreno hay maleza tal como monte. La tecnología para utilizar en este proyecto es una máquina automatizada que imprime el hormigón por capas.

4.2 Línea base ambiental

Actualmente, en la ciudad de Guayaquil existen varias canteras de donde se extrae material pétreo. Esto representa un factor muy importante a tomar en cuenta ya que la explotación de este

recurso natural trae consigo muchas afectaciones ambientales, tales como: pérdida de hábitats naturales, contaminación atmosférica, contaminación por ruido, fuentes de polvo, etc.

Además de la explotación de canteras, también se explotan los bancos de arena de los ríos, lo cual afecta de gran manera a los ecosistemas acuáticos, mermando así la biodiversidad que pudiese llegar a existir en estos cuerpos de agua.

Los factores a los cuáles se está afectando provienen de un sistema: socioeconómico cultural, en un medio: socio cultural que tiene elementos de: evolución y patrimonio que conllevan en sí a factores tales como una vivienda digna, un espacio seguro y crecimiento ordenado de la población.

4.2.1 Medio físico - químico inerte.

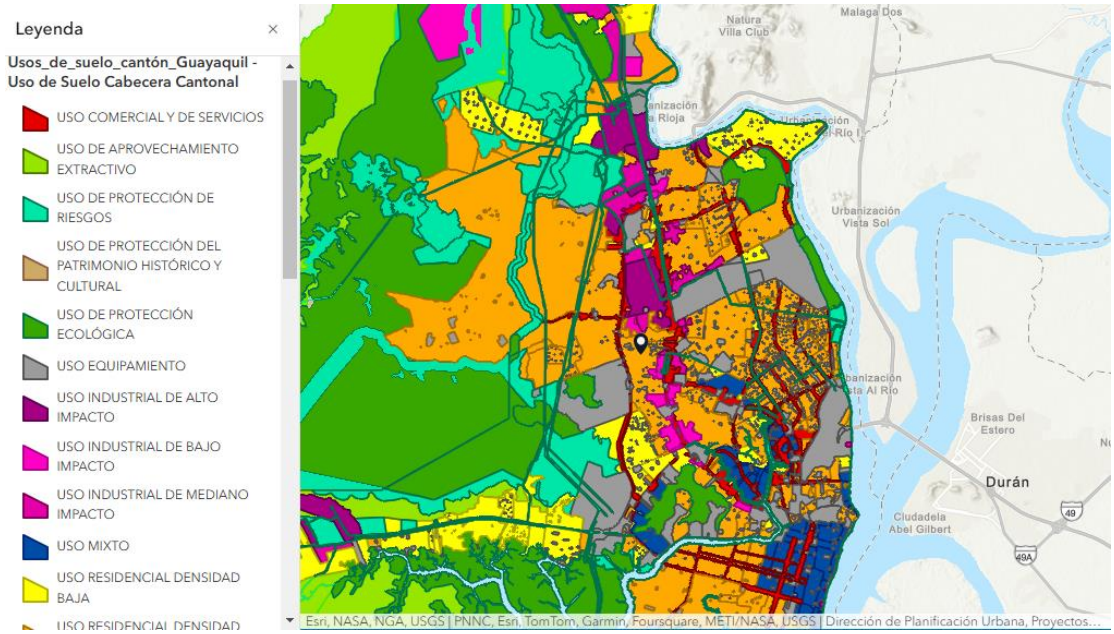
En este tipo de construcción los medios físicos – químicos afectados son: suelo, agua y aire. Hay que considerar que debido a la presencia de cemento en la zona constructiva y la construcción de la cimentación se vea un poco mas afectado el suelo e incluso el subsuelo.

4.2.1.1 **Suelo y subsuelo.** El suelo de la ciudad de Guayaquil en ciertas zonas es arcilloso y en otras su estrato es rocoso, considerando los estudios geotécnicos previos el terreno del proyecto es considerado rocoso. El relieve es plano en su mayoría. La ciudad está a 4msnm, lo que hay que considerar en muchos sectores al momento de construir la cimentación.

4.2.1.2 **Hidrósfera.** Debido a la altitud y estratigrafía del suelo la afectación a nivel hídrico no es del todo relevante, pero si se debe considerar el curso que tendrá las aguas lluvias y residuales aguas abajo para evitar afectaciones a zonas mas bajas. A continuación, se muestra el mapa de uso de suelo del periodo 2019-2022, este mapa se extrajo del geoportal - Guayaquil. En el mapa se evidencia que el punto de localización del terreno está en una zona residencial y cerca de zonas industriales. No hay afectaciones a vegetación ni cuerpos de agua dulce o marino [29].

Figura 26

Mapa de uso de suelo Guayaquil 2019-2022



Nota. Obtenido del geoportal – Guayaquil

4.2.2 Medio Físico – Biótico

4.2.2.1 **Flora y Fauna.** A continuación, se detallará la flora y fauna más relevante y característica de la zona:

- Mangle Rojo: especie dominante en los manglares de Guayaquil
- Ceibo: árbol icónico de la región
- Guachapelí: también conocido como árbol de la lluvia emblemático en la región.
- Iguana verde: frecuente en los manglares y áreas verdes de la ciudad.
- Venado de cola blanca: Aunque más tímidos y menos frecuente en la ciudad
- Mariposas: Guayaquil hospeda una gran variedad de especies

4.2.3 Medio social

4.2.3.1 Economía y empleo. Guayaquil es el principal puerto del país, lo que genera dinamismo en su economía en cuanto al comercio, exportación e industria. Esto ha creado una clase media sostenible con el tiempo.

4.2.3.2 Población. Guayaquil cuenta con aproximadamente 2.7 millones de habitantes. El crecimiento urbano acelerado ha llevado a expansiones territoriales en zonas planificadas como en asentamientos irregulares e informales.

4.3 Actividades del proyecto

Para el desarrollo del proyecto se usarán materiales que poseen una huella de carbono más baja, como lo es un cemento con adiciones minerales, lo cual reduce el contenido de Clinker en su receta. Esto favorece al medio ambiente ya que la cantidad de material que es explotado de las canteras es mucho menor a la de un cemento Portland, por citar un ejemplo. Además de esto, se utilizarán subproductos provenientes de otras actividades, los cuales son: filler calizo y microsílice. El filler calizo es un material residual proveniente de la trituración de rocas, el cual normalmente se desecha ya que no tiene usos significativos dentro del contexto de la construcción en nuestro país. De la misma manera, la microsílice es un subproducto de la fabricación de ferroaleaciones de silicio y silicio metálico. La utilización de este material es importante dentro del diseño de la mezcla 3DPC porque constituye un material que se le da otra vida útil, y además, ayuda a aumentar la resistencia del concreto, pudiendo así disminuir la cantidad de cemento que se va a utilizar.

Tabla 31

Actividades relevantes en la construcción del proyecto que son con causantes de impacto ambiental

LABOR	ACCIONES
Movimiento de tierras	Desbroce del terreno, desalojo y disposición final de suelo. Mejoramiento de suelo. Nivelación y compactación.
Replanteo y cimentación	Trazado de ejes, excavación y encofrado. Armado de acero, fundición y curado.
Estructura	Armado en acero de elementos estructurales diseñados para soportar, encofrado, fundición y curado.
Impresión de hormigón 3D e instalaciones	Instalación de impresora 3D, impresión de hormigón 3D, colocación de acero de refuerzo e instalaciones eléctricas e hidrosanitarias. Curado.
Acabados	Pintura.
Obra terminada	Limpieza, desmontaje de impresora.
Desmantelamiento de estructuras	Demolición y reciclaje de escombros estructurales

4.4 Identificación de impactos ambientales

Se realizará un análisis por cada material que se utilizará en la mezcla del 3DPC, para así detallar la huella de carbono que conlleva la producción de estos.

Impacto en materiales

¿Se ha evaluado el uso de materiales sostenibles en la mezcla de hormigón para impresión 3D?

Sí, se deben considerar mezclas con menos cemento, agregados reciclados o materiales alternativos como cenizas volantes o escoria de alto horno para reducir la huella de carbono.

¿Se ha comparado la cantidad de material necesario para la impresión 3D versus la construcción convencional?

Sí, la impresión 3D puede reducir el uso de materiales debido al diseño optimizado, pero se debe cuantificar esta reducción.

¿Se utiliza hormigón con bajo contenido de cemento o cemento alternativo en la impresión 3D?

Sí, para minimizar las emisiones de CO2, se deben usar mezclas con menos cemento o alternativas como cemento geopolimérico.

¿Se han considerado las fuentes de los materiales (locales vs. importados) para reducir la huella de transporte?

Sí, preferentemente se deben usar materiales locales para reducir las emisiones de transporte.

Energía y emisiones

¿Se ha calculado el consumo energético del equipo de impresión 3D en comparación con la maquinaria convencional?

Sí, aunque la impresión 3D puede ser más eficiente, el consumo de energía de las impresoras debe ser documentado y comparado.

¿Se han estimado las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) para todo el ciclo de vida del proyecto?

Sí, deben incluirse emisiones desde la extracción de materiales hasta la demolición o reciclaje de la estructura.

¿Se considera el uso de energía renovable en el proceso de construcción?

Sí, usar energía solar o eólica para la construcción puede reducir significativamente las emisiones.

Residuos y reciclaje

¿Se ha planificado la gestión de residuos de la construcción, incluyendo los desechos de impresión 3D y construcción convencional?

Sí, se deben implementar estrategias de reciclaje y reutilización de residuos.

¿Existe una estrategia para el reciclaje o reutilización del hormigón impreso en 3D al final de su vida útil?

Sí, se debe planificar el desmantelamiento y reciclaje de los componentes de hormigón.

¿Se han minimizado los residuos de corte o desperdicio en la construcción convencional?
Sí, a través de técnicas de construcción eficientes y planificación detallada.

Impacto en el entorno local
¿Se ha analizado el impacto en la biodiversidad local debido a la construcción?
Sí, considerando tanto la fase de construcción como la ocupación de la vivienda.
¿Se han estudiado los efectos sobre el uso del suelo y la cobertura vegetal?
Sí, se debe asegurar que la construcción no degrade significativamente el paisaje o la vegetación.
¿Se evalúan los efectos sobre el ruido y la contaminación del aire durante la construcción?
Sí, con medidas para mitigar estos impactos, como horarios de construcción y tecnologías limpias.

Sostenibilidad y Desempeño del Edificio
¿El diseño de la vivienda incluye principios de eficiencia energética?
Sí, como orientación solar, aislamiento adecuado y uso de materiales de baja energía.
¿Se han considerado sistemas de manejo del agua, como recolección de agua de lluvia?
Sí, para reducir el consumo de agua potable y manejar eficazmente el drenaje.
¿Se ha evaluado la durabilidad de las estructuras impresas en 3D en comparación con las convencionales?
Sí, considerando las condiciones ambientales específicas y materiales utilizados.

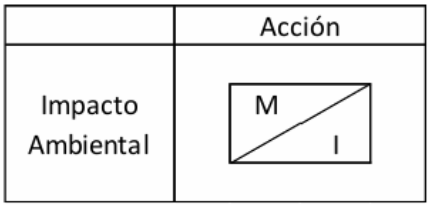
Impacto social y económico
¿Se ha analizado el impacto en la comunidad local, incluyendo empleo y capacitación?
Sí, la introducción de nueva tecnología puede requerir formación y podría generar empleos.
¿Se ha considerado la accesibilidad y adaptabilidad de la vivienda para personas con discapacidades?
Sí, con diseños universales o adaptables.
¿Existe un plan para la participación de la comunidad en el proceso de construcción y decisión?
Sí, para asegurar que las viviendas respondan a las necesidades locales.
¿Se han evaluado los costos de ciclo de vida de la vivienda, incluyendo mantenimiento y desmantelamiento?
Sí, para comprender la sostenibilidad económica a largo plazo del proyecto.

4.5 Valoración de impactos ambientales

Para la valorización cualitativa del impacto ambiental se implementará la matriz de Leopold con las respectivas valoraciones en capa proceso de la construcción del proyecto habitacional en hormigón armado e impreso en 3D [30].

Las columnas representan los posibles impactos ambientales hacia la naturaleza y en las filas se encuentran los posibles factores del ambiente.

La evaluación de los factores y puntuaciones de esta matriz tiene la siguiente estructura.



M: Representa la magnitud del impacto hacia un área en específico. Esta valoración puede ser negativa (-) o positiva (+), dependiendo del método de construcción y su posible afectación.

I: Representa el valor de importancia que tiene el posible impacto ambiental sobre esa área determinada.

A continuación, se detallará los valores correspondientes a magnitud e importancia que se usarán como referencia en la matriz de Leopold:

Tabla 32

Ponderaciones usados en la matriz de Leopold

Magnitud (M)			**Importancia (I)**		
Intensidad	**Alteración**	**Ponderación**	**Duración**	**Influencia**	**Ponderación**
Baja	Baja	(+/-) 1	Temporal	Puntual	1

Baja	Media	(+/-) 2	Media	Puntual	2
Baja	Alta	(+/-) 3	Permanente	Puntual	3
Media	Baja	(+/-) 4	Temporal	Local	4
Media	Media	(+/-) 5	Media	Local	5
Media	Alta	(+/-) 6	Permanente	Local	6
Alta	Baja	(+/-) 7	Temporal	Regional	7
Alta	Media	(+/-) 8	Media	Regional	8
Alta	Alta	(+/-) 9	Permanente	Regional	9
Muy Alta	Alta	(+/-) 10	Permanente	Nacional	10

Nota: Leopold (1971)

A continuación, se detalla la matriz para valorar y emitir un juicio sobre los resultados de la matriz de Leopold.

Tabla 33

Valoración de Impactos Ambientales finales en la matriz de Leopold

Valoración de Impactos Ambientales	
Impacto Bajo	1-30
Impacto Medio	31-61
Impacto Severo	61-92
Impacto Crítico	>93

Nota: Leopold (1971).

Según la evaluación realizada en la Matriz de Leopold se considera que existe un impacto ambiental bajo, esto debido puede ser debido a la poca cantidad de encofrado que se le da la estructura debido a la impresión de hormigón en 3D. La cimentación es convencional, por ende, las demandas de impacto ambiental se mantienen, además, la poca generación de ruido no es incluyente, por esa razón se la descartó de la matriz de avaluación.

En cuanto a los valores, se obtuvo un valor de 4.5 positivo en Magnitud, esto según el factor de empleo y reciclaje de escombros, que fueron uno de los aspectos más importante a considerar como positivos en el proyecto, debido a la calidad y tipo de material a usar. Tenemos un valor de 1 negativo en Magnitud, esto es debido a la práctica convencional de la construcción en cuanto a zapatas y ciertas piezas de la estructura, aún así se considera bajo.

Figura 27

Matriz de Leopold para EIA del proyecto

Construcción de vivienda de 2 pisos parcialmente con hormigón impreso en 3D		Movimiento de tierras			Replanteo y cimentación		Estructura		Impresión de hormigón 3D e instalaciones			Acabados	Obra terminada	Desmantelamiento de estructura.		Afectaciones		Sumatoria	
Factores ambientales		Desbroce del terreno, desalojo y disposición.	Mejoramiento de suelo.	Nivelación y compactación.	Trazado de ejes, excavación y encofrado.	Armado de acero fundición y curado.	Armado en acero de elementos estructurales diseñados	Encofrado, fundición y curado.	Instalación de impresora 3D.	Impresión de hormigón 3D e instalación de sistemas eléctricos e hidrosanitarios.	Curado.	Pintura.	Limpieza desmontaje de impresora.	Demolición.	Reciclaje de escombros.	+	-	+	-
Hidrósfera	Calidad del agua					-1 / 3		-1 / 3								0	2		2 / 6
	Calidad del aire (gases, partículas)										-1 / 3	-1 / 3				0	2		2 / 6
Suelo-Subsuelo	Composición	-1 / 3	3 / 3		-1 / 3											1	2	3 / 3	2 / 6
	Desechos	-1 / 3				-1 / 3									3 / 3	1	2	3 / 3	2 / 6
Fauna - Flora	Microflora	-1 / 3														0	1	0	1 / 3
	Animales terrestres, incluyendo reptiles	-1 / 1														0	1	0	1 / 1
Social	Empleo	5 / 3	5 / 3	5 / 3	5 / 3	5 / 3	5 / 3	5 / 3	5 / 3	5 / 3	5 / 3	5 / 3	5 / 3	5 / 3	5 / 3	14	0	70 / 42	
	Población					-1 / 1						-1 / 3			1 / 3	1	2	1 / 3	2 / 4
Afectaciones	+	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	17			
	-	4	0	0	1	3	0	1	0	0	1	2	0	0	0		12		
Total de afectaciones		5	2	1	2	4	1	2	1	1	2	3	1	1	3				
Sumatoria	+	5 / 3	8 / 6	5 / 3	5 / 3	5 / 3	5 / 3	5 / 3	5 / 3	5 / 3	5 / 3	5 / 3	5 / 3	5 / 3	8 / 9			76 / 51	
	-	4 / 10	0 / 0	0 / 0	1 / 3	3 / 7	0 / 0	1 / 3	0 / 0	0 / 0	1 / 3	2 / 6	0 / 0	0 / 0	0 / 0				12 / 22
RESULTADO																		4.5 / 3	1 / 1.83

Nota: Evaluación de Impacto Ambiental por medio de la matriz de Leopold, resultados indican un impacto ambiental bajo

4.6 Medidas de prevención/mitigación

Tipos de medidas de prevención o mitigación estudiadas en su investigación y su plan de manejo ambiental propuesto.

Eficiencia energética: Utilizar paneles fotovoltaicos con el fin de reducir la cantidad de CO2 emitida por las fuentes de energía eléctricas, tales como generador eléctrico con motor de combustión interna.

Reutilización de materiales: Se puede utilizar materiales que reciclados tales como, vidrio molido, plásticos residuales, escoria de alto horno, ceniza volante. Con el fin de aminorar la cantidad de cemento portland y disminuir la huella de carbono.

Mitigación de ruido y polvo: Se debe utilizar técnicas y horarios de construcción que no altere el medio por el cual se transporta el sonido. Con el fin de no perjudicar a las comunidades vecinas.

Capítulo 5

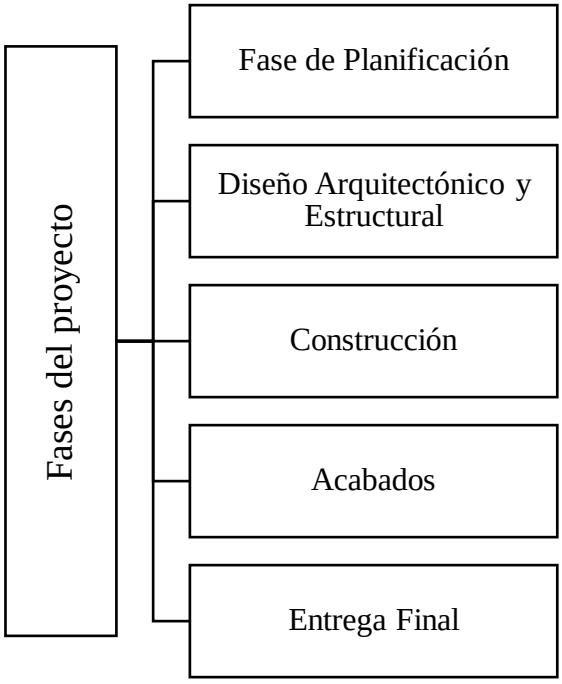
5. PRESUPUESTO

5.1 Estructura Desglosada de Trabajo

El proyecto se dividirá en cinco etapas de manera general. Tal como se muestra en la Ilustración x. Cada una de las etapas en cuestión tiene a su vez varias sub-dependecias, las cuales se describirán más adelante.

Figura 28

Etapas del proyecto

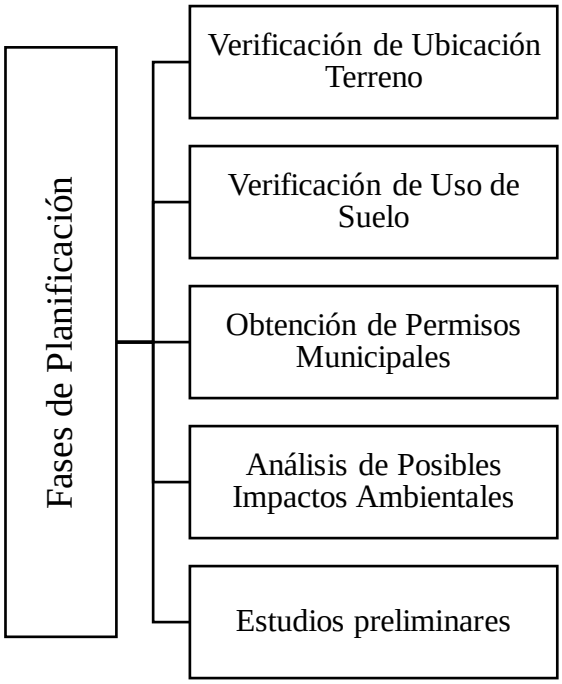


Nota: Estas dependencias representan una vista general del proyecto.

Para ejecutar la fase de planificación del proyecto se toman en cuenta diferentes aristas, las cuales se detallan en el gráfico siguiente.

Figura 29

Fase de Planificación del Proyecto

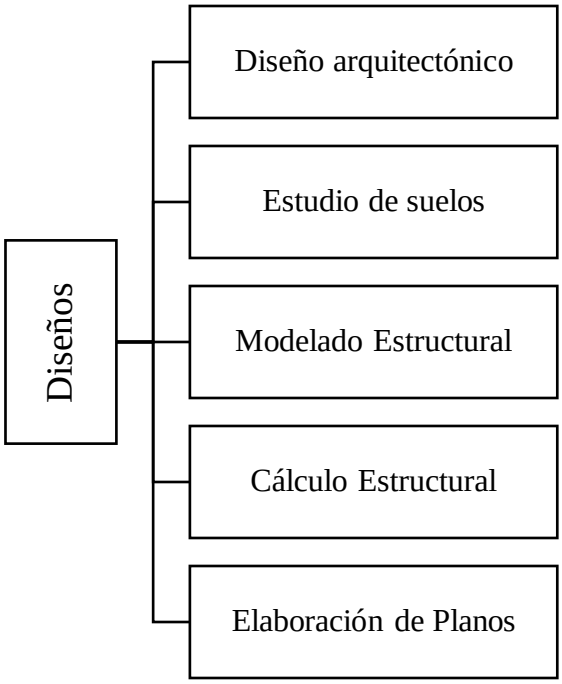


Nota:

Luego de la fase de Planificación, se procederá a realizar los diseños arquitectónicos y estructurales. En primera instancia definiendo espacios funcionales para los usuarios que habitarán la vivienda y, además, realizando los cálculos respectivos para el diseño estructural de la casa. El detalle se muestra en el siguiente esquema.

Figura 30

Fase de Diseño del Proyecto

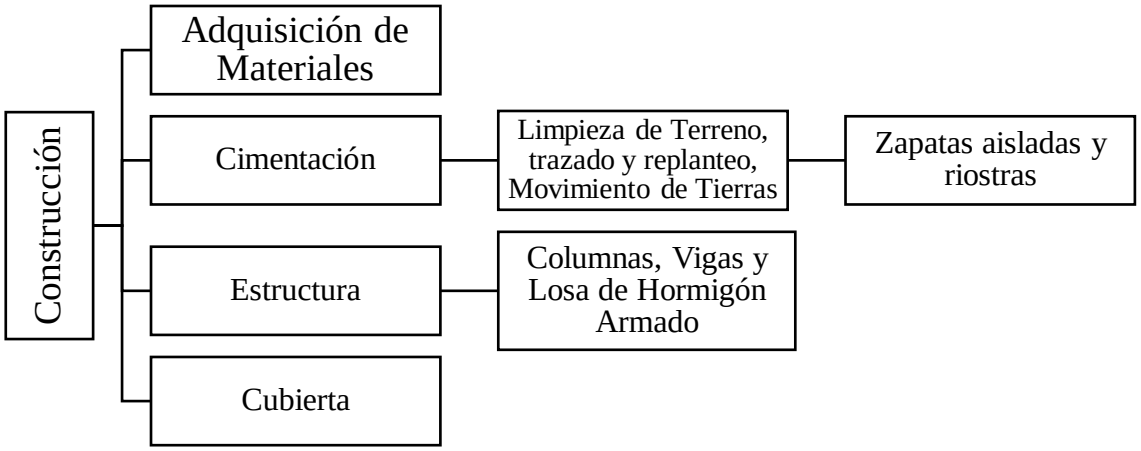


Nota:

Una vez que se diseña la estructura de la vivienda, sigue la fase de construcción. En esta fase es donde se plasmará todo lo que indican los planos. Es de suma importancia que el constructor tenga claras las diversas etapas que existirán a lo largo de la obra, es por eso por lo que se explica en el siguiente gráfico.

Figura 31

Fase de Construcción del Proyecto

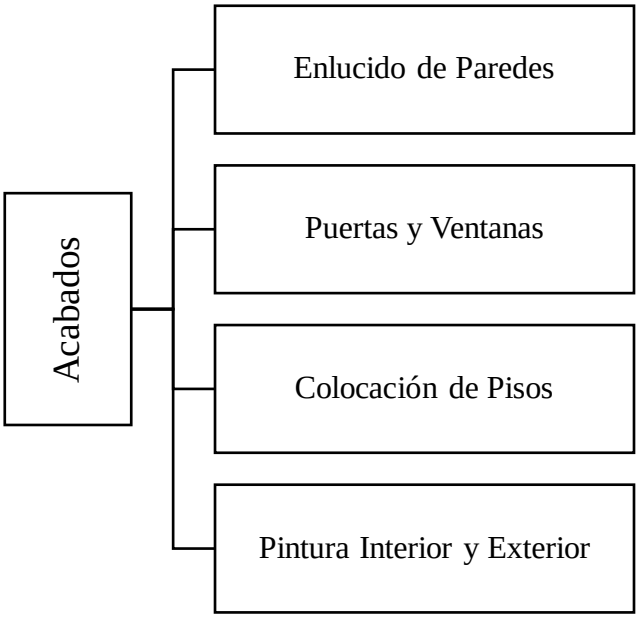


Nota:

Además de la estructura, también deben existir elementos visuales que le brinden estética a la vivienda y por, sobre todo, sea del agrado de los usuarios. Es por esto que la etapa de los acabados constituye una de las fases más importantes, la cual se detalla en el siguiente gráfico.

Figura 32

Fase de Acabados del Proyecto

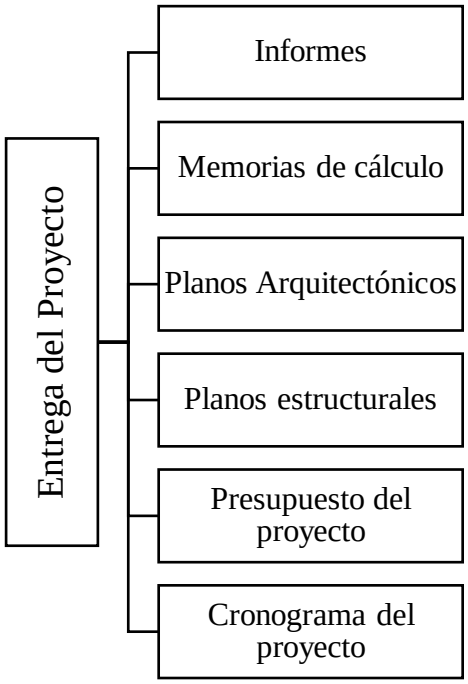


Nota:

Finalmente se encuentra la fase de entrega del proyecto, en donde se le hará la entrega al cliente de los siguientes elementos.

Figura 33

Fase de Entrega del Proyecto



Nota:

5.2 Rubros y análisis de precios unitarios (fusión)

Los rubros del Proyecto con su correspondiente análisis de precios unitarios se encuentran descritos en la tabla presentada a continuación.

Tabla 34

Ánalisis de Precios Unitarios

	RUBRO	UNIDAD	EQUIPO	M. OBRA	MATERIALES	SUBTOTAL COSTOS	INDIRECTOS	P.U TOTAL
1	**TRABAJOS DE CAMPO**							
1.1	Limpieza de terreno	M2	0.31	0.92	0.00	1.23	0.28	1.51
1.2	Replanteo y Trazado	M2	0.01	1.36	1.00	2.37	0.55	2.92
1.3	Instalación Provisional de Agua	MES	0.00	0.00	49.66	49.66	11.42	61.08
1.4	Instalación Provisional de Luz	MES	0.00	6.44	26.37	32.81	7.55	40.36
2	**MOVIMIENTO DE TIERRAS**							
2.1	Excavación y Desalojo	M3	6.84	0.00	0.00	6.84	1.57	8.41
2.2	Relleno compactado con material de sitio	M3	5.13	0.35	0.00	5.48	1.26	6.74
3	**CIMENTACIÓN**							
3.1	Replantillo	M3	10.43	47.93	67.64	126.00	28.98	154.98
3.2	Hormigón premezclado f'c=280 kg/cm2	M3	4.87	16.20	132.54	153.61	33.26	186.87
3.3	Varillas de acero corrugado Φ12mm	Kg	0.04	0.37	0.98	1.39	0.32	1.71
3.4	Encofrado de madera	M2	0.49	9.79	43.55	53.83	12.38	66.21
4	**ESTRUCTURAS**							
4.1	**Columnas**							
4.1.1	Hormigón premezclado f'c=210 kg/cm2	M3	4.87	16.20	119.52	140.59	32.34	172.93
4.1.2	Varillas de acero corrugado Φ12mm	Kg	0.04	0.37	0.98	1.39	0.32	1.71
4.1.3	Varillas de acero corrugado Φ10mm	Kg	0.04	0.37	0.98	1.39	0.32	1.71
4.1.4	Encofrado de madera	M2	0.04	0.85	12.18	13.07	3.01	16.08
4.2	**Vigas Primer Nivel**							
4.2.1	Hormigón premezclado f'c=210 kg/cm2	M3	4.87	16.20	119.52	140.59	32.34	172.93
4.2.2	Varillas de acero corrugado Φ12mm	Kg	0.04	0.37	0.98	1.39	0.32	1.71
4.2.3	Estribos de acero corrugado Φ10mm	Kg	0.04	0.37	0.98	1.39	0.32	1.71
4.2.4	Encofrado de madera	M2	0.04	0.85	12.18	13.07	3.01	16.08
4.3	**Vigas de Cubierta**							
4.3.1	Hormigón premezclado f'c=210 kg/cm2	M3	4.87	16.20	119.52	140.59	32.34	172.93
4.3.2	Varillas de acero corrugado Φ10mm	Kg	0.04	0.37	0.98	1.39	0.32	1.71
4.3.3	Estribos de acero corrugado Φ10mm	Kg	0.04	0.37	0.98	1.39	0.32	1.71
4.3.4	Encofrado de madera	M2	0.04	0.85	12.18	13.07	3.01	16.08
4.4	**Losa de Entrepiso**							
4.4.1	Losa de Piso	M3	3.62	158.29	339.69	501.60	115.37	616.97
4.5	**Escaleras**							
4.5.1	Escalera	M3	36.20	221.74	314.74	572.68	131.72	704.40

	RUBRO	UNIDAD	EQUIPO	M. OBRA	MATERIALES	SUBTOTAL COSTOS	INDIRECTOS	P.U TOTAL
5				MAMPOSTERÍA				
5.1	Paredes de bloque 8x20x40	M2	0.04	13.44	9.46	22.94	5.28	28.22
6				ENLUCIDOS				
6.1	Enlucido Interior	M2	0.03	3.71	4.47	8.21	1.89	10.10
6.2	Enlucido Exterior	M2	0.07	5.66	4.83	10.56	2.43	12.99
6.3	Enlucido Tumbado	M2	0.06	5.66	4.83	10.55	2.43	12.98
7				PINTURA				
7.1	Pintura Interior	M2	0.00	3.51	2.50	6.01	1.38	7.39
7.2	Pintura Exterior	M2	0.00	4.66	3.73	8.39	1.93	10.32
8				PISOS				
8.1	Contrapiso de hormigón 8cm	M2	1.00	4.75	8.30	14.05	3.23	17.28
8.2	Piso de Cerámica	M2	0.00	9.81	13.29	23.10	5.31	28.41
9				CARPINTERÍA				
9.1	Puerta Principal	U	0.00	70.98	128.45	199.43	45.87	245.30
9.2	Puerta de Dormitorios	U	0.00	70.98	99.69	170.67	39.25	209.92
9.3	Puerta de Baños	U	0.00	70.98	65.40	136.38	31.37	167.75
10				CUBIERTA				
10.1	Cubierta Tipo Ondulada	M2	0.00	3.55	15.10	18.65	4.29	22.94

5.3 Descripción de cantidades de obra (Revisar).

TRABAJO DE CAMPO

5.3.1 Limpieza de Terreno

Para definir la cantidad en este rubro se tomaron en cuenta las medidas del terreno para calcular el área total, las cuales son:

$$Ancho = 8.00\ [m]$$

$$Largo = 10.50\ [m]$$

$$Área = 84.00\ [m^2]$$

5.3.2 Replanteo y Trazado

En este rubro se definieron las cantidades en función al área de construcción con el que se diseñó el proyecto. Esto fue obtenido mediante el programa en que se dibujó el plano. Por esto, se establece el área de construcción de la primera planta como,

$$Área\ de\ Construcción = 39.45[m^2]$$

MOVIMIENTO DE TIERRAS

Excavación y Desalojo

Para el cálculo de estos valores se tomó en cuenta la profundidad de desplante de la cimentación, el ancho de las zapatas y el perímetro de la edificación. Se obtuvo el siguiente resultado:

$$Desplante = 0.60\ [m]$$

$$Ancho\ de\ Zapata = 1.50\ [m]$$

$$Perímetro = 26.10\ [m]$$

$$Volumen\ de\ Excavación = 23.49\ [m^3]$$

Relleno Compactado con Material de Sitio

Se define el volumen de este rubro como:

$$Volumen\ de\ Relleno = 13.76\ [m^3]$$

CIMENTACION

Replantillo

Se definen las cantidades de este rubro tomando en cuenta un replantillo de espesor 5 cm y el área de la cimentación. En base a lo antes mencionado, el volumen de replantillo se define como,

$$Espesor = 0.05\ [m]$$
$$Área\ de\ Zapata = 2.25\ [m^2]$$
$$Volumen = 0.11\ [m^3]$$
$$\#Columnas = 9$$

Por tanto, el volumen total se define como,

$$Volumen\ Total = Volumen * \#Columnas$$
$$Volumen\ Total = 1.01\ [m^3]$$

Hormigón premezclado f'c=280 kg/cm2

Esta cantidad se la obtuvo mediante herramientas del software de modelado tridimensional en el que se representó la vivienda. El volumen de hormigón para la cimentación es,

$$Volumen\ Cimentación = 11.10\ [m^3]$$

Varillas de acero corrugado Φ12mm

Esta cantidad fue obtenida mediante el software BIM en el que se modeló la edificación. Por tanto, el peso para todas las cimentaciones es:

$$Peso = 315.79\ [Kg] = 316\ [Kg]$$

Encofrado de madera

Valor obtenido mediante la suma del área de la base y área de las caras de la zapata. Por tanto,

$$Área\ de\ Encofrados = 49.95\ [m^2] = 50\ [m^2]$$

COLUMNAS

Hormigón premezclado f'c=210 kg/cm2

Este valor se obtuvo utilizando el software BIM en que se modeló la vivienda. Por tanto,

$$Volumen = 4.45\ [m^3]$$

Varillas de acero corrugado Φ12mm

Este valor se obtuvo utilizando el software BIM en que se modeló la vivienda. Por tanto,

$$Peso = 288\ [Kg]$$

Varillas de acero corrugado Φ10mm

$$\boldsymbol{Peso = 335\ [Kg]}$$

Encofrado de Madera

Estas cantidades fueron estimadas de acuerdo a la geometría del elemento. Por tanto,

$$Área = 59.4\ [m^2]$$

VIGAS ENTREPISO

Hormigón premezclado f'c=210 kg/cm2

Este valor se obtuvo utilizando el software BIM en que se modeló la vivienda. Por tanto,

$$volumen = 2.6\, m^3$$

Varillas de acero corrugado Φ12mm

Este valor se obtuvo utilizando el software BIM en que se modeló la vivienda. Por tanto,

$$Peso = 214\ [Kg]$$

Varillas de acero corrugado Φ10mm

Este valor se obtuvo utilizando el software BIM en que se modeló la vivienda. Por tanto,

$$Peso = 209\ [Kg]$$

Encofrado de Madera

Estas cantidades fueron estimadas de acuerdo a la geometría del elemento. Por tanto,

$$Área = 30.6\, m^2$$

VIGAS CUBIERTA

Hormigón premezclado f'c=210 kg/cm2

Este valor se obtuvo utilizando el software BIM en que se modeló la vivienda. Por tanto,

$$volumen = 1.8\, m^3$$

Varillas de acero corrugado Φ12mm

Este valor se obtuvo utilizando el software BIM en que se modeló la vivienda. Por tanto,

$$Peso = 89\ [Kg]$$

Varillas de acero corrugado Φ10mm

Este valor se obtuvo utilizando el software BIM en que se modeló la vivienda. Por tanto,

$$Peso = 155\ [Kg]$$

Encofrado de Madera

Estas cantidades fueron estimadas de acuerdo con la geometría del elemento. Por tanto,

$$Área = 23.4\ m^2$$

Losa

Este valor se obtuvo utilizando el software BIM en que se modeló la vivienda. Por tanto,

$$volumen = 7.9\ m^3$$

Escalera

Este valor se obtuvo utilizando el software BIM en que se modeló la vivienda. Por tanto,

$$volumen = 2.20\ m^3$$

5.4 Valoración integral del costo del proyecto

En base al análisis de precios unitarios y las cantidades que se han estimado, el costo total del proyecto se describe en la siguiente tabla. |

Tabla 35

Presupuesto del proyecto

Vivienda de Interés Social							
Partida	**Descripción**	**Unidad**	**Cantidad**		**Tarifa**		**Monto**
1	**Acondicionamiento del sitio**					**$**	**1,141.05**
1.1	Limpieza de terreno	m2	84	$	1.51	$	126.84
1.2	Replanteo y Trazado	m2	39.45	$	2.92	$	115.19
1.3	Instalación Provisional de Agua	mes	6	$	61.08	$	366.48
1.4	Instalación Provisional de Luz	mes	6	$	40.36	$	242.16
1.5	Excavación y Desalojo	m3	23.5	$	8.41	$	197.64
1.6	Relleno compactado con material de sitio	m3	13.76	$	6.74	$	92.74
2	**Obra Civil**					**$**	**18,094.05**
2.1	**Cimentación**					**$**	**6,095.50**
2.1.1	Hormigón simple replantillo fc=140kg/cm2	m3	1.1	$	154.98	$	170.48
2.1.2	Hormigón premezclado para zapatas fc= 280 kg/cm2	m3	11.1	$	186.87	$	2,074.26
2.1.3	Varillas de acero corrugado Φ12mm	Kg	316	$	1.71	$	540.27
2.1.4	Encofrado de madera	m2	50	$	66.21	$	3,310.50
2.2	**Columnas**					**$**	**2,799.48**
2.2.1	Hormigón premezclado para columnas fc= 210 kg/cm2	m3	4.45	$	172.93	$	769.54
2.2.2	Varillas de acero corrugado Φ12mm	Kg	288	$	1.71	$	492.39
2.2.3	Estribos de acero corrugado Φ10mm	Kg	335	$	1.71	$	572.75
2.2.4	Encofrado de madera	m2	60	$	16.08	$	964.80
2.3	**Vigas de Primer Nivel**					**$**	**1,671.30**
2.3.1	Hormigón premezclado para vigas de primer nivel f'c=210 kg/cm2	m3	2.6	$	172.93	$	449.62
2.3.2	Varillas de acero corrugado Φ12mm	Kg	209	$	1.71	$	357.33
2.3.3	Estribos de acero corrugado Φ10mm	Kg	214	$	1.71	$	365.88
2.3.4	Encofrado de madera	m2	31	$	16.08	$	498.48
2.4	**Vigas de Cubierta**					**$**	**1,104.03**
2.4.1	Hormigón premezclado para vigas de cubierta f'c=210 kg/cm2	m3	1.8	$	172.93	$	311.27
2.4.2	Varillas de acero corrugado Φ12mm	Kg	88.8	$	1.71	$	151.82
2.4.3	Estribos de acero corrugado Φ10mm	Kg	154.8	$	1.71	$	264.66
2.4.4	Encofrado de madera	m2	23.4	$	16.08	$	376.27
2.5	**Losa de Entre Piso**					**$**	**4,874.06**
2.5.1	Losa de Piso	m3	7.9	$	616.97	$	4,874.06
2.6	**Escaleras**					**$**	**1,549.68**
2.6.1	Escalera	m3	2.2	$	704.40	$	1,549.68
3	**Obra Arquitectónica**					**$**	**18,577.02**
3.1	Paredes de bloque 8x20x40	m2	122	$	28.22	$	3,442.84
3.2	Enlucido Interior	m2	168	$	10.10	$	1,696.80
3.3	Enlucido Exterior	m2	303	$	12.99	$	3,935.97
3.4	Enlucido Tumbado	m2	38	$	12.98	$	493.24
3.5	Pintura Interior	m2	303	$	7.39	$	2,239.17
3.6	Pintura Exterior	m2	168	$	10.32	$	1,733.76
3.7	Contrapiso de hormigón 8cm	m2	39.45	$	17.28	$	681.70
3.8	Piso de Cerámica	m2	61	$	28.41	$	1,733.01
3.9	Puerta Principal	u	1	$	245.30	$	245.30
3.10	Puerta de Dormitorios	u	4	$	209.92	$	839.68
3.11	Puerta de Baños	u	3	$	167.75	$	503.25
3.12	Cubierta Tipo Ondulada	m2	45	$	22.94	$	1,032.30
					Total	**$**	**37,812.12**

Con esto, se estima el costo por m2 de la vivienda, tal como se muestra a continuación.

Tabla 36

Costo por metro cuadrado de construcción

Costo total	m2 de construcción	$/m2
$37,812.12	78.9	$ 479.24

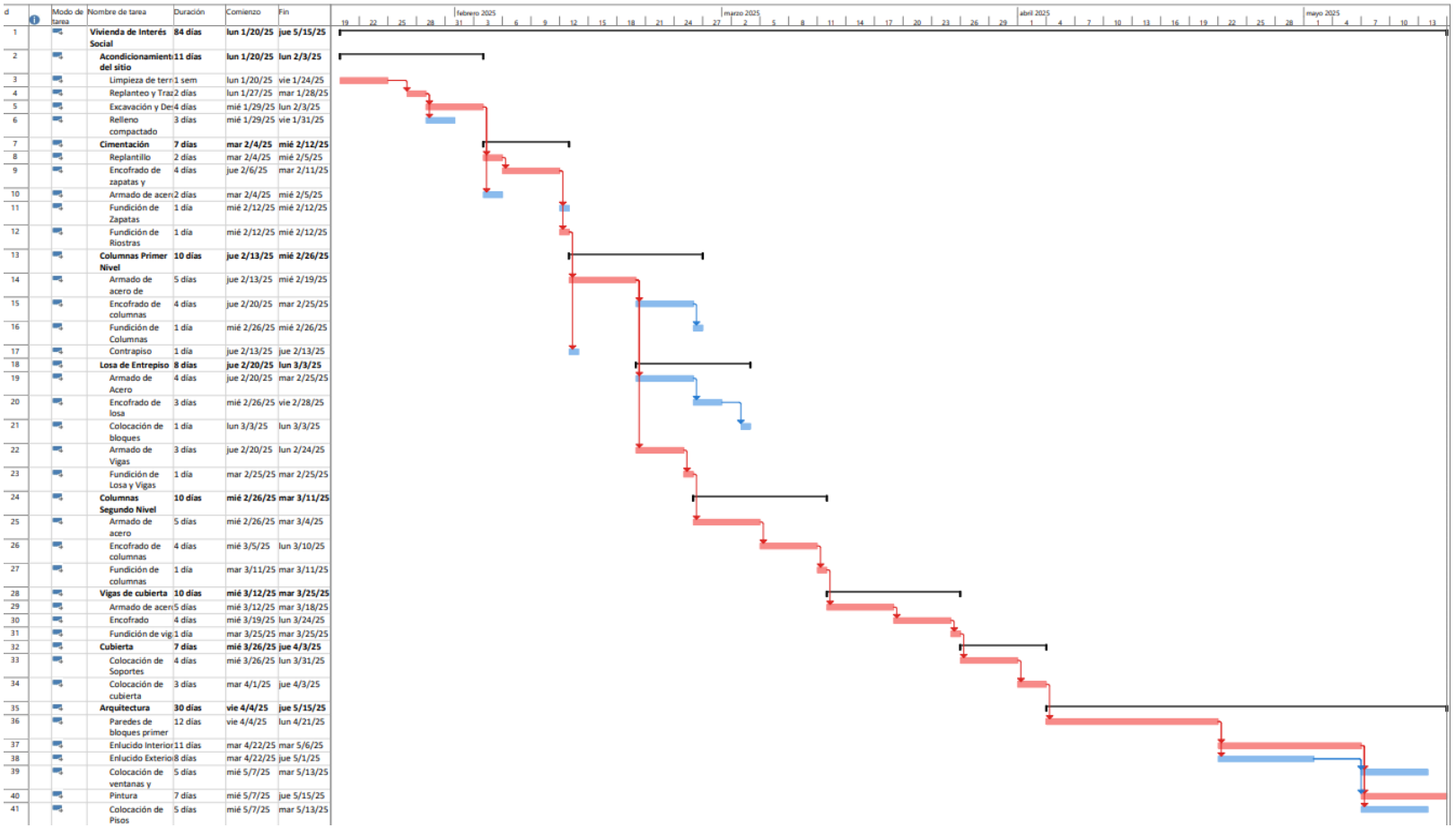
Nota: En base a este valor, la vivienda se clasifica dentro del tipo de interés social

5.5 Cronograma de obra

Se estima la duración del proyecto y se lo plasma en un diagrama de Gantt, tal como lo muestra la siguiente ilustración.

Figura 34

Diagrama de Gantt Cronograma del Proyecto



d	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
1		**Vivienda de Interés Social**	**84 días**	**lun 1/20/25**	**jue 5/15/25**
2		**Acondicionamiento del sitio**	**11 días**	**lun 1/20/25**	**lun 2/3/25**
3		Limpieza de terr	1 sem	lun 1/20/25	vie 1/24/25
4		Replanteo y Traz	2 días	lun 1/27/25	mar 1/28/25
5		Excavación y De	4 días	mié 1/29/25	lun 2/3/25
6		Relleno compactado	3 días	mié 1/29/25	vie 1/31/25
7		**Cimentación**	**7 días**	**mar 2/4/25**	**mié 2/12/25**
8		Replantillo	2 días	mar 2/4/25	mié 2/5/25
9		Encofrado de zapatas y	4 días	jue 2/6/25	mar 2/11/25
10		Armado de acer	2 días	mar 2/4/25	mié 2/5/25
11		Fundición de Zapatas	1 día	mié 2/12/25	mié 2/12/25
12		Fundición de Riostras	1 día	mié 2/12/25	mié 2/12/25
13		**Columnas Primer Nivel**	**10 días**	**jue 2/13/25**	**mié 2/26/25**
14		Armado de acero de	5 días	jue 2/13/25	mié 2/19/25
15		Encofrado de columnas	4 días	jue 2/20/25	mar 2/25/25
16		Fundición de Columnas	1 día	mié 2/26/25	mié 2/26/25
17		Contrapiso	1 día	jue 2/13/25	jue 2/13/25
18		**Losa de Entrepiso**	**8 días**	**jue 2/20/25**	**lun 3/3/25**
19		Armado de Acero	4 días	jue 2/20/25	mar 2/25/25
20		Encofrado de losa	3 días	mié 2/26/25	vie 2/28/25
21		Colocación de bloques	1 día	lun 3/3/25	lun 3/3/25
22		Armado de Vigas	3 días	jue 2/20/25	lun 2/24/25
23		Fundición de Losa y Vigas	1 día	mar 2/25/25	mar 2/25/25
24		**Columnas Segundo Nivel**	**10 días**	**mié 2/26/25**	**mar 3/11/25**
25		Armado de acero	5 días	mié 2/26/25	mar 3/4/25
26		Encofrado de columnas	4 días	mié 3/5/25	lun 3/10/25
27		Fundición de columnas	1 día	mar 3/11/25	mar 3/11/25
28		**Vigas de cubierta**	**10 días**	**mié 3/12/25**	**mar 3/25/25**
29		Armado de acer	5 días	mié 3/12/25	mar 3/18/25
30		Encofrado	4 días	mié 3/19/25	lun 3/24/25
31		Fundición de vig	1 día	mar 3/25/25	mar 3/25/25
32		**Cubierta**	**7 días**	**mié 3/26/25**	**jue 4/3/25**
33		Colocación de Soportes	4 días	mié 3/26/25	lun 3/31/25
34		Colocación de cubierta	3 días	mar 4/1/25	jue 4/3/25
35		**Arquitectura**	**30 días**	**vie 4/4/25**	**jue 5/15/25**
36		Paredes de bloques primer	12 días	vie 4/4/25	lun 4/21/25
37		Enlucido Interior	11 días	mar 4/22/25	mar 5/6/25
38		Enlucido Exterio	8 días	mar 4/22/25	jue 5/1/25
39		Colocación de ventanas y	5 días	mié 5/7/25	mar 5/13/25
40		Pintura	7 días	mié 5/7/25	jue 5/15/25
41		Colocación de Pisos	5 días	mié 5/7/25	mar 5/13/25

Nota: Graficado en MS Project

Capítulo 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Se ha diseñado una vivienda de interés social mediante un sistema compuesto por pórticos de hormigón armado. Para el cálculo de estos pórticos se tomaron en cuenta las diversas cargas que actúan en la estructura, además del respectivo análisis estructural mediante software, dando como resultado elementos que aseguren la ductilidad para lograr disipar la energía en el momento que un sismo ocurra. Referente al costo de la vivienda, representa un valor acorde con la realidad de nuestro país, dado que el valor por metro cuadrado de construcción es apenas superior al SBU que está vigente en Ecuador. Con esto, se espera contribuir efectivamente a la solución del déficit habitacional que existe en la actualidad.

Por otro lado, para el diseño de la mezcla de 3DPC se tomaron en cuenta factores como la trabajabilidad, cohesión y resistencia que debía tener el hormigón. Se realizaron múltiples pruebas en laboratorio, en donde se pudieron evidenciar los comportamientos de los diferentes diseños. Además, se modeló la impresión en un programa de análisis de elementos finitos, en donde diversos parámetros fueron obtenidos de manera teórica. En dicho análisis, el resultado fue una estructura firme y viable para construir, tomando en cuenta una configuración estructural de muros.

6.2 Recomendaciones

Las pruebas de laboratorio para la tecnología de impresión 3D con hormigón (3DPC) deberían realizarse utilizando una impresora de hormigón real. Esto permitiría obtener resultados más representativos y precisos, considerando las condiciones reales de impresión. Es importante tener en cuenta que, durante el bombeo del hormigón a través de las tuberías de la impresora, la mezcla puede experimentar una significativa pérdida de trabajabilidad. Por lo tanto, se recomienda diseñar un hormigón especialmente adaptado para este propósito, siendo el concreto

autocompactante una opción adecuada debido a sus propiedades de fluidez y cohesión, que minimizan los problemas relacionados con el transporte y la extrusión

Referencias

[1] Hernández, H. y Meza, L. (2011). Propuesta de una metodología de certificación de eficiencia energética para viviendas en Chile. *Revista de la Construcción*, 10(1), 53-63. doi: 10.4067/S0718-915X2011000100006

[2] Reyes Bueno, F., & Balcázar Gallegos, C. (2021). Factores que inciden en la probabilidad de ocurrencia de incendios forestales en Ecuador. FIGEMPA: Investigación y Desarrollo, 11(1), 50-60, https://doi.org/10.29166/revfig.v11i1.2634

[3] Cevallos, M., Jaimes, E., Pineda, N., Andrade, P., & Vallejos, S. (2019). Riesgo De Sequía Basado En La Percepción Social En La Provincia Del Carchi, Ecuador. *Agroalimentaria*, *25*(48), 117-134, https://www.redalyc.org/journal/1992/199262942008/199262942008.pdf

[4] Manju, R., Deepika, R., Gokulakrishnan, T., Srinithi, K., & Mohamed, M. I. (2019). A research on 3D printing concrete. *Int. J. Recent Technol. Eng*, *8*(2), 1691-1693, https://doi.org/10.35940/ijrte.B1134.0882S819

[5] Weger, D., Gehlen, C., Korte, W., Meyer-Brötz, F., Scheydt, J., & Stengel, T. (2021). Building rethought–3D concrete printing in building practice. *Construction Robotics*, *5*(3), 203-210, https://doi.org/10.1007/s41693-022-00064-5

[6] Ahmed, G. H. (2023). A review of "3D concrete printing": Materials and process characterization, economic considerations and environmental sustainability. *Journal of Building Engineering*, *66*, 105863. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.105863

[7] Titiksh, A. y Gupta, M., A Study of the Various Structural Framing Systems Subjected to Seismic Loads, SSRG-IJCE, India, Rep. IJCE-V2I4P105, 2015. https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2167.1127.

[8] Moehle, J. (2015). Seismic Design of Reinforced Concrete Buildings. New York: McGraw-Hill Education.

[9] A. Marí, Dimensionamiento de secciones de hormigón armado orientado a garantizar un nivel de ductilidad, *Inf. constr.*, vol. 39, n.º 389, pp. 87–95, jun. 1987. https://doi.org/10.3989/ic.1987.v39.i389.1667

[10] Zambrano, A., Frau, C., Vielma, J., ANÁLISIS NO LINEAL DE SISMOS DESTRUCTIVOS. TERREMOTO DE ECUADOR DEL 16 DE ABRIL DE 2016, RIIE, vol. 28, no. 1, pp. 17–34, Mar. 2023. doi: https://doi.org/10.24133/riie.v28i1.3107

[11] De Schutter G., Lesage, K., Mechtcherine, V., Naidu, V., Habert, G., Agusti-Juan, I., Vision of 3D printing with concrete — Technical, economic and environmental potentials, Cement and Concrete Research, Volume 112, Pages 25-36, 2018. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.06.001

[12] M. Chougan, et al., Investigation of additive incorporation on rheological, microstructural and mechanical properties of 3D printable alkali-activated materials, Mater. Des. vol. 202 (2021), 109574, https://doi.org/10.1016/j.matdes.2021.109574.

[13] E. Ordoñeez, S. Neves Monteiro, H.A. Colorado, Valorization of a hazardous waste with 3D-printing: combination of kaolin clay and electric arc furnace dust from the steel making industry, Mater. Des. vol. 217 (2022), 110617, https://doi.org/10.1016/j.matdes.2022.110617.

[14] H. Alghamdi, S.A.O. Nair, N. Neithalath, Insights into material design, extrusion rheology, and properties of 3D-printable alkali-activated fly ash-based binders, Mater. Des. vol. 167 (2019), 107634, https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.107634.

[15] A. Al Rashid, S.A. Khan, S.G. Al-Ghamdi, M. Koç, Additive manufacturing: technology, applications, markets, and opportunities for the built environment, Autom. Constr. vol. 118 (May) (2020), 103268, https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103268.

[16] A. Perrot, et al., From analytical methods to numerical simulations: a process engineering toolbox for 3D concrete printing, Cem. Concr. Compos vol. 122 (2021), 104164, https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2021.104164.

[17] S.A. Khan, M. Koç, Buildability analysis of 3D concrete printing process: a parametric study using design of experiment approach, Processes vol. 11 (3) (2023) 782, https://doi.org/10.3390/pr11030782.

[18] A. Al Rashid, M. Koç, Fused filament fabrication process: a review of numerical simulation techniques, Polym. (Basel) vol. 13 (20) (2021) 1–18, https://doi.org/ 10.3390/polym13203534.

[19] R. Jayathilakage, J. Sanjayan, and P. Rajeev, Characterizing Extrudability for 3D Concrete Printing Using Discrete Element Simulations, 2020, pp. 290–300. doi: 10.1007/978–3-030–49916-7_30.

[20] A. Al Rashid, M. Koç, Experimental validation of numerical model for thermomechanical performance of material extrusion additive manufacturing process: effect of process parameters, Polym. (Basel) vol. 14 (17) (2022) 3482, https://doi.org/10.3390/polym14173482.

[21] A. Al Rashid, M. Koç, Numerical predictions and experimental validation on the effect of material properties in filament material extrusion, J. Manuf. Process vol. 94 (2023) 403–412, https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2023.03.027.

[22] G. Vantyghem, T. Ooms, and W. De Corte, FEM modelling techniques for simulation of 3D concrete printing, Proceedings of the fib Symposium 2020: Concrete Structures for Resilient Society, pp. 964–972, 2020.

[23] T.T. Le, S.A. Austin, S. Lim, R.A. Buswell, A.G.F. Gibb, T. Thorpe, Mix design and fresh properties for high-performance printing concrete, Mater. Struct. vol. 45 (8) (2012) 1221–1232, https://doi.org/10.1617/s11527-012-9828-z.

[24] P.R. de Matos, M. Foiato, L.R. Prudˆ encio, Ecological, fresh state and long-term mechanical properties of high-volume fly ash high-performance self-compacting concrete,

Constr. Build. Mater. vol. 203 (2019) 282–293, https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.01.074.

[25] Z. Chang, H. Zhang, L.Minfei, B.Šavija, FEM modelling techniques for simulation of 3D concrete printing, https://doi.org/10.48550/arXiv.2009.06907

[26] INEC. (2022). Censo Ecuador Cuenta Conmigo. [Online]. Disponible en: https://censoecuador.ecudatanalytics.com/

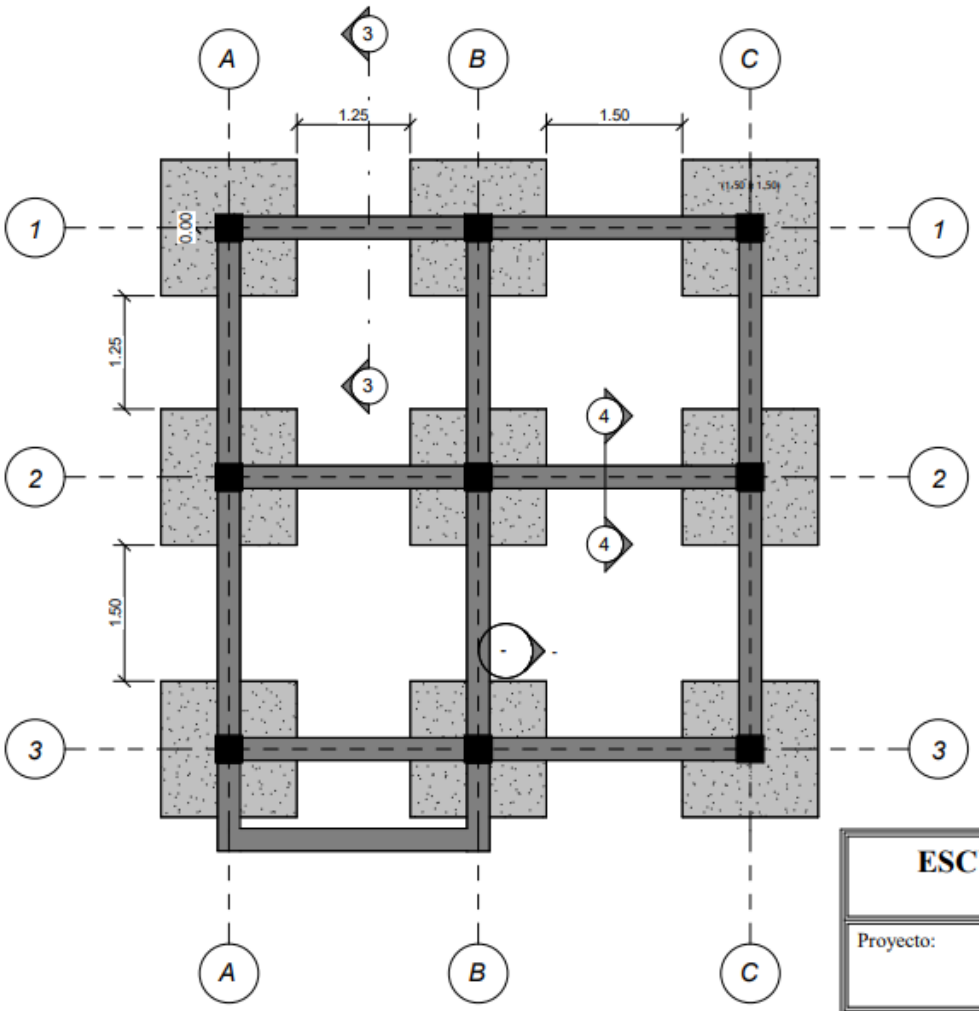
[27] Vantyghem, G., Ooms, T., & De Corte, W. (2020). FEM modelling techniques for simulation of 3D concrete printing. arXiv preprint arXiv:2009.06907, https://doi.org/10.48550/arXiv.2009.06907

[28] Wolfs, R. J. M., Bos, F. P., & Salet, T. A. M. (2018). Early age mechanical behaviour of 3D printed concrete: Numerical modelling and experimental testing. Cement and Concrete Research, 106, 103-116. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.02.001

[29] Geoportal Guayaquil. (s.f.). Mapa Geotécnico de la Ciudad de Guayaquil. ArcGIS Open Data. Recuperado de https://geoportal-guayaquil.opendata.arcgis.com/maps/e4ba8fc8d22446338f00aa1d714efe8e

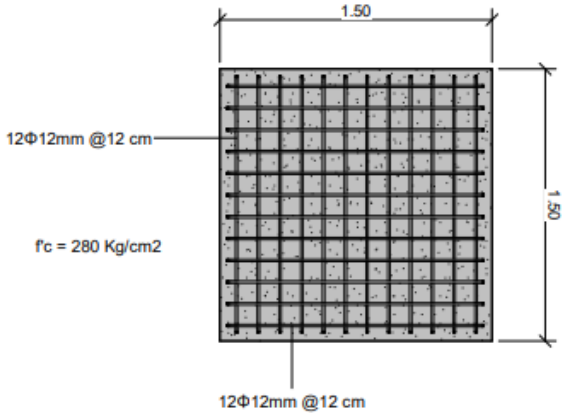
[30] Ponce, V. (2011). La Matriz de Leopold para la evaluación del impacto ambiental. Recuperado de http://ponce. sdsu. edu/la_matriz_de_leopold. Html.

PLANOS Y ANEXOS

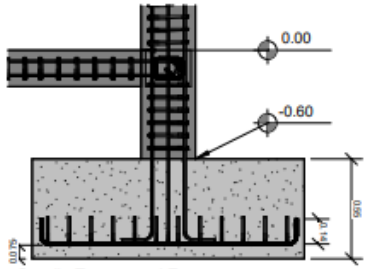


1_E-01 Plano de Cimentación 1 : 50

Resistencia del Hormigón: 280 Kg/cm2
Fy del Acero de refuerzo : 24000 Kg/cm2
Recubrimiento : 75mm



2_E-01 Detalle en Planta Cimentación 1 : 25



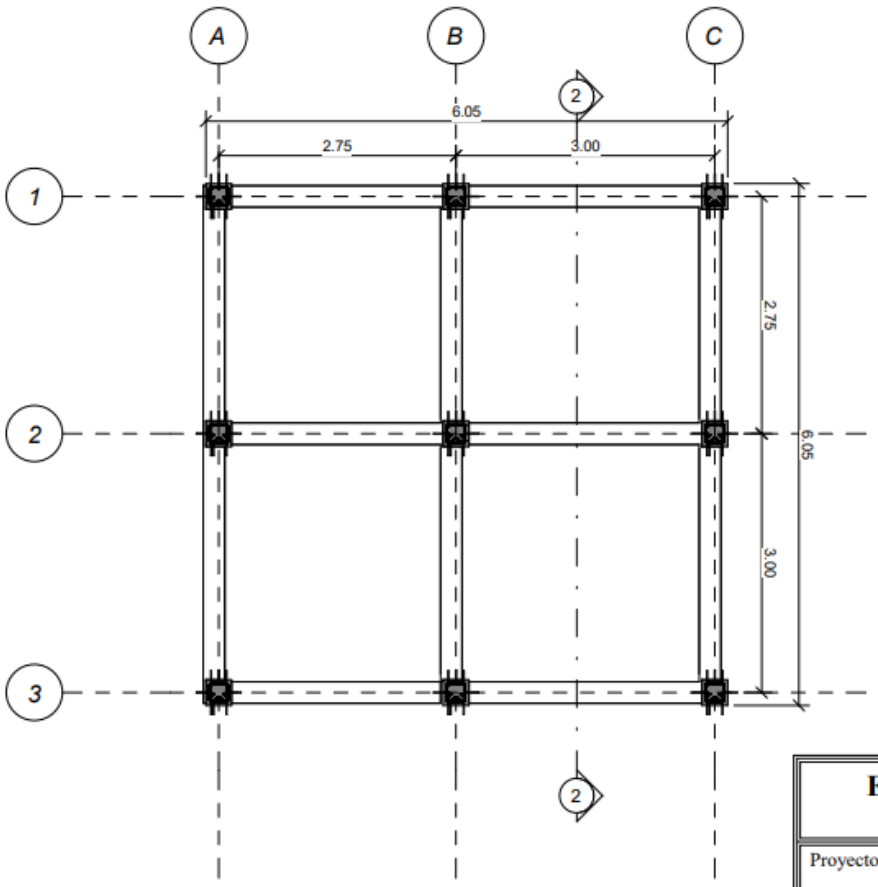
3_E-01 Detalle Transversal Zapata Aislada

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

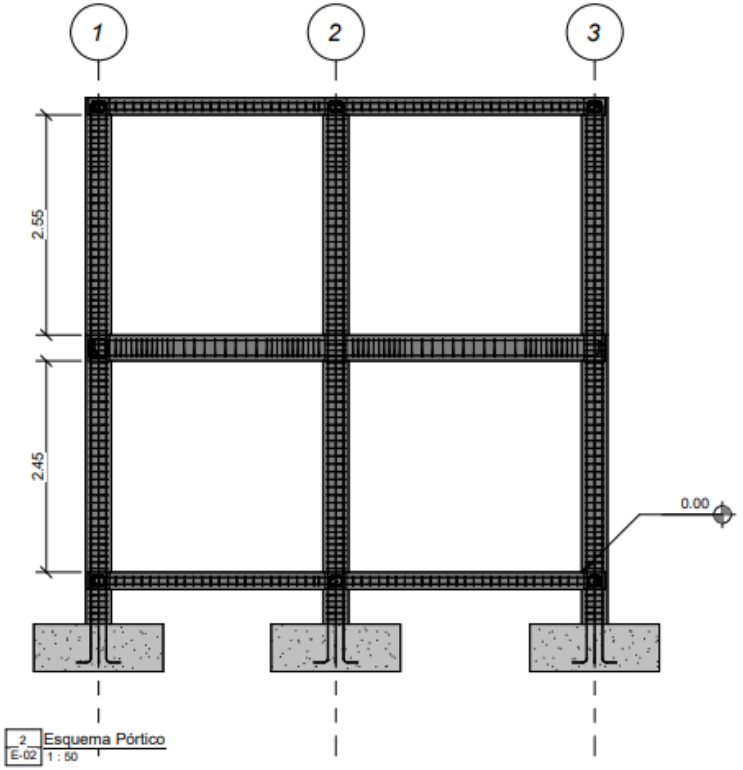
Proyecto:
Diseño Integral de una Vivienda de Interés Social

Contenido:
Planos de Cimentación

Coordinador de Materia Integradora:	Tutores de Conocimientos Específicos:	Estudiantes:	Fecha de Entrega:
Ing. Andrés Velastegui	Ing. Samantha Hidalgo	- Pedro Herrera - Paul Franco	06 de Enero, 2025
Tutora de Área de Conocimiento: Ing. Lenin Dender			Lámina: E - 01 / Escala: Indicada



1 E-02 Esquema Columnas 1 : 50



2 E-02 Esquema Pórtico 1 : 50

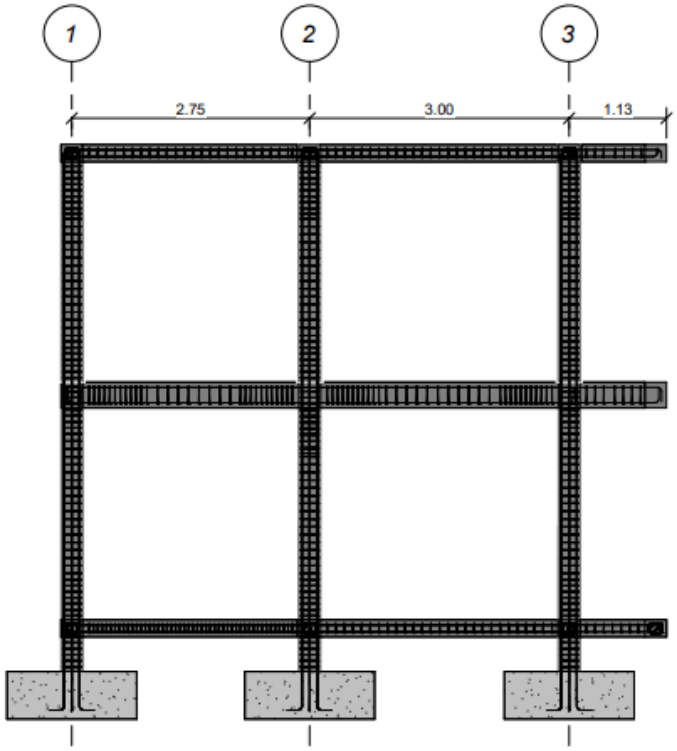
Resistencia del Hormigón: 210 Kg/cm2
Fy de Acero : 4200 Kg/cm2
Recubrimiento : 40 mm

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

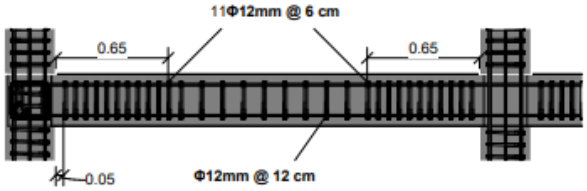
Proyecto:
Diseño Integral de Vivienda de Interés Social

Contenido:
Planos Estructurales. Vigas y Columnas

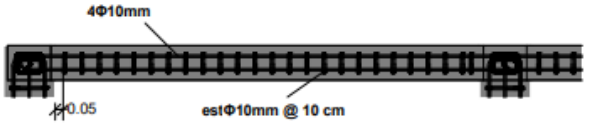
Coordinador de Materia Integradora:	Tutora:	Estudiantes:	Fecha de Entrega:
Ing. Andrés Velasteguí	Ing. Samantha Hidalgo	- Pedro Herrera - Paul Franco	06 de Enero, 2025
Profesor de Materia Integradora:			Lámina: ES - 02 / 1 — Escala: 1:50
Ing. Lenin Dender			



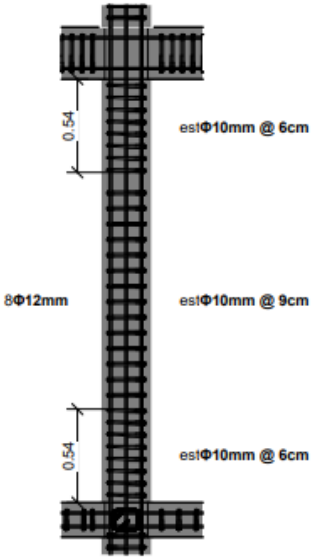
1 Vista Transversal Oeste
E-02/2 1 : 50



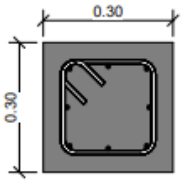
2 Ref. Transv. Viga Entrepiso
E-02/2 1 : 25



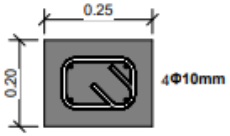
3 Ref. Transv. Viga Cubierta
E-02/2 1 : 25



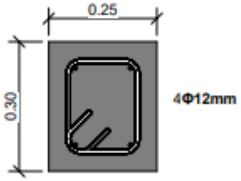
4 Ref. Transv. Columna
E-02/2 1 : 25



5 Sección Columna
E-02/2 1 : 10



7 Sección Viga Cubierta
E-02/2 1 : 10



6 Sección Viga Entrepiso
E-02/2 1 : 10

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Proyecto: Diseño Integral de Vivienda de Interés Social

Contenido: Planos Estructurales. Vigas y Columnas

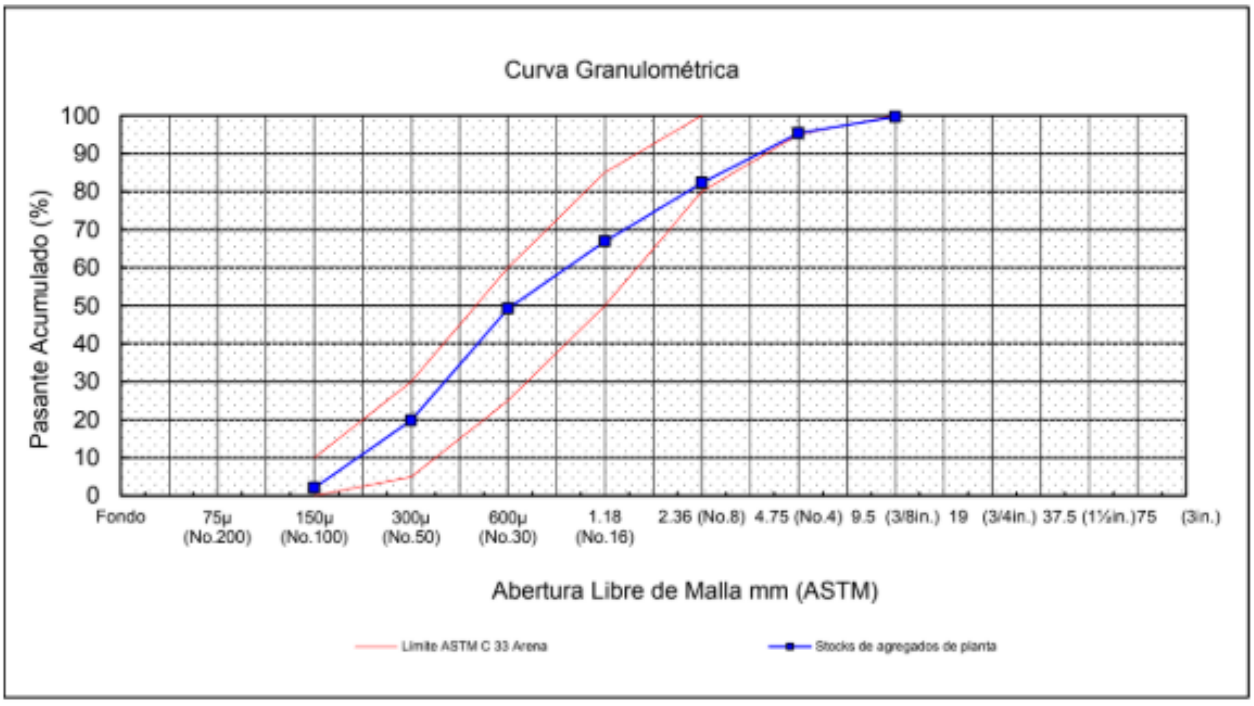
Coordinador de Materia Integradora: Ing. Andrés Velastegui	Tutora: Ing. Samantha Hidalgo	Estudiantes: - Pedro Herrera - Paul Franco	Fecha de Entrega: 06 de Enero, 2025
Profesor de Materia Integradora: Ing. Lenin Dender			Lámina: ES - 02 / 2 / Escala: Indicados

Granulometría de agregado fino KMAT-H00-RC04

Planta:	San Eduardo		
Agregado:	Arena natural rio 00-05 MM Zarandeada	Muestreo fecha:	2024-11-05
Fuente:	Stocks de agregados de planta	Ensayo fecha:	2024-11-06
Masa inicial (g):	1700	Realizado por:	R. Fiallos

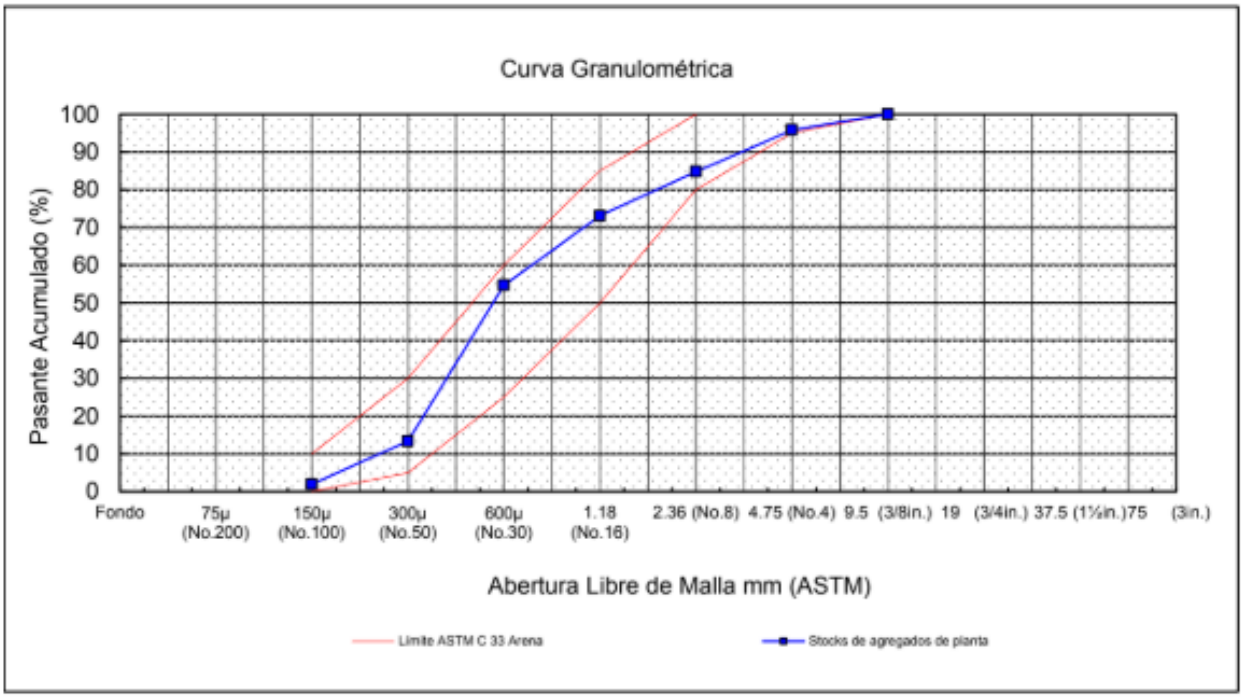
Tamiz		Retenido	Retenido	Retenido	Pasante
INEN	ASTM	Parcial (g)	Parcial (%)	Acumulado (%)	Acumulado (%)
9,50 mm	3/8 in.	5,6	0	0	100
4,75 mm	No. 4	73,3	4	5	95
2,36 mm	No. 8	222,5	13	18	82
1,18 mm	No. 16	260,9	15	33	67
600 µm	No. 30	300,4	18	51	49
300 µm	No. 50	499,1	29	80	20
150 µm	No. 100	301,5	18	98	2
Bandeja		35,5	2	100	0

Masa final (g):	1698,8	Módulo de Finura :	2,8
Pérdida ≤0.3%	Ensayo válido		



Granulometría de agregado fino KMAT-H00-RC04

Planta:	San Eduardo		
Agregado:	Molienda triturada	Muestreo fecha:	2024-11-05
Fuente:	Stocks de agregados de planta	Ensayo fecha:	2024-11-06
Masa inicial (g):	2600	Realizado por:	

Tamiz		Retenido	Retenido	Retenido	Pasante
INEN	ASTM	Parcial (g)	Parcial (%)	Acumulado (%)	Acumulado (%)
9,50 mm	3/8 in.	0,0	0	0	100
4,75 mm	No. 4	108,2	4	4	96
2,36 mm	No. 8	287,3	11	15	85
1,18 mm	No. 16	303,4	12	27	73
600 µm	No. 30	478,3	18	45	55
300 µm	No. 50	1072,3	41	87	13
150 µm	No. 100	296,3	11	98	2
Bandeja		50,6	2	100	0

Masa final (g):	2596,4	Módulo de Finura :	2,8
Pérdida ≤0.3%	Ensayo válido