

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Comparación estructural de viviendas sociales en Guayaquil usando hormigón
convencional vs reciclado de las Galápagos.

INGE-2277

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Civil

Presentado por:

Marlene Cristina Córdova Utreras

Grace Stefany Sánchez Alvarado

Guayaquil - Ecuador

Año: 2023 - 2024

Dedicatoria

El presente proyecto se lo dedico a mis hermanos, Buñuelo, Eduardito, Lina y Cote, porque es el inicio de una y mil recompensas que alcanzaremos gracias a nuestro esfuerzo y unión. También, a mi papi Magno, porque es fruto de la constancia y fuerza que tiene como padre para siempre permitirnos soñar en grande y animarnos a tomar retos.

-Marlene Córdova

Este trabajo se lo dedico a mis padres, cuyo amor y enseñanza me ha impulsado cada día a ser mejor. A mi abuelita Olga, quien ha tenido una fe inquebrantable en mí y ha celebrado cada pequeño logro. A Nico, quizás no pueda entender esto, pero estuvo a mi lado en cada momento y su patita era todo lo que necesitaba para seguir. A todos los que aportaron positivamente en mi desarrollo como profesional.

-Grace Sánchez

Agradecimientos

A Dios y nuestras familias,
A mi papá Magno por ser ejemplo de amor y apoyo incondicional para alcanzar mis metas, a mi hermana Buñuelo, por ser luz y mi motivo dentro de la carrera, mis hermanas y hermanos de vida, Berthita, Vanessa, Grace, Katherine y Eduardo, porque son los pilares más fuertes que tengo para seguir adelante y, a mi hijo Baloo, por acompañarme, llenándome de amor y gruñidos, todos aquellos días de cansancio.

A mis padres, quienes han sido pilares en mi educación y crecimiento, gracias por inspirarme a ser la mujer que soy hoy en día. A mis hermanos que siempre mostraron su apoyo incondicional. A Marlene, sin ti este trabajo no hubiese sido posible. A mis amigas, Gabriela, Melani y Karla, entre risas y charlas han iluminado mi vida. A Sebas y Melissa, mis primeros amigos en esta travesía son un tesoro para mí.

A nuestros amigos,
“Policonstructores” Dome, Paty, Jhon, Hugo, Jean y Tomás. También Fabián, Oswaldo y Víctor, por no abandonar el barco y darnos su apoyo en toda circunstancia. Les agradecemos por su tiempo y toda la amistad brindada.

A nuestros maestros,
MSc. Erwin Larreta y MSc. Eunice Lindao por ser motivación desde el inicio de nuestras carreras. MSc. Samantha Hidalgo, MSc. Nadia Quijano y PhD Natividad, por ser inspiración en nuestra vida académica, profesional y prueba indiscutible de que las buenas amistades existen. PhD. Priscila Valverde por enseñarnos perseverancia e incluirnos en el mundo de la investigación. MSc. Daniel Falquez y MSc. Guillermo Muñoz, por ser la “Tenas” de nuestros conocimientos dentro y fuera de la ESPOL.

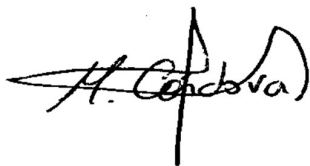
A nuestros mentores en HOLCIM,
Los Ingenieros, Raúl Cabrera, Cristhian Velazco, Henry Zambrano, Jacob Mosquera, Vinicio Peralta, Alicia Garofalo, Felix Yagual y, a nuestros colegas estudiantes Christopher Zappa, Charlie Quishpi y Meiby Beltrán, por acogernos en sus instalaciones y brindarnos siempre su apoyo, conocimientos y dedicación.

Gracias a todos, sin ustedes el final de esta meta y las profesionales en las que nos convertimos, no sería posible.

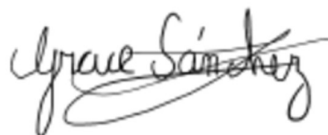
- Grace y Marlene

Declaración Expresa

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución, Marlene Cristina Córdova Utreras y Grace Stefany Sánchez Alvarado damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



Marlene Cristina Córdova Utreras



Grace Stefany Sánchez Alvarado

Evaluadores



Firmado electrónicamente por:
INGRID TATIANA ORTA
ZAMBRANO

Ingrid Orta

PROFESOR DE LA MATERIA



Firmado electrónicamente por:
NATIVIDAD LEONOR
GARCIA TRONCOSO

Natividad García

PROFESOR TUTOR

Resumen

En el Ecuador, el déficit de vivienda tiene un gran impacto en el aumento de pobreza que se desarrolla en la región. Sin embargo, al requerir una solución emergente debe ser abordado de manera sostenible pues, la industria de la construcción, a pesar de ser un aliado, se presenta como uno de los mayores contaminantes medioambientales del siglo. Este proyecto propone evaluar el diseño de una vivienda de interés social que se construye con hormigón reciclado y, comparar a través de un análisis Pushover, su desempeño sísmico frente a una vivienda construida con hormigón convencional. El proceso se llevó a cabo realizando pruebas en probetas de hormigón con diferentes porcentajes de reemplazo de agregado grueso convencional por hormigón triturado (10% y 20%). Posterior, se diseñó una vivienda con 210 Kg/cm² de resistencia que fue evaluada y a través de un análisis Pushover a partir del software de elementos finitos SAP2000. Los resultados revelan que ambas viviendas presentan similitudes en su comportamiento estructural, cumpliendo con las normas establecidas por ASCE-41-13, ACI-318 y NEC-2015. Esto demuestra que existe una viabilidad al incluir el hormigón reciclado como una opción en el proceso constructivo de viviendas en la ciudad de Guayaquil. Finalmente, se recomienda realizar una re-evaluación económica considerando los avances existentes de producción de agregado o materiales para la construcción generados a partir de desechos constructivos. Los resultados indican que los costos pueden equipararse o incluso generar ahorros en comparación con materiales convencionales.

Palabras Clave: Hormigón reciclado, pushover, déficit habitacional, sostenibilidad

Abstract

In densely populated cities of Ecuador, the housing deficit not only contributes to the increase in regional poverty but also underscore the need to address this issue sustainably. Although the construction sector emerges as a key response to the housing shortage, its environmental impact is a significant contributor to pollution due to the lack of waste management regulation. This project aims to evaluate the design of an affordable housing unit constructed with recycled concrete. It seeks to compare its seismic performance against a conventional concrete housing through a pushover analysis. To achieve this, a concrete test was conducted using different replacement percentages of conventional coarse aggregate with crushed concrete (10% and 20%). Subsequently, a housing structure with strength of 210 kg/cm² was designed, modeled and assessed using Pushover analysis with the finite element software SAP2000. The results revealed similarities in the structural behavior of both buildings, meeting the standards set by ASCE 41-13, ACI 318, and NEC 2015. This suggests that the incorporation of recycled concrete structures in the construction process of residences in Guayaquil is feasible. Finally, it's recommended to conduct an economic reassessment considering existing advancements in the production of aggregates or construction material generated from construction waste. The results indicate that costs can be comparable or even result in savings compared to conventional materials.

Keywords: Recycled concrete, pushover, housing deficit, sustainability

Índice General

Dedicatoria.....	II
Agradecimientos	III
Declaración Expresa	V
Resumen	I
Abstract.....	II
Capítulo 1.....	1
1. Introducción.....	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Presentación general del problema.....	3
1.3. Justificación del problema	4
1.4. Objetivos	5
1.4.1. Objetivo General.....	5
1.4.2. Objetivos Específicos.....	6
Capítulo 2.....	7
2. Materiales y métodos.....	8
2.1. Revisión de literatura	8
2.1.1. Vivienda de interés social (VIS).....	8
2.1.2. Hormigón con agregado reciclado (HAR).....	9
2.1.3. Peligro sísmico.....	11
2.1.4. Análisis no lineal estático	13
2.2. Área de estudio	15
2.2.1. Localización de la vivienda	15
2.2.2. Origen de agregado.....	16
2.2.3. Áreas de la ingeniería	16
2.3. Trabajo de laboratorio	17
2.4. <i>Análisis de datos</i>	20
2.4.1. Agregado grueso	20
2.4.2. Agregado fino	24
2.5. Análisis de alternativas.....	26
2.5.1. Alternativas.....	26
2.5.2. Escala de Likert	28

2.5.3.	Ponderación de parámetros.....	29
2.5.4.	Evaluación de alternativas.....	31
CAPÍTULO 3.....		34
3.	DISEÑOS Y ESPECIFICACIONES	35
3.1.	Diseño de hormigón.....	35
3.1.1.	Procedimiento.....	35
3.1.2.	Dosificación.....	43
3.1.3.	Ensayos en hormigón fresco	44
3.1.4.	Ensayos destructivos en hormigón endurecido.....	48
3.1.5.	Ensayos no destructivos en hormigón endurecido	50
3.2.	Diseño estructural.....	53
3.2.1.	Cargas gravitacionales.....	53
3.2.2.	Cargas accidentales.....	55
3.2.3.	Combinación de cargas.....	55
	Espectro de aceleraciones.....	56
3.2.4.	Diseño de una vivienda de hormigón armado.....	60
3.2.4.6.	Diseño a flexo-compresión de columnas.....	67
3.2.5.	Análisis estático no lineal.....	81
3.3.	Especificaciones técnicas.....	112
3.3.1.	Hormigón estructural en cimentación.....	112
3.3.2.	Hormigón estructural de pilares	114
3.3.3.	Hormigón estructural de vigas.....	115
3.3.4.	Hormigón en losa.....	117
3.3.5.	Acero de refuerzo $f_y=4200$ kg/cm ²	118
CAPÍTULO 4.....		121
4.	ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL.....	122
4.1.	Descripción del proyecto	122
4.2.	Línea base ambiental.....	123
4.2.1.	Medio físico químico inerte.....	123
4.2.2.	Medio físico biótico.....	126
4.2.3.	Medio humano.....	127
4.3.	Actividades del proyecto.....	129
4.4.	Identificación de impactos ambientales	130
4.5.	Valoración de impactos ambientales	131

4.5.1.	Extensión del impacto	132
4.5.2.	Duración del impacto.....	134
4.5.3.	Reversibilidad del impacto.....	135
4.5.4.	Índice del impacto ambiental	136
4.6.	Medidas de prevención/mitigación.....	139
CAPÍTULO 5.....		142
5.	PRESUPUESTO	143
5.1.	Estructura Desglosada de Trabajo.....	143
5.2.	Rubros y análisis de precios unitarios.....	146
5.2.1.	Rubros	146
5.2.2.	Análisis de precios unitarios.....	147
5.3.	Descripción de cantidades de obra.....	147
5.4.	Valoración integral del costo del proyecto.....	147
5.5.	Cronograma de obra	150
CAPÍTULO 6.....		151
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	152
6.1	Conclusiones.....	152
6.2.	Recomendaciones.....	153
PLANOS Y ANEXOS.....		155
ÍNDICE DE PLANOS.....		156
PLANO 1: Cimentación – Columnas – 3D		156
PLANO 2: Losa – Vigas		157
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS (APUS).....		158
Rubros compartidos para una estructura de hormigón convencional y hormigón reciclado.		158
Rubros con uso del hormigón para una estructura de hormigón convencional.		167
Rubros con uso del hormigón para una estructura de hormigón reciclado.....		174
Tablas de cantidades, Revit 2023.....		181
BIBLIOGRAFÍA		182

Abreviaturas

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
VIS	Viviendas de interés social
HAR	Hormigón de agregado reciclado
AR	Agregado reciclado
MAE	Ministerio de Ambiente del Ecuador
GAD	Gobierno Autónomo Descentralizado
APU	Análisis de Precios Unitarios
EDT	Estructura Desglosada de Trabajo
AENL	Análisis Estático No Lineal
NEC	Norma Ecuatoriana de la Construcción
ACI	American Concrete Institute
INEN	Servicio Ecuatoriano de Normalización
ASTM	American Society for Testing and Materials

Simbología

cm	Centímetro
m	Metro
Ton	Tonelada
kg	Kilogramo
in	Pulgadas
mm	Milímetros
kgf	Kilogramo fuerza

Índice de figuras

Figura 2.1 <i>Factores de reducción para distintos sistemas de trituración</i>	10
Figura 2.2 <i>Zonas sísmicas del Ecuador</i>	13
Figura 2.3 <i>Predio de Mucho Lote 1</i>	15
Figura 2.4 <i>Ubicación de conos volcánicos</i>	16
Figura 2.5 <i>Reducción de tamaño de muestra a triturar</i>	18
Figura 2.6 <i>Trituradora de laboratorio de Minas</i>	18
Figura 2.7 <i>Curva granulométrica del agregado reciclado</i>	20
Figura 2.8 <i>Densidad de agregado grueso</i>	22
Figura 2.9 <i>Absorción del agregado grueso</i>	22
Figura 2.10 <i>Humedad del agregado grueso</i>	23
Figura 2.11 <i>Masa unitaria de agregado grueso</i>	24
Figura 2.12 <i>Granulometría de la arena</i>	25
Figura 2.13 <i>Procedimiento de escala de Likert</i>	29
Figura 2.14 <i>Indicadores de escala</i>	29
Figura 3.1 <i>Resultados de temperatura de cada mezcla</i>	45
Figura 3.2 <i>Resultados de ensayo de asentamiento a cada mezcla</i>	46
Figura 3.3 <i>Resultados de densidad para cada mezcla</i>	47
Figura 3.4 <i>Resultados de contenido de aire en casa mezcla</i>	48
Figura 3.5 <i>Resistencias de los diseños</i>	49
Figura 3.6 <i>Alcance de resistencias</i>	50
Figura 3.7 <i>Resultados del ensayo de pulso ultrasónico</i>	51
Figura 3.8 <i>Resultados del ensayo de esclerometría</i>	52
Figura 3.9 <i>Resistencias de probetas</i>	53
Figura 3.10 <i>Curva aceleración vs nivel sísmico</i>	57
Figura 3.11 <i>Tipo de uso, destino e importancia de la estructura</i>	57
Figura 3.12 <i>Factor de reducción de resistencia sísmica R</i>	58
Figura 3.13 <i>Curva de Espectro respuesta para una vivienda de Hormigón Armado</i>	60
Figura 3.14 <i>Modelo en SAP2000 de la estructura de Hormigón Armado</i>	61
Figura 3.15 <i>Momentos flectores</i>	62
Figura 3.16 <i>Requisitos de acero longitudinal</i>	63
Figura 3.17 <i>Separación de estribos en vigas</i>	66
Figura 3.18 <i>Diagrama de interacción M3 para columnas del primer piso</i>	68

Figura 3.19 <i>Espaciamiento entre estribos de columnas</i>	69
Figura 3.20 <i>Dimensiones de losa</i>	72
Figura 3.21 <i>Desplazamiento vertical de la losa por cargas de servicio</i>	74
Figura 3.22 <i>Desplazamiento máximo en el modelo eje "x"</i>	77
Figura 3.23 <i>Desplazamiento máximo en el modelo eje "y"</i>	77
Figura 3.24 <i>Modelo SAP2000 Deformación estructural eje "X" por cargas gravitacionales hormigón convencional 210 Kg/cm²</i>	82
Figura 3.25 <i>Modelo SAP2000 Deformación estructural eje "Y" por cargas gravitacionales hormigón convencional 210 Kg/cm²</i>	82
Figura 3.26 <i>Fuerza cortante vs desplazamiento en dirección "X" en una estructura de hormigón convencional de 210 Kg/cm²</i>	83
Figura 3.27 <i>Fuerza cortante vs desplazamiento en dirección "Y" en una estructura de hormigón convencional de 210 Kg/cm²</i>	83
Figura 3.28 <i>Aceleración espectral vs desplazamiento en dirección "X" en una estructura de hormigón convencional de 210 Kg/cm²</i>	85
Figura 3.29 <i>Aceleración espectral vs desplazamiento en dirección "Y" en una estructura de hormigón convencional de 210 Kg/cm²</i>	85
Figura 3.30 <i>Deformación última eje "X" y formación de rótulas en una estructura de hormigón convencional de 210 Kg/cm²</i>	86
Figura 3.31 <i>Deformación última eje "Y" y formación de rótulas en una estructura de hormigón convencional de 210 Kg/cm²</i>	86
Figura 3.32 <i>Niveles de Desempeño Sísmico ASCE 41-13 proporcionados por SAP2000</i>	88
Figura 3.33 <i>Modelo SAP2000 Deformación estructural y nivel de desempeño en el eje "X" para un hormigón convencional de 210 Kg/cm²</i>	88
Figura 3.34 <i>Modelo SAP2000 Deformación estructural y nivel de desempeño en el eje "Y" para un hormigón convencional de 210 Kg/cm²</i>	89
Figura 3.35 <i>Modelo SAP2000 Deformación estructural eje "X" por cargas gravitacionales hormigón reciclado 210 Kg/cm²</i>	90
Figura 3.36 <i>Modelo SAP2000 Deformación estructural eje "Y" por cargas gravitacionales hormigón reciclado 210 Kg/cm²</i>	90
Figura 3.37 <i>Fuerza cortante vs desplazamiento en dirección "X" en una estructura de hormigón reciclado de 210 Kg/cm²</i>	91

Figura 3.38 Fuerza cortante vs desplazamiento en dirección “Y” en una estructura de hormigón reciclado de 210 Kg/cm ²	91
Figura 3.39 Aceleración espectral vs desplazamiento en dirección “X” en una estructura de hormigón reciclado de 210 Kg/cm ²	93
Figura 3.40 Aceleración espectral vs desplazamiento en dirección “Y” en una estructura de hormigón reciclado de 210 Kg/cm ²	93
Figura 3.41 Deformación última eje “X” y formación de rótulas en una estructura de hormigón reciclado de 210 Kg/cm ²	94
Figura 3.42 Deformación última eje “Y” y formación de rótulas en una estructura de hormigón reciclado de 210 Kg/cm ²	94
Figura 3.43 Modelo SAP2000 Deformación estructural y nivel de desempeño en el eje “X” para un hormigón convencional de 210 Kg/cm ²	95
Figura 3.44 Modelo SAP2000 Deformación estructural y nivel de desempeño en el eje “Y” para un hormigón convencional de 210 Kg/cm ²	95
Figura 3.45 Modelo SAP2000 Deformación estructural eje “X” por cargas gravitacionales hormigón reciclado 250 Kg/cm ²	98
Figura 3.46 Modelo SAP2000 Deformación estructural eje “Y” por cargas gravitacionales hormigón reciclado 250 Kg/cm ²	98
Figura 3.47 Fuerza cortante vs desplazamiento en dirección “X” en una estructura de hormigón reciclado de 250 Kg/cm ²	99
Figura 3.48 Fuerza cortante vs desplazamiento en dirección “Y” en una estructura de hormigón reciclado de 250 Kg/cm ²	99
Figura 3.49 Aceleración espectral vs desplazamiento en dirección “X” en una estructura de hormigón reciclado de 250 Kg/cm ²	100
Figura 3.50 Aceleración espectral vs desplazamiento en dirección “Y” en una estructura de hormigón reciclado de 250 Kg/cm ²	100
Figura 3.51 Deformación última eje “X” y formación de rótulas en una estructura de hormigón reciclado de 250 Kg/cm ²	101
Figura 3.52 Deformación última eje “Y” y formación de rótulas en una estructura de hormigón reciclado de 250 Kg/cm ²	101
Figura 3.53 Modelo SAP2000 Deformación estructural y nivel de desempeño en el eje “X” para un hormigón reciclado de 250 Kg/cm ²	103

Figura 3.54 Modelo SAP2000 Deformación estructural y nivel de desempeño en el eje “Y” para un hormigón reciclado de 250 Kg/cm ²	103
Figura 3.55 Modelo SAP2000 Deformación estructural eje “X” por cargas gravitacionales hormigón convencional 270 Kg/cm ²	104
Figura 3.56 Modelo SAP2000 Deformación estructural eje “Y” por cargas gravitacionales hormigón convencional 270 Kg/cm ²	104
Figura 3.57 Fuerza cortante vs desplazamiento en dirección “X” en una estructura de hormigón convencional de 270 Kg/cm ²	106
Figura 3.58 Fuerza cortante vs desplazamiento en dirección “Y” en una estructura de hormigón convencional de 270 Kg/cm ²	106
Figura 3.59 Aceleración espectral vs desplazamiento en dirección “X” en una estructura de hormigón convencional de 270 Kg/cm ²	107
Figura 3.60 Aceleración espectral vs desplazamiento en dirección “Y” en una estructura de hormigón convencional de 270 Kg/cm ²	107
Figura 3.61 Deformación última eje “X” y formación de rótulas en una estructura de hormigón convencional de 270 Kg/cm ²	108
Figura 3.62 Deformación última eje “Y” y formación de rótulas en una estructura de hormigón convencional de 270 Kg/cm ²	108
Figura 3.63 Modelo SAP2000 Deformación estructural y nivel de desempeño en el eje “X” para un hormigón convencional de 270 Kg/cm ²	110
Figura 3.64 Modelo SAP2000 Deformación estructural y nivel de desempeño en el eje “Y” para un hormigón convencional de 270 Kg/cm ²	110
Figura 4.1 Pronóstico de temperatura máxima	123
Figura 4.2 Pronóstico de porcentaje de humedad relativa en Ecuador	124
Figura 4.3 Zonas climáticas de las islas Galápagos	125
Figura 4.4 Zona de reserva Forestal Senderos	127
Figura 4.5 Diagrama de red de uso de maquinarias y equipos	130
Figura 4.6 Diagrama de red de uso de vehículo	130
Figura 4.7 Diagrama de red de mezcla y moldeado	131
Figura 4.8 Diseño de red de ajuste de diseño estructural	131
Figura 5.1 EDT del proyecto Integrador	144
Figura 5.2 EDT de la implementación de diseño estructural de vivienda	145
Figura 5.3 Presupuesto para una vivienda de hormigón reciclado	150

Índice de tablas

Tabla 2.1 <i>Segmentos de vivienda de interés social</i>	8
Tabla 2.2 <i>Propiedades de agregado fino</i>	25
Tabla 2.3 <i>Análisis de Alternativa 1</i>	31
Tabla 2.4 <i>Análisis de Alternativa 2</i>	32
Tabla 2.5 <i>Análisis de Alternativa 3</i>	32
Tabla 3.1 <i>Tamaño máximo nominal de agregados recomendado para varios tipos de construcciones</i>	36
Tabla 3.2 <i>Clase de exposición [Euclid chemical, 2020]</i>	36
Tabla 3.3 <i>Especificaciones de diseño según clase de exposición</i>	37
Tabla 3.4 <i>Revenimientos recomendados para diferentes tipos de construcción</i>	38
Tabla 3.5 <i>Requisitos aproximados de contenido de agua y aire para diferentes asentamientos y tamaños máximos nominales de agregados</i>	39
Tabla 3.6 <i>Relación agua/cemento según la resistencia requerida y contenido de aire [ACI 211, s.f]</i>	40
Tabla 3.7 <i>Porcentaje de agregado grueso según el peso compactado del material</i>	41
Tabla 3.8 <i>Porcentaje de aditivos</i>	42
Tabla 3.9 <i>Dosificación patrón</i>	43
Tabla 3.10 <i>Dosificación para hormigones con material reciclado</i>	44
Tabla 3.11 <i>Clasificación de calidad de hormigón</i>	51
Tabla 3.12 <i>Cargas vivas para viviendas</i>	54
Tabla 3.13 <i>Estimación del peso de elementos</i>	54
Tabla 3.14 <i>Estimación de cargas sobreimpuestas</i>	55
Tabla 3.15 <i>Características del suelo en la zona</i>	55
Tabla 3.16 <i>Combinaciones de carga</i>	56
Tabla 3.17 <i>Clase y coeficientes de sitio F_a, F_d y F_s</i>	56
Tabla 3.18 <i>Parámetros para el espectro sísmico de una vivienda de Hormigón Armado</i>	59
Tabla 3.19 <i>Resumen de vigas a flexión</i>	63
Tabla 3.20 <i>Longitud de desarrollo para barras y alambres corrugados en tracción</i>	64
Tabla 3.21 <i>Longitud de empalme por traslapeo de barras y alambres corrugados a tracción</i> ..	65
Tabla 3.22 <i>Resultados de anclaje de refuerzo longitudinal de vigas</i>	65

Tabla 3.23 Separación de estribos en vigas según demanda	66
Tabla 3.24 <i>Resumen de diseño a cortante de vigas</i>	67
Tabla 3.25 <i>Resumen de columnas a flexión</i>	67
Tabla 3.26 <i>Resultados de anclaje de refuerzo longitudinal de columnas</i>	70
Tabla 3.27 <i>Resumen de diseño a cortante de columnas</i>	70
Tabla 3.28 <i>Espesor mínimo de losas en dos direcciones</i>	72
Tabla 3.29 <i>Resultados de acero requerido para losa</i>	73
Tabla 3.30 <i>Resultados de diseño de la losa</i>	74
Tabla 3.31 <i>Tabla de participación modal</i>	75
Tabla 3.32 <i>Deriva máxima para estructuras</i>	76
Tabla 3.33 <i>Factores de seguridad admisible</i>	78
Tabla 3.34 <i>Desempeño Sísmico para estructuras</i>	87
Tabla 3.35 <i>Tabla de propiedades para una estructura de hormigón reciclado de 210 Kg/cm²</i>	89
Tabla 3.36 <i>Resultados de estado límite elástico del hormigón de 210 kg/cm²</i>	96
Tabla 3.37 <i>Punto de desempeño para hormigón de 210 kg/cm² - Aceleración vs Desplazamiento</i>	96
Tabla 3.38 <i>Punto de desempeño para hormigón de 210 kg/cm² - Período vs Ductilidad</i>	96
Tabla 3.39 <i>Propiedades para una estructura de hormigón reciclado de 250 Kg/cm²</i>	97
Tabla 3.40 <i>Propiedades para una estructura de hormigón convencional de 270 Kg/cm²</i>	104
Tabla 3.41 <i>Resultados de estado límite elástico de hormigón convencional vs reciclado</i>	111
Tabla 3.42 <i>Punto de desempeño del hormigón convencional y reciclado - Aceleración vs Desplazamiento</i>	111
Tabla 3.43 <i>Punto de desempeño del hormigón convencional y reciclado - Período vs Ductilidad</i>	112
Tabla 4.1 <i>Actividades del proyecto</i>	129
Tabla 4.2 <i>Valoración de la extensión</i>	133
Tabla 4.3 <i>Matriz de Valoración de la Extensión del Impacto Ambiental</i>	133
Tabla 4.4 <i>Valoración de duración</i>	134
Tabla 4.5 <i>Matriz de Valoración de la Duración del Impacto Ambiental</i>	134
Tabla 4.6 <i>Valoración de reversibilidad</i>	135
Tabla 4.7 <i>Matriz de Valoración de la Reversibilidad del Impacto Ambiental</i>	135
Tabla 4.8 <i>Ponderación de factores para cálculo de impacto</i>	136

Tabla 4.9 <i>Matriz de valoración de Índice de importancia</i>	136
Tabla 4.10 <i>Matriz de Valoración de la Magnitud del Impacto</i>	137
Tabla 4.11 <i>Matriz cuantitativa de valoración de Impacto ambiental</i>	137
Tabla 4.12 <i>Categorización de valores de impacto</i>	138
Tabla 4.13 <i>Matriz cualitativa de valoración de Impactos Ambientales</i>	138
Tabla 4.14 <i>PMA de la obtención de materia prima reciclada</i>	139
Tabla 4.15 <i>PMA del diseño de hormigón</i>	140
Tabla 4.16 <i>PMA del diseño estructural</i>	141
Tabla 5.1 <i>Descripción de Rubros para la construcción de una casa de hormigón armado</i> ...	146
Tabla 5.2 <i>Presupuesto para una vivienda de hormigón convencional</i>	148
Tabla 5.3 <i>Presupuesto para una vivienda de hormigón reciclado</i>	149

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1 Cimentación – Columnas – 3D

PLANO 2 Losa - Vigas

Capítulo 1

1. Introducción

1.1. Antecedentes

El déficit de vivienda se erige como uno de los principales factores que obstaculizan el progreso de varias naciones. Según los informes proporcionados por la Organización de las Naciones Unidas, aproximadamente un tercio de la población global vive en asentamientos informales y, en países desarrollados, el 97% de las viviendas resultan inasequibles desde una perspectiva financiera (Organización de las Naciones Unidas, 2020).

Por otro lado, el sector de la construcción, que se espera sea un aliado de la solución ante la problemática de carencia habitacional, tanto en su vertiente comercial como residencial, ejerce de manera significativa un impacto en la contaminación ambiental. Esto se debe a que representa más del 34% de la demanda energética y el 37% de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) a nivel mundial (Organización de las Naciones Unidas, 2022).

En respuesta al creciente llamado por asumir un papel más sostenible, la industria se encuentra explorando alternativas que reduzcan su huella ambiental. Una de las estrategias implementadas ha sido la utilización de residuos provenientes de la construcción para la fabricación de nuevos hormigones. Así, se ha reducido la demanda de recursos naturales utilizados como materia prima.

Este enfoque ya ha generado resultados como *The Sawmill House* en Australia. Esta casa incorpora 270 bloques con material reciclado a partir de escombros de otras obras (Archier, s.f.). Por otro lado, el proyecto *REA*, respaldado por la Unión Europea, clasifica escombros producidos por la construcción y produce elementos prefabricados que componen nuevas estructuras residenciales (Acciona Business as unusual, 2016).

En el contexto ecuatoriano, la problemática persiste. En la ciudad de Guayaquil, que cuenta con una población que supera los 2.5 millones de habitantes, la Municipalidad (2022) estimó que 160.630 guayaquileños no cuentan con una vivienda. Esta cifra supone un incremento alarmante en los indicadores de pobreza basados en el método de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI). Además, el sector de la construcción entre los años 2020 y 2022 experimentó una disminución en su producción (Bancos, Superintendencia de Bancos, 2022).

A pesar de este retroceso económico, en la Cumbre del Consejo Ecuatoriano de Edificación Sustentable (CEES) 2022, se enfatizó la importancia de las actividades que la industria de la construcción promueve. Se enfatizó en la innovación de nuevos sistemas constructivos y los procesos que gestionan sus residuos. El objetivo a largo plazo es reducir la huella de carbono actualmente emitida (El Mercurio, 2022).

1.2. Presentación general del problema

Las provincias de Guayas, Manabí y Los Ríos representan el 47% del déficit de vivienda que existe en el Ecuador según datos de El Universo, 2021. Guayaquil, la ciudad más poblada del país según el censo publicado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos en septiembre del 2023, experimenta flujos migratorios rural-urbanos constantes debido a su posición estratégica como puerto principal del país. Ante la gran población, en combinación con la falta de acceso a viviendas dignas que contribuyen al aumento del índice de pobreza en la región, se refleja la necesidad inminente de mejorar la calidad de vida de los habitantes pues esta situación se convierte en una causa emergente que impide el desarrollo social y económico del Ecuador.

El sector de la construcción es una fuente constante de generación de residuos, ya sea producto de demoliciones, colapsos en obras de ingeniería o estructuras con construcciones deficientes.

Las regulaciones vigentes en Ecuador no presentan una guía clara para gestionar estos desechos, lo que resulta en una ausencia de control en su manejo. Esta situación no solo perjudica a los entornos naturales y urbanos, sino también impide el progreso hacia el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenibles (ODS) 1, 11, 12 y 15.

Estos ODS, buscan la erradicación de la pobreza, el fomento de ciudades y comunidades sostenibles, la promoción de prácticas responsables en la producción y el consumo, y garantizar la vida en el ecosistema terrestre. Por lo tanto, ante las razones mencionadas, resulta imperativo la implementación de acciones concretas que mitiguen estos efectos, especialmente en el caso de la ciudad de Guayaquil.

1.3. Justificación del problema

El acceso a una vivienda adecuada es un derecho fundamental y ciudades con una alta densidad de población, como Guayaquil, enfrentan un desafío en términos de déficit habitacional. Esta situación se deriva del crecimiento poblacional-urbano que causa el aumento de la demanda de viviendas asequibles. Como consecuencia, se experimenta presión en la obtención de recursos naturales y la capacidad en la industria de la construcción, para abastecer las necesidades.

La utilización masiva del hormigón en la construcción, como el segundo material más empleado después del agua, ha sido impulsada principalmente por su accesible elaboración y costo (Siddique, et al., 2011). Sin embargo, a pesar de su contribución en el sector constructivo y aporte al desarrollo económico, se ha convertido en un recurso insostenible. El crecimiento continuo de la demanda y las inversiones en la producción de agregados han agotado gradualmente las fuentes naturales de estos materiales. Como resultado, la industria de la construcción se ha transformado en un importante generador de residuos perjudiciales para el entorno ambiental.

El hormigón reciclado surge como una alternativa esencial para abordar este desafío medioambiental. Su adopción amortigua el impacto que produce la industria de la construcción,

ya que, disminuye la generación de residuos y demoliciones. Al mismo tiempo, minimiza la contaminación y la acumulación de desechos en vertederos. Además, reduce la necesidad de explotar canteras y recursos naturales al reemplazar componentes del hormigón. Estos factores, contribuyen a la preservación de áreas sensibles y a la disminución de la degradación del medio ambiente.

Por otro lado, el implemento de hormigón reciclado en viviendas no solo impacta positivamente a la sostenibilidad ambiental, sino que también desempeña un papel importante en la mitigación del déficit habitacional. La transición hacia el uso de hormigón reciclado representa un hito de gran relevancia en la promoción de la sostenibilidad dentro del sector de la construcción. Esta medida no solo aboga por la reducción de la huella ambiental asociada a los proyectos de construcción, sino que también surge como una solución al déficit de vivienda existente.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Evaluar el diseño de una vivienda de interés social de hormigón reciclado en Guayaquil, por medio del análisis estático no lineal y la comparación de su desempeño con el del hormigón convencional, para la garantía de su seguridad estructural y cumplimiento de la normativa vigente en Ecuador.

¿Cómo se evaluará el cumplimiento de los estándares de calidad del hormigón para el uso estructural?

¿Cómo se evaluará el desempeño de la estructura propuesta ante cargas sísmicas y no sísmicas?

¿De qué manera se analizará la contribución del proyecto integrador a los Objetivos de Desarrollo Sostenible?

1.4.2. Objetivos Específicos

Evaluar resistencias de cilindros de hormigón con el método ACI para la obtención del diseño óptimo.

Modelar la estructura diseñada en el software SAP, siguiendo la normativa vigente y verificando el desempeño de la estructura bajo las cargas aplicadas en el análisis estático no lineal.

Analizar el impacto del uso eficiente de hormigón reciclado en el diseño de viviendas de sostenibles (ODS 11) para comunidades en situación de pobreza (ODS 1), evaluando su capacidad de reducir costos de construcción y recursos naturales (ODS 15).

Impulsar prácticas de producción y consumo responsables (ODS 12), minimizando el agotamiento de recursos naturales y degradación de ecosistemas (ODS 15).

Capítulo 2

2. Materiales y métodos

2.1. Revisión de literatura

2.1.1. Vivienda de interés social (VIS)

Una vivienda de interés social (VIS) se refiere a la primera y única residencia adecuada, destinada a los grupos de atención prioritaria, población en situación de vulnerabilidad o pobreza que necesitan adquirir una vivienda propia y no han recibido un apoyo similar previamente (MIDUVI, 2022). Este tipo de vivienda se divide en tres segmentos.

Tabla 2.1
Segmentos de vivienda de interés social

Parámetros	Primera Categoría	Segunda Categoría	Tercera Categoría
Subsidio	Total	Parcial y acceso a crédito hipotecario con tasa preferencial.	Acceso a crédito hipotecario con tasa preferencial.
	Hasta 64 SBU (En caso de construirse en terreno del Estado o promotor)	Hasta 102 SBU.	Hasta 178 SBU.

Nota: Datos tomados del MIDUVI (2022).

Es importante señalar que, para recibir cualquiera de estos subsidios, los beneficiarios deben cumplir con los requisitos que dicta el ente regulador competente MIDUVI (2022).

Las VIS son esenciales para el progreso social, económico y urbano. Por ello, el Banco de Desarrollo del Ecuador respalda la implementación de estas iniciativas. De este modo, se asegura no sólo el acceso a viviendas dignas y entornos saludables sino también la formación de urbes más sostenibles (BDE, 2023).

Sin embargo, según el Plan Internacional 2022, 1.5 millones de personas viven hacinadas en viviendas construidas por ellos mismos. Esto se debe a el alto nivel de trabajo informal y falta de viviendas asequibles para la población vulnerable (UTPL, 2023).

En el año 2022, se estimó que, de los 5.188.402 hogares en Ecuador, sólo el 50% reside en vivienda propia (INEC, 2022). A primera vista, esto puede parecer alentador, ya que, una propiedad resulta un indicador de estabilidad. No obstante, también se debe considerar que aproximadamente 40% de los hogares paga alquiler o vive en condiciones precarias. Todo esto refuerza la necesidad de viviendas asequibles y de calidad.

2.1.2. Hormigón con agregado reciclado (HAR)

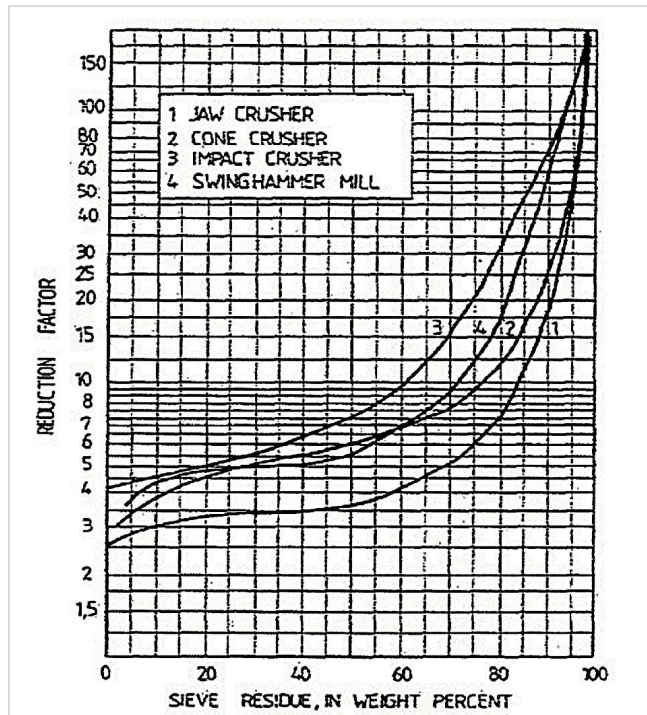
El hormigón con agregado reciclado, como su nombre sugiere, reemplaza el agregado natural con materiales reciclados. Estos agregados se obtienen a partir del procesamiento y trituración de residuos de la industria de la construcción y se clasifican en áridos procedentes de hormigón, áridos cerámicos o mixtos (Sánchez, 2004).

A medida que se aumenta la proporción de árido reciclado (AR) en la mezcla de hormigón, se observa mayor variación en la calidad del producto en comparación con el hormigón convencional (Gutiérrez et al., 2015). Al igual que con cualquier otro agregado, se debe examinar las propiedades que caracterizan el material, a fin de evaluar su posible desempeño en la mezcla. Se debe considerar propiedades como granulometría, densidad, absorción, entre otras (Chang et al., 2011)

La granulometría del AR depende del proceso de trituración que se realice. Como por ejemplo en Alemania, se utiliza el concepto de “Característica de la trituradora”, el cual, muestra la relación entre un factor de reducción “R” y el material retenido en los tamices anteriores y posteriores de la trituración. Esto ayuda a elegir el método adecuado y determinar si es necesaria una trituración secundaria (RILEM, 1994).

Como se puede observar en la Figura 2.1, las trituradoras de impacto son las más eficientes en cuanto a reducción de tamaño de partícula, seguida de las trituradoras de cono y mandíbula.

Figura 2.1
Factores de reducción para distintos sistemas de trituración



Nota: Datos tomados de RILEM (1992)

Ecuador actualmente no cuenta con una normativa para el uso de este tipo de agregados. Sin embargo, países como Reino Unido, Brasil, Perú, China, Japón, entre otros, poseen avances normativos al respecto (Rosero, 2019). Además, se puede comparar con las propiedades establecidas en la ASTM C-33.

La densidad del AR es menor que la del natural, principalmente por la cantidad que presenta de pasta de cemento adherida. Para evaluar este parámetro existen diversas normativas como la más empleada que es la normativa española UNE 83134 “Áridos para hormigones, determinación de densidades, porosidad, coeficiente de absorción y contenido de agua del árido grueso” (Sánchez, 2004).

Por otra parte, una de las características más significativas que distingue al agregado reciclado de los agregados natural, es la absorción (Zega et al., 2007.) Esta particularidad puede

generar un gran impacto tanto en sus propiedades en estado fresco como endurecido (Topcu et al.,2004).

El análisis de dichas propiedades requiere la realización de pruebas con el propósito de asegurar el cumplimiento de los estándares de calidad necesarios en el HAR. Para esto, se llevan a cabo ensayos en dos etapas:

- Estado fresco: Control de calidad
- Estado endurecido: Destructivos y no destructivos.

Sin embargo, para llevar a cabo estos procedimientos, es vital también considerar las regulaciones relacionadas a la dosificación. La norma británica, el hormigón puede contener hasta un 20% de hormigón triturado en el uso de elementos estructurales, siempre y cuando cumpla con las condiciones dadas por la norma (BSI, 2006).

Aumentar la cantidad de AR, puede implicar reducciones significativas en la calidad de hormigón. Además, el tamaño máximo también desempeña un papel crucial, dado que las fracciones pequeñas presentan propiedades menos favorables, por lo que se recomienda su utilización como agregado grueso (Gutiérrez et al., 2015).

En investigaciones experimentales, se ha observado que la resistencia a la compresión puede disminuir en menos del 20%, la tracción en un 30% y la fluencia aumentar en un rango entre 25 y 50%. También, un parámetro que puede experimentar aumentos notables es la absorción de agua, el cual, está vinculado al porcentaje de agregado reciclado usado en la mezcla (Pryce-Jenkins, 2011).

2.1.3. Peligro sísmico

Un elemento esencial en las consideraciones de diseño de estructuras es la actividad sísmica en especial en países con alto riesgo sísmico como lo es Ecuador. En el Ecuador, se deriva

por la subducción entre las placas Nazca y Sudamericana, provocado terremotos superficiales que llegaron a originar grandes deformaciones como Los Andes (Yépez, 2007).

En este contexto, es vital que las viviendas y estructuras en general se planifiquen considerando la demanda sísmica de diseño. Esto conlleva a la aplicación de la normativa vigente “NEC 2015” y “ACI 318” que garantiza la seguridad y resistencia ante un entorno propenso a eventos sísmicos.

Las pérdidas económicas y de vida que resultan de los terremotos suelen estar vinculadas en su mayoría al inadecuado rendimiento de las estructuras (Bertero et al., 1992).

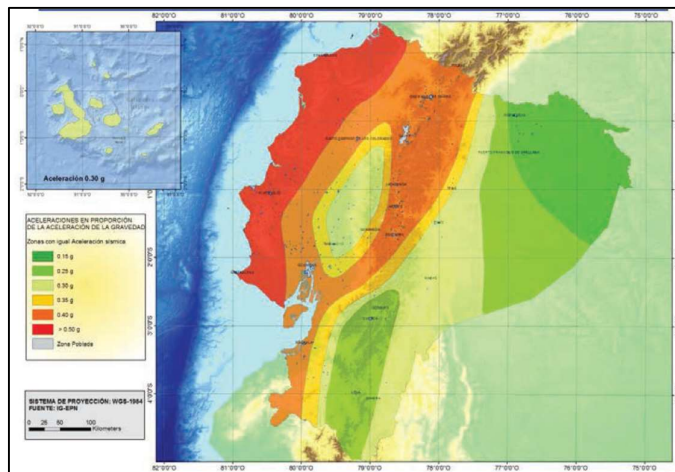
En muchos países, la falta de aplicación de normas de diseño sismorresistentes en construcciones informales aumenta la vulnerabilidad de las estructuras. Aunque es importante destacar que las normativas, por sí solas no garantizan total ausencia de daños ante un terremoto severo, ya que establecen requisitos mínimos para proteger la vida de los ocupantes (Blanco, 2012).

En “Cálculo y Diseño sismorresistente de edificios. Aplicación de la norma NCSE-02” Barbat (1996), los aspectos que suelen ser considerados dentro del diseño sismorresistente de una estructura son:

- Tipo de estructura
- Tipo de suelo
- Mapa de peligrosidad sísmica
- Espectro sísmico de respuesta
- Fuerzas sísmicas equivalentes
- Regularidad de planta, elevación y eje

En el mapa de zonificación sísmica creado a partir de un estudio de peligro de movimientos telúricos, señala la zona costera de Ecuador como tipo VI, estableciendo aceleraciones de hasta 0.50 g. (NEC, 2015).

Figura 2.2
Zonas sísmicas del Ecuador



Nota: Datos tomados de la NEC Peligro sísmico (2015)

La Figura 2.2 muestra como la totalidad del territorio ecuatoriano se clasifica como una zona de riesgo sísmico alto, a excepción de: (NEC, 2015)

- El Nororiente, que exhibe un nivel de amenaza sísmica intermedia
- La región costa con una amenaza muy alta.

2.1.4. Análisis no lineal estático

Muchas edificaciones actuales se construyen de concreto armado, pero no cumplen con las normativas vigentes (Espinoza, 2021). Además, suelen diseñarse considerando su comportamiento elástico sin evaluar cómo se comportarían realmente (Huaman, 2016).

Evaluar la respuesta de las estructuras ante los sismos requiere de tecnología y procedimiento que puede llegar a representar un alto costo en una investigación como el caso del análisis dinámico (López et al., 2008).

Por ello, se utilizan métodos como el análisis estático no lineal para la estimación de demanda sísmica y comprensión del comportamiento de estructuras (López et al., 2008).

En este análisis, se aplica gradualmente una carga simulando los efectos de las cargas sísmicas con el fin de poder registrar los desplazamientos o deformaciones producidas hasta alcanzar el colapso (FEMA356, 2000).

Esto evidencia cuando la estructura entra en la zona no lineal, generando fisuras en el hormigón, la cedencia y la formación de las rótulas plásticas iniciales hasta que los elementos llegan a fallar (Cumpa, 2019).

El AENL transforma el sistema de varios grados de libertad a un sistema de un solo grado con características similares (Paredes, 2020). Su propósito radica en la generación de la curva de capacidad, la cual, muestra como el desplazamiento lateral varía en función de la fuerza aplicada a la estructura (Delgadillo, 2005).

Mediante su implementación, es posible evaluar la capacidad de resistencia de la estructura y compararla con la fuerza requerida ante un sismo u otra eventualidad similar.

El rendimiento de la estructura depende de su capacidad para resistir la carga sísmica y cumplir con los objetivos planteados por el diseñador. Este tipo de análisis es vital para entender

el comportamiento bajo cargas que exceden la capacidad elástica de la estructura y reducir la incertidumbre existente en las normas de diseño (Quinto, 2022).

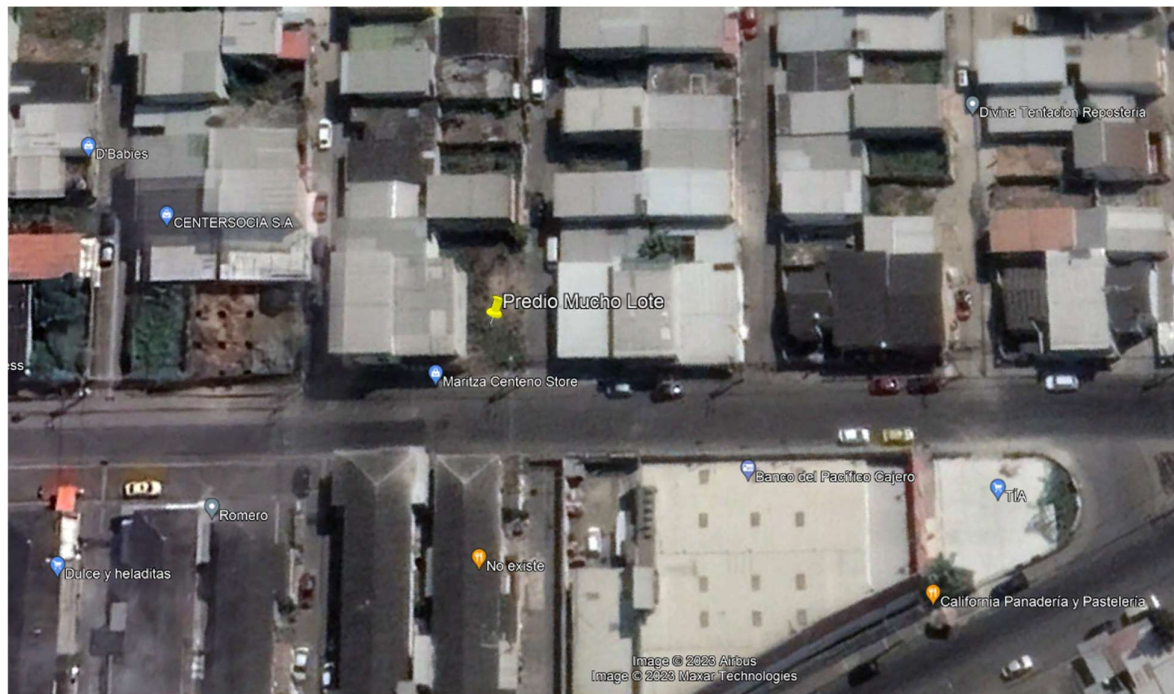
Aunque el enfoque del Análisis Dinámico No Lineal basado en registros de tiempo puede proporcionar una evaluación más acertada a la realidad (Salinas, 2001), su complejidad lo hace menos aplicable. Por otro lado, el AENL, se destaca por ser sencillo y práctico.

2.2. Área de estudio

2.2.1. Localización de la vivienda

En la Figura 2.3, se puede observar la localización de la vivienda, un predio en la quinta etapa de Mucho Lote 1.

Figura 2.3
Predio de Mucho Lote 1



Nota: Datos tomados de Google Earth (2023)

Dado que forma parte de Guayaquil, esta ubicación se encuentra en una zona de alto peligro sísmico en un suelo tipo D y con un factor z de 0,5. El solar cuenta con 96 m², de los cuales, la

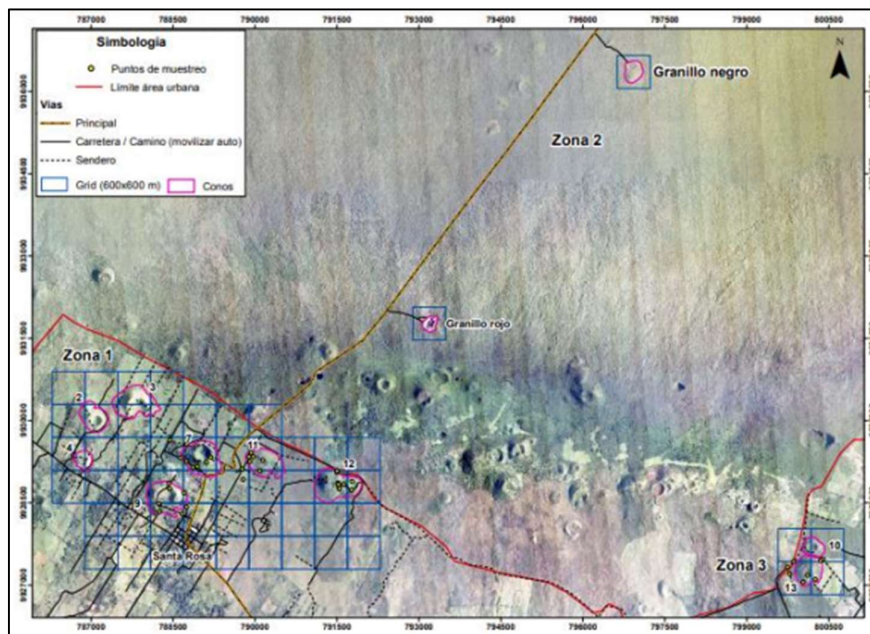
estructura ocupará 88 m². Esta residencia tiene espacios como sala, comedor, cocina, cuatro baños y tres habitaciones.

2.2.2. Origen de agregado

Los cilindros de hormigón utilizados como agregado son resultado del proyecto integrador “Diseño de hormigón utilizando materiales extraídos de canteras locales en la provincia de las Galápagos” (Paredes & Yáñez, 2022).

La Figura 2.4 ilustra la ubicación de los conos volcánicos y canteras Granillo negro y Granillo rojo en Puerto Ayora, Santa Cruz donde se obtuvo el agregado natural.

Figura 2.4
Ubicación de conos volcánicos



Nota: Datos tomados de Altamirano y Villalta (2023)

2.2.3. Áreas de la ingeniería

En esta sección, se indican las áreas específicas de la ingeniería que influyen en el presente proyecto.

- Hormigón y materiales: Selección adecuada de materiales y evaluación de calidad.
- Diseño estructural: Garantiza la seguridad y estabilidad de la estructura.

- Geotecnia: Elección adecuada de la ubicación de la vivienda y evaluación del suelo para la cimentación.
- Sostenibilidad: Enfatizar la importancia de la gestión integral de los residuos y minimización del impacto ambiental con un enfoque en economía circular.

2.3. Trabajo de laboratorio

La ejecución para los trabajos de laboratorio se llevó a cabo en tres etapas. Las dos primeras, en la Escuela Superior Politécnica del Litoral, donde se hicieron uso de dos laboratorios de la Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra. Inicialmente el Laboratorio de Procesamiento de Minerales y posterior, el Laboratorio de Geotecnia y Construcción. Finalmente, en la última etapa, se elaboraron los cilindros y las pruebas de calidad en el Centro de Innovación de Holcim, Planta San Eduardo.

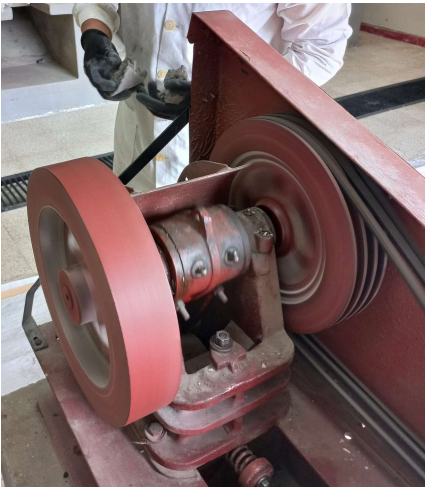
En la fase inicial, se procedió a la reducción y trituración de aproximadamente 25 probetas hormigón con una medida estándar de 10x20 cm tal como se muestra en la Figura 2.5. Estos cilindros fueron elaborados con base en agregado proveniente de la Isla Santa Cruz, Galápagos y corresponden a una donación del laboratorio de Geotecnia y Construcción.

Figura 2.5
Reducción de tamaño de muestra a triturar



La trituración del material se realizó a partir de una triturado de mandíbula mostrada en la Figura 2.6, con el objetivo de reducir el tamaño de la muestra hasta alcanzar una granulometría similar a la que posee la piedra comercial de 19 mm, conocida también como piedra 67.

Figura 2.6
Trituradora de laboratorio de Minas



Para la piedra triturada 19 mm de Huayco y la arena de río, se realizó su respectiva caracterización mediante los siguientes ensayos:

1. Homogenización y reducción de muestra para áridos. ASTM C702
2. Análisis granulométrico de agregados gruesos ASTM C136, finos ASTM C117.
3. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos ASTM C29.

4. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso. ASTM C127
5. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino. ASTM C127
6. Determinación del contenido total de humedad ASTM D2216

Los ensayos luego del proceso de trituración fueron realizados al hormigón. Este proceso consistió en medir e identificar las características del hormigón en estado fresco con el objetivo de llevar un control en la calidad de este incluyendo la evaluación de la resistencia a los 28 días. Las pruebas realizadas para esta etapa fueron:

1. Práctica normalizada para muestreo de hormigón recién mezclado. ASTM C172
2. Temperatura del hormigón de cemento hidráulico recién mezclado.
3. Práctica Normalizada para Ensayo de Asentamiento de Cono de Hormigón. ASTM C143
4. Práctica Normalizada para Ensayo de Masa Unitaria y Contenido de Aire en Hormigón Fresco. ASTM C138
5. Práctica Normalizada para Ensayo de Contenido de Aire en Hormigón mediante la Prueba de Presión. ASTM C231.

Finalmente, a partir de los especímenes cilíndricos elaborados, se realizaron ensayos que permitiera conocer las características y resistencias a las edades de 1, 3, 7 y 28 días con el ensayo de:

Método de Prueba Estándar para la Resistencia a la Compresión de Cilindros de Hormigón (ASTM C39).

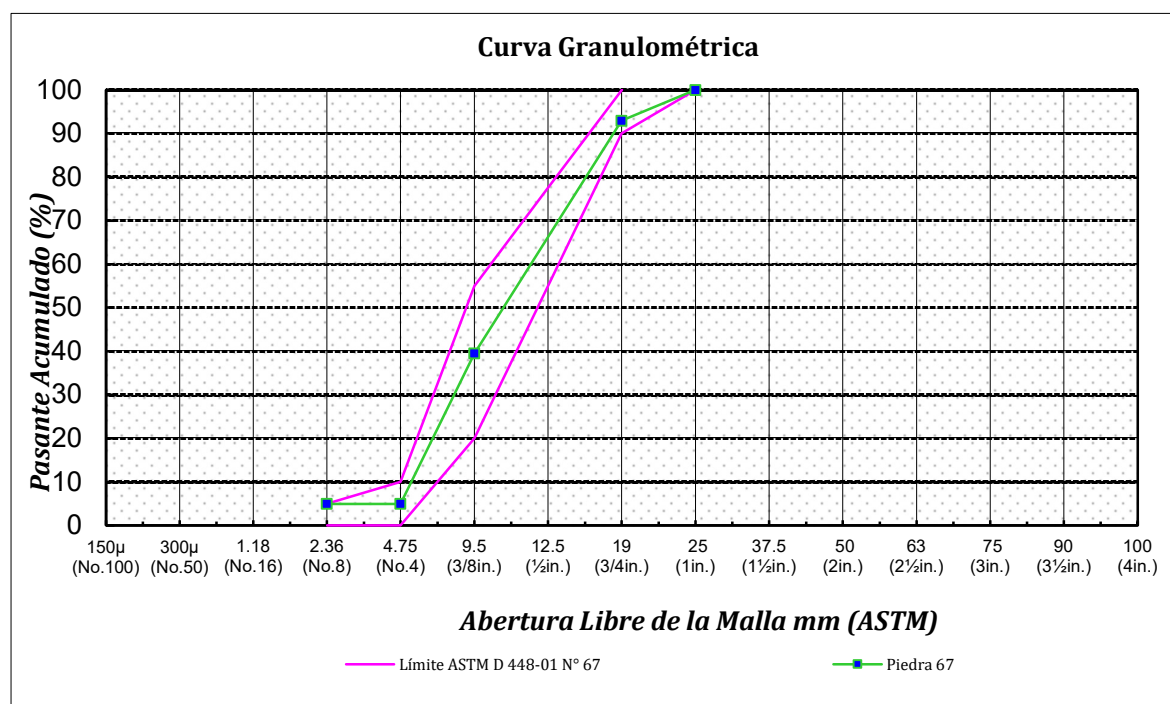
2.4. Análisis de datos

2.4.1. Agregado grueso

2.4.1.1. Granulometría del agregado grueso

La granulometría desempeña un papel fundamental en el diseño del hormigón, dado que permite evaluar si la distribución de tamaños del reciclado cumplía con los estándares de una piedra convencional de 19 mm. Según los datos obtenidos, se construyó la curva granulométrica mostrada en la Figura 2.7 correspondiente al agregado reciclado.

Figura 2.7
Curva granulométrica del agregado reciclado



La Figura 2.7 representa la distribución de las partículas de la muestra, lo que posibilita un análisis de su influencia en las propiedades y el comportamiento del hormigón. Por ejemplo, una curva que muestra elevada cantidad de material fino podría indicar mayor demanda de agua. En este caso, es importante destacar que la curva se encuentra dentro de los límites recomendados por la normativa ASTM. Sin embargo, al explorar las propiedades de absorción y fundir las pruebas

se observó que a medida que el agregado reciclado aumenta, se requiere de una mayor cantidad de agua

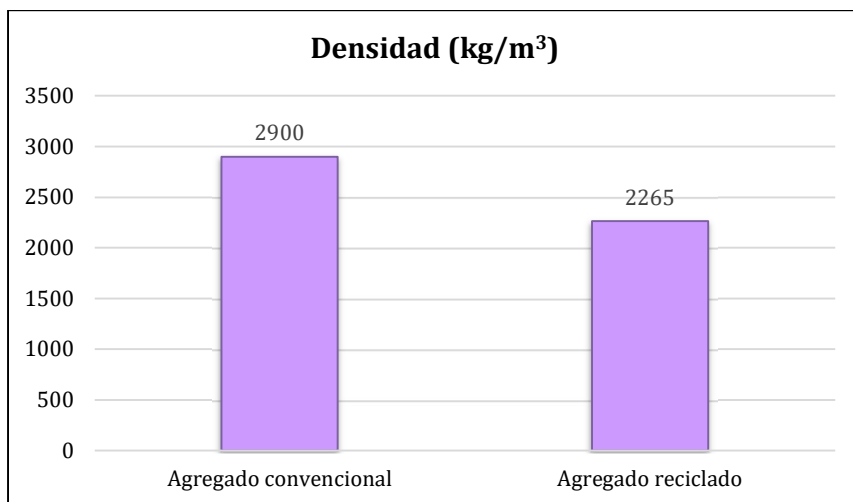
2.4.1.2. Densidad y absorción

La densidad y absorción son valores son fundamentales para entender la capacidad del agregado para retener agua y en consecuencia su influencia en la mezcla y sus propiedades. En

términos generales, a mayor relación agua/cemento en la mezcla, la resistencia tiende a disminuir, aunque existen otros factores que pueden influir en esta propiedad (Guevara et al., 2011).

Figura 2.8

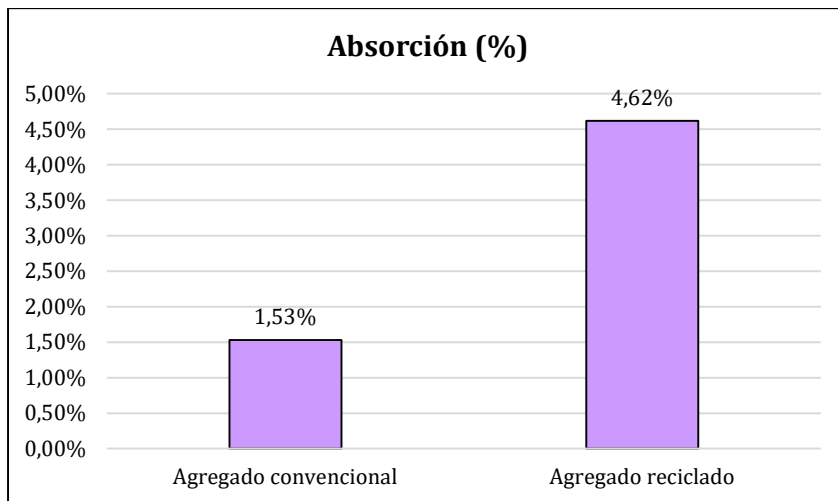
Densidad de agregado grueso



En la Figura 2.8, se puede observar que el agregado reciclado posee una baja densidad como fue anticipado en la revisión bibliográfica. Además, la absorción de este material también resultó ser mayor al natural como se visualiza en la Figura 2.9.

Figura 2.9

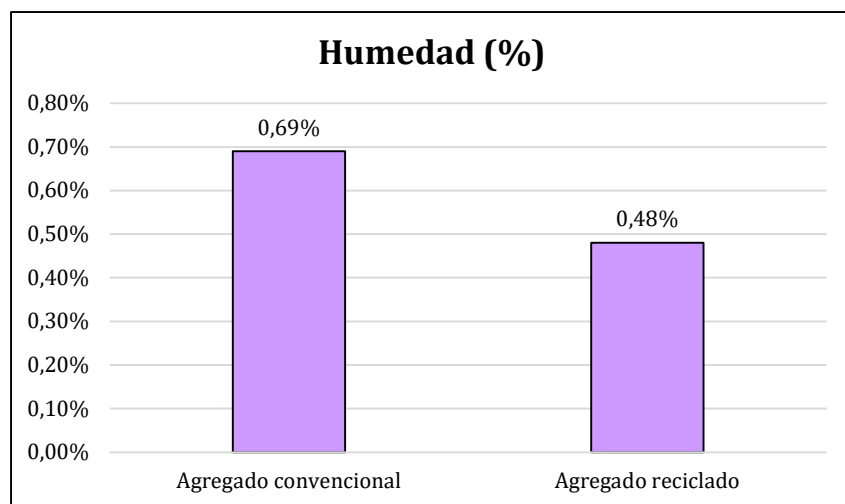
Absorción del agregado grueso



2.4.1.3. Humedad

La humedad de la piedra también es un factor crucial que afecta varios aspectos del hormigón, influyendo desde la resistencia hasta su trabajabilidad. Controlar y ajustar la humedad asegura la uniformidad y calidad. En la Figura 2.10 se observa las diferencias entre la humedad en convencional y reciclado.

Figura 2.10
Humedad del agregado grueso



2.4.1.4. Masa Unitaria

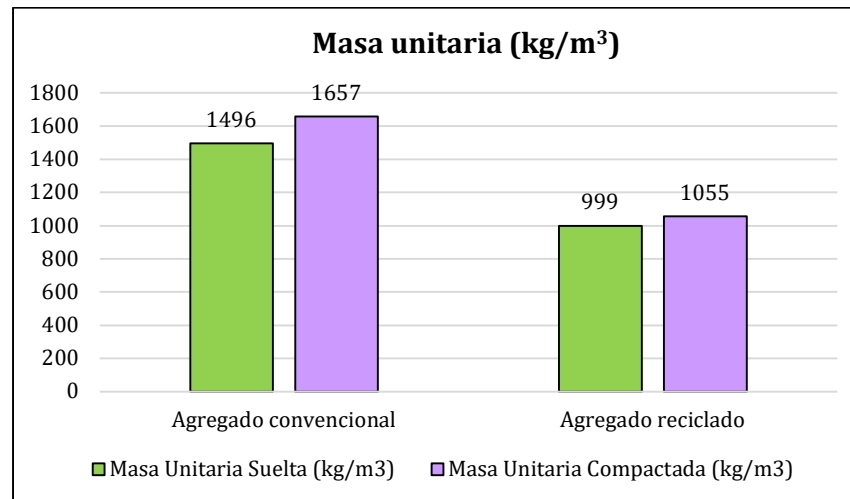
La masa unitaria, tanto suelta como compacta tiene implicaciones directas en el diseño del hormigón dado que la masa suelta es un indicador de la presencia de vacíos, y la compactada

garantiza la homogeneidad de la mezcla para cumplir con los estándares de resistencia (Santalla, 2021).

En los ensayos realizados, se obtuvieron los resultados mostrados en la Figura 2.11.

Figura 2.11

Masa unitaria de agregado grueso

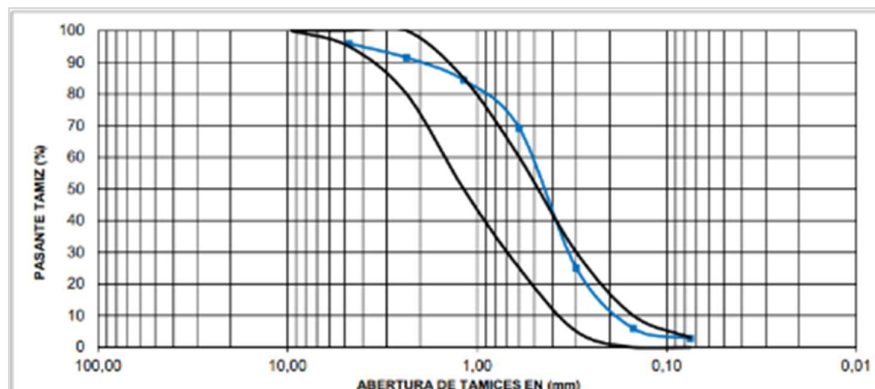


2.4.2. *Agregado fino*

El agregado fino tiene un impacto significativo en propiedades físicas y mecánicas del hormigón. A través de los ensayos de laboratorio indicados anteriormente se obtuvo las propiedades de la arena proveniente de la cantera Anropevi ubicada en Boliche, Durán. En la

Figura 2.12 y la Tabla 2.2 se detallan los resultados obtenidos de la arena a emplearse en el diseño de hormigón.

Figura 2.12
Granulometría de la arena



2.5. Análisis de alternativas

2.5.1. Alternativas

Se buscó una solución a la problemática expuesta que garantice una vivienda digna y sostenible. De este modo, se busca reducir el déficit habitacional y promover el uso de materiales con menor impacto ambiental (Banco Interamericano de Desarrollo (BID), 2023). No obstante, como ya se mencionó, Ecuador se ubica en una zona de riesgo sísmico alto, por lo que sus estructuras no pueden ser edificadas sin considerar este parámetro.

El daño o colapso de edificaciones en zonas sísmicas, se debe a la respuesta dinámica del movimiento característico del evento y el comportamiento en conjunto de todo el sistema (NEC, 2015). Por esta razón, es importante que las construcciones se adapten a las especificidades del terreno. La ejecución de este proyecto prevé que la geometría, longitud y distribución de los espacios en las viviendas sigan las especificaciones de la NEC. Sin embargo, ante el requerimiento de un análisis estructural, se presentan tres alternativas que certifiquen a la estructura como un sistema resistente a los efectos emitidos por movimientos sísmicos.

Alternativa 1: Análisis de Elementos Finitos (FEA).

Este modelo divide una estructura de componentes infinitos en partículas finitas, pequeñas y de geometría simple llamadas elementos. De esta manera, se evalúa efectos no lineales y dinámicos que serían imposibles de alcanzar con un análisis analítico (Huei-Huang Lee, 2023).

A través de ecuaciones, este sistema resuelve de manera aproximada el comportamiento de los elementos que se ven afectados por cargas y restricciones que podría experimentar la estructura en la realidad. Así mismo, se identifica propiedades no lineales de los materiales como deformaciones, tensiones y desplazamientos (Giuseppe Miralisenna, 2016), que evidencian la interacción suelo-estructura o capacidades que influyen en la fisura del hormigón y fluencias en el acero. Este análisis permite conocer de manera más detallada la estabilidad que tendrá la estructura

y su comportamiento una vez alcanzada la etapa más crítica de su deformación ante eventos sísmicos, lo cual habilita la posibilidad de tomar decisiones estructurales acertadas.

A través de ecuaciones, este sistema resuelve de manera aproximada el comportamiento de los elementos que se ven afectados por cargas y restricciones que podría experimentar la estructura en la realidad. Así mismo, se identifica propiedades no lineales de los materiales como deformaciones, tensiones y desplazamientos (Giuseppe Miralisenna, 2016), que evidencian la interacción suelo-estructura o capacidades que influyen en la fisura del hormigón y fluencias en el acero. Este análisis permite conocer de manera más detallada la estabilidad que tendrá la estructura y su comportamiento una vez alcanzada la etapa más crítica de su deformación ante eventos sísmicos, lo cual habilita la posibilidad de tomar decisiones estructurales acertadas.

Alternativa 2: Simulación Híbrida en Tiempo-Real (SHTR).

El sistema permite evaluar el comportamiento dinámico que tendrá una estructura a partir de la sub-estructuración de los elementos que la componen. Este método utiliza análisis numéricos y experimentales que entrelazan de manera continua y en el tiempo las interacciones entre las subestructuras para observar comportamientos dinámicos (Edgar Serna M., 2022).

Para una evaluación sísmica, las subestructuras críticas son impuestas a simulaciones de cargas y se ejercen fuerzas cíclicas en direcciones similares a las de un movimiento telúrico. Este método identifica las fuerzas internas que reaccionan entre sí, a diferencia de un modelo complemente numérico o físico (Alexander Solarte). Como consecuencia, podrían existir modificaciones en el diseño, reforzamientos, ajustes en geometría o conexiones dentro de la estructura. Este análisis permite proyectar los resultados de las interacciones críticas de un sistema a todo el esquema estructural propuesto, asegurando su comportamiento en una actividad sísmica.

Para una evaluación sísmica, las subestructuras críticas son impuestas a simulaciones de cargas y se ejercen fuerzas cíclicas en direcciones similares a las de un movimiento telúrico. Este método identifica las fuerzas internas que reaccionan entre sí, a diferencia de un modelo

complemente numérico o físico (Alexander Solarte). Como consecuencia, podrían existir modificaciones en el diseño, reforzamientos, ajustes en geometría o conexiones dentro de la estructura. Este análisis permite proyectar los resultados de las interacciones críticas de un sistema a todo el esquema estructural propuesto, asegurando su comportamiento en una actividad sísmica.

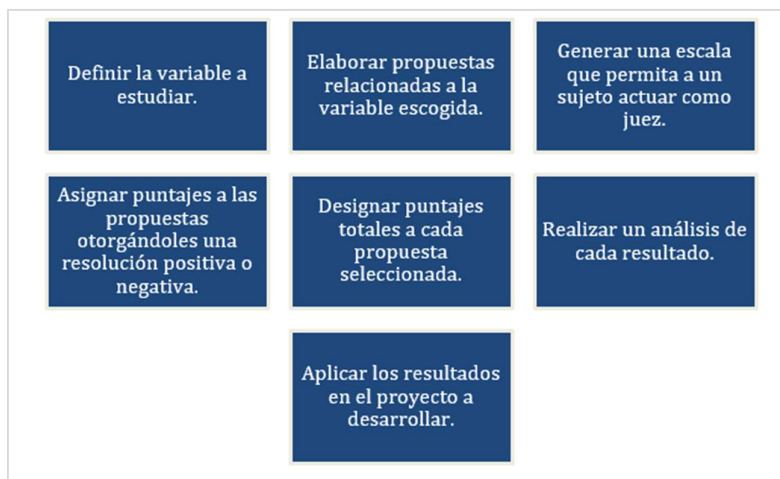
Alternativa 3: Análisis Estático no Lineal (Pushover)

Este análisis se realiza a través de la aplicación de cargas gravitatorias y fuerzas horizontales que simulan un evento sísmico. Pretende identificar el estado límite de la estructura a partir de los esfuerzos exigidos y conocer su estado de servicio posterior a los mismos (Mohiuddin Ali Khan, 2013).

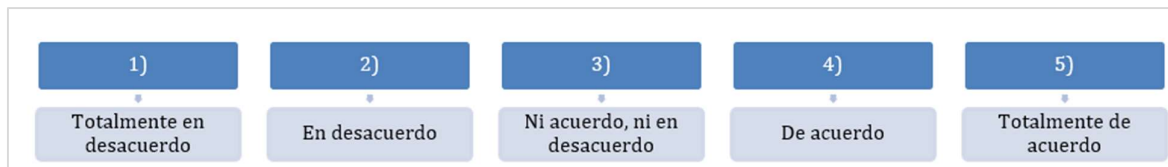
A partir de este método se llegan a conocer las deformaciones y desplazamientos máximos que puede experimentar una estructura antes de su colapso. El uso del Análisis Estático no Lineal se aplica frecuentemente ya que evalúa el desempeño en el diseño de nuevas estructuras (Robert V. Whitman, 2003) Esta identificación de las capacidades de la estructura en cuanto a sus resistencias permite reconocer las condiciones constructivas que podemos ejercer en la zona y la implicación que supondría implementar una vivienda compuesta de hormigón con materiales reciclados en el sitio.

2.5.2. Escala de Likert

La escala de Likert se define como una técnica de medición, que recolecta información relacionada a una primicia desde una perspectiva de “desacuerdo” o “acuerdo” (Maldonado, 2007). Para analizar una proposición a través de la escala de Likert es necesario aplicar procedimientos que conduzcan a los resultados como se muestra en la Figura 2.13.

Figura 2.13*Procedimiento de escala de Likert*

Los resultados de la escala de Likert permiten valorar la viabilidad de las alternativas presentadas en el proyecto, identificando la más favorable. Para la aplicación de la escala, se utiliza indicadores del 1 al 5 que van desde “totalmente en desacuerdo” a “totalmente de acuerdo”, tal como se muestra en la Figura 2.14.

Figura 2.14*Indicadores de escala*

Por otro lado, la evaluación considera parámetros técnicos, sociales, económicos y ambientales, ponderándolos con un 100% de nivel de importancia.

2.5.3. Ponderación de parámetros

A partir de los parámetros involucrados en el desarrollo del proyecto, se asigna porcentajes según su nivel de importancia. De manera, se evalúa las alternativas y se alinea al marco teórico de los objetivos.

Aspecto técnico. 30%

Para garantizar la seguridad estructural en proyectos constructivos, es de vital importancia implementar todas las normativas, protocolos y personal capacitado que corresponda. Una estructura que no considera todos los aspectos técnicos necesarios dentro del diseño puede ser precedida de fallos o colapsos. Estos no solo involucran pérdidas financieras, sino también vidas humanas. Al trabajar con materiales innovadores, pero no convencionales y proponer estructuras ubicadas en zonas sísmicas, se otorga a este aspecto el mayor porcentaje de importancia.

Aspecto social. 25%

Conforme a lo expuesto en el Capítulo 1, el déficit de vivienda en Guayaquil se posesiona como un obstáculo para el desarrollo de la ciudad. Por otro lado, la ejecución de la solución debe ser gestionada por especialistas, considerando necesidades o sugerencias expresadas por la población. Al proponer este proyecto una vivienda de interés social que pueda replicarse dentro de un plan habitacional y ser innovada con mira al beneficio de la comunidad, este parámetro adquiere la segunda ponderación más alta.

Aspecto económico. 25%

El diseño, análisis y construcción del proyecto deben estar en concordancia con el presupuesto anual asignado por la autoridad gubernamental correspondiente. Esto se debe a que, las actividades propuestas influyen en la garantía de viviendas con seguridad ante sismos. Además, es crucial reconocer que las identidades gubernamentales deben ajustarse y adecuarse a la situación financiera de su región. En consecuencia, la valoración otorgada a este aspecto es igual a la anterior.

Aspecto ambiental 20%

La contaminación ambiental debido a la industria de la construcción es preocupante. Como se menciona en los objetivos, este proyecto pretende mitigar los efectos del sector constructivo al alinearse con los Objetivos de Desarrollo Sostenible promovidos por la Organización de las

Naciones Unidas (ONU). Estos enfoques buscan ir de la mano con la promoción de viviendas sostenibles y la producción y consumo responsable. Por esta razón, se considera este parámetro esencial en la evaluación de las alternativas previas al proyecto y se le asigna una ponderación igualmente significativa.

2.5.4. Evaluación de alternativas

A partir de los apartados descritos previamente en las Secciones 2.7.1. y 2.7.3., se evalúa las alternativas de análisis en función de los parámetros y sus respectivas ponderaciones. De esta manera, en esta fase, se selecciona la alternativa más conveniente mostrada en la Tablas 2.3 hasta la Tabla 2.5.

Tabla 2.3
Análisis de Alternativa 1

Número	Criterio de Evaluación	Ponderación	Escala de Likert					Ponderación Final
			1	2	3	4	5	
Aspecto Técnico			30%					
1	Conocimiento de la metodología que se va a implementar.	15%	x					3%
	Convergencia a resultados reales.	15%					x	15%
Aspecto Social			25%					
2	Socialización con profesionales entendidos en estructuras.	15%		x				6%
	Gestión del número de personas que habitarán en la vivienda.	10%					x	10%
Aspecto Económico			25%					
3	Softwares sin costo por utilizar.	15%	x					3%
	Uso de laboratorios sin costo.	10%		x				4%
Aspecto Ambiental			20%					
4	Reducción de Impacto ambiental.	5%					x	5%
	Consumo responsable.	5%					x	5%
	Sostenibilidad.	10%					x	10%
Total			61%					

Tabla 2.4
Análisis de Alternativa 2

Criterios del Proyecto								
Número	Criterio de Evaluación	Ponderación	Escala de Likert					Ponderación Final
			1	2	3	4	5	
Aspecto Técnico			30%					
1	Conocimiento de la metodología que se va a implementar.	15%		x				6%
	Convergencia a resultados reales.	15%				x		12%
Aspecto Social			25%					
2	Socialización con profesionales entendidos en estructuras.	15%		x				6%
	Gestión del número de personas que habitarán en la vivienda.	10%			x			6%
Aspecto Económico			25%					
3	Softwares sin costo por utilizar.	15%	x					3%
	Uso de laboratorios sin costo.	10%	x					2%
Aspecto Ambiental			20%					
4	Reducción de Impacto ambiental.	5%	x					1%
	Consumo responsable.	5%			x			3%
	Sostenibilidad.	10%			x			6%
Total			45%					

Tabla 2.5
Análisis de Alternativa 3

Criterios del Proyecto								
Número	Criterio de Evaluación	Ponderación	Escala de Likert					Ponderación Final
			1	2	3	4	5	
Aspecto Técnico			30%					
1	Conocimiento de la metodología que se va a implementar.	15%					x	15%
	Convergencia a resultados reales.	15%				x		12%
Aspecto Social			25%					
2	Socialización con profesionales entendidos en estructuras.	15%					x	15%
	Gestión del número de personas que habitarán en la vivienda.	10%					x	10%
Aspecto Económico			25%					
3	Softwares sin costo por utilizar.	15%					x	15%
	Uso de laboratorios sin costo.	10%					x	10%
Aspecto Ambiental			20%					
4	Reducción de Impacto ambiental.	5%					x	5%
	Consumo responsable.	5%					x	5%
	Sostenibilidad.	10%					x	10%
Total			97%					

Las tres alternativas realizadas a partir de la escala de Likert miden los criterios necesarios para la correcta selección del sistema a implementar dentro del proyecto. Como se observa en las Tablas 2.3, 2.4 y 2.5, la alternativa con mayor viabilidad Análisis Estático no Lineal (Pushover).

Como se observa en la Tabla 2.5, esta opción es favorable en su aspecto técnico, ya que, es un análisis convencional ejercido a estructuras en zonas sísmicas, recomendado en la NEC 2015 y el ACI 318. Con respecto a lo social, esta opción es aplicable para cualquier carga a la que vaya a estar sometida la estructura y el método es ejercido por muchos profesionales estructuristas. Por otro lado, su aspecto económico beneficia a su ejecutor, ya que, resulta más accesible que otras alternativas. Por último, al ser una metodología que solo explora opciones numéricas, no genera un impacto significativo ambiental, promueve el consumo responsable de materiales al trabajarse de manera virtual y es sostenible, ya que, se puede aplicar a largo plazo.

CAPÍTULO 3

3. DISEÑOS Y ESPECIFICACIONES

3.1. Diseño de hormigón

En esta sección, se detalla el proceso para el diseño y dosificación del hormigón, de acuerdo con el método ACI 211. Primero se realiza la elaboración del hormigón patrón de 21 MPa con agregado convencional y posterior se realiza el proporcionamiento de los porcentajes de reemplazo de agregado reciclado.

3.1.1. Procedimiento

a. Resistencia requerida

Se establece que el hormigón está destinado a elementos estructurales de una vivienda, por lo que se diseña con una resistencia a la compresión objetivo de 21 MPa.

Dado que no se cuenta con desviación estándar se utiliza la Ecuación 3.1.

$$f'_{cr} = f'_c + 7 \quad (3.1)$$

Donde:

f'_c : Resistencia de diseño

f'_{cr} : Resistencia requerida

b. Tamaño máximo nominal

Esta elección está vinculada a la separación mínima requerida del acero presente en el elemento estructural, tal como se menciona en la Tabla 3.1. Para este proyecto, se establece 19 mm como tamaño máximo del agregado.

Este tamaño corresponde a la granulometría de la piedra #67, identificada como el material más adecuado y accesible para cumplir con los requisitos de resistencia.

Tabla 3.1

Tamaño máximo nominal de agregados recomendado para varios tipos de construcciones

ASENTAMIENTO (pulg)	Tamaño Máximo Nominal del Agregado (mm)							
	9,5	12,5	19,0	25,0	37,5	50,0	75,0	150,0
1 - 2	207	199	190	179	166	154	130	113
3 - 4	228	216	205	193	181	169	145	124
6 - 7	243	228	216	202	190	178	160	0

Nota: Datos tomados del ACI 211

c. Requisitos de durabilidad

La durabilidad del hormigón guarda relación directa con la penetración de fluidos, por lo que resulta esencial controlar relación agua/cemento y la composición de los materiales cementantes. (Euclid Chemical, 2020) Para este proyecto, no existe ninguna exposición extrema, según lo indicado en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2

Clase de exposición [Euclid chemical, 2020]

CATEGORÍA	SEVERIDAD	CLASE	CONDICIÓN	
F Congelamiento y Deshielo	No aplicable	F0	Concreto no expuesto a ciclos de descongelamiento y deshielo.	
	Moderada	F1	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo y exposición ocasional a la humedad.	
	Severa	F2	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo en contacto continuo con la humedad.	
	Muy severa	F3	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo y en contacto continuo con la humedad.	
S Sulfato	No aplicable	S0	Sulfatos solubles en agua. $SO_4 \leq 0.10$	Sulfato (SO ₄) disuelto en agua, ppm. $SO_4 \leq 150$
	Moderada	S1	$0.10 \leq SO_4$	$150 \leq SO_4 \leq 1500$ agua marina
	Severa	S2	$0.20 \leq SO_4 \leq 2$	$1500 \leq SO_4 \leq 10000$
	Muy severa	S3	$SO_4 \leq 2$	$SO_4 \leq 10000$
P Requerimiento de baja permeabilidad	No aplicable	P0	En contacto donde no se requiere baja permeabilidad.	
	Requerida	P1	En contacto donde no se requiere baja permeabilidad.	
C Protección del refuerzo para la corrosión	No aplicable	C0	Concreto seco o protegido contra la humedad.	
	Moderada	C1	Concreto expuesto a la humedad, pero no a una fuente externa de cloruros.	
	Severa	C2	Concreto expuesto a la humedad y una fuente externa de cloruros provenientes de productos químicos descongelantes, sal, agua salobre, agua del mar o salpicaduras del mismo origen.	
Q Exposición a químicos corrosivos	No aplicable	Q0	Concreto que no está expuesto a químicos corrosivos.	
	Severa	Q1	Concreto expuesto a químicos corrosivos diferentes de descongelantes.	

Nota: Datos tomados del ACI 211

Los requisitos mínimos, como la resistencia a la compresión y la relación máxima a/c, así como otros criterios detallados en la Tabla 3.3, deben determinarse según la clase de exposición.

Tabla 3.3
Especificaciones de diseño según clase de exposición

Clase de exposición	Relación a/c máx	f'c Mínimo Mpa	Requisitos mínimos adicionales			Límites en los materiales cementantes
			Contenido de aire			
F0	N/A	17	N/A			N/A
F1	0,55	24	Tabla 19.3.3.1			N/A
F2	0,45	31	Tabla 19.3.3.1			N/A
F3	0,4	35	Tabla 19.3.3.1			26.4.2.2
Tipo de material cementante						
		f'c Mínimo Mpa	ASTM C150 M	ASTM C595 M	ASTM C1157 M	Aditivo cloruro de calcio
			Sin restricción en el tipo	Sin restricción en el tipo	Sin restricción en el tipo	Sin restricción
S0	N/A	17	Sin restricción en el tipo	Sin restricción en el tipo	Sin restricción en el tipo	Sin restricción
S1	0,5	28	II	Tipos IP, IS o IT con designación (MS)	MS	Sin restricción
S2	0,45	31	V	Tipos IP, IS o IT con designación (HS)	HS	No se permite
S3	0,45	31	V más puzolanas o cemento de escoria	Tipos IP, IS o IT con designación (HS) o más puzolanas o escoria	HS más puzolanas o escoria	No se permite
W0	N/A	17	Ninguna			
W1	0,5	28	Ninguna			
Contenido máximo de iones de cloruro (Cl-) soluble en agua en el concreto, porcentaje por peso de cemento						
		f'c Mínimo Mpa	Requisitos adicionales			
			Concreto no preesforzado	Concreto preesforzado		
C0	N/A	17	1	0,06	Ninguno	
C1	N/A	17	0,3	0,06		
C2	0,4	35	0,15	0,06	Recubrimiento de concreto	

Nota: Datos tomados del ACI 211

d. Selección de asentamiento

En el hormigón, el asentamiento afecta directamente a la trabajabilidad de la mezcla, haciendo referencia a la deformación vertical que experimenta después de ser colocado. La correcta elección del asentamiento depende de los requisitos del proyecto y su aplicación. En la Tabla 3.4 se muestran los asentamientos según la construcción.

Tabla 3.4
Revenimientos recomendados para diferentes tipos de construcción

Construcción de hormigón	Revenimiento mm	
	Máximo	Mínimo
Zapata y muros de cimentación reforzado	75	25
Zapatas, cajones y muros de subestructuras sin esfuerzo	75	25
Vigas y muros reforzados	100	25
Columnas de edificios	100	25
Pavimentos y losas	75	25
Concreto masivo	50	25

Nota: Datos tomados del ACI 211

e. Cantidad de agua

Este factor se encuentra vinculado al asentamiento necesario y la presencia de incorporadores de aire como se observa en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5

Requisitos aproximados de contenido de agua y aire para diferentes asentamientos y tamaños máximos nominales de agregados

Slump, mm	Water, kg/m/ of concrete for indicated nominal maximum sizes of aggregate							
	9,5 mm*	12,5 mm*	19 mm*	25 mm*	37,5 mm*	50 mm *+	75 mm*+++	150 mm*+++
Non-air-entrained concrete								
25 to 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 to 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 to 175	243	228	216	202	190	178	160	
Approximate amount of entrapped air in non-air-entrained concrete, percent	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
Air-entrained concrete								
25 to 50	181	175	168	160	150	142	122	107
75 to 10	202	193	184	175	165	157	133	119
150 to 175	216	205	197	184	174	166	154	
Recommended average; total air content, percent for level of exposure:								
Mild exposure	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5*+++	1,0*+++
Moderate exposure	6	5,5	5	4,5	4,5	4	3,5*+++	3,0*+++
Extreme exposure*+++	7,5	7	6	6	5,5	5	4,5*+++	4,0*+++

Nota: Datos tomados del ACI 211

Es importante señalar que en situaciones donde se requiere un mayor asentamiento para una aplicación específica, se puede ajustar la cantidad de agua para lograr la consistencia deseada. Así como también el uso de aditivos en caso de ser necesario.

f. Relación agua/cemento

La interacción del agua con el cemento influye significativamente en las propiedades del hormigón. A medida que se incrementa la cantidad de agua, la mezcla tiende a volverse más fluida y, por ende, más trabajable, lo cual resulta en una ventaja en su colocación en obra. Sin embargo, esto también conlleva a una disminución en la resistencia debido al aumento de espacios por el agua libre como se ilustra en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6

Relación agua/cemento según la resistencia requerida y contenido de aire [ACI 211, s.f]

Resistencia a la compresión 28 días (MPa)	Relación agua - material cementante en masa	
	Hormigón sin aire incluido	Hormigón con aire incluido
45	0,38	0,3
40	0,42	0,34
35	0,47	0,39
30	0,54	0,45
25	0,61	0,52
20	0,69	0,6
21	0,674	0,584
15	0,79	0,7

Nota: Datos tomados del ACI 211

g. Volumen de cemento

La cantidad de cemento se calcula a partir de la relación agua/cemento previamente obtenido y la cantidad de agua establecida, así como se muestra en la Ecuación 3.2.

$$M_c = \frac{M_{ag}}{\frac{a}{c}} \quad (3.2)$$

Donde:

M_c : Masa del cemento

M_{ag} : Masa de agua

$\frac{a}{c}$: Relación agua/cemento

Luego se debe obtener el volumen de acuerdo con el peso específico del material cementante.

$$\text{Volumen de cemento} = \frac{M_c}{Pe_c} \quad (3.3)$$

Donde:

M_c : Masa del cemento

Pe_c : Peso específico del cemento

h. Volumen de agregado grueso

Con base en el tamaño máximo nominal del agregado grueso y el módulo de finura del agregado fino, se procede a calcular el volumen requerido de agregado grueso en la mezcla. El cálculo preciso del volumen de agregado contribuye a optimizar las propiedades físicas y mecánicas del hormigón (Popovics, s.f). A partir de la Tabla 3.7 se obtiene el porcentaje de agregado para reemplazar en la Ecuación 3.4 y calcular la masa de árido grueso.

Tabla 3.7

Porcentaje de agregado grueso según el peso compactado del material

Tamaño mínimo nominal del agregado		Diferentes módulos de finura de la arena			
mm	(in)	2.40	2.60	2.80	3
9.5	(3/8)	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	(1/2)	0.59	0.57	0.55	0.53
19	(3/4)	0.66	0.64	0.62	0.60
25	(1)	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5	(1 1/2)	0.75	0.73	0.71	0.69

Nota: Datos tomados del ACI 211

$$M_{ag} = \%_{ag} * PC_{ag} \quad (3.4)$$

Donde:

M_{ag} : Masa de agregado grueso

$\%_{ag}$: Porcentaje de agregado grueso

PC_{ag} : Peso compactado del agregado grueso

Para obtener el volumen, dividir la masa del agregado grueso para la densidad del material, como está expresado en la Ecuación 3.5.

$$V_{ag} = \frac{M_{ag}}{\rho_{ag}} \quad (3.5)$$

Donde:

M_{ag} : Masa de agregado grueso

ρ_{ag} : Densidad de agregado grueso

V_{ag} : Volumen del agregado grueso

i. Volumen de aditivo

La cantidad de aditivo está vinculada al tipo de producto utilizado, y su proporción se determina en función de la cantidad de cemento presente. Para el presente proyecto se usarán los aditivos y porcentajes mostrados en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8
Porcentaje de aditivos

Aditivo	Porcentaje
Sikaplast 2001 R	0.60%
Sikaplast 5012	0.80%

j. Volumen de agregado fino

Una vez conocidos los volúmenes de los materiales, se procede al cálculo del volumen de agregado fino como se muestra en la Ecuación 3.6, permitiendo así determinar la cantidad correspondiente en kilogramos por metro cúbico bajo la Ecuación 3.7.

$$V_{af} = 1 - V_c - V_a - V_{ag} - V_{ad} \quad (3.6)$$

Donde:

V_{af} : Volumen de agregado fino

V_c : Volumen de cemento

V_a : Volumen de agua

V_{ag} : Volumen de agregado grueso

V_{ad} : Volumen de aditivo

3.1.2. Dosificación

Obtenidos los volúmenes y concluida las correcciones por absorción y humedad, se obtiene la dosificación teórica ilustrada en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9
Dosificación patrón

Materiales	Peso SSS x m ³
	Kg
Cemento	235.85
Piedra 19mm	918.64
Arena	1350.22
Agua	134.77
2001 R	1.65
5012	1.89

Utilizando como base la dosificación patrón, se derivan las dosificaciones específicas para los distintos porcentajes de agregado reciclado a emplear, siendo estos del 10% y 20% como se observa en la Tabla 3.10.

Tabla 3.10
Dosificación para hormigones con material reciclado

Materiales	10%	20%
	Pero SSS x m ³	Pero SSS x m ³
	Kg	Kg
Cemento	281.42	249.55
Piedra 19 mm	832.21	736
Piedra reciclada	92.47	184
Arena	1083.48	998.98
Agua	173.14	188.34
2001R	1.97	1.75
5012	2.25	2

3.1.3. Ensayos en hormigón fresco

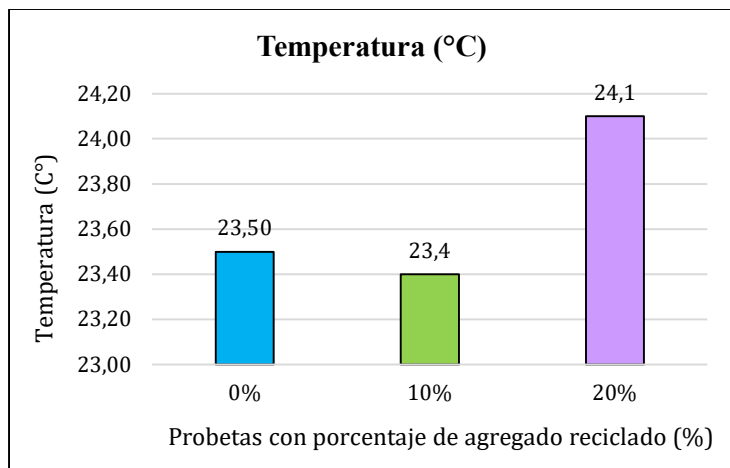
Una vez obtenida la dosificación por cada porcentaje de agregado reciclado, se llevan a cabo los ensayos de hormigón en estado fresco para así evaluar sus propiedades.

3.1.3.1. Temperatura

Este factor está determinado por la temperatura individual de cada uno de sus componentes y, principalmente por la reacción química generada a través del calor de hidratación de la pasta. En este ensayo, se utiliza un termómetro digital o analógico, el cual se sumerge aproximadamente 75 mm alrededor de la mezcla. Este procedimiento debe tener una duración mínima de 2 minutos y máxima de 5 minutos (INECYC, s.f).

La Figura 3.1 presenta las variaciones de temperatura de cada dosificación. Se aprecia que la mezcla con 20% de AR alcanza una temperatura más elevada respecto a las demás dosificaciones. Sin embargo, no se evidencia una diferencia significativa con relación a las demás dosificaciones.

Figura 3.1
Resultados de temperatura de cada mezcla

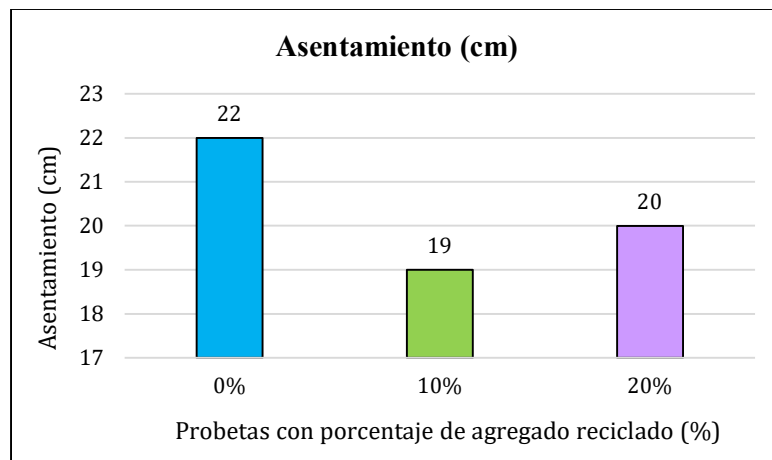


3.1.3.2. Asentamiento

También conocida como ensayo de revenimiento, es ampliamente utilizada como referencia para evaluar la consistencia y plasticidad del hormigón, con el fin de garantizar una adecuada trabajabilidad. Para realizar este ensayo se usa el cono de Abrams siguiendo el proceso estandarizado ASTM C143, sin exceder de los dos minutos y medio (INECYC, s.f).

Como se observa en la Figura 3.2, se evidencia una disminución en el asentamiento a medida que aumenta el porcentaje de AR. Es importante destacar que la relación agua/cemento aumentó en los porcentajes de 10% y 20%, ya que en estas dosificaciones se incorporó más agua a la mezcla en el proceso, debido a la capacidad de absorción del material.

Figura 3.2
Resultados de ensayo de asentamiento a cada mezcla

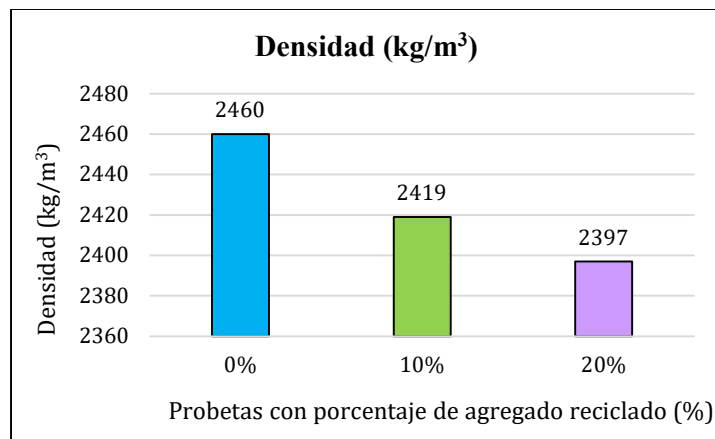


3.1.3.3. Densidad

El método gravimétrico aborda la determinación de la densidad, la cual se define como la masa por unidad de volumen. Esta propiedad es fundamental para evaluar la compacidad del hormigón en estado fresco (INECYC, s.f).

La densidad del hormigón reciclado frente a la de un hormigón convencional varía a medida que se aumenta o disminuye el porcentaje de AR en la mezcla. Este factor podría significar un impacto en la resistencia que podría alcanzar el hormigón. Sin embargo, como se observa en la Figura 3.3, las densidades obtenidas en la mezcla de hormigón reciclado se encuentran tan solo 1% y 2% por debajo de la convencional, por lo que este factor no afectará las resistencias que podrían alcanzarse con el hormigón reciclado.

Figura 3.3
Resultados de densidad para cada mezcla

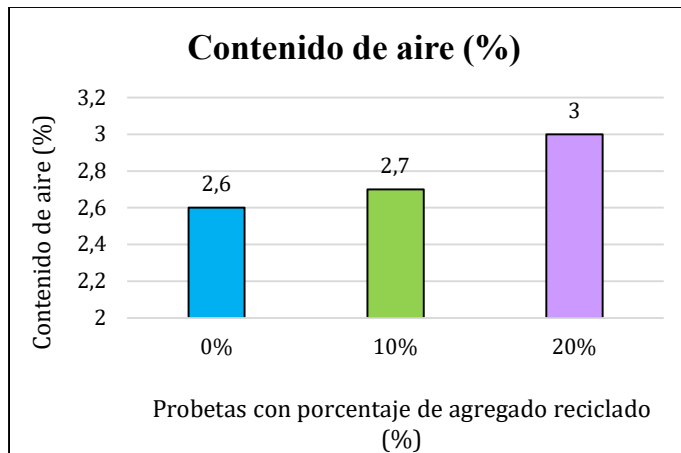


3.1.3.4. *Contenido de aire*

Se refiere al espacio ocupado por el aire dentro del hormigón, excluyendo los espacios internos presentes en las partículas de agregado. En este contexto, se empleó el método por presión desarrollando el ensayo de olla de Washington, que permite la cuantificación del volumen de aire que se encuentra en la mezcla (INECYC, s.f).

Se observa en la Figura 3.4 que, a incrementar la cantidad de AR en la mezcla, el contenido de aire aumenta. Esto se debe al aumento en la demanda de agua que se incorpora en la etapa de hormigonado debido a la densidad del árido grueso o por el incremento del contenido de áridos finos provenientes de la trituración del material reciclado.

Figura 3.4
Resultados de contenido de aire en casa mezcla



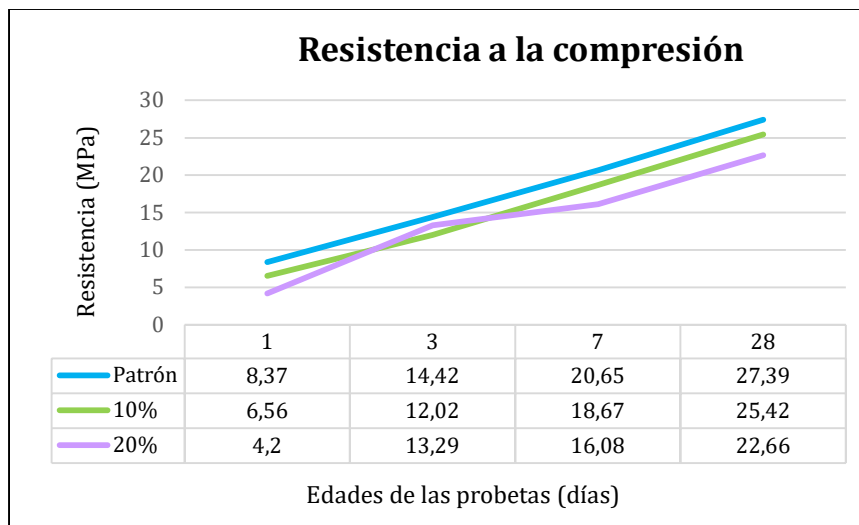
3.1.4. Ensayos destructivos en hormigón endurecido

3.1.4.1. Compresión de especímenes cilíndricos

Este ensayo implica la aplicación de una carga axial de compresión a cilindros moldeados. La resistencia se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo por el área de la sección transversal del espécimen (INEN, 2010).

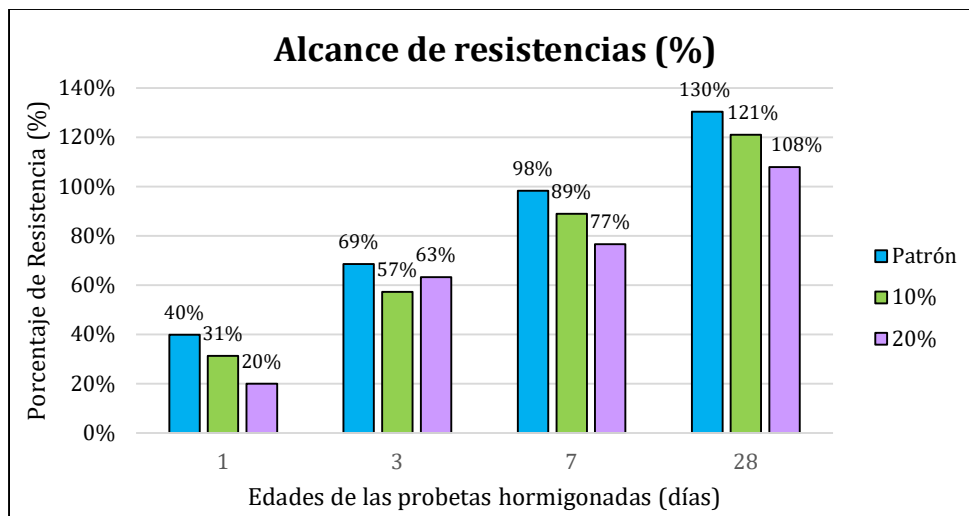
Se utilizaron 2 probetas cilíndricas de 10 x 20 cm para realizar el ensayo de compresión directa. Como se observa en la Figura 3.5, las resistencias disminuyen a medida que aumenta el porcentaje de hormigón reciclado dentro de la mezcla. Pese a ello, todas las probetas alcanzan la resistencia objetivo a la edad de 28 días.

Figura 3.5
Resistencias de los diseños



La Figura 3.6 ilustra cómo la resistencia del hormigón evoluciona en comparación con la resistencia esperada a lo largo de las diferentes edades de prueba, desde 1 a 28 días. A 1 día, las probetas de hormigón reciclado muestran un rápido desarrollo de resistencia superando el 20%. A los 3 días, se observa un aumento significativo, superando el 50%. A los 7 días, la resistencia aumenta superando el 70%. Al final, a 28 días, la resistencia supera el 100% del valor esperado de 21 MPa.

Figura 3.6
Alcance de resistencias



3.1.5. *Ensayos no destructivos en hormigón endurecido*

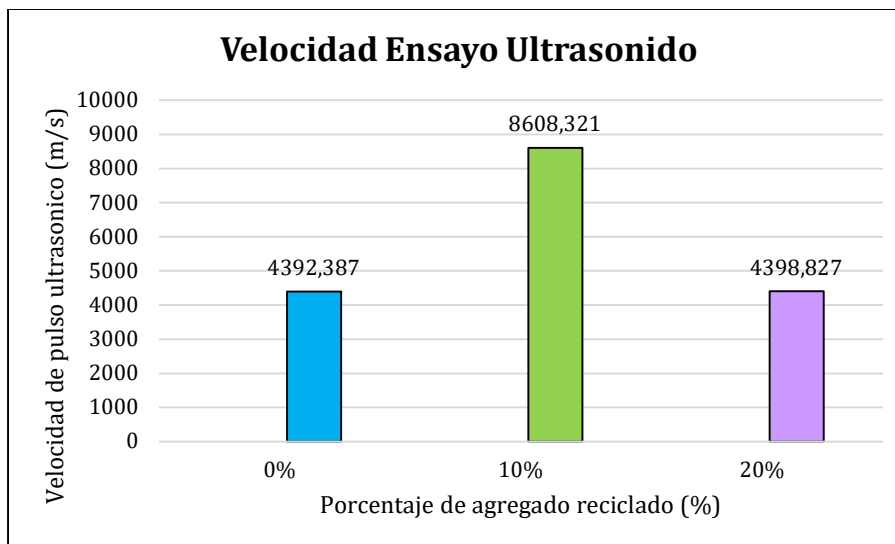
A partir de las probetas desarrolladas para los ensayos no destructivos, se identificaron las resistencias alcanzadas y la calidad del hormigón endurecido a los 28 días de hormigonado.

3.1.5.1. *Ensayo de Pulso Ultrasónico*

El ensayo de pulso ultrasónico, a través de la velocidad de ondas que circulan entre una probeta cúbica de hormigón, permite identificar las discontinuidades internas que podría presentar el hormigón endurecido. (ASTM C597).

Como se observa en la Figura 3.7, se analizan las velocidades de propagación para las probetas de hormigón convencional y hormigones reciclados al 10% y 20%.

Figura 3.7
Resultados del ensayo de pulso ultrasónico



La calidad del hormigón y su resistencia fue identificada bajo las consideraciones del estudio “*An ultrasonic method of studying deterioration and cracking in concrete structures*” (J.R.Leslie y W.J. Cheesman, 1949). En donde se clasifica las condiciones del hormigón a través de las velocidades de pulso calculadas posterior al ensayo.

Tabla 3.11
Clasificación de calidad de hormigón

Condición del Hormigón	Velocidad de Pulso V (m/s)
Excelente	> 4575
Buena	$3050 < V < 4575$
Regular a dudosa	$3050 < V < 3650$
Pobre	$2130 < V < 3050$
Muy Pobre	< 2130

Nota: Datos tomados de J.R. Leslei y W.J. Cheesman (1949)

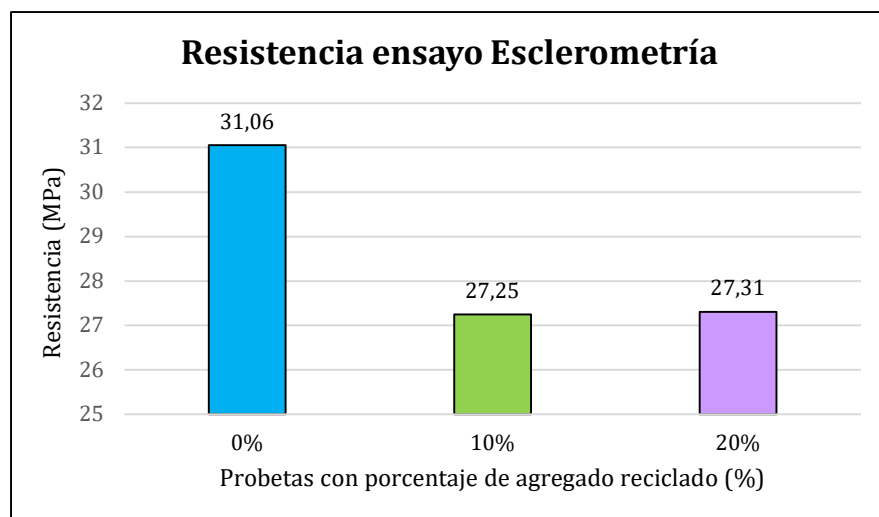
Con relación a la Tabla 3.11, las velocidades de la Figura 3.7 corresponden a una calidad “Buena” de concreto. Sin embargo, se puede apreciar que a un 10% de AR en la mezcla, se desarrolla un hormigón de “Excelente” calidad. Esto puede ser provocado por alguna diferencia en el diseño del hormigón o en su defecto, una diferencia en la toma de datos dentro del ensayo de pulso ultrasónico.

3.1.5.2. Ensayo de Esclerometría

Este ensayo permite determinar la calidad y resistencia del hormigón a partir de rebotes que imparte un esclerómetro en el concreto endurecido. (ASTM C805).

Las resistencias obtenidas en la Figura 3.8 indican que, a los 28 días, el hormigón endurecido alcanzó y superó los 21MPa esperados del proyecto.

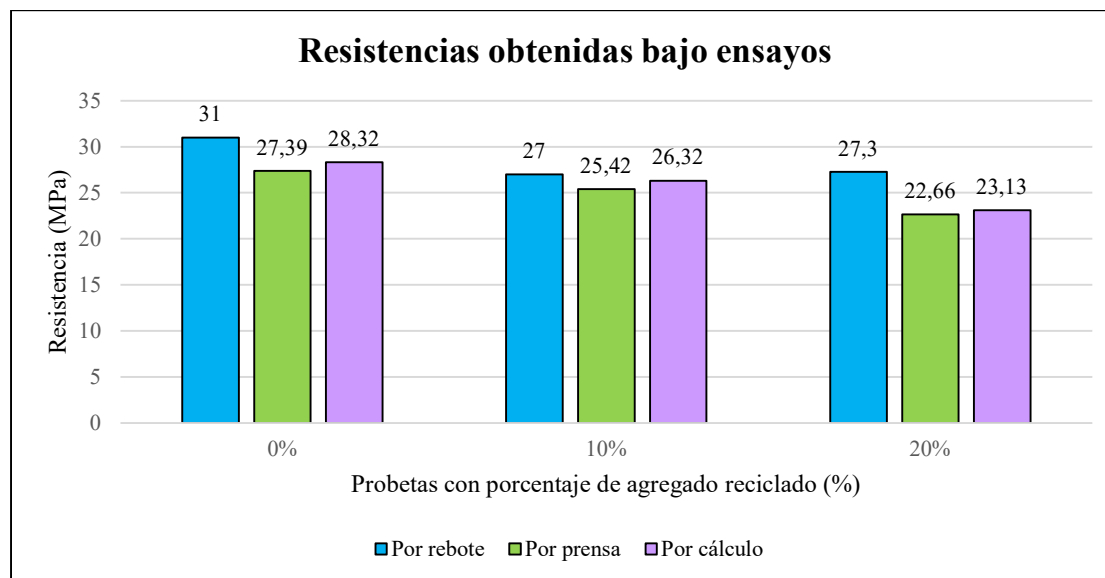
Figura 3.8
Resultados del ensayo de esclerometría



En los resultados se identifica que las resistencias alcanzadas son similares a las encontradas en los ensayos destructivos. También, tal y como se muestra en los ensayos anteriores, se observa que las resistencias disminuyen a medida que se aumenta la cantidad de AR en el hormigón. Sin embargo, a pesar de la disminución, el hormigón reciclado alcanza la resistencia objetivo.

Finalmente, en la Figura 3.9 se observan las resistencias alcanzadas por el ensayo de esclerometría, el ensayo destructivo a compresión y la resistencia teórica obtenida.

Figura 3.9
Resistencias de probetas



A pesar de que se observan variaciones entre las resistencias, se puede apreciar que todas superan los 21 MPa a los 28 días y se encuentran dentro de un mismo promedio en resistencia.

3.2. Diseño estructural

Para realizar el diseño de la vivienda se siguieron las recomendaciones dadas en la NEC-SE-CG-Cargas-No-Sísmicas, NEC-SE-DS-Peligro-Sísmico, NEC-SE-HM: Estructuras de Hormigón Armado, NEC-SE-VIVIENDA: Viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 metros.

3.2.1. Cargas gravitacionales

3.2.1.1. Cargas variables

Los parámetros para las cargas vivas fueron definidos en función del uso de la estructura y lo que indica la normativa, tal como se observa en la Tabla 3.12.

Tabla 3.12
Cargas vivas para viviendas

Carga viva	
<i>Residencia</i>	200 kg/m ²
<i>Cubierta</i>	70 kg/m ²
Carga viva	270 kg/m²

Nota: Datos tomados de la NEC-SE-CG (2015)

3.2.1.2. Cargas permanentes

Según la NEC-2015 para determinar cargas muertas involucradas en una estructura, se cuantifican fuerzas ejercidas por cargas sobreimpuestas y peso propio de los elementos que actúan a partir de la relación entre longitud, densidad y área en la que se desarrollen.

La Tabla 3.13 muestra los elementos sobreimpuestos que componen la estructura.

Tabla 3.13
Estimación del peso de elementos

Estimación de Pesos		
<i>Peso paredes</i>	190,4	kg/m ²
<i>Peso enlucido</i>	107,1	kg/m ²
<i>Peso pisos</i>	40	kg/m ²
<i>Peso tumbado/enlucido</i>	40	kg/m ²
<i>Peso losa nervada</i>	192	kg/m ²
<i>Peso bloques livianos para losa</i>	100	kg/m ²
<i>Peso instalaciones eléctricas</i>	20	kg/m ²
<i>Peso instalaciones sanitarias</i>	20	kg/m ²
Peso total losa	669,5	kg/m²

En consecuencia, se logró determinar las cargas sobre impuestas que actúan sobre la estructura, tal como se muestra en la Tabla 3.14.

Tabla 3.14
Estimación de cargas sobreimpuestas

Carga muerta sobre impuesta		
<i>Losa de piso</i>	327,1	kg/m ²
<i>Losa de cubierta</i>	80	kg/m ²
<i>Carga muerta sobre impuesta</i>	407,1	kg/m²

3.2.2. Cargas accidentales

3.2.2.1. Cargas sísmicas

Los efectos sísmicos involucrados en la estructura están basados en la normativa ecuatoriana de la construcción (NEC, 2015). Para hallar los espectros respuestas elásticos e inelásticos, se identifica la zona en la que se encuentra la estructura. La Tabla 3.15 muestra las características correspondientes para el análisis.

Tabla 3.15
Características del suelo en la zona

Datos	
<i>Estructura</i>	<i>Edificio</i>
<i>Ubicación</i>	<i>Guayaquil</i>
<i>Suelo</i>	<i>D</i>
<i>z</i>	<i>0,5</i>

3.2.3. Combinación de cargas

A partir de las cargas obtenidas, se realizaron las combinaciones para cargas gravitacionales y sísmicas, siguiendo la norma NEC-2015.

Tabla 3.16
Combinaciones de carga

Combinaciones	
C1	1,2D+1,6L
C2	1,2D+1,6Lr+L
C3	0,9D+Ex+0,3Ey
C4	0,9D+0,3Ex+Ey
C5	1,2D+0,5L+Ex+0,3Ey
C6	1,2D+0,5L+0,3Ex+Ey
C7	1,4D
C8	1,2D+0,5L

Nota: Datos tomados de NEC-SE-CG (2015)

Espectro de aceleraciones

Con el fin de encontrar el espectro respuesta, se definieron en la Tabla 3.17 los coeficientes de: Amplificación de suelo en la zona de período corto (F_a), Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca (F_d) y Comportamiento no lineal de los suelos (F_s), para la zona en la que estará ubicada la estructura, basados en la NEC 2015.

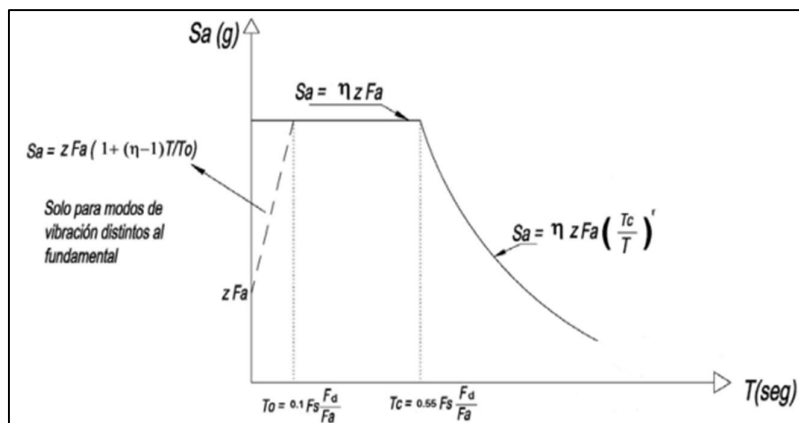
Tabla 3.17
Clase y coeficientes de sitio F_a , F_d y F_s

Clase	Coficiente
<i>F_a</i>	1,12
<i>F_d</i>	1,11
<i>F_s</i>	1,4

La Figura 3.10 representa la curva de relación entre la aceleración de la gravedad y el nivel de diseño sísmico.

Figura 3.10

Curva aceleración vs nivel sísmico



Nota: Datos tomados de la NEC-SE-DC (2015)

Con base a la categoría y el uso de una estructura, la NEC-SE-DC 2015 presenta el factor de importancia I de una edificación como se observa en la Figura 3.11.

Figura 3.11

Tipo de uso, destino e importancia de la estructura

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Coficiente I
Edificaciones esenciales	Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	1.5
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente	1.3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1.0

Nota: Datos tomados de la NEC-SE-DC (2015)

Se puede observar que el factor correspondiente a la estructura del proyecto será de $I = 1$. Por otro lado, siguiendo las mismas consideraciones, la NEC-SE-DS, 2015, presenta el factor de

reducción de resistencia para sísmica R . En la Figura 3.12 se observa que este factor para la estructura del proyecto será de $R=3$.

Figura 3.12

Factor de reducción de resistencia sísmica R

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

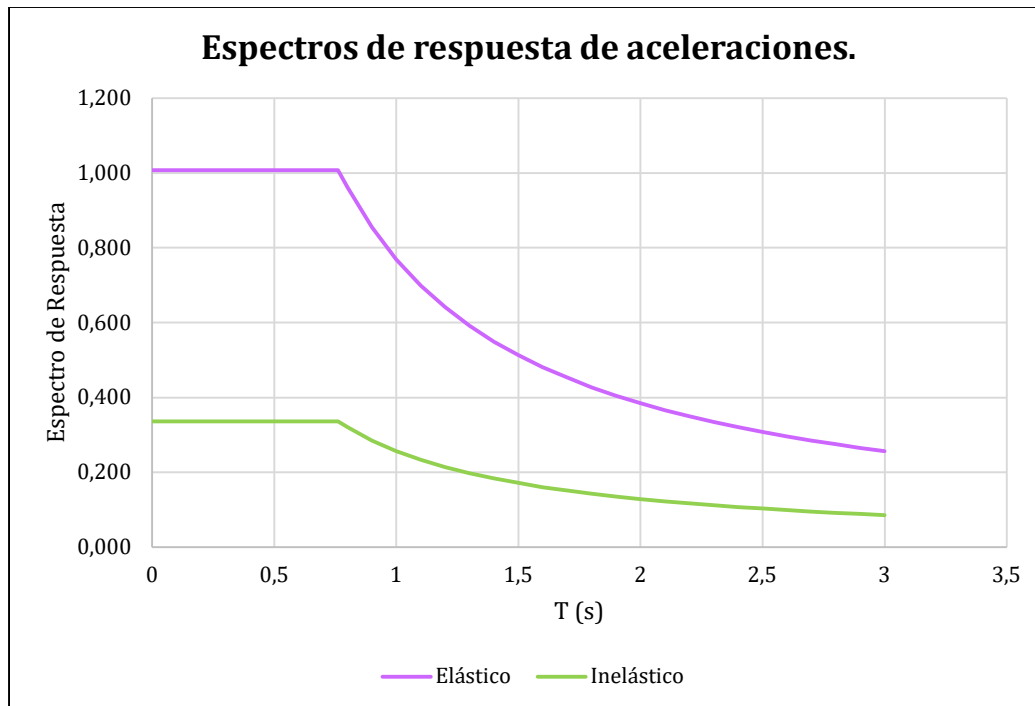
Nota: Datos tomados de la NEC-SE-DC (2015)

Finalmente, en la Tabla 3.18 se resumen los parámetros encontrados para la estructura del proyecto y, a partir de esta información, se grafica la curva de espectro respuesta elástico e inelástico. Esto nos permite identificar los periodos de vibración, las amplitudes y la aceleración espectral que experimentará la estructura. La Figura 3.13 muestra el espectro de respuesta elástico de aceleraciones.

Tabla 3.18*Parámetros para el espectro sísmico de una vivienda de Hormigón Armado***Parámetros para realizar el espectro sísmico de aceleraciones**

País	Ecuador
Región	Costa
Provincia	Guayas
Cantón	Guayaquil
Tipo de suelo	VI
Zona sísmica	0,5g
Fa: Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto.	1,12
Fd: Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca	1,11
Fs: comportamiento no lineal de los suelos	1,4
η Relación espectral	1,8
Coeficiente de importancia I	1
Coeficiente de regularidad en planta (Φ_p)	1
Coeficiente de regularidad en elevación (Φ_e)	1
Factor de reducción de resistencia	3

Figura 3.13
Curva de Espectro respuesta para una vivienda de Hormigón Armado



Nota: Datos tomados de la NEC-SE-DC (2015)

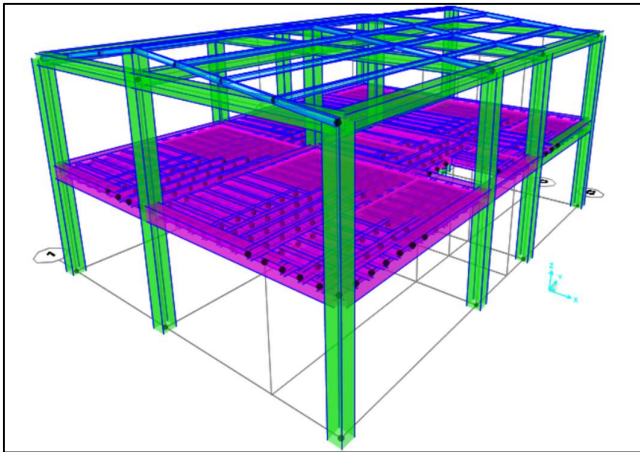
3.2.4. Diseño de una vivienda de hormigón armado

3.2.4.1. Modelo de vivienda

Para realizar los análisis correspondientes al diseño de una vivienda de 2 pisos de hormigón armado, se utilizó el programa de elementos finitos (SAP2000 V24, 2022) el cual nos permite, a través de la configuración de propiedades del material, secciones y fuerzas ejercidas en la estructura, conocer el comportamiento y observar las fuerzas y momentos que experimentará la edificación ante las cargas y esfuerzos aplicados.

La vivienda se compondrá principalmente de dos secciones diferentes de columnas, vigas, específicas para cada planta; una losa nervada en dos direcciones y zapatas aisladas de secciones cuadradas de hormigón armado para la cimentación.

Figura 3.14
Modelo en SAP2000 de la estructura de Hormigón Armado



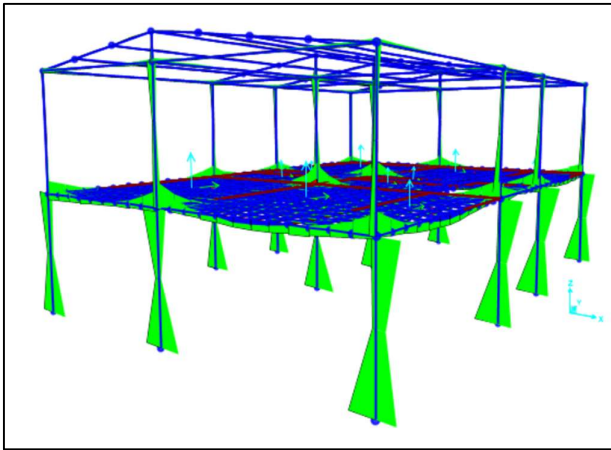
3.2.4.2. Propiedades de la estructura

El diseño de la vivienda se compone de hormigón armado convencional con resistencia a la compresión del hormigón de 210 kg/cm^2 y acero A706 Gr. 60 con una fluencia de 4200 kg/cm^2 . El diseño, se realizó siguiendo las indicaciones del ACI 318 y la NEC 2015.

3.2.4.3. Diseño a flexión de vigas

Para este diseño, se analizan los momentos flectores de las vigas de la estructura obtenida en el prediseño, como los mostrados en la Figura 3.15. Este proceso se guía por las directrices establecidas en la Norma Ecuatoriana de la Construcción.

Figura 3.15
Momentos flectores



Conforme a la NEC, en cualquier sección de un elemento sometido a flexión que requiera esfuerzo de tracción, se requiere que el refuerzo de tracción no sea inferior a lo obtenido en la Ecuación

$$A_s \geq \max \left[\frac{1.4}{f_y} b_w d; A_{smin} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4f_y} b_w d \right] \quad (3.7)$$

Donde:

$A_{s,min}$: Área mínima de refuerzo de flexión (mm^2)

b_w : Ancho del alma o diámetro de la sección circular (mm)

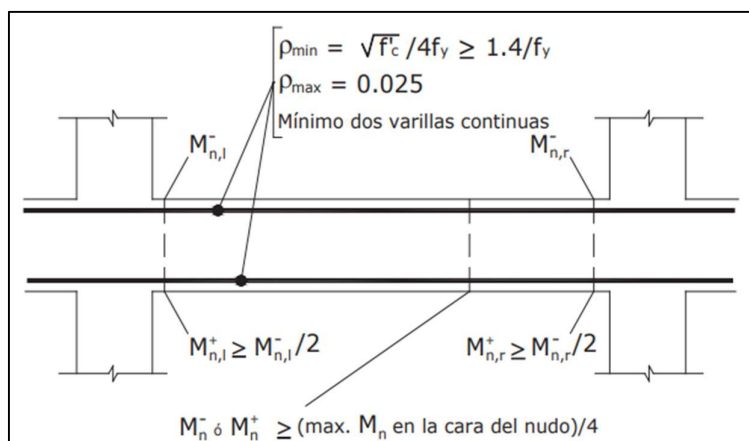
d : Distancia desde la fibra extrema en compresión hasta el centroide del refuerzo longitudinal en tracción (mm)

f_y : Resistencia especificada a la fluencia del refuerzo (MPa)

f'_c : Resistencia especificada a la compresión del Hormigón (MPa)

Además, debe cumplir con los requisitos expresados en la Figura 3.16

Figura 3.16
Requisitos de acero longitudinal



Nota: Datos tomados de la NEC-SE-HM (2015)

Bajo la demanda y las directrices de la normativa se obtiene los resultados mostrados en la Tabla 3.19.

Tabla 3.19
Resumen de vigas a flexión

Ubicación	Dirección	Sección		Acero		M -	M +
		b (cm)	h (cm)	Superior	Inferior	Ton-m	Ton-m
1° piso	X	25	25	4 ϕ 16	2 ϕ 16	4.86	2.43
1° piso	Y	25	25	4 ϕ 16	2 ϕ 16	4.70	2.35
2° piso	X	20	20	2 ϕ 12	2 ϕ 12	0.47	0.13
2° piso	Y	20	20	2 ϕ 12	2 ϕ 12	0.66	0.20

3.2.4.4. Anclaje de refuerzo longitudinal de vigas

El refuerzo superior e inferior que concluya en un nudo viga-columna debe extenderse hasta la cara opuesta de la región confinada de la conexión y continuar en una dirección ortogonal después de un doblez (NEC, 2015). La longitud de desarrollo viene dada como se indica en la Tabla 3.20 y la longitud del empalme se la obtiene según las especificaciones dadas en la Tabla 3.21.

Tabla 3.20*Longitud de desarrollo para barras y alambres corrugados en tracción*

Espaciamiento y recubrimiento	Barras No.19 o menores y alambres corrugados	Barras No. 22 y mayores
<p>Espaciamiento libre entre barras o alambres que se están desarrollando o empalmado por traslapo no menor que d_b, recubrimiento libre al menos d_b, y no menos estribos a lo largo de l_d que el mínimo del Reglamento o espaciamiento libre entre barras o alambres que están siendo desarrollados o empalmados por traslapo no menor que $2d_b$ y recubrimiento libre no menor que d_b</p>	$\left(\frac{f_y \psi_t \psi_e}{2.1 \lambda \sqrt{f'_c}}\right) d_b$	$\left(\frac{f_y \psi_t \psi_e}{1.7 \lambda \sqrt{f'_c}}\right) d_b$
Otros casos	$\left(\frac{f_y \psi_t \psi_e}{1.4 \lambda \sqrt{f'_c}}\right) d_b$	$\left(\frac{f_y \psi_t \psi_e}{1.1 \lambda \sqrt{f'_c}}\right) d_b$

Nota: Datos tomados del ACI 318 (2014)

Tabla 3.21*Longitud de empalme por traslapo de barras y alambres corrugados a tracción*

A_s colocado/ A_s requerido en la longitud del empalme	Porcentaje máximo de A_s empalmado dentro de la longitud de traslapo requerida	Tipo de empalme		l_{st}
≥ 2.0	50	Clase A	Mayor de:	1.0ld y 300mm
< 2	100	Clase B	Mayor de:	1.3ld y 300mm
	Todos los casos	Clase B		

Nota: Datos tomados del ACI 318 (2014)

Bajo estas especificaciones se obtuvo lo mostrado en la Tabla 3.22

Tabla 3.22*Resultados de anclaje de refuerzo longitudinal de vigas*

Tipo de empalme	Varilla	Longitud de desarrollo	Longitud de empalme
Clase B	16 mm	1.05 m	1.35 m
	12 mm	0.80 m	1 m

3.2.4.5. Diseño a cortante de vigas

La demanda se la obtiene a partir del análisis del programa SAP 2000, pero se verifica que ésta sea mayor a la suma del cortante probable y el cortante gravitatorio. Una vez obtenido el cortante de diseño, se aplica la Ecuación 3.8.

$$s = \frac{A_v * f_y * d}{V_s} \quad (3.8)$$

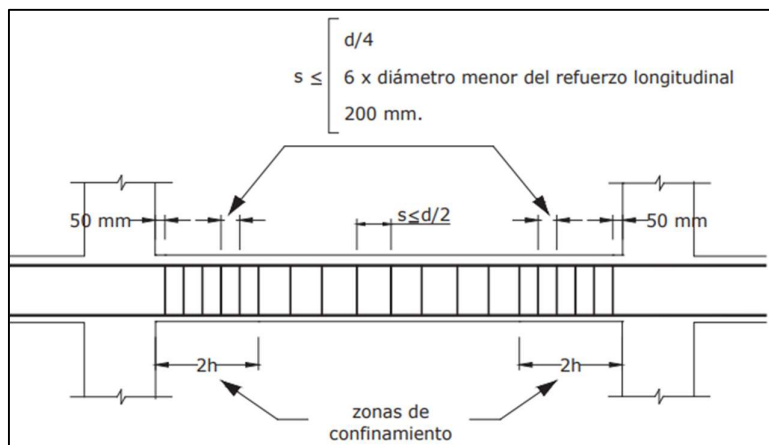
Bajo dicha ecuación, se obtiene:

Tabla 3.23
Separación de estribos en vigas según demanda

Ubicación	Dirección	Separación (cm)
1° piso	X	20
	Y	15
2° piso	X	70
	Y	70

Sin embargo, para obtener mayor ductilidad en la estructura, la NEC recomienda una separación más angosta como se visualiza en la Figura 3.17

Figura 3.17
Separación de estribos en vigas



Nota: Datos tomados de la NEC-SE-HM (2015)

Siguiendo las recomendaciones otorgadas por la normativa se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 3.24.

Tabla 3.24
Resumen de diseño a cortante de vigas

Ubicación	Dirección	Sección		Acero transversal (mm)	Separación (cm)	Separación zona 2h (cm)	Longitud zona 2h (cm)
		b (cm)	h (cm)				
1° piso	X	25	25	Φ 10	10	5	38
1° piso	Y	25	25	Φ 10	10	5	38
2° piso	X	20	20	Φ 10	12	6	30
2° piso	Y	20	20	Φ 10	12	6	30

3.2.4.6. Diseño a flexo-compresión de columnas

La cuantía de refuerzo longitudinal debe cumplir con el requisito expresado en la Ecuación 3.9.

$$0.01 \leq \frac{\rho}{A_g} \leq 0.03 \quad (3.9)$$

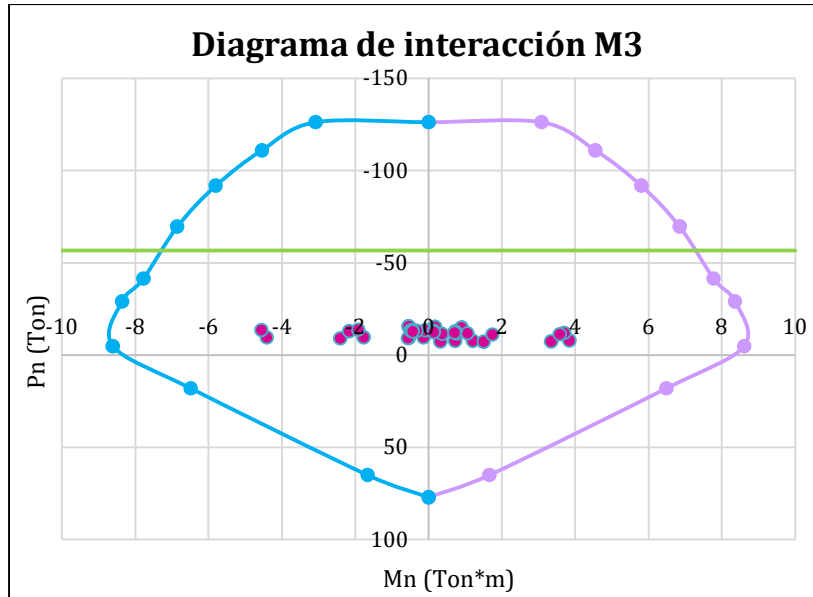
Bajo esta directriz y considerando el pre-dimensionamiento realizado, se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 3.25.

Tabla 3.25
Resumen de columnas a flexión

Ubicación	Sección		Acero longitudinal (mm)
	b (cm)	h (cm)	
1° piso	30	30	8 Φ 16
2° piso	25	25	8 Φ 14

Para comprobar la capacidad de carga de la columna ante las cargas axiales y momentos flectores se analizan las demandas dentro de los diagramas de interacción obtenidos en el programa SAP 2000 como se muestra en la Figura 3.18.

Figura 3.18
 Diagrama de interacción M3 para columnas del primer piso

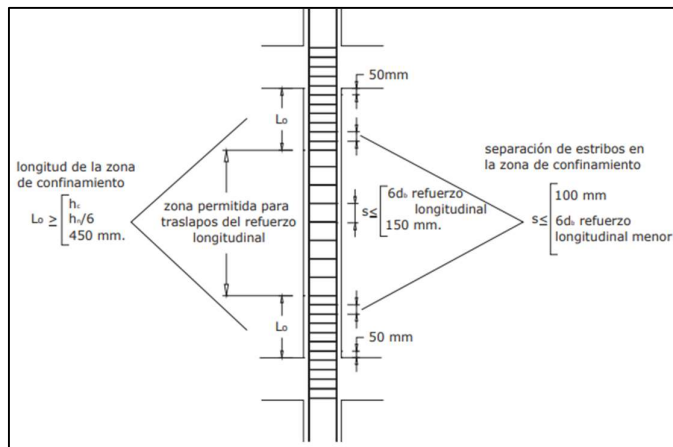


Para asegurar un comportamiento dúctil, se controla que las demandas no superen el límite axial mostrado en la Ecuación 3.10.

$$P = A_g * f'c * 30\% \quad (3.10)$$

La Figura 3.19 presenta los requisitos de confinamiento para elementos en flexo-compresión.

Figura 3.19
Espaciamiento entre estribos de columnas



Nota: Datos tomados de la NEC-SE-HM (2015)

Además, indica que el refuerzo de confinamiento no puede ser menor que la menor de las Ecuación 3.11 y 3.12.

$$A_{sh} = 0.3 \frac{s b_c}{f_{yt}} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \quad (3.11)$$

$$A_{sh} = 0.3 \frac{s b_c f'_c}{f_{yt}} \quad (3.12)$$

Donde:

A_{sh} : Área total de las varillas que forman los estribos y amarres suplementarios con separación s y perpendicular a la dimensión b_c , mm^2

s : Separación, centro a centro, entre estribos, mm

b_c : Distancia máxima, medida centro a centro, entre esquinas del estribo, mm

La longitud requerida de anclaje del refuerzo a flexión se obtiene igual que en las vigas y se obtiene los valores mostrados en la Tabla 3.26.

Tabla 3.26
Resultados de anclaje de refuerzo longitudinal de columnas

Tipo de empalme	Varilla	Longitud de desarrollo	Longitud de empalme
Clase B	16 mm	1.05 m	1.35 m
	14 mm	0.90 m	1.15 m

Nota: Datos tomados de la NEC-SE-HM (2015)

El refuerzo transversal se dispone mediante estribos cerrados de confinamiento rectilíneo con ganchos suplementarios, los ganchos poseen el mismo diámetro que los estribos y están conectados con las barras de reforzamiento longitudinal.

Bajo lo expresado en la normativa se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 3.27.

Tabla 3.27
Resumen de diseño a cortante de columnas

Ubicación	Sección		Acero transversal	Separación (cm)	Separación zona 2h (cm)	Longitud zona 2h (cm)
	b (cm)	h (cm)				
1° piso	30	30	Φ 12	9.5	10	45
2° piso	25	25	Φ 12	8.5	10	45

3.2.4.7. Diseño de Losa

El ACI 318 indica que la relación entre las luces de una edificación debe ser menor a dos para emplearse losas en dos direcciones. Dado que el sistema estructural del proyecto cumple el criterio, se diseñó una losa armada en dos direcciones fundida monolíticamente.

$$\frac{\text{Lado largo}}{\text{Lado Corto}} < 2 \quad (3.13)$$

El diseño fue basado en el procedimiento equivalente al método directo del ACI 318. Para ello, se calculó el valor αf correspondiente a la relación entre el módulo de Young y el momento de inercia por cada lado de la losa apoyada sobre una viga, tal como se muestra en la Ecuación 3.14.

$$\alpha f = \frac{E_{cb} I_b}{E_{cs} I_s} \quad (3.14)$$

Donde:

E_{cb} : Módulo de elasticidad de la viga de concreto.

E_{cs} : Módulo de elasticidad de la losa de concreto.

I_s =Momento de inercia de la sección bruta de la losa respecto al eje que pasa por el centroide.

I_b =Momento de inercia de la sección bruta de la viga respecto al eje que pasa por el centroide

Por otro lado, la Tabla 3.28 muestra el espesor mínimo de losas en dos direcciones. El valor promedio encontrado de entre los valores αf debe cumplir con las condiciones especificadas por la norma. Dado que el promedio αf es mayor a dos, se calculó lo requerido a partir de la segunda ecuación. Este resultado nos permite identificar un espesor mínimo de 9 cm para la losa.

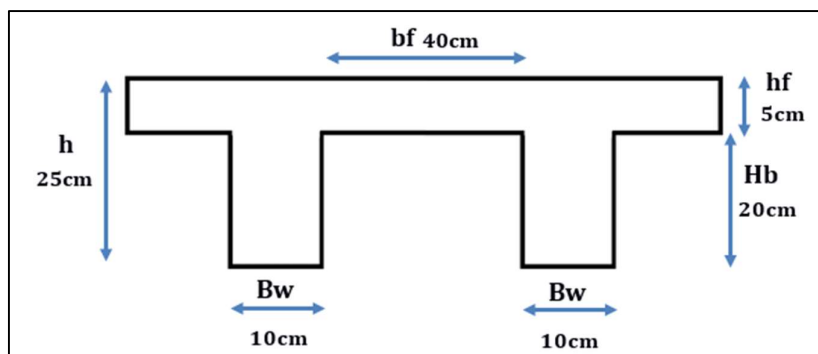
Tabla 3.28
Espesor mínimo de losas en dos direcciones

α_{fm}	Espesor mínimo, h, mm	
$\alpha_{fm} \leq 0.2$	Se aplica 8.3.1.1	(a)
$0.2 < \alpha_{fm} \leq 0.2$	Mayor de:	$h = \frac{\ln(0.8 + \frac{fy}{1400})}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0.2)}$ (b)
		125 (c)
$\alpha_{fm} > 0.2$	Mayor de:	$h = \frac{\ln(0.8 + \frac{fy}{1400})}{36 + 9\beta}$ (d)
		90 (e)

Nota: Datos tomados del ACI 318 (2014)

Siguiendo los principios y limitaciones en el dimensionamiento especificado por el ACI 318 y los factores comerciales en Ecuador. La Figura 3.20 muestra las dimensiones del diseño de la losa nervada en dos direcciones utilizada para el proyecto.

Figura 3.20
Dimensiones de losa



Por otro lado, conociendo que la losa trabajará bajo cargas gravitacionales, se encontraron los momentos y cortantes actuantes en la estructura y se diseñó el acero de refuerzo con base a la norma ACI 318. La cantidad de acero requerido A_s , estará determinado bajo la geometría y cargas que experimenta la estructura. Los resultados para los cálculos obtenidos se presentan en la Tabla 3.29.

Tabla 3.29
Resultados de acero requerido para losa

ACERO REQUERIDO	
Malla de acero soldada de separación 15cm	6 mm
Acero a compresión	10 cm
Acero a tracción	12 cm

Finalmente, se verificó el diseño de la losa bajo el estado límite de servicio, el cual asegura que las deformaciones verticales actuantes en la estructura no excedan el máximo desplazamiento permitido. La Ecuación 3.15 presenta, según el Código Internacional de la Edificación (IBC) 2018, la relación entre un piso y el desplazamiento vertical máximo que debería existir.

$$\Delta_z < \frac{l}{240} \quad (3.15)$$

Donde:

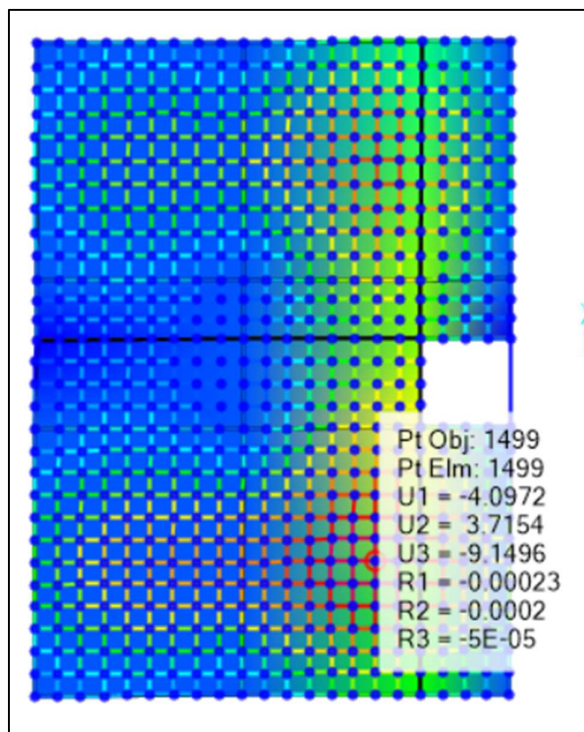
Δ_z : Se define como la deflexión vertical

l : Se define como la longitud del elemento estructural

Dentro del modelo, el desplazamiento vertical debido a cargas de servicio se observa en la Figura 3.21 tomado del programa de elementos finitos SAP 2000 V24.

Figura 3.21

Desplazamiento vertical de la losa por cargas de servicio



Identificando la losa que experimentará un mayor desplazamiento vertical, se observa que la deformación fue igual a 9,15 mm, lo cual es menor a la deformación permisible $4500/240 = 18,75\text{mm}$ según el proyecto. Este cumplimiento del estado límite de servicio permite concluir el diseño de la losa, mismo que se resume en la Tabla 3.30.

Tabla 3.30

Resultados de diseño de la losa

Sección (mm)		Acero de refuerzo (cm)		Malla electrosoldada (mm)	
b	100	Longitudinal	$\varphi 12$	Diámetro	$\varphi 6$
h	200	Transversal	$\varphi 10$	Separación	150

3.2.4.8. Análisis modal

Considerando las indicaciones de la NEC-2015 en donde se establece que, el 90% de la masa total de la estructura es la masa modal acumulada, se obtuvo del programa SAP 2000 los resultados de deformaciones consecuentes de la aplicación de fuerzas y momentos en la estructura.

En la Tabla 3.31 se observa que existe una participación casi total de la masa modal en la dirección “x” en el primer periodo y en la dirección “y” en el segundo, esto indica que la edificación está siendo afectada en sus direcciones principales, dicha participación consta del 93% al 97% como se esperaba en el diseño. Por otro lado, se verifica que las torsiones presentes no exceden del 10% en sus direcciones principales “x” y “y”, por lo que no existe torsión que pueda causar daños en la estructura.

Tabla 3.31
Tabla de participación modal

Case	Mode	Period	UX	UY	SumUX	SumUY	RZ
		Sec					
MODAL	1	0,228	0,936	0,000	0,936	0,000	0,000
MODAL	2	0,224	0,000	0,933	0,936	0,933	0,002
MODAL	3	0,192	0,002	0,003	0,938	0,936	0,000
MODAL	4	0,119	0,000	0,001	0,938	0,936	0,160
MODAL	5	0,106	0,000	0,000	0,939	0,937	0,138
MODAL	6	0,105	0,000	0,047	0,939	0,984	0,032
MODAL	7	0,102	0,031	0,000	0,970	0,984	0,000
MODAL	8	0,099	0,006	0,000	0,975	0,984	0,003
MODAL	9	0,095	0,019	0,000	0,994	0,984	0,006
MODAL	10	0,094	0,003	0,000	0,997	0,985	0,066
MODAL	11	0,089	0,001	0,002	0,998	0,987	0,002
MODAL	12	0,087	0,000	0,009	0,998	0,996	0,009

Finalmente, se observa que el periodo fundamental luego del análisis en SAP2000 es de 0,22s. Basados en la NEC-2015, el resultado esperado por el modelo no debe ser mayor a 1,3 veces el periodo calculado en el espectro de respuesta. Dado que el periodo calculado es de 0,23s, el periodo fundamental que se presenta en la estructura no excede los 0,30s como lo indica la norma.

3.2.4.9. Condición de derivas permisibles para la estructura.

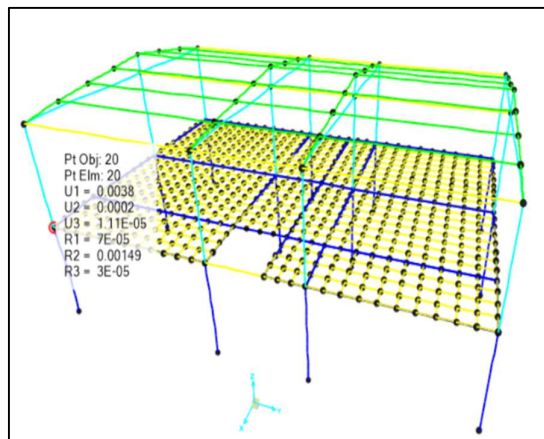
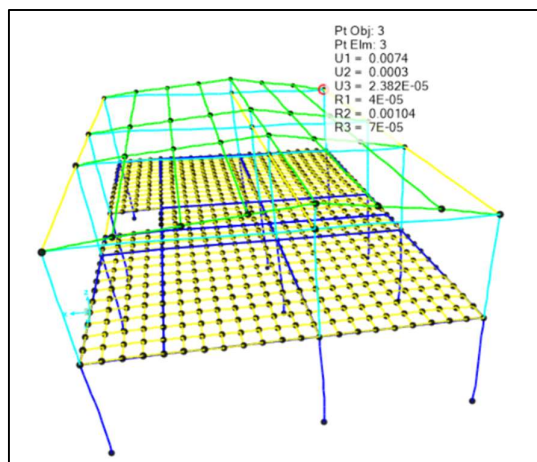
Según la NEC-2015, la deriva máxima de una edificación no puede exceder de la deriva permisible por la norma, misma que está expresada como un porcentaje de la altura de piso, tal como se muestra en la Tabla 3.32.

Tabla 3.32
Deriva máxima para estructuras

Estructuras de:	Δ_M máxima (sin unidad)
Hormigón armado, estructuras metálicas y de madera	0.02
De mampostería	0.01

Nota: Datos tomados de la NEC-SE-HM (2015)

Dado que la deriva máxima para este proyecto es de 0,02, se procedió a identificar en el modelo los mayores desplazamientos para cada planta tal como se observa en las Figuras 3.22 y 3.23. De esta manera, se obtiene la deriva máxima alcanzada de la estructura.

Figura 3.22*Desplazamiento máximo en el modelo eje "x"***Figura 3.23***Desplazamiento máximo en el modelo eje "y"*

De esta manera se encuentra que la deriva máxima en el eje "x" es de 0,0032 y en el eje "y" es de 0,00018, ambas menores a 0,02, lo que pone en evidencia que cumple los requerimientos establecidos por la norma.

3.2.4.10. Cimentación.

La cimentación propuesta para el proyecto consta de dos tipos geométricos de zapatas aisladas en las que se consideran las cargas y momentos actuantes según el diseño estructural. La

primera, son zapatas de 1,5 x1,5m y la segunda, se basa en tres zapatas centrales de 2x2m. Todas las zapatas fueron diseñadas con un espesor de 0,25m, según los parámetros calculados.

Basados en el dimensionamiento, se procede a verificar que el diseño cumpla con lo estipulado por la normativa del American Concrete Institute - 318 (ACI-318) y la Normativa Ecuatoriana de la Construcción - 2015 (NEC-2015).

3.2.4.11. Estado límite de falla: capacidad de carga

Aplicando los criterios de la NEC-2015, para encontrar la capacidad admisible del suelo, se consideró la capacidad última neta del mismo sobre un factor de seguridad ilustrado en la Tabla 3.33.

Tabla 3.33
Factores de seguridad admisible

Condición	F.S.I.M ADMISIBLE
Carga Muerta + Carga Viva Normal	3.0
Carga Muerta + Carga Viva Máxima	2.5
Carga Muerta + Carga Viva Normal + Sismo de Diseño pseudo estático	1.5

Nota: Datos tomados de la NEC-SE-HM (2015)

De esta manera, el factor de capacidad de carga admisible de 12 t/m² sobre 1,5 de factor admisible, proporcionó como resultado 8 t/m².

$$q_{adm} = \frac{q_{unet}}{FS} \quad (3.16)$$

3.2.4.12. Esfuerzos demandantes al suelo

Siguiendo la filosofía de diseño LRFD, se cumple que los esfuerzos demandantes deben ser menores que los admisibles. Estos esfuerzos hacen referencia a las condiciones de servicio carga muerta, carga viva y un tercio de la carga sísmica.

$$\sigma_{D+L} \leq \sigma_{adm} \quad y \quad \sigma_{D+L+1/3S} \leq \sigma_{adm} \quad (3.17)$$

3.2.4.13. Resistencia al cortante unidireccional

El ACI-318 indica que, para la construcción de una cimentación, se debe identificar la capacidad resistente de la zapata en la zona en donde se producirá el cortante demandante, V_c . Tal como se muestra en la ecuación descrita a continuación.

$$V_c = 0,17\sqrt{f'_c} * A_c ; (MPa, mm, N) \quad (3.18)$$

Donde:

V_c : Resistencia al cortante

f'_c : Resistencia del hormigón

A_c : Área que resiste el cortante

A partir de este cálculo, se comprobó para el diseño que, el V_c calculado y mayorado, es mayor a los esfuerzos de empuje V_u , que producirá el suelo sobre la cimentación.

$$\phi V_c \geq V_u \quad (3.19)$$

3.2.4.14. Resistencia al punzonamiento

Para los efectos de punzonamiento, se pretende que la altura proporcionada por el diseño de la zapata sea capaz de resistir los efectos que tendrá el suelo sobre la misma.

El ACI-318 menciona que la fuerza ejercida por el suelo se debe considerar como una porción del mismo que se encuentra presionando sobre cierto volumen de la zapata calculado como una distancia $d/2$ desde una cara en cada lado de la columna sobre la zapata. La resultante de este cálculo debe restarse de la fuerza demandante para encontrar la demanda $V_{u'}$.

$$V_{u'} = P_u - R \quad (3.20)$$

Donde:

$V_{u'}$: Demanda de cortante del suelo por punzonamiento

P_u : Demanda P_u

R : Resultante de cortante del suelo

Por otro lado, la sección de la zapata que soportará el cortante, se encuentra definida por el ACI por la siguiente ecuación.

$$V_{c'} = 0,33\sqrt{f'c} * A_b ; (MPa, mm, N) \quad (3.21)$$

Donde:

$V_{c'}$: Resistencia al cortante por punzonamiento

$f'c$: Resistencia del hormigón

A_b : Área que resiste el punzonamiento

Finalmente, se verificó el cumplimiento del diseño por la filosofía LRFD, en donde las resistencias factoradas son mayores a las demandas aplicadas.

$$\phi V_{c'} \geq V_{u'} \quad (3.22)$$

3.2.4.15. Resistencia por aplastamiento.

Considerando la normativa ACI-318, se valida en el diseño que la relación entre el área de la columna y el área de la zapata fue mayor a 1.

$$\sqrt{\frac{A_{zapata}}{A_{columna}}} > 1 \quad (3.23)$$

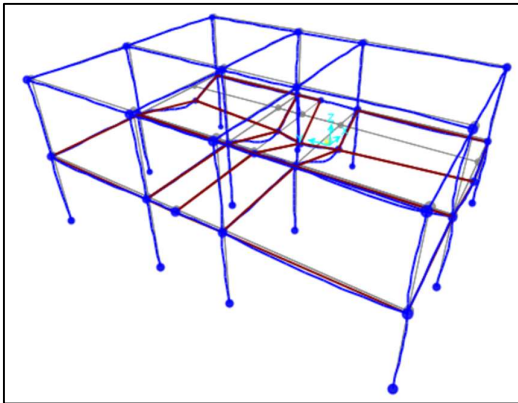
3.2.5. Análisis estático no lineal

3.2.5.1. Estructura de hormigón armado convencional con resistencia de 210 Kg/cm²

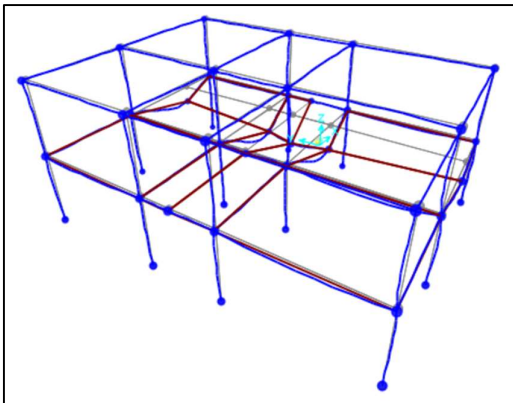
A partir del diseño y modelamiento de la vivienda en el programa SAP2000 se verifica que, para los estados de carga gravitacional, la estructura se comporta de manera lineal, sin formar rotulas plásticas. Este indicador permite reconocer que no se producirán colapsos en la vivienda ni daños permanentes, como se observa en las Figuras 3.24 y 3.25

Figura 3.24

Modelo SAP2000 Deformación estructural eje "X" por cargas gravitacionales hormigón convencional 210 Kg/cm²

**Figura 3.25**

Modelo SAP2000 Deformación estructural eje "Y" por cargas gravitacionales hormigón convencional 210 Kg/cm²



Por otro lado, para identificar el comportamiento de la estructura luego de su estado de linealidad, se evaluó el modelo a partir de la creación de rótulas que deberán producirse cerca de los extremos de las vigas y columnas. Para esto, en el programa SAP 2000, se consideraron que las vigas trabajarán a flexión, aplicándose momentos $M3$ y, dado que las columnas no exceden el $10\%f_c' A_g$, se consideraron como un elemento que de igual manera solo trabajará a flexión, y se aplicarán momentos $M2$, $M3$.

Luego de la simulación estructural, el programa SAP2000 muestra la gráfica Desplazamiento vs Cortante. La Figura 3.26 presenta en el eje "X" una fuerza de 49Ton que producirá un desplazamiento de 83mm, llevando la estructura a un estado de meseta en donde pasará de un comportamiento lineal a uno no lineal. De la misma manera, la Figura 3.27 señala

que una fuerza de 52Ton en el eje “Y” producirá un desplazamiento de 77mm, que permitirá cambiar el modo actuante de la estructura. Ambas gráficas representan los estados de linealidad de la vivienda y se observó que el eje “X” será aquel en donde la estructura alcance más temprano su estado no lineal.

Figura 3.26

Fuerza cortante vs desplazamiento en dirección “X” en una estructura de hormigón convencional de 210 Kg/cm²

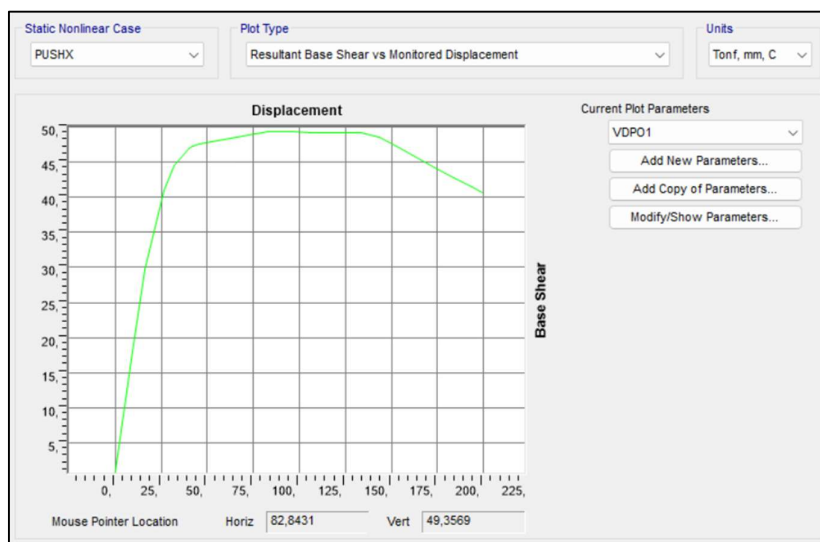
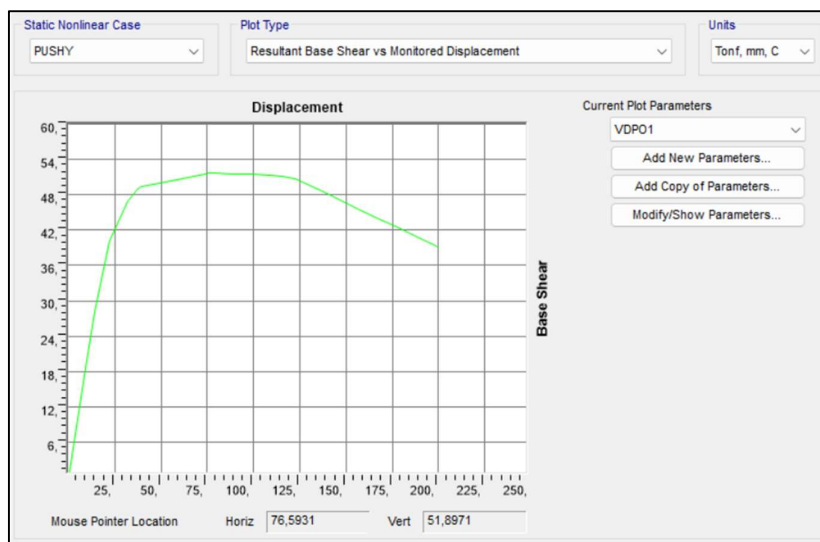


Figura 3.27

Fuerza cortante vs desplazamiento en dirección “Y” en una estructura de hormigón convencional de 210 Kg/cm²

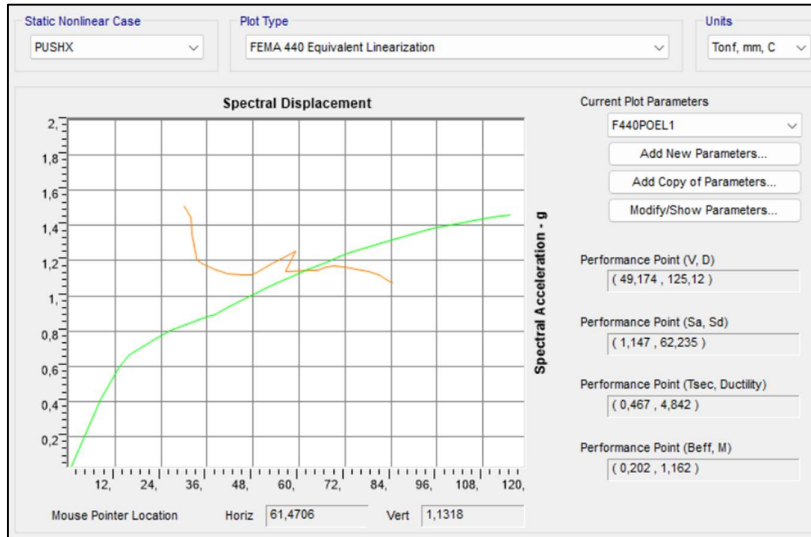


Por otro lado, siguiendo las directrices del Federal Emergency Management Agency 440 (FEMA-440), el programa describe la curva de capacidad Desplazamiento vs Aceleración y su

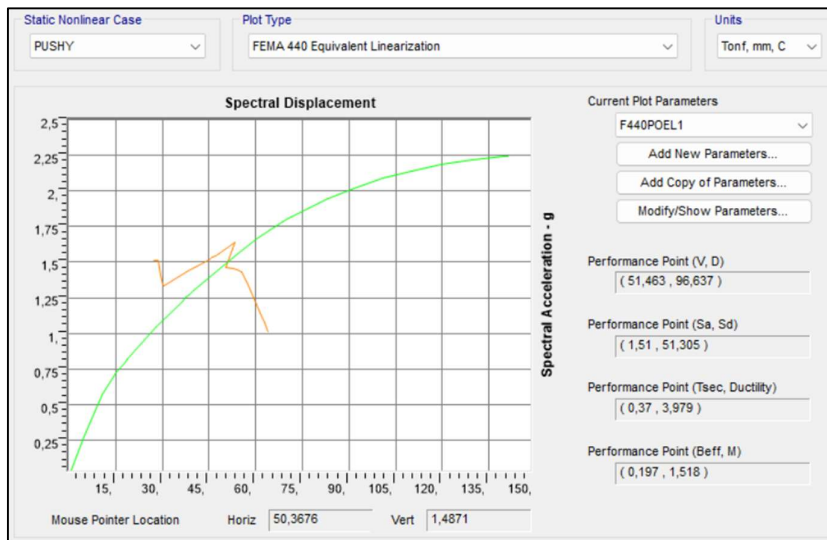
intersección con la curva Espectro Demanda producida por el sismo. La Figura 3.28 muestra que, el punto de desempeño máximo de la estructura, alcanzado por la intersección de ambas curvas, se producirá cuando la estructura tenga un desplazamiento de 125mm en el eje “X”. De la misma manera, en la Figura 3.29 se observa que, el desplazamiento máximo o de desempeño en el eje “Y” se producirá cuando la estructura se desplace 50mm. Finalmente, las gráficas mencionadas nos indican que la vivienda tendrá una ductilidad de entre 3 y 5 en ambos ejes, lo cual acierta en el objetivo de diseño sismo resistente.

Figura 3.28

Aceleración espectral vs desplazamiento en dirección "X" en una estructura de hormigón convencional de 210 Kg/cm²

**Figura 3.29**

Aceleración espectral vs desplazamiento en dirección "Y" en una estructura de hormigón convencional de 210 Kg/cm²



Una vez alcanzado el desplazamiento máximo ejercido por las fuerzas, el programa de elementos finitos SAP2000, muestra la deformación final y las rótulas plásticas que se forman antes de que la estructura llegue al colapso, tanto para el eje "X" como el eje "Y". En las Figuras 3.30 y 3.31 se muestra que, estas rótulas se producen en su mayoría sobre las columnas, lo cual no genera grandes impactos en su desempeño. Sin embargo, al formarse sobre las vigas a

desplazamientos tempranos, es importante tener en consideración el comportamiento y su interacción con las columnas pues, la estructura se encuentra funcionando como un sistema monolítico con 1 Grado de Libertad.

Figura 3.30

Deformación última eje "X" y formación de rótulas en una estructura de hormigón convencional de 210 Kg/cm²

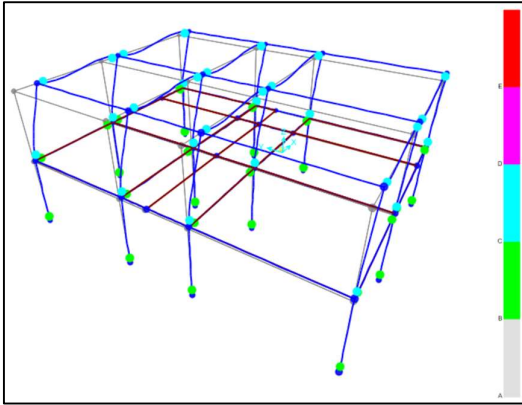
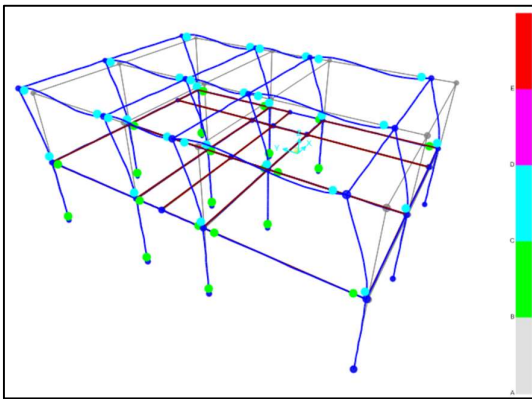


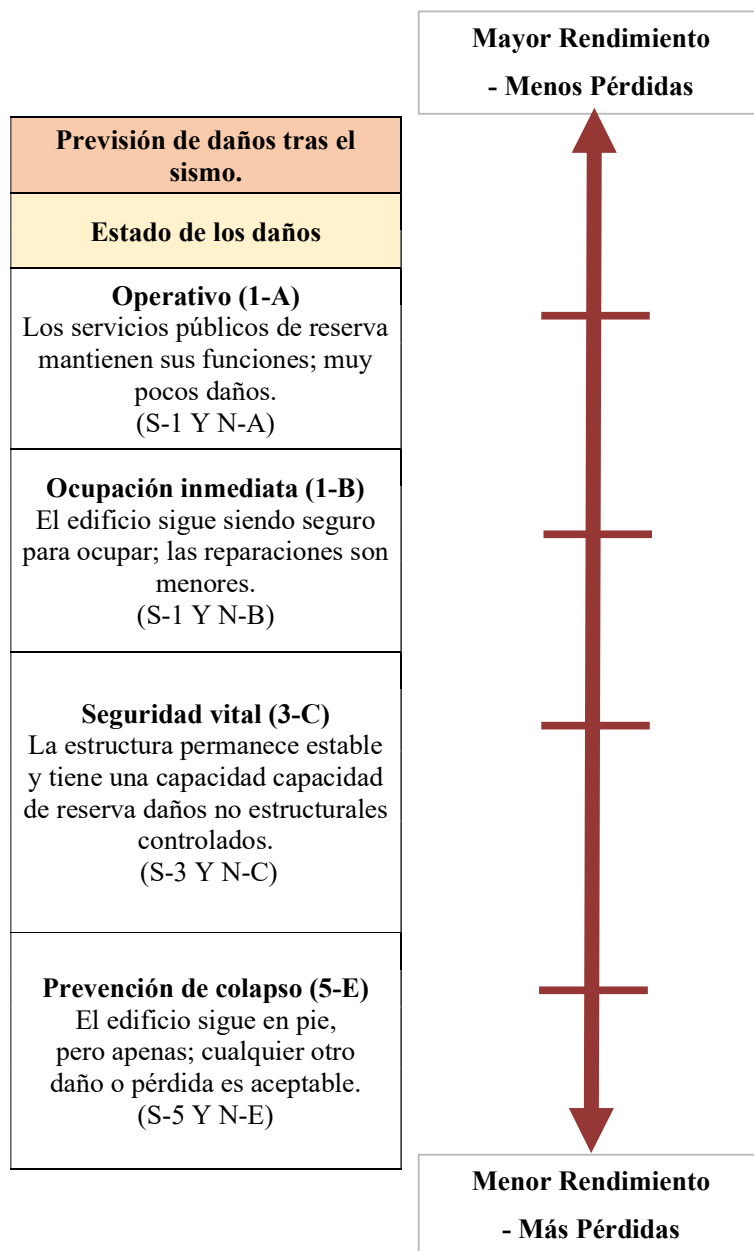
Figura 3.31

Deformación última eje "Y" y formación de rótulas en una estructura de hormigón convencional de 210 Kg/cm²



Por otro lado, basados en la NEC-SE-DS 2015 y ASCE 41-13 la Tabla 3.34 indica los niveles de desempeño sísmico para estructuras.

Tabla 3.34
Desempeño Sísmico para estructuras



Nota: Datos tomados de la ASCE 41-13 (2008)

Como consecuencia, se concluye que el desempeño alcanzado por la vivienda posterior a un evento sísmico debe corresponder a un nivel de “Seguridad de Vida” según la normativa. Para esto, el programa SAP2000 permite reconocer a través de una escala de colores los diferentes

desempeños sísmicos que podrían involucrarse en la estructura. La Figura 3.32 muestra la clasificación que proporciona el programa, con base en el ASCE 41-13.

Figura 3.32

Niveles de Desempeño Sísmico ASCE 41-13 proporcionados por SAP2000

Nivel de Desempeño Operacional	Nivel de Desempeño Ocupación Inmediata	Nivel de Desempeño Seguridad de Vida	Nivel de Desempeño Prevención del Colapso

Con el objetivo de comprobar la condición antes mencionada, se identificó el desplazamiento que tendrá la estructura deformada en su punto máximo de desempeño y se evaluó el estado del mismo en el eje “X” y el eje “Y”. Las Figuras 3.33 y 3.34 muestran que el estado de la vivienda en su punto máximo de desempeño, 125mm de desplazamiento en el eje “X” y 96mm en el eje “Y”, corresponden en su mayoría a un estado de Ocupación Inmediata posterior a un sismo para ambos ejes, lo cual garantiza la seguridad del usuario posterior a eventos sísmicos producidos en la zona.

Figura 3.33

Modelo SAP2000 Deformación estructural y nivel de desempeño en el eje “X” para un hormigón convencional de 210 Kg/cm²

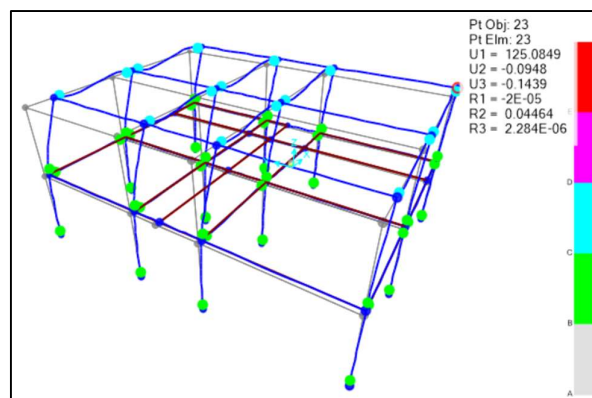
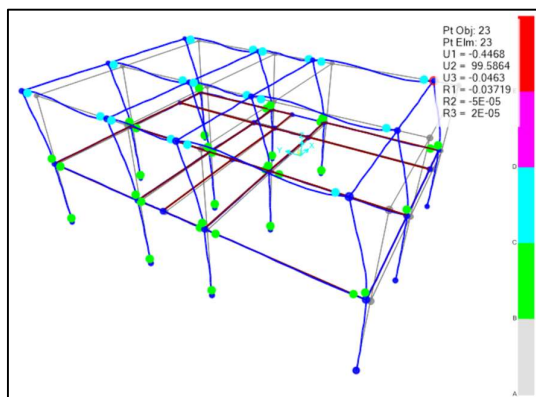


Figura 3.34

Modelo SAP2000 Deformación estructural y nivel de desempeño en el eje "Y" para un hormigón convencional de 210 Kg/cm²



3.2.5.2. Estructura de hormigón reciclado armado con resistencia 210 Kg/cm²

A partir de las resistencias encontradas en probetas de hormigón reciclado al 10 y 20 por ciento en las secciones 3.1.4 y 3.1.5, se configura en el programa SAP2000 las características de un hormigón reciclado de 210 Kg/cm² para su análisis.

Tabla 3.35

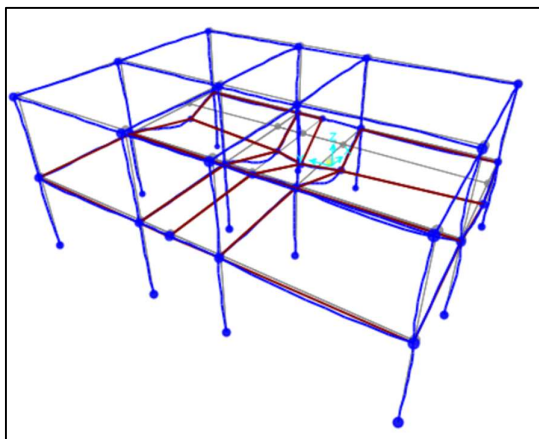
Tabla de propiedades para una estructura de hormigón reciclado de 210 Kg/cm²

Resistencia	210	Kg/cm ²
Densidad	2381	Kg/m ³
Módulo de elasticidad	218819,7	Kg/cm ²

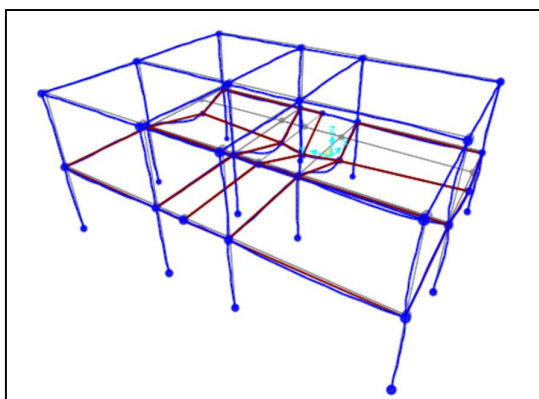
Tal como se evidencia en el análisis para una estructura de hormigón convencional, la vivienda de hormigón reciclado cumple las condiciones indicadas por la norma y se comporta de manera lineal, sin formar rotulas plásticas para los estados en donde la carga gravitacional está actuando. En las Figuras 3.35 y 3.36 se observa que la estructura no estará propensa a colapsos ni daños permanentes.

Figura 3.35

Modelo SAP2000 Deformación estructural eje "X" por cargas gravitacionales hormigón reciclado 210 Kg/cm²

**Figura 3.36**

Modelo SAP2000 Deformación estructural eje "Y" por cargas gravitacionales hormigón reciclado 210 Kg/cm²



Conociendo el comportamiento de la estructura de hormigón reciclado en su estado lineal, se realizó el análisis para su evaluación en un rango no lineal luego de esfuerzos sísmicos. Para ello, se siguieron los procedimientos estipulados en la sección de hormigón convencional con resistencia de 210 Kg/cm^2 donde se diseñaron rótulas cerca de los extremos de los elementos vigas y columnas.

Posterior a la configuración estructural, el programa SAP2000 muestra la gráfica Desplazamiento vs Cortante donde se identificaron los desplazamientos producidos en el sistema. La Figura 3.37 presenta en el eje "X" la necesidad de una fuerza de 49Ton para producir un desplazamiento de 82mm y de la misma manera, la Figura 3.38 señala que una fuerza de 52Ton en el eje "Y" producirá un desplazamiento de 76mm. Ambas gráficas representan los estados de

linealidad de la estructura pues, las fuerzas mencionadas, llevarán la vivienda a un estado de meseta en donde pasará de un comportamiento lineal a uno no lineal. Finalmente, se observa que tal como en un hormigón convencional, el eje “X” será aquel en donde la estructura alcance más temprano su estado de no linealidad.

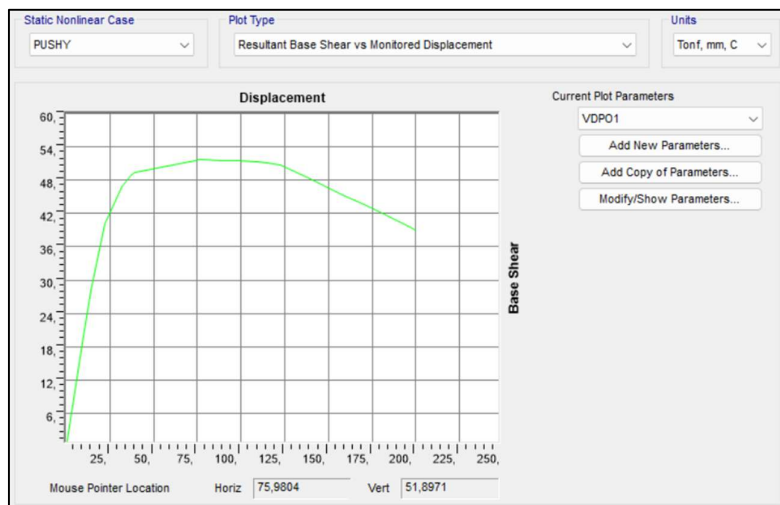
Figura 3.37

Fuerza cortante vs desplazamiento en dirección “X” en una estructura de hormigón reciclado de 210 Kg/cm²



Figura 3.38

Fuerza cortante vs desplazamiento en dirección “Y” en una estructura de hormigón reciclado de 210 Kg/cm²



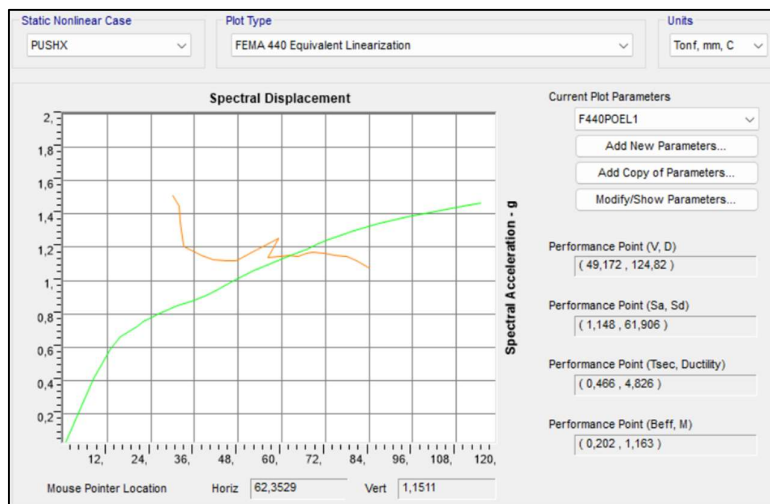
Además, el programa SAP2000 muestra la curva de capacidad Desplazamiento vs Aceleración y su intersección con la curva Espectro Demanda ocasionada por el sismo. Esta

intersección, como se menciona en el análisis anterior permite reconocer los desplazamientos máximos que tendrá la estructura en sus ejes principales y que permitirán evaluar su desempeño luego de un evento sísmico. La Figura 3.39 muestra que en el eje “X” la estructura alcanzará un desplazamiento de 125mm, mientras que en la Figura 3.40 se observa que, en el eje “Y” se desplazará 97mm. Estos resultados resultan similares a los obtenidos para un hormigón convencional, lo cual reafirma el objetivo de este proyecto.

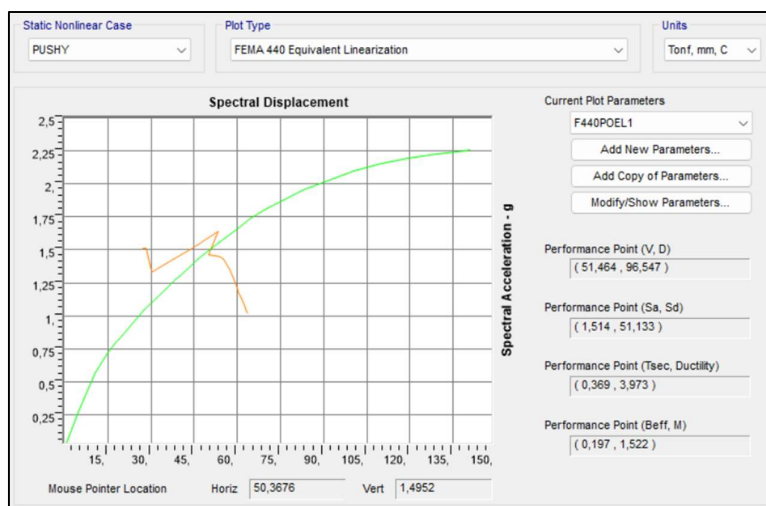
Finalmente, las figuras mencionadas nos indican que la vivienda tendrá una ductilidad de entre 3 y 5 en ambos ejes, lo que cumple con el criterio de diseño especificado por la NE NEC-SE-DS 2015.

Figura 3.39

Aceleración espectral vs desplazamiento en dirección “X” en una estructura de hormigón reciclado de 210 Kg/cm²

**Figura 3.40**

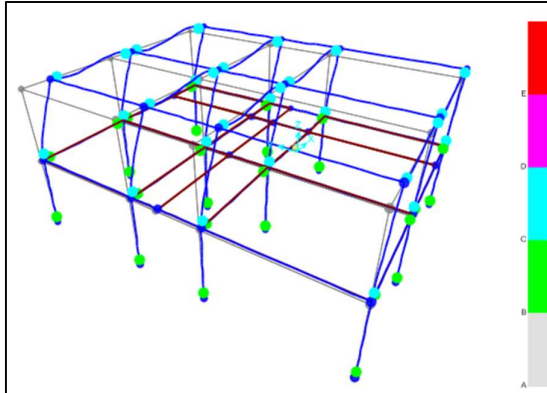
Aceleración espectral vs desplazamiento en dirección “Y” en una estructura de hormigón reciclado de 210 Kg/cm²



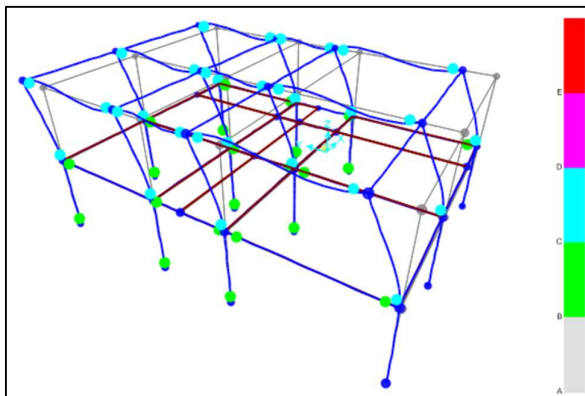
A partir del análisis de resultados obtenidos del programa SAP2000, se evidencia la deformación final en la estructura antes de llegar al colapso en los ejes “X” y “Y”. Las Figuras 3.41 y 3.42 muestran que, tal como en una estructura de hormigón convencional, las rótulas plásticas se producirán en su mayoría sobre las columnas, lo cual no genera grandes impactos en su desempeño. Sin embargo, es importante tener nuevamente en consideración el comportamiento en la interacción viga – columna, al observarse que se forman rótulas sobre la viga a los primeros estados de desplazamientos.

Figura 3.41

Deformación última eje "X" y formación de rótulas en una estructura de hormigón reciclado de 210 Kg/cm²

**Figura 3.42**

Deformación última eje "Y" y formación de rótulas en una estructura de hormigón reciclado de 210 Kg/cm²



Para conocer el desempeño sísmico al cual estará sujeto la estructura de hormigón reciclado, se observa la Tabla 3.34 Desempeño Sísmico para estructuras según la ASCE 41-13. Esta evaluación indica que la vivienda deberá encontrarse en un estado mínimo de Seguridad de Vida posterior a un evento sísmico.

El programa SAP2000 reconoce los estados de desempeño tal como indica la Figura 3.32 y con base a esta condición, se identificó el desplazamiento que tendrá la estructura en el punto máximo de desempeño. Las Figuras 3.43 y 3.44 muestran el estado de la vivienda en sus desplazamientos cercanos a su punto máximo de desempeño; 125mm de desplazamiento en el eje

“X” y 97mm de desplazamiento en el eje “Y”. Se evidencia que esta respuesta corresponde en su mayoría a un estado de Ocupación Inmediata posterior a un sismo para ambos ejes, coincidiendo con los resultados obtenidos de un hormigón convencional. Este hecho garantiza el acertado diseño de la estructura y la seguridad del usuario subsiguiente a un evento sísmico.

Figura 3.43

Modelo SAP2000 Deformación estructural y nivel de desempeño en el eje “X” para un hormigón convencional de 210 Kg/cm²

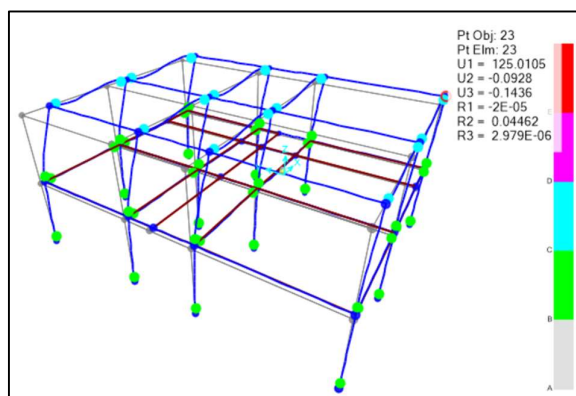
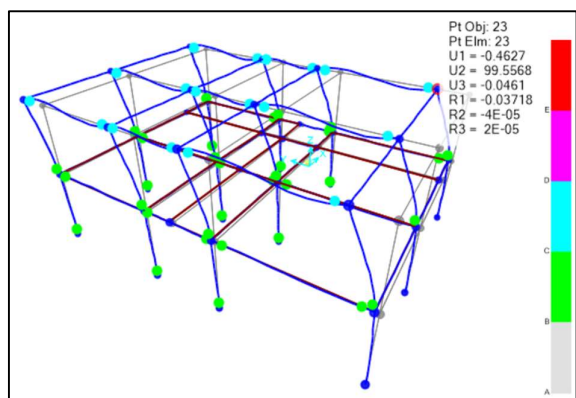


Figura 3.44

Modelo SAP2000 Deformación estructural y nivel de desempeño en el eje “Y” para un hormigón convencional de 210 Kg/cm²



3.2.5.3. Análisis de resultados para estructuras de hormigón armado convencional y reciclado con resistencia de 210 Kg/cm²

En el proceso de evaluación de desempeño estructural mediante el método Pushover en SAP2000, se llevó a cabo una comparación entre el hormigón convencional de 210 kg/cm² y el

reciclado de resistencia equivalente pero diferente densidad. El resumen de resultados con respecto a estados límites se muestra en la Tabla 3.36.

Tabla 3.36
Resultados de estado límite elástico del hormigón de 210 kg/cm²

Hormigón	Eje X		Eje Y	
	Fuerza	Desplazamiento	Fuerza	Desplazamiento
	(Ton)	(cm)	(Ton)	(cm)
<i>Convencional</i>	49	8,5	51	7,6
<i>Reciclado</i>	49	8,2	51	7,5

Se observa que, al ser sometidas a una misma fuerza, ambas estructuras alcanzan el estado inelástico y esfuerzo de fluencia a desplazamientos cercanos. En particular, en el eje “X”, la estructura de hormigón reciclado alcanza su límite a un desplazamiento ligeramente menor, mientras que en el eje “Y” la diferencia es aún más pequeña.

Por otro lado, se analizó el punto de desempeño como se observa en las siguientes tablas.

Tabla 3.37
Punto de desempeño para hormigón de 210 kg/cm² - Aceleración vs Desplazamiento

Tipo de hormigón	Eje X		Eje Y		Nivel de Desempeño
	Desplazamiento	Aceleración	Desplazamiento	Aceleración	
	(m)	(g)	(m)	(g)	
<i>Convencional</i>	12,5	4,92	5,15	9,66	Ocupación
<i>Reciclado</i>	12,48	4,91	5,16	9,65	inmediata

Tabla 3.38
Punto de desempeño para hormigón de 210 kg/cm² - Período vs Ductilidad

Tipo de hormigón	Eje X		Eje Y		Nivel de Desempeño
	Período	Ductilidad	Período	Ductilidad	
	(segundos)		(segundos)		
<i>Convencional</i>	0,47	4,84	0,37	3,98	

<i>Reciclado</i>	0,46	4,83	0,37	3,97	Ocupación inmediata
------------------	------	------	------	------	------------------------

Los valores de punto de desempeño indican niveles similares de ocupación inmediata para ambas estructuras. Este nivel refleja daños muy limitados que, a pesar de llegar a un estado inelástico, permiten a la estructura tener la capacidad de resistir cargas sísmicas sin comprometer significativamente la integridad estructural. Se destaca que este nivel se alinea más al diseño de edificios de gran importancia con contenido valioso (Quinto, 2022).

3.2.5.4. Estructura de hormigón convencional con resistencia 250 kg/cm²

Considerando que la resistencia objetivo de este proyecto fue de 210 Kg/cm², y los resultados obtenidos en el laboratorio fueron resistencias de entre 220 Kg/cm² y 250 Kg/cm². Se procedió a analizar el diseño de la vivienda con base a la mayor resistencia obtenida del hormigón reciclado.

En el modelo del programa SAP2000 se configuró la resistencia del hormigón, siguiendo las especificaciones mostradas en la Tabla 3.39.

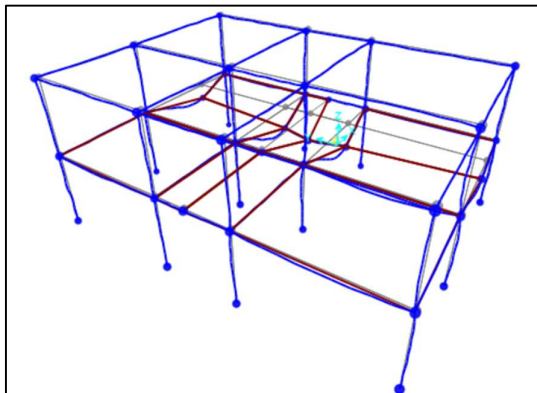
Tabla 3.39
Propiedades para una estructura de hormigón reciclado de 250 Kg/cm²

Resistencia	250	Kg/cm ²
Densidad	2419	Kg/m ³
Módulo de elasticidad	238751,96	Kg/cm

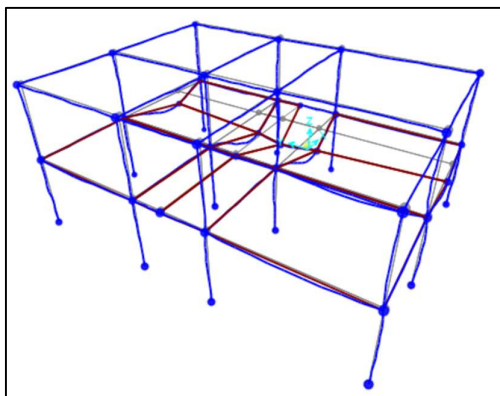
Las Figuras 3.45 y 3.46 muestran que, la estructura de hormigón reciclado cumple las condiciones indicadas por la norma y se comporta de manera lineal, sin formar rotulas plásticas para los estados en donde la carga gravitacional está actuando. Este hecho pone en evidencia que la estructura no estará propensa a colapsos ni daños permanentes en su rango elástico.

Figura 3.45

Modelo SAP2000 Deformación estructural eje "X" por cargas gravitacionales hormigón reciclado 250 Kg/cm²

**Figura 3.46**

Modelo SAP2000 Deformación estructural eje "Y" por cargas gravitacionales hormigón reciclado 250 Kg/cm²



Tal como se realizó en los análisis anteriores, para conocer el comportamiento de la vivienda fuera de su rango elástico se configuró en el programa SAP2000 la formación de rótulas que consideran el trabajo a flexión de las vigas aplicando momentos $M3$ y, dado que las columnas no exceden el $10\%f_c' A_g$ en el diseño, de igual manera se consideran trabajos a flexión aplicándose momentos $M2$, $M3$.

A partir de la evaluación en el programa, se detalla la gráfica Desplazamiento vs Cortante. La Figura 3.47 presenta en el eje "X" una fuerza de 51Ton que desplazará la estructura 84mm y la llevará a un estado de meseta, en donde pasará de un comportamiento lineal a uno no lineal. De la misma manera, la Figura 3.48 señala que este comportamiento se reflejará en el eje "Y" cuando

una fuerza de 54Ton desplace la estructura 74mm. Se observa que, similar a los otros análisis, el comportamiento en el eje “X” será aquel que alcance primero su rango inelástico.

Figura 3.47

Fuerza cortante vs desplazamiento en dirección “X” en una estructura de hormigón reciclado de 250 Kg/cm²

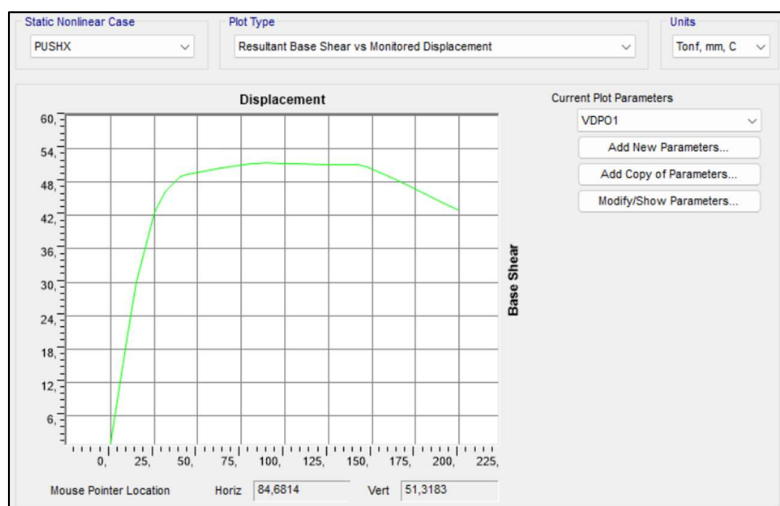
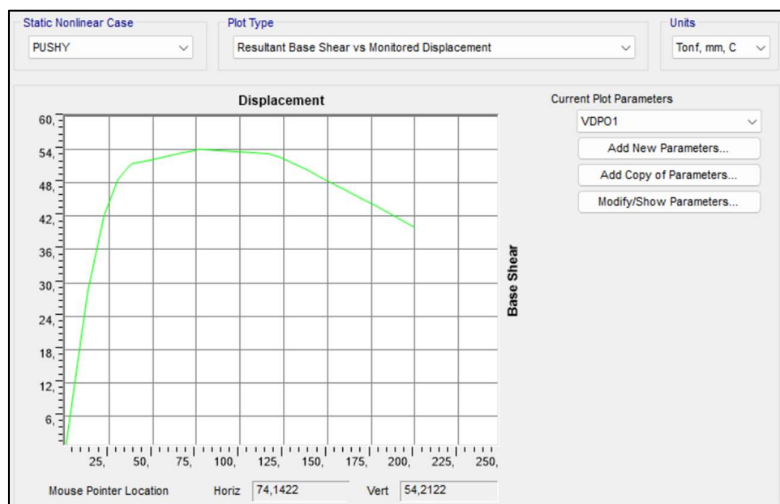


Figura 3.48

Fuerza cortante vs desplazamiento en dirección “Y” en una estructura de hormigón reciclado de 250 Kg/cm²



De manera similar a los análisis anteriores, el programa SAP2000 muestra la curva de capacidad Desplazamiento vs Aceleración y su intersección con la curva Espectro Demanda. La Figura 3.49 muestra que, el desplazamiento en el punto máximo de desempeño en el eje “X” se producirá cuando la estructura se desplace 120mm. Por otro lado, la Figura 3.50 indica que la

estructura alcanzará el punto de desempeño en el eje “Y” cuando se produzca un desplazamiento de 93mm. Las figuras mencionadas además nos indican que la vivienda tendrá una ductilidad de entre 4 y 5 en ambos ejes, reflejando un incremento del mismo, en relación con las estructuras anteriores, lo cual refleja una mejora en el comportamiento sismo resistente.

Figura 3.49

Aceleración espectral vs desplazamiento en dirección “X” en una estructura de hormigón reciclado de 250 Kg/cm²

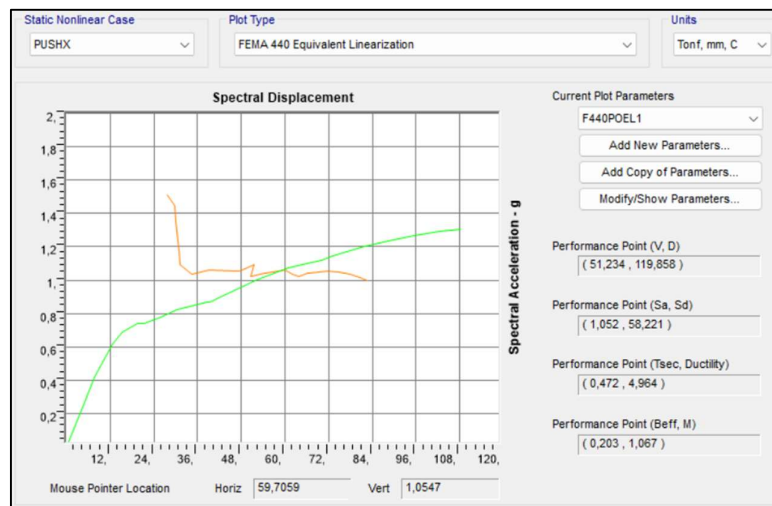
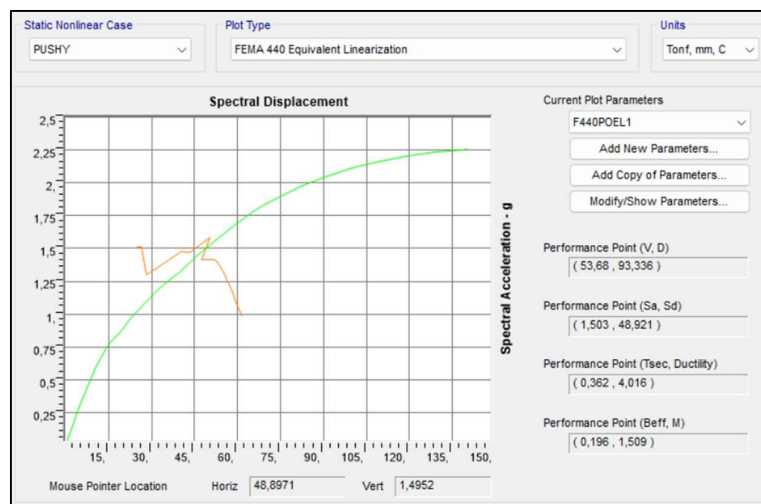


Figura 3.50

Aceleración espectral vs desplazamiento en dirección “Y” en una estructura de hormigón reciclado de 250 Kg/cm²



Con base a la simulación de fuerza sísmica aplicada en la estructura, el programa SAP2000 muestra la deformación final y las rótulas plásticas que se forman a partir de los esfuerzos ejercidos. En las Figuras 3.51 y 3.52 se muestra que, así como en las estructuras ya analizadas, las rótulas se producen en su mayoría sobre las columnas, lo cual no genera grandes impactos en su desempeño. Sin embargo, para esta estructura, sigue siendo importante la evaluación de las rótulas sobre las vigas pues, su comportamiento debe regirse al diseño columna fuerte, viga débil.

Figura 3.51

Deformación última eje "X" y formación de rótulas en una estructura de hormigón reciclado de 250 Kg/cm²

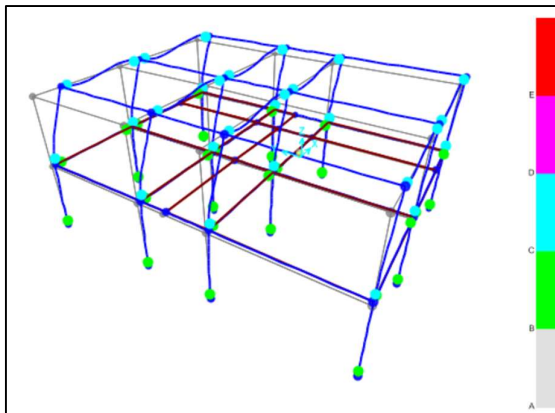
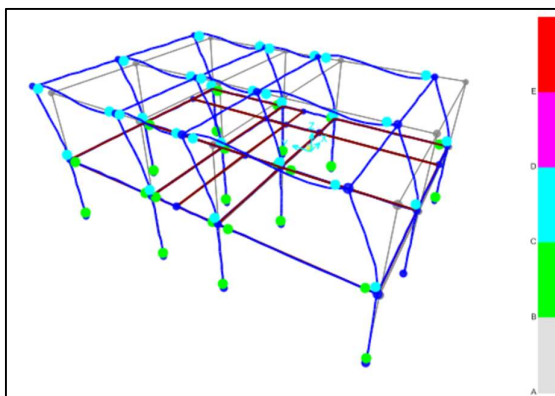


Figura 3.52

Deformación última eje "Y" y formación de rótulas en una estructura de hormigón reciclado de 250 Kg/cm²

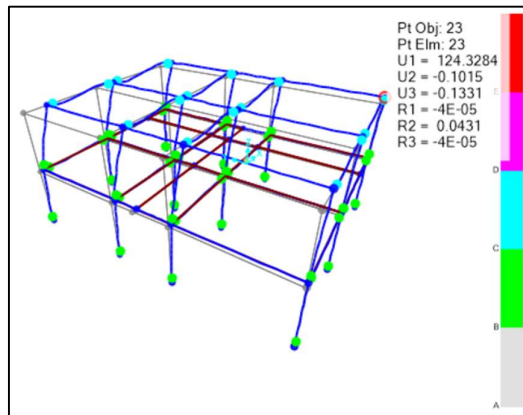


De la misma manera, tal como se indica en la sección para un hormigón convencional con resistencia 210 Kg/cm^2 , la NEC-SE-DS 2015 y ASCE 41-13 ponen en evidencia niveles de desempeño sísmico para estructuras que se muestran en la Tabla 3.34.

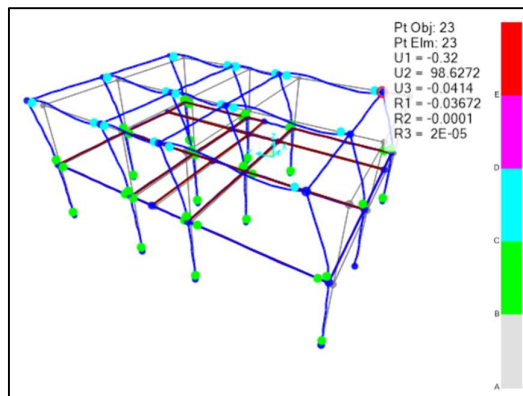
Con esta información, se concluye que el desempeño alcanzado por la vivienda posterior a un evento sísmico debe corresponder a un nivel de Seguridad de vida. Para la verificación de este estado, el programa SAP2000, tal como se muestra en la Figura 3.32, a través de su escala de colores para la identificación de desempeños muestra la deformada y sus desplazamientos en los puntos máximos de desempeño para los ejes principales de la estructura “X” y “Y”. Las Figuras 3.53 y 3.54 muestran que el estado de la vivienda en su punto máximo de desempeño tendrá un desplazamiento de 120mm en el eje “X” y 93mm en el eje “Y”. Esta respuesta corresponde en su mayoría a un estado de Desempeño Ocupacional posterior a un sismo, siendo este un mejor desempeño alcanzado sobre las anteriores estructuras. Este hecho refuerza el acertado diseño de la estructura y la seguridad del usuario frente a eventos sísmicos.

Figura 3.53

Modelo SAP2000 Deformación estructural y nivel de desempeño en el eje "X" para un hormigón reciclado de 250 Kg/cm²

**Figura 3.54**

Modelo SAP2000 Deformación estructural y nivel de desempeño en el eje "Y" para un hormigón reciclado de 250 Kg/cm²



3.2.5.5. Estructura de hormigón convencional con resistencia 270 kg/cm²

A partir de las resistencias alcanzadas por las probetas de hormigón convencional elaboradas en un laboratorio, se considera el análisis estructural para un hormigón de 270 Kg/cm². Para ello, se configura las propiedades identificadas en el programa SAP2000, tal como se muestra en la Tabla 3.40.

Tabla 3.40

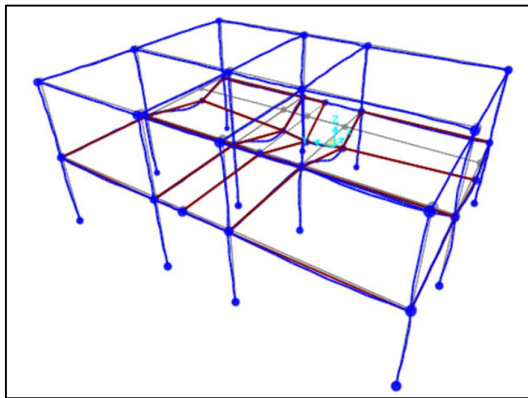
Propiedades para una estructura de hormigón convencional de 270 Kg/cm²

Resistencia	270	Kg/cm ²
Densidad	2460	Kg/m ³
Módulo de elasticidad	248118,31	Kg/cm

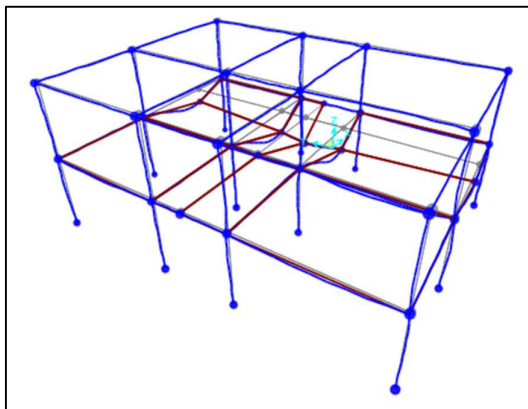
Tal como se evidencia en las Figuras 3.55 y 3.56, la estructura de hormigón convencional para los estados de carga gravitacional actuantes se encuentra dentro de su rango elástico, sin formar rotulas plásticas en sus elementos, evitando colapsos o daños permanentes.

Figura 3.55

Modelo SAP2000 Deformación estructural eje "X" por cargas gravitacionales hormigón convencional 270 Kg/cm²

**Figura 3.56**

Modelo SAP2000 Deformación estructural eje "Y" por cargas gravitacionales hormigón convencional 270 Kg/cm²

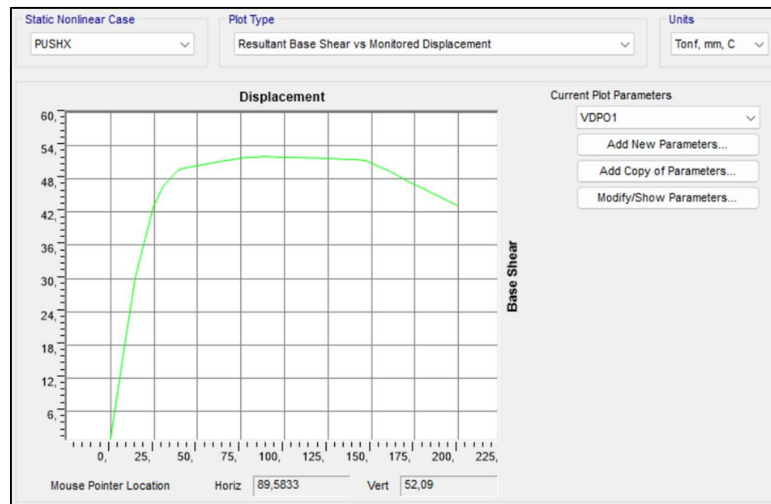


Para evaluar el comportamiento fuera del estado de linealidad de la estructura, tal como en los análisis anteriores, se consideran que las vigas trabajarán a flexión donde se aplicarán momentos $M3$ y, dado que las columnas no exceden el $10\%f_c' A_g$, se consideran también como elementos sometidos a flexión en donde se aplicarán solo momentos $M2$, $M3$.

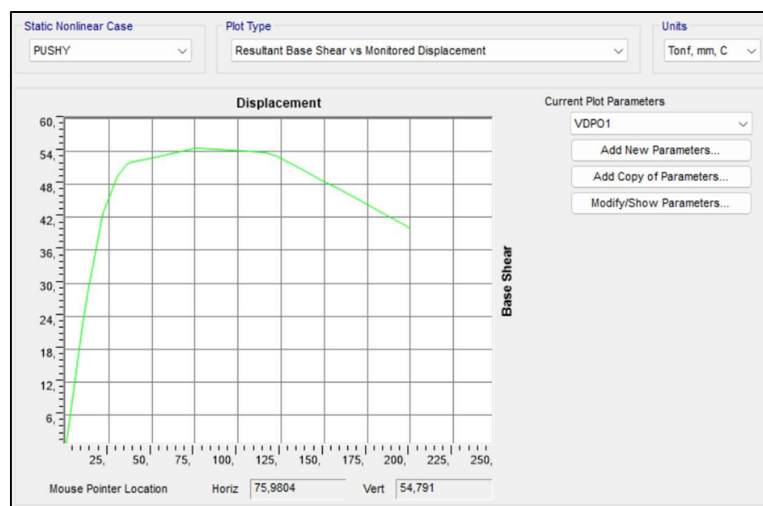
En la gráfica Desplazamiento vs Cortante se identificaron los desplazamientos producidos en el sistema. La Figura 3.57 presenta en el eje “X” una fuerza de 52Ton que producirá un desplazamiento de 90mm y la Figura 3.58 señala que una fuerza de 55Ton en el eje “Y” producirá un desplazamiento de 76mm. Ambas fuerzas llevarán la estructura a un estado de meseta, en donde pasará de un estado lineal a uno no lineal. Estos resultados demuestran que la alta resistencia de la estructura permite que el comportamiento en ambos ejes se destaque ante mayores magnitudes de fuerzas ejercidas, permaneciendo más tiempo en su estado de linealidad.

Figura 3.57

Fuerza cortante vs desplazamiento en dirección "X" en una estructura de hormigón convencional de 270 Kg/cm²

**Figura 3.58**

Fuerza cortante vs desplazamiento en dirección "Y" en una estructura de hormigón convencional de 270 Kg/cm²



Para un hormigón convencional de 270Kg/cm², se observa la curva de capacidad Desplazamiento vs Aceleración y su intersección con la curva Espectro Demanda. La Figura 3.59 muestra que el desplazamiento para el punto de desempeño en el eje "X" de la estructura es de 113mm. Así mismo, en la Figura 3.60, se observa que este desplazamiento será de 92mm en el eje "Y". Finalmente, las figuras mencionadas también indican que la vivienda tendrá una ductilidad

de entre 4 y 5 en ambos ejes, reflejando un comportamiento más dúctil en comparación con un hormigón convencional de 210 Kg/cm².

Figura 3.59

Aceleración espectral vs desplazamiento en dirección "X" en una estructura de hormigón convencional de 270 Kg/cm²

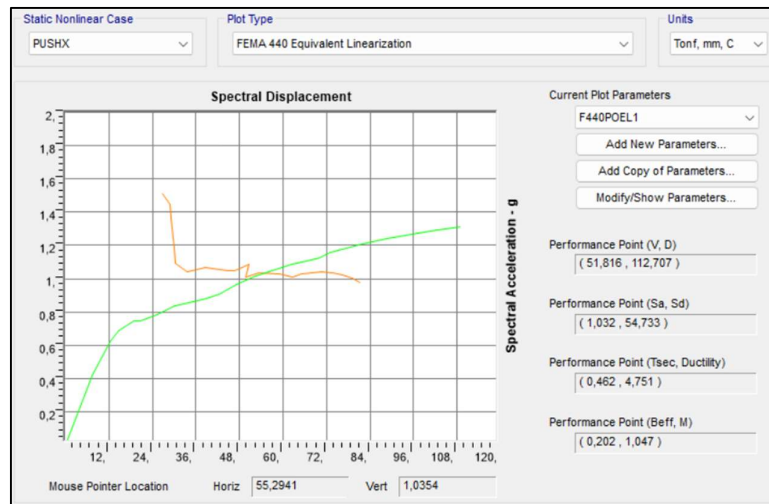
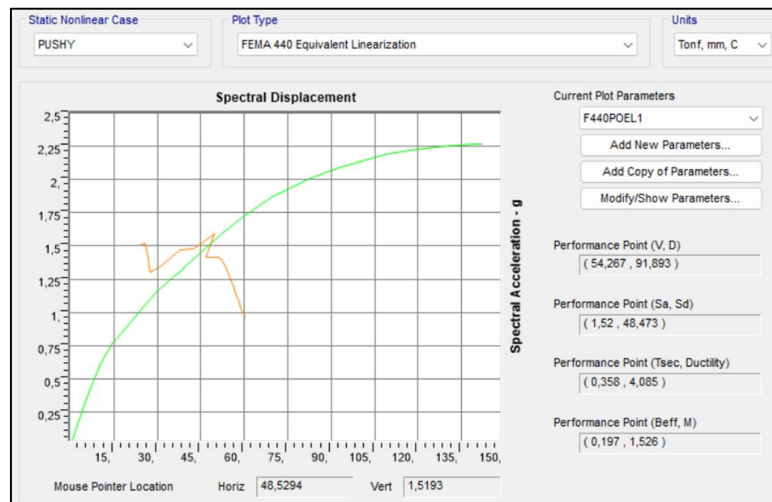


Figura 3.60

Aceleración espectral vs desplazamiento en dirección "Y" en una estructura de hormigón convencional de 270 Kg/cm²



A partir de la deformación final mostrada por SAP2000 y las rótulas formadas antes de que la estructura llegue a su nivel de colapso, en las Figuras 3.61 y 3.62 se observa que, tal como en los análisis anteriores, las rótulas se producen en su mayoría sobre las columnas sin tener impactos significativos en la estructura. Sin embargo, al existir formaciones de rótulas sobre las vigas a desplazamientos tempranos, se debe tener en consideración el comportamiento y su interacción con la columna.

Figura 3.61

Deformación última eje "X" y formación de rótulas en una estructura de hormigón convencional de 270 Kg/cm²

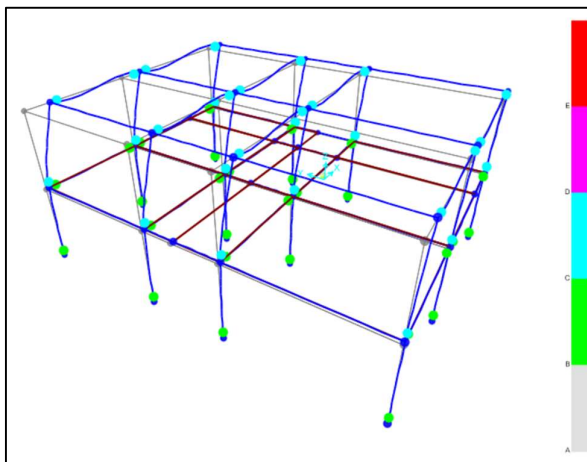
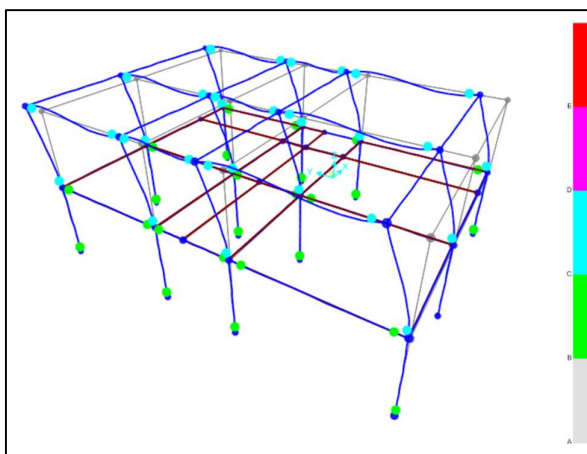


Figura 3.62

Deformación última eje "Y" y formación de rótulas en una estructura de hormigón convencional de 270 Kg/cm²

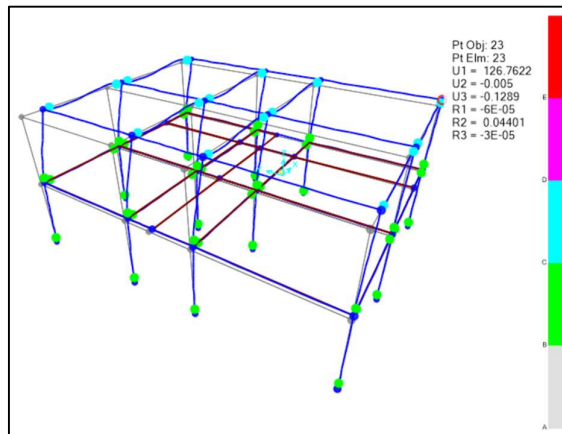


Siguiendo la clasificación indicada por la NEC-SE-DS 2015 y ASCE 41-13, la Tabla 3.34 ponen en evidencia los niveles de desempeño sísmico para estructuras. Como consecuencia, se identifica que, el desempeño que deberá alcanzar vivienda posterior a un evento sísmico debe corresponder a un nivel de Seguridad de vida.

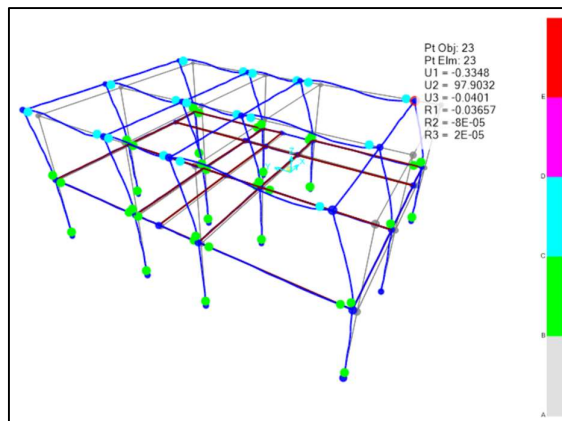
A partir de la deformada mostrada por el software SAP2000 y, haciendo referencia a la colorimetría de la Figura 3.32, se identificó el comportamiento de la estructura en su punto máximo de desempeño. Las Figuras 3.63 y 3.64 indican que con los desplazamientos de 113mm en el eje “X” y 92mm en el eje “Y”, corresponden en su mayoría a un estado de Desempeño Ocupacional posterior a un evento sísmico, obteniendo como en la sección anterior, un mejor desempeño estructural en comparación a las estructuras con resistencia de 210Kg/cm^2 . Este hecho vuelve a reafirmar el acertado diseño de la estructura y la seguridad del usuario ante movimientos sísmicos que ocurran en la zona.

Figura 3.63

Modelo SAP2000 Deformación estructural y nivel de desempeño en el eje "X" para un hormigón convencional de 270 Kg/cm²

**Figura 3.64**

Modelo SAP2000 Deformación estructural y nivel de desempeño en el eje "Y" para un hormigón convencional de 270 Kg/cm²



3.2.5.6. Análisis de resultados para estructuras de hormigón armado reciclado con diferentes resistencias

En la evaluación comparativa entre el hormigón convencional de resistencia 270 kg/cm² y el reciclado con resistencia de 250 kg/cm², logrado a partir del reemplazo de un 10% de agregado reciclado con una densidad diferente. Se destacan los resultados mostrados en la Tabla 3.41 con respecto al límite del estado elástico.

Tabla 3.41*Resultados de estado límite elástico de hormigón convencional vs reciclado*

Hormigón	Eje X		Eje Y	
	Fuerza	Desplazamiento	Fuerza	Desplazamiento
	(Ton)	(cm)	(Ton)	(cm)
<i>Patrón</i> <i>(270 kg/cm²)</i>	52	8,9	54	7,6
<i>Reciclado 10%</i> <i>(250 kg/cm²)</i>	51	8,4	54	7,4

Se observa que, bajo fuerzas similares, ambas estructuras alcanzan el estado inelástico y por consiguiente el esfuerzo de fluencia a desplazamientos cercanos. El hormigón reciclado muestra un comportamiento ligeramente más anticipado, llegando a su límite elástico en el eje “X” a un desplazamiento menor por 5 milímetros y en el eje “Y” menor por 2 milímetros respecto al hormigón convencional. Sin embargo, se concluye que tienen comportamientos similares ya que las variaciones no exceden del 6%.

Por otro lado, siguiendo la comparación estructural, se analizó el punto de desempeño de ambas estructuras.

Tabla 3.42*Punto de desempeño del hormigón convencional y reciclado - Aceleración vs Desplazamiento*

Tipo de hormigón	Eje X		Eje Y		Nivel de Desempeño
	Desplazamiento	Aceleración	Desplazamiento	Aceleración	
	(m)	(g)	(m)	(g)	
<i>Patrón</i> <i>(270 kg/cm²)</i>	11,27	5,18	5,42	9,18	Ocupación inmediata
<i>Reciclado 10%</i> <i>(250 kg/cm²)</i>	11,98	5,12	5,36	9,33	

Tabla 3.43
Punto de desempeño del hormigón convencional y reciclado - Período vs Ductilidad

Tipo de hormigón	Eje X		Eje Y		Nivel de Desempeño
	Período (segundos)	Ductilidad	Período (segundos)	Ductilidad	
<i>Patrón</i> (270 kg/cm ²)	0,46	4,76	0,35	4,08	Ocupación inmediata
<i>Reciclado 10%</i> (250 kg/cm ²)	0,47	4,96	0,36	4,01	

Los valores en el punto de desempeño indican el mismo nivel de ocupación inmediata para ambas estructuras. Este nivel sugiere que no se observan daños o fisuras significativas, y la edificación puede continuar funcionando normalmente después del sismo (Quinto, 2022).

Finalmente, es importante recalcar que, para este proyecto no se llevó a cabo un análisis en casos donde se reemplaza un 20% de agregado reciclado, dado que resultaría en similitudes con el análisis de un hormigón reciclado de 210 Kg/cm². En este contexto, se resalta que, para todas las resistencias tomadas en consideración, las estructuras mantienen un nivel de desempeño equivalente para el diseño propuesto, ya sea utilizando hormigón convencional o reciclado.

3.3. Especificaciones técnicas

3.3.1. *Hormigón estructural en cimentación*

Descripción: Este trabajo implica la construcción de zapatas de hormigón estructural con una resistencia especificada de $f_c=210 \text{ Kg/cm}^2$ a los 28 días. Comprende la zapata y la columna, destinadas a cimentar los elementos estructurales según lo indicado en los planos estructurales y las dimensiones especificadas en el proyecto. Este rubro abarca tanto el encofrado como el desencofrado de la columna y, cuando sea necesario, de la zapata.

Unidad: Metros cúbico (m³).

Materiales mínimos: Cemento, arena, piedra, agua.

Mano de obra mínima calificada:

- Maestro mayor (E. O. C1)
- Albañil (E. O. D2)
- Peón (E. O. E2)

Equipo mínimo: Herramienta menor, vibrador, concreteira 1 saco.

Ejecución: Para llevar a cabo la cimentación de hormigón estructural con una resistencia especificada de $f_c=210 \text{ Kg/cm}^2$, se deben seguir varios pasos y consideraciones importantes:

- **Replanteo y Excavación:** Antes de comenzar la construcción, es necesario realizar el replanteo de ejes y excavar o trazar las dimensiones del plinto sobre el nivel de desplante.
- **Aprobación del Diseño del Hormigón:** El diseño debe ser aprobado por el Fiscalizador antes de iniciar el hormigonado.
- **Encofrado:** El encofrado puede ser metálico o de madera. La cara interior del encofrado debe ser lisa para lograr un acabado correcto. Debe ser lo suficientemente rígido para soportar la presión del hormigón plástico y mantenerse firme.
- **Trabajos Previos:** Antes de iniciar la construcción, el encofrado debe estar terminado y aceptado por el Fiscalizador.
- **Colocación:** Las cantidades de agregados, cemento y agua deben ser fijadas en el diseño aprobado. La colocación del hormigón debe ser continua y no interrumpirse por más de 30 minutos. No se permite el uso del agua para re-amasar el hormigón parcialmente endurecido.
- **Distribución y Conformación:** El hormigón debe colocarse uniformemente y vibrarse adecuadamente para evitar la segregación de los materiales. Se deben emplear

equipos adecuados, como concretas y vibradores, para garantizar un acabado sin defectos.

- **Curado:** Después de las operaciones de acabado, se procederá al curado del hormigón. El método por utilizar debe ser aprobado por el Fiscalizador.

Forma de Pago: La medición se llevará a cabo en unidades de volumen y el pago se realizará por metro cúbico "m³".

3.3.2. *Hormigón estructural de pilares*

Descripción: Comprende la provisión integral de todos los insumos, maquinaria y personal necesario para la elaboración, vertido y curado de hormigón simple con resistencia $f'c = 210$ kg/cm² en las columnas, cuyas secciones están detalladas en los planos estructurales. Este hormigón específico se emplea en la conformación de las columnas y constituye la base de la estructura de hormigón, requiriendo el uso de encofrados, así como acero de refuerzo.

Unidad: Metros cúbico (m³).

Materiales mínimos: Cemento, arena, piedra, agua.

Mano de obra mínima calificada:

- Peón (Estruc. Ocup. E2)
- Albañil (Estruc. Ocup. D2)
- Maestro de Obra (Estruc. Ocup. C1)
- Operador de Equipo Liviano (Estruc. Ocup. D2)

Equipo mínimo: Herramienta menor, vibrador, concretera 1 saco.

Ejecución

- **Aprobación del Diseño del Hormigón:** El diseño debe ser aprobado por el Fiscalizador antes de iniciar el hormigonado.
- **Acero de refuerzo:** Se doblará conforme a los planos estructurales, con el refuerzo principal de las columnas sobresaliendo desde los plintos y extendiéndose más allá de

la altura del entrepiso subsiguiente. Los estribos verticales pasarán siempre por fuera del refuerzo principal y se colocarán a la distancia establecida en los planos sin interrumpir su colocación en la intersección con las vigas.

- **Encofrado:** Una vez armado el acero de refuerzo, se procederá a instalar el encofrado, asegurándose de que cumpla con la forma, alineación y dimensiones de los elementos estructurales. Los encofrados estarán apuntalados o ligados con puntales de madera de la zona o metálicos para mantener su forma y posición.
- **Colocación:** Después de armar el encofrado, se llevará a cabo la fundición del hormigón simple en las columnas. Todo el hormigón se mezclará hasta lograr una distribución uniforme de los materiales, y se depositará lo más cerca posible de su ubicación final para evitar la segregación debido al flujo. Durante el vertido del hormigón en estos elementos, no se permitirá que la altura sea mayor a 2 metros.
- **Vibrado:** Se aplicará al hormigón inmediatamente después de alcanzar la altura de cada capa indicada, vibrando cuidadosamente alrededor de las armaduras, esquinas y ángulos de los encofrados.

Forma de Pago: La medición se llevará a cabo en unidades de volumen y el pago se realizará por metro cúbico "m³".

3.3.3. Hormigón estructural de vigas

Descripción: Este concepto engloba la provisión de todos los insumos necesarios, el equipo requerido, y la mano de obra especializada para la elaboración del hormigón simple con resistencia especificada de $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$, destinado a las vigas de entrepiso cuya sección está detallada en los planos de diseño.

Este tipo de hormigón, con una resistencia definida, se emplea para dar forma a las vigas y constituye la base estructural que requiere el uso de encofrados, ya sean parciales o totales, así como acero de refuerzo. Este proceso abarca la fabricación, vertido y curado del hormigón.

Unidad: Metros cúbico (m³).

Materiales mínimos: Cemento, arena, piedra, agua.

Mano de obra mínima calificada:

- Peón (Estruc. Ocup. E2)
- Albañil (Estruc. Ocup. D2)
- Maestro de Obra (Estruc. Ocup. C1)
- Operador de Equipo Liviano (Estruc. Ocup. D2)

Equipo mínimo: Herramienta menor, vibrador, concreteira 1 saco.

Ejecución

- **Aprobación del Diseño del Hormigón:** El diseño debe ser aprobado por el Fiscalizador antes de iniciar el hormigonado.
- **Encofrado:** Deben ser apuntalados o ligados con puntales de eucalipto, madera de la zona o metálicos, asegurando que mantengan su forma y posición.
- **Armadura:** Después de colocar el encofrado, se procederá a la colocación de la armadura, doblando el acero de refuerzo de acuerdo con los planos estructurales. El refuerzo longitudinal de las vigas se amarrará siempre al refuerzo vertical de las columnas, y los estribos verticales pasarán por fuera del refuerzo principal.
- El acero de refuerzo debe estar separado de la cara de los encofrados a la distancia especificada en los planos, y en ningún caso el recubrimiento del acero estructural será menor de 4 cm.
- **Colocación:** Después de verter el hormigón en las columnas, se deberán limpiar completamente los encofrados de las vigas antes de colocar el hormigón en techos y paredes, esperando al menos dos horas. Durante el vertido de hormigón, este deberá realizarse de manera continua hasta completar el colado de todos los elementos.

- **Vibrado:** Se aplicará al hormigón inmediatamente después de su depósito, asegurándose de abarcar las armaduras, esquinas y ángulos de los encofrados.

Forma de Pago: La medición se llevará a cabo en unidades de volumen y el pago se realizará por metro cúbico "m³".

3.3.4. *Hormigón en losa*

Descripción: Consistirá en llevar a cabo el replanteo y la delineación en el sitio de la disposición de vigas, nervaduras y alivianamientos especificados en los planos estructurales, seguido por la instalación de bloques de poliestireno. El objetivo es trazar la posición de los elementos estructurales y colocar bloques de poliestireno de acuerdo con lo indicado en los planos.

Unidad: Metros cúbico (m³).

Materiales mínimos: Cemento, arena, piedra, agua.

Mano de obra mínima calificada:

- Peón (Estruc. Ocup. E2)
- Albañil (Estruc. Ocup. D2)
- Maestro de Obra (Estruc. Ocup. C1)
- Operador de Equipo Liviano (Estruc. Ocup. D2)

Equipo mínimo: Herramienta menor, vibrador, concretera 1 saco.

Ejecución

- **Aprobación del Diseño del Hormigón:** El diseño debe ser aprobado por el Fiscalizador antes de iniciar el hormigonado.
- **Encofrado:** Deben ser apuntalados o ligados con puntales de madera de la zona o metálicos, asegurando que mantengan su forma y posición. Verificación de nivelación y estabilidad de los encofrados.
- **Armadura:** Colocación de acero de refuerzo en vigas y nervaduras terminado.

- **Colocación:** La colocación de hormigón en una losa es un proceso crucial en la construcción, que implica verter y distribuir uniformemente el hormigón fresco sobre la superficie de la losa. Este procedimiento sigue una serie de pasos específicos, desde la preparación del terreno y la colocación del encofrado hasta la aplicación del hormigón, su nivelación y curado adecuado.
- **Vibrado:** Se aplicará al hormigón inmediatamente después de su depósito, asegurándose de abarcar las armaduras, esquinas y ángulos de los encofrados.

Forma de Pago: La medición se llevará a cabo en unidades de volumen y el pago se realizará por metro cúbico "m³".

3.3.5. Acero de refuerzo $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$.

Descripción: Se refiere al acero de refuerzo destinado a la estructura de hormigón, el cual, al momento de su instalación en la obra, debe encontrarse libre de grasas, oxidación, pintura o cualquier recubrimiento que pueda afectar la adherencia. Todo el acero estructural debe cumplir con las dimensiones especificadas, siendo colocado en la obra de acuerdo con las indicaciones de los planos estructurales. Los estribos y otras piezas de acero en contacto con otra armadura se asegurarán adecuadamente mediante alambre galvanizado o negro, con el fin de evitar desplazamientos. Para el acero de refuerzo, se utilizarán varillas redondas corrugadas, con un límite de fluencia $f_y=4.200 \text{ Kg/cm}^2$, cumpliendo con las Normas ASTM A615 y A-706.

Unidad: kilogramo (kg).

Materiales mínimos: alambre galvanizado N°18, Acero de refuerzo $f_y= 4200 \text{ kg/cm}^2$.

Mano de obra mínima calificada:

- Fierro (Estruc. Ocup. D2),
- Peón (Estruc. Ocup. E2),
- Maestro de Obra (Estruc. Ocup. C1)

Equipo mínimo: Cortadora/ dobladora, Herramienta menor

Ejecución

- **Selección:** Se empleará acero dulce laminado en caliente, específicamente del tipo corrugado de grado A63/42 con un límite de fluencia $f_y=4.200 \text{ Kg/cm}^2$, en todos los componentes de la estructura principal, incluyendo cimentación, columnas, vigas, losas, estribos y escaleras.
- Las varillas de refuerzo deberán cumplir con las especificaciones de las normativas INEN-136 para acero estructural, ASTM-370 y 372 para la prueba de mecánica de productos de acero, e INEN-102 para varillas corrugadas de acero de lingote destinadas al refuerzo de concreto.
- Con el objetivo de asegurar una buena adherencia al concreto, las varillas de refuerzo deben cumplir con los requisitos mínimos de las "corrugaciones de varillas de acero corrugado para refuerzo de concreto ASTM-305" y deben estar libres de oxidación excesiva, escamas u otras sustancias que puedan afectar dicha adherencia.
- **Doblado:** Se llevará a cabo de acuerdo con los planos e instrucciones detalladas, siguiendo las tolerancias permitidas. Este proceso se realizará en frío y a velocidad moderada mediante medios mecánicos, prohibiendo expresamente el calentamiento de las barras de refuerzo para su doblado.
- **Colocación:** Las barras de acero se posicionarán conforme a las indicaciones de los planos y cortes de los planos estructurales, amarrándolas con alambre u otros dispositivos metálicos en todos sus cruces y asegurándolas firmemente durante el vaciado del hormigón. Para el amarre se utilizará alambre recocido #18.

El espaciamiento de la armadura de refuerzo con respecto a los encofrados se realizará mediante bloques de mortero, espaciadores metálicos o sistemas de suspensión aprobados por la fiscalización.

Forma de Pago: La verificación de la cantidad precisa de kilogramos de acero de refuerzo instalados en la obra se llevará a cabo en colaboración con la fiscalización y de acuerdo con el plano estructural.

CAPÍTULO 4

4. ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL

4.1. Descripción del proyecto

El alcance del presente estudio de impacto ambiental se concentra en las fases de obtención de materia prima, diseño del hormigón y diseño estructural de la vivienda de interés social. Este enfoque específico se alinea con los siguientes ODS:

- ODS 1: Fin de la pobreza
- ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles
- ODS 12: Producción y consumo responsables
- ODS 15: Vida de Ecosistemas Terrestres

Como se mencionó en apartados anteriores el proyecto se desarrolla en Guayaquil, con material reciclado que incorpora agregados procedentes de las Galápagos. La obtención del material reciclado mezcla y ensayos realizados se llevaron a cabo mediante equipos especializados. Además, se usó recursos como arena, piedra, agua, cemento y aditivos.

La medición y caracterización del impacto ambiental se realizó utilizando la escala de valoración cualitativa (Tito, 2010) permitiendo una evaluación precisa de los efectos generados al entorno.

Con el objetivo de minimizar dicho impacto, se propone:

- Control de los recursos: Implementación de informes de consumo, minimización y ahorro de recursos naturales y no naturales en cada fase del proyecto.
- Capacitaciones: Charlas al personal sobre salud y seguridad industrial para garantizar prácticas seguras.
- Gestión efectiva de desechos y residuos: Establecimiento de un sistema eficaz para la gestión tanto de desechos como residuos, promoviendo prácticas ambientalmente responsables.

4.2. Línea base ambiental

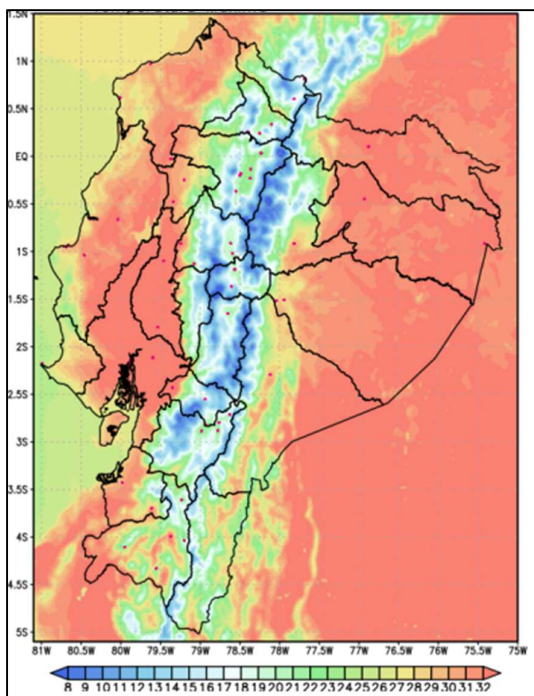
4.2.1. Medio físico químico inerte

4.2.1.1. Clima

En la provincia del Guayas predomina un clima tropical cálido con temperaturas anuales que varían entre los 24°C y 30°C (Secretaría Nacional de Riesgos, 2014) como se observa en la Figura 4.1.

Figura 4.1

Pronóstico de temperatura máxima



Nota: Datos tomados del INHAMI (2023)

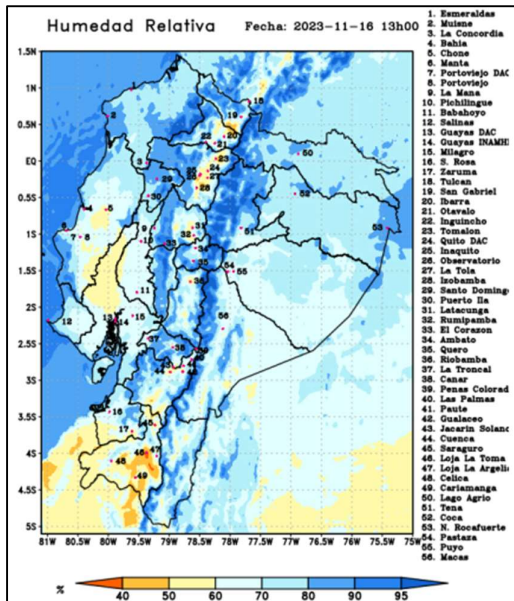
En Ecuador, se experimenta dos estaciones: invierno, caracterizado por la temporada de lluvias que abarca de enero a mayo; y el verano, que corresponde a la época seca de junio a diciembre (SGR, 2014)

La precipitación anual varía entre 361 mm y 1442 mm, presentando los valores más altos en la parroquia Tenguel, característicos de un bioclima pluviestacional (Alcaldía de Guayaquil, 2021).

Dada su ubicación cerca del océano Pacífico, la ciudad tiende a tener niveles de humedad relativamente altos (INHAMI, 2023). En la Figura 4.2. se muestra el rango para la provincia del Guayas y el resto del Ecuador.

Figura 4.2

Pronóstico de porcentaje de humedad relativa en Ecuador



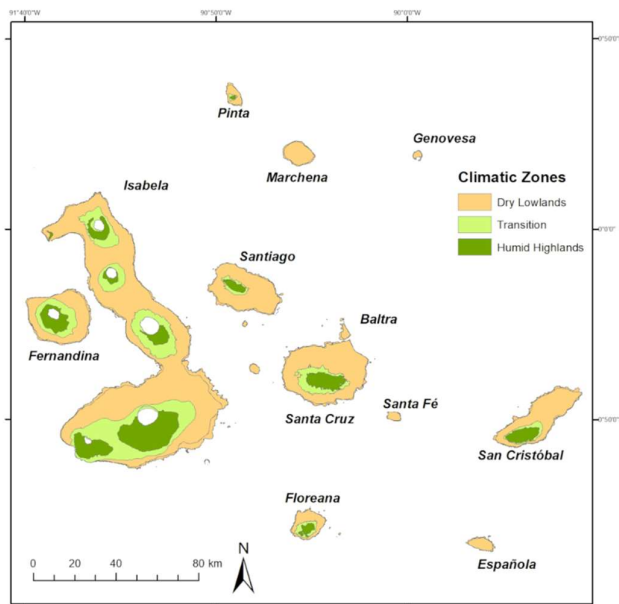
Nota: Datos tomados del INHAMI (2023)

Considerando que Las Galápagos se encuentran aisladas del continente, no experimenta el mismo clima tropical que la Costa. La topografía, las corrientes y los vientos modulan la temperatura definiendo 2 estaciones (Nature Galápagos & Ecuador, 2023).

De enero a mayo, los vientos del sureste se debilitan, disminuyendo la influencia de las aguas frías de la Corriente de Humboldt marcando la estación cálida. Este período se caracteriza por altas temperaturas del mar y del aire, así como lluvias convectivas.

De junio a diciembre, los vientos se refuerzan generando nubes y llovizna persistente en áreas elevadas, mientras que en el resto del archipiélago casi no se presentan. Este suceso crea 2 zonas climáticas terrestres: la zona alta húmeda y la zona baja seca, incluyendo una de transición intermedia, tal como se observa en la Figura 4.3.

Figura 4.3
Zonas climáticas de las islas Galápagos



Nota: Datos tomados de Fundación Charles Darwin (2013)

4.2.1.2. Suelo

Guayaquil, es una ciudad portuaria en la cuenca del Río Guayas, su ubicación en el golfo contribuye a la acumulación de materiales aluviales alto en arcilla.

La ciudad tiene zonas con suelos blancos de hasta 30-35 metros de profundidad, con comportamiento plástico. Su perfil estratigráfico varía incluyendo capas de arcilla, limo, arenisca con diferentes niveles de rigidez y respuesta sísmica (Moncayo, et al., 2017)

En las Galápagos, los suelos son mayormente superficiales, aunque en áreas húmedas puede extenderse hasta los 3 metros de profundidad. Es una zona volcánica, formada por rocas basálticas y pequeños conos de lava. En la costa, se observan playas con rocas negras y rojas, resultado de la abrasión marina (GAD Santa Cruz, 2012).

4.2.1.3. Agua

Guayaquil se ubica en 11 subcuencas, donde las más destacadas son: Río Daular, Isla Puná, Río Chongón y Estero del Morro (PROMSA, 2011). A pesar de esto, en el litoral, incluido

Guayaquil, se observan valores bajos de disponibilidad de agua en comparación a otras regiones del país (Secretaría del Agua, 2017).

Un estudio de la revista Water revela que el agua tratada en Santa Cruz es de buena calidad, pero su contaminación proviene de su distribución y almacenamiento (Mateus, 2019). Además, su capital, no cuenta con planta de tratamiento de aguas servidas (Orbe, 2019)

4.2.1.4. Aire

Debido a la mayor concentración de fuentes contaminantes fijas y móviles, se generan emisiones de material particulado, gases y ruido. Entre estas, las principales fuentes son las industrias, automotores y centrales termoeléctricas (Senplades, 2015)

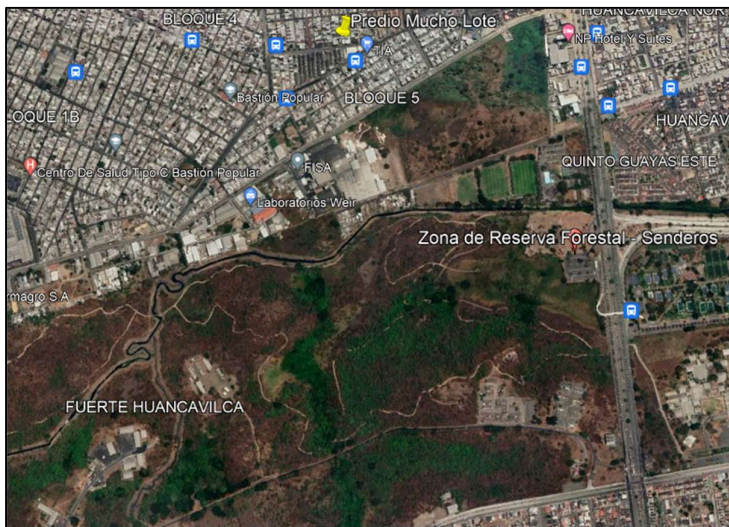
Según la metodología empleada en el proyecto de “Estudio de calidad del aire en la ciudad de Guayaquil”, se determina que la principal contribución de contaminación proviene de las operaciones en el Aeropuerto José Joaquín de Olmedo. Mediante un modelo de dispersión de contaminantes, se pudo obtener que el monóxido de carbono tiene la tasa de emisión más alta. Sin embargo, usando el software AERMOD View, herramienta de simulación de modelos de dispersión de aire (Silva, 2011), dichas concentraciones máximas no superan los límites legales expresados en la TULSMA (García, 2021)

4.2.2. Medio físico biótico

4.2.2.1. Flora y fauna

Dentro Guayaquil, se encuentran diversas áreas que forman parte del Sistema Nacional de áreas Protegidas (SNAP), reguladas por el Estado. Un ejemplo, se visualiza en la Figura 4.4, el área Nacional de Recreación Los Samanes, donde la Reserva Forestal Senderos, está ubicada a 600 metros del predio seleccionado para el proyecto (Dirección de Ambiente de Guayaquil, 2020).

Figura 4.4
Zona de reserva Forestal Senderos



Nota: Datos tomados de Fundación Google Earth (2023)

La policía nacional ha dado varios informes sobre intentos persistentes en invasiones en el bosque seco. En operativos realizados en mayo de este año se detuvieron a 23 personas que realizaban desbroce y parcelación ilegal.

El 95% de la Isla Santa Cruz se encuentra protegida como Parque Nacional. Al ser un patrimonio natural, su zonificación y gestión depende del MAE (GAD Santa Cruz, 2012).

En esta isla se ubican dos minas dentro del Parque Nacional, la mina “Granillo Rojo” y “Granillo Negro”. El uso de los materiales extraídos se clasifica en cuatro categorías: fabricación de bloques, construcción de viviendas, mantenimiento de vías privadas y obras públicas (DNPG, 2009)

4.2.3. Medio humano

4.2.3.1. Medio socioeconómico

Mucho Lote 1 Etapa 5 limita con Bastión Popular, área caracterizada por altos índices de pobreza e inseguridad. En este sector, es evidente la presencia de consumo y venta de

estupefacientes. Además, la mayoría de los residentes son pequeños comerciantes cuyo ingreso mensual es inferior a 1 salario mínimo (Dirección de Obras Públicas, 2021)

Santa Cruz, el cantón más poblado, abarca el 61.3% de la provincia ha experimentado una reducción en su tasa de crecimiento demográfico debido a las migraciones. Los habitantes enfrentan problemas sociales y expresan sentirse poco atendidos por autoridades locales, generando desconexión con el territorio (GAD Santa Cruz, 2012).

4.2.3.2. Salud

De acuerdo con el Geo portal del Ministerio de Salud Pública (MSP), la parroquia Tarqui, a la cual pertenece la ubicación de estudio cuenta con 62 establecimientos de salud de la red pública.

Indicadores como la “Tasa de acceso a los servicios de salud” revelan que parroquias como Tarqui presentan mayores dificultades de acceso a servicios de salud, en relación con la carga potencial de pacientes por centro.

En el caso de Santa Cruz, la distancia de las islas del continente representa una significativa restricción en el acceso a servicio de salud. Aunque cuentan con vuelos para atención de urgencia, existen situaciones que ameritan atención especializadas inmediata (GAD Santa Cruz, 2012).

4.3. Actividades del proyecto

El proyecto comprende etapas de: obtención de materia prima, diseño del hormigón y diseño estructural. En la Tabla 4.1 se establece las actividades a realizar en cada fase que pueden provocar impactos ambientales.

Tabla 4.1
Actividades del proyecto

Fase	Labor	Acción
Obtención de materia prima reciclada	Extracción de residuos de hormigón.	Uso de maquinaria en caso de extraerse en demolición. Clasificación de residuos para separar materiales.
	Transporte	Uso de vehículo para el traslado. Selección de rutas eficientes.
	Trituración	Uso de maquinaria. Control de polvo.
	Ensayos de caracterización Dosificación	Uso de equipos de laboratorio. Determinación de proporciones de material. Incorporación de aditivos.
Diseño y producción del hormigón	Producción de probetas	Mezcla y moldeado de hormigón/Uso de maquinaria. Curado.
	Ensayos de hormigón en estado fresco y endurecido.	Uso de energía, producción de residuos.
	Evaluación de material	Evaluación de propiedades para cumplir con los requisitos estructurales.
Diseño estructural	Análisis estructural	Modelado y evaluación de cargas. Ajuste del diseño.
	Cumplimiento normativo	Asegurarse que el diseño cumpla con códigos estructurales y ambientales.

4.4. Identificación de impactos ambientales

Por medio de diagramas de redes se esquematiza los efectos ambientales positivos y negativos provocados por las actividades para el proyecto.

Figura 4.5
Diagrama de red de uso de maquinarias y equipos

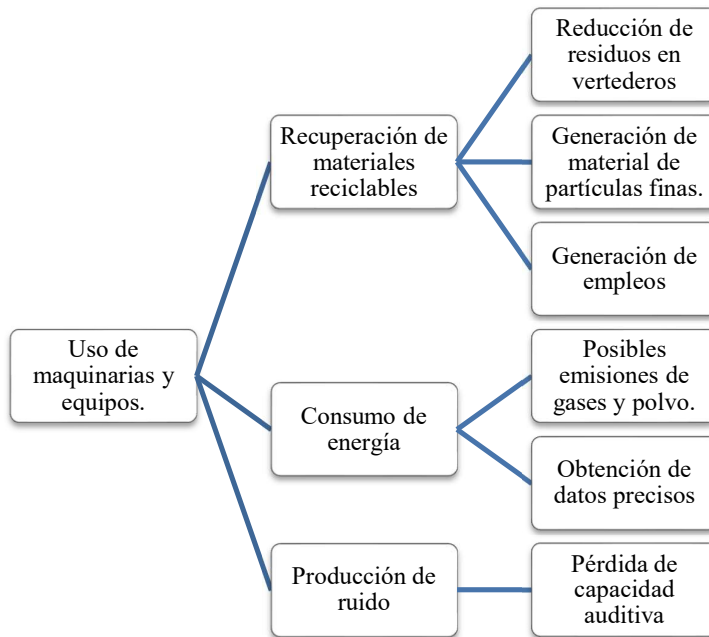


Figura 4.6
Diagrama de red de uso de vehículo

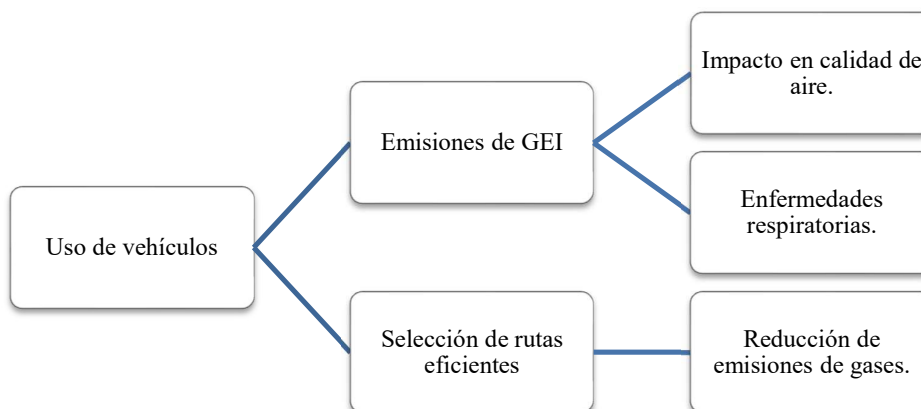


Figura 4.7
Diagrama de red de mezcla y moldeado

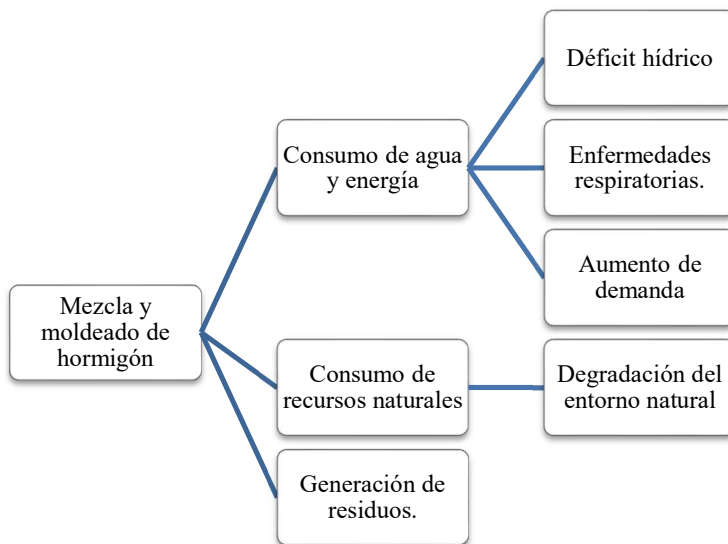
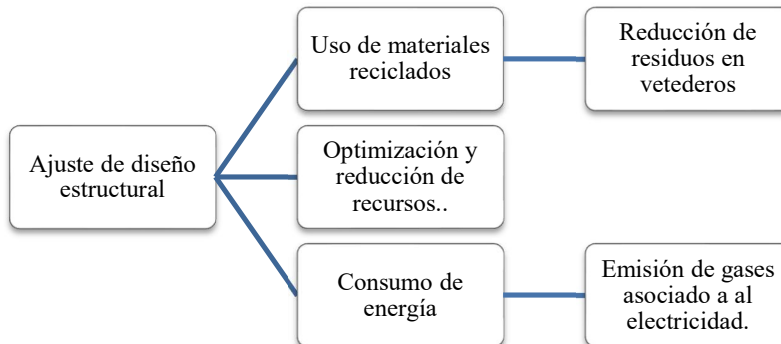


Figura 4.8
Diseño de red de ajuste de diseño estructural



4.5. Valoración de impactos ambientales

Tras la identificación del impacto, se obtiene un índice de la importancia del impacto de las actividades realizadas en el proyecto por medio de una valoración cualitativa simple. La valoración de importancia se realiza mediante la Ecuación 1, y la de impacto ambiental mediante la Ecuación 2, según Tito (2020).

$$Imp = We * E + Wd * D + Wr * R \quad (4.1)$$

Donde:

Imp = Valor de importancia del impacto ambiental

We = Peso de extensión

E = Valor de extensión

Wd = Peso de duración

D = Valor de duración

R = Valor de reversibilidad

Wr = Peso de reversibilidad

$$IA = \sqrt{Imp * |Mag|} \quad (4.2)$$

Donde:

IA = Valor de impacto ambiental

Mag = Valor de magnitud, (+) si es beneficioso, (-) si es perjudicial

4.5.1. Extensión del impacto

Hace referencia a la zona de influencia del impacto ambiental en relación con el entorno del proyecto (Tito, 2020). La evaluación se valora como se muestra en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2
Valoración de la extensión

Extensión	Valoración
Puntual	1
Particular	2.5
Local	5
Generalizada	7.5
Regional	10

Nota: Datos tomados de Tito, B (2020)

La valoración de la extensión del impacto ambiental provocado por las actividades del proyecto propuesta se presenta en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3
Matriz de Valoración de la Extensión del Impacto Ambiental

Componente ambiental afectado	Actividades del proyecto	Extracción de residuos	Transporte	Trituración	Ensayos de caracterización	Dosificación	Producción de probetas y ensayos	Evaluación de material	Análisis estructural
Suelo		1	0	0	0	0	5	0	0
Agua		0	1	1	1	0	1	0	0
Aire		2,5	10	2,5	1	0	1	0	0
Flora y fauna		0	0	0	0	0	1	0	0
Economía y social		5	1	5	1	1	1	1	1
Salud		2,5	7,5	1	1	1	1	1	1

4.5.2. Duración del impacto

Tiempo durante el cual se experimenta la afectación, esta puede ser temporal, permanente o periódica, Adicionalmente, considera las posibles implicaciones futuras (Tito, 2020). La valoración se muestra en la Tabla 4.4 y en la Tabla 4.5 la matriz respecto al proyecto.

Tabla 4.4
Valoración de duración

Duración	Valoración
Esporádica	1
Temporal	2.5
Periódica	5
Recurrente	7.5
Permanente	10

Nota: Datos tomados de Tito, B (2020)

Tabla 4.5
Matriz de Valoración de la Duración del Impacto Ambiental

Componente ambiental afectado	Actividades del proyecto	Extracción de residuos	Transporte	Trituración	Ensayos de caracterización	Dosificación	Producción de probetas y ensayos	Evaluación de material	Análisis estructural
Suelo		5	0	0	0	0	2,5	0	0
Agua		5	1	1	2,5	0	5	0	0
Aire		5	5	5	1	0	2,5	0	0
Flora y fauna		0	0	0	0	0	0	0	0
Economía y social		5	5	2,5	7,5	1	10	5	5
Salud		2,5	1	2,5	1	1	1	1	1

4.5.3. Reversibilidad del impacto

Se refiere a la capacidad de restaurar las condiciones iniciales una vez ocurrido el impacto ambiental. La Tabla 4.6 muestra las ponderaciones para cada nivel y la Tabla 4.7 corresponde a la matriz del proyecto.

Tabla 4.6
Valoración de reversibilidad

Extensión	Valoración
Esporádica	1
Temporal	2.5
Periódica	5
Recurrente	7.5
Permanente	10

Nota: Datos tomados de Tito, B (2020)

Tabla 4.7
Matriz de Valoración de la Reversibilidad del Impacto Ambiental

Componente ambiental afectado	Extracción de residuos	Transporte	Trituración	Ensayos de caracterización	Dosificación	Producción de probetas y ensayos	Evaluación de material	Análisis estructural
Suelo	7,5	0	0	0	0	7,5	0	0
Agua	1	2,5	2,5	2,5	0	5	0	0
Aire	5	7,5	7,5	1	0	2,5	0	0
Flora y fauna	0	0	0	0	0	2,5	0	0
Economía y social	1	1	1	1	1	1	1	1
Salud	2,5	1	2,5	1	1	2,5	1	1

4.5.4. Índice del impacto ambiental

Para el cálculo del impacto, se tomarán en cuenta las ponderaciones reflejadas en la Tabla 4.8.

Tabla 4.8
Ponderación de factores para cálculo de impacto

Criterio	Ponderación
Extensión	0.35
Duración	0.35
Reversibilidad	0.30

Nota: Datos tomados de Tito, B (2020)

Con ayuda de la Ecuación 4.1, se obtiene los valores mostrados en la Tabla 4.9 para la importancia del impacto ambiental de cada actividad.

Tabla 4.9
Matriz de valoración de Índice de importancia

Componente ambiental afectado	Actividades del proyecto	Extracción de residuos	Transporte	Trituración	Ensayos de caracterización	Dosificación	Producción de probetas y ensayos	Evaluación de material	Análisis estructural
Suelo		4,4	0	0	0	0	4,9	0	0
Agua		2,1	1,5	1,5	2	0	3,6	0	0
Aire		4,1	7,5	4,9	1	0	2	0	0
Flora y fauna		0	0	0	0	0	1	0	0
Economía y social		3,8	2,4	2,9	3,3	1	4,2	2,4	2,4
Salud		2,5	3,3	2	1	1	1,5	1	1

En la Tabla 4.10: Matriz de valoración de magnitud, se tomó en cuenta que (+) será beneficioso y (-) perjudicial.

Tabla 4.10
Matriz de Valoración de la Magnitud del Impacto

Componente ambiental afectado	Actividades del proyecto	Extracción de residuos	Transporte	Trituración	Ensayos de caracterización	Dosificación	Producción de probetas y ensayos	Evaluación de material	Análisis estructural
Suelo		-5	0	0	0	0	-7,5	0	0
Agua		-1,5	-1	-1,5	-2,5	-1	-5	0	0
Aire		-5	-7,5	-5	-1	0	-2,5	0	0
Flora y fauna		0	0	0	0	0	-2,5	0	0
Economía y social		5	3	4	1	1	3	2	2
Salud		-2	-1	-2,5	-1	-1	-1,5	-1	-1

Usando la Ecuación 4.2, se obtienen los valores de la Tabla 4.11 que corresponde al índice de impacto ambiental de las actividades realizadas en cada fase.

Tabla 4.11
Matriz cuantitativa de valoración de Impacto ambiental

Componente ambiental afectado	Actividades del proyecto	Extracción de residuos	Transporte	Trituración	Ensayos de caracterización	Dosificación	Producción de probetas y ensayos	Evaluación de material	Análisis estructural
Suelo		-4,7	0,0	0,0	0,0	0,0	-6,0	0,0	0,0
Agua		-1,8	-1,2	-1,5	-2,2	0,0	-4,2	0,0	0,0
Aire		-4,5	-7,5	-4,9	-1,0	0,0	-2,2	0,0	0,0
Flora y fauna		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,7	0,0	0,0
Economía y social		4,4	2,7	3,4	1,8	1,0	3,5	2,2	2,2
Salud		-2,2	-1,8	-2,2	-1,0	-1,0	-1,5	-1,0	-1,0

La categorización de los valores de impactos calculados en la matriz de Leopold se ilustra en la Tabla 4.12.

Tabla 4.12
Categorización de valores de impacto

Calificación	Valoración
Altamente significativo	$ IA \geq 6.5$
Significativo	$4.5 \geq IA \geq 6.5$
Despreciable	$ IA < 4.5$
Benéfico	$IA > 0$

Nota: Datos tomados de Tito, B (2020)

Bajo todas estas valoraciones, se obtuvo la valoración cualitativa presentada por la matriz de Leopold en la Tabla 4.13.

Tabla 4.13
Matriz cualitativa de valoración de Impactos Ambientales

Componente ambiental afectado	Actividades del proyecto								
	Extracción de residuos	Transporte	Trituración	Ensayos de caracterización	Dosificación	Producción de probetas y ensayos	Evaluación de material	Análisis estructural	
Suelo	Significativo	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Significativo	Ninguno	Ninguno	
Agua	Despreciable	Despreciable	Despreciable	Despreciable	Ninguno	Despreciable	Ninguno	Ninguno	
Aire	Despreciable	Altamente significativo	Significativo	Despreciable	Ninguno	Despreciable	Ninguno	Ninguno	
Flora y fauna	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Despreciable	Ninguno	Ninguno	
Economía y social	Benéfico	Benéfico	Benéfico	Benéfico	Benéfico	Benéfico	Benéfico	Benéfico	
Salud	Despreciable	Despreciable	Despreciable	Despreciable	Despreciable	Despreciable	Despreciable	Despreciable	

En conclusión, el análisis de valoración de impactos ambientales, a través de la matriz de Leopold, arroja resultados alentadores en cuanto a la mayoría de las fases del proyecto. Se destaca que la mayoría no genera impactos significativos. No obstante, se identifica que el transporte, es altamente significativo por el uso de combustibles.

También es importante resaltar que, desde la perspectiva económica y social, el proyecto demuestra ser beneficioso. Las actividades asociadas generan oportunidades laborales, contribuyendo positivamente a este componente.

4.6. Medidas de prevención/mitigación

El Plan de Manejo Ambiental es un documento compuesto por medidas y programas diseñados para prevenir, mitigar, corregir y compensar los posibles impactos al entorno natural. Su objetivo es garantizar que el proyecto se desarrolle de forma sostenible (Aspirilla et al., 2016).

Las tablas mostradas a continuación se refieren a los planes sugeridos para cada fase del presente proyecto.

Tabla 4.14
PMA de la obtención de materia prima reciclada

Medida	Impacto	Responsable	Momento	Ubicación	Actividades y recursos
Implementar un plan de controles de calidad en el proceso y mitigar el desperdicio de materiales	Recuperación de materiales reciclables	Personal operativo	Después de una demolición o rotura de probetas	Obra por desmantelar o laboratorio	Plan de control de calidad e indicadores de gestión y manejo de residuos.
Los recipientes que contengan combustibles y/o lubricantes deberán estar rotulados y etiquetados, acorde a la norma INEN correspondiente	Consumo de combustible	Personal operativo	Uso de maquinaria y vehículos pesados	Ruta	Registro fotográfico al menos una vez (si la duración de la fase es menor a seis meses) del área de Almacenamiento de sustancias químicas
Mantener registros de consumo de energía e implementar medidas de disminución y ahorro de esta.	Consumo de energía eléctrica	Personal operativo	Trituración y caracterización de agregados	Obra por desmantelar o laboratorio	Informe de medidas de disminución y ahorro de energía. Registros mensuales de consumo energético (eficiencia energética)
Mantener registros de consumo de agua e implementar medidas de disminución y ahorro	Consumo de agua	Personal operativo	Control de polvo y caracterización de agregados	Obra por desmantelar o laboratorio	Informe de medidas de disminución y ahorro de agua. Registros mensuales de consumo

Uso adecuado del equipo de protección auditivo.	Producción de ruido	Personal operativo	Demolición y trituración	Obra por desmantelar o laboratorio	Registro fotográfico semestral (si la duración de la fase es igual o mayor a seis meses) o al menos una vez (si la duración de la fase es menor a seis meses) e informe de medidas implementadas
Rociado de agua en áreas propensas a generar polvo durante la recolección y trituración. Capacitación de prácticas seguras y el uso adecuado de EPP.	Generación de polvo	Personal operativo	Demolición y trituración	Obra por desmantelar o laboratorio	Informe y reporte fotográfico de control de polvo. Acta de asistentes de capacitaciones. Fichas médicas de monitoreo.

Tabla 4.15
PMA del diseño de hormigón

Diseño y producción del hormigón					
Medida	Impacto	Responsable	Momento	Ubicación	Actividades y recursos
Mantener registros de consumo de energía e implementar medidas de disminución y ahorro de la misma.	Consumo de energía	Personal técnico y operativo de Laboratorio	Uso de equipos o maquinaria	Laboratorio	Informe de medidas de disminución y ahorro de energía. Registros mensuales de consumo energético (eficiencia energética)
Mantener registros de consumo de agua e implementar medidas de disminución y ahorro	Consumo de agua	Personal técnico y operativo de Laboratorio	Mezcla de hormigón y limpieza	Laboratorio	Informe de medidas de disminución y ahorro de agua. Registros mensuales de consumo
Uso adecuado del equipo de protección auditivo.	Producción de ruido	Personal operativo	Mezcla de hormigón y limpieza	Laboratorio	Registro fotográfico semestral (si la duración de la fase es igual o mayor a seis meses) o al menos una vez (si la duración de la fase es menor a seis meses) e informe de medidas implementadas
Mantener registros de consumo de recursos e implementar medidas de disminución y ahorro de estos	Consumo de recursos naturales	Personal técnico y operativo de Laboratorio	Mezcla de hormigón y ensayos	Laboratorio	Informe de medidas de disminución y ahorro. Registros mensuales de consumo

Mantener registros de la generación propia de residuos - desechos no peligrosos del proyecto, obra o actividad. Se detallarán fechas, tipo de residuos-desechos, origen, cantidad, destino final.	Generación de residuos	Personal técnico y operativo de Laboratorio	Mezcla de hormigón y ensayos	Laboratorio	Bitácora de generación de residuos o desechos no peligrosos.
---	------------------------	---	------------------------------	-------------	--

Tabla 4.16
PMA del diseño estructural

Diseño estructural					
Medida	Impacto	Responsable	Momento	Ubicación	Actividades y recursos
Mantener registros de consumo de energía e implementar medidas de disminución y ahorro de esta.	Consumo de energía	Diseñador/ personal técnico	Diseño y análisis de la estructura	Lugar de trabajo del diseñador	Informe de medidas de disminución y ahorro de energía. Registros mensuales de consumo energético (eficiencia energética)

CAPÍTULO 5

5. PRESUPUESTO

5.1. Estructura Desglosada de Trabajo

En el marco de este proyecto, el alcance corresponde a la línea de materiales y diseño estructural por medio de la verificación del desempeño estructural de una vivienda con el material propuesto. En la Figura 5.1, se expone el EDT para visualizar los componentes de este proyecto, desde su planificación inicial hasta la entrega final. Además, se incluye en la Figura 5.2 el EDT, en el caso de implementar este diseño.

Figura 5.1
EDT del proyecto Integrador

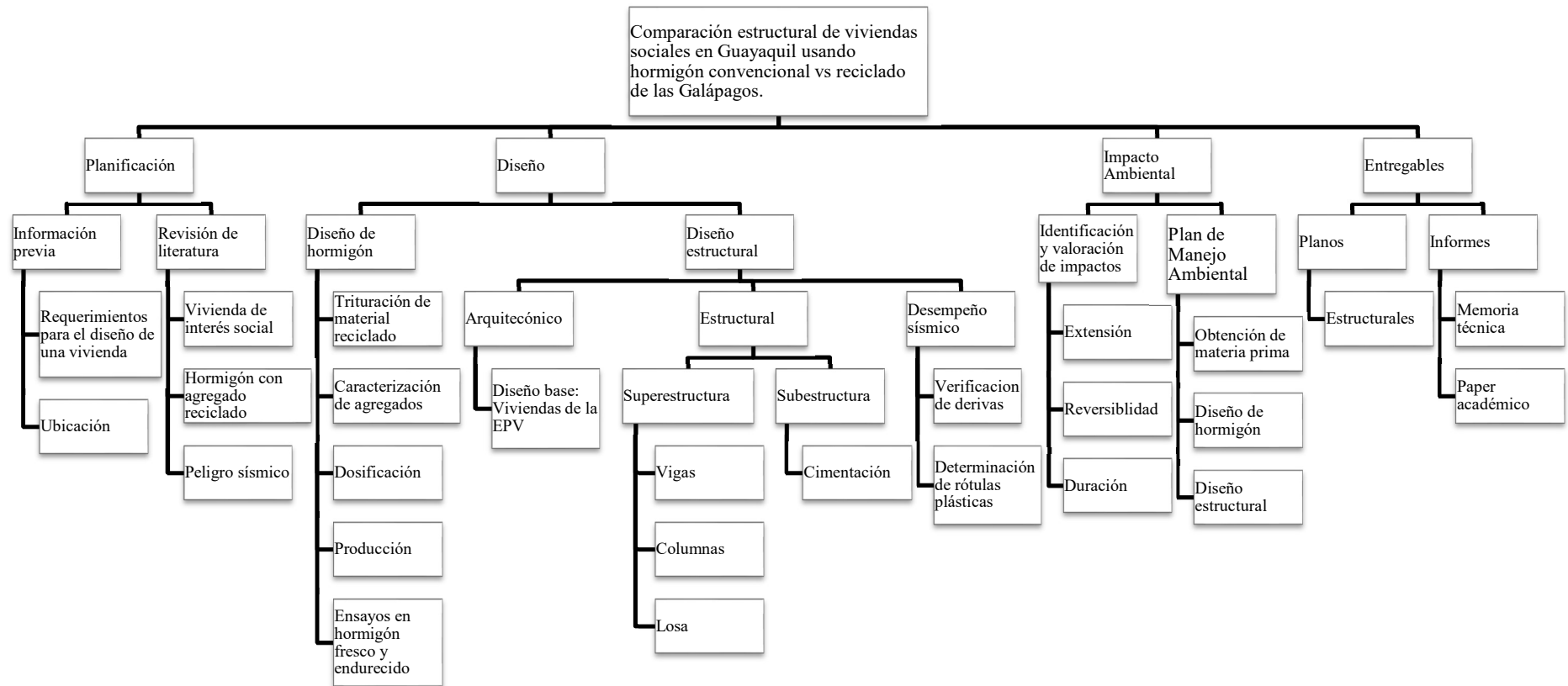
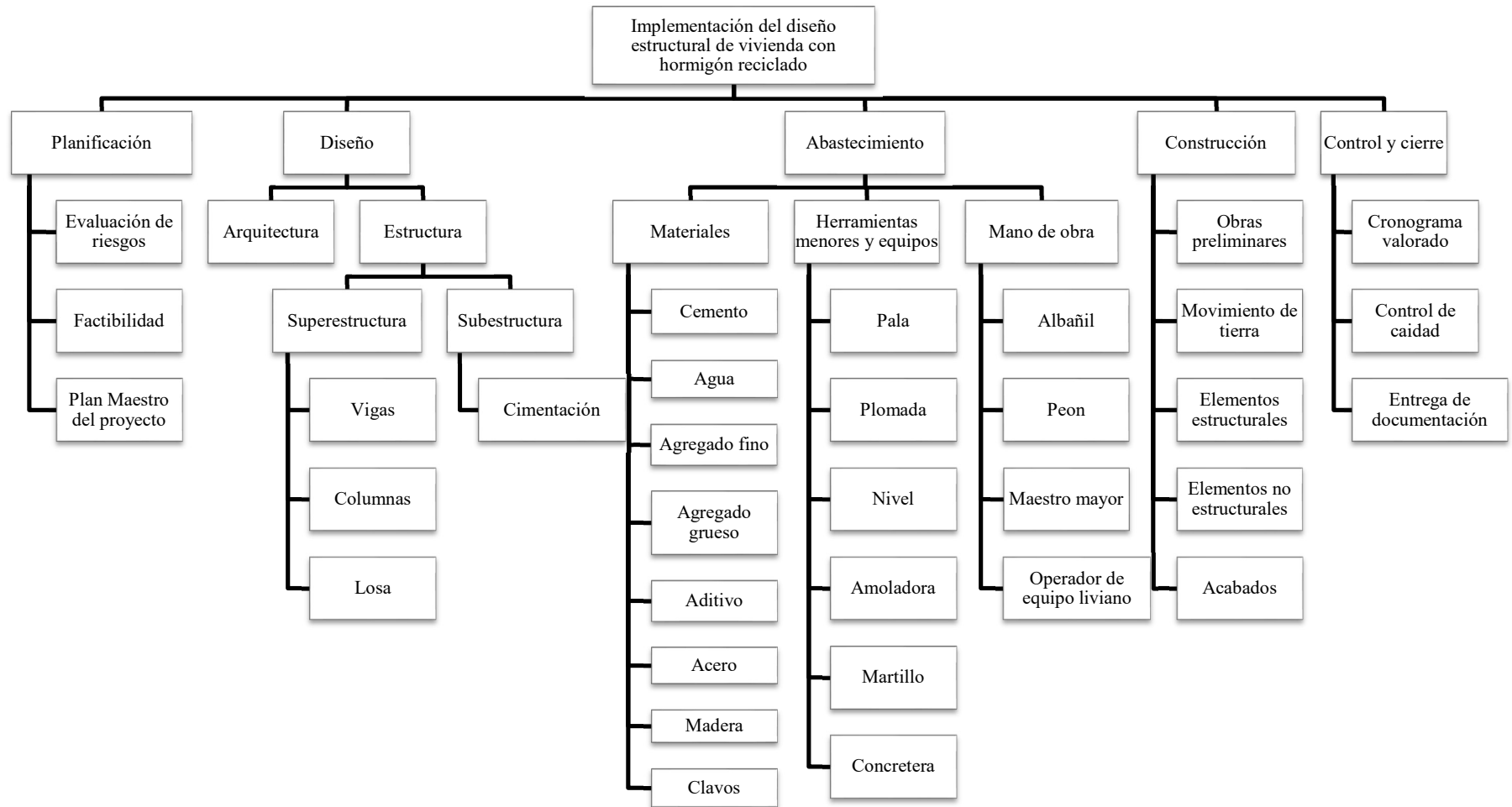


Figura 5.2
EDT de la implementación de diseño estructural de vivienda



5.2. Rubros y análisis de precios unitarios

5.2.1. Rubros

Para este proyecto y futura construcción del mismo, la Tabla 5.1 detalla los rubros considerados con base al Servicio Nacional de Contratación Pública del Ecuador 2023 (SERCOP, 2023).

Tabla 5.1

Descripción de Rubros para la construcción de una casa de hormigón armado

ITEM	RUBRO
1	Obras Preliminares
1.1	Desbroce y Limpieza del terreno
1.2	Replanteo y nivelación
2	Movimiento de tierra
2.1	Excavación a máquina
2.2	Desalojo de materiales
2.3	Relleno y compactación con material de mejoramiento
3	Estructura de hormigón armado
3.1	Replanteo de hormigón simple $f'c = 140 \text{ Kg/cm}^2$ $e=5\text{cm}$
3.8	Contrapiso Hormigón $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ $e=1 \text{ cm}$
3.2	Suministro y vertido de Hormigón 210 kg/cm^2 . para plintos y riostras + refuerzo y encofrado
3.3	Hormigón simple en columnas $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ + encofrado
3.4	Hormigón simple en vigas $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ + encofrado
3.5	Losa nervada $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ + encofrado
3.6	Hormigón estructural para escalera + encofrado
3.7	Acero de refuerzo en barras $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$
3.9	Mampostería de bloque $e = 15\text{cm}$
3.10	Enlucido interior y exterior
4	Cubierta
4.1	Suministro y montaje de estructura metálica de cubierta
5	Indirectos
5.1	Imprevistos (1% CD)
5.2	Seguros y Pólizas (1% CD)
5.3	Diseños
5.4	Servicios Básicos

5.2.2. Análisis de precios unitarios

Con el fin de conocer el presupuesto final del proyecto, se elaboró un análisis de precios unitarios por cada rubro.

En este apartado se muestran las composiciones del hormigón convencional y por otro lado, las del hormigón reciclado. Este comparativo tiene por objetivo conocer las variaciones de costo que tendrán ambas viviendas al ejecutarse constructivamente. Además, es importante señalar que los honorarios por hora y rendimientos de cada trabajador o maquinaria se analizarán con base a la tabla de salarios mínimos y precios estándar, normados en el Ecuador por la Contraloría General del Estado para el año 2023.

El análisis de precios unitarios del proyecto se detalla en la sección de anexos.

5.3. Descripción de cantidades de obra

La cuantificación de cantidades por rubro se realizó a partir de las tablas de planificación del software Revit en donde se encontró la cantidad de hormigón para zapatas, columnas, vigas y losas que la estructura requiere. De la misma manera, se presenta a través del programa, la cantidad de acero total requerido para todos los elementos estructurales de la estructura.

Las Tablas de cantidades proporcionadas por el programa Revit, se encuentran adjuntas en la sección de anexos.

5.4. Valoración integral del costo del proyecto

Tras el análisis, descripción de costos unitarios y detalle de rubros adecuados del proyecto, se concluye que las viviendas de hormigón armado convencional y reciclado tendrán un valor de \$25228,24 y \$25206,25 dólares respectivamente, tal como se muestra en las Tablas 5.2 y 5.3. Estos valores reflejan que la estructura de hormigón reciclado tiene una ligera disminución en el valor total por obra gris en su construcción.

Los precios analizados corresponden al 40% del costo final de las viviendas dado que las valoraciones fueron realizadas con base a la obra gris de la estructura. A partir de este antecedente y, los cálculos realizados para evaluar el costo final de la obra, se concluye que el precio total por metro cuadrado de las viviendas es \$394 dólares.

En Ecuador, el m² de construcción se encuentra aproximadamente entre \$365 y \$1500 dólares (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2023). Por lo que se valida ambas viviendas dentro de los precios establecidos por ley.

Tabla 5.2
Presupuesto para una vivienda de hormigón convencional

ITEM	RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Obras Preliminares				1951,65
1.1	Desbroce y Limpieza del terreno	m ²	80,00	\$ 12,30	984,04
1.2	Replanteo y nivelación	m ²	80,00	\$ 12,10	967,61
2	Movimiento de tierra				3461,86
2.1	Excavación a máquina	m ³	120,00	\$ 9,12	1094,34
2.2	Desalojo de materiales	m ³	120,00	\$ 7,93	951,08
2.3	Relleno y compactación con material de mejoramiento	m ³	120,00	\$ 11,80	1416,44
3	Estructura de hormigón armado				15244,41
3.1	Replanteo de hormigón simple 140 Kg/cm ² e=5cm	m ³	4,00	\$ 124,93	499,73
3.8	Contrapiso Hormigón f'c 210 Kg/cm ² e=1 cm	m ³	0,80	\$ 73,90	59,12
3.2	Suministro y vertido de Hormigón 210 kg/cm ² para plintos y riostras + refuerzo y encofrado	m ³	9,50	\$ 154,62	1468,85
3.3	Hormigón simple en columnas f'c = 210 kg/cm ² + encofrado	m ³	5,28	\$ 232,63	1228,27
3.4	Hormigón simple en vigas f'c = 210 kg/cm ² + encofrado	m ³	5,84	\$ 211,65	1236,06
3.5	Losa nervada f'c = 210 kg/cm ² + encofrado	m ³	9,93	\$ 206,39	2049,40
3.6	Hormigón estructural para escalera + encofrado	m ³	0,90	\$ 158,96	143,07
3.7	Acero de refuerzo en barras fy = 4200 Kg/cm ²	kg	3360,69	\$ 2,00	6716,34
3.9	Mampostería de bloque e = 15cm	m ²	160,00	\$ 11,52	1843,56
3.10	Enlucido interior y exterior	m ²	160,00	\$ 8,01	1281,42
4	Cubierta				3320,74
4.1	Suministro y montaje de estructura metálica de cubierta	m ²	80,00	\$ 41,51	3320,74
5	Indirectos				1249,57
5.1	Imprevistos (1% CD)	glb	1,00	\$ 239,79	239,79
5.2	Seguros y Polizas (1% CD)	glb	1,00	\$ 700,00	700,00
5.3	Diseños	mes	1,00	\$ 70,00	70,00
5.4	Servicios Básicos	glb	1,00	\$ 239,79	239,79
TOTAL, COSTO DIRECTO					23978,66
COSTO INDIRECTO					1249,57
COSTO TOTAL					25228,24
ÁREA DE CONSTRUCCIÓN					80,00 m2

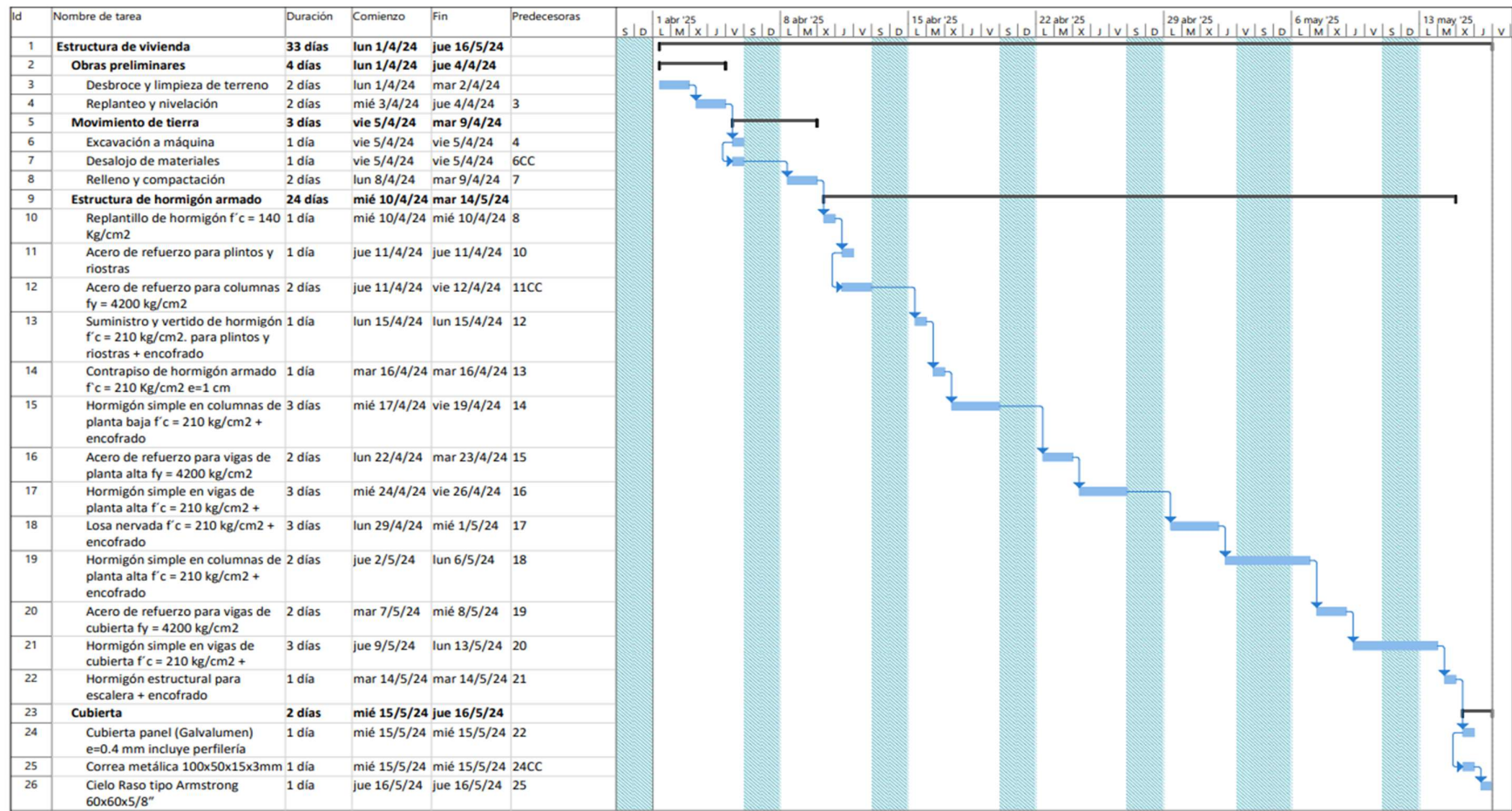
Tabla 5.3
Presupuesto para una vivienda de hormigón reciclado

ITEM	RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Obras Preliminares				1951,65
1.1	Desbroce y Limpieza del terreno	m ²	80,00	\$ 12,30	984,04
1.2	Replanteo y nivelación	m ²	80,00	\$ 12,10	967,61
2	Movimiento de tierra				3461,86
2.1	Excavación a máquina	m ³	120,00	\$ 9,12	1094,34
2.2	Desalojo de materiales	m ³	120,00	\$ 7,93	951,08
2.3	Relleno y compactación con material de mejoramiento	m ³	120,00	\$ 11,80	1416,44
3	Estructura de hormigón armado				15222,85
3.1	Replanteo de hormigón simple 140 Kg/cm ² e=5cm	m ³	4,00	\$ 124,43	497,72
3.8	Contrapiso Hormigón f'c 210 Kg/cm ² e=1 cm	m ³	0,80	\$ 69,27	55,41
3.2	Suministro y vertido de Hormigón 210 kg/cm ² para plintos y riostras + refuerzo y encofrado	m ³	9,50	\$ 154,11	1464,07
3.3	Hormigón simple en columnas f'c = 210 kg/cm ² + encofrado	m ³	5,28	\$ 232,12	1225,61
3.4	Hormigón simple en vigas f'c = 210 kg/cm ² + encofrado	m ³	5,84	\$ 211,15	1233,12
3.5	Losa nervada f'c = 210 kg/cm ² + encofrado	m ³	9,93	\$ 205,88	2044,40
3.6	Hormigón estructural para escalera + encofrado	m ³	0,90	\$ 158,46	142,61
3.7	Acero de refuerzo en barras fy = 4200 Kg/cm ²	kg	3360,69	\$ 2,00	6716,34
3.9	Mampostería de bloque e = 15cm	m ²	160,00	\$ 11,52	1843,56
3.10	Enlucido interior y exterior	m ²	160,00	\$ 8,01	1281,42
4	Cubierta				3320,74
4.1	Suministro y montaje de estructura metálica de cubierta	m ²	80,00	\$ 41,51	3320,74
5	Indirectos				1249,14
5.1	Imprevistos (1% CD)	glb	1,00	\$ 239,57	239,57
5.2	Seguros y Polizas (1% CD)	glb	1,00	\$ 700,00	700,00
5.3	Diseños	mes	1,00	\$ 70,00	70,00
5.4	Servicios Básicos	glb	1,00	\$ 239,57	239,57
	TOTAL, COSTO DIRECTO				23957,10
	COSTO INDIRECTO				1249,14
	COSTO TOTAL				25206,25
	ÁREA DE CONSTRUCCIÓN				80,00 m2

5.5. Cronograma de obra

Figura 5.3

Presupuesto para una vivienda de hormigón reciclado



CAPÍTULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

En el transcurso del proyecto integrador, se llevaron a cabo diversas evaluaciones para poder comprobar la viabilidad estructural de viviendas utilizando hormigón reciclado. Por medio de dichas evaluaciones se concluye:

La obtención de granulometría especificada para el hormigón implicó un proceso de múltiples iteraciones de trituración y tamizado con el fin de garantizar calidad y homogeneidad.

Se observó una reducción en la resistencia a la compresión conforme se incrementaba el porcentaje de agregado reciclado. La mezcla de hormigón con reemplazo del 10% de agregado grueso mostró una reducción del 8% en su resistencia con respecto al patrón, mientras que la reemplazada con 20% se redujo en un 18%. Esto se atribuye al aumento de la relación agua/cemento. El agregado, al contener mortero adherido, genera mayor cantidad de finos resultando en el requerimiento de una mayor cantidad de agua.

El análisis Pushover indica que tanto el hormigón convencional como el reciclado a resistencias equivalentes o diferentes muestran un comportamiento estructural aceptable bajo cargas gravitacionales y sísmicas. Mantienen un nivel de desempeño satisfactorio en cuanto a seguridad y respalda la viabilidad del hormigón reciclado en aplicaciones estructurales.

Bajo la bibliografía consultada, se reveló que el negocio del reciclaje de hormigón podría ser rentable llevando un proceso de calidad. Esto se debe a que, a pesar de la escasa información encontrada sobre la elaboración e implementación del material reciclado, su uso muestra de manera general una disminución en costos constructivos dentro de la vivienda, lo que demuestra que, bajo una producción más eficiente y comercial, puede generar grandes impactos beneficiosos a la económica dentro del sector constructivo.

Este proyecto promueve la investigación en el reciclaje de materiales y tecnología del hormigón, proporcionando una perspectiva innovadora en el país para enfrentar desafíos ambientales. Demuestra la importancia de promover prácticas sostenibles en la industria de la construcción, destacando la viabilidad del reciclaje de materiales para el diseño de viviendas. Además, presenta una alternativa para mitigar la degradación de ecosistemas naturales y explotación de recursos.

6.2. Recomendaciones

Se sugiere explorar métodos avanzados de trituración y tamizado para mejorar la eficiencia del proceso o más cercano a un proceso de producción real.

Se recomienda priorizar el uso del hormigón reciclado obtenido localmente. El uso de material reciclado de la misma región puede ofrecer ventajas en términos de logística, economía y sostenibilidad.

Se propone enfocar el diseño de la mezcla a las propiedades específicas del material reciclado, en lugar de seguir un patrón convencional. Esto podría maximizar la eficiencia y rendimiento.

Realizar un análisis de ciclo de vida, que abarque desde la extracción de la materia prima evaluando el impacto ambiental en términos de energía, emisión de carbono y el consumo de recursos.

Revisar y ajustar el diseño estructural para satisfacer las diversas demandas, con el objetivo de lograr un sistema más dúctil y económico.

Para una mayor comprensión del desempeño estructural, se sugiere realizar estudios adicionales que exploren la durabilidad a largo plazo del hormigón.

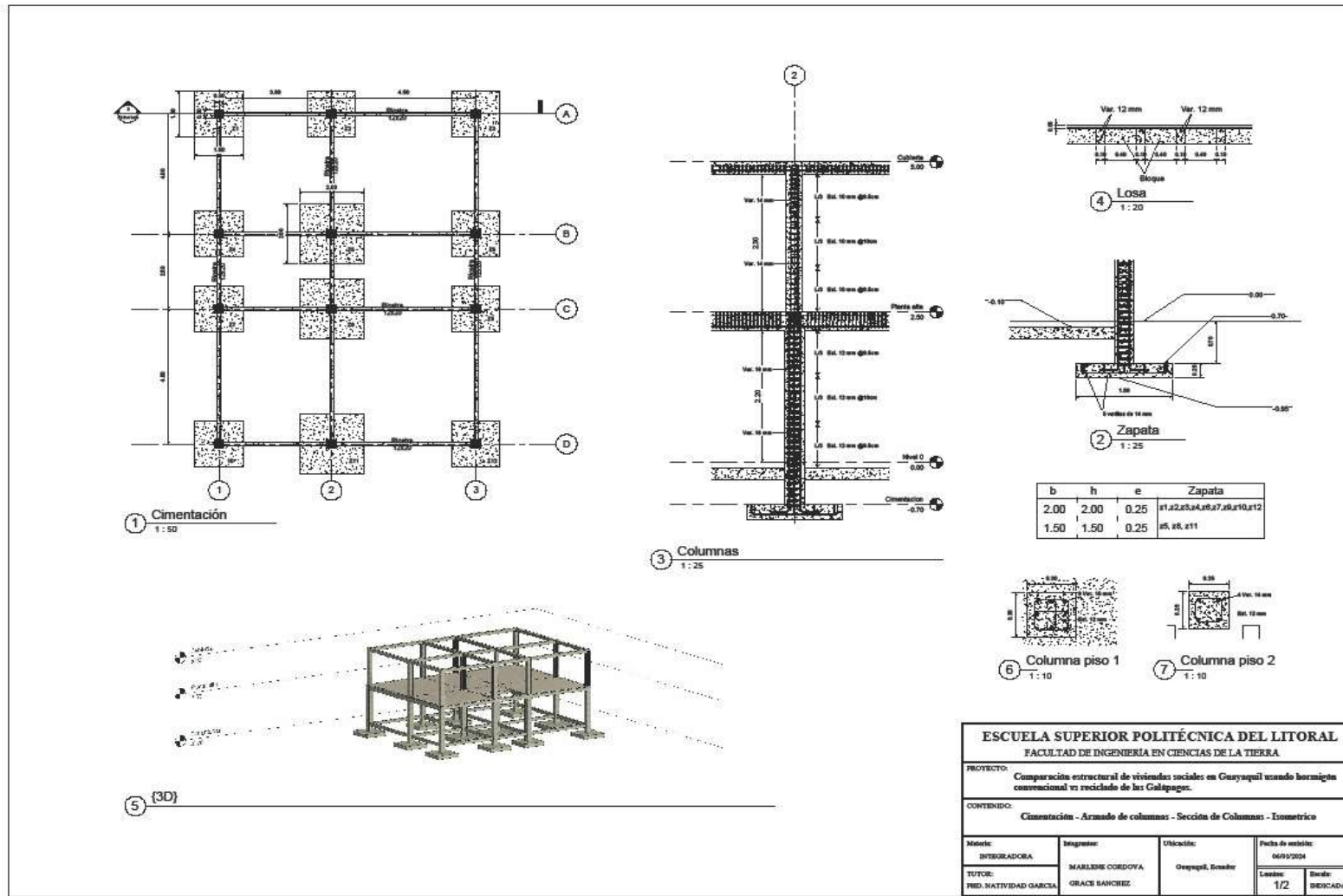
Se recomienda llevar a cabo una investigación enfocada en la viabilidad económica en el uso del hormigón reciclado, en donde se incluya una identificación de posibles oportunidades en el mercado y las actuales implementaciones que se llevan dentro del Ecuador.

Fomentar programas educativos dirigidos a la comunidad ecuatoriana y profesionales en la industria constructiva para promover la adopción del reciclaje de materiales y los beneficios que estos conllevan.

PLANOS Y ANEXOS

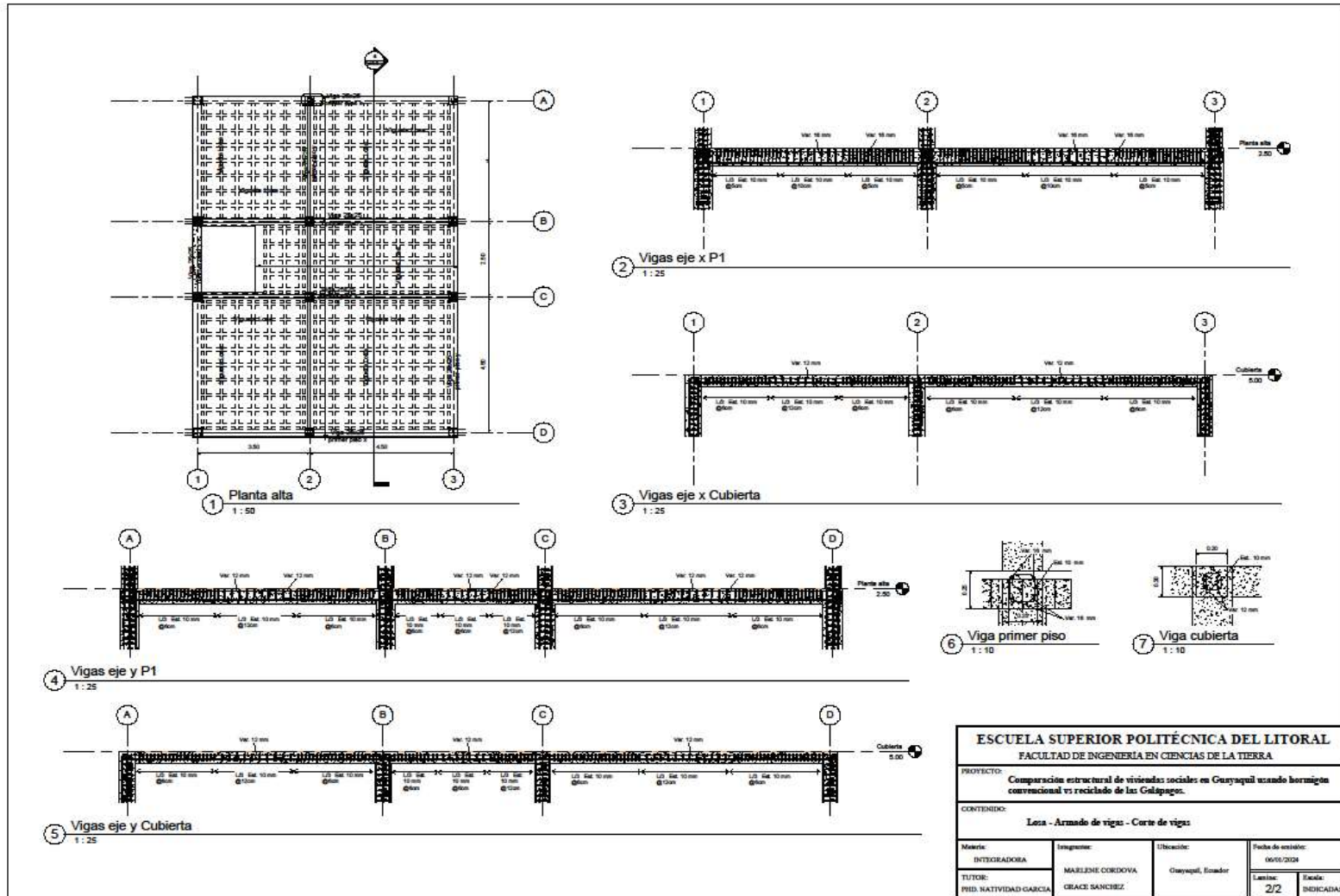
ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1: Cimentación – Columnas – 3D



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA			
PROYECTO: Comparación estructural de viviendas sociales en Guayaquil usando hormigón convencional vs reciclado de la Galápagos.			
CONTENIDO: Cimentación - Armado de columnas - Sección de Columnas - Isométrico			
Materia:	Integrante:	Ubicación:	Fecha de emisión:
INTEGRADORA	MARLENE CORDOYA	Guayaquil, Ecuador	06/03/2024
TUTOR:	GRACIE SANCHEZ		Laminas: 1/2 Dibujos: DIEZCADAS
FID. NATIVIDAD GARCIA			

PLANO 2: Losa – Vigas



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA			
PROYECTO: Comparación estructural de viviendas sociales en Guayaquil usando hormigón convencional vs reciclado de las Galápagos.			
CONTENIDO: Losa - Armado de vigas - Corte de vigas			
Materia:	Integración:	Ubicación:	Fecha de emisión:
INTRODUCORA	MARLENE CORDOVA	Guayaquil, Ecuador	06/05/2024
TUTOR:	GRACI SANCHEZ		Laminas:
PRD. NATIVIDAD GARCIA			2/2
			Escala:
			INDICADAS

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS (APUS)

Rubros compartidos para una estructura de hormigón convencional y hormigón reciclado.

PROYECTO:	Comparación estructural de viviendas sociales en Guayaquil usando hormigón convencional vs reciclado de las Galápagos.				Página 1
RUBRO:	1.1			UNIDAD:	m ²
DETALLE:	Desbroce y Limpieza del terreno				
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramientas menores (5% MO)			0,00		0,17
Retroexcavadora	1,00	27,00	27,00	0,1500	4,05
Volqueta	1,00	20,00	20,00	0,1500	3,00
Subtotal M					7,22
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/Hr	Costo hora	Rendimiento	Costo
Peón (ESTRUC.OCUP E2)	2,00	4,05	8,10	0,1500	1,22
CHOFER: Volquetas (ESTRUC. OCUP. C1)	1,00	5,95	5,95	0,1500	0,89
Operador de Retroexcavadora	1,00	4,55	4,55	0,1500	0,68
Maestro mayor (ESTRUC.OCUP C1)	1,00	4,55	4,55	0,1500	0,68
Subtotal N					3,47
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
				0,00	
				0,00	
Subtotal O					0,00
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Distancia	Cantidad	Tarifa	Costo
					0,00
Subtotal P					0,00
Total, costo directo (M+N+O+P)					10,70
Costo indirecto (15%)				15%	1,60
Valor total					12,30

PROYECTO:	Comparación estructural de viviendas sociales en Guayaquil usando hormigón convencional vs reciclado de las Galápagos.				Página 2
RUBRO:	1.2			UNIDAD:	m ²
DETALLE:	Replanteo y nivelación				
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramientas menores (5% MO)			0,00		0,43
Equipo Topográfico	1,00	1,87	1,87	0,5000	0,94
Subtotal M					1,37
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/Hr	Costo hora	Rendimiento	Costo
Cadenero (ESTRUC.OCUP D2)	2,00	4,10	8,20	0,5000	4,10
Maestro mayor (ESTRUC.OCUP C1)	1,00	4,55	4,55	0,5000	2,28
Topógrafo (ESTRUC.OCUP C1)	1,00	4,55	4,55	0,5000	2,28
Subtotal N					8,65
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
Estacas de madera, clavos, pintura, etc	Global	1,00	0,50	0,50	
				0,00	
Subtotal O					0,50
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Distancia	Cantidad	Tarifa	Costo
					0,00
Subtotal P					0,00
Total, costo directo (M+N+O+P)					10,52
Costo indirecto (15%)				15%	1,58
Valor total					12,10

PROYECTO:	Comparación estructural de viviendas sociales en Guayaquil usando hormigón convencional vs reciclado de las Galápagos.				Página 3
RUBRO:	2.1			UNIDAD:	m ³
DETALLE:	Excavación a máquina				
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Retroexcavadora	1,00	27,00	27,00	0,2000	5,40
Subtotal M					5,40
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/Hr	Costo hora	Rendimiento	Costo
Peón (ESTRUC.OCUP E2)	2,00	4,05	8,10	0,2000	1,62
Operador de Retroexcavadora	1,00	4,55	4,55	0,2000	0,91
Subtotal N					2,53
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
				0,00	
Subtotal O					0,00
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Distancia	Cantidad	Tarifa	Costo
					0,00
Subtotal P					0,00
Total, costo directo (M+N+O+P)					7,93
Costo indirecto (15%)				15%	1,19
Valor total					9,12

PROYECTO:	Comparación estructural de viviendas sociales en Guayaquil usando hormigón convencional vs reciclado de las Galápagos.				Página 4
RUBRO:	2.2			UNIDAD:	m ³
DETALLE:	Desalojo de materiales				
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramientas menores (5% MO)			0,00		0,11
Volqueta	1,00	30,00	30,00	0,1540	4,62
Subtotal M					4,73
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/Hr	Costo hora	Rendimiento	Costo
Peón (ESTRUC.OCUP E2)	2,00	4,05	8,10	0,1540	1,25
CHOFER: Volquetas (ESTRUCT. OCUP. C1)	1,00	5,95	5,95	0,1540	0,92
Subtotal N					2,16
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
				0,00	
Subtotal O					0,00
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Distancia	Cantidad	Tarifa	Costo
					0,00
Subtotal P					0,00
Total, costo directo (M+N+O+P)					6,89
Costo indirecto (15%)				15%	1,03
Valor total					7,93

PROYECTO:	Comparación estructural de viviendas sociales en Guayaquil usando hormigón convencional vs reciclado de las Galápagos.				Página 5
RUBRO:	2.3			UNIDAD:	m ³
DETALLE:	Relleno y compactación con material de mejoramiento				
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramientas menores (5% MO)			0,00		0,09
Volqueta	1,00	30,00	30,00	0,0777	2,33
Compactador pesado manual	1,00	2,91	2,91	0,0777	0,23
Subtotal M					2,65
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/Hr	Costo hora	Rendimiento	Costo
Peón (ESTRUC.Ocup E2)	2,00	4,05	8,10	0,0777	0,63
CHOFER: Volquetas (ESTRUC. OCUP. C1)	1,00	5,95	5,95	0,0777	0,46
Maestro mayor (ESTRUC.Ocup C1)	1,00	4,55	4,55	0,0777	0,35
Operador de equipo liviano (ESTRUC. OCUP C2)	1,00	4,10	4,10	0,0777	0,32
Subtotal N					1,76
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
Casajo Mediano IP<9	m3	1,25	4,50	5,63	
Agua	m3	0,10	2,30	0,23	
Subtotal O					5,86
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Distancia	Cantidad	Tarifa	Costo
					0,00
Subtotal P					0,00
Total, costo directo (M+N+O+P)					10,26
Costo indirecto (15%)				15%	1,54
Valor total					11,80

PROYECTO:	Comparación estructural de viviendas sociales en Guayaquil usando hormigón convencional vs reciclado de las Galápagos.				Página 6
RUBRO:	Acero de refuerzo en barras fy = 4200 Kg/cm2	UNIDAD:	m ³		
DETALLE:	Acero de refuerzo en barras fy = 4200 Kg/cm2				
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Cortadora dobladora de Hierro	0,10	4,50	0,45	0,0550	0,02
Subtotal M					0,02
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/Hr	Costo hora	Rendimiento	Costo
Peón (ESTRUC.OCUP E2)	1,00	4,05	4,05	0,0550	0,22
Maestro mayor (ESTRUC.OCUP C1)	0,30	4,55	1,37	0,0550	0,08
Ferrero (ESTRUC.OCUP. D2)	1,00	4,10	4,10	0,0550	0,23
Subtotal N					0,52
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
Acero de refuerzo f'c 4200 kg/cm2 (inc iva)	kg	1,05	0,92	0,97	
Alambre recocido #18 (inc iva)	kg	0,04	2,00	0,08	
Desoxidante (caneca 20 KG)	kg	0,09	1,65	0,15	
Subtotal O					1,19
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Distancia	Cantidad	Tarifa	Costo
					0,00
Subtotal P					0,00
Total, costo directo (M+N+O+P)					1,74
Costo indirecto (15%)				15%	0,26
Valor total					2,00

PROYECTO:	Comparación estructural de viviendas sociales en Guayaquil usando hormigón convencional vs reciclado de las Galápagos.				Página 7
RUBRO:	3.9			UNIDAD:	m ²
DETALLE:	Mampostería de bloque e = 15cm				
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramientas menores (5% MO)			0,00		0,04
Andamio Base 1.80 x 1.20; alto=1.70	1,00	0,05	0,05	0,2190	0,01
Subtotal M					0,06
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/Hr	Costo hora	Rendimiento	Costo
Peón (ESTRUC.OCUP E2)	1,00	4,05	4,05	0,2190	0,89
Maestro mayor (ESTRUC.OCUP C1)	0,30	4,55	1,37	0,2190	0,30
Albañil (ESTRUC.OCUP D2)	1,00	4,10	4,10	0,2190	0,90
Subtotal N					2,08
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
Bloque Vibropresado 15 cm.	u	13,00	0,35	4,55	
Cemento Portland Gris	kg	0,34	7,68	2,61	
Arena Fina	m3	0,05	13,50	0,68	
Agua	m3	0,01	1,15	0,01	
Subtotal N					7,85
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Distancia	Cantidad	Tarifa	Costo
	U	5	0,08	0,40	0,03
Subtotal P					0,03
Total, costo directo (M+N+O+P)					10,02
Costo indirecto (15%)					1,50
Valor total					11,52

PROYECTO:	Comparación estructural de viviendas sociales en Guayaquil usando hormigón convencional vs reciclado de las Galápagos.				Página 8
RUBRO:	3.10			UNIDAD:	m ²
DETALLE:	Enlucido interior y exterior				
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramientas menores (5% MO)			0,00	0,00	0,24
Andamio Base 1.80 x 1.20; alto=1.70	1,00	0,05	0,05	0,4940	0,02
Subtotal M					0,26
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/Hr	Costo hora	Rendimiento	Costo
Peón (ESTRUC.OCUP E2)	1,00	4,05	4,05	0,4940	2,00
Maestro mayor (ESTRUC.OCUP C1)	0,30	4,55	1,37	0,4940	0,67
Albañil (ESTRUC.OCUP D2)	1,00	4,10	4,10	0,4940	2,03
Subtotal N					4,70
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
Cemento Portland Gris	Saco	0,12	7,6800	0,92	
Arena Fina	m3	0,02	13,8000	0,28	
Agua	m3	0,01	1,1500	0,01	
Estuco (saco =25 Kg.)	kg	2,93	0,1000	0,29	
Impermeabilizante	gln	0,10	5,0200	0,50	
Subtotal O					2,00
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Distancia	Cantidad	Tarifa	Costo
					0,00
Subtotal P					0,00
Total, costo directo (M+N+O+P)					6,96
Costo indirecto (15%)				15%	1,04
Valor total					8,01

PROYECTO:	Comparación estructural de viviendas sociales en Guayaquil usando hormigón convencional vs reciclado de las Galápagos.				Página 9
RUBRO:	4.1			UNIDAD:	m ²
DETALLE:	Suministro y montaje de estructura metálica de cubierta				
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Subtotal M					0,00
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/Hr	Costo hora	Rendimiento	Costo
Peón (ESTRUC.OCUP E2)	1,00	4,05	4,05	1,0000	4,05
Maestro mayor (ESTRUC.OCUP C1)	0,30	4,55	1,37	1,0000	1,37
SC MDO Montaje de estructura metálica de cubierta	1,00	8,00	8,00	1,0000	8,00
Subtotal N					13,42
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
Pintura anticorrosiva (inc iva)	gln	0,40	16,46	6,58	
Soldadura (inc iva)	kg	1,00	4,00	4,00	
Acero estructural A36 (inc iva)	kg	11,00	1,10	12,10	
Subtotal O					22,68
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Distancia	Cantidad	Tarifa	Costo
					0,00
Subtotal P					0,00
Total, costo directo (M+N+O+P)					36,10
Costo indirecto (15%)				15%	5,41
Valor total					41,51

Rubros con uso del hormigón para una estructura de hormigón convencional.

PROYECTO:	Comparación estructural de viviendas sociales en Guayaquil usando hormigón convencional vs reciclado de las Galápagos.				Página 10
RUBRO:	3.1			UNIDAD:	m ³
DETALLE:	Replanteo de hormigón simple 140 Kg/cm ² e=5cm				
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramientas menores (5% MO)			0,00		0,69
Concretera a Diesel o gasolina (1 saco)	1,00	2,46	2,46	0,6305	1,55
Vibrador de Concreto	2,00	3,90	7,80	0,6305	4,92
Subtotal M					7,16
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/Hr	Costo hora	Rendimiento	Costo
Peón (ESTRUC.OCUP E2)	2,00	4,05	8,10	0,6305	5,11
Maestro mayor (ESTRUC.OCUP C1)	0,30	4,55	1,37	0,6305	0,86
Albañil (ESTRUC.OCUP D2)	3,00	4,10	12,30	0,6305	7,76
Subtotal N					13,72
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
Encofrado	u	1,00	12,00	12,00	
Cemento Portland Gris	kg	360,00	0,16	57,60	
Arena Fina	m3	0,71	13,50	9,59	
Piedra # 67 (3/4 " a 1") (18 a 25mm)	m3	0,46	14,76	6,79	
Agua	m3	0,22	1,15	0,25	
Curador de hormigón	kg	0,25	4,89	1,22	
Aceite quemado	glb	0,62	0,50	0,31	
Subtotal O					87,76
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Distancia	Cantidad	Tarifa	Costo
					0,00
Subtotal P					0,00
Total, costo directo (M+N+O+P)					108,64
Costo indirecto (15%)				15%	16,30
Valor total					124,93

PROYECTO:	Comparación estructural de viviendas sociales en Guayaquil usando hormigón convencional vs reciclado de las Galápagos.				Página 11
RUBRO:	3.8			UNIDAD:	m ³
DETALLE:	Contrapiso Hormigón f c 210 Kg/cm² e=1 cm				
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramientas menores (5% MO)			0,00		0,18
Concreteira a Diesel o gasolina (1 saco)	1,00	2,46	2,46	0,1420	0,35
Vibrador de Concreto	2,00	3,90	7,80	0,1420	1,11
Subtotal M					1,64
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/Hr	Costo hora	Rendimiento	Costo
Peón (ESTRUC.OCUP E2)	4,00	4,05	16,20	0,1420	2,30
Maestro mayor (ESTRUC.OCUP C1)	0,30	4,55	1,37	0,1420	0,19
Carpintero (ESTRUC.OCUP D2)	1,00	4,10	4,10	0,1420	0,58
Fierrero (ESTRUC.OCUP. D2)	1,00	4,10	4,10	0,1420	0,58
Subtotal N					3,66
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
Cemento Portland Gris	kg	150,00	0,16	24,00	
Arena Fina	m ³	0,30	13,50	4,05	
Piedra # 67 (3/4 " a 1") (18 a 25mm)	m ³	0,46	14,76	6,79	
Agua	m ³	0,09	1,15	0,10	
Curador de hormigón	kg	0,25	4,89	1,22	
Placa colaborante deck e=0.65mm	m ²	1,01	8,47	8,55	
Bloque de arcilla 9x30x41	u	18,00	0,62	11,16	
Malla electrosoldada 5.5-15 (inc iva)	u	0,07	44,00	3,08	
Subtotal O					58,96
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Distancia	Cantidad	Tarifa	Costo
					0,00
Subtotal P					0,00
Total, costo directo (M+N+O+P)					64,26
Costo indirecto (15%)					15% 9,64
Valor total					73,90

PROYECTO:	Comparación estructural de viviendas sociales en Guayaquil usando hormigón convencional vs reciclado de las Galápagos.				Página 12
RUBRO:	3.2			UNIDAD:	m ³
DETALLE:	Suministro y vertido de Hormigón 210 kg/cm². para plintos y riostras + refuerzo y encofrado				
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramientas menores (5% MO)			0,00		1,77
Concretera a Diesel o gasolina (1 saco)	1,00	2,46	2,46	0,9305	2,29
Vibrador de Concreto	2,00	3,90	7,80	0,9305	7,26
Subtotal M					11,32
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/Hr	Costo hora	Rendimiento	Costo
Peón (ESTRUC.OCUP E2)	5,00	4,05	20,25	0,9305	18,84
Maestro mayor (ESTRUC.OCUP C1)	0,30	4,55	1,37	0,9305	1,27
Carpintero (ESTRUC.OCUP D2)	2,00	4,10	8,20	0,9305	7,63
Albañil (ESTRUC.OCUP D2)	2,00	4,10	8,20	0,9305	7,63
Subtotal N					35,37
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
Encofrado	u	1,00	12,00	12,00	
Cemento Portland Gris	kg	360,00	0,16	57,60	
Arena Fina	m3	0,71	13,50	9,59	
Piedra # 67 (3/4 " a 1") (18 a 25mm)	m3	0,46	14,76	6,79	
Agua	m3	0,22	1,15	0,25	
Curador de hormigón	kg	0,25	4,89	1,22	
Aceite quemado	glb	0,62	0,50	0,31	
Subtotal O					87,76
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Distancia	Cantidad	Tarifa	Costo
					0,00
Subtotal P					0,00
Total, costo directo (M+N+O+P)					134,45
Costo indirecto (15%)				15%	20,17
Valor total					154,62

PROYECTO:	Comparación estructural de viviendas sociales en Guayaquil usando hormigón convencional vs reciclado de las Galápagos.				Página 13
RUBRO:	3.3			UNIDAD:	m ³
DETALLE:	Hormigón simple en columnas f'c = 210 kg/cm² + encofrado				
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramientas menores (5% MO)			0,00		4,42
Concretera a diesel ó gasolina(1 saco)	1,00	2,46	2,46	2,1082	5,19
Vibrador de Concreto	2,00	3,90	7,80	2,1082	16,44
Subtotal M					26,05
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/Hr	Costo hora	Rendimiento	Costo
Peón (ESTRUC.OCUP E2)	8,00	4,05	32,40	2,1082	68,31
Maestro mayor (ESTRUC.OCUP C1)	0,30	4,55	1,37	2,1082	2,88
Carpintero (ESTRUC.OCUP D2)	1,00	4,10	4,10	2,1082	8,64
Albañil (ESTRUC.OCUP D2)	1,00	4,10	4,10	2,1082	8,64
Subtotal N					88,47
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
Encofrado	u	1,00	12,00	12,00	
Cemento Portland Gris	kg	360,00	0,16	57,60	
Arena Fina	m ³	0,71	13,50	9,59	
Piedra # 67 (3/4 " a 1") (18 a 25mm)	m ³	0,46	14,76	6,79	
Agua	m ³	0,22	1,15	0,25	
Curador de hormigón	kg	0,25	4,89	1,22	
Aceite quemado	glb	0,62	0,50	0,31	
Subtotal O					87,76
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Distancia	Cantidad	Tarifa	Costo
					0,00
Subtotal P					0,00
Total, costo directo (M+N+O+P)					202,28
Costo indirecto (15%)				15%	30,34
Valor total					232,63

PROYECTO:	Comparación estructural de viviendas sociales en Guayaquil usando hormigón convencional vs reciclado de las Galápagos.				Página 14
RUBRO:	3.4			UNIDAD:	m ³
DETALLE:	Hormigón simple en vigas f'c = 210 kg/cm² + encofrado				
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramientas menores (5% MO)			0,00		3,56
Concretera a Diesel o gasolina (1 saco)	1,00	2,46	2,46	2,1015	5,17
Vibrador de Concreto	2,00	3,90	7,80	2,1015	16,39
Subtotal M					25,12
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/Hr	Costo hora	Rendimiento	Costo
Peón (ESTRUC.OCUP E2)	6,00	4,05	24,30	2,1015	51,07
Maestro mayor (ESTRUC.OCUP C1)	0,30	4,55	1,37	2,1015	2,87
Carpintero (ESTRUC.OCUP D2)	1,00	4,10	4,10	2,1015	8,62
Albañil (ESTRUC.OCUP D2)	1,00	4,10	4,10	2,1015	8,62
Subtotal N					71,17
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
Encofrado	u	1,00	12,00	12,00	
Cemento Portland Gris	kg	360,00	0,16	57,60	
Arena Fina	m3	0,71	13,50	9,59	
Piedra # 67 (3/4 " a 1") (18 a 25mm)	m3	0,46	14,76	6,79	
Agua	m3	0,22	1,15	0,25	
Curador de hormigón	kg	0,25	4,89	1,22	
Aceite quemado	glb	0,62	0,50	0,31	
Subtotal O					87,76
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Distancia	Cantidad	Tarifa	Costo
					0,00
Subtotal P					0,00
Total, costo directo (M+N+O+P)					184,05
Costo indirecto (15%)				15%	27,61
Valor total					211,65

PROYECTO:	Comparación estructural de viviendas sociales en Guayaquil usando hormigón convencional vs reciclado de las Galápagos.				Página 15
RUBRO:	3.5	UNIDAD:	m ³		
DETALLE:	Losa nervada f'c = 210 kg/cm² + encofrado				
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramientas menores (5% MO)			0,00		3,39
Concreteira a Diesel o gasolina (1 saco)	1,00	2,46	2,46	2,0015	4,92
Vibrador de Concreto	2,00	3,90	7,80	2,0015	15,61
Subtotal M					23,92
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/Hr	Costo hora	Rendimiento	Costo
Peón (ESTRUC.OCUP E2)	6,00	4,05	24,30	2,0015	48,64
Maestro mayor (ESTRUC.OCUP C1)	0,30	4,55	1,37	2,0015	2,73
Carpintero (ESTRUC.OCUP D2)	1,00	4,10	4,10	2,0015	8,21
Albañil (ESTRUC.OCUP D2)	1,00	4,10	4,10	2,0015	8,21
Subtotal N					67,78
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
Encofrado	u	1,00	12,00	12,00	
Cemento Portland Gris	kg	360,00	0,16	57,60	
Arena Fina	m3	0,71	13,50	9,59	
Piedra # 67 (3/4 " a 1") (18 a 25mm)	m3	0,46	14,76	6,79	
Agua	m3	0,22	1,15	0,25	
Curador de hormigón	kg	0,25	4,89	1,22	
Aceite quemado	glb	0,62	0,50	0,31	
Subtotal O					87,76
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Distancia	Cantidad	Tarifa	Costo
					0,00
Subtotal P					0,00
Total, costo directo (M+N+O+P)					179,47
Costo indirecto (15%)				15%	26,92
Valor total					206,39

PROYECTO:	Comparación estructural de viviendas sociales en Guayaquil usando hormigón convencional vs reciclado de las Galápagos.				Página 16
RUBRO:	3.6			UNIDAD:	m ³
DETALLE:	Hormigón estructural para escalera + encofrado				
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramientas menores (5% MO)			0,00		1,87
Concretera a Diesel o gasolina (1 saco)	1,00	2,46	2,46	1,1015	2,71
Vibrador de Concreto	2,00	3,90	7,80	1,1015	8,59
Subtotal M					13,17
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/Hr	Costo hora	Rendimiento	Costo
Peón (ESTRUC.Ocup E2)	6,00	4,05	24,30	1,1015	26,77
Maestro mayor (ESTRUC.Ocup C1)	0,30	4,55	1,37	1,1015	1,50
Carpintero (ESTRUC.Ocup D2)	1,00	4,10	4,10	1,1015	4,52
Albañil (ESTRUC.Ocup D2)	1,00	4,10	4,10	1,1015	4,52
Subtotal N					37,30
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
Encofrado	u	1,00	12,00	12,00	
Cemento Portland Gris	kg	360,00	0,16	57,60	
Arena Fina	m ³	0,71	13,50	9,59	
Piedra # 67 (3/4 " a 1") (18 a 25mm)	m ³	0,46	14,76	6,79	
Agua	m ³	0,22	1,15	0,25	
Curador de hormigón	kg	0,25	4,89	1,22	
Aceite quemado	glb	0,62	0,50	0,31	
Subtotal O					87,76
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Distancia	Cantidad	Tarifa	Costo
					0,00
Subtotal P					0,00
Total, costo directo (M+N+O+P)					138,23
Costo indirecto (15%)					15%
Valor total					158,96

Rubros con uso del hormigón para una estructura de hormigón reciclado.

PROYECTO:	Comparación estructural de viviendas sociales en Guayaquil usando hormigón convencional vs reciclado de las Galápagos.				Página 17
RUBRO:	3.1			UNIDAD:	m ³
DETALLE:	Replanteo de hormigón simple 140 Kg/cm² e=5cm				
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramientas menores (5% MO)			0,00		0,69
Concretera a Diesel o gasolina (1 saco)	1,00	2,46	2,46	0,6305	1,55
Vibrador de Concreto	2,00	3,90	7,80	0,6305	4,92
Subtotal M					7,16
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/Hr	Costo hora	Rendimiento	Costo
Peón (ESTRUC.OCUP E2)	2,00	4,05	8,10	0,6305	5,11
Maestro mayor (ESTRUC.OCUP C1)	0,30	4,55	1,37	0,6305	0,86
Albañil (ESTRUC.OCUP D2)	3,00	4,10	12,30	0,6305	7,76
Subtotal N					13,72
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
Encofrado	u	1,00	12,00	12,00	
Cemento Portland Gris	kg	360,00	0,16	57,60	
Arena Fina	m ³	0,71	13,50	9,59	
Piedra # 67 (3/4 " a 1") (18 a 25mm)	m ³	0,37	14,76	5,43	
Piedra triturada (0 a 150 mm)	m ³	0,09	10,00	0,92	
Agua	m ³	0,22	1,15	0,25	
Curador de hormigón	kg	0,25	4,89	1,22	
Aceite quemado	glb	0,62	0,50	0,31	
Subtotal O					87,32
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Distancia	Cantidad	Tarifa	Costo
					0,00
Subtotal P					0,00
Total, costo directo (M+N+O+P)					108,20
Costo indirecto (15%)				15%	16,23
Valor total					124,43

PROYECTO:	Comparación estructural de viviendas sociales en Guayaquil usando hormigón convencional vs reciclado de las Galápagos.				Página 18
RUBRO:	3.8			UNIDAD:	m ³
DETALLE:	Contrapiso Hormigón f c 210 Kg/cm² e=1 cm				
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramientas menores (5% MO)			0,00		0,18
Concreteira a Diesel o gasolina (1 saco)	1,00	2,46	2,46	0,1420	0,35
Vibrador de Concreto	2,00	3,90	7,80	0,1420	1,11
Subtotal M					1,64
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/Hr	Costo hora	Rendimiento	Costo
Peón (ESTRUC.OCUP E2)	4,00	4,05	16,20	0,1420	2,30
Maestro mayor (ESTRUC.OCUP C1)	0,30	4,55	1,37	0,1420	0,19
Carpintero (ESTRUC.OCUP D2)	1,00	4,10	4,10	0,1420	0,58
Ferrero (ESTRUC.OCUP. D2)	1,00	4,10	4,10	0,1420	0,58
Subtotal N					3,66
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
Cemento Portland Gris	kg	150,00	0,16	24,00	
Arena Fina	m3	0,30	13,50	4,05	
Piedra # 67 (3/4 " a 1") (18 a 25mm)	m3	0,16	14,76	2,36	
Piedra triturada (0 a 150 mm)	m3	0,04	10,00	0,40	
Agua	m3	0,09	1,15	0,10	
Curador de hormigón	kg	0,25	4,89	1,22	
Placa colaborante deck e=0.65mm	m2	1,01	8,47	8,55	
Bloque de arcilla 9x30x41	u	18,00	0,62	11,16	
Malla electrosoldada 5.5-15 (inc iva)	u	0,07	44,00	3,08	
Subtotal O					54,93
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Distancia	Cantidad	Tarifa	Costo
					0,00
Subtotal P					0,00
Total, costo directo (M+N+O+P)					60,23
Costo indirecto (15%)				15%	9,03
Valor total					69,27

PROYECTO:	Comparación estructural de viviendas sociales en Guayaquil usando hormigón convencional vs reciclado de las Galápagos.				Página 19
RUBRO:	3.2			UNIDAD:	m ³
DETALLE:	Suministro y vertido de Hormigón 210 kg/cm². para plintos y riostras + refuerzo y encofrado				
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramientas menores (5% MO)			0,00		1,77
Concreteira a Diesel o gasolina (1 saco)	1,00	2,46	2,46	0,9305	2,29
Vibrador de Concreto	2,00	3,90	7,80	0,9305	7,26
Subtotal M					11,32
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/Hr	Costo hora	Rendimiento	Costo
Peón (ESTRUC.OCUP E2)	5,00	4,05	20,25	0,9305	18,84
Maestro mayor (ESTRUC.OCUP C1)	0,30	4,55	1,37	0,9305	1,27
Carpintero (ESTRUC.OCUP D2)	2,00	4,10	8,20	0,9305	7,63
Albañil (ESTRUC.OCUP D2)	2,00	4,10	8,20	0,9305	7,63
Subtotal N					35,37
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
Encofrado	u	1,00	12,00	12,00	
Cemento Portland Gris	kg	360,00	0,16	57,60	
Arena Fina	m3	0,71	13,50	9,59	
Piedra # 67 (3/4 " a 1") (18 a 25mm)	m3	0,37	14,76	5,43	
Piedra triturada (0 a 150 mm)	m3	0,09	10,00	0,92	
Agua	m3	0,22	1,15	0,25	
Curador de hormigón	kg	0,25	4,89	1,22	
Aceite quemado	glb	0,62	0,50	0,31	
Subtotal O					87,32
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Distancia	Cantidad	Tarifa	Costo
					0,00
Subtotal P					0,00
Total, costo directo (M+N+O+P)					134,01
Costo indirecto (15%)					15% 20,10
Valor total					154,11

PROYECTO:	Comparación estructural de viviendas sociales en Guayaquil usando hormigón convencional vs reciclado de las Galápagos.				Página 20
RUBRO:	3.3			UNIDAD:	m ³
DETALLE:	Hormigón simple en columnas f'c = 210 kg/cm² + encofrado				
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramientas menores (5% MO)			0,00		4,42
Concreteira a Diesel o gasolina (1 saco)	1,00	2,46	2,46	2,1082	5,19
Vibrador de Concreto	2,00	3,90	7,80	2,1082	16,44
Subtotal M					26,05
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/Hr	Costo hora	Rendimiento	Costo
Peón (ESTRUC.OCUP E2)	8,00	4,05	32,40	2,1082	68,31
Maestro mayor (ESTRUC.OCUP C1)	0,30	4,55	1,37	2,1082	2,88
Carpintero (ESTRUC.OCUP D2)	1,00	4,10	4,10	2,1082	8,64
Albañil (ESTRUC.OCUP D2)	1,00	4,10	4,10	2,1082	8,64
Subtotal N					88,47
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
Encofrado	u	1,00	12,00	12,00	
Cemento Portland Gris	kg	360,00	0,16	57,60	
Arena Fina	m ³	0,71	13,50	9,59	
Piedra # 67 (3/4 " a 1") (18 a 25mm)	m ³	0,37	14,76	5,43	
Piedra triturada (0 a 150 mm)	m ³	0,09	10,00	0,92	
Agua	m ³	0,22	1,15	0,25	
Curador de hormigón	kg	0,25	4,89	1,22	
Aceite quemado	glb	0,62	0,50	0,31	
Subtotal O					87,32
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Distancia	Cantidad	Tarifa	Costo
					0,00
Subtotal P					0,00
Total, costo directo (M+N+O+P)					201,85
Costo indirecto (15%)				15%	30,28
Valor total					232,12

PROYECTO:	Comparación estructural de viviendas sociales en Guayaquil usando hormigón convencional vs reciclado de las Galápagos.				Página 21
RUBRO:	3.4			UNIDAD:	m ³
DETALLE:	Hormigón simple en vigas f'c = 210 kg/cm² + encofrado				
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramientas menores (5% MO)			0,00		3,56
Concreteira a Diesel o gasolina (1 saco)	1,00	2,46	2,46	2,1015	5,17
Vibrador de Concreto	2,00	3,90	7,80	2,1015	16,39
Subtotal M					25,12
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/Hr	Costo hora	Rendimiento	Costo
Peón (ESTRUC.Ocup E2)	6,00	4,05	24,30	2,1015	51,07
Maestro mayor (ESTRUC.Ocup C1)	0,30	4,55	1,37	2,1015	2,87
Carpintero (ESTRUC.Ocup D2)	1,00	4,10	4,10	2,1015	8,62
Albañil (ESTRUC.Ocup D2)	1,00	4,10	4,10	2,1015	8,62
Subtotal N					71,17
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
Encofrado	u	1,00	12,00	12,00	
Cemento Portland Gris	kg	360,00	0,16	57,60	
Arena Fina	m ³	0,71	13,50	9,59	
Piedra # 67 (3/4 " a 1") (18 a 25mm)	m ³	0,37	14,76	5,43	
Piedra triturada (0 a 150 mm)	m ³	0,09	10,00	0,92	
Agua	m ³	0,22	1,15	0,25	
Curador de hormigón	kg	0,25	4,89	1,22	
Aceite quemado	glb	0,62	0,50	0,31	
Subtotal O					87,32
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Distancia	Cantidad	Tarifa	Costo
					0,00
Subtotal P					0,00
Total, costo directo (M+N+O+P)					183,61
Costo indirecto (15%)				15%	27,54
Valor total					211,15

PROYECTO:	Comparación estructural de viviendas sociales en Guayaquil usando hormigón convencional vs reciclado de las Galápagos.				Página 22
RUBRO:	3.5			UNIDAD:	m ³
DETALLE:	Losa nervada f'c = 210 kg/cm² + encofrado				
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramientas menores (5% MO)			0,00		3,39
Concreteira a Diesel o gasolina (1 saco)	1,00	2,46	2,46	2,0015	4,92
Vibrador de Concreto	2,00	3,90	7,80	2,0015	15,61
Subtotal M					23,92
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/Hr	Costo hora	Rendimiento	Costo
Peón (ESTRUC.OCUP E2)	6,00	4,05	24,30	2,0015	48,64
Maestro mayor (ESTRUC.OCUP C1)	0,30	4,55	1,37	2,0015	2,73
Carpintero (ESTRUC.OCUP D2)	1,00	4,10	4,10	2,0015	8,21
Albañil (ESTRUC.OCUP D2)	1,00	4,10	4,10	2,0015	8,21
Subtotal N					67,78
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
Encofrado	u	1,00	12,00	12,00	
Cemento Portland Gris	kg	360,00	0,16	57,60	
Arena Fina	m3	0,71	13,50	9,59	
Piedra # 67 (3/4 " a 1") (18 a 25mm)	m3	0,37	14,76	5,43	
Piedra triturada (0 a 150 mm)	m3	0,09	10,00	0,92	
Agua	m3	0,22	1,15	0,25	
Curador de hormigón	kg	0,25	4,89	1,22	
Aceite quemado	glb	0,62	0,50	0,31	
Subtotal O					87,32
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Distancia	Cantidad	Tarifa	Costo
					0,00
Subtotal P					0,00
Total, costo directo (M+N+O+P)					179,03
Costo indirecto (15%)				15%	26,85
Valor total					205,88

PROYECTO:	Comparación estructural de viviendas sociales en Guayaquil usando hormigón convencional vs reciclado de las Galápagos.				Página 23
RUBRO:	3.6			UNIDAD:	m ³
DETALLE:	Hormigón estructural para escalera + encofrado				
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramientas menores (5% MO)			0,00		1,87
Concreteira a Diesel o gasolina (1 saco)	1,00	2,46	2,46	1,1015	2,71
Vibrador de Concreto	2,00	3,90	7,80	1,1015	8,59
Subtotal M					13,17
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/Hr	Costo hora	Rendimiento	Costo
Peón (ESTRUC.OCUP E2)	6,00	4,05	24,30	1,1015	26,77
Maestro mayor (ESTRUC.OCUP C1)	0,30	4,55	1,37	1,1015	1,50
Carpintero (ESTRUC.OCUP D2)	1,00	4,10	4,10	1,1015	4,52
Albañil (ESTRUC.OCUP D2)	1,00	4,10	4,10	1,1015	4,52
Subtotal N					37,30
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
Encofrado	u	1,00	12,00	12,00	
Cemento Portland Gris	kg	360,00	0,16	57,60	
Arena Fina	m3	0,71	13,50	9,59	
Piedra # 67 (3/4 " a 1") (18 a 25mm)	m3	0,37	14,76	5,43	
Piedra triturada (0 a 150 mm)	m3	0,09	10,00	0,92	
Agua	m3	0,22	1,15	0,25	
Curador de hormigón	kg	0,25	4,89	1,22	
Aceite quemado	glb	0,62	0,50	0,31	
Subtotal O					87,32
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Distancia	Cantidad	Tarifa	Costo
					0,00
Subtotal P					0,00
Total, costo directo (M+N+O+P)					137,79
Costo indirecto (15%)				15%	20,67
Valor total					158,46

Tablas de cantidades, Revit 2023.

Propiedades de la vivienda		
Área de terreno	80	m ²

Hormigón:

Hormigón total losa	
Elementos	Volumen (m ³)
Viguetas losa	5,45
Loseta 5cm	4,48
Total, hormigón	9,93

Hormigón total cimentación	
Elemento (cm)	Volumen (m ³)
Zapatas 150x150	5,06
Zapatas 200x200	3,00
Riostras 12x20	1,44
Total, hormigón	9,50

Hormigón total columnas	
Columnas (cm)	Volumen (m ³)
30x30	1,88
25x25	3,4
Total, hormigón	5,28

Hormigón total vigas	
Vigas (cm)	Volumen (m ³)
25x25	3,41
20x20	2,43
Total, hormigón	5,84

Acero estructural:

Acero total			
Diametro de varilla (mm)	Longitud total de barras (m)	Peso nominal (Kg/m)	Kilos (Kg)
9,5	400,74	0,62	247,26
10	1264,07	0,62	779,93
12	1115,62	0,89	990,67
14	215,84	1,21	260,73
16	674,74	1,58	1064,74
20	7,04	2,47	17,36
Total, acero de refuerzo			3360,69

BIBLIOGRAFÍA

MIDUVI. (2022). *Reglamento de vivienda de interés social e interés público. Accedido el 25 de octubre del 2023, desde https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2022/04/Decreto_Ejecutivo_No._405.pdf.*

Banco de Desarrollo del Ecuador. (n.d.). *Vivienda de Interés Social y Público - BDE. Accedido el 25 de octubre del 2023, desde <https://bde.fin.ec/vivienda-de-interes-social-y-publico/>.*

UTPL. (2023). *La Vivienda de Interés Social y su aporte al desarrollo de las comunidades | Blog. Accedido el 25 de octubre del 2023, desde <https://noticias.utpl.edu.ec/la-vivienda-de-interes-social-y-su-aporte-al-desarrollo-de-las-comunidades>.*

Sánchez, M. (2004). *Estudio sobre la utilización de árido reciclado para la fabricación de hormigón estructural (pp. 17–57) [Tesis].*

Alejós, P. (2015). *Hormigón reciclado estructural: Utilización de árido reciclado procedente de escombros de hormigón. Ingeniería Civil 179/2025. Accedido el 28 de octubre del 2023. <https://ingenieriacivil.cedex.es/index.php/ingenieria-civil/article/view/530/503>*

RILEM International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures. (1992) *Recycled Aggregates and Recycled Aggregate Concrete. Recycling of Desolished Concrete and Mansory. RILEM Report 6, Edited by Hasen, T.c., Published by E&FN Spon, 2-6 Boundary Row, London SE 1 8HN, First Edition.*

RILEM International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures. (1994) *Specifications for concrete with Recycled Aggregates. Materials and Structures, N°27. p.p, 557-559.*

Capítulos de la NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción) – MIDUVI – Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2023). *Habitatyvivienda.gob.ec. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>*

Espinosa, C. (2021). *El 60% de las edificaciones son informales en el Distrito Metropolitano de Quito. El Comercio. <https://www.elcomercio.com/actualidad/quito/municipio-quito-regulacion-viviendas-informales.html>*

Rosero, D. (2019). *Propuesta de guía de uso de los agregados reciclados en Colombia provenientes de RCD, basado en normativa internacional y en el desarrollo de investigaciones de universidades colombianas. Unal.edu.co. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/77323>*

Salinas Basualdo, R. (n.d) . *Fundamentos del análisis dinámico de estructuras. Curso de segunda especialización en ingeniería sismorresistente. Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Civil. Sección Post Grado.*

Blanco Marianela. (2012). *Criterios fundamentales para el diseño sismorresistente. Revista de la Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela. ISSN 0798-4065, vol.27 no.3 Caracas set. 2012*

Huaman, J. A. (2016). Predicción del comportamiento sísmico por desplazamiento mediante el análisis estático no lineal en las edificaciones de la Universidad Cesar Vallejo. Chiclayo: Universidad Cesar Vallejo - Escuela de postgrado.

Vega Fernández, G & Muñoz Pérez, S. (2019). Evaluación del desempeño sísmico mediante el análisis estático no lineal, vivienda-comercio Miura Grill, Chiclayo. Revista Científica Ingeniería Ciencia, Tecnología e Innovación, ISSN-e 2313-1926, Vol. 6, N° 2, 2019, págs. 39-56.

Barbat, A & Oller, S. (1998). Conceptos de cálculo de estructuras en las normativas de diseño sismorresistente. Monografías de Ingeniería Sísmica. Centro Internacional de métodos numéricos en ingeniería. Editor A.H . Barbat. ISBN: 84-89925-10-0.

Cumpa Amanca, J., & Quispe Mendoza, B. (2019). Evaluación del Desempeño Sismorresistente de la Institución Educativa n°50217 de la Comunidad Umachurco -San Salvador, Aplicando el Método de Análisis Estático no Lineal de Cedencia Sucesiva (Pushover). Tesis de Ingeniería. Universidad Andina del Cusco, Cusco, Perú.

Zega, C & Di Maio, A. (2007). Efecto del agregado grueso reciclado sobre las propiedades del hormigón. Boletín Técnico. ISSN 0376-723X. IMME v.45 n.2 Caracas jul. 2007

Génesis Guevara Fallas, Carolina Hidalgo Madrigal, Mariannys Pizarro García, Iván Rodríguez Valenciano, Diego, L., & Georgana Segura Guzmán. (2023). Efecto de la variación agua/cemento en el concreto. Tecnología En Marcha, 25(2), 80–86. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4835626.pdf>

Santalla, E. (2021). Análisis del peso específico, peso unitario, porcentaje de absorción y porcentaje de huecos del agregado para la fabricación de hormigones. Revista Industrial 4.0. Edición Digital Nro.3 noviembre 2021.

Chang, C.Y., R. Huang, P.C. Lee, T. L. Weng, 2011, Application of a weighted Grey-Taguchi method for optimizing recycled aggregate concrete mixtures, Cement & Concrete Composites 33, 1038-1049

Acciona Business as unusual. (2016). Accedido el 10 de octubre del 2023 https://www.acciona.com/es/proyectos/re4/?_adin=1338030090.

Alexander Solarte. Simulación Híbrida en Tiempo Real para la Evaluación de Estructuras. Colombia. Accedido el 30 de octubre del 2023 <https://docplayer.es/123330445-Simulacion-hibrida-en-tiempo-real-para-la-evaluacion-de-estructuras.html>

Alfonso Aguilar. (2016). Reciclado de materiales de construcción. Revista Residuos.

Archier. Accedido el 20 de octubre del 2023 <https://archier.com.au/projects/sawmill-house>

Archier. Obtenido de <https://archier.com.au/projects/sawmill-house>

Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2023). ¿Cómo incorporar la sostenibilidad en proyectos de vivienda social? (D. Peciña, Ed.) Accedido el 15 de octubre del 2023 <https://blogs.iadb.org/ciudades-sostenibles/es/como-incorporar-la-sostenibilidad-en-proyectos-de-vivienda-social/>

Bancos, Superintendencia de Bancos. (2022). Sistema de banca privada y pública informe del sector construcción. Sistema de banca privada y pública informe del sector construcción. Ecuador. Accedido el 15 de octubre del 2023 <https://estadisticas.superbancos.gob.ec/portalestadistico/portalestudios/wp-content/uploads/sites/4/downloads/2022/05/estudio-sectorial-construccion-mar-22.pdf>

Edgar Serna M. (2022). Ingeniería y Desarrollo en la Nueva Era. Instituto Antioqueño de Investigación. Accedido el 31 de octubre del 2023 [https://www.researchgate.net/publication/365873559_Simulaciones_Hibridas_en_Tiempo-Real_SHTR_aplicadas_en_la_evaluacion_del_desempeno_dinamico_de_muros_delgados_de_concreto_reforzado_afectados_en_una_edificacion_aislada](https://www.researchgate.net/publication/365873559_Simulaciones_Hibridas_en_Tiempo-Real_SHTR_aplicadas_en_la_evaluacion_del_desempeno_dinamico_de_muros_delgados_de_concreto_reforzado_afectados_en_una_edificacion aislada)

El Mercurio. (2022). 40 % de emisiones de CO2 son del sector de la construcción. Accedido el 25 de octubre del 2023 <https://elmercurio.com.ec/2022/05/13/40-de-emisiones-de-co2-son-del-sector-de-la-construccion/#:~:text=El%2040%20%25%20de%20las%20emisiones,academia%2C%20sector%20empresarial%20y%20estudiantes.>

El Universo. (2021). El 42% del déficit de viviendas está en Guayas, Manabí y Los Ríos. El Universo.

Giuseppe Mirlisenna. (2016). Método de los elementos finitos. doi: <https://www.esss.co/es/blog/metodo-de-los-elementos-finitos-que-es/>

Huei-Huang Lee. (2023). Finite Element Simulations with ANSYS Workbench 2023. Accedido el 1 de noviembre del 2023 https://books.google.com.ec/books/publisher/content?id=HaK_EAAAQBAJ&hl=it&pg=PA35&img=1&zoom=3&sig=ACfU3U1RbTYtt3aI6C5ohhFrIjbm3cQRnQ&w=1280

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2013). INEC presenta sus proyecciones poblacionales cantonales. Ecuador. Accedido el 15 de octubre del 2023 <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/inec-presenta-sus-proyecciones-poblacionales-cantonales/>

Mohiuddin Ali Khan. (2013). Chapter Ten - Seismic Design for Buildings,. En M. A. Khan, Earthquake-Resistant Structures (págs. 2283-315). Londres. doi: [//doi.org/10.1016/B978-1-85617-501-2.00010-9](https://doi.org/10.1016/B978-1-85617-501-2.00010-9)

Naciones Unidas Derechos Humanos. La vivienda es un derecho, no una mercancía. Accedido el 15 de octubre del 2023 <https://www.ohchr.org/es/special-procedures/sr-housing/human-right-adequate-housing>

Nicola Tarque, Guido Camota, Enrico Spacone, Massimo Petracca. (s.f.). Método de elementos finitos aplicado al estudio de estructuras existentes: Casos de cargas de gravedad. Revista PUCP. Accedido el 1 de noviembre del 2023 <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/civilizate/article/download/15272/15737/>

Organización de las Naciones Unidas. (2020). Vivienda: inviable para la mayoría.

Organización de las Naciones Unidas. (2022). Las emisiones históricas del sector de la construcción lo alejan de los objetivos de descarbonización. Noticias ONU.

Primicias. (2023). Ahora hay 16,9 millones de ecuatorianos, según el Censo.

ACI Committee, & International Organization for Standardization. (2008). Building code requirements for structural concrete (ACI 318-08) and commentary. American Concrete Institute.

Asociación Americana de Ensayo de Materiales ASTM C 127. (2001). Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate. U.S.A.: American Society for Testing and Materials.

Asociación Americana de Ensayo de Materiales ASTM C143. (2000). Standard test method for slump of hydraulic-cement concrete. U.S.A.: American Society for Testing and Materials.

Asociación Americana de Ensayo de Materiales ASTM C192. (2002). Standard practice for making and curing concrete test specimens in the laboratory. U.S.A.: American Society for Testing and Materials

Asociación Americana de Ensayo de Materiales ASTM C39. (1999). Standard test method for compressive Strength of Cylindrical concrete specimens. U.S.A.: American Society for Testing and Materials.

Norma técnica ecuatoriana INEN 1573. (2010). Hormigón de cemento hidráulico – Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico. Quito-Ecuador: Primera edición.

Norma técnica ecuatoriana INEN 1578. (2010). Hormigón de cemento hidráulico – Determinación de Asentamiento. Quito-Ecuador: Primera edición.

Norma técnica ecuatoriana INEN 694. (2010). Hormigón y áridos para elaborar hormigón. Terminología. Quito-Ecuador: Primera edición.

Norma técnica ecuatoriana INEN 856. (2010). Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino. Quito Ecuador: Primera revisión.

Norma técnica ecuatoriana INEN 857. (2010). Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso. Quito Ecuador: Primera revisión.

Robert V. Whitman. (2003). IV.C Pushover Analysis. En *Encyclopedia of Physical Science and Technology* (Third Edition). doi: <https://doi.org/10.1016/B0-12-227410-5/00877-2>

Sandra Maldonado. (2007). Manual Práctico Para El Diseño De La Escala Likert. doi: <https://doi.org/10.37646/xihmai.v2i4.101>

Quinto Quinto, W., & Chaverra Moya, E. (2022). Análisis Estático No Lineal (Pushover) Y Punto De Desempeño Sísmico En Una Edificación De Tres Pisos Existente. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. Accedido el 30 de diciembre del 2023 desde: https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/33261/4/QuintoWillman_2022_An%C3%A1lisisPushover.pdf

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2023). Predicción de focos de calor. In INHAMI. https://www.inamhi.gob.ec/Front_productos/productos_pronosticos.html

Mateus, C., Guerrero, C., Quezada, G., Lara, D., & Ochoa, V. (2019). An Integrated Approach for Evaluating Water Quality between 2007–2015 in Santa Cruz Island in the Galapagos Archipelago. *Water*, 11.

Nature Galápagos & Ecuador. (2016). Clima de las Galápagos. El mejor momento para visitar Galápagos. <https://naturegalapagos.com/es/clima-de-galapagos/>

Fundación Charles Darwin. (2013) Base de datos climatológicos. <https://www.darwinfoundation.org/es/datazone/clima>

M. Moncayo Theurer, J. Vargas Jiménez, E. Santos Baquerizo, Gonzales, E., L. Barzola Zambrano, G. Velasco Cevallos, Salcedo, L., J. Guzhñay, & Lucio, S. (2017). Parámetros para la construcción de un modelo matemático para simular el comportamiento dinámico del suelo debajo de la universidad de Guayaquil - Ecuador. *Ingeniería*, 21(1), 31–40. <https://www.redalyc.org/journal/467/46752305003/html/#:~:text=La%20ciudad%20de%20Guayaquil%20se,y%20hasta%20los%2040%20metros.>

Silva, A. y Arcos, D. (2011). Aplicación del programa AERMOD para modelar dispersión de PM10 emitido por equipos de calefacción a leña en la ciudad de Constitución. *Obras y Proyectos* 9, 4-10

Elizabeth, E., León, G., Enrique, C., & López, P. (n.d.). ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción. Accedido el 21, 2023, desde <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/52608/1/T-88992Garc%c3%ada%20Le%c3%b3n%2c%20Evelyn%20%26%20Panchana%20L%c3%b3pez%2c%20Carlos.pdf>

Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (2014). MAE conserva áreas protegidas y bosques protectores de Guayaquil. *Ambiente.gob.ec*. <https://www.ambiente.gob.ec/mae-conservar-areas-protegidas-y-bosques-protectores-de-guayaquil/>

Paz-Ramírez, T., & Salas, J. A. (2019). Evaluación de tres bosques protectores periurbanos del cantón Guayaquil (Guayas, Ecuador) como potenciales áreas de importancia para la conservación de murciélagos. *Mammalia aequatorialis*, 1, 31–41. <https://doi.org/10.59763/mam.aeq.v1i.5>

Dirección de obras públicas unidad de estudios y programación. (2021). Programa de obras viales en zonas densamente pobladas de la ciudad de guayaquil.

Dirección de Ambiente M. I. Municipalidad de Guayaquil. (2020). BIODIVERSIDAD DEL CANTÓN GUAYAQUIL. Accedido el 25 de noviembre del 2023 desde: <https://www.guayaquil.gob.ec/wp-content/uploads/2021/01/2020-Memoria-Biodiversidad-Guayaquil.pdf>

Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Santa Cruz. (2012). PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTÓN SANTA CRUZ (pp. 30–67).

Orbe Tania. (2019). Agua en las Galápagos, un recurso en riesgo. *América Latina Y El Caribe*. Accedido el 25 de noviembre del 2023 desde: <https://www.scidev.net/america-latina/news/agua-en-galapagos-un-recurso-en-riesgo/>

J. R. Leslie y W. J. Cheesman, "An ultrasonic method of studying deterioration and cracking in concrete structures", J. Am. Concr. Inst., vol. 21, no. 1, pp. 17-36, 1949.

Asprilla, Y. & Castro D. (2016). Los planes de manejo ambiental (PMA): una herramienta de control a los impactos ambientales que generan la instalación de redes servicios públicos domiciliarios en Colombia.

Tito, B. (2020). Matriz de Leopold Modificada Impacto Ambiental 2023. Ingeniería Ambiental. Accedido el 25 de noviembre del 2023 desde: <https://ingenieriaambiental.net/matriz-de-leopold/>

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2023). El Índice de Precios de la Construcción. El Índice de Precios de la Construcción. Ecuador. Obtenido de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/indice-de-precios-de-la-construccion/>

Euclid Chemical Toxement. (2020). Guía de especificación para concretos de alta durabilidad. Accedido el 3 de diciembre del 2023 desde: https://www.toxement.com.co/media/4136/gui-a_concreto_alta_durabilidad-comprimido.pdf

ASCE STANDARD ASCE/SEI 41-13. (2014). Accedido el 24 de diciembre del 2023 desde: <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/15247/ASCE%2041-13.pdf>

Comparación estructural de viviendas sociales en Guayaquil usando hormigón convencional vs reciclado de las Galápagos.

PROBLEMA

Guayas, Manabí y Los Ríos conforman el 47% del déficit habitacional en Ecuador. La ciudad de Guayaquil, con significativo flujo migratorio rural-urbano, enfrenta carencia de viviendas dignas y desafíos en la gestión de residuos por la industria de la construcción. Estos factores impactan negativamente el desarrollo urbano y la economía nacional.



El Universo, Ecuador (2021-2022). Recuperado de: <https://www.eluniverso.com>

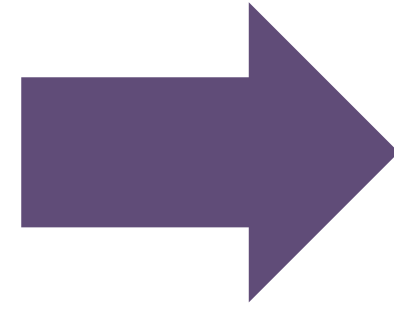
OBJETIVO GENERAL

Evaluar el diseño de una vivienda de interés social de hormigón reciclado en Guayaquil, por medio del análisis estático no lineal y la comparación de su desempeño con el del hormigón convencional, para la garantía de su seguridad estructural y cumplimiento de la normativa vigente en Ecuador.

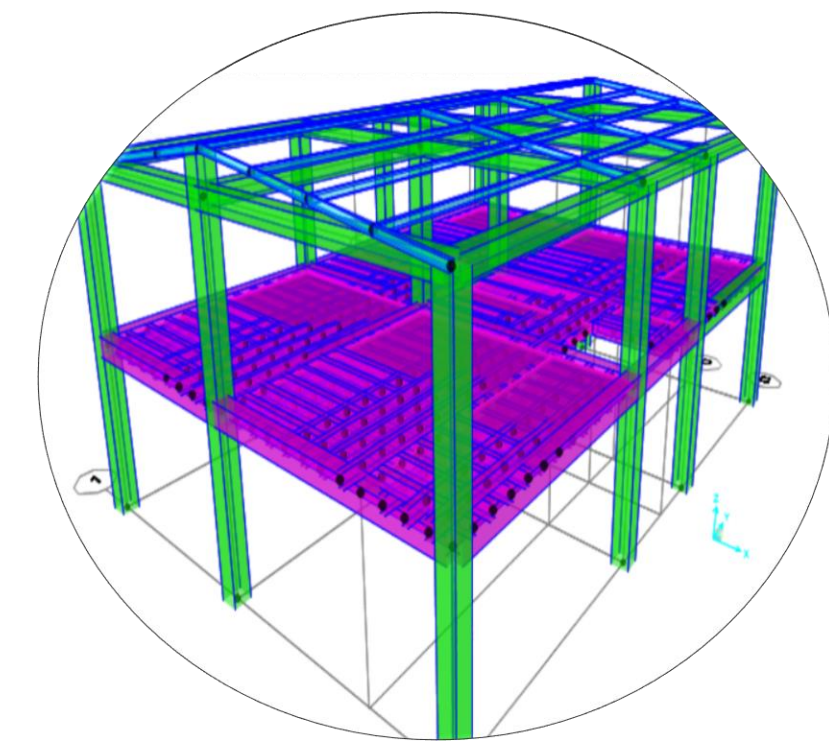
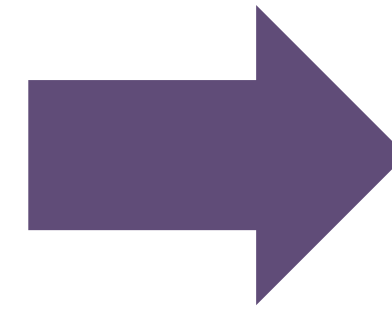
PROPUESTA



1. Trituración de hormigón con agregado proveniente de las Islas Galápagos.

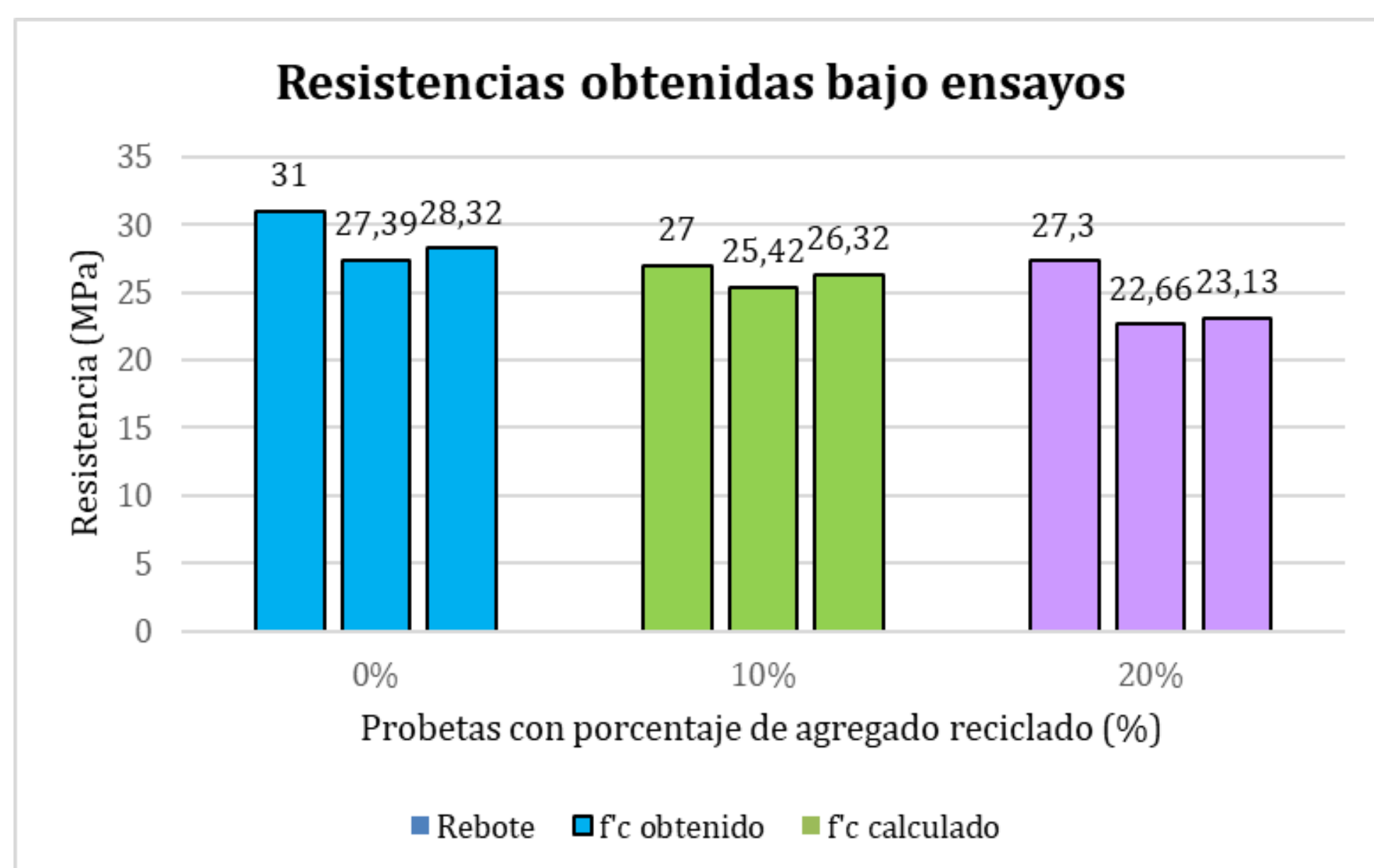


2. Hormigón con incorporación de agregado reciclado al 0%, 10% y 20% del total.

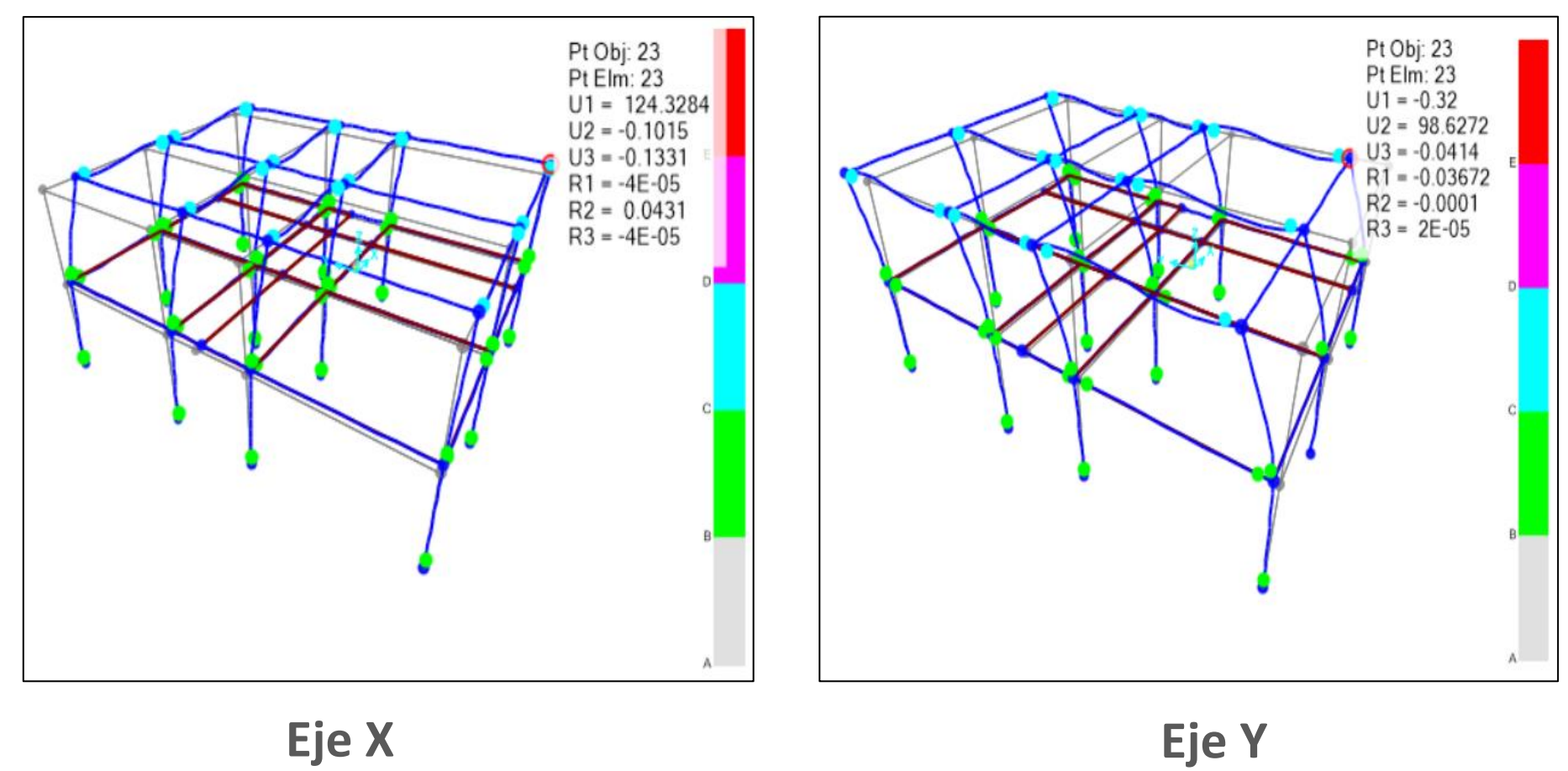


3. Modelo de una vivienda de dos pisos para la evaluación del su desempeño ante un sismo.

RESULTADOS



Deformación estructural y nivel de desempeño para un hormigón reciclado de 250 Kg/cm²

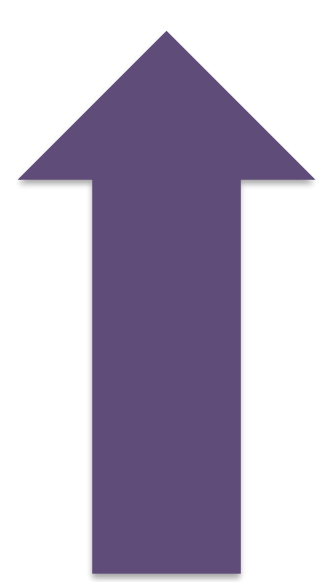


Las probetas de hormigón reciclado demostraron un comportamiento similar a las de un hormigón convencional, alcanzando y superando la resistencia objetivo.

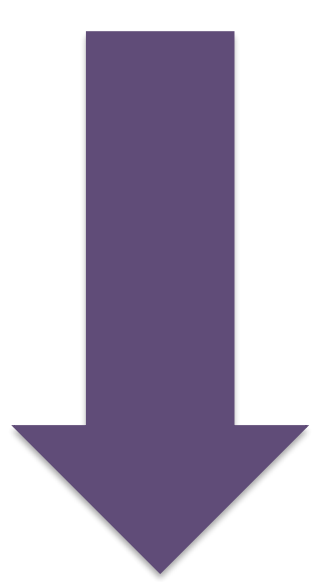
Ante cargas no lineales, la estructura no presenta deformaciones significativas que puedan produzcan un colapso.

CONCLUSIONES

1)



Porcentaje reciclado.



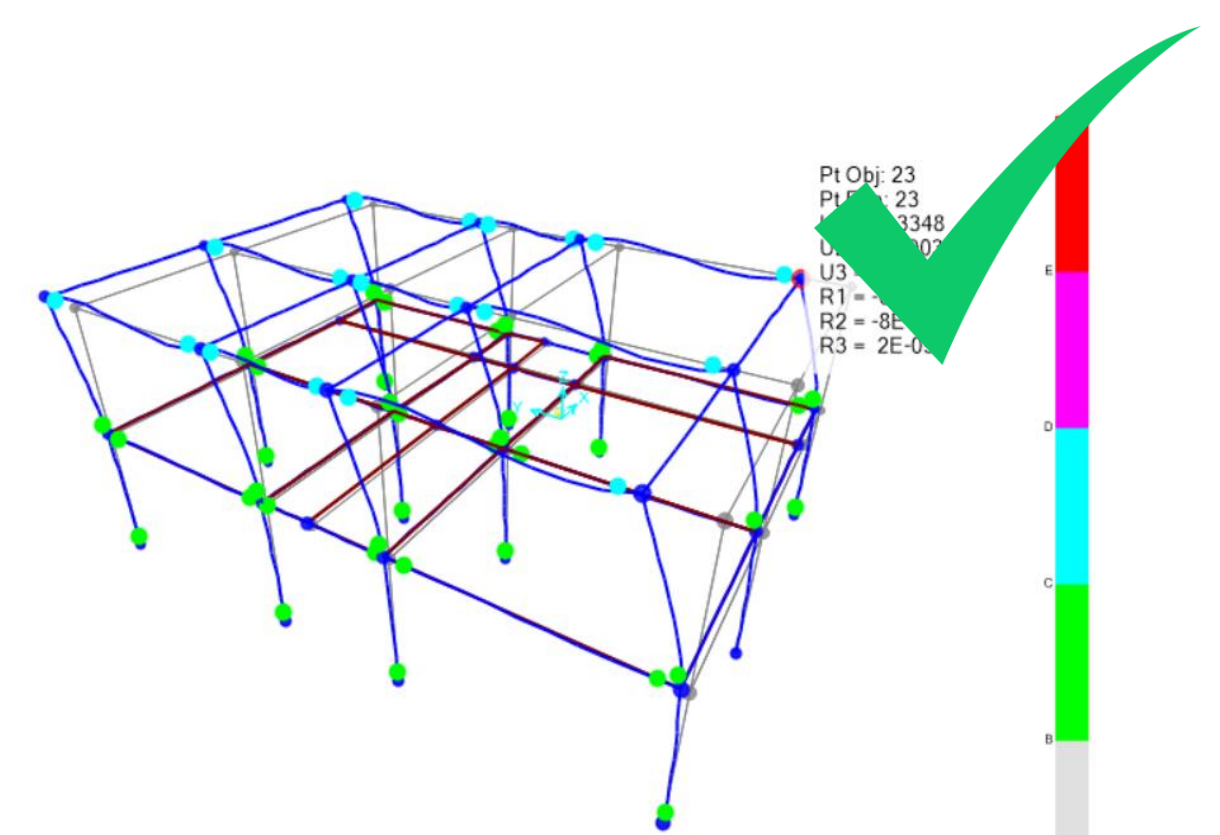
Resistencia a la compresión.

2)



Mejorar proceso de trituración del material reciclado.

3)



Viabilidad del hormigón reciclado en aplicaciones estructurales.