



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

“ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO Y ACERO PARA EDIFICACIONES DE 4 PISOS PARA CENTROS EDUCATIVOS EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA”

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORES:

BAUTISTA BENALCAZAR BRAYNER ANDRÉS
INCA ENCARNACIÓN DANILO SEBASTIÁN

TUTOR:

Ing. RAÚL ANDRÉS VILLO VERA MSc.

La Libertad - Ecuador

2023



UPSE

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

“ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO Y ACERO PARA EDIFICACIONES DE 4 PISOS PARA CENTROS EDUCATIVOS EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA”

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORES:

BAUTISTA BENALCAZAR BRAYNER ANDRÉS

INCA ENCARNACIÓN DANILO SEBASTIÁN

TUTOR:

Ing. RAÚL ANDRÉS VILLO VERA MSc.

La Libertad - Ecuador

2023

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 
Ing. Jonny Villao Borbor MSc.
DIRECTOR DE CARRERA

f. 
Ing. Raúl Villao Vera MSc.
DOCENTE TUTOR

f. 
Ing. Vianna Pinoargote MSc.
DOCENTE ESPECIALISTA

f. 
Ing. Lucrecia Moreno Alcívar PhD.
DOCENTE UIC

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **BAUTISTA BENALCAZAR BRAYNER ANDRÉS** e **INCA ENCARNACIÓN DANILO SEBASTIÁN** declaramos bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado **“ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO Y ACERO PARA EDIFICACIONES DE 4 PISOS PARA CENTROS EDUCATIVOS EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA”**, no tiene antecedentes de haber sido elaborado en la Facultad de **CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**, Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**, lo cual es un trabajo exclusivamente inédito y perteneciente a mi autoría.

Por medio de la presente declaración cedemos los derechos de autoría y propiedad intelectual, correspondientes a este trabajo, a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Atentamente,

f. 

Bautista Benalcázar Brayner Andrés

C.I. 0803566025

AUTOR DE TESIS

f. 

Inca Encarnación Danilo Sebastián

C.I. 0928863166

AUTOR DE TESIS

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Ing. Raúl Andrés Villao Vera MSc.

TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Universidad Estatal Península de Santa Elena

En mi calidad de Tutor del presente trabajo **“ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO Y ACERO PARA EDIFICACIONES DE 4 PISOS PARA CENTROS EDUCATIVOS EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA”**, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, elaborado por **BAUTISTA BENALCAZAR BRAYNER ANDRÉS e INCA ENCARNACIÓN DANILO SEBASTIÁN**, egresado de la carrera de Ingeniería Civil, Facultad Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todas sus partes.

FIRMA DEL TUTOR

f. 

Ing. Raúl Andrés Villao Vera MSc

C.I.

DOCENTE TUTOR

CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA

Certificación de Gramatólogo

Lic. MARIANA MEDINA SUÁREZ
*Magister En Diseño Y Evaluación
De Modelos Educativos*

La Libertad, noviembre 27 del 2023.

Certifica:

Que después de revisar el contenido del trabajo de titulación en opción al título de INGENIERO CIVIL de: BAUTISTA BENALCAZAR BRAYNER ANDRÉS & INCA ENCARNACIÓN DANILO SEBASTIÁN, cuyo tema es: “ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO Y ACERO PARA EDIFICACIONES DE 4 PISOS PARA CENTROS EDUCATIVOS EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA”

, me permito declarar que el trabajo investigativo se encuentra idóneo y puede ser expuesto ante el jurado respectivo para la defensa del tema en mención.

Es todo cuanto puedo manifestar en honor a la verdad.


Lic. Mariana Medina Suárez, MSc.
Docente de Español: Literatura
Cel: 0986380800
e-mail: marianoem1@hotmail.com

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema “**ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO Y ACERO PARA EDIFICACIONES DE 4 PISOS PARA CENTROS EDUCATIVOS EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA**”, elaborado por **BAUTISTA BENALCAZAR BRAYNER ANDRÉS** e **INCA ENCARNACIÓN DANILO SEBASTIÁN** estudiantes egresados de la carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, me permito declarar que una vez analizado en el sistema antiplagio COMPILATIO, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, la presente tesis, se encuentra con un 2 % de la valoración permitida, por consiguiente se procede a emitir el presente informe. Adjunto, reporte de similitud.

Atentamente:

f.  _____

Ing. Raúl Andrés Villao Vera MSc

C.I.

DOCENTE TUTOR



TESIS BRAYNER Y DANILO

2%
Textos sospechosos



3% Similitudes
< 1% similitudes entre comillas
< 1% Idioma no reconocido
0% Textos potencialmente generados por la IA

Nombre del documento: TESIS BRAYNER Y DANILO.docx
ID del documento: 68ac7e4247c2851c8f1403b0e2c25c8b0f954e8c
Tamaño del documento original: 180,44 kB

Depositante: RAUL ANDRES VILLAO VERA
Fecha de depósito: 11/12/2023
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 11/12/2023

Número de palabras: 17.104
Número de caracteres: 115.488

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	Análisis técnico-económico entre proyectos de construcción de estructura metáli... /var/dspace/bitstream/15000/6076/CID-1570/2008-06-30-03-17-36).pdf.txt 2 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (261 palabras)
2	dspace.ups.edu.ec http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/25470/1/UPE-CT010671.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (126 palabras)
3	repositorio.ucv.edu.pe https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/20.500.12692/62337/1/Arriaga_FN-Lazaro_DJG-SD.pdf 3 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (126 palabras)
4	skycivil.com ASCE 7-16 Ejemplo de cálculo de carga sísmica SkyCiv Engineering https://skyciv.com/resources/notes/loading/asce-7-16-seismic-load-calculation-example/ 2 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (75 palabras)
5	dspace.udla.edu.ec Repositorio Digital Universidad De Las Américas: Análisis co... https://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/11101 2 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (49 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	dspace.ups.edu.ec Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesia... https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25470/local-es	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (20 palabras)
2	repositorio.ups.edu.ec Estudio investigativo de los efectos P-Delta P- Δ en estru... https://repositorio.ups.edu.ec/bitstream/460005303/1/UPE-TIC-2020-0004.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (20 palabras)
3	localhost ESTUDIO COMPARATIVO TÉCNICO-ECONÓMICO DE UNA EDIFICACIÓN C... http://localhost:8080/xmiku/bitstream/123456789/642/3/TESIS PABLO ANDRÉS BAQUERZO SÁNCHE...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (20 palabras)
4	casalisto.info ¿Cuál es la diferencia entre viga y trabe? - Casalisto https://casalisto.info/entramiento-temas/cual-es-la-diferencia-entre-viga-y-trabe/	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (20 palabras)
5	construenc.com ▷ Zapatas corridas: por qué debes usarlas y cómo construirlas https://construenc.com/concreto-armado/zapatas-corridas/	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (13 palabras)

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

- <http://www.mendeley.com/documents/uuid-d85c92aa-2a36-41e9-9ae7-12d28d5f678e>
- <https://github.com/citation-style-language/schema/raw/master/csl-citation.json>

DEDICATORIA

A Dios por permitirme llegar a este momento tan importante en mi vida. A mi madre Magdalena Benalcázar por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a su esfuerzo he logrado llegar hasta aquí y cumplir un sueño tan anhelado.

A mis familiares por estar siempre presentes por el apoyo incondicional que me brindaron en todo momento porque con sus consejos y palabras de aliento han hecho de mí una mejor persona.

A mi novia Doménica Antón gracias por apoyarme, darme ánimos cuando más los necesite, por nunca dejarme solo durante todo este tiempo, y ayudarme a ser profesional que ahora soy.

Finalmente quiero dedicar este trabajo a mis seres queridos Colón Benalcázar y Maura Benalcázar que están en el cielo y que siempre los llevo en el corazón.

BAUTISTA BENALCAZAR BRAYNER ANDRÉS

Dedico este trabajo a mi familia, por su inquebrantable apoyo, paciencia y amor. Cada logro en este viaje académico es un reflejo de la fortaleza que ustedes me han brindado. Gracias por ser mi fuente constante de inspiración y por compartir conmigo cada paso de este emocionante camino hacia la culminación de esta tesis

INCA ENCARNACIÓN DANILO SEBASTIÁN

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi profundo agradecimiento a Dios, quien ha guiado cada paso de mi vida y ha permitido que alcance esta etapa.

A mi amada madre, Magdalena, y a mi abuela, Cipriana, les debo un agradecimiento especial, ya que sin su amor y orientación no sería la persona que soy hoy.

Quiero dedicar un reconocimiento especial a mis primas Mayra, Karol, Karen, mis primos Michael e Ivan, y mis queridos sobrinos. En los momentos más desafiantes, siempre estuvieron a mi lado, brindándome fuerza y aliento. Este logro es para ustedes.

Agradezco de manera sincera a las Sras. Nieve Reyes y María Pita, así como a los Sres. Roberto Antón y Alfredo Cevallos, por su incondicional apoyo y cariño durante esta etapa crucial de mi vida.

Finalmente, extendiendo mi gratitud a cada uno de mis amigos: Jaime, Fausto, Jorge, Danilo, Charlye, Edison, Leonel, Fernando, Gary y todos los demás. Su apoyo ha sido invaluable durante mi trayectoria estudiantil, y estoy agradecido por tener amigos tan maravillosos que han contribuido significativamente a mi crecimiento y éxito.

BAUTISTA BENALCAZAR BRAYNER ANDRÉS

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a mis apreciados amigos, maestros y familia por el apoyo invaluable que me han brindado a lo largo de este enriquecedor viaje académico. A mis amigos, les agradezco profundamente por ser pilares de fortaleza en los momentos desafiantes y fuentes constantes de ánimo que han iluminado mi camino.

A mis respetados maestros, mi gratitud por sus enseñanzas y orientación que han dejado una marca indeleble en mi trayectoria educativa. Cada lección impartida ha contribuido a mi crecimiento y desarrollo académico, y estoy agradecido por la dedicación y pasión que han compartido conmigo.

A mi querida familia, quiero expresar mi reconocimiento por su amor incondicional, que ha sido mi mayor impulso y sostén a lo largo de este trayecto. Cada logro alcanzado es el resultado directo de la suma de su apoyo constante y la sabiduría que han compartido generosamente conmigo. Estoy eternamente agradecido por la contribución única de cada uno de ustedes a este importante capítulo de mi vida.

INCA ENCARNACIÓN DANILO SEBASTIÁN

INDICE GENERAL

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	i
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	iii
CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA	iv
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO	v
DEDICATORIA	vii
AGRADECIMIENTOS	ix
INDICE GENERAL.....	xi
INDICE DE TABLAS	xviii
INDICE DE FIGURAS.....	xx
RESUMEN.....	xxi
ABSTRACT.....	xxii
1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	23
1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	26
1.2. ANTECEDENTES	28
1.3. HIPÓTESIS	31
1.3.3. Hipótesis General.....	31
1.4. Hipótesis específicas.	31
1.5. OBJETIVOS.....	32
1.6. Objetivo General.	32
1.7. Objetivos específicos.....	32
1.8. ALCANCE	32
1.9. VARIABLES.....	33

Variables independientes.....	33
Variables Dependientes	33
2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	34
2.3. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS ONSTRUCTIVOS	34
2.4. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS	35
2.4.1. Construcción de hormigón Armado.....	35
2.4.2. Ventajas del hormigón	37
2.4.3. Desventajas del hormigón estructural.....	39
2.4.4. Construcción en Acero.....	40
2.4.5. Acero Estructural.	40
2.4.6. Ventajas del Acero Estructural.....	41
2.4.7. Desventajas del Acero Estructural.	41
2.5. ESTRUCTURAS.....	42
2.6. ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS	42
2.6.1. Cimentación.	42
2.6.2. Columnas.	43
2.6.3. Vigas.	44
2.6.4. Losas.	44
2.6.5. Muros.	45
2.6.6. CONEXIONES	45
2.7. CONSIDERACIONES DE DISEÑO EN CENTROS EDUCATIVOS. 47	
2.8. Ubicación.....	48
2.9. Infraestructura vial.	48
2.10. Topografía.....	49
2.11. Estudios de suelo.	50

2.12.	Impacto acústico.	50
2.13.	Materiales de construcción.	50
2.14.	Señalización.	52
2.15.	ANÁLISIS FINANCIERO	52
2.16.	ANÁLISIS PRESUPUESTARIO.....	52
2.16.1.	Presupuesto.....	52
2.16.2.	Costos Directos.....	53
2.16.3.	Costos Indirectos.	54
2.17.	NORMATIVAS DE CONSTRUCCIÓN	54
2.18.	Diseño de estructuras de acero.....	55
2.18.1.	Método LRFD.	55
2.18.2.	Método ASD.....	56
2.19.	Diseño de estructuras de Hormigón.....	56
2.19.1.	Método de diseño por esfuerzos (WSD)	57
2.19.2.	Método de diseño por resistencia (SMD).....	57
2.20.	Cargas de diseño.	57
2.20.1.	Carga Permanente o muerta (D).	57
2.20.2.	Carga Viva (L).....	57
2.20.3.	Carga por viento o granizo (W, S).	58
2.20.4.	Carga por sismo (E).....	58
2.21.	Combinaciones de Carga.	58
2.22.	CONSTRUCCIÓN DE CENTROS EDUCATIVOS	59
2.22.1.	Estándares Arquitectónicos.	59
2.22.2.	Estándares Urbanísticos.	59
2.22.3.	Infraestructuras.	60

2.23.	Condiciones Técnicas Normativas.....	60
3.	CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	62
3.1.	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	62
3.2.	Tipo de investigación.	62
3.3.	Nivel de Investigación.....	62
3.4.	MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO.....	63
3.5.	Método.....	63
3.6.	Enfoque.	63
3.7.	Diseño de la investigación.....	63
3.8.	POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO.....	64
3.9.	Población.....	64
3.10.	Muestra	64
3.11.	Muestreo	65
3.12.	DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA	65
3.13.	CONSIDERACIONES PREELIMINARES.....	66
3.13.1.	UBICACIÓN DEL SECTOR DE ESTUDIO.	66
3.13.2.	DISEÑO ARQUITECTÓNICO	67
3.14.	METODOLOGÍA DEL O.E.1.: DETERMINAR EL TIPO DE SUELO PREDOMINANTE EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA MEDIANTE LA CLASIFICACIÓN DE PERFILES DE SUELO PROPUESTA POR NEC-15, PARA DEFINIR EL ESPECTRO DE RESPUESTA ELÁSTICO DE ACELERACIONES	68
3.15.	DISEÑAR DOS MODELOS ESTRUCTURALES DE UNA INSTITUCIÓN ESCOLAR DE HORMIGÓN ARMADO Y ACERO CONSIDERANDO LAS DISPOSICIONES TÉCNICAS Y NORMATIVAS DE NEC-2015, ACI 318-19 Y AISC 341-16 PARA REALIZAR UN ANÁLISIS TÉCNICO COMPARATIVO DE AMBOS MODELOS.	69

3.16. METODOLOGÍA DEL O.E.3.: REALIZAR UNA EVALUACIÓN PRESUPUESTARIA DE LOS MODELOS ESTRUCTURALES PROPUESTOS MEDIANTE EL ANÁLISIS DE COSTOS TOTALES POR M2, PARA DETERMINAR QUÉ SISTEMA CONSTRUCTIVO ES MÁS ECONÓMICO.....	70
CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....	73
4.1. RESULTADOS DEL O.E1: DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS DEL TIPO DE SUELO PREDOMINANTE MEDIANTE UNA RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA DE ESTUDIOS DE SUELO, PARA DISEÑAR LOS MODELOS ESTRUCTURALES DE HORMIGÓN ARMADO Y ACERO.....	73
4.1.1. Perfil de sitio	73
4.1.2. Mapa estratigráfico de Santa Elena.....	74
4.1.3. Factor de Reducción de Resistencia (R)	80
4.1.4. Espectro de diseño inelástico	81
4.2. RESULTADOS DEL O.E2: DISEÑAR DOS MODELOS ESTRUCTURALES DE UNA INSTITUCIÓN ESCOLAR DE HORMIGÓN ARMADO Y ACERO CONSIDERANDO LAS DISPOSICIONES TÉCNICAS Y NORMATIVAS DE NEC-2015, ACI 318-19 Y AISC 341-16 PARA REALIZAR UN ANÁLISIS TÉCNICO COMPARATIVO DE AMBOS MODELOS.....	82
4.3. Especificaciones estructurales y elementos de diseño arquitectónico en hormigón armado.	82
4.4. Predimensionamiento de losa.....	83
4.5. Predimensionamiento de vigas.....	86
4.6. Predimensionamiento de columnas	87
4.7. MODELO ESTRUCTURAL DE LA ESTRUCTURA DE HORMIGÓN ARMADO	88

4.8.	Diseño de hormigón armado	100
4.9.	Vigas.....	101
4.9.1.	Diseño a flexión	101
4.9.2.	Refuerzo transversal.....	103
4.9.3.	Refuerzo mínimo a cortante	107
4.10.	Columnas	108
4.10.1.	Limites dimensionales	108
4.10.2.	Diseño a flexo-compresión	108
4.10.3.	Criterio columna fuerte – viga débil	111
4.10.4.	Refuerzo transversal	113
4.11.	Conexión Viga – Columna.....	115
4.12.	Diseño de estructura de acero.....	118
4.13.	Estructura	118
4.14.	Diseño de elementos y placas estructurales.....	119
4.15.	Losa con placa Colaborante.....	119
4.16.	Diseño Estructural de la edificación en acero.....	120
4.16.1.	Factor de Reducción de Resistencia (R).....	120
4.16.2.	Factores de importancia I	120
4.16.3.	Factores de configuración estructural (ϕ_P, ϕ_E)	121
4.16.4.	Periodo Fundamental de las Estructura	122
4.16.5.	Cálculo de carga sísmica Reactiva	122
4.16.6.	Masa Participativa	123
4.16.7.	Cálculo del Cortante Basal:	124
4.16.8.	Control Global de desempeño con sus secciones definitivas	125
4.16.9.	Resultados de la estructura de Acero con secciones definidas..	126

4.16.10.	Derivas y Torsión para la estructura de Acero	127
4.16.11.	Revisión de resistencia a pandeo local de los elementos definitivos de la estructura de Acero.	128
4.17.	RESULTADO DE O.E.3.: REALIZAR UNA EVALUACIÓN PRESUPUESTARIA DE LOS MODELOS ESTRUCTURALES PROPUESTOS MEDIANTE EL ANÁLISIS DE COSTOS TOTALES POR M2, PARA DETERMINAR QUÉ SISTEMA CONSTRUCTIVO ES MÁS ECONÓMICO.....	129
5.	CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	132
5.2.	CONCLUSIONES.....	132
5.3.	RECOMENDACIONES.	132
6.	BIBLIOGRAFÍA	134

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Códigos y Normativas empleados para el diseño de estructuras de hormigón y acero	55
Tabla 2 Combinaciones de Carga	59
Tabla 3 Normas técnicas para el diseño de infraestructura educativa	60
Tabla 4. Norma Técnica para el diseño de infraestructura escolar con énfasis en las zonas de administración.	61
Tabla 5. Criterios de diseño para zonas complementarias en ambientes educativos	61
Tabla 6 Dimensiones en ejes X e Y de la edificación	68
Tabla 7. Cuadro de operacionalización de las variables	72
Tabla 8. Datos para definición de espectro de diseño NEC 2015 (NEC-SE-DS)	79
Tabla 9. Coeficientes espectrales para suelos Coeficientes espectrales para suelos	79
Tabla 10 Factores y coeficientes estructurales para los edificios (NEC-SE-DS-2015)	81
Tabla 11 Propiedades del hormigón y acero de refuerzo	83
Tabla 12. Espesor mínimo de losas en 2 direcciones apoyadas en todos sus lados.	83
Tabla 13 Espesores de elementos de hormigón armado	84
Tabla 14 Carga muerta y peso de losa	84
Tabla 15 Cargas vivas que afectan la estructura	85
Tabla 16 Cargas mayoradas	85
Tabla 17 Predimensionamiento de vigas.....	87
Tabla 18 Predimensionamiento de vigas.....	87
Tabla 19 Predimensionamiento de columnas.....	88
Tabla 20 Parámetros de irregularidad en altura de la edificación en hormigón armado.....	89
Tabla 21 Parámetros de irregularidad en planta en la estructura de hormigón armado.....	90
Tabla 22 Coeficientes espectrales para suelos	91

Tabla 23 Factores y coeficientes estructurales para la edificación (NEC-SE-DS, 2015)	93
Tabla 24 Resultados de fuerza sísmica en eje x	94
Tabla 25 Resultados de fuerza sísmica en eje y	95
Tabla 26 Resultados de modos de vibración en Etabs	95
Tabla 27 Resultado de fuerza cortantes basal en eje x	97
Tabla 28 Resultado de fuerza cortantes basal en eje y	97
Tabla 29 Masa participativa	98
Tabla 30 Derivas y torsión eje x	98
Tabla 31 Derivas y torsión envolvente x.....	99
Tabla 32 Derivas y torsión eje x	99
Tabla 33 Derivas y torsión envolvente x.....	100
Tabla 34 Derivas y torsión envolvente $E_x-0,3E_y$	100
Tabla 35. Materiales Utilizados.	118
Tabla 36 <i>Periodos de Vibración Correspondiente a su primer modo en cada dirección</i>	122
Tabla 37 <i>Reacciones en la base de la estructura de Acero</i>	123
Tabla 38 Masa Participativa.....	123
Tabla 39 Perfiles W definitivas de la estructura de Acero	126
Tabla 40 Derivas para efectos dinámicos en la dirección X	127
Tabla 41 Chequeo de la torsión para efectos dinámicos en dirección X.....	127
Tabla 42 Derivas para efectos dinámicos en la dirección Y	128
Tabla 43 Chequeo de la torsión para efectos dinámicos en dirección Y.....	128
Tabla 44 Análisis presupuestario estructura de hormigón armado	130
Tabla 45 Análisis de estructura de acero.....	130
Tabla 46 Comparativa de precios de las dos estructuras.....	131

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Conexión de Acero.</i>	46
Figura 2. <i>Zona de riesgo para una institución educativa. Zona de riesgo para una institución educativa.</i>	48
Figura 3 <i>Infraestructura Vial Infraestructura Vial</i>	49
Figura 4. <i>Topografía</i>	49
Figura 5 <i>Criterio de selección de materiales</i>	51
Figura 6. <i>Mapa Provincia de Santa Elena</i>	66
Figura 7 <i>Relación estratigráfica entre formaciones de la Península de Santa Elena y Cuenca.</i>	74
Figura 8 <i>Sección de losa</i>	84
Figura 9 <i>Modelo estructural de la edificación en hormigón armado</i>	89
Figura 10 <i>Espectro de Respuesta elástica e Inelástica para tipo de Suelo D en el Cantón La Libertad Provincia de Santa Elena.</i>	93
Figura 11 <i>Espectro de respuesta de la edificación eje x</i>	96
Figura 12 <i>Espectro de respuesta eje y</i>	96
Figura 13 <i>Cortante equivalente de carga 30x45</i>	104
Figura 14 <i>Refuerzo longitudinal de viga 30x45</i>	107
Figura 15 <i>Diagrama de interacción para diseño de columnas.</i>	109
Figura 16 <i>Conexión viga - columna</i>	116
Figura 17 <i>Diseño de estructura de acero.</i>	118
Figura 18 <i>Modelamiento estructural en Etabs de la edificación</i>	120

“ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO Y ACERO PARA EDIFICACIONES DE 4 PISOS PARA CENTROS EDUCATIVOS EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA”

Autores: Bautista Benalcázar Brayner Andrés

Inca Encarnación Danilo Sebastián

Tutor: MSc. Raúl Villao Vera

RESUMEN

El tema de tesis se enfoca en realizar un estudio comparativo entre las estructuras de hormigón armado y acero destinadas a edificaciones de cuatro pisos diseñadas para centros educativos ubicados en la provincia de Santa Elena. El objetivo es analizar y contrastar las características, ventajas y desventajas de ambas opciones estructurales en el contexto específico de edificaciones destinadas a la educación en esta provincia. Este estudio tiene como propósito proporcionar información valiosa para la toma de decisiones en el diseño y construcción de edificaciones educativas, considerando factores como la seguridad, la durabilidad y la eficiencia estructural en el contexto geográfico y normativo de Santa Elena.

Los resultados obtenidos en esta investigación proporcionan una clasificación detallada del suelo predominante en la provincia, permitiendo definir un espectro de respuesta elástico de aceleraciones adaptado a las condiciones locales. Los modelos estructurales diseñados cumplen con las normativas NEC-2015, ACI 318-19 y AISC 341-16, y el análisis comparativo revela sus respectivas fortalezas y debilidades. Además, la evaluación económica arroja conclusiones claras sobre la viabilidad financiera de cada sistema constructivo, facilitando la toma de decisiones informada en el ámbito de la construcción de instituciones educativas en Santa Elena.

Palabras clave: presupuesto, estructuras, pórticos.

"COMPARATIVE STUDY BETWEEN REINFORCED CONCRETE AND STEEL STRUCTURES FOR 4-STORY EDUCATIONAL BUILDINGS IN THE PROVINCE OF SANTA ELENA"

Authors: Bautista Benalcazar Brayner Andrés

Inca Encarnación Danilo Sebastián

Advisor: MSc. Raúl Villao Vera

ABSTRACT

This thesis focuses on conducting a comparative study between reinforced concrete and steel structures intended for four-story buildings designed for educational centers located in the province of Santa Elena. The objective is to analyze and contrast the characteristics, advantages, and disadvantages of both structural options in the specific context of buildings dedicated to education in this province. This study aims to provide valuable information for decision-making in the design and construction of educational buildings, considering factors such as safety, durability, and structural efficiency in the geographical and regulatory context of Santa Elena.

The results obtained in this research offer a detailed classification of the predominant soil in the province, allowing the definition of an elastic acceleration response spectrum adapted to local conditions. The designed structural models comply with the NEC-2015, ACI 318-19, and AISC 341-16 standards, and the comparative analysis reveals their respective strengths and weaknesses. Additionally, the economic evaluation provides clear conclusions regarding the financial feasibility of each construction system, facilitating informed decision-making in the field of constructing educational institutions in Santa Elena.

Keywords: budget, structures, frames

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Los sistemas constructivos han experimentado una transformación significativa a lo largo de la historia de la ingeniería y la arquitectura. En tiempos remotos, la construcción tradicional se basaba en el uso de materiales pesados como piedras, ladrillos, bloques de adobe o incluso madera, dispuestos y unidos para formar una estructura sólida y estable (Caiza & Córdova, 2023).

Estas estructuras se caracterizaban por ser muy pesadas, sin embargo, a medida que la ciencia de los materiales y la ingeniería estructural avanzaron, surgieron sistemas revolucionarios que cambiaron la forma en que se concibe y se construyen edificaciones en la actualidad. Entre estos avances destacan el hormigón armado y el acero, dos materiales que han redefinido los estándares de resistencia, durabilidad y versatilidad. El empleo de estos materiales permitió reducir costos, tiempo de construcción y lo más importante un comportamiento antisísmico con el diseño de estructuras más livianas (Iturraide Arias, 2019).

El cuestionamiento sobre la conveniencia económica de emplear una estructura en acero u hormigón armado es un tema que se ha planteado a lo largo de los años y la respuesta depende de muchos factores como la geografía, sistema estructural, tipo de cargas (gravitacionales o sísmicas) (Abril et al., 2023).

El hormigón armado, una combinación estratégica de concreto y acero de refuerzo, ha permitido la creación de estructuras de gran envergadura, como puentes, rascacielos y presas, que antes eran inimaginables con los métodos de construcción convencionales de décadas anteriores. No obstante, presenta ciertas limitaciones al ser empleado como material de construcción. Una de ellas es la baja resistencia a la tracción, que produce fisuración y el agrietamiento cuando del hormigón cuando es sometido a cargas de flexión. Además, su proceso de fraguado requiere de la consideración de tiempos de construcción más extensos. De igual manera, los encofrados temporales incrementan los costos, los residuos de construcción, y su

producción a gran escala implica un alto consumo de recursos naturales, lo que plantea preocupaciones ambientales (Bossio & Bellucci, 2019; Wadel et al., 2010), así como, costos de mantenimiento adicionales. También, estas estructuras se deterioran en ambientes costeros debido a las condiciones de elevada, agresividad corrosiva de la atmósfera que corroen el acero de refuerzo, (Guerra-Mera et al., 2023; Howland et al., 2019).

Por otro lado, el acero se ha consolidado como un elemento esencial en la industria de la construcción gracias a su alta resistencia a la tracción y su maleabilidad. La introducción de estructuras de acero, como vigas y columnas, ha permitido la creación de edificios de gran altura y puentes de gran longitud que pueden soportar cargas gravitacionales y sísmicas considerables. Además, la capacidad de fabricación en masa y la facilidad de ensamblaje de elementos de acero han acelerado los procesos constructivos y han contribuido a la eficiencia en la industria de la construcción. Sin embargo, su susceptibilidad a la corrosión, especialmente en entornos marinos o industriales, requiere de mantenimientos regulares y costosos (Revelo, 2022).

Además, el acero es altamente conductor del calor, lo que produce pérdida de energía a través de las estructuras, generando necesidades adicionales de aislamiento térmico. La resistencia a la tracción es excepcional, pero su resistencia a la compresión es relativamente baja en comparación con el hormigón, lo que puede requerir secciones transversales más grandes para soportar cargas de compresión significativas. Además, el costo inicial de las estructuras de acero puede ser más alto que el de otros materiales, y la mano de obra especializada necesaria para su fabricación e instalación puede añadir un gasto adicional (Zambrano Songora, 2017).

La decisión de emplear estructuras de acero u hormigón armado es una elección crítica en cualquier proyecto de construcción debido a su impacto significativo en aspectos técnicos, económicos y funcionales. Esta decisión influye en la resistencia, durabilidad y comportamiento estructural de la edificación, así como en la eficiencia energética y los costos de mantenimiento a largo plazo. Además, afecta la planificación y el cronograma del proyecto, debido a las variaciones en los

procesos de fabricación, transporte e instalación de estos materiales. La selección también tiene implicaciones medioambientales, ya que el uso de recursos naturales y la generación de residuos difieren entre ambos materiales (Carphio & Estrada, 2017a). Por tanto, es fundamental definir el tipo de estructura desde las etapas iniciales del proyecto para optimizar el diseño, garantizar la seguridad, controlar los costos y cumplir con los objetivos del proyecto, tanto en términos de funcionalidad como de sostenibilidad.

En la construcción de infraestructura escolar la selección del tipo de estructura conlleva una serie de consideraciones técnicas cruciales. En primer lugar, desde el punto de vista de la seguridad y la resistencia sísmica, las estructuras de acero ofrecen una notable capacidad para resistir fuerzas sísmicas gracias a su excelente resistencia a la tracción y flexión (Untiveros, 2020). Esta cualidad es particularmente relevante en zonas de alta sismicidad propensas a terremotos, ya que brinda una mayor confiabilidad estructural y, por lo tanto, una mayor seguridad para los estudiantes y el personal escolar.

La durabilidad y el mantenimiento son factores esenciales a largo plazo en edificaciones escolares. En este sentido, el hormigón armado se destaca por su resistencia a la corrosión y durabilidad a lo largo del tiempo, lo que conlleva costos de mantenimiento sustancialmente reducidos en comparación con las estructuras de acero, que favorece al contexto escolar al minimizar las interrupciones y gastos operativos de mantenimiento. Además, varios autores han estudiado la relación existente entre la infraestructura y el desarrollo y motivación de los escolares, coincidiendo que un ambiente de aprendizaje óptimo, que involucra una buena infraestructura es crucial para potenciar el desarrollo cultural y educativo (Arévalo Vélez, 2020; Arpi Erquinigo & Montoya Mogollon, 2022; Jiménez Cedillo, 2020; Jiménez Shinin, 2022; Ramón, 2020; Vega Torres & Acuña González, 2019).

Dada la importancia de infraestructura para el progreso académico y la demanda insatisfecha presente por el incremento de la densidad poblacional, este proyecto tiene como finalidad realizar un análisis comparativo, estructural y económico entre dos sistemas de constructivos; hormigón armado y acero aplicado al diseño de un centro educativo en la provincia de Santa Elena. Para tal fin, el proyecto se

encuentra configurado como se detalla a continuación. El primer capítulo recoge los antecedentes que preceden la investigación, el segundo capítulo congrega las bases teóricas fundamentales para el entendimiento y comprensión de las formulaciones y disposiciones técnicas empleadas en el diseño, el tercer capítulo acoge los procedimientos empleados para el diseño de los dos modelos estructurales, el quinto capítulo recoge los resultados obtenidos y el último capítulo contiene las conclusiones y recomendaciones de este trabajo

1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La problemática general en torno al uso de estructuras de acero y hormigón armado abarca una serie de desafíos técnicos, económicos y medioambientales que requieren atención y consideración en el diseño y la construcción de edificaciones. En primer lugar, la vulnerabilidad del acero a la corrosión, particularmente en entornos agresivos o marinos, puede resultar en costos sustanciales de mantenimiento y protección contra la corrosión. Además, las estructuras de acero tienden a ser altamente conductivas al calor, lo que puede requerir medidas adicionales de aislamiento térmico para garantizar la eficiencia energética de los edificios, lo que a su vez puede aumentar los costos.

Por otro lado, el hormigón armado, a pesar de su durabilidad, enfrenta limitaciones en términos de resistencia a la tracción, lo que puede llevar a la fisuración y el agrietamiento bajo cargas de flexión. El proceso de fraguado del hormigón es relativamente lento, lo que puede extender los plazos de construcción, y la necesidad de encofrados temporales agrega complejidad y costos a los proyectos. Además, la producción de hormigón a gran escala implica la extracción y el consumo intensivo de recursos naturales, lo que plantea preocupaciones medioambientales en un contexto de sostenibilidad.

La divergencia en las conclusiones respecto a la conveniencia de los sistemas de construcción en términos de costos subraya la complejidad intrínseca en la toma de decisiones en el ámbito constructivo. El análisis de (Robayo-Sarmiento, 2022), al resaltar que el proceso constructivo de un edificio de acero estructural es más eficiente en términos de duración, con 135 días en comparación con los 169 días de

un edificio de hormigón armado, inicialmente sugiere una preferencia hacia el sistema de acero. Sin embargo, la evaluación más detallada revela que el costo de materiales asociado con el edificio de acero es notablemente superior, incrementándose en un 25,91% en comparación con la opción de hormigón armado. Además, el costo de equipo en el edificio de acero estructural experimenta un aumento significativo del 67,87% en relación con la alternativa de hormigón armado. Esta dualidad de eficiencia temporal versus costos conduce a la conclusión de que, desde una perspectiva puramente económica, el hormigón armado podría ser la elección más viable.

Por otro lado, Arriaga & Lazaro (2020) presentan un enfoque distinto al destacar que los costos y presupuestos asociados con el sistema de concreto armado tienden a ser más elevados en comparación con el sistema de acero. Estos autores, al considerar la variación en el tiempo de ejecución, abogan por la idea de que el uso del acero estructural resulta ser más económico y rentable, especialmente en contextos específicos como la construcción de viviendas multifamiliares y entresijos industriales.

Esta discrepancia en las conclusiones resalta la importancia de considerar cuidadosamente los factores individuales de cada proyecto. La duración del proceso constructivo, los costos asociados con materiales y equipos, así como las características particulares del entorno de construcción, todos juegan un papel crucial en la toma de decisiones. La ausencia de una solución unánime subraya la necesidad de un enfoque pragmático y personalizado, donde la evaluación detallada de las circunstancias específicas determine la elección más adecuada para lograr un equilibrio eficiente entre rendimiento estructural y consideraciones económicas.

En el ámbito de la construcción, tanto las estructuras de acero como el hormigón armado se enfrentan a una serie de desafíos que demandan atención y soluciones innovadoras. La corrosión es una preocupación común, ya que puede comprometer la integridad a largo plazo de las estructuras, especialmente en entornos agresivos.

La eficiencia energética se ha convertido en un aspecto crucial en el diseño de edificaciones, impulsando la búsqueda de métodos que minimicen el consumo

energético a lo largo del ciclo de vida de la estructura. La resistencia a la tracción es otro aspecto crítico, especialmente en el caso del hormigón armado, donde las propiedades de tracción son inherentemente más bajas. Los plazos de construcción, los costos y la sostenibilidad ambiental son consideraciones clave que deben abordarse con un enfoque integral.

La planificación cuidadosa, la elección de materiales apropiados y la adaptación a las necesidades específicas de cada proyecto son esenciales para optimizar tanto el rendimiento a corto plazo como la durabilidad a largo plazo de las estructuras construidas, buscando un equilibrio entre la funcionalidad, la economía y el respeto al medio ambiente.

1.2. ANTECEDENTES

A nivel internacional se han encontrado las siguientes investigaciones:

El trabajo de Arriaga Feril & Lazaro Dulanto (2020) intitulado “ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE SISTEMAS DE CONCRETO ARMADO Y ESTRUCTURAS DE ACERO EN EL DISEÑO DE UN ENTREPISO INDUSTRIAL, SAN JUAN DE LURIGANCHO 2020” tuvo por objetivo comparar los parámetros que diferencian los sistemas de concreto armado y estructuras de acero en el diseño de un entrepiso industrial. Para ello, se realizaron dos diseños un sistema de concreto reforzado y otro de acero estructural usando perfiles A36, de acuerdo con la norma técnica Peruana de Diseño Sismorresistente E.030. Los autores concluyen que; i) la estructura diseñada en acero estructural presenta menor peso sísmico así como también es la que presenta mayor desplazamiento un 50% más que la estructura de concreto a 9 metros de altura para ambos modelos y ii) la diferencia de presupuesto para obra entre ambos sistemas es el 12% del presupuesto del sistema de concreto armado y que este último tomaría 64 días más en terminar de ejecutarse respecto al de acero estructural que se realizaría en un plazo de 50 días.

El trabajo de Thapa et al (2020) denominado “COMPARATIVE STUDY OF STRUCTURAL ANALYSIS BETWEEN REINFORCED CEMENT CONCRETE

STRUCTURE AND STEEL FRAMED STRUCTURE” tuvo por objetivo comparar el análisis estructural entre edificaciones de acero y hormigón reforzado. Para ello, se determinaron y compararon la masa, rigidez del piso, el cortante basal, la relación de deriva del piso, el centro de masa, el centro de rigidez y el desplazamiento para profundizar en claridad conceptual la elección del material. Además, se realizaron modelos tridimensionales de hormigón armado, los cuales, fueron analizados con el software ETABS 2016v16. Las conclusiones de estudio refieren que i) la construcción en hormigón armado consume una gran cantidad de materias primas, ii) la rigidez máxima del piso fue mayor para el acero que para el concreto, iii) el corte de la base es considerablemente menor para la estructura de acero en comparación con el hormigón armado, lo que proporciona una mejor respuesta durante un terremoto, iv) el desplazamiento del piso fue mayor para el modelo con estructura hormigón armado que para el modelo con estructura de acero.

A nivel nacional se consideraron los siguientes estudios de caso:

El trabajo de Caiza & Córdova (2023) intitulado “DISEÑO Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE UN EDIFICIO DE CUATRO PLANTAS EN ESTRUCTURA DE ACERO Y ESTRUCTURA DE HORMIGÓN ARMADO MEDIANTE METODOLOGÍA MIVES” tuvo por objetivo obtener el índice de los edificios que representen el desarrollo sostenible basado en información de tres indicadores: económicos, ambientales y sociales. Para ello, se diseñó de una estructura de acero y una de hormigón armado siguiendo las recomendaciones de ACI 318-19, NEC y AISC 360-16, luego se empleó el "Modelo de Valoración Integrada para la Evaluación de la Sostenibilidad" (MIVES) para evaluar los aspectos económicos, ambientales y sociales de manera conjunta. Los resultados muestran que, ambas variantes cumplen con los estándares de seguridad y desviaciones permitidas. También, se observó una diferencia significativa en las deformaciones, siendo la estructura metálica menos susceptible a movimientos sísmicos. El autor concluye que es más sostenible realizar una estructura de hormigón armado, ii) la deformación en la estructura metálica es menor que en la de hormigón y iii) el costo total de la estructura de acero fue un 33% superior al de la estructura de hormigón armado.

También, se cuenta con el trabajo de Iturraide Arias (2019) denominado “ANÁLISIS COMPARATIVO TÉCNICO – FINANCIERO ENTRE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS PARA EDIFICACIONES CON ESTRUCTURA DE HORMIGÓN ARMADO Y ESTRUCTURA DE ACERO MEDIANTE EL DESARROLLO DE UNA MATRIZ DE DECISIÓN” realizar un estudio comparativo técnico-financiero entre dos de los sistemas constructivos para edificaciones actualmente más utilizados en el sector de la construcción en Ecuador. Para tal fin, se revisó y analizó el proyecto de edificación “Nevado Spring” hormigón tanto como estructura de hormigón armado y acero, describiendo cada elemento en una hoja de cálculo, para realizar la cuantificación de cada material y determinar volúmenes de Obras. Los resultados de esta investigación demostraron que; i) El costo de la alternativa estructural de Acero es mayor en un 29.15% en relación al hormigón armado, ii) El sistema de pisos de la estructura de acero facilita las instalaciones eléctricas, hidrosanitarias y el montaje de Gypsum, iii) en una estructura de acero se obtiene mayor utilidad porque esta depende del tiempo de ejecución de la obra. Finalmente, el estudio concluye i) la estructura en acero es más costosa en un 25% en relación al hormigón armado y ii) la construcción en acero representa una reducción del tiempo de ejecución del 40% en relación al hormigón armado.

Los autores Aguirre & Figueroa (2008) en su estudio “ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO ENTRE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURA METÁLICA Y HORMIGÓN ARMADO PARA EDIFICIOS” tuvo por objetivo realizar un estudio comparativo entre la construcción de estructuras de acero y hormigón armado para edificios, basado en un estudio técnico y otro del tipo económico-financiero, de forma que permita la evaluación de las diferencias y conveniencias entre las dos alternativas de construcción, a fin de establecer la más rentable en relación al costo beneficio de la inversión total. Para tal propósito se realizó una recopilación de algunos fundamentos teóricos acerca de las estructuras, entre las tipologías, el comportamiento estructural tanto del hormigón como del acero, ventajas y desventajas de cada material y sus principales cargas a las que se encuentran expuestos los edificios. Posteriormente, se realizó el modelamiento y análisis en el programa ETABS de cada de las seis edificaciones

de proyectos específicos, de 3, 6 y 13 niveles, de diferentes áreas, las misma que a partir de los planos estructurales de los edificios en hormigón se han modelado tanto en hormigón y en acero, a fin de obtener criterios técnicos valederos sobre el comportamiento de cada estructura. Finalmente, los autores concluyen que, i) La estructura de acero, comparada con la de concreto, demanda un nivel de detalle y elaboración mucho más exigentes, ii) los costos totales en las estructuras de acero son más costosas en un 14.3%, 7.3% y 20.5% frente a sus similares en hormigón y iii) los edificios metálicos se han logrado establecer pesos entre el 23 y 47% menores respecto a sus similares en hormigón

1.3. HIPÓTESIS

1.3.3. Hipótesis General.

El estudio comparativo entre estructuras de hormigón armado y acero de una infraestructura escolar de 4 pisos en la provincia de Santa Elena permitirá determinar las diferencias técnicas y económicas de ambos sistemas constructivos

1.4. Hipótesis específicas.

H.E.1.: La determinar el tipo de suelo predominante en la provincia de Santa Elena mediante la clasificación de perfiles de suelo propuesta por NEC-15, permitirá definir el espectro de respuesta elástico de aceleraciones

H.E.2.: El diseño de dos modelos estructurales de una institución escolar de hormigón armado y acero, considerando las disposiciones técnicas y normativas de NEC-2015, ACI 318-19 y AISC 341-16, permitirá realizar un análisis técnico comparativo de ambos modelos.

H.E.3: La evaluación presupuestaria mediante el análisis de los costos totales por m² de los modelos estructurales propuestos, permitirá determinar qué sistema constructivo es más económico.

1.5. OBJETIVOS

1.6. Objetivo General.

Realizar un estudio comparativo entre estructuras de hormigón armado y acero de una infraestructura escolar de 4 pisos en la provincia de Santa Elena para determinar las diferencias técnicas y económicas de ambos sistemas constructivos

1.7. Objetivos específicos.

O.E.1.: Determinar el tipo de suelo predominante en la provincia de Santa Elena mediante la clasificación de perfiles de suelo propuesta por NEC-15, para definir el espectro de respuesta elástico de aceleraciones.

O.E.2.: Diseñar dos modelos estructurales de una institución escolar de hormigón armado y acero considerando las disposiciones técnicas y normativas de NEC-2015, ACI 318-19 y AISC 341-16 para realizar un análisis técnico comparativo de ambos modelos.

O.E.3.: Realizar una evaluación presupuestaria de los modelos estructurales propuestos mediante el análisis de costos totales por m², para determinar qué sistema constructivo es más económico.

1.8. ALCANCE

El objetivo primordial de este proyecto se centra en evaluar y comparar la viabilidad técnica y financiera de dos sistemas constructivos distintos: hormigón armado y acero, en el diseño de un centro educativo de 4 pisos. La amplitud de este análisis abarca diversos aspectos cruciales para la toma de decisiones informada en la planificación y ejecución del proyecto.

En primer lugar, se contempla la resistencia estructural de ambas opciones, evaluando su capacidad para soportar cargas gravitacionales y sísmicas, especialmente relevante dada la ubicación de la provincia de Santa Elena en una zona sísmica activa. Además, se indaga en la durabilidad de los materiales y la

estructura, considerando la exposición a condiciones ambientales adversas y la capacidad de resistir el paso del tiempo sin comprometer su integridad.

El factor temporal se incorpora al análisis mediante la evaluación del tiempo de construcción de la obra. Este aspecto cobra particular importancia, ya que influye directamente en la planificación del proyecto y en la posible optimización de recursos. Paralelamente, se examinan los costos iniciales asociados con cada sistema constructivo, considerando tanto los materiales como los recursos humanos y técnicos necesarios para la construcción.

En el ámbito sísmico, el estudio se enfoca en el desempeño de los dos modelos estructurales bajo cargas sísmicas y gravitacionales. Un análisis exhaustivo de capacidad, resistencia y, especialmente, ductilidad proporciona una comprensión profunda de cómo cada sistema respondería a condiciones sísmicas, asegurando la seguridad estructural y la capacidad de absorber y disipar la energía generada por

1.9. VARIABLES

Variables independientes.

- ✓ Normas de diseño según NEC, ACI y AISC
- ✓ Planta arquitectónica establecida

Variables Dependientes

- ✓ Diseños estructurales.
- ✓ Análisis presupuestario.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

En este capítulo se proporciona una explicación detallada de los principios esenciales que constituyen una parte integral de la propuesta del proyecto de investigación. Esta fundamentación teórica servirá para lograr una comprensión profunda de la metodología empleada para el desarrollo de este proyecto. Además, de describir las normativas y códigos a emplear para el diseño y análisis comparativo entre una edificación de hormigón armado y acero estructural.

2.3. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

Los sistemas constructivos son conjuntos de técnicas, materiales y procedimientos utilizados en la edificación de estructuras y obras civiles. Estos sistemas desempeñan un papel crucial en la industria de la construcción, ya que determinan la eficiencia, durabilidad y estabilidad de una edificación. La elección del sistema constructivo adecuado depende de diversos factores, como el tipo de proyecto, las condiciones climáticas, los recursos disponibles y las normativas locales (Rojas & Arenas, 2008).

En la actualidad, existen numerosos sistemas constructivos, cada uno diseñado para satisfacer necesidades específicas. Entre los más comunes se encuentran los sistemas de albañilería, que emplean ladrillos, bloques o concreto para la creación de muros y estructuras. Los sistemas de acero y hormigón, por otro lado, son ideales para edificaciones de gran envergadura debido a su resistencia y versatilidad. Asimismo, los sistemas de construcción modular están ganando popularidad debido a su eficiencia en tiempo y costos, ya que permiten la fabricación de componentes en fábrica y su ensamblaje en el lugar de construcción.

Cada sistema constructivo desempeña un papel esencial en la edificación, influyendo directamente en la calidad, seguridad y eficiencia de las estructuras construidas. La elección del sistema adecuado implica un análisis minucioso de los requisitos específicos de cada proyecto, teniendo en cuenta factores como el tipo de edificación, las condiciones ambientales, la disponibilidad de recursos y las

regulaciones locales. Este proceso de selección requiere un profundo conocimiento de las tecnologías disponibles en la industria de la construcción y una comprensión sólida de las necesidades del cliente (Patiño, 2018). Por lo tanto, contar con expertos en sistemas constructivos es esencial para garantizar el éxito y la durabilidad de cualquier obra civil o proyecto edificatorio.

2.4. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

2.4.1. Construcción de hormigón Armado

El proceso constructivo del hormigón armado se caracteriza por la eficiente integración de dos materiales esenciales para la ingeniería civil y la construcción: el hormigón y el acero de refuerzo. El hormigón es un componente esencial, compuesto por una cuidadosa mezcla de aglomerante, áridos finos y gruesos, agua, y aditivos específicos que variarán de acuerdo a las condiciones de exposición. Su característica principal es trabajar a compresión, brindando una resistencia fundamental en estructuras (Moreno, 2019b).

Por otro lado, el acero forjado en caliente o varilla de construcción se destaca por su diseño específico para la industria de la construcción. Este material, dotado de resaltes o corrugas para mejorar su adherencia con el hormigón, ofrece una excepcional ductilidad que facilita tanto su doblado como su corte. Su principal característica es trabajar a flexión, brindando una resistencia adicional en las estructuras donde se emplea. La combinación de hormigón y acero de refuerzo forma un binomio crucial en la construcción, garantizando la durabilidad y la seguridad de diversas obras civiles, desde pequeñas edificaciones hasta grandes proyectos de ingeniería.

2.4.1.1. *Propiedades*

El hormigón armado posee propiedades físico-mecánicas que proveen a las obras civiles de una sólida resistencia estructural, una excelente capacidad de adherencia a la armadura y una densidad suficiente para garantizar la impermeabilidad, lo que a su vez protege la armadura de la corrosión. Sin embargo,

dependiendo del propósito de la estructura de hormigón armado y las condiciones ambientales a las que estará expuesta, se requieren características adicionales específicas. Esto implica que el hormigón debe exhibir resistencia al frío y al fuego en caso de exposición prolongada a altas temperaturas, así como resistencia a la corrosión cuando enfrenta ambientes agresivos (Moreno, 2019a).

2.4.1.2. Resistencia a Compresión.

El hormigón es excepcionalmente fuerte en resistencia a compresión, lo que significa que puede soportar cargas que actúan para aplastarlo. Esta propiedad es vital en la construcción de columnas, cimientos y elementos que deben soportar cargas verticales (Moreno, 2019a).

2.4.1.3. Adherencia a la Armadura.

El hormigón presenta una excelente capacidad de adherencia a las armaduras de refuerzo, como barras de acero. Esta propiedad asegura que el hormigón y el acero trabajen juntos como un sistema integrado para resistir cargas estructurales (Moreno, 2019a).

2.4.1.4. Densidad e Impermeabilidad.

El hormigón tiene una densidad adecuada que evita la infiltración de agua y protege la armadura de la corrosión. Esto es fundamental para mantener la integridad a largo plazo de las estructuras de hormigón y prevenir daños por humedad.

2.4.1.5. Resistencia.

La resistencia de una estructura de hormigón a la carga se refiere a la capacidad de dicha estructura para soportar las cargas de una distribución específica sin sufrir una rotura. El hormigón, al ser un material intrínsecamente heterogéneo, responde a las cargas externas desarrollando un estado de tensión complejo dentro de su matriz. Este estado de tensión es resultado de la interacción entre la resistencia inherente del hormigón y las fuerzas aplicadas externamente. La comprensión de

este comportamiento es de vital importancia para el diseño y la evaluación de la seguridad estructural, ya que permite determinar si la estructura es capaz de resistir las cargas previstas sin comprometer su integridad (Moreno, 2019b).

2.4.1.6. Deformabilidad.

En el análisis de las propiedades mecánicas del hormigón, es esencial considerar las deformaciones que experimenta en condiciones de servicio. Dos tipos primordiales de deformaciones son destacables: las deformaciones volumétricas, que se manifiestan en todas las direcciones debido a fenómenos como la contracción o variaciones de temperatura, y las deformaciones de fuerza, que se generan principalmente a lo largo de la línea de acción de las fuerzas aplicadas. El hormigón se comporta como un material elástico-plástico, lo que significa que, desde el inicio de las tensiones, además de las deformaciones elásticas reversibles, se producen deformaciones plásticas no reversibles, que persisten en el material después de que cesa la carga. La comprensión de estas deformaciones es esencial para evaluar la integridad estructural y el rendimiento del hormigón en una variedad de aplicaciones (Moreno, 2019b).

2.4.2. Ventajas del hormigón

Las ventajas del hormigón reforzado como material de construcción se describen a continuación:

2.4.2.1. Durabilidad.

La durabilidad del hormigón emerge como un factor crucial en la ingeniería de estructuras, definiendo su capacidad para mantener su integridad estructural frente a diversas acciones físicas o químicas a lo largo del tiempo. Esta propiedad adquiere una importancia fundamental no solo en términos de preservar la estabilidad y funcionalidad de las edificaciones, sino también en la protección efectiva de las armaduras y elementos metálicos integrados en su estructura. En este contexto, la afirmación de Aguirre & Figueroa (2008) resalta la necesidad de que el hormigón no solo resista las agresiones externas, sino que también proporcione

una barrera efectiva para salvaguardar las armaduras y componentes metálicos embebidos a lo largo de toda la vida útil de la construcción.

La durabilidad del hormigón implica la capacidad de enfrentar desafíos que van más allá de las cargas estructurales convencionales. Estos desafíos pueden incluir la exposición a agentes corrosivos como la salinidad, productos químicos agresivos, cambios climáticos extremos y ataques biológicos. La resistencia del hormigón a estos factores adversos no solo asegura la longevidad de la estructura, sino que también tiene un impacto directo en la necesidad de mantenimiento y reparación a lo largo del tiempo (Ramirez, 2016).

Además de su función protectora, la durabilidad del hormigón está intrínsecamente vinculada a la capacidad de mantener sus propiedades mecánicas y estructurales a lo largo del tiempo. Un hormigón duradero conserva su resistencia a la compresión, capacidad portante y otras propiedades esenciales, asegurando así que la estructura continúe cumpliendo con los estándares de rendimiento a medida que envejece.

2.4.2.2. *Versatilidad de forma.*

Al ser un material altamente adaptable a una amplia variedad de diseños arquitectónicos, dado que su colocación en estado líquido permite ajustarse perfectamente a los requerimientos más complejo.

2.4.2.3. *Costos de mantenimiento.*

El hormigón presenta una ventaja significativa, ya que requiere un mantenimiento mínimo o nulo en comparación con el acero, que necesita un mantenimiento adecuado para prolongar la vida útil de la estructura, incluyendo inspecciones periódicas para controlar el recubrimiento y prevenir efectos de la corrosión (Carphio & Estrada, 2017a).

2.4.2.4. *Disponibilidad de Personal y Materiales.*

La disponibilidad de personal y materiales es otra ventaja, ya que el trabajo con hormigón no requiere una capacitación extensa y, además, los agregados

necesarios para su producción se pueden encontrar fácilmente en muchas áreas, lo que reduce los costos logísticos (Iturraide Arias, 2019).

2.4.2.5. Rapidez de Construcción.

La rapidez constructiva permite que, un edificio de hormigón puede finalizarse en un período menor en comparación con el acero, considerando el tiempo entre la aprobación de los planos y la construcción completa. Por otro lado, aunque la construcción en acero puede ser más rápida en términos de erección, suele requerir una etapa previa de prefabricación de componentes en un taller. (Aguirre & Figueroa, 2008)

2.4.2.6. Resistencia al Fuego.

Debido a su composición con material refractario le confiere una alta capacidad para resistir altas temperaturas, lo que contribuye a la seguridad en caso de incendios u otras situaciones de exposición al calor extremo (Rojas & Arenas, 2008).

2.4.3. Desventajas del hormigón estructural.

El hormigón presenta algunas desventajas en función a sus propiedades como se describe a continuación.

2.4.3.1. Relación Peso-Estabilidad.

Uno de los principales desafíos asociados a las estructuras de hormigón armado es su relación entre peso y estabilidad. En la construcción de edificaciones de gran envergadura, es necesario dimensionar los elementos de manera que proporcionen la estabilidad requerida. Esto, sin embargo, resulta en un incremento significativo del peso total de la estructura, lo que puede representar una desventaja en términos de carga sobre los cimientos y estructuras de soporte (Zambrano, 2017).

2.4.3.2. Resistencia a la Tracción.

El hormigón muestra una resistencia prácticamente nula a la tracción, lo que implica la necesidad de introducir elementos de refuerzo, generalmente de acero estructural, para conferirle esta propiedad esencial. Estos elementos de refuerzo son fundamentales para garantizar la capacidad de la estructura de soportar cargas de

tracción y, por lo tanto, mantener su integridad estructural en diversas aplicaciones (Zambrano, 2017).

2.4.3.3. *Tiempo de Ejecución.*

La construcción con hormigón armado implica períodos de fraguado necesarios para que los componentes adquieran las propiedades adecuadas antes de someterse a cargas significativas. Estos tiempos de fraguado pueden resultar en considerables lapsos de tiempo inactivo durante la ejecución de la construcción de la edificación. Estos períodos muertos son esenciales para garantizar la resistencia y durabilidad de la estructura, pero deben ser cuidadosamente planificados para evitar retrasos innecesarios en el proyecto. (Aguirre & Figueroa, 2008)

2.4.4. Construcción en Acero

La construcción en acero estructural representa una técnica de rápida ejecución, que involucra el uso de perfiles y elementos de acero de alta resistencia en la creación de estructuras. Este proceso implica un riguroso análisis estructural, diseño detallado y fabricación precisa de los componentes de acero, seguido por su montaje en el sitio de construcción. La versatilidad del acero estructural permite la creación de una amplia gama de edificios y puentes, desde rascacielos hasta estructuras industriales y de infraestructura. Su capacidad de resistencia a cargas de tracción y compresión, así como su durabilidad y resistencia al fuego, lo convierten en una opción popular para proyectos que requieren una alta capacidad de carga y una vida útil prolongada. Además, la construcción en acero estructural se destaca por su eficiencia en términos de tiempo y costos, ya que la fabricación de componentes en un entorno controlado permite una rápida erección en el lugar de construcción (Ramírez, 2002).

2.4.5. Acero Estructural.

El acero estructural se define como una aleación de hierro y carbono, con la adición de otros elementos de aleación en proporciones controladas, que exhibe propiedades mecánicas superiores, incluyendo alta resistencia a la tracción y compresión, así como una notable ductilidad. Este material se caracteriza por su capacidad para soportar cargas gravitacionales y sísmicas significativas en estructuras de ingeniería, gracias a su excepcional relación resistencia-peso. Su

versatilidad en la conformación y fabricación de perfiles y elementos estructurales, junto con su resistencia al fuego, lo convierten en un componente esencial en una amplia variedad de aplicaciones, desde edificios de gran altura y puentes hasta estructuras industriales y de infraestructura (Ríos, 2022).

2.4.6. Ventajas del Acero Estructural.

De acuerdo con Quiroga (2021) se señala las siguientes ventajas de construir con acero: el acero estructural destaca por su elevada resistencia a cargas de tracción y compresión, lo que lo posiciona como un material idóneo para soportar cargas en diversas estructuras, además de posibilitar la construcción de edificaciones más livianas. Su naturaleza dúctil le permite adaptarse a cargas y deformaciones variables, evitando así fallas prematuras.

A su vez, mantiene su integridad estructural incluso a altas temperaturas, convirtiéndolo en una elección segura para edificios y estructuras expuestas al fuego. La tenacidad inherente al acero le permite absorber considerables cantidades de energía antes de la fractura, contribuyendo significativamente a la seguridad y resistencia al impacto. La versatilidad del acero se manifiesta en su capacidad para ser conformado en diversas formas y tamaños sin perder sus propiedades mecánicas, lo que facilita su aplicación en una amplia variedad de contextos y aplicaciones.

2.4.7. Desventajas del Acero Estructural.

Se señala las siguientes desventajas de construir con acero, acorde con Quiroga (2021): Las estructuras de acero demandan un mantenimiento periódico, especialmente cuando están expuestas al agua y al aire. En este sentido, es crucial la aplicación regular de recubrimientos protectores, como pintura, con el objetivo de prevenir la corrosión y preservar la integridad del acero a lo largo del tiempo. El acero expuesto a condiciones ambientales se encuentra propenso a la corrosión debido a la acción de agentes corrosivos. Para contrarrestar este fenómeno, se deben implementar medidas preventivas, como la aplicación de esmaltes primarios anticorrosivos, asegurando así la protección del acero y garantizando su durabilidad.

Es importante tener en cuenta que la resistencia del acero puede comprometerse cuando se somete a un elevado número de ciclos de carga, incluyendo cambios en la dirección y magnitud de los esfuerzos de tensión. En la práctica, se recomienda considerar este fenómeno y ajustar las resistencias estimadas de los miembros que estarán expuestos a un número significativo de ciclos de esfuerzos variables, superando un umbral definido.

Además, es relevante señalar que la tendencia al pandeo aumenta en los miembros de acero sometidos a compresión cuando son largos y esbeltos. Aunque el acero exhibe una alta resistencia por unidad de peso, su aplicación en columnas puede no ser la opción más económica, dado que implica el uso de una cantidad considerable de material para reforzarlas y prevenir el pandeo.

2.5. ESTRUCTURAS

Hibbeler (2012) define la estructura como un sistema de elementos conectados con el fin de soportar cargas, ejemplo de estas estructuras son los edificios y puentes. Estas cargas o fuerzas deben encontrarse en un estado de equilibrio, para esto, las estructuras operan bajo principios físicos que permiten generar fuerzas opuestas de igual magnitud, pero en dirección contraria. De este modo, las fuerzas que emergen en respuesta a las cargas en las estructuras reciben el nombre de reacciones. Estas fuerzas reactivas actúan en los puntos donde las estructuras están ancladas o en los puntos de conexión entre sus diversos componentes. Estos puntos de conexión se conocen como apoyos y las fuerzas reactivas a menudo son llamadas coacciones.

2.6. ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

2.6.1. Cimentación.

Una cimentación es un componente fundamental en la ingeniería civil y estructural, y se refiere a la estructura que se encuentra en la base de una edificación o cualquier otra estructura. Su función principal es transmitir las cargas de la estructura a través del suelo o el subsuelo de manera segura y uniforme, evitando hundimientos excesivos, asentamientos desiguales y deslizamientos. Las cimentaciones se diseñan de acuerdo con las características geotécnicas del terreno

y las cargas que la estructura ejercerá sobre ellas. Existen varios tipos de cimentaciones, incluyendo cimientos superficiales como zapatas y losas de cimentación, que se utilizan en estructuras de baja altura, así como cimentaciones profundas como pilotes y pilas, que se emplean en suelos de baja capacidad portante o para soportar estructuras más pesadas (Moreno, 2019b).

La elección del tipo de cimentación depende de factores como el tipo de suelo, la magnitud de las cargas, la profundidad del nivel freático y otros factores geotécnicos. En última instancia, una cimentación sólida y adecuadamente diseñada es esencial para garantizar la estabilidad y la seguridad de cualquier estructura, ya que distribuye eficazmente las cargas a través del suelo y previene movimientos no deseados que pudieran comprometer la integridad de la construcción.

2.6.2. Columnas.

Las columnas son elementos estructurales verticales diseñados para soportar cargas gravitacionales y transmitir las de manera eficiente desde la parte superior de un edificio o estructura hacia su cimentación en el suelo. Estos componentes esenciales están diseñados para resistir principalmente cargas de compresión axial, lo que significa que soportan fuerzas que actúan en dirección hacia el centro de la columna a lo largo de su eje longitudinal (Duarte et al., 2016).

En un edificio, las columnas desempeñan un papel crucial al proporcionar estabilidad y resistencia estructural. Distribuyen las cargas verticales desde las losas o vigas superiores hasta el suelo, asegurando que el peso de la estructura se transfiera de manera uniforme y segura. Además de su función primaria de soporte vertical, las columnas también pueden resistir cargas laterales, como las generadas por vientos fuertes o sismos, y pueden estar diseñadas para proporcionar rigidez y estabilidad adicional a la estructura.

La distribución adecuada de cargas a través de las columnas es fundamental para prevenir deformaciones excesivas, asentamientos desiguales y posibles fallas estructurales. En conjunto con otros elementos estructurales, como vigas y losas, las columnas contribuyen a la integridad y la seguridad de un edificio, garantizando su estabilidad durante su vida útil.

2.6.3. Vigas.

Las vigas son elementos estructurales horizontales esenciales que desempeñan un papel crucial en la distribución de cargas en una edificación. Su función principal consiste en la transmisión de cargas perpendiculares a lo largo de su eje longitudinal desde las cargas aplicadas en los elementos superiores, como losas o muros, hacia las columnas o pilares.

Esta acción garantiza la distribución uniforme de las cargas a lo largo de la estructura, evitando concentraciones excesivas de fuerzas que podrían resultar en deformaciones no deseadas o, en casos extremos, en fallas estructurales (Ramírez, 2016). Esta acción garantiza la distribución uniforme de las cargas a lo largo de la estructura, evitando concentraciones excesivas de fuerzas que podrían resultar en deformaciones no deseadas o, en casos extremos, en fallas estructurales (Ramírez, 2016). Cuando las vigas se integran con las columnas, dan origen a sistemas estructurales denominados pórticos.

Cuando las vigas se integran con las columnas, dan origen a sistemas estructurales denominados pórticos. Estos pórticos representan configuraciones altamente efectivas que permiten la distribución eficiente de las cargas tanto verticales como horizontales a través de las columnas y las vigas. Esta combinación de elementos esencial mejora significativamente la resistencia y la rigidez de la estructura, lo que resulta fundamental para garantizar su estabilidad y seguridad en condiciones de carga variadas (Ramírez, 2016).

2.6.4. Losas.

Un sistema estructural de losa es una disposición de elementos de construcción diseñados para soportar y distribuir las cargas verticales, como el peso propio de la estructura y las cargas vivas, a través de una superficie horizontal conocida como losa. Estas losas pueden ser de diversos materiales, como concreto armado, acero, madera o materiales compuestos, y se utilizan comúnmente en la construcción de edificios y estructuras para crear superficies de piso o techos.

La configuración específica de un sistema de losa puede variar según las necesidades estructurales y estéticas del proyecto, y su diseño se basa en principios de ingeniería que garantizan la estabilidad, resistencia y durabilidad de la estructura. Estos sistemas pueden adoptar diversas formas y métodos de construcción, incluidas losas macizas, losas aligeradas, losas pretensadas y losas postensadas, cada una con sus propias características y ventajas en términos de capacidad de carga y eficiencia estructural. En última instancia, los sistemas de losa desempeñan un papel esencial en la construcción moderna, proporcionando superficies funcionales y seguras para una variedad de aplicaciones arquitectónicas y estructurales (Iturraide Arias, 2019; Rojas & Arenas, 2008).

2.6.5. Muros.

Los muros en la construcción son elementos verticales utilizados para diversos fines, que incluyen la subdivisión de espacios, la contención de tierra y el soporte estructural. Su función varía según el tipo de muro y necesidad del proyecto. Los muros divisorios, no estructurales, se emplean para dividir y delimitar espacios interiores. Los muros de contención, por otro lado, están diseñados para resistir fuerzas laterales y retener tierra o materiales en pendientes.

Por último, los muros estructurales desempeñan un papel fundamental en la estabilidad de la estructura, ya que están diseñados para soportar cargas verticales y/o laterales, como las generadas por viento, sismos o cargas de piso. Estos muros son componentes clave en la integridad de un edificio y se diseñan cuidadosamente para garantizar su capacidad de carga de manera segura. En resumen, los muros en la construcción tienen diversas funciones según su tipo, con los muros estructurales desempeñando un papel crítico en la resistencia y estabilidad de la estructura (Alcívar et al., 2021).

2.6.6. CONEXIONES

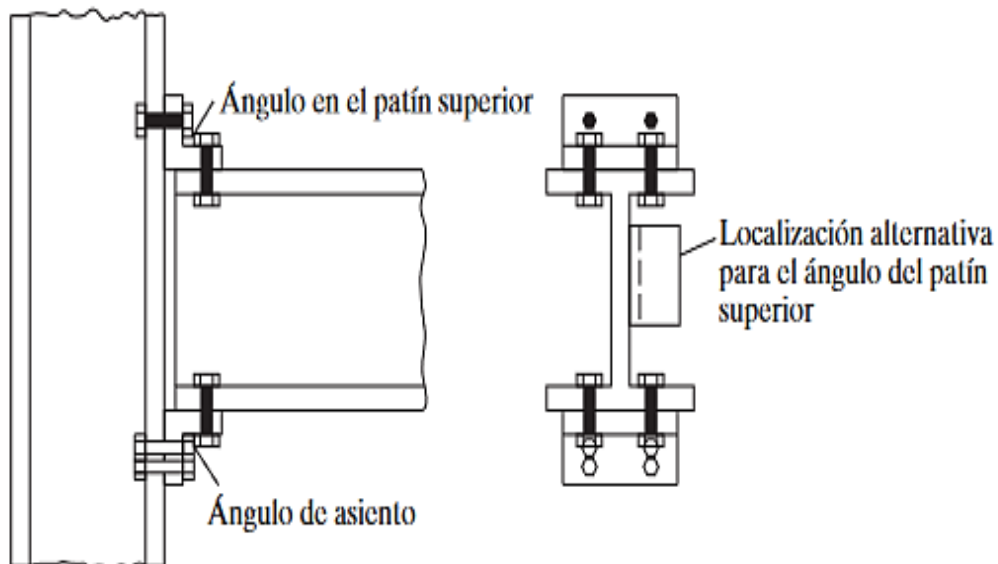
McCormac & Csernak (2013) proponen una clasificación fundamental para las uniones de acero viga-columna, presentando dos tipos principales, tal como se ilustra en la figura 1. Estas conexiones, según la propuesta de los autores, pueden

ser categorizadas como rígidas o semirrígidas, y la elección entre ambas depende directamente de la función que el pórtico deba desempeñar en una estructura.

Las conexiones rígidas se caracterizan por ofrecer una resistencia y rigidez significativas, minimizando las deformaciones y permitiendo una transferencia eficiente de cargas entre las vigas y las columnas. Este tipo de conexión es esencial en situaciones donde se busca mantener la estabilidad global de la estructura, especialmente en aquellos casos donde se enfrenta cargas sísmicas o vientos intensos.

Por otro lado, las conexiones semirrígidas proporcionan una flexibilidad controlada, permitiendo cierta rotación entre las vigas y las columnas. Este nivel de flexibilidad puede ser beneficioso en estructuras que requieren una redistribución de cargas durante eventos sísmicos, facilitando la adaptabilidad y mitigando las tensiones extremas en la estructura. Además, estas conexiones semirrígidas pueden contribuir a la disipación de energía en situaciones de carga extrema, brindando así un comportamiento más tolerante y seguro.

Figura 1. Conexión de Acero.



Nota: Detalle de conexión (p.23), por McCormac & Cernak, (2013).

2.6.6.1. Conexiones semirrígidas

Las estructuras que presentan un grado de rigidez insuficiente para mantener los ángulos originales sin alteraciones significativas bajo carga se clasifican como conexiones débiles. En esta categoría, se engloban tanto las conexiones simples como las semirrígidas, detalladas exhaustivamente en la presente sección, según la descripción proporcionada por McCormarc & Csernak (2013). Estas conexiones, al exhibir una menor capacidad para mantener la geometría original ante cargas, juegan un papel fundamental en la respuesta estructural de un sistema, influyendo en su comportamiento global y destacando la necesidad de un análisis preciso de su funcionamiento para garantizar la estabilidad y seguridad de la estructura en su conjunto. (McCormarc & Csernak, 2013).

2.6.6.2. Conexiones Rígidas.

Las conexiones rígidas son aquellas que tienen un grado de restricción tal, que los ángulos originales entre los miembros permanecen virtualmente sin cambio bajo cargas (McCormarc & Csernak, 2013).

2.7. CONSIDERACIONES DE DISEÑO EN CENTROS EDUCATIVOS

La optimización de los entornos educativos a través de una implementación cuidadosa y segura, que asegure a la comunidad educativa un área óptima para el estudio y el desarrollo personal, destaca la importancia de aplicar criterios arquitectónicos y estructurales adecuados como la base fundamental de todo diseño constructivo.

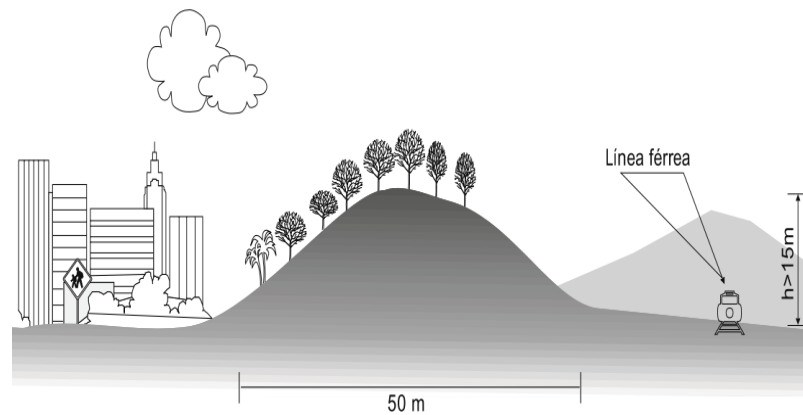
A mediados del siglo XVII, se iniciaron adaptaciones en espacios públicos con el propósito de ofrecer educación formal. No obstante, no fue sino hasta finales del XVIII que se establecieron criterios específicos para el diseño de espacios educativos, abarcando dimensiones y requisitos necesarios para la transmisión efectiva de conocimientos académicos de forma oral, como señala Arellano Marín (2000). Este hito marcó el comienzo de una evolución continua en la concepción y

planificación de ambientes educativos, destacando la importancia histórica de la integración de criterios específicos en la construcción de espacios destinados a la educación

2.8. Ubicación.

Las unidades educativas se deben ubicar en espacios adecuados y seguros que cumplan con las necesidades de la comunidad educativa y brinden protección a los estudiantes, se debe evitar edificar centros educativos próximos a zonas de deslizamientos, causas de agua y áreas industriales. Se recomienda seleccionar el área para la construcción considerando ampliamente el entorno y tomando en cuenta construcciones aledañas a la institución, líneas férreas y de tránsito vehicular. En la siguiente imagen se pueden visualizar zonas de riesgo para una institución educativa.

Figura 2. Zona de riesgo para una institución educativa.



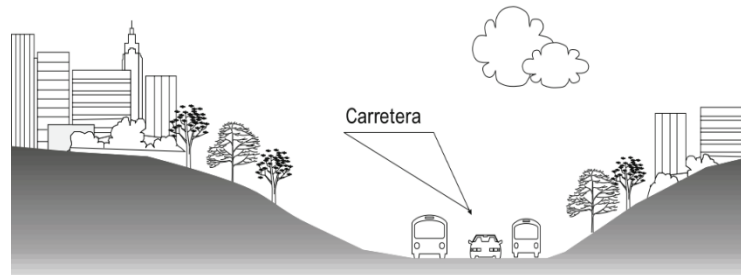
Nota. Zona de riesgo para una institución por Arellano Marín, (2000b)

2.9. Infraestructura vial.

La atención dedicada a la infraestructura vial reviste una importancia primordial, ya que es esencial asegurar a los estudiantes un acceso adecuado a la institución educativa. Garantizar la accesibilidad no solo beneficia a los estudiantes, sino que también impacta positivamente a profesores, autoridades y padres de familia. La infraestructura vial, delineada en la siguiente ilustración, destaca como un

componente crítico a tener en cuenta para optimizar la movilidad y facilitar la participación activa de todos los actores involucrados en la comunidad educativa (Arellano Marín, 2000b).

Figura 3 *Infraestructura Vial*

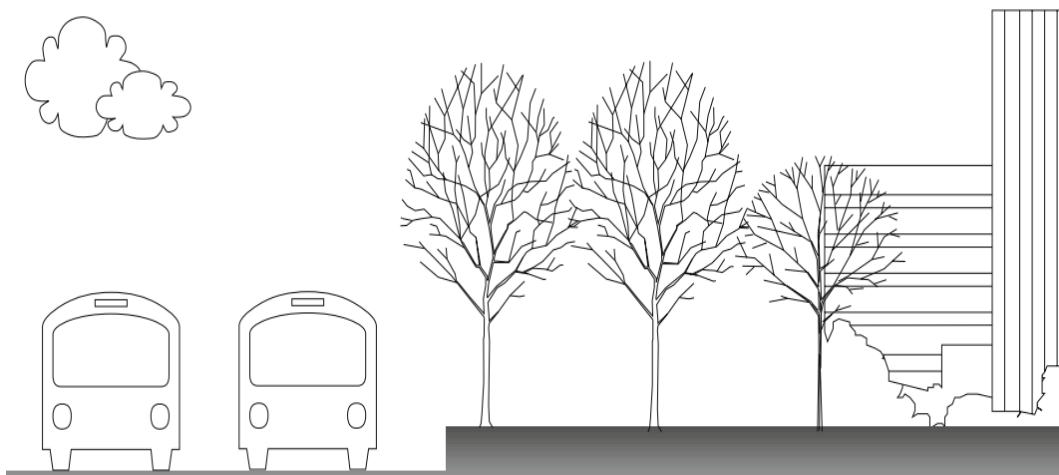


Nota. Tomado de (Nava Rosillón, 2009)

2.10. Topografía.

A la hora de realizar una construcción de carácter académico se deben considerar terrenos sin pendiente o con poca pendiente, en este caso pendientes inferiores al 10%, para de esta manera efectuar disminuciones en costos a causa de la construcción de muros de contención, la elevación de aguas y el alcantarillado. En la siguiente visualización se puede apreciar un terreno con diferentes pendientes (Arellano Marín, 2000b)

Figura 4. *Topografía*



Nota. Tomado de (Arellano Marín, 2000b)

2.11. Estudios de suelo.

Se efectuarán todos los ensayos respectivos para determinar las características del suelo seleccionado, entre estos estudios se destacarán los de mecánica de suelos e hidrográficos, se analizará el uso histórico del suelo para determinar que este no es susceptible a inundaciones(Arellano Marín, 2000b).

2.12. Impacto acústico.

Los entornos educativos se deben encontrar protegidos de ruidos ambientales, considerando como factor de protección barreras acústicas, que se encarguen de disipar las ondas sonoras producidas por factores externos a la institución, se considera como separación mínima adecuada 30 metros de distancia entre centros de educación y áreas de atención hospitalaria, zonas de reunión poblacional y residencias. Las barreras acústicas disipadoras pueden ser de carácter artificial o natural (Arellano Marín, 2000b)

2.13. Materiales de construcción.

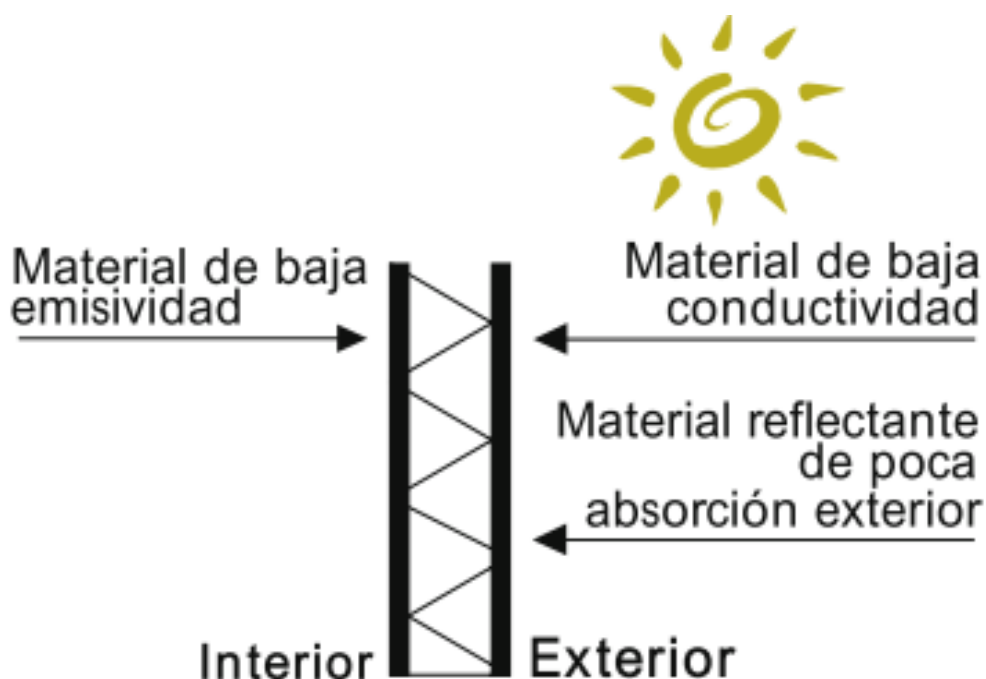
La selección del material para la construcción de una unidad educativa es un proceso crítico que implica consideraciones precisas y exhaustivas. El impacto de esta elección va más allá de la durabilidad de la estructura, ya que afecta directamente el bienestar de la comunidad educativa. Se deben tener en cuenta las características climáticas locales, garantizando que el material sea resistente y capaz de enfrentar variaciones climáticas sin comprometer su integridad.

El cumplimiento de las ordenanzas municipales es esencial para asegurar que la elección del material se ajuste a los estándares y códigos establecidos por la autoridad local. Esto no solo asegura la legalidad de la construcción, sino que también contribuye a la seguridad, funcionalidad y estética de la edificación. La consideración de la salinidad en regiones costeras es un factor crucial para prevenir la corrosión, promoviendo la longevidad de la estructura y reduciendo la necesidad de mantenimiento costoso.

La implementación de materiales locales no solo respalda la sostenibilidad y la reducción de costos, sino que también contribuye a una integración armoniosa con el entorno. La adaptabilidad cultural y contextual de los recursos locales agrega un valor adicional al proyecto. La evaluación de las propiedades físicas y el comportamiento a lo largo del tiempo de los materiales seleccionados es fundamental para garantizar su adecuación a los requisitos estructurales y funcionales.

La seguridad del personal educativo y la creación de ambientes óptimos son aspectos prioritarios. La elección de materiales con baja conductividad térmica no solo protege los muros expuestos, sino que también asegura ambientes cómodos y eficientes desde el punto de vista energético. La correcta implementación de estos criterios constructivos, visualizada en la imagen adjunta, refleja la aplicación práctica de decisiones fundamentadas y contribuye a la construcción de espacios educativos duraderos, seguros y respetuosos del entorno.

Figura 5 Criterio de selección de materiales



Nota. Tomado de (Nava Rosillón, 2009)

2.14. Señalización.

Todo plantel educativo debe contar con un adecuado sistema de señalización que le indique a todo el personal presente en la institución en que área del plantel se encuentra y que caminos debe tomar si quiere llegar a zonas específicas, cabe destacar que las unidades educativas deben contar con áreas para que las personas con discapacidad se puedan movilizar de forma segura y tranquila.

2.15. ANÁLISIS FINANCIERO

Un análisis financiero es una herramienta de utilidad que nos permite evaluar el desempeño económico durante la duración de una actividad específica y nos brinda la posibilidad de realizar una comparación de resultados, con otras actividades que presenten características similares. La importancia de un análisis financiero se determina en la identificación de aspectos económicos y financieros que reflejan la situación y el funcionamiento en el que opera una institución. Este tipo de análisis se presta para realizar su aplicación a todo tipo de empresa sin importar su actividad (Nava, 2009).

2.16. ANÁLISIS PRESUPUESTARIO

El análisis presupuestario es una evaluación y explicación de los elementos que componen los ingresos y gastos, en conjunto con su impacto directo en las actividades económicas. Cada presupuesto destinado a una obra cumple un proceso el cual está en constante evaluación para analizar su adecuado funcionamiento (Organización de los Estados Americanos, 2009). En la figura 6 se aprecia el proceso para llevar a cabo el análisis presupuestario.

2.16.1. Presupuesto.

El presupuesto se define como un valor de referencia que se posee y sobre el cual se distribuyen los gastos operacionales durante el transcurso de una obra, el valor presupuestado varía en función del tipo de obra que se realiza y la duración de esta (González, 2020), dentro de este valor se clasifican diferentes componentes equivalentes a los costos básicos que se tienen en una construcción, como, por ejemplo: mano de obra, maquinaria, equipos y herramientas, gastos varios,

materiales. Dentro de este grupo de componentes existen clasificaciones directas conocidas, las cuales son los costos directos e indirectos, los costos directos están relacionados de forma directa con la construcción, como la mano de obra, y los costos indirectos se relacionan con gastos de operación.

2.16.2. Costos Directos.

Los costos directos son el grupo de elementos que intervienen y son indispensables en el proceso constructivo, estos a su vez tienen una relación directa con la calidad del trabajo realizado, los elementos que hacen parte de los costos directos son:

2.16.2.1. Materiales.

Se define como la materia prima usada en la construcción de la obra, para efectuar el adecuado análisis de costos entorno a la materia prima se debe definir la cantidad de material necesario, identificar proveedores viables y determinar los procesos constructivos a emplear (Zambrano-Rendón et al., 2021).

2.16.2.2. Herramientas.

En el ámbito de la construcción, las herramientas representan un conjunto integral de equipos destinados a realizar diversas tareas, desde el movimiento de tierra hasta el desplazamiento de materiales de construcción y la manipulación de elementos estructurales. Es importante subrayar que esta maquinaria puede ser tanto propiedad de la empresa constructora como adquirida mediante alquiler, ofreciendo flexibilidad en la gestión de recursos. La elección de herramientas adecuadas desempeña un papel esencial en la eficiencia y éxito de un proyecto constructivo, influyendo directamente en la calidad y velocidad de las operaciones llevadas a cabo en el sitio.

2.16.2.3. Mano de Obra.

Esta se define como el conjunto de personas que se requieren para la ejecución del trabajo, estas se dividen en campos de oficio dependiendo su

especialidad y en función de esto se les asigna el sueldo adecuado. La mano de obra se puede dividir en costos directos o indirectos en función del área de trabajo asignada (Zambrano, 2017).

2.16.3. Costos Indirectos.

Los costos indirectos equivalen a todos los gastos generados, estos incluyen los gastos operacionales y de obra, este tipo de costo esta unido directamente al factor tiempo, ubicación de la obra y la clase de proyecto a realizar, estos costos cuentan con dos subdivisiones, las cuales son: los gastos de administración central y los gastos de obra (Carphio & Estrada, 2017b).

2.16.3.1. Gastos de Administración.

Se definen como los gastos generados en el área de oficina de manera obligatoria, para el correcto funcionamiento del campo administrativo; Sueldo del personal, Impuestos y Alquiler de áreas administrativas

2.16.3.2. Gastos de Obra.

Equivale a los gastos generados en el campo de acción, y se generan con la finalidad de garantizar el adecuado funcionamiento y el desarrollo óptimo de la obra en cuestión (Patiño, 2018), estos costos pueden ser por: construcciones provisionales y transporte del personal.

2.17. NORMATIVAS DE CONSTRUCCIÓN

Todo diseño de carácter estructural está regulado por normas de diseño, aplicadas tanto a las construcciones de hormigón armado como a las de acero, el objetivo principal de estas regulaciones es normar la construcción para garantizar la seguridad a la hora de construir edificaciones y evitar el colapso de estructuras. En la siguiente tabla se pueden visualizar las normas y códigos empleados en el diseño estructural.

Tabla 1 Códigos y Normativas empleados para el diseño de estructuras de hormigón y acero

CÓDIGO	NORMATIVA
AISC Manual	Manual for structural Steel building AISC 360-10 / AISC341-10.
AISC, LRFD	Manual para el diseño estructural
AWS D1.1	Structural Weldin Code - Steel
ACI 318-19	American Concrete Institute
ACI 325RS	Recomendaciones para el diseño de conexiones viga – Columna en estructuras de concreto reforzado.
NEC	Norma Ecuatoriana de la Construcción
ASCE	Minimum desing loads ans Associated criteria for Buildings and other Structures.

Nota. Tomado de (Caiza & Córdova, 2023b)

2.18. Diseño de estructuras de acero.

El Manual AISC proporciona dos métodos para el cálculo y diseño de estructuras de acero, el primero es el diseño considerando factores de carga (LRFD) y el segundo considerando los esfuerzos permisibles (ASD) (AISC, 2010), estos dos métodos trabajan analizando los principios de estado límite de los elementos (Alcívar et al., 2021).

2.18.1. Método LRFD.

El método LRFD trabaja en función de la agrupación de cargas y su respectiva multiplicación por un factor de carga, al valor resultante de esta operación se lo conoce como carga factorizada, los valores resultantes se emplean para el cálculo de las fuerzas cortantes y momentos Los valores de control obtenidos no pueden ser mayores a los valores de la resistencia nominal(AISC, 2016; AISC 360, 2022). Para emplear el método LRFD se aplica la siguiente formula:

Ecuación N° 1.

Fórmula para cálculo de resistencia nominal en Método LRFD

$$\phi R_n \geq R_U$$

Donde:

ϕ = Factor de Reducción

R_n = Resistencia nominal

R_u = Fuerza factorizada

2.18.2. Método ASD.

A diferencia del método LRFD, el método ASD no realiza la multiplicación por un factor de carga, trabajan directamente con su valor inicial y se emplean en combinaciones. Las fuerzas obtenidas de este cálculo no deben ser superiores a la resistencia nominal de los elementos dividida por un factor de seguridad (Abril et al., 2023). El método ASD emplea la siguiente formula:

Ecuación N° 2

Fórmula para cálculo de resistencia nominal en Método ASD

$$R_n / \Omega \geq R_a$$

Donde:

R_n = Resistencia nominal

R_a = Fuerza Mayor

Ω = Factor de Seguridad

2.19. Diseño de estructuras de Hormigón.

Para el diseño de estructuras de hormigón las normativas consideran dos métodos, el diseño por esfuerzos (WSD) y el diseño por resistencia última, este segundo esta denominado por el American Concrete Institute (ACI) como un método de diseño por resistencia (SDM)(Abril et al., 2023).

2.19.1. Método de diseño por esfuerzos (WSD)

Este método considera el análisis de las cargas muertas y vivas de la estructura, al obtener estos valores se procede a efectuar el Predimensionamiento de los elementos estructurales de la edificación, se realiza de esta manera para comprobar que en el análisis los esfuerzos calculados no superen los valores permisibles. Con la aplicación del código ACI en 2002, se impartió como exigencia la no aplicación del método por esfuerzos de trabajo (NEC, 2015).

2.19.2. Método de diseño por resistencia (SMD).

En este método expertos afirman que al considerar la resistencia de un miembro de concreto que se encuentra reforzado obteniendo su valor de una guía no se estima el valor real de su resistencia y se incurre en un error (Abril et al., 2023).

2.20. Cargas de diseño.

Las cargas de diseño se consideran uno de los factores con mayor importancia a la hora de realizar un análisis estructural, se deben identificar las cargas que soportara la estructura antes de su diseño, para de esta manera realizar los cálculos con exactitud y determinar las dimensiones adecuadas de la estructura. Según la norma ecuatoriana de la construcción los tipos de cargas son; carga permanente o muerta, carga viva, carga por viento o granizo y carga por sismo, como se describen a continuación (NEC, 2015).

2.20.1. Carga Permanente o muerta (D).

Esta carga se define como el peso propio de todo elemento estructural que estará dentro de la edificación, dentro de estos pesos se destacan los muros y las instalaciones.

2.20.2. Carga Viva (L).

Este tipo de carga está compuesto por todos los pesos móviles que ingresaran a la estructura, estos dependerán del tipo de edificación que se

construya y el uso que se le dé, este peso lo conforman las personas, muebles, automóviles y mercadería, etc (NEC, 2015).

2.20.3. Carga por viento o granizo (W, S).

Son cargas que generan presión lateral sobre la estructura, por tal motivo es de importancia su consideración, toda estructura al ser un elemento rígido es susceptible a movimientos externos, para este caso se considera al viento como una carga de carácter estático, la consideración de esta carga estará en función de la ubicación geográfica y la altura de la edificación. La carga de granizo solo es de consideración en zonas donde se visualiza su aparición(NEC, 2015).

2.20.4. Carga por sismo (E).

En respuesta a la amenaza sísmica prevalente en la actualidad, la construcción sismorresistente se convierte en una necesidad imperante. En este contexto, la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015) establece criterios y valores que deben ser rigurosamente considerados en los procesos de diseño y construcción. Un elemento fundamental en el análisis de la sismicidad es la ubicación geográfica de la construcción, ya que las fuerzas espectrales específicas de la zona desempeñan un papel crucial en la evaluación del riesgo sísmico. Este enfoque, respaldado por Alcívar et al. (2021).resalta la importancia de una comprensión detallada de la actividad sísmica local, proporcionando un marco robusto para la implementación efectiva de medidas sismorresistentes y, en última instancia, para garantizar la seguridad y durabilidad de las estructuras frente a eventos sísmicos.

2.21. Combinaciones de Carga.

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15) estipula combinaciones de carga a considerar en el análisis y diseño, mediante el método de factores de carga y resistencia (LRFD), estos valores de esfuerzo deben ser combinados y multiplicados por factores de mayoración, para de esta manera realizar el análisis considerando el caso más crítico. En la siguiente tabla se

evidencian las combinaciones de carga expuestas en la Norma ecuatoriana de la construcción(NEC, 2015)

Tabla 2 *Combinaciones de Carga*

<i>Combinaciones de Carga</i>	
Combinación 1	1.4D
Combinación 2	1.2D + 1.6L + 0.5max (Lr, S; R)
Combinación 3	1.2D + 1.6max (Lr, S; R) + max (L; 0.5W)
Combinación 4	1.2D + 1.0W + L + 0.5max (Lr, S; R)
Combinación 5	1.2D + 1.0E + L + 0.2S
Combinación 6	0.9D + 1.0W
Combinación 7	0.9D + 1.0E

Nota. Tomado de (Norma Ecuatoriana de la construcción NEC - SE -CG, 2015)

2.22. CONSTRUCCIÓN DE CENTROS EDUCATIVOS

Las instituciones tienen sus requerimientos y especificaciones técnicas a la hora de efectuar construcciones con finalidad educativa, estas regulaciones son de carácter específico y tienen como objetivo brindar un servicio optimo a la comunidad académica. Con estas regulaciones se busca suplir el déficit en la construcción de instituciones y fomentar la oferta académica en el territorio, estos estándares de construcción se pueden dividir en:

2.22.1. Estándares Arquitectónicos.

Los estándares arquitectónicos están directamente relacionados con el confort, distribución de las áreas y la seguridad. Tienen como base brindar soporte a la planificación y el desarrollo de la infraestructura, analizando el funcionamiento de los espacios educativos y su relación con las áreas recreativas.

2.22.2. Estándares Urbanísticos.

Se relaciona directamente con el área donde se encuentra ubicada la institución, analiza el entorno natural, la accesibilidad a la unidad educativa, la imagen de la institución y el paisaje que la rodea.

2.22.3. Infraestructuras.

El planteamiento inicial para la construcción de aulas académicas se basa en Aulas modulares, las cuales tienen un diseño de retícula modular que les permite unir varias aulas y formar un bloque, estos bloques pueden ser ocupados tanto para el área académica como para el área administrativa.

2.23. Condiciones Técnicas Normativas.

En la siguiente tabla se presentan las normas técnicas para el diseño de ambientes educativos, haciendo énfasis en la zona educativa.

Tabla 3 Normas técnicas para el diseño de infraestructura educativa

AMBIENTE	CAPACIDAD ESTUDIANTES	ÁREA BRUTA (m ²)	ÁREA UTIL (m ²)	NORMATIVA
ZONA EDUCATIVA				
Aula Educación inicial	25	72.00	64.00	Min 2.00m ² Max 2.50m ²
Baterías sanitarias E Inicial.	-	25.00	21.00	1inodoro/25 estudiantes 1urinario/25estudiantes 1lavado / 1inodoro
Aula modular EGB Y BGU	35 – 40	72.00	64.00	Min 1.20m ² Max 1.80m ²
Baterías sanitarias hombres	-	25.00	21.00	1inodoro/30 estudiantes 1urinario/30estudiantes 1lavado / 2 inodoros
Baterías sanitarias Mujeres	-	25.00	21.00	1inodoro/20 estudiantes 1lavado / 2 inodoros
Laboratorio de tecnología e idioma	35	72.00	64.00	2.00m ² / estudiante
Laboratorio de química y física	33	72.00	64.00	2.00m ² / estudiante
Laboratorio de ciencias	35	72.00	64.00	2.00m ² / estudiante

Nota. Tomado de (Ministerio de Educación, 2013)

A continuación, se desglosan las normas técnicas fundamentales aplicables al diseño de ambientes educativos, con un enfoque específico en la zona administrativa.

Tabla 4. Norma Técnica para el diseño de infraestructura escolar con énfasis en las zonas de administración.

AMBIENTE	CAPACIDAD	AREA		NORMATIVA
		BRUTA (m ²)	UTIL (m ²)	
ZONA ADMINISTRATIVA				
Administración	-	140.00	130.00	-
Inspección	-	106.00	98.00	-
Comedor	144	274.00	200.00	1.50 m ² /estudiante

Nota. Tomado de (Ministerio de Educación, 2013)

La siguiente tabla presenta las normas técnicas para el diseño de ambientes educativos, haciendo énfasis en la zona complementaria.

Tabla 5. Criterios de diseño para zonas complementarias en ambientes educativos

AMBIENTE	CAPACIDAD	ÁREA		NORMATIVA
		BRUTA (m ²)	UTIL (m ²)	
ZONA COMPLEMENTARIA				
Áreas exteriores Educación Inicial	-	-	-	9.00 m ² /estudiante
Áreas exteriores Educación General Básica	-	-	-	5.00 m ² /estudiante y en ningún caso < 2.00m ²
Áreas exteriores Bachillerato	-	-	-	5.00 m ² /estudiante y en ningún caso < 2.00m ²

Nota. Tomado de (Ministerio de Educación, 2013)

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El investigador debe comenzar por analizar cuidadosamente tanto el tipo como el nivel de investigación que planea llevar a cabo, ya que esta evaluación inicial es fundamental para establecer el diseño metodológico de las variables de estudio. Este proceso metodológico actúa como una guía que dirige al investigador en la ejecución de los procedimientos sistemáticos necesarios a lo largo del proyecto.

3.2. Tipo de investigación.

La investigación comparativa es un enfoque de investigación que implica el estudio y análisis de dos o más elementos, conceptos, sistemas o fenómenos para identificar similitudes y diferencias entre ellos. Este tipo de investigación se utiliza para obtener una comprensión más profunda de las características y propiedades de los elementos en cuestión, y a menudo se realiza con el propósito de tomar decisiones informadas, resolver problemas o determinar la eficacia de diferentes enfoques o soluciones.

El presente estudio es de índole comparativa, en este caso, se busca comparar las estructuras de hormigón armado y acero en edificaciones de cuatro pisos destinadas a centros educativos. El propósito es evaluar y comparar las características, ventajas, desventajas, costos, resistencia, durabilidad, y otros factores relevantes de ambas tecnologías constructivas.

3.3. Nivel de Investigación.

La investigación aplicada es un enfoque de investigación que se centra en la resolución de problemas prácticos y la generación de conocimiento que se puede utilizar directamente en situaciones del mundo real. A diferencia de la investigación pura o básica, que busca principalmente ampliar el conocimiento teórico sin una aplicación inmediata, la investigación aplicada tiene un enfoque más pragmático y

busca producir resultados concretos y aplicables, el nivel de investigación puede variar según la profundidad y alcance de la investigación. En este caso, dado que se están comparando dos tipos de estructuras para un propósito específico, los edificios de cuatro pisos en centros educativos en una región geográfica específica, se clasifica como una investigación aplicada, ya que se busca aplicar los resultados en situaciones concretas de diseño y construcción.

3.4. MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO

3.5. Método.

En un estudio comparativo el método de investigación suele incluir la recopilación de datos a través de observación, medición y análisis. Se utiliza métodos cuantitativos para obtener datos numéricos que permitan comparar las dos tecnologías constructivas en términos de costos, resistencia y también se recurre a métodos cualitativos para obtener información más descriptiva sobre factores como la percepción de los usuarios o los desafíos específicos en el contexto educativo.

3.6. Enfoque.

El enfoque de investigación es principalmente descriptivo y analítico. Se describen las características de las estructuras de hormigón armado y acero en el contexto de edificaciones de cuatro pisos en centros educativos de la Provincia de Santa Elena. El análisis comparativo de características para identificar similitudes y diferencias clave incluye un enfoque de investigación aplicada, ya que el objetivo es proporcionar información práctica para la toma de decisiones en la construcción de edificios educativos.

3.7. Diseño de la investigación.

Considerando los objetivos intrínsecos de la investigación, es pertinente destacar que esta se enmarca en un diseño de estudio comparativo y analítico. Este enfoque metodológico implica una evaluación minuciosa de diferentes variables o condiciones con el propósito de analizar y comparar sus efectos o características.

En el contexto de un estudio comparativo, se llevará a cabo una exploración detallada de múltiples situaciones, métodos o fenómenos, con el fin de identificar similitudes, diferencias o patrones significativos entre ellos. Este análisis comparativo permitirá obtener una visión más completa y contextualizada de los elementos estudiados, contribuyendo a la comprensión más profunda de las relaciones y dinámicas involucradas.

Por otro lado, el carácter analítico de la investigación implica un desglose meticuloso de los componentes relevantes del tema de estudio. Este análisis profundo se centra en examinar las conexiones causales, relaciones y posibles explicaciones detrás de los fenómenos observados. La investigación analítica busca desentrañar las complejidades inherentes al objeto de estudio y proporcionar una base sólida para la interpretación de los resultados.

3.8. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO

Estos términos hacen referencia a la definición de las características a examinar en una investigación. La población se refiere al conjunto completo de elementos que están sujetos al estudio, mientras que la muestra es una porción representativa de dicha población. El muestreo, por su parte, es el proceso mediante el cual se selecciona esa muestra de manera que sea representativa y posibilite la obtención de conclusiones que puedan aplicarse al conjunto total de la población.

3.9. Población.

Se refiere al conjunto completo o el grupo total de elementos o individuos que comparten una característica o conjunto de características específicas que son objeto de estudio. La población es el universo que se pretende analizar o del cual se busca obtener información. En el presente estudio la población comprende el conjunto de edificios construidos en hormigón y acero en el país.

3.10. Muestra

Una muestra es un subconjunto seleccionado de una población más grande, que se elige de manera deliberada y con un propósito específico en el contexto de

una investigación o estudio. En el presente estudio la muestra comprende a los edificios construidos en hormigón y acero en la provincia de Santa Elena, debido a que considerando que las características del suelo presentan características específicas y criterios de diseño sísmico acorde a la ubicación del edificio que estamos analizando.

3.11. Muestreo

El muestreo es el proceso de selección de un subconjunto representativo de elementos o individuos de una población más grande con el propósito de llevar a cabo una investigación, recopilar datos o realizar un estudio. En lugar de examinar o investigar a todos los elementos de la población, se elige una muestra que se considera suficientemente representativa para obtener conclusiones válidas sobre la población en su conjunto. En el presente estudio el muestreo comprende a un edificio destinado para centros educativos con las siguientes consideraciones, el análisis estructural para diseño en hormigón y estructura de acero.

3.12. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA

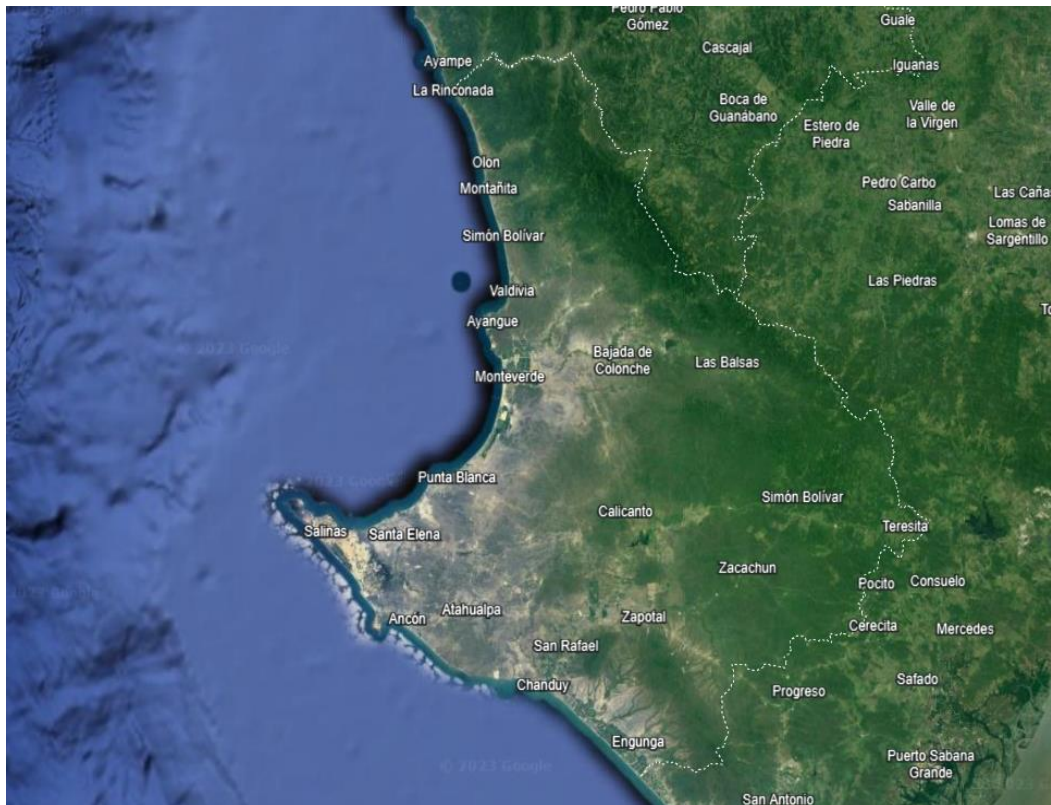
El diseño general se adecua y propende el cumplimiento de los objetivos de manera ordenada, contemplando tres fases donde la (i): Recopilación de datos de propiedades del suelo, se realiza la revisión bibliográfica de estudios de suelo existentes en la provincia de Santa Elena con un enfoque descriptivo y analítico, (ii) Diseño de modelos estructurales de hormigón armado y acero, utilizando las disposiciones técnicas y normativas de NEC-2015, ACI 318-19 y AISC 341-16 se realiza un correcto diseño estructural que satisfaga las necesidades del proyecto. Su enfoque es práctico y técnico y contempla dos modelos estructurales uno de hormigón armado y otro de acero para una institución escolar realizando un análisis técnico comparativo entre ellos. (iii) análisis de costos totales por metro cuadrado (m²) para cada uno de los modelos estructurales con un enfoque presupuestario y económico, se delimitan los costos asociados a la construcción de los dos modelos estructurales, determinando cuál sistema constructivo es más económico.

3.13. CONSIDERACIONES PREELIMINARES.

3.13.1. UBICACIÓN DEL SECTOR DE ESTUDIO.

La definición del sector de estudio corresponde al lugar específico donde se desarrolla la investigación, este espacio físico albergará las variables de estudio y presentara el lugar donde se realizarán la obtención de datos. El estudio presenta el modelado y comparativa de un edificio de 4 pisos construido en la provincia de Santa Elena, donde delimitando su sector de estudio podemos definir que el sector tiene características geológicas y geotécnicas específicas que influyen en la idoneidad de diferentes tecnologías constructivas, como las estructuras de hormigón armado y acero. Algunos de los factores a considerar en relación con el tipo de suelo predominante podrían incluir: el comportamiento del suelo, la capacidad de carga del suelo, los riesgos geotécnicos como deslizamientos de tierra, hundimientos o licuefacción del suelo durante sismos y las normativas de construcción y requerimientos específicos del diseño estructura.

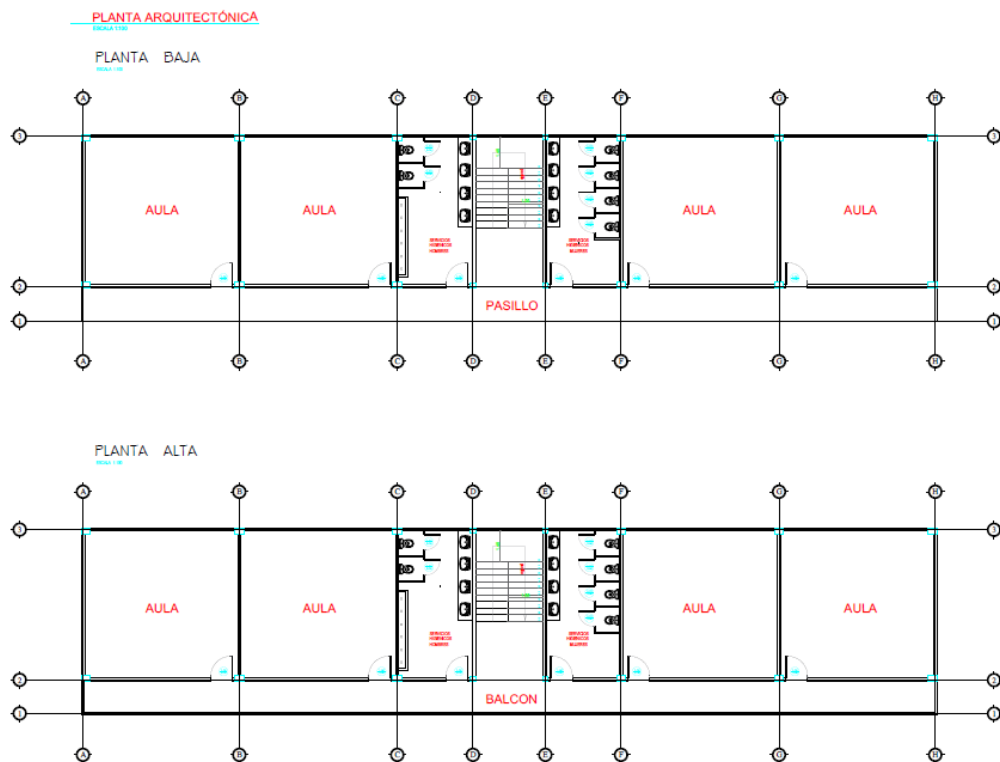
Figura 6. Mapa Provincia de Santa Elena



3.13.2. DISEÑO ARQUITECTÓNICO

El diseño arquitectónico de la estructura educativa de cuatro pisos engloba una superficie total de 331 metros cuadrados, distribuida de manera equitativa entre los diferentes niveles. Cada piso presenta una altura de techo de 3.05 metros. Este meticuloso diseño busca no solo aprovechar eficientemente el espacio disponible, sino también priorizar la seguridad y comodidad de los estudiantes. La cuidadosa planificación de la edificación tiene como objetivo principal crear un ambiente propicio para el aprendizaje, garantizando a su vez condiciones estructurales óptimas que promuevan la tranquilidad y el bienestar de la comunidad educativa. La distribución equilibrada de la superficie y las alturas de techo responde a una estrategia integral para maximizar la funcionalidad del edificio, al tiempo que se consideran aspectos fundamentales para el desarrollo académico y la experiencia de quienes lo utilizan.

Figura 1 Modelo arquitectónico de pisos para centro educativo



Fuente: Bautista Brayner e Inca Danilo, 2023

Tabla 6 Dimensiones en ejes X e Y de la edificación

NIVEL	DIRECCIÓN	DIRECCIÓN
	Y (N-S)	X (E-O)
	Luces de	Luces de
1 2 3 4	$(7.2 * 4) + (3.45 * 2)$ + 3.3	7
Total, en dirección X, Y	Longitud = 39 m	Longitud = 7 m

3.14. METODOLOGÍA DEL O.E.1.: DETERMINAR EL TIPO DE SUELO PREDOMINANTE EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA MEDIANTE LA CLASIFICACIÓN DE PERFILES DE SUELO PROPUESTA POR NEC-15, PARA DEFINIR EL ESPECTRO DE RESPUESTA ELÁSTICO DE ACELERACIONES

El primer objetivo se llevó a cabo la determinación del tipo de suelo predominante en la provincia de Santa Elena. Esta tarea se ejecutó siguiendo la clasificación de perfiles de suelo propuesta por NEC-15, con el propósito de definir el espectro de respuesta elástico de aceleraciones. A continuación, se detalla y argumenta la metodología empleada:

En primer lugar, se realizó la Recolección de Datos Geotécnicos. Este proceso comprendió la obtención de información detallada de perforaciones y el análisis de suelos en la provincia de Santa Elena. La recopilación de datos geológicos existentes contribuyó a enriquecer la comprensión de las características del suelo en la región, constituyendo una base esencial para la clasificación subsiguiente.

La siguiente etapa fue la Clasificación de Perfiles de Suelo según NEC-15. Se aplicó la clasificación propuesta por NEC-15 para categorizar los perfiles de suelo identificados previamente. La meta fue obtener una clasificación precisa que

permitiera la identificación del tipo y características del suelo predominante en la región, proporcionando información crucial para el diseño sísmico.

La última fase de la metodología fue la Definición del Espectro de Respuesta Elástico de Aceleraciones. Se utilizó la información geotécnica recopilada para determinar los parámetros necesarios para el espectro de respuesta elástico de aceleraciones. La validación de los resultados se llevó a cabo mediante la comparación con las normativas y códigos aplicables, garantizando la coherencia y fiabilidad de los datos obtenidos.

La argumentación para esta metodología se basa en la necesidad crítica de comprender las características geotécnicas del suelo en la provincia de Santa Elena para un diseño estructural sísmicamente eficiente. La aplicación de la clasificación NEC-15 y la definición del espectro de respuesta elástico proporcionaron una base técnica sólida para el posterior diseño y análisis de estructuras de hormigón armado y acero, contribuyendo así a la seguridad y eficacia de las edificaciones de cuatro pisos destinadas a centros educativos en la región

3.15. DISEÑAR DOS MODELOS ESTRUCTURALES DE UNA INSTITUCIÓN ESCOLAR DE HORMIGÓN ARMADO Y ACERO CONSIDERANDO LAS DISPOSICIONES TÉCNICAS Y NORMATIVAS DE NEC-2015, ACI 318-19 Y AISC 341-16 PARA REALIZAR UN ANÁLISIS TÉCNICO COMPARATIVO DE AMBOS MODELOS.

Se abordó el diseño de dos modelos estructurales para una institución escolar, uno de hormigón armado y otro de acero. Este proceso se rigió por las disposiciones técnicas y normativas establecidas por el NEC-2015, ACI 318-19 y AISC 341-16, con el propósito de llevar a cabo un análisis técnico comparativo detallado de ambos modelos. A continuación, se describe y argumenta la metodología empleada:

Primero, se realizó la Selección de Parámetros de Diseño. Este paso implicó la identificación exhaustiva de los requisitos y parámetros de diseño establecidos por

NEC-2015, ACI 318-19 y AISC 341-16. La adaptación cuidadosa de estas especificaciones a las condiciones locales de la provincia de Santa Elena garantizó la pertinencia y adecuación de los modelos estructurales a las características específicas del entorno.

Posteriormente, se llevó a cabo el Modelado Estructural utilizando software especializado. Durante este proceso, se incorporaron las cargas y condiciones de contorno según las normativas aplicables. Esta etapa garantizó una representación fiel y precisa de las estructuras, permitiendo un análisis técnico robusto y fundamentado.

El núcleo de la metodología fue el Análisis Técnico Comparativo. Se evaluó la capacidad sísmica y la resistencia estructural de ambos modelos, aplicando criterios establecidos por las normativas correspondientes. La comparación de los resultados obtenidos proporcionó insights cruciales para determinar las ventajas y desventajas inherentes a cada sistema constructivo.

La argumentación de esta metodología se sustenta en la necesidad de realizar un análisis técnico exhaustivo y comparativo entre estructuras de hormigón armado y acero. Las normativas NEC-2015, ACI 318-19 y AISC 341-16 proporcionaron el marco reglamentario necesario para garantizar la seguridad estructural y la conformidad con estándares reconocidos. La rigurosidad en la aplicación de estas normativas se traduce en la obtención de resultados confiables y en la identificación de la estructura más adecuada para las edificaciones de cuatro pisos destinadas a centros educativos en la provincia de Santa Elena.

3.16. METODOLOGÍA DEL O.E.3.: REALIZAR UNA EVALUACIÓN PRESUPUESTARIA DE LOS MODELOS ESTRUCTURALES PROPUESTOS MEDIANTE EL ANÁLISIS DE COSTOS TOTALES POR M², PARA DETERMINAR QUÉ SISTEMA CONSTRUCTIVO ES MÁS ECONÓMICO.

Se procedió a realizar una evaluación presupuestaria de los modelos estructurales propuestos, con el objetivo de determinar cuál de los sistemas constructivos, ya sea

de hormigón armado o acero, resulta más económico. Este proceso metodológico se llevó a cabo mediante un análisis detallado de los costos totales por metro cuadrado (m^2), empleando un enfoque riguroso y técnico.

En primer lugar, se efectuó una Estimación de Costos de Materiales y Mano de Obra. Este paso implicó la recopilación de precios de materiales de construcción y costos asociados a la mano de obra local, considerando los elementos específicos de cada sistema constructivo. La selección minuciosa de estos datos se fundamentó en la búsqueda de una representación precisa y actualizada de los costos involucrados en la construcción de los modelos estructurales.

Seguidamente, se procedió al Análisis de Costos Totales por m^2 , donde se realizó un cálculo detallado que incluyó tanto costos directos como indirectos, así como posibles imprevistos durante el proceso constructivo. Este análisis permitió obtener una visión integral de la inversión requerida para cada metro cuadrado construido en ambos sistemas estructurales.

La etapa final consistió en la Determinación del Sistema Constructivo Más Económico. Para ello, se llevó a cabo una comparación exhaustiva de los costos totales por m^2 entre las estructuras de hormigón armado y acero. Este análisis no se limitó únicamente a una comparación cuantitativa, sino que también se tuvieron en cuenta aspectos cualitativos y de eficiencia constructiva.

La argumentación para esta metodología se basa en la necesidad de tomar decisiones informadas y respaldadas por datos concretos en el proceso de selección del sistema constructivo más adecuado para edificaciones de cuatro pisos destinadas a centros educativos en la provincia de Santa Elena. La evaluación económica, al considerar tanto los costos directos como los indirectos, proporciona una visión holística que contribuye a la toma de decisiones sustentadas en criterios técnicos y financieros

Tabla 7. Cuadro de operacionalización de las variables

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida	
Variable Dependiente:	<i>Tipo de estructura</i>	Sistema constructivo	Diseños de acuerdo con normativas nacionales (Norma Ecuatoriana de La Construcción (NEC), 2014) e internacionales (American Concrete Institute (ACI), 2019)	Estructura de hormigón	Diseño acorde a normativa ACI	Diseño estructural en hormigón armado
				Estructura de acero	Diseño acorde a normativa AISC	Diseño estructural en acero.
Variable Independiente:	<i>Análisis estructural</i>	Diseño estructural de las edificaciones con el sistema constructivo correspondiente	Análisis estructural de las edificaciones en Software ETABS	Estructura de hormigón	Derivas de piso	%
				Estructura de acero	Derivas de piso	%
	<i>Análisis presupuestario</i>	Análisis de costos de construcción de edificios	Cálculo de Precios Unitarios y presupuesto total de la obra	Estructura de hormigón	Costo de construcción por m ²	\$/ m ²
				Estructura de acero	Costo de construcción por m ²	\$/ m ²

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

El capítulo de resultados se refiere a la presentación y descripción de los hallazgos obtenidos a partir de la investigación o el estudio realizado. Esta sección es crucial para comunicar de manera clara y detallada lo que se descubrió o se logró a lo largo del trabajo de investigación (García Ramírez, 2019). Los resultados pueden incluir datos, estadísticas, observaciones, análisis de información, respuestas a hipótesis o preguntas de investigación, y cualquier otra evidencia relevante. La presentación de los resultados debe ser objetiva y estar respaldada por métodos de recopilación de datos rigurosos y análisis adecuados.

4.1. RESULTADOS DEL O.E1: DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS DEL TIPO DE SUELO PREDOMINANTE MEDIANTE UNA RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA DE ESTUDIOS DE SUELO, PARA DISEÑAR LOS MODELOS ESTRUCTURALES DE HORMIGÓN ARMADO Y ACERO.

4.1.1. Perfil de sitio

La normativa NEC 2015 aborda en su capítulo de riesgo sísmico y diseño sismorresistente ubicado en su manual, clasificando los tipos de suelo de la letra A a la F. Investigaciones indican que, en la zona de Santa Elena, los suelos generalmente caen en la categoría de tipos C a E. En el caso específico de la cabecera cantonal de Santa Elena, se ha considerado el suelo tipo D como información relevante debido a su mayor aceleración, siendo el más crítico para el proceso de diseño y un suelo bastante común en la provincia de Santa Elena a pesar de no tener las mejores condiciones geotécnicas para el diseño estructural de

edificios de gran envergadura. Esta clasificación se realiza evaluando las propiedades cualitativas de los materiales involucrados.

4.1.2. Mapa estratigráfico de Santa Elena

La estratigrafía se refiere a la disposición de las capas rocosas en la Tierra y es específica de cada región, dependiendo de la historia geológica y los procesos geodinámicos que han tenido lugar en el área.

Figura 7 Relación estratigráfica entre formaciones de la Península de Santa Elena y Cuenca

ERA	AÑOS	PERIODO	PENINSULA DE SANTA ELENA	LITOLOGÍA	CUENCA PROGRESO				
CUATERNARIO	25000 Años Hasta Hoy	HOLOCENO	ALUVION	Gravas, arenas y arcillas no consolidadas,	Fm. Tablazo	ALUVION 2	COLUVION 2		
	1 Millón a 25000 Años	PLEISTOCENO	Fm. TABLAZO	Arena fina a media, localmente calcárea, con gravas y conchas rotas y presencia de sal.		CUATERN SEDIMENT	ALUVION 1	COLUVION 1	
CENOZOICA O TERCIARIA	12 a 1 Millón de Años	PLIOCENO				Fm. PUNA			
	25 a 12 millones de años	MIOCENO				M. BELLA VISTA	Fm. PROGRESO		
						M. PROGRESO			
						M. VILLINGOTA	Fm. TOSAGUA		
						M. DOS BOCAS			
	35 a 25 Millones de Años	OLIGOCENO				M. ZAPOTAL			
	55 A 35 MILLONES DE AÑOS	EOCENO	U	GRUPO ANCON	SECA	GRUPO ANCON	FM. SECA	M. ARENISCA PUNTA ANCON	Fm. SAN EDUARDO
					M. CLAY PEBBLE BEDS			M. LUTITAS SECAS	
					SANTO TOMAS			M. SOCORRO	
		70 A 55 MILLONES DE AÑOS	PALEOCENO	L	GRUPO AZUCAR	PASSAGE BEDS	GRUPO AZUCAR	F. CHANDUY	
ATLANTA									
SAN JOSE									
MESOZOICA O SECUNDARIA	135 a 70 MILLONES DE AÑOS	CRETACEO	M. SANTA ELENA	Fm. CAYO			M. GUAYAQUIL CHERT	Fm. CAYO	
			M. CAYO				M. CAYO S.S.		
			PIÑON				M. CALENTURA		
				Basaltos y Rocas Volcanicas			PIÑON		

Nota: Tomado de (Moreno-Alcívar, 2014) y (Nuñez del Arco, 2003)

La consideración del evento sísmico de diseño reviste una importancia crucial, dado que se vincula directamente con la seguridad estructural de la edificación. Según NEC-SE-DS (2015), este evento se define con una probabilidad del 10% de ser superado en un período de 50 años, lo que equivale a un período de retorno de 475 años. La determinación de este evento se realiza mediante un análisis detallado de la amenaza sísmica específica del emplazamiento, ya sea a través de estudios específicos o de la consulta de un mapa de riesgo sísmico, el cual se encuentra detallado en el presente documento.

Tabla 8. Datos para definición de espectro de diseño NEC 2015 (NEC-SE-DS)

Datos para definición de espectro de diseño	
Ciudad	La Libertad
Provincia	Santa Elena
Factor de Zonificación	0,5
Tipo de Suelo	D
Región	Costa (Excepto Esmeraldas)

Tabla 9. Coeficientes espectrales para suelos

Factor	Valor
F_a	1.12
F_d	1.1
F_s	1.4
η	1.80
r	1
z	0.5
T_0	0.139
T_c	0.763

La especificación del Espectro Elástico de Diseño, fundamental para abordar la resistencia sísmica de la estructura, se basa en los valores proporcionados en la Tabla 33 de NEC-SE-DS (2015). Estos valores no son arbitrarios, sino que se sustentan en fórmulas rigurosas descritas en la sección 2.6 del mismo documento. La rigurosidad de estos cálculos y su fundamentación en principios científicos robustos garantizan una aproximación confiable y precisa al riesgo sísmico al que la estructura puede estar expuesta.

4.1.3. Factor de Reducción de Resistencia (R)

El Factor de Reducción de Resistencia (R) adoptado para el diseño de un sistema de pórticos especiales sísmos resistentes a momentos de Hormigón Armado optando por un valor de $R=8$.

En relación con los Factores de Importancia (I), se ha seleccionado un coeficiente $I=1.30$ para la estructura, basándose en la necesidad de asegurar un funcionamiento constante de la construcción de uso público. Esta decisión se alinea con las indicaciones de la Tabla x, donde se detallan los coeficientes de importancia asociados a distintos tipos de estructuras. La elección de $I=1.30$ refleja la prioridad dada a la estabilidad y confiabilidad continua de la estructura, destacando su relevancia en términos de uso público y funcionalidad constante.

Los Factores de Configuración Estructural (\emptyset_P , \emptyset_E) constituyen elementos cruciales en la metodología de diseño, particularmente cuando se aborda la presencia de irregularidades estructurales. Categorizados como \emptyset_E para las irregularidades verticales y \emptyset_P para las horizontalidades anómalas, la elección de sus valores se justifica adecuadamente en función de la estructura particular y sus variaciones de diseño. Dada la naturaleza irregular de la estructura considerada, los valores seleccionados se encuentran en concordancia con la Tabla x, donde se especifican los coeficientes asociados con estructuras irregulares.

Ecuación 3

$$S_{ai} = \frac{S_a I}{\emptyset_P \emptyset_E R}$$

Donde:

S_{ai} : Intensidad de carga sísmica después de un proceso o interacción

S_a : Intensidad de carga sísmica incidente

I : Ganancia o atenuación adicional.

\emptyset_P : Factor de pérdida

\emptyset_E : Factor de eficiencia

R : Resistencia de la estructura.

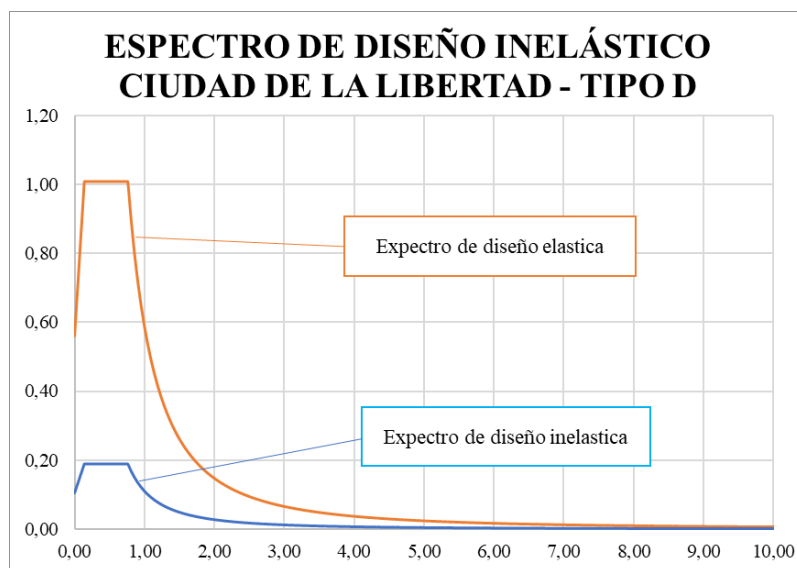
Tabla 10 Factores y coeficientes estructurales para los edificios (NEC-SE-DS-2015)

Factores y Coeficientes	
I	1.3
R	8
\emptyset_P	1
\emptyset_E	1

4.1.4. Espectro de diseño inelástico

El espectro de diseño elástico obtenido se muestra en la figura 4

Figura 4. Espectro de Respuesta elástica e Inelástica para tipo de Suelo D en el Cantón La Libertad Provincia de Santa Elena.



4.2. RESULTADOS DEL O.E2: DISEÑAR DOS MODELOS ESTRUCTURALES DE UNA INSTITUCIÓN ESCOLAR DE HORMIGÓN ARMADO Y ACERO CONSIDERANDO LAS DISPOSICIONES TÉCNICAS Y NORMATIVAS DE NEC-2015, ACI 318-19 Y AISC 341-16 PARA REALIZAR UN ANÁLISIS TÉCNICO COMPARATIVO DE AMBOS MODELOS

4.3. Especificaciones estructurales y elementos de diseño arquitectónico en hormigón armado.

La configuración de la estructura de armado de concreto se compone de pórticos, siendo las columnas estructurales un componente clave con una altura entre pisos de 3 metros. En total, se han dispuesto 16 columnas principales para sostener la infraestructura. Es pertinente destacar que las cuatro plantas de la edificación están destinadas exclusivamente para el uso de aulas.

En el proceso de redimensionamiento de los elementos estructurales, se llevará a cabo una adaptación rigurosa conforme a los requisitos establecidos por NEC-2015 y ACI 318. Esta decisión se sustenta en la consideración meticulosa de las propiedades detalladas en la tabla adjunta. Este enfoque técnico y normativo asegura no solo la conformidad con estándares reconocidos en el ámbito estructural, sino también la integración de características específicas que optimizarán la robustez y la estabilidad de la edificación.

Asimismo, la elección de seguir las pautas establecidas por NEC-2015 y ACI 318 demuestra un compromiso con las mejores prácticas de ingeniería, garantizando así la idoneidad de la estructura en términos de seguridad y rendimiento. Este enfoque reflexivo y basado en normativas reconocidas refleja una estrategia integral para asegurar la integridad estructural y funcional de la edificación destinada a la educación.

Tabla 11 Propiedades del hormigón y acero de refuerzo

DATOS		
F'c	280	kg/cm ²
Fy	4200	kg/cm ²

4.4. Predimensionamiento de losa

Según las directrices establecidas en ACI 318–14, el procedimiento para calcular el predimensionamiento de una losa apoyada en todas sus aristas sobre vigas en dos direcciones implica ciertos pasos fundamentales. Se requiere realizar una evaluación detallada considerando diversos factores para garantizar la adecuación y la seguridad estructural.

Este enfoque técnico, respaldado por las normas de ACI 318–14, se implementa con el objetivo de lograr un diseño estructural eficiente y seguro. Al seguir estas directrices, se asegura que el predimensionamiento de la losa se realiza de manera precisa y en conformidad con estándares reconocidos en el campo de la ingeniería estructural. Este compromiso con las normativas establecidas contribuye a garantizar la estabilidad y la integridad de la estructura en su conjunto.

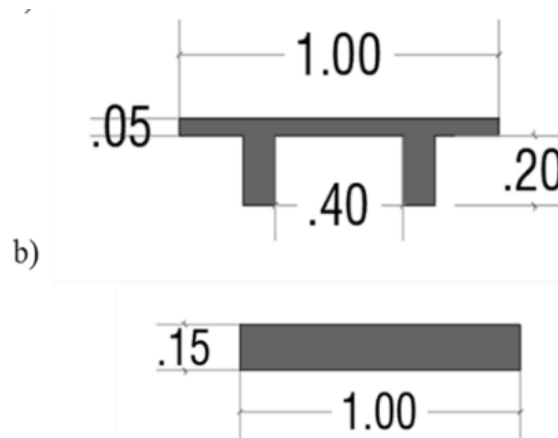
Tabla 12. Espesor mínimo de losas en 2 direcciones apoyadas en todos sus lados.

$\alpha_{fm}^{(1)}$	Espesor mínimo, h , cm		
$\alpha_{fm} \leq 0.2$	Se aplica 8.3.1.1		(a)
$0.2 < \alpha_{fm} \leq 2.0$	Mayor de:	$h = \frac{\ell_n \left(0.8 + \frac{f_y}{14,000} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0.2)}$	(b) ^{[2],[3]}
		12.5	(c)
$\alpha_{fm} > 2.0$	Mayor de:	$h = \frac{\ell_n \left(0.8 + \frac{f_y}{14,000} \right)}{36 + 9\beta}$	(d) ^{[2],[3]}
		9	(e)

Tabla 13 Espesores de elementos de hormigón armado

Espesores de losa y nervios		
1 - 2 - 3 - 4	0.05	m
Nervios	0.2	m

Figura 8 Sección de losa



En el proceso de predefinición de la losa, se toma en cuenta los pesos unitarios de materiales utilizados en la construcción, siguiendo las pautas establecidas por la (NEC-SE-CG, 2015), como se detalla en la tabla correspondiente.

Tabla 14 Carga muerta y peso de losa

Materiales	Carga Uniforme P1-P2-P3-P4 (kg/m²)
Loseta + Nervio	240
Cerámica	45.9
Instalaciones	50
Tumbado	20.4
Enlucido	40
Mampostería	226
Total de carga muerta	662.3

Tabla 15 Cargas vivas que afectan la estructura

	P1-P2-P3-P4	Cubierta
Carga viva de garaje	200 kg/m ²	-
Cubierta no accesible		70 kg/m ²
Total de carga viva	200 kg/m²	70 kg/m²

En el cálculo de la carga mayorada por piso (WU), se implementa la combinación 1.2D+1.6L, la cual será empleada en el proceso de diseño de las vigas y columnas. Este enfoque se fundamenta en la necesidad de considerar de manera ponderada las cargas permanentes (D) y las cargas vivas (L) para garantizar la seguridad y estabilidad estructural. La utilización de esta combinación específica se justifica por su conformidad con las prácticas y estándares de diseño estructural, asegurando así que el análisis y dimensionamiento de elementos como vigas y columnas se realicen de manera coherente y conforme a criterios establecidos en el ámbito de la ingeniería civil. Este procedimiento contribuye a la robustez y confiabilidad de la estructura, aspectos fundamentales en el contexto de la investigación y desarrollo de una tesis.

Tabla 16 Cargas mayoradas

Mayoración de cargas WU = 1.2D+1.6L (kg/m²)		
	P1-P2-P3	Sobrecubierta
D =	662.3	
L =		70
WU =	1354.16	646.72

4.5. Predimensionamiento de vigas

En el caso de las vigas y la losa, se optó por la utilización de concreto con una resistencia de 280 kg/cm² en consonancia con los requisitos de diseño. Asimismo, se ha decidido incorporar cargas de barandillas o sistemas de barreras de seguridad en lugar de utilizar paredes. La instalación de estas estructuras cumple la función de prevenir posibles accidentes. En cuanto al cálculo de las dimensiones, se aplicarán las siguientes fórmulas:

Ecuación N° 4

Carga ultima

$$q_u = WU \cdot Le$$

Donde:

WU : Carga mayorada

Le : Lado efectivo

Ecuación N° 5

Momento ultimo

$$M_u = \frac{q_u \cdot L^2}{10}$$

Donde:

q_u : Carga ultima

L : Longitud de la viga

Ecuación N° 6

Altura de viga

$$h = \sqrt{\frac{M_u}{(\phi)(b)(f'c)(\omega)(1 - 0.59(\omega))}} + rec$$

Donde:

M_u : Momento ultimo

ϕ : Factor de reducción

$f'c$: Resistencia a la compresion del hormigon

ω : Cuantía de refuerzo (0.18)

Tabla 17 Predimensionamiento de vigas.

Predimensionamiento de vigas				
Ubicación Eje “y”				
Piso	A – H (cm)	B – G (cm)	D - E (cm)	C – F (cm)
P1	30x25	40x25	45x30	35x25
P2	30x25	40x25	45x30	35x25
P3	30x25	40x25	45x30	35x25
P4	30x25	40x25	45x30	35x25

Tabla 18 Predimensionamiento de vigas

Predimensionamiento de vigas				
Ubicación Eje “x”				
Piso	Eje 4 (cm)	Eje 3 (cm)	Eje 2 (cm)	Eje 1 (cm)
P1	40x25	45x30	45x25	30x25
P2	40x25	45x30	45x25	30x25
P3	40x25	45x30	45x25	30x25
P4	40x25	45x30	45x25	30x25

4.6. Predimensionamiento de columnas

En relación con la carga axial de las columnas, se han considerado directamente las cargas obtenidas del programa SAP2000. En los anexos de este documento, se presentan detalladamente los cálculos relativos al acero y la disposición estructural

de las columnas. Este enfoque garantiza una incorporación precisa de las cargas, respaldada por los resultados del análisis realizado con el software especializado, y proporciona una visión exhaustiva del diseño y la configuración de las columnas en cuestión

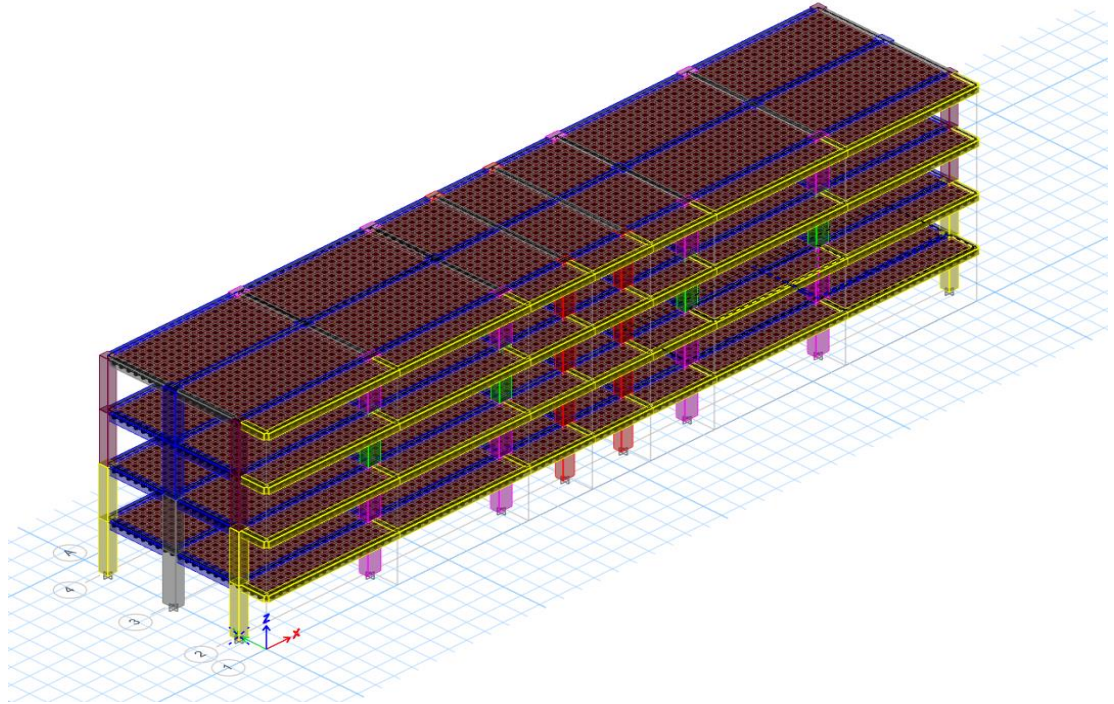
Tabla 19 Predimensionamiento de columnas

Predimensionamiento de columnas	
Ubicación	Dimensiones (cm)
A4 – H4	30x30
A3 – H3	30x30
B3 – G3	35X35
A2 – H2	30x30
D4 – E4	30X30
C3 – F3	35X35
B4 – G4	30X30
C4 – F4	30X30
D2 – E2	30X30
C2 – F2	30X30
B2 - G2	30X30

4.7. MODELO ESTRUCTURAL DE LA ESTRUCTURA DE HORMIGON ARMADO

Después de llevar a cabo el predimensionamiento de los elementos estructurales de concreto armado y determinar las cargas que actuarán sobre la estructura, se avanzó al siguiente paso, que consistió en la creación de un modelo estructural utilizando el software Etabs. El modelo a modelar como se mencionó antes se trata de una estructura de 4 pisos, compuesto por las 3 primeras plantas con cuatro salones de clase cada una, además de dos baterías sanitarias y em el último piso se tienen las oficinas para los docentes.

Figura 9 Modelo estructural de la edificación en hormigón armado



4.7.1. Parámetros para el análisis sísmico

Tabla 20 Parámetros de irregularidad en altura de la edificación en hormigón armado

Irregularidad	Condición
Rigidez – Piso blando	No tiene
Resistencia – Piso débil	No tiene
Masa peso	No tiene
Geometría vertical	No tiene
Discontinuidad en los sistemas resistentes	No tiene

Tabla 21 Parámetros de irregularidad en planta en la estructura de hormigón armado

Irregularidad	Condición
Torsión	No tiene
Esquina entrante	No tiene
Discontinuidad de diafragma	No tiene
Sistemas no paralelos	No tiene

La normativa NEC 2015 aborda de manera exhaustiva la temática del peligro sísmico y la necesidad de implementar diseños sismorresistentes. En este contexto, se establece una clasificación de los tipos de suelo, designados con letras de la A a la F. Con base en diversos estudios realizados en la región de Santa Elena, se ha constatado que los suelos predominantes tienden a ubicarse mayormente en las categorías C y E.

Específicamente para la cabecera cantonal de Santa Elena, se ha optado por considerar el suelo tipo D como referencia para el diseño, dado que este tipo de suelo presenta una mayor aceleración sísmica, convirtiéndose así en el más crítico desde la perspectiva del diseño sismorresistente. La elección de esta clasificación se fundamenta en propiedades cualitativas propias de los materiales del suelo, las cuales han sido identificadas y evaluadas mediante estudios especializados.

Este cuidadosa del tipo de suelo para el diseño sísmico no es selección arbitraria, sino que responde a la necesidad de considerar las condiciones geotécnicas específicas de la localidad. Al tomar en cuenta el suelo tipo D, se está tomando precauciones adicionales dada su mayor propensión a la aceleración sísmica, lo que contribuye a fortalecer la resistencia y seguridad de las estructuras ante posibles eventos sísmicos en la región de Santa Elena. En este sentido, la

aplicación del NEC 2015 demuestra una adaptación y especificidad fundamentada en las características geológicas locales.

4.7.2. Sismo de diseño

La consideración del evento sísmico de diseño reviste una importancia crucial, dado que se vincula directamente con la seguridad estructural de la edificación. Según NEC-SE-DS (2015), este evento se define con una probabilidad del 10% de ser superado en un período de 50 años, lo que equivale a un período de retorno de 475 años. La determinación de este evento se realiza mediante un análisis detallado de la amenaza sísmica específica del emplazamiento, ya sea a través de estudios específicos o de la consulta de un mapa de riesgo sísmico, el cual se encuentra detallado en el presente documento.

La especificación del Espectro Elástico de Diseño, fundamental para abordar la resistencia sísmica de la estructura, se basa en los valores proporcionados en la Tabla 33 de NEC-SE-DS (2015). Estos valores no son arbitrarios, sino que se sustentan en fórmulas rigurosas descritas en la sección 2.6 del mismo documento.

Tabla 22 Coeficientes espectrales para suelos

Factor	Valor
F_a	1.12
F_d	1.1
F_s	1.4
η	1.80
r	1
z	0.5
T_0	0.139
T_c	0.763

4.7.3. Factor de Reducción de Resistencia (R)

El Factor de Reducción de Resistencia (R) adoptado para el diseño de un sistema de pórticos especiales sismos resistentes a momentos de Hormigón Armado optando por un valor de R=8.

En relación con los Factores de Importancia (I), se ha seleccionado un coeficiente I=1.30 para la estructura, basándose en la necesidad de asegurar un funcionamiento constante de la construcción de uso público. Esta decisión se alinea con las indicaciones de la Tabla x, donde se detallan los coeficientes de importancia asociados a distintos tipos de estructuras. La elección de I=1.30 refleja la prioridad dada a la estabilidad y confiabilidad continua de la estructura, destacando su relevancia en términos de uso público y funcionalidad constante.

Los Factores de Configuración Estructural (\emptyset_P , \emptyset_E) constituyen elementos cruciales en la metodología de diseño, particularmente cuando se aborda la presencia de irregularidades estructurales. Categorizados como \emptyset_E para las irregularidades verticales y \emptyset_P para las horizontalidades anómalas, la elección de sus valores se justifica adecuadamente en función de la estructura particular y sus variaciones de diseño. Dada la naturaleza irregular de la estructura considerada, los valores seleccionados se encuentran en concordancia con la Tabla x, donde se especifican los coeficientes asociados con estructuras irregulares.

Ecuación N°7

$$S_{ai} = \frac{S_a I}{\emptyset_P \emptyset_E R}$$

Donde:

S_{ai} : Intensidad de carga sísmica después de un proceso o interacción

S_a : Intensidad de carga sísmica incidente

I : Ganancia o atenuación adicional.

\emptyset_P : Factor de pérdida

\emptyset_E : Factor de eficiencia

R : Resistencia de la estructura.

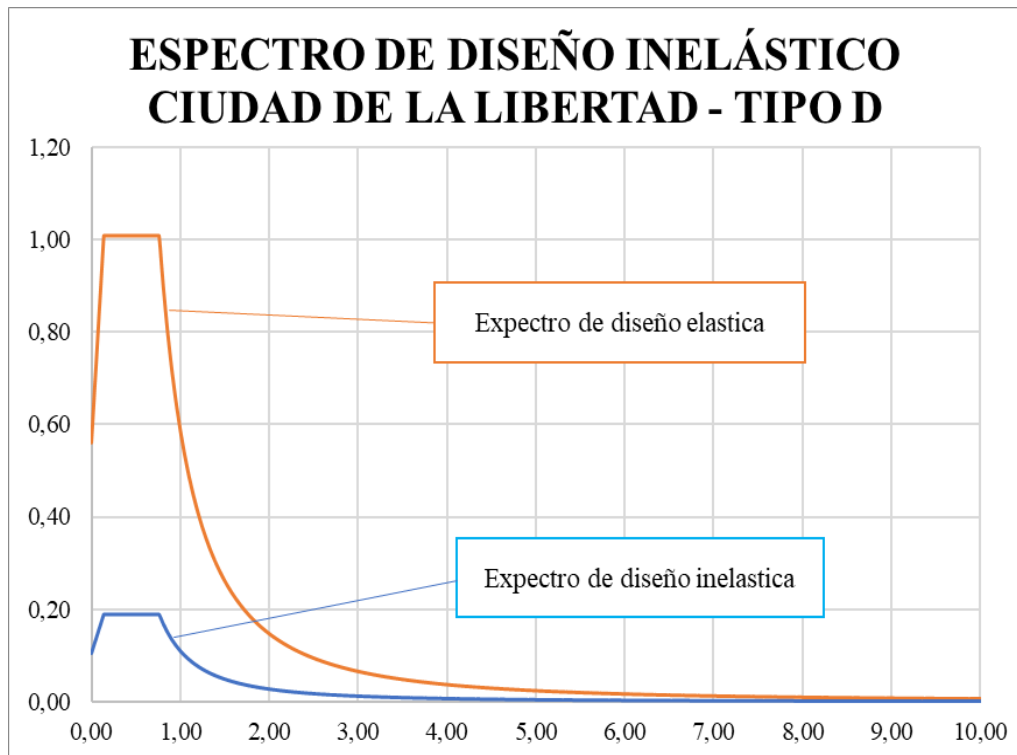
Tabla 23 Factores y coeficientes estructurales para la edificación (NEC-SE-DS, 2015)

Factores y Coeficientes	
I	1.3
R	8
ϕ_P	1
ϕ_E	1

4.7.4. Espectro de diseño inelástico

El espectro de diseño elástico obtenido se muestra en la figura 10

Figura 10 Espectro de Respuesta elástica e Inelástica para tipo de Suelo D en el Cantón La Libertad Provincia de Santa Elena.



4.7.5. Fuerza cortante en la base

La determinación de la fuerza cortante total en la base de la estructura se llevó a cabo mediante el seguimiento de las directrices establecidas en el Reglamento Ecuatoriano de la Construcción (RNE).

Ecuación 7

Fuerza cortante en la base del elemento estructural

$$C_S = \frac{I * S_a}{R * \varphi_P * \varphi_E}$$

Donde:

I : Momento de inercia del elemento estructural.

S_a : Esfuerzo cortante admisible.

R : Distancia desde el centro de gravedad hasta la fibra más alejada.

φ_P : Factor de carga.

φ_E : Factor de resistencia.

$$C_S = \frac{1.3 * 1.008}{8 * 1 * 1} = 0.1638 \text{ ton}$$

Entonces, las fuerzas sísmicas que actúan en cada nivel en las direcciones "X" e "Y" son las siguientes:

Tabla 24 Resultados de fuerza sísmica en eje x

N° Pisos	Pesos Ton	$\omega_i * (h_i)^k$	$\frac{\omega_i * (h_i)^k}{\sum \omega_i * (h_i)^k}$	F_i
4	157.16	1885.900	0.245	45.251
3	321.60	2894.386	0.376	69.449
2	324.94	1949.618	0.253	46.780
1	324.94	974.809	0.127	23.390

Tabla 25 Resultados de fuerza sísmica en eje y

N° Pisos	Pesos Ton	ω_i * $(h_i)^k$	$\frac{\omega_i * (h_i)^k}{\sum \omega_i * (h_i)^k}$	F_i
4	157.16	1885.900	0.245	45.251
3	321.60	2894.386	0.376	69.449
2	324.94	1949.618	0.253	46.780
1	324.94	974.809	0.127	23.390

4.7.6. Análisis dinámico modal espectral

Mediante el análisis modal, se determinaron los períodos correspondientes a cada tipo de modo. Dado que nuestra estructura consta de 5 niveles, se identificaron un total de 12 modos de vibración, los cuales se presentan a continuación:

Tabla 26 Resultados de modos de vibración en Etabs

Modo	Periodo (seg)
1	0.486
2	0.473
3	0.423
4	0.139
5	0.132
6	0.121
7	0.074
8	0.069
9	0.064
10	0.051
11	0.049
12	0.045

Figura 11 Espectro de respuesta de la edificación eje x

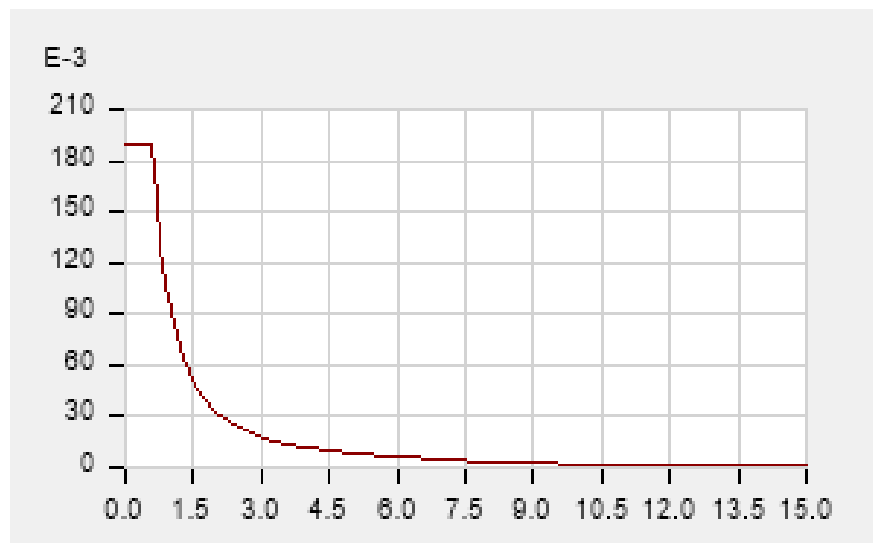
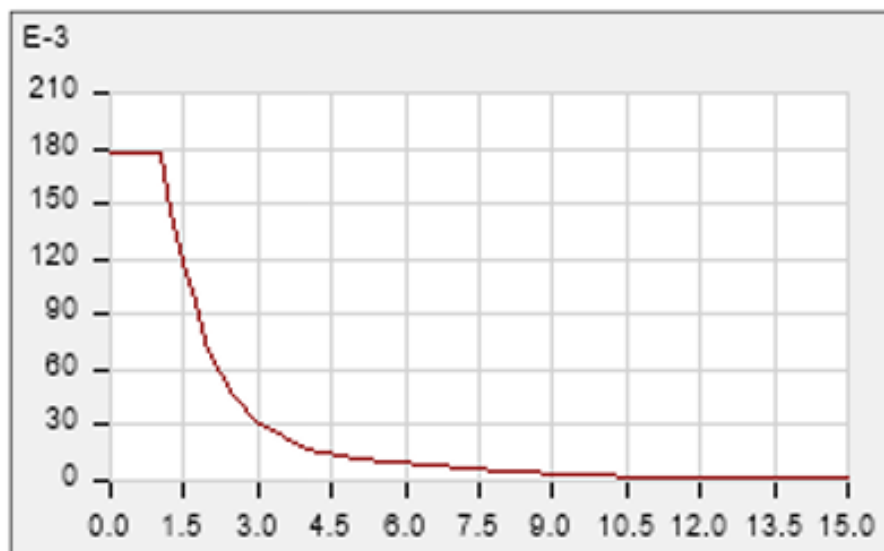


Figura 12 Espectro de respuesta eje y



4.7.7. Fuerza cortante en la base

El E.030, que es el Reglamento Nacional de Edificaciones, establece como requisito que la fuerza cortante en la base en cada dirección (X, Y) no debe ser inferior al 80% de la fuerza cortante calculada en el análisis estático, especialmente para estructuras consideradas como regulares. Esta disposición resalta la importancia de garantizar un nivel mínimo de resistencia sísmica en las estructuras que cumplen con criterios de regularidad.

Tabla 27 Resultado de fuerza cortantes basal en eje x

SENTIDO X				
ESPECTRO ESTÁTICO			ESPECTRO DINÁMICO	
VE acumulado	VE	80% VE	VD acumulado Etabs	VD
45.2509146	45.2509146	36.2007316	14.7813	14.7813
114.699784	69.45	55.5590957	54.838	40.0567
161.479575	46.7797906	37.4238325	80.9402	26.1022
184.869463	23.3898881	18.7119105	92.1741	11.2339
111.694839			92.1741	

Tabla 28 Resultado de fuerza cortantes basal en eje y

SENTIDO Y				
ESPECTRO ESTÁTICO			ESPECTRO DINÁMICO	
VE acumulado	VE	80% VE	VD acumulado Etabs	VD
45.25091455	45.2509146	36.2007316	15.7236	15.7236
114.6997842	69.4488696	55.5590957	56.7474	41.0238
161.4795748	46.7797906	37.4238325	83.4098	26.6624
184.869463	23.3898881	18.7119105	94.8768	11.467
111.694839			94.8768	

4.7.8. Masa practica

Se llevó a cabo un análisis modal de la estructura con el propósito de identificar los modos de vibración y determinar los porcentajes de participación de masa modal. Después de este análisis, los modos fueron clasificados y agrupados según la dirección de traducción predominante, facilitando así una comprensión más clara de la respuesta vibracional de la estructura en diversas condiciones. Este enfoque permite una interpretación más detallada y una toma de decisiones fundamentada en cuanto al comportamiento dinámico de la edificación

Tabla 29 Masa participativa

Case	Mode	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
		Sec												
Modal	1	0.485	0.00E+00	0.8009	0	0.00E+00	0.8009	0	0.1962	0	0.00E+00	0.1962	0	0.00E+00
Modal	2	0.473	0.7546	0.00E+00	0	0.7546	0.8009	0	0.00E+00	0.1786	0.0506	0.1962	0.1786	0.0506
Modal	3	0.423	0.0507	0	0	0.8053	0.8009	0	0	0.0124	0.7498	0.1962	0.191	0.8004
Modal	4	0.139	0	0.1304	0	0.8053	0.9313	0	0.6143	0	0	0.8106	0.191	0.8004
Modal	5	0.132	0.1135	0	0	0.9188	0.9313	0	0.00E+00	0.554	0.0183	0.8106	0.745	0.8187
Modal	6	0.121	0.0188	0	0	0.9377	0.9313	0	0	0.0906	0.1119	0.8106	0.8355	0.9306
Modal	7	0.074	0	0.049	0	0.9377	0.9802	0	0.1149	0	0.00E+00	0.9255	0.8355	0.9306
Modal	8	0.069	0.0344	0.00E+00	0	0.9721	0.9802	0	0.00E+00	0.0735	0.0128	0.9255	0.909	0.9434
Modal	9	0.064	0.0129	0	0	0.985	0.9802	0	0	0.0283	0.0347	0.9255	0.9373	0.9782
Modal	10	0.051	0	0.0198	0	0.985	1	0	0.0745	0	0	1	0.9373	0.9782
Modal	11	0.049	0.0111	0	0	0.9961	1	0	0.00E+00	0.0465	0.0058	1	0.9839	0.984
Modal	12	0.045	0.0039	0	0	1	1	0	0	0.0161	0.016	1	1	1

4.7.9. Derivas y Torsión para la estructura de Hormigón

Tabla 30 Derivas y torsión eje x

Piso	Ux m	Uy m	U m	Altura de piso (m)	Valor Máx.	Torsión Excesiva (?)	Torsión <1.2(?)
4	0.01175	0.00494	0.01274	3	0.000764	1.03971	SI CUMPLE
4	0.01288	0.00494	0.01379	3			
3	0.00981	0.00408	0.01063	3	0.001312	1.03978	SI CUMPLE
3	0.01075	0.00408	0.01150	3			
2	0.00647	0.00266	0.00699	3	0.001585	1.03905	SI CUMPLE
2	0.00708	0.00266	0.00756	3			
1	0.00240	0.00099	0.00259	3	0.000936	1.03945	SI CUMPLE
1	0.00263	0.00099	0.00281	3			

Tabla 31 Derivas y torsión envolvente x

Piso	Ux m	Uy m	U m	Altura de piso (m)	Valor Máx.	Torsión Excesiva (?)	Torsión <1.2(?)
4	0.01527	0.01529	0.02161	3			
					0.001297	1.02250	SI CUMPLE
4	0.01674	0.01529	0.02267	3			
3	0.01276	0.01254	0.01789	3			
					0.002155	1.02415	SI CUMPLE
3	0.01398	0.01254	0.01878	3			
2	0.00841	0.00818	0.01173	3			
					0.002582	1.02424	SI CUMPLE
2	0.00920	0.00818	0.01231	3			
1	0.00312	0.00303	0.00435	3			
					0.001522	1.02443	SI CUMPLE
1	0.00342	0.00303	0.00457	3			

Para calcular las derivas de entrepiso en nuestra estructura de concreto armado, seguimos las directrices establecidas por el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) – E.030. Este reglamento indica que, para estructuras regulares, la derivación final se obtiene al multiplicar la derivación elástica calculada por 0.75R. Este valor resultante no debe superar el límite de distorsión establecido por la normativa para estructuras de concreto armado, como se detalla en la tabla siguiente.

Tabla 32 Derivas y torsión eje x

Piso	Ux m	Uy m	U m	Altura de piso (m)	Valor Máx.	Torsión Excesiva (?)	Torsión <1.2(?)
4	0.01175	0.00494	0.01274	3			
					0.000764	1.03971	SI CUMPLE
4	0.01288	0.00494	0.01379	3			
3	0.00981	0.00408	0.01063	3			
					0.001312	1.03978	SI CUMPLE
3	0.01075	0.00408	0.01150	3			
2	0.00647	0.00266	0.00699	3			
					0.001585	1.03905	SI CUMPLE
2	0.00708	0.00266	0.00756	3			
1	0.00240	0.00099	0.00259	3			
					0.000936	1.03945	SI CUMPLE
1	0.00263	0.00099	0.00281	3			

Tabla 33 Derivas y torsión envolvente x

Piso	Ux m	Uy m	U m	Altura de piso (m)	Valor Máx.	Torsión Excesiva (?)	Torsión <1.2(?)
4	0.01527	0.01529	0.02161	3	0.001297	1.02250	SI CUMPLE
4	0.01674	0.01529	0.02267	3			
3	0.01276	0.01254	0.01789	3	0.002155	1.02415	SI CUMPLE
3	0.01398	0.01254	0.01878	3			
2	0.00841	0.00818	0.01173	3	0.002582	1.02424	SI CUMPLE
2	0.00920	0.00818	0.01231	3			
1	0.00312	0.00303	0.00435	3	0.001522	1.02443	SI CUMPLE
1	0.00342	0.00303	0.00457	3			

Tabla 34 Derivas y torsión envolvente Ex-0,3Ey

Piso	Ux m	Uy m	U m	Altura de piso (m)	Valor Máx.	Torsión Excesiva (?)	Torsión <1.2(?)
4	0.01527	0.00642	0.01657	3	0.000993	1.03971	SI CUMPLE
4	0.01674	0.00642	0.01793	3			
3	0.01276	0.00531	0.01382	3	0.001706	1.03973	SI CUMPLE
3	0.01398	0.00531	0.01495	3			
2	0.00841	0.00346	0.00909	3	0.002061	1.03919	SI CUMPLE
2	0.00920	0.00346	0.00983	3			
1	0.00312	0.00129	0.00337	3	0.001217	1.03935	SI CUMPLE
1	0.00342	0.00129	0.00365	3			

4.8. Diseño de hormigón armado

Como lo menciona (Páez, 1986), el hormigón armado es el conjunto de dos materiales de características mecánicas muy diferentes, siendo el hormigón una roca artificial derivada de varios materiales de origen pétreo, y el acero un material en aleación de hierro y carbono. El acero un material que resistente a tracción y compresión, mientras que el hormigón muy distinto, resiste esfuerzos de compresión y muestra notoria debilidad para soportar esfuerzos de tracción.

4.9. Vigas

4.9.1. Diseño a flexión

En este punto se detallará el proceso que se usó para el diseño de vigas a flexión, el proceso que se siguió fue el de las normativas de la NEC 2015.

Como el programa utilizado nos facilita los momentos, usaremos estos datos para calcular el acero de refuerzo necesario para la viga, diseñaremos tanto la parte superior como la inferior del elemento. Estos momentos son facilitados gracias a las combinaciones que fueron ingresadas en dicho programa.

Las siguientes ecuaciones nos ayudaran a calcular el acero longitudinal necesario para la sección transversal de la viga.

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2}$$

$$\rho = \frac{0.85 f'_c}{f_y} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n}{0.85 f'_c}} \right)$$

$$A_s = \rho * b * d$$

Donde:

F'c= Resistencia de compresión del concreto.

Fy= fluencia de acero.

b= base de la viga.

d= altura de la columna sin recubrimiento.

DATOS VIGA 30X45		
b	30	cm
d	45	cm
REC	5	cm
F'c	280	kg/cm ²
fy	4200	kg/cm ²

Se procede a reemplazar valores en las ecuaciones mostradas anteriormente, donde encontraremos los momentos máximos, los resultados serán los siguientes:

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2}$$

$$R_n = \frac{16.144}{0.9 * 0.30 * 0.4^2} * \frac{1000}{100^2}$$

$$R_n = 37.37 \text{ kg/cm}^2$$

$$\rho = \frac{0.85 * 280}{4200} * 1 - \left(1 - \sqrt{\frac{2R_n}{0.85f'_c}} \right)$$

$$\rho = \frac{0.85 * 280}{4200} * 1 - \left(1 - \sqrt{\frac{2 * 37.37}{0.85 * 280}} \right)$$

$$\rho = 0.0097$$

$$A_s = \rho * b * d$$

$$A_s = 0.0097 * 30 * 40$$

$$A_s = 11.64 \text{ cm}^2$$

El valor de acero mínimo longitudinal requerido para flexión lo encontramos en la norma NEC-SE-HM, 4.2.5

$$A_s \text{ min} = \frac{14}{f_y} * b * d$$

$$A_s \text{ min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4 * f_y} * b * d$$

Posteriormente calculado el acero mínimo, tomaremos el mayor entre los dos:

$$As_{min} = \frac{14}{f_y} * b * d$$

$$As_{min} = \frac{\sqrt{f'c}}{4 * f_y} * b * d$$

$$As_{min} = \frac{14}{4200} * 30 * 40$$

$$As_{min} = \frac{\sqrt{280}}{4 * 4200} * 30 * 40$$

$$As_{min} = 4cm^2$$

$$As_{min} = 3.825cm^2$$

Tomaremos el primer valor que calculado que es igual a: $4 cm^2$

$$As > As_{min}$$

$$11.64 cm^2 > 4 cm^2$$

(SI CUMPLE)

Para el cálculo de acero máximo se tomó una cuantía máxima de $\rho_{max} = 0.025$ por lo que el resultado sería el siguiente:

$$As_{max} = \rho_{max} * b * d$$

$$As_{max} = 0.025 * 30 * 40$$

$$As_{max} = 30cm^2$$

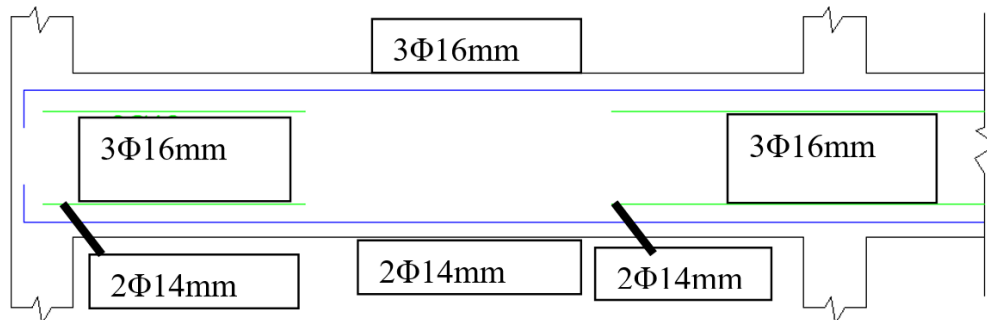
4.9.2. Refuerzo transversal

Como detalla la norma ACI 318 en la sección 18.6.4, los estribos cerrados de confinamiento en las regiones de las vigas deben colocarse: En una longitud igual a dos veces la altura de la viga, mediada desde la cara de la columna de apoyo hacia el centro de la luz, en ambos extremos de la viga. En longitudes iguales a dos veces la altura de la viga a ambos lados de una sección donde puede ocurrir fluencia por flexión debido a los desplazamientos laterales más allá del rango elástico de comportamiento

Una vez designado tanto el acero superior como inferior para la viga de 30*45 basándonos de los momentos obtenidos por el programa Etabs, procedemos a calcular la resistencia a corte, en estas ecuaciones se verán envueltos dichos valores

del acero utilizado por lo que se procede a verificar si los resultados favorecen utilizando las siguientes ecuaciones.

Figura 13 Cortante equivalente de carga 30x45



A continuación, se muestra la metodología utilizada para el cálculo del refuerzo transversal, teniendo en consideración los momentos probables mayores para el diseño.

$$a_{\text{inicio}} = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f'_c \cdot b} \qquad a_{\text{fin}} = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f'_c \cdot b}$$

$$a_{\text{inicio}} = \frac{12.06 \cdot 4200}{0.85 \cdot 280 \cdot 30} \qquad a_{\text{fin}} = \frac{6.16 \cdot 4200}{.85 \cdot 280 \cdot 30}$$

$$a_{\text{inicio}} = 8.87 \text{ cm} \qquad a_{\text{fin}} = 4.53 \text{ cm}$$

Procederemos a calcular los momentos probables de igual manera al proceso anterior.

$$M_{pr1} = 1.25 \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_{pr1} = 1.25 \cdot 12.06 \cdot 4200 \cdot \left(40 - \frac{8.87}{2} \right)$$

$$M_{pr1} = 2251872.5 \text{ Kg} * \text{cm}$$

$$M_{pr2} = 1.25 * A_s * f_y * \left(d - \frac{a^2}{2} \right)$$

$$M_{pr2} = 1.25 * 6.16 * 4200 * \left(d - \frac{4.53}{2} \right)$$

$$M_{pr2} = 1220359.4 \text{ kg} * \text{cm}$$

Se procede a calcular el cortante isostático por medio de:

$$V_{isoestatico} = \frac{W_u * L_n}{2}$$

$$V_{isoestatico} = \frac{12.4215 * 7 * 100}{2} = 4347.53 \text{ kg}$$

Luego calcularemos el cortante hiperestático.

$$V_E = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n}$$

$$V_E = \frac{2251872.5 + 1220359.4}{7 * 100}$$

$$V_E = 4960.33 \text{ kg}$$

Finalmente determinaremos el valor del cortante equivalente crítico, sumando el cortante hiperestático e isostático.

$$V_e = V_{isoestatico} + V_E$$

$$= 4347.53 + 460.33$$

$$V_e = 9307.86 \text{ kg}$$

El cortante hiperestático debe ser mayor que el cortante isostático (SI CUMPLE).

Acero transversal en la zona 2h:

$$\phi V_u > V_e$$

$$\phi V_u = \phi V_s$$

$$V_s = A_{sv} * f_y * \left(\frac{d}{s}\right)$$

$$V_s = 2 * 0.785 * 4200 * \left(\frac{40}{10}\right)$$

$$V_s = 26389.44 \text{kg}$$

El refuerzo transversal en las longitudes definidas en la norma ACI 18.7.5.1, debe diseñarse para resistir el cortante suponiendo que $V_c=0$

$$\phi V_s = \phi V_n$$

$$\phi V_u = 0.75 * V_s$$

$$\phi V_u = 0.75 * 26389.44$$

$$\phi V_u = 19792.08 \text{ kg}$$

Determinaremos si nos cumple de acuerdo con la norma.

$$\phi V_u > V_e \quad 19792.08$$

$$\text{kg} > 9307.72 \text{ kg}$$

(SI CUMPLE)

Acero transversal fuera de la zona 2h

$$V_c = 0.53 * \lambda * \sqrt{f'_c} * b * d$$

$$V_c = 0.53 * 1 * \sqrt{280} * 30 * 40$$

$$V_c = 10642.32 \text{kg}$$

$$\phi V_c = 0.75 * 10642.32kg$$

$$\phi V_c = 7981.737kg$$

4.9.3. Refuerzo mínimo a cortante

$$V_u \text{ min} = \phi * \lambda * 0.27 * \sqrt{f'_c} * b * d$$

$$V_u \text{ min} = 0.75 * 1 * 0.27 * \sqrt{280} * 30 * 40$$

$$V_u \text{ min} = 4066.167kg$$

$$V_s = \phi A_s * f_y * \left(\frac{d}{s}\right)$$

$$V_s = 0.75 * 0.785 * 4200 * \left(\frac{40}{10}\right)$$

$$V_s = 9896.017$$

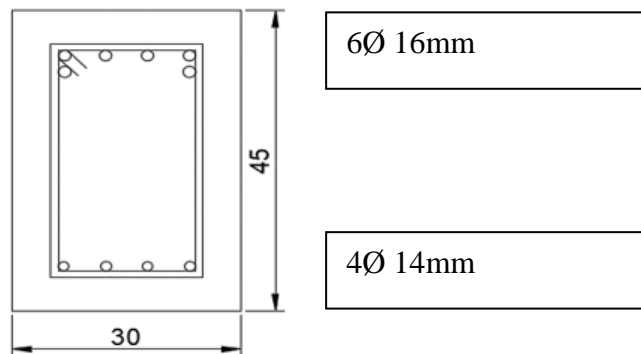
Finalmente realizamos la comprobación:

$$\phi V_s > V_u \text{ min}$$

$$9896.017 > 4066.167$$

(SI CUMPLE)

Figura 14 Refuerzo longitudinal de viga 30x45



4.10. Columnas

4.10.1. Límites dimensionales

Las columnas deben cumplir con lo que el ACI especifica en la sección 18.7.2.1(a) y (b), donde:

$$a) \quad hc_1, hc_2 \geq 30\text{cm}$$

$$hc_1 = 70\text{cm} \geq 30\text{cm} \text{ (si cumple)}$$

$$hc_2 = 45\text{ cm} \geq 30\text{cm} \text{ (si cumple)}$$

$$a) \quad \frac{\text{dimension menor}}{\text{dimension perpendicular}} \geq 0.4$$

$$\frac{45}{70} \geq 0.4$$

$$0.64 \geq 0.4$$

4.10.2. Diseño a flexo-compresión

Según (Diego Nacif, 2009), El estado de esfuerzo de flexo-compresión ocurre comúnmente en columnas de edificios de hormigón armado, de acero, etc. En el diseño de estos elementos generalmente se recurre a diagramas de interacción para determinar sus dimensiones, forma, materiales, armadura, esbeltez, según sea el caso.

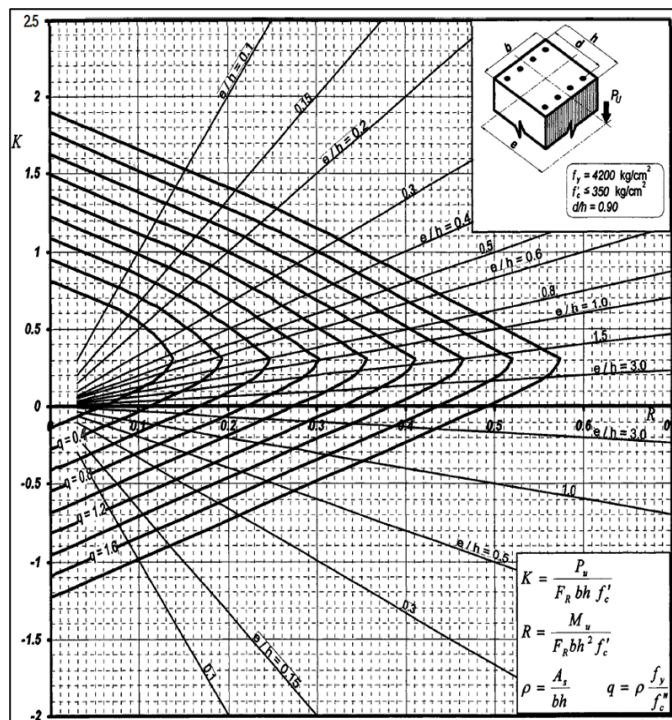
Aquí se vuelve a utilizar el programa Etabs, ya que este nos brinda tanto los valores de las fuerzas (P) y de los momentos (M) que actúan sobre la columna. Lo siguiente es calcular el área de acero que se necesitara, por medio del μ y P_u más crítico que se obtuvo en la tabla de resultados arrojada por Etabs.

Datos Columna	
f'c	280 kg/cm ²
fy	4200 kg/cm ²
b	45cm
h	70cm
pu	121954.3 kg
mu	1855410kg*cm
fr	0,8
d	65

Con estos datos podemos utilizar el diagrama de interacción, dicho diagrama esta propuesto en el libro de Gonzales Cuevas, para poder obtener la resistencia de la columna. Recalamos que este para su uso se debe tener en cuenta el $F'c$, el Fy y por último la relación de altura efectiva con la altura total.

Procedemos a elegir que tabla usar. La tabla elegida será la que corresponde a los datos de $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$, $f'c \leq 350 \text{ kg/cm}^2$ y una relación $d/h=0.90$.

Figura 15 Diagrama de interacción para diseño de columnas.



Nota. Fuente libro de Gonzales cuevas. p. 776.

- a. Cálculo de la cuantía de diseño

$$K = \frac{Pu}{Fr * b * h * f'c}$$

$$K = \frac{121954.3}{0.8 * 40 * 70 * 280} = 0.20$$

$$R = \frac{Mu}{Fr * b * h^2 * f'c}$$

$$R = \frac{1855410}{0.85 * 40 * 70^2 * 280} = 0.044$$

Con el valor de K y R representados en el diagrama de interacción se obtuvo un $q = 0,15$

- b. Resistencia reducida a la compresión del concreto

$$f * c = 0.80 * f'c$$

$$f * c = 0.80 * 280 \text{ kg/cm}^2$$

$$f * c = 224 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'c = 0.85 * f * c$$

$$f'c = 0.85 * 224 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'c = 190.4 \text{ kg/cm}^2$$

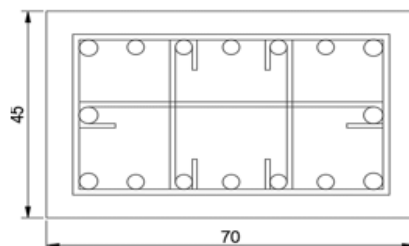
Entonces la cuantía de diseño es igual a:

$$\rho = \frac{190.4 \text{ kg/cm}^2}{4200 \text{ kg/cm}^2} * 0.15$$

$$\rho = 0.0058 \text{ (NO CUMPLE)}$$

$$\rho = 0.01$$

Luego de realizar estos cálculos se tiene que la cuantía es de 0.58%, lo cual no cumple el mínimo requerido para una cuantía de diseño, por lo cual optamos por trabajar con el mínimo de 0.01 lo que equivale al 1% para la columna de (40x70cm) por lo que se llevó a cabo el cálculo del acero de refuerzo, en donde según el análisis la columna necesita 6 varillas de 18 mm + 10 varillas de 16mm. Esta combinación de varillas cumple con los requerimientos que se necesitaban para poder cumplir con la resistencia solicitada. A



4.10.3. Criterio columna fuerte – viga débil

Según (José & Hernán, 2016; Marinilli, 2017), las normas modernas para el diseño de estructuras de concreto reforzado presentan estrategias para generar la condición “columna fuerte viga débil” en pórticos resistentes a momento. Esta condición supone permitir la formación de rótulas plásticas en los extremos de las vigas y evitar la formación de rótulas plásticas en las columnas durante un terremoto. El ACI en la sección 18.7.3.2 menciona que para que este criterio se cumpla se debe cumplir la siguiente condición:

$$\sum M_c \geq \frac{6}{5} \sum M_v$$

El siguiente análisis se realizará en una conexión interna

4.10.3.1. Cálculo del momento en la viga de la parte superior.

DATOS		
As 6Φ16	12.06	cm ²
F'c 280	kg/cm ²	
Fy 4200	kg/cm ²	
b 30	cm	
h 45	cm	
d 40	cm	
Φ 0,9		

$$a = \frac{As * fy}{0.85 * fc * b} = 8.87$$

$$Mv1 = \phi * As * fy \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$Mv1 = 0.9 * 12.06 * 4200 \left(40 - \frac{8.87}{2} \right) = 1621294.54$$

Cálculo del momento en la viga de la parte inferior.

DATOS		
As	4Φ14 6,16	cm ²
F'c	280	kg/cm ²
Fy	4200	kg/cm ²
b	30	cm
h	45	cm
d	40	cm
Φ	0,9	

$$a = \frac{As * fy}{0.85 * fc * b} = 2.24$$

$$Mv2 = \phi * As * fy \left(d - \frac{a}{2} \right) Mv2 = 0.9 * 6.16 * 4200 \left(40 - \frac{2.24}{2} \right)$$

$$Mv2 = 905313.024$$

Se procede a calcular el momento de la columna.

DATOS		
As1	7.6	cm ²
As2	10.1	cm ²
b	45	cm ²
h	70	cm ²
n	8	

$$j = 1 - \frac{k}{3} = 0.914$$

$$\rho = \frac{As \text{ tensión}}{At} = 0.0056$$

$$k = \sqrt{2\rho n + (\rho * n)^2} - \rho n = 0.258$$

$$Mc1 = \phi * As * fy * j * d$$

$$Mc1 = 0.9 * 17.7 * 4200 * 0.914 * 65$$

$$Mc1 = 3971780.6 \text{ kg} * \text{cm}$$

Como la columna es simétrica, el Mc2 es igual al Mc1, por lo que el resultado es:

$$Mc2 = 3971780.6 \text{ kg} * \text{cm}$$

DATOS OBTENIDOS		
Mc1	3971780.6	Kg * cm
Mc2	3971780.6	Kg * cm
Mv1	1621294.54	Kg * cm
Mv2	905313.024	Kg * cm

$$\sum Mc \geq \frac{6}{5} \sum Mv$$

$$79.44\text{Ton} * m \geq 30.32\text{Ton} * m$$

(SI CUMPLE)

4.10.4. Refuerzo transversal

(Sanchez, 2008), indica que el refuerzo transversal en forma de flejes individuales ampliamente espaciados o de una espiral continua poco espaciada, cumple diferentes funciones. En primer lugar, este refuerzo se requiere para mantener las barras longitudinales en su posición dentro de las formaletas mientras se vacía el concreto. Mientras que (Rougier, 2003), menciona que cuando un elemento de hormigón cargado axialmente es impedido de dilatarse libremente en la dirección transversal, muestra un incremento en su resistencia y capacidad de deformación.

Tal restricción, conocida como confinamiento, ha sido tradicionalmente proporcionado a través de refuerzos transversales de acero en forma de espigales o aros circulares, normalmente denominados estribos o zunchos. Con referencia a las dimensiones de las columnas ya definidas, se procede al cálculo de refuerzos transversales de cada columna rigiéndose a lo que especifica el ACI 318-19 y la NEC-2015.

DATOS		
r	5	cm
Bc	45	cm
Hc	70	cm
bc1	60	cm
bc2	35	cm
Lc	300	cm

Según con lo mencionado en la sección 18.7.5.1 del ACI, la longitud L_o debe ser analizada por los siguientes parámetros donde:

La altura donde ocurre la fluencia, la cual es 70 cm

$$L_c/6 = 300\text{cm}/6 = 50\text{cm}$$

$$45\text{ cm}$$

Después de tener estos tres criterios establecidos, procedemos a elegir el mayor, en este caso sería de 70cm. En cuestión a lo que dicta la sección 18.7.5.3, la separación de refuerzo no debe exceder de la menor de los siguientes parámetros:

$$B_c/4 = 45/4 = 11.25\text{cm}$$

$$6*db = 6*((1.8+1.6)/2) = 10.2\text{cm}$$

$$S_o = 10 + \frac{35-hx}{3} = 10 + \frac{35-10.33}{3} = 18\text{ cm}$$

con estos tres criterios establecidos, procedemos a elegir el menor, en este caso sería 10.2 cm, lo que dejaría como espaciamiento en la zona de $l_o = 10$ cm procedemos a realizar el chequeo de refuerzo transversal para columnas en pórticos especiales resistentes a momento.

$$A_{sh}/(sbc) \left\{ \begin{array}{l} 0.3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}} \\ 0.9 \frac{f'_c}{f_{yt}} \end{array} \right\}$$

$$Ash/(sbc) \left\{ \begin{array}{l} 0.3 \left(\frac{45 * 70}{60 * 35} - 1 \right) \frac{280}{4200} \\ 0.9 \frac{280}{4200} \end{array} \right\}$$

$$Ash/(sbc) \left\{ \begin{array}{l} 0.01 \\ 0.006 \end{array} \right\}$$

$$\frac{Ash}{sbc} = 0.01$$

$$Ash = 0.01 * bc * s$$

$$Ash = 0.01 * 60 * 5$$

$$Ash = 3 \text{ cm}^2$$

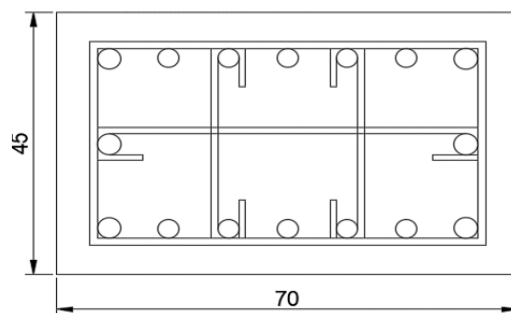
Entonces, con 4φ10mm se obtiene un área de acero provisto de 3,14 cm²

$$Ash \text{ prov} > Ash$$

$$3.14 \text{ cm}^2 > 3 \text{ cm}^2$$

(SI CUMPLE)

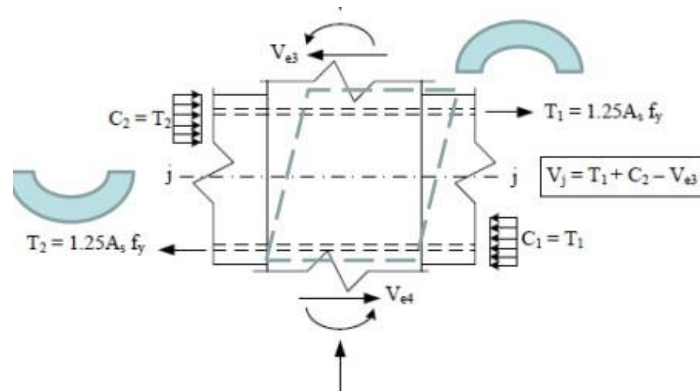
Con el análisis que se realizó para la columna de 45x70 se confirma que el refuerzo transversal será de 4 varillas de 12 mm cada 5 cm dentro de la zona Lo y fuera 5 varillas de 12 mm cada 10 cm. A continuación, se muestran detalles de la columna.



4.11. Conexión Viga – Columna

El análisis que se realizará será en la columna interior de 45x70cm, ya que en esta la cara de la columna conecta directamente con una viga. La figura mostrara el diseño que estamos tratando de dar a entender.

Figura 16 Conexión viga - columna



Nota. fuente NEC (2015), NEC-SE-DS.

Para poder determinar el ancho efectivo, se recomienda centrar la viga con respecto a la columna para así mejorar el confinamiento, por lo que se establece la siguiente formula:

$$b_j = B + 2X$$

$$b_j = 30 + 2(0) = 30 \text{ cm}$$

$$A_j = b_j * h$$

$$A_j = 70 * 30 = 2100 \text{ cm}^2$$

Con respecto al acero longitudinal de la viga descrito en el cálculo, se procede a revisar la conexión por cortante, despreciando el cortante de la columna por simplicidad.

$$T_1 = 1.25 * A_s * f_y$$

$$T_1 = 1.25 * 12.06 * 4200$$

$$T_1 = 63315 \text{ kg}$$

$$T_2 = 1.25 * A_s * f_y$$

$$T_2 = 1.25 * 6.16 * 4200$$

$$T_2 = 32340 \text{ kg}$$

Para hallar la resistencia nominal del nodo a cortante es necesario que cumpla ciertos parámetros que se dictan a continuación:

- Cumple con 15.2.6, ya que el análisis se lo está realizando en un nodo intermedio.
- Cumple con 15.2.7, ya que el chequeo se la está realizando en columna interior y existen vigas continuas de ambos lados.
- No cumple con 15.2.8, ya que en ancho de la viga transversal no es mayor al $\frac{3}{4}$ del ancho de la cara de la columna, por eso se la considera que el nodo no es confinado

Donde se obtiene que:

CHEQUEO (V_n)	
15.2.6	CUMPLE
15.2.7	CUMPLE
15.2.8	CUMPLE

$$b_w \geq 0.75B_c$$

$$30\text{cm} \geq 0.75(45\text{cm})$$

$$40\text{cm} \geq 33.75 \text{ cm (Confinado)}$$

Para hallar la resistencia nominal del nodo a cortante es necesario que cumpla ciertos parámetros que se dictan en la siguiente tabla.

c. Resistencia nominal del nodo

$$V_n = 5.3 * \lambda * \sqrt{f'_c} * A_j$$

$$V_n = 5.3 * 1 * \sqrt{280} * 2100$$

$$V_n = 186240.52$$

4.12. Diseño de estructura de acero.

El diseño de la estructura de acero presenta los siguientes resultados, reflejando un enfoque meticuloso en la integración de elementos clave.

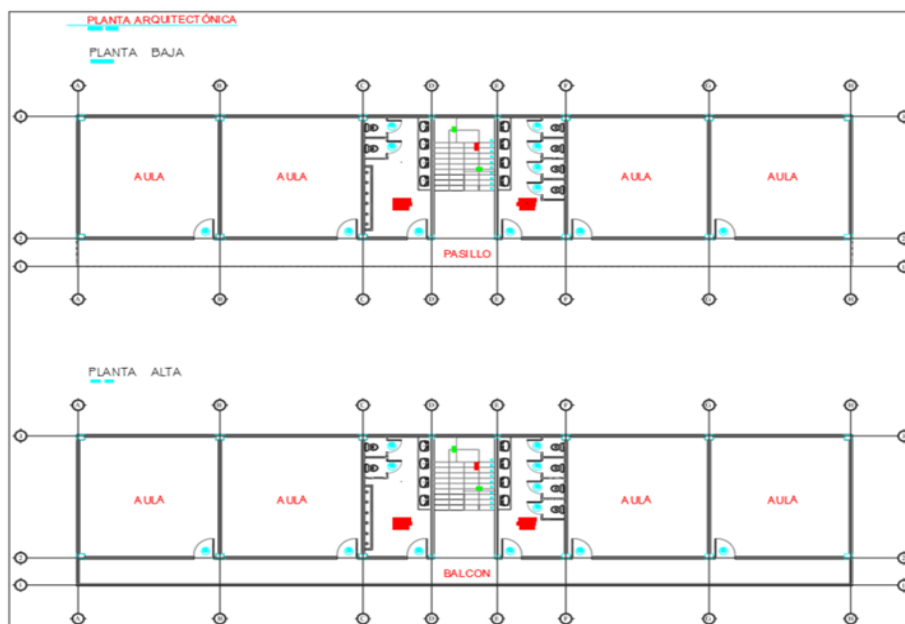
Tabla 35. Materiales Utilizados.

Material	Esfuerzo de fluencia del acero	Módulo de elasticidad del Acero
Acero Estructural A36	$F_y = 2,530.00$ kg/cm ²	2,100,000.00 kg/cm ²
Acero de Placa Colaborante	$F_y = 2,530.00$ kg/cm ²	2,100,000.00 kg/cm ²
Pernos de Anclaje	$F_y = 8,434.00$ kg/cm ²	10,542.00 kg/cm ²

4.13. Estructura

La ejecución de la estructura sigue un enfoque análogo al del hormigón armado, considerando que las vigas I poseen una capacidad para soportar luces superiores y presentan una carga muerta inferior en comparación con el hormigón armado.

Figura 17 Diseño de estructura de acero.



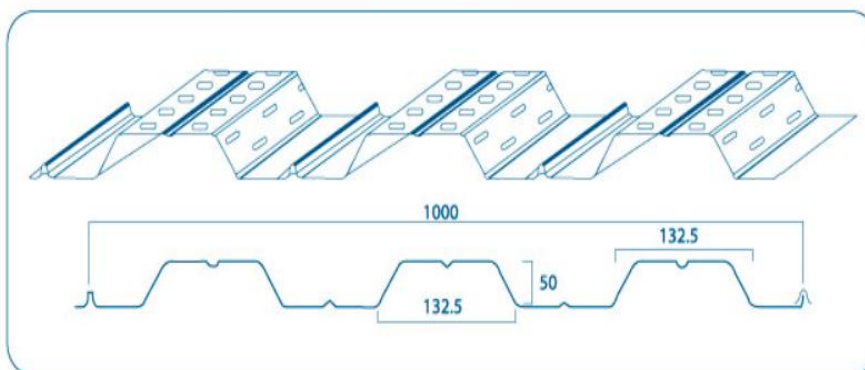
4.14. Diseño de elementos y placas estructurales

4.15. Losa con placa Colaborante

La losa colaborante Dipac constituye una placa de acero galvanizado con resaltes en su superficie, destinada a servir como losa metálica para entrepisos y terrazas. Su fabricación se realiza conforme a la norma ASTM-653 en calidad estructural grado 37. La estructura del sistema en el que se integra la Losa Dipac se compone de una lámina galvanizada trapezoidal con resaltes ($F_y = 2600 \text{ kg/cm}^2$), hormigón ($f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$) y malla electrosoldada para reforzar frente a variaciones de temperatura. Como opción adicional, se pueden emplear conectores de cortante para lograr el efecto de viga compuesta o para incrementar la capacidad inherente de la losa colaborante.

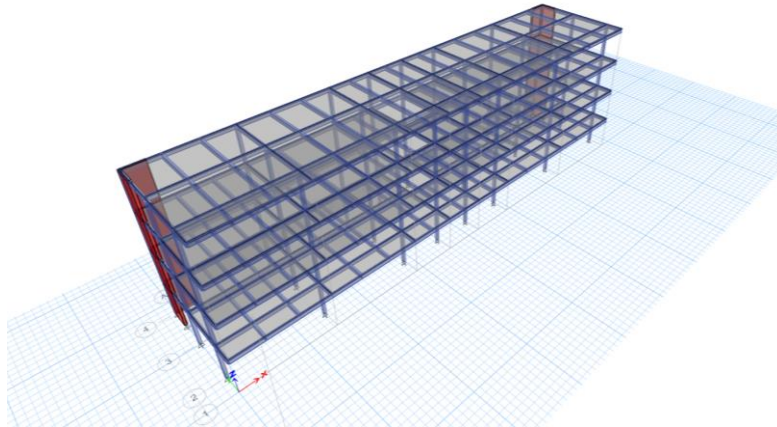
En términos de beneficios y aplicaciones, la Losa Dipac presenta diversas ventajas prácticas. Elimina la necesidad de instalar encofrados, prescindiendo de apuntalamiento temporal, lo que agiliza el montaje y favorece una instalación rápida. Estas características no solo simplifican el proceso constructivo, sino que también reducen los costos asociados a la mano de obra. Además, al disminuir el volumen de hormigón necesario, posibilita la creación de losas más ligeras, contribuyendo así a la eficiencia estructural y económica del sistema.

Geometría:



4.16. Diseño Estructural de la edificación en acero

Figura 18 Modelamiento estructural en Etabs de la edificación



4.16.1. Factor de Reducción de Resistencia (R)

Se puede argumentar que la elección de un valor de $R = 6$ para el diseño de elementos en un sistema de "pórticos especiales sísmos resistentes a momentos de Hormigón Armado" se basa en la necesidad de fomentar un comportamiento de alta ductilidad en el mecanismo de falla de dichos elementos. Aunque la norma recomienda un valor de $R = 8$, la decisión de reducir este parámetro a $R = 6$ se sustenta en la búsqueda de una mayor capacidad de los elementos para resistir y absorber energía en situaciones sísmicas. Este enfoque se alinea con el objetivo de optimizar la respuesta del sistema ante eventos sísmicos, promoviendo así la seguridad estructural y la capacidad de recuperación ante posibles daños.

4.16.2. Factores de importancia I

Considerando que la estructura en cuestión es de uso público y debe mantenerse operativa de manera continua, se toma la determinación de optar por un coeficiente de importancia para la estructura (I) igual a 1.30. Esta elección se respalda en la necesidad de garantizar la funcionalidad constante de la estructura, lo cual es de gran relevancia para su propósito de servicio público.

os coeficientes de configuración estructural ($\emptyset P$, $\emptyset E$) desempeñan un papel fundamental al considerar las variaciones tanto en la estructura como en el diseño de una construcción. Estos coeficientes se clasifican como $\emptyset E$ para abordar irregularidades verticales y $\emptyset p$ para tratar horizontalidades anómalas, y la elección de valores específicos en cada situación se justifica de manera adecuada. En el contexto de una estructura con irregularidades, la importancia de estos factores queda reflejada en la tabla 34, donde se resume la relación entre los coeficientes y la ecuación del espectro inelástico asociado.

4.16.3. Factores de configuración estructural ($\emptyset P, \emptyset E$)

La relevancia de estos coeficientes radica en su capacidad para modelar y considerar de manera precisa las irregularidades estructurales que puedan surgir. Proporciona una guía clara sobre la selección de valores específicos en función de la naturaleza y la magnitud de las irregularidades presentes en la construcción. En este sentido, la justificación adecuada de los valores elegidos se convierte en un componente esencial para garantizar la validez y confiabilidad del modelo estructural.

Cuando nos enfrentamos a una estructura irregular, la ecuación del espectro inelástico asociado, fundamentada en los coeficientes ($\emptyset P$, $\emptyset E$), adquiere un papel destacado. Esta ecuación refleja la respuesta inelástica de la estructura ante cargas sísmicas y subraya la importancia de abordar las irregularidades estructurales de manera específica y detallada. En consecuencia, la incorporación de estos factores de configuración estructural en el diseño demuestra una aproximación analítica y rigurosa para anticipar y mitigar los efectos potenciales de eventos sísmicos en edificaciones con irregularidades particulares.

Ecuación 8

Factores de configuración estructural

$$S_{ai} = \frac{S_a I}{\emptyset_P \emptyset_E R}$$

4.16.4. Periodo Fundamental de las Estructura

El período fundamental de una estructura se puede determinar a partir del análisis modal de la estructura. ASCE 7-16 permite la aproximación del período fundamental de una estructura utilizando la Sección 12.8.2.1.

$$T_a = C_t * h_n^x$$
$$T_a = (0.0724) * (12)^{0.8} = 0.529$$

Donde h_n es la altura estructural de la estructura (distancia vertical desde la base hasta el nivel más alto del sistema de resistencia a la fuerza sísmica de la estructura), y C_t y x se puede determinar a partir de la Tabla 12.8-2 del ASCE 7-16.

Tabla 36 *Periodos de Vibración Correspondiente a su primer modo en cada dirección*

Periodos, T (Seg)		
Casos Estructurales	X	Y
Estructura de Hormigón		
Estructura de Acero	0.766	0.652

Nota. Tomado de Etab's

4.16.5. Cálculo de carga sísmica Reactiva

El peso sísmico total de toda la estructura es la suma de los pesos sísmicos asociados con todos diafragmas y el peso asociado con el nivel base. El cortante en la base siempre se calcula usando el peso sísmico total. Además, se agrega el 25% de la carga viva para efectos de diseño. Dentro del Software previamente se definieron casos de carga para el peso propio (PP), Carga muerta (CM), y Carga viva (CV). A continuación, se presentan los resultados obtenidos del programa:

Tabla 37 Reacciones en la base de la estructura de Acero

Reacción en la base			
Output Case	Caso Type	FZ (ton)	Peso sísmico (ton) (CM+PP) + 25%*CV
CM	LinStatic	767.3846	822.2
CV	LinStatic	219.171	

Nota. Tomado de Etab's

4.16.6. Masa Participativa

El análisis modal de la estructura se realizó para obtener los modos de vibración y porcentajes de participación de masa modal. Una vez analizados, se agruparon de acuerdo con la dirección de traducción predominante.

Tabla 38 Masa Participativa**TABLE: Modal Participating Mass Ratios**

Case	Mode	Periodo sec	UX			UY			RZ			
			UX	UY	SumUX	SumUY	RX	RY	RZ	SumRx	SumRY	SumRZ
Modal	1	0.77	0.67	0.00	0.67	0.00	0.00	0.24	0.08	0.00	0.24	0.08
Modal	2	0.65	0.00	0.76	0.67	0.76	0.26	0.00	0.00	0.26	0.24	0.08
Modal	3	0.39	0.07	0.00	0.74	0.76	0.00	0.03	0.65	0.26	0.28	0.73
Modal	4	0.21	0.00	0.16	0.74	0.92	0.50	0.00	0.00	0.76	0.28	0.73
Modal	5	0.19	0.16	0.00	0.91	0.92	0.00	0.44	0.01	0.76	0.72	0.75
Modal	6	0.14	0.00	0.04	0.91	0.96	0.12	0.00	0.00	0.89	0.72	0.75
Modal	7	0.11	0.00	0.01	0.91	0.97	0.04	0.00	0.00	0.92	0.72	0.75
Modal	8	0.10	0.03	0.00	0.94	0.97	0.00	0.08	0.17	0.92	0.80	0.91
Modal	9	0.10	0.04	0.00	0.98	0.97	0.00	0.13	0.01	0.92	0.94	0.92
Modal	10	0.09	0.00	0.00	0.98	0.97	0.00	0.00	0.00	0.92	0.94	0.92
Modal	11	0.08	0.01	0.00	0.99	0.97	0.00	0.04	0.00	0.92	0.98	0.92
Modal	12	0.07	0.00	0.00	0.99	0.97	0.00	0.00	0.04	0.92	0.98	0.97

Luego de haber obtenido los periodos T_x y T_y se procederá a calcular la aceleración espectral con la fórmula 3.6.3 que proporciona NEC-15 y el coeficiente sísmico C_s con la siguiente ecuación, teniendo:

Ecuación 9

Coefficiente sísmico.

$$C_s = \frac{S_a}{R * \phi_P * \phi_E} * (I)$$

Para la estructura de Acero:

$$T_x = 0.77 \text{ seg}$$

$$T_y = 0.65 \text{ Seg.}$$

Cálculo del S_a :

$$S_{ax} = (1.80) * (0.5) * (1.18) * (1.12) * \left(\frac{0.763}{0.77}\right)^1 \quad S_{ax} = 1.179$$

$$S_{ay} = (1.80) * (0.5) * (1.18) * (1.12) * \left(\frac{0.763}{0.65}\right)^1 \quad S_{ay} = 1.396$$

Cálculo de C_s :

$$C_{sx} = \frac{1.179}{6 * 1 * 1} * (1.3) \quad C_{sx} = 0.25545$$

$$C_{sy} = \frac{1.396}{6 * 1 * 1} * (1.3) \quad C_{sy} = 0.30247$$

4.16.7. Cálculo del Cortante Basal:

El cálculo del cortante basal es una estimación de la fuerza lateral máxima esperada que ocurrirá debido al movimiento sísmico del suelo en la base de una estructura. Cálculos de cortante en la base (V) Depende de:

- Condiciones del suelo en el sitio.
- Proximidad a fuentes potenciales de actividad sísmica (como fallas geológicas).
- Probabilidad de movimiento sísmico significativo del suelo.
- El nivel de ductilidad y resistencia excesiva asociado con varias configuraciones estructurales y el peso total de la estructura.
- El período fundamental (natural) de vibración de la estructura cuando se somete a una carga dinámica.

Dirección X:

$$V_x = 0.25545 * 822.2\text{-ton}$$

$$V_x = 210.031 \text{ Ton}$$

Dirección Y:

$$V_y = 0.30247 * 822.2\text{-ton}$$

$$V_y = 248.690 \text{ Ton}$$

4.16.8. Control Global de desempeño con sus secciones definitivas

Caso 1: Estructura de Acero

Luego de llevar a cabo en análisis lineal de la estructura de Acero se obtuvo sus secciones definitivas sin usar perfiles comerciales puesto que se ha buscado optimizar el uso de los elementos de acero mediante el cambio de las secciones bajo el método de prueba y error, afín de encontrar elementos que trabajen a su máxima capacidad y con el propósito de cumplir los requerimientos especificados en la Norma ecuatoriana de la Construcción (NEC-15).

Tabla 39 Perfiles W definitivas de la estructura de Acero

Dimensiones de Vigas			
	Principales	Secundarias	
d =	34	30	cm
Tw=	4	3	mm
Bf=	20	15	cm
Tf=	1	0.7	cm
Área=	53	53	cm ²
Z _x =	762	369	cm ³
Dimensiones de las Columnas			
Base=		20	cm
Ancho=		20	cm
Espesor=		4	mm
Área=		77	cm ²
Z _{xc} =		450	cm ³
Dimensiones del Muro			
Espesor=		20	cm

4.16.9. Resultados de la estructura de Acero con secciones definidas

Realizado el análisis lineal se procede a verificar el cumplimiento de los requerimientos que establece NEC-15 con respecto a sus controles globales donde se requiere que las estructuras sean analizadas para detectar torsión debido a la excentricidad masiva, incluida una excentricidad adicional –, la llamada excentricidad accidental. Esto es necesario para cubrir las imprecisiones entre la estructura real y la modelización, así como el hecho de que las masas que están vinculadas a las cargas de servicio pueden variar durante la vida útil de la estructura.

Para el chequeo de los controles globales se ha considerado el $\pm 5\%$ de excentricidad accidental con el objetivo de obtener derivas y torsión bajo diferentes escenarios que nos permita obtener una estructura de buen desempeño ante eventos telúricos que se puedan presentar a lo largo de la zona costera del País.

4.16.10. Derivas y Torsión para la estructura de Acero

Tabla 40 Derivas para efectos dinámicos en la dirección X

Story	join	Ux m	Uy m	U m	Δ_E m	hi m	Δ_E m/m	$\Delta_M = 0.75 * R * \Delta_E$ m/m	Δ_M %	< 2 % "NEC-15"
Cubierta	1	0.033	-0.014	0.036	0.011	3	0.0035	0.01583	1.58	Cumple
Cubierta	17	0.039	-0.014	0.042	0.012	3	0.0040	0.01795	1.80	Cumple
Piso 3	1	0.023	-0.010	0.025	0.011	3	0.0037	0.01645	1.65	Cumple
Piso 3	17	0.028	-0.010	0.030	0.013	3	0.0043	0.01924	1.92	Cumple
Piso 2	1	0.013	-0.006	0.014	0.010	3	0.0032	0.01443	1.44	Cumple
Piso 2	17	0.016	-0.006	0.017	0.011	3	0.0038	0.01692	1.69	Cumple
Piso 1	1	0.004	-0.002	0.005	0.005	3	0.0016	0.00700	0.70	Cumple
Piso 1	17	0.005	-0.002	0.006	0.006	3	0.0019	0.00849	0.85	Cumple
Base	1	0.000	0.000	0.000						
Base	17	0.000	0.000	0						

Tabla 41 Chequeo de la torsión para efectos dinámicos en dirección X

Story	join	Ux mm	Uy mm	U_E mm	Δ_E mm	hi mm	Δ_E mm/mm	Δe Prom	$\Delta E / \Delta e$ Prom	< 1.2 % ?
Cubierta	1	0.032853	-0.0143	0.036	0.011	3	0.0035	0.0038	1.06	NO EXISTE TORSION
Cubierta	17	0.03924	-0.0142	0.042	0.012	3	0.0040	0.0040	1.08	NO EXISTE TORSION
Piso 3	1	0.023034	-0.0104	0.025	0.011	3	0.0037	0.0043	1.08	NO EXISTE TORSION
Piso 3	17	0.02792	-0.0103	0.030	0.013	3	0.0043	0.0035	1.08	NO EXISTE TORSION
Piso 2	1	0.012949	-0.006	0.014	0.010	3	0.0032	0.0038	1.10	NO EXISTE TORSION
Piso 2	17	0.015841	-0.006	0.017	0.011	3	0.0038	0.0017	1.10	NO EXISTE TORSION
Piso 1	1	0.004213	-0.002	0.005	0.005	3	0.0016	0.0019		NO EXISTE TORSION
Piso 1	17	0.005305	-0.002	0.006	0.006	3	0.0019			NO EXISTE TORSION
Base	1	0	0	0.000						
Base	17	0	0	0.000						

Tabla 42 Derivas para efectos dinámicos en la dirección Y

Story	join	Ux m	Uy m	U m	Δ_E m	hi m	Δ_E m/m	$\Delta_M = 0.75 * R * \Delta_E$ m/m	Δ_M %	< 2 % "NEC-15"
Cubierta	1	-0.001	0.027	0.027	0.008	3	0.0027	0.01209	1.21	Cumple
Cubierta	17	0.000	0.027	0.027	0.008	3	0.0027	0.01199	1.20	Cumple
Piso 3	1	-0.001	0.019	0.019	0.008	3	0.0028	0.01241	1.24	Cumple
Piso 3	17	0.000	0.019	0.019	0.008	3	0.0028	0.01245	1.24	Cumple
Piso 2	1	-0.001	0.011	0.011	0.007	3	0.0024	0.01073	1.07	Cumple
Piso 2	17	0.000	0.011	0.011	0.007	3	0.0024	0.01076	1.08	Cumple
Piso 1	1	0.000	0.003	0.004	0.004	3	0.0012	0.00526	0.53	Cumple
Piso 1	17	0.000	0.004	0.004	0.004	3	0.0012	0.00539	0.54	Cumple
Base	1	0.000	0.000	0.000						
Base	17	0.000	0.000	0						

Tabla 43 Chequeo de la torsión para efectos dinámicos en dirección Y

Story	join	Ux mm	Uy mm	U mm	Δ_E mm	hi mm	Δ_E mm/mm	Δe Prom	$\Delta E / \Delta e$ Prom	< 1.2 % ?
Cubierta	1	-0.00053	0.02698	0.027	0.008	3	0.0027	0.0027	1.00	NO EXISTE TORSION
Cubierta	17	0.000351	0.02706	0.027	0.008	3	0.0027			
Piso 3	1	-0.00082	0.01891	0.019	0.008	3	0.0028	0.0028	1.00	NO EXISTE TORSION
Piso 3	17	0.00049	0.01906	0.019	0.008	3	0.0028			
Piso 2	1	-0.00072	0.01064	0.011	0.007	3	0.0024	0.0024	1.00	NO EXISTE TORSION
Piso 2	17	0.000395	0.01076	0.011	0.007	3	0.0024			
Piso 1	1	-0.00033	0.00349	0.004	0.004	3	0.0012	0.0012	1.01	NO EXISTE TORSION
Piso 1	17	0.000243	0.00359	0.004	0.004	3	0.0012			
Base	1	0	0	0.000						
Base	17	0	0	0.000						

4.16.11. Revisión de resistencia a pandeo local de los elementos definitivos de la estructura de Acero.

$$\lambda = 10$$

$$\lambda_p = 0.38 * \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0.38 * \sqrt{\frac{2100000}{2530}} = 10.948$$

$$\lambda_r = 1.0 * \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1 * \sqrt{\frac{2100000}{2530}} = 28.81$$

como $\lambda < \lambda_p$; Las alas son compactas $10 < 10.948$ (Satisface la condición "Compacta") Para el Alma de la viga principal:

$$\lambda = 82.5$$

$$\lambda_p = 3.76 * \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3.76 * \sqrt{\frac{2100000}{2530}} = 108.327$$

$$\lambda_r = 5.70 * \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 5.7 * \sqrt{\frac{2100000}{2530}} = 164.219$$

como $\lambda < \lambda_p$; El alma es compactas $82.5 < 108.327$ (Satisface la condición "Compacta")

4.17. RESULTADO DE O.E.3.: REALIZAR UNA EVALUACIÓN PRESUPUESTARIA DE LOS MODELOS ESTRUCTURALES PROPUESTOS MEDIANTE EL ANÁLISIS DE COSTOS TOTALES POR M2, PARA DETERMINAR QUÉ SISTEMA CONSTRUCTIVO ES MÁS ECONÓMICO.

En el proceso de elaboración del presupuesto para una estructura de hormigón, se emplea el análisis de precios unitarios basado en los metrados totales del edificio como enfoque fundamental. Este método implica el desglose detallado de los diversos componentes y actividades que conforman la estructura, expresados en unidades de medida estándar. Al utilizar los precios unitarios asociados a cada elemento, como cimentaciones, columnas, vigas y losa de hormigón, se pueden calcular los costos totales correspondientes a las cantidades específicas de obra requeridas. Esta metodología permite una estimación precisa y detallada del presupuesto, ya que considera no solo la cantidad de material y mano de obra necesaria, sino también los costos asociados a cada unidad de medida. De esta manera, el análisis de precios unitarios proporciona una herramienta integral para la evaluación financiera y la planificación económica, asegurando una estimación precisa y detallada del presupuesto total de la estructura de hormigón.

Tabla 44 Análisis presupuestario estructura de hormigón armado

RUBRO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
ESTRUCTURA DE PORTICOS DE HORMIGON ARMADO					
1	TRAZADO Y REPLANTEO	M2	331,50	\$ 1,75	\$ 580,13
2	EXCAVACION CON MAQUINARIA (INCLUYE DESALOJO)	M3	66,3	\$ 5,77	\$ 382,55
3	RELLENO HIDRATADO Y COMPACTADO (MAT. MEJORAMIENTO)	M3	66,30	\$ 7,88	\$ 522,44
4	TRANSPORTE DE MATERIAL DE MEJORAMIENTO	M3-KM	928,20	\$ 0,25	\$ 232,05
5	COLUMNA DE H.A. 280 kg/cm2	M3	91,29	\$ 819,88	\$ 74.846,85
6	VIGA DE H.A. f'c 280 kg/cm2	M3	100,19	\$ 756,96	\$ 75.842,17
7	MAMPOSTERIA	M2	2.952,25	\$ 21,09	\$ 62.262,90
8	ENLUCIDO INTERIOR Y EXTERIOR	M2	6.892,85	\$ 11,34	\$ 78.164,89
9	LOSA DE HO. ARMADO F´C= 240 kg/cm2	M3	331,50	\$ 151,96	\$ 50.374,74
TOTAL					\$ 343.208,71

La estructura de acero comprende los siguientes rubros:

Tabla 45 Análisis de estructura de acero

RUBRO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
ESTRUCTURA DE PORTICOS DE ACERO ESTRUCTURAL					
1	TRAZADO Y REPLANTEO	M2	331,50	\$ 1,75	\$ 580,13
2	EXCAVACION CON MAQUINARIA (INCLUYE DESALOJO)	M3	66,3	\$ 5,77	\$ 382,55
3	RELLENO HIDRATADO Y COMPACTADO (MAT. MEJORAMIENTO)	M3	66,30	\$ 7,88	\$ 522,44
4	TRANSPORTE DE MATERIAL DE MEJORAMIENTO	M3-KM	928,20	\$ 0,25	\$ 232,05
5	PLACA DE ANCLAJE DE ACERO (INC. PERNOS, ARANDELAS, TUERCA Y CONTRATUERCA)	U	22,00	\$ 97,59	\$ 2.146,98
6	ACERO A-36 ESTRUCTURAL fy 4200	kg	79355,54	\$ 4,35	\$ 345.196,60
7	ACERO EN PLACA METALICA PARA MURO DE CORTE	kg	92,23	\$ 3,14	\$ 289,61
9	ACERO EN CORREAS METALICAS PARA MAMPOSTERIA ESTRUCTURAL	kg	173,66	\$ 2,71	\$ 470,62
10	TABIQUES DE PLACA DE YESO LAMINADO DRYWALL	m2	193,52	\$ 27,34	\$ 5.290,84
11	LOSA DE H.A. 240 kg/cm2	m3	331,50	\$ 151,96	\$ 50.374,74
TOTAL					\$405.486,56

Tabla 46 Comparativa de precios de las dos estructuras

TIPO DE ESTRUCTURA	PRECIO TOTAL	AREA	COSTO POR M2
Estructura en hormigón Armado	\$ 343.208,71	1092	\$ 314,29
Estructura en Acero Estructural	\$ 405.486,56	1092	\$ 371,32

La diferencia de costos entre una estructura de hormigón armado y otra de acero estructural es notable al observar los valores específicos proporcionados. La estructura en hormigón armado presenta un costo total de \$ 343.208,71, mientras que la de acero estructural asciende a \$405,486.56 para un edificio de 331 metros cuadrados. Al desglosar estos costos por metro cuadrado, se observa que la estructura de hormigón tiene un costo de \$ 314,29 por metro cuadrado, mientras que la estructura de acero tiene un costo de \$ 371,32 por metro cuadrado.

En cuanto a las ventajas y desventajas, el hormigón armado ofrece una mayor resistencia a cargas sísmicas y una mayor durabilidad, pero puede requerir tiempos de construcción más largos. Por otro lado, el acero estructural es más liviano y proporciona una mayor flexibilidad arquitectónica, pero puede ser más costoso inicialmente. La elección entre ambos métodos debe considerar variables adicionales, como la velocidad de construcción, los requisitos estéticos, el impacto ambiental y los costos de mantenimiento a lo largo del tiempo. Se recomienda una evaluación integral que contemple todas estas variables para tomar decisiones informadas en el proceso constructivo

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.2. CONCLUSIONES.

El objetivo específico 1, después de realizar la clasificación de perfiles de suelo en la provincia de Santa Elena mediante la metodología propuesta por NEC-15, se determinó que la zona presenta un suelo tipo D. Este resultado es esencial para definir el espectro de respuesta elástico de aceleraciones, lo que contribuirá significativamente a la adecuada evaluación de la capacidad sísmica de las estructuras en la región.

En respuesta al objetivo específico 2, se llevó a cabo el diseño de dos modelos estructurales para una institución escolar, considerando las disposiciones técnicas y normativas de NEC-2015, ACI 318-19 y AISC 341-16. Los análisis estructurales en ETABS permitieron obtener un diseño en hormigón armado y otro en acero estructural. La comparación técnica reveló las ventajas y desventajas de cada sistema, proporcionando información valiosa para la toma de decisiones en futuros proyectos similares.

El análisis comparativo presupuestario del objetivo específico 3, nos muestra la evaluación presupuestaria de los modelos estructurales propuestos demostró una diferencia significativa en los costos entre la estructura de hormigón armado y la de acero estructural. Esta información económica es crucial para la toma de decisiones y destaca la importancia de considerar no solo los aspectos técnicos, sino también los financieros al seleccionar el sistema constructivo más adecuado.

5.3. RECOMENDACIONES.

Dada la diferencia de costos evidenciada entre la estructura de hormigón armado y la de acero estructural, se recomienda evaluar detenidamente las

prioridades del proyecto. En el contexto de Santa Elena, donde la falta de mano de obra calificada y la necesidad de perfiles con mayor resistencia a la corrosión afectan la eficiencia y los costos de construcción, la elección del sistema constructivo debe ponderar tanto aspectos técnicos como económicos.

Dada la proximidad de Santa Elena al mar, se sugiere realizar un análisis detallado del entorno ambiental, considerando la exposición a la salinidad y la corrosión. Esto es particularmente importante para las estructuras de acero, donde la resistencia a la corrosión es crucial. Se recomienda la implementación de recubrimientos protectores y el uso de perfiles de acero de alta resistencia a la corrosión para garantizar la durabilidad a largo plazo.

Se recomienda explorar opciones de diseño estructural que permitan maximizar la eficiencia y reducir los costos sin comprometer la seguridad. La optimización de las geometrías y la selección adecuada de materiales pueden contribuir significativamente a la economía del proyecto.

Antes de tomar decisiones finales, se aconseja realizar un estudio de factibilidad económica más amplio, que incluya un análisis de los costos a lo largo del ciclo de vida de las estructuras. Esto permitirá una toma de decisiones más informada, considerando no solo los costos iniciales, sino también los costos de mantenimiento y operación a largo plazo.

BIBLIOGRAFÍA

- Aldás Sánchez, M. R., & Amán Chicaiza, K. L. (2023). *Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos de la parroquia Alaquez y Joseguango bajo del cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi*. Universidad Técnica de Ambato.
- Belda Esplugues, E. (2011). Parámetros fundamentales del tráfico: densidad, intensidad y velocidad. *Temario General de La ESTT - OEP 2011*.
- Carvallo Corral, P. A., Sanmartín Morales, P. E., & Reinoso Maldonado, M. D. L. Á. (2022). *Desarrollo de un catálogo de secciones estructurales de pavimentos flexibles y rígidos enfocado en las carreteras de la red vial de la provincia del Azuay, aplicando la metodología de diseño AASHTO-93*. Universidad del Azuay.
- Castañeda, K., Sánchez, O., Herrera, R. F., & Mejía, G. (2022). Highway Planning Trends: A Bibliometric Analysis. *Sustainability*, 14(9), 5544. <https://doi.org/10.3390/su14095544>
- Colana Arias, R. Y., & Torres Colana, Y. S. (2023). *Diseño de pavimento flexible, empleando método AASHTO 93 para mejorar la transitabilidad vial en la calle San Donato, Moquegua, 2022*. Universidad Cesar Vallejo.
- Dan, H.-C., He, L.-H., Zou, J.-F., Zhao, L.-H., & Bai, S.-Y. (2014). Laboratory study on the adhesive properties of ice to the asphalt pavement of highway. *Cold Regions Science and Technology*, 104–105, 7–13. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2014.04.002>
- Lainez Orrala, D. V. (2022). *ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y COMPARATIVO PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES MEDIANTE LOS SOFTWARES IMT-PAVE Y WINDEPAV 2.6 DEL MÉTODO MECANICISTA EMPÍRICO, CON EL MÉTODO AASHTO 93*.
- Lee, J., & Yoon, Y. (2021). Indicators development to support intelligent road infrastructure in urban cities. *Transport Policy*, 114, 252–265. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2021.10.009>

- Lukpanov, R., Dyusembinov, D., Shakhmov, Z., Tsygulov, D., Aibuldinov, Y., & Vatin, N. I. (2022). Impregnating Compound for Cement-Concrete Road Pavement. *Crystals*, 12(2), 161. <https://doi.org/10.3390/cryst12020161>
- Minchán Lezcano, C. K. (2019). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO RÍGIDO MEDIANTE MÉTODOS DE DISEÑO AASHTO Y PCA APLICADO EN UNA VÍA PÚBLICA, CAJAMARCA -2019*.
- Mohammadi, A., Igwe, C., Amador-Jimenez, L., & Nasiri, F. (2022). Applying lean construction principles in road maintenance planning and scheduling. *International Journal of Construction Management*, 22(12), 2364–2374. <https://doi.org/10.1080/15623599.2020.1788758>
- Morán Fernández, B. A., & Solís Mendoza, E. A. (2019). *REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO DE LA AV PIEDRAHITA MEDIANTE LOS METODOS AASHTO-93 Y PCA DEL CANTON DAULE, PROVINCIA DEL GUAYAS*. Universidad de Guayaquil.
- Nikolaides, A. (2015). *Highway Engineering: Pavements, Materials and Control of Quality*.
- Pacheco-Torgal, F., & Labrincha, J. A. (2013). Biotech cementitious materials: Some aspects of an innovative approach for concrete with enhanced durability. *Construction and Building Materials*, 40, 1136–1141. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.09.080>
- Reynaldo Herrera, J. W. (2021). *Estudio comparativo de un pavimento rígido aplicando los métodos AASHTO 93 y PCA, Comas, Lima – 2021*. Universidad Cesar Vallejo.
- Solano Cahuaya, L. D., Espinoza Nieto, L. F., Zapata Chávez, R. S., Zevillanos Begazo, F. J., & Mogollón Rivera, J. E. (2021). *ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO DE ESPESOR DE LA CAPA DE RODADURA DE PAVIMENTOS RÍGIDOS SEGÚN LAS METODOLOGÍAS AASHTO 93 Y PCA 84*. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ.