



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

TEMA:

**“EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO SÍSMICO APLICANDO LA
NEC 15 PARA EDIFICACIÓN DE CINCO PISOS DE USO
EDUCATIVO”**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTOR (ES):

**HERRERA MENOSCAL ANDRÉS ALBERTO
TUMBACO PLÚAS LISBETH ADRIANA**

TUTOR:

ING. RAÚL ANDRÉS VILLO VERA, MSc.

LA LIBERTAD, ECUADOR

2024

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA
ELENA**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TEMA:

**“EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO SÍSMICO APLICANDO LA
NEC 15 PARA EDIFICACIÓN DE CINCO PISOS DE USO
EDUCATIVO”**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTOR:

**HERRERA MENOSCAL ANDRÉS ALBERTO
TUMBACO PLÚAS LISBETH ADRIANA**

TUTOR:

ING. RAÚL ANDRÉS VILLOA VERA, MSc.

LA LIBERTAD – ECUADOR

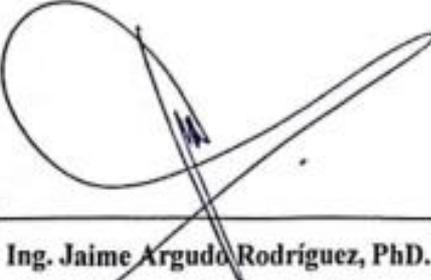
2024

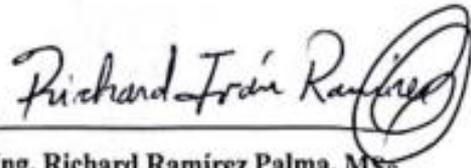
UPSE

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 
Ing. Lucrecia Cristina Moreno Alcívar, PhD.
DIRECTOR DE CARRERA

f. 
Ing. Raúl Andrés Villao Vera, MSc.
DOCENTE TUTOR

f. 
Ing. Jaime Argudo Rodríguez, PhD.
DOCENTE ESPECIALISTA

f. 
Ing. Richard Ramírez Palma, MSc.
DOCENTE UIC

DEDICATORIA

A Dios por ser mi guía y mi roca en este proceso, gracias por ser mi fortaleza y entendimiento.

A mis padres quienes han sido un pilar fundamental en mi crecimiento humano y profesional, este logro académico es un claro reflejo del esfuerzo que han invertido en brindarme una educación de calidad.

A mis dos hermanos por compartir risas y amarguras durante el proceso de este trabajo, a mi pareja que me ha dado su apoyo incondicional y que me ha enseñado que a pesar de los problemas y adversidades siempre hay una solución para todo.

“Dedicatoria”

Herrera Menoscal Andrés Alberto

DEDICATORIA

Esta tesis va dedicada a cada una de las personas que me han apoyado y guiado en el transcurso de este gran proceso.

A mis padres quienes a lo largo de mi vida me han inculcado la manera en la que una persona se tiene que esforzar para lograr lo que se propone, gracias a ellos por la educación que me han dado, y por la calidad de vida que me han brindado, mi admiración eterna para ellos.

A mi hermana menor que a pesar de vivir épocas muy distintas ha estado conmigo escuchándome y apoyándome siempre.

A mi pareja, mi compañero gracias por la colaboración y paciencia en este proceso, tu presencia en mi vida es el regalo más grande, este logro es nuestro.

“Dedicatoria”

Tumbaco Plúas Lisbeth Adriana

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema **“EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO SÍSMICO APLICANDO LA NEC 15 PARA EDIFICACIÓN DE CINCO PISOS DE USO EDUCATIVO”**, elaborado por los estudiantes **HERRERA MENOSCAL ANDRÉS ALBERTO** y **TUMBACO PLÚAS LISBETH ADRIANA**, 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 5 % de la valoración permitida.



DOCENTE TUTOR

Ing. Raúl Andrés Villao Vera, MSc.

C.I.: 0924204290

rvillao@upse.edu.ec

[Imagen de Compilatio]

CERTIFICADO DE ANÁLISIS
magister

Tesis Tumbaco-Herera

5%
Textos sospechosos

4% Similitudes
< 1% similitudes entre comillas
0% entre las fuentes mencionadas
> < 1% Idiomas no reconocidos
24% Textos potencialmente generados por la IA (ignorado)

Nombre del documento: Tesis Tumbaco-Herera.docx ID del documento: 407fc908f8a8b39bd7b077b912d9d5e7250173c6 Tamaño del documento original: 350,32 kB Autores: []	Depositante: RAUL ANDRES VILLAO VERA Fecha de depósito: 21/11/2024 Tipo de carga: interface fecha de fin de análisis: 21/11/2024	Número de palabras: 10.412 Número de caracteres: 67.594
--	---	--



Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	www.amevirtual.gob.ec http://www.amevirtual.gob.ec/wp-content/uploads/2017/05/MTOP_NEC-SE-05.pdf 43 fuentes similares	8%		Palabras idénticas: 8% (875 palabras)
2	repositorio.upse.edu.ec https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/9204/1/UPSE-TIC-2023-0015.pdf 31 fuentes similares	5%		Palabras idénticas: 5% (527 palabras)
3	cicp-ec.com https://cicp-ec.com/documentos/NEC_2015/NEC_SE_HM_Hormigon_Armado.pdf 7 fuentes similares	4%		Palabras idénticas: 4% (496 palabras)
4	www.habitatyvivienda.gob.ec https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/3.-NEC-SE-05-Peligro-Sismico-... 24 fuentes similares	4%		Palabras idénticas: 4% (454 palabras)
5	Documento de otro usuario #e7c4b6 El documento proviene de otro grupo 33 fuentes similares	4%		Palabras idénticas: 4% (403 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	Documento de otro usuario #2a3e84 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (38 palabras)
2	repositorio.ucv.edu.pe Diseño sísmico estructural del pabellón de la Facultad de C... https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/55830?show=full	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (29 palabras)
3	Documento de otro usuario #2a2ae2 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (22 palabras)
4	Documento de otro usuario #5bae7f El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (20 palabras)
5	scielo.sld.cu http://scielo.sld.cu/pdf/rchv/20n97/1990-8644-rc-20-97-318.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (20 palabras)

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **HERRERA MENOSCAL ANDRÉS ALBERTO** y **TUMBACO PLÚAS LISBETH ADRIANA**, declaramos bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado “**EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO SÍSMICO APLICANDO LA NEC 15 PARA EDIFICACIÓN DE CINCO PISOS DE USO EDUCATIVO**”, 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 nuestra 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,

Andrés Herrera M.

HERRERA MENOSCAL ANDRÉS ALBERTO

C.I.: 2400249831

andres.herreramenoscal@upse.edu.ec

Lisbeth Fumbaco

TUMBACO PLÚAS LISBETH ADRIANA

C.I.: 0928352343

lisbeth.tumbacoplus@upse.edu.ec

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

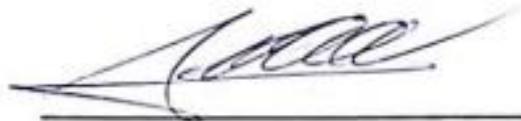
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

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 “**EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO SÍSMICO APLICANDO LA NEC 15 PARA EDIFICACIÓN DE CINCO PISOS DE USO EDUCATIVO**” previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, elaborado por el Sr. **HERRERA MENOSCAL ANDRÉS ALBERTO** y la Srta. **TUMBACO PLÚAS LISBETH ADRIANA**, egresados de la carrera de 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.



DOCENTE TUTOR

Ing. Raúl Andrés Villao Vera, MSc.

C.I.: 0924204290

rvillao@upse.edu.ec

CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA

Lcda. Betty Ruth Gómez Suárez, Mgtr.
Celular: 0962183538
Correo: bettyruthgomez@educacion.gob.ec

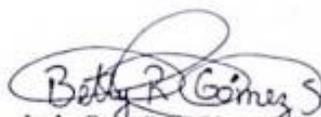
CERTIFICACIÓN GRAMATICAL Y ORTOGRÁFICA

Yo, **BETTY RUTH GÓMEZ SUÁREZ**, en mi calidad de **LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN Y MAGÍSTER EN DISEÑO Y EVALUACIÓN DE MODELOS EDUCATIVOS**, por medio de la presente tengo a bien indicar que he leído y corregido el Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, denominado **"EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO SÍSMICO APLICANDO LA NEC 15 PARA EDIFICACIÓN DE CINCO PISOS DE USO EDUCATIVO"**, de los estudiantes: **HERRERA MENOSCAL ANDRÉS ALBERTO** y **TUMBACO PLÚAS LISBETH ADRIANA**.

Certifico que está redactado con el correcto manejo del lenguaje, claridad en las expresiones, coherencia en los conceptos e interpretaciones, adecuado empleo en la sinonimia. Además de haber sido escrito de acuerdo a las normas de ortografía y sintaxis vigentes.

En cuanto puedo decir en honor a la verdad y autorizo a los interesados hacer uso del presente como estime conveniente.

Santa Elena, 20 de Noviembre del 2024



Lcda. Betty Ruth Gómez Suárez, Mgtr.
CL-0915036529

LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN
MAGÍSTER EN DISEÑO Y EVALUACIÓN DE MODELOS EDUCATIVOS
Nº DE REGISTRO DE SENECYT 1050-2014-86052892

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a mi tutor de tesis, Ing. Raúl Villao, cuya experiencia y apoyo condicional fueron fundamentales para la realización de este trabajo de titulación, su guía me brindó la confianza y enseñanzas académicas para seguir adelante.

A mis docentes, quienes han sido muchos los que han pasado por mi vida universitaria, a ellos les agradezco las enseñanzas brindadas y los conocimientos transmitidos para hoy poder estar aquí.

A mi familia, les agradezco profundamente su amor y apoyo condicional, su paciencia y fe en mí han sido el motor que me permitió concluir con este desafío.

Herrera Menoscal Andrés Alberto

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a la Universidad Estatal Península de Santa Elena por su educación de calidad en todo ámbito y avalar mis capacidades profesionales ante el mundo.

A mi tutor de tesis el Ing. Raul Villao, claro ejemplo de gran profesional que gracias a su conocimiento y experiencia pude culminar este proceso académico.

Como tercer párrafo de esta sección, pero, sin embargo, oo, el principal agradecimiento que quiero mostrar es a mis padres, por ellos soy quien soy y por ellos seré una profesional, gracias por la vida que me han dado y por estar presentes en los buenos y malos momentos.

Tumbaco Plúas Lisbeth Adriana

CONTENIDO

	Pag
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	ii
DEDICATORIA	iii
DEDICATORIA	iii
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO.....	iv
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	vi
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	vii
CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA	viii
AGRADECIMIENTOS.....	ix
AGRADECIMIENTOS.....	ix
CONTENIDO	x
LISTA DE FIGURAS	xvi
LISTA DE TABLAS	xviii
LISTA DE ECUACIONES	xx
RESUMEN	xxii
ABSTRACT.....	xxiii
1. CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	4
1.2. ANTECEDENTES	6
1.3. HIPÓTESIS.....	9
1.3.1 Hipótesis general	9
1.3.2 Hipótesis Específica.	9
	x

1.4.	OBJETIVOS.....	9
1.4.1	Objetivo General.....	9
1.4.2	Objetivos Específicos.....	10
1.5.	ALCANCE	10
1.6.	VARIABLES.....	11
1.6.1	Variables Dependientes.....	11
1.6.2	Variables Independientes.....	11
2.	CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	12
2.1.	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	12
2.1.1.	ESTRUCTURA DE HORMIGÓN ARMADO	12
2.1.1.1.	Hormigón armado.....	12
2.1.1.2.	Construcción en hormigón armado	12
2.1.1.3.	Sistema de estructura aporticado	13
2.1.1.4.	Cimentaciones.....	13
2.1.1.5.	Columnas	14
2.1.1.6.	Vigas.....	14
2.1.1.7.	Losas	14
2.1.1.8.	Conexión viga - columna.....	15
2.1.1.9.	Cargas	16
2.1.1.10.	Combinaciones de cargas.....	17
2.1.2.	Sismicidad	17
2.1.2.1.	Peligro sísmico	17
2.1.2.2.	Cortante basal	17

2.1.2.3.	Factor de importancia.....	18
2.1.2.4.	Espectro de diseño.....	19
2.1.2.5.	Valores de relación de amplificación espectral.....	22
2.1.2.6.	Zonificación sísmica y factor de zona Z.....	22
2.1.2.7.	Tipos de perfiles de suelos para el diseño sísmico	23
2.1.2.8.	Coeficientes de perfiles de suelo Fa, Fd y Fs.....	25
a)	Coeficiente Fa.....	25
b)	Coeficiente Fd.....	25
c)	Coeficiente Fs.....	26
d)	Factor R.....	26
e)	Periodo de vibración T.....	28
2.1.2.9.	Regularidad y configuración estructural.....	29
a)	Configuraciones a privilegiar.....	29
b)	Configuraciones más complejas.....	30
c)	Regularidad en planta y elevación.....	31
d)	Irregularidades y coeficientes de configuración estructural.....	31
e)	Coeficiente de regularidad en planta $\emptyset P$	33
f)	Coeficiente de regularidad en elevación $\emptyset E$	34
2.1.2.10.	Derivas de piso.....	34
2.1.2.11.	Torsión.....	35
2.1.2.12.	Efectos de segundo orden P- Δ e índice de estabilidad	36
2.2.	MARCO NORMATIVO.....	37
2.2.1.	Norma Ecuatoriana De La Construcción NEC-2015.....	38
2.2.2.	Cargas no sísmicas (NEC-SE-CG).....	38
2.2.2.1.	Símbolos y notación.....	38
2.2.2.2.	Carga Muerta: Peso de los materiales.....	39

2.2.2.3.	Carga viva	39
2.2.2.4.	Combinación para el diseño por última resistencia	40
2.2.3.	Geotecnia y Cimentaciones (NEC-SE-GC)	40
2.2.4.	Estructuras de hormigón armado (NEC-SE-HM).....	41
2.2.4.1.	Requisitos de resistencia	42
2.2.4.2.	Resistencia a la compresión	42
2.2.4.3.	Factores de reducción de resistencia	43
2.2.4.4.	Diámetros del acero de refuerzo	43
2.2.4.5.	Requisitos para elementos a flexión	44
2.2.4.6.	Requisitos para elementos a flexocompresión	46
2.2.4.7.	Requisitos para elementos a cortante.....	48
2.2.4.8.	Prediseño de elementos.....	49
3.	CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	50
3.1.	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	50
3.1.1.	Tipo.....	50
3.1.2.	Nivel.....	50
3.2.	MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN..	51
3.2.1.	Método.....	51
3.2.2.	Diseño.	51
3.2.3.	Enfoque.	51
3.3.	POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO.....	52
3.3.1.	Población.....	52
3.3.2.	Muestra.....	52

3.3.3. Muestreo.....	52
3.4. ÁREA Y UBICACIÓN DE ESTUDIO	53
3.5. METODOLOGÍA OE1: ELABORAR UN PLANO ARQUITECTÓNICO QUE REPRESENTA ADECUADAMENTE LA DISTRIBUCIÓN DE LAS AULAS, OFICINAS Y DEMÁS ÁREAS DEL EDIFICIO EDUCATIVO A CONSTRUIR, OPTIMIZANDO EL USO DEL ESPACIO TENIENDO EN CUENTA LAS NECESIDADES OPERATIVAS Y FUNCIONALES DE LA INSTITUCIÓN.....	54
3.6. METODOLOGÍA OE2: DETERMINAR EL TIPO DE SUELO EN EL QUE SE UBICARÁ EL EDIFICIO EDUCATIVO MEDIANTE ENSAYOS DE LABORATORIO, QUE PERMITAN IDENTIFICAR LAS CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DEL TERRENO EN LA ZONA A CONSTRUIR.....	57
3.6.1. Estudio geotécnico.....	57
3.7. METODOLOGÍA OE3: CUMPLIR CON TODOS LOS PARÁMETROS ESTABLECIDOS EN NEC 15, EN LO QUE RESPECTA AL DISEÑO SISMORRESISTENTE, APLICANDO LOS CRITERIOS QUE ASEGUREN LA ESTABILIDAD ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO FRENTE A LAS SOLICITACIONES SÍSMICAS Y GRAVITACIONALES ESPERADAS EN LA REGIÓN DE SANTA ELENA.....	58
3.7.1. Losa.....	58
3.7.2. Predimensionamiento de vigas y columnas.....	59
3.7.2.1. Columnas	60
3.7.2.2. Vigas.....	62
3.7.2.3. Especificaciones del hormigón.....	63
3.7.3. Determinación de carga muerta.....	64
3.7.3.1. Análisis de carga de losa	65

3.7.4.	Determinación de carga viva.....	70
3.7.5.	Mayoración de carga.....	71
3.8.	METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE DISEÑO SÍSMICO	73
	73	
3.8.1.	Diseño preliminar NEC-15	73
3.8.2.	Prediseño de la edificación	77
4.	CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	80
4.1.	ANÁLISIS DE RESULTADOS OE.2: DETERMINAR EL TIPO DE SUELO EN EL QUE SE UBICARÁ EL EDIFICIO EDUCATIVO MEDIANTE ENSAYOS DE LABORATORIO, QUE PERMITAN IDENTIFICAR LAS CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DEL TERRENO EN LA ZONA DE LA A CONSTRUIR.....	80
4.2.	ANÁLISIS DE RESULTADOS OE.3: CUMPLIR CON TODOS LOS PARÁMETROS ESTABLECIDOS EN NEC 15, EN LO QUE RESPECTA AL DISEÑO SISMORRESISTENTE, APLICANDO LOS CRITERIOS QUE ASEGUREN LA ESTABILIDAD ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO FRENTE A LAS SOLICITACIONES SÍSMICAS Y GRAVITACIONALES ESPERADAS EN LA REGIÓN DE SANTA ELENA.....	81
4.2.1.	Análisis estático lineal	81
4.2.2.	Diseño estructural	85
4.2.2.1.	Losa nervada en una dirección	85
a)	Mayoración de carga	86
b)	Momento critico.....	86
c)	Cuantía de acero (ρ).....	86
d)	Área de acero requerido	87
e)	Cálculo de acero a temperatura.....	88
f)	Espaciamiento de varillas.....	88
g)	Revisión por cortante.....	89

4.2.2.2. Vigas.....	91
a) Diseño a flexión	91
b) Refuerzo transversal.....	96
c) Adherencia y anclaje de varillas.....	99
4.2.2.3. Columnas	100
a) Diseño a flexo-compresión.....	100
b) Criterio columna fuerte – viga débil.....	103
c) Refuerzo transversal.....	104
d) Conexión Viga – Columna.....	108
5. CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	111
5.1. CONCLUSIONES.....	111
5.2. RECOMENDACIONES	112
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113
7. ANEXOS	118

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Conexiones típicas Vigas-Columnas	15
Figura 2. Espectro sísmico elástico de aceleraciones.....	20
Figura 3. Mapa de zonificación sísmica.....	23
Figura 4. Características de los elementos a flexión	44
Figura 5. Requisitos del refuerzo longitudinal en elementos a flexión	45
Figura 6 Confinamiento en traslape de varillas de refuerzo longitudinal.	46

Figura 7. Separación de estribos	46
Figura 8. Separación de estribos	47
Figura 9. Ejemplo de refuerzo transversal en columnas.....	48
Figura 10. Predios de la Universidad. La Libertad, Santa Elena	53
Figura 11. Ubicación referencial del proyecto	53
Figura 12 <i>Propuesta de diseño arquitectónico, planta baja</i>	54
Figura 13 <i>Propuesta de diseño arquitectónico, plantas altas</i>	55
Figura 14 <i>Propuesta de diseño arquitectónico, cubiertas</i>	56
Figura 15 Curva de espectro elástico de La Libertad.....	76
Figura 16 Análisis de modelo estructural por medio de Etabs.....	78
Figura 17 Armado de losa en una dirección	90
Figura 18 Momentos de pórtico 9	91
Figura 19 <i>Momentos máximo de diseño, lado izquierdo</i>	92
Figura 20 <i>Momentos máximo de diseño, lado izquierdo</i>	92
Figura 21 <i>Momentos máximo de diseño, lado derecho</i>	93
Figura 22 <i>Cortante equivalente de viga 35x55</i>	95
Figura 23 <i>Refuerzo transversal de viga 35x55</i>	99
Figura 24 <i>Detalle de armado de viga 35x55</i>	99
Figura 25 <i>Diagrama de momentos (M 3-3) del pórtico C</i>	101
Figura 26 <i>Diagrama de interacción de la columna 40x100(Columna Critica)</i> 102	
Figura 27 <i>Detalle de refuerzo longitudinal de las columnas</i>	102
Figura 28 <i>Detalle de refuerzo longitudinal y transversal</i>	107
Figura 29 <i>Conexión viga-columna</i>	108

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. <i>Factores de importancia de acuerdo con el uso de la estructura</i>	18
Tabla 2. <i>Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada</i>	23
Tabla 3. <i>Mapa de zonificación sísmica</i>	24
Tabla 4. <i>Tipo de suelo y Factores de sitio Fa</i>	25
Tabla 5. <i>Tipo de suelo y Factores de sitio Fd</i>	25
Tabla 6. <i>Criterio de Cuellar basado en la expansión</i>	26
Tabla 7. <i>Coeficiente R para sistemas estructurales dúctiles</i>	27
Tabla 8. <i>Coeficiente R para sistemas estructurales dúctiles</i>	27
Tabla 9 <i>Coeficiente R para sistemas estructurales de ductilidad limitada</i>	27
Tabla 10 <i>Gravedad específica de los minerales más conocidos</i>	28
Tabla 11 <i>Configuraciones estructurales recomendadas</i>	29
Tabla 12 <i>Configuraciones estructurales no recomendadas</i>	30
Tabla 13 <i>Coeficientes de irregularidad en planta</i>	31
Tabla 14 <i>Coeficientes de irregularidad en elevación</i>	32
Tabla 15 <i>Valores Δ_M máximos, expresados como fracción de la altura de piso</i> .	35
Tabla 16 <i>símbolos que representan a las cargas</i>	38
Tabla 17 <i>pesos unitarios de materiales de construcción</i>	39
Tabla 18 <i>Sobrecargas mínimas uniformemente distribuidas</i>	39
Tabla 19 <i>Pesos unitarios de materiales de construcción</i>	40
Tabla 20 <i>Valores de $f'c$</i>	43
Tabla 21 <i>Factores de reducción de resistencia</i>	43

Tabla 22 <i>Diámetros mínimos y máximos de las varillas de refuerzo</i>	43
Tabla 23. Dimensiones de columnas para pórticos resistentes a momentos	60
Tabla 24. Predimensionamiento de columnas	61
Tabla 25. Dimensiones de vigas para pórticos resistentes a momentos	62
Tabla 26. Predimensionamiento de vigas	64
Tabla 27. Peso de los materiales que intervienen en la estructura	65
Tabla 28. Pesos específicos de materiales que intervienen en la estructura.....	65
Tabla 29. Cálculo de carga muerta. Planta baja	68
Tabla 30. Cálculo de carga muerta. 1ra, 2da, 3ra Planta	68
Tabla 31. Cálculo de carga muerta. 4ta Planta (cubierta)	69
Tabla 32. Cargas vivas actuantes.....	70
Tabla 33. Cálculo de Carga viva. Planta baja	70
Tabla 34. Cálculo de Carga viva. 1ra, 2da, 3ra planta	71
Tabla 35. Cálculo de Carga viva. Cubierta	71
Tabla 36. Mayoración de carga planta baja	71
Tabla 37. Mayoración de carga planta 1 al 3	72
Tabla 38. Cálculo de Carga viva. Cubierta	72
Tabla 39. Total de carga	72
Tabla 40. Datos de la definición de espectro de diseño NEC-15 (NEC-SE-DS). 73	
Tabla 41. Factores	74
Tabla 42. Cortante basal y distribución de fuerza por piso.....	79
Tabla 43 <i>Cuadro de Operacionalización de Variables</i>	80
Tabla 44. Derivas de piso en dirección X.....	81

Tabla 45. Derivas de piso en dirección Y	82
Tabla 46. Irregularidad torsional en dirección X	83
Tabla 47. Irregularidad torsional en dirección Y	84
Tabla 48. Índice de estabilidad en dirección X	85
Tabla 49. Índice de estabilidad en dirección Y	85
Tabla 50. Datos requeridos para el diseño de la losa	85
Tabla 51. Diseño de losa para μ crítico	87

LISTA DE ECUACIONES

$V = ISa(Ta)R\phi P\phi Ew$	Ec. 1	18
$Sa = \eta ZFa \quad \text{para } 0 \leq T \leq TC$	Ec. 2	21
$Sa = \eta ZFaTcTr \quad \text{para } T > TC$	Ec. 3	21
$Tc = 0.55FsFdFa$	Ec. 4	21
$Tl = 2.4Fd$	Ec. 5	21
$T = Cthn\alpha$	Ec. 6	28
$\phi p = \phi PA * \phi PB$	Ec. 7	33
$\phi E = \phi EA * \phi EB$	Ec. 8	34
$\Delta M = 0.75R\Delta E$	Ec. 9	35
$AX = \delta_{max} 1.2\delta_{prom}^2$	Ec. 10	36
$Qi = Pi\Delta iVihi$	Ec. 11	36
$fP - \Delta = 11 - Qi$	Ec. 12	37
$DfB \leq 4 = \text{cimentación superficial}$	Ec. 13	41

DfB > 4 = cimentación profunda	Ec. 14	41
$\emptyset P_n \geq P_u$	Ec. 15	42
$\emptyset M_n \geq M_u$	Ec. 16	42
$\emptyset V_n \geq V_u$	Ec. 17	42

“EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO SÍSMICO APLICANDO LA NEC 15 PARA EDIFICACIÓN DE CINCO PISOS DE USO EDUCATIVO”

Autor: Herrera Menoscal Andrés Alberto
Tumbaco Plúas Lisbeth Adriana

Tutor: Ing. Raúl Andrés Villao Vera, MSc.

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el desempeño sísmico de una edificación de cinco pisos destinada a fines educativos, diseñada específicamente a ser ocupada como institución educativa. Para ello, se realizó un análisis estructural utilizando el programa ETABS 2016, con el propósito de obtener los esfuerzos internos, reacciones y derivas de piso de la estructura. Estos datos permitieron diseñar de manera adecuada cada uno de los elementos estructurales, asegurando el cumplimiento de las disposiciones establecidas en la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015. Los resultados evidenciaron que la edificación cumple con los requisitos normativos tales como el control de torsiones, derivas y efectos P- Δ , concluyendo que este modelo representa una solución efectiva a la necesidad de infraestructura educativa.

PALABRAS CLAVE: *Desempeño Sísmico, Análisis Estructural, ETABS, Resistencia, Torsión, Derivas, Elementos Estructurales, Infraestructura, NEC-015.*

Authors: Herrera Menoscal Andrés Alberto

Tumbaco Plúas Lisbeth Adriana

Tutor: Ing. Raúl Andrés Villao Vera, MSc.

ABSTRACT

The purpose of this investigation was to evaluate the seismic performance of a five-story building intended for educational purposes, specifically designed to be occupied as an educational institution. For this purpose, a structural analysis was carried out using the ETABS 2016 program, in order to obtain the internal forces, reactions and floor drifts of the structure. These data allowed to adequately design each of the structural elements, ensuring compliance with the provisions established in the Ecuadorian Construction Standard NEC 2015. The results showed that the building complies with the regulatory requirements such as torsion control, drifts and P- Δ effects, concluding that this model represents an effective solution to the need for educational infrastructure.

KEYWORDS: *Earthquake Performance, Structural Analysis, ETABS, Strength, Torsion, Drifts, Structural Elements, Infrastructure, NEC-015.*

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

A medida que transcurren los años, las universidades experimentan un aumento progresivo en la cantidad de estudiantes que acceden a sus instalaciones educativas. Esta tendencia se hace especialmente evidente en determinadas carreras, donde la demanda de educación superior se ha incrementado notablemente. Según datos proporcionados por Senescyt (2021), informa que la tasa de matrícula para la educación superior de personas entre dieciocho a veinticuatro años aumentó 2.43% entre 2015 a 2019 pasando del 18,65 al 21,08%.

Este fenómeno indica que el número de estudiantes que acceden a la universidad aumenta con el transcurso del tiempo, lo cual implica la necesidad de ampliar las infraestructuras universitarias. Sin embargo, este proceso de expansión no es sencillo, ya que requiere la ejecución de estudios exhaustivos que garanticen la seguridad y la vida útil de las edificaciones, de lo contrario la infraestructura universitaria se construirá de manera desorganizada, utilizando espacios destinados a otros fines o se adaptarán para las necesidades que se tengan en el momento; provocando que estas instalaciones no cumplan con los requisitos necesarios para desempeñar adecuadamente sus funciones.(Aráuz Urbina et al., 2023)

Entre estos criterios técnicos para el diseño es importante seleccionar adecuadamente el terreno o espacio a utilizar, seguir directrices generales para el uso apropiado de las áreas, asegurar el confort de estudiantes, docentes y cualquier usuario de las instalaciones, y, sobre todo, garantizar la seguridad tanto dentro como fuera de los módulos. (Navarro de León, 2023). En el Ecuador el principal sistema estructural usado para construir edificaciones es el sistema tradicional o aporticado. El cual se compone de columnas, vigas, losas y mampostería compuestos de hormigón armado(Aguiar et al., 2020), dichos elementos son fundamentales, ya que conforman la estructura principal del edificio y son los responsables de soportar las cargas verticales y horizontales a las que la edificación estará expuesta a lo largo de su vida útil.

Debido a la variedad de esfuerzos a los que están sometidos estos componentes estructurales, es vital que sean diseñados de manera óptima para que trabajen de

manera conjunta y asegurar la integridad de quienes ocupan la edificación(Tena Colunga, 2019). De esta manera se ha reconocido la importancia crucial de realizar estudios, análisis detallados y diseños rigurosos antes de iniciar la construcción de cualquier estructura. Este enfoque se fundamenta en el estricto cumplimiento de las normativas y códigos pertinentes, como la Norma Ecuatoriana de la Construcción del 2015, específicamente los capítulos Cargas no sísmicas(2015), Estructuras de hormigón armado(2015) y Peligro sísmico (Norma Ecuatoriana De La Construcción, 2015). Los mismos que son esenciales en la planificación y desarrollo de proyectos constructivos.

En la actualidad, para realizar un correcto diseño estructural se realizan esencialmente dos tipos de análisis: uno destinado a evaluar las cargas de gravedad y otro para evaluar las cargas sísmicas. Estos análisis representan desafíos significativos para el diseño, ya que requieren la aplicación de metodologías avanzadas y la consideración meticulosa de factores de seguridad y resistencia estructural en entornos sísmicamente activos.

Debido a la ubicación geográfica de Ecuador, resulta ser una región con frecuente actividad sísmica, pues durante los últimos 470 años, se han registrado numerosos sismos que han devastado ciudades enteras como Ambato, Riobamba, Ibarra, entre otras (Medina Christian & Placencia Patricio, 2017). La resistencia ante los movimientos telúricos debe ser una prioridad fundamental en todos los proyectos de construcción. Esta preocupación abarca no solo las edificaciones simples, sino también las infraestructuras críticas, subrayando la importancia de garantizar la seguridad y la estabilidad estructural en un entorno propenso a sismos(Pérez-Gavilán et al., 2018).

Desde otra perspectiva, es necesario estudiar los aspectos climáticos y del suelo en la zona de estudio que intervienen en el diseño de la estructura de hormigón armado, los cuales pueden afectar la durabilidad, estabilidad y resistencia de la edificación, por lo que es importante tener en cuenta estos factores durante el proceso de diseño y construcción.

Además de seguir las normas establecidas, es necesario presentar un modelo en un software de análisis estructural con el fin de saber el comportamiento que tendrá dicha estructura y detectar los distintos problemas que se pueden presentar. En el Ecuador se usa comúnmente ETABS y SAP 2000, los cuales permiten a los ingenieros realizar análisis estructurales detallados de una amplia variedad de tipos de estructuras, incluyendo edificios, puentes, torres, presas y más.

El siguiente proyecto se realizará en la provincia de Santa Elena, ubicada en el cantón libertad de la provincia homónima, donde la exposición a la radiación solar, salinidad y sobre todo a la amenaza sísmica se clasifica como "muy alta", impactando tanto a las zonas urbanas como rurales por igual (Centro del Agua y Desarrollo Sustentable, 2013). Por lo que esta investigación, se enfoca en el diseño y análisis de una estructura particular destinada a ser un pabellón de cinco plantas que funcione como instalaciones educativas y administrativas para los estudiantes de la carrera de derecho de la misma universidad.

La ingeniería civil, al centrarse en el diseño y mantenimiento de estructuras, tiene la responsabilidad ética y técnica de enfrentar los desafíos relacionados con la amenaza sísmica. Por esta razón, en la estrategia de investigación se diseñará arquitectónicamente el pabellón, optimizando el espacio disponible para aulas, oficinas, salas de estudio y otros usos requeridos para una carrera en particular. Esto contribuirá a mejorar la eficiencia y funcionalidad del edificio, proporcionando un entorno propicio para el aprendizaje y la investigación. Además, se aplicarán criterios definidos por la norma ecuatoriana de la construcción del 2015 que nos ayudara a evaluar el rendimiento del pabellón frente a cargas gravitatorias y sísmicas mediante un diseño estructural preliminar. En la metodología, se recopilarán y evaluarán datos climáticos, geotécnicos y sísmicos específicos de la localidad de Santa Elena, que resultarán ser fundamentales para el diseño. Además, se realizará un análisis estructural utilizando el programa ETABS, dado que es crucial someter las edificaciones importantes a esta evaluación para verificar su capacidad para resistir las fuerzas sísmicas y garantizando su integridad estructural a lo largo del tiempo.

1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La península de Santa Elena al ser una región relativamente joven está experimentando un crecimiento significativo en la matrícula estudiantil en los últimos años, lo que ha generado la necesidad de ampliar sus instalaciones para satisfacer las demandas académicas y administrativas. Por esta razón surge la urgencia de construir un nuevo pabellón de cinco plantas destinado a albergar las actividades de la población universitaria.

La pandemia de COVID-19 ha creado oportunidades para el crecimiento de la educación superior en línea, con universidades adaptándose a modelos de aprendizaje híbridos y ubicuos (Sandoval Santacruz & Real Pérez, 2020). No obstante, el regreso a clases presenciales en el 2022 provocó dificultades en instituciones con limitada infraestructura causando que no todos los estudiantes tengan acceso a esta modalidad de estudio. Entonces es necesario invertir en infraestructura, ya que las instituciones de educación superior necesitan proporcionar instalaciones adecuadas que faciliten la implementación de las políticas de innovación en el aula. (Rosales Nieto & Cerbone, 2020).

El problema principal que se plantea en este proyecto de diseño estructural radica en la necesidad de desarrollar una solución arquitectónica y estructural que satisfaga las necesidades específicas de la institución, tanto que garantice la seguridad y el bienestar de los usuarios del edificio. Es aquí donde entra la aplicación de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) 2015 que se presenta como un requisito fundamental para asegurar que la estructura cumpla con los estándares de resistencia y estabilidad exigidos por las autoridades competentes.

Se debe considerar la funcionalidad del edificio y la distribución eficiente de los espacios interiores. El edificio debe contar con aulas, salas de estudio, oficinas administrativas y otros espacios. Por lo tanto, el diseño arquitectónico debe permitir una distribución adecuada de estos espacios, garantizando al mismo tiempo la accesibilidad y el confort de los usuarios donde se garantiza que estos se conviertan en verdaderos espacios de aprendizaje (Ruiz García et al., 2016).

Con respecto al diseño estructural, el edificio debe cumplir con los estándares de la norma NEC 15, siendo esta fundamental para el cálculo del diseño de los elementos que componen a la infraestructura. Estos deben ser capaces de tener un funcionamiento excelente frente a las cargas gravitacionales y sobre todo frente a las cargas sísmicas al ser un edificio que albergará a una gran cantidad de estudiantes.

Por lo tanto, es fundamental considerar las características geográficas, y sísmicas de la región de Santa Elena, donde se ubicará el pabellón. Según Chunga (2019) la zona se encuentra expuesta a la actividad sísmica debido a las fallas que se encuentran en el golfo de Guayaquil, lo que implica que el diseño estructural debe ser capaz de resistir las fuerzas generadas por posibles eventos sísmicos. Es importante destacar que muchas de las edificaciones en funcionamiento fueron construidas antes de las actualizaciones normativas vigentes en la actualidad. Por esta razón, se busca la construcción de nuevos edificios que se adhieran a estos estándares actuales y sean capaces de resistir sismos en caso de ocurrir.

De esta manera la creación de este nuevo espacio no solo aborda las necesidades de infraestructura inmediatas, sino que también se anticipa a las tendencias futuras, asegurando que la institución pueda continuar ofreciendo una educación de calidad y adaptarse a las demandas cambiantes del entorno educativo. Asimismo, este proyecto representa un compromiso con el crecimiento institucional y el desarrollo integral de la comunidad educativa, fortaleciendo así el posicionamiento y la proyección de la universidad en la región.

La presente propuesta de investigación pretende diseñar sísmicamente un edificio de cinco pisos que cumpla con las necesidades de los estudiantes. Por lo que surgen las siguientes preguntas de investigación, ¿Cuál será el desempeño estructural de un edificio de cinco pisos de uso educativo aplicando la NEC 15? de la cual se derivan 3 preguntas adicionales, ¿Qué distribución tendrán las habitaciones del edificio a construir?, ¿Cuál será el diseño y que resultado obtendremos del análisis estructural del edificio? Y ¿Se cumple con todas las especificaciones establecidas en la NEC 15, en lo que respecta al diseño para cargas gravitatorias y resistencia sísmica?

1.2. ANTECEDENTES

Según datos obtenidos (2020) la tasa de crecimiento en la población estudiantil es del 20% desde el 2015, por lo cual la necesidad de ampliar sus instalaciones es una prioridad para satisfacer las demandas académicas y administrativas. Teniendo en cuenta este crecimiento significativo, se plantea el diseño estructural de un pabellón de cinco plantas para la carrera de derecho de la universidad estatal península de Santa Elena, aplicando la norma ecuatoriana de la construcción 15.

Partiendo por el contexto internacional, Manzanares García & Vargas Machuca Gutiérrez (2020) en su estudio “Diseño sísmico estructural del pabellón de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad César Vallejo – Trujillo”. Tienen como objetivo realizar un diseño arquitectónico y estructural que tome en cuenta un análisis sismorresistente para un pabellón de la facultad de ciencias médicas utilizando criterios y requerimientos de las Normas Técnicas E.060 Y E.030 (Normas técnicas peruanas de la construcción para diseños de concreto armado y sismorresistentes respectivamente). En su estudio se optó por la configuración en dos bloques, empleando un sistema de muros estructurales, el cual se llevó a cabo mediante la aplicación del método de resistencia última, respaldado por modelos tridimensionales generados en el software ETABS y cumpliendo con los criterios establecidos por las normas comparecidas. De esta manera se obtuvo derivas máximas para la edificación de 0.00672 en el sentido X y 0.00628 en el sentido Y, siendo menores a 0.007; cumpliendo con los criterios de la norma E.030, así mismo se logró que la capacidad de resistencia del acero distribuido y el concreto en los elementos estructurales sean mayores a la demanda sísmica, lo que demuestra que es viable realizar un diseño arquitectónico y estructural de un pabellón para la universidad César Vallejo.

A nivel nacional Barragán Benites & Intriago Burgos(2015), en su trabajo de titulación “Diseño estructural de un edificio residencial para los estudiantes de la ESPOL”. La tesis de grado muestra que la falta de residencias estudiantiles es un desafío que enfrentan los estudiantes de la Escuela Superior Politécnica del Litoral. Para abordar esta problemática, se propuso una solución que involucra el análisis y diseño estructural de tres edificios sismorresistentes, cada uno construido con

materiales diferentes tales son: el hormigón armado, acero estructural y una combinación de columnas de hormigón armado y vigas de acero. Se recopiló información para definir la distribución arquitectónica y la capacidad portante del suelo donde se diseñara los cimientos, así mismo se llevó a cabo un análisis estructural de los tres tipos de estructuras mediante el programa de SAP2000, el cual sirvió para obtener los esfuerzos internos, reacciones y derivas, con la finalidad de realizar los cálculos respectivos para el diseño óptimo de los elementos estructurales, cumpliendo las disposiciones y requisitos establecidos en las Normas NEC 2011, ACI 318-08 y ANSI AISC 360-10. Para posteriormente realizar un presupuesto de los 3 edificios. Tras recopilar los datos de diseño y presupuesto, se realizó un análisis exhaustivo comparando las tres alternativas entre sí. Este estudio reveló las ventajas y desventajas en términos de economía y facilidad de construcción de cada una. Como resultado, se llegó a la conclusión de que el edificio de hormigón armado resulta ser la opción más viable para abordar la necesidad de residencias estudiantiles en la ESPOL.

En el mismo nivel regional, Razo Taco (2021) en su trabajo de titulación “Diseño estructural del edificio de posgrado de la universidad técnica de Cotopaxi para garantizar su correcto desempeño sísmico”, propone como objetivo el diseño estructural de un edificio destinado a actividades educativas en el área de posgrado de la Universidad Técnica de Cotopaxi, situado en la ciudad de Latacunga. Se priorizó asegurar su óptimo rendimiento ante eventos sísmicos, siguiendo meticulosamente los lineamientos establecidos por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2015). Mediante recopilación de datos y el diseño arquitectónico proporcionado por la institución beneficiada se realizó el diseño de una estructura de acero, en la cual se establecieron varios parámetros para lograr modelarla en un Software de análisis y diseño estructural donde se observó el comportamiento de esta, realizando el análisis lineal. Método que se evaluó según las directrices de las normas NEC-SE-CG-15 NEC-SE-DS-15, NEC-SE-AC-15, AISC 360-10, AISC 341-10, ASCE-SEI 7-16, ASCE 41-13, AISC 358-16. De esta manera, se concluyó que la estructura se comportará de manera segura ante un evento sísmico.

Continuando en el mismo contexto, el trabajo de titulación “Diseño estructural del edificio de educación virtual en la Ciudad Universitaria Milagro” presentado por Game Rubén (2021), el cual se propone a diseñar estructuralmente un edificio de dos plantas de servicios, junto con una azotea con cubierta no accesible, para la Universidad Agraria del Ecuador en la ciudad de Milagro. Esto se debe al incremento de estudiantes y a la introducción de un nuevo modelo de estudio que surgió a raíz de la pandemia. Se plantea el uso de acero estructural como material principal, por lo cual el diseño para los elementos estructurales expuestos a cargas externa se realizó siguiendo las normas internacionales AISC 360 y 340, así como las normas ecuatorianas NEC-SE-DS y NEC-SE-AC. Posteriormente, el análisis estructural de la edificación se realizó con el software ETABS, donde se evaluaron las cargas asociadas a los elementos estructurales y la respuesta ante cargas sísmicas. Del análisis se obtiene período fundamental de 0,381 segundos cuando el obtenido por la NEC es de 0,41 segundos. Se concluye que la edificación satisface los requerimientos de estabilidad especificados por las distintas normas, teniendo un comportamiento correcto frente a eventos sísmicos.

En el ámbito local, Santiana Bazán & Roca Larrea (2023) en su tesis de grado titulada “Prediseño estructural de una edificación residencial de 5 pisos para el uso de los estudiantes de la universidad estatal península de Santa Elena”. Tiene como objetivo elaborar un plano arquitectónico para la distribución de las habitaciones del edificio, junto a la especificación del suelo donde se construirá el mismo, con el fin de diseñar un edificio residencial para el uso de los estudiantes. Cuyo proceso se llevó a cabo mediante el modelamiento del edificio en ETABS 2016, este análisis les permitió obtener los esfuerzos internos, las reacciones y las derivas de piso de la estructura mencionada. Esto es fundamental para realizar un diseño preciso de cada uno de los elementos estructurales, asegurando la plena conformidad con las disposiciones establecidas por las normativas NEC 2015 y ACI 318-19. Los resultados de este estudio confirmo que la estructura cumple con todas las disposiciones establecidas. Por lo tanto, se llegó a la conclusión de que la implementación de este modelo es factible y no presenta ningún inconveniente, ofreciendo una solución efectiva a la escasez de residencias estudiantiles en nuestra provincia de Santa Elena.

1.3. HIPÓTESIS

1.3.1 Hipótesis general

La evaluación del desempeño sísmico para el diseño estructural de un edificio de cinco pisos, destinado a albergar aulas y oficinas para estudiantes, docentes y personal administrativo, resultará óptima siempre que se cumpla con los lineamientos y especificaciones técnicas establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15.

1.3.2 Hipótesis Específica.

H.E1.: La elaboración de un plano arquitectónico que represente adecuadamente la distribución de las aulas, oficinas y demás áreas del edificio educativo a construir permitirá optimizar el uso del espacio, teniendo en cuenta las necesidades operativas y funcionales de la institución.

H.E2.: La identificación del tipo de suelo en el que se ubicará el edificio educativo mediante ensayos de laboratorio, permitirá determinar las características geotécnicas del terreno en la zona a construir.

H.E3: Al cumplir con todos los parámetros establecidos en la NEC 15, en lo referente al diseño sismorresistente, garantizará la estabilidad estructural del edificio frente a las solicitaciones sísmicas y gravitacionales esperadas en la región de Santa Elena.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General.

Evaluar el desempeño sísmico del diseño estructural de un edificio de cinco pisos, destinado a albergar aulas y oficinas para estudiantes, docentes y personal

administrativo, cumpliendo con los lineamientos y especificaciones técnicas establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15.

1.4.2 Objetivos Específicos.

O.E.1.: Elaborar un plano arquitectónico que represente adecuadamente la distribución de las aulas, oficinas y demás áreas del edificio educativo a construir, optimizando el uso del espacio teniendo en cuenta las necesidades operativas y funcionales de la institución.

O.E.2.: Determinar el tipo de suelo en el que se ubicará el edificio educativo mediante ensayos de laboratorio, que permitan identificar las características geotécnicas del terreno en la zona de la a construir.

O.E.3.: Cumplir con todos los parámetros establecidos en NEC 15, en lo que respecta al diseño sismorresistente, aplicando los criterios que aseguren la estabilidad estructural del edificio frente a las solicitaciones sísmicas y gravitacionales esperadas en la región de Santa Elena.

1.5. ALCANCE

El objetivo principal de este proyecto es evaluar el desempeño sísmico para una edificación de cinco pisos de uso educativo aplicando la norma ecuatoriana de la construcción 15. Este estudio involucra un adecuado diseño sísmico de todos los elementos estructurales que comprenden al edificio. Para lograrlo, se realizará un diseño arquitectónico con el fin de distribuir los espacios y su funcionalidad dentro de la estructura. Además, se llevará a cabo el modelamiento del edificio en el software de análisis estructural Etabs para evaluar el desempeño sísmico que abarca diferentes aspectos de análisis que incluye el control de derivas, desplazamientos y torsión de la estructura.

1.6. VARIABLES

1.6.1 Variables Dependientes.

- i) Evaluación estructural del desempeño sísmico del edificio de cinco pisos.

1.6.2 Variables Independientes.

- i) El diseño arquitectónico y estructural de un edificio de cinco pisos de uso educativo aplicando la NEC 15.
- ii) Las características geotécnicas del terreno en la zona a construir.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

En el siguiente capítulo se presentan los conceptos necesarios que integran la propuesta de investigación, los que ayudaran a comprender mejor los capítulos posteriores del estudio. Además, se detallará con exactitud la norma que será utilizada como parte del diseño de la estructura de uso educativo.

2.1.1. ESTRUCTURA DE HORMIGÓN ARMADO

2.1.1.1. Hormigón armado

El hormigón armado es una combinación de hormigón y acero en la que el refuerzo de acero proporciona la resistencia a la tensión de la que carece el concreto. El acero de refuerzo es también capaz de resistir fuerzas de compresión y se usa en diferentes elementos estructurales (McCormac & Brown, 2017).

2.1.1.2. Construcción en hormigón armado

El hormigón armado se distribuyó de manera industrial a comienzos del siglo XX, provocando que sea el material más empleado en grandes proyectos de infraestructura y en la arquitectura de edificios llegando incluso a las épocas modernas. Esto se debe a su cualidad para adaptarse tanto a las características geométricas del diseño como a la necesidad de soportar altas sollicitaciones de cargas (D'andrea, 2010). En el Ecuador la mayoría de las infraestructuras están compuestas por hormigón armado, debido a sus características, la tradición constructiva dentro del país y a la disponibilidad local de los materiales que lo componen. Como resultado, el hormigón armado se ha consolidado como un material predominante en el ámbito de la construcción.

2.1.1.3. Sistema de estructura aporricado

Según Barros Bastidas & Plazarte Peñafiel (2015), este sistema estructural es uno de los más estudiados debido a que es el más utilizado en diferentes países y también debido al desafío de proporcionarle ductilidad que le permita tener un comportamiento adecuado durante eventos sísmicos severos. El sistema de pórticos se conforma por losas, vigas, columnas y zapatas de hormigón armado o en su defecto de acero, estos elementos están conectados por nudos lo suficiente rígidos que permiten la transferencia de carga los cuales se detallan a continuación:

2.1.1.4. Cimentaciones

Araújo (2021) afirma que las cimentaciones son estructuras fundamentales en la construcción civil, diseñadas para transmitir las cargas de los edificios al suelo de manera segura. Por ello el diseño de estos elementos requiere tener conocimiento tanto en ingeniería estructural como en mecánica de suelos, ya que las propiedades del terreno varían y afectan la resistencia de la cimentación.

En la bibliografía de Braja M. Das(2011), explica que este elemento estructural se clasifica en cimentaciones superficiales que comprenden a zapatas aisladas, corridas o losas y en cimentaciones profundas que incluyen pilotes o micropilotes, los cuales son dimensionados con base en las propiedades del suelo donde estén asentados.

Además, cabe recalcar que en la mayoría de los edificios de mediana altura que están ubicados en suelos con propiedades portantes apropiadas, las mayorías de cimentaciones son superficiales debido a su capacidad de transmitir las cargas al suelo por presión bajo su base, sin rozamiento lateral de ningún tipo.

Para su debido diseño se necesita obtener la carga admisible del suelo mediante los principios de mecánica de suelos y de acuerdo con la normativa establecida.

2.1.1.5. Columnas

Una columna es un elemento estructural de forma vertical que soporta y transmite las cargas de los pisos superiores hasta la cimentación. Estas pueden ser hechas de diferentes materiales y su diseño depende de las especificaciones de la estructura. Según Nilson & Darwin(1997), estos elementos sostienen principalmente cargas a compresión y esfuerzos de flexión que produce tensión sobre una parte de su sección transversal.

Para su diseño se usa el método resistencia última y los diagramas de interacción los cuales son herramientas gráficas utilizadas para el diseño y análisis de columnas estructurales sometidas a cargas axiales y momentos flectores que afectan a una sección transversal en particular, de esta manera se define la carga y el momento de fallo (Muñoz Pérez, 2020).

2.1.1.6. Vigas

Las vigas son elementos estructurales horizontales que absorben las cargas de un determinado piso y las transmiten hacia las columnas. Según Nilson & Darwin(1997), este elemento se somete principalmente a esfuerzos de cortante y flexión provocados por las cargas actuante es por ello que su diseño se centra que sostener la resistencia última frente a este tipo de condiciones usando distintos criterios y fórmulas.

2.1.1.7. Losas

De igual manera Nilson & Darwin (1997) definen a las losas como una amplia placa plana, generalmente horizontal, cuyas superficies superior e

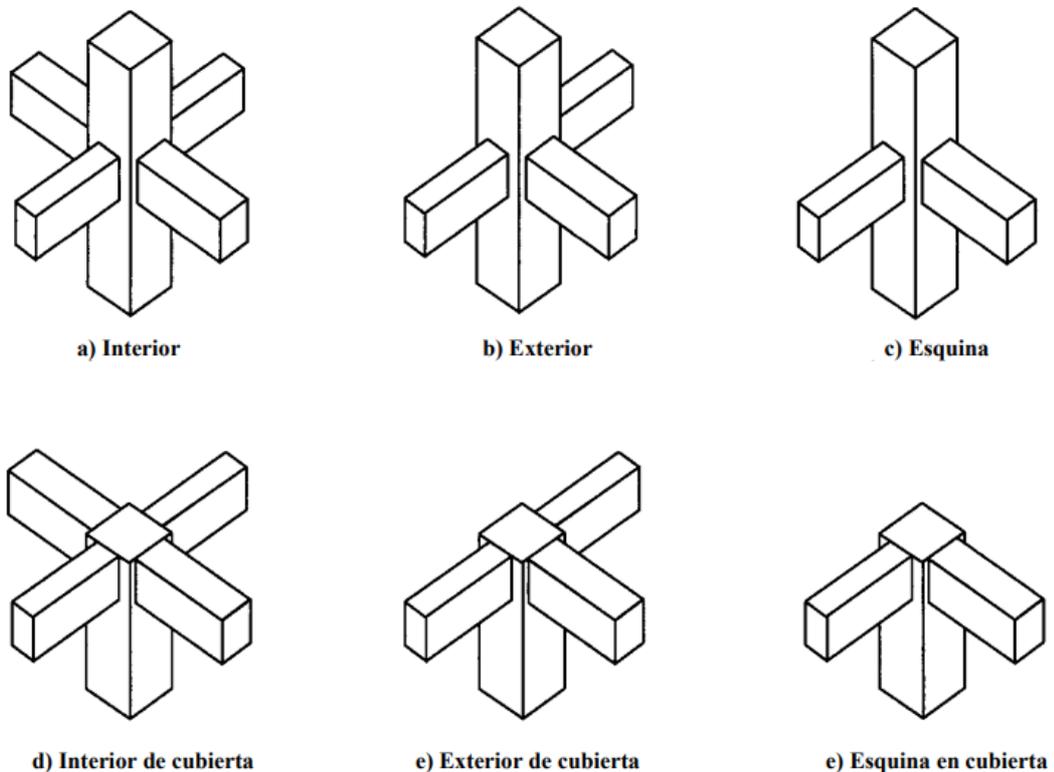
inferior son paralelas o casi paralelas entre sí. Se clasifican dependiendo del apoyo en los bordes, por la distribución junto con la dirección de las cargas, y por la constitución de la losa si está aligerada o maciza. Estas configuraciones afectan directamente al comportamiento y al soporte de las cargas, donde puede llegar a presentar esfuerzos de corte, flexión e incluso torsión.

2.1.1.8. *Conexión viga - columna*

Las uniones viga-columna son puntos clave en la estructura, ya que garantizan la continuidad del edificio y permiten la transmisión de fuerzas entre elementos. Su clasificación general en concreto reforzado se basa en la geometría plana de dichas conexiones.

Figura 1.

Conexiones típicas Vigas-Columnas.



Nota. Tomado de (ACI-ASCE 352, 2010)

Las uniones entre vigas y columnas son áreas con discontinuidades geométricas, donde ocurren cambios bruscos de tensiones y de transmisión de varias fuerzas provenientes de los elementos cercanos al nodo (Medina Torrez & Moscoso Wayar, 2022).

Nilson & Darwin (1997) “La mayor parte de las fallas en el concreto reforzado ocurren, no por deficiencias en el análisis de la estructura o en el diseño de los elementos, sino por la atención inadecuada que se le presta al despiece del refuerzo como los son las conexiones de los elementos estructurales principales”.

2.1.1.9. Cargas

Cuando se construye una determinada estructura, esta se ve afectada por distintas cargas que influyen en ella desde el principio dependiendo del diseño y el entorno en el que es construida tal estructura.

Cargas permanentes (Cargas muertas)

“Las cargas permanentes (o cargas muertas) están constituidas por los pesos de todos los elementos estructurales, tales como: muros, paredes, recubrimientos, instalaciones sanitarias, eléctricas, mecánicas, máquinas y todo artefacto integrado permanentemente a la estructura” NEC-SE-CG(2015).

Cargas Vivas

“Las sobrecargas que se utilicen en el cálculo dependen de la ocupación a la que está destinada la edificación y están conformadas por los pesos de personas, muebles, equipos y accesorios móviles o temporales, mercadería en transición, y otras” NEC-SE-CG(2015).

Carga sísmica

Según NEC-SE-DS (2015) que explica el peligro sísmico, explica que las cargas sísmicas son representadas por el símbolo “E” que representan los movimientos de la tierra, que tiene efectos laterales y verticales sobre la estructura.

2.1.1.10. Combinaciones de cargas

Las combinaciones de carga es un paso esencial para el diseño estructural, ya que se plantean como la suma de diferentes tipos de carga que actúan simultáneamente sobre la estructura. Se usan para garantizar la seguridad considerando cargas gravitacionales, sísmicas y factores de carga.

2.1.2.Sismicidad

2.1.2.1. Peligro sísmico

K. McGuire(2004) señala que el análisis del peligro sísmico busca medir las incertidumbres relacionadas con la ocurrencia de eventos sísmicos y combinarlas para generar descripción explícita de la distribución de las acudidas sísmicas en un sitio específico. Por esto se deben considerar todos los sismos posibles que puedan ocurrir en las fuentes sísmicas y el comportamiento del suelo resultante de cada uno de ellos.

2.1.2.2. Cortante basal

Se define como la “Fuerza total de diseño por cargas laterales, aplicada en la base de la estructura, resultado de la acción del sismo de diseño con o sin reducción, de acuerdo con las especificaciones de la presente norma” NEC-SE-DS(2015)

Según el mismo capítulo de peligro sísmico de la norma ecuatoriana, para determinar el cortante basal “V” se usa la siguiente expresión en función de los siguientes parámetros:

$$V = \frac{I S_a(T_a)}{R \phi_P \phi_E} w \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

V: Cortante basal de diseño.

I: Coeficiente de importancia.

S_a: Espectro de diseño en aceleración.

T_a: Periodo de vibración.

R: Factor de reducción de resistencia sísmica.

φ_P: Coeficiente de configuración en planta.

φ_E: Coeficientes de configuración en elevación.

w: Carga sísmica reactiva.

2.1.2.3. Factor de importancia

Según NEC-SE-DS(2015) “El propósito del factor I es incrementar la demanda sísmica de diseño para estructuras, que por sus características de utilización o de importancia deben permanecer operativas o sufrir menores daños durante y después de la ocurrencia del sismo de diseño.”

De igual manera la norma específica que se debe tomar este factor sobre la base de la clasificación que se muestra en la tabla 1.

Tabla 1.

Factores de importancia de acuerdo con el uso de la estructura.

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Coef. I
Edificaciones esenciales	Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que	1.5

	atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente	1.3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1

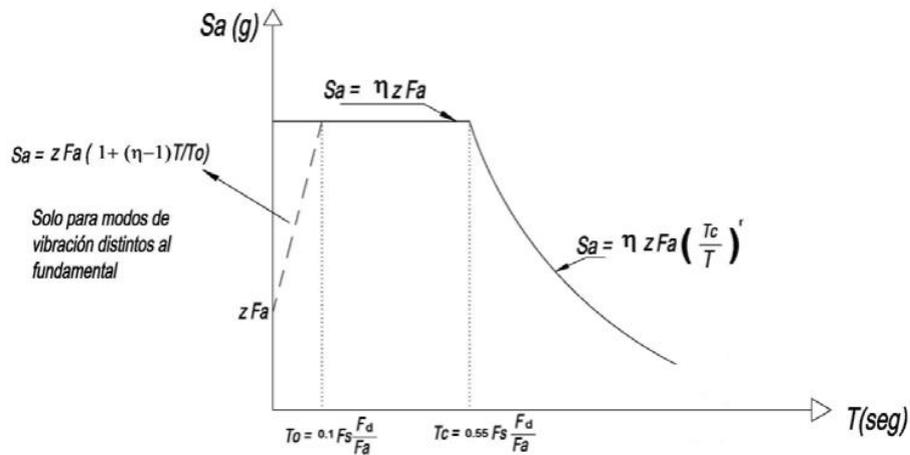
Nota. Tomado de norma NEC-SE-DS(2015)

2.1.2.4. Espectro de diseño

“El espectro de diseño puede representarse mediante un espectro de respuesta basado en las condiciones geológicas, tectónicas, sismológicas y del tipo de suelo asociadas con el sitio de emplazamiento de la estructura”. Además, la NEC-SE-DS (2015) añade que “Es un espectro de tipo elástico para una fracción de amortiguamiento respecto al crítico del 5%, utilizado con fines de diseño para representar los efectos dinámicos del sismo de diseño” NEC-SE-DS(2015).

Figura 2.

Espectro sísmico elástico de aceleraciones.



Nota. Tomado de norma NEC-SE-DS(2015)

Donde:

η : Razón entre la aceleración espectral S_a ($T = 0.1$ s) y el PGA para el período de retorno seleccionado.

F_a : Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período cortó. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de aceleraciones para diseño en roca, considerando los efectos de sitio.

F_d : Coeficiente de amplificación de suelo. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, considerando los efectos de sitio.

F_s : Coeficiente de amplificación de suelo. Considera el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del período del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos.

S_a : Espectro de respuesta elástico de aceleraciones (expresado como fracción de la aceleración de la gravedad g). Depende del período o modo de vibración de la estructura.

T : Período fundamental de vibración de la estructura.

T_0 : Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.

T_c : Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.

Z : Aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad g .

Este espectro según definición de NEC-SE-DS(2015) corresponde a una fracción de amortiguamiento respecto al crítico de 5% y se calcula utilizando las siguientes ecuaciones, válidas para períodos de vibración estructural T pertenecientes a 2 rangos:

$$S_a = \eta Z F_a \quad \text{para } 0 \leq T \leq T_c \quad \text{Ec. 2}$$

$$S_a = \eta Z F_a \left(\frac{T_c}{T}\right)^r \quad \text{para } T > T_c \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

r : Factor usado en el espectro de diseño elástico, cuyos valores dependen de la ubicación geográfica del proyecto

$r = 1$ para todos los suelos, con excepción del suelo tipo E.

$r = 1.5$ para tipo de suelo E.

Los límites para el período de vibración T_c y T_L se obtienen de las siguientes expresiones:

$$T_c = 0.55 F_s \frac{F_d}{F_a} \quad \text{Ec. 4}$$

$$T_L = 2.4 F_d \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

TL: Es el período límite de vibración utilizado para la definición de espectro de respuesta en desplazamientos.

2.1.2.5. Valores de relación de amplificación espectral

De igual manera NEC-SE-DS(2015) establece que los análisis de las ordenadas de los espectros de peligro uniforme en roca para el 10% de probabilidad de excedencia en 50 años (período de retorno 475 años), que se obtienen a partir de los valores de aceleraciones espectrales proporcionados por las curvas de peligro sísmico, y normalizándolos para la aceleración máxima en el terreno Z , se definieron los valores de la relación de amplificación espectral, η (S_a/Z , en roca), que varían dependiendo de la región del Ecuador, adoptando los siguientes valores:

$\eta = 1.80$: Provincias de la Costa (excepto Esmeraldas).

$\eta = 2.48$: Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos.

$\eta = 2.60$: Provincias del Oriente.

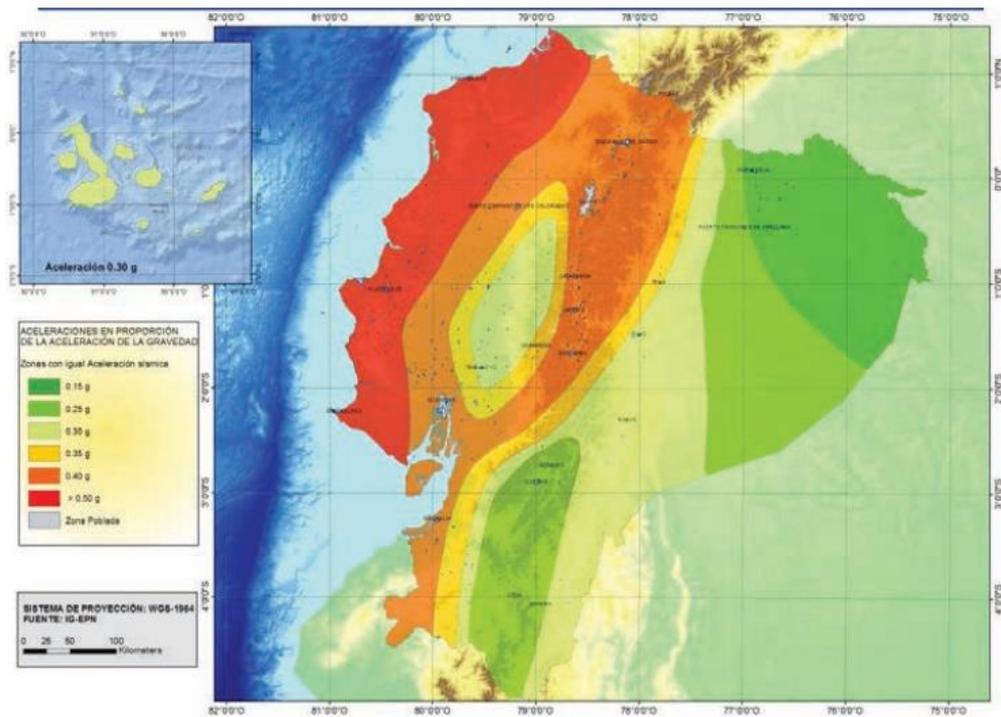
2.1.2.6. Zonificación sísmica y factor de zona Z

“El valor Z para edificios de uso normal, representa la aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad. representa la aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad.” NEC-SE-DS(2015).

El valor del factor de zona Z depende del sitio donde se construirá la estructura, de acuerdo con el siguiente mapa.

Figura 3.

Mapa de zonificación sísmica.



Nota. Tomado de norma NEC-SE-DS(2015).

La misma norma especifica que el mapa de zonificación sísmica para diseño proviene del resultado del estudio de peligro sísmico para un 10% de excedencia en 50 años (período de retorno 475 años), que incluye una saturación a 0.50 g de los valores de aceleración sísmica en roca en el litoral ecuatoriano que caracteriza la zona VI.

Tabla 2.

Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada.

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

Nota. Tomado de NEC-SE-DS(2015).

2.1.2.7. Tipos de perfiles de suelos para el diseño sísmico

NEC-SE-DS(2015) define seis tipos de suelos que se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 3.

Clasificación de los perfiles de suelo.

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > V_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante.	$760 \text{ m/s} > V_s \geq 360$ m/s
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios.	$N \geq 50$ $S_u \geq 100$ KPa
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante	$360 \text{ m/s} > V_s \geq 180$ m/s
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15$ $100 > S_u \geq 50$ KPa
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante.	$V_s < 180$ m/s
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas.	$IP > 20$ $\omega \geq 40\%$ $S_u < 50$ KPa
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista. Se contemplan las siguientes subclases:	
	F1: Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.	
	F2: Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).	
	F3: Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con índice de Plasticidad $IP > 75$)	
	F4: Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 30m)	
	F5: Suelos con contrastes de impedancia α ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte.	
F6: Rellenos colocados sin control ingenieril.		

Nota. Tomado de NEC-SE-DS(2015).

2.1.2.8. Coeficientes de perfiles de suelo F_a , F_d y F_s

a) Coeficiente F_a

Es aquel que amplifica las ordenadas del espectro de respuesta elástico de aceleraciones para diseño en roca, tomando en cuenta los efectos de sitio.

Su clasificación se puede observar a continuación:

Tabla 4.

Tipo de suelo y Factores de sitio F_a .

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
Factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
A	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
B	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
C	1.40	1.30	1.25	1.23	1.20	1.18
D	1.60	1.40	1.30	1.25	1.20	1.12
E	1.80	1.40	1.25	1.10	1.00	0.85
F	Véase Tabla 3 : Clasificación de los perfiles de suelo y la sección 10.5.4 de NEC-SE-DS					

Nota. Tomado de NEC-SE-DS(2015).

b) Coeficiente F_d

Es aquel que amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, considerando los efectos de sitio.

Tabla 5.

Tipo de suelo y Factores de sitio F_d .

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
Factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
A	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
B	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
C	1.36	1.28	1.19	1.15	1.11	1.06
D	1.62	1.45	1.36	1.28	1.19	1.11

E	2.10	1.75	1.70	1.65	1.60	1.50
F	Véase Tabla 3: Clasificación de los perfiles de suelo y la sección 10.6.4 de NEC-SE-DS					

Nota. Tomado de NEC-SE-DS(2015).

c) Coeficiente F_s

Es aquel que considera el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del período del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos.

Tabla 6.

Criterio de Cuellar basado en la expansión.

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
Factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C	0.85	0.94	1.02	1.06	1.11	1.23
D	1.02	1.06	1.11	1.19	1.28	1.40
E	1.50	1.60	1.70	1.80	1.90	2.00
F	Véase Tabla 3: Clasificación de los perfiles de suelo y la sección 10.6.4 de NEC-SE-DS					

Nota. Tomado de NEC-SE-DS(2015).

d) Factor R

Según NEC-SE-DS(2015) “El factor R permite una reducción de las fuerzas sísmicas de diseño, lo cual es permitido siempre que las estructuras y sus conexiones se diseñen para desarrollar un mecanismo de falla previsible y con adecuada ductilidad”. Su clasificación se observa en la siguiente tabla:

Tabla 7.*Coeficiente R para sistemas estructurales dúctiles.*

Sistemas Estructurales Dúctiles	R
Sistemas Duales	
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas y con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras (sistemas duales).	8
Pórticos especiales sismo resistentes de acero laminado en caliente, sea con diagonales rigidizadoras (excéntricas o concéntricas) o con muros estructurales de hormigón armado.	8

*Nota. Tomado de NEC-SE-DS(2015).***Tabla 8.***Coeficiente R para sistemas estructurales dúctiles.*

Sistemas Estructurales Dúctiles	R
Sistemas Duales	
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente con diagonales rigidizadoras (excéntricas o concéntricas).	8
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas banda, con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras.	7
Pórticos resistentes a momentos	
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas.	8
Pórticos especiales sismo resistentes, de acero laminado en caliente o con elementos armados de placas	8
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente.	8
Otros sistemas estructurales para edificaciones	
Sistemas de muros estructurales dúctiles de hormigón armado.	5
Pórticos especiales sismo resistentes de hormigón armado con vigas banda.	5

*Nota. Tomado de NEC-SE-DS(2015).***Tabla 9***Coeficiente R para sistemas estructurales de ductilidad limitada.*

Sistemas Estructurales de Ductilidad Limitada	R
Pórticos resistentes a momento	
Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la NEC-SE-HM, limitados a viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 metros.	3

Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la NEC-SE-HM con armadura electrosoldada de alta resistencia 2.5

Estructuras de acero conformado en frío, aluminio, madera, limitados a 2 pisos. 2.5

Muros estructurales portantes

Mampostería no reforzada, limitada a un piso.	1
Mampostería reforzada, limitada a 2 pisos.	3
Mampostería confinada, limitada a 2 pisos.	3
Muros de hormigón armado, limitados a 4 pisos.	3

Nota. Tomado de NEC-SE-DS(2015).

e) Periodo de vibración T

NEC-SE-DS (2015) señala que el período de vibración aproximativo de la estructura T, puede determinarse de manera aproximada mediante la expresión:

$$T = C_t h_n^\alpha \quad \text{Ec. 6}$$

Donde:

T: Período de vibración.

C_t: Coeficiente que depende del tipo de edificio.

h_n: Altura máxima de la edificación de n pisos, medida desde la base de la estructura, en metros.

Tabla 10

Gravedad específica de los minerales más conocidos

Tipo de estructura	C _t	α
Estructuras de acero		
Sin arriostramientos.	0.072	0.80
Con arriostramientos.	0.073	0.75
Pórticos especiales de hormigón armado		
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras.	0.055	0.90
Con muros estructurales o diagonales rigidizadoras y para otras estructuras basadas en muros estructurales y mampostería estructural.	0.055	0.75

Nota. Tomado de NEC-SE-DS(2015).

2.1.2.9. Regularidad y configuración estructural

(Prados et al., 2021) señala que la regularidad y configuración estructural son aspectos cruciales en el diseño arquitectónico y la ingeniería sísmica. Estructuras regulares muestran mejor desempeño sísmico y requieren menos material, lo que las hace más sostenibles.

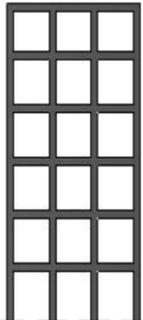
Por lo que NEC-SE-DS muestra las configuraciones no recomendadas y por lo cual se deben considerar al momento de analizar la estructura.

a) Configuraciones a privilegiar

“Diseñadores arquitectónicos y estructurales procurarán que la configuración de la estructura sea simple y regular para lograr un adecuado desempeño sísmico” NEC-SE-DS(2015)

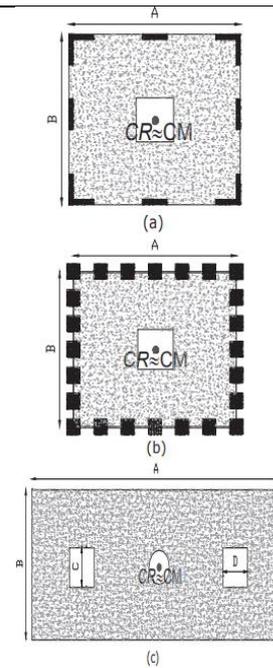
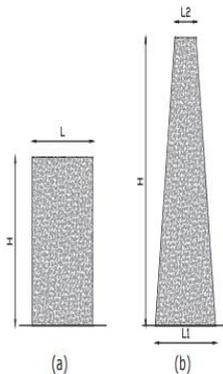
Tabla 11

Configuraciones estructurales recomendadas.

Configuración en elevación $\phi_{Ei}=1$	Configuración en planta $\phi_{Pi}=1$	
<p>La altura de entepiso y la configuración vertical de sistemas aporticados, es constante en todos los niveles.</p> <p style="text-align: center;">$\phi_{Ei}=1$</p>		<p>La configuración en planta ideal en un sistema estructural es cuando el Centro de Rigidez es semejante al Centro de Masa. $\phi_{Pi}=1$</p>

La dimensión del muro permanece constante a lo largo de su altura o varía de forma proporcional.

$$\phi_{Ei}=1$$



Nota. Tomado de NEC-SE-DS(2015).

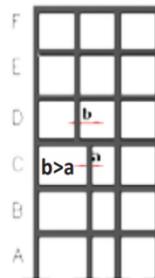
b) Configuraciones más complejas

“Cambios abruptos de rigidez y resistencia deben evitarse con el fin de impedir acumulación de daño en algunos componentes en desmedro de la ductilidad global del sistema y, por lo tanto, no se recomiendan”. NEC-SE-DS(2015)

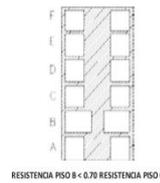
Tabla 12

Configuraciones estructurales no recomendadas

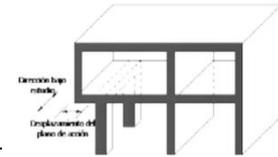
Irregularidades en elevación	Irregularidades en planta
Ejes verticales discontinuos o muros soportados por columnas. La estructura se considera irregular no recomendada cuando existen desplazamientos en el alineamiento de elementos verticales del sistema resistente, dentro del mismo plano en el que se encuentran, y estos desplazamientos son mayores que la dimensión horizontal del elemento.	Desplazamiento de los planos de acción de elementos vertical. Una estructura se considera irregular no recomendada cuando existen discontinuidades en los ejes verticales,



Piso débil-Discontinuidad en la resistencia. La estructura se considera irregular no recomendada cuando la resistencia del piso es menor que el 70% de la resistencia del piso inmediatamente superior, (entendiéndose por resistencia del piso la suma de las resistencias de todos los elementos que comparten el cortante del piso para la dirección considerada)



tales como desplazamientos del plano de acción de elementos verticales del sistema resistente.



Columna corta Se debe evitar la presencia de columnas cortas, tanto en el diseño como en la construcción de las estructuras.



Nota. Tomado de NEC-SE-DS(2015).

c) Regularidad en planta y elevación

Según NEC-SE-DS (2015) una estructura se considera como regular en planta y en elevación, cuando no presenta ninguna de las condiciones de irregularidad descritas en la Tabla 12 y Tabla 13.

d) Irregularidades y coeficientes de configuración estructural

“En caso de estructuras irregulares, tanto en planta como en elevación, se usarán los coeficientes de configuración estructural, que “penalizan” al diseño con fines de tomar en cuenta dichas irregularidades, responsables de un comportamiento estructural deficiente ante la ocurrencia de un sismo.”
NEC-SE-DS (2015)

Tabla 13

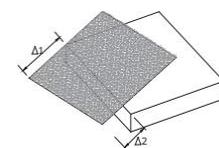
Coefficientes de irregularidad en planta.

Irregularidad torsional

$$\phi_{Pi}=0.9$$

$$\Delta > 1.2 \frac{(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$$

Existe irregularidad por torsión, cuando la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura calculada incluyendo la torsión



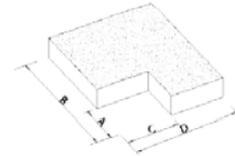
accidental y medida perpendicularmente a un eje determinado, es mayor que 1,2 veces la deriva promedio de los extremos de la estructura con respecto al mismo eje de referencia. La torsión accidental se define en el numeral 6.4.2 del presente código.

Retrocesos excesivos en las esquinas

$$\phi_{Pi}=0.9$$

$$A>0.15B \text{ y } C>0.15D$$

La configuración de una estructura se considera irregular cuando presenta entrantes excesivos en sus esquinas. Un entrante en una esquina se considera excesivo cuando las proyecciones de la estructura, a ambos lados del entrante, son mayores que el 15% de la dimensión de la planta de la estructura en la dirección del entrante.



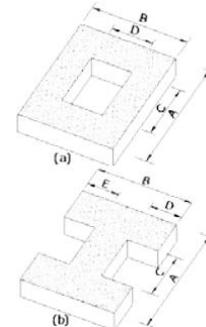
Discontinuidades en el sistema de piso

$$\phi_{Pi}=0.9$$

a) $CxD>0.5AxB$

b) $[CxD+CxE]>0.5AxB$

La configuración de la estructura se considera irregular cuando el sistema de piso tiene discontinuidades apreciables o variaciones significativas en su rigidez, incluyendo las causadas por aberturas, entrantes o huecos, con áreas mayores al 50% del área total del piso o con cambios en la rigidez en el plano del sistema de piso de más del 50% entre niveles consecutivos.



Ejes estructurales no paralelos

$$\phi_{Pi}=0.9$$

La estructura se considera irregular cuando los ejes estructurales no son paralelos o simétricos con respecto a los ejes ortogonales principales de la estructura.



Nota. Tomado de NEC-SE-DS(2015).

Tabla 14

Coefficientes de irregularidad en elevación

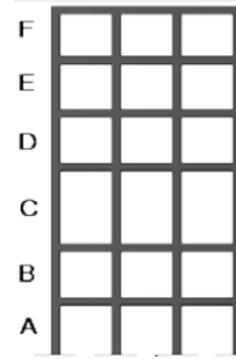
Piso flexible

$$\phi_{Ei}=0.9$$

Rigidez $K_C < 0.70$ Rigidez K_D

$$Rigidez < 0.80 \frac{(K_D + K_E + K_F)}{3}$$

La estructura se considera irregular cuando la rigidez lateral de un piso es menor que el 70% de la rigidez lateral del piso superior o menor que el 80 % del promedio de la rigidez lateral de los tres pisos superiores.

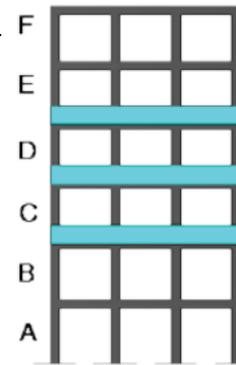


Distribución de masa

$$\phi_{Ei}=0.9$$

$$m_D > 1.50m_E \text{ ó } m_D > 1.50m_C$$

La estructura se considera irregular cuando la masa de cualquier piso es mayor que 1,5 veces la masa de uno de los pisos adyacentes, con excepción del piso de cubierta que sea más liviano que el piso inferior.

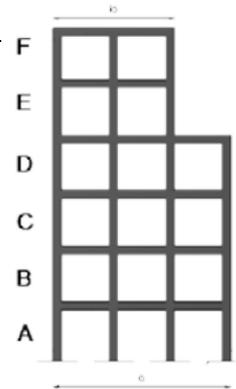


Irregularidad geométrica

$$\phi_{Ei}=0.9$$

$$a > 1.3b$$

La estructura se considera irregular cuando la dimensión en planta del sistema resistente en cualquier piso es mayor que 1,3 veces la misma dimensión en un piso adyacente, exceptuando el caso de los altillos de un solo piso.



Nota. Tomado de NEC-SE-DS(2015).

e) Coeficiente de regularidad en planta ϕ_P

El coeficiente ϕ_P se estimará a partir del análisis de las características de regularidad e irregularidad en las plantas en la estructura NEC-SE-DS(2015), descritas en la tabla 13. Se utilizará la expresión:

$$\phi_p = \phi_{PA} * \phi_{PB}$$

Ec. 7

Donde:

\emptyset_P : Coeficiente de regularidad en planta.

\emptyset_{PA} : Mínimo valor \emptyset_{Pi} de cada piso i de la estructura en el caso de irregularidades tipo 1, 2 y/o 3.

\emptyset_{PB} : Mínimo valor \emptyset_{Pi} de cada piso i de la estructura en el caso de irregularidades tipo 4.

\emptyset_{Pi} : Coeficiente de configuración en planta.

f) Coeficiente de regularidad en elevación \emptyset_E

El coeficiente \emptyset_E se estimará a partir del análisis de las características de regularidad e irregularidad en elevación de la estructura NEC-SE-DS(2015), descritas en la Tabla 14. Se utilizará la expresión:

$$\emptyset_E = \emptyset_{EA} * \emptyset_{EB} \quad \text{Ec. 8}$$

Donde:

\emptyset_E : Coeficiente de regularidad en elevación.

\emptyset_{EA} : Mínimo valor \emptyset_{Ei} de cada piso i de la estructura, en el caso de irregularidades tipo 1; \emptyset_{Ei} en cada piso se calcula como el mínimo valor expresado por la tabla para la irregularidad tipo 1.

\emptyset_{EB} : Mínimo valor \emptyset_{Ei} de cada piso i de la estructura, en el caso de irregularidades tipo 1; \emptyset_{Ei} en cada piso se calcula como el mínimo valor expresado por la tabla para la irregularidad tipo 2 y/o 3.

\emptyset_{Ei} : Coeficiente de configuración en elevación.

2.1.2.10. Derivas de piso

Los cálculos de las derivas de piso se han utilizado como principios de ingeniería para optimizar el desempeño estructural en todo tipo de construcciones, tanto en aspectos estructurales como no estructurales. a las condiciones cambiantes que impone la naturaleza(Andrade Insúa, 2004).

“Desplazamiento lateral relativo de un piso - en particular por la acción de una fuerza horizontal - con respecto al piso consecutivo, medido en dos puntos ubicados en la misma línea vertical de la estructura” NEC-SE-DS(2015).

Tabla 15

Valores de Δ_M máximos, expresados como fracción de la altura de piso

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

Nota. Tomado de NEC-SE-DS(2015).

Límites de la deriva: la deriva máxima inelástica Δ_M de cada piso debe calcularse mediante:

$$\Delta_M = 0.75R\Delta_E \quad \text{Ec. 9}$$

Donde:

Δ_M : Deriva máxima inelástica.

Δ_E : Desplazamiento obtenido en aplicación de las fuerzas laterales de diseño reducidas.

R : Factor de reducción de resistencia.

2.1.2.11. Torsión

La torsión en los edificios es un problema crítico en el diseño sísmico, causado por asimetría o excentricidad accidental. La torsión accidental debido a la excitación rotacional de la base puede aumentar los desplazamientos, especialmente en sistemas de período corto y torsionalmente flexibles (De La Llera & Chopra, 1994).

NEC-SE-DS(2015) señala que “El momento torsional de diseño en un piso determinado debe calcularse como el momento resultante de las excentricidades

entre las cargas laterales de diseño en los pisos superiores al piso considerado y los elementos resistentes a cargas laterales en el piso”

Los efectos deben ser considerados incrementando la torsión accidental en cada nivel mediante un factor de amplificación torsional A_x , calculado con la expresión:

$$A_x = \left(\frac{\delta_{max}}{1.2\delta_{prom}} \right)^2 \quad \text{Ec. 10}$$

Donde:

A_x : Factor de amplificación torsional.

δ_{prom} : Promedio de desplazamientos de los puntos extremos de la estructura en el nivel x.

δ_{max} : Valor del desplazamiento máximo en el nivel x.

2.1.2.12. Efectos de segundo orden P-Δ e índice de estabilidad

“Los efectos P-Δ corresponden a los efectos adicionales, en las dos direcciones principales de la estructura, causados por efectos de segundo orden que producen un incremento en las fuerzas internas, momentos y derivas de la estructura” NEC-SE-DS(2015).

Los efectos P-Δ pueden reducir la capacidad de una estructura para resistir fuerzas sísmicas y pueden conducir a la inestabilidad. Aumentar la resistencia o la rigidez por sí solo puede no garantizar la estabilidad si la rigidez posterior al rendimiento se vuelve negativa debido a los efectos P-Δ(Humar et al., 2006).

El índice de estabilidad Q_i , para el piso i y en la dirección bajo estudio, puede calcularse por medio de la ecuación:

$$Q_i = \frac{P_i \Delta_i}{V_i h_i} \quad \text{Ec. 11}$$

Donde:

Q_i : Índice de estabilidad del piso i , es la relación entre el momento de segundo orden y el momento de primer orden.

P_i : Suma de la carga vertical total sin mayorar, incluyendo el peso muerto y la sobrecarga por carga viva, del piso i y de todos los pisos localizados sobre el piso i .

Δ_i : Deriva del piso i calculada en el centro de masas del piso.

V_i : Cortante sísmico del piso i .

h_i : Altura del piso i considerado.

“Los efectos P- Δ no necesitan ser considerados cuando el índice de estabilidad $Q_i < 0.1$. Los efectos P- Δ no necesitan ser considerados cuando el índice de estabilidad $Q_i < Q_i < 0.3$ ” NEC-SE-DS(2015).

$$f_{P-\Delta} = \frac{1}{1-Q_i} \quad \text{Ec. 12}$$

Donde:

Q_i : Índice de estabilidad del piso i , es la relación entre el momento de segundo orden y el momento de primer orden.

$f_{P-\Delta}$: Factor de mayoración.

2.2. MARCO NORMATIVO

Las normas o códigos establecen requisitos mínimos para garantizar la seguridad y estabilidad de las estructuras, lo que es fundamental para proteger la vida de los ocupantes y la integridad de la edificación. En el caso de este trabajo de titulación, los principios fundamentales que se aplican a la realización de esta investigación es la norma ecuatoriana de la construcción (NEC-2015)

2.2.1. Norma Ecuatoriana De La Construcción NEC-2015

La Norma Ecuatoriana de Edificación 2015 (NEC-15) establece un conjunto de reglas que deben ser seguidas rigurosamente en cualquier proyecto de construcción. Estas reglas definen los requisitos mínimos de seguridad y calidad que deben cumplirse en las edificaciones, abarcando todas las etapas del proceso, desde el inicio de la obra hasta su finalización.

Dichas normas detallan los parámetros, objetivos y procedimientos. Se clasifican en 3 ejes principales:

- Seguridad Estructural (NEC-SE)
- Habitabilidad y Salud (NEC-HS)
- Servicios Básicos (NEC-SB)

2.2.2. Cargas no sísmicas (NEC-SE-CG)

La NEC-SE-CG(2015) trata de “Las cargas permanentes (principalmente debidas al peso propio), de las cargas variables (cargas vivas y cargas climáticas) y de sus combinaciones”.

2.2.2.1. Símbolos y notación

Tal como se detalla en la sección 1.3 de la NEC-SE-CG (2015), los siguientes símbolos que se redactan a continuación son como se representan cada una de las cargas que serán utilizadas en las combinaciones.

Tabla 16

símbolos que representan a las cargas.

Símbolo	Descripción
D	Carga permanente, Carga muerta (Peso Propio)
L	Sobrecarga (carga viva)
E	Carga de sismo
Lr	Sobrecarga cubierta (carga viva)

S	Carga de granizo
W	Carga de viento

Nota. Tomado de (NEC-SE-CG, 2015).

2.2.2.2. Carga Muerta: Peso de los materiales

En la siguiente tabla se muestran algunos pesos de los materiales utilizados para el cálculo de la carga muerta total para este diseño.

Tabla 17

Pesos unitarios de materiales de construcción.

Material	Peso Unitario KN/m ³
Hormigón simple	22.0
Hormigón armado	24.0
Bloque hueco de hormigón	12.0
Acero	78.5
Aluminio	27.0
Baldosa de cerámica, con mortero de cemento: por cada cm, de espesor	0.20
Contrapiso de hormigón simple, por cada cm, de espesor	0.22
Cielorraso de yeso sobre listones de madera	0.20
Cielorraso de mortero de cemento compuesto de cal y arena	0.55

Nota. Tomado de (NEC-SE-CG, 2015).

2.2.2.3. Carga viva

En la siguiente tabla se muestran las sobrecargas utilizadas para el cálculo de la carga muerta total para este diseño.

Tabla 18

Sobrecargas mínimas uniformemente distribuidas.

Ocupación o Uso	Carga uniforme kN/m ²
Unidades educativas	

Aulas	2.00
Corredores segundo piso y superior	4.00
Corredores primer piso	4.80
Cubiertas	
Cubiertas planas, inclinadas y curvas	0.70
Cubiertas destinadas para áreas de paseo	3.00

Nota. Tomado de (NEC-SE-CG, 2015).

2.2.2.4. *Combinación para el diseño por última resistencia*

Cada estructura y sus componentes deben estar diseñados para proporcionar una resistencia de diseño igual o mayor que la de la carga incrementada.

Tabla 19

Combinación para el diseño por última resistencia

Combinación 1	Combinación 5
1.4D	1.2D+1.0E+L+0.2S
Combinación 2	Combinación 6
1.2D+1.6L+0.5máx [Lr; S; R]	0.9D+1.0W
Combinación 3	Combinación 7
1.2D+1.6Lmáx [Lr; S; R]+máx [L;0.5W]	0.9D+1.0E
Combinación 4	
1.2D+1.0W+L+0.5máx [Lr; S; R]	

Nota. Tomado de (NEC-SE-CG, 2015).

2.2.3. *Geotecnia y Cimentaciones (NEC-SE-GC)*

“El estudio geotécnico Actividades que comprenden el reconocimiento de campo, la investigación del subsuelo, los análisis y recomendaciones de ingeniería necesarios para el diseño y construcción de las obras en contacto con el suelo” NEC-SE-GC (2015).

La función principal de la cimentación o subestructura es la transferencia adecuada al subsuelo de: i) Las cargas vivas y muertas de las edificaciones, ii) Las

cargas sísmicas sostenidas por el edificio y iii) Las cargas sísmicas impartidas del propio suelo.

NEC-SE-GC(2015) indica que “La cimentación o subestructura debe ubicarse y desplantarse sobre materiales que dispongan de características geomecánicas suficientes para garantizar”: i) La resistencia al corte, ii) Un idóneo desempeño de la estructura para los asentamientos generados en el subsuelo y iii) Que la resistencia se mantenga por debajo de los estados límite de falla (capacidad de carga) y de servicio (asentamientos) en los diseños de cimentaciones.

El capítulo de la norma clasifica a las cimentaciones por medio de las siguientes ecuaciones:

$$\frac{Df}{B} \leq 4 = \text{cimentación superficial} \quad \text{Ec. 13}$$

$$\frac{Df}{B} > 4 = \text{cimentación profunda} \quad \text{Ec. 14}$$

Donde:

D_f: Profundidad de desplante.

B: Ancho de la cimentación.

El tipo de cimentación será elegido en base a: i) Un análisis que contemple la naturaleza de la edificación y las cargas a transmitir, ii) Las condiciones del suelo o roca basados en parámetros obtenidos de ensayos de campo y laboratorio, iii) Las teorías para emplearse en la determinación de la capacidad admisible y iv) Los costos que representen cada una de las alternativas estudiadas.

2.2.4. Estructuras de hormigón armado (NEC-SE-HM)

NEC-SE-HM(2015) manifiesta que “En el diseño de hormigón estructural, los elementos deben diseñarse para que tengan una resistencia adecuada, de acuerdo

con las disposiciones la norma, utilizando los factores de carga y los factores de reducción de resistencia ϕ especificados en cada sección”.

2.2.4.1. Requisitos de resistencia

“La resistencia de diseño proporcionada por un elemento, sus conexiones con otros elementos, así como sus secciones transversales, en términos de flexión, carga axial, cortante y torsión, deben tomarse como la resistencia nominal calculada, multiplicada por los factores ϕ de reducción.”(NEC-SE-HM, 2015)

Estos requisitos de resistencia se pueden obtener mediante las siguientes expresiones que obedecen al criterio de: Resistencia de diseño \geq Resistencia requerida

$$\phi P_n \geq P_u \quad \text{Ec. 15}$$

$$\phi M_n \geq M_u \quad \text{Ec. 16}$$

$$\phi V_n \geq V_u \quad \text{Ec. 17}$$

Donde:

P_u : Resistencia a carga axial requerida.

M_u : Resistencia a momento requerida.

V_u : Resistencia a cortante requerida.

2.2.4.2. Resistencia a la compresión

Según NEC-SE-HM (2015) Se usarán los siguientes valores de resistencia a la compresión:

Tabla 20*Valores de $f'c$.*

Rango	$f'c$ (MPa)
Mínimo	21
Máximo	35

2.2.4.3. Factores de reducción de resistencia

En la tabla 21 se describen los factores de reducción de resistencia según NEC-SE-HM(2015)

Tabla 21*Factores de reducción de resistencia.*

Solicitaciones	Factores de reducción de resistencia ϕ
Secciones controladas por tracción	0.90
Tracción axial	0.90
Secciones controladas por compresión	
Elementos con refuerzo transversal en espiral	0.75
Otros elementos reforzados	0.65
Cortante y torsión	0.75
Aplastamiento	0.65

*Nota. Tomado de (NEC-SE-HM, 2015)***2.2.4.4. Diámetros del acero de refuerzo**

Según NEC-SE-HM(2015) el refuerzo empleado en la construcción de estructuras de hormigón armado debe tener un diámetro nominal (db) comprendido dentro de los valores expresados en la siguiente tabla:

Tabla 22*Diámetros mínimos y máximos de las varillas de refuerzo.*

Tipo	Diámetro mínimo de barra, db	Diámetro máximo de barra, db
Barras corrugadas	8 mm	36 mm
Alambre de mallas	4 mm	10 mm
Estribos	10 mm	16 mm

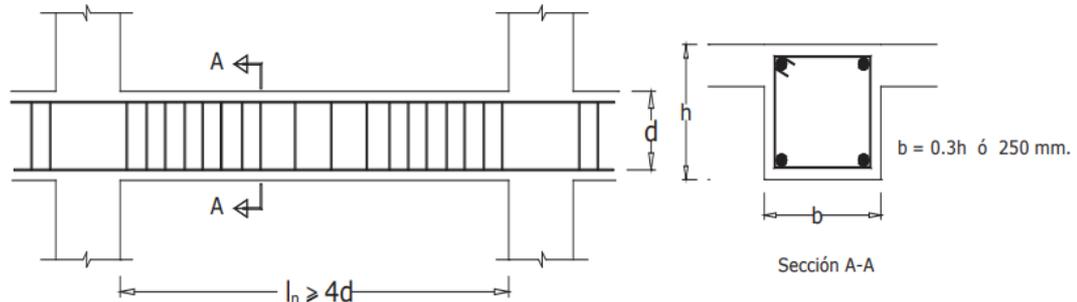
Nota. Tomado de (NEC-SE-HM, 2015)

2.2.4.5. Requisitos para elementos a flexión

NEC-SH-HM(2015) indica que las vigas y otros elementos estructurales de pórticos en flexión deberán cumplir con los siguientes requisitos: i) Ser parte de sistemas resistentes a cargas sísmicas, ii) Resistir esas fuerzas fundamentalmente por flexión, iii) Las fuerzas axiales mayoradas de compresión del elemento, P_u , no exceden $0.10 f_c A_g$ en ninguna combinación de cargas en que participen las cargas sísmicas, iv) La luz libre sea mayor que cuatro veces la altura útil de la sección transversal, v) El ancho mínimo b sea 250 mm, vi) El peralte mínimo cumpla con los requisitos de ACI 318 sección 9.5.

Figura 4.

Características de los elementos a flexión.



Nota. Tomado de (NEC-SE-HM, 2015)

De igual manera NEC-SE-HM(2015) señala que el ϕV_n de vigas y columnas que resisten efectos sísmicos, E, no debe ser menor que: i) La suma del cortante asociado con el desarrollo de los momentos nominales del elemento en cada extremo restringido de la luz libre y el cortante calculado para cargas gravitacionales mayoradas y ii) El cortante máximo obtenido de las combinaciones de carga de diseño que incluyan E.

a) Refuerzo longitudinal mínimo en elementos sometidos a flexión. -

En toda sección de un elemento sometido a flexión cuando por análisis

se requiera refuerzo de tensión, el A_s proporcionado no debe ser menor que:

$$A_s \geq \max \left[\frac{1.4}{f_y} b_w d ; A_{s,min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4f_y} b_w d \right] \quad \text{Ec. 18}$$

Donde:

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

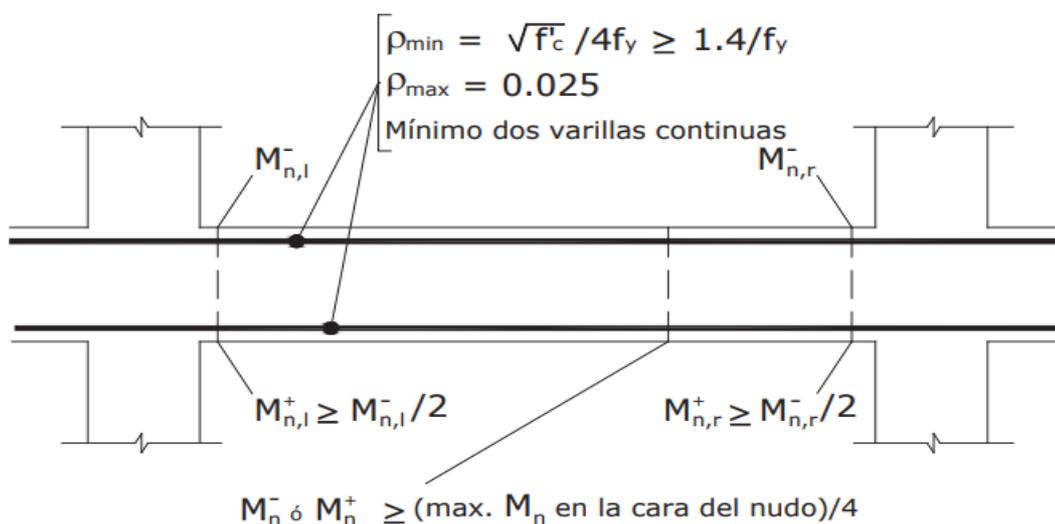
b_w : Ancho del alma o diámetro de la sección circular (mm).

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

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

Figura 5.

Requisitos del refuerzo longitudinal en elementos a flexión.

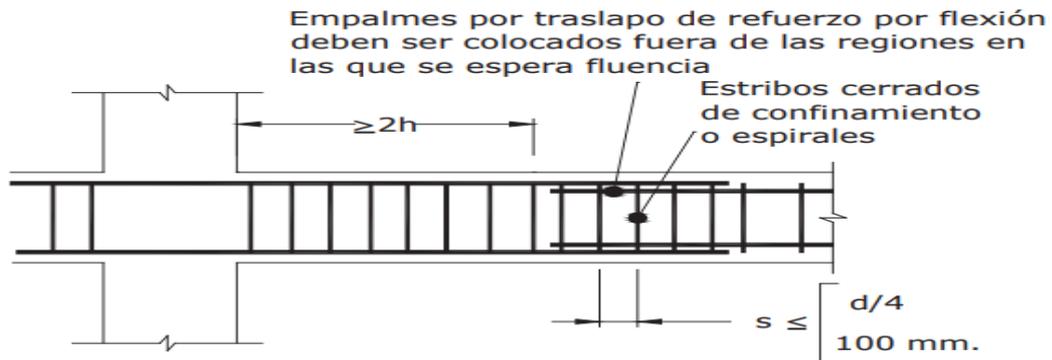


Nota. Tomado de (NEC-SE-HM, 2015)

- b) Estribos para confinamiento.** - El espaciamiento máximo de este refuerzo en esas zonas no puede exceder $d/4$ ó 100 mm. No se debe hacer traslapes en: i) Los nudos, ii) Una distancia menor que $2h$ de los extremos del elemento, donde h es su peralte, iii) Sitios donde el análisis indique la posibilidad de formación de rótulas plásticas.

Figura 6.

Confinamiento en traslape de varillas de refuerzo longitudinal.

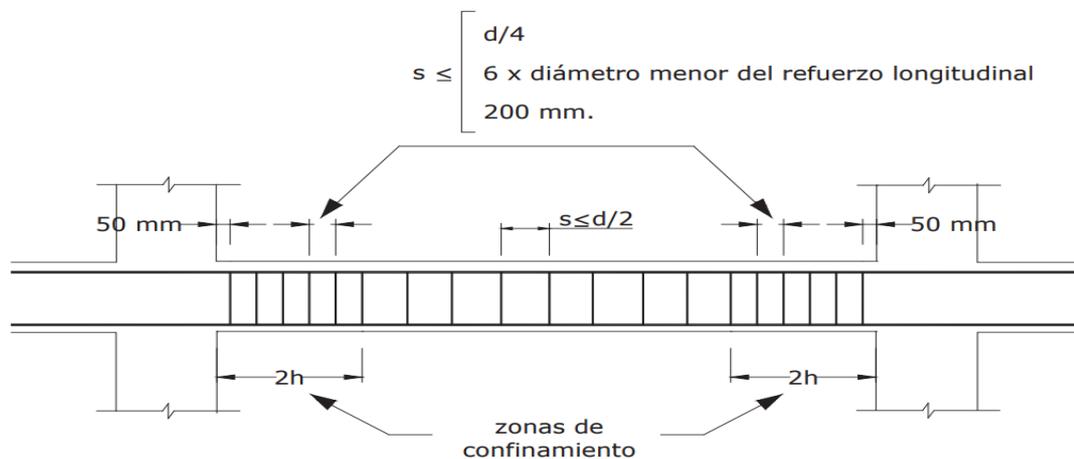


Nota. Tomado de (NEC-SE-HM, 2015)

Para estructuras de cualquier tipo se debe colocar estribos para confinamiento en las siguientes regiones: i) En los extremos del elemento; en cuyo caso el primer estribo se coloca a 50 mm y el último a una distancia $2 \cdot h$ de la cara de la conexión, ii) En longitudes $2 \cdot h$ a cada lado de una sección en la que se puedan formar rótulas plásticas.

Figura 7.

Separación de estribos.

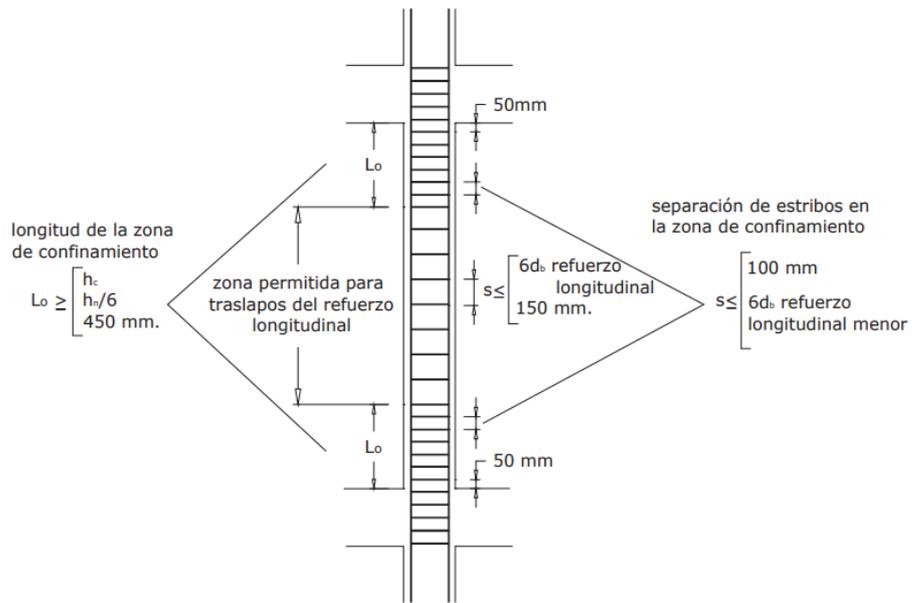


Nota. Tomado de (NEC-SE-HM, 2015)

2.2.4.6. Requisitos para elementos a flexocompresión

- a) **Momentos últimos.** - “Las secciones en los extremos de las columnas serán diseñadas para la combinación más desfavorable de momentos (en ambas direcciones horizontales) y carga axial” (NEC-SE-HM, 2015).

b) Cuantía máxima de refuerzo longitudinal. - Se cumplirá con el siguiente requisito:



$$0.01 \leq \frac{\rho_g}{A_g} \leq 0.03 \quad \text{Ec. 19}$$

Donde:

ρ_g : Área de refuerzo longitudinal.

A_g : Área bruta de la sección.

c) Refuerzo transversal. – Según NEC-SE-HM(2015) En los elementos en flexo-compresión se debe proporcionar un confinamiento especial según lo expuesto en el presente párrafo en una longitud L_o , el cual no puede ser menor que: i) Una sexta parte de la luz libre del elemento, ii) La máxima dimensión de su sección transversal y iii) 450 mm.

Figura 8.

Separación de estribos.

Nota. Tomado de (NEC-SE-HM, 2015)

d) Cuantía de refuerzo. - El área del refuerzo en forma de estribos rectangulares/cuadrados no puede ser menor a:

$$A_{sh} = 0.3 \frac{s b_c f'c}{f_{yt}} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \quad \text{Ec. 20}$$

$$A_{sh} = 0.09 \frac{s b_c f'c}{f_{yt}} \quad \text{Ec. 21}$$

Donde:

A_{sh} : Área total de las varillas que forman los estribos con separación s y perpendicular a la dimensión b_c , mm².

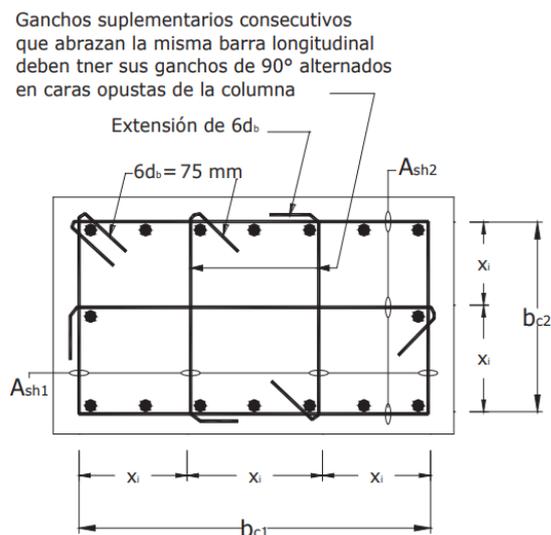
s : Separación, centro a centro, entre estribos, mm.

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

- e) **Separación de estribos.** – NEC-SE-HM(2015) describe que más allá de la longitud L_0 , el resto de la columna debe contener refuerzo en forma de espiral o de estribo cerrado de confinamiento con un espaciamiento s medido centro a centro que no exceda al menor de seis veces el diámetro de las barras longitudinales de la columna o 150 mm

Figura 9.

Ejemplo de refuerzo transversal en columnas.



Nota. Tomado de (NEC-SE-HM, 2015)

2.2.4.7. Requisitos para elementos a cortante

El diseño de secciones transversales sometidas a cortante debe estar basado en: $\phi V_n \geq V_u$

$$V_n = V_c + V_s \quad \text{Ec. 22}$$

$$V_c = 0.17\sqrt{f'c}db \quad \text{Ec. 23}$$

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \quad \text{Ec. 24}$$

Donde:

V_c : Resistencia nominal al cortante proporcionada por el hormigón.

V_s : Resistencia nominal al cortante proporcionada por el refuerzo de cortante.

2.2.4.8. Prediseño de elementos

La norma NEC-SE-HM entre sus requisitos presenta una guía amplia para el prediseño de columnas y vigas como se aprecia anteriormente. No obstante, para el prediseño de losas, conexiones y cimentaciones esta norma cita textualmente al código ACI-18, el cual presenta reglas estandarizadas para el diseño correcto de estos elementos.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El tipo y el nivel de investigación son aspectos clave que deben considerarse al comenzar a diseñar el enfoque metodológico de las variables de estudio. Elegir correctamente estos aspectos es esencial para abordar de manera eficaz una pregunta de investigación o un problema específico.

3.1.1. *Tipo.*

El tipo de investigación se la puede catalogar como aplicada, que como explica Vargas Cordero (2009), se distingue por enfocarse en la aplicación o uso de los conocimientos obtenidos, mientras se adquieren nuevos a través de la implementación de la práctica basada en la investigación. En este estudio se diseñará y se evaluará el desempeño sísmico un edificio de cinco pisos de uso educativo y administrativo para la comunidad de la universidad estatal península de Santa Elena, cumpliendo con los lineamientos y especificaciones técnicas establecidos en la Norma NEC-15.

3.1.2. *Nivel.*

Según Ramos Galarza(2021), se podría catalogar la investigación de nivel experimental-aplicada, ya que se caracteriza por la manipulación intencionada de la variable independiente y el análisis de su impacto sobre una variable dependiente para resolver problemas prácticos utilizando conocimientos teóricos ya existentes. En este caso de estudio se busca evaluar el desempeño sísmico de un edificio de cinco pisos de uso educativo y administrativo para la comunidad de la universidad estatal península de Santa Elena por medio del diseño arquitectónico y estructural del mismo.

3.2. MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1.Método.

El método de la investigación planteada es de tipo experimental, porque da como resultado un producto de las variables independientes en relación con el diseño arquitectónico y estructural para un posterior análisis del desempeño sísmico del edificio.(Ramos Galarza, 2021)

3.2.2.Diseño.

Este estudio se basa en un diseño experimental, que implica la investigación de los efectos de una intervención específica. En este tipo de estudios, el investigador mantiene una participación a lo largo de todo el proceso. La experimentación se lleva a cabo después de la recopilación de muestras en la zona de estudio, posteriormente se realizan los respectivos diseños para la evaluación sísmica del edificio.

3.2.3.Enfoque.

El enfoque de la investigación se puede tipificar como mixto según Cueva Luza (2023), ya que la recopilación de datos se basa en la evaluación de las variables mediante un análisis cualitativo y cuantitativo con el propósito de obtener una comprensión más completa de un fenómeno determinado, permitiendo abordar preguntas de investigación complejas.

Este tipo de enfoque se refleja en el análisis cualitativo de las características del suelo y la distribución de los espacios en el diseño arquitectónico, además se necesita aplicar criterios de diseño y análisis estructural que requieren realizar mediciones y cálculos numéricos para evaluar cómo responde la estructura ante un evento sísmico, siendo una metodología cuantitativa que implica la recopilación de datos numéricos.

3.3. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO

3.3.1. Población.

Siguiendo la definición proporcionada por Arias Gómez (2016), la población de estudio se refiere a un conjunto de casos que está claramente definido, limitado y accesible. Esta denominación ayuda a evitar que los resultados sean demasiado generales o irrelevantes para el objetivo de la investigación.

Es importante señalar que el término “población” no se limita exclusivamente a seres humanos, sino que también puede hacer referencia a un conjunto de elementos sobre el cual se realiza un estudio. En este caso la población serán aquellas estructuras de uso educativo en el Cantón Santa Elena y las que se encuentren en áreas geográficamente similares.

3.3.2. Muestra.

Siguiendo la definición de Otzen & Manterola (2017), se entiende que la muestra consiste es un subconjunto representativo de la población de estudio, seleccionado para analizar y generalizar resultados. Es fundamental que la muestra esté claramente definida y delimitada de manera precisa, además de ser representativa de la población objetivo.

En la presente investigación la muestra a estudiar es un edificio de cinco pisos destinado a ser de uso educativo para la universidad estatal península de Santa Elena.

3.3.3. Muestreo.

El muestreo se fundamenta en un diseño estructural de un edificio de cinco pisos tomado como muestra para la evaluación del desempeño sísmico en función de las condiciones geográficas.

3.4. ÁREA Y UBICACIÓN DE ESTUDIO

Como se mencionó previamente, el fin del proyecto es proveer una edificación para uso administrativo y educativo para la comunidad universitaria, por lo tanto, el mismo se ubicará y desarrollará en los predios de una institución, situada en el cantón La Libertad, provincia de Santa Elena. La edificación estará situada cerca del Vicerrectorado Académico, en un área de ... m².

Figura 10.

Predios de la Universidad Estatal Península de Santa Elena. La Libertad, Santa Elena.



Nota. Tomado de Google Maps.

Figura 11.

Ubicación referencial del proyecto.



Nota. Tomado de Google Maps.

3.5. METODOLOGÍA OE1: ELABORAR UN PLANO ARQUITECTÓNICO QUE REPRESENTA ADECUADAMENTE LA DISTRIBUCIÓN DE LAS AULAS, OFICINAS Y DEMÁS ÁREAS DEL EDIFICIO EDUCATIVO A CONSTRUIR, OPTIMIZANDO EL USO DEL ESPACIO TENIENDO EN CUENTA LAS NECESIDADES OPERATIVAS Y FUNCIONALES DE LA INSTITUCIÓN.

El análisis de la propuesta conlleva elaborar un plano arquitectónico que represente adecuadamente la distribución de las aulas, oficinas y demás áreas del edificio educativo a construir, optimizando el uso del espacio teniendo en cuenta las necesidades operativas y funcionales de la institución.

Para cumplir con el objetivo, se optó por el diseño de una estructura de 5 pisos como se mencionó anteriormente, cada uno con una altura de 3.1 m, alcanzando una altura total de 17.64 m, o 21.22 m si se incluye el cuarto de máquinas del ascensor. El proyecto ocupará un área de 850.90 m². El edificio estará compuesto por dos bloques simétricos, que albergarán 40 aulas y 3 oficinas, mientras que el resto de los espacios se destinarán a baños, corredores, escaleras y un ascensor.

Figura 12

Propuesta de diseño arquitectónico, planta baja.

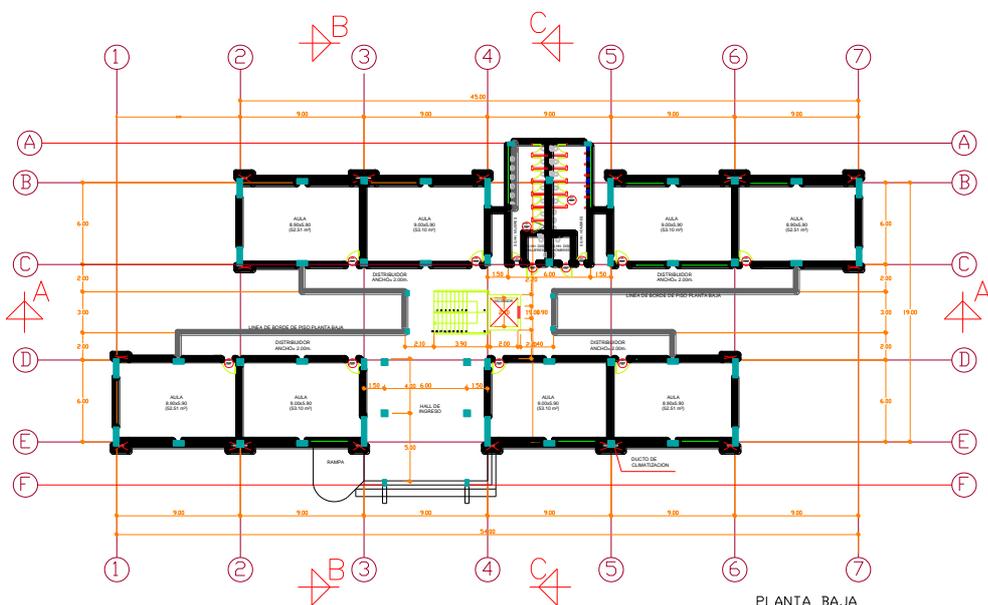


Figura 13

Propuesta de diseño arquitectónico, plantas altas.

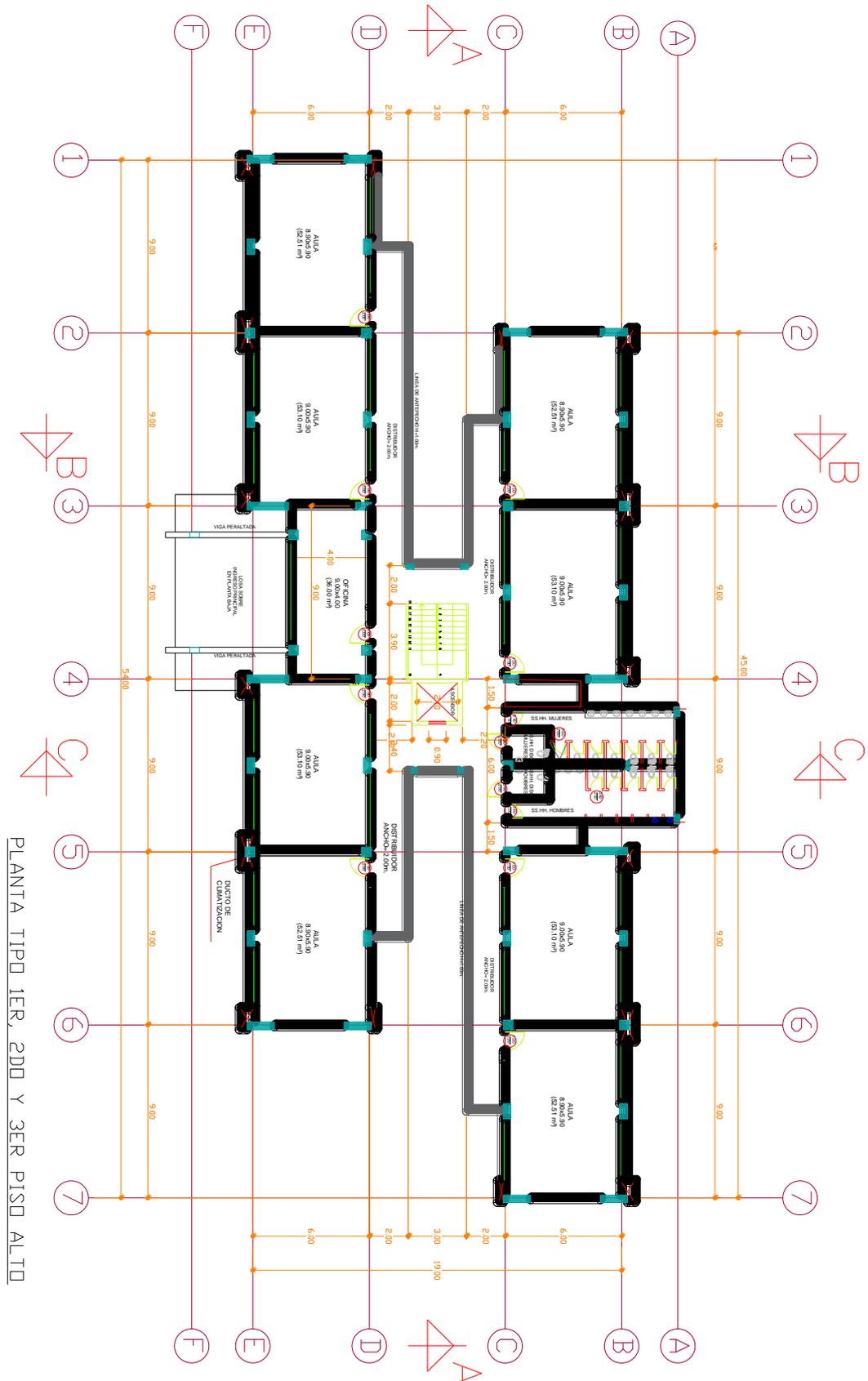
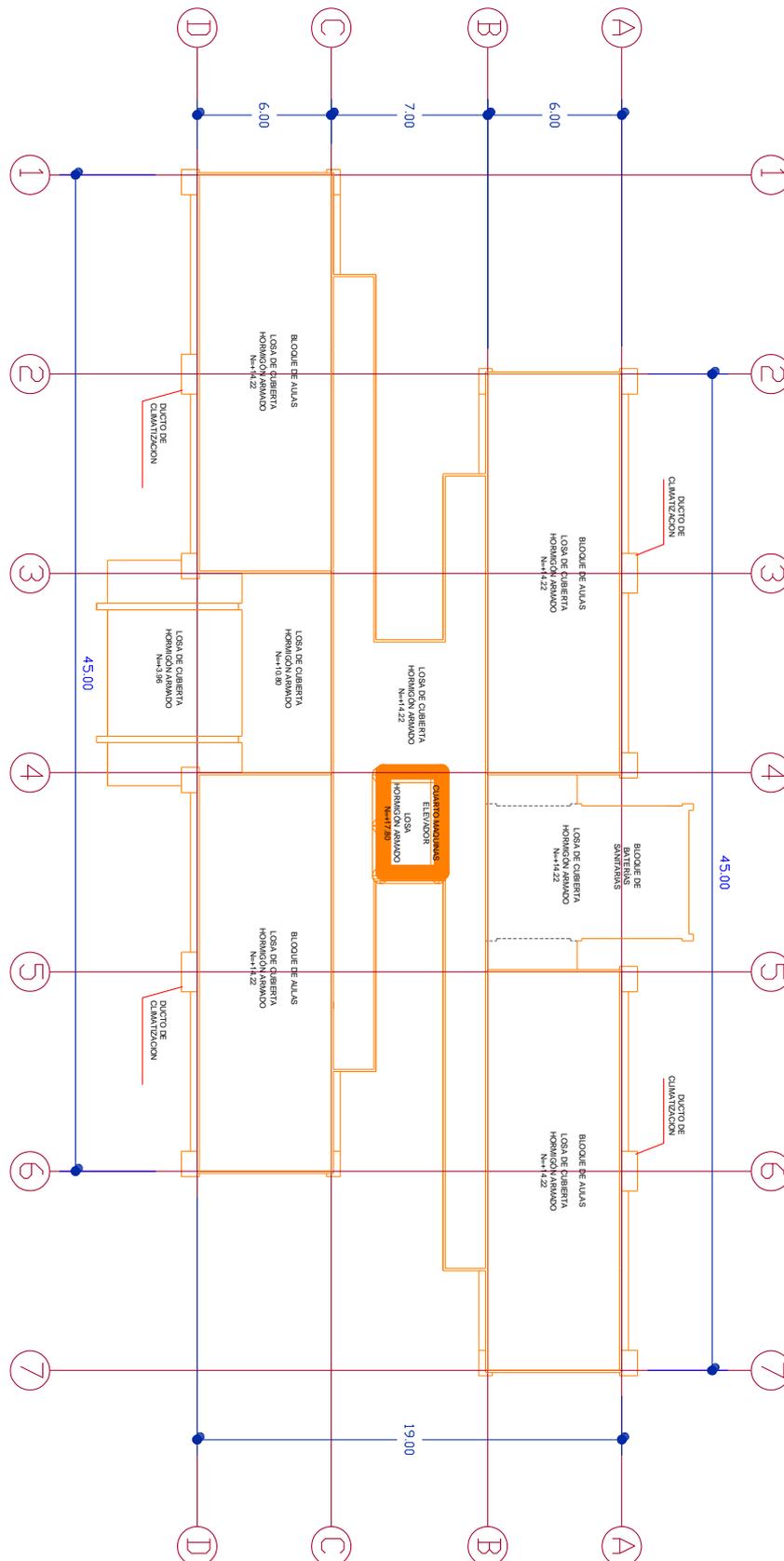


Figura 14

Propuesta de diseño arquitectónico, cubiertas.



3.6. METODOLOGÍA OE2: DETERMINAR EL TIPO DE SUELO EN EL QUE SE UBICARÁ EL EDIFICIO EDUCATIVO MEDIANTE ENSAYOS DE LABORATORIO, QUE PERMITAN IDENTIFICAR LAS CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DEL TERRENO EN LA ZONA A CONSTRUIR.

3.6.1. Estudio geotécnico.

La NEC (2015), NEC-SE-DS cataloga los perfiles de suelos en tipo A, B, C, D y E, las especificaciones de cada tipo de suelo se describen en la Tabla 3, que consecuentemente serán utilizados para el diseño sísmico. Para la clasificación de suelos se usa los parámetros correspondientes a los 30 m superiores del perfil, para los perfiles de tipo A, B, C, D y E. En casos en que los perfiles presentes estratos evidentemente diferenciables deben ser subdivididos y asignarles un subíndice *i* que va desde 1 en la superficie, hasta *n* en la parte inferior de los 30 m superiores del perfil.

Para este caso, se procedió realizando una calicata de 1 m de ancho con una profundidad de 1,50 m en el sitio de construcción de la edificación para extraer así la muestra inalterada de suelo, con la que se ejecutarían los ensayos de laboratorio con la finalidad de conocer las propiedades existentes del terreno para soportar la estructura.

A la profundidad de 1,50 m se localizó un suelo limo-arcilloso de baja plasticidad, por lo que la muestra inalterada se tomó por debajo de este estrato y cuyas medidas fueron de 40x40 cm. A esta muestra se le realizó ensayos de Granulometría, Límites de Atterberg, Gravedad Especifica, Corte Directo y Compresión Simple, siguiendo las especificaciones normadas para cada ensayo y desarrollando cuidadosamente cada proceso.

3.7. METODOLOGÍA OE3: CUMPLIR CON TODOS LOS PARÁMETROS ESTABLECIDOS EN NEC 15, EN LO QUE RESPECTA AL DISEÑO SISMORRESISTENTE, APLICANDO LOS CRITERIOS QUE ASEGUREN LA ESTABILIDAD ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO FRENTE A LAS SOLICITACIONES SÍSMICAS Y GRAVITACIONALES ESPERADAS EN LA REGIÓN DE SANTA ELENA

3.7.1.Losa

Ramos Rugel (2002) ostenta que la losa es una placa amplia y plana, por lo general horizontal, cuya superficie inferior y superior son paralelas entre sí, estas son responsables de soportar las cargas verticales y distribuir las fuerzas horizontales, pues su capacidad de resistir cargas verticales equivale a soportar su propio peso, acabados, divisiones, piso terminado y la carga viva conforme al uso de la estructura. Generalmente, para el análisis estructural sísmico se asume que la losa actúa como un diafragma rígido, lo que implica que, bajo la influencia de cargas horizontales o sísmicas, toda la losa se desplaza de manera integrada, es decir, todos sus puntos se mueven en conjunto sin que se generen deformaciones entre ellos.

Verificación

Conforme lo establece el ACI 318, para la verificación de una losa en una o dos direcciones, se presenta la relación siguiente:

$$\frac{\text{claro largo}}{\text{claro corto}} > 2 = \text{losa en 1 dirección}$$

$$\frac{\text{claro largo}}{\text{claro corto}} < 2 = \text{losa en 2 direcciones}$$

$$\frac{\text{claro largo}}{\text{claro corto}} = \frac{9.0 \text{ m}}{3.8 \text{ m}} = 2.36$$

De esta manera, se opta por el diseño de una losa nervada en una dirección, orientando los nervios en la misma dirección que el claro corto del paño de análisis más repetido dentro del edificio.

Las fórmulas empleadas para el diseño de la losa se presentan a continuación:

$$q_u = U * A_t$$

$$M = \frac{q_u (L)^2}{10}$$

$$M_U = \phi f'_c b d^2 \omega (1 - 0,59 \omega)$$

Donde:

A_t : área tributaria.

L : longitud más crítica de la viga.

M_u : momento último.

ϕ : factor de reducción de resistencia.

f'_c : resistencia de compresión del hormigón.

b : base de la viga.

d : altura efectiva

ω : cuantía de refuerzo.

3.7.2. Predimensionamiento de vigas y columnas

Para el predimensionamiento de las columnas y vigas se empleó el código ACI 318-19, que especifica las limitaciones de dimensionamiento de estos elementos estructurales, y se detallan en el capítulo 18 sección 18.6 y 18.7.

3.7.2.1. Columnas

Las columnas de hormigón armado son elementos estructurales lineales, que soportan las cargas de las vigas, losa y subsiguientemente a la cimentación de la estructura. En el diseño de las columnas para este caso, se tomó los valores de las cargas muertas y se aplicó las debidas combinaciones de carga. En tanto al valor de carga viva, se consideró las siguientes características de acuerdo con la NEC SE CG:

- Resistencia a la compresión: 240 kg/cm^2
- Dimensiones
- Esfuerzo de fluencia de acero: 4200 kg/cm^2
- Altura de entrepiso: 2.70 m
- $P_u = 1.2D + 1.6L$

En la sección 18.7.1.1 se especifica que para columnas que se emplean en pórticos especiales resistentes a momento que conforman el sistema de resistencia ante movimientos sísmicos se diseñan principalmente para resistir flexión, cortante y fuerzas axiales.

De igual forma, en la sección 18.7.2 del código ACI 318-19 se especifica el límite dimensional de las columnas.

Tabla 23.

Dimensiones de columnas para pórticos resistentes a momentos.

Dimensiones de columnas
C 30 cm x 35 cm
C 35 cm x 35 cm
C 30 cm x 30 cm

Las columnas deben cumplir con (a) y (b):

a) $h_{c1}, h_{c2}, h_{c3} \geq 30 \text{ cm}$

$C 30 \text{ cm} \times 35 \text{ cm}$	$C 35 \text{ cm} \times 35 \text{ cm}$	$C 30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$
$35 \text{ cm} \geq 30 \text{ cm OK}$	$35 \text{ cm} \geq 35 \text{ cm OK}$	$30 \text{ cm} \geq 30 \text{ cm OK}$

$$b) \frac{\text{dimensión menor}}{\text{dimensión perpendicular}} \geq 0.4$$

$$\frac{30 \text{ cm}}{35 \text{ cm}} = 0.85 \geq 0.4 \text{ Ok}$$

$$\frac{35 \text{ cm}}{35 \text{ cm}} = 1 \geq 0.4 \text{ Ok}$$

$$\frac{30 \text{ cm}}{30 \text{ cm}} = 1 \geq 0.4 \text{ Ok}$$

Para el predimensionamiento de las columnas se utilizó la siguiente ecuación:

$$P_n = 0.8\phi[0.85f'_c(A_g - A_s) + f_y A_s] \quad P_n = P_u$$

$$P_u = 0.8\phi[0.85f'_c(A_g - A_s) + f_y A_s] \quad A_s = 0.02A_g$$

$$A_g = \frac{81104.28}{147.6384}$$

$$A_g = 549.34$$

$$A_g = \sqrt{549.34}$$

$$A_g = 23.43 = 25$$

$$A_g = (25 \times 25) \text{ cm}$$

Tabla 24.

Predimensionamiento de columnas.

Columna	Area tri. (m ²)	Muerta (kg)	Viva (kg)	carga (kg)	Area (m ²)	B (m)	H (m)
C1	7.125	31275.0773	8835	51666.0927	549.34	25.00	25.00
C2	18	16889.2804	4680	27755.1365	108.73	25.00	25.00
C3	23.59	103547.94	29251.6	171060.088	757.88	30.00	30.00
C4	1.79	7857.17731	2219.6	12979.9728	335.63	25.00	25.00
C5	8.7	38188.5154	10788	63087.0185	336.72	25.00	25.00

3.7.2.2. Vigas

En la sección 18.6.1.1 se indica que los pórticos especiales resistentes a momentos que forman parte de sistema ante fuerzas inducidas por sismos se diseñan esencialmente para resistir flexión y cortante.

También, en la sección 18.6.1.2 del código ACI 318-19 se detalla el límite dimensional de vigas.

Tabla 25.

Dimensiones de vigas para pórticos resistentes a momentos.

Dimensiones de vigas
V 25 cm x 35 cm
V 25 cm x 30 cm

Las vigas deben cumplir con (a) y (b):

a) $ln \geq 4d$

V 25 cm x 35 cm
 $3.90 m \geq 4 (0.32 m)$
 $3.09 m \geq 1.28 m OK$

V 25 cm x 30 cm
 $2.35 m \geq 4 (0.27 m)$
 $2.35 m \geq 1.28 m OK$

b) $bw \geq 0.3h$

V 25 cm x 35 cm
 $25 cm \geq 0.3 (35 cm)$
 $25 cm \geq 10.50 cm OK$

V 25 cm x 30 cm
 $25 cm \geq 0.3 (30 cm)$
 $25 cm \geq 9 cm OK$

Para el diseño de vigas, se utilizó la siguiente ecuación:

$$qu = U * At$$
$$M = \frac{qu (L)^2}{10}$$

$$d = \sqrt{\frac{Mu}{\phi(b)(f'c)(\omega)(1 - 0.59(\omega))}}$$

Donde:

At: área tributaria.

L: longitud más crítica de la vigueta.

Mu: momento último.

↓: factor de reducción de resistencia.

F'c: resistencia de compresión del hormigón.

b: base de la viga.

ω: cuantía de refuerzo.

Recubrimiento de 5 cm

3.7.2.3. Especificaciones del hormigón.

En cuento al hormigón, por la demanda del proyecto se optó por trabajar con un hormigón de gran exigencia, que presenta un $F'c = 280 \text{ km/cm}^2$. Por lo tanto, se realizó el cálculo del módulo de elasticidad de acuerdo con lo que establece el ACI 318-19 en la sección 19.2.2.1, el valor resultante se determinó por medio de la Ecuación que se muestra a continuación:

$$Ec = 15000 \sqrt{f'c}$$

$$Ec = 15000 \sqrt{280 \text{ km/cm}^2}$$

$$Ec = 250998.008 \text{ km/cm}^2$$

Tabla 26. Predimensionamiento de vigas

PREDIMENSIONAMIENTO DE VIGAS							
Viga	Luz (m)	Long (m)	qu (Kg/m)	Mu (Kg-m)	b (m)	d (cm)	h (cm)
1	6,00	2,38	7131,51	14679,34	30,00	45,00	50,00
2	6,00	4,63	7131,51	28526,04	35,00	55,00	60,00
3	4,75	3,00	4625,84	11596,73	30,00	35,00	40,00
4	4,75	4,05	6244,89	15655,59	30,00	45,00	50,00
5	2,75	1,38	2127,89	1788,02	30,00	15,00	20,00
6	6,00	4,05	6244,89	24979,56	30,00	55,00	60,00
7	4,75	3,00	4625,84	11596,73	30,00	35,00	40,00
8	4,75	3,00	4625,84	11596,73	30,00	35,00	40,00
9	6,00	2,55	3931,97	15727,87	30,00	45,00	50,00
10	6,00	4,45	6861,67	27446,67	30,00	55,00	60,00
11	6,00	4,63	7131,51	28526,04	35,00	55,00	60,00
12	5,10	3,75	5782,31	16710,86	30,00	45,00	50,00
13	6,00	4,63	7131,51	28526,04	35,00	55,00	60,00
14	6,00	2,25	2286,00	9144,00	25,00	35,00	40,00
15	6,00	4,63	4699,00	18796,00	25,00	55,00	60,00
16	4,75	3,00	3048,00	7641,17	25,00	35,00	40,00
17	4,75	4,05	4114,80	10315,58	25,00	35,00	40,00
18	2,75	1,38	1402,08	1178,14	25,00	15,00	20,00
19	6,00	4,05	4114,80	16459,20	25,00	45,00	50,00
20	4,75	3,00	3048,00	7641,17	25,00	35,00	40,00
21	4,75	3,00	3048,00	7641,17	25,00	35,00	40,00
22	6,00	3,00	3048,00	12192,00	25,00	45,00	50,00
23	3,90	1,50	1524,00	2575,56	30,00	25,00	30,00
24	2,30	1,50	1524,00	895,77	30,00	15,00	20,00
25	3,00	2,90	2946,40	2946,40	30,00	25,00	30,00
VB1	4,75	1,05	1619,05	4058,86	25,00	25,00	30,00
VB2	6,00	1,05	1619,05	6476,18	25,00	35,00	40,00
VB3	4,75	1,05	1066,80	2674,41	25,00	25,00	30,00
VB4	6,00	1,05	1066,80	4267,20	25,00	25,00	30,00

3.7.3. Determinación de carga muerta

Los valores de la carga muerta dependerán de los componentes estructurales y no estructurales de la infraestructura. Conforme la NEC-SE-CG se presenta en la Tabla xx las cargas correspondientes que intervendrán.

Tabla 27.

Peso de los materiales que intervienen en la estructura.

CARGA MUERTA CM SEGÚN NEC-15		
ELEMENTOS	CARGAS	
Paredes	100	kg/m ²
Instalaciones	40	kg/m ²
Baldosa	80	kg/m ²
Tumbado	50	kg/m ²
Eternit	20	kg/m ²

Nota. Tomado de la norma *NEC-SE-CG (2015)*

Tabla 28.

Pesos específicos de materiales que intervienen en la estructura.

Pesos Específicos según NEC-15		
ELEMENTOS	CARGAS	
$\gamma_{\text{hormigón}}$	2400	kg/m ³
$\gamma_{\text{bloque liviano}}$	850	kg/m ³
$\gamma_{\text{arena y cemento}}$	2000	kg/m ³

Nota. Tomado de la norma *NEC-SE-CG (2015)*

3.7.3.1. Análisis de carga de losa

Peso de losa en una dirección por metro cuadrado.

$$W_{\text{losa}} = \frac{(\text{Volumen de losa})(\gamma_{\text{hormigón}})}{\text{Área de la losa}}$$
$$W_{\text{losa}} = \frac{(0.05\text{m} * 1\text{m} * 1\text{m})(24000\text{kg/m}^3)}{1\text{m}^2}$$
$$W_{\text{losa}} = 120 \text{ kg/m}^2$$

Peso propio de nervios.

$$W_{nervio} = \frac{(\# \text{ de nervios})(\text{Volumen de nervio})(\gamma_{\text{hormigón}})}{\text{Área de la losa}}$$

$$W_{nervio} = \frac{2 * (0.25m * 0.1m)(2400kg/m^3)}{1m^2}$$

$$W_{nervio} = 120 \text{ kg/m}^2$$

$$W_{nervio} = \frac{(\# \text{ de nervios})(\text{Volumen de nervio})(\gamma_{\text{hormigón}})}{\text{Área de la losa}}$$

$$W_{nervio} = \frac{2 * (0.25m * 0.8m * 0.1m)(2400kg/m^3)}{1m^2}$$

$$W_{nervio} = 96 \text{ kg/m}^2$$

Peso de cajoneta de bloque liviano.

$$W_{cajoneta} = \frac{(\text{Volumen de cajoneta})(\gamma_{\text{bloque liviano}})}{\text{Área de la losa}}$$

$$W_{cajoneta} = \frac{(0.25m * 0.8m * 0.8m)(1223.24kg/m^3)}{1m^2}$$

$$W_{cajoneta} = 195.72 \text{ kg/m}^2$$

Peso de paredes.

$$W_{pared \text{ externa}} = \frac{L * h * e * \gamma}{\text{Área de pared}}$$

$$W_{pared \text{ externa}} = \frac{280m * 3.1m * 0.1m * 1223.24kg/m^3}{566.36 \text{ m}^2}$$

$$W_{pared \text{ externa}} = 187.47 \text{ kg/m}^2$$

$$W_{pared \text{ interna}} = \frac{L * h * e * \gamma}{\text{Área de pared}}$$

$$W_{pared \text{ interna}} = \frac{65m * 1.25m * 0.1m * 1223.24kg/m^3}{149.40 \text{ m}^2}$$

$$W_{pared \text{ interna}} = 66.53 \text{ kg/m}^2$$

$$W_{pared} = W_{pared\ externa} + W_{pared\ interna}$$

$$W_{pared} = 187.47\ kg/m^2 + 66.53\ kg/m^2$$

$$W_{pared} = 254\ kg/m^2$$

Peso de enlucido.

$$W_{enlucido\ externo} = \frac{L * h * e * \gamma_{mortero}}{\text{Área de pared}}$$

$$W_{enlucido\ externo} = \frac{280m * 3.1m * 0.02m * 2038.74kg/m^3}{566.36\ m^2}$$

$$W_{enlucido\ externo} = 62.49\ kg/m^2$$

$$W_{enlucido\ interno} = \frac{L * h * e * \gamma_{mortero}}{\text{Área de pared}}$$

$$W_{enlucido\ interno} = \frac{65m * 1.25m * 0.02m * 2038.74kg/m^3}{149.40\ m^2}$$

$$W_{enlucido\ interno} = 22.18\ kg/m^2$$

$$W_{enlucido} = W_{enlucido\ ext.} + W_{enlucido\ int.}$$

$$W_{enlucido} = 62.49\ kg/m^2 + 22.18\ kg/m^2$$

$$W_{enlucido} = 84.67\ kg/m^2$$

Peso de cerámica.

$$W_{cerámica} = \gamma_{cerámica} * h$$

$$W_{cerámica} = 2752.29kg/m^3 * 0.015m$$

$$W_{cerámica} = 41.28\ kg/m^2$$

Peso de tumbado.

$$W_{tumbado} = \gamma_{yeso} * h$$

$$W_{tumbado} = 1019.37kg/m^3 * 0.02m$$

$$W_{tumbado} = 20.39\ kg/m^2$$

Peso de instalaciones.

$$W_{instalaciones} = 25 \text{ kg/m}^2$$

Tabla 29.

Cálculo de carga muerta. Planta baja.

CARGA MUERTA		
Mampostería	254.0	kg/m ²
Cerámica	27.52	kg/m ²
Instalaciones	20.00	kg/m ²
Tumbado	20.39	kg/m ²
Enlucido	84.67	kg/m ²
Losa	531.72	kg/m ²
CM total	938.30	kg/m ²

Tabla 30.

Cálculo de carga muerta. 1ra, 2da, 3ra Planta.

CARGA MUERTA		
Mampostería	254.0	kg/m ²
Cerámica	41.28	kg/m ²
Instalaciones	25.00	kg/m ²
Tumbado	20.39	kg/m ²
Enlucido	84.67	kg/m ²
Losa	531.72	kg/m ²
CM total	957.05	kg/m ²

Tabla 31.

Cálculo de carga muerta. 4ta Planta (cubierta).

CARGA MUERTA		
Mampostería	36.74	kg/m ²
Cerámica	41.28	kg/m ²
Instalaciones	20.00	kg/m ²
Tumbado	20.39	kg/m ²
Enlucido	12.25	kg/m ²
Losa	449.37	kg/m ²
CM total	580.03	kg/m ²

Carga muerta CM por metro cuadrado de planta baja.

$$\begin{aligned}CM &= W_{losa+nervio} + W_{cajoneta} + W_{pared} \\ &\quad + W_{enlucido} + W_{baldosa} + W_{instalaciones} \\ CM &= 336kg/m^2 + 195.72kg/m^2 + 254kg/m^2 + 84.67kg/m^2 \\ &\quad + 27.52kg/m^2 + 20kg/m^2 \\ CM &= 917.91kg/m^2\end{aligned}$$

Carga muerta CM por metro cuadrado de 1er, 2do y 3er piso.

$$\begin{aligned}CM &= W_{losa+nervio} + W_{cajoneta} + W_{pared} \\ &\quad + W_{enlucido} + W_{baldosa} + W_{instalaciones} \\ CM &= 336kg/m^2 + 195.72kg/m^2 + 254kg/m^2 + 84.67kg/m^2 \\ &\quad + 41.28kg/m^2 + 25kg/m^2 \\ CM &= 936.67kg/m^2\end{aligned}$$

Carga muerta CM por metro cuadrado de cubierta.

$$\begin{aligned}CM &= W_{correas} + W_{acabado} + W_{varios} \\ &\quad + W_{instalaciones} + W_{tumbado} + W_{eternit}\end{aligned}$$

$$CM = 20kg/m^2 + 10kg/m^2 + 10kg/m^2 + 20kg/m^2 + 20.39kg/m^2 + 20kg/m^2$$

$$CM = 100.39kg/m^2$$

3.7.4. Determinación de carga viva

La NEC-SE-CG en la sección 4.2 presenta las cargas vivas que actúan sobre la estructura dependiendo de la ocupación de esta, así pues, se tendría que las cargas vivas influyentes serían:

Tabla 32.

Cargas vivas actantes.

CARGA VIVA		
Ocupación	Carga Uniforme (Kg/m ²)	
Aula	200	Kg/m ²
Corredores	400	Kg/m ²
Oficina	240	Kg/m ²
Escaleras	480	Kg/m ²
Cubierta	200	Kg/m ²

Nota. Tomado de la norma NEC-SE-CG (2015)

El cálculo de las cargas vivas se presenta de la siguiente manera:

$$CV = \frac{\Sigma Carga\ uniforme * \acute{A}rea}{\Sigma \acute{A}rea}$$

Tabla 33.

Cálculo de Carga viva. Planta baja.

CARGA VIVA			
Ocupación	Carga Uniforme (Kg/m ²)	Área (m ²)	Carga Ocupación (Kg/m ²)
Aula	200	530.36	106072
Corredores	400	149.40	59760
Oficina	240	36.00	8640
Escaleras	480	36.90	17712

TOTAL	260
-------	-----

Tabla 34.

Cálculo de Carga viva. 1ra, 2da, 3ra planta.

CARGA VIVA			
Ocupación	Carga Uniforme (Kg/m ²)	Área (m ²)	Carga Ocupación (Kg/m ²)
Aula	200	474.36	94872
Corredores	400	149.40	59760
Oficina	240	36.00	8640
Escaleras	480	36.90	17712
TOTAL			260

Tabla 35.

Cálculo de Carga viva. Cubierta.

CARGA VIVA			
Ocupación	Carga Uniforme (Kg/m ²)	Área (m ²)	Carga Ocupación (Kg/m ²)
Cubierta	200	715.93	143186
TOTAL			200

3.7.5. Mayoración de carga

En base a la NEC-15 sección 3.4.3. se establece que la combinación de cargas para el diseño por última resistencia se da por la siguiente relación:

$$U = 1.2 CM + 1.6 CV$$

Tabla 36.

Mayoración de carga planta baja.

$$U = 1.2 (938.29 \text{ kg/m}^2) + 1.6 (260 \text{ kg/m}^2)$$

Mayoración 1.2 D + 1.6 L

PLANTA BAJA	1541.95	kg/m ²
-------------	---------	-------------------

Tabla 37.

Mayoración de carga planta 1 al 3.

$$U = 1.2 (957.05 \text{ kg/m}^2) + 1.6 (260 \text{ kg/m}^2)$$

Mayoración 1.2 D + 1.6 L		
PLANTA 1	1564.47	kg/m ²
PLANTA 2	1564.47	kg/m ²
PLANTA 3	1564.47	kg/m ²

Tabla 38.

Mayoración de carga de cubierta.

$$U = 1.2 (580.03 \text{ kg/m}^2) + 1.6 (200 \text{ kg/m}^2)$$

Mayoración 1.2 D + 1.6 L		
CUBIERTA	1016.03	kg/m ²

Tabla 39.

Total de carga.

CARGA TOTAL MAYORADA		
PLANTA BAJA	1541.95	kg/m ²
PLANTA 1	1564.47	kg/m ²
PLANTA 2	1564.47	kg/m ²
PLANTA 3	1564.47	kg/m ²
CUBIERTA	1016.03	kg/m ²
TOTAL	7251.39	kg/m²

3.8. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE DISEÑO SÍSMICO

3.8.1. *Diseño preliminar NEC-15*

La NEC norma que para el estudio del suelo se debe realizar una excavación con una profundidad de 30 m, sin embargo, debido a factores limitantes en este proyecto se realizó una excavación de 1.5 m, razón por la que los ensayos desarrollados contemplan ciertas alteraciones y para efectos de tener un diseño conservador, se eligió trabajar con un suelo Tipo D.

Debido a que el presente trabajo se encuentra en la etapa de diseño preliminar, donde se analizarán únicamente los elementos principales de la estructura, como columnas, vigas y losas, y además se asume que las respuestas estructurales se mantendrán dentro del rango elástico bajo las condiciones de diseño inicial, se optará por realizar un análisis sísmico lineal. Este enfoque permitirá simplificar el estudio respetando los lineamientos de la NEC-15, brindando una base sólida para evaluar el desempeño estructural de la edificación de cinco pisos destinada al uso educativo

Espectro elástico de aceleración horizontal de diseño

Tabla 40.

Datos para la definición de espectro de diseño NEC-15 (NEC-SE-DS)

CIUDAD
LA LIBERTAD
PROVINCIA
SANTA ELENA
FACTOR DE ZONIFICACIÓN
0.5
TIPO DE SUELO
D
REGIÓN

PROVINCIA DE LA COSTA
(EXCEPTO ESMERALDAS)

Tabla 41.

Factores

<i>Z</i>	0.5
<i>η</i>	1.8
<i>R</i>	1
<i>Fa</i>	1.18
<i>Fd</i>	1.06
<i>Fs</i>	1.23
<i>To</i>	0.11
<i>Tc</i>	0.61

Para el Periodo límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño en un tiempo “0” se calcula a partir de la siguiente Ecuación:

$$T_o = 0.1 * F_s * \frac{F_d}{F_a}$$

$$T_o = 0.1 * 1.23 * \frac{1.06}{1.18} = 0.11$$

Para el Periodo límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño en un tiempo donde se desarrolla su máxima aceleración, se presenta la siguiente Ecuación:

$$T_c = 0.55 * F_s * \frac{F_d}{F_a}$$

$$T_c = 0.55 * 1.23 * \frac{1.06}{1.18} = 0.61$$

Relación entre la aceleración espectral S_a ($T = 0.1$ seg.) y el PGA para el periodo de retorno seleccionado.

η	RELACIÓN DE AMPLIFICACIÓN ESPECTRAL
PROVINCIA DE LA COSTA (EXCEPTO ESMERALDAS)	1.8
PROVINCIAS DE LA SIERRA, ESMERALDAS Y GALÁPAGOS	2.48
PROVINCIAS DEL ORIENTE	2.6

Espectro de respuesta elástica de aceleraciones (expresado como fracción de a aceleración de la gravedad).

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

$$S_a = 1.8 * 0.5 * 1.18$$

$$S_a = 1.062$$

Factor usado en el espectro de diseño elástico, cuyos valores dependen de la ubicación geográfica del proyecto.

R	Factor usado en el espectro de diseño, cuyos valores dependen de la ubicación geográfica del proyecto
$r = 1$	Para todos los suelos, con excepción del suelo tipo E
$r = 1.5$	Para tipo de suelo E

Espectro de respuesta elástico de aceleraciones (expresado como aceleración de la aceleración de la gravedad g). Depende del periodo o modo de vibración de la estructura.

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

Se evaluó la estructura en diferentes periodos de tiempo para calcular el espectro de diseño.

Cálculo de aceleraciones y periodos del espectro elástico.

$$S_a = 1.8 * 0.5 * 1.18 * \left(\frac{0.61}{T}\right)^1$$

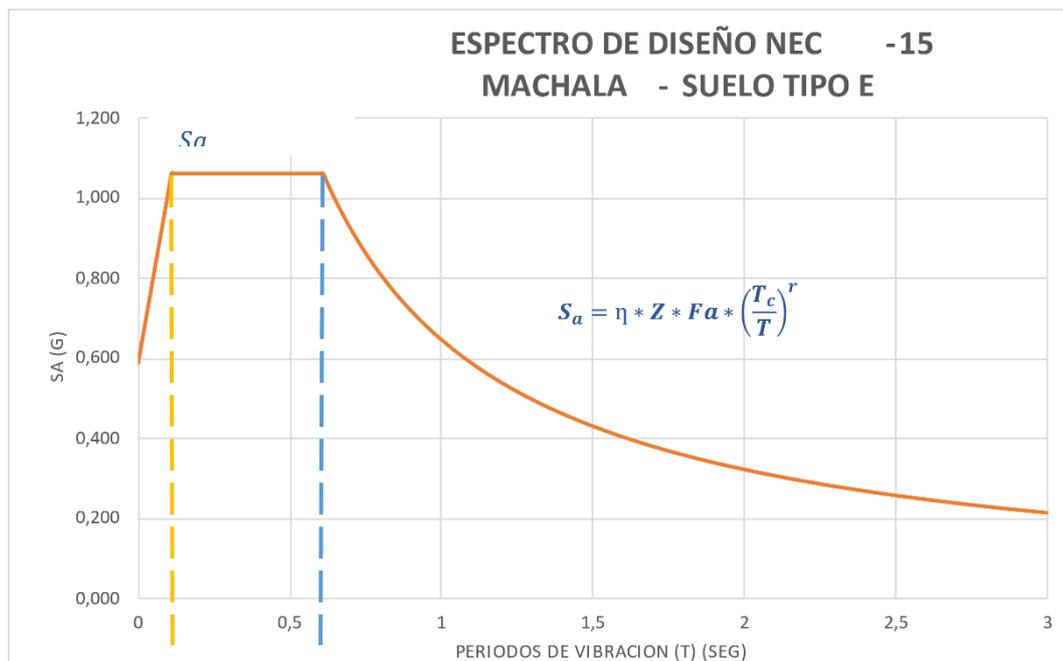
Cálculo de aceleraciones y periodos del espectro inelástico.

$$C_s = \frac{S_a g}{\left[\frac{R}{I_e}\right]}$$

Considerando el tipo de suelo y los valores obtenidos previamente, se presenta el siguiente gráfico contemplando el espectro elástico.

Figura 15

Curva de espectro elástico de La Libertad.



Coeficiente sísmico.

$$C_s = \frac{I * S_a}{R * \phi_e * \phi_p}$$

$$C_s = \frac{1.3 * 0.771}{8 * 0.9 * 0.9}$$

$$C_s = 0.15$$

Periodo de vibración fundamental de la estructura.

$$T_a = C_t * h^\alpha$$

$$T_a = 0.055 * 20.60^{0.9}$$

$$T_a = 0.84$$

Para el cálculo del cortante se utiliza la siguiente fórmula:

$$V = \left[\frac{I * S_a}{R * \phi_e * \phi_p} \right] * W$$

$$V = \left[\frac{1.3 * 0.771}{8 * 0.9 * 0.9} \right] * 3713745.2$$

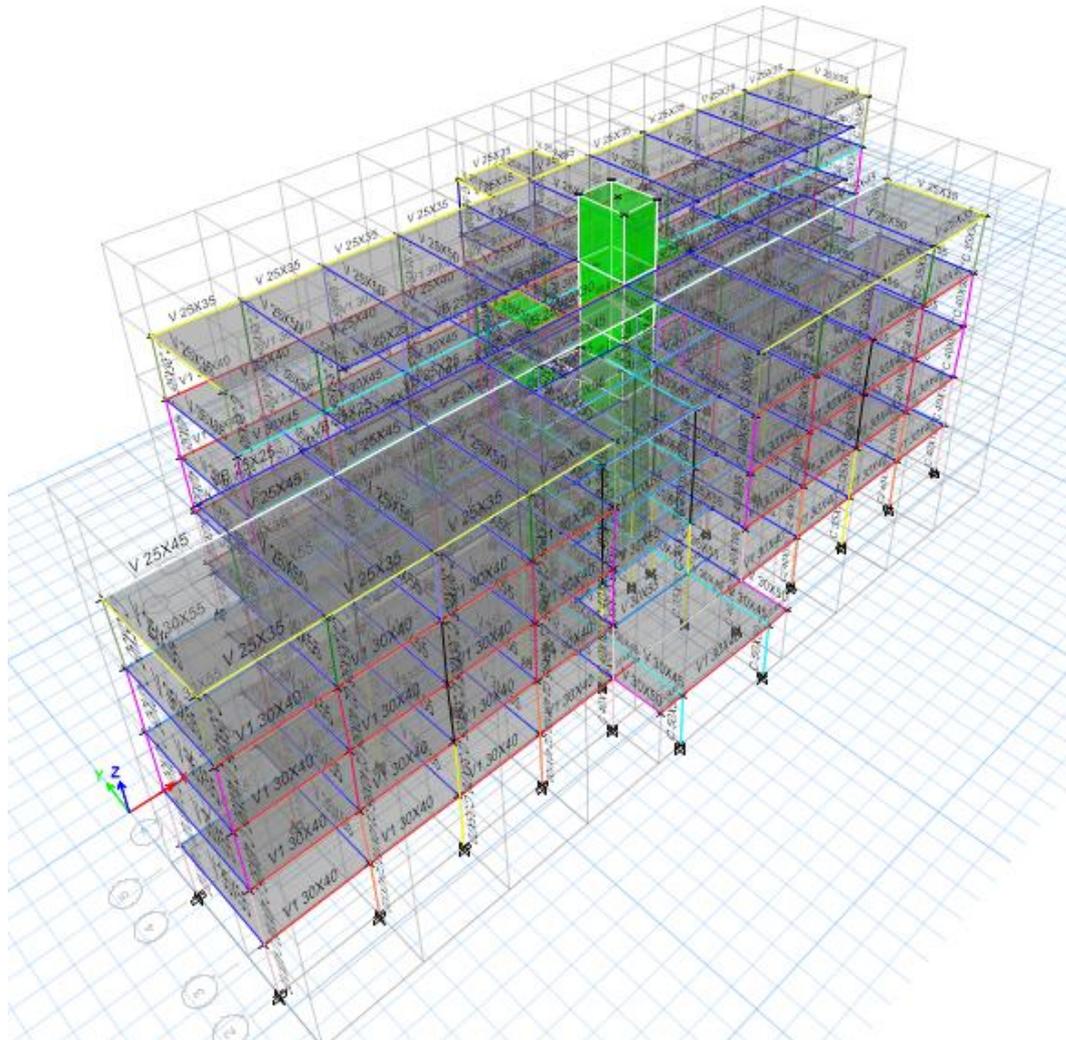
$$V = 557061.78$$

3.8.2. Prediseño de la edificación

A partir de las dimensiones previamente calculadas para las vigas y las columnas, se modelará empleando el software ETABS. Esta herramienta permite realizar un análisis detallado del comportamiento estructural, proporcionando resultados que facilitan la evaluación de la necesidad de rediseñar alguno de los elementos que integran el pórtico.

Figura 16

Análisis de modelo estructural por medio de Etabs.



Tras realizar el análisis estructural mediante el software ETABS, se observa que las secciones de las vigas y columnas no cumplen con los requisitos establecidos. En consecuencia, se lleva a cabo un rediseño de las dimensiones, las cuales se determinan según los nuevos parámetros y se presentan a continuación.

Columnas					
Piso	C1	C2	C3	C4	C5
1	40x100	50x50	35x70	40x50	30x40
2	40x100	-	35x70	40x50	30x40
3	40x95	-	35x65	40x45	30x35
4	40x95	-	35x65	40x45	30x35
5	35x95	-	30x65	40x40	30x30
6	-	-	-	-	-

Vigas					
-------	--	--	--	--	--

Viga	B	H	Viga	B	H
V1	35.00	55.00	V16	25.00	35.00
V2	35.00	55.00	V17	25.00	40.00
V3	30.00	40.00	V18	25.00	35.00
V4	30.00	45.00	V19	25.00	45.00
V5	30.00	35.00	V20	25.00	35.00
V6	30.00	55.00	V21	25.00	35.00
V7	30.00	40.00	V22	25.00	50.00
V8	30.00	40.00	V23	30.00	35.00
V9	30.00	40.00	V24	30.00	30.00
V10	30.00	55.00	V25	30.00	30.00
V11	35.00	55.00	VB1	25.00	30.00
V12	30.00	45.00	VB2	25.00	35.00
V13	35.00	55.00	VB3	25.00	30.00
V14	25.00	35.00	VB4	25.00	35.00
V15	25.00	50.00			

El rediseño de vigas y columnas se llevó a cabo con el objetivo de incrementar la rigidez de la estructura, dado que inicialmente presentaba un comportamiento excesivamente flexible. Tras implementar estas modificaciones, el análisis estructural evidencia un cumplimiento satisfactorio de los criterios establecidos.

Tabla 42.

Cortante basal y distribución de fuerza por piso.

CORTANTE BASAL DE SUELO TIPO "D"							
# PISO	PESO (Kg)	Altura de piso (hx)	$Wx * (hx^k)$	$Cvx = \frac{Wx*(hx^k)}{\sum Wx*(hx^k)}$	$Fx=Cvx*V$	Vx (Ton)	0.30*Fx (Kg)
6	17991,94	20,6	619872,89	0,01	6601,44	6601,44	1980,43
5	502780,71	17	13835786,28	0,26	147346,48	153947,92	46184,38
4	786187,88	13,6	16663524,61	0,31	177460,95	331408,87	99422,66
3	786187,89	10,2	11901139,64	0,22	126743,15	458152,02	137445,61
2	792772,54	6,8	7467651,23	0,14	79527,98	537680,00	161304,00
1	827824,24	3,4	3465520,50	0,06	36906,63	574586,63	172375,99
	3713745,2		53953495,15			574586,63	

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS OE.2: DETERMINAR EL TIPO DE SUELO EN EL QUE SE UBICARÁ EL EDIFICIO EDUCATIVO MEDIANTE ENSAYOS DE LABORATORIO, QUE PERMITAN IDENTIFICAR LAS CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DEL TERRENO EN LA ZONA A CONSTRUIR.

A partir de los resultados recopilados de estudios de suelo realizado por la empresa INGEOTOP S.A en febrero del 2023, se logró encontrar que la carga admisible de suelo para este territorio es de 12 Ton/m², siendo este el valor considerado para el desarrollo del diseño.

La empresa INGEOTOP S.A se dedica a la construcción de todo tipo de edificios residenciales que incluye remodelación, renovación o rehabilitación de estructuras existentes, así como también se dedica al estudio de suelos. (INGEOTOP S.A)

Con base en los análisis realizados y la información complementaria obtenida, el suelo del área de estudio presenta una capacidad portante admisible de 12 Ton/m², lo que indica un comportamiento correspondiente a un suelo de baja a moderada capacidad portante, según la clasificación establecida en la NEC-15. Este valor sugiere que el terreno podría estar compuesto por limos de baja plasticidad (ML) o arcillas de consistencia media (CL), con una posible mezcla de materiales granulares mal compactados, como arenas limosas (SM). La capacidad inicial desfavorable obtenida en los ensayos señala la importancia de considerar la heterogeneidad del suelo en la región y confirma la necesidad de utilizar el valor establecido en fuentes externas para garantizar la seguridad y viabilidad del diseño.

4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS OE.3: CUMPLIR CON TODOS LOS PARÁMETROS ESTABLECIDOS EN NEC 15, EN LO QUE RESPECTA AL DISEÑO SISMORRESISTENTE, APLICANDO LOS CRITERIOS QUE ASEGUREN LA ESTABILIDAD ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO FRENTE A LAS SOLICITACIONES SÍSMICAS Y GRAVITACIONALES ESPERADAS EN LA REGIÓN DE SANTA ELENA

4.2.1. Análisis estático lineal

El desplazamiento horizontal relativo entre dos puntos pertenecientes a un nivel de la estructura se conoce como derivas, es esencial el control de las derivas bajo las limitaciones de las normas, verificando la rigidez de la estructura que permita la disminución del desplazamiento horizontal.

Tabla 44.

Derivas de piso usando el combo $1.2D+L+Ex+0.3Ey$.

Pisos	Ux (m)	Uy (m)	U (m)	Altura piso	Deriva Elástica m	Deriva NEC-15	DERIVA < 0.02
6	0,0442	0,0109	0,0456	3,6	0,0024	0,0142	CUMPLE
6	0,0442	0,0102	0,0454	3,6	0,0024	0,0142	CUMPLE
5	0,0388	0,0148	0,0415	3,4	0,0027	0,0161	CUMPLE
5	0,0388	-0,0003	0,0388	3,4	0,0025	0,0149	CUMPLE
5	0,0322	0,0179	0,0368	3,4	0,0024	0,0142	CUMPLE
5	0,0322	0,0028	0,0323	3,4	0,0020	0,0123	CUMPLE
5	0,0360	0,0088	0,0370	3,4	0,0024	0,0142	CUMPLE
5	0,0360	0,0081	0,0369	3,4	0,0024	0,0142	CUMPLE
4	0,0303	0,0113	0,0324	3,4	0,0028	0,0168	CUMPLE
4	0,0303	-0,0003	0,0303	3,4	0,0026	0,0156	CUMPLE
4	0,0253	0,0137	0,0287	3,4	0,0025	0,0149	CUMPLE
4	0,0253	0,0021	0,0253	3,4	0,0021	0,0129	CUMPLE
4	0,0282	0,0067	0,0290	3,4	0,0025	0,0149	CUMPLE
4	0,0282	0,0061	0,0288	3,4	0,0025	0,0148	CUMPLE
3	0,0215	0,0078	0,0229	3,4	0,0029	0,0172	CUMPLE
3	0,0215	-0,0003	0,0215	3,4	0,0027	0,0161	CUMPLE
3	0,0180	0,0094	0,0203	3,4	0,0025	0,0153	CUMPLE
3	0,0180	0,0014	0,0181	3,4	0,0022	0,0134	CUMPLE

3	0,0200	0,0046	0,0205	3,4	0,0026	0,0153	CUMPLE
3	0,0200	0,0042	0,0204	3,4	0,0025	0,0153	CUMPLE
2	0,0124	0,0043	0,0131	3,4	0,0025	0,0150	CUMPLE
2	0,0124	-0,0002	0,0124	3,4	0,0024	0,0141	CUMPLE
2	0,0104	0,0052	0,0117	3,4	0,0022	0,0133	CUMPLE
2	0,0104	0,0007	0,0105	3,4	0,0020	0,0118	CUMPLE
2	0,0116	0,0025	0,0118	3,4	0,0022	0,0135	CUMPLE
2	0,0116	0,0023	0,0118	3,4	0,0022	0,0134	CUMPLE
1	0,0044	0,0014	0,0046	3,4	0,0014	0,0082	CUMPLE
1	0,0044	-0,0001	0,0044	3,4	0,0013	0,0078	CUMPLE
1	0,0038	0,0017	0,0041	3,4	0,0012	0,0073	CUMPLE
1	0,0038	0,0002	0,0038	3,4	0,0011	0,0066	CUMPLE
1	0,0041	0,0008	0,0042	3,4	0,0012	0,0074	CUMPLE
1	0,0041	0,0007	0,0042	3,4	0,0012	0,0074	CUMPLE

Tabla 45.

Derivas de piso usando el combo 1.2D+L+Ey+0.3Ex.

Pisos	Ux (m)	Uy (m)	U (m)	Altura piso	Deriva Elástica m	Deriva NEC-15	DERIVA < 0.02
6	0,0125	0,0360	0,0381	3,6	0,0021	0,0129	CUMPLE
6	0,0125	0,0364	0,0385	3,6	0,0021	0,0129	CUMPLE
5	0,0085	0,0251	0,0265	3,4	0,0019	0,0115	CUMPLE
5	0,0085	0,0341	0,0351	3,4	0,0023	0,0140	CUMPLE
5	0,0124	0,0233	0,0264	3,4	0,0019	0,0113	CUMPLE
5	0,0124	0,0322	0,0345	3,4	0,0023	0,0138	CUMPLE
5	0,0101	0,0287	0,0304	3,4	0,0021	0,0126	CUMPLE
5	0,0101	0,0291	0,0308	3,4	0,0021	0,0127	CUMPLE
4	0,0065	0,0189	0,0200	3,4	0,0019	0,0115	CUMPLE
4	0,0065	0,0264	0,0272	3,4	0,0025	0,0147	CUMPLE
4	0,0098	0,0174	0,0199	3,4	0,0019	0,0113	CUMPLE
4	0,0098	0,0249	0,0267	3,4	0,0024	0,0145	CUMPLE
4	0,0079	0,0219	0,0233	3,4	0,0022	0,0129	CUMPLE
4	0,0079	0,0222	0,0236	3,4	0,0022	0,0131	CUMPLE
3	0,0046	0,0127	0,0135	3,4	0,0018	0,0108	CUMPLE
3	0,0046	0,0183	0,0188	3,4	0,0025	0,0147	CUMPLE
3	0,0070	0,0116	0,0135	3,4	0,0018	0,0108	CUMPLE
3	0,0070	0,0171	0,0185	3,4	0,0024	0,0145	CUMPLE
3	0,0056	0,0149	0,0159	3,4	0,0021	0,0126	CUMPLE
3	0,0056	0,0152	0,0162	3,4	0,0021	0,0128	CUMPLE
2	0,0026	0,0069	0,0073	3,4	0,0014	0,0087	CUMPLE
2	0,0026	0,0102	0,0105	3,4	0,0021	0,0123	CUMPLE
2	0,0041	0,0062	0,0074	3,4	0,0015	0,0087	CUMPLE
2	0,0041	0,0095	0,0103	3,4	0,0020	0,0121	CUMPLE
2	0,0033	0,0082	0,0088	3,4	0,0017	0,0103	CUMPLE
2	0,0033	0,0083	0,0089	3,4	0,0018	0,0105	CUMPLE
1	0,0010	0,0022	0,0024	3,4	0,0007	0,0043	CUMPLE

1	0,0010	0,0034	0,0035	3,4	0,0010	0,0062	CUMPLE
1	0,0015	0,0020	0,0025	3,4	0,0007	0,0044	CUMPLE
1	0,0015	0,0032	0,0035	3,4	0,0010	0,0061	CUMPLE
1	0,0012	0,0027	0,0029	3,4	0,0009	0,0052	CUMPLE
1	0,0012	0,0027	0,0030	3,4	0,0009	0,0053	CUMPLE

Cuando se tiene una estructura irregular, existe la posibilidad de que esta sufra daños principalmente a causa de los efectos de torsión, estos efectos surgen debido al momento torsionante, que se genera por la fuerza cortante sísmica combinada con la excentricidad estática.

Se considera que hay irregularidad por torsión cuando la deriva máxima en un extremo del piso supera en más de 20% de la deriva promedio de ambos extremos.

Tabla 46.

Irregularidad torsional en usando el combo $1.2D+L+Ex+0.3Ey$.

Pisos	Ux (m)	Uy (m)	U (m)	Altura piso	ΔE	Valor Máx.	Torsión Excesiva	Torsión < 1.2
6	0,0442	0,0109	0,0456	3,6	0,0024			
6	0,0442	0,0102	0,0454	3,6	0,0024	0,0028	0,8334	NO HAY TORSIÓN
5	0,0388	0,0148	0,0415	3,4	0,0027			
5	0,0388	-0,0003	0,0388	3,4	0,0025	0,0031	0,8658	NO HAY TORSIÓN
5	0,0322	0,0179	0,0368	3,4	0,0024			
5	0,0322	0,0028	0,0323	3,4	0,0020	0,0027	0,8955	NO HAY TORSIÓN
5	0,0360	0,0088	0,0370	3,4	0,0024			
5	0,0360	0,0081	0,0369	3,4	0,0024	0,0028	0,8355	NO HAY TORSIÓN
4	0,0303	0,0113	0,0324	3,4	0,0028			
4	0,0303	-0,0003	0,0303	3,4	0,0026	0,0032	0,8648	NO HAY TORSIÓN
4	0,0253	0,0137	0,0287	3,4	0,0025			
4	0,0253	0,0021	0,0253	3,4	0,0021	0,0028	0,8938	NO HAY TORSIÓN
4	0,0282	0,0067	0,0290	3,4	0,0025			
4	0,0282	0,0061	0,0288	3,4	0,0025	0,0030	0,8354	NO HAY TORSIÓN
3	0,0215	0,0078	0,0229	3,4	0,0029			
3	0,0215	-0,0003	0,0215	3,4	0,0027	0,0033	0,8617	NO HAY TORSIÓN
3	0,0180	0,0094	0,0203	3,4	0,0025			
3	0,0180	0,0014	0,0181	3,4	0,0022	0,0029	0,8879	NO HAY TORSIÓN
3	0,0200	0,0046	0,0205	3,4	0,0026			
3	0,0200	0,0042	0,0204	3,4	0,0025	0,0031	0,8352	NO HAY TORSIÓN
2	0,0124	0,0043	0,0131	3,4	0,0025			
2	0,0124	-0,0002	0,0124	3,4	0,0024	0,0029	0,8584	NO HAY TORSIÓN
2	0,0104	0,0052	0,0117	3,4	0,0022			
2	0,0104	0,0007	0,0105	3,4	0,0020	0,0025	0,8819	NO HAY TORSIÓN
2	0,0116	0,0025	0,0118	3,4	0,0022	0,0027	0,8350	NO HAY TORSIÓN

2	0,0116	0,0023	0,0118	3,4	0,0022			
1	0,0044	0,0014	0,0046	3,4	0,0014			
1	0,0044	-0,0001	0,0044	3,4	0,0013	0,0016	0,8537	NO HAY TORSIÓN
1	0,0038	0,0017	0,0041	3,4	0,0012			
1	0,0038	0,0002	0,0038	3,4	0,0011	0,0014	0,8721	NO HAY TORSIÓN
1	0,0041	0,0008	0,0042	3,4	0,0012			
1	0,0041	0,0007	0,0042	3,4	0,0012	0,0015	0,8347	NO HAY TORSIÓN

Tabla 47.

Irregularidad torsional en usando el combo 1.2D+L+Ey+0.3Ex.

Pisos	Ux	Uy	U	Altura piso	ΔE	Valor Máx.	Torsión Excesiva	Torsión < 1.2
6	0,0125	0,0360	0,0381	3,6	0,0021			
6	0,0125	0,0364	0,0385	3,6	0,0021	0,0026	0,8334	NO HAY TORSIÓN
5	0,0085	0,0251	0,0265	3,4	0,0019			
5	0,0085	0,0341	0,0351	3,4	0,0023	0,0025	0,9143	NO HAY TORSIÓN
5	0,0124	0,0233	0,0264	3,4	0,0019			
5	0,0124	0,0322	0,0345	3,4	0,0023	0,0025	0,9139	NO HAY TORSIÓN
5	0,0101	0,0287	0,0304	3,4	0,0021			
5	0,0101	0,0291	0,0308	3,4	0,0021	0,0025	0,8372	NO HAY TORSIÓN
4	0,0065	0,0189	0,0200	3,4	0,0019			
4	0,0065	0,0264	0,0272	3,4	0,0025	0,0026	0,9378	NO HAY TORSIÓN
4	0,0098	0,0174	0,0199	3,4	0,0019			
4	0,0098	0,0249	0,0267	3,4	0,0024	0,0026	0,9356	NO HAY TORSIÓN
4	0,0079	0,0219	0,0233	3,4	0,0022			
4	0,0079	0,0222	0,0236	3,4	0,0022	0,0026	0,8383	NO HAY TORSIÓN
3	0,0046	0,0127	0,0135	3,4	0,0018			
3	0,0046	0,0183	0,0188	3,4	0,0025	0,0026	0,9598	NO HAY TORSIÓN
3	0,0070	0,0116	0,0135	3,4	0,0018			
3	0,0070	0,0171	0,0185	3,4	0,0024	0,0025	0,9548	NO HAY TORSIÓN
3	0,0056	0,0149	0,0159	3,4	0,0021			
3	0,0056	0,0152	0,0162	3,4	0,0021	0,0025	0,8394	NO HAY TORSIÓN
2	0,0026	0,0069	0,0073	3,4	0,0014			
2	0,0026	0,0102	0,0105	3,4	0,0021	0,0021	0,9769	NO HAY TORSIÓN
2	0,0041	0,0062	0,0074	3,4	0,0015			
2	0,0041	0,0095	0,0103	3,4	0,0020	0,0021	0,9684	NO HAY TORSIÓN
2	0,0033	0,0082	0,0088	3,4	0,0017			
2	0,0033	0,0083	0,0089	3,4	0,0018	0,0021	0,8402	NO HAY TORSIÓN
1	0,0010	0,0022	0,0024	3,4	0,0007			
1	0,0010	0,0034	0,0035	3,4	0,0010	0,0010	0,9876	NO HAY TORSIÓN
1	0,0015	0,0020	0,0025	3,4	0,0007			
1	0,0015	0,0032	0,0035	3,4	0,0010	0,0010	0,9747	NO HAY TORSIÓN
1	0,0012	0,0027	0,0029	3,4	0,0009			
1	0,0012	0,0027	0,0030	3,4	0,0009	0,0010	0,8406	NO HAY TORSIÓN

La norma NEC-15 establece también que el índice de estabilidad Q_i , tanto en dirección del sismo en X como en dirección Y, debe cumplir con un límite menor al 10%; en caso de no cumplir con esta especificación, la estructura se consideraría inestable y con riesgos de daños irreversibles.

Tabla 48.

Índice de estabilidad en usando el combo $1.2D+L+Ex+0.3Ey$.

Pisos	U	ΔE	Altura piso	P	V	Q	Q < 0.1
6	0,0450	0,0083	3,6	17991,94	6601,44	0,0062	CUMPLE
5	0,0367	0,0080	3,4	502780,71	153947,92	0,0077	CUMPLE
4	0,0287	0,0084	3,4	786187,88	331408,87	0,0058	CUMPLE
3	0,0203	0,0086	3,4	786187,89	458152,02	0,0043	CUMPLE
2	0,0117	0,0076	3,4	792772,54	537680,00	0,0033	CUMPLE
1	0,0042	0,0042	3,4	827824,24	574586,63	0,0018	CUMPLE

Tabla 49.

Índice de estabilidad en usando el combo $1.2D+L+Ey+0.3Ex$.

Pisos	U	ΔE	Altura piso	P	V	Q	Q < 0.1
6	0,0384	0,0079	3,6	17991,94	6601,44	0,0060	CUMPLE
5	0,0305	0,0072	3,4	502780,71	153947,92	0,0069	CUMPLE
4	0,0233	0,0073	3,4	786187,88	331408,87	0,0051	CUMPLE
3	0,0160	0,0072	3,4	786187,89	458152,02	0,0036	CUMPLE
2	0,0088	0,0059	3,4	792772,54	537680,00	0,0026	CUMPLE
1	0,0029	0,0029	3,4	827824,24	574586,63	0,0012	CUMPLE

4.2.2. Diseño estructural

4.2.2.1. Losa nervada en una dirección

Tabla 50.

Datos requeridos para el diseño de la losa.

Carga L	260	kg/m	Carga D	468.14	kg/m
f'c	240	kg/cm ²	Fy	4200	kg/cm ²
Recubrimiento	2.5	cm	Altura de losa	25	cm
e capa de compresión	5	cm	b capa de compresión	50	cm
h nervio	20	cm	b nervio	10	cm
Peso esp. hormigón	2400	kg/m ³	b de bloque	20	cm

Peso esp. Bloque	1223.24	kg/m ³	L crítica	4.75	m
Φ momento	0.9		Φ cortante	0.75	
W de la losa	108	kg/m	W del bloque	97.86	kg/m
β₁	0.85		ρ_b	0.02429	

a) Mayoración de carga

$$Wu = 1.2(439.93\text{kg/m}) + 1.6(130\text{kg/m})$$

$$Wu = 735.92 \text{ kg/m}$$

b) Momento critico

$$\frac{wL^2}{10} = \frac{(735.92)(4.75)^2}{10}$$

$$Mu = 1660.4087 \text{ kg} * m$$

$$Mu = 166040.87 \text{ kg} * cm$$

$$M_U = \phi f'_c b d^2 \omega (1 - 0.59\omega)$$

$$\frac{166040.87}{(0.9)(240)(10)(22.5)^2} = \omega - 0.59\omega^2$$

$$0.59\omega^2 - \omega + 0.1518 = 0$$

$$\omega = \frac{-(-1) \pm \sqrt{(-1)^2 - 4 * 0.59 * 0.1518}}{2 * 0.59}$$

$$\omega_1 = 1.5263$$

$$\omega_2 = 0.1686$$

c) Cuantía de acero (ρ)

$$\rho = \frac{\omega f'_c}{f_y}$$

$$\rho = \frac{0.1656 * 240}{4200}$$

$$\rho = 0.0096$$

d) Área de acero requerido

$$As = b * d * \rho$$

$$As = 10 * 22.5 * 0.0096$$

$$As = 2.17 \text{ cm}^2$$

$$As_{\text{máx}} = 0.5 * b * d * \rho_b$$

$$As_{\text{máx}} = 0.5 * 10 * 22.5 * 0.02429$$

$$As_{\text{máx}} = 2.73 \text{ cm}^2$$

$$\emptyset = 12$$

$$\text{Área de } \emptyset = 1.13$$

$$As_{\text{diseño}} = 2 * 1.13 = 2.26 \text{ cm}^2$$

$$As_{\text{máx}} \geq As_{\text{diseño}} \geq As_{\text{requerido}}$$

$$2.73 \text{ cm}^2 \geq 2.26 \text{ cm}^2 \geq 2.17 \text{ cm}^2 \text{ CUMPLE}$$

Tabla 51.

Diseño de losa para Mu crítico.

		Ejes		crítico
Diseño losa	Datos iniciales	Luz	(m)	4,75
		long	(m)	0,5
		qu	(kg/m)	735,92
		Mu	(kg-m)	1660,41
	Losa	h	(cm)	5
		b	(cm)	100
		b	(cm)	10
	Nervios	d	(cm)	22,50
		h	(cm)	25
	Acero	As req	(cm2)	2,17
\emptyset			12	
# de varrillas			2	
As diseño		(cm2)	2,26	

e) Cálculo de acero a temperatura

$$A_{st} = b * d * \rho_t$$

$$A_{st} = 100 * 5 * 0.0018$$

$$A_{st} = 0.9 \text{ cm}^2$$

$$\emptyset = 6$$

$$\text{Área de } \emptyset = 0.28$$

$$A_{\text{diseño}} = 4 * 0.28 = 1.13 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{diseño}} \geq A_{\text{requerido}}$$

$$1.13 \text{ cm}^2 \geq 0.9 \text{ cm}^2 \text{ **CUMPLE**}$$

f) Espaciamiento de varillas

- Refuerzo principal

(mín. = 10 cm)

$$s = \begin{cases} \frac{100 * A_{\emptyset}}{A_{sr}} \\ 2 \text{ e losa} \end{cases}$$

$$s = \begin{cases} \frac{100 * 1.13}{2.26} = 50 \\ 2 (25) = 50 \end{cases}$$

- Acero por temperatura

(mín. = 10 cm)

$$s = \begin{cases} \frac{b \text{ losa}}{\# \text{ varillas}} \\ 5 * e \text{ losa} \\ 45 \text{ cm} \end{cases}$$

$$s = \begin{cases} \frac{100}{4} = 25 \\ 5 * 5 = 25 \\ 45 = 45 \end{cases}$$

$$s = 25 \text{ cm}$$

El espaciamiento de las varillas será de 25 cm, tanto para el acero refuerzo principal y como para el acero a temperatura.

g) Revisión por cortante.

$$Vu = 1.15 * \frac{WuL}{2}$$

$$Vu = 1.15 * \frac{735.92 * 4.75}{2}$$

$$Vu = 2009.97 \text{ kg}$$

$$Vc = 0.53\sqrt{f'c} * b * d$$

$$Vc = 0.53\sqrt{240} * 10 * 22.5$$

$$Vc = 1847.41 \text{ kg}$$

$$\phi Vn = \phi Vc$$

$$\phi Vn = 0.75 * 1847.41$$

$$\phi Vn = 1385.56 \text{ kg}$$

$$\phi Vn \geq Vu$$

$$1385.56 \text{ kg} < 2009.97 \text{ kg} \text{ **NO CUMPLE**}$$

- Diseño de estribos en caso de NO CUMPLIR

$$\phi = 8$$

$$\text{Área de } \phi = 0.50$$

$$V_s = \frac{A_s \phi * d * f_y}{S}$$

$$V_s = \frac{0.5 * 22.5 * 4200}{25}$$

$$V_s = 1900 \text{ kg}$$

$$\phi V_n = \phi (V_c + V_s)$$

$$\phi V_n = 0.75 * (1847.41 + 1900)$$

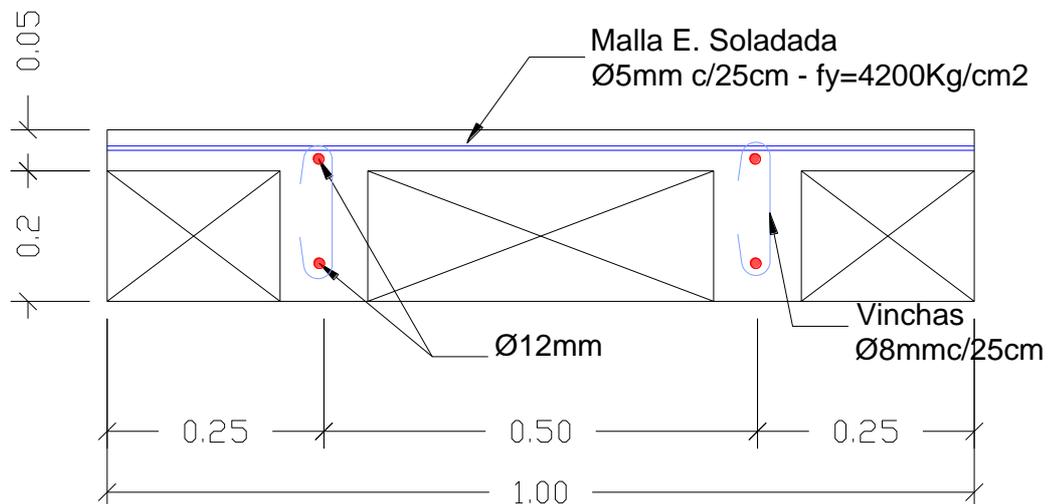
$$\phi V_n = 2810.59 \text{ kg}$$

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$2810.59 \text{ kg} \geq 2009.97 \text{ kg} \text{ CUMPLE}$$

Figura 17

Armado de losa en una dirección.



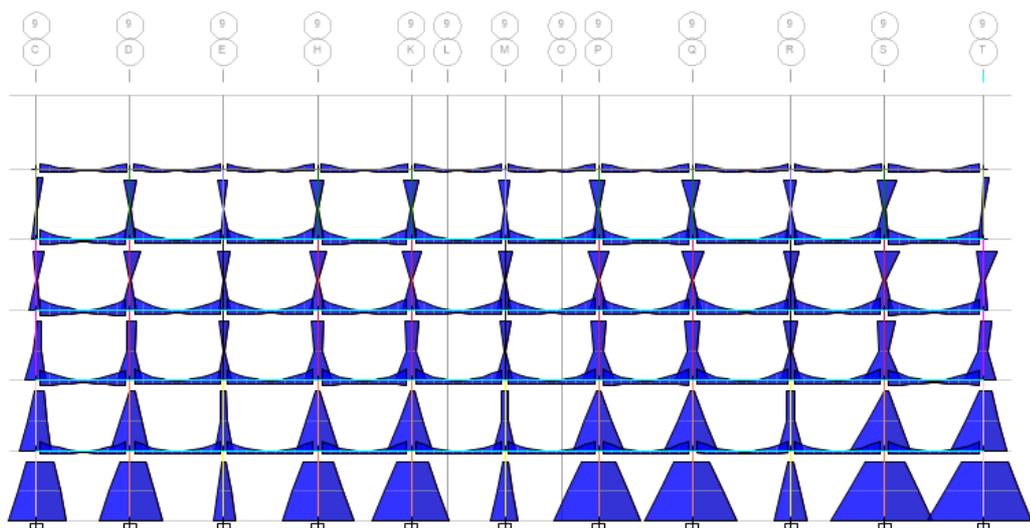
4.2.2.2. Vigas

a) Diseño a flexión

Nilson & Darwin (1997) precisa que las vigas de concreto simple son poco eficientes para resistir esfuerzos de flexión, ya que su resistencia a la tensión es considerablemente menos que su resistencia a la compresión, esto provoca que las vigas experimenten fallas prematuras en la zona traccionada, incluso antes de que el concreto alcance su capacidad máxima en compresión. Para superar esta limitación, se incorpora barras de acero en la región sometida a tensión, situándolas lo más cerca posible de la fibra traccionada, pero que aseguren una capa protectora que la aisle de posibles daños por fuego o corrosión.

A continuación, se describirá detalladamente el procedimiento utilizado en el diseño de vigas sometidas a flexión, siguiendo las directrices establecidas en la normativa NEC 2015. Aprovechando los momentos facilitados por el software empleado, se procederá a calcular el acero de refuerzo requerido para las zonas superior e inferior de la viga. Dichos momentos se obtuvieron mediante las combinaciones de carga previamente configuradas en el programa.

Figura 18
Momentos de pórtico 9.



Por medio de Etabs se obtuvieron los datos de momentos, los cuales fueron introducidos en las siguientes imágenes.

Figura 19
Momentos máximo de diseño, lado izquierdo.

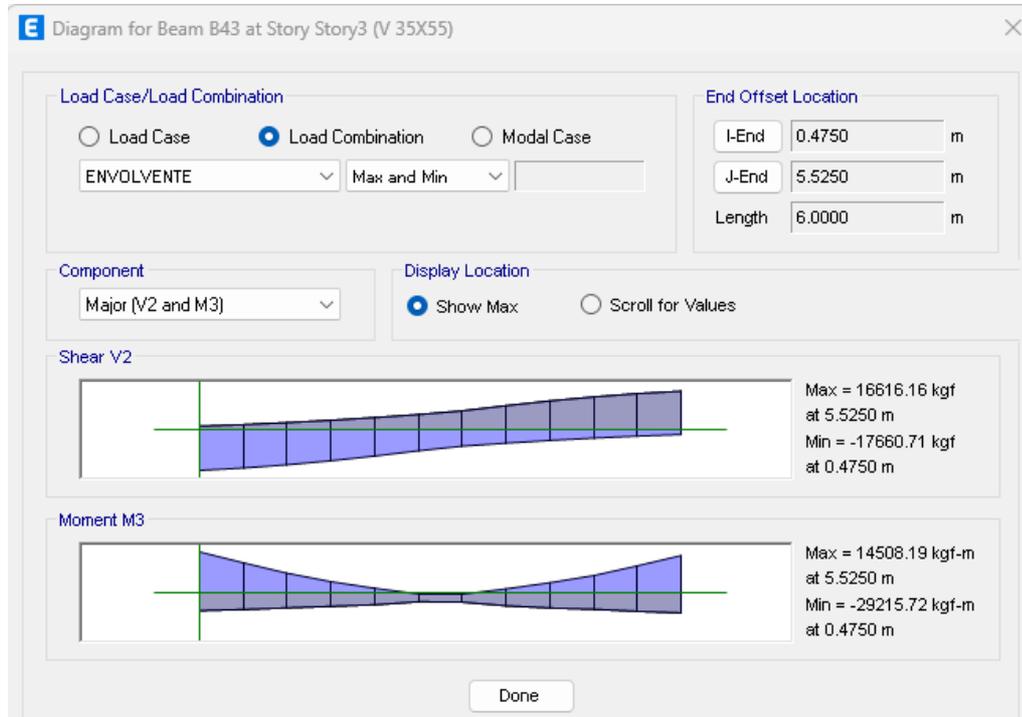


Figura 20
Momentos máximo de diseño, lado centro.

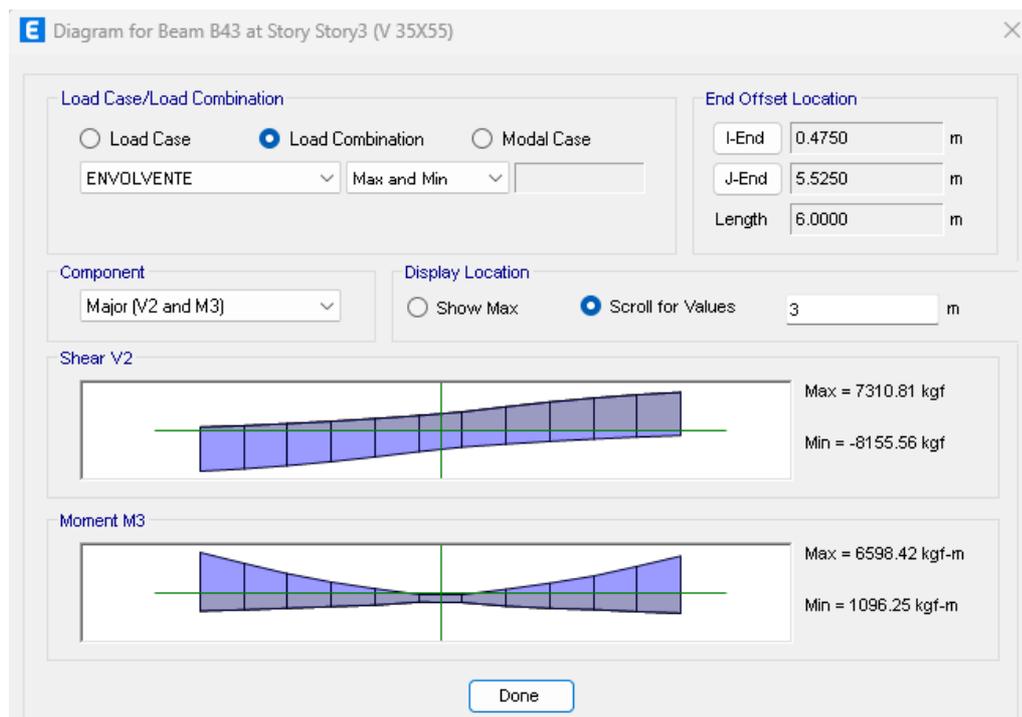
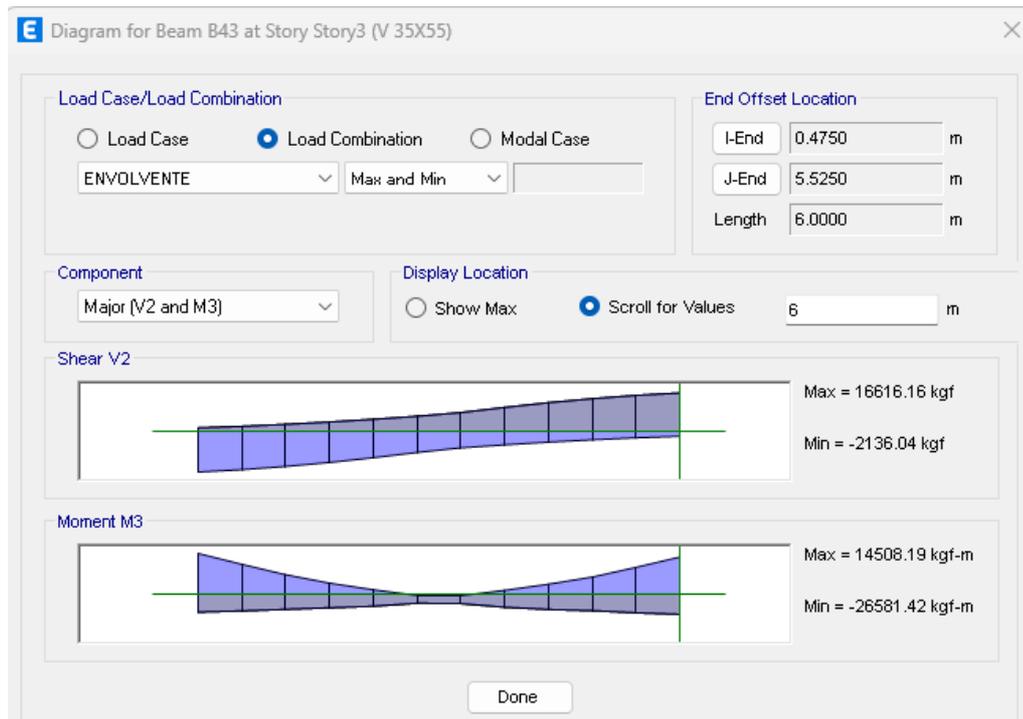


Figura 21
Momentos máximo de diseño, lado derecho



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

$$Mu = d^2 \phi (b) (f'c) (\omega) (1 - 0.59(\omega))$$

$$\rho = \frac{F'c * \omega}{Fy}$$

$$As_{req} = \rho * B * d$$

Donde:

At: área tributaria.

L: longitud más crítica de la viga.

Mu: momento último.

ϕ : factor de reducción de resistencia.

F'c: resistencia de compresión del hormigón.

b: base de la viga.

ω : cuantía de refuerzo.

Datos Viga 35X55		
B	35	cm
d	50	cm
Rec	5	cm
F'c	240	kg/cm ²
Fy	4200	Kg/cm ²

Se procede a reemplazar valores en las ecuaciones mostradas anteriormente:

$$Mu = d^2 \phi (b) (f'c) (\omega) (1 - 0.59(\omega))$$

$$2921572 = 50^2 (0.9) (35) (240) (\omega) (1 - 0.59(\omega))$$

$$\omega = 0.1720$$

$$\rho = \frac{F'c * \omega}{Fy}$$

$$\rho = \frac{240 * 0.1720}{280}$$

$$\rho = 0.0098$$

$$As_{req} = \rho * B * d$$

$$As_{req} = 0.0098 * 35 * 50$$

$$As_{req} = 17.20 \text{ cm}^2$$

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

$$As_{min} = \frac{14}{fy} * B * d$$

$$As_{min} = \frac{\sqrt{240}}{4 * fy} * B * d$$

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

$$As_{min} = \frac{14}{fy} * B * d$$

$$As_{min} = \frac{14}{4200} * 35 * 50$$

$$As_{min} = 5.83 \text{ cm}^2$$

$$As_{min} = \frac{\sqrt{240}}{4 * fy} * B * d$$

$$As_{min} = \frac{\sqrt{240}}{4 * 4200} * 35 * 50$$

$$As_{min} = 1.61 \text{ cm}^2$$

Tomaremos el primer valor que calculado que es igual a: 5.83 cm^2

$$A_{s_{req}} \geq A_{s_{min}}$$
$$17.20 \text{ cm}^2 \geq 5.83 \text{ cm}^2$$

(SI CUMPLE)

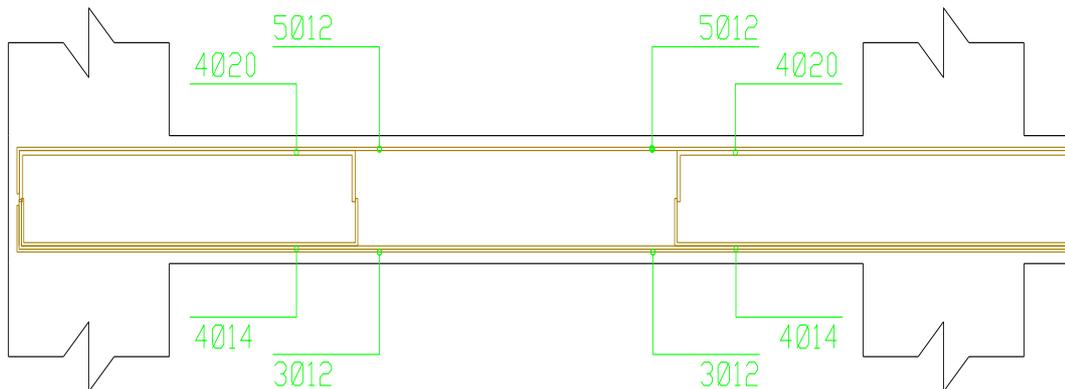
Para el cálculo de acero máximo se tomó una cuantía máxima de $\rho_{max} = 0.025$ por lo que el resultado sería el siguiente:

$$A_{s_{max}} = \rho_{max} * B * d$$
$$A_{s_{max}} = 0.025 * 35 * 50$$
$$A_{s_{max}} = 43.75 \text{ cm}^2$$

Una vez calculado los aceros máximos, requeridos y mínimo se procede a detallar el refuerzo longitudinal para el acero de diseño:

$$A_{s_{Dis}} = 18.22 \text{ cm}^2$$

Figura 22
Cortante equivalente de viga 35x55.



b) Refuerzo transversal

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

$$\begin{aligned}a_{inicio} &= \frac{As * fy}{0.85 * f'c * b} & a_{fin} &= \frac{As * fy}{0.85 * f'c * b} \\a_{inicio} &= \frac{18.22 * 4200}{0.85 * 240 * 35} & a_{fin} &= \frac{18.22 * 4200}{0.85 * 240 * 35} \\a_{inicio} &= 9.18 \text{ cm} & a_{fin} &= 9.18 \text{ cm}\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}M_{pr1} &= 1.25 * As * fy * (d - \frac{a}{2}) \\M_{pr1} &= 1.25 * 18.22 * 4200 * (50 - \frac{9.18}{2}) \\M_{pr1} &= 4343693.55 \text{ kg} * \text{cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{pr2} &= 1.25 * As * fy * (d - \frac{a}{2}) \\M_{pr2} &= 1.25 * 18.22 * 4200 * (50 - \frac{9.18}{2}) \\M_{pr2} &= 4343693.55 \text{ kg} * \text{cm}\end{aligned}$$

Se procede a calcular el cortante isostático por medio de:

$$\begin{aligned}V_{isostatico} &= \frac{Wu * Ln}{2} \\V_{isostatico} &= \frac{7399.22 * 6}{2} \\V_{isostatico} &= 22197.66 \text{ Kg}\end{aligned}$$

Luego calcularemos el cortante hiperestático.

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

$$VE = \frac{43436.9355 + 43436.9355}{6}$$

$$VE = 14478.98 \text{ Kg}$$

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

$$Ve = Visostatico + VE$$

$$Ve = 22197.66 + 14478.98$$

$$Ve = 36676.64 \text{ Kg}$$

Acero transversal en la zona 2h:

$$\phi Vu \geq Ve$$

$$\phi Vu \geq \phi Vs$$

$$Vs = Asv * fy * \left(\frac{d}{s}\right)$$

$$Vs = 3 * 0.79 * 4200 * \left(\frac{50}{10}\right)$$

$$Vs = 49480.08 \text{ Kg}$$

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

$$\phi Vs \geq \phi Vn$$

$$\phi Vu \geq 0.75 * Vs$$

$$\phi Vu = 0.75 * 49480.08$$

$$\phi Vu = 37110.06$$

Determinaremos si nos cumple de acuerdo con la norma.

$$\phi Vu \geq Ve$$

$$37110.06 \text{ Kg} \geq 36676.64 \text{ Kg}$$

(SI CUMPLE)

Acero transversal fuera de la zona 2h

$$V_c = 0.53 * \lambda * \sqrt{f'_c} * B * d$$
$$V_c = 0.53 * 1 * \sqrt{240} * 35 * 50$$
$$V_c = 14368.77 \text{ Kg}$$

$$V_s = A_{sv} * f_y * \left(\frac{d}{s}\right)$$
$$V_s = 2 * 0.79 * 4200 * \left(\frac{50}{25}\right)$$
$$V_s = 13194.69 \text{ Kg}$$

$$\phi V_n = 0.75 * (V_c + V_s)$$
$$\phi V_n = 0.75 * (14368.77 + 13194.69)$$
$$\phi V_n = 20672.59 \text{ Kg}$$

Refuerzo mínimo a cortante

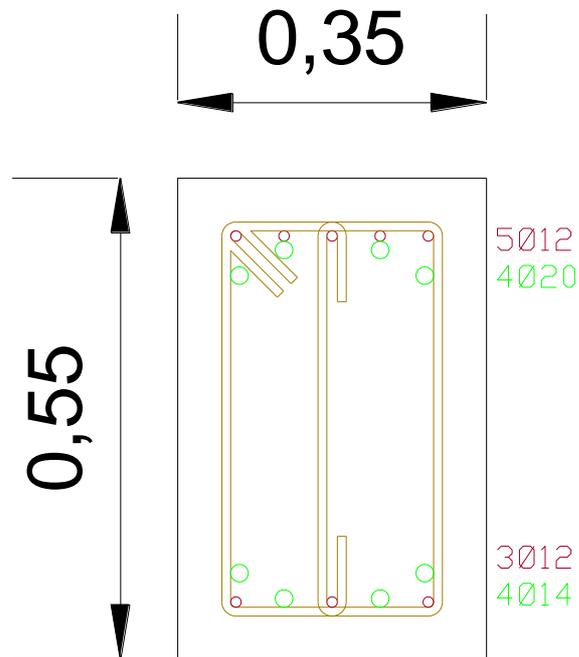
$$V_{u_{min}} = 0.27 * \lambda * \sqrt{f'_c} * B * d$$
$$V_{u_{min}} = 0.27 * 1 * \sqrt{240} * 35 * 50$$
$$V_{u_{min}} = 7319.94 \text{ Kg}$$

Finalmente realizamos la comprobación:

$$\phi V_s \geq V_{u_{min}}$$
$$20672.59 \text{ Kg} \geq 7319.94 \text{ Kg}$$

(SI CUMPLE)

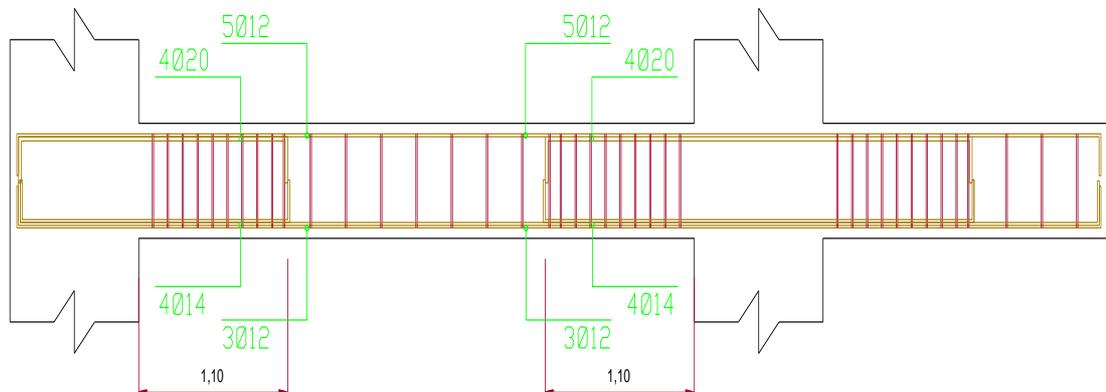
Figura 23
Refuerzo transversal de viga 35x55.



c) Adherencia y anclaje de varillas

En este punto indicamos que los ganchos serán doblados a 90° y tendrán una longitud de 12 veces la varilla a utilizar.

Figura 24
Detalle de armado de viga 35x55



4.2.2.3. Columnas

Límites dimensionales

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

$$\text{a) } hc1, hc2 \geq 30 \text{ cm} \qquad \text{b) } \frac{\text{dimensión menor}}{\text{dimension perpendicular}} \geq 0.4$$

$$hc1=100 \text{ cm} \geq 30 \text{ cm (Cumple)} \qquad \frac{40}{100} \geq 0.4$$

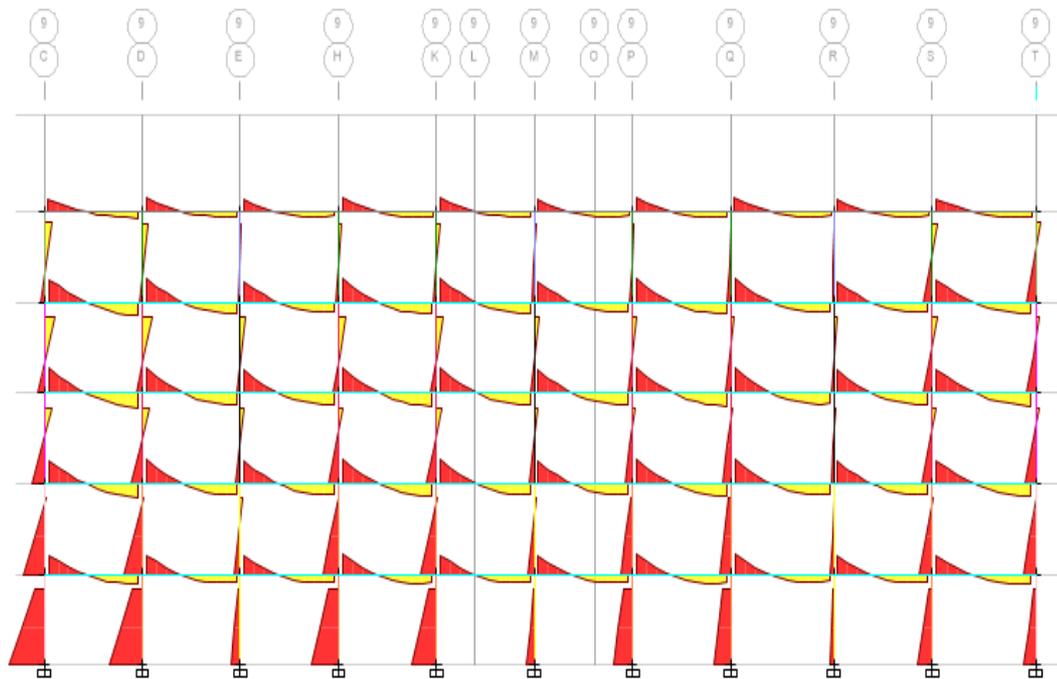
$$hc2=40 \text{ cm} \geq 30 \text{ cm (Cumple)} \qquad 0.4 \geq 0.4$$

a) Diseño a flexo-compresión

Revollo Oporto & Delgadillo Zurita (2017) puntualizan que las columnas de hormigón armado desempeñan un papel crucial en las estructuras de una edificación, ya que soportan principalmente cargas de compresión combinadas con momentos flectores, y al surgir problemas patológicos o una modificación en el uso previsto de la estructura, las cargas aplicadas sobre las columnas pueden aumentar, lo que provoca una expansión lateral de las mismas. Bajo este contexto, resulta esencial implementar un refuerzo adecuado que optimice el confinamiento de la columna y limite su deformación transversal, garantizando así su estabilidad y desempeño estructural.

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. Con estos valores se pudo graficar diagramas de interacción, el cual permite visualizar como se comportaría dicha columna frente a estos esfuerzos.

Figura 25
Diagrama de momentos (M 3-3) del pórtico C



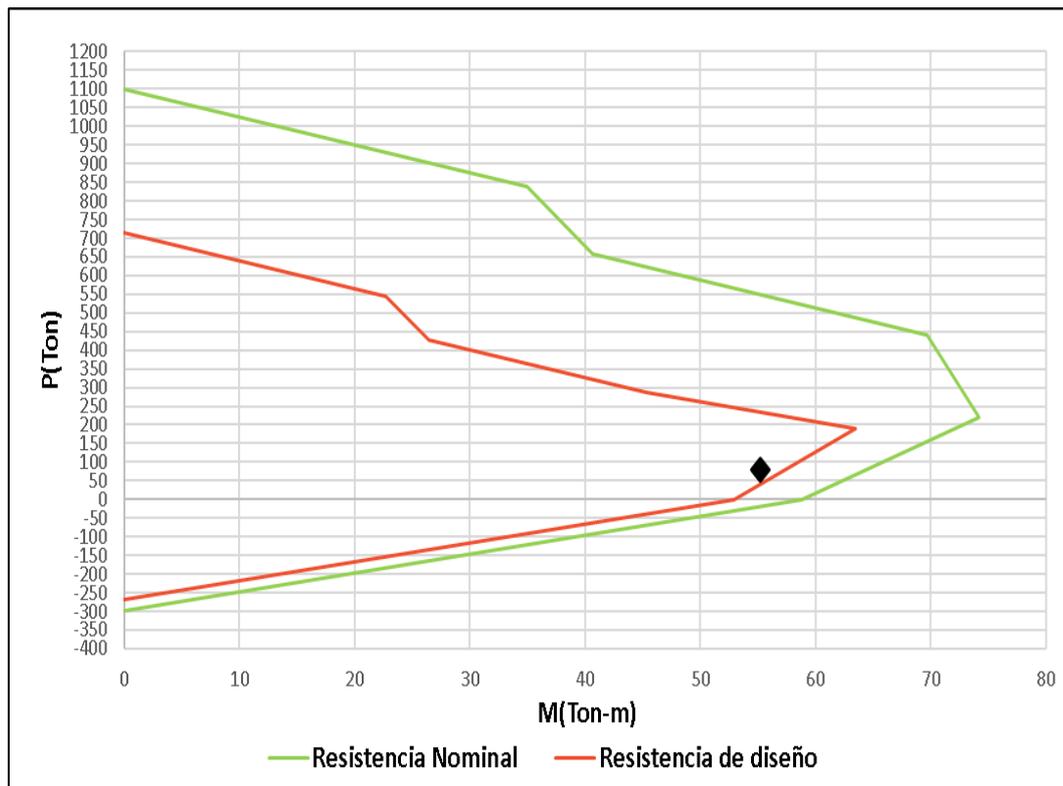
Lo siguiente es calcular el área de acero que se necesitara, por medio del M_u y P_u más crítico que se obtuvo en la tabla de resultados arrojada por Etabs.

Datos columnas		
P_u	81104.28	Kg
M_u	55230.19	Kg-m
B	40.00	cm
H	100.00	cm
f'_c	240	Kg/cm ²
f_y	4200	Kg/cm ²

Este cálculo se realiza considerando las propiedades geométricas y mecánicas del material, como la resistencia del concreto, el acero de refuerzo, y la sección transversal de la columna. Ingresando todos estos datos en una hoja de cálculo debido al cálculo extenso que requiere esta condición.

Figura 26

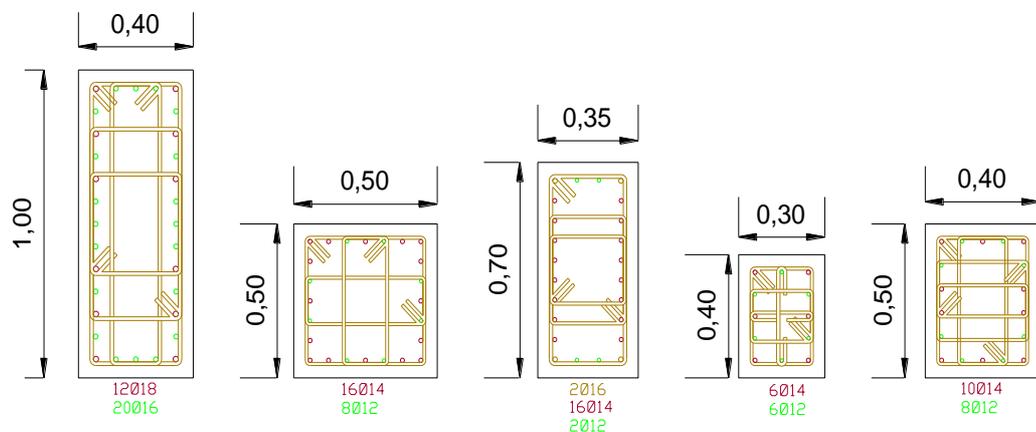
Diagrama de interacción de la columna 40x100(Columna Crítica).



Luego de realizar estos cálculos se tiene que el acero para la columna de (40x100cm) es de 12 varillas de 18 mm + 20 varillas de 16 mm. Esta combinación de varillas cumple con los requerimientos que se necesitaban para poder cumplir con la resistencia solicitada.

Figura 27

Detalle de refuerzo longitudinal de las columnas.



b) Criterio columna fuerte – viga débil

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

Cálculo del momento en la viga de la parte superior

Datos		
Ø de diseño	5Ø 12 + 4Ø 20	
As	18.22	cm ²
F'c	240	kg/cm ²
fy	4200	Kg/cm ²
B	35	cm
H	55	cm
d	50	cm

$$M_{v1} = \phi * A_s * f_y * (j * d)$$
$$M_{v1} = 0.9 * 18.22 * 4200 * (0.95 * 50)$$
$$M_{v1} = 3271401 \text{ kg} * \text{cm}$$

Cálculo del momento en la viga de la parte inferior.

Datos		
Ø de diseño	3Ø 12 + 4Ø 14	
As	9.55	cm ²
F'c	240	kg/cm ²
fy	4200	Kg/cm ²
B	35	cm
H	55	cm
d	50	cm

$$M_{v1} = \phi * A_s * f_y * (j * d)$$
$$M_{v1} = 0.9 * 9.55 * 4200 * (0.95 * 50)$$
$$M_{v1} = 1714702.5 \text{ kg} * \text{cm}$$

$$\sum M_{n\text{vigas}} = 32.71 + 17.14 = 49.85 \text{ ton} * m$$

$$1.2 \sum M_{n\text{vigas}} = 1.2 * 49.85 = 59.82 \text{ ton} * m$$

Se procede a calcular el momento en las columnas:

Datos columna		
\emptyset de diseño	12 \emptyset 18+20 \emptyset 16	
As	58.69	cm ²
F'c	240	kg/cm ²
f _y	4200	Kg/cm ²
B	40	cm
H	100	cm
d	93.9	cm

$$M_{c1} = \emptyset * A_s * f_y * (j * d)$$

$$M_{c1} = 0.9 * 58.69 * 4200 * (0.95 * 93.90)$$

$$M_{c1} = 19789968.68 \text{ kg} * \text{cm}$$

Debido a que se encuentra en la parte superior una distribución de aceros igual a la inferior el momento de la columna 2 es igual al de la 1.

$$M_{c2} = 19789968.68 \text{ kg} * \text{cm}$$

$$\sum M_c = 197.89 + 197.89 = 395.78 \text{ ton} * m$$

Se verifica la condición:

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

$$395.78 \geq 59.82$$

(SI CUMPLE)

c) Refuerzo transversal

Para el cálculo del refuerzo transversal se tienen los siguientes datos:

Datos		
B	40	cm
H	100	cm
Rec	4	cm
Bc	32	cm
Hc	94	cm

Según con lo mencionado en la NEC-SE-HM en la sección 4.3.4, la longitud L_o debe ser analizada por los siguientes parámetros donde:

- La altura donde ocurre la fluencia, la cual es 100 cm
- $L_c/6 = 340\text{cm}/6 = 55\text{cm}$
- 45 cm

Después de tener estos tres criterios establecidos, procedemos a elegir el menor, en este caso sería de 100cm.

En cuestión a lo que dicta la misma sección, la separación de refuerzo no debe exceder de la menor de los siguientes parámetros en la zona L_o :

- 10 cm
- $6*d_b = 6*((1.8+2) / 2) = 11.4\text{cm}$

Con estos dos criterios establecidos, procedemos a elegir el menor, en este caso sería de 10 cm que dejaría de espaciamiento en la zona l_o .

Mientras que fuera de la zona l_o :

- 15 cm
- $6*d_b = 6*((1.8+2) / 2) = 11.4\text{cm}$

De igual manera se escoge el menor, en este caso sería 11.4 cm, lo que dejaría como espaciamiento en la zona fuera de $l_o = 10$ cm

Procedemos a realizar el chequeo de refuerzo transversal para columnas en pórticos especiales resistentes a momento

$$\frac{A_{sh}}{sbc} = \left\{ \begin{array}{l} 0.3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_y} \\ 0.09 \frac{f'_c}{f_y} \end{array} \right\}$$

$$\frac{A_{sh}}{sbc} = \left\{ \begin{array}{l} 0.3 \left(\frac{40 * 100}{32 * 94} - 1 \right) \frac{240}{4200} \\ 0.09 \frac{240}{4200} \end{array} \right\}$$

$$\frac{A_{sh}}{sbc} = \{0.00617\}$$

$$\frac{A_{sh}}{sbc} = \{0.00514\}$$

Entonces el acero requerido se obtiene:

$$A_{sB} = 0.00617 * 32 * 10 = 1.97 \text{ cm}^2$$

$$A_{sH} = 0.00617 * 94 * 10 = 5.66 \text{ cm}^2$$

Entonces en la dirección X, con 2 Ø12mm se obtiene un área de acero provisto de 2.26 cm²

$$A_{sh \text{ prov}} > A_{sh}$$

$$2.26 \text{ cm}^2 > 1.97 \text{ cm}^2$$

(SI CUMPLE)

Mientras que en la dirección Y, con 6 Ø12mm se obtiene un área de acero provisto de 6.79 cm²

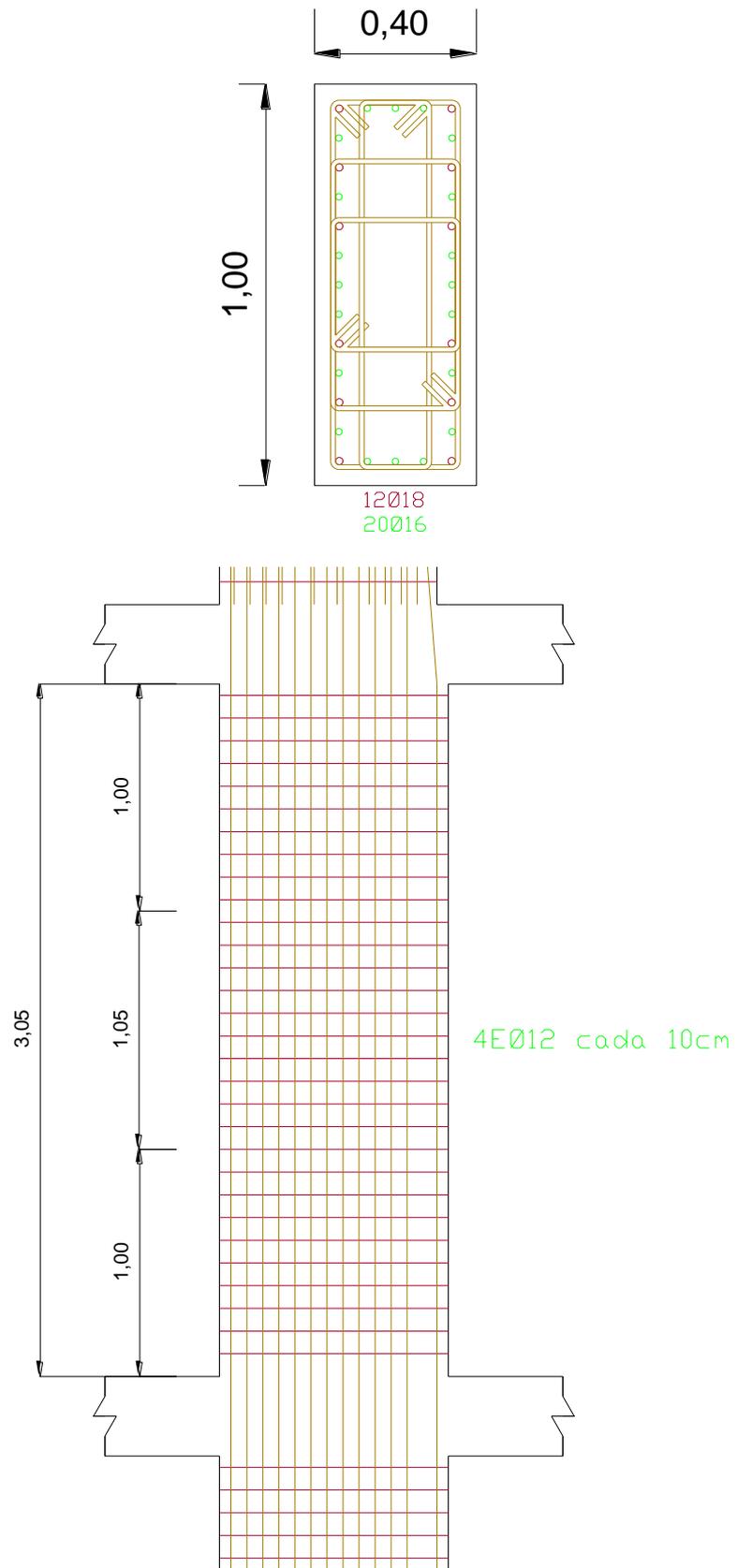
$$A_{sh \text{ prov}} > A_{sh}$$

$$6.79 \text{ cm}^2 > 5.66 \text{ cm}^2$$

(SI CUMPLE)

Con el análisis que se realizó para la columna de 40x100 se confirma que el refuerzo transversal será de 4 varillas de 12 mm cada 10 cm dentro y fuera de la zona Lo. A continuación, se muestran detalles de la columna.

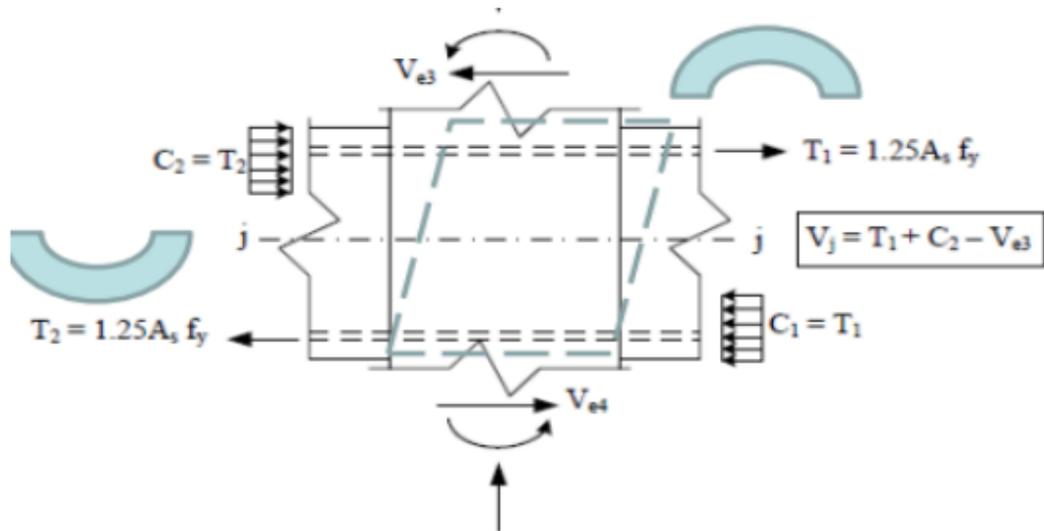
Figura 28
Detalle de refuerzo longitudinal y transversal.



d) Conexión Viga – Columna

El análisis se enfocará en la columna interior con dimensiones de 40x100 cm, dado que una de sus caras se encuentra en contacto directo con una viga. La figura adjunta ilustrará con claridad el diseño que se busca explicar.

Figura 29
Conexión viga-columna.



Nota. Tomado de la norma NEC-SE-CG (2015)

Con el propósito de calcular el ancho efectivo, se recomienda posicionar la viga de manera centrada respecto al eje de la columna, lo que favorece un mejor confinamiento estructural. A tal efecto, se define la siguiente fórmula:

$$b_j = B + 2X$$

$$b_j = 35 + 2(0)$$

$$b_j = 35 \text{ cm}$$

$$A_j = b_j * h$$

$$A_j = 35 * 100$$

$$A_j = 3500 \text{ cm}^2$$

En relación con el acero longitudinal de la viga detallado en los cálculos, se realiza una verificación de la conexión por cortante, tomando en cuenta el aporte al cortante de la columna.

$$T1 = 1.25 * As * fy$$

$$T1 = 1.25 * 11.18 * 4200$$

$$T1 = 58695 \text{ Kg}$$

$$T2 = 1.25 * As * fy$$

$$T2 = 1.25 * 6.88 * 4200$$

$$T1 = 36120 \text{ Kg}$$

$$Vnc = \frac{Mns + Mni}{Ln}$$

$$Vnc = \frac{63470 + 63470}{3.4}$$

$$Vnc = 37335.29 \text{ Kg}$$

Para hallar la resistencia nominal del nodo a cortante es necesario que cumpla ciertos parámetros que se dicta el ACI los cuales se aprecian 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 Vn	
15.2.6	Cumple
15.2.7	Cumple
15.2.8	No cumple

$$Bw \geq 0.75Bc$$
$$35 \geq 0.75(100)$$
$$35 \text{ cm} \geq 75 \text{ cm}$$

(No Confinado)

Resistencia nominal del nodo

$$Vn = 4 * \lambda * \sqrt{F'c} * Aj$$
$$Vn = 4 * 1 * \sqrt{240} * 1400$$
$$Vn = 86754.83 \text{ Kg}$$

Verificación de conformidad

$$\phi Vn > Vej$$
$$0.85 * 86754.83 > 58695 + 36120 - 37335.29$$
$$73741.60 > 57479.71$$

(Cumple)

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

En conformidad al primer objetivo, se elaboró un plano arquitectónico que cumple con el fin de presentar de manera adecuada y práctica la distribución de las aulas, oficinas y demás áreas del edificio que facilita la circulación y uso de la infraestructura, la organización de los espacios se realizó de manera funcional optimizando al máximo el área disponible, permitiendo que todas las secciones cumplan con su propósito operativo para satisfacer las necesidades de la comunidad estudiantil. De igual manera, el diseño incorpora soluciones que aseguran accesibilidad, comodidad y conformidad con las normativas locales aplicables a edificaciones educativas, garantizando así un proyecto eficaz que responde a los requerimientos académicos y administrativos de la institución.

Para el segundo objetivo, a partir de los resultados presentados, se concluye que la capacidad portante del suelo en el área de estudio, estimada en 12 Ton/m², este valor fue tomado del estudio de suelo mencionado anteriormente que corresponde a un terreno con características de baja a moderada capacidad portante según la clasificación de la NEC-15. La variabilidad resultante de los ensayos locales manifiesta la heterogeneidad del terreno, lo que remarca la importancia de recurrir a fuentes adicionales confiables que validen los parámetros geotécnicos, y en este caso, al adoptar la capacidad portante recomendada de 12 Ton/m² de fuentes externas, se asegura un enfoque conservador en el diseño, minimizando los riesgos asociados a asentamientos o fallas estructurales; además, este valor también respalda la viabilidad técnica y económica del proyecto.

Del análisis realizado en el tercer objetivo, se concluye que el diseño sísmico se ha llevado a cabo de manera correcta y conforme a los estándares exigidos por la normativa vigente. Gracias a los resultados obtenidos mediante el uso del programa ETABS, se llevaron a cabo comprobaciones fundamentales, tales como el análisis de torsión, derivas y desplazamientos, los cuales cumplieron con los parámetros establecidos en la NEC 15. Estos chequeos validaron que el comportamiento

estructural es adecuado para resistir las solicitaciones sísmicas proyectadas, asegurando la estabilidad y funcionalidad del edificio.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda elaborar un plano arquitectónico de manera detallada, corrigiendo las medidas de los elementos estructurales para que pueda ser entendido de manera eficaz, ya que este es el que nos dará un vistazo de cómo será la obra antes de su ejecución.
- Además, se sugiere llevar a cabo estudios de suelo en la zona de trabajo, siguiendo lo estipulado por la NEC-2015, lo que implica realizar exploraciones hasta una profundidad de 30 metros. Esto permitirá determinar con precisión el tipo de suelo presente en el área donde se desarrollará el proyecto.
- Finalmente, se recomienda cumplir adecuadamente con las especificaciones de diseño sismorresistente, a fin de asegurar que la edificación sea capaz de resistir los efectos de un evento sísmico y, al mismo tiempo, reducir al mínimo los daños en los elementos no estructurales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI-ASCE 352. (2010). *Recomendaciones para el Diseño de Conexiones Viga Columna en Estructuras Monolíticas de Concreto Reforzado*.
www.concrete.org
- Aguiar, R., Bonilla, A., & Romero, J. (2020). DIAGRAMAS DE FLEXIÓN, CORTE Y CARGA AXIAL EN PÓRTICOS CON CARTELAS DE HORMIGÓN. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 25.
<https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/riie/article/view/1865/1409>
- Andrade Insúa, L. E. (2004). *CONTROL DE LA DERIVA EN LAS NORMAS DE DISEÑO SISMORRESISTENTE*.
PONTIFICIAUNIVERSIDADCATÓLICADELPERU.
- Araújo, P. H. O., Saboia, A. V., & Alves, E. M. (2021). Uso de fundações em solos / Use of soil foundations. *Brazilian Journal of Development*, 7(11), 105455–105472. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n11-259>
- Aráuz Urbina, J. C., Omier Ramírez, S. O., Castro Jo, S. E., Law López, J. J., García Blandón, D. del S., Urbina Luna, J. M., & Peña Sánchez, O. O. (2023). Levantamiento y propuesta esquemática de infraestructura del Recinto Bluefields BICU. *Wani*, 78.
<https://doi.org/10.5377/wani.v39i78.15854>
- Arias Gómez, J., Villasís Keever, M. Á., & Miranda Novales, M. G. (2016). El protocolo de investigación III: la población de estudio. *AlergiaMexico*.
www.nietoeditores.com.mx
- Barragán Benites, F., & Intriago Burgos, W. G. (2015). *DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO RESIDENCIAL PARA LOS ESTUDIANTES DE LA ESPOL*. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.
- Barros Bastidas, L. M., & Plazarte Peñafiel, J. M. (2015). *ANÁLISIS COMPARATIVO ECONÓMICO - ESTRUCTURAL ENTRE UN SISTEMA APORTICADO, UN SISTEMA APORTICADO CON MUROS*

ESTRUCTURALES Y UN SISTEMA DE PAREDES PORTANTES, EN UN EDIFICIO DE 10 PISOS. ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL.

- Centro del Agua y Desarrollo Sustentable. (2013). *Análisis de vulnerabilidad del cantón Santa Elena. CADS - ESPOL.*
<https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/56776.pdf>
- Chunga, K., Ochoa-Cornejo, F., Mulas, M., Toulkeridis, T., Menéndez, E., Rumiñahui S/N Y Ambato, G., & Sangolquí, E. (2019). Characterization of seismogenic crustal faults in the Gulf of Guayaquil, Ecuador. *Andean Geology* *Www.Andeangeology.Cl Andean Geology*, 46(1), 66–81.
<https://doi.org/10.5027/andgeoV46n1-2991>
- Cueva Luza, T., Jara Córdova, O., Arias Gonzáles, J. L., Flores Limo, F. A., & Balmaceda Flores, C. A. (2023). Métodos mixtos de investigación para principiantes. In *Métodos mixtos de investigación para principiantes*. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú.
<https://doi.org/10.35622/inudi.b.106>
- D'andréa, R. (2010). *Predicción de la durabilidad del hormigón armado a partir de indicadores de corrosión: aplicación de la resistividad eléctrica.* UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID.
- Das, B. M. (2011). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones* (Séptimo).
- De La Llera, J. C., & Chopra, A. K. (1994). ACCIDENTAL TORSION IN BUILDINGS DUE TO BASE ROTATIONAL EXCITATION. *EARTHQUAKE ENGINEERING AND STRUCTURAL DYNAMICS*, 23(19), 100–1021.
- Game Zapata, R. D. (2021). *Diseño estructural del edificio de educación virtual en la Ciudad Universitaria Milagro.* ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.
- Humar, J., Mahgoub, M., & Ghorbanie-Asl, M. (2006). Effect of second-order forces on seismic response. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 33(6), 692–706. <https://doi.org/10.1139/L05-119>
- K. McGuire, R. (2004). *Seismic Hazard and Risk Analysis.*

- Manzanares García, V. H., & Vargas Machuca Gutiérrez, D. S. (2020). *Diseño sísmico estructural del pabellón de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad César Vallejo – Trujillo* [UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO]. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/55830/Manzanares_GVH-Vargas_MGDS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- McCormac, J. C., & Brown, R. H. (2017). *Diseño de Concreto reforzado* (Alfaomega Grupo Editor, Ed.; 10th ed.).
- Medina Christian, & Placencia Patricio. (2017). Reducción de la Vulnerabilidad en Estructuras Esenciales de Hormigón Armado: Hospitales, Situadas en Zonas de Alto Peligro Sísmico en el Ecuador. *Revista Politécnica*, 40. https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/744/pdf
- Medina Torrez, J. L., & Moscoso Wayar, Á. (2022). ANÁLISIS DE UNIÓN VIGA-COLUMNA MEDIANTE EL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS PARA DEFINIR UN ARMADO EFICIENTE. *Revista Investigación & Desarrollo*, 22(1). <https://doi.org/10.23881/idupbo.022.1-7i>
- Muñoz Pérez, D. M. (2020). *DIAGRAMAS DE INTERACCIÓN DE COLUMNAS CIRCULARES MEDIANTE EL SOFTWARE DIIN*. BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA.
- Navarro de León, R. M. (2023). Diseño de edificación de Marcos Estructurales utilizando prefabricados existentes en el Centro Universitario, San Marcos. *Revista de Investigación Proyección Científica*, 5(1), 113–134. <https://doi.org/10.56785/ripc.v5i1.81>
- NEC-SE-CG. (2015). *CARGAS (NO SÍSMICAS)*.
- NEC-SE-DS. (2015). *PELIGRO SÍSMICO DISEÑO SISMO RESISTENTE*.
- NEC-SE-GC. (2015). *GEOTÉCNIA Y CIMENTACIONES*.
- NEC-SE-HM. (2015). *ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO*.
- Nilson, A. H., & Darwin, David. (1997). *DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO* (duodécima). McGraw-Hill.

- Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio Sampling Techniques on a Population Study. *Int. J. Morphol*, 35(1), 227–232.
- Pérez-Gavilán, J. J., Aguirre, J., & Ramírez, L. (2018). Sismicidad y seguridad estructural en las construcciones: Lecciones aprendidas en México. *Salud Publica de Mexico*, 60, S41–S51. <https://doi.org/10.21149/9300>
- Prados, S. I., Cardellino, A. L., Vallejos, A. A., & Ledezma Orozco, M. (2021). Arquitectura y confiabilidad estructural. *Arquitecno*, 18, 25. <https://doi.org/10.30972/arq.0185667>
- Ramos Galarza, C. (2021). Editorial: Diseños de investigación experimental. *CienciAmérica*, 10(1), 1–7. <https://doi.org/10.33210/ca.v10i1.356>
- Ramos Rugel, M. (2002). ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DE LOSAS DE ENTREPISO FACULTAD DE INGENIERÍA.
- Razo Taco, J. A. (2021). DISEÑO ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO DE POSGRADO DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI PARA GARANTIZAR SU CORRECTO DESEMPEÑO SÍSMICO. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO.
- Revollo Oporto, A. L., & Delgadillo Zurita, M. (2017). Análisis y diseño para el reforzamiento de columnas de hormigón armados con material FRP y perfiles metálicos. *Journal Boliviano de Ciencias*, 13(40), 54–62. <https://doi.org/10.52428/20758944.v13i40.649>
- Rosales Nieto, D. E., & Cerbone, P. (2020). Innovación en la educación superior: Un estudio sobre la percepción del estudiantado en Ecuador. *Actualidades Investigativas En Educación*, 20(2). <https://doi.org/10.15517/AIE.V20I2.41644>
- Ruiz García, E. M., Camarena Yurén, T. M., & Alberó, B. (2016). Arquitecturas y configuraciones espaciales en la formación universitaria: habitabilidad y heterotopías. *Sinéctica Revista Electrónica de Educación*, 47. <https://sinectica.iteso.mx/index.php/SINECTICA/article/view/673>

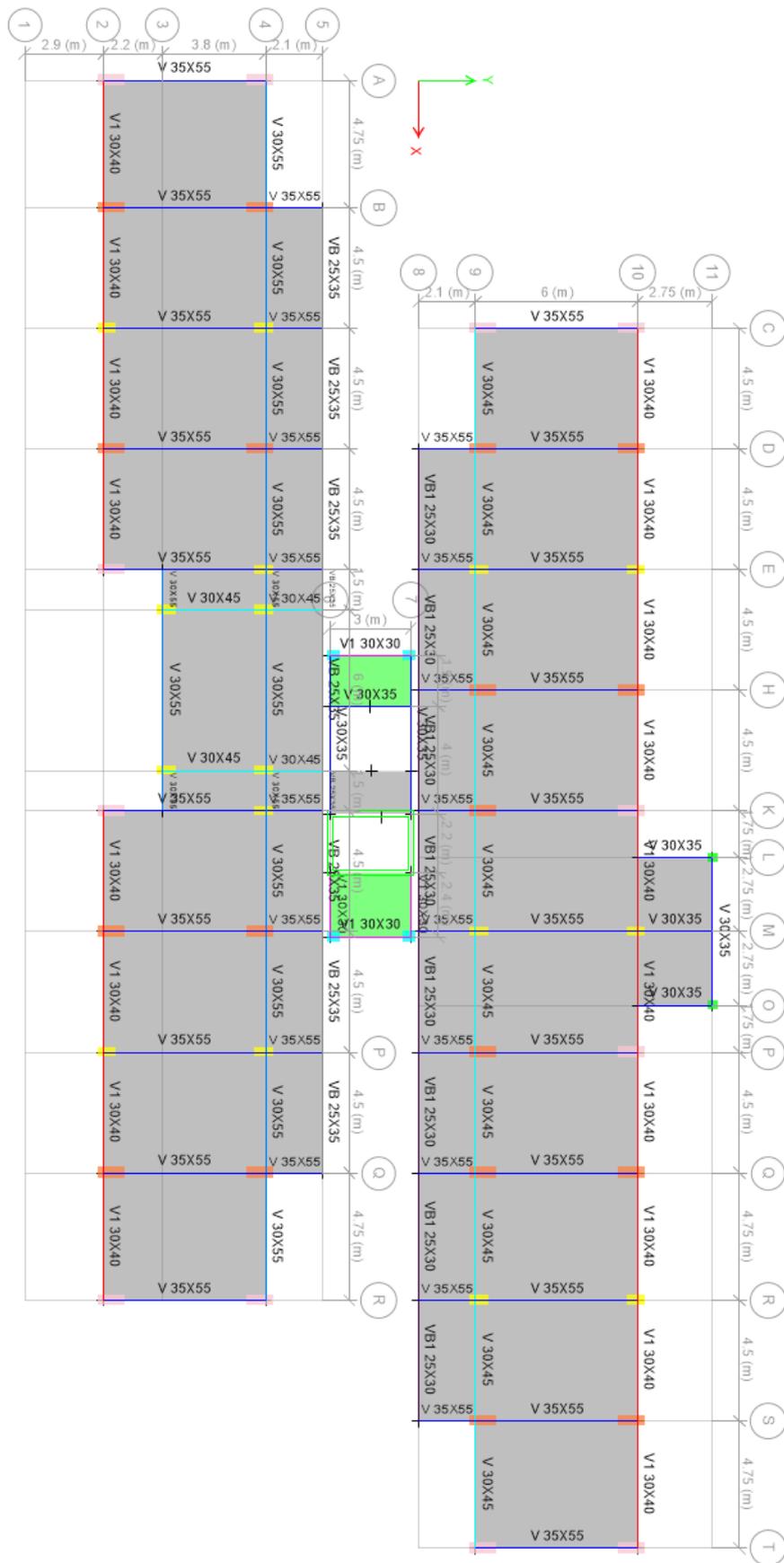
- Sandoval Santacruz, V., & Real Pérez, G. (2020). Oportunidad de crecimiento de la Educación Superior Virtual Pos Covid-19. *593 Digital Publisher CEIT*, 5–1(5), 107–116. <https://doi.org/10.33386/593dp.2020.5-1.327>
- Santiana Bazán, J. A., & Roca Larrea, G. A. (2023). *PREDISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA EDIFICACIÓN RESIDENCIAL DE 5 PISOS PARA EL USO DE LOS ESTUDIANTES DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA* [UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA]. <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/9203/4/UPSE-TIC-2023-0013.pdf>
- secretaria de educación superior, C. T. e I. (2021). *Sistema Ecuatoriano de Acceso a la Educación Superior*. https://www.educacionsuperior.gob.ec/wp-content/uploads/2023/02/PROYECTO_SEAES.pdf
- Tena Colunga, A. (2019). RIGIDECES EFECTIVAS DE VIGAS DE CONCRETO REFORZADO PARA DISEÑO SÍSMICO: MITOS Y REALIDADES. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 24. <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/riie/article/view/1165/800>
- UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA. (2020). *RENDICIÓN DE CUENTAS 2020*. https://www.upse.edu.ec/images/2022/TRANSPARENCIA2022/MANEXOS/RENDICIN_DE_CUENTAS_2020.pdf
- Vargas Cordero, Z. R. (2009). LA INVESTIGACIÓN APLICADA: UNA FORMA DE CONOCER LAS REALIDADES CON EVIDENCIA CIENTÍFICA. *Revista Educación*, 33.

ANEXOS

Anexo 1: Modelado en planta estructura de hormigón primer piso.



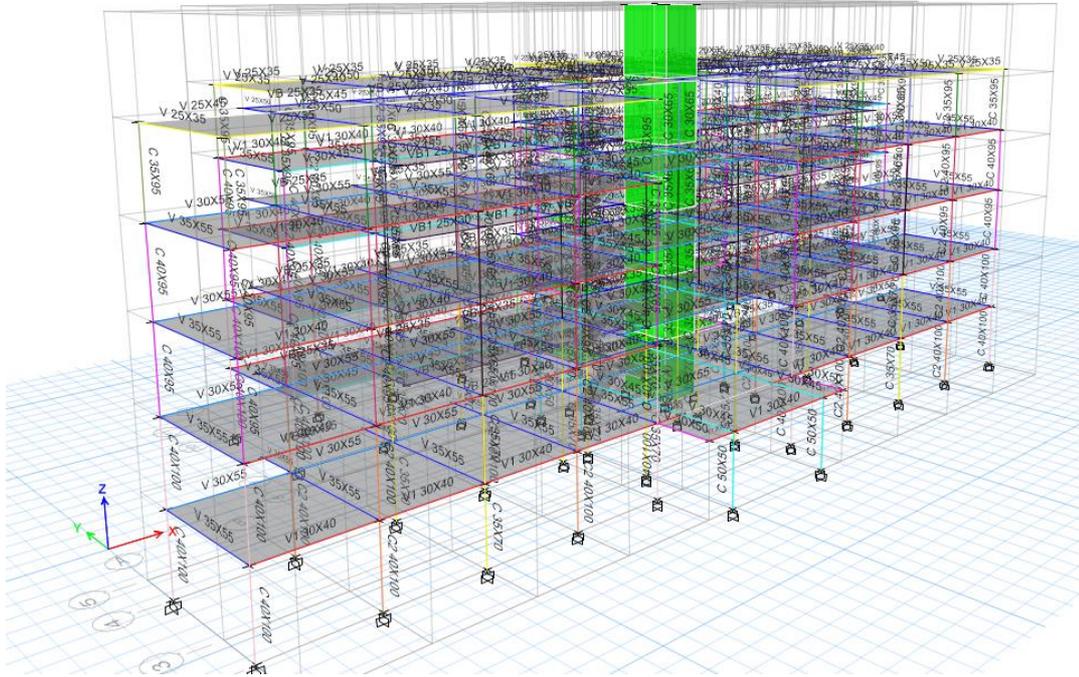
Anexo 2: Modelado en planta estructura de hormigón segundo-cuarto piso.



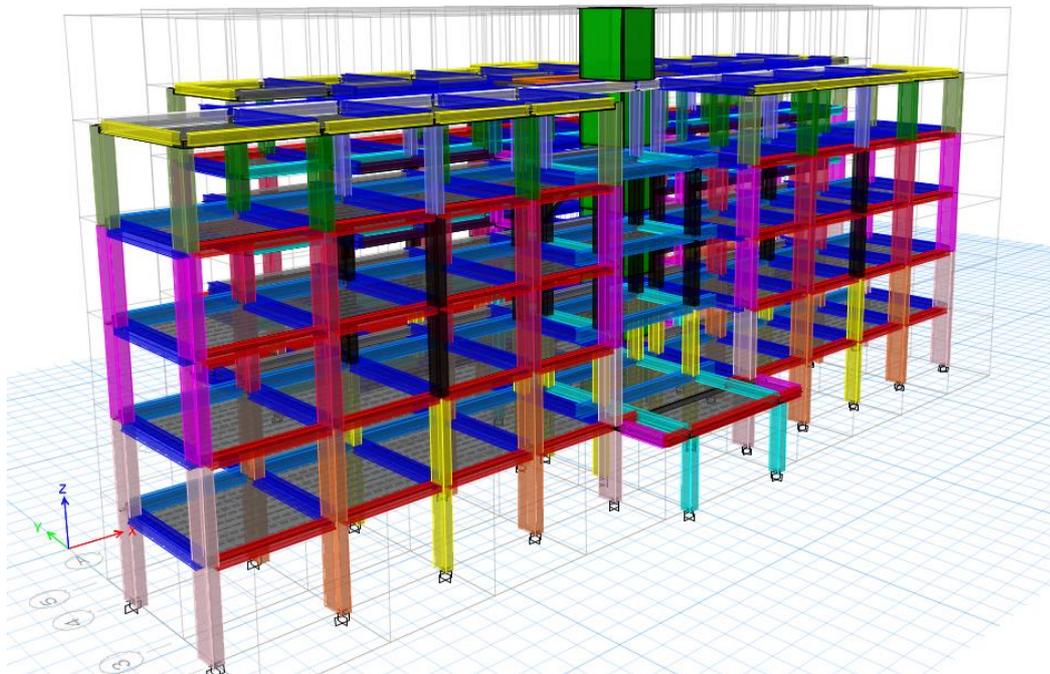
Anexo 3: Modelado en planta estructura de hormigón quinto piso.



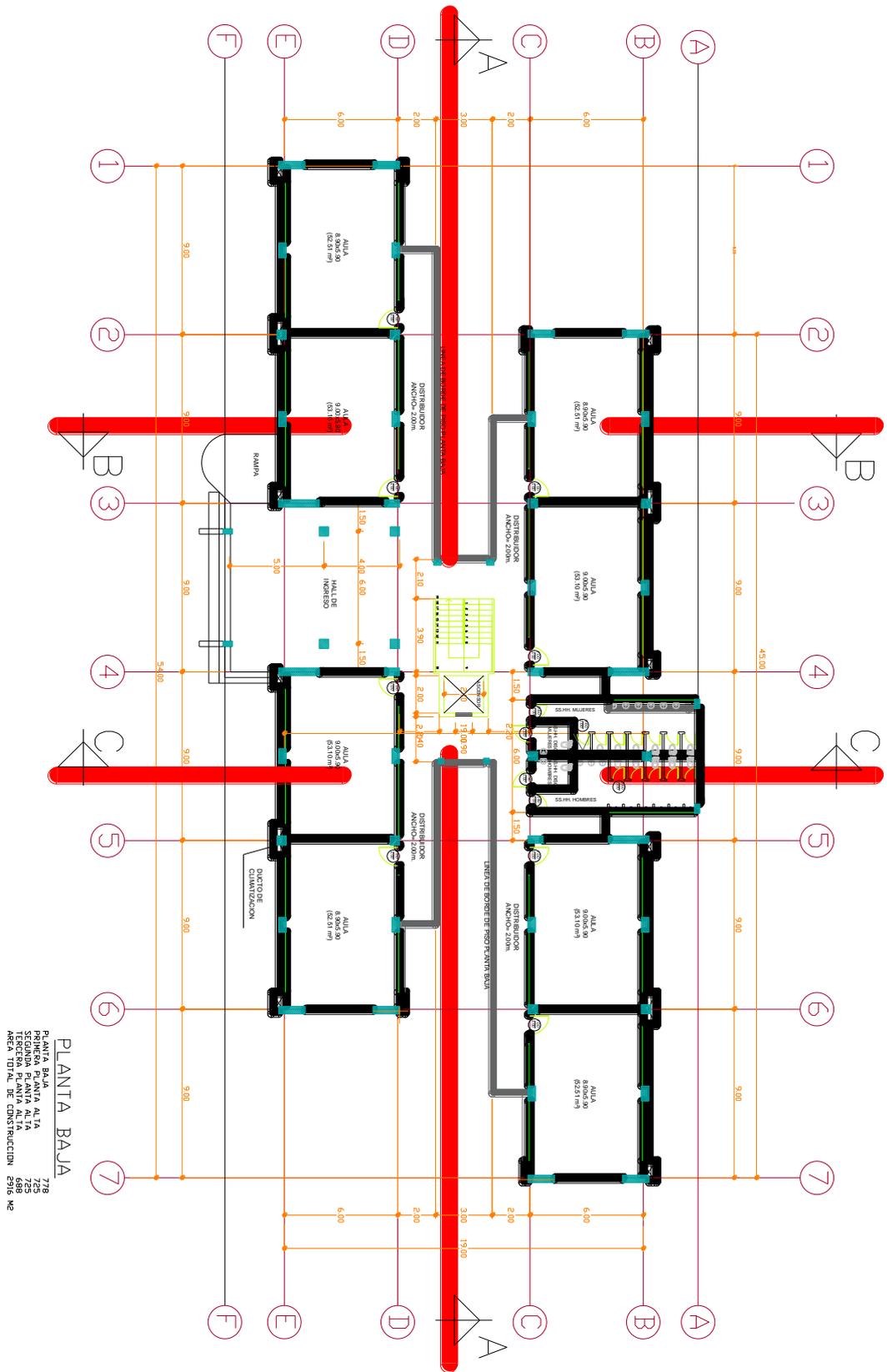
Anexo 4: Modelado de la estructura en 3D.



Anexo 5: Modelado de la estructura en 3D (Elementos extruidos).

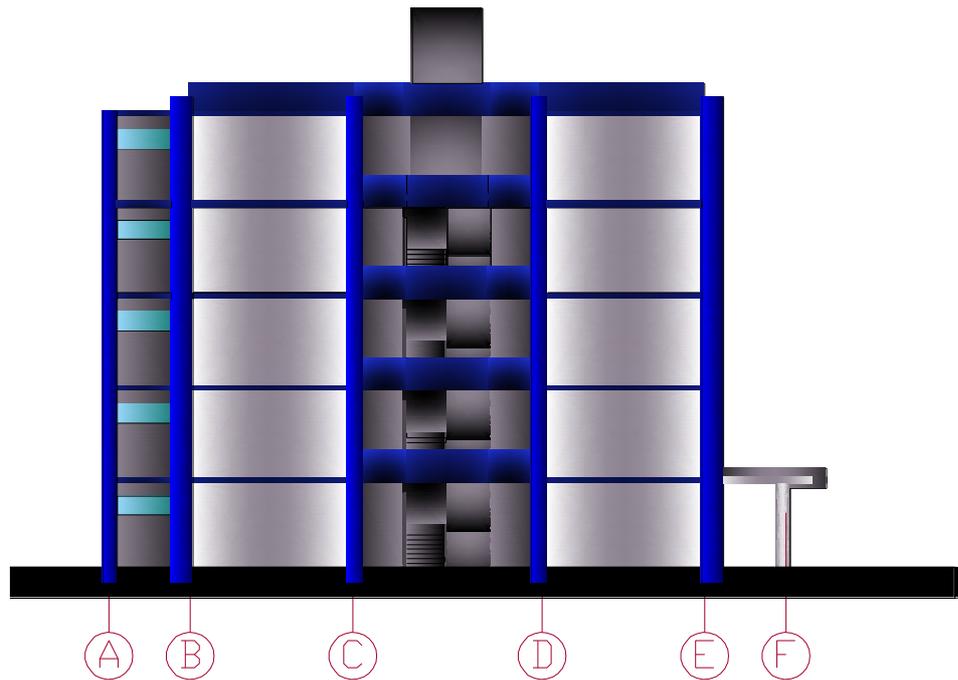


Anexo 6: Plano arquitectónico primer piso

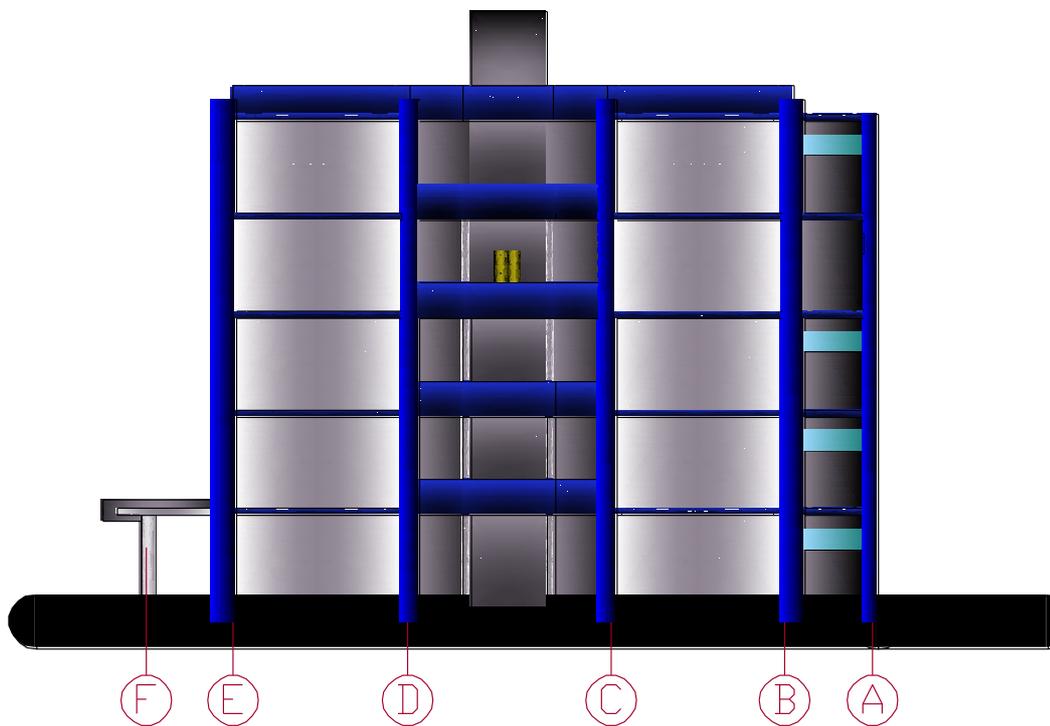


PLANTA BAJA
 PLANTA BAJA 778
 PLANTA ALTA 779
 SEGUNDA PLANTA ALTA 780
 TERCERA PLANTA ALTA 781
 CUARTA PLANTA ALTA 782
 AREA TOTAL DE CONSTRUCCION 2916 M2

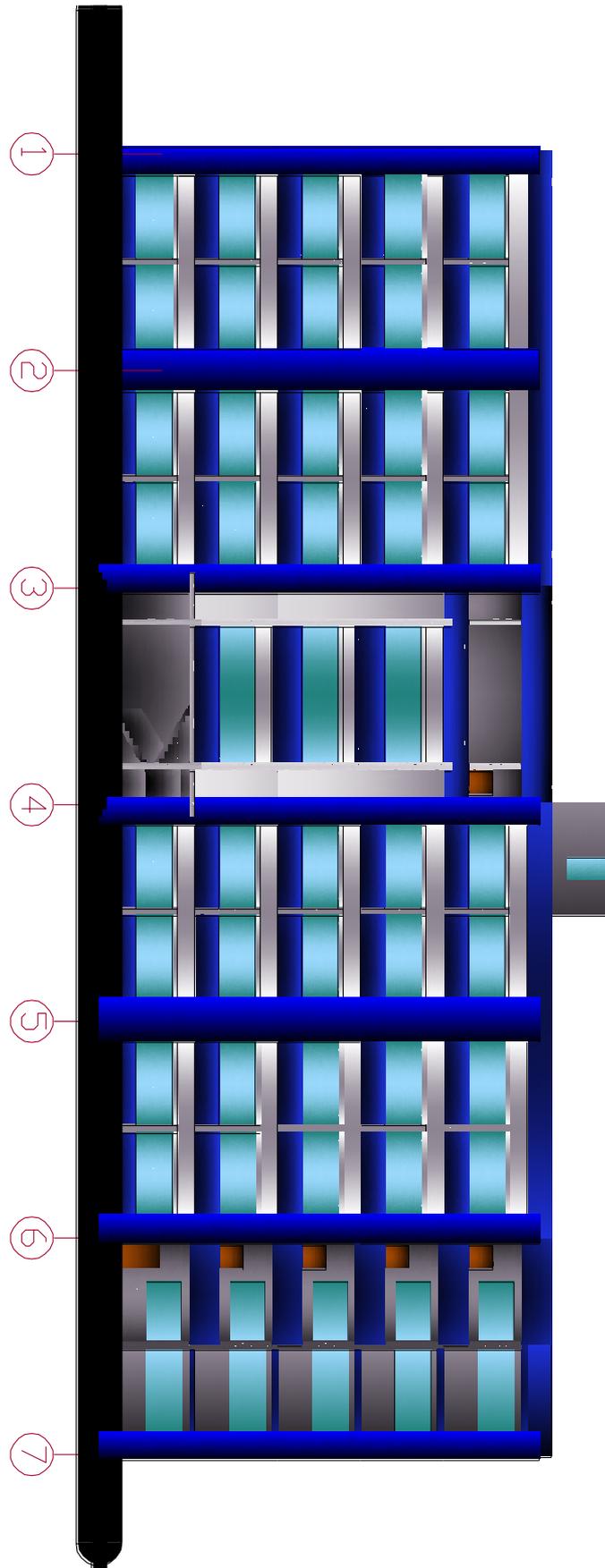
Anexo 9: Plano arquitectónico elevación lateral izquierda



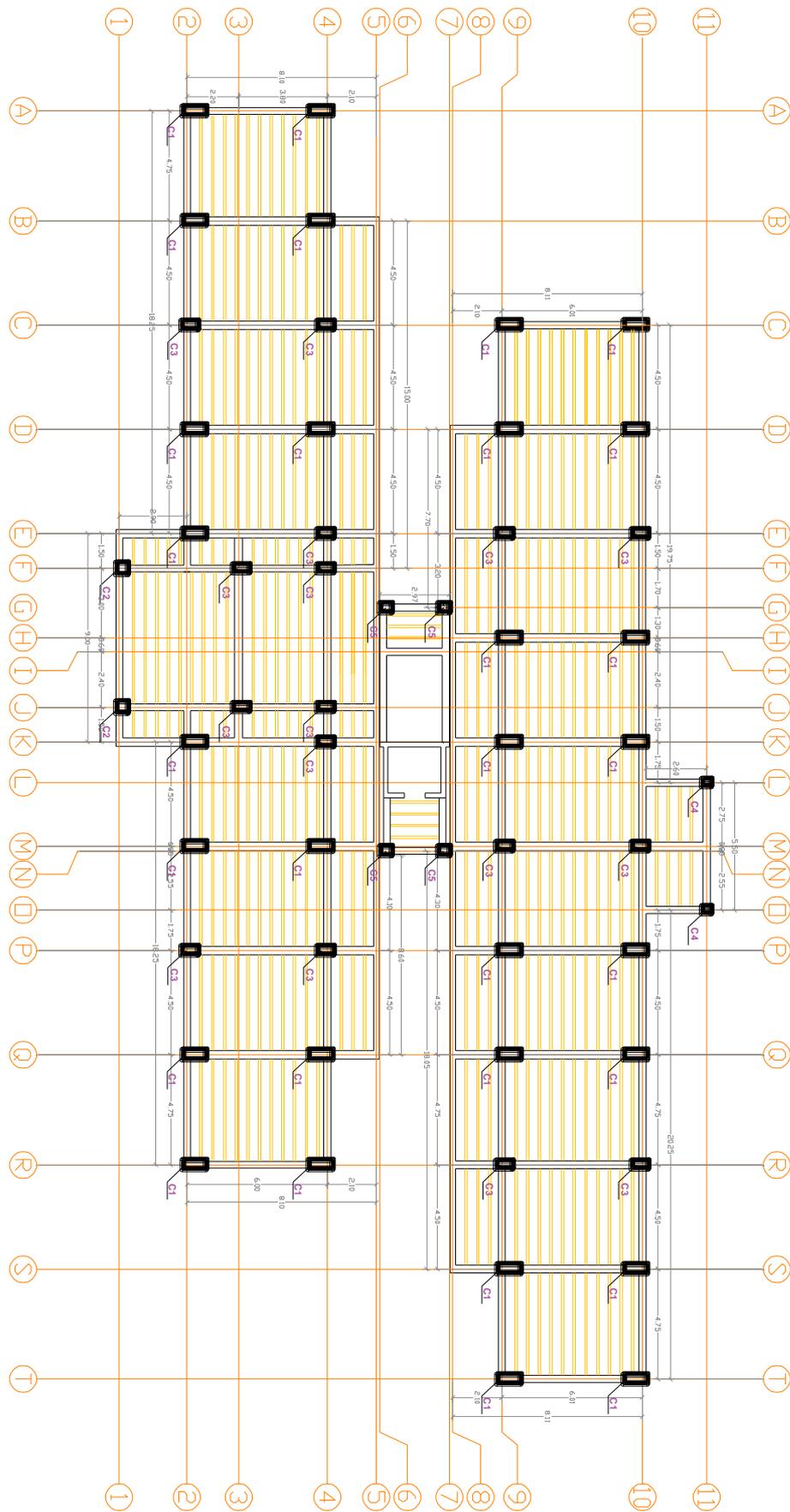
Anexo 10: Plano arquitectónico elevación lateral izquierda



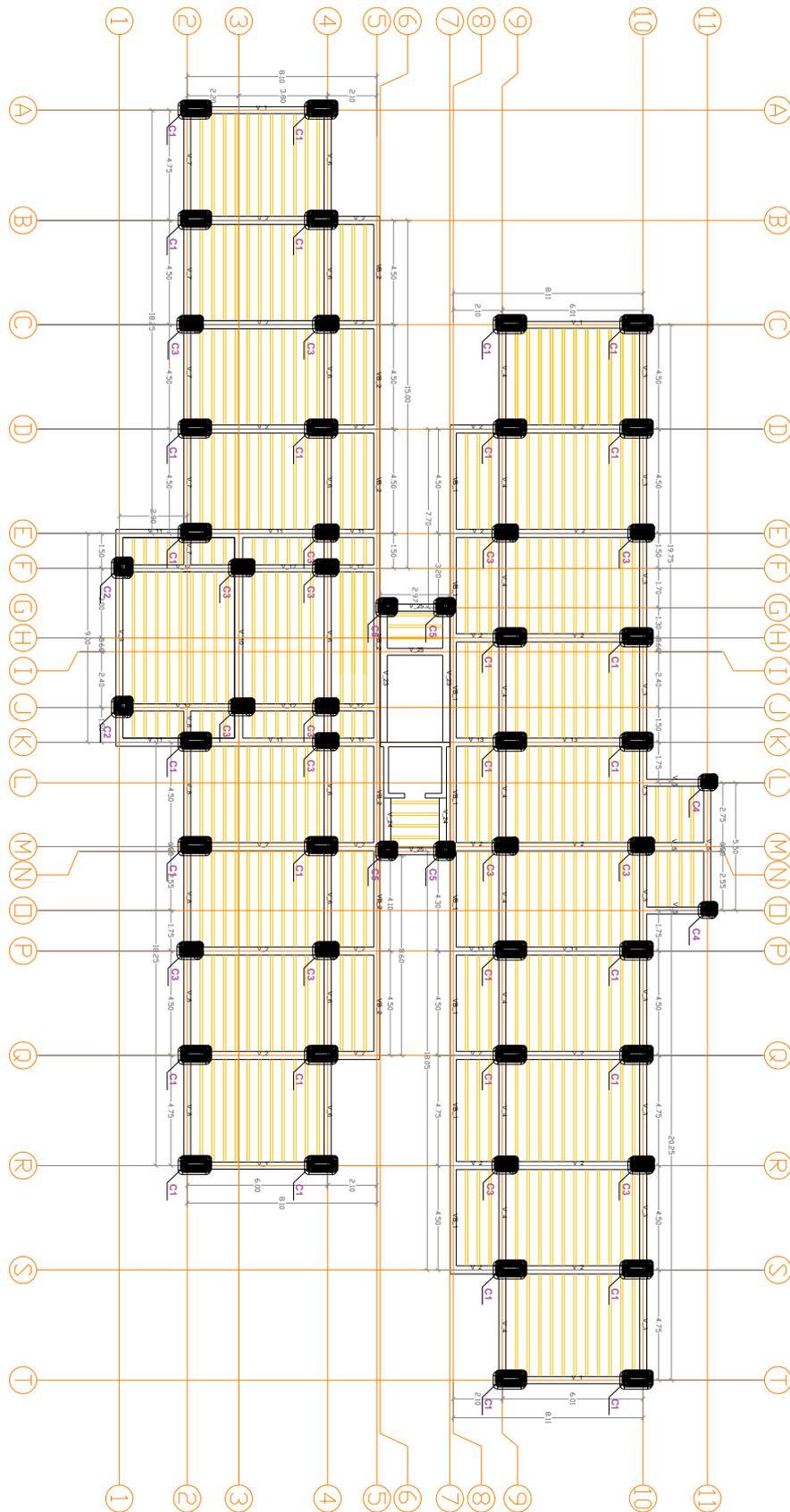
Anexo 11: Plano arquitectónico elevación principal



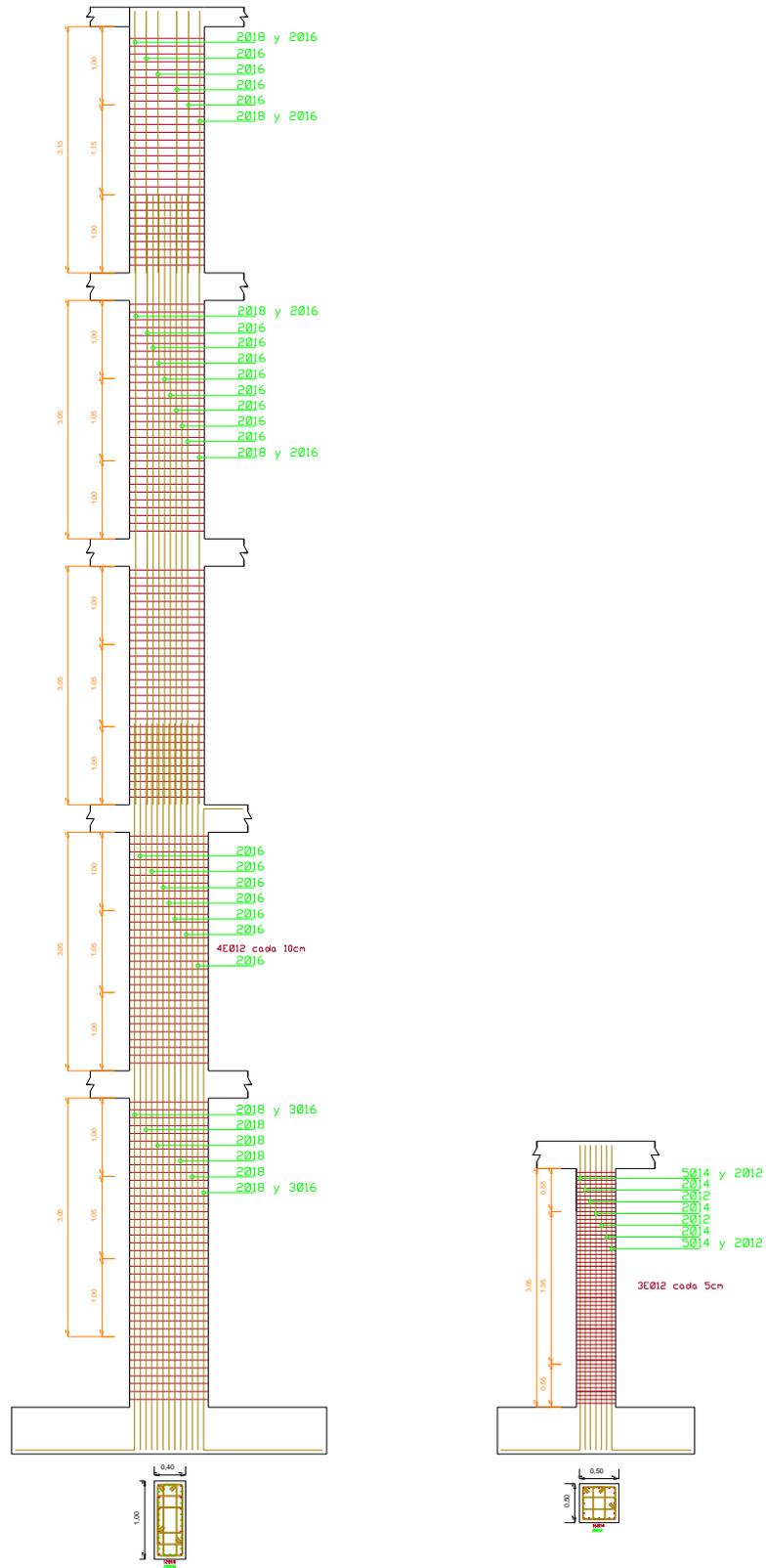
Anexo 12: Plano estructural distribución columnas



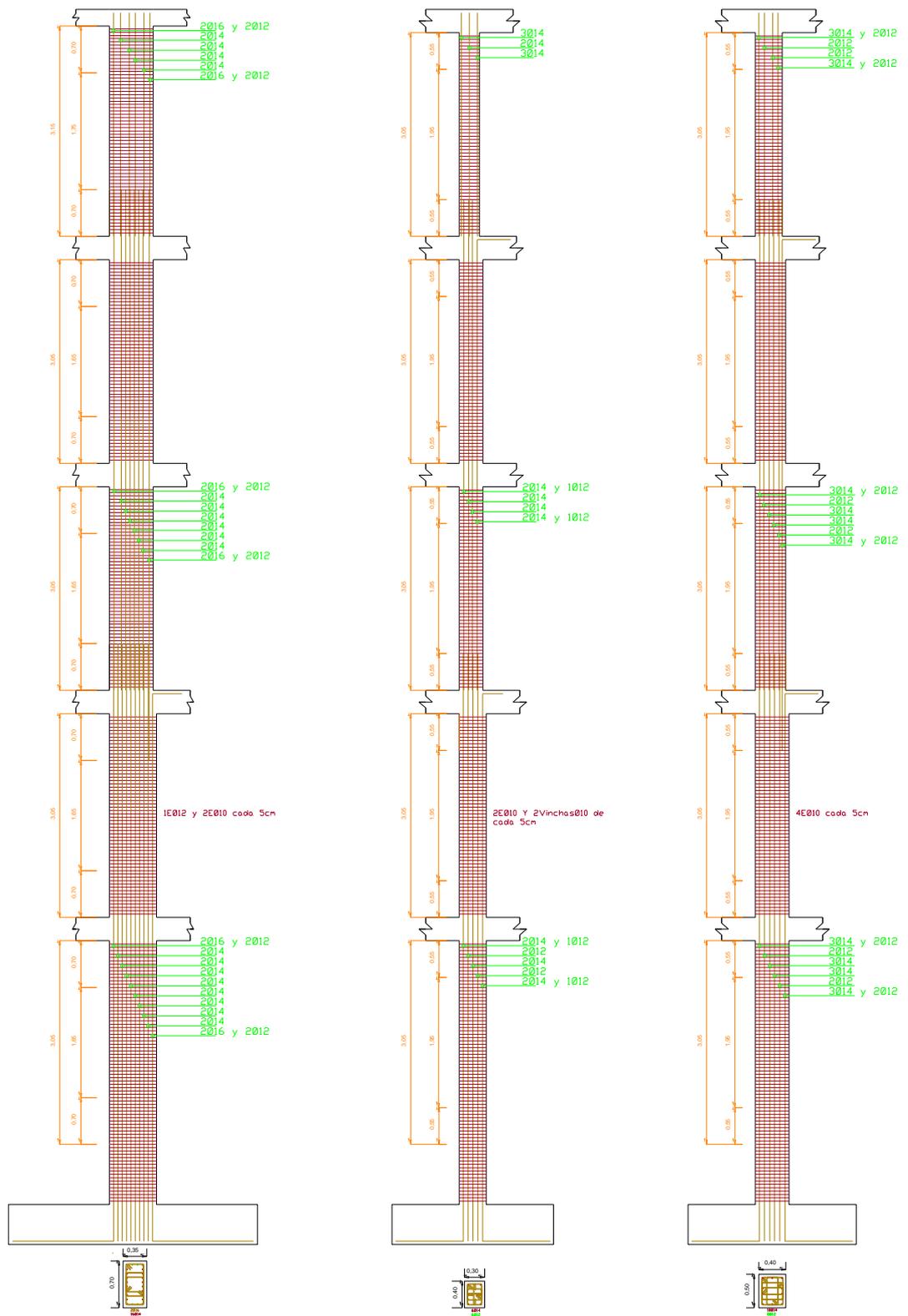
Anexo 13: Plano estructural distribución vigas



Anexo 14: Plano estructural de columnas



Anexo 15: Plano estructural de columnas



Anexo 16: Plano estructural de losa

DETALLE DE LOSAS DE ENTREPISO

