



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

TEMA:

“ANÁLISIS COMPARATIVO ESTRUCTURAL SISMORESISTENTE
DEL SISTEMA MURO DE MAMPOSTERÍA EN RELACIÓN CON EL
SISTEMA APORTICADO DE LA VIVIENDA MULTIFAMILIAR DE DOS
PLANTAS MIDUVI, DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA”

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORES:

HIDALGO FIGUEROA RONNY ALBERTO
YAGUAL ARIAS LAURA LEONELA

TUTOR:

ING. RAÚL ANDRÉS VILLAO VERA MS.c.

LA LIBERTAD, ECUADOR

2025

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

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

TEMA:

**“ANÁLISIS COMPARATIVO ESTRUCTURAL SISMORESISTENTE
DEL SISTEMA MURO DE MAMPOSTERÍA EN RELACIÓN CON EL
SISTEMA APORTICADO DE LA VIVIENDA MULTIFAMILIAR DE DOS
PLANTAS MIDUVI, DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA”**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORES:

**HIDALGO FIGUEROA RONNY ALBERTO
YAGUAL ARIAS LAURA LEONELA**

TUTOR:

ING. RAÚL ANDRÉS VILLAO VERA MS.c

LA LIBERTAD – ECUADOR

2025

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 

Ing. Lucrecia Moreno Alcívar, PhD.

DIRECTORA DE CARRERA

f. 

Ing. Raúl Villao Vera, MSc.

DOCENTE TUTOR

f. 

Ing. Vianna Pinoargote Rovello, MSc.

DOCENTE ESPECIALISTA

f. 

Ing. Richard Ramírez Palma

DOCENTE UIC

DEDICATORIA

A mi mami Jessica por guiarme y forjar mi vida, para hacer de mí una persona fuerte en adversidades.

A mi bisabuelito Benigno, por haberme inculcado la superación como un hábito de vida.

A mi bisabuelita que con amor y perseverancia me motiva a continuar con mis objetivos.

Me faltarían paginas para dedicar este logro, considero que toda persona que ha formado parte de vida hasta ahora merece ser reconocido porque sé que algún momento me ayudaron.

Laura Leonela Yagual Arias

DEDICATORIA

En primer lugar, agradezco a Dios por brindarme salud, bienestar y sabiduría a lo largo de mis estudios.

A mi padre Carlos Hidalgo y mi madre Agustina Figueroa que en todo momento me apoyaron e hicieron el mayor esfuerzo para que pueda culminar la carrera universitaria.

A mis hermanos; Denny, Danilo y Christopher, que han estado presente siempre, motivándome día a día para que pueda lograr esta meta.

A mi enamorada, restos de familiares y amigos quienes han sido partícipes en este periodo de estudio y culminación de la misma.

A mi tutor de tesis por su paciencia, tiempo y conocimientos brindados para la elaboración de este trabajo de titulación.

Ronny Alberto Hidalgo Figueroa

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema ANALISIS COMPARATIVO ESTRUCTURAL SISMORESISTENTE DEL SISTEMA MURO DE MAMPOSTERIA EN RELACION CON EL SISTEMA APORTICADO DE LA VIVIENDA MULTIFAMILIAR DE DOS PLANTAS MIDUVI, EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA elaborado por los estudiantes YAGUAL ARIAS LAURA LEONELA y HIDALGO FIGUEROA RONNY ALBERTO, egresado de la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, me permito declarar que una vez analizado en el sistema anti plagio COMPILATIO, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, la presente tesis, se encuentra con un 5% de la valoración permitida.



Ing. Villao Vera Raúl Andrés, MSc.

C.I. 0924204290

DOCENTE TUTOR

TESIS YAGUAL-HIDALGO 4

5%
Textos sospechosos

0% Similitudes
0% similitudes entre comillas
0% entre las fuentes mencionadas
1% Idiomas no reconocidos
4% Textos potencialmente generados por IA

Nombre del documento: TESIS YAGUAL-HIDALGO 4.docx
ID del documento: 8953ad59eb0f430ff0d438828b6adb658f43bae1
Tamaño del documento original: 215,6 kB

Depositante: RAUL ANDRES VILLAO VERA
Fecha de depósito: 11/6/2025
Tipo de carga: Interface
Fecha de fin de análisis: 11/6/2025

Número de palabras: 10.732
Número de caracteres: 69.198

Ubicación de las similitudes en el documento:

Fuentes de similitudes

Fuente considerada como idéntica

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	TESIS YAGUAL-HIDALGO 3.docx TESIS YAGUAL-HIDALGO 3 #0a243e El documento proviene de mi biblioteca de referencias	99%		Palabras idénticas: 99% (0.612 palabras)

Fuente principal detectada

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	TESIS ANTIPLAGIO 2.docx TESIS ANTIPLAGIO 2 #bd553d El documento proviene de mi biblioteca de referencias 15 fuentes similares	89%		Palabras idénticas: 89% (06.07 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	Documento de otro usuario #1575e3 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (34 palabras)
2	repositorio.espe.edu.ec Cálculo y diseño estructural para la construcción d e... https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/210.001.072.225/1-45P-6-040-169.pdf/bit	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (32 palabras)
3	1library.co Diseño Basado en Fuerzas - Métodos de Diseño Simorresistente https://1library.co/articulo/diseño-basado-en-fuerzas-métodos-de-diseño-simorresistente.pdf/bit	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (24 palabras)
4	repositorio.upse.edu.ec https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/146.000.1126.73/1/AJPS-8-11C-20-25-0-003.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (20 palabras)
5	polodid.conocimiento.com OpenJournal Systems https://polodid.conocimiento.com/ojs/index.php/rev/article/view/41803/html	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (19 palabras)

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 **"ANÁLISIS COMPARATIVO ESTRUCTURAL SISMORESISTENTE DEL SISTEMA MURO DE MAMPOSTERÍA EN RELACION CON EL SISTEMA APORTICADO DE LA VIVIENDA MULTIFAMILIAR DE DOS PLANTAS MIDUVI, EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA"**, de las estudiantes: **YAGUAL ARIAS LAURA LEONELA y HIDALGO FIGUEROA RONNY ALBERTO**.

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 estimen conveniente.

Santa Elena, 10 de Junio del 2025



Lcda. Betty Ruth Gómez Suárez, Mgtr.

CI: 0915036529

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

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **YAGUAL ARIAS LAURA LEONELA** y **HIDALGO FIGUEROA RONNY ALBERTO**, declaramos bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado **“ANÁLISIS COMPARATIVO ESTRUCTURAL SISMORESISTENTE DEL SISTEMA MURO DE MAMPOSTERÍA EN RELACION CON EL SISTEMA APORTICADO DE LA VIVIENDA MULTIFAMILIAR DE DOS PLANTAS MIDUVI, EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA”**, no tiene antecedentes de haber sido elaborado en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**, lo cual es un trabajo exclusivamente inédito y perteneciente de nuestra autoría.

Por medio de la presente declaración cedo 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,



Yagual Arias Laura Leonela

Autor de tesis

C.I. 0928228410



Hidalgo Figueroa Ronny Alberto

Autor de tesis

C.I. 2400242299

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Ing. Villao Vera Raúl Andrés, MSc.

TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Universidad Estatal Península de Santa Elena

En mi calidad de Tutor del presente trabajo “**ANÁLISIS COMPARATIVO ESTRUCTURAL SISMORESISTENTE DEL SISTEMA MURO DE MAMPOSTERÍA EN RELACIÓN CON EL SISTEMA APORTICADO DE LA VIVIENDA MULTIFAMILIAR DE DOS PLANTAS MIDUVI, EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA**” previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil elaborado por **YAGUAL ARIAS LAURA LEONELA** y **HIDALGO FIGUEROA RONNY ALBERTO** egresado de la carrera de **INGENIERÍA CIVIL** Facultad Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todas sus partes.



Ing. Villao Vera Raúl Andrés, MSc.

C.I. 0924204290

DOCENTE TUTOR

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, por guiarme y bendecirme en el camino.

Agradezco a mi mamá Jessica Arias y a mi papá Javier Yagual, por su amor y apoyo incondicional.

Agradezco a mi tutor de tesis el Ing. Raúl Villao, por su orientación y respaldo en el presente trabajo de titulación.

Agradezco a todos los docentes, que durante nuestra vida universitaria compartieron sus conocimientos, experiencias y valores que perduraran toda la vida.

Laura Leonela Yagual Arias

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a Dios por haberme permitido terminar mi formación universitaria. Su guía ha sido fundamental en cada etapa de este proceso.

Agradezco con todo mi corazón a mis padres por el enorme esfuerzo que realizaron para que pudiera alcanzar esta meta tan importante en mi vida. Su ejemplo y sacrificio han sido mi mayor inspiración.

A mis hermanos quienes me han brindado ese apoyo fundamental para mantenerme firme a lo largo de la carrera.

A mi enamorada, así como a mis demás familiares y amigos, quienes también han sido parte esencial de este proceso, acompañándome con su cariño, comprensión y ánimos en los momentos más desafiantes.

A mi tutor Ing. Raúl Villao por su gran aporte especializado, mismo que indujeron a realizar este trabajo de titulación de manera excelente.

Ronny Alberto Hidalgo Figueroa

CONTENIDO

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	ii
DEDICATORIA	iii
DEDICATORIA	iv
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO.....	v
CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA	vii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	viii
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	ix
AGRADECIMIENTOS	x
AGRADECIMIENTOS	xi
CONTENIDO	xii
LISTA DE ILUSTRACIONES.....	xx
LISTA DE TABLAS	xxiii
RESUMEN	xxvi
ABSTRACT.....	xxvii
CAPITULO I: GENERALIDADES	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 ANTEDECENTES	4
1.3 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	5
1.4 JUSTIFICACIÓN	6

1.5 HIPÓTESIS.....	7
1.5.1 Hipótesis General.....	7
1.5.2 Hipótesis Específicos.....	7
1.6 OBJETIVOS	7
1.6.1 Objetivo General.....	7
1.6.2 Objetivos específicos	7
1.7 ALCANCE.....	8
1.8 VARIABLES	8
1.8.1 Variables Dependientes:	8
1.8.2 Variables Independientes	9
1.9 METODOLOGÍA.....	9
1.9.1 Metodología del O.E.1:.....	9
1.9.2 Metodología del O.E.2:.....	9
1.9.3 Metodología del O.E.3:.....	10
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	11
2.1 VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL EN ECUADOR	11
2.1.1 Definición	11
2.1.2 Importancia	11
2.1.3 Rol del MIDUVI en el desarrollo de viviendas	11
2.1.4 Beneficios del crecimiento vertical.....	12
2.2 SISTEMA ESTRUCTURAL.....	12

2.2.1 Definición	12
2.2.2 Clasificación de los sistemas estructurales	13
2.2.3 Factores para la selección del sistema estructural.....	13
2.3 MAMPOSTERÍA	14
2.3.1 Definición	14
2.3.2 Tipos de mampostería	14
2.4 SISTEMA PORTICADO DE HORMIGÓN ARMADO	15
2.4.1 Definición	15
2.4.2 Elementos principales	15
2.4.3 Comportamiento estructural.....	16
2.4.4 Ventajas y desventajas del sistema aporticado	17
2.5 SISTEMA DE MURO DE MAMPOSTERÍA CON REFUERZO VERTICAL	18
2.5.1 Mampostería estructural.....	18
2.5.2 Mampostería reforzada verticalmente.....	18
2.5.3 Comportamiento estructural.....	21
2.5.4 Ventajas y desventajas del sistema muro de mampostería	21
CAPITULO III: MARCO METODOLOGICO	22
3.1 ANÁLISIS DINÁMICO ESPECTRAL	22
3.2 GRADOS DE LIBERTAD DINÁMICOS	23
3.3 MODOS DE VIBRACIÓN.....	23

3.4 ZONIFICACIÓN SÍSMICA Y FACTOR DE ZONA Z	24
3.5 GEOLOGÍA LOCAL.....	25
3.5.1 Tipos de perfiles del suelo para su diseño sísmico	25
3.5.2 Coeficientes de perfil de suelo F_a , F_d y F_s	25
3.6 COMPONENTES HORIZONTALES DE LA CARGA SÍSMICA.....	27
3.6.1 Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones.....	27
3.7 CONSIDERACIONES PARA CALCULAR EL CORTANTE BASAL V_2	29
3.7.1 Irregularidades y coeficiente de configuración estructural.....	30
3.7.2 Factor de reducción R	32
3.7.3 Coeficiente de Importancia I	34
3.7.4 Periodo de la estructura.....	35
3.7.5 Cortante basal de diseño V	36
3.7.6 Distribución vertical de fuerzas sísmicas laterales	36
3.7.7 Distribución horizontal de fuerzas sísmicas laterales	37
3.8 COMBINACIONES DE CARGAS.....	37
3.9 CONTROL DE LA DERIVA DE PISO	39
3.10 MOMENTOS TORSIONALES HORIZONTALES Y TORSIÓN ACCIDENTAL	40
3.11 EFECTOS DE SEGUNDO ORDEN $P-\Delta$ e ÍNDICE DE ESTABILIDAD Q_i	40
3.11.1. Factor de mayoración $f_{p-\Delta}$	41

3.12 AJUSTE DEL CORTE BASAL DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS POR EL ANÁLISIS DINÁMICO	41
--	----

CAPITULO IV: DISEÑO DE LA VIVIENDA MEDIANTE EL SISTEMA MURO DE MAMPOSTERIA	42
--	----

4.1 ESPECTRO ELÁSTICO DE DISEÑO	42
4.2 CORTANTE BASAL	43
4.3 DISTRIBUCIÓN DE FUERZAS HORIZONTALES.....	44
4.4 MODELAMIENTO EN EL PROGRAMA ETABS	44
4.5 MODELAMIENTO DE LA ESTRUCTURA	56
4.6 CORRECCIÓN DEL CORTANTE BASAL ESTÁTICO	56
4.7 COMPARACIÓN DEL CORTANTE BASAL ESTÁTICO Y DINÁMICO	58
4.8 MODOS DE VIBRACIÓN DE LA ESTRUCTURA.....	60
4.9 DERIVAS DE PISO	61
4.10 IRREGULARIDAD TORSIONAL	62
4.11 ÍNDICE DE ESTABILIDAD Q_i	63
4.12 VERIFICACIONES DEL MURO SEGÚN NEC/ACI.....	64
4.12.1 Espesor mínimo	65
4.12.2 Relación de esbeltez.....	66
4.12.3 Resistencia al cortante (revisión por corte).....	67
4.12.4 Refuerzo vertical.....	69
4.12.5 Refuerzo horizontal.....	70

4.12.6 Resistencia a flexo-compresión	70
4.12.7 Resistencia flexión	71
4.12.8 Longitud de traslape.....	71
4.13 VERIFICACIONES DE LA LOSA SEGÚN NEC/ACI	72
4.13.1 Espesor mínimo	73
4.13.2 Cargas mayoradas	73
4.13.3 Momentos negativos y positivos.....	73
4.13.4 Acero requerido	74
4.13.5 Resistencia a la flexión	76
4.13.6 Resistencia al cortante (revisión por corte).....	76
CAPITULO V: DISEÑO DE LA VIVIENDA MEDIANTE EL SISTEMA DE PORTICOS	78
5.1 ESPECTRO ELÁSTICO DE DISEÑO	78
5.2 CORTANTE BASAL	79
5.3 DISTRIBUCIÓN DE FUERZAS HORIZONTALES.....	80
5.4 MODELAMIENTO EN EL PROGRAMA ETABS	80
5.5 MODELAMIENTO DE LA ESTRUCTURA	83
5.6 CORRECCIÓN DEL CORTANTE BASAL ESTÁTICO	84
5.7 COMPARACIÓN DEL CORTANTE BASAL ESTÁTICO Y DINÁMICO	86
5.8 MODOS DE VIBRACIÓN DE LA ESTRUCTURA.....	88
5.9 DERIVAS DE PISO	89

5.10 IRREGULARIDAD TORSIONAL	90
5.11 ÍNDICE DE ESTABILIDAD Q_i	91
5.12 VERIFICACIONES DE LA COLUMNA SEGÚN NEC/ACI	92
5.12.1 Dimensiones requeridas	92
5.12.2 Acero longitudinal	92
5.12.3 Acero transversal	95
5.12.4 Resistencia flexo-compresión	98
5.12.5 Resistencia flexión	99
5.12.6 Resistencia al cortante.....	100
5.13 VERIFICACIONES DE LA VIGA SEGÚN NEC/ACI.....	101
5.13.1 Dimensiones requeridas	101
5.13.2 Acero longitudinal	101
5.13.3 Acero transversal	105
5.13.4 Resistencia flexión	110
5.13.5 Resistencia al cortante.....	110
5.14 VERIFICACIONES DE LA LOSA SEGÚN NEC/ACI	111
5.14.1 Espesor mínimo	111
5.14.2 Cargas mayoradas	111
5.14.3 Momentos negativos y positivos.....	112
5.14.4 Acero longitudinal	113
5.14.5. Acero transversal.....	114

5.14.6 Resistencia flexión	114
CAPITULO VI: PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS	116
6.1 ANÁLISIS DE COSTOS DE LA ESTRUCTURA DEL SISTEMA PORTICADO	116
6.1.1 Presupuesto referencial	116
6.1.2 Valor de construcción de estructura por m2	117
6.2 ANÁLISIS DE COSTOS DE LA ESTRUCTURA DE MAMPUESTO REFORZADO VERTICALMENTE	117
6.2.1 Presupuesto referencial	117
6.2.2 Valor de construcción de estructura por m2	118
6.3 ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS	118
6.4 COSTO POR METRO CUADRADO	119
6.5 CRONOGRAMA DE OBRA	119
CAPITULO VII: ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS	125
CAPITULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	127
8.1 CONCLUSIONES	127
8.2 RECOMENDACIONES.....	128
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	129
ANEXOS	133
DETALLE DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES DEL EN EL SISTEMA DE PORTICOS Y SISTEMA DE MAMPOSTERIA.....	133
APU- SISTEMA PORTICADO Y SISTEMA DE MAMPOSTERIA.....	135

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Modelo guía de la vivienda multifamiliar.....	12
Ilustración 2. Sistemas Estructurales	13
Ilustración 3. Tipos de mampostería.....	15
Ilustración 4. Transferencia de cargas en un pórtico	16
Ilustración 5. Comportamiento ante cargas laterales	17
Ilustración 6. Bloques huecos de hormigón.....	19
Ilustración 7. Refuerzo vertical en muros	19
Ilustración 8. Refuerzo horizontal en muros.....	20
Ilustración 9. Mortero para pegar bloques	20
Ilustración 10. Mortero de relleno de celdas.....	21
Ilustración 11. Grados de libertad de un elemento aporticado.....	23
Ilustración 12. Modos de vibración en modelos planos de estructuras de pisos.....	23
Ilustración 13. Zonas sísmicas de Ecuador con su valor de factor de zona Z.....	24
Ilustración 14. Espectro de respuesta sísmica.....	28
Ilustración 15. Espectro de diseño para la provincia, con suelo tipo C S1	42
Ilustración 16. Unidades del modelado.....	44
Ilustración 17. Dimensiones del modelado	45
Ilustración 18. Espaciamiento interno del modelado.....	45
Ilustración 19. Definir materiales	46

Ilustración 20. Propiedades del material (Hormigón).....	46
Ilustración 21. Propiedades del material (Mampostería)	47
Ilustración 22. Propiedades del material (Acero para muro)	47
Ilustración 23. Propiedades del material (Acero para losa)	48
Ilustración 24. Creación de muros de mampostería.....	48
Ilustración 25. Dibujo de muros vista en planta	49
Ilustración 26. Dibujo de muros en vista 3D	49
Ilustración 27. Creación de la escalera	50
Ilustración 28. Creación de la losa.....	50
Ilustración 29. Dibujo de escalera y losas en vista 3D	50
Ilustración 30. Empotramiento en la estructura	51
Ilustración 31. Asignación de cargas	51
Ilustración 32. Asignación de diafragmas.....	52
Ilustración 33. Definición de cargas	52
Ilustración 34. Coeficientes en cargas sísmicas.....	52
Ilustración 35. Asignación de espectro de diseño	53
Ilustración 36. Casos de cargas.....	53
Ilustración 37. Factores para la fuerza sísmica en sentido X.....	54
Ilustración 38. Factores para la fuerza sísmica en sentido Y	54
Ilustración 39. Combinaciones de cargas.....	54
Ilustración 40. Mallado automático en el piso	55

Ilustración 41. Mallado automático en paredes	55
Ilustración 42. Restricciones de bordes automáticas	56
Ilustración 43. Modelado final de la vivienda con muros en vista 3D	56
Ilustración 44. Datos del muro P1 para verificaciones de diseño	65
Ilustración 45. Detalle del muro de mampuestos.....	72
Ilustración 46. Sección de losa elegida para las verificaciones	72
Ilustración 47. Coeficientes de momentos mediante programa	73
Ilustración 48. Detalle de la losa maciza	77
Ilustración 49. Espectro de diseño para la provincia, con suelo tipo C S1	78
Ilustración 50. Propiedades del material.....	81
Ilustración 51. Creación de columnas.....	82
Ilustración 52. Creación de vigas.....	82
Ilustración 53. Dibujo de columnas y vigas vista en planta.....	82
Ilustración 54. Dibujo de columnas y vigas vista en 3D.....	83
Ilustración 55. Desplazamiento de longitud final en la estructura.....	83
Ilustración 56. Modelado final de la vivienda con pórticos en vista 3D.....	84
Ilustración 57. Diagrama de Interacción para Diseño de Columnas $F_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$, $F'_c < 350 \text{ Kg/cm}^2$	93
Ilustración 58. Detalle de la columna	101
Ilustración 59. Detalle de la viga	111
Ilustración 60. Detalle de la losa nervada	115

Ilustración 61. Representación gráfica de costos en ambos sistemas	119
Ilustración 62. Costo referencial por metro cuadrado.....	119

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Valores de Z en función de la zona sísmica.....	24
Tabla 2. Clasificación de los perfiles de suelo.....	25
Tabla 3. Tipo de suelo y factores de sitio Fa	26
Tabla 4. Tipo de suelo y Factores de sitio Fd	26
Tabla 5. Tipo de suelo y Factores del comportamiento inelástico del subsuelo Fs	27
Tabla 6. Relación de amplificación espectral η	29
Tabla 7. Relación del factor espectral r	29
Tabla 8. Coeficientes de irregularidad en planta	30
Tabla 9. Coeficientes de irregularidad en elevación.	31
Tabla 10. Coeficiente R para sistemas estructurales dúctiles y ductilidad limitada	33
Tabla 11. Tipo de uso, destino e importancia de la estructura.....	34
Tabla 12. Valores de coeficientes del Período aproximado de la estructura	35
Tabla 13. Valores del coeficiente K relacionado con el periodo T.....	37
Tabla 14. Valores de ΔM máximos, expresados como fracción de la altura de piso.....	39
Tabla 15. Parámetros correspondientes al espectro de diseño S1	42
Tabla 16. Cortante Basal NEC 2015 de la vivienda con muros.....	43
Tabla 17. Cortante Basal por piso de la vivienda con muros.....	44
Tabla 18. Cortante Basal obtenido del programa de la vivienda con muros	57

Tabla 19. Peso real de la estructura de la vivienda con muros	57
Tabla 20. Cortante basal corregido de la vivienda con muros	58
Tabla 21. Resultantes de las fuerzas sísmicas de la vivienda con muros	58
Tabla 22. Resultantes de las fuerzas sísmicas corregidas de la vivienda con muros	60
Tabla 23. Participación modal de masa de la vivienda con muros	60
Tabla 24. Derivas inelásticas en dirección X de la vivienda con muros.....	61
Tabla 25. Derivas inelásticas en dirección Y de la vivienda con muros.....	62
Tabla 26. Irregularidad torsional en dirección X de la vivienda con muros.....	63
Tabla 27. Irregularidad torsional en dirección Y de la vivienda con muros.....	63
Tabla 28. Índice de estabilidad en dirección X de la vivienda con muros.....	64
Tabla 29. Índice de estabilidad en dirección Y de la vivienda con muros.....	64
Tabla 30. Fuerzas que actúan en el muro P1	66
Tabla 31. Parámetros correspondientes al espectro de diseño S2.....	78
Tabla 32. Cortante Basal NEC 2015 de la vivienda con pórticos.....	79
Tabla 33. Cortante Basal por piso de la vivienda con pórticos.....	80
Tabla 34. Cortante Basal obtenido del programa de la vivienda con pórticos	84
Tabla 35. Peso real de la estructura de la vivienda con pórticos	85
Tabla 36. Cortante basal corregido de la vivienda con pórticos	85
Tabla 37. Resultantes de las fuerzas sísmicas de la vivienda con pórticos.....	86
Tabla 38. Resultantes de las fuerzas sísmicas corregidas de la vivienda con pórticos	87
Tabla 39. Participación modal de masa de la vivienda con pórticos	88

Tabla 40. Derivas inelásticas en dirección X de la vivienda con pórticos.....	89
Tabla 41. Derivas inelásticas en dirección Y de la vivienda con pórticos.....	89
Tabla 42. Irregularidad torsional en dirección X de la vivienda con pórticos	90
Tabla 43. Irregularidad torsional en dirección Y de la vivienda con pórticos	90
Tabla 44. Índice de estabilidad en dirección X de la vivienda con pórticos.....	91
Tabla 45. Índice de estabilidad en dirección Y de la vivienda con pórticos.....	91
Tabla 46. Fuerzas que actúan en la columna C20.....	92
Tabla 47. Fuerzas que actúan en la viga B103.....	101
Tabla 48. Presupuesto referencial de la estructura de sistema porticado.....	116
Tabla 49. Presupuesto referencial de la estructura de sistema de mampostería reforzada	117
Tabla 50. Comparación de costos de ambos sistemas constructivos	118
Tabla 51. Cronograma de obra del sistema de muro estructural.....	119
Tabla 52. Cronograma de obra del sistema de pórticos	119
Tabla 53. Números de viviendas construidos en un año.....	124
Tabla 54. Presupuestos de las viviendas construidas en un lapso de 5 años	124
Tabla 55. Parámetros analizados en ambos sistemas.....	125

**“ANÁLISIS COMPARATIVO ESTRUCTURAL SISMORESISTENTE
DEL SISTEMA MURO DE MAMPOSTERÍA EN RELACIÓN CON EL
SISTEMA APORTICADO DE LA VIVIENDA MULTIFAMILIAR DE DOS
PLANTAS MIDUVI, EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA”**

Autores: Yagual Arias Laura Leonela

Hidalgo Figueroa Ronny Alberto

Tutor: Ing. Villao Vera Raúl Andrés

RESUMEN

Este trabajo de titulación consistió en un análisis comparativo estructural sismorresistente entre dos sistemas constructivos aplicados a viviendas multifamiliares de dos plantas tipo MIDUVI en la provincia de Santa Elena: el sistema porticado de hormigón armado y el sistema de muro de mampostería reforzada verticalmente. Para ello, se modelaron ambos sistemas en el software ETABS, siguiendo los parámetros establecidos por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015), considerando un suelo tipo C y una zona sísmica $Z = 0.5$.

El análisis estructural incluyó variables como cortante basal, derivas de piso, torsión e índice de estabilidad, y fue complementado con un estudio económico de costos directos de construcción. Los resultados demostraron que el sistema de muro de mampostería presenta un mejor comportamiento ante cargas sísmicas, con menor desplazamiento y mayor rigidez. Aunque el sistema porticado es inicialmente más económico, la mampostería reforzada ofrece mayor seguridad estructural y eficiencia a largo plazo.

Se concluye que la elección del sistema estructural debe basarse en un análisis integral que considere tanto el desempeño sismorresistente como la viabilidad económica, promoviendo construcciones seguras y sostenibles en zonas de alta sismicidad.

PALABRAS CLAVES: *Sistemas Estructurales, Mampostería Estructural, Sistema Porticado, Análisis Sismorresistente, Análisis Económico*

“COMPARATIVE SEISMIC-RESISTANT STRUCTURAL ANALYSIS OF THE MASONRY WALL SYSTEM VERSUS THE FRAME SYSTEM IN TWO-STORY MIDUVI MULTIFAMILY HOUSING IN THE PROVINCE OF SANTA ELENA”

Authors: Hidalgo Figueroa Ronny Alberto

Yagual Arias Laura Leonela

Tutor: Eng. Villao Vera Raúl Andrés

ABSTRACT

This degree project consisted of a comparative seismic-resistant structural analysis between two construction systems applied to two-story MIDUVI multifamily housing in the province of Santa Elena: the reinforced concrete frame system and the vertically reinforced masonry wall system. Both systems were modeled using ETABS software, in accordance with the Ecuadorian Building Code (NEC-2015), considering soil type C and seismic zone factor $Z = 0.5$.

The structural analysis included variables such as base shear, story drift, torsion, and stability index, and was complemented by an economic study focusing on direct construction costs. The results showed that the masonry wall system exhibited better performance under seismic loads, with lower displacements and greater rigidity. Although the frame system is initially more cost-effective, the reinforced masonry system provides greater structural safety and long-term efficiency.

The study concludes that the selection of a structural system must be based on a comprehensive analysis that considers both seismic performance and economic viability, in order to promote safer and more sustainable housing in high seismic risk areas.

KEYWORDS: *Structural Systems, Structural Masonry, Frame System, Seismic-Resistant Analysis, Economic Analysis*

CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

“Los terremotos no matan personas, los edificios mal contruidos sí.” – Arquitecto japonés Shigeru Ban (2014).

En campo de la ingeniería civil, la evolución de técnicas y materiales de construcción da respuesta a la creciente demanda de infraestructuras más seguras, eficientes y sostenibles. Como afirman Alfredo Serpell (1987) y David Gómez (2025) que la innovación tecnológica ofrece un gran potencial como medio de progreso en la industria de la construcción. El siglo XXI se caracteriza por una acelerada transformación tecnológica que impacta a todos los ámbitos de la construcción. En la construcción, esta revolución se traduce en la adopción de sistemas constructivos innovadores, el uso de nuevas tecnologías y la búsqueda de soluciones que optimicen los recursos y minimicen el impacto ambiental. En el trabajo académico como de Robles Joya and Sánchez Quintanilla (2021) se hace énfasis en que la transformación digital en el sector de la construcción, a través de una investigación descriptiva con enfoque cualitativo que se estructura de acuerdo con las fases del ciclo de vida del proyecto con el objetivo de identificar las tecnologías que están transformando la industria de la construcción. En base aquello, podemos brindar soluciones que garanticen seguridad y eficiencia estructural mediante la comparación de análisis de los sistemas.

Ecuador al estar ubicada en una zona donde se juntan las placas tectónicas, generando gran actividad sísmica, con altas magnitudes. El devastador terremoto en el cantón Pedernales, provincia de Manabí, ocurrido el 16 de abril del año 2016, el cual tuvo una magnitud de 7,8 en la escala de Richter, evidenció la vulnerabilidad de las estructuras ante movimientos telúricos de gran magnitud. Además de la baja observación en aplicar las normas constructivas vigentes sobre el diseño sísmico, con ello se debe constatar el cumplimiento de las buenas prácticas constructivas. Gema Menéndez (2023) comentó varias reflexiones sobre el evento sísmico suscitado en Pedernales donde destaca que el rol de los profesionales es una de las aristas más cuestionadas por la comunidad luego del daño que sufrieron edificios y otras obras civiles, provocando grandes pérdidas económicas y humanas. Desde entonces, los movimientos telúricos se han presentado en

menor rango, pero no hay que esperar otro terremoto de la misma magnitud para concientizar la importancia de construir edificaciones que no solo cumplan con su vida útil, sino que también protejan la vida humana ante eventos sísmicos.

Por ello, la elección del sistema estructural empleado en una edificación es toma un efecto fundamental. Los sistemas de muros, en general, ofrecen una alta resistencia a las fuerzas horizontales y, por lo tanto, representan una alternativa atractiva para zonas sísmicas. Dentro de estos, los muros compuestos, que combinan diversos materiales, se presentan como una solución innovadora. Zahid Amad Chat (2015) menciona que la introducción de refuerzo en los muros de mampostería mejora su comportamiento bajo cargas laterales al mejorar varios parámetros, incluyendo la carga de colapso, ductilidad y rigidez. En varios países donde se ha empleado este tipo de sistema, personas como Eduardo Álvarez and Fidel Lora (2022) han indicado que el buen comportamiento sísmico de la mampostería correctamente reforzada ha dado un fuerte impulso a la investigación, a la determinación de configuraciones estructurales y a métodos de análisis, diseño y dimensionamiento cada vez más racionales, que la hacen competitiva económicamente con otras formas y materiales estructurales.

Esta investigación se centra en los muros compuestos de mampostería, conformados por un refuerzo vertical a base de varillas de hierro ecológico y bloques de hormigón con polímeros. Estos bloques de hormigón son fabricados con un proceso de densificación física y química para reducir la porosidad, incrementar la densidad molecular y estabilizar el fraguado, optimizando así su desempeño estructural. Como indican Juan Herrera and Jonathan Narváez (2017) que el sistema de mampostería reforzada propone una solución técnica y económica para viviendas de interés social en Ecuador, mediante el uso de bloques con perforaciones verticales que permiten el refuerzo interno con acero y micro hormigón, mejorando la resistencia estructural y el comportamiento sísmico de las edificaciones.

Además de la resistencia estructural, la construcción de viviendas multifamiliares de dos plantas, como las viviendas MIDUVI, se presenta como una estrategia de densificación que contribuye a un desarrollo urbano más sostenible, optimizando el uso del suelo y reduciendo la expansión horizontal. De acuerdo con Paula Cifuentes (2015), lograr el desarrollo sostenible a nivel mundial, con su amplio programa de cuidado del medio ambiente intergeneracional, el ahorro

de energía a través de formas urbanas más compactas, con mayor densidad residencial y una reversión a patrones de urbanización dispersa.

En el presente trabajo de investigación propone un análisis comparativo entre el sistema de muro de mampostería reforzada verticalmente y el sistema porticado, buscando determinar la viabilidad técnica y económica para la construcción de viviendas multifamiliares MIDUVI de dos plantas en la provincia de Santa Elena. La resistencia del muro de mampostería es de 12 MPa, y del hormigón de las columnas, vigas, escaleras y losas es de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, la resistencia del acero es de $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$. El modelamiento de la estructura se realizó mediante el software Etabs, donde se obtendrán datos de rendimiento, basado en el desempeño sísmico, para su posterior análisis y comparación entre sistemas. Este análisis considera el comportamiento estructural, los costos y la sostenibilidad de ambos sistemas, con el objetivo de proporcionar información valiosa para la toma de decisiones en el sector de la construcción de viviendas accesibles en Ecuador, compartiendo la opinión de Victoria Meneses (2017) sobre que es posible la optimización de costos y tiempos en la construcción de viviendas de interés social mediante la utilización de un método constructivo diferente al convencional, ofreciendo cuán beneficiosa es la implementación de nuevas metodologías constructivas en el sector inmobiliario de viviendas de interés social.

El proyecto se dividió en dos partes, la primera es sobre el análisis sismo resistente de ambos sistemas estructurales, considerando el análisis dinámico espectral evaluando los requisitos dictaminados en la normativa ecuatoriana; como lo son las derivas de piso, torsión excesiva, índice de estabilidad, entre otras; la elaboración del espectro elástico de diseño se usa el factor de zonificación sísmica correspondiente a la provincia de Santa Elena $z = 0,5$ y un suelo tipo C. Como se menciona, esta evaluación está basada en códigos en el capítulo de peligro sísmico de la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15. La segunda parte del proyecto se considera un presupuesto de la edificación, para ambos sistemas, con el fin de obtener una evaluación integral que permita tomar decisiones fundamentadas sobre cuál sistema es más eficiente, seguro y viable para un determinado tipo de edificación.

En el primer capítulo se expone una introducción del trabajo de titulación se describe la problemática que abarca la revisión, los antecedentes investigativos, la hipótesis, los objetivos planteados, el alcance y el señalamiento de las variables del tema de investigación. En el segundo capítulo se conceptualiza el marco teórico considerando los sistemas de muros de mampostería y

pórticos con elementos de columnas/vigas, y demás temas principales que tiene el proyecto. En el tercer capítulo corresponde a la metodología utilizada para el respectivo análisis, los cuales son argumentados en el cuarto capítulo referente a la interpretación de los resultados obtenidos a través de cálculos y comprobaciones por medio del software de análisis estructural como Etabs y Excel. Finalmente, en el quinto capítulo se redactan las conclusiones y recomendaciones, estas son dictaminadas en base a los resultados.

1.2 ANTEDECENTES

Como expresan los siguientes autores Fabiana Cunalata and Pablo Caiza (2022), los estudios de vulnerabilidad sísmica constituyen una parte importante para la implementación de programas de mitigación de riesgo. El Ecuador, al ser un país en el que se presenta un riesgo sísmico alto, ha empezado a estudiar el grado de vulnerabilidad de las edificaciones existentes. Es de mucha importancia evaluar que los sistemas estructurales cumplan con los requerimientos funcionales, que garanticen protección ante eventos sísmicos, mismos que son comunes por la ubicación del país.

De acuerdo con Jean Loor and Isáí Ubilla (2024) donde mencionan que el crecimiento urbano desordenado y escasez de ingenieros estructurales generan incertidumbre sobre la capacidad de las edificaciones para resistir fuerzas sísmicas. Ante el acontecimiento del sismo de Pedernales queda constancia que las estructuras mal diseñadas, junto con el poco criterio sobre la ingeniería sísmica provocaron un sin números de pérdidas económicas y humanas.

Es evidente que, en el territorio nacional, la metodología más empleada es el sistema estructural con pórticos, considerando el hormigón armado como el principal método constructivo sísmo resistente. Sin embargo, dicho sistema presenta muchas limitaciones cuando se analiza su desempeño ante eventos sísmicos de gran magnitud. Presenta varias problemáticas como, por ejemplo, baja rigidez lateral misma que puede generar derivas de piso excesivas y, por ende, daños significativos en los elementos no estructurales. Al mostrar alta flexibilidad comparativa, las estructuras con pórticos tienden a experimentar desplazamientos mayores, lo que compromete la integridad de los habitantes. Bien menciona Diana Jaramillo (2009), el sistema estructural aporticado es el sistema más conocido en nuestro medio, pero existen muchos otros sistemas estructurales, los cuales, al igual que el aporticado pueden tener una buena respuesta estructural

ante la acción de cargas verticales y de sismo, siempre y cuando sean diseñados y construidos de acuerdo con sus requisitos. Esta situación se agrava en muchos aspectos por las deficiencias en la calidad constructivas y en la supervisión técnica adecuada, practicas comunes en proyectos de vivienda de interés social, donde el control suele ser limitado.

La aplicación de nuevos sistemas constructivos obedece a parámetros técnicos como las carencias de las construcciones con hormigón armado, más las demandas del crecimiento poblacional; por consiguiente, un análisis del déficit de las viviendas en la nación ecuatoriana debe contemplar los ámbitos ya mencionados.

El método constructivo con muros de mampuestos, con refuerzo vertical y horizontal, mediante estudios han reflejado un óptimo comportamiento ante sismos debido a que posee una alta rigidez lateral, reduciendo desplazamientos y, por ende, daños en la estructura. Autores como Thomas Paulay and Priestley (1992) destacan el uso de este tipo de sistemas constructivos porque incrementan la rigidez lateral y la capacidad de disipar energía, lo que brinda una alta estabilidad estructura y reduce daños.

La normativa ecuatoriana establece criterios técnicos para un excelente diseño sísmico. Incluso al estar relacionada con el código americano ACI, ampliando las especificaciones requeridas. Para cumplir con un desempeño estructural, todas las construcciones deben ser diseñadas bajo estrictos parámetros normativos.

1.3 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En la provincia de Santa Elena se ha caracterizado por la necesidad de afinar recursos utilizados en la construcción de viviendas multifamiliares de interés social. El Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda proporciona viviendas accesibles, contemplando que existe equilibrio económico con la seguridad. Según MIDUVI (2018), el enfoque habitacional prioriza soluciones funcionales, seguras y coherentes con la realidad económica de los beneficiarios. Asimismo, se ha incorporado un enfoque de resiliencia estructural ante riesgos naturales, en cumplimiento con las normativas técnicas del país (MIDUVI, 2020). Como se menciona, programas impulsados por entidades públicas ha promovido la construcción de edificaciones de varias plantas como una estrategia para optimizar el uso del suelo urbano. La ventaja del crecimiento vertical consiste en alojar a un mayor número de familias en un mismo terreno, lo cual

resulta crucial en zonas donde existe territorios reducidos. Esta estrategia controla la expansión urbana y el uso de servicios básicos. Este tipo de viviendas que albergan a múltiples familias plasman como una opción viable para la sociedad.

El sistema porticado es el método constructivo más utilizado en viviendas. Sin embargo, el sistema con muros de mampuestos de hormigón con refuerzo vertical ofrece grandes ventajas en términos de resistencia y durabilidad a largo plazo. A pesar de su potencial, existe una carencia de conocimiento misma que limita la capacidad de los diseñadores y constructores para innovar.

Por lo tanto, esta investigación se centra en analizar comparativamente el comportamiento sismo-resistente del sistema porticado tradicional y el sistema de muros compuestos por bloques de hormigón reforzados verticalmente en viviendas multifamiliares MIDUVI de dos plantas en la provincia de Santa Elena.

El propósito primordial es generar conocimiento técnico que posibilite el desarrollo de soluciones habitacionales más seguras, perdurables, accesibles y socialmente responsables en una región caracterizada por su alta propensión a la actividad sísmica.

1.4 JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se orienta hacia un análisis comparativo estructural de manera globalizada entre dos sistemas: el sistema aporticado de hormigón armado y el sistema de muros de mampostería con refuerzo vertical. Debido a la diferencia esencial en el comportamiento estructural de cada sistema, no se ha considerado el análisis de esfuerzos internos individuales, como cortantes y momentos. Comparar directamente estos esfuerzos sería metodológicamente incorrecto, ya que los mecanismos resistentes de carga lateral y la distribución de fuerzas internas difieren sustancialmente entre ambos tipos de estructura. El estudio enfoca su análisis en parámetros de respuesta sísmica, con ello evaluar de manera objetiva y comparable bajo las mismas condiciones geométricas.

La exigencia de desarrollar este tipo de análisis se rige porque muchas viviendas son construidas sin criterios adecuados de diseño sismorresistente. Por lo tanto, resulta esencial comparar sistemas que utilizan materiales comunes pero que ofrecen soluciones de comportamiento distinto.

Por último, el impacto de la elección del sistema estructural se da bajo el presupuesto referencial de obra. Construcciones complejas en su ejecución tienden a incrementar los costos incluso el tiempo estimado, mientras los que son más simples pueden resultar más económicos sin comprometer la seguridad estructural. En base a ello, realizar la comparación del sistema aporticado con el sistema de muros de mampostería no solo aporta al entendimiento del desempeño sismorresistente, sino que también proporciona criterios técnicos y económicos que pueden guiar la toma de decisiones en futuros proyectos de vivienda, promoviendo construcciones más seguras, funcionales y sostenibles.

1.5 HIPÓTESIS

1.5.1 Hipótesis General

El sistema de muros de carga de mampostería reforzada verticalmente brinda un mejor desempeño estructural en comparación con el sistema porticado para la construcción de viviendas multifamiliares MIDUVI de dos plantas en la provincia de Santa Elena.

1.5.2 Hipótesis Específicas

H.E.1.: El modelo aplicando el sistema de mampostería tendrá una distribución de esfuerzos más uniforme que el sistema porticado.

H.E.2.: El sistema de mampuestos va a mostrar menores desplazamientos y alta rigidez que el sistema porticado empleando las mismas condiciones.

H.E.3.: La construcción utilizando el sistema de muros resultará en un presupuesto total de obra más económico.

1.6 OBJETIVOS

1.6.1 Objetivo General

Realizar un análisis comparativo del desempeño estructural y la viabilidad técnica-costos del sistema de muro de mampuestos en relación con el sistema porticado para la construcción de una vivienda multifamiliar MIDUVI de dos plantas en la provincia de Santa Elena.

1.6.2 Objetivos específicos

O.E.1.: Modelar estructuralmente una vivienda multifamiliar MIDUVI de dos plantas utilizando los sistemas de muro con mampuestos reforzados verticalmente y sistema de pórticos

O.E.2.: Analizar los resultados del desempeño estructural del sistema de muro de carga y el sistema porticado de una vivienda multifamiliar MIDUVI de dos plantas en términos de rigidez y desplazamientos.

O.E.3.: Elaborar los análisis de precio unitarios y el presupuesto del sistema de muro de carga y el sistema porticado de una vivienda multifamiliar MIDUVI de dos plantas.

1.7 ALCANCE

Esta investigación se delimita al análisis estructural comparativo entre el sistema porticado y el sistema de muro de carga de mampostería con refuerzo vertical para una vivienda multifamiliar MIDUVI de dos plantas, diseñada para albergar a cuatro familias.

La vivienda multifamiliar MIDUVI, aplicable para las regiones costa y amazonia, tiene un área total aproximada de 221.44 metros cuadrados y se distribuye en áreas sociales (sala, comedor), área de cocina, tres dormitorios, baño y área de lavado y secado.

El análisis estructural se realizará utilizando el software ETABS, misma que ofrece una simulación computacional precisa de la vivienda, Se evaluarán parámetros como la resistencia, rigidez, desplazamientos y deformaciones de ambos sistemas estructurales. El análisis de costos se limitará a la comparación de los costos directos de construcción de la estructura, considerando los materiales y la mano de obra necesarios para cada sistema.

1.8 VARIABLES

Las variables son características o factores que pueden medirse, observarse o cambiarse dentro de una investigación.

1.8.1 Variables Dependientes:

Período de vibración

Rigidez estructural

Desplazamientos/deformaciones y torsiones

Costo estructural estimado

Vulnerabilidad sísmica

Distribución de esfuerzos (momentos y cortantes en elementos estructurales)

1.8.2 Variables Independientes

Tipo de sistema estructural

Materiales constructivos utilizados

Espectro de diseño sísmicos

Tipo de suelo aplicado

Normativa de diseño sismo resistente NEC 2015

1.9 METODOLOGÍA

El presente trabajo tiene como objetivo comparar el comportamiento sismorresistente de un sistema con mampostería estructural frente a un sistema aporticado en una vivienda multifamiliar de dos plantas, se estructura metodológicamente en función de los objetivos específicos, de la siguiente manera:

1.9.1 Metodología del O.E.1:

Se lleva a cabo el modelamiento tridimensional de ambos sistemas estructurales en el software ETABS, considerando la geometría real de la vivienda MIDUVI y la configuración específica de cada sistema: columnas, vigas y losas para el sistema porticado, y muros de mampostería reforzada de manera vertical.

Se aplican cargas de gravedad y de sismos conforme a la norma ecuatoriana. Las cargas sísmicas se determinan a partir del espectro de diseño empleando un suelo tipo C.

Se empleará un análisis dinámico lineal, junto con un análisis estático para ajuste de cortante basal, con el objetivo de cumplir las restricciones estipuladas en la norma.

1.9.2 Metodología del O.E.2:

Se lleva a cabo un análisis comparativo del comportamiento sísmico de ambos sistemas estructurales, utilizando un enfoque lineal que incluye tanto análisis estático como dinámico, bajo condiciones normativas y de carga idénticas.

Se evaluará las derivas de piso, torsiones excesivas, estabilidad estructural y el periodo de vibración. Dichos parámetros facilitaran identificar las diferencias entre sistemas.

Los resultados obtenidos permiten distinguir las diferencias en términos de rigidez y la respuesta sísmica global entre el sistema de muros de carga y el sistema porticado.

1.9.3 Metodología del O.E.3:

Se elaboran análisis de precios unitarios y presupuestos referenciales para cada sistema estructural, basándose en las cantidades de obra derivadas de los modelos estructurales y considerando precios unitarios actualizados.

Para efectuar el análisis del presupuesto referencial de los sistemas, se tomará en cuenta únicamente los elementos estructurales, aplicando el uso de precios unitarios actualizados. Con ello, establecer conclusiones aplicadas a viviendas de interés social.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL EN ECUADOR

2.1.1 Definición

La vivienda de interés social es aquella que está destinada a saciar las necesidades de familias con pocos ingresos, facilitando el acceso a una vivienda digna. Autores como Jaime Andocilla and Pedro Nicola (2019) expresan que la vivienda de interés social es aquella orientada al sector de la población que no posee recursos para adquirir un hogar a los precios establecidos por el mercado inmobiliario.

Estas viviendas priorizan la funcionalidad sobre el lujo, buscando maximizar el uso eficiente del espacio disponible y minimizar los costos de construcción, sin sacrificar la seguridad estructural. Armando Blacio (2016) considera que al momento de realizar los diseños estructurales de las edificaciones se debe considerar el factor de la acción sísmica; los diseños elaborados de forma adecuada sufrirán menores daños en las estructuras al momento de presentarse un sismo fuerte, garantizando la seguridad de las edificaciones y reduciendo costes y pérdidas de vida humana.

2.1.2 Importancia

La vivienda de interés social cumple un rol fundamental en el desarrollo social y económico de un país. Además de brindar un espacio digno para vivir, contribuye a reducir el déficit habitacional, mejorar la calidad de vida de las familias y fomentar el ordenamiento urbano. La construcción de viviendas de este tipo también dinamiza el sector de la construcción y genera empleo directo e indirecto, fortaleciendo la economía local.

La vivienda de interés social cumple un rol fundamental en el desarrollo social y económico de un país. Además de brindar un espacio digno para vivir, contribuye en tratar de mejorar la calidad de vida de las familias e incluso fortalece la economía local, brindando empleos. Proporcionar un hogar adecuado no solo mejora las condiciones de vida de las familias, sino que también tiene un efecto positivo en su bienestar físico, mental y social.

2.1.3 Rol del MIDUVI en el desarrollo de viviendas

El Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda en Ecuador es la entidad encargada de planificar y ejecutar políticas públicas relacionadas con la vivienda de interés social. Mediante

programas como “Casa para Todos”, donde se prioriza que familias tengan acceso a una vivienda adecuada. Esto ha permitido efectuar proyectos constructivos de viviendas individuales y multifamiliares.

Ilustración 1. Modelo guía de la vivienda multifamiliar



Fuente: (Miduvi, 2018)

2.1.4 Beneficios del crecimiento vertical

El crecimiento vertical representa una estrategia eficiente para maximizar el uso del suelo urbano disponible. A diferencia del crecimiento horizontal, que requiere mayores extensiones de terreno, el crecimiento vertical permite alojar a más familias en un mismo predio, reduciendo costos de infraestructura y favoreciendo la consolidación de ciudades más compactas y sostenibles. Además, esta modalidad de construcción facilita la provisión de servicios básicos como agua, electricidad, transporte y recolección de residuos, disminuyendo la presión sobre las zonas rurales y preservando el entorno natural. De conformidad con Martin Anzellini (2024) recalca que las ciudades compactas se caracterizan por patrones de desarrollo denso, sistemas de transporte público conectados y fácil acceso a servicios locales y oportunidades de empleo. Por ello, ofrecen una alternativa adecuada para responder a las necesidades de las áreas urbanas en crecimiento.

2.2 SISTEMA ESTRUCTURAL

2.2.1 Definición

La definición de una estructura se da como una composición de elementos que resisten fuerzas y cargas, brindando cierta rigidez. Por su parte, como hacen referencia autores de la revista digital “Un Arquitecto (s.f.) un sistema estructural se refiere a la disposición y organización de los elementos que soportan las cargas y transmiten las fuerzas dentro de una estructura asegurando su estabilidad, seguridad y funcionalidad. Los elementos constructivos trabajan en conjunto para soportar tanto cargas gravitacionales como cargas laterales, distribuyéndolas hacia los cimientos.

2.2.2 Clasificación de los sistemas estructurales

Los sistemas estructurales pueden clasificarse de diversas maneras, entre las clasificaciones más comunes están:

2.2.2.1 Sistemas porticados

Formados en su mayoría por vigas y columnas de hormigón armado o acero.

2.2.2.2 Sistemas de muros estructurales

Conformados por muros de concreto o mampostería.

2.2.2.3 Sistemas mixtos

Combinan pórticos y muros estructurales

2.2.2.4 Sistemas prefabricados

Compuestos de elementos fabricados en planta y ensamblados en obra.

Ilustración 2. Sistemas Estructurales



Fuente: (Un Arquitecto, s.f.)

2.2.3 Factores para la selección del sistema estructural

Es preciso mencionar que para elegir un sistema adecuado es factible determinar la altura y geometría de la edificación. Adicionalmente, cuáles son las condiciones sísmicas presentes.

La disponibilidad de materiales y mano de obra, son aspectos esenciales ya que perjudican tanto en los costos estructurales como en el tiempo de ejecución estimada. Es por ello, que el costo referencial total es fundamental para la selección del método constructivo.

2.3 MAMPOSTERÍA

2.3.1 Definición

La mampostería es un sistema constructivo tradicional que permite la elaboración de elementos estructurales o arquitectónicos mediante la colocación manual y en diversas posiciones de distintas piezas o mampuestos. Estos contemplan piedras, ladrillos y bloques de hormigón, mismos que, en general, se unen con mortero, que es una mezcla generada a partir de arena, agua y un conglomerante, siendo el cemento el más popular.

2.3.2 Tipos de mampostería

Carlos Londoño (2006) alude que existen algunos tipos de mampostería, entre los cuales tenemos:

2.3.2.1 Mampostería reforzada

Incorpora refuerzos de acero para mejorar la ductilidad de la estructura.

2.3.2.2 Mampostería de cavidad reforzada

Emplea bloques huecos que son rellenas con concreto y refuerzos.

2.3.2.3 Mampostería parcialmente reforzada

Combina elementos reforzados y no reforzados.

2.3.2.4 Mampostería no reforzada

Muros sin refuerzos adicionales, adecuada para zonas de bajo riesgo sísmico.

2.3.2.5 Mampostería de muros confinados

Integra muros de mampostería con columnas y vigas de concreto

2.3.2.6 Mampostería de muros diafragma

Muros continuos, elementos idóneos para resistir cargas laterales.

Ilustración 3. Tipos de mampostería



Fuente: (Inka, 2018)

2.4 SISTEMA PORTICADO DE HORMIGÓN ARMADO

2.4.1 Definición

Las edificaciones construidas con pórticos o marcos es un sistema estructural compuesto por columnas y vigas, que trabajan en unión para soportar cargas. En este sistema, las columnas resisten principalmente cargas axiales (compresión) mientras que las vigas soportan cargas verticales y momentos a flexión. Frente a cargas laterales, como las sísmicas, el pórtico ofrece cierta resistencia y flexibilidad debido a su comportamiento de marco deformable. Un concepto relacionado es lo que mencionan autores como Kenneth Leet, Chia-Ming Uang, Joel Lanning, Anne Gilbert (2016) acerca de que un pórtico se define como un sistema estructural tridimensional en el que las vigas y columnas están rígidamente conectadas entre sí para soportar las cargas laterales a través del desarrollo de cortantes y momentos en sus elementos, esto expresado en el libro *Structural Analysis*. Entre sus principales características destacan la facilidad de modulación de los espacios interiores y la posibilidad de generar estructuras abiertas sin la necesidad de muros estructurales.

2.4.2 Elementos principales

Luis Soler (2019) y Jorge Condori (2024) expresan que el sistema aporticado está constituido de los siguientes elementos:

2.4.2.1 Losa

Una losa es un elemento horizontal de un espesor delgado que soportan cargas distribuida y separan verticalmente los niveles de una edificación. Su función principal es soportar cargas, distribuyéndolas hacia vigas o columnas.

2.4.2.2 Viga

Una viga es un elemento que soportan cargas distribuidas principalmente mediante la resistencia a la flexión. Cuya función es transmitir las cargas hacia las columnas o muros.

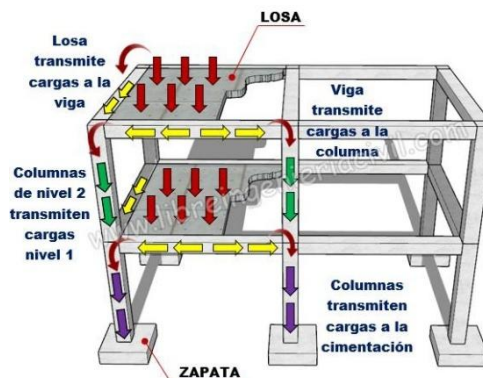
2.4.2.3 Columna

Una columna es un elemento vertical capaz de soportar cargas de compresión misma que transmite el peso de la estructura hacia los cimientos. Las columnas pueden ser de sección circular o rectangular.

2.4.2.4 Cimiento

La cimentación es el elemento estructural considerada base de la estructura que transmite las cargas de toda la edificación al suelo, asegurando que no se superen la capacidad de soporte del terreno. Existen diversos tipos de cimentaciones, como las superficiales y las profundas, dependiendo de las características del suelo y las cargas de la estructura.

Ilustración 4. Transferencia de cargas en un pórtico



Fuente: (Jorge Condori, 2024)

2.4.3 Comportamiento estructural

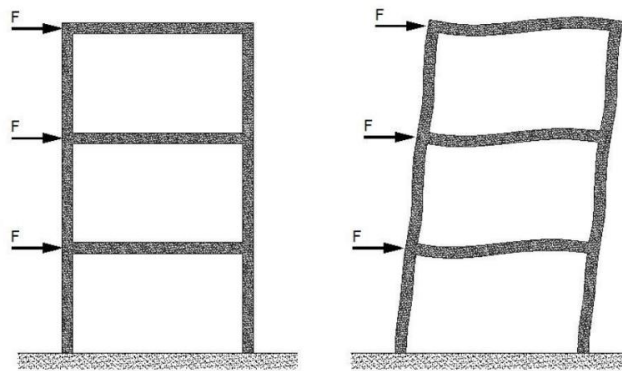
2.4.3.1 Cargas verticales

Las columnas y vigas distribuyen las cargas de manera eficiente hacia las cimentaciones. El sistema es adecuado para soportar el peso propio de la estructura y las cargas de uso (ocupación, muebles, equipamiento). El sistema porticado resiste mediante la flexión de las vigas y columnas, así como mediante los momentos en las conexiones viga-columna.

2.4.3.2 Cargas laterales

El comportamiento del sistema de pórticos frente a sismos o vientos puede ser más flexible, lo cual puede generar mayores desplazamientos laterales. Por esta razón, en zonas sísmicas de alta peligrosidad se recomienda reforzar los pórticos o complementarlos con otros sistemas, como muros de corte.

Ilustración 5. Comportamiento ante cargas laterales



Fuente: (Estructurando, s.f.)

2.4.4 Ventajas y desventajas del sistema aporticado

2.4.4.1 Ventajas

Este sistema presenta varias ventajas como flexibilidad arquitectónica, adaptabilidad a futuras modificaciones, rapidez en construcción modular y reducción de peso estructural. Haciendo énfasis a las remodelaciones que se puedan efectuar en futuros proyectos, Pamela Maldonado and Andrés Terán (2014) indican que el sistema aporticado tiene la ventaja al permitir ejecutar todas las modificaciones que se quieran al interior de la vivienda, ya que en ellos muros, al no soportar peso, tienen la posibilidad de moverse.

2.4.4.2 Desventajas

Por su parte, dichos autores también expresan que el sistema de pórticos presenta frente a las cargas laterales una baja resistencia y rigidez. Su gran flexibilidad permite desplazamientos considerables lo cual produce daños en los elementos no estructurales. Además, presenta otras desventajas como la necesidad de reforzamiento en zonas sísmicas, dificultad en el control de daños tras un sismo y alta dependencia de la calidad constructiva.

2.5 SISTEMA DE MURO DE MAMPOSTERÍA CON REFUERZO VERTICAL

2.5.1 Mampostería estructural

La mampostería estructural es un sistema constructivo que utiliza bloques o ladrillos unidos por mortero para formar las paredes que soportan tanto las cargas verticales como las cargas laterales. Según la NEC-15, establece una definición unas de las variantes de la mampostería estructural, la mampostería confinada, donde señala que es una estructura conformada por piezas de mampostería unidas por medio de mortero, reforzada de manera principal con elementos de concreto reforzado construidos alrededor del muro o piezas de mampostería especiales donde se vacíe el hormigón de relleno logrando un confinamiento a la mampostería. En otro caso, cuando la mampostería es reforzada, se incorporan elementos de acero dentro de las paredes para aumentar su capacidad de carga y mejorar su comportamiento frente a fuerzas sísmicas.

2.5.2 Mampostería reforzada verticalmente

La mampostería reforzada verticalmente consiste en la adición de refuerzo de acero, ya sea por varillas o mallas electrosoldadas, dentro de las paredes, de forma que se incrementa la resistencia de las paredes frente a cargas verticales y laterales. Este refuerzo generalmente se coloca de manera vertical a intervalos específicas.

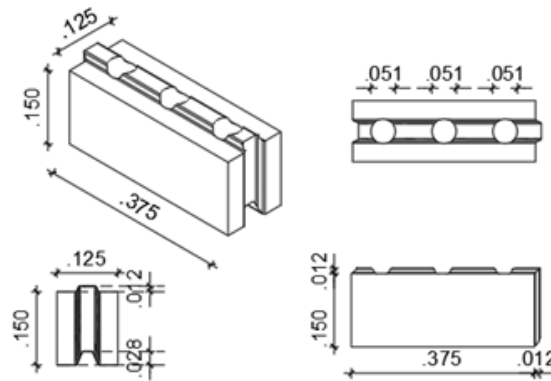
2.5.2.1 Elementos principales

Para el sistema de muro de mampostería con refuerzo vertical, se identifican los siguientes elementos:

2.5.2.1.1 Bloques de mampostería

Generalmente son bloques de hormigón con alta resistencia. Adicional tienen celdas o huecos verticales por donde pasan los refuerzos de acero y el mortero de relleno.

Ilustración 6. Bloques huecos de hormigón



Fuente: (Blocks Monterrey, s.f.)

2.5.2.1.2 Acero de refuerzo

Andrea Salinas (2012) afirma que los refuerzos que se utiliza en los diferentes tipos de mampostería reforzada deben estar embebido en concreto, mortero de pega y debe cumplir con ciertos requisitos mínimos de recubrimiento, anclaje, adherencia y separación mínima y máxima con respecto a las unidades de mampostería.

2.5.2.1.2.1 Refuerzo vertical

Son barras de acero colocadas dentro de las celdas de los bloques. Se encargan de resistir fuerzas de tracción, compresión y cargas sísmicas laterales. La separación y diámetro de las varillas dependen del diseño estructural.

Ilustración 7. Refuerzo vertical en muros



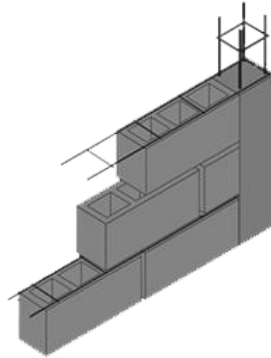
Fuente: Tomado del artículo de Sistema Constructivo de Cajón

2.5.2.1.2.2 Refuerzo horizontal

El refuerzo horizontal se debe colocar en el muro a medida que este se va construyendo y siguiendo las indicaciones de los planos, y diseños. Contribuye el control de las fisuras por

contracción del muro las unidades más el mortero de pega, estos deben ser de diámetros inferiores al espesor de la junta de pega, para que se quede embebido en ella. Los tipos más comunes de refuerzo horizontal son la escalerilla, la celosía, la malla y el alambrón.

Ilustración 8. Refuerzo horizontal en muros



Fuente: (Jerez Materiales, s.f.)

2.5.2.1.3 Mortero de pega

Es la mezcla que une los bloques entre sí. Generalmente está compuesto por cemento, arena y agua. Su principal función es transferir cargas entre bloques y garantizar la continuidad estructural.

Ilustración 9. Mortero para pegar bloques



Fuente: (Intaco, 2019)

2.5.2.1.4 Mortero de relleno

Se utiliza para llenar las celdas donde va el refuerzo. También proporciona confinamiento al acero y aumenta la capacidad de carga del muro.

Ilustración 10. Mortero de relleno de celdas



Fuente: (Holcim, 2020)

2.5.3 Comportamiento estructural

La mampostería reforzada tiene un comportamiento más dúctil que la mampostería convencional. Esto implica que la estructura puede deformarse, pero no al punto de llegar a la falla. A diferencia de la mampostería sin refuerzo, esta es propensa a sufrir fisuras o colapsar de manera espontánea, añadir refuerzo vertical mejora la capacidad y reduce el riesgo estructural. Tal como dice Sergio Alcocer (1997); mientras que la mampostería simple exhibe un comportamiento frágil ante las acciones laterales cíclicas (como las inducidas por los sismos), la confinada y la reforzada tienen una mejor capacidad, medida en una superior resistencia y mayor deformabilidad (definida como la capacidad de mantener carga a grandes deformaciones).

2.5.4 Ventajas y desventajas del sistema muro de mampostería

2.5.4.1 Ventajas

La mampostería reforzada no requiere técnicas altamente especializadas, facilitando así el desarrollo continuo del proyecto. Es ideal para infraestructura de poca altura, ya que proporciona mayor resistencia a cargas verticales.

2.5.4.2 Desventajas

Una de las desventajas presentes en la mampostería reforzada es su limitación en proyectos de gran altura, porque es propenso de sufrir fisuras por mala práctica en la ejecución. En esos casos, es común recurrir a la combinación con otros sistemas para satisfacer necesidades.

CAPITULO III: MARCO METODOLOGICO

3.1 ANÁLISIS DINÁMICO ESPECTRAL

En zonas sísmicamente activas, como gran parte de América Latina, es esencial diseñar estructuras capaces de resistir movimientos sísmicos. La respuesta estructural frente a un sismo depende de su masa, rigidez, amortiguamiento y la forma en que estas propiedades interactúan con la excitación sísmica. Para edificaciones complejas, el análisis dinámico espectral surge como herramienta esencial comparado con los métodos estáticos. Anil Chopra (2012) expone que el método del espectro de respuesta brinda estimaciones de respuestas de sistemas lineales sometidos a movimientos telúricos. Su uso es amplio porque incorpora el contenido de frecuencia del movimiento del terreno y las características dinámicas de la estructura.

El desarrollo del análisis dinámico consiste en separar el comportamiento sísmico de una estructura en diferentes modos de vibración, con ello, aplicando a cada uno de ellos un espectro de diseño que representa el sismo. Posterior, estos efectos modales se deben combinar mediante métodos estadísticos como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados SRSS o la combinación cuadrática compleja CQC, obteniendo soluciones esperadas de desplazamientos, reacciones y fuerzas internas.

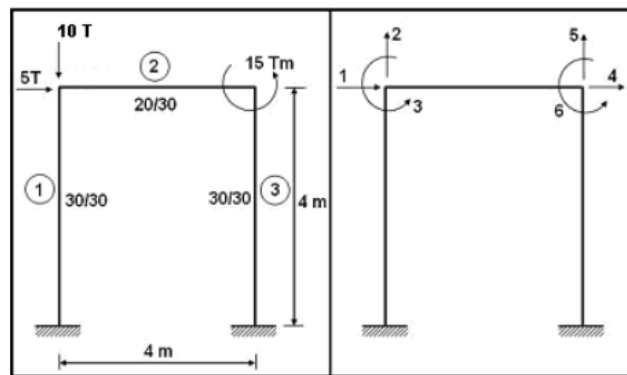
Entre sus principales ventajas, el análisis espectral permite considerar múltiples modos de vibración, evaluar la participación modal en distintas direcciones e identificar efectos de torsión. El Código Internacional de la Construcción (2021) da a conocer que el análisis del espectro de respuesta modal se utilizará para estructuras con irregularidades; este método considerará al menos el 90% de la masa participante y combinará las respuestas modales mediante los métodos ya mencionados. Por lo tanto, este método es coherente con las exigencias normativas de la Norma Ecuatoriana de la Construcción, que adopta criterios similares.

La finalidad del análisis dinámico espectral dentro de este trabajo es predecir con mayor precisión la respuesta sísmica de los sistemas estructurales propuestos, comparando su desempeño. Esto permitirá evaluar parámetros, como también identificar modos dominantes de vibración. Mediante ello, determinar cuál de los sistemas estructurales estudiados presenta mejor comportamiento sismorresistente y mayor eficiencia estructural.

3.2 GRADOS DE LIBERTAD DINÁMICOS

En la dinámica estructural es importante conocer los grados de libertad de los cuales se producen fuerzas iguales en masa. Se refiere por grados de libertad dinámicos, al número de componentes desconocidos, que detallan la localización de las masas del sistema ante las posibles deformaciones elásticas de sus partes. Tal como expresa Stephen Timoshenko (1985), la cantidad de direcciones en las que un sistema puede moverse o cambiar sin que se produzca una restricción en su comportamiento.

Ilustración 11. Grados de libertad de un elemento aporticado.

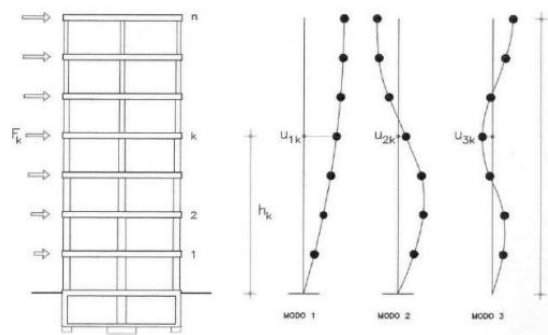


Fuente: (Roberto Aguiar, 2010)

3.3 MODOS DE VIBRACIÓN

Los modos de vibración son las formas de balanceo cuando una estructura es sometida a movimientos dinámicos, de manera continua sin mitigarse y sin considerar cargas externas. Este criterio es esencial en el análisis modal ya que permite evaluar con mayor precisión el comportamiento dinámico global.

Ilustración 12. Modos de vibración en modelos planos de estructuras de pisos

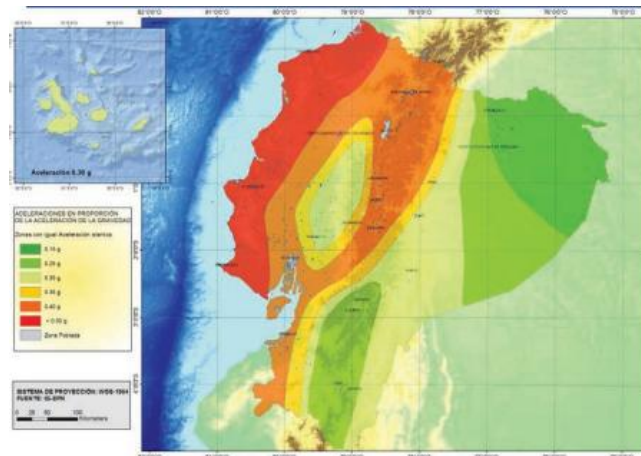


Fuente: (NCSR, 2002)

3.4 ZONIFICACIÓN SÍSMICA Y FACTOR DE ZONA Z

Ecuador, al estar situado en el Cinturón de Fuego del Pacífico, experimenta sismos con frecuencia. Por esta razón, el país se ha dividido en seis zonas sísmicas para las construcciones de uso común, asignando a cada una un factor de zonificación sísmica Z, que representa la aceleración máxima esperada en roca durante un sismo de diseño. El valor de Z varía según la ubicación, por lo que se selecciona el factor correspondiente al lugar donde se va a efectuar la construcción en el país.

Ilustración 13. Zonas sísmicas de Ecuador con su valor de factor de zona Z.



Fuente: (MIDUVI, 2015)

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), el cual cuenta con una saturación a 0,50 g de los datos de aceleración sísmica en roca en la costa ecuatoriana que describe la zona VI.

Tabla 1. Valores de Z en función de la zona sísmica

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor del factor Z	0,15	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Fuente: (MIDUVI, 2015)

3.5 GEOLOGÍA LOCAL

3.5.1 Tipos de perfiles del suelo para su diseño sísmico

En la norma ecuatoriana se detallan 6 tipos de perfiles de suelos que serán empleados para el diseño sísmico, mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 2. Clasificación de los perfiles de suelo

<i>Perfil</i>	<i>Descripción</i>	<i>Definición</i>
<i>A</i>	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500 \text{ m/s}$
<i>B</i>	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} \geq V_s \geq 760 \text{ m/s}$
<i>C</i>	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de corte	$760 \text{ m/s} \geq V_s \geq 360 \text{ m/s}$
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50.0$ $S_u \geq 100 \text{ KPa}$
<i>D</i>	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante	$360 \text{ m/s} \geq V_s \geq 180 \text{ m/s}$
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ $100 \text{ kPa} > S_u \geq 50 \text{ kPa}$
	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante	$V_s < 180 \text{ m/s}$
<i>E</i>	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $S_u < 50 \text{ kPa}$
<i>F</i>	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero especialista en geotecnia	

Fuente: (MIDUVI, 2015)

3.5.2 Coeficientes de perfil de suelo F_a , F_d y F_s

Para la construcción del espectro de diseño se necesitan los coeficientes de perfil de suelo F_a , F_d y F_s , los valores de estos se obtienen de las tablas 3, 4 y 5, relacionando la zona sísmica y tipo de perfil del suelo.

- a) **F_a :** Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto, tomando en cuenta los efectos de sitio.

Tabla 3. Tipo de suelo y factores de sitio F_a

TIPO DE PERFIL DEL SUELO	ZONA SISMICA Y FACTOR Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0,15	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5
A	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
B	1	1	1	1	1	1
C	1,4	1,3	1,25	1,23	1,2	1,18
D	1,6	1,4	1,3	1,25	1,2	1,12
E	1,8	1,4	1,25	1,1	1	0,85
F	VEASE LA TABLA 2: CLASIFICACION DE LOS PERFILES DE SUELOS Y LA SECCION 10.5.4.					

Fuente: (MIDUVI, 2015)

- b) **F_d**: amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, considerando los efectos de sitio.

Tabla 4. Tipo de suelo y Factores de sitio F_d

TIPO DE PERFIL DEL SUELO	ZONA SISMICA Y FACTOR Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0,15	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5
A	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
B	1	1	1	1	1	1
C	1,36	1,28	1,19	1,15	1,11	1,06
D	1,62	1,45	1,36	1,28	1,19	1,11
E	2,1	1,75	1,7	1,65	1,6	1,5
F	VEASE LA TABLA 2: CLASIFICACION DE LOS PERFILES DE SUELOS Y LA SECCION 10.6.4.					

Fuente: (MIDUVI, 2015)

- c) **F_s**: 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.

Tabla 5. Tipo de suelo y Factores del comportamiento inelástico del subsuelo F_s

TIPO DE PERFIL DEL SUELO	ZONA SISMICA Y FACTOR Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0,15	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5
A	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
B	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
C	0,85	0,94	1,02	1,06	1,11	1,23
D	1,02	1,06	1,11	1,19	1,28	1,4
E	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
F	VEASE LA TABLA 2: CLASIFICACION DE LOS PERFILES DE SUELOS Y LA SECCION 10.6.4.					

Fuente: (MIDUVI, 2015)

Existen valores de F_a, F_d, F_s, para todos los perfiles de suelo (A, B, C, D y E), a excepción del suelo F, debido a que en la norma estipula efectuar investigaciones geotécnicas, en la que se pueda ejecutar una evaluación del comportamiento dinámico del suelo.

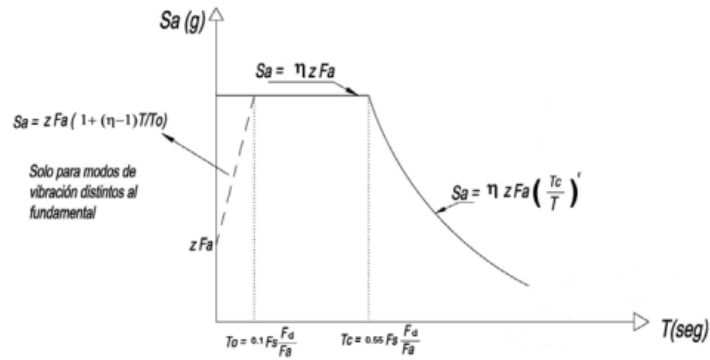
3.6 COMPONENTES HORIZONTALES DE LA CARGA SÍSMICA

3.6.1 Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones

El espectro de respuesta elástico de aceleraciones S_a, expresado como fracción de la aceleración de la gravedad, para el nivel del sismo de diseño consistente con:

- el factor de zona sísmica Z
- el tipo de suelo del sitio de emplazamiento de la estructura
- la consideración de los valores de los coeficientes de amplificación de suelo F_a, F_d, F_s.

Ilustración 14. Espectro de respuesta sísmica



Fuente: (MIDUVI, 2015)

Dicho espectro, que obedece a una fracción de amortiguamiento respecto al crítico de 5%, se obtiene mediante las siguientes ecuaciones, válidas para períodos de vibración estructural T pertenecientes a 2 rangos:

$$S_a = \eta Z F_a \quad \text{Cuando } T_o \leq T \leq T_c$$

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

$$T_c = 0,55 F_s \frac{F_d}{F_a}$$

Para el análisis dinámico y únicamente para evaluar los resultados de los modos de oscilación diferentes al modo fundamental:

$$S_a = Z S_a \left(1 + (\eta - 1) \frac{T}{T_o}\right) \quad \text{Cuando } T \leq T_c$$

$$T_o = 0,10 F_s \frac{F_d}{F_a}$$

Donde:

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_o : 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 .

η : Representa la relación entre aceleración espectral y el PGA para el periodo de retorno seleccionado (S_a/Z). Este factor varía en función de la región de emplazamiento de la edificación.

Tabla 6. Relación de amplificación espectral η

PROVINCIA DE LA COSTA (EXCEPTO ESMERALDAS)	1,8
PROVINCIAS DE LA SIERRA, ESMERALDAS Y GALAPAGOS	2,48
PROVINCIAS DEL ORIENTE	2,6

Fuente: Yagual Laura – Hidalgo Ronny

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

Tabla 7. Relación del factor espectral r

$r=1$	para todos los suelos, con excepción del tipo E
$r=1,5$	para tipo de suelo E

Fuente: Yagual Laura – Hidalgo Ronny

3.7 CONSIDERACIONES PARA CALCULAR EL CORTANTE BASAL V

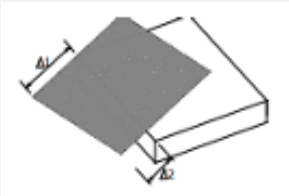
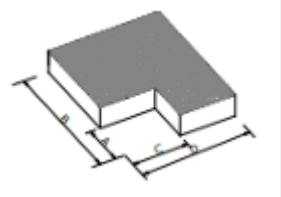
Este procedimiento de análisis estático en donde el terremoto es descrito como una carga lateral ejercida a la estructura, conocido como Cortante Basal V.

3.7.1 Irregularidades y coeficiente de configuración estructural

Los diseñadores arquitectónicos y estructurales deben buscar que la estructura tenga una configuración sencilla y regular para asegurar un buen comportamiento ante sismos. Si esto no se cumple, se aplicarán penalizaciones mediante los coeficientes de regularidad y configuración estructural Φ_P y Φ_E , descritos en la sección 5.2.3 de la norma NEC. Estos coeficientes se determinan analizando las características y las irregularidades presentes en la estructura.

La normativa ecuatoriana describe las tipologías de irregularidades dando valor a los coeficientes de planta Φ_P y elevación Φ_E respectivamente. Junto a las irregularidades que se presentan con mayor frecuencia en las edificaciones se encuentra una descripción de la severidad de dichas irregularidades.

Tabla 8. Coeficientes de irregularidad en planta

Coeficientes de irregularidad en planta. Φ_P		
Tipos		Φ_{Pi}
Φ_{PA}		
1. Irregularidad torsional		
	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.	0,9
2. Retrocesos excesivos en las esquinas		
	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.	0,9

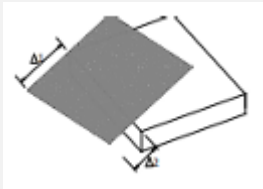


3. Discontinuidades en el sistema de piso

0,9

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.

Φ_{PB}



4. Ejes estructurales no paralelos

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.

Fuente: (MIDUVI, 2015)

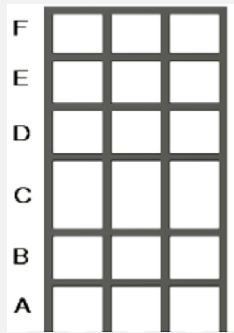
- a. **Coefficiente de regularidad en planta Φ_P :** El coeficiente Φ_P se estimará a partir del análisis de las características de regularidad e irregularidad en las plantas en la estructura. Se utilizará la expresión:

$$\Phi_P = \Phi_{PA} * \Phi_{PB}$$

Tabla 9. Coeficientes de irregularidad en elevación.

Coefficientes de regularidad en elevación. Φ_E

Tipos	Φ_{Ei}
Φ_{EA}	
1. Piso flexible Rigidez $K_C < 0.70$ Rigidez K_D Rigidez $< 0.80 (K_D + K_E + K_F)/3$	



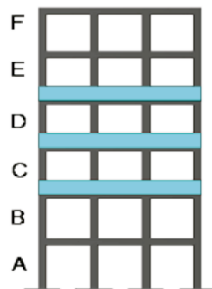
La estructura se considera irregular cuando la rigidez lateral de un piso es menor que el 70% de la rigidez lateral del piso superior o menor que el 80 % del promedio de la rigidez lateral de los tres pisos superiores.

0,9

ϕ_{EB}

2. Distribución de masa

$$M_D > 1.50 M_E \text{ ó } M_D > 1.50 M_C$$

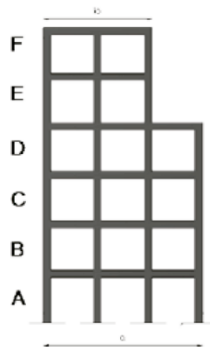


La estructura se considera irregular cuando la masa de cualquier piso es mayor que 1,5 veces la masa de uno de los pisos adyacentes, con excepción del piso de cubierta que sea más liviano que el piso inferior.

0,9

3. Irregularidad geométrica

$$a > 1.3 b$$



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.

0,9

Fuente: (MIDUVI, 2015)

- b. **Coeficiente de regularidad en elevación ϕ_E :** El coeficiente ϕ_E se estimará a partir del análisis de las características de regularidad e irregularidad en elevación de la estructura. Se utilizará la expresión:

$$\phi_E = \phi_{EA} * \phi_{EB}$$

3.7.2 Factor de reducción R

Se seleccionará uno de los dos grupos estructurales siguientes, a utilizarse para la edificación:

- Sistemas estructurales dúctiles
- Sistemas estructurales de ductilidad limitada junto con el valor de reducción de resistencia sísmica R correspondiente.

Debe tomarse el menor de los valores de R para los casos en los cuales el sistema resistente estructural resulte en una combinación de varios sistemas.

Tabla 10. Coeficiente R para sistemas estructurales dúctiles y ductilidad limitada

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

<i>Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la NEC-<u>SE-HM</u>, limitados a viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 metros.</i>	3
<i>Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la <u>NEC-SE-HM</u> con armadura electrosoldada de alta resistencia</i>	2,5
<i>Estructuras de acero conformado en frío, aluminio, madera, limitados a 2 pisos.</i>	2,5
Muros estructurales portantes	
<i>Mampostería no reforzada, limitada a un piso.</i>	1
<i>Mampostería reforzada, limitada a 2 pisos.</i>	3
<i>Mampostería confinada, limitada a 2 pisos.</i>	3
<i>Muros de hormigón armado, limitados a 4 pisos.</i>	3

Fuente: (MIDUVI, 2015)

3.7.3 Coeficiente de Importancia I

La estructura a diseñarse deberá clasificarse en una de las tres categorías como son las edificaciones esenciales, estructuras de ocupación especial y otras estructuras. Con la respectiva descripción de tipo de uso, destino e importancia se adoptará el correspondiente factor de importancia I.

Tabla 11. Tipo de uso, destino e importancia de la estructura

<i>Coeficiente de Importancia, I</i>		
<i>Categoría</i>	<i>Tipo de uso, destino e importancia</i>	<i>Coeficiente I</i>
Edificaciones esenciales	Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	1,5
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente.	1,3

Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1,0
--------------------------	--	-----

Fuente: (MIDUVI, 2015)

3.7.4 Período de la estructura

El valor de T_a obtenido al utilizar estos métodos es una estimación inicial razonable del periodo estructural que ayuda a determinar las fuerzas sísmicas que se va a someter a la estructura y realizar el dimensionamiento. El periodo de vibración aproximada de la estructura T_a , será estimado como muestra la Norma NEC-15 en la sección 6.3.3, con la siguiente ecuación:

$$T = C^t * h_n^\alpha$$

Donde:

h_n = Distancia vertical desde la base hasta el nivel más alto del sistema sísmico de resistencia de la estructura.

C^t = Coeficiente que depende del tipo de edificio.

El coeficiente C^t con su potencia α se obtienen a partir de la siguiente tabla:

Tabla 12. Valores de coeficientes del Período aproximado de la estructura

Período de Vibración. T		
Tipo de estructura	C^t	α
Estructuras de acero		
Sin arriostramientos	0,072	0,8
Con arriostramientos	0,073	0,75
Pórticos especiales de hormigón armado		
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras	0,055	0,9
Con muros estructurales o diagonales rigidizadoras y para otras estructuras basadas en muros estructurales y mampostería estructural	0,055	0,75

Fuente: (MIDUVI, 2015)

3.7.5 Cortante basal de diseño V

El cortante basal total de diseño V, a nivel de cargas últimas, aplicado a una estructura en una dirección especificada, se determinará mediante las expresiones:

$$V = \frac{I * S_a(T_a)}{R * \phi_P * \phi_E} * W$$

Donde:

$S_a(T_a)$ = Espectro de diseño en aceleración

ϕ_P y ϕ_E = Coeficientes de configuración en planta y elevación

I = Coeficiente de importancia

R = Factor de reducción de resistencia sísmica

W = Carga sísmica reactiva

T_a = Período de vibración.

3.7.6 Distribución vertical de fuerzas sísmicas laterales

La distribución de fuerzas verticales descrita en la sección 6.3.5 se asemeja a una distribución lineal (triangular) que depende del periodo fundamental de vibración T_a . La fuerza lateral F_x en cualquier nivel de piso de la estructura será determinada con la siguiente ecuación:

$$F_x = \frac{w_x * h_x^k}{\sum_{t=1}^n w_t * h_t^k} * V$$

Donde:

V = Cortante total en la base de la estructura

F_x = Fuerza lateral aplicada en el piso x de la estructura

n = Número de pisos de la estructura

w_x = Peso asignado al piso o nivel x de la estructura, siendo una fracción de la carga reactiva W

h_x = Altura del piso x de la estructura

k = Coeficiente relacionado con el periodo de vibración de la estructura T

Tabla 13. Valores del coeficiente K relacionado con el periodo T

Valores de T (s)	k
$\leq 0,5$	1
$0,5 < T \leq 2,5$	$0,75 + 0,50 T$
$> 2,5$	2

Fuente: (MIDUVI, 2015)

3.7.7 Distribución horizontal de fuerzas sísmicas laterales

La distribución horizontal del corte basal en cualquier piso (V_x) se determinará mediante la siguiente ecuación:

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i$$

Donde:

F_i = La porción del corte basal (V) inducida en el nivel i.

V_x = Corte basal en el nivel x.

El corte basal (V_x) se reparte entre los distintos elementos verticales del sistema sismo resistente en función a la rigidez lateral de los elementos.

3.8 COMBINACIONES DE CARGAS

Como nos indica la NEC-SE-CG (2015) describe que la estructura, componentes y cimientos deben diseñarse de modo que su resistencia de diseño sea igual o superior a los efectos de las cargas factorizadas en las siguientes combinaciones.

Combinación 1

$$1,4D$$

Combinación 2

$$1,2D + 1,6L + 0,5 \max[Lr; S; R]$$

Combinación 3

$$1,2D + 1,6 \max[Lr; S; R] + \max[L; 0,5W]$$

Combinación 4

$$1,2D + 1,0W + L + 0,5 \max[Lr; S; R]$$

Combinación 5

$$1,2D + 1,0E + L + 0,2S$$

Combinación 6

$$0,9D + 1,0W$$

Combinación 7

$$0,9D + 1,0E$$

Donde:

D = Carga muerta

E = Carga sísmica

L = Carga viva

Lr = Carga viva de cubierta

R = Carga de lluvia

S = Carga de nieve

W = Carga de viento

3.9 CONTROL DE LA DERIVA DE PISO

Es necesario efectuar una verificación o control de las deformaciones en la estructura, lo cual se lleva a cabo mediante el cálculo de las derivas inelásticas máximas. Estas derivas se determinan a partir del desplazamiento generado por la acción de fuerzas laterales. Para su cálculo, se debe restar el movimiento del centro de masa en la parte superior y en la parte inferior del nivel de piso que se esté evaluando.

Se hará un control de deformaciones, a través del cálculo de las derivas inelásticas máximas de piso. El diseñador deberá comprobar que la estructura presentará deformaciones inelásticas controlables, mejorando substancialmente el diseño conceptual.

Para la revisión de las derivas de piso se utilizará el valor de la respuesta máxima inelástica en desplazamientos Δ_M de la estructura, causada por el sismo de diseño. El valor de la deriva máximo para cada piso de nuestra estructura se calcula con la siguiente ecuación:

$$\Delta_M = 0,75 * R * \Delta_E$$

Donde:

Δ_M = Deriva máxima inelástica.

R = Factor de reducción de resistencia.

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

En la Norma en la sección 4.2.2 muestra en la siguiente tabla, los límites permisibles de las derivas de piso, en donde como un porcentaje de la altura de piso se describe a la deriva máxima.

Tabla 14. Valores de Δ_M máximos, expresados como fracción de la altura de piso

<i>Estructuras de:</i>	<i>Δ_M máxima (sin unidad)</i>	<i>Fuente:</i>
<i>Hormigón armado, estructuras metálicas y de madera</i>	0,02	(MIDUVI, 2015)
<i>De mampostería</i>	0,01	

3.10 MOMENTOS TORSIONALES HORIZONTALES Y TORSIÓN ACCIDENTAL

De acuerdo con MIDUVI (2015), 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, más la torsión accidental.

Cuando existe irregularidad torsional (coeficiente de regularidad en planta), los efectos deben ser considerados incrementando la torsión accidental en cada nivel mediante un factor de amplificación torsional A_x , calculado con la expresión:

$$A_x = \left(\frac{\delta_{max}}{1,2 * \delta_{prom}} \right)^2$$

Donde:

A_x = Factor de amplificación torsional

δ_{prom} = Promedio de desplazamientos de los puntos extremos de la estructura en nivel x

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

3.11 EFECTOS DE SEGUNDO ORDEN P-Δ e ÍNDICE DE ESTABILIDAD Q_i

Según la Norma NEC-15, los efectos P-Δ son considerados como efectos adicionales en las direcciones principales de la estructura, provocados por acciones de segundo orden que aumentan las fuerzas internas, los momentos y las derivas en el edificio.

El índice de estabilidad Q_i , se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Q_i = \frac{P_i * \Delta_i}{V_i * h_i}$$

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

Se debe considerar que el índice de estabilidad debe ser $Q_i \leq 0,30$; si el índice de estabilidad es mayor al valor indicado, se presume que la estructura es potencialmente inestable y debe rigidizarse.

3.11.1. Factor de mayoración $f_{p-\Delta}$

Los efectos P- Δ no necesitan ser considerados cuando el índice de estabilidad $Q_i < 0,1$. Para considerar el efecto P- Δ en la dirección bajo estudio y cuando $0,1 < Q_i < 0,3$ se determina un factor de mayoración:

$$f_{p-\Delta} = \frac{1}{1 - Q_i}$$

Donde:

$f_{p-\Delta}$ = Factor de mayoración.

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

3.12 AJUSTE DEL CORTE BASAL DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS POR EL ANÁLISIS DINÁMICO

Con afirma en la norma NEC-15, el valor del cortante dinámico total en la base, obtenido por cualquier método de análisis dinámico, no debe ser:

- < 80% del cortante basal V obtenido por el método estático (estructuras regulares)
- < 85% del cortante basal V obtenido por el método estático (estructuras irregulares)

CAPITULO IV: DISEÑO DE LA VIVIENDA MEDIANTE EL SISTEMA MURO DE MAMPOSTERIA

4.1 ESPECTRO ELÁSTICO DE DISEÑO

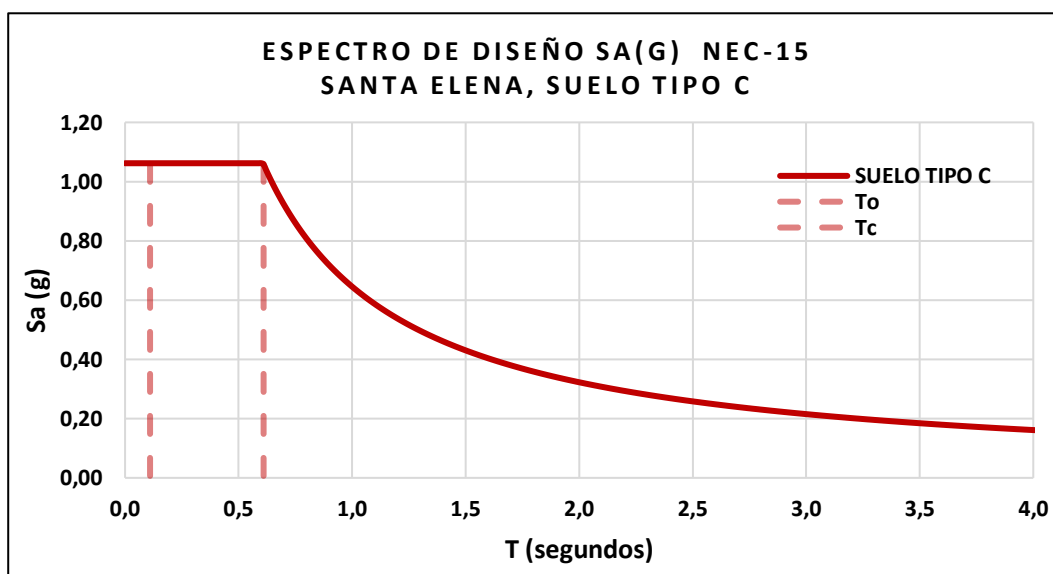
Las directrices necesarias para definir el espectro de respuesta elástico de aceleraciones horizontal S_a correspondientes para la provincia de Santa Elena con un suelo tipo C, se presentan a continuación:

Tabla 15. Parámetros correspondientes al espectro de diseño S1

PARÁMETRO	VALOR
Z	0,5
η	1,8
r	1
F_a	1,18
F_d	1,06
F_s	1,23
T_o	0,11
T_c	0,61
Zona sísmica	VI
Peligro Sísmico	Muy Alta

Autores: Yagual Laura - Hidalgo Ronny

Ilustración 15. Espectro de diseño para la provincia, con suelo tipo C S1



Autores: Yagual Laura - Hidalgo Ronny

Considerando la ecuación del periodo aproximado T , y obteniendo los coeficientes del tipo de edificación, tenemos:

Pórticos especiales de hormigón armado con muros estructurales y mampostería estructural.

$C^t = 0,055$ $\alpha = 0,75$; con una altura máxima $h_n = 5,34$.

$$T = 0,055 * 5,34^{0,75} = 0,193 \text{ seg}$$

En base a estos valores, la aceleración espectral de diseño S_a es calculada de la siguiente manera:

Cumple con $T_o \leq T \leq T_c$ porque $0,11 \leq 0,193 \leq 0,61$

$$S_a = \eta Z F_a$$

$$S_a = 1,8 * 0,5 * 1,18 = 1,062$$

4.2 CORTANTE BASAL

En el capítulo anterior detalla la metodología aplicada para calcular el cortante basal y su correspondiente distribución, basándonos en el diseño sísmico de la NEC-15 (NEC-SE-DS). A continuación, se presenta una tabla con los datos necesarios para proceder al cálculo.

Tabla 16. Cortante Basal NEC 2015 de la vivienda con muros

CORTANTE BASAL - SANTA ELENA NEC 15

I	1	R	3	h_n	5,34	C_s	0,354
ϕP	1	$T \text{ (seg)}$	0,193	$S_a \text{ (g)}$	1,062	W	32,580
ϕE	1	k	1	V_x	11,534		

Autores: Yagual Laura - Hidalgo Ronny

Los datos fueron obtenidos de la siguiente manera:

- Factor de importancia $I = 1$, por pertenecer a la categoría de otras estructuras.
- Factor de reducción $R = 3$, por ser muros estructurales portantes, específicamente mampostería reforzada, limitada a 2 pisos.
- Coeficiente de irregularidad en planta ϕP y coeficiente de regularidad en elevación ϕE , se adopta el valor de 1 debido que la edificación no aplica ningún criterio.
- Coeficiente relacionado con el periodo de vibración de la estructura $k = 1$, debido que cumple con $T \leq 0,5$.

El cálculo de la cortante basal se presenta a continuación:

$$V = \frac{1 * 1,062}{3 * 1 * 1} * 32,580 = 11,534 \text{ Ton}$$

4.3 DISTRIBUCIÓN DE FUERZAS HORIZONTALES

La siguiente tabla muestra el número de piso, el peso de cada piso y sus respectivas fuerzas horizontales F_x , a su vez se observa el cortante basal por piso que es la acumulación de las fuerzas horizontales en sentido de la cimentación al último piso.

Tabla 17. Cortante Basal por piso de la vivienda con muros

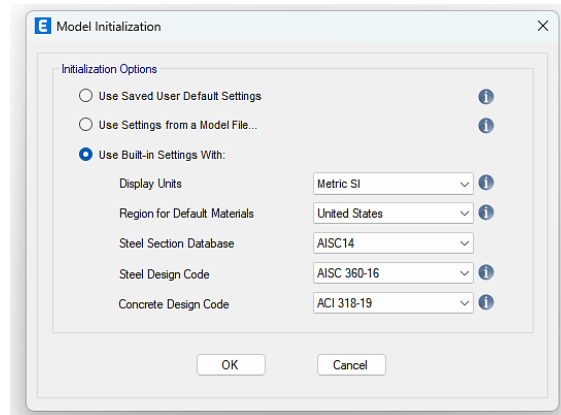
Cortante Basal V							
Piso	Altura h_x	W	$W_x h_x^k$	$C_{vx} = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i h_i^k}$	$F_x = C_{vx} V$	$V_x \text{ por piso}$	$0,3 * F_x$
	m	Ton			Ton	Ton	Ton
2	5,34	14,809	79,082	0,629	7,259	7,259	2,18
1	2,62	17,771	46,561	0,371	4,274	11,534	1,28
Total		32,580	125,643	1,000	11,534		

Autores: Yagual Laura - Hidalgo Ronny

4.4 MODELAMIENTO EN EL PROGRAMA ETABS

1. Creamos un modelo nuevo, se abrirá una ventana y elegimos la opción "Use Built-in Settings With". Luego, en la sección Display Units, seleccionamos "Metric SI"

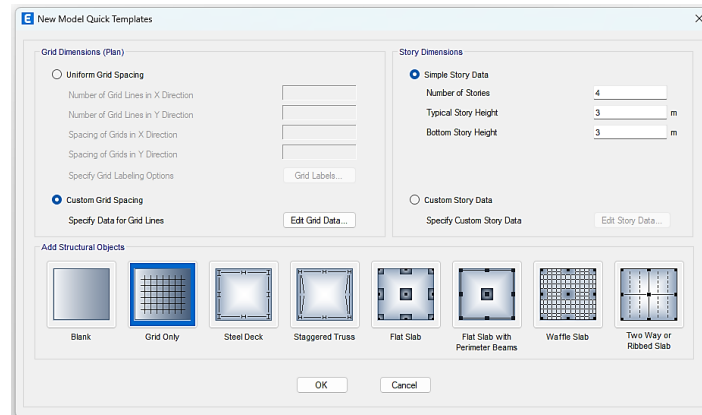
Ilustración 16. Unidades del modelado



Fuente: (Etabs,2021)

- Para ingresar los valores de las dimensiones, elegimos la opción “Custom Grid Spacing” y hacemos clic en “Edit Grid Data”.

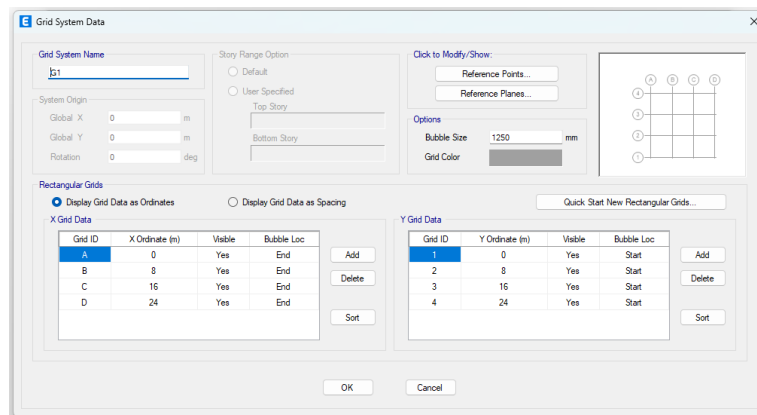
Ilustración 17. Dimensiones del modelado



Fuente: (Etabs,2021)

- Aparecerá una ventana donde modificamos los espacios tanto en la dirección X como en la dirección Y, y luego presionamos OK.

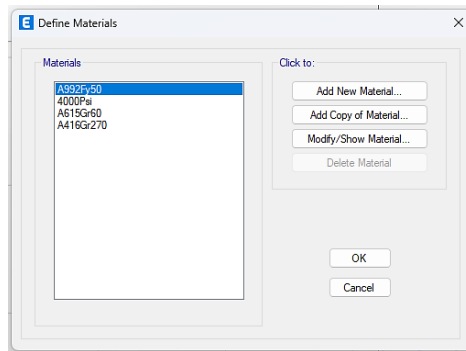
Ilustración 18. Espaciamiento interno del modelado



Fuente: (Etabs,2021)

- Agregamos los materiales a utilizar; como el hormigón, los mampuestos estructurales y el acero de refuerzo tanto en el muro como en la losa. Para ello, se debe dar clic en “Define” que está en la barra principal y luego se elige “Material Properties”, se abrirá la siguiente ventana y selecciona “Add New Material”.

Ilustración 19. Definir materiales



Fuente: (Etabs,2021)

- Se agregan los materiales y sus propiedades cambiando “Material Name”, “Material Display Color”, “Weight per Unit Volume”, “Modulus of Elasticity” respectivamente y se selecciona la pestaña OK.

DATOS:

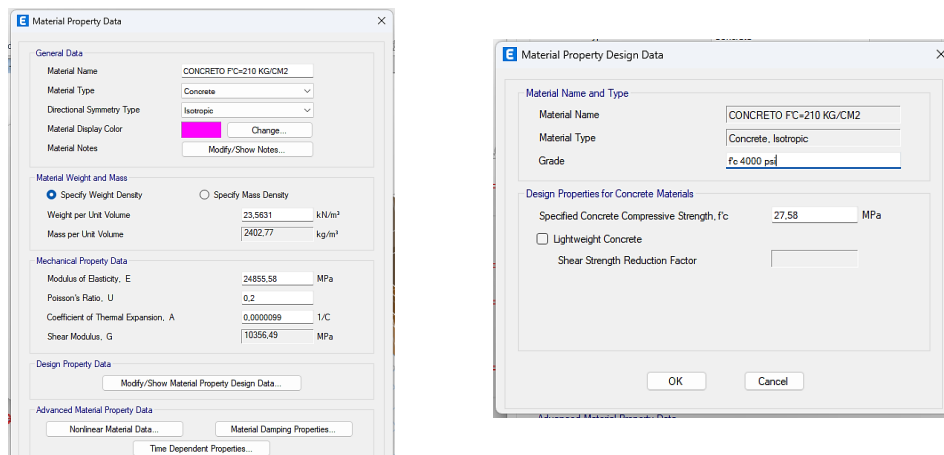
✓ Hormigón

Peso específico = 2 400 kg/m³

Resistencia a los 28 días = 210 kg/m³

Módulo de elasticidad = 219 499 kg/cm²

Ilustración 20. Propiedades del material (Hormigón)



Fuente: (Etabs,2021)

✓ Mampostería estructural

Peso específico = 2 200 kg/m³

Resistencia = 12 MPa

Módulo de elasticidad = 90 000 kg/cm²

Ilustración 21. Propiedades del material (Mampostería)

Material Property Data

General Data

Material Name: MAMPOSTERIA FM=12 MPa
 Material Type: Masonry
 Directional Symmetry Type: Isotropic
 Material Display Color: [Color Selection]
 Material Notes: [Text Area]

Material Weight and Mass

☒ Specify Weight Density ☐ Specify Mass Density
 Weight per Unit Volume: 22 kN/m³
 Mass per Unit Volume: 2243.376 kg/m³

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: 8826 MPa
 Poisson's Ratio, ν : 0.2
 Coefficient of Thermal Expansion, α : 0.0000081 1/°C
 Shear Modulus, G: 3677.5 MPa

Design Property Data

Modify/Show Material Property Design Data...

Advanced Material Property Data

Nonlinear Material Data... Material Damping Properties...
 Time Dependent Properties...

OK Cancel

Material Property Design Data

Material Name and Type

Material Name: MAMPOSTERIA FM=12 MPa
 Material Type: Masonry, Isotropic
 Grade: 12000 psi

Design Properties for Concrete Materials

Specified Compressive Strength, f'_m : 12 MPa

OK Cancel

Fuente: (Etabs,2021)

✓ Acero de refuerzo para muro

Peso específico = 7 850 kg/m³

Límite de fluencia F_y = 4 200 kg/cm²

Módulo de elasticidad, E_s = 2 100 000 kg/cm²

Ilustración 22. Propiedades del material (Acero para muro)

Material Property Data

General Data

Material Name: ACERO DE REFUERZO MUROS
 Material Type: Rebar
 Directional Symmetry Type: Uniaxial
 Material Display Color: [Color Selection]
 Material Notes: [Text Area]

Material Weight and Mass

☒ Specify Weight Density ☐ Specify Mass Density
 Weight per Unit Volume: 78.5 kN/m³
 Mass per Unit Volume: 8004.772 kg/m³

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: 20593965 MPa
 Coefficient of Thermal Expansion, α : 0.0000117 1/°C

Design Property Data

Modify/Show Material Property Design Data...

Advanced Material Property Data

Nonlinear Material Data... Material Damping Properties...
 Time Dependent Properties...

OK Cancel

Material Property Design Data

Material Name and Type

Material Name: ACERO DE REFUERZO MUROS
 Material Type: Rebar, Uniaxial
 Grade: Grade 60

Design Properties for Rebar Materials

Minimum Yield Strength, F_y : 411.88 MPa
 Minimum Tensile Strength, F_u : 617.82 MPa
 Expected Yield Strength, F_{ye} : 455.05 MPa
 Expected Tensile Strength, F_{ue} : 682.58 MPa

OK Cancel

Fuente: (Etabs,2021)

✓ Acero de refuerzo para losa

Peso específico = 7 850 kg/m³

Límite de fluencia F_y = 5 000 kg/cm²

Módulo de elasticidad, E_s = 2 038 901 kg/cm²

Ilustración 23. Propiedades del material (Acero para losa)

The left dialog box, 'Material Property Data', contains the following fields:

- General Data:** Material Name (ACERO DE REFUERZO LOSA), Material Type (Rebar), Directional Symmetry Type (Uniaxial), Material Display Color (Yellow), Material Notes (Modify/Show Notes...).
- Material Weight and Mass:** Specify Weight Density (selected), Weight per Unit Volume (78.5 kN/m³), Mass per Unit Volume (8004.772 kg/m³).
- Mechanical Property Data:** Modulus of Elasticity, E (199847.88 MPa), Coefficient of Thermal Expansion, A (0.0000117 1/C).
- Design Property Data:** Modify/Show Material Property Design Data...
- Advanced Material Property Data:** Nonlinear Material Data..., Material Damping Properties..., Time Dependent Properties...

The right dialog box, 'Material Property Design Data', contains the following fields:

- Material Name and Type:** Material Name (ACERO DE REFUERZO LOSA), Material Type (Rebar, Uniaxial), Grade (Grade 60).
- Design Properties for Rebar Materials:** Minimum Yield Strength, Fy (490.33 MPa), Minimum Tensile Strength, Fu (689.4 MPa), Expected Yield Strength, Fye (455.05 MPa), Expected Tensile Strength, Fue (682.58 MPa).

Fuente: (Etabs,2021)

- Para agregar las dimensiones del muro de mampostería, primero se debe seleccionar la opción “Define” en la barra superior. Luego, hay que ir a “Section Properties” y posteriormente a “Wall Sections”. Seleccionar la primera opción “Add New Property”. Agregamos el tipo de propiedad correspondiente y en “Property Data” colocamos 125 mm de grosor y seleccionamos OK.

Ilustración 24. Creación de muros de mampostería

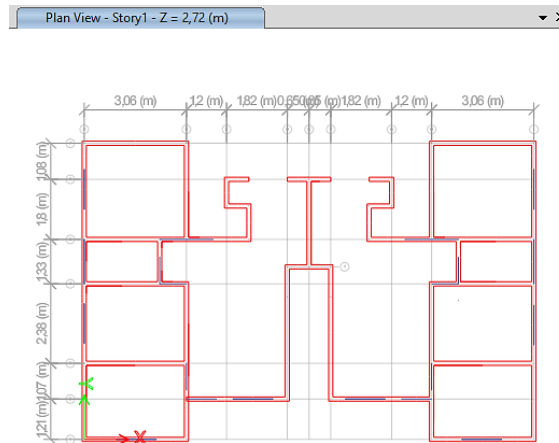
The 'Wall Property Data' dialog box contains the following fields:

- General Data:** Property Name (MURO DE MAMPOSTERIA 12.5CM), Property Type (Specified), Wall Material (MAMPOSTERIA F'M=12 MPA), Notional Size Data (Modify/Show Notional Size...), Modeling Type (Shell-Thin), Modifiers (Currently Default) (Modify/Show...), Display Color (Orange), Property Notes (Modify/Show...).
- Property Data:** Thickness (125 mm), Include Automatic Rigid Zone Area Over Wall (checkbox).

Fuente: (Etabs,2021)

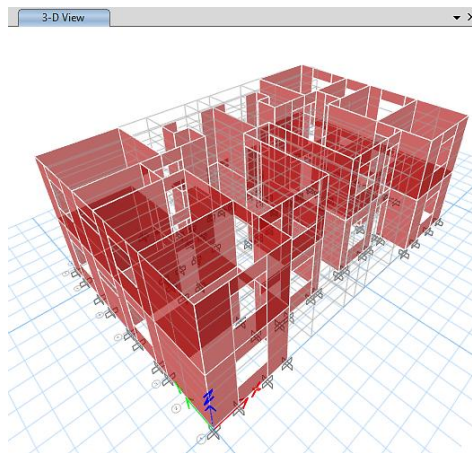
- La estructura queda de la siguiente manera luego de dibujar los muros de mampuestos.

Ilustración 25. Dibujo de muros vista en planta



Fuente: (Etabs,2021)

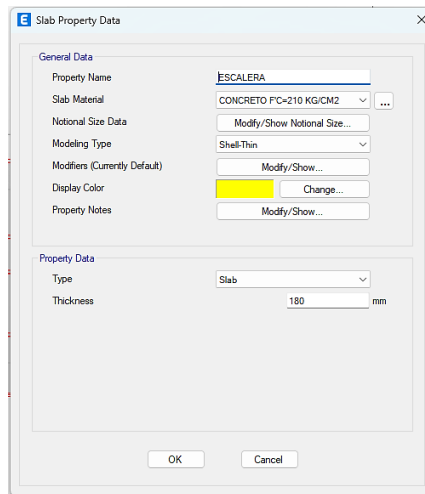
Ilustración 26. Dibujo de muros en vista 3D



Fuente: (Etabs,2021)

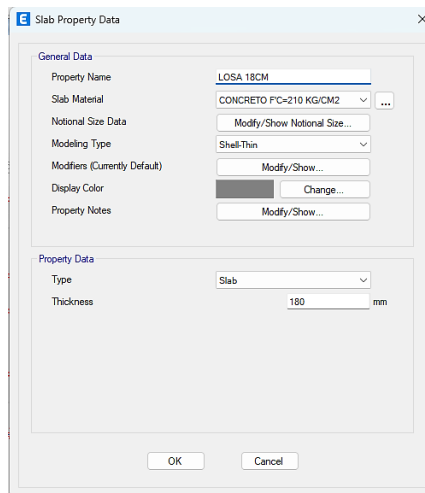
8. Para agregar las dimensiones de la escalera, losa de entrepiso y losa de cubierta, se debe seleccionar la opción “Define” en la barra superior. Luego, hay que ir a “Section Properties” y posteriormente a “Slab Sections”. Seleccionar la primera opción “Add New Property”. Agregamos el tipo de propiedad correspondiente y en “Property Data” colocamos 180 mm de grosor y seleccionamos OK.

Ilustración 27. Creación de la escalera



Fuente: (Etabs,2021)

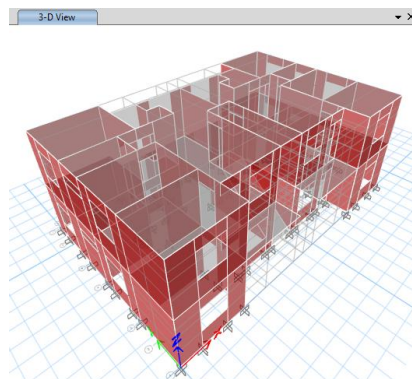
Ilustración 28. Creación de la losa



Fuente: (Etabs,2021)

9. La estructura queda de la siguiente manera luego de dibujar las secciones de las escaleras y losas.

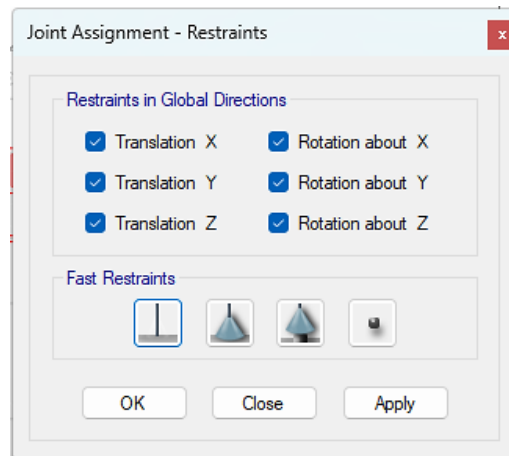
Ilustración 29. Dibujo de escalera y losas en vista 3D



Fuente: (Etabs,2021)

10. Para fijar la estructura en la base, se debe ir a la barra superior y seleccionar “Assign”, luego elegir “Joint” y después “Restraints”. Al abrirse la ventana correspondiente, se marca el primer recuadro para empotrar la estructura y, finalmente, se hace clic en OK.

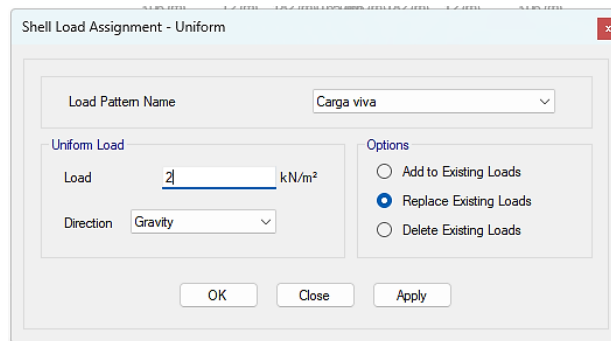
Ilustración 30. Empotramiento en la estructura



Fuente: (Etabs,2021)

11. Se asignan la carga muerta y la carga viva a la escalera y losas dirigiéndose a la barra superior y eligiendo “Assign”, luego “Shell Loads” y posteriormente “Uniform”. Esto abrirá una nueva ventana.

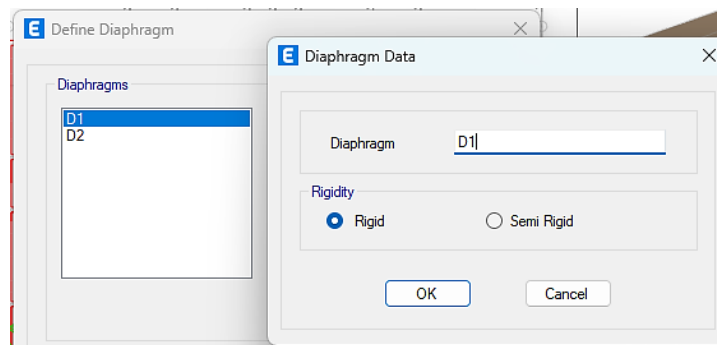
Ilustración 31. Asignación de cargas



Fuente: (Etabs,2021)

12. Para designar diafragmas a las losas, debemos ir a la barra superior y eligiendo “Define”, luego “Diaphragms” y después “Add New Diaphragms”. En este apartado se debe crear los diafragmas según el número de losas presentes en el modelado y elegimos la rigidez acorde al análisis.

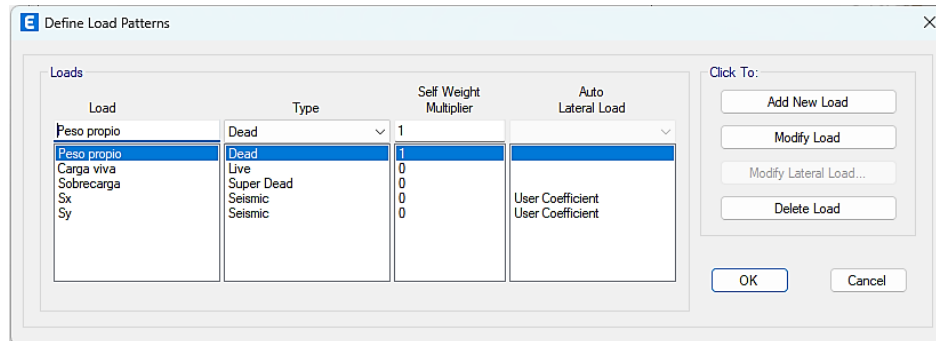
Ilustración 32. Asignación de diafragmas



Fuente: (Etabs,2021)

13. En la barra principal se busca “Define”, luego se selecciona “Load Pattern” y agregar las cargas gravitacionales y sísmicas.

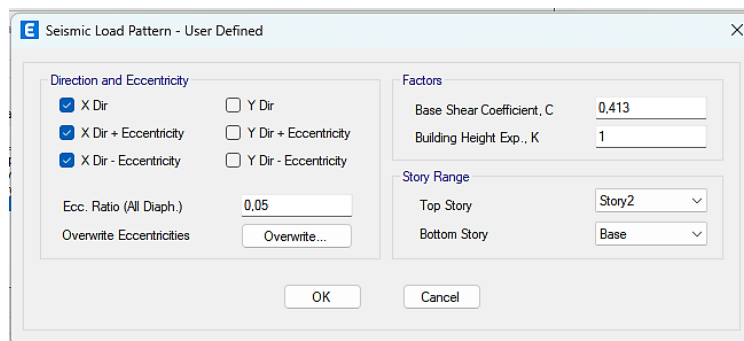
Ilustración 33. Definición de cargas



Fuente: (Etabs,2021)

14. Dentro de las cargas sísmicas, vamos al apartado de “User Coefficient”, inmediatamente va presentar una ventana donde debemos colocar las direcciones de la excentricidad, y también los coeficientes C y K del espectro realizado por medio de la NEC 2015 tanto para la dirección X y Y.

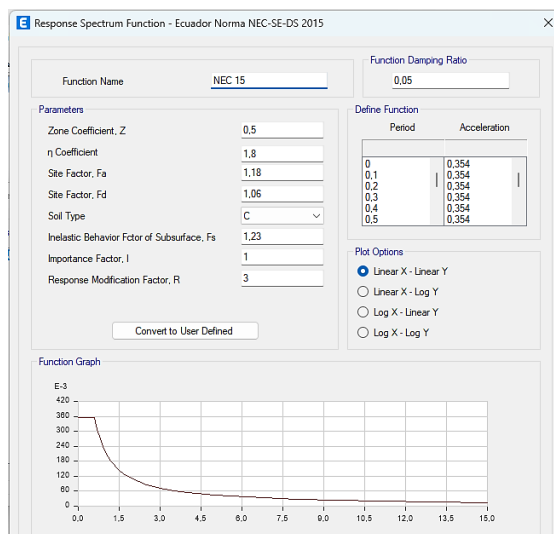
Ilustración 34. Coeficientes en cargas sísmicas



Fuente: (Etabs,2021)

15. Para incorporar el espectro de diseño, dirígete a la barra principal y selecciona “Define”, luego “Functions” y después “Response Spectrum”. A continuación, elige la opción “Ecuador Norma NEC-SE-DS 2015” y posterior a “Add New Function”. Se abrirá una ventana donde debemos colocar los datos utilizados en el espectro de diseño.

Ilustración 35. Asignación de espectro de diseño



Fuente: (Etabs,2021)

16. En la barra principal se busca “Define”, luego se selecciona “Load Cases” y nuevamente agregamos las cargas gravitacionales y sísmicas según corresponda. Cabe mencionar que en las cargas sísmicas.

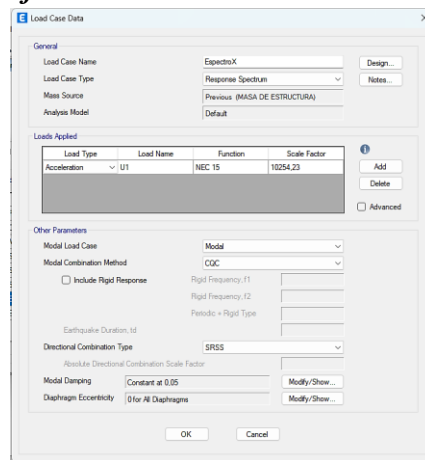
Ilustración 36. Casos de cargas

Load Case Name	Load Case Type
Peso propio	Linear Static
Carga viva	Linear Static
Modal	Modal - Eigen
Sobrecarga	Linear Static
Sx	Linear Static
Sy	Linear Static
EspectroX	Response Spectrum
EspectroY	Response Spectrum

Fuente: (Etabs,2021)

17. Al caso de carga sísmica le asigna el espectro, dirigiéndose a “Response Spectrum” y en “Modify/Show Case”. En la siguiente ventana se debe agregar un “Load Type” llamada “Acceleration” en sentido “U1”, además en “Function” se selecciona el espectro asignado anteriormente “NEC-15” y damos OK.

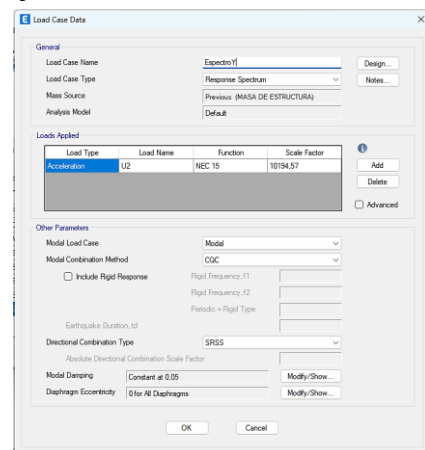
Ilustración 37. Factores para la fuerza sísmica en sentido X



Fuente: (Etabs,2021)

18. Se realiza el mismo procedimiento para la dirección Y, cambiando en el sentido a U2.

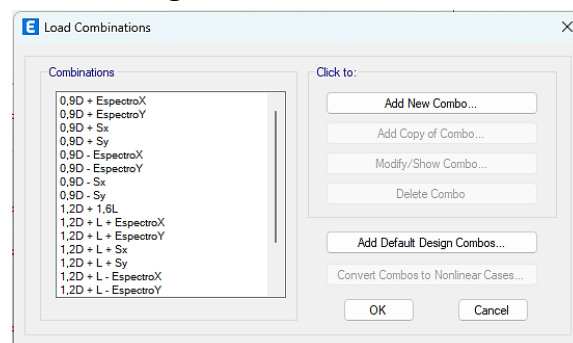
Ilustración 38. Factores para la fuerza sísmica en sentido Y



Fuente: (Etabs,2021)

19. Para agregar las combinaciones de cargas, debemos ir a la barra superior y eligiendo “Define”, luego “Load Combinations” y después “Add New Combo”. En este apartado se debe crear todas las combinaciones de cargas que son consideradas en la NEC 2015.

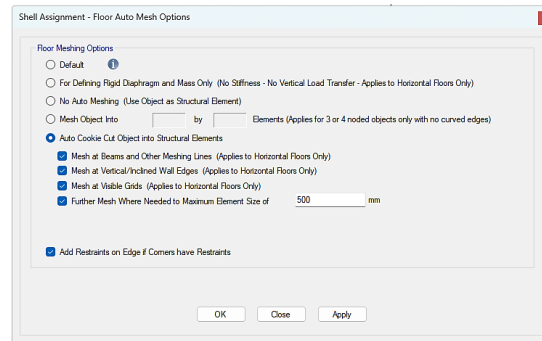
Ilustración 39. Combinaciones de cargas



Fuente: (Etabs,2021)

20. Para incorporar el mallado automático en el piso para que distribuyan mejor la carga, ya que mejor distribución obtenemos un análisis más preciso, para eso hay que ir a la barra principal seleccionar “Assign”, luego “Shell” y después “Floor Auto Mesh Options”. A continuación, en la ventana que aparece elige la opción “Auto Cookie Cut Object into Structural Elements” y posterior en la última viñeta asignamos el mallado recomendable de 500mm. Antes de dar en “Apply”, hay que seleccionar todo el modelado.

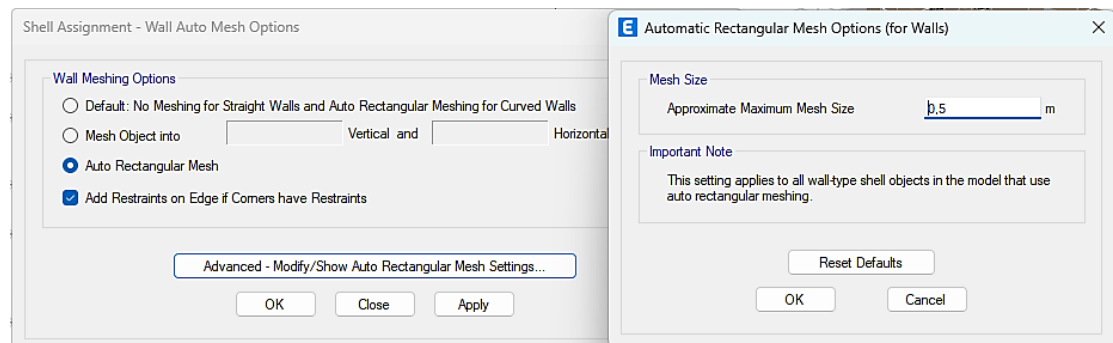
Ilustración 40. Mallado automático en el piso



Fuente: (Etabs,2021)

21. Por su parte, para el mallado automático en el muro de mampostería debemos seleccionar “Assign”, luego “Shell” y después “Wall Auto Mesh Options”. A continuación, en la ventana que aparece elige la opción “Auto Regular Mesh” y por último, vamos a “Modify Show Auto Regular Mesh” donde asignamos el mallado recomendable de 500mm. Nuevamente debemos seleccionar todo el modelado antes de dar en “Apply”.

Ilustración 41. Mallado automático en paredes

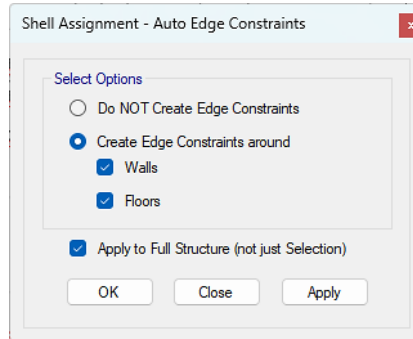


Fuente: (Etabs,2021)

22. De igual manera, debemos asignar las restricciones de bordes automáticas para la estructura. Para ello hay que dirigirse a la barra superior y eligiendo “Assign”, luego “Shell” y posteriormente “Auto Edge Constraints”. Esto abrirá una nueva ventana donde elegimos la

opción “Create Edge Constraints around Walls and Floors”. Nuevamente debemos seleccionar todo el modelado antes de dar en “Apply”.

Ilustración 42. Restricciones de bordes automáticas

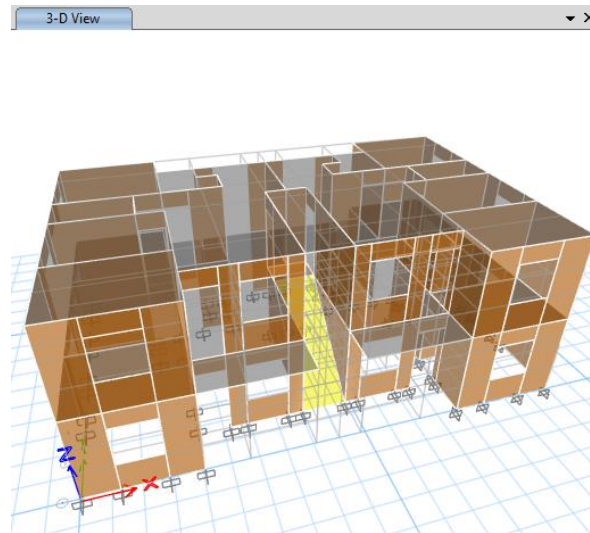


Fuente: (Etabs,2021)

4.5 MODELAMIENTO DE LA ESTRUCTURA

Luego de seguir el paso a paso en el programa Etabs, conseguimos el siguiente modelado de la vivienda multifamiliar de dos plantas empleando mampostería estructural.

Ilustración 43. Modelado final de la vivienda con muros en vista 3D



Fuente: (Etabs,2021)

4.6 CORRECCIÓN DEL CORTANTE BASAL ESTÁTICO

El cortante basal obtenido en el programa es el siguiente:

Tabla 18. Cortante Basal obtenido del programa de la vivienda con muros

<i>Name</i>	<i>Ecc Ratio</i>	<i>Top Story</i>	<i>Bottom Story</i>	<i>C</i>	<i>K</i>	<i>Weight Used kN</i>	<i>Base Shear kN</i>
<i>Sx</i>	0,05	Story2	Base	0,354	1		
<i>Sx(1/3)</i>	0,05	Story2	Base	0,354	1	2188,0708	774,5771
<i>Sx(2/3)</i>	0,05	Story2	Base	0,354	1	2188,0708	774,5771
<i>Sx(3/3)</i>	0,05	Story2	Base	0,354	1	2188,0708	774,5771
<i>Sy</i>	0,05	Story2	Base	0,354	1		
<i>Sy(1/3)</i>	0,05	Story2	Base	0,354	1	2188,0708	774,5771
<i>Sy(2/3)</i>	0,05	Story2	Base	0,354	1	2188,0708	774,5771
<i>Sy(3/3)</i>	0,05	Story2	Base	0,354	1	2188,0708	774,5771

Fuente: (Etabs,2021)

Para corregir el cortante basal estático debemos calcular un nuevo coeficiente C. Lo primero que es hallar el peso real de la estructura, misma que se obtiene de la tabla de las reacciones, considerando el peso propio y la sobrecarga muerta.

Tabla 19. Peso real de la estructura de la vivienda con muros

<i>Output Case</i>	<i>Case Type</i>	<i>FZ kN</i>
<i>Peso propio</i>	LinStatic	2156,8303
<i>Sobrecarga</i>	LinStatic	396,3445
<i>Total</i>		2553,1748

Fuente: (Etabs,2021)

A continuación, usamos el dato del peso estipulado por el programa para así evaluar el valor de C.

Peso real = 2553,17 kN

Peso Etabs = 2188,07 kN

$$\text{Factor de correccion} = \frac{PR}{PE} = \frac{2553,17}{2188,07} = 1,166$$

Coeficiente cortante = 0,354

$$\text{Coeficiente cortante corregido} = 1,166 * 0,354 = 0,413$$

$$\text{Cortante basal real} = 2553,17 * 0,354 = 903,8239 \text{ kN}$$

Este nuevo coeficiente del cortante debe ser incorporado en el paso 14 explicado anteriormente, seguido a ello corremos el programa nuevamente y visualizamos el cortante basal corregido.

Tabla 20. Cortante basal corregido de la vivienda con muros

<i>Name</i>	<i>Ecc Ratio</i>	<i>Top Story</i>	<i>Bottom Story</i>	<i>C</i>	<i>K</i>	<i>Weight Used kN</i>	<i>Base Shear kN</i>
<i>Sx</i>	0,05	Story2	Base	0,413	1		
<i>Sx(1/3)</i>	0,05	Story2	Base	0,413	1	2188,0708	903,6733
<i>Sx(2/3)</i>	0,05	Story2	Base	0,413	1	2188,0708	903,6733
<i>Sx(3/3)</i>	0,05	Story2	Base	0,413	1	2188,0708	903,6733
<i>Sy</i>	0,05	Story2	Base	0,413	1		
<i>Sy(1/3)</i>	0,05	Story2	Base	0,413	1	2188,0708	903,6733
<i>Sy(2/3)</i>	0,05	Story2	Base	0,413	1	2188,0708	903,6733
<i>Sy(3/3)</i>	0,05	Story2	Base	0,413	1	2188,0708	903,6733

Fuente: (Etabs,2021)

Notamos que los cálculos realizados fueron exitosos debido que el cortante basal real evaluado es similar al que me refleja el programa.

4.7 COMPARACIÓN DEL CORTANTE BASAL ESTÁTICO Y DINÁMICO

La norma ecuatoriana establece que, en estructuras regulares, como la analizada en este caso, el cortante basal dinámico total obtenido mediante cualquier método de análisis dinámico no debe ser inferior al 80% del cortante basal calculado con el método estático. Para examinar dicho requisito se debe relacionar la resultante de las fuerzas tanto en el sentido X como en el sentido Y con el cortante basal que me indica el programa.

Tabla 21. Resultantes de las fuerzas sísmicas de la vivienda con muros

	<i>Fx</i>	<i>Fy</i>	<i>R</i>
<i>ESPECTRO X</i>	691,3822	2,6293	691,387
<i>ESPECTRO Y</i>	2,6293	695,4285	695,433

Autores: Yagual Laura - Hidalgo Ronny

En el sentido X se obtiene el siguiente resultado:

$$FR = 691,387 \text{ kN}$$

$$Cortante \text{ corregido} = 903,6733 \text{ kN}$$

$$Relacion = \frac{FR}{Cc} = \frac{691,387}{903,6733} = 0,765 \approx 77\%$$

En el sentido Y se obtiene el siguiente resultado:

$$FR = 695,433 \text{ kN}$$

$$Cortante \text{ corregido} = 903,6733 \text{ kN}$$

$$Relacion = \frac{FR}{Cc} = \frac{695,433}{903,6733} = 0,769 \approx 77\%$$

En ambos casos la relación dio como resultado 77%, mismo que es menor al 80% que es considerado permisible. Con ello, se comprueba que no se cumple la condición en ambas direcciones mencionadas anteriormente. Es necesario efectuar la corrección correspondiente, obteniendo un factor que luego se multiplicará por la gravedad, cuyo valor es 9,8067 y por la corrección esperada de 0,8.

En el sentido X se consigue:

$$Factor \text{ de correccion} = \frac{Cc}{FR} = \frac{903,6733}{691,387} = 1,31$$

$$Factor \text{ Etabs} = 1,31 * 0,8 * 9,8067 = 10,2542$$

En el sentido Y se consigue:

$$Factor \text{ de correccion} = \frac{Cc}{FR} = \frac{903,6733}{695,433} = 1,30$$

$$Factor \text{ Etabs} = 1,30 * 0,8 * 9,8067 = 10,1946$$

Este nuevo factor de corrección debe ser incorporado en el paso 17-18 explicado anteriormente, en específico en la opción “Scale Factor”. Posterior a ello, corremos el programa nuevamente y visualizamos si la relación cumple con lo establecido.

Tabla 22. Resultantes de las fuerzas sísmicas corregidas de la vivienda con muros

	<i>F_x</i>	<i>F_y</i>	<i>R</i>
ESPECTRO X	722,197	2,7465	722,202
ESPECTRO Y	2,7305	722,197	722,202

Autores: Yagual Laura - Hidalgo Ronny

En el sentido X se obtiene el siguiente resultado:

$$FR = 722,202 \text{ kN}$$

$$\text{Cortante corregido} = 903,6733 \text{ kN}$$

$$\text{Relacion} = \frac{FR}{Cc} = \frac{722,202}{903,6733} = 0,799 \approx 80\%$$

En el sentido Y se obtiene el siguiente resultado:

$$FR = 722,202 \text{ kN}$$

$$\text{Cortante corregido} = 903,6733 \text{ kN}$$

$$\text{Relacion} = \frac{FR}{Cc} = \frac{722,202}{903,6733} = 0,799 \approx 80\%$$

Verificamos que los cálculos realizados fueron exitosos debido que la relación corregida nos da resultados del 80%, misma que es permitida según la normativa.

4.8 MODOS DE VIBRACIÓN DE LA ESTRUCTURA

Después de las correcciones de las cortantes basales estática y dinámica, se examina siguiente tabla que proporciona el programa, la cual muestra los periodos y la participación modal.

Tabla 23. Participación modal de masa de la vivienda con muros

<i>Case</i>	<i>Mode</i>	<i>Period</i> <i>sec</i>	<i>UX</i>	<i>UY</i>	<i>SumUX</i>	<i>SumUY</i>	<i>RZ</i>	<i>SumRZ</i>
Modal	1	0,06	0,8832	7,12E-06	0,8832	7,12E-06	0,0002	0,0002
Modal	2	0,049	8,61E-06	0,8888	0,8832	0,8888	0,0003	0,0005
Modal	3	0,045	0,0001	0,0003	0,8833	0,8891	0,926	0,9266

Modal	4	0,022	0,1154	3,20E-06	0,9987	0,8891	0,0002	0,9267
Modal	5	0,019	4,61E-06	0,1108	0,9987	1	0,0001	0,9268
Modal	6	0,018	0,0013	3,33E-05	1	1	0,0732	1

Fuente: (Etabs,2021)

Cabe mencionar que deben examinar 3 modos de vibración por cada piso en la estructura. Por lo tanto, tendremos 6 modos de vibración en total. Donde se aprecia que el primer modo presenta una traslación predominante en la dirección UX, con una participación modal del 88,32%, y poca torsión RZ = 0,02%. En el segundo modo se evidencia una traslación en la dirección UY, con 88,88%, de igual manera poca influencia torsional RZ = 0,05%. Por su parte, en el tercer modo refleja movimiento torsional dominante, con una participación del 92,60%, y con una baja contribución de traslación en UX y UY menor al 0,01%.

Este comportamiento es el esperado en estructuras simétricas y regulares de baja altura, donde los modos 1 y 2 corresponden a traslación y el modo 3 a torsión. Además, es evidente que la suma de las participaciones modales alcanza el 100% de la masa en las tres direcciones principales esto indica que el software considera toda la edificación, cumpliendo con los requisitos establecidos en la NEC-SE-DS. Estos resultados reflejan que el comportamiento modal es apropiado y no es necesario realizar ajustes en la rigidez estructural ni en la distribución de masas.

4.9 DERIVAS DE PISO

Como indica la Normativa Ecuatoriana de la Construcción, la deriva inelástica máxima permitida debe ser al 1% como máximo para mampostería e igual o menor al 2% para elementos estructurales. Por consiguiente, en las siguientes tablas representa las derivas inelásticas máximas por piso en cada dirección de la estructura para verificar que se cumpla dicha condición.

Tabla 24. Derivas inelásticas en dirección X de la vivienda con muros

PISO	UX	UY	ALTURA	U	DERIVA ELÁSTICA	DERIVA ADIMENSIONAL	PROMEDIO	DERIVA INELÁSTICA	DERIVA ADMISIBLE
	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm/mm</i>	<i>mm/mm</i>	<i>%</i>	<i>< 1%</i>
2	0,421	0,01	2720	0,421	0,219	0,00008	0,00007	0,015%	CUMPLE
2	0,004	0,279	2720	0,279	0,141	0,00005			
1	0,202	0,008	2620	0,202	0,202	0,00008	0,00006	0,015%	CUMPLE
1	0,002	0,138	2620	0,138	0,138	0,00005			

Autores: Yagual Laura - Hidalgo Ronny

Tabla 25. Derivas inelásticas en dirección Y de la vivienda con muros

PISO	UX	UY	ALTURA	U	DERIVA ELÁSTICA	DERIVA ADIMENSIONAL	PROMEDIO	DERIVA INELÁSTICA	DERIVA ADMISIBLE
	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm/mm</i>	<i>mm/mm</i>	<i>%</i>	<i>< 1%</i>
2	0,430	0,010	2720	0,430	0,218	0,00008	0,00007	0,015%	CUMPLE
2	0,003	0,279	2720	0,279	0,141	0,00005			
1	0,212	0,008	2620	0,212	0,212	0,00008	0,00007	0,015%	CUMPLE
1	0,002	0,138	2620	0,138	0,138	0,00005			

Autores: Yagual Laura - Hidalgo Ronny

Como se muestra en las tablas, hay valores bajos de derivas lo que demuestra una excelente rigidez y por ende un buen comportamiento ante un sismo. El cumplimiento de este requisito confirma que no se existen distorsiones excesivas entre pisos.

4.10 IRREGULARIDAD TORSIONAL

En las siguientes tablas se muestra la verificación de irregularidad torsional en relación a las derivas máximas.

Tabla 26. Irregularidad torsional en dirección X de la vivienda con muros

PISO	UX	UY	ALTURA	U	DERIVA ELÁSTICA	DERIVA ADIMENSIONAL	PROMEDIO	TORSIÓN EXCESIVA	TORSIÓN ADMISIBLE
	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm/mm</i>	<i>mm/mm</i>	<i>mm/mm</i>	<i>< 1,2</i>
2	0,421	0,01	2720	0,421	0,219	0,000081	0,000066	1,195	CUMPLE
2	0,004	0,279	2720	0,279	0,141	0,000052			
1	0,202	0,008	2620	0,202	0,202	0,000077	0,000065	1,189	CUMPLE
1	0,002	0,138	2620	0,138	0,138	0,000053			

Autores: Yagual Laura - Hidalgo Ronny

Tabla 27. Irregularidad torsional en dirección Y de la vivienda con muros

PISO	UX	UY	ALTURA	U	DERIVA ELASTICA	DERIVA ADIMENSIONAL	PROMEDIO	TORSION EXCESIVA	TORSION ADMISIBLE
	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm/mm</i>	<i>mm/mm</i>	<i>mm/mm</i>	<i>< 1,2</i>
2	0,430	0,010	2720	0,430	0,218	0,000080	0,000066	1,197	CUMPLE
2	0,003	0,279	2720	0,279	0,141	0,000052			
1	0,212	0,008	2620	0,212	0,212	0,000081	0,000067	1,194	CUMPLE
1	0,002	0,138	2620	0,138	0,138	0,000053			

Autores: Yagual Laura - Hidalgo Ronny

Las tablas revelan que en ambas direcciones no existe irregularidad torsional, además que no debe ser penalizada por Ax. Todos los parámetros evaluados están dentro de los límites establecidos, constatando que la estructura se comporta de manera segura.

4.11 ÍNDICE DE ESTABILIDAD Qi

La norma indica que el índice de estabilidad Qi no debe exceder el 30%, debido que superar este límite implica que la vivienda podría ser considerado potencialmente inestable, lo que

conllevaría aumentar su rigidez. Las siguientes tablas detallan el análisis del índice de estabilidad para todos los pisos.

Tabla 28. Índice de estabilidad en dirección X de la vivienda con muros

PISO	ALTURA <i>mm</i>	U <i>mm</i>	ΔE <i>mm</i>	$\Delta E/h$ <i>mm/mm</i>	V <i>kN</i>	w <i>kN</i>	Qi <i>%</i>	ESTABILIDAD ADMISIBLE $\leq 30\%$
2	2720	0,430	0,218	0,0000801	373,610	1506,983	0,032%	CUMPLE
1	2620	0,212	0,212	0,0000810	530,060	3426,509	0,052%	CUMPLE

Autores: Yagual Laura - Hidalgo Ronny

Tabla 29. Índice de estabilidad en dirección Y de la vivienda con muros

PISO	ALTURA <i>Mm</i>	U <i>mm</i>	ΔE <i>mm</i>	$\Delta E/h$ <i>mm/mm</i>	V <i>kN</i>	w <i>kN</i>	Qi <i>%</i>	ESTABILIDAD ADMISIBLE $\leq 30\%$
2	2720	0,421	0,219	0,0000805	373,610	1506,983	0,032%	CUMPLE
1	2620	0,202	0,202	0,0000772	530,060	3426,509	0,050%	CUMPLE

Autores: Yagual Laura - Hidalgo Ronny

La estructura presenta un desempeño factible en términos de estabilidad. No se requieren consideraciones adicionales por efectos de segundo orden (P-Delta), lo cual refuerza la confiabilidad del sistema estructural frente a sismos.

4.12 VERIFICACIONES DEL MURO SEGÚN NEC/ACI

Para realizar las verificaciones vamos a usar el muro nombrado como piers P1, misma que el programa refleja lo siguientes valores.

Ilustración 44. Datos del muro P1 para verificaciones de diseño

ETABS CMU Wall Design

ACI 530-11 Masonry CMU Wall Design

Wall Details

Story ID	Pier ID	Centroid X (mm)	Centroid Y (mm)	Length (mm)	Thickness (mm)	LLRF
Story1	P1	0	1140	2280	125	1

Material Properties

E_m (MPa)	f'_m (MPa)	Lt.Wt Factor (Unitless)	f_y (MPa)	f_{ys} (MPa)
8826	12	1	411,88	411,88

Design Code Parameters

ϕ_b	ϕ_v	IP_{MAX}	IP_{MIN}	P_{MAX}
0,9	0,75	0,04	0,0025	0,8

Pier Leg Location, Length and Thickness

Station Location	ID	Left X ₁ mm	Left Y ₁ mm	Right X ₂ mm	Right Y ₂ mm	Length mm	Thickness mm
Top	Leg 1	0	0	0	2280	2280	125
Bottom	Leg 1	0	0	0	2280	2280	125

Flexural Design for P_u , M_{u2} and M_{u3}

Station Location	Required Rebar Area (mm²)	Required Reinf Ratio	Current Reinf Ratio	Flexural Combo	P_u kN	M_{u2} kN-m	M_{u3} kN-m	Pier A_g mm²
Top	713	0,0025	0,002	DWalS14	49,6092	-0,2462	-3,3885	285000
Bottom	713	0,0025	0,002	DWalS14	83,0727	0,0704	-25,6341	285000

Shear Design

Station Location	ID	Rebar mm²/m	Shear Combo	P_u kN	M_u kN-m	V_u kN	ϕV_c kN	ϕV_n kN
Top	Leg 1	87,5	DWalS5	40,7331	-2,4355	49,704	251,2578	282,0715
Bottom	Leg 1	87,5	DWalS6	131,4504	-36,6442	-51,3616	236,9109	267,7247

Boundary Element Check

Station Location	ID	Edge Length (mm)	Governing Combo	P_u kN	M_u kN-m	Stress Comp MPa	Stress Limit MPa	C Depth mm	C Limit mm
Top-Left	Leg 1	0	DWalS11	97,0325	-2,5092	0,36	2,4	Not Required	Not Required
Top-Right	Leg 1	0	DWalS4	105,8971	1,4601	0,39	2,4	Not Required	Not Required
Bottom-Left	Leg 1	0	DWalS4	188,7724	-5,3492	0,71	2,4	Not Required	Not Required
Bottom-Right	Leg 1	0	DWalS8	148,9697	0,2646	0,53	2,4	Not Required	Not Required

Fuente: (Etabs,2021)

4.12.1 Espesor mínimo

La norma indica que el mínimo de espesor es 100 mm, considerando que para el modelado del muro de mampostería se utiliza un bloque de 12,5 cm (ancho) x 37,5 cm (largo) x 15 cm (alto) y con una 12 MPa de resistencia, verificamos que se cumple con lo estipulado.

$$bw \geq 100 \text{ mm}$$

$$125 \text{ mm} \geq 100 \text{ mm}$$

4.12.2 Relación de esbeltez

Datos del muro necesario para verificar si cumple por esbeltez:

$$h_s = 2720 \text{ mm} = \text{altura libre de muro}$$

$$h_w = h_s * \# \text{ de pisos} = 2720 * 2 = 5440 \text{ mm} = \text{altura del muro}$$

$$b_w = 125 \text{ mm} = \text{espesor del muro}$$

$$l_w = 2280 \text{ mm} = \text{longitud del muro}$$

Verificaciones:

$$\frac{l_w}{b_w} = \frac{2280}{125} = 18,24 > 6 \text{ "CUMPLE"}$$

$$\frac{h_w}{l_w} = \frac{5440}{2280} = 2,38 > 2 \text{ "CUMPLE"}$$

$$\frac{h_s}{b_w} = \frac{2720}{125} = 21,76 < 25 \text{ "CUMPLE"}$$

El muro de mampostería cumple con el criterio de esbeltez.

Para el detallamiento del muro se extraen del software Etabs las cargas que actúan sobre ellos. A continuación, se presenta la tabla de cargas y momentos del muro a analizar.

Tabla 30. Fuerzas que actúan en el muro P1

Story	Pier	Output Case	Case type	Step type	Location	P kN	V2 kN	M3 kN-m
Story1	P1	ENVOLVENTE	Combination	Max	Top	6,5988	49,3283	2,1912
Story1	P1	ENVOLVENTE	Combination	Max	Bottom	44,0988	41,3397	34,5735
Story1	P1	ENVOLVENTE	Combination	Min	Top	-101,6685	-41,0003	-3,6919
Story1	P1	ENVOLVENTE	Combination	Min	Bottom	-182,5242	-50,9352	-36,5499

Fuente: (Etabs,2021)

Se escogen de la tabla anterior las mayores cargas que debe soportar.

$$P_u = 182,52 \text{ kN}$$

$$V_u = 50,94 \text{ kN}$$

$$Mu = 36,55 \text{ kN} - m$$

$$Acv = bw * lw = 125 * 2280 = 285000 \text{ mm}^2$$

$$dw = lw * 0,8 = 2280 * 0,8 = 1824 \text{ mm}$$

4.12.3 Resistencia al cortante (revisión por corte)

Para establecer dos capas de refuerzo debe cumplir con lo siguiente:

$$Vu > 0,53 * Acv * \gamma * \sqrt{f'c}$$

$$Vu > 0,53 * 2850 * 1 * \sqrt{210}$$

$$5194,43 \text{ kg} > 21889,22 \text{ kg} \text{ "NO CUMPLE"}$$

No es necesaria dos capas debido que Vu no supera la relación.

Ahora hay que calcular $Vu \text{ max}$.

$$Vu \text{ max} = 0,6 * 21,2 * Acv$$

$$Vu \text{ max} = 0,6 * 21,2 * 2850$$

$$Vu \text{ max} = 36252 \text{ kg}$$

Debe cumplir que:

$$Vu \text{ max} > Vu$$

$$36252 \text{ kg} > 5194,43 \text{ kg} \text{ "CUMPLE"}$$

Para calcular la capacidad nominal cortante Vn del muro estructural se usa la siguiente formula:

$$Vn = Acv * (\alpha_c * \gamma * \sqrt{f'c} + p_v * fy)$$

Donde:

$p_v = 0,0025$ = Cuantía mínima estipulada por el programa

$\alpha_c = 0,53$, debido que la relación hw/lw es mayor a 2.

El cálculo de V_n nos da:

$$V_n = 2850 * (0,53 * 1 * \sqrt{210} + 0,0025 * 4200)$$

$$V_n = 51814,22 \text{ kg}$$

El valor de V_n debe multiplicarse por el factor de corrección φ que en cortante es igual a 0,75.

$$\varphi V_n = (0,75)(51814,22)$$

$$\varphi V_n = 38860,66 \text{ kg}$$

Debe cumplir que:

$$\varphi V_n > V_u$$

$$38860,66 \text{ kg} > 5194,43 \text{ kg} \quad \textbf{"CUMPLE"}$$

A continuación, para calcular la resistencia del concreto se usa la formula:

$$V_c = 0,53 * \left(1 + \frac{P_u}{0,35 A_{cv}}\right) * \gamma * \sqrt{f_c} * b_w * d_w$$

$$V_c = 0,53 * \left(1 + \frac{18611,86}{0,35 * 2850}\right) * 1 * \sqrt{210} * 12,5 * 182,4$$

$$V_c = 34436,30 \text{ kg}$$

Debe cumplir que:

$$V_c < 0,53 * \gamma * \sqrt{f_c} * b_w * d_w$$

$$V_c < 0,53 * 1 * \sqrt{210} * 12,5 * 182,5$$

$$34436,30 \text{ kg} < 17520,98 \text{ kg} \quad \textbf{"NO CUMPLE"}$$

Como el cortante del concreto no es menor al límite, por lo que se escoge el valor limitado.
Es decir $V_c = 17520,98 \text{ kg}$.

Para calcular el cortante del acero V_s se usamos la fórmula:

$$V_s = V_n - V_c$$

$$V_s = 51814,22 - 17520,98$$

$$V_s = 34294,24 \text{ kg}$$

Debe cumplir que:

$$V_s > V_c - \frac{Vu}{\phi}$$

$$V_s > 17520,98 - \frac{5194,43}{0,75}$$

$$34294,24 \text{ kg} > 10595,07 \text{ kg} \quad \textbf{"CUMPLE"}$$

4.12.4 Refuerzo vertical

La varilla que se utilizara en el muro es de 10 mm, considerando también la formula dictaminada para la cuantía mínima, obtenemos el espaciamiento.

$$p_v = \frac{Asv}{bw * s} \rightarrow s = \frac{Asv}{bw * p_v}$$

Donde:

$$Asv = 0,785 \text{ cm}^2 = \text{área correspondiente a la varilla de 10 mm}$$

$$s = \frac{0,785}{12,5 * 0,0025} = 25,12 \approx 25 \text{ cm}$$

El espaciamiento debe ser menor a las siguientes restricciones:

$$s = \frac{lw}{5} = \frac{228}{5} = 45,6 \text{ cm} \quad \textbf{"CUMPLE"}$$

$$s = 3 * bw = 3 * 12,5 = 37,5 \text{ cm} \quad \textbf{"CUMPLE"}$$

$$s_{max} = 45 \text{ cm} \quad \textbf{"CUMPLE"}$$

✓ En el refuerzo vertical se usa una varilla de 10 mm @ 25cm.

4.12.5 Refuerzo horizontal

La varilla que se utilizará de manera horizontal será de 8 mm, y que la normativa me indica que el refuerzo debe ser considerado mínimo cada 2 hileras de bloque; esto me indica que el espaciamiento será de 30 cm. Verificamos si me cumple la cuantía.

$$p_h = \frac{A_{sh}}{b_w * s} = \frac{0,503}{12,5 * 30} > 0,0007$$

$$0,0013 > 0,0007 \quad \text{"CUMPLE"}$$

✓ En el refuerzo horizontal se usa una varilla de 8 mm @ 30cm.

4.12.6 Resistencia a flexo-compresión

El cálculo de la resistencia axial está dado bajo la fórmula:

$$P_n = f'_m * A_{cv} + A_{sv} * f_y$$

Donde:

$$f'_m = 12 \text{ Mpa o } 122,37 \text{ kg/cm}^2 = \text{Resistencia de la mampostería}$$

$$P_n = 122,37 * 2850 + 0,785 * 4200$$

$$P_n = 352051,5 \text{ kg}$$

El valor de P_n debe multiplicarse por el factor de corrección ϕ que en axial es igual a 0,65.

$$\phi P_n = 0,65 * 352051,5$$

$$\phi P_n = 228833,47 \text{ kg}$$

Debe cumplir que:

$$\phi P_n > P_u$$

$$228833,47 \text{ kg} > 18611,86 \text{ kg} \quad \text{"CUMPLE"}$$

4.12.7 Resistencia flexión

El cálculo de la resistencia a flexo compresión se da mediante la formula:

$$Mn = Asv * fy * \left(dw - \frac{a}{2}\right)$$

Donde:

$$a = \frac{Asv * fy}{0,85 * f'm * lw} = \frac{0,785 * 4200}{0,85 * 122,37 * 228} = 0,193 \text{ cm}$$

$$Mn = 0,785 * 4200 * \left(182,4 - \frac{0,193}{2}\right)$$

$$Mn = 601054,64 \text{ kg} - \text{cm} \approx 6010,54 \text{ kg} - \text{m}$$

El valor de Mn debe multiplicarse por el factor de corrección ϕ que en axial es igual a 0,9.

$$\phi Mn = 0,9 * 6010,54$$

$$\phi Mn = 5409,48 \text{ kg} - \text{m}$$

Debe cumplir que:

$$\phi Mn > Mu$$

$$5409,48 \text{ kg} - \text{m} > 3727,06 \text{ kg} - \text{m} \text{ "CUMPLE"}$$

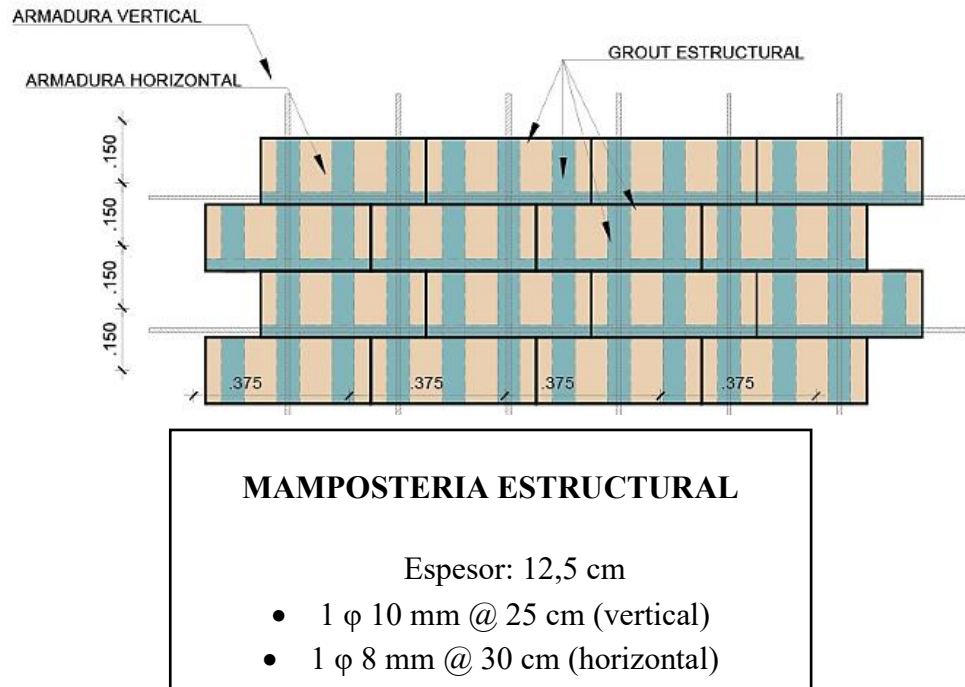
4.12.8 Longitud de traslape

El traslape mínimo dictaminado por el código americano indica que debe ser 40 veces el diámetro de la varilla. La longitud de traslape tanto de manera vertical como horizontal queda de la forma siguiente:

$$L_{tv} = 40 * \phi = 40 * 10 = 400 \text{ mm} \approx 40 \text{ cm}$$

$$L_{th} = 40 * \phi = 40 * 8 = 320 \text{ mm} \approx 32 \text{ cm}$$

Ilustración 45. Detalle del muro de mampuestos

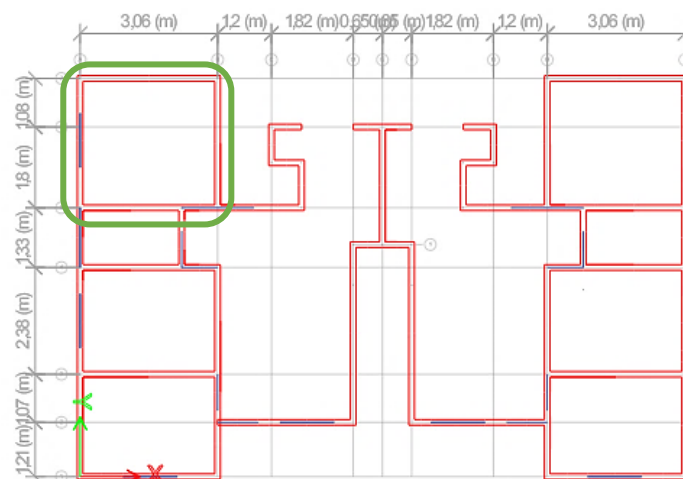


Autores: Yagual Laura - Hidalgo Ronny

4.13 VERIFICACIONES DE LA LOSA SEGÚN NEC/ACI

Para desarrollar las verificaciones de la losa maciza debemos elegir una sección de la misma y aplicar unos criterios para determinar si es unidireccional o bidireccional.

Ilustración 46. Sección de losa elegida para las verificaciones



Autores: Yagual Laura - Hidalgo Ronny

$$\beta = \frac{Cl}{Cc} = \frac{297}{260} = 1,14 < 2$$

En base que la relación de lados me da menor de 2, me indica que la losa debe ser bidireccional. Para las verificaciones del diseño de la losa, se ejecutará mediante el método de coeficientes, la cual permite estimar los momentos flectores que actúan sobre el elemento. Para ello, se emplean coeficientes ajustados según las condiciones de borde.

4.13.1 Espesor mínimo

La norma establece que el espesor mínimo debe cumplir la siguiente restricción:

$$h_{min} = \frac{Cl}{30} = \frac{297}{30} = 10 \text{ cm} < 18\text{cm} \text{ "CUMPLE"}$$

El espesor asumido cumple con la relación dada.

4.13.2 Cargas mayoradas

Se requiere la carga mayorada donde interviene tanto la carga viva como la carga muerta y se calculan de la siguiente manera:

$$q_u = 1,2 * W_D + 1,6 * W_L$$

Donde:

$$W_D = 532 \text{ kg/m}^2$$

$$W_L = 200 \text{ kg/m}^2$$

$$q_u = 1,2 * 532 + 1,6 * 200$$

$$q_u = 958,4 \text{ kg/m}^2$$

4.13.3 Momentos negativos y positivos

Los coeficientes de momentos en las losas bidireccionales se pueden obtener por medio de tablas. En este caso, se hizo uso de un programa digital, la cual nos brindó estos resultados:

Ilustración 47. Coeficientes de momentos mediante programa

```

caso de apoyo = 4
Coeficientes para Momento flector:
...CaNeg =0.062949494949495
...CbNeg =0.0370505050505056

```

Fuente: Conseguido de Marcelo Pardo

Obtuvimos los siguientes coeficientes:

$$C_{bc} = 0,063$$

$$C_{bd} = 0,037$$

$$C_{(M+)} = 0,05$$

Los momentos en la dirección mayor y menor, se calcula con la siguiente expresión:

$$M = C * q_u * l^2$$

Lado corto

$$M_{bc} = 0,063 * 958,4 * (2,60)^2 = 408,16 \text{ kg} - m$$

$$M_{bd} = 0,037 * 958,4 * (2,60)^2 = 239,71 \text{ kg} - m$$

$$M_{(M+)} = 0,05 * 958,4 * (2,60)^2 = 323,93 \text{ kg} - m$$

Lado largo

$$M_{bc} = 0,063 * 958,4 * (2,97)^2 = 532,59 \text{ kg} - m$$

$$M_{bd} = 0,037 * 958,4 * (2,97)^2 = 312,79 \text{ kg} - m$$

$$M_{(M+)} = 0,05 * 958,4 * (2,97)^2 = 422,69 \text{ kg} - m$$

4.13.4 Acero requerido

Tomando el momento mayor $M_u = 532,59 \text{ kg} - m$. Calculamos el acero requerido para la losa.

$$A_s = \frac{M_u}{\varphi * f_y * d}$$

Donde:

$\varphi = 0,9$ = Factor de corrección para flexión

$$d = h - r - \frac{\phi v}{2} = 18 - 2,5 - \frac{0,8}{2} = 12,1 \text{ cm}$$

$$A_s = \frac{53259}{0,9 * 4200 * 12,1}$$

$$A_s = 1,164 \text{ cm}^2$$

Evalúamos también el acero mínimo, considerando el valor de la cuantía mínima de 0,0018 dado la fórmula siguiente:

$$A_{s \text{ min}} = \rho_{\text{min}} * b * h$$

$$A_{s \text{ min}} = 0,0018 * 100 * 18$$

$$A_{s \text{ min}} = 3,24 \text{ cm}^2$$

Como el acero requerido $A_s = 0,987 \text{ cm}^2 < A_{s \text{ min}} = 3,24 \text{ cm}^2$, adoptamos el valor de la cuantía mínima.

En base a estos resultados, seleccionamos una malla de 8 mm, teniendo como separación en ambos sentidos, el siguiente valor:

$$s = \frac{100 * A_{sv}}{A_s} = \frac{100 * 0,503}{3,24} = 15,3 \text{ cm} \approx 15 \text{ cm}$$

✓ En el refuerzo bidireccional para la losa se usa una malla de 8 mm @ 15 cm

Con la separación dictaminada, podemos calcular el acero real.

$$\#varillas = \frac{b}{s} = \frac{100}{15} = 6,67 \text{ varillas por metro}$$

$$A_{s \text{ real}} = \#varillas * A_{sv} = 6,67 * 0,503 = 3,35 \text{ cm}^2$$

Debe cumplir que:

$$A_{s \text{ real}} > A_{s \text{ min}}$$

$$3,35 \text{ cm}^2 > 3,24 \text{ cm}^2 \text{ "CUMPLE"}$$

4.13.5 Resistencia a la flexión

El cálculo de la resistencia a flexión se da mediante la formula:

$$Mn = A_{s\ real} * fy * \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

Donde:

$$a = \frac{A_{s\ real} * fy}{0,85 * f_c * b} = \frac{3,35 * 4200}{0,85 * 210 * 100} = 0,788\ cm$$

$$Mn = 3,35 * 4200 * \left(12,1 - \frac{0,788}{2}\right)$$

$$Mn = 164703,42\ kg - cm \approx 1647,03\ kg - m$$

El valor de Mn debe multiplicarse por el factor de corrección ϕ que en axial es igual a 0,9.

$$\phi Mn = 0,9 * 1647,03$$

$$\phi Mn = 1482,32\ kg - m$$

Debe cumplir que:

$$\phi Mn > Mu$$

$$1482,32\ kg - m > 532,59\ kg - m \quad \textbf{"CUMPLE"}$$

4.13.6 Resistencia al cortante (revisión por corte)

El cálculo de Vu nos da:

$$Vu = 1,15 * \frac{q_u * Cl}{2}$$

$$Vu = 1,15 * \frac{958,4 * 2,97}{2}$$

$$Vu = 1636,70\ kg$$

Ahora bien, para el valor de Vn nos queda de la siguiente manera:

$$Vn = 0,53 * \sqrt{f'c} * b * d$$

$$Vn = 0,53 * \sqrt{210} * 100 * 12,1$$

$$Vn = 9293,32 \text{ kg}$$

El valor de Vn debe multiplicarse por el factor de corrección ϕ que en cortante es igual a 0,75.

$$\phi Vn = (0,75)(9293,32)$$

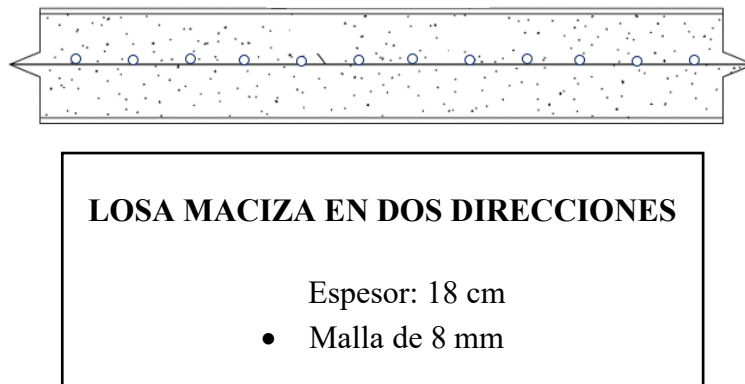
$$\phi Vn = 6970 \text{ kg}$$

Debe cumplir que:

$$\phi Vn > Vu$$

$$6970 \text{ kg} > 1636,70 \text{ kg} \text{ "CUMPLE"}$$

Ilustración 48. Detalle de la losa maciza



Autores: Yagual Laura - Hidalgo Ronny

CAPITULO V: DISEÑO DE LA VIVIENDA MEDIANTE EL SISTEMA DE PORTICOS

5.1 ESPECTRO ELÁSTICO DE DISEÑO

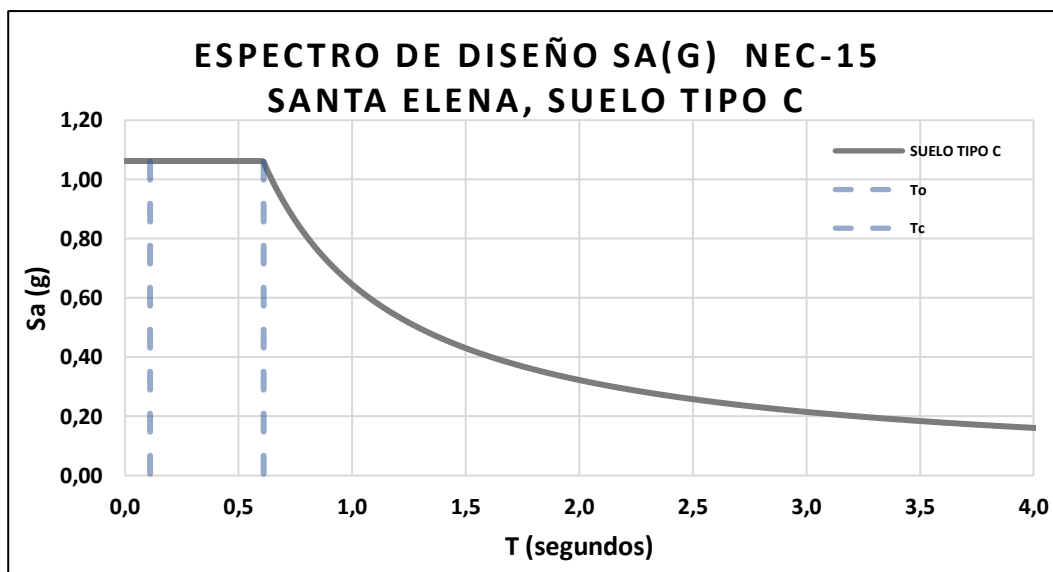
Las directrices necesarias para definir el espectro de respuesta elástico de aceleraciones horizontal S_a correspondientes para la provincia de Santa Elena con un suelo tipo C, se presentan a continuación:

Tabla 31. Parámetros correspondientes al espectro de diseño S2

PARÁMETRO	VALOR
Z	0,5
η	1,8
r	1
F_a	1,18
F_d	1,06
F_s	1,23
T_o	0,11
T_c	0,61
Zona sísmica	VI
Peligro Sísmico	Muy Alta

Autores: Yagual Laura - Hidalgo Ronny

Ilustración 49. Espectro de diseño para la provincia, con suelo tipo C S1



Autores: Yagual Laura - Hidalgo Ronny

Considerando la ecuación del periodo aproximado T , y obteniendo los coeficientes del tipo de edificación, tenemos:

Pórticos especiales de hormigón armado Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadores.

$C^t = 0,055$ $\alpha = 0,9$; con una altura máxima $h_n = 5,34$.

$$T = 0,055 * 5,34^{0,9} = 0,248 \text{ seg}$$

En base a estos valores, la aceleración espectral de diseño S_a es calculada de la siguiente manera:

Cumple con $T_o \leq T \leq T_c$ porque $0,11 \leq 0,248 \leq 0,61$

$$S_a = \eta Z F_a$$

$$S_a = 1,8 * 0,5 * 1,18 = 1,062$$

5.2 CORTANTE BASAL

A continuación, se presenta una tabla con los datos necesarios para proceder al cálculo.

Tabla 32. Cortante Basal NEC 2015 de la vivienda con pórticos

CORTANTE BASAL - SANTA ELENA NEC 15

<i>I</i>	1	<i>R</i>	3	<i>hn</i>	5,34	<i>Cs</i>	0,354
<i>φP</i>	1	<i>T (seg)</i>	0,248	<i>Sa (g)</i>	1,062	<i>W</i>	32,580
<i>φE</i>	1	<i>k</i>	1	<i>Vx</i>	11,534		

Autores: Yagual Laura - Hidalgo Ronny

Los datos fueron obtenidos de la siguiente manera:

- Factor de importancia $I = 1$, por pertenecer a la categoría de otras estructuras.
- Factor de reducción $R = 3$, por pertenecer al grupo de 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.
- Coeficiente de irregularidad en planta ϕP y coeficiente de regularidad en elevación ϕE , se adopta el valor de 1 debido que la edificación no aplica ningún criterio.
- Coeficiente relacionado con el periodo de vibración de la estructura $k = 1$, debido que cumple con $T \leq 0,5$.

El cálculo de la cortante basal se presenta a continuación:

$$V = \frac{1 * 1,062}{3 * 1 * 1} * 32,580 = 11,534 \text{ Ton}$$

5.3 DISTRIBUCIÓN DE FUERZAS HORIZONTALES

La siguiente tabla muestra el número de piso, el peso de cada piso y sus respectivas fuerzas horizontales F_x , a su vez se observa el cortante basal por piso que es la acumulación de las fuerzas horizontales en sentido de la cimentación al último piso.

Tabla 33. Cortante Basal por piso de la vivienda con pórticos

Cortante Basal V							
Piso	Altura h_x	W	$W_x h_x^k$	$c_{vx} = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i h_i^k}$	$F_x = c_{vx} V$	$V_x \text{ por piso}$	$0,3 * F_x$
	m	Ton			Ton	Ton	Ton
2	5,34	14,809	79,082	0,629	7,259	7,259	2,18
1	2,62	17,771	46,561	0,371	4,274	11,534	1,28
Total		32,580	125,643	1,000	11,534		

Autores: Yagual Laura - Hidalgo Ronny

5.4 MODELAMIENTO EN EL PROGRAMA ETABS

Replicamos los pasos del 1 al 4 del anterior capítulo.

1. Se agregan los materiales y sus propiedades cambiando “Material Name”, “Material Display Color”, “Weight per Unit Volume”, “Modulus of Elasticity” respectivamente y se selecciona la pestaña OK.

DATOS:

✓ **Hormigón**

Peso específico = 2 400 kg/m³

Resistencia a los 28 días = 210 kg/m³

Módulo de elasticidad = 219 627 kg/cm²

Ilustración 50. Propiedades del material

Material Property Data

General Data

Material Name: CONCRETO FC=210 KG/CM2

Material Type: Concrete

Directional Symmetry Type: Isotropic

Material Display Color: [Orange] Change...

Material Notes: Modify/Show Notes...

Material Weight and Mass

☒ Specify Weight Density ☐ Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 24 kN/m³

Mass per Unit Volume: 2447.319 kg/m³

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: 21538.11 MPa

Poisson's Ratio, U: 0.2

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.00001 1/C

Shear Modulus, G: 8974.21 MPa

Design Property Data

Modify/Show Material Property Design Data...

Advanced Material Property Data

Nonlinear Material Data... Material Damping Properties... Time Dependent Properties...

Material Property Design Data

Material Name and Type

Material Name: CONCRETO FC=210 KG/CM2

Material Type: Concrete, Isotropic

Grade: FC=210 KG/CM2

Design Properties for Concrete Materials

Specified Concrete Compressive Strength, Fc: 21 MPa

☐ Lightweight Concrete

Shear Strength Reduction Factor: [Empty]

OK Cancel

Fuente: (Etabs,2021)

✓ Acero de refuerzo

Peso específico = 7 850 kg/m³

Límite de fluencia Fy = 4 200 kg/cm²

Módulo de elasticidad, Es = 2 100 000 kg/cm²

Ilustración 46. Propiedades del material

Material Property Data

General Data

Material Name: ACERO DE REFUERZO

Material Type: Rebar

Directional Symmetry Type: Uniaxial

Material Display Color: [Yellow] Change...

Material Notes: Modify/Show Notes...

Material Weight and Mass

☒ Specify Weight Density ☐ Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 78.5 kN/m³

Mass per Unit Volume: 8004.772 kg/m³

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: 200000 MPa

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.000012 1/C

Design Property Data

Modify/Show Material Property Design Data...

Advanced Material Property Data

Nonlinear Material Data... Material Damping Properties... Time Dependent Properties...

OK Cancel

Material Property Design Data

Material Name and Type

Material Name: ACERO DE REFUERZO

Material Type: Rebar, Uniaxial

Grade: Grade 60

Design Properties for Rebar Materials

Minimum Yield Strength, Fy: 420 MPa

Minimum Tensile Strength, Fu: 550 MPa

Expected Yield Strength, Fye: 455.05 MPa

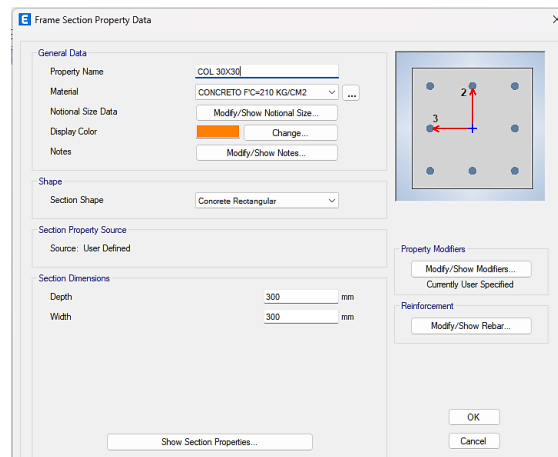
Expected Tensile Strength, Fue: 682.58 MPa

OK Cancel

Fuente: (Etabs,2021)

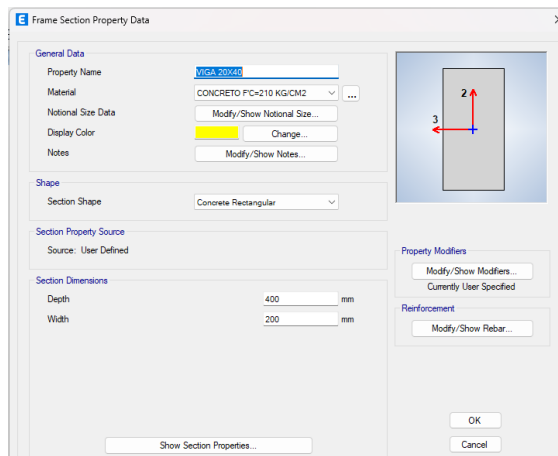
2. Para agregar las dimensiones de las columnas y vigas, primero se debe seleccionar la opción “Define” en la barra superior. Luego, hay que ir a “Section Properties” y posteriormente a “Frame Sections”. Seleccionar la primera opción “Add New Property”. Agregamos el apartado de “Section shape” la opción de “Concrete Rectangular” y rellenamos los datos necesarios para cada material.

Ilustración 51. Creación de columnas



Fuente: (Etabs,2021)

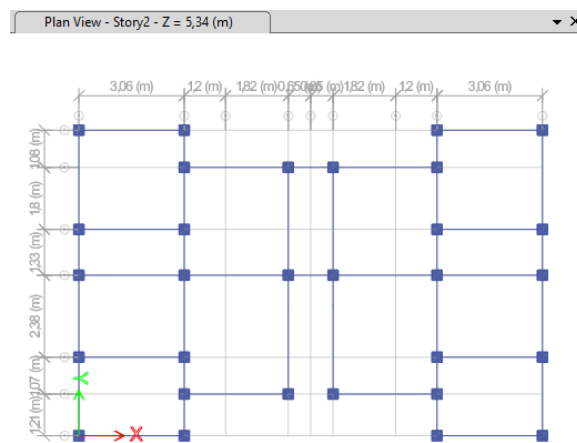
Ilustración 52. Creación de vigas



Fuente: (Etabs,2021)

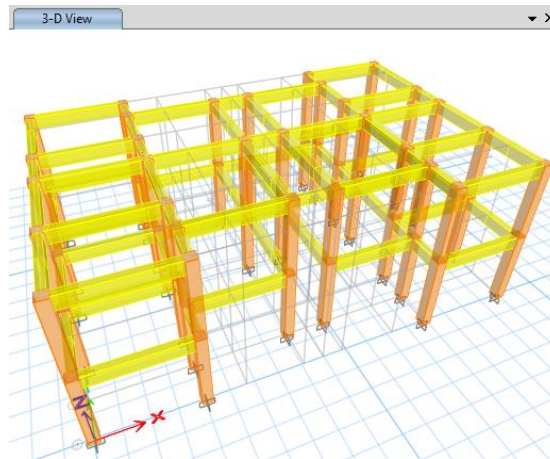
3. La estructura queda de la siguiente manera luego de dibujar los elementos de vigas y columnas.

Ilustración 53. Dibujo de columnas y vigas vista en planta



Fuente: (Etabs,2021)

Ilustración 54. Dibujo de columnas y vigas vista en 3D

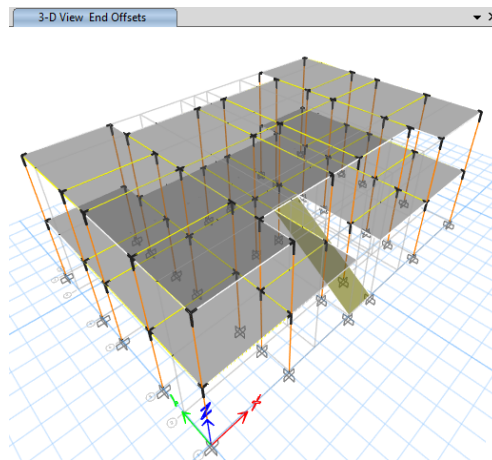


Fuente: (Etabs,2021)

Replicamos los pasos del 8 al 20 del anterior capítulo.

21. Con respecto al empotramiento de las columnas/vigas hacia las losas, debemos seleccionar “Assign”, luego “Frame” y después “End Length Offsets”. A continuación, en la ventana que aparece elige la opción “Automatic from Connectivity” y posteriormente, debemos seleccionar todo el modelado antes de dar en “Apply”.

Ilustración 55. Desplazamiento de longitud final en la estructura



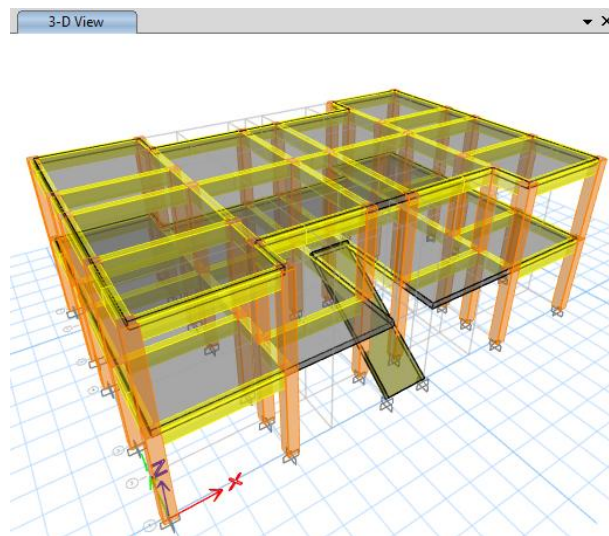
Fuente: (Etabs,2021)

Replicamos el paso 22 del anterior capítulo.

5.5 MODELAMIENTO DE LA ESTRUCTURA

Luego de seguir el paso a paso en el programa Etabs, conseguimos el siguiente modelado de la vivienda multifamiliar de dos plantas empleando el sistema porticado.

Ilustración 56. Modelado final de la vivienda con pórticos en vista 3D



Fuente: (Etabs,2021)

5.6 CORRECCIÓN DEL CORTANTE BASAL ESTÁTICO

El cortante basal obtenido en el programa es el siguiente:

Tabla 34. Cortante Basal obtenido del programa de la vivienda con pórticos

<i>Name</i>	<i>Ecc Ratio</i>	<i>Top Story</i>	<i>Bottom Story</i>	<i>C</i>	<i>K</i>	<i>Weight Used kN</i>	<i>Base Shear kN</i>
Sx	0,05	Story2	Base	0,354	1		
Sx(1/3)	0,05	Story2	Base	0,354	1	1718,6868	608,4151
Sx(2/3)	0,05	Story2	Base	0,354	1	1718,6868	608,4151
Sx(3/3)	0,05	Story2	Base	0,354	1	1718,6868	608,4151
Sy	0,05	Story2	Base	0,354	1		
Sy(1/3)	0,05	Story2	Base	0,354	1	1718,6868	608,4151
Sy(2/3)	0,05	Story2	Base	0,354	1	1718,6868	608,4151
Sy(3/3)	0,05	Story2	Base	0,354	1	1718,6868	608,4151

Fuente: (Etabs,2021)

Realizando la misma metodología empleada en el modelado anterior para corregir el cortante basal estático.

Tabla 35. Peso real de la estructura de la vivienda con pórticos

<i>Output Case</i>	<i>Case Type</i>	<i>FZ</i> <i>kN</i>
<i>Peso propio</i>	LinStatic	1604,3192
<i>Sobrecarga</i>	LinStatic	215,1142
<i>Total</i>		1819,4334

Fuente: (Etabs,2021)

A continuación, usamos el dato del peso estipulado por el programa para así evaluar el valor de C.

Peso real = 1819,43 kN

Peso Etabs = 1718.68 kN

$$\text{Factor de correccion} = \frac{PR}{PE} = \frac{1819,43}{1718,68} = 1,059$$

Coefficiente cortante = 0,354

Coefficiente cortante corregido = 1,059 * 0,354 = 0,375

Cortante basal real = 1819,43 * 0,354 = 644,0794 kN

Este nuevo coeficiente del cortante debe ser incorporado en el paso 14 explicado anteriormente, seguido a ello corremos el programa nuevamente y visualizamos el cortante basal corregido.

Tabla 36. Cortante basal corregido de la vivienda con pórticos

<i>Name</i>	<i>Ecc Ratio</i>	<i>Top Story</i>	<i>Bottom Story</i>	<i>C</i>	<i>K</i>	<i>Weight Used</i> <i>kN</i>	<i>Base Shear</i> <i>kN</i>
<i>Sx</i>	0,05	Story2	Base	0,413	1		
<i>Sx(1/3)</i>	0,05	Story2	Base	0,413	1	1718,6868	644,0779
<i>Sx(2/3)</i>	0,05	Story2	Base	0,413	1	1718,6868	644,0779
<i>Sx(3/3)</i>	0,05	Story2	Base	0,413	1	1718,6868	644,0779
<i>Sy</i>	0,05	Story2	Base	0,413	1		
<i>Sy(1/3)</i>	0,05	Story2	Base	0,413	1	1718,6868	644,0779
<i>Sy(2/3)</i>	0,05	Story2	Base	0,413	1	1718,6868	644,0779
<i>Sy(3/3)</i>	0,05	Story2	Base	0,413	1	1718,6868	644,0779

Fuente: (Etabs,2021)

Es evidente que los cálculos realizados fueron exitosos debido que el cortante basal real evaluado es similar al que me refleja el programa.

5.7 COMPARACIÓN DEL CORTANTE BASAL ESTÁTICO Y DINÁMICO

De la misma manera, usamos el método empleado en el sistema de muros, para poder determinar el requisito se tiene conocimiento que debemos relacionar la resultante de las fuerzas tanto en el sentido X como en el sentido Y con el cortante basal que me indica el programa.

Tabla 37. Resultantes de las fuerzas sísmicas de la vivienda con pórticos

	<i>F_x</i>	<i>F_y</i>	<i>R</i>
ESPECTRO X	434,4777	0,0004	434,4777
ESPECTRO Y	0,0004	489,1612	489,1612

Autores: Yagual Laura - Hidalgo Ronny

En el sentido X se obtiene el siguiente resultado:

$$FR = 434,4777 \text{ kN}$$

$$\text{Cortante corregido} = 644,0779 \text{ kN}$$

$$\text{Relacion} = \frac{FR}{Cc} = \frac{434,4777}{644,0779} = 0,674 \approx 67\%$$

En el sentido Y se obtiene el siguiente resultado:

$$FR = 489,1612 \text{ kN}$$

$$\text{Cortante corregido} = 644,0779 \text{ kN}$$

$$\text{Relacion} = \frac{FR}{Cc} = \frac{489,1612}{644,0779} = 0,759 \approx 76\%$$

En la dirección X la relación dio como resultado 67%, y en dirección Y dio 76%, dichos valores son menor al 80% que es considerado permisible. Con ello, se comprueba que no se cumple la condición en ambas direcciones mencionadas anteriormente. Es necesario efectuar la corrección correspondiente, obteniendo un factor que luego se multiplicará por la gravedad, cuyo valor es 9,8067 y por la corrección esperada 0,8.

En el sentido X se consigue:

$$\text{Factor de correccion} = \frac{Cc}{FR} = \frac{644,0779}{434,4777} = 1,48$$

$$\text{Factor Etabs} = 1,48 * 0,8 * 9,8067 = 11,6301$$

En el sentido Y se consigue:

$$\text{Factor de correccion} = \frac{Cc}{FR} = \frac{644,0779}{489,1612} = 1,32$$

$$\text{Factor Etabs} = 1,32 * 0,8 * 9,8067 = 10,3236$$

Del mismo modo, este nuevo factor de corrección debe ser incorporado en el paso 17-18, en específico en la opción “Scale Factor”. Posterior a ello, corremos el programa nuevamente y visualizamos si la relación cumple con lo establecido.

Tabla 38. Resultantes de las fuerzas sísmicas corregidas de la vivienda con pórticos

	<i>Fx</i>	<i>Fy</i>	<i>R</i>
ESPECTRO X	515,2619	0,0005	515,2619
ESPECTRO Y	0,0004	514,9454	514,9454

Autores: Yagual Laura - Hidalgo Ronny

En el sentido X se obtiene el siguiente resultado:

$$FR = 515,2619 \text{ kN}$$

$$\text{Cortante corregido} = 644,0779 \text{ kN}$$

$$\text{Relacion} = \frac{FR}{Cc} = \frac{515,2619}{644,0779} = 0,799 \approx 80\%$$

En el sentido Y se obtiene el siguiente resultado:

$$FR = 514,9454 \text{ kN}$$

$$\text{Cortante corregido} = 644,0779 \text{ kN}$$

$$\text{Relacion} = \frac{FR}{Cc} = \frac{514,9454}{644,0779} = 0,799 \approx 80\%$$

Los valores cumplen con la norma establecida.

5.8 MODOS DE VIBRACIÓN DE LA ESTRUCTURA

Se examina siguiente tabla que proporciona el programa, la cual muestra los periodos y la participación modal de masa para la estructura.

Tabla 39. Participación modal de masa de la vivienda con pórticos

<i>Case</i>	<i>Mode</i>	<i>Period</i>	<i>UX</i>	<i>UY</i>	<i>SumUX</i>	<i>SumUY</i>	<i>RZ</i>	<i>SumRZ</i>
		<i>sec</i>						
<i>Modal</i>	1	0,214	0,477	0	0,477	0	0,4336	0,4336
<i>Modal</i>	2	0,187	0,3703	0	0,8472	0	0,4735	0,9070
<i>Modal</i>	3	0,168	0	0,7673	0,8472	0,7673	0	0,907
<i>Modal</i>	4	0,077	0,1097	0	0,9569	0,7673	0,0091	0,9161
<i>Modal</i>	5	0,071	0,0431	0	1	0,7673	0,0839	1
<i>Modal</i>	6	0,067	0	0,2327	1	1	0	1

Fuente: (Etabs,2021)

Este sistema refleja los siguientes resultados. En el modo 1, se observa que predomina movimiento traslacional en $UX = 47,7\%$ junto con algo de torsión $RZ = 43,36\%$, lo que menciona un enlace entre ambos movimientos. De manera similar, el modo 2 tenemos $UX = 37,03\%$ y $RZ = 47,35\%$. Por otro lado, el modo 3 muestra solo traslación $UY = 76,73\%$, lo que refleja un desajuste modal, mismo que es un comportamiento típico en estructuras regulares.

Por lo tanto, más allá del evidente acoplamiento torsional presentado en los primeros modos, la suma total de las participaciones modales en UX , UY y RZ alcanza el 100%, cumpliendo así con el requisito mínimo del 90% establecido por la norma NEC 15. En base a esto, el modelo modal es aceptable y no es necesario modificar la rigidez estructural ni la distribución de masas, ya que el comportamiento dinámico global de la estructura está correctamente representado.

5.9 DERIVAS DE PISO

Considerando que la deriva inelástica máxima permitida debe igual o menor al 2% para elementos estructurales. En las siguientes tablas representa las derivas inelásticas máximas por piso en cada dirección de la estructura para verificar que se cumpla dicha condición.

PISO	UX	UY	ALTURA	U	DERIVA ELÁSTICA	DERIVA ADIMENSIONAL	PROMEDIO	DERIVA INELÁSTICA	DERIVA ADMISIBLE
	<i>mm</i>	<i>Mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm/mm</i>	<i>mm/mm</i>	<i>%</i>	<i>≤ 2%</i>
2	5,891	3,925	2720	7,079	3,412	0,00125	0,00104	0,233%	CUMPLE
2	0,000	3,259	2720	3,259	2,225	0,00082			
1	2,957	2,169	2620	3,667	3,667	0,00140	0,00090	0,202%	CUMPLE
1	0,000	1,034	2620	1,034	1,034	0,00039			

Tabla 40. Derivas inelásticas en dirección X de la vivienda con pórticos

Autores: Yagual Laura - Hidalgo Ronny

Tabla 41. Derivas inelásticas en dirección Y de la vivienda con pórticos

PISO	UX	UY	ALTURA	U	DERIVA ELÁSTICA	DERIVA ADIMENSIONAL	PROMEDIO	DERIVA INELÁSTICA	DERIVA ADMISIBLE
	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm/mm</i>	<i>mm/mm</i>	<i>%</i>	<i>≤ 2%</i>
2	4,313	3,925	2720	5,832	3,061	0,00113	0,00097	0,219%	CUMPLE
2	1,177E-11	3,259	2720	3,259	2,225	0,00082			
1	1,724	2,169	2620	2,771	2,771	0,00106	0,00073	0,163%	CUMPLE
1	4,874E-12	1,034	2620	1,034	1,034	0,00039			

Autores: Yagual Laura - Hidalgo Ronny

Como se muestra en las tablas, existen valores bajos de derivas de piso lo que evidencia el cumplimiento de dicho requisito.

5.10 IRREGULARIDAD TORSIONAL

En las siguientes tablas se muestra la verificación de irregularidad torsional en relación a las derivas máximas.

Tabla 42. Irregularidad torsional en dirección X de la vivienda con pórticos

PISO	UX	UY	ALTURA	U	DERIVA ELASTICA	DERIVA ADIMENSIONAL	PROMEDIO	TORSION EXCESIVA	TORSION ADMISIBLE
	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm/mm</i>	<i>mm/mm</i>	<i>mm/mm</i>	<i>< 1,2</i>
2	5,891	3,925	2720	7,079	3,412	0,00125	0,00104	1,182	CUMPLE
2	0,000	3,259	2720	3,259	2,225	0,00082			
1	2,957	2,169	2620	3,667	3,667	0,00140	0,00090	1,192	CUMPLE
1	0,000	1,034	2620	1,034	1,034	0,00039			

Autores: Yagual Laura - Hidalgo Ronny

Tabla 43. Irregularidad torsional en dirección Y de la vivienda con pórticos

PISO	UX	UY	ALTURA	U	DERIVA ELÁSTICA	DERIVA ADIMENSIONAL	PROMEDIO	TORSIÓN EXCESIVA	TORSIÓN ADMISIBLE
	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm/mm</i>	<i>mm/mm</i>	<i>mm/mm</i>	<i>< 1,2</i>
2	4,313	3,925	2720	5,832	3,061	0,00113	0,00097	1,158	CUMPLE
2	1,177E-11	3,259	2720	3,259	2,225	0,00082			
1	1,724	2,169	2620	2,771	2,771	0,00106	0,00073	1,175	CUMPLE
1	4,874E-12	1,034	2620	1,034	1,034	0,00039			

Autores: Yagual Laura - Hidalgo Ronny

Las tablas demuestran que no existe irregularidad torsional relevante en ambas direcciones principales y la estructura no debe ser penalizada por Ax.

5.11 ÍNDICE DE ESTABILIDAD Q_i

Las siguientes tablas detallan el análisis del índice de estabilidad para todos los pisos.

Tabla 44. Índice de estabilidad en dirección X de la vivienda con pórticos

PISO	ALTURA	U	ΔE	$\Delta E/h$	V	w	Q_i	ESTABILIDAD ADMISIBLE
	mm	mm	mm	mm/mm	kN	kN	%	$\leq 30\%$
2	2720	7,079	3,412	0,0012543	235,501	985,823	0,525%	CUMPLE
1	2620	3,667	3,667	0,0013997	408,576	2158,984	0,740%	CUMPLE

Autores: Yagual Laura - Hidalgo Ronny

Tabla 45. Índice de estabilidad en dirección Y de la vivienda con pórticos

PISO	ALTURA	U	ΔE	$\Delta E/h$	V	w	Q_i	ESTABILIDAD ADMISIBLE
	mm	mm	mm	mm/mm	kN	kN	%	$\leq 30\%$
2	2720	5,832	3,061	0,0011253	235,501	985,823	0,471%	CUMPLE
1	2620	2,771	2,771	0,0010575	408,576	2158,984	0,559%	CUMPLE

Autores: Yagual Laura - Hidalgo Ronny

La estructura cumple con los límites establecidos por la normativa. Además, no se requieren consideraciones adicionales por efectos de segundo orden (P-Delta), lo cual refuerza la confiabilidad del sistema estructural frente a sismos.

5.12 VERIFICACIONES DE LA COLUMNA SEGÚN NEC/ACI

La estructura contiene columnas de 30x30, y para su diseño se considerarán las cargas generadas en el primer nivel.

5.12.1 Dimensiones requeridas

El código americano define que las dimensiones de la columna deben cumplir lo siguiente:

- $h \geq 300 \text{ mm} \rightarrow 300 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm}$ "**CUMPLE**"
- $b \geq 300 \text{ mm} \rightarrow 300 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm}$ "**CUMPLE**"
- $\frac{\text{Dimension menor}}{\text{Dimension mayor}} \geq 0,4 \rightarrow \frac{300}{300} \geq 0,4 \rightarrow 1 \geq 0,4$ **CUMPLE**

5.12.2 Acero longitudinal

Para realizar las verificaciones se extraen del programa Etabs los datos de carga puntual y momento actuante de la columna C20, la cual soporta el momento máximo, que dando los siguientes valores:

Tabla 46. Fuerzas que actúan en la columna C20

Story	Column	Output Case	Case type	Step type	P kN	V2 kN	M3 kN-m
Story1	C20	ENVOLVENTE	Combination	Max	-18,077	18,2956	25,6529
Story1	C20	ENVOLVENTE	Combination	Max	-15,9191	18,2956	5,4012
Story1	C20	ENVOLVENTE	Combination	Max	-13,7613	18,2956	13,7138
Story1	C20	ENVOLVENTE	Combination	Min	-101,2047	-17,3767	-24,8624
Story1	C20	ENVOLVENTE	Combination	Min	-98,3275	-17,3767	-5,6308
Story1	C20	ENVOLVENTE	Combination	Min	-95,4504	-17,3767	-14,9634

Fuente: (Etabs,2021)

Para el diseño por flexión se utilizan diagramas de interacción. Para ello, de la tabla anterior se escoge la mayor carga puntual y el momento actuante en la columna, obteniendo los siguientes datos:

$$P_u = 101,205 \text{ kN} \approx 10320,04 \text{ kg}$$

$$M_u = 25,653 \text{ kN} - \text{m} \approx 261587,80 \text{ kg} - \text{cm}$$

$$F_R = 0,8 \text{ (con confinamiento)}$$

$$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$b = 30 \text{ cm}$$

$$h = 30 \text{ cm}$$

$$r = 2,5 \text{ cm}$$

$$d = h - r = 30 - 2,5 = 27,5 \text{ cm}$$

$$\frac{d}{h} = \frac{27,5}{30} = 0,9$$

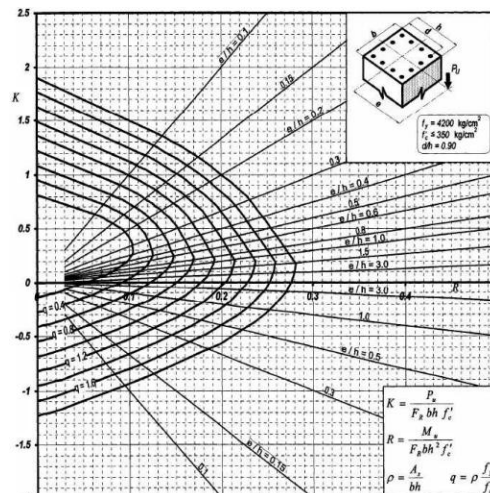
Procedemos a calcular los valores de K y R

$$K = \frac{Pu}{FR * b * h * f'_c} = \frac{10320,04}{0,8 * 30 * 30 * 210} = 0,06$$

$$R = \frac{Mu}{FR * b * h^2 * f'_c} = \frac{261587,80}{0,8 * 30 * 30^2 * 210} = 0,05$$

Estos datos se los ingresan al diagrama de interacción correspondiente para una estructura con un $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$, un $f'_c < 350 \text{ kg/cm}^2$ porque se usa un $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y la relación $\frac{d}{h} = 0,9$.

Ilustración 57. Diagrama de Interacción para Diseño de Columnas $F_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$, $F'_c < 350 \text{ Kg/cm}^2$



Fuente: (González Cuevas & Robles Fernández Villegas, 2002)

Mediante la elaboración del diagrama de interacción, se establece una correlación entre los parámetros K y R, obteniendo un valor de $q = 0,2$. Este resultado permite calcular la cuantía de refuerzo requerida aplicando la siguiente fórmula:

$$\rho = q * \frac{f^c}{f_y}$$

Donde:

$$f^c = 0,85 * 0,8 * f^c = 0,85 * 0,8 * 210 = 142,8 \text{ kg/cm}^2$$

$$\rho = 0,2 * \frac{142,8}{4200} = 0,0068 \approx 0,68\%$$

El código ACI establece que la cuantía requerida debe encontrarse dentro del rango del 1% al 6%, debido que el resultado esta fuera del mismo. Se debe optar por la mínima $\rho_{min} = 0,01$ estipulada en el código americano. Luego procedemos a calcular el área del acero mediante la siguiente fórmula:

$$A_{s \text{ diseño}} = \rho_{min} * b * h$$

$$A_{s \text{ diseño}} = 0,01 * 30 * 30$$

$$A_{s \text{ diseño}} = 9 \text{ cm}^2$$

Estimando esa área de acero para la columna, se optó por 4 varillas de 14 mm más 4 varillas de 10 mm, mismas que están distribuidas de manera uniforme en ambos ejes. Ahora bien, se calcula el área de acero real.

$$A_{st \text{ real}} = \#varillas * A_{sv}$$

$$A_{st \text{ real}} = (4 * 1,13) + (4 * 0,79) = 9,32 \text{ cm}^2$$

Debe cumplir que:

$$A_{st \text{ real}} > A_{s \text{ diseño}}$$

$$9,32 \text{ cm}^2 > 9 \text{ cm}^2 \text{ "CUMPLE"}$$

De igual manera, calculamos la cuantía real.

$$\rho_{real} = \frac{A_{st\ real}}{b * h}$$

$$\rho_{real} = \frac{9,32}{30 * 30}$$

$$\rho_{real} = 0,0104$$

Debe cumplir que:

$$1\% < \rho_{real} < 2,5\%$$

$$1\% < 1,04\% < 2,5\% \quad \textbf{"CUMPLE"}$$

En base a estos resultados, realizamos el cálculo de espaciamiento entre varillas en ambos ejes.

$$s_{x,y} = \frac{(h - (2 * r) - (\#varillas * diametro\ esquina) - diametro\ varilla\ media)}{\# espacios\ entre\ varillas}$$

$$s_{x,y} = \frac{(30 - (2 * 2,5) - (2 * 1,4) - 1,0)}{2}$$

$$s_{x,y} = 10,6\ cm$$

Debe cumplir que:

$$5\ cm < s_{x,y} < 15\ cm$$

$$5\ cm < 10,6\ cm < 15\ cm \quad \textbf{"CUMPLE"}$$

- ✓ En el refuerzo longitudinal de las columnas son 4 varillas de 14 mm (esquinas) y 4 varillas de 10 mm (centros), con una separación entre varillas de 10,6 cm.

5.12.3 Acero transversal

Para el refuerzo transversal, vamos a considerar el diámetro de una varilla de 8 mm. Por lo tanto, tengo los siguientes datos:

$$b = h_{c1} = 30\ cm$$

$$h = h_{c2} = 30\ cm$$

$$r = 2,5\ cm$$

$$\varphi_{dl} = 1,4 \text{ cm}$$

$$\varphi_{dt} = 1 \text{ cm}$$

El valor de la longitud de la zona de confinamiento L_o , se obtiene mediante las siguientes expresiones:

$$l_o = h_{c1} = h_{c2} = 30 \text{ cm}$$

$$l_o = \frac{lc}{6} = \frac{270}{6} = 45 \text{ cm}$$

$$l_o = 450 \text{ mm} \approx 45 \text{ cm}$$

Se debe elegir el valor mayor, por ello tenemos que $l_o = 45 \text{ cm}$.

El espaciamiento entre estribos para la zona de confinamiento se da mediante las siguientes fórmulas:

$$s_1 = \frac{h_{c1}}{4} = \frac{h_{c2}}{4} = \frac{30}{4} = 7,5 \text{ cm}$$

$$s_1 = 6 * \varphi_{dl} = 6 * 1,4 = 8,4 \text{ cm}$$

$$s_1 = 10 + \frac{35 - (h_{c1} - r)}{4} = 10 + \frac{35 - (30 - 2,5)}{4} = 11,87 \text{ cm}$$

Se debe elegir el espaciamiento menor, por ello tenemos que el espaciamiento es 7,5 cm. Aunque se adopta $s_1 = 10 \text{ cm}$ por facilidad constructiva.

Ahora para el espaciamiento entre estribos fuera de la zona de confinamiento se da mediante las siguientes fórmulas:

$$s_2 = 6 * \varphi_{dt} = 6 * 1,6 = 9,6 \text{ cm} \approx 10 \text{ cm}$$

$$s_2 = 150 \text{ mm} \approx 15 \text{ cm}$$

Consideramos el espaciamiento menor, por ello tenemos que $s_2 = 10 \text{ cm}$.

En base a estos resultados, realizamos el diseño de los estribos por confinamiento.

$$b_{c1} = b_{c2} = h_{c1} - 2r = 30 - 2 * 2,5 = 25 \text{ cm}$$

$$A_{bc} = b_{c1} * b_{c2} = 25 * 25 = 625 \text{ cm}$$

$$A_g = h_{c1} * h_{c2} = 30 * 30 = 900 \text{ cm}$$

Procedemos a realizar el cálculo del refuerzo transversal mínimo.

$$\frac{A_{sh}}{b_c * s} = 0,3 * \frac{f^c_c}{f_y} * \left(\frac{A_g}{A_{bc}} - 1 \right)$$

$$\frac{A_{sh}}{b_c * s} = 0,3 * \frac{210}{4200} * \left(\frac{900}{625} - 1 \right)$$

$$\frac{A_{sh}}{b_c * s} = 0,0066$$

$$\frac{A_{sh}}{b_c * s} = 0,09 * \frac{f^c_c}{f_y}$$

$$\frac{A_{sh}}{b_c * s} = 0,09 * \frac{210}{4200}$$

$$\frac{A_{sh}}{b_c * s} = 0,0045$$

Para continuar, elegimos la relación mayor. Con ello, despejamos el acero mínimo.

En zona confinada:

$$A_{sh1} = 0,0066 * b_{c1} * s_1$$

$$A_{sh1} = 0,0066 * 25 * 10$$

$$A_{sh1} = 1,65 \text{ cm}^2$$

En zona no confinada:

$$A_{sh2} = 0,0066 * b_{c2} * s_2$$

$$A_{sh1} = 0,0066 * 25 * 10$$

$$A_{sh1} = 1,65 \text{ cm}^2$$

Según los valores de las áreas de acero, optamos por usar 1 estribo de 8mm para las varillas esquineras más 2 vinchas también de 8 mm en forma de cruz para las varillas centrales, con separación según lo establecido. Cabe recalcar que un estribo tiene 2 ramales y cada vincha tiene un ramal.

En zona confinada:

$$A_{sv1 \text{ real}} = \# \text{ ramales} * \text{Area de varilla}$$

$$A_{sv1 \text{ real}} = 4 * 0,503$$

$$A_{sv1 \text{ real}} = 2,01 \text{ cm}^2$$

En zona no confinada:

$$A_{sv2 \text{ real}} = \# \text{ ramales} * \text{Area de varilla}$$

$$A_{sv2 \text{ real}} = 4 * 0,503$$

$$A_{sv2 \text{ real}} = 2,01 \text{ cm}^2$$

Debe cumplir que:

$$A_{sv \text{ real}} > A_{sh}$$

$$2,01 \text{ cm}^2 > 1,65 \text{ cm}^2 \text{ "CUMPLE"}$$

- ✓ En el refuerzo transversal de las columnas son 1 estribo más 2 vinchas de 8 mm @ 10 cm tanto en zona confinada, como fuera de la zona confinada.

5.12.4 Resistencia flexo-compresión

El cálculo de la resistencia axial está dado bajo la fórmula:

$$P_n = 0,85 * f'_c * (A_g - A_{st}) + f_y * A_{st}$$

$$P_n = 0,85 * 210 * (900 - 9,32) + 4200 * 9,32$$

$$Pn = 198130,38 \text{ kg}$$

El valor de Pn debe multiplicarse por el factor de corrección φ que en axial es igual a 0,65.

$$\varphi Pn = 0,65 * 198130,38$$

$$\varphi Pn = 128784,75 \text{ kg}$$

Debe cumplir que:

$$\varphi Pn > Pu$$

$$128784,75 \text{ kg} > 10320,04 \text{ kg} \quad \textbf{"CUMPLE"}$$

5.12.5 Resistencia flexión

El cálculo de la resistencia a flexo compresión se da mediante la formula:

$$Mn = A_{st} * fy \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

Donde:

$$a = \frac{A_{st} * fy}{0.85 * f'_c * b} = \frac{9,32 * 4200}{0,85 * 210 * 30} = 7,31 \text{ cm}$$

$$Mn = 9,32 * 4200 * \left(27,5 - \frac{7,31}{2} \right)$$

$$Mn = 933388,68 \text{ kg} - \text{cm} \approx 9333,88 \text{ kg} - \text{m}$$

El valor de Mn debe multiplicarse por el factor de corrección φ que en axial es igual a 0,9.

$$\varphi Mn = 0,9 * 9333,88$$

$$\varphi Mn = 8400,49 \text{ kg} - \text{m}$$

Debe cumplir que:

$$\varphi Mn > Mu$$

$$8400,49 \text{ kg} - \text{m} > 2615,87 \text{ kg} - \text{m} \quad \textbf{"CUMPLE"}$$

5.12.6 Resistencia al cortante

Para calcular la resistencia del concreto se usa la formula:

$$V_c = 0,53 * \sqrt{f_c} * b * d$$

$$V_c = 0,53 * \sqrt{210} * 30 * 27,5$$

$$V_c = 6336,35 \text{ kg}$$

A continuación, para calcular la resistencia del refuerzo transversal se usa la formula:

$$V_s = \frac{A_{sv} * f_y * d}{s}$$

$$V_s = \frac{2,01 * 4200 * 27,5}{10}$$

$$V_s = 23215,5 \text{ kg}$$

Para calcular la capacidad nominal cortante V_n de la columna se usa la siguiente formula:

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_n = 6336,35 + 23215,5$$

$$V_n = 29551,85 \text{ kg}$$

El valor de V_n debe multiplicarse por el factor de corrección ϕ que en cortante es igual a 0,75.

$$\phi V_n = (0,75)(29551,85)$$

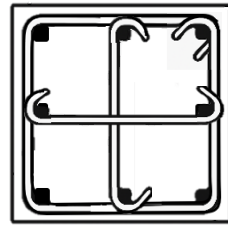
$$\phi V_n = 22163,88 \text{ kg}$$

Debe cumplir que:

$$\phi V_n > V_u$$

$$22163,88 \text{ kg} > 1865,63 \text{ kg} \text{ "CUMPLE"}$$

Ilustración 58. Detalle de la columna



COLUMNA 30X30

- 4 ϕ 14 mm (esquinas)
- 4 ϕ 10 mm (centrales)

1 estribos + 2 vinchas ϕ 8 mm

Autores: Yagual Laura - Hidalgo Ronny

5.13 VERIFICACIONES DE LA VIGA SEGÚN NEC/ACI

La estructura contiene vigas de 20x40, y para su diseño se considerarán las cargas generadas en el primer nivel.

5.13.1 Dimensiones requeridas

El código americano define que la altura mínima de una viga simplemente apoyada se da mediante las expresiones:

$$h_{min} = \frac{Luz\ libre}{10} = \frac{3,06\ m}{10} = 0,306\ m \approx 30\ cm$$

Tomando en cuenta que la altura mínima de la viga es 30 cm, optamos con usar dicho valor.

Respecto a la base, la norma me indica que la dimensión común es de 20 cm o 30 cm.

5.13.2 Acero longitudinal

Para realizar las verificaciones se extraen del programa Etabs los datos de cortante y momento que actúan sobre la viga B103, la cual soporta el momento máximo, que dando los siguientes valores:

Tabla 47. Fuerzas que actúan en la viga B103

Story	Beam	Output Case	Case type	Step type	V2 kN	M3 kN-m
Story1	B103	ENVOLVENTE	Combination	Max	15,928	16,9867
Story1	B103	ENVOLVENTE	Combination	Max	16,4242	12,347
Story1	B103	ENVOLVENTE	Combination	Max	22,973	15,8197
Story1	B103	ENVOLVENTE	Combination	Min	-29,8294	-20,9006
Story1	B103	ENVOLVENTE	Combination	Min	-17,0565	-11,5917
Story1	B103	ENVOLVENTE	Combination	Min	-12,3943	-19,9744

Fuente: (Etabs,2021)

De la tabla anterior se escoge el valor mayor de momento actuante en la viga, obteniendo los siguientes datos:

$$Mu = 20,900 \text{ kN} - m \approx 213120,69 \text{ kg} - cm$$

$$\varphi = 0,9$$

$$fy = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$f^c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$b = 20 \text{ cm}$$

$$h = 30 \text{ cm}$$

$$r = 2,5 \text{ cm}$$

$$d = h - r = 30 - 2,5 = 27,5 \text{ cm}$$

Con las siguientes fórmulas se calcula el área de acero de refuerzo longitudinal que requiere la viga en la sección transversal.

$$k = \frac{0,85 * f^c * b * d}{fy}$$

$$k = \frac{0,85 * 210 * 20 * 27,5}{4200}$$

$$k = 23,38 \text{ cm}^2$$

Este valor, se usa en la expresión:

$$A_s = k * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * Mu}{\varphi * k * d * fy}} \right)$$

$$A_s = 23,38 * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * 213120,69}{0,9 * 23,38 * 27,5 * 4200}} \right)$$

$$A_s = 2,54 \text{ cm}^2$$

Ahora calculamos la cuantía.

$$\rho = \frac{A_s}{b * d}$$

$$\rho = \frac{2,54}{20 * 27,5} = 0,0046$$

El área mínima que se requiera para el refuerzo longitudinal de acero para flexión se determina con el valor mayor entre las siguientes 2 ecuaciones:

$$A_{s \min 1} = \frac{0,8 * \sqrt{f'c}}{f_y} * b * d$$

$$A_{s \min 1} = \frac{0,8 * \sqrt{210}}{4200} * 20 * 27,5 = 1,52 \text{ cm}^2$$

$$A_{s \min 2} = \frac{14}{f_y} * b * d$$

$$A_{s \min 2} = \frac{14}{4200} * 20 * 27,5 = 1,83 \text{ cm}^2$$

Debe cumplir que:

$$A_s > A_{s \min}$$

$$2,54 \text{ cm}^2 > 1,83 \text{ cm}^2 \text{ " CUMPLE"}$$

Ahora calculamos la cuantía mínima:

$$\rho_{\min} = \frac{A_{s \min}}{b * d}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,83}{20 * 27,5} = 0,0033$$

Se chequea que la cuantía calculada sea mayor que la cuantía máxima. Para ello, primero calculamos la cuantía balanceada.

$$\rho_b = 0,85 * \beta * \frac{f^c}{f_y} * \frac{6100}{6100 + f_y}$$

Donde:

$$\beta = 0,85$$

$$\rho_b = 0,85 * 0,85 * \frac{210}{4200} * \frac{6100}{6100 + 4200}$$

$$\rho_b = 0,021$$

Y el valor de la cuantía máxima en zonas sísmicas, la obtenemos de la siguiente manera:

$$\rho_{max} = 0,5 * \rho_b$$

$$\rho_{max} = 0,5 * 0,021$$

$$\rho_{max} = 0,011$$

Debe cumplir que:

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

$$0,0033 < 0,0046 < 0,011 \quad \textbf{"CUMPLE"}$$

Con el valor de la cuantía máxima, podemos calcular el valor de la resistencia nominal máxima, misma que me indica si necesito acero a compresión en la viga.

$$A_{s\ max} = \rho_{max} * b * d$$

$$A_{s\ max} = 0,011 * 20 * 27,5$$

$$A_{s\ max} = 6,05 \text{ cm}^2$$

Debe cumplir que:

$$A_s < A_{s\ max}$$

$$2,54 \text{ cm}^2 < 6,05 \text{ cm}^2 \quad \textbf{"CUMPLE"}$$

A continuación, el valor de la resistencia nominal máxima sale de la expresión:

$$\phi M n_{max} = 0,9 * f_y * A_{s\ max} * \left(d - \frac{f_y * A_{s\ max}}{2 * \beta * f'_c * b} \right)$$

$$\phi M n_{max} = 0,9 * 4200 * 6,05 * \left(27,5 - \frac{4200 * 6,05}{2 * 0,85 * 210 * 20} \right)$$

$$\phi M n_{max} = 547510,76\ kg - cm$$

Debe cumplir que:

$$\phi M n_{max} > M_u$$

$$547510,76\ kg - cm > 213120,69\ kg - cm \text{ "**CUMPLE**"}$$

Debido que se cumple el requisito postulado, indica que la viga no necesita acero a compresión. Aunque por normativa, se debe colocar refuerzo mínimo en la parte superior para control de fisuras, distribución de tensiones, entre otros factores.

Por lo tanto, en la parte inferior se colocará 2 varillas de 14 mm, y en la parte superior 2 varillas de 12 mm, y verificamos si cumple con lo establecido.

$$A_{s\ real} = \# \text{ varillas} * A_{sv}$$

$$A_{s\ real} = 2 * 1,53 = 3,06\ cm^2$$

Debe cumplir que:

$$A_{s\ real} > A_{s\ diseño}$$

$$3,06\ cm^2 > 2,54\ cm^2 \text{ "**CUMPLE**"}$$

- ✓ En el refuerzo longitudinal de las vigas son 2 varillas de 14 mm (inferior) y 2 varillas de 12 mm (superior).

5.13.3 Acero transversal

De la tabla 47, se escoge el valor mayor de cortante que actúa sobre la viga, obteniendo los siguientes datos:

$$V_u = 29,829\ kN$$

$$\varphi = 0,75$$

$$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$b = 20 \text{ cm}$$

$$h = 30 \text{ cm}$$

$$r = 2,5 \text{ cm}$$

$$d = h - r = 30 - 2,5 = 27,5 \text{ cm}$$

Para comprobar que la viga, cumple con la cortante hay que calcular el valor de la cortante nominal máxima, con la siguiente formula:

$$\begin{aligned}\varphi V_{max} &= \varphi \left(\frac{1}{6} * \sqrt{f_c} * b * d + \frac{2}{3} * \sqrt{f_c} * b * d \right) \\ \varphi V_{max} &= (0,75) \left(\frac{1}{6} * \sqrt{210} * 20 * 27,5 + \frac{2}{3} * \sqrt{210} * 20 * 27,5 \right) \\ \varphi V_{max} &= 4981,41 \text{ kg} \approx 48,851 \text{ kN}\end{aligned}$$

Debe cumplir que:

$$\begin{aligned}\varphi V_{max} &> V_u \\ 48,851 \text{ kN} &> 29,829 \text{ kN} \quad \textbf{"CUMPLE"}\end{aligned}$$

Se cumple el requisito establecido por la norma. Continuando, se debe calcular el cortante nominal del concreto, donde primero hallamos la zona donde no necesito estribos.

$$\begin{aligned}\frac{1}{2} \varphi V_c &= \frac{1}{2} * \varphi * \frac{\sqrt{f_c}}{6} * b * d \\ \frac{1}{2} \varphi V_c &= \frac{1}{2} * 0,75 * \frac{\sqrt{210}}{6} * 20 * 27,5\end{aligned}$$

$$\frac{1}{2} \phi V_c = 498,14 \text{ kg} \approx 4,8851 \text{ kN}$$

Hacemos uso la fórmula general para hallar la ecuación de la recta, con la cual podemos encontrar las distancias de cada zona en la viga donde necesites o no estribos.

$$V(x) = mx + b$$

$$V(x) = \frac{-Vu}{\frac{ln}{2}} x + Vu$$

$$V(x) = \frac{-29,829}{\frac{3,06}{2}} x + 29,829$$

$$V(x) = -19,496x + 29,829$$

Reemplazamos:

$$\pm \frac{1}{2} \phi V_c = -19,496x + 29,829$$

$$\pm 4,8851 = -19,496x + 29,829$$

$$x_1 = 1,28 \text{ m} ; x_2 = 1,78 \text{ m}$$

Esa son las distancias, donde no necesito estribos. Ahora aplicamos las mismas expresiones, pero en la zona donde se requiere de acero mínimo.

$$\phi V_c = \left(\frac{1}{2} * \phi * V_c \right) * 2$$

$$\phi V_c = 9,7702 \text{ kN}$$

Reemplazamos:

$$\pm \phi V_c = -19,496x + 29,829$$

$$\pm 9,7702 = -19,496x + 29,829$$

$$x_1 = 1,03 \text{ m} ; x_2 = 2,03 \text{ m}$$

Calculamos el acero mínimo por medio de las siguientes 2 expresiones, según el código.

$$A_{v \min 1} = 0,062 * \sqrt{f'c} * \frac{b * s}{f_y}$$

$$A_{v \min 2} = 0,35 * \frac{b * s}{f_y}$$

Donde:

$$s = \frac{d}{2} = \frac{27,5}{2} = 13,75 \text{ cm.}$$

Por criterio aplicamos la distancia a 15 cm.

$$A_{v \min 1} = 0,062 * \sqrt{21} * \frac{20 * 15}{420}$$

$$A_{v \min 1} = 0,20 \text{ cm}^2$$

$$A_{v \min 2} = 0,35 * \frac{20 * 15}{420}$$

$$A_{v \min 2} = 0,25 \text{ cm}^2$$

Adoptamos $A_{v \min} = 0,25 \text{ cm}^2$. Se utilizará una varilla de 8mm cada 15 cm.

$$A_s = 0,50 \text{ cm}^2$$

Debe cumplir que:

$$A_s > A_{v \min}$$

$$0,50 \text{ cm}^2 > 0,25 \text{ cm}^2 \text{ "CUMPLE"}$$

Ahora con la misma ecuación de la recta, procedemos a calcular el cortante resistido tanto por el hormigón como por el acero.

Donde:

$$x_1 = d = 0,275 \text{ m}$$

$$x_2 = l_n - d = 3,06 - 0,275 = 2,78 \text{ m}$$

$$V(x) = -19,496x + 29,829$$

Reemplazamos:

$$V_1 = 24,5 \text{ kN}$$

$$V_2 = -24,5 \text{ kN}$$

Este valor, debo considerar como el nuevo cortante último, es decir: $V_u = 24,5 \text{ kN}$

Para obtener el cortante nominal, primero hallamos el cortante del acero, donde aplicamos la misma varilla y separación del mínimo anteriormente calculado.

$$\phi V_s = 0,75 * \frac{A_v * f_y * d}{s}$$

$$\phi V_s = 0,75 * \frac{0,50 * 4200 * 27,5}{15}$$

$$\phi V_s = 2887,5 \text{ kg} \approx 28,3167 \text{ kN}$$

Y posterior, calculamos el cortante nominal.

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

$$\phi V_n = 9,7702 + 28,3167$$

$$\phi V_n = 38,086 \text{ kN}$$

Debe cumplir que:

$$\phi V_n > V_u$$

$$38,086 \text{ kN} > 24,5 \text{ kN} \quad \textbf{"CUMPLE"}$$

Considerando que si se cumple el requisito.

- ✓ En el refuerzo transversal de la viga usaremos varillas de 8 mm @ 15 cm, excepto en la zona donde no necesito estribos.

5.13.4 Resistencia flexión

El cálculo de la resistencia a flexión se da mediante la formula:

$$Mn = A_{st} * f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

Donde:

$$a = \frac{A_{st} * f_y}{0,85 * f'_c * b} = \frac{3,06 * 4200}{0,85 * 210 * 20} = 3,6 \text{ cm}$$

$$Mn = 3,06 * 4200 * \left(27,5 - \frac{3,6}{2} \right)$$

$$Mn = 330296,4 \text{ kg} - \text{cm} \approx 3302,96 \text{ kg} - \text{m}$$

El valor de Mn debe multiplicarse por el factor de corrección ϕ que en axial es igual a 0,9.

$$\phi Mn = 0,9 * 3302,96$$

$$\phi Mn = 2972,66 \text{ kg} - \text{m}$$

Debe cumplir que:

$$\phi Mn > Mu$$

$$2972,66 \text{ kg} - \text{m} > 2131,20 \text{ kg} - \text{m} \text{ "CUMPLE"}$$

5.13.5 Resistencia al cortante

En la metodología del acero transversal, ya calculamos el valor de la cortante nominal.

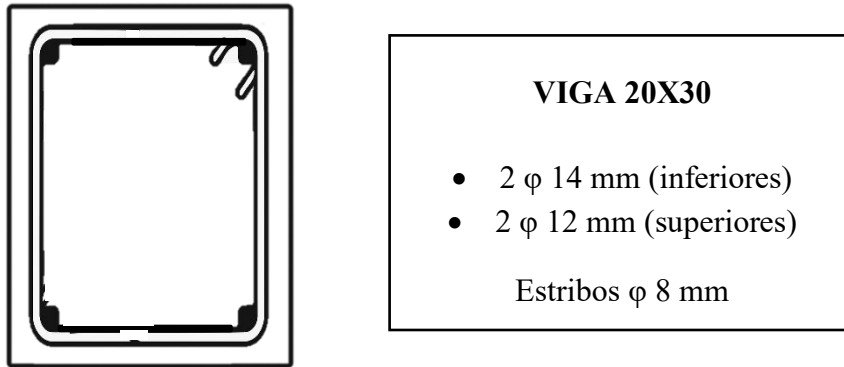
$$\phi Vn = 3563,5 \text{ kg}$$

Debe cumplir que:

$$\phi Vn > Vu$$

$$3563,5 \text{ kg} > 3041,71 \text{ kg} \text{ "CUMPLE"}$$

Ilustración 59. Detalle de la viga



Autores: Yagual Laura - Hidalgo Ronny

5.14 VERIFICACIONES DE LA LOSA SEGÚN NEC/ACI

Para desarrollar las verificaciones se evaluará 1 m² de losa nervada en una dirección, teniendo los siguientes datos:

$$h_{loseta} = 5 \text{ cm}$$

$$b_{loseta} = 100 \text{ cm}$$

$$h_{vigüeta} = 15 \text{ cm}$$

$$b_{vigüeta} = 10 \text{ cm}$$

Bloque alivianante de 40x15 cm

5.14.1 Espesor mínimo

La norma establece que el espesor mínimo, tomando en cuenta que pertenece a la sección de “un extremo continuo”, debe cumplir la siguiente restricción:

$$h_{min} = \frac{ln}{18,5} = \frac{306}{18,5} = 17,5 \text{ cm} < 20 \text{ cm} \text{ "CUMPLE"}$$

El espesor asumido cumple con la relación dada.

5.14.2 Cargas mayoradas

Se requiere la carga mayorada donde interviene tanto la carga viva como la carga muerta y se calculan de la siguiente manera:

$$q_u = 1,2 * W_D + 1,6 * W_L$$

Donde:

$$W_D = 532 \text{ kg/m}^2$$

$$W_L = 200 \text{ kg/m}^2$$

$$q_u = 1,2 * 532 + 1,6 * 200$$

$$q_u = 958,4 \text{ kg/m}^2$$

Se calcula la carga distribuida que esta sobre la losa en un ancho de 50 cm.

$$W_{lineal} = 958,4 * 0.5$$

$$W_{lineal} = 479,2 \text{ kg/m}$$

5.14.3 Momentos negativos y positivos

Los momentos últimos que actúan en la parte superior e inferior de la losa se calculan con las siguientes formulas:

$$Mu^+ = \frac{W * ln^2}{9}$$

$$Mu^+ = \frac{479,2 * 3,06^2}{9}$$

$$Mu^+ = 498,55 \text{ kg} - m$$

$$Mu^- = \frac{W * ln^2}{14}$$

$$Mu^- = \frac{479,2 * 3,06^2}{14}$$

$$Mu^- = 320,50 \text{ kg} - m$$

5.14.4 Acero longitudinal

Con la ecuación que se muestra a continuación se procede a calcular el área de refuerzo longitudinal en el nervio:

$$A_s^+ = \frac{0,9 * d - \sqrt{0,81 * d^2 - \frac{1,8 * Mu}{\gamma * f^c * b}}}{\frac{0,9 * f_y}{\gamma * f^c * b}}$$

Donde:

$$d = h - r = 15 - 2,5 = 12,5 \text{ cm}$$

$$\gamma = 0,85$$

$$f^c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$A_s^+ = \frac{0,9 * 12,5 - \sqrt{0,81 * 12,5^2 - \frac{1,8 * 49855}{0,85 * 210 * 10}}}{\frac{0,9 * 4200}{0,85 * 210 * 10}}$$

$$A_s^+ = 1,18 \text{ cm}^2$$

$$A_s^- = \frac{0,9 * 12,5 - \sqrt{0,81 * 12,5^2 - \frac{1,8 * 32050}{0,85 * 210 * 10}}}{\frac{0,9 * 4200}{0,85 * 210 * 10}}$$

$$A_s^- = 0,73 \text{ cm}^2$$

Tenemos:

$$A_{s \text{ diseño}} = 1,91 \text{ cm}^2$$

Empleando 2 varillas de 12 mm:

$$A_{s \text{ real}} = \# \text{ varillas} * A_{sv}$$

$$A_{s\ real} = 2 * 1,13$$

$$A_{s\ real} = 2,26\ cm^2$$

Debe cumplir que:

$$A_{s\ real} > A_{s\ diseño}$$

$$2,26\ cm^2 > 1,91\ cm^2 \text{ "CUMPLE"}$$

- ✓ En el refuerzo longitudinal de la losa nervada; tanto para el momento positivo como para el momento negativo usaremos varillas de 12 mm.

5.14.5. Acero transversal

En el cálculo del acero para contracción y temperatura se utilizará la siguiente formula:

$$A_{temp} = 0,018 * b_{vigüeta} * h_{loseta}$$

$$A_{temp} = 0,018 * 10 * 5$$

$$A_{temp} = 0,9\ cm^2$$

Empleamos varillas de 8 mm:

$$\# barras = \frac{A_{temp}}{A_{sb}} = \frac{0,9}{0,50} = 1,8 \approx 2\ varillas$$

Para el espaciamiento de las barras se usará la siguiente ecuación:

$$s = \frac{b_{loseta}}{\# barras} = \frac{100}{2} = 50\ cm$$

- ✓ Para el refuerzo transversal de la losa, utilizamos 2 varillas de 8 mm @ 50 cm.

5.14.6 Resistencia flexión

El cálculo de la resistencia a flexión se da mediante la formula:

$$Mn = A_{st} * fy \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

Donde:

$$a = \frac{A_{st} * f_y}{0,85 * f'_c * b} = \frac{2,26 * 4200}{0,85 * 210 * 10} = 5,32 \text{ cm}$$

$$Mn = 2,26 * 4200 * \left(12,5 - \frac{5,32}{2}\right)$$

$$Mn = 93401,28 \text{ kg} - \text{cm} \approx 934,01 \text{ kg} - \text{m}$$

El valor de Mn debe multiplicarse por el factor de corrección ϕ que en axial es igual a 0,9.

$$\phi Mn = 0,9 * 934,01$$

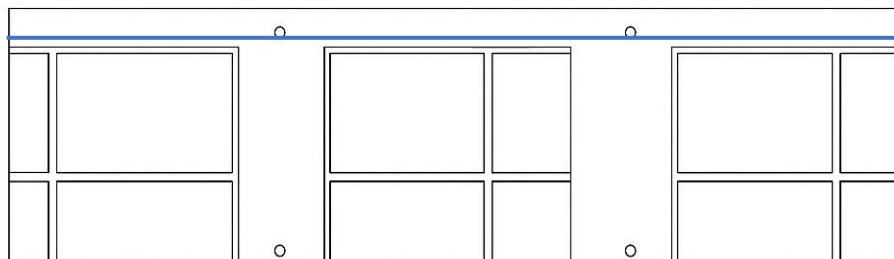
$$\phi Mn = 840,61 \text{ kg} - \text{m}$$

Debe cumplir que:

$$\phi Mn > Mu$$

$$840,61 \text{ kg} - \text{m} > 498,55 \text{ kg} - \text{m} \quad \textbf{"CUMPLE"}$$

Ilustración 60. Detalle de la losa nervada



LOSA NERVADA EN UNA DIRECCIÓN

Espesor: 20 cm

- 1 ϕ 12 mm (superior/inferior)
- 2 ϕ 8 mm

Autores: Yagual Laura - Hidalgo Ronny

CAPITULO VI: PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

6.1 ANÁLISIS DE COSTOS DE LA ESTRUCTURA DEL SISTEMA PORTICADO

El presente capítulo tiene como objetivo fundamental abordar el análisis presupuestario de dos sistemas estructurales de uso común en la construcción: el sistema porticado y el sistema de muro de mampostería estructural. La elección del sistema estructural en un proyecto no solo impacta la seguridad y la funcionalidad de la edificación, sino que también ejerce una influencia determinante sobre el costo total de la obra.

En este apartado, se realizará una comparativa de costos detallada de ambos sistemas, considerando los principales componentes que inciden en su presupuesto, como son los materiales, la mano de obra y los equipos. Es evidente que el sistema porticado es ampliamente reconocido por su facilidad de construcción, el sistema de muro de mampostería presenta características que pueden derivar en ventajas e incluso en desventajas, dependiendo del contexto del proyecto.

El propósito es proporcionar una base para la toma de decisiones, permitiendo identificar cuál de los dos sistemas ofrece la solución más eficiente y rentable desde una perspectiva presupuestaria, sin dejar de lado las consideraciones técnicas las cuales garanticen la durabilidad de la construcción.

6.1.1 Presupuesto referencial

Tabla 48. Presupuesto referencial de la estructura de sistema porticado

PRESUPUESTO REFERENCIAL

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P.U.	Total
1	TRABAJOS PRELIMINARES				
1	Limpieza y desbroce	M2	126,00	\$3,570	\$449,820
2	Trazado y replanteo	M2	126,00	\$1,100	\$138,600
2	MEJORAMIENTO DE SUELO				
3	Excavación a maquina	M3	151,20	\$1,722	\$260,435
4	Relleno, hidratado y compactado con material importado	M3	151,20	\$17,360	\$2.624,832
5	Excavación a mano	M3	29,40	\$24,211	\$711,792
3	ESTRUCTURA				
6	Replanteo Fc= 140 kg/ cm 2 e=0,05	M3	58,80	\$8,310	\$488,628
7	Hormigón Fc= 210 kg/ cm 2 - Cimentación	M3	23,69	\$271,320	\$6.427,571
8	Acero de refuerzo Fy=4200 kg / cm 2	kg	2500,00	\$1,580	\$3.950,000
9	Contrapiso Fc= 210 kg/ cm 2 e=10 cm	M3	126,00	\$27,463	\$3.460,315
10	Paredes de bloque 9	M2	213,17	\$16,880	\$3.598,310
11	Enlucido de paredes	M2	236,89	\$8,200	\$1.942,498
12	Losa de H.A. e= 20 cm, Fy=5000 kg /cm2	M3	221,44	\$47,030	\$10.414,323
13	Escalera H.A. e= 18 cm, Fy=5000 kg /cm2	M3	6,00	\$41,568	\$249,409
<i>Total</i>					\$34.716,533

Autores: Yagual Laura - Hidalgo Ronny

6.1.2 Valor de construcción de estructura por m2

$$\frac{\$34.716,53}{221,44 \text{ m}^2} = \$156,77 * \text{m}^2$$

6.2 ANÁLISIS DE COSTOS DE LA ESTRUCTURA DE MAMPUESTO REFORZADO VERTICALMENTE

6.2.1 Presupuesto referencial

Tabla 49. Presupuesto referencial de la estructura de sistema de mampostería reforzada

PRESUPUESTO REFERENCIAL

<i>Ítems</i>	Descripción	Unidad	Cantidad	P.U.	Total
1	TRABAJOS PRELIMINARES				
1	Limpieza y desbroce	M2	126,00	\$3,570	\$449,820
2	Trazado y replanteo	M2	126,00	\$1,100	\$138,600
2	MEJORAMIENTO DE SUELO				
3	Excavación a maquina	M3	63,00	\$1,722	\$108,515
4	Relleno, hidratado y compactado con material importado	M3	63,00	\$17,360	\$1.093,680
5	Excavación a mano	M3	6,00	\$24,211	\$145,264
3	ESTRUCTURA				
6	Replanteo Fc= 140 kg/ cm 2 e=0,05	M3	58,80	\$8,310	\$488,628
7	Dinteles	M3	1,00	\$18,100	\$18,100
8	Acero de refuerzo Fy=4200 kg / cm 2	kg	9000,00	\$1,500	\$13.500,000
9	Contrapiso Fc= 210 kg/ cm 2 e=10 cm	M3	126,00	\$26,470	\$3.335,220
10	Mampostería estructural	M2	236,89	\$29,880	\$7.078,273
11	Enlucido de paredes	M2	236,89	\$8,090	\$1.916,440
12	Losa de H.A. e= 18 cm, Fy=5000 kg /cm2	M3	221,44	\$47,030	\$10.414,323
13	Escalera H.A. e= 18 cm, Fy=5000 kg /cm2	M3	6,00	\$41,568	\$249,409
TOTAL					\$38.936,272

Autores: Yagual Laura - Hidalgo Ronny

6.2.2 Valor de construcción de estructura por m2

$$\frac{\$38.936,27}{221,44 \text{ m}^2} = \$175,83 * \text{m}^2$$

6.3 ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS

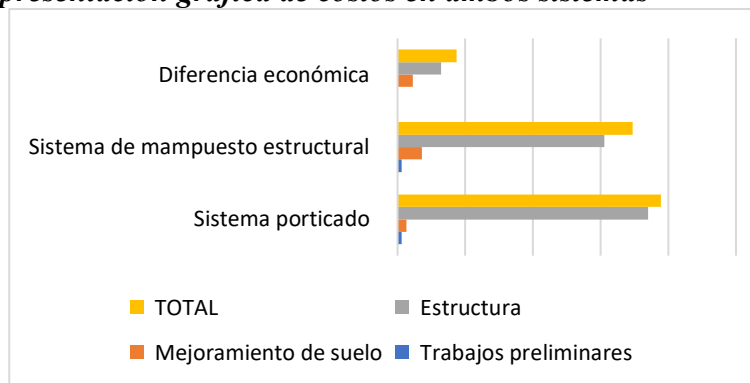
La selección del sistema estructural para un proyecto va más allá que el aspecto técnico. Si bien los criterios de seguridad o durabilidad son importantes, el factor económico no puede ser subestimado.

Tabla 50. Comparacion de costos de ambos sistemas constructivos

Rubro	Sistema porticado	Sistema de mampuesto estructural	Diferencia económica
Trabajos preliminares	\$588,420	\$588,420	\$ 0
Mejoramiento de suelo	\$1.347,458	\$3.597,059	\$ 2.249,60
Estructura	\$37.000,393	\$30.531,054	\$ 6.469,34
TOTAL	\$38.936,272	\$34.716,533	\$ 8.718,94

Autores: Yagual Laura - Hidalgo Ronny

Ilustración 61. Representación gráfica de costos en ambos sistemas



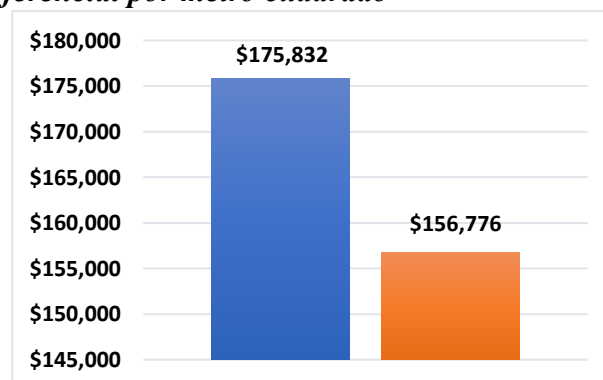
Autores: Yagual Laura - Hidalgo Ronny

Se evidencia que el sistema de muro reforzado verticalmente presenta un costo superior en comparación con el sistema de estructura porticada. Por lo tanto, se afirma que el sistema porticado rige como una opción más rentable y funcional. Si priorizamos la seguridad estructural ante eventos sísmicos, el sistema de mampuestos ofrece muchas ventajas que el sistema de pórticos.

6.4 COSTO POR METRO CUADRADO

En este apartado se obtienen una diferencia de \$ 19,06 por metro cuadrado.

Ilustración 62. Costo referencial por metro cuadrado



Autores: Yagual Laura - Hidalgo Ronny

6.5 CRONOGRAMA DE OBRA

Se presenta el cronograma para cada sistema constructivo.

Tabla 51. Cronograma de obra del sistema de muro estructural

Tabla 52. Cronograma de obra del sistema de pórticos

Autores: Yagual Laura - Hidalgo Ronny

CRONOGRAMA DE OBRA: VIVIENDA MULTIFAMILIAR MIDUVI

120

SISTEMA DE PORTICOS

CRONOGRAMA DE OBRA: VIVIENDA MULTIFAMILIAR MIDUVI

		OCTUBRE					NOVIEMBRE					DICIEMBRE					enero																			
		S1		S2		S3		S4		S5		S6		S7		S8		S9		S10		S11		S12		S9		S10		S11		S12				
ITEM	ACTIVIDADES	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
A	TRABAJOS PRELIMINARES																																			
A.1.	Replanteo y trazado																																			
A.2.	Nivelación																																			
B	MOVIMIENTO DE SUELO																																			
B.1.	Desalojo de material existente - Excavación																																			
B.2.	Producción y transportación de material de relleno y mejoramiento																																			
B.3.	Esparcimiento o extensión de material																																			
B.4.	Hidratado y compactado																																			
C	CIMENTACIÓN																																			
C.1.	Excavación para plintos y riostra de cimentación																																			
C.2.	Encofrado perimetral - Frisos																																			
C.3.	Armado estructural de riostras, contrapiso Y elementos verticales																																			
C.4.	Instalaciones hidrosanitarias y eléctricas																																			
C.5.	Hormigoneado de losa de cimentación																																			
D	ESTRUCTURA Y MAMPOSTERÍA PLANTA BAJA																																			
D.1.	Mampostería armada																																			
D.2.	Encofrado de losa de entrepiso																																			
D.3.	Armado estructural de losa de entrepiso y armado de refuerzo vertical																																			
D.4.	Instalaciones hidrosanitarias y eléctricas previo a fundición																																			
D.5.	Hormigoneado de losa de entrepiso																																			
D.6.	Encofrado estructural de escalera																																			
D.7.	Hormigoneado de escalera																																			
D.9.	Enlucido de pared interior y losa																																			
D.10.	Enlucido de pared exterior																																			
D.11.	Recubrimiento de piso																																			
D.12.	Recubrimiento de pared																																			
D.13.	Pintura interior																																			
D.14.	Pintura exterior																																			

[illegible]

Tabla 53. Números de viviendas construidos en un año

Metodo	N° Meses												TOTAL DE VIVIENDAS
	1° Mes	2° Mes	3° Mes	4° Mes	5° Mes	6° Mes	7° Mes	8° Mes	9° Mes	10° Mes	11° Mes	12° Mes	
Mamposteria Estructural													4
Estructura Tradicional													3

Autores: Yagual Laura - Hidalgo Ronny

En el lapso de un año, el sistema de mampostería estructural se evidencia un total de 4 viviendas. En comparación con el sistema de pórticos, donde presenta 3 viviendas. Como ejemplo práctico, proyectamos dichos métodos constructivos en un lapso de 5 años. Teniendo los siguientes resultados:

Tabla 54. Presupuestos de las viviendas construidas en un lapso de 5 años

PRESUPUESTO EN 5 AÑOS

<i>METODO</i>	<i>PRESUPUESTO POR VIVIENDA</i>	<i>No. DE VIVIENDAS</i>	<i>TOTAL</i>
<i>MAMPOSTERIA ESTRUCTURAL</i>	38936,27	20	778.725,43
<i>ESTRUCTURA TRADICIONAL</i>	34716,53	15	520.748,00

Autores: Yagual Laura - Hidalgo Ronny

CAPITULO VII: ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Con base en los resultados estructurales obtenidos mediante la modelación y evaluación de los sistemas analizados, se lleva a cabo un análisis comparativo entre el sistema de mampostería estructural y el sistema de pórticos. Este estudio abarca tanto el comportamiento ante eventos sísmicos como también un presupuesto referencial; con la finalidad de identificar cuál de las dos alternativas ofrece una solución más eficiente y segura para este tipo de edificaciones multifamiliares.

Tabla 55. Parámetros analizados en ambos sistemas

<i>Parámetros</i>	<i>Sistema Mampostería</i>	<i>Sistema Porticado</i>
<i>Periodo fundamental (seg)</i>	0,06	0,214
<i>Cortante basal estático (kN)</i>	903,673	644,077
<i>Desplazamiento máximo (cm)</i>	0,0515	0,5983
<i>Deriva máxima (%)</i>	0,015	0,233
<i>Torsión excesiva (Si/No)</i>	No	No
<i>Estabilidad estructural (Si/No)</i>	Si	Si
<i>Peso total (Ton)</i>	275,57	220,16
<i>Rigidez total (kN/cm)</i>	17547	1076
<i>Costo estructural (USD)</i>	38.936,27	34.716,53

Autores: Yagual Laura - Hidalgo Ronny

De los resultados del análisis, se contempla que el sistema de mampostería presenta mayor rigidez frente al sistema aporticado. Su periodo fundamental de 0,06 segundos refleja una estructura menos propensa a vibraciones prolongadas.

Además, el sistema de mampostería soporta un cortante basal superior, presentando un desplazamiento máximo bastante bajo; esto implica que la deriva máxima sea mínima. Cabe recalcar, que en ambos sistemas cumplen con las condiciones de estabilidad y no muestran torsión excesiva.

Se muestra que la rigidez total del sistema de mampostería es bastante superior que la del sistema aporticado, lo que indica una capacidad para limitar los desplazamientos ante cargas laterales. Sin embargo, esta mayor rigidez implica un peso total más elevado, misma que podría afectar la demanda sísmica si no se maneja de manera adecuada.

En términos de costo estructural, el sistema porticado tiene un valor referencial aproximado de USD 34.716,53 siendo más económico frente al sistema de muro de mampuesto, que alcanza los USD 38.936,27.

CAPITULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES

- ✓ Se efectuó el modelado y análisis de la vivienda multifamiliar de dos plantas empleando tanto el sistema de muro de mampostería como el sistema de pórticos, mismos que fueron desarrollados en el software Etabs, basándose en normativa ecuatoriana y verificaciones dictaminadas por el código americano, obteniendo así resultados confiables.
- ✓ Los indicadores más representativos del análisis conformado por el sistema de mampuesto con un periodo fundamental de 0,06 segundos, una deriva máxima de 0,015%, una rigidez total de 17,547 kN/cm; reflejando una estructura rígida y estable. En contraste, el sistema porticado mostró desplazamientos mayores y una rigidez menor.
- ✓ El costo estructural para el sistema porticado presenta un valor aproximado de USD 34.716,53, que lo hace en apariencia más económico. Sin embargo, su mayor deterioro y depreciación afectan negativamente la durabilidad y seguridad a largo plazo. En contraste, el sistema de mampostería estructural reforzada, con un costo algo mayor de USD 38.936,27 por vivienda, optimiza el rendimiento de la mano de obra y permite construir un mayor número de viviendas en el mismo periodo: 20 viviendas frente a solo 15 con el sistema porticado. Este ahorro de tiempo en construcción es un factor determinante, ya que incrementa la disponibilidad habitacional, reduce costos indirectos y responde mejor a la demanda social de vivienda. Además, el sistema de mampostería reforzada ofrece un mejor desempeño sísmico, por lo que, pese a su costo ligeramente superior, se consolida como la opción más fiable y segura para proteger la vida humana y asegurar la sostenibilidad constructiva en el tiempo.

8.2 RECOMENDACIONES

- ✓ Es recomendable seguir haciendo uso de software de modelado tridimensional debido que se obtiene una simulación precisa. De igual manera, se sugiere que en futuras investigaciones se incluyan cargas accidentales incluso considerar también el comportamiento no lineal.
- ✓ Implementar el sistema de mampostería reforzada en proyectos de vivienda en zonas sísmicas, debido a su mayor rigidez, menor deriva y mejor comportamiento estructural, lo que garantiza una mayor seguridad para los ocupantes y una vida útil más prolongada de la edificación.
- ✓ Fomentar el uso de sistemas constructivos que optimicen el rendimiento de la mano de obra y reduzcan los tiempos de ejecución, como la mampostería reforzada, ya que permiten construir un mayor número de viviendas en menor tiempo sin comprometer la calidad ni la seguridad estructural.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcocer, S. (1997). *COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA*. Ciudad de Mexico: Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica. Obtenido de https://reconstruir.org.mx/wp-content/uploads/2017/11/4_comportamiento_sismico_de_estructuras_de_mamposteria_una_revision.pdf?utm_source.com
- Alvarez, E., & Lora, F. (2022). *ceso de diseño sismorresistente de edificios de viviendas de mampostería reforzada para zonas de alta peligrosidad sísmica*. Santiago de Cuba: Informes de la Construcción. Obtenido de <https://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/6187>
- Andocilla, J., & Nicola, P. (2019). *Reflexiones sobre las viviendas de interés social en Ecuador*. Milagro: Universidad Estatal de Milagro. Obtenido de <http://repositorio.unemi.edu.ec/handle/123456789/4622>
- Anzellini, M. (2024). *Las ciudades compactas pueden guiar el crecimiento y proteger el planeta y las personas*. Bogota: World Economic Forum.
- Blacio, A. (2016). *Análisis estructural de una vivienda de interés social, existente de hormigón armado sismo resistente, en el Cantón Pasaje*. Machala: Universidad Técnica de Machala.
- Chat, Z. A. (2015). Effect of Vertical Reinforcement on the Behavior of Masonry Walls Subjected to in Plane Lateral Loading. *Research Journal of Engineering Sciences*, 1-6. Obtenido de <https://www.isca.in/IJES/Archive/v4/i2/1.ISCA-RJEngS-2015-004.php>
- Chopra, A. (2012). *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering*. California: Pearson. Obtenido de https://students.aiu.edu/submissions/profiles/resources/onlineBook/c7Z6J6_dynamics%20of%20structures%20engineering.pdf

- Cifuentes, P. (2015). *pensando la ciudad: estrategias de desarrollo urbano sostenible de las ciudades intermedias de América Latina*. Bogota: Revista de Investigacion y Creacion. Obtenido de <https://revistas.uan.edu.co/index.php/nodo/article/view/127>
- Condori, J. (2024). *Sistemas estructurales sismoresistentes de concreto: Tipologías*. Lima: Libre Ingeniera Civil.
- Cunalata, F., & Caiza, P. (2022). *Estado del Arte de Estudios de Vulnerabilidad Sísmica en Ecuador*. Guayaquil: Revista Politecnica. Obtenido de https://www.redalyc.org/journal/6887/688772225006/html/?utm_source=chatgpt.com
- Gomez, D. (22 de Febrero de 2025). Maquinaria y materiales más respetuosos con el medio ambiente. *El Pais*, págs. 10-11. Obtenido de <https://elpais.com/extra/infraestructuras/2025-02-23/maquinaria-y-materiales-mas-respetuosos-con-el-medio-ambiente.html>
- Herrera, J., & Narvaez, J. (2017). *Estudio y propuesta de factibilidad técnica y económica del sistema constructivo denominado Mampostería Reforzada, para vivienda de interés social en Ecuador*. Quito: Repositorio digital EPN. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/18809>
- International Code Council. (2021). *International Building Code*. California: Section 1613. Obtenido de https://core-docs.s3.amazonaws.com/documents/asset/uploaded_file/3836/Lennox/3042180/2021_International_Building_Code.pdf
- Jaramillo, D. (2009). *Análisis comparativo entre sistema aproticado y sistema de paredes portantes de hormigón*. Quito: Repositorio Digital EPN. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1153>
- Leet, K., Uang, C.-M., Lanning, J., & Gilbert, A. (2016). *Structural Analysis*. EE.UU: McGraw-Hill Education.
- Londoño, C. (2006). *PRACTICA COMO ASESOR TECNICO DE MAMPOSTERIA ESTRUCTURAL PARA TODO TIPO DE EDIFICACIONES*. Medellin: Universidad

- Politecnico Colombiano. Obtenido de <https://repositorio.elpoli.edu.co/items/3f62cca0-362e-4666-b348-ab52cbc7f58a>
- Lloor, J., & Ubilla, I. (2024). *Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de una Edificación de 4 Niveles ubicada en Vinces, Provincia de Los Ríos Aplicando la Metodología del ASCE 41-17*. Guayaquil: Repositorio de la Universidad de Guayaquil. Obtenido de <https://repositorio.ug.edu.ec/items/4142ae1d-c9b5-42e2-b040-e2091e077d01>
- Menendez, G. (2023). *Vulnerabilidad sísmica en edificaciones de la ciudad de Portoviejo: Reflexiones del 16-A*. Portoviejo: Revista InGenio. Obtenido de <https://doi.org/10.18779/ingenio.v6i1.565>
- MIDUVI. (2015). *NEC-SE-MP*. Quito: Mamposteria Estructural. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/10.-NEC-SE-MP-Mamposteria-Estructural.pdf>
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2018). *Política pública de vivienda de interés social en el Ecuador*. Quito: MIDUVI. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/>
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2020). *Plan Nacional de Hábitat y Vivienda 2020-2030*. Quito: MIDUVI. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/>
- Paulay, T., & Priestley, M. (1992). *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*. Nueva York: Wiley-Interscience. Obtenido de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9780470172841>
- Quintanilla, R. J. (2021). *Transformación digital de la industria de la construcción a través de la identificación de innovaciones tecnológicas*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/26964>
- Salinas, A. (2012). *Análisis y diseño de vivienda con carácter social y su relación en el costo de construcción*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/items/c1e5a9f8-0d32-45cd-91ad-07a1f5d6d38b>

Serpell, A. (1987). *Innovación tecnológica en la construcción*. Santiago de Chile: Revista de Ingeniería de Construcción. Obtenido de <https://revistaingenieriaconstruccion.uc.cl/index.php/ric/article/view/17897>

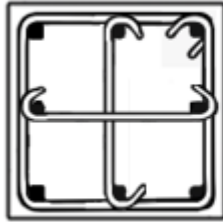
Soler, L. (2019). *Losas, Vigas y Columnas*. Pamplona: Universidad de Pamplona.

Timoshenko, S. (1981). *Teoría de las Estructuras*. Madrid: Urmo S.A. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/359307217/Teoria-de-Las-Estructuras-TIMOSHENKO-YOUNG>

Un Arquitecto. (s.f.). *Guía completa sobre sistemas estructurales: definición y tipos*. N.A: N.A. Obtenido de <https://unarquitecto.com.ar/que-es-un-sistema-estructural/>

ANEXOS

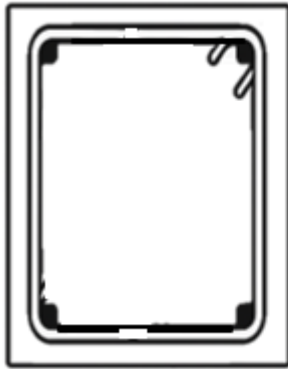
DETALLE DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES DEL EN EL SISTEMA DE PORTICOS Y SISTEMA DE MAMPOSTERIA



COLUMNA 30X30

- 4 ϕ 14 mm (esquinas)
- 4 ϕ 10 mm (centrales)

1 estribos + 2 vinchas ϕ 8 mm



VIGA 20X30

- 2 ϕ 14 mm (inferiores)
- 2 ϕ 12 mm (superiores)

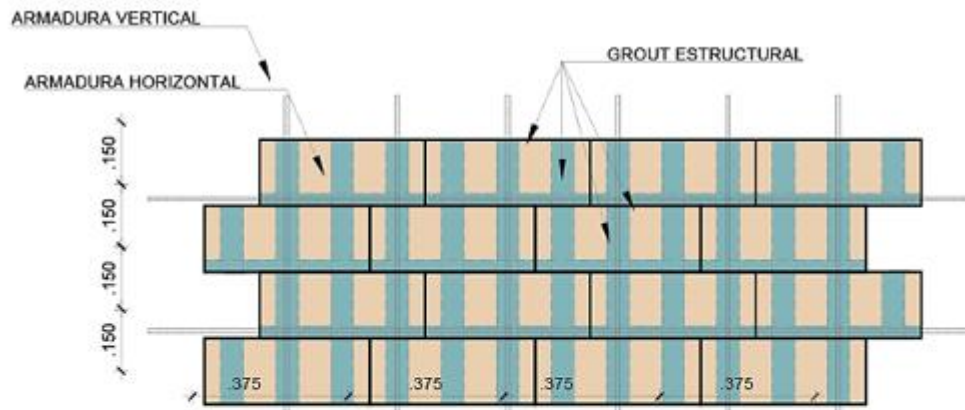
Estribos ϕ 8 mm



LOSA NERVADA EN UNA DIRECCIÓN

Espesor: 20 cm

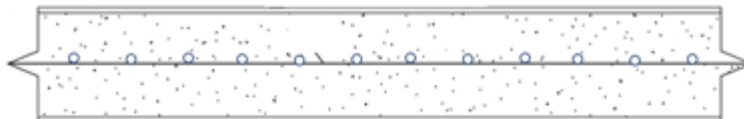
- 1 ϕ 12 mm (superior/inferior)
- 2 ϕ 8 mm



MAMPOSTERIA ESTRUCTURAL

Espesor: 12,5 cm

- 1 ϕ 10 mm @ 25 cm (vertical)
- 1 ϕ 8 mm @ 30 cm (horizontal)



LOSA MACIZA EN DOS DIRECCIONES

Espesor: 18 cm

- Malla de 8 mm

APU- SISTEMA PORTICADO Y SISTEMA DE MAMPOSTERIA

PROYECTO: CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURA DE VIVIENDA MULTIFALIAR DE DOS PLANTAS CON SISTEMA PORTICADO						
ALISIS DE PRECIOS UNITARIOS (APU)						
Rubro	1					
Detalle	Limpieza y desbroce					
Unidad	M2					
Equipos						
Descripción	Cantidad (A)	Tarifa (B)	Costo / hora (C=A*B)	Rendimiento (R)	Costo (D=C*R)	
Herramienta menor (5% mano de obra)					0,0250	
Retroexcavadora	1,0000	35,0000	35,0000	0,0667	2,3333	
SUBTOTAL E					2,3583	
Mano de obra						
Descripción	Cantidad (A)	Tarifa (B)	Costo / hora (C=A*B)	Rendimiento (R)	Costo (D=C*R)	
Peón	1,0000	3,1250	3,1250	0,0667	0,2083	
Maestro	1,0000	4,3750	4,3750	0,0667	0,2917	
SUBTOTAL O					0,5000	
Materiales						
Descripción		Unidad	Cantidad (A)	Precio Unitario (B)	Costo (D=A*B)	
SUBTOTAL M					0,0000	
Transporte						
Descripción		Unidad	Cantidad (A)	Precio Unitario (B)	Costo (D=A*B)	
SUBTOTAL T					0,0000	
TOTAL DE COSTO DIRECTO X=(E+O+M+T)					2,8583	
INDIRECTOS Y UTILIDADES 25%					0,7146	
OTROS INDIRECTOS %						
COSTO TOTAL DEL RUBRO					3,5729	
VALOR OFERTADO					3,57	

PROYECTO: CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURA DE VIVIENDA MULTIFALIAIR DE DOS PLANTAS CON SISTEMA PORTICADO						
ALISIS DE PRECIOS UNITARIOS (APU)						
Rubro	2					
Detalle	Trazado y replanteo					
Unidad	M2					
Equipos						
Descripción	Cantidad (A)	Tarifa (B)	Costo / hora (C=A*B)	Rendimiento (R)	Costo (D=C*R)	
Herramienta menor (5% mano de obra)					0,0281	
Equipo topográfico	1,0000	4,0000	4,0000	0,0481	0,1923	
SUBTOTAL E					0,2204	
Mano de obra						
Descripción	Cantidad (A)	Tarifa (B)	Costo / hora (C=A*B)	Rendimiento (R)	Costo (D=C*R)	
Peon	1,0000	3,1250	3,1250	0,0481	0,1502	
Maestro	1,0000	4,3750	4,3750	0,0048	0,0210	
Topógrafo	1,0000	5,0000	5,0000	0,0481	0,2404	
Cadenero	1,0000	3,1250	3,1250	0,0481	0,1502	
SUBTOTAL O					0,5619	
Materiales						
Descripción	Unidad	Cantidad (A)	Precio Unitario (B)	Costo (D=A*B)		
Tablas de encofrado semidura	U	0,0096	5,1800	0,0498		
Cuarton semiduro	U	0,0144	3,0000	0,0433		
Pintura de caucho	Gl	0,0001	15,7000	0,0020		
Clavo 1 1/2"	Lb	0,0023	1,0000	0,0023		
Cementina	Kg	0,0019	1,6000	0,0031		
SUBTOTAL M					0,1004	
Transporte						
Descripción	Unidad	Cantidad (A)	Precio Unitario (B)	Costo (D=A*B)		
SUBTOTAL T					0,0000	
TOTAL DE COSTO DIRECTO X=(E+O+M+T)					0,8827	
INDIRECTOS Y UTILIDADES 25%					0,2207	
OTROS INDIRECTOS %						
COSTO TOTAL DEL RUBRO					1,1034	
VALOR OFERTADO					1,10	

PROYECTO: CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURA DE VIVIENDA MULTIFALIAR DE DOS PLANTAS CON SISTEMA PORTICADO					
ALISIS DE PRECIOS UNITARIOS (APU)					
Rubro	3				
Detalle	Excavación a maquina				
Unidad	M3				
Equipos					
Descripción	Cantidad (A)	Tarifa (B)	Costo / hora (C=A*B)	Rendimiento (R)	Costo (D=C*R)
Herramienta menor (5% mano de obra)					0,0046
Excavadora	1,0000	50,0000	50,0000	0,0256	1,2821
SUBTOTAL E					1,2866
Mano de obra					
Descripción	Cantidad (A)	Tarifa (B)	Costo / hora (C=A*B)	Rendimiento (R)	Costo (D=C*R)
Peon	1,0000	3,1250	3,1250	0,0256	0,0801
Maestro	1,0000	4,3750	4,3750	0,0026	0,0112
SUBTOTAL O					0,0913
Materiales					
Descripción		Unidad	Cantidad (A)	Precio Unitario (B)	Costo (D=A*B)
SUBTOTAL M					0,0000
Transporte					
Descripción		Unidad	Cantidad (A)	Precio Unitario (B)	Costo (D=A*B)
SUBTOTAL T					0,0000
TOTAL DE COSTO DIRECTO X=(E+O+M+T)					1,3780
INDIRECTOS Y UTILIDADES 25%					0,3445
OTROS INDIRECTOS %					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					1,7225
VALOR OFERTADO					1,72

PROYECTO: CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURA DE VIVIENDA MULTIFALIAIR DE DOS PLANTAS CON SISTEMA DE MAMPOSTERIA REFORZADA VERTICALEMENTE

ALISIS DE PRECIOS UNITARIOS (APU)					
Rubro	1				
Detalle	Limpieza y desbroce				
Unidad	M2				
Equipos					
Descripción	Cantidad (A)	Tarifa (B)	Costo / hora (C=A*B)	Rendimiento (R)	Costo (D=C*R)
Herramienta menor (5% mano de obra)					0,0250
Retroexcavadora	1,0000	35,0000	35,0000	0,0667	2,3333
SUBTOTAL E					2,3583
Mano de obra					
Descripción	Cantidad (A)	Tarifa (B)	Costo / hora (C=A*B)	Rendimiento (R)	Costo (D=C*R)
Peón	1,0000	3,1250	3,1250	0,0667	0,2083
Maestro	1,0000	4,3750	4,3750	0,0667	0,2917
SUBTOTAL O					0,5000
Materiales					
Descripción		Unidad	Cantidad (A)	Precio Unitario (B)	Costo (D=A*B)
SUBTOTAL M					0,0000
Transporte					
Descripción		Unidad	Cantidad (A)	Precio Unitario (B)	Costo (D=A*B)
SUBTOTAL T					0,0000
TOTAL DE COSTO DIRECTO X=(E+O+M+T)					2,8583
INDIRECTOS Y UTILIDADES 25%					0,7146
OTROS INDIRECTOS %					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					3,5729
VALOR OFERTADO					3,57

PROYECTO: CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURA DE VIVIENDA MULTIFILIAR DE DOS PLANTAS CON SISTEMA DE MAMPOSTERIA REFORZADA VERTICALMENTE

ALISIS DE PRECIOS UNITARIOS (APU)					
Rubro	2				
Detalle	Trazado y replanteo				
Unidad	M2				
Equipos					
Descripción	Cantidad (A)	Tarifa (B)	Costo / hora (C=A*B)	Rendimiento (R)	Costo (D=C*R)
Herramienta menor (5% mano de obra)					0,0281
Equipo topográfico	1,0000	4,0000	4,0000	0,0481	0,1923
SUBTOTAL E					0,2204
Mano de obra					
Descripción	Cantidad (A)	Tarifa (B)	Costo / hora (C=A*B)	Rendimiento (R)	Costo (D=C*R)
Peon	1,0000	3,1250	3,1250	0,0481	0,1502
Maestro	1,0000	4,3750	4,3750	0,0048	0,0210
Topógrafo	1,0000	5,0000	5,0000	0,0481	0,2404
Cadenero	1,0000	3,1250	3,1250	0,0481	0,1502
SUBTOTAL O					0,5619
Materiales					
Descripción	Unidad	Cantidad (A)	Precio Unitario (B)	Costo (D=A*B)	
Tablas de encofrado semidura	U	0,0096	5,1800	0,0498	
Cuarton semiduro	U	0,0144	3,0000	0,0433	
Pintura de caucho	Gl	0,0001	15,7000	0,0020	
Clavo 1 1/2"	Lb	0,0023	1,0000	0,0023	
Cementina	Kg	0,0019	1,6000	0,0031	
SUBTOTAL M					0,1004
Transporte					
Descripción	Unidad	Cantidad (A)	Precio Unitario (B)	Costo (D=A*B)	
SUBTOTAL T					0,0000
TOTAL DE COSTO DIRECTO X=(E+O+M+T)					0,8827
INDIRECTOS Y UTILIDADES 25%					0,2207
OTROS INDIRECTOS %					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					1,1034
VALOR OFERTADO					1,10

PROYECTO: CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURA DE VIVIENDA MULTIFALIAR DE DOS PLANTAS CON SISTEMA DE MAMPOSTERIA REFORZADA VERTICALEMENTE						
ALISIS DE PRECIOS UNITARIOS (APU)						
Rubro	3					
Detalle	Excavación a maquina					
Unidad	M3					
Equipos						
Descripción	Cantidad (A)	Tarifa (B)	Costo / hora (C=A*B)	Rendimiento (R)	Costo (D=C*R)	
Herramienta menor (5% mano de obra)					0,0046	
Excavadora	1,0000	50,0000	50,0000	0,0256	1,2821	
SUBTOTAL E					1,2866	
Mano de obra						
Descripción	Cantidad (A)	Tarifa (B)	Costo / hora (C=A*B)	Rendimiento (R)	Costo (D=C*R)	
Peon	1,0000	3,1250	3,1250	0,0256	0,0801	
Maestro	1,0000	4,3750	4,3750	0,0026	0,0112	
SUBTOTAL O					0,0913	
Materiales						
Descripción		Unidad	Cantidad (A)	Precio Unitario (B)	Costo (D=A*B)	
SUBTOTAL M					0,0000	
Transporte						
Descripción		Unidad	Cantidad (A)	Precio Unitario (B)	Costo (D=A*B)	
SUBTOTAL T					0,0000	
TOTAL DE COSTO DIRECTO X=(E+O+M+T)					1,3780	
INDIRECTOS Y UTILIDADES 25%					0,3445	
OTROS INDIRECTOS %						
COSTO TOTAL DEL RUBRO					1,7225	
VALOR OFERTADO					1,72	