

UNIVERSIDAD “SAN FRANCISCO DE QUITO”

Colegio de Ciencias e Ingenierías

Exploración de reforzamiento de una estructura con la técnica de encamisado

José Miguel Vizuite Chiluisa

Ingeniería Civil.

Proyecto Integrador presentada como requisito
para la obtención del título de Ingeniero Civil.

Quito 23 de mayo de 2024.

Universidad San Francisco de Quito

Colegio de Ciencias e Ingenierías

HOJA DE APROBACION DE PROYECTO INTEGRADOR

**Exploración de reforzamiento de una estructura con la
técnica de encamisado**

José Miguel Vizúete Chiluisa

Fabricio Yépez, Ph.D.

Quito, 23 de mayo de 2024

© DERECHOS DEL AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Firma: _____

Nombre: José Miguel Vizúete Chiluisa

Código: 00210150

CI: 1724305725

Lugar: Quito 23 de mayo de 2024.

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

Resumen

El presente trabajo inicia con la ubicación de una estructura de hormigón armado localizada en la provincia del Guayas, la cual consta de una combinación de elementos tipo columna, vigas y muros. Posteriormente se analizaron los requerimientos NEC en esta estructura para conocer el estado actual de la misma frente a cargas sísmicas. Con ayuda de los planos estructurales se replicó el modelo en el software ETABS, en el cual se analizó el comportamiento dinámico de la estructura para identificar las deficiencias en los elementos y comprobar si estos son vulnerables ante un sismo. Tras este análisis se realizó un diagnóstico de la estructura que determinó que, si se necesitaba de reforzamiento, ya que existían fallas de acero longitudinal, cortante en nodos y cortante en el confinamiento de vigas y columnas.

Posteriormente, se buscó una alternativa de reforzamiento estructural para mejorar su desempeño dinámico, por lo que se determinó que la mejor opción es el encamisado de columnas, debido a que hay mano de obra calificada para hacer este tipo de trabajos y no es tan complicada de conseguir como lo es para un reforzamiento con diagonales rigidizadoras u otro tipo de materiales alternativos. El análisis de la nueva configuración de elementos demostró ser una buena solución a las deficiencias encontradas, demostrando que esta se encuentra dentro de los requerimientos que exige la NEC.

Palabras clave: Requerimientos NEC, Vulnerabilidad, Hormigón armado, Reforzamiento, Encamisado, Confinamiento, Cortante, Flexión, Compresión, Fallas.

Abstract

This work begins with the location of a reinforced concrete structure located in the province of Guayas, which consists of a combination of column, beam and wall elements. Subsequently, the NEC requirements of this structure were analyzed in order to know the current state of the structure with respect to seismic loads. With the help of the structural drawings, the model was replicated in ETABS software, in which the dynamic behavior of the structure was analyzed to identify deficiencies in the elements and check if they are vulnerable to an earthquake. After this analysis, a diagnosis of the structure was made, which determined that it was necessary to reinforce it, since there were longitudinal steel failures, shear failures in nodes and shear failures in the confinement of beams and columns.

Subsequently, an alternative structural reinforcement was sought to improve its dynamic behavior, so it was determined that the best option was to sleeve columns, since there is qualified labor to perform this type of work and it is not as complicated to obtain as it is for a reinforcement with stiffening diagonals or other alternative materials. The analysis of the new configuration of elements proved to be a good solution to the deficiencies found, demonstrating that it is within the requirements of the NEC.

Keywords: NEC requirements, Vulnerability, Reinforced concrete, Reinforcement, Jacketing, Confinement, Shear, Flexion, Compression, Failures.

Tabla de contenidos

Resumen.....	5
Abstract.....	6
Tabla de contenidos.....	7
Índice de tablas	10
Índice de figuras.....	11
Capítulo 1: Introducción.	13
1.1 Introducción	13
1.2 Antecedentes.....	13
1.3 Problema.....	14
1.4 Justificación.....	14
1.5 Objetivos	15
1.5.1 Objetivo general	15
1.5.2 Objetivos específicos.....	15
1.6 Hipótesis.....	15
1.6.1 Variable dependiente.....	15
1.6.2 Variable independiente.....	16
Capítulo 2: Marco teórico.	17
2.1 Riesgo sísmico.....	17

2.2 Peligro sísmico.	18
2.3 Vulnerabilidad sísmica.	18
Zonificación Sísmica y Factor Z.	18
Capítulo 3: Metodología	22
3.1 Sistema estructural.	22
3.2 Materiales.	23
3.2.1 Hormigón.	23
3.2.2 Acero de refuerzo.	23
3.3 Estados de carga	23
3.3.1 Carga muerta.	23
3.3.2 Carga Viva.	24
3.3.3 Carga por sismo.	25
3.4 Espectro de respuesta sísmica.	25
3.5 Análisis estático de la estructura.	26
3.6 Análisis dinámico de la estructura.	27
3.7 Control de derivas.	27
3.8 Modelado para realizar la comprobación de diseño por capacidad.	29
3.8.1 Colocación de acero de refuerzo en columnas.	29
3.8.2 Vigas	30
3.8.3 Muros.	32

Capítulo 4: Resultados y Solución.....	33
4.1 Verificación del diseño por capacidad.....	33
4.1.1 Verificación de acero longitudinal en columnas.....	33
4.1.2 Cortante en nudos.....	34
4.1.3 Cortante en estribos.....	35
4.2 Resumen de fallas encontradas.....	35
4.3 Análisis de muros.....	39
4.4 Propuesta de reforzamiento.....	41
4.4.1 Encamisado.....	41
4.4.2 Consideraciones para reforzamiento por encamisado.....	42
4.4.3 Propuesta de encamisado en columnas.....	42
4.5 Análisis de la estructura con encamisao.....	46
4.5.1 Cortante en nudos.....	46
4.5.2 Verificación de acero longitudinal en columnas.....	47
4.5.3 Cortante en estribos.....	49
4.5.3.1 Vigas.....	49
4.5.3.2 Columnas.....	51
Capítulo 5: Conclusiones.....	53
5.1 Conclusiones.....	53
Referencias bibliográficas.....	55

Índice de tablas

Tabla 1: Valores de factor z en función de la zona sísmica.....	19
Tabla 2: Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto Fa	20
Tabla 3: Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca Fd	21
Tabla 4: Comportamiento no lineal de los suelos Fs	21
Tabla 5: Carga muerta utilizada para el diseño.	24
Tabla 6: Peso de cubierta.	24
Tabla 7: Carga viva por ocupación o uso.	25
Tabla 8: Valor Z para zona de ubicación del proyecto.	26
Tabla 9: Factores de amplificación sísmica	26
Tabla 10: Coeficientes para el cálculo del periodo estructural.	26
Tabla 11: Derivas elásticas e inelásticas por piso.	29
Tabla 12: Fallas en análisis de acero longitudinal en columnas.	35
Tabla 13: Resumen de fallas por cortante en nudos, piso 1.	36
Tabla 14: Resumen de fallas por cortante en nudos, piso 2.	37
Tabla 15: Fallas por cortante en estribos.....	39
Tabla 16: Cortante actuante en muros.....	40
Tabla 17: porcentaje de cortante basal absorbido por muros.	40

Índice de figuras.

Gráfico 1: Mapa de zonificación sísmica para el diseño	18
Gráfico 2: Modelado del edificio en software ETABS.....	21
Gráfico 3: Desplazamientos máximos de la estructura.....	27
Gráfico 4: Derivas máximas por piso.	27
Gráfico 5: Secciones transversales de columnas.....	29
Gráfico 6: Configuración de columnas en software ETABS.....	29
Gráfico 7: Configuración de vigas en software ETABS.....	30
Gráfico 8: Cuantía de acero de refuerzo longitudinal en vigas de planta 1, sentido Y.	30
Gráfico 9: Configuración de muros en software ETABS.	31
Gráfico 10: Fallas encontradas en acero de refuerzo longitudinal.....	33
Gráfico 11: Fallas de tipo cortante en nudos.....	33
Gráfico 12: Fallas por cortante.	34
Gráfico 13: Fallas por acero longitudinal en columnas identificadas en planta, piso 2.	35
Gráfico 14: Fallas por cortante en nudos ubicadas en planta, piso 1.....	37
Gráfico 15: Fallas por cortante en nudos ubicadas en planta, piso 2.....	37
Gráfico 16: Fallas por cortante en estribos detalladas en plano.	38
Gráfico 17: Cortante absorbido por muros, eje B.....	39
Gráfico 18: Vista en planta columna 60x50 sección original y reforzada.	42
Gráfico 19: Configuración en ETABS columna 60x50.	42
Gráfico 20: Vista en planta columna 50x60 sección original y reforzada	43
Gráfico 21: Configuración en ETABS columna 50x60	43
Gráfico 22: Vista en planta columna 60x60 sección original y reforzada	43

Gráfico 23: Configuración en ETABS columna 60x60.	44
Gráfico 24: Vista en planta columna 60x60 sección original y reforzada.	44
Gráfico 25: Configuración en ETABS columna 60x60.	44
Gráfico 26: Vista en planta columna 60x60 sección original y reforzada.	45
Gráfico 27: Configuración en ETABS columna 60x60	45
Gráfico 28: Cortante en nudos con elementos reforzados	46
Gráfico 29: Acero longitudinal con elementos reforzados - Eje F.....	47
Gráfico 30: Acero longitudinal con elementos reforzados - Eje H.....	47
Gráfico 31: Cortante en estribos con elementos reforzados Eje B	49
Gráfico 32: Cortante en estribos con elementos reforzados Eje H.....	49
Gráfico 33: Cortante de estribos en columnas con elementos	51

Capítulo 1: Introducción.

1.1 Introducción

La importancia del presente trabajo se centra en el análisis sismorresistente de una edificación de tipo esencial con el fin de detectar irregularidades en el diseño y proponer una alternativa de reforzamiento como solución a las mismas, cabe mencionar que no se llegará hasta el tema de diseño definitivo y planos, sino a un anteproyecto de reforzamiento. La estructura de hormigón armado a analizarse corresponde a un establecimiento educativo de 3 plantas ubicado en la ciudad de Guayaquil. Para ello se examinaron detalladamente los planos estructurales de la edificación con el objeto de obtener información importante para replicar el modelo en el software ETABS.

Finalmente, con los resultados obtenidos del análisis sísmico se propone una alternativa de reforzamiento adecuada, esto con la finalidad de verificar que las fallas estructurales encontradas hayan desaparecido, garantizando así un diseño correcto que garantiza la integridad de dicha estructura y la seguridad de sus ocupantes.

1.2 Antecedentes

El Ecuador se encuentra geográficamente ubicado dentro del cinturón de fuego del pacífico, donde se libera el 90% de la energía sísmica total del planeta. Como consecuencia, existe un gran número de eventos sísmicos con magnitudes considerables que llegan a causar daños en la estructura de las edificaciones en el territorio. Esta alta amenaza sísmica revela que históricamente, el país ha atravesado por una gran cantidad de este tipo de eventos que lamentablemente han generado grandes pérdidas de tipo humana, económica y material.

Sumado a esto, la mayoría de las construcciones en el país presentan una alta vulnerabilidad sísmica debido a razones como antigüedad de la edificación, construcción informal, los sistemas constructivos, calidad de materiales o la falta de cumplimiento en el diseño estructural. Esta información revela la importancia de estudiar las construcciones a fin de determinar su vulnerabilidad, esto con el objetivo de proponer soluciones estructurales que ayuden a mejorar su desempeño ante eventos sísmicos futuros, y así garantizar la integridad estructural.

Como casos críticos, en donde las estructuras no pueden dejar de lado su funcionamiento tras un evento sísmico, son las estructuras esenciales o de ocupación especial. Estas son comprendidas por edificaciones como establecimientos educativos, hospitales, destacamentos policiales y de bomberos, entre otras.

1.3 Problema

Dadas las razones por las que la seguridad sísmica de una estructura se vea comprometida, se desea conocer si una estructura de hormigón armado tipo, cumple o no con la filosofía de diseño sismo resistente NEC-15, de no hacerlo, se hará un primer acercamiento de reforzamiento por la técnica de encamisado.

1.4 Justificación

Las estructuras de hormigón armado representan la mayor cantidad de construcciones que existen en el Ecuador. El comportamiento estructural ante cargas sísmicas debe cumplir con los requerimientos de la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15. La propuesta de reforzamiento estructural se basa los requerimientos detallados en el capítulo de evaluación y

rehabilitación de estructuras. Esto representará un beneficio para los ocupantes del edificio que a diario se encuentran dentro de sus instalaciones, garantizando así su seguridad.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

- Evaluar el cumplimiento de las normas NEC en el diseño de una estructura de hormigón armado tipo, y en caso de requerirse, realizar un primer acercamiento a lo que reforzamiento de estructuras se refiere

1.5.2 Objetivos específicos

- Revisar la seguridad sísmica de una estructura de hormigón armado tipo existente.
- Explorar su reforzamiento mediante la alternativa de aplicación de encamisado en sus columnas.

1.6 Hipótesis

La incorporación de un encamisado en columnas como parte de un reforzamiento estructural permitirán un desempeño superior garantizando la integridad estructural y la seguridad de sus ocupantes.

1.6.1 Variable dependiente

Seguridad sísmica ante eventos sísmicos.

1.6.2 Variable independiente

Implementación de una solución técnica basada en reforzamiento.

Capítulo 2: Marco teórico.

2.1 Riesgo sísmico.

El termino riesgo sísmico hace referencia a la probabilidad de ocurrencia de daños estructurales debido a movimientos súbitos del suelo dentro de un periodo de tiempo y región determinados. De acuerdo con la United Nations Disaster Relief Organization UNDRO, El riesgo sísmico se mide en base a ciertos aspectos tales como la peligrosidad sísmica, vulnerabilidad de las estructuras, exposición o densidad de estructuras y población y finalmente el coste de reparación de pérdidas (Carreño, Cardona, & Barbat, 2005). Es decir, hace referencia a las posibles consecuencias económicas, sociales y ambientales que podrían sufrir debido a este tipo de eventos.

El Ecuador es un país que geográficamente se encuentra ubicado dentro de una zona de subducción, a pocas decenas de kilómetros del contacto entre las placas de nazca y Sudamericana, consideradas como una de las zonas con más actividad sísmica del planeta (Moncayo, 2016). Este hecho hace que el país haya atravesado por eventos sísmicos de gran magnitud, que de acuerdo con los datos históricos se pueden nombrar al terremoto ocurrido el 31 de enero de 1906 con un epicentro localizado a 100 km de la costa ecuatoriana, El sismo del 4 de agosto de 1998 que afecto a Bahía de Caráquez y al terremoto ocurrido en Pedernales el 16 de abril de 2016 a una profundidad de 20km (Cunalata & Caiza, 2022). Esta serie de eventos dan a conocer la alta amenaza sísmica existente en el país y la importancia de tomar acciones adecuadas para la mitigación de riesgos.

2.2 Peligro sísmico.

El peligro sísmico por su parte hace referencia a la probabilidad de que se den eventos sísmicos de carácter importante en un tiempo y región determinados. Estos eventos son el resultado de la interacción de las placas tectónicas que, en el caso del Ecuador, se encuentra en el cinturón de fuego del Pacífico, en donde se concentra alrededor del 90% de la energía sísmica del planeta. Dentro del país se encuentran fallas de tipo corticales y de subducción, esta última genera sismos cerca de la costa ecuatoriana, mientras que las corticales generalmente se encuentran distribuidas por los andes (Amaguaya, 2022). Este sistema de fallas ha desencadenado una serie de eventos telúricos que una vez más, evidencian la alta peligrosidad sísmica existente a lo largo del país.

2.3 Vulnerabilidad sísmica.

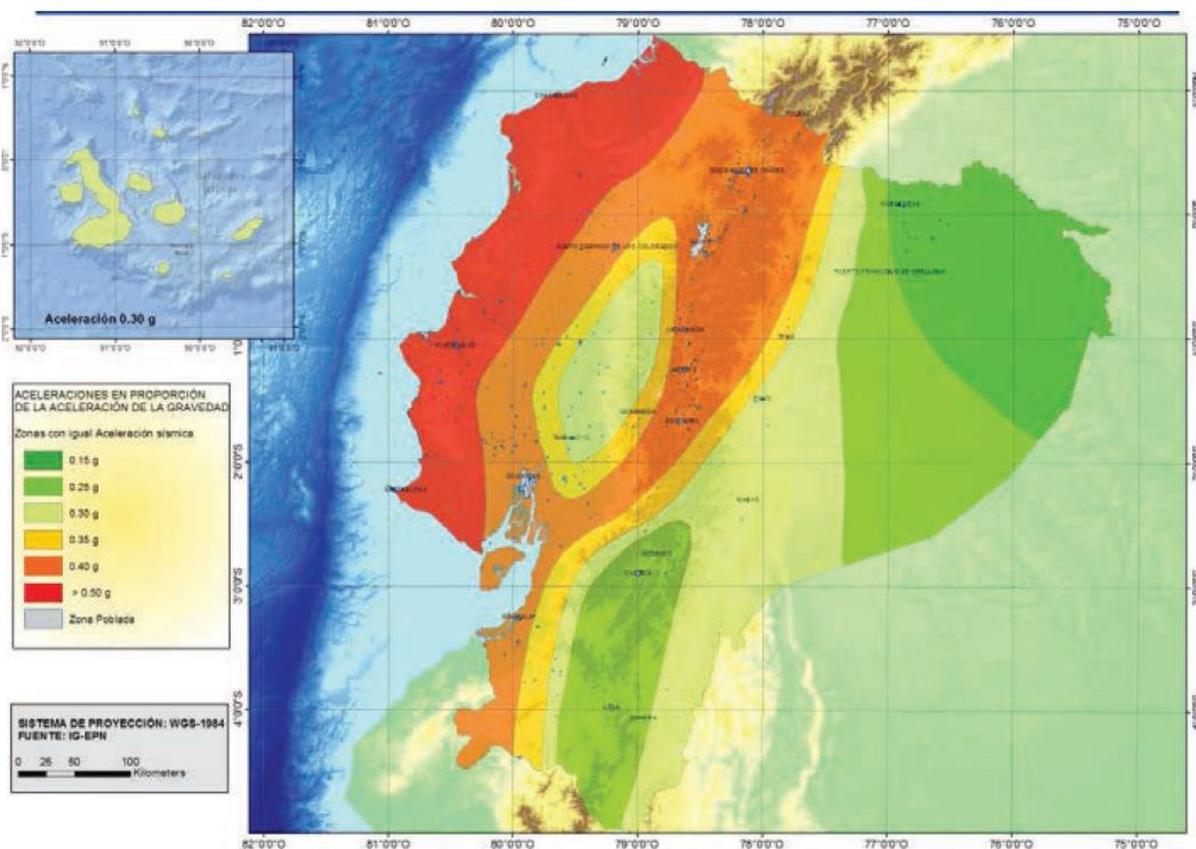
La vulnerabilidad sísmica se centra en el grado de daño que puede llegar a sufrir una estructura al estar sometida a un sismo de determinadas características. Gracias a esto se pueden clasificar edificaciones como más o menos vulnerables de acuerdo con el potencial daño al que se encontrarían expuestos (Yepez, Barbat, & Canas, 1995). Esta tiene mucho que ver con el peligro sísmico, pues a partir de ella se cuantifica el riesgo que una zona presenta para las edificaciones y población presentes.

Zonificación Sísmica y Factor Z.

En el Ecuador la norma ecuatoriana de la construcción NEC-15, específicamente en la NEC-SE-DS subsección 3.1.1, se presenta un mapa de zonificación sísmica para un sismo de

diseño con un periodo de retorno de 475 años. Este mapa muestra en términos generales, la aceleración máxima esperada en roca para el sismo de diseño, expresada como una fracción de la gravedad.

Gráfico 1: Mapa de zonificación sísmica para el diseño



fuentes: Norma Ecuatoriana de la Construcción.

Tabla 1: Valores de factor z en función de la zona sísmica

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

fuentes: Norma Ecuatoriana de la Construcción.

A su vez, la norma proporciona los coeficientes de perfil de suelo, que en resumen hacen referencia a la amplificación que la señal sísmica tendría en el suelo, para ello se nombran tres coeficientes: Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto F_a , Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca F_d , y Comportamiento no lineal de los suelos F_s .

Tabla 2: Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto **F_a**.

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥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	0.85
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y la sección 10.5.4					

fuentes: Norma Ecuatoriana de la Construcción.

Tabla 3: Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca **F_d**.

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥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	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

fuentes: Norma Ecuatoriana de la Construcción.

Tabla 4: Comportamiento no lineal de los suelos **F_s**.

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥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	1.40
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

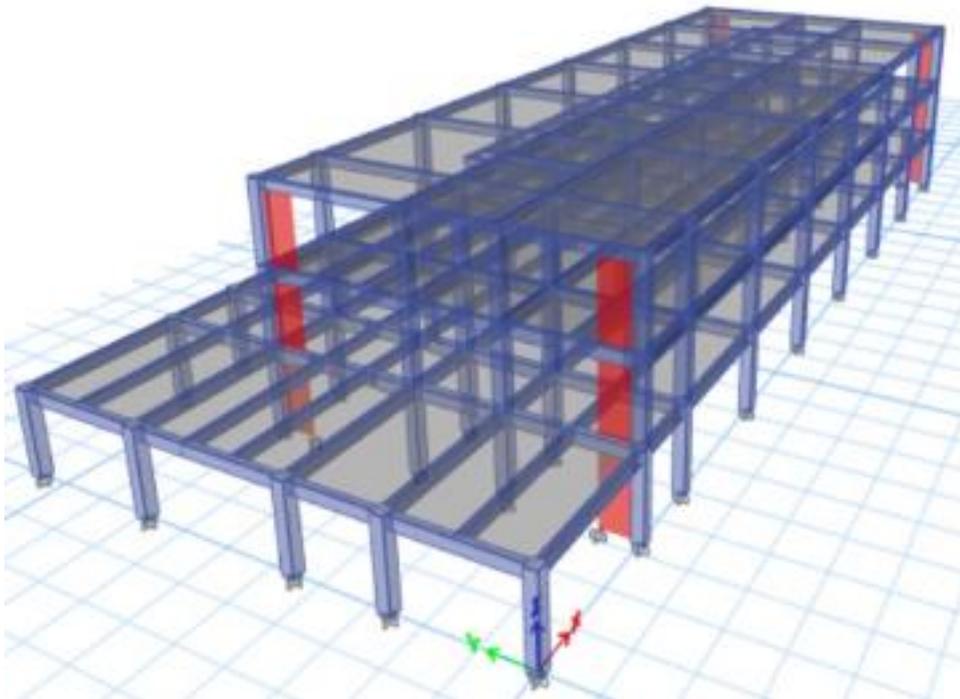
fuentes: Norma Ecuatoriana de la Construcción.

Capítulo 3: Metodología

3.1 Sistema estructural.

La estructura seleccionada es de hormigón armado en su totalidad, la cual posee 3 pisos y una cubierta, la estructura presenta una irregularidad en la primera planta dado que a partir de ella los siguientes pisos reducen su área. La estructura además presenta un total de 9 vanos en la dirección Y y 5 vanos en la dirección X. la altura entre pisos es de 4.55 metros en el primer piso y de 4.2 metros en los pisos restantes.

Gráfico 2: Modelado del edificio en software ETABS.



fuelle: Elaboración propia, ETABS.

3.2 Materiales.

3.2.1 Hormigón.

De acuerdo con los planos de diseño estructural la resistencia a la compresión del hormigón usado para este edificio fue de 210 kg/cm². De acuerdo con la American Concrete Institute ACI318-19 la expresión usada para el cálculo del módulo de elasticidad E_c fue la siguiente:

$$E_c = 15100\sqrt{f'c}$$

Donde $f'c$ es la resistencia a la compresion en kg/cm²

Con esto, al reemplazar los datos se obtiene que el módulo de elasticidad a usarse tiene un valor de 218819.8 kg/cm²

3.2.2 Acero de refuerzo.

El acero de refuerzo disponible en el país está de acorde con la norma ASTM A615-gr60 que tiene características como: esfuerzo fluencia f_y igual a 4200 kg/cm² y Modulo de elasticidad Es igual a 2038901.9 kg/cm².

3.3 Estados de carga

3.3.1 Carga muerta

Las cargas muertas comprenden el peso propio de la estructura, el peso de paredes, enlucido de paredes, instalaciones, recubrimientos y misceláneos. De manera adicional, se toman en cuenta los pesos de los equipos de aire acondicionado que se ubican en el último piso y el

peso de 3 paneles solares que se ubican en la losa de la primera planta, cada uno con un peso de 70 kg.

Tabla 5: Carga muerta utilizada para el diseño.

Elemento	Peso [kg/m ²]
Paredes	200
Enlucido	30
Recubrimientos	70
Instalaciones	60
Misceláneos	20
Total, carga muerta	380

fuelle: Elaboración propia.

El modelado de la cubierta tuvo en cuenta el peso propio de toda la estructura de cubierta aplicada en un área plana, para ello se obtuvo el peso total y se la distribuyo en el área que ocupaba.

Tabla 6: Peso de cubierta.

ESTRUCTURA DE CUBIERTA												
VIGAS + CORREAS							CANT.	1	UNIDAD(ES)	P.TOTAL (Kg)	10738,34	
							PESEO UNITARIO (Kg)				10738,34	
18	VIGA VM - TUBO RECTANGULAR	200	x	300	x	3			8650	13,67	118,25	2128,42
8	VIGA VM - TUBO RECTANGULAR	200	x	200	x	3			3940	13,67	53,86	430,88
4	VIGA VM - TUBO RECTANGULAR	200	x	300	x	3			12390	13,67	169,37	677,49
2	VIGA VM - TUBO RECTANGULAR	200	x	100	x	3			14600	13,67	199,58	399,16
4	VIGA VM - TUBO RECTANGULAR	200	x	200	x	3			8040	13,67	109,91	439,63
2	VIGA VM - TUBO RECTANGULAR	200	x	200	x	3			39390	13,67	538,46	1076,92
1	CORREAS - TUBO RECTANGULAR	100	x	50	x	3			154840	6,60	1021,94	1021,94
1	CORREAS - TUBO RECTANGULAR	100	x	50	x	3			137250	6,60	905,85	905,85
1	CORREAS - TUBO RECTANGULAR	100	x	50	x	3			128445	6,60	847,74	847,74
1	CORREAS - TUBO RECTANGULAR	100	x	50	x	3			119655	6,60	789,72	789,72
1	CORREAS - TUBO RECTANGULAR	100	x	50	x	3			110830	6,60	731,61	731,61
1	CORREAS - TUBO RECTANGULAR	100	x	50	x	3			102045	6,60	673,50	673,50
1	CORREAS - TUBO RECTANGULAR	100	x	50	x	3			99255	6,60	615,48	615,48
1	CORREAS - TUBO RECTANGULAR	100	x	50	x	3				6,60	0,00	0,00
CANT.	DIMENSIONES (mm)						LONGITUD (mm)	PESEO LINEAL (Kg/m)	P. UNIT. (Kg)	P. TOTAL (Kg)		

fuelle: Elaboración propia.

3.3.2 Carga Viva.

Para cargas vivas se hizo uso de la NEC-SE-CG, sección 4.2 subsección 4.2.1, tabla 9 (Sobrecargas mínimas uniformes distribuidas y concentradas) como nuestra estructura es de uso educativo usamos la carga uniforme destinada para este tipo de edificaciones, la cual es de 2 kN/m²

para aulas, 4 kN/m² para corredores de segundo piso y superiores y 4.8 kN/m² para corredores de primer piso.

Tabla 7: Carga viva por ocupación o uso.

Ocupación o Uso	Carga uniforme (kN/m ²)	Carga concentrada (kN)
Soportes para luces cenitales y cielos rasos accesibles		0.90
Unidades educativas		
Aulas	2.00	4.50
Corredores segundo piso y superior	4.00	4.50
Corredores primer piso	4.80	4.50
Veredas, áreas de circulación vehicular y patios que puedan estar cargados por camiones	12.00	35.60 ^a
^a La carga concentrada de rueda será aplicada en un área de 100 mm x 100 mm		

fuentes: Norma Ecuatoriana de la Construcción.

3.3.3 Carga por sismo.

De acuerdo con la NEC la carga por sismo se determina mediante el método del cortante basal, en la cual se obtiene la carga reactiva, que es el peso muerto de la estructura multiplicada por un coeficiente sísmico derivado del análisis estático y dinámico.

3.4 Espectro de respuesta sísmica.

La NEC en el capítulo de riesgo sísmico detalla los pasos a seguir para el cálculo de la respuesta sísmica, siguiendo el mapa de zonificación sísmica. Para ello se toma en cuenta la ubicación del proyecto y el tipo de suelo sobre el cual se sitúa. La tabla a continuación muestra el valor z y los coeficientes de amplificación sísmica para un suelo tipo C en donde se encuentra la cimentación más profunda de la estructura.

Tabla 8: Valor Z para zona de ubicación del proyecto.

POBLACIÓN	PARROQUIA	CANTÓN	PROVINCIA	Z
LA PUNTILLA	SAMBORONDON	SAMBORONDON	GUAYAS	0.40

fuelle: Norma Ecuatoriana de la Construcción.

Tabla 9: Factores de amplificación sísmica

Factor	Valor
Fa	1.2
Fd	1.11
Fs	1.11

fuelle: NEC-15, Elaboración propia.

3.5 Análisis estático de la estructura.

Mediante este análisis se busca encontrar el coeficiente sísmico aplicable para la estructura, para ello se sigue el procedimiento detallado en la NEC, partiendo con el periodo fundamental de la estructura, a partir de la siguiente expresión:

$$T_e = C_t * h_n^a$$

Para ello se parte de la siguiente información detallada en la NEC.

Tabla 10: Coeficientes para el cálculo del periodo estructural.

Tipo de estructura	C _t	α
Estructuras de acero		
Sin arriostamientos	0.072	0.8
Con arriostamientos	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

fuelle: Norma Ecuatoriana de la Construcción.

De esta manera se tiene que el periodo de la estructura es de 0.38 segundos. Seguidamente se calcula el espectro y el coeficiente sísmico correspondiente a este periodo estructural

$$T_c := 0.55 \cdot F_s \cdot \frac{F_d}{F_a} \cdot s = 0.565 \text{ s}$$

Dado que $T_e < T_c$:

$$S_{ae} := \eta \cdot z \cdot F_a = 0.864$$

$$V_e := \frac{I \cdot S_{ad}}{R \cdot \phi_P \cdot \phi_E} = 0.156$$

3.6 Análisis dinámico de la estructura.

El análisis dinámico se obtiene del software ETABS de cual se obtiene un Periodo estructural de 0.542 segundos. Seguidamente se calcula el espectro y el coeficiente sísmico correspondientes.

$$T_c := 0.55 \cdot F_s \cdot \frac{F_d}{F_a} \cdot s = 0.565 \text{ s}$$

Dado que $T_e < T_c$:

$$S_{ad} := \eta \cdot z \cdot F_a = 0.864$$

$$V_d := \frac{I \cdot S_{ad}}{R \cdot \phi_P \cdot \phi_E} = 0.156$$

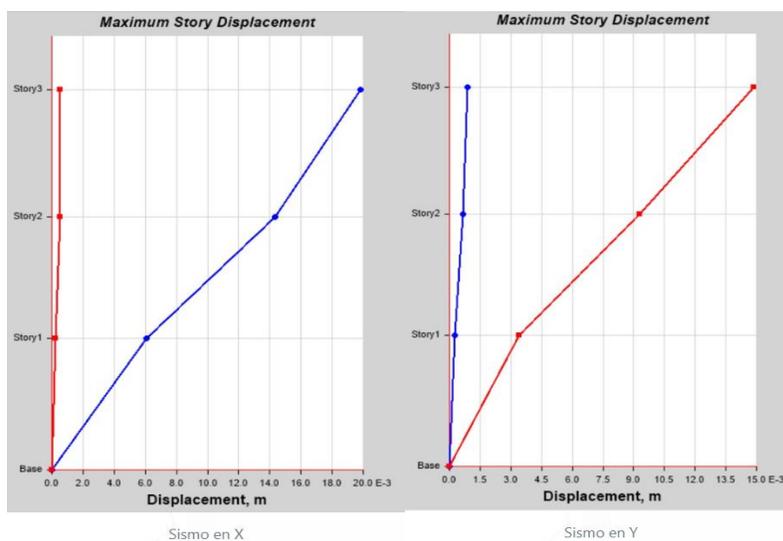
En respuesta, se puede comprobar que el cortante basal obtenido del análisis dinámico es mayor al 80% del cortante basal obtenido del análisis estático. Esto debido a que los coeficientes sísmicos son los mismos en ambos casos.

3.7 Control de derivas.

El control de derivas se realiza de acuerdo con los requerimientos de la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC, para ello, se parte de los desplazamientos máximos y de la altura de piso

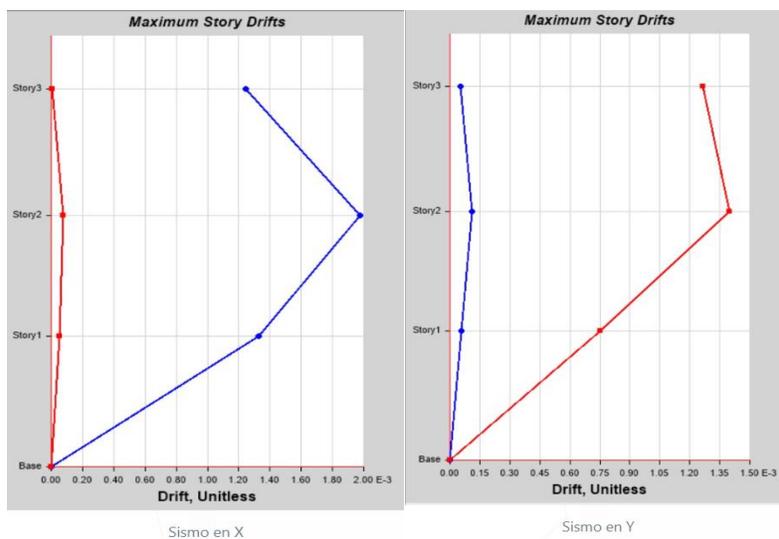
correspondiente. Del modelo de la estructura en ETABS se obtienen directamente los valores y gráficas de las derivas inelásticas y desplazamientos máximos por piso como se muestra en las figuras a continuación.

Gráfico 3: Desplazamientos máximos de la estructura.



fente: Elaboración propia, ETABS.

Gráfico 4: Derivas máximas por piso.



fente: Elaboración propia, ETABS.

De acuerdo con la NEC, las derivas inelásticas deben ser controladas y estas deben encontrarse por debajo del límite establecido del 2%, para ello, la norma establece a las derivas inelásticas de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\Delta_I = 0.75 * R * \Delta_E$$

A continuación, se muestran las derivas por piso elásticas e inelásticas de la estructura:

Tabla 11: Derivas elásticas e inelásticas por piso.

Piso	Derivas en X		Derivas en Y	
	Elásticas	Inelásticas	Elásticas	Inelásticas
1	0,133%	0,797%	0,075%	0,451%
2	0,197%	1,184%	0,140%	0,839%
3	0,125%	0,748%	0,127%	0,760%

fuentes: Elaboración propia, ETABS.

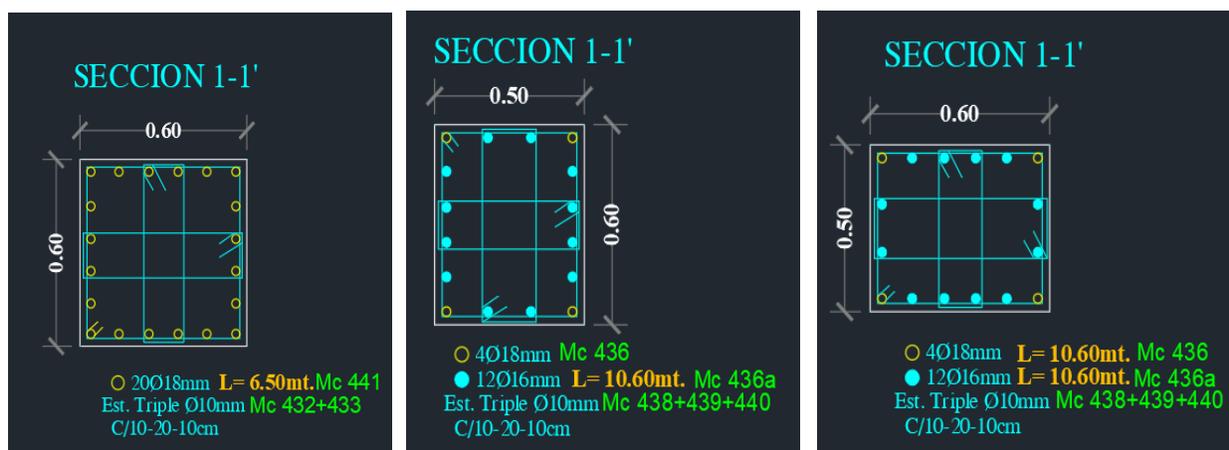
Se observa que los valores obtenidos están por debajo del límite establecido por la NEC.

3.8 Modelado para realizar la comprobación de diseño por capacidad.

3.8.1 Colocación de acero de refuerzo en columnas.

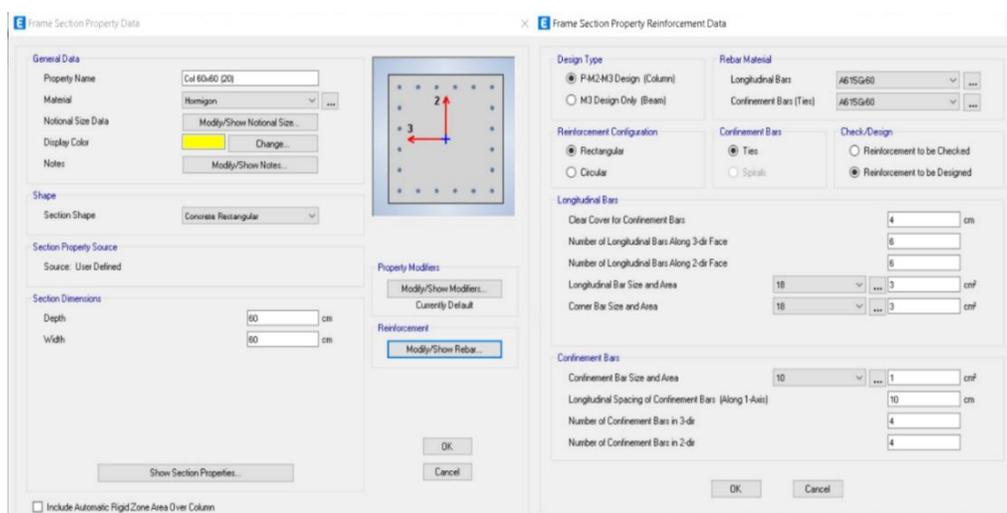
Para la colocación del acero de refuerzo en las columnas, a partir de los planos se ingresan los datos del número de varillas, tanto horizontales como verticales con su respectivo confinamiento. Este mismo procedimiento se realiza con todas las columnas de la estructura.

Gráfico 5: Secciones transversales de columnas.



fuelle: Planos Estructurales.

Gráfico 6: Configuración de columnas en software ETABS.

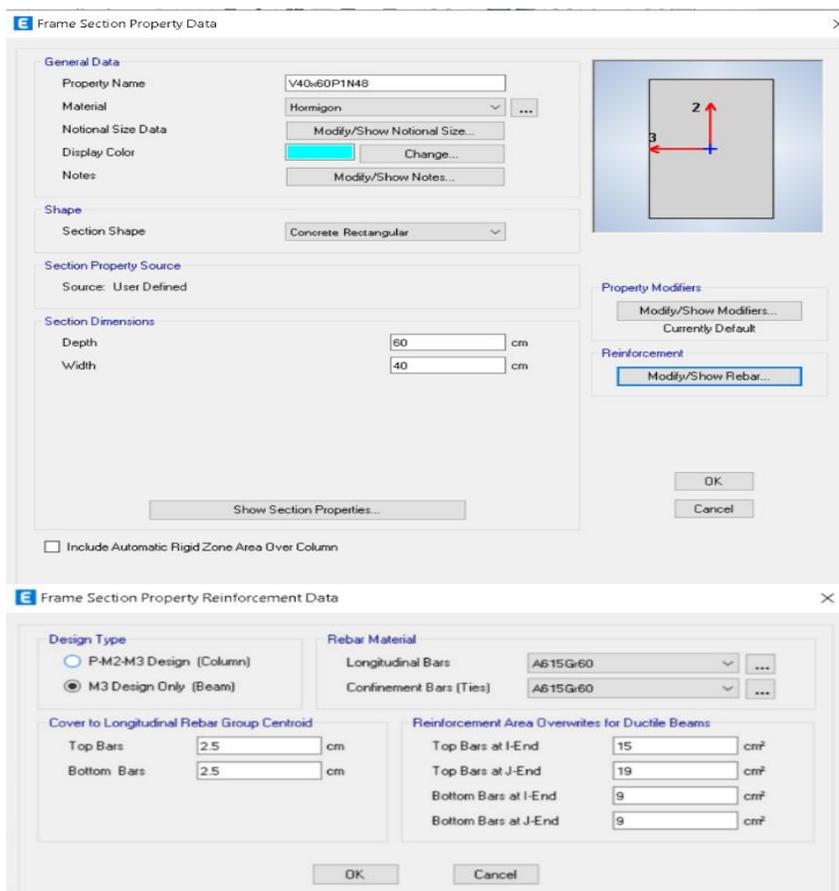


fuelle: Elaboración propia, ETABS.

3.8.2 Vigas

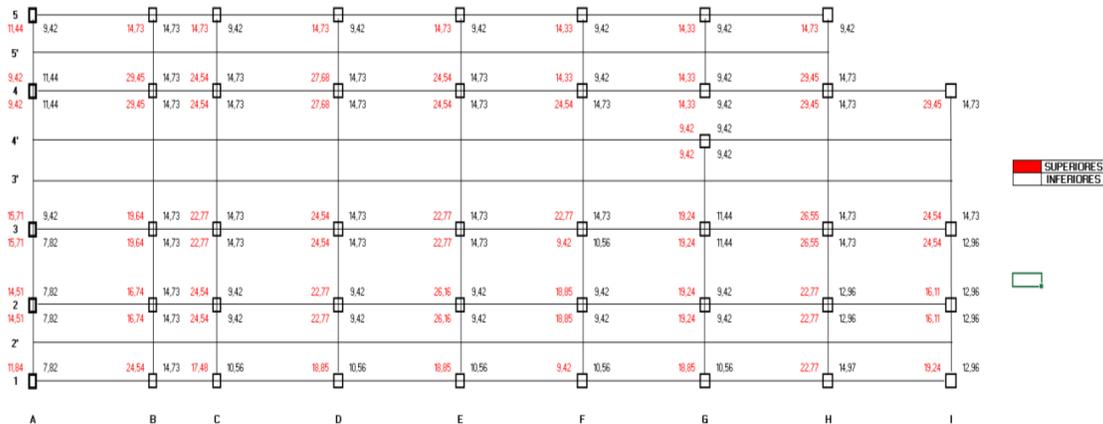
Se colocan las dimensiones de la viga y las áreas de acero de refuerzo longitudinales en los extremos superiores e inferiores de las vigas. Para esto se obtuvieron los datos de cada configuración de acero de refuerzo en cada eje de la estructura, es decir se crearon múltiples secciones cada una con su respectiva cuantía.

Gráfico 7: Configuración de vigas en software ETABS.



fuelle: Elaboración propia, ETABS.

Gráfico 8: Cuantía de acero de refuerzo longitudinal en vigas de planta 1, sentido Y.



fuelle: Elaboración propia.

3.8.3 Muros.

Para la colocación del acero de refuerzo en muros se definen las capas de acero en cada sección transversal. La sección correspondiente al primer piso contiene espaciamientos entre varillas longitudinales de 10 cm y el refuerzo transversal a 20 cm. A diferencia del segundo piso, en la cual los espaciamientos son de 20cm en ambas direcciones.

Gráfico 9: Configuración de muros en software ETABS.

The image shows two screenshots from the ETABS software interface. The top screenshot is the 'Quick Layer Definition Data' dialog box, and the bottom screenshot is the 'Wall Property Layer Definition Data - MuroP1' dialog box.

Quick Layer Definition Data (Top Window):

- General Data:** Concrete Material: 4000Psi, Rebar Material: A615Gr60, Concrete Thickness: 20 cm, Number of Rebar Layers: 2.
- In-Plane Component Behavior:** S11 Nonlinear, S22 Nonlinear, S12 Nonlinear (all unchecked).
- Out-of-Plane Component Behavior:** Same as In-Plane (unchecked), Linear (checked).
- Rebar Size, Spacing and Clear Cover:** Size and Spacing are the Same for All Rebar (checked).
- Table:**

Bars	Bar Size	Spacing, cm	Clear Cover, cm
Positive 3-Axis Bars - Dir. 1	16	30	3
Positive 3-Axis Bars - Dir. 2	16	30	3
Negative 3-Axis Bars - Dir. 1	16	30	3
Negative 3-Axis Bars - Dir. 2	16	30	3
- Section Cut:** Positive 3-Axis Side (diagram showing 1 and 3 axes), Negative 3-Axis Side (radio buttons for Show 1-3 Section Cut and Show 2-3 Section Cut).
- Local 1-2 Plane:** (diagram showing 1 and 2 axes), Show Bars on Positive 3-Axis Face (checked), Show Bars on Negative 3-Axis Face (unchecked).

Wall Property Layer Definition Data - MuroP1 (Bottom Window):

Layer Name	Distance	Thickness	Modeling Type	Number Integration Points	Material	Material Angle	Material Behavior	Material S11	Material S22	Material S12
ConcS	0	25	Shell	2	Hormigon	0	Directional	Linear	Linear	Linear
Pos3Bar1	7.7	0.1	Shell	1	A615Gr60	0	Directional	Linear	Inactive	Linear
Pos3Bar2	7.7	0.2	Shell	1	A615Gr60	90	Directional	Linear	Inactive	Linear
Neg3Bar1	-7.7	0.1	Shell	1	A615Gr60	0	Directional	Linear	Inactive	Linear
Neg3Bar2	-7.7	0.2	Shell	1	A615Gr60	90	Directional	Linear	Inactive	Linear

Calculated Layer Information: Number of Layers: 5, Total Section Thickness: 25 cm, Sum of Layer Overlaps: 0.8 cm, Sum of Gaps Between Layer: 0 cm.

Order Layers: Order Ascending by Distance, Order Descending by Distance.

Quick Start: Parametric Quick Start...

fuelle: Elaboración propia, ETABS.

Capítulo 4: Resultados y Solución.

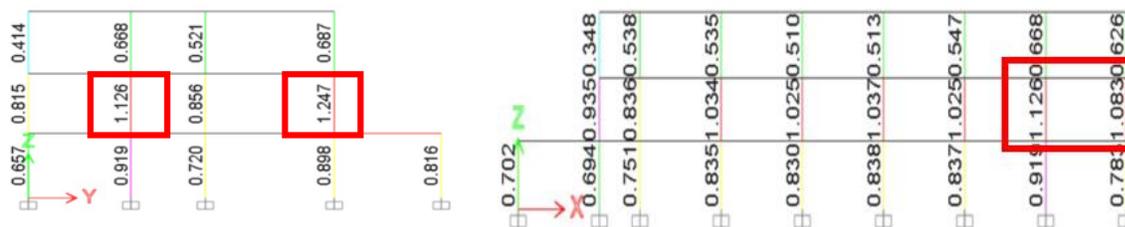
4.1 Verificación del diseño por capacidad.

En esta etapa se verifica si la estructura cumple o no con los requerimientos en columnas, vigas, nudos que son parte de la filosofía de diseño por capacidad. Esto determinará la integridad de la estructura. Esto ayuda a identificar problemas o deficiencias en el diseño para posteriormente plantear una propuesta de reforzamiento de la estructura.

4.1.1 Verificación de acero longitudinal en columnas.

En esta sección el análisis de refuerzo longitudinal P-M-M hace referencia a las combinaciones de carga axial, momento flector y momento torsor, mismas que son importantes dado que representan los estados de carga a los que puede estar sometida la estructura y que pueden afectar simultáneamente. El análisis realizado verifica que las columnas cumplan con las demandas de resistencia a la compresión, tracción, flexión y torsión bajo las condiciones de carga anteriormente mencionadas. Es decir, se evalúa la relación entre las cargas aplicadas y la capacidad resistente de la columna, donde un valor superior a 1 indica que la combinación de cargas supera la capacidad crítica del elemento. A continuación, se muestran en diferentes vistas los elementos que superan dicho valor, mismos que se tomarán en cuenta para la futura propuesta de reforzamiento.

Gráfico 10: Fallas encontradas en acero de refuerzo longitudinal.



fuentes: Elaboración propia, ETABS.

4.1.2 Cortante en nudos.

Como parte de una verificación de diseño en los nudos, dentro del marco del diseño por capacidad, una de las premisas importantes es que en una estructura se debe controlar que la columna sea más fuerte que la viga. Este análisis toma en cuenta las capacidades nominales máximas de vigas y columnas que tienen como propósito, evitar la fluencia en los elementos que son parte del sistema resistente a cargas laterales debido a posibles acciones inelásticas que conducen a una flexión en ambos extremos de una columna y posteriormente al colapso de esta.

Gráfico 11: Fallas de tipo cortante en nudos.



fuentes: Elaboración propia, ETABS.

4.1.3 Cortante en estribos.

Con el objetivo de verificar la capacidad de un elemento estructural para resistir las fuerzas cortantes se realiza este respectivo análisis en ETABS. En este análisis se considera tanto el comportamiento del hormigón como el acero de refuerzo colocado. Este análisis se realiza en unidades de área sobre longitud, las cuales están relacionadas directamente con el cortante.

Gráfico 12: Fallas por cortante.



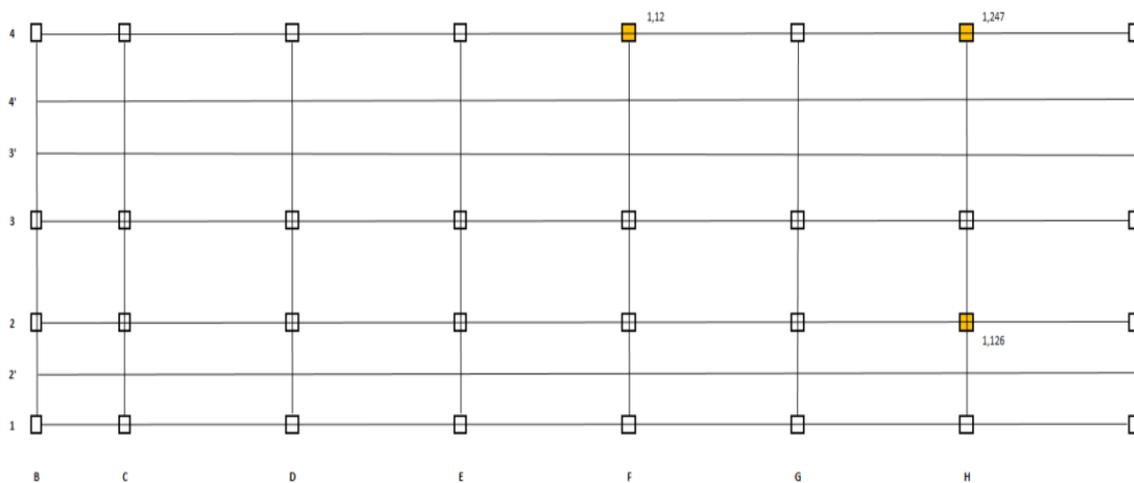
fuentes: Elaboración propia. ETABS.

4.2 Resumen de fallas encontradas.

Tabla 12: Fallas en análisis de acero longitudinal en columnas.

SEGUNDO PISO				
Ejes	Elemento	# Elemento	Falla	
4-F	Columna	194	PMM	1,120
2-H	Columna	187	PMM	1,126
4-H	Columna	189	PMM	1,247

fuentes: Elaboración propia.

Gráfico 13: Fallas por acero longitudinal en columnas identificadas en planta, piso 2.

fuentes: Elaboración propia.

Tabla 13: Resumen de fallas por cortante en nudos, piso 1.

PRIMER PISO			
Ejes	Elemento	# Elemento	Falla
2-A	columna	56	6/5-B/C
3-A	columna	57	6/5-B/C
4-A	columna	58	6/5-B/C
3-B	columna	71	6/5-B/C
1-C	columna	69	6/5-B/C
4-C	columna	67	6/5-B/C
1-D	columna	88	6/5-B/C
2-D	columna	89	6/5-B/C
4-D	columna	91	6/5-B/C
1-E	columna	93	6/5-B/C

2-E	columna	94	6/5-B/C
3-E	columna	95	6/5-B/C
4-E	columna	92	6/5-B/C
1-F	columna	104	6/5-B/C
3-F	columna	106	6/5-B/C
4-F	columna	107	6/5-B/C
1-G	columna	108	6/5-B/C
3-G	columna	110	6/5-B/C
1-H	columna	101	6/5-B/C
2-H	columna	100	6/5-B/C
4-H	columna	102	6/5-B/C
2-I	columna	114	6/5-B/C
3-I	columna	115	6/5-B/C

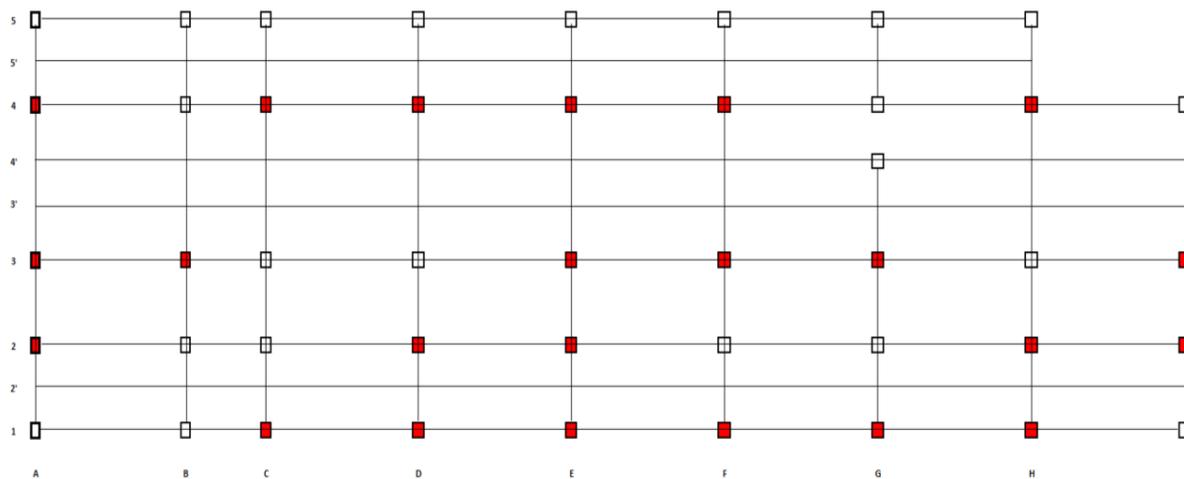
fuentes: Elaboración propia.

Tabla 14: Resumen de fallas por cortante en nudos, piso 2.

SEGUNDO PISO			
Ejes	Elemento	# Elemento	Falla
2-B	columna	173	6/5-B/C
3-B	columna	172	6/5-B/C
2-C	columna	167	6/5-B/C
3-C	columna	168	6/5-B/C
2-D	columna	180	6/5-B/C
3-D	columna	181	6/5-B/C
2-E	columna	185	6/5-B/C
3-E	columna	186	6/5-B/C
2-F	columna	192	6/5-B/C
3-F	columna	193	6/5-B/C
2-G	columna	196	6/5-B/C
3-G	columna	197	6/5-B/C
1-H	columna	188	6/5-B/C
2-H	columna	187	6/5-B/C
3-H	columna	190	6/5-B/C
2-I	columna	201	6/5-B/C
3-I	columna	202	6/5-B/C

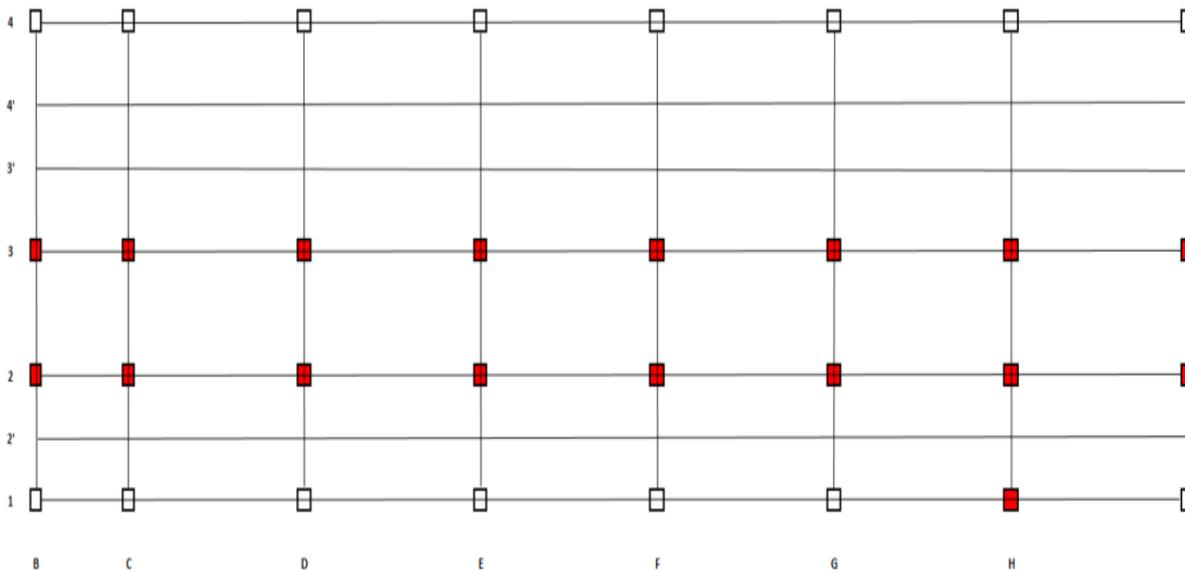
fuentes: Elaboración propia.

Gráfico 14: Fallas por cortante en nudos ubicadas en planta, piso 1.



fuelle: Elaboración propia.

Gráfico 15: Fallas por cortante en nudos ubicadas en planta, piso 2.

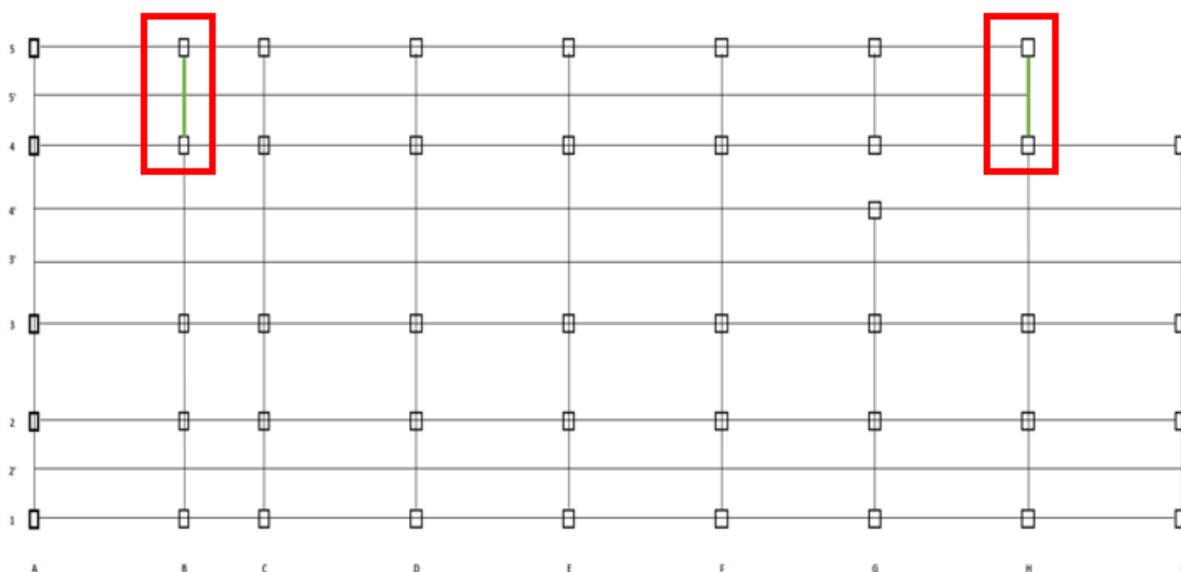


fuelle: Elaboración propia.

Tabla 15: Fallas por cortante en estribos.

PRIMER PISO			
Ejes	Elemento	# Elemento	Falla
B4-B5	Viga	79	Shear Reinf
H4-H5	Viga	35	Shear Reinf

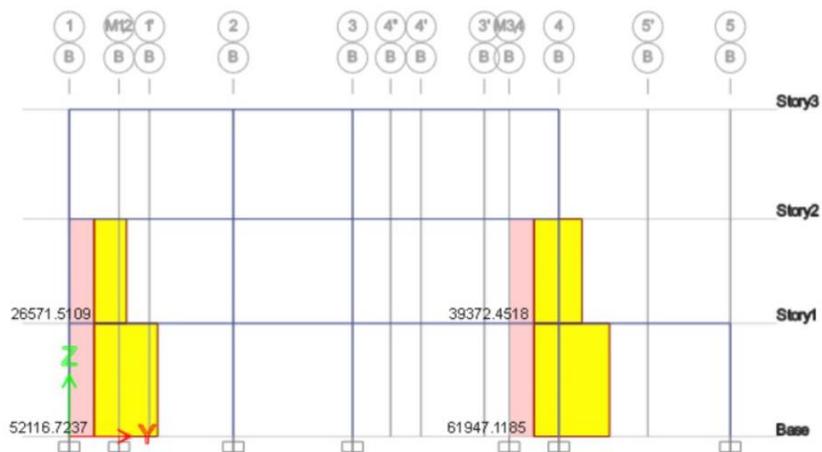
fuelle: Elaboración propia.

Gráfico 16: Fallas por cortante en estribos detalladas en plano.

fuelle: Elaboración propia.

4.3 Análisis de muros.

Con el objetivo de comprobar si la estructura cumple con la premisa establecida en la NEC acerca de los pórticos especiales sismo resistente con muros estructurales, se analizan si los muros absorben al menos el 75% del cortante basal total que actúa en la estructura. Como primera observación se tiene que los muros no llegan a la tercera planta

Gráfico 17: Cortante absorbido por muros, eje B.

fuentes: Elaboración propia, ETABS.

Como segunda observación se tiene que los muros no cumplen absorben al menos el 75% del cortante basal, por el contrario, este valor solo llega a un 41%.

Tabla 16: Cortante actuante en muros.

Cortante de Muros [kgf]	
Muro1	52116,72
Muro2	61947,12
Muro3	64075,31
Muro4	71445,53
Total	249584,69

fuentes: Elaboración propia.

Tabla 17: porcentaje de cortante basal absorbido por muros.

Cortante	kgf
Basal	422712,40
Total Muros	249584,69
% resistido	41,0%

fuentes: Elaboración propia.

4.4 Propuesta de reforzamiento.

4.4.1 Encamisado.

El método usado en de reforzamiento por encamisado es usado cuando el elemento estructural está muy dañado o cuando existen errores de diseño, al encontrar estas inconsistencias en una estructura se requiere aumentar las secciones transversales de columnas o vigas con elementos que rodeen al anterior; esto con el fin de aumentar la capacidad resistente de la estructura. Al aumentar la sección de las columnas se incrementa la resistencia axial, por corte y flexión, por lo que este método de reforzamiento por encamisado no solo permite la reparación de elementos estructurales, sino que conseguir un aumento de rigidez y resistencia en las secciones originales. Este método de reforzamiento por encamisado no es el único, ya que existen varias técnicas de reforzamiento por encamisado, estas pueden ser de acero, concreto o láminas sintéticas reforzadas con fibra.

Hay dos formas de hacer este encamisado de concreto. En la primera se agregar refuerzos longitudinales y transversales alrededor de la sección original y se la recubre de concreto. La segunda forma es colocar una malla electrosoldada alrededor de la sección y recubrirla de concreto. Al incrementar las secciones de las columnas aumenta su capacidad cortante más que la resistencia a flexión; logrando así una mayor ductilidad de cortante en la columna. Unas de las características principales al momento de hacer esta técnica de reforzamiento según Córdova (2017), es que para un buen encamisado es recomendado hacer un encamisado en todo el perímetro de la columna, al igual que, es recomendable que el refuerzo longitudinal continúe a través de la losa de entepiso. Por otro lado, Vivanco Alfaro (2016) nos transmite que “La

resistencia a compresión del concreto del encamisado debe ser mayor que 210 kg/cm^2 y que el $f'c$ del concreto utilizado en la columna original” (Ohkubo, 1991).

4.4.2 Consideraciones para reforzamiento por encamisado

El ACI 369-06 nos dice algunos aspectos de análisis y diseño que debemos considerar al momento de hacer un encamisado de concreto:

- El análisis de las secciones que necesiten un reforzamiento por encamisado, deben ser tomados en cuenta como elementos compuestos, asumiendo que el concreto nuevo y el viejo van a tener una perfecta adherencia; llegando a comportarse como un elemento monolítico.
- Se recomienda extender el encamisado de las columnas a través de la losa, y añadir estribos que atraviesen el alma de las vigas; para incrementar la resistencia a flexión
- Si se va a realizar un proyecto de encamisado, es recomendable usar un factor de comportamiento sísmico bajo.
- Para obtener las propiedades geométricas de los elementos, se recomienda usar el método de las secciones equivalentes
- En el caso de que el elemento estructural a reforzar este realmente dañado, se descarta la posibilidad de una contribución de rigidez del elemento encamisado.

4.4.3 Propuesta de encamisado en columnas

Para realizar el respectivo reforzamiento de la estructura, se configuro nuevas secciones de columnas alrededor de las columnas viejas que fallan por acero longitudinal y en los nodos. Cabe decir que para hacer este nuevo análisis debemos respetar la configuración del elemento viejo.

Para crear estas secciones nuevas en ETABS se configuro la columna vieja con un hormigón de 210 kg/cm² y la nueva con uno de 280 kg/cm², y para el acero longitudinal nuevo del encamiso se utilizó el mayor diámetro de acero que tenía el elemento viejo, con un $\varnothing 12$ mm en los estribos.

Nuevas secciones creadas para reforzamiento de la estructura:

Gráfico 18: Vista en planta columna 60x50 sección original y reforzada.

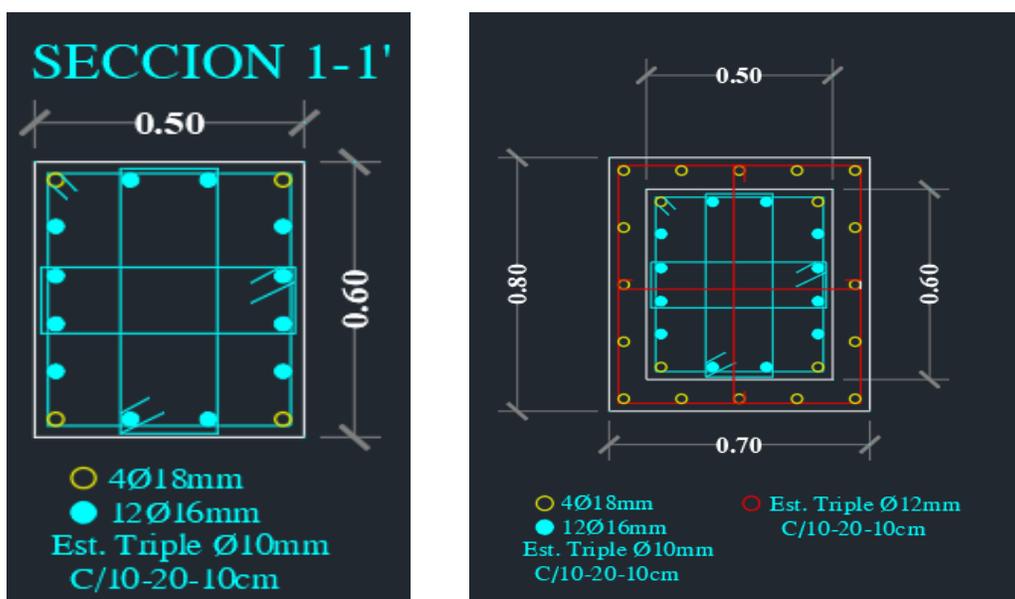
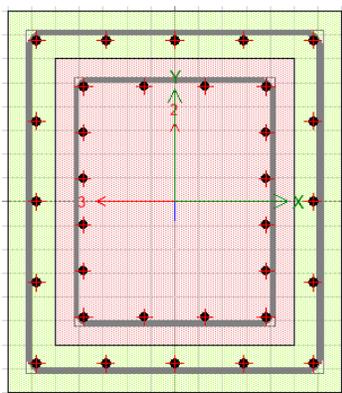


Gráfico 19: Configuración en ETABS columna 60x50.



Fuente: ETABS 2021.

Gráfico 20: Vista en planta columna 50x60 sección original y reforzada

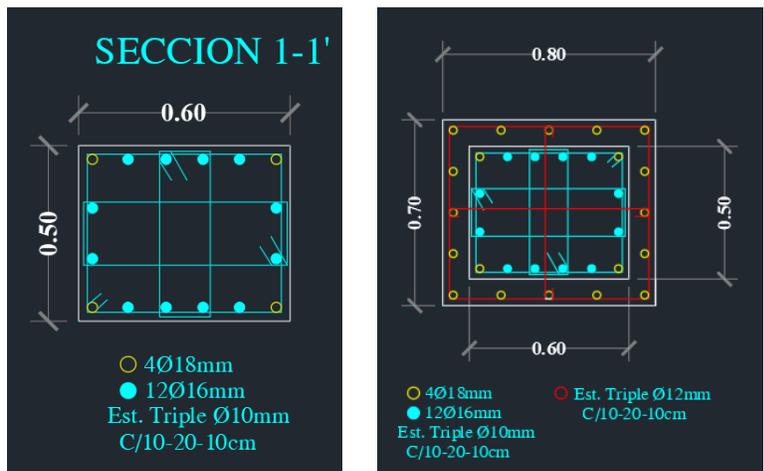
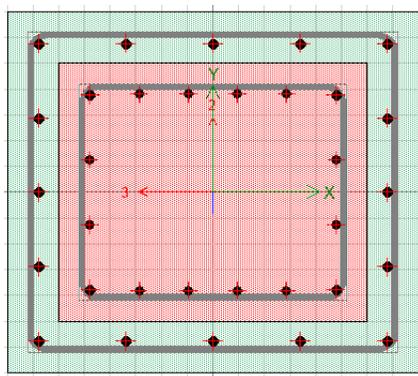


Gráfico 21: Configuración en ETABS columna 50x60



Fuente: ETABS 2021.

Gráfico 22: Vista en planta columna 60x60 sección original y reforzada

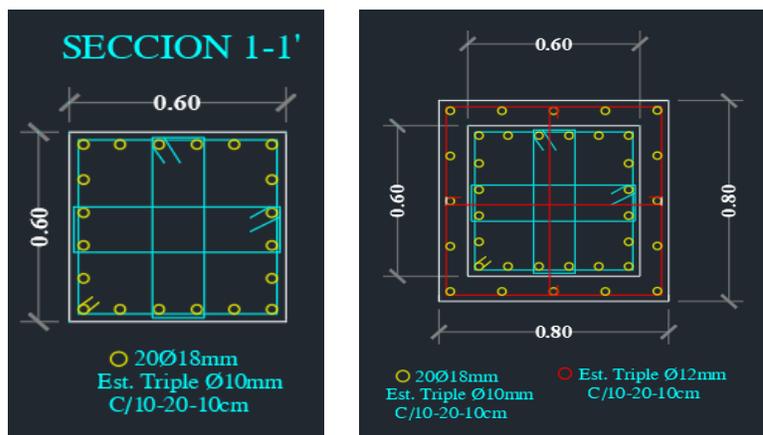
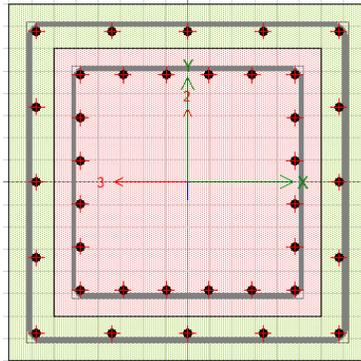


Gráfico 23: Configuración en ETABS columna 60x60.



Fuente: ETABS 2021.

Gráfico 24: Vista en planta columna 60x60 sección original y reforzada.

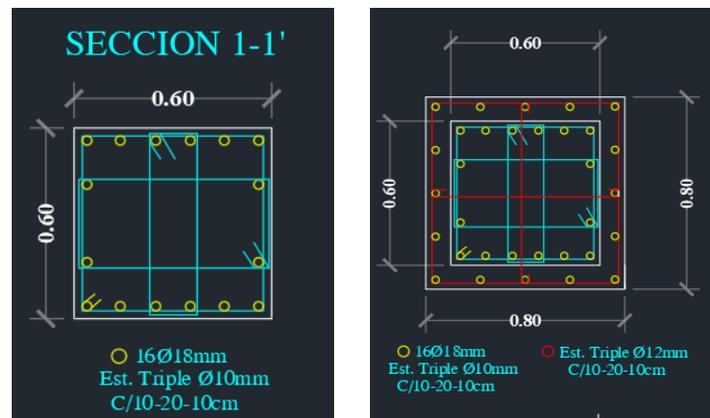
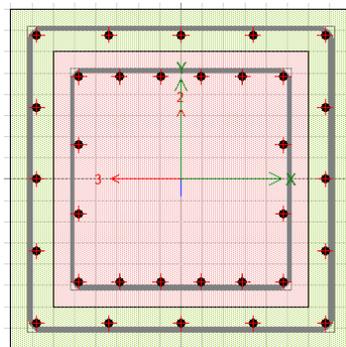


Gráfico 25: Configuración en ETABS columna 60x60.



Fuente: ETABS 2021.

Gráfico 26: Vista en planta columna 60x60 sección original y reforzada.

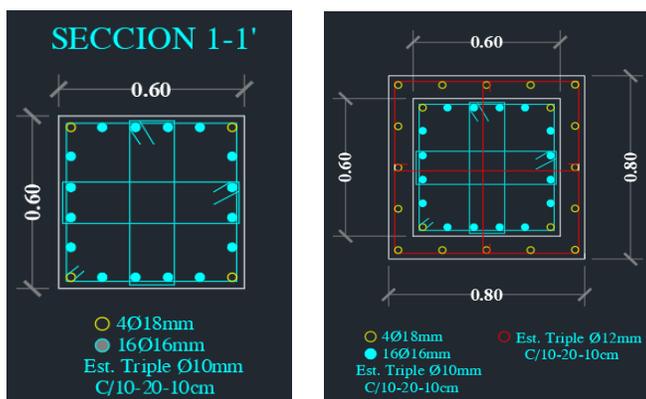
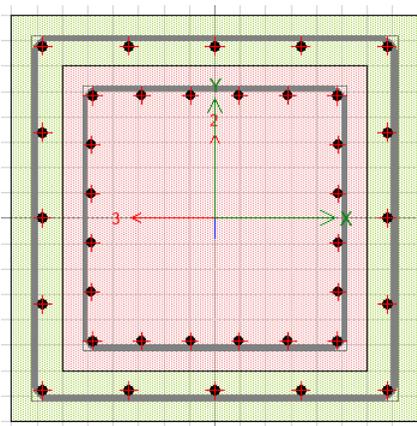


Gráfico 27: Configuración en ETABS columna 60x60



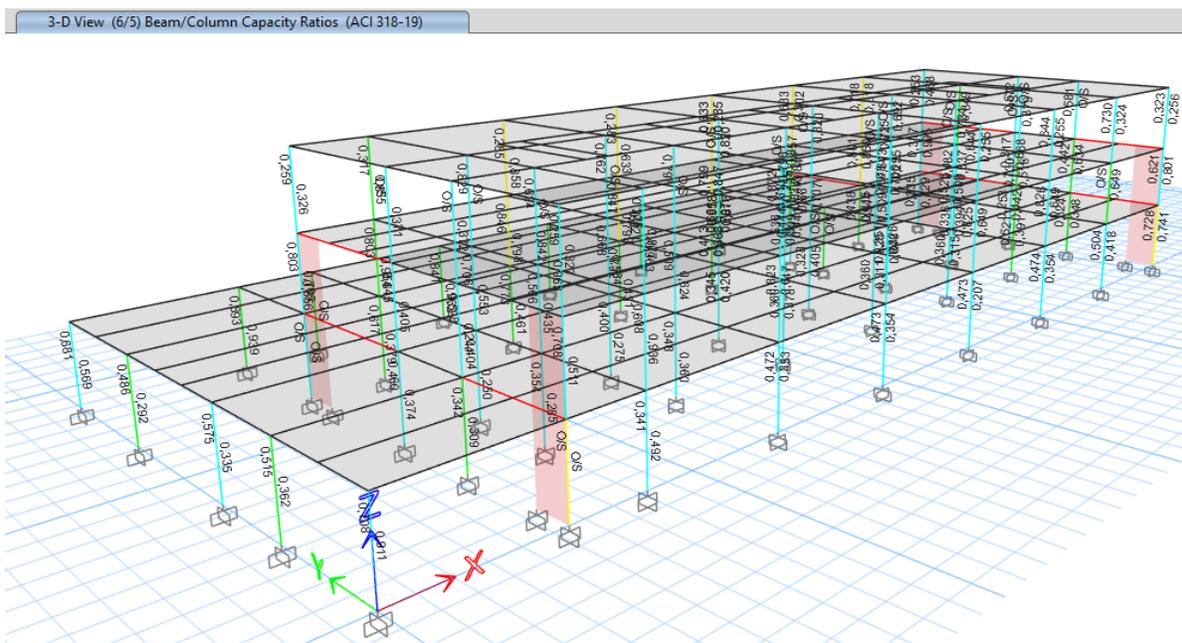
Fuente: ETABS 2021.

4.5 Análisis de la estructura con encamisao.

4.5.1 Cortante en nudos

Como se puede apreciar a simple vista, varias de las columnas que salían sobreforzadas ya no tienen este error, esto se debe a que ahora la sección transversal nueva, la resistencia del hormigón y los estribos, son los adecuados para soportar la demanda de resistencia a corte de la estructura.

Gráfico 28: Cortante en nudos con elementos reforzados

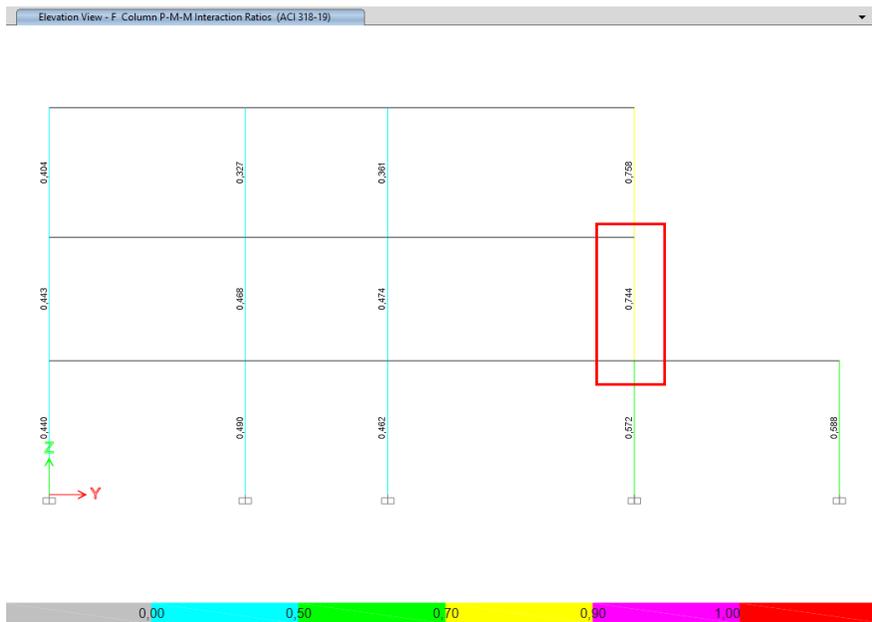


Fuente: ETABS 2021.

4.5.2 Verificación de acero longitudinal en columnas

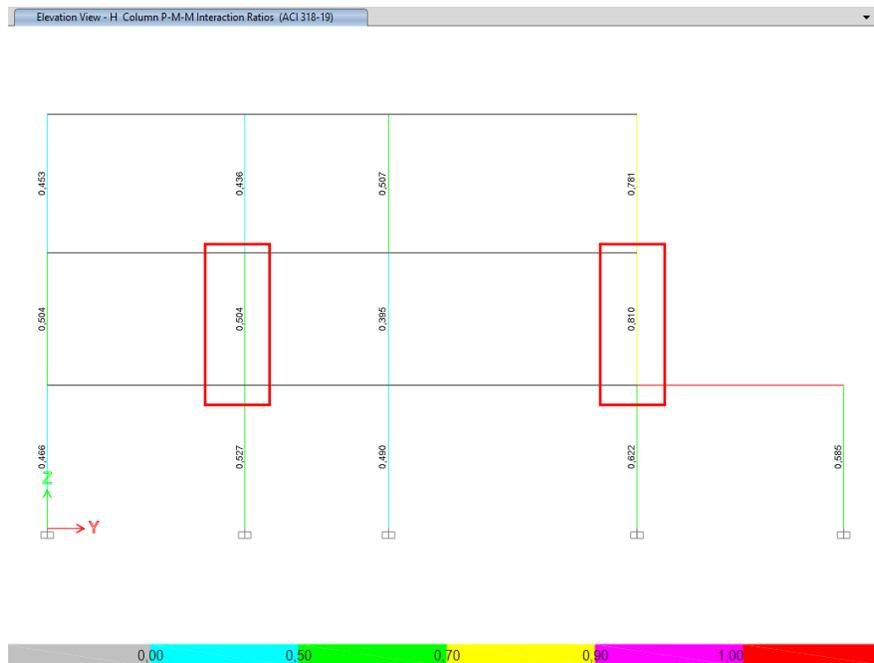
En el gráfico 13 tenemos que por este tipo de falla existen 3 elementos, uno en el eje F- 4 y otro dos en el H-2, H-4. Esto elementos antes eran superiores a 1, el del eje F-4 tenía un valor de 1.12, el del eje H-2 un valor de 1.126 y el del eje H-4 un valor de 1.247, esto significaba que estas columnas estaban demasiado estresadas y se debía aumentar su sección. Al aumentar su sección con el método de reforzamiento por encamisado nos dio que, el eje F-4 ahora tiene un valor de 0.744, el del eje H-2 un valor de 0.504 y el del eje H-4 un valor de 0.810.

Gráfico 29: Acero longitudinal con elementos reforzados - Eje F.



Fuente: ETABS 2021.

Gráfico 30: Acero longitudinal con elementos reforzados - Eje H



Fuente: ETABS 2021.

4.5.3 Cortante en estribos

4.5.3.1 Vigas

En el gráfico 16 se apreció las fallas por cortante en estas vigas, pero al hacer el respectivo análisis diseño por corte nos dimos cuenta de que el refuerzo por corte en los extremos y medios cumplen, ya que al hacer el chequeo nos dio que:

Extremos

$$\frac{Av}{s} = 0.15$$

En los extremos las varillas van cada 10cm y el medio cada 15cm con un confinamiento de 2 y todos los estribos de 10mm.

$$Av = \frac{2(\pi)(1)^2}{4} = 1.571 \text{ cm}^2$$

$$\frac{Av}{s} = \frac{1.571}{10} = 0.157 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

$$0.157 > 0.15 \text{ Ok}$$

Medios

$$\frac{Av}{s} = 0.07$$

$$Av = \frac{2(\pi)(1)^2}{4} = 1.571 \text{ cm}^2$$

$$\frac{Av}{s} = \frac{1.571}{15} = 0.104 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

4.5.3.2 Columnas

Para columnas se aplica la misma metodología de revisión, pero ahora como tenemos columnas de reforzamiento por encamisado, se analizará la configuración de esas nuevas secciones que se hicieron previamente desde el gráfico 18 al 27. Las columnas viejas tienen estribos de 10 mm cada 10 cm en extremos y cada 20cm en los medios con un número de 4 confinamientos, por el contrario, la sección de encamisado tiene estribos de 12 mm cada 10 cm en extremos y cada 15 cm en los medios. Como la mayoría de columnas tiene esta misma configuración, se hará la revisión de una sola columna a la que se le hizo el reforzamiento

Medios

$$\frac{Av}{s} = 0.08$$

Columna vieja

$$Av = \frac{4(\pi)(1)^2}{4} = 3.1415 \text{ cm}^2$$

$$\frac{Av}{s} = \frac{3.1415}{20} = 0.157 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

Encamisado

$$Av = \frac{3(\pi)(1.2)^2}{4} = 3.40 \text{ cm}^2$$

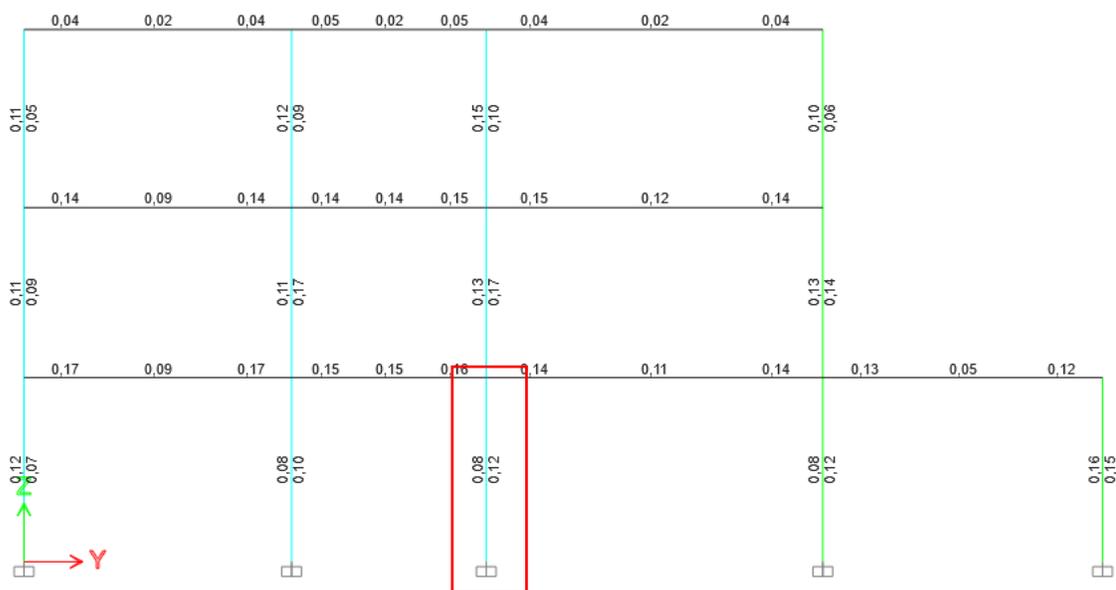
$$\frac{Av}{s} = \frac{3.40}{15} = 0.226 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

$$\frac{Av}{s} = 0.157 + 0.226 = 0.383$$

$$0.383 > 0.08 \text{ Ok}$$

Con esta comprobación tenemos que los estribos A_s/v diseñados para columnas, cumplen los requerimientos que pide el ETABS.

Gráfico 33: Cortante de estribos en columnas con elementos



Capítulo 5: Conclusiones.

5.1 Conclusiones

Una vez hecho todo este análisis, pudimos determinar que el rendimiento y desempeño de la estructura no es bueno, ya que la estructura tiene fallas en alguno elementos estructurales, especialmente en las columnas, estas no cumplen con las condiciones para poder soportar un sismo relativamente alto, por lo que se recomienda el reforzamiento de esta edificación; con el fin de garantizar la seguridad de los estudiantes que van a hacer uso de esta estructura, además de que esta tendrá un desempeño adecuado.

En este proyecto de titulación se pudo demostrar que el reforzamiento por encamisado o jacketing es una forma efectiva de fortalecer la edificación vulnerable, sin necesidad de recurrir a una demolición de la misma. Al momento de hacer este análisis de reforzamiento en ETABS, se pudo apreciar que al recubrir nuestras columnas afectadas con una capa de concreto y acero más resistente, se aumentó la capacidad resistente de la estructura, ya que, al aumentar las secciones de las columnas estamos incrementando la resistencia axial, por corte y flexión.

Con esto podemos concluir que, el encamisado ofrece una solución a problemas de seguridad estructural y extiende la vida útil de las estructuras, por lo que es una opción muy buena para edificaciones de valor histórico o patrimonial. Sin embargo, esta técnica de reforzamiento requiere de mucho cuidado en su ejecución, ya que requiere la participación de ingenieros especializados, así como también se debe tener en consideración el aspecto estético y funcional, para poder lograr un equilibrio entre lo estructural y la apariencia del edificio. Además, cabe mencionar que un reforzamiento no es nada barato, por lo que es importante analizar todas las técnicas de reforzamiento y escoger cual es la mejor opción calidad/precio para

nuestra estructura, es por ello que se recomienda hacer un buen análisis estructural antes de comenzar con la ejecución de un proyecto.

Referencias bibliográficas

ACI 369-06. American Concrete Institute. (s.f.). Guía para la rehabilitación sísmica de Edificios con estructura de hormigón.

Amaguaya, M. (2022). Análisis por desempeño de una edificación de hormigón armado de 10 pisos, reforzada mediante la inclusión de disipadores de energía tipo TADAS. Quito.

Carreño, M., Cardona, O., & Barbat, A. (2005). Seismic risk evaluation for an urban centre. International conference of urban risks. Lisbon.

Constrofacilitator. (2022). Structural retrofitting and strengthening by Jacketing. Recuperado el 11 de 05 de 2024, de <https://constrofacilitator.com/structural-retrofitting-and-strengthening-by-jacketing/#:~:text=It%20consists%20of%20added%20concrete,by%20encasement%20using%20suitable%20materials.>

Córdova, H. (2017). Vulnerabilidad de los asentamientos de la periferia de lima metropolitana frente al cambio climático.

Cunalata, F., & Caiza, P. (2022). Estado del arte de estudios de vulnerabilidad sísmica en Ecuador. Revista Politécnica, 50. doi:<https://doi.org/10.33333/rp.vol50n1.06>

JACOB ENGINEERS. (2021). Proteja su estructura con revestimiento de columnas. Recuperado el 11 de 05 de 2024, de <https://jacobengineers.in/safeguard-your-structure-by-column-jacketing/>

- Moncayo, M. (2016). Enfoque de energía sísmica liberada: En busca de las características del comportamiento sísmico de Ecuador e identificación de las amenazas sísmicas. *Economía y Desarrollo*, 17, 224-230. doi:<http://dx.doi.org/10.23878/alternativas.v17i3.231>
- NEC. (2023). NEC-SE-CG: Cargas (no sísmicas). Dirección de Comunicación Social, MIDUVI. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/1.-NEC-SE-CG-Cargas-No-Sismicas.pdf>
- NEC. (2023). NEC-SE-DS: Peligro sísmico, diseño sísmo resistencia. Dirección de Comunicación Social, MIDUVI. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/2.-NEC-SE-DS-Peligro-Sismico-parte-1.pdf>
- ScienceDirect . (2022). Investigación sobre el comportamiento de columnas de hormigón armado revestidas con hormigón convencional y hormigón geopolímero. ScienceDirect. Recuperado el 11 de 05 de 2024, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215098622001847>
- Vivanco, A. (2016). evaluación y reforzamiento estructural del centro médico municipal mediante el método de encamisado, distrito de huancayo - 2016. evaluación y reforzamiento estructural del centro médico municipal mediante el método de encamisado, distrito de huancayo - 2.
- Yopez, F., Barbat, A., & Canas , J. (1995). Riesgo, peligrosidad y vulnerabilidad sísmica de edificios de mampostería. España: Monografías de ingeniería sísmica.