



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**“MEJORA DE LA RESPUESTA SÍSMICA DEL COLEGIO
FELIPE SALAVERRY USANDO REFORZAMIENTO DE
ENCAMISADO DE COLUMNAS DEPARTAMENTO DE
AYACUCHO 2022”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL**

AUTOR:

Calderon Alcantara, Shamir Narciso (ORCID: 0000-0003-4214-0899)

ASESOR:

Mg. Medina Carbajal, Lucio Sigifredo (ORCID: 0000-0001-5207-4421)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

DISEÑO SISMICO Y ESTRUCTURAL

PIURA — PERÚ

2022

DEDICATORIA

A Dios, que con su infinito amor y bondad me permite hoy cumplir este objetivo.

A mis padres Hoobert y Juana por sus consejos, sacrificios y enseñanzas de vida; a mis hermanos Fiorela, Joseph y Christian que siempre confiaron en mí.

A todas aquellas personas que directa o indirectamente han contribuido a lo largo de mi vida en mi formación como persona y profesional.

AGRADECIMIENTO

A Dios, porque nunca me abandonas cuando más te necesito.

A todos aquellos profesionales que me guiaron, aconsejaron y siempre confiaron en mí para llevar a cabo todos mis proyectos personales.

De manera muy especial a mi asesor de tesis Mg. Lucio Sigifredo Medina Carbajal, por su apoyo constante en la elaboración de mi informe de investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	ii
1 AGRADECIMIENTO.....	iii
2 ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	iv
3 ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
4 ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
5 RESUMEN.....	ix
6 ABSTRACT.....	x
7 INTRODUCCIÓN.....	1
8 MARCO TEÓRICO.....	5
8.1 ANTECEDENTES.....	5
8.2 Rehabilitación De Estructuras.....	16
8.3 Proceso De Reforzamiento.....	16
8.4 Estudio cuantitativo del reforzamiento estructural.....	17
8.5 Propiedades Relevantes De Una Estructura Sismorresistente.....	19
9 METODOLOGÍA.....	22
9.1 Tipo y diseño de Investigación.....	22
9.2 Variables y operacionalización.....	22
9.3 Población y muestra.....	23
9.4 Técnicas y recolección de datos.....	23
9.5 Procedimientos.....	24
9.6 Método de análisis de datos.....	25
9.7 Aspectos éticos.....	26
10 RESULTADOS.....	27
10.1 Modelado estructural.....	27
10.2 Definición de las secciones.....	28
10.2.1 Definición de las secciones sin reforzamiento.....	31

10.2.2	Definición de las secciones reforzadas.....	31
10.3	Definición del modelo sin reforzamiento.....	33
10.4	Definición del modelo estructural tridimensional del reforzamiento	34
10.5	Formas de modo presentes en la estructura.....	36
10.5.1	Sin reforzamiento	37
10.5.2	Con reforzamiento.....	40
10.6	Definición de la demanda sísmica sísmicas considerando $I_a=1$ e $I_p=1$	44
10.7	Objetivo específico N°03.....	46
10.7.1	Sin reforzamiento	46
10.7.2	Con reforzamiento.....	54
11	DISCUSIÓN.....	61
11.1	Objetivo General	61
11.2	Objetivo específico 01	61
11.3	Objetivo específico 02.....	62
11.4	Objetivo específico 03.....	63
12	CONCLUSIONES.....	64
13	RECOMENDACIONES	66
14	REFERENCIAS	67
15	ANEXOS.....	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Reforzamiento de columnas mediante el incremento de la sección transversal. Fuente: <i>Retrofitting Design of Building Structures</i> , Xilin Lu (2010).....	11
Figura 2: Reforzamiento de muros de mampostería. Fuente: <i>Retrofitting Design of Building Structures</i> , Xilin Lu (2010).	11
Figura 3: Muros tipo Wing en columnas de concreto armado y encamisado de columnas. Fuente: <i>Retrofitting Design of Building Structures</i> , Xilin Lu (2010).	14
Figura 4: Encamisado de columnas realizadas en una dirección. Fuente: <i>Retrofitting Design of Building Structures</i> , Xilin Lu (2010).	15
Figura 5: Proceso de reforzamiento en estructuras (Proaño, 2014).	17
Figura 6: Incremento de la rigidez y resistencia lateral. Fuente: <i>Rehabilitación de estructuras de concreto</i> . Soto (2008).....	18
Figura 7: Incremento de la ductilidad de la estructura. Fuente: <i>Rehabilitación de estructuras de concreto</i> . Soto (2008).....	19
Figura 8:Modelo tridimensional de la edificación analizada. Fuente: Elaboración propia	33
Figura 9:Vista en planta de la edificación sin reforzamiento. Fuente: Elaboración propia	33
Figura 10: Vista en planta de los elementos estructurales reforzados. Fuente: Elaboración propia.....	34
Figura 11: Modelo tridimensional Bloque I, desarrollado en ETABS.	35
Figura 12: Modelo tridimensional Bloque II, desarrollado en ETABS.	35
Figura 13: Primera forma de modo de la estructura sin reforzamiento, desarrollado en ETABS. Fuente: Elaboración propia.....	38
Figura 14: Segunda forma de modo de la estructura sin reforzamiento, desarrollado en ETABS. Fuente: Elaboración propia.....	39
Figura 15: Tercera forma de modo de la estructura sin reforzamiento, desarrollado en ETABS. Fuente: Elaboración propia.....	40
Figura 16: Primer modo del Bloque I, desarrollado en ETABS.....	42
Figura 17: Primera forma modo de la estructura reforzada, desarrollado en ETABS.	42

Figura 18: Segunda forma de modo de la estructura reforzada, desarrollado en ETABS.....	42
Figura 19: Tercera forma de modo de la edificación reforzada desarrollado en ETABS.....	43
Figura 20: Mapa de microzonificación sísmica del Perú de acuerdo con la norma peruana de diseño sísmico.....	44
Figura 21: Espectro de respuesta de acuerdo con la norma peruana E030, desarrollado en ETABS.....	44
Figura 22: Máximos desplazamientos laterales en dirección X. Fuente: Elaboración propia	48
Figura 23: Máximos desplazamientos laterales en dirección Y. Fuente: Elaboración propia	49
Figura 24: Máximas distorsiones laterales en dirección X. Fuente: Elaboración propia	51
Figura 25: Máximas distorsiones laterales en dirección Y. Fuente: Elaboración propia	53
Figura 26: Máximos desplazamientos laterales en dirección X. Fuente: Elaboración propia	56
Figura 27: Máximos desplazamientos laterales en dirección Y. Fuente: Elaboración propia	57
Figura 28: Máximas distorsiones laterales en dirección X. Fuente: Elaboración propia	59
Figura 29: Máximas distorsiones laterales en dirección Y. Fuente: Elaboración propia	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Formas de modo consideradas y factores de participación modal de la estructura sin reforzamiento	37
Tabla 2: Formas de modo consideradas y factores de participación modal de la estructura reforzada	40
Tabla 3: Evaluación de la irregularidad torsional sin reforzamiento. Fuente: Elaboración propia.....	47
Tabla 4: Máximos desplazamientos laterales en dirección X. Fuente: Elaboración propia	49
Tabla 5: Máximos desplazamientos laterales en dirección Y. Fuente: Elaboración propia	50
Tabla 6: Máximas distorsiones laterales en dirección X. Fuente: Elaboración propia.	52
Tabla 7: Máximos desplazamientos laterales en dirección Y. Fuente: Elaboración propia	54
Tabla 8: Evaluación de irregularidad torsional en la estructura reforzada. Fuente: Elaboración propia.....	55
Tabla 9: Máximos desplazamientos laterales en dirección X. Fuente: Elaboración propia	56
Tabla 10: Máximos desplazamientos laterales en dirección Y. Fuente: Elaboración propia	58
Tabla 11: Máximas distorsiones laterales en dirección X. Fuente: Elaboración propia	59
Tabla 12: Máximas distorsiones laterales en dirección Y. Fuente: Elaboración propia	60

RESUMEN

En la actualidad en el Perú existen numerosas edificaciones educativas con una serie de problemáticas estructurales que ponen en riesgo, o al menos en duda su capacidad resistente frente a la acción de sismos de gran magnitud, que, de acuerdo con la Universidad Nacional de Ingeniería y el CISMID, es muy probable ocurra con una magnitud superior a 8.0 Mw. Esto pone en riesgo, no solo la integridad de la vida de sus ocupantes, y la interrupción de los servicios brindados, sino también, la función como refugio que se le asigna a este tipo de estructuras frente a la ocurrencia de un sismo de gran impacto. Esta realidad afecta especialmente al colegio Felipe Salaverry ubicada en el departamento de Ayacucho, que es una estructura diseñada y construida con base en pórticos de concreto armado, un sistema que en general posee muy baja rigidez lateral frente a la acción de sismos. Para esto se ha implementado la metodología basada en el análisis estático no lineal y basada en diseño por desempeño sísmico, además, se han propuesto un método de reforzamiento basado en el encamisado de columnas que permite un incremento sustancial de la rigidez lateral. Los resultados encontrados muestran que, en efecto, la rigidez lateral, y por tanto el desempeño sísmico de la estructura analizada tuvo una mejora sustancial.

Palabras clave

Reforzamiento estructural, desempeño sísmico, vulnerabilidad sísmica.

ABSTRACT

Currently in Peru there are numerous educational buildings with a series of structural problems that put at risk, or at least in doubt, their resistant capacity against the action of a large earthquake, which, according to the National University of Engineering and CISMID, it is very likely to occur with a magnitude greater than 8.0 Mw. This puts at risk, not only the integrity of the life of its occupants, and the interruption of the services provided, but also the function as a refuge that is assigned to this type of structure in the event of a large-impact earthquake. . This reality especially affects the Felipe Salaverry school located in the department of Ayacucho, which is a structure designed and built based on reinforced concrete frames, a system that generally has very low lateral stiffness against earthquake action. For this, the methodology based on nonlinear static analysis and design based on seismic performance has been implemented, in addition, a reinforcement method based on column cladding that allows a substantial increase in lateral stiffness has been proposed. The results found show that in effect, the lateral stiffness, and therefore the seismic performance of the analyzed structure had a substantial improvement.

Keywords

Structural reinforcement, seismic performance, seismic vulnerability.

INTRODUCCIÓN

El problema de los sismos es uno de los más interesantes y desafiantes retos a los que se encuentra sometida la ingeniería sísmica y en especial la ingeniería estructural. En años recientes han ocurrido numerosos sismos en distintas partes del mundo habiendo ocasionado pérdidas en el orden de 5000 billones de dólares a diferentes países entre países desarrollados y subdesarrollados (Banco Mundial); además, el número de víctimas se ha ido incrementando año con año debido a que las ciudades se vuelven cada vez más populosas y por tanto más densas y los daños que estas urbes sufren afectan a más personas (Padilla Quincot, 2012).

El Perú es uno de los países ubicados en una de las zonas de mayor actividad sísmica y tectónica del mundo entero la denominada cinturón de fuego del Pacífico de acuerdo con el Instituto de investigación del Pacífico de la Universidad de Berkeley el 90% de los sismos ocurridos en el mundo han ocurrido en esta zona mostrando esto que la ocurrencia de un terremoto de gran magnitud es un hecho por lo que las estructuras construidas en el país deben estar preparadas para afrontar un evento como este en especial las edificaciones de mayor importancia como las edificaciones esenciales donde están incluidos colegios y hospitales (RNE, n.d.).

De acuerdo con la norma peruana de diseño sísmico (RNE, n.d.) los colegios están catalogados como edificaciones especiales, de acuerdo con la citada normativa, un colegio es una edificación esencial. Debe recordarse que una edificación esencial es aquella edificación cuyos servicios deben de mantenerse continuos durante la ocurrencia de un sismo y después de la ocurrencia de éste, pues se considera que estas edificaciones al ser edificaciones estatales deben de prestar el servicio correspondiente y en muchos casos servir como refugios temporales a un gran número de personas que se espera serán afectadas debido a la ocurrencia de un sismo.

El presente trabajo de investigación ha centrado su atención en un centro educativo de educación superior de 2 niveles del que se dispone de información cualitativa y cuantitativa sustentada a través de los planos de estructuras esta edificación fue

construida alrededor de los años 80 es decir mucho antes de aparecer las normas de diseño sísmico vigentes por lo que se estima tendrá un comportamiento sísmico inadecuado Dado que se trata de una edificación esencial que alberga las actividades de numerosos estudiantes y administrativos el colapso de esta provocaría no sólo la pérdida de vidas humanas lo que es un hecho irreparable sino también la pérdida de los servicios de esta edificación y la pérdida de uso como refugio temporal es tal como estipula la norma de diseño sísmico(Kim et al., 2020).

La estructura educativa analizada presenta una serie de deficiencias estructurales cualitativas tales como columnas de secciones transversales esbeltas considerando el número de pisos de que dispone esta edificación siendo en este caso 2 pisos. Además de esto existen vigas peraltadas en una sola dirección en la dirección de pórticos mientras que en la dirección transversal existen muros de albañilería (Bakhoum et al., 2015).

El presente trabajo de investigación se propone estudiar la respuesta sísmica de la edificación en su estado actual y cuantificar los posibles daños en la estructura para poder decir con seguridad absoluta si el colapso pronosticado de manera cualitativa es una verdad inevitable, además de esto, el presente trabajo de investigación propone la mejora del sistema estructural usando una técnica de reforzamiento conocida como encamisado de columnas. Este proceso permite incrementar las secciones transversales de las columnas y cualquier otro elemento estructural que fuese necesario para incrementar, no sólo la resistencia lateral, sino también la ductilidad global de la estructura; incrementando sus posibilidades de sobrevivir y de mantener la funcionalidad de los servicios durante la ocurrencia de un sismo de gran magnitud y por supuesto después de la ocurrencia de este evento.

De acuerdo con lo establecido en la realidad problemática en este trabajo de investigación nos planteamos la siguiente pregunta general de investigación. A decir: ¿Cuál es la mejora de la respuesta sísmica de la edificación analizada cuando los elementos resistentes incrementan su sección transversal mediante el encamisado de columnas?

De acuerdo con la metodología de investigación sugerida por numerosos autores como Hernández Sampieri et. al (2018), la pregunta general de investigación debe

ser respondida a través de tres preguntas específicas de investigación, que sumadas permitan entender y responder la pregunta general. En este sentido las preguntas de investigación específicas consideradas en el presente trabajo de investigación se citan a continuación: ¿Qué tipo de encamisado de columnas resulta más efectivo para mejorar la respuesta sísmica de una edificación educativa? ¿Qué mejora en las máximas distorsiones de entrepiso genera el uso del encamisado de columnas en una edificación educativa? ¿Qué tipo de irregularidades estructurales se pueden evitar o minimizar o sea no encamisado de columnas tengo una edificación educativa?

A menudo la pertinencia y necesidad de una investigación merecen una justificación tanto práctica como teórica y en ocasiones incluso una justificación económica, el presente trabajo de investigación está centrado en el área de la ingeniería estructural y por tanto su justificación contiene las 3 dimensiones mencionadas anteriormente

Desde el punto de vista práctico, el presente trabajo se justifica pues permitirá conocer la situación actual de esta edificación educativa y en caso de tener una respuesta sísmica deficiente que no garantice la seguridad de sus ocupantes este trabajo de investigación permitirá proponer una técnica que mejore los resultados y permita garantizar la seguridad de los ocupantes y la continuidad de los servicios de educación básicos.

Desde el punto de vista económico, el presente trabajo de investigación justifica su existencia en el hecho de que, de ocurrir un sismo de gran magnitud podría ocurrir el colapso de la estructura considerada produciendo esto cuantiosas pérdidas económicas. Además, hay que considerar que se pierde no sólo la estructura sino la limpieza, remoción de escombros, y la reposición de esta unidad. Estos costos pueden llegar a cuadruplicar el costo de la edificación considerada el presente trabajo de investigación. Por otro lado, el presente trabajo de investigación pretende anticiparse a esta situación y proponer mejoras en el sistema estructural que permitan la continuidad de sus servicios. Los costos asociados a esta actividad, de acuerdo con trabajos como los de San Bartolomé (2015), estarían en el orden del 50% del costo de reposición de la estructura.

Una vez sustentado la importancia del presente trabajo de investigación desde diversas dimensiones se procede a contemplar y exponer los objetivos que se persiguen con la realización de este trabajo. Se dará inicio exponiendo al objetivo principal objetivo general: Mejorar la respuesta sísmica de la edificación educativa analizada usando la técnica del encamisado de columnas en los niveles y cantidades necesarias para este fin.

Con la finalidad de poder alcanzar el objetivo general propuesto en el presente trabajo de investigación se ha considerado conveniente e importante llegar a este objetivo general a través de los 3 siguientes objetivos específicos: Determinar el tipo de encamisado más apropiado a usarse en la presente institución educativa y que permita alcanzar los fines de mejora de respuesta sísmica especificados. Establecer las mejoras cuantitativas obtenidas a través del uso de encamisado de columnas en la edificación educativa analizada. Determinar los tipos de irregularidades estructurales que se han evitado haciendo uso del encamisado de columnas en la institución educativa analizada.

Finalmente, y de acuerdo con las recomendaciones dadas por metodólogos como Hernández Sampieri et. Al (2019) es necesario anticipar una respuesta a la problemática de investigación para ponerla a prueba tal respuesta anticipada es conocida usualmente como hipótesis de la investigación al igual que en los casos anteriores se ha optado por plantear una hipótesis general la que se enuncia a continuación

El encamisado de columnas incrementa la sección transversal de estas, así como su resistencia y rigidez provocando esto la mejora en la respuesta sísmica de la edificación analizada (Bakhoum et al., 2015; Sabol & Priganc, 2013). La presente investigación por ser de carácter experimental – descriptivo sugiere el planteamiento de hipótesis, pero la presentación de resultados planteará solución a los problemas propuestos. Al igual que los casos comentados anteriormente la consecución de la hipótesis general requiere de la construcción de 3 hipótesis específicas que nos permitan decidir si la hipótesis planteada es verdadera o no a continuación se enuncian estas. El encamisado total de columnas permitirá una mejora sustancial en la resistencia y rigidez lateral de los elementos estructurales y por tanto una mejora en la respuesta sísmica de la edificación analizada. El

encamisado de columnas de concreto armado permitirá tener niveles de distorsión lateral de entre piso de la edificación dentro de los parámetros establecidos en la norma peruana de diseño sísmico. El encamisado de columnas de concreto armado permitirá minimizar los efectos de irregularidad de torsión en la edificación educativa analizada.

MARCO TEÓRICO

8.1 ANTECEDENTES

En relación a los antecedentes internacionales sobre el tema del presente trabajo de investigación, se ha encontrado:

(Kim et al., 2020) En su trabajo de investigación titulado: " *Optimal seismic retrofit method for reinforced concrete columns with wing walls. Engineering Structures*". El reacondicionamiento sísmico de columnas de hormigón armado utilizando paredes laterales se puede utilizar para mejorar la resistencia a cortante y flexión de la columna a través de un proceso relativamente simple. Sin embargo, la viabilidad y la eficiencia del reacondicionamiento sísmico de los marcos de hormigón armado con paredes laterales depende en gran medida de la selección del número de columnas a reacondicionar, las dimensiones de la sección transversal de las paredes laterales y la cantidad de armaduras de la pared lateral. En este estudio, se propone un método de diseño de reacondicionamiento sísmico óptimo para minimizar no solo el costo inicial de reacondicionamiento, sino también el daño inducido por terremotos que se espera durante el ciclo de vida del edificio. El comportamiento sísmico de las estructuras antes y después de la aplicación de la modernización se ha verificado con la comparación de cuatro parámetros de respuesta: curvas de empuje, relaciones de deriva entre pisos, capacidades de disipación de energía y modos de falla. El método de modernización propuesto se aplica a la modernización sísmica de un ejemplo de edificio de hormigón armado de seis pisos y una estructura de edificio de hormigón armado real en uso. Para el reacondicionamiento de la estructura real del edificio, con un peso de reacondicionamiento inicial de 70.85 kN, que corresponde al 1.85% del peso del edificio no reacondicionado, la capacidad de disipación de energía se incrementó

en 3.02 veces y el costo del ciclo de vida (LCC) de la remodelación se redujo al 69,47% del LCC requerido para el edificio no remodelado. Además, se ha confirmado que no ocurrió ningún colapso de piso en el nivel de prevención de colapso, lo que indica el mecanismo de falla más severo de una estructura debido a un terremoto.

(FERREIRA et al., 2016) en su trabajo de investigación titulado "*Behavior of reinforced concrete columns strenghtened by partial jacketing*" presentaron una serie de resultados obtenidos del ensayo de columnas de concreto armado reforzadas mediante la técnica del encamisado. De hecho estos investigadores usaron una técnica conocida como encamisado parcial. El encamisado parcial es un proceso mecánico en el que la sección de una columna se incrementa en una sola dirección a diferencia del encamisado total en el que la sección transversal se incrementa en todas las direcciones. El principal objetivo de este trabajo de investigación fue evaluar la efectividad del encamisado parcial de columnas de concreto armado pues existía cierto recelo y temor sobre la adherencia entre el concreto existente y el concreto recientemente colocado era suficientemente adecuado para resistir los esfuerzos combinados de tensión y cortante en la interfaz aun cuando se use un aditivo epóxico en la interfaz. La metodología aplicada para este trabajo de investigación consistió en la fabricación de 10 especímenes de concreto armado que posteriormente fueron ensayados bajo cargas crecientes hasta alcanzar la falla del elemento. El diseño de investigación puede ser considerado como un diseño experimental pues durante el ensayo de los especímenes y durante su fabricación se controlaron variables como la cuantía de refuerzo longitudinal el aditivo del próximo colocado en el interfaz concreto nuevo concreto existente y la carga aplicada la finalidad fue determinar el efecto de estas variables en la resistencia a las fuerzas combinadas de compresión y flexión. Los resultados obtenidos muestran que la técnica del encamisado parcial permite incrementar de manera considerable la resistencia a la compresión y a la flexión de acuerdo con los resultados obtenidos por estos autores es posible quintuplicar la resistencia flexo axial de los elementos estructurales.

Yauli, J (2014), Según el resumen, la amplia información que tenemos sobre la evaluación y reparación de los rayos estructurales es crítica porque nos permite

comprender los diferentes tipos de fallos estructurales que pueden producirse, lo que facilita la toma de la mejor decisión a la hora de seleccionar el tipo de refuerzo estructural necesario en cada situación con la ayuda de los parámetros que se encuentran en el ACI 440-2R, como es el caso con el uso de fibras de carbono. (p.37). En consecuencia, tras una evaluación exhaustiva, se realizan las pruebas de fabricación, reparación y flexión necesarias en el haz para obtener resultados que nos permitan distinguir entre un haz sin refuerzo y un haz reforzado con capas de fibra de carbono. También se crea un modelo utilizando software especializado de acuerdo con las regulaciones ecuatorianas (Ecuadorian Construction Standard - NEC 11) para obtener los parámetros necesarios para su modelización precisa y para contrastar estos parámetros con los obtenidos de las pruebas descritas anteriormente. En consecuencia, después de obtener los resultados del laboratorio y de la modelización, se determinó que la resistencia del haz reforzado con fibra de carbono es mayor que la resistencia del haz no reforzado. Esta tesis contribuye a nuestra comprensión de cómo los rayos estructurales pueden ser más fuertes y más eficaces incorporando fibras de carbono. Esto se consigue mediante el uso de los componentes y propiedades que las fibras de carbono ofrecen, permitiendo a la estructura cumplir todos los requisitos o parámetros que pueden evaluarse, como se demuestra en esta tesis (NORMA Y GUIAS).

En el contexto nacional se ha recopilado información de los siguientes antecedentes:

Peña, W (2017), El resumen indica que el comportamiento correcto de la fibra de carbono como material en las condiciones en las que se lleva a cabo el proyecto analizado se indica. Además, la precisión del refuerzo con el objetivo de corroborar la resistencia y el estado en el que se encuentra el material cuando llega a la fase de su vida útil. Además, habrá una verificación de las propiedades a través de pruebas de comprensión y flexión, que reflejarán las ventajas de utilizar capas en el refuerzo de los rayos de hormigón armado en las estructuras que se construirán con ellos. (p.7). Como resultado de las pruebas y el refuerzo, ha aumentado la carga aplicada a la estructura, lo que permite una mayor resistencia, mayor rigidez y mayor flexión en la estructura, especialmente en las luces de hormigón armado. En esta tesis, aprenderemos las propiedades de la fibra de carbono en los elementos

que se probaron en el laboratorio, así como cómo se verificaron y confirmaron las especificaciones técnicas del material y su eficacia como material de refuerzo estructural en los edificios.

Jácome, P (2016), En esencia, el potencial Paradigma Crítico nos permite analizar las condiciones actuales en las que se encuentra el edificio en cuestión, como se afirma en el resumen. En consecuencia, como hay varias opciones para reforzar una estructura en caso de un evento sísmico, se espera que se elija la mejor solución al problema y que se identifiquen las ventajas que la estructura obtiene del refuerzo estructural. (p.25). En la actualidad, la metodología en uso se centra en el refuerzo con FRP (Fiber Reinforced with Polymer), que debe pasar por un proceso de evaluación que sigue los códigos y reglamentos necesarios, así como las pruebas esclerométricas y el análisis estructural; esto es necesario porque es necesario diagnosticar la estructura para tomar las medidas correctivas adecuadas. Además, se utilizó un software de cálculo para verificar los resultados del análisis realizado con fibras reforzadas con polímero en el edificio mixto en consideración. Debido a esta tesis, ahora entendemos la existencia de diversas técnicas para reforzar una estructura, y podemos tomar la mejor decisión a la hora de seleccionar el método de refuerzo estructural más adecuado de acuerdo con los requisitos, así como la alternativa más adecuada de acuerdo con la evaluación que tiene el elemento estructural. Hay deficiencias en su estado actual de servicio.

Silva, P (2016), Como se indica en el resumen, al realizar pruebas sobre elementos de hormigón reforzados con acero estructural, es posible determinar las propiedades mecánicas del uso de fibras de carbono en el comportamiento de tracción de los elementos. También contiene información sobre la aplicación y el uso de las fibras de carbono, así como pruebas para determinar las propiedades que un elemento de acero estructural adquiere como resultado de la aplicación de las fibras de carbono, así como el aumento de su resistencia.(p.4).También revela las diversas industrias y mercados en los que se utiliza este método de refuerzo estructural con fibras de carbono, así como las diez marcas alternativas que han surgido en el entorno en el que se ha desarrollado, permitiendo al profesional concernido ser consciente de las diversas alternativas, así como de las

especificaciones técnicas del material. Esta tesis nos ayuda a comprender las diversas áreas y perspectivas de los profesionales implicados en el uso de las fibras de carbono como alternativa al refuerzo estructural, así como la aceptación generalizada de las fibras de carbono como alternativa al refuerzo estructural; y la verificación de los diversos elementos estructurales a través de pruebas que garanticen el funcionamiento y el comportamiento adecuados, así como la tracción de los diversos elementos estructurales.

Debido a que el trabajo desarrollado se centra en el departamento de Lima, los antecedentes nacionales y locales coinciden, por lo que se ha considerado innecesario detallar más trabajos de este tipo, pues sería redundante.

TEORÍAS

Deficiencias estructurales

Las deficiencias estructurales son un conjunto de características propias de una edificación que propician un comportamiento sísmico inadecuado, esto puede ser entendido como la propensión de una estructura a sufrir daño estructural. Aunque es usual pensar que el daño estructural proviene de una acción sísmica de gran magnitud, las deficiencias estructurales características de una edificación pueden provocar daños aún para el caso de sismos moderados o sismos poco frecuentes; esta condición nos hace pensar qué tales deficiencias deben ser mitigadas o eliminadas por completo para evitar consecuencias mayores a posteriori (Dizhur et al., 2014).

Algunas de las deficiencias estructurales más características son, por ejemplo, las irregularidades en planta y en altura; por ejemplo, la irregularidad de torsión, la irregularidad de esquina entrante, irregularidad de rigidez, irregularidad de masa, entre otros.

Además de las características estructurales deficientes, algunas causas más comunes que provocan deficiencias estructurales son el uso de materiales inadecuados o de mala calidad, como es el caso del concreto colado en sitio; muchas veces no se siguen los requerimientos los protocolos necesarios para conseguir un concreto de la resistencia adecuada. Cómo resultará evidente al lector

este hecho provoca una disminución notable de la resistencia lateral y Asimismo de la rigidez lateral necesarias para garantizar un comportamiento sísmico adecuado

Es cierto que el acero estructural de refuerzo es en general industrial importante sus características son muy poco variables o con una desviación estándar muy pequeña, creo que se puede garantizar que ésta tiene calidad necesaria para los requerimientos de construcción del mundo moderno; sin embargo, se debe tener en cuenta que un inadecuado diseño o una carencia de este provocaría cuantías de refuerzo muy inferiores a las requeridas para los niveles de demanda sísmica o de carrera habitacional verdaderamente necesarios en el momento adecuado, esto también provocaría un comportamiento sísmico inadecuado(FERREIRA et al., 2016).

Reforzamiento estructural

El reforzamiento de estructuras en general tiene como objetivo incrementar variables tales como resistencia, rigidez y capacidad de deformación lateral, ya que son estas características las que le permitirán a la estructura poder afrontar con éxito la ocurrencia de un evento sísmico. Con la finalidad de cumplir con los objetivos mencionados, a menudo es usual el reforzamiento de elementos estructurales estratégicos, usualmente los que componen parte del sistema resistente a cargas laterales(Valdivia Chilón, 2019).

Dentro de las técnicas de reforzamiento más conocidas, tenemos el encamisado de vigas y columnas de concreto armado, que esencialmente consiste en incrementar la resistencia y rigidez lateral de los elementos de concreto armado, mediante el incremento de su sección transversal, tal como se muestra en la Figura 1.

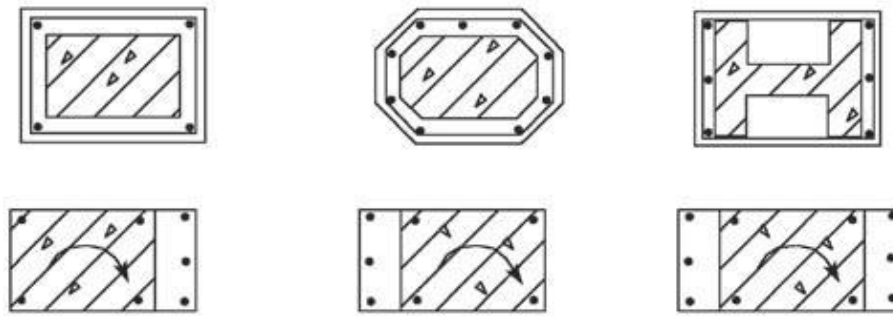


Figura 1: Reforzamiento de columnas mediante el incremento de la sección transversal. Fuente: *Retrofitting Design of Building Structures*, Xilin Lu (2010).

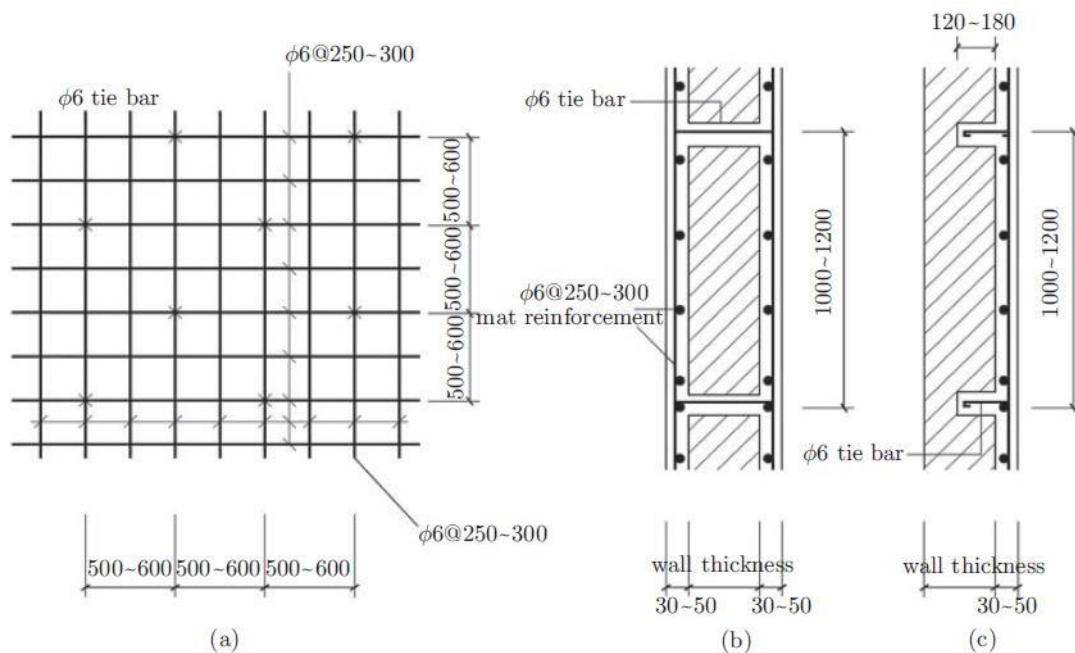


Figura 2: Reforzamiento de muros de mampostería. Fuente: *Retrofitting Design of Building Structures*, Xilin Lu (2010).

El incremento de la sección transversal de un elemento vertical resistente a cargas laterales tiene como objetivo principal el incremento de 2 características esenciales de todo sistema estructural, a decir, la resistencia lateral y la rigidez lateral del sistema y por tanto del elemento específicamente. Es importante, Por lo anterior, definir con claridad de quién se habla o qué se entiende cuando se dice rigidez lateral y resistencia lateral. A continuación, se definen estos términos (Padilla Quincot, 2012).

La rigidez lateral de un elemento estructural o incluso de un sistema estructural se define como la fuerza lateral necesaria a aplicar con la finalidad de lograr una

deformación lateral, medida usualmente en el tope del elemento. De acuerdo con esta definición un elemento estructural que requiera $2 T$ para lograr una deformación unitaria de 1 mm es mucho más rígida que un elemento estructural que requiere de tan sólo una tonelada para lograr el mismo nivel de deformación unitaria. En términos prácticos un elemento estructural o sistema estructural es mucho más rígido sí con el mismo nivel de fuerza se puede lograr mayor deformación o menor deformación. Aunque existe una definición matemática a partir de las ideas comentadas en esta sección, se ha preferido el uso de una definición conceptual e intuitiva del concepto de rigidez, pues esto resulta mucho más útil en la práctica de la ingeniería estructural (Páez et al., 2018).

Otro de los términos de gran importancia es sin duda la resistencia. Este parámetro se define como el nivel de fuerza lateral requerido para lograr la inestabilidad del elemento o sistema estructural. En cuestión. Como el lector podrá apreciar la definición de resistencia lateral atraído a colación un nuevo término definido como inestabilidad del elemento o sistema estructural, resulta por tanto imprescindible y recomendable la definición de este término. En términos prácticos, se dice que un elemento estructural es inestable o alcanza la inestabilidad cuando exhibe deformaciones crecientes sin incrementos de fuerza apreciables. Este criterio o concepto hace recordar al concepto de fluencia. Se debe recordar que el acero estructural, por ejemplo, alcance la fluencia cuando exhibe grandes niveles de deformación casi sin incrementarse el nivel de carga aplicado. Esta misma idea se aplica al caso de elementos estructurales. Imagínese que se tiene una columna de 3 m de longitud a la que se aplica una carga lateral creciente de manera monótonica. es decir, la carga se va incrementando desde cero hasta que el elemento sea incapaz de tolerar más tal fuerza. En este caso se dice que la resistencia lateral del elemento se alcanza cuando la rigidez lateral del elemento están que permite desplazamientos incontrolables casi sin incremento de carga. En otros términos, se puede decir que el elemento estructural se ha vuelto inestable cuando la matriz de rigidez de este se convierte en una matriz singular. En términos prácticos se puede decir que un sistema estructural se vuelve inestable cuando la matriz de rigidez o el determinante de la matriz de rigidez es igual a cero, es decir cuando el jacobiano de la matriz de rigidez se anula (Bakhoum et al., 2015).

Ahora que los términos previos considerados en este trabajo de investigación han sido definidos con precisión y claridad podemos seguir en nuestro afán de sostener la necesidad del reforzamiento estructural en elementos de concreto armado.

ante esta situación Cabe mencionar que los sistemas estructurales en muchas ocasiones pueden tener requerimientos de rigidez inferiores a los necesarios, por lo que incrementará la sección transversal de tales elementos resulta en una necesidad imperiosa si no queremos violar o transgredir una serie de objetivos de desempeño esperados en la estructura. En estos casos lo más recomendable es incrementar las secciones transversales de los elementos verticales más importantes, algunos ejemplos de tales ideas se muestran en la figura correspondiente (Zavala et al., 2014).

Se puede observar de esta figura es posible incrementar las dimensiones del elemento estructural en ambas direcciones, De hecho, a este procedimiento es al que se denomina propiamente como encamisado de columnas. Pero también es posible incrementar la sección del elemento tan sólo una dirección tal como se muestra en la misma figura. Esta técnica es la recomendada cuando la rigidez es deficiente tan solo en una dirección de análisis y el reforzamiento integral puede hacer demasiado costoso para resolver la problemática planteada (Zavala et al., 2014).

Es interesante comentar que el incremento de la sección transversal en una sola dirección puede hacerse en una cara del elemento estructural o en ambas caras tal como se aprecia en la figura mencionada, como resulta evidente la elección de un caso u otro dependerá claramente de las necesidades del sistema estructural en su conjunto y de los objetivos de desempeño que se quieran alcanzar.

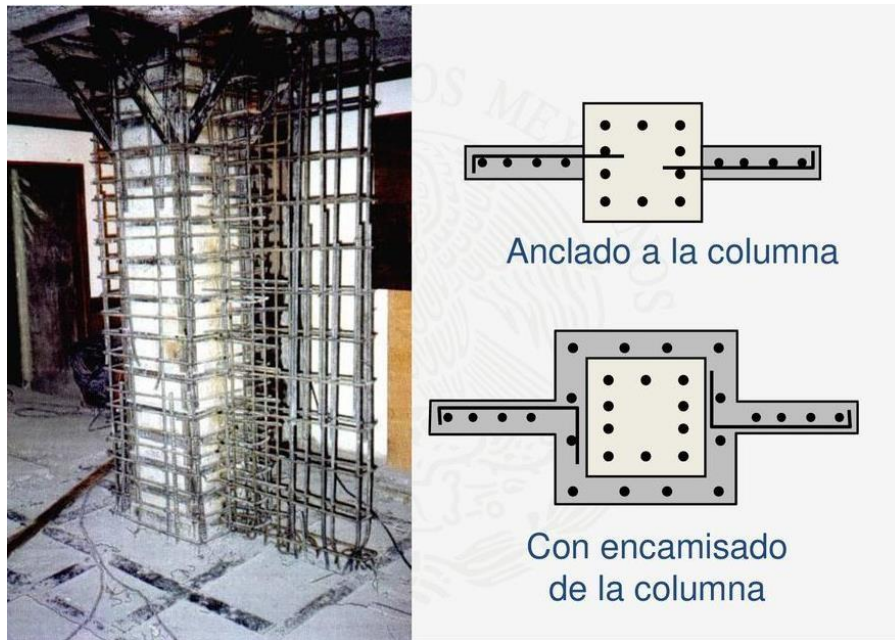


Figura 3: Muros tipo Wing en columnas de concreto armado y encamisado de columnas. Fuente: Retrofitting Design of Building Structures, Xilin Lu (2010).

En el caso de requerirse además de incrementos de resistencia lateral, incrementos de rigidez lateral, una de las mejores opciones puede ser el incremento de la longitud efectiva en la dirección requerida. Para este fin se pueden usar muros delgados de concreto armado tipo *wing shape reinforced concrete* tal como se muestra en la figura presentada a continuación.

Este tipo de reforzamiento permite incrementar de manera considerable el nivel de rigidez del sistema lateral puesto que se incrementa de manera directa a la longitud del elemento estructural y por tanto el momento de inercia en esta dirección. Como se muestra en la misma figura es posible no sólo colocar alas de concreto armado a una columna, sino también es posible combinar el encamisado de columnas, es decir incrementar la sección transversal de la columna, y a la vez incrementar la rigidez mediante la colocación de alas o placas de concreto armado tal como se muestra una fotografía mostrada.

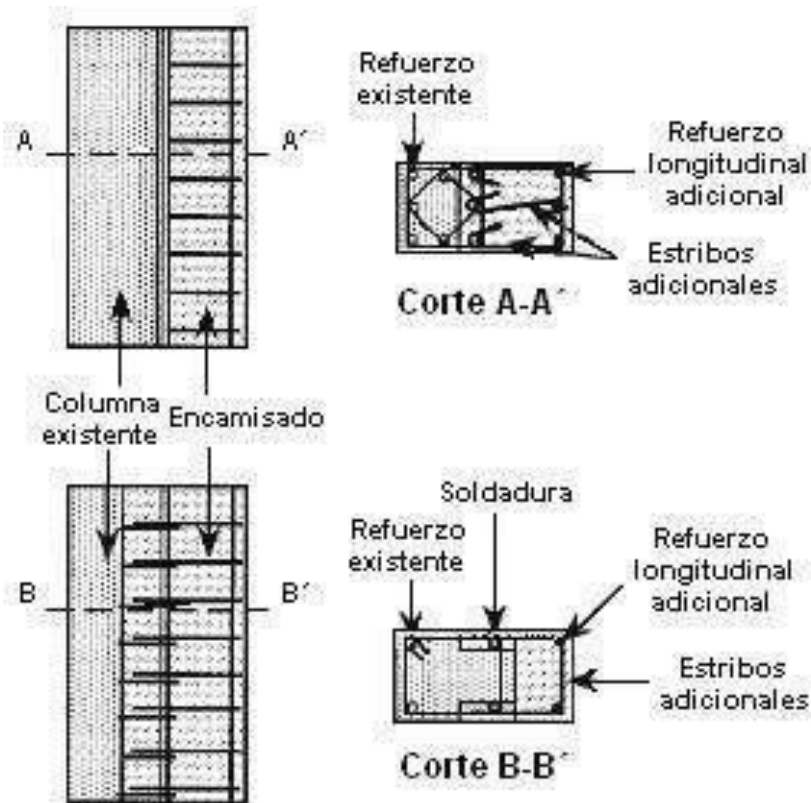


Figura 4: Encamisado de columnas realizadas en una dirección. Fuente: Retrofitting Design of Building Structures, Xilin Lu (2010).

Aunque estos momentos se ha hablado del incremento de la sección transversal de las columnas de concreto armado no se ha especificado que tal incremento debe hacerse no sólo en el concreto sino también en la cuantía de refuerzo longitudinal y transversal, esto en buena cuenta significa que se debe suministrar el refuerzo longitudinal necesario, así como la cuantía de refuerzo transversal necesaria. En cuanto al refuerzo longitudinal agregado ésta debe estar anclada en la cimentación del elemento estructural, lo que en muchos casos no es posible hacer directamente puesto que la cimentación está preparada para una columna pequeña. En este tipo de casos se debe agregar cimentación adicional que permita el anclaje adecuado de los nuevos elementos de acero colocados.

Aunque el anclaje del refuerzo longitudinal es complicado y tedioso, el refuerzo transversal requerido podría llegar a ser más complicado. Recordemos que el refuerzo transversal cumple 2 condiciones básicas. La primera de ellas es resistir los esfuerzos de corte provocados por tracción diagonal. Y la segunda y más

importante es la de confinar el concreto dotándolo de ductilidad y de resistencia superior a las del concreto sin confinar.

En la figura mostrada anteriormente se observa una forma o método para anclar el refuerzo transversal del encamisado al refuerzo longitudinal y transversal existente en la columna previamente tratada. Como se puede ver de esta figura si el incremento de la sección se hace sólo en una cara es posible anclar el refuerzo transversal adicional al refuerzo longitudinal existente mediante la generación de ganchos sísmicos. Esta técnica permite colocar el refuerzo transversal nuevo de manera práctica y anclarla al refuerzo longitudinal existente.

8.2 Rehabilitación De Estructuras

La rehabilitación de estructuras contempla el aumento de la capacidad de los elementos estructurales debido a que estos fueron diseñados considerando lineamientos para el detalle de los refuerzos correspondientes a códigos de diseño pasados (Proaño, 2014).

- Edificaciones antiguas diseñadas con o sin códigos sísmicos
- Puentes antiguos cuyo diseño original no contempla las recomendaciones actuales la determinación de la demanda sísmica y con detalles de refuerzo antiguos.
- Edificios históricos con materiales antiguos, métodos de construcción antiguos y que no contemplan los nuevos lineamientos de construcción.

8.3 Proceso De Reforzamiento

De acuerdo con Proaño (2014), el reforzamiento es un proceso sistemático y debe seguir una secuencia lógica, el mencionado autor recomienda el siguiente esquema para poder alcanzar los objetivos de desempeño estructural, como el mostrado en la Figura 5.

1. Identificación sistema estructural existente
2. Identificar las relaciones de aspecto de la estructura

- Irregularidades en planta
 - Irregularidades en altura
3. Estimación de masa y propiedades estructurales
 - Valor Global
 - Distribución en planta
 - Distribución en elevación
 4. Estimación de la rigidez de la estructura
 - Distribución de la rigidez en planta
 - Distribución de la rigidez en la altura
 - Identificar discontinuidades o deficiencias
 5. Definir interacción estructura con excitación sísmica.
 - Análisis elástico (Estático o dinámico).
 - Definir posibilidad de mal comportamiento sísmico
 - Identificar deficiencias.

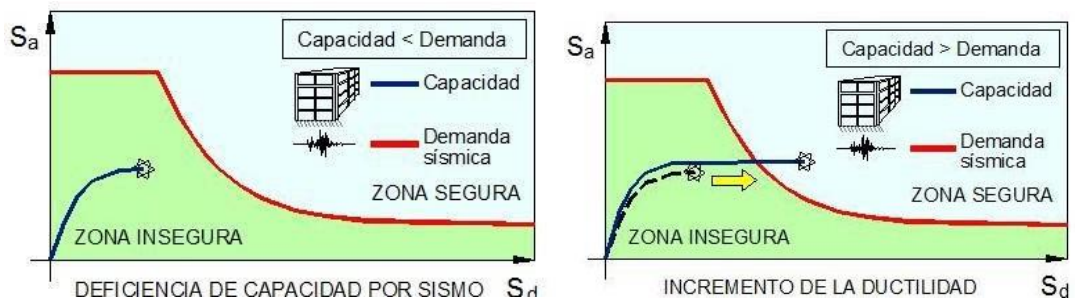


Figura 5: Proceso de reforzamiento en estructuras (Proaño, 2014).

8.4 Estudio cuantitativo del reforzamiento estructural

El reforzamiento estructural es un conjunto de actividades orientadas a la mejora de ciertas características mecánicas de la estructura bajo cuestión. Algunas de estas actividades están orientadas a incrementar la resistencia lateral de la estructura. Esto es incrementar y la fuerza lateral necesaria para provocar el colapso del sistema estructural. En la figura mostrada a continuación se muestra un

ejemplo de lo que ocurre cuando se tiene con incremento de resistencia debido a la adición de elementos resistentes.

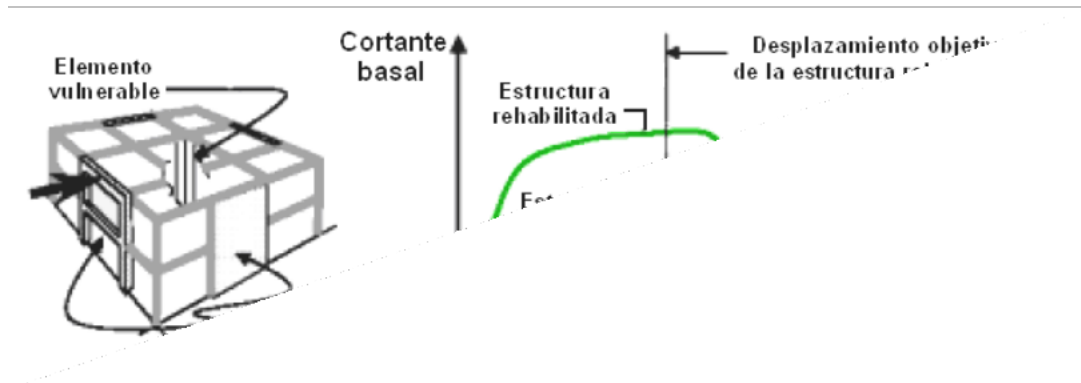


Figura 6: Incremento de la rigidez y resistencia lateral. Fuente: Rehabilitación de estructuras de concreto. Soto (2008).

En muchos casos la adición de elementos resistentes en línea o paralelos no es una prioridad puesto que el nivel de resistencia es el adecuado. En muchos casos la deficiencia se presenta en la capacidad de deformación de la estructura. La capacidad de deformación de la estructura es una característica que le permite a un elemento estructural o a todo un sistema estructural deformarse sin pérdida de rigidez y resistencia, este parámetro a menudo recibe el nombre de ductilidad. Eso sí que dentro del diseño sísmico modernos se requiere que una edificación sea dúctil esto le confiere a la estructura de la capacidad de tolerar incrementos de fuerza no previstos en el diseño sísmico.

En estos casos lo que se busca es dotar a la estructura de una capacidad de deformación mayor lo que se puede lograr con la adición de varillas de refuerzo cerca la superficie o la adición de elementos estructurales con mayor capacidad de deformación. Un ejemplo de este resultado se muestra en la figura siguiente. En esta figura se muestra la capacidad de deformación de la estructura original pintada en color azul; mientras que la capacidad de deformación obtenida mediante la adición de ciertos elementos dúctiles se muestra pintada en color verde.

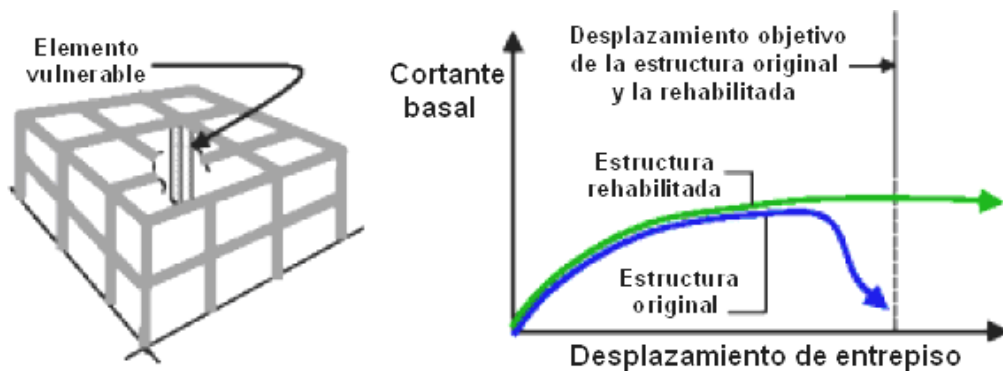


Figura 7: Incremento de la ductilidad de la estructura. Fuente: Rehabilitación de estructuras de concreto. Soto (2008).

8.5 Propiedades Relevantes De Una Estructura Sismorresistente

Toda estructura posee ciertas características que definen sus propiedades mecánicas y estas a su vez definen la respuesta sísmica de estas frente a la acción de sismos (Proaño, 2014), las propiedades más importantes que definen las respuestas sísmicas son:

1. La resistencia lateral
2. La rigidez lateral
3. La capacidad de deformación
4. La masa reactiva
5. Disipación de energía

Rigidez Lateral

La rigidez lateral es una medida del grado de flexibilidad de una edificación, entendido este término como la deformación que alcanza un sistema estructural ante la aplicación de un cierto conjunto de cargas. De manera mucho más específica la rigidez lateral se define como la fuerza necesaria a aplicar a un sistema estructural con la finalidad de lograr un desplazamiento unitario.

Este es uno de los parámetros más importantes en una edificación puesto que de acuerdo con estudios realizados en numerosos trabajos previos como los de San

Bartolomé (2015) Wallace et. Al (2018), edificaciones con una rigidez lateral pobre tienden a sufrir daños estructurales considerables durante la ocurrencia de un evento sísmico.

Resistencia lateral

La resistencia lateral es un parámetro que mide la fuerza lateral máxima que una edificación pueda tolerar sin que se produzca la inestabilidad en el sistema estructural. Cuando nos referimos a inestabilidad en el sistema estructural estamos hablando de la capacidad de tolerar deformaciones incrementales ante esfuerzos o fuerzas incrementales. En este sentido se dice que un sistema se ha vuelto inestable cuando experimenta deformaciones laterales crecientes sin un incremento positivo de fuerzas laterales.

Distorsiones laterales

Las distorsiones laterales son una medida de deformación de la estructura cuando esté sometida a un conjunto de cargas laterales típicamente producto de la acción de un sismo. En términos matemáticos la distorsión lateral se define como el cociente el desplazamiento relativo de un entrepiso cualquiera y la altura del entrepiso correspondiente. Como el lector podrá apreciar de esta definición el resultado de este cociente da un número adimensional, es costumbre que éste no se exprese en tanto por 1000 de tal forma que pueda ser comparado directamente con los valores establecidos en la norma peruana de diseño sísmico.

TÉRMINOS BÁSICOS

Columnas: elemento estructural prismático que actúa como soporte de un entrepiso. Típicamente es un elemento sometido esfuerzos de flexión y esfuerzos axiales.

Vigas: elemento lineal diseñado específicamente para resistir esfuerzos de flexión debido a cargas perpendiculares al eje longitudinal. Es necesario aclarar que a diferencia de las columnas este elemento no recibe esfuerzos axiales provenientes de carga que sean considerables

Encamisado: es una técnica de reforzamiento que consiste en incrementar la sección transversal del elemento estructural ya sea en una dirección o en ambas direcciones con la finalidad de conferirle nuevas propiedades mecánicas y mejores típicamente resistencia y rigidez lateral.

Rigidez lateral: la rigidez lateral es un parámetro que mide la fuerza necesaria a ser aplicado a un sistema estructural con la finalidad de obtener una deformación unitaria.

Distorsiones laterales: la distorsión lateral es un parámetro que mide la deformación lateral provocada en un sistema estructural debido a la acción de un conjunto de cargas externas.

Concreto: el concreto es un material producido por la mezcla de 3 componentes básicos agua agregados y cemento. Una de sus mayores es su propiedad de adaptación a los moldes por lo que tiene amplio uso en aplicaciones de ingeniería.

METODOLOGÍA

9.1 Tipo y diseño de Investigación

De acuerdo con Hernández Samperi et. Al (2018) una investigación este tipo aplicada cuando está pretende resolver una problemática existente y había Rita haciendo uso del Estado del conocimiento actual y aplicando de manera ingeniosa y novedosa a la generación de una respuesta. De acuerdo con las características del trabajo desarrollado en este documento, y tomando en cuenta que se centra en la solución de una problemática vigente haciendo uso del conocimiento disponible, se concluye que estamos ante una investigación de tipo aplicada.

En cuanto al diseño de investigación se puede comentar que de acuerdo con Borja (2015) y Hernández Samperi et. Al (2018), existen esencialmente 2 diseños de investigación, a decir el diseño de investigación experimental y el diseño de investigación no experimental. El primero se centra en la manipulación de una variable específica con la finalidad de medir su efecto en una variable dependiente y de esta forma poder determinar la relación existente entre estas. Por el contrario, un diseño de investigación no experimental es aquel en el que no existe una manipulación deliberada de las variables existentes por parte del investigador, sino que más bien éste se hace centrado en algunas características específicas del objeto de estudio.

De acuerdo con las características de investigación citadas y tomando en cuenta que en este trabajo de investigación se pretende evaluar el efecto que tiene el encamisado de columnas en el comportamiento estructural de la edificación de interés, es decir existirá manipulación de la variable sistema estructural. Se concluye que, el presente trabajo de investigación tiene un diseño de investigación experimental.

9.2 Variables y operacionalización

Las variables consideradas en este estudio son las siguientes

variable independiente

reforzamiento basado en encamisado de columnas

Las dimensiones consideradas para esta variable de estudio son las siguientes

1. área de refuerzo longitudinal
2. área de refuerzo transversal

La variable dependiente es la siguiente

respuesta sísmica

las dimensiones consideradas por esta variable de estudio son las siguientes

1. máximos desplazamientos laterales
2. máxima distorsiones laterales
3. rigidez lateral

9.3 Población y muestra

De acuerdo con Hernández Samperi 2018 la población es el conjunto total de unidades de análisis correspondientes al objeto de estudio o al objeto que provoca el interés del investigador y que genera la interrogante de investigación. En el presente trabajo el objeto que genera interés es la edificación del colegio Felipe Salaverry que presenta una serie de deficiencias estructurales. De acuerdo con la definición de población dada por este investigador la población del presente del trabajo de estudio sería el total de unidades de análisis que cumplen con esta definición notando que sólo tenemos un caso por lo que la población vendría a ser la edificación del colegio Felipe Salaverry.

En cuanto a la muestra, de acuerdo con Hernández en pie 2018, este nos dice que es un subconjunto de la población tomado cuando la evaluación de cada elemento de la población resulta inviable debido a la gran cantidad de elementos que existen dentro de la población. En el presente trabajo de estudio y dado que la población tiene un solo elemento no es necesario realizar un muestreo ya que se estudiará la edificación completa y la propuesta de reforzamiento será dada para la edificación en su totalidad.

9.4 Técnicas y recolección de datos

Las técnicas empleadas para la recolección de datos requeridos para el desarrollo del presente trabajo de investigación son esencialmente técnicas de campo y de recolección bibliográfica.

Entre las técnicas de campo están las medidas in situ mediante cinta métrica o láser. Levantamiento de elementos estructurales fundamentales tales como columnas placas muros de albañilería vigas losas de concreto armado entre otros.

Entre las técnicas de levantamiento de información bibliográfica se tiene la recopilación y lectura documentación técnica referida a la estructura tales como planos de arquitectura, planos de estructuras, expediente técnico, entre otras.

9.5 Procedimientos

El procedimiento establecido para el desarrollo del presente trabajo de investigación está basado en el uso del encamisado de columnas como técnicas de reforzamiento estructural o como técnicas de mejora de la respuesta estructural. De trabajo de investigación se ha dividido en 3 pasos específicos, siendo estos los citados a continuación:

El primer paso a realizar durante el trabajo de investigación será la recolección de la información necesaria sobre la estructura y su entorno de asentamiento. En términos prácticos esto se concibe como determinar las características geométricas de la ubicación tales como dimensiones volumen número de pisos número de columnas número de vigas entre otros. esta información puede ser levantada de manera directa mediante un estudio de campo u mediante el uso de información técnica disponible tales como el uso de planos arquitectónicos, planos estructurales, expedientes técnicos disponibles entre otros. Es importante mencionar que dentro de esta etapa también se encuentra el estudio del suelo de Fundación, y este estudio es de gran importancia pues se sabe con claridad que el tipo de suelo tiene efecto directo en la respuesta sísmica de la edificación.

El segundo paso a realizar es la predicción de la respuesta sísmica de la edificación en su estado actual. Esto se hará mediante el uso de un software especializado en análisis de respuesta estructural. Para esto se usará un análisis dinámico modal espectral en el que se ingresará toda la información relativa a la estructura y al suelo de Fundación recopiladas en el primer paso.

Es el paso a realizar consistirá en la definición y localización de los elementos estructurales comprometidos o afectados por la acción de un sismo. Este paso es crucial puesto que mediante este paso se podrá determinar si es una columna del

primer piso esquinera central o lateral la que requiere un incremento tanto de resistencia como de rigidez. Es importante tomar en cuenta también que en este paso se estudiará el comportamiento sísmico global de la edificación, para esto el parámetro usado será el de las máximas distinciones laterales de entrepiso; Asimismo, un estudio local de comportamiento de los elementos estructurales, es decir se valoran que elementos estructurales requieren de un reforzamiento.

Como cuarto paso se definirá el tipo de reforzamiento más apropiado para el caso de estudio encontrado. En este trabajo de investigación se propondrá la realización del encamisado de columnas tanto en una dirección como en otra, en función de las necesidades y requerimientos debido a la demanda sísmica considerada en el sitio.

Como Quinto paso se realizará la evaluación estructural de la edificación con los refuerzos considerados en el paso cuatro. Esta evaluación se realizará mediante el uso de un análisis dinámico modal espectral. Este tipo de análisis nos permite determinar la rigidez estructural, las máximas distorsiones laterales, los tipos de irregularidad presentes en la edificación entre otros parámetros de interés.

9.6 Método de análisis de datos

Es importante mencionar que la aplicación del método de investigación producirá 2 grupos de datos obtenidos en una primera y una segunda medida. La primera medida se realizará al evaluar el comportamiento sísmico de la edificación considerada en su estado actual es decir antes de la incorporación de elementos de refuerzo. La segunda etapa de medición se dará considerando los elementos de refuerzo adicionados a la edificación considerada.

Los datos obtenidos en la segunda etapa producto de la aplicación de la metodología de investigación serán contrastados con los datos obtenidos en una primera etapa de la investigación. La idea de esta parte es evaluar las mejoras existentes u ocurridos producto de la aplicación de un sistema de reforzamiento con respecto de los mismos parámetros obtenidos en la misma edificación antes del reforzamiento.

los datos serán comparados usando herramientas estadísticas y usando herramientas disponibles en la mecánica de materiales que nos permitan establecer y cuantificar tales mejoras de manera objetiva.

9.7 Aspectos éticos

Todos los resultados, análisis y discusiones presentados en este trabajo de investigación son propiedad intelectual del autor, además, las ideas y aportes de otros investigadores presentados en este trabajo de investigación han sido debidamente citados y referenciados con la finalidad de brindarle a los mismos el crédito por su invaluable aporte al conocimiento científico.

RESULTADOS

Objetivo específico N° 01

Determinar el tipo de encamisado más apropiado a usarse en la presente institución educativa y que permita alcanzar los fines de mejora de respuesta sísmica especificados.

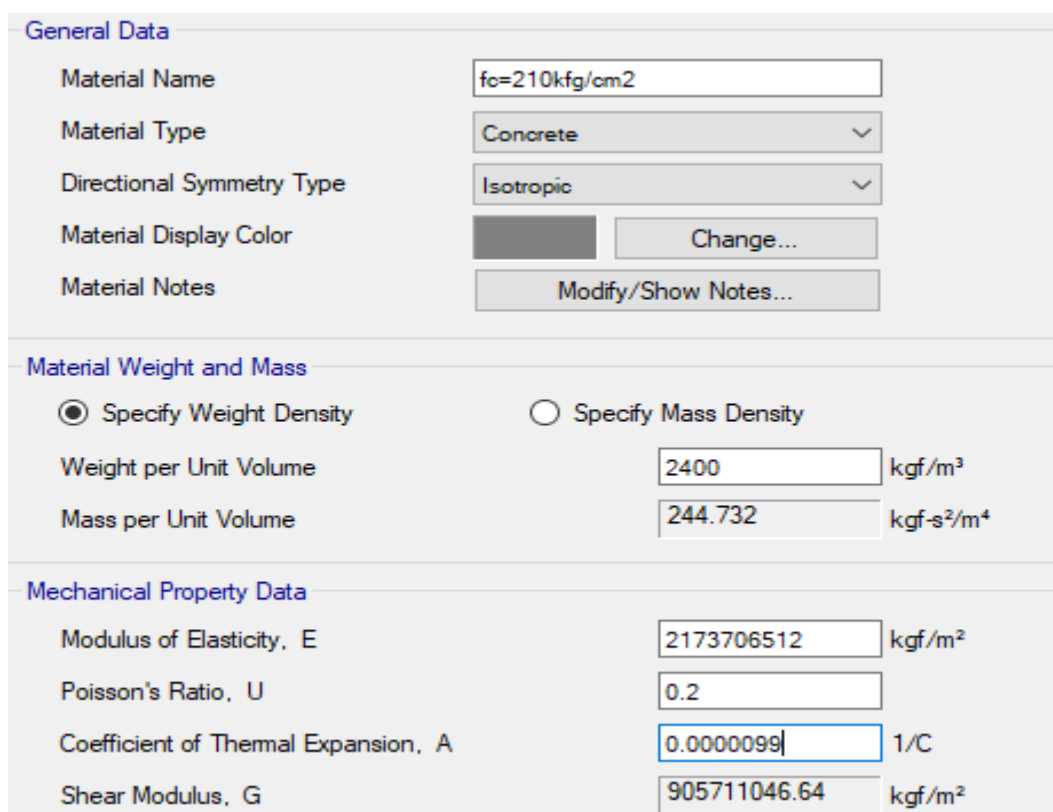
10.1 Modelado estructural

Definición de los materiales

Para efectos de los análisis realizados a las edificaciones se han adoptado para los elementos estructurales los valores indicados a continuación:

$$\text{Concreto armado: } f'c = 210 \frac{kg}{cm^2} \quad E = 217370.6512 \frac{kg}{cm^2}$$

$$\text{Acero de refuerzo: } fy = 4200 \frac{kg}{cm^2}$$



General Data	
Material Name	fc=210kg/cm2
Material Type	Concrete
Directional Symmetry Type	Isotropic
Material Display Color	Change...
Material Notes	Modify/Show Notes...

Material Weight and Mass	
<input checked="" type="radio"/> Specify Weight Density	<input type="radio"/> Specify Mass Density
Weight per Unit Volume	2400 kgf/m³
Mass per Unit Volume	244.732 kgf-s²/m⁴

Mechanical Property Data	
Modulus of Elasticity, E	2173706512 kgf/m²
Poisson's Ratio, U	0.2
Coefficient of Thermal Expansion, A	0.0000099 1/C
Shear Modulus, G	905711046.64 kgf/m²

Figura 3: Creación del material de concreto $f'c = 210\text{kgf/cm}^2$, desarrollado en ETABS.

Fuente: Elaboración propia.

10.2 Definición de las secciones

De acuerdo al predimensionamiento se obtuvieron secciones tipo frame, Wall y Slab que ahora se crearan en el software Etabs v18.1.1. y así empezar el análisis estructural.

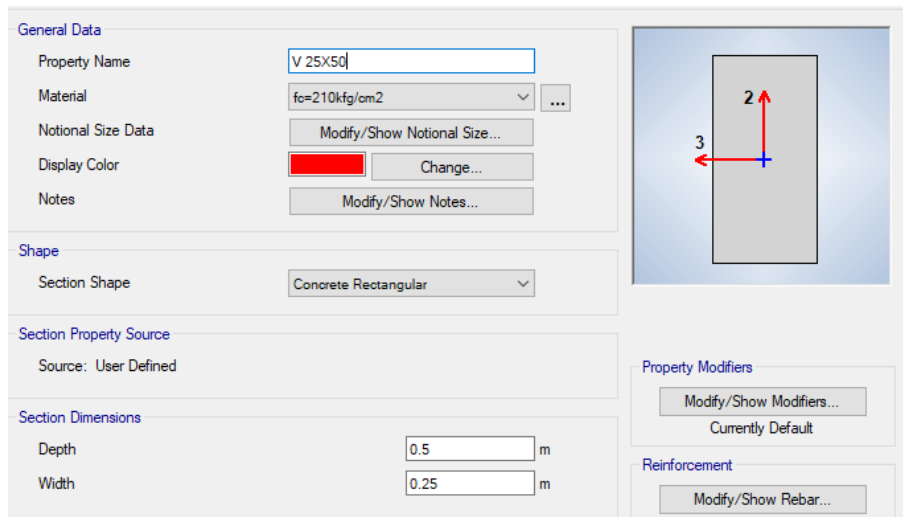


Figura 4: Creación de la viga principal, desarrollado en ETABS.

Fuente: Elaboración propia.

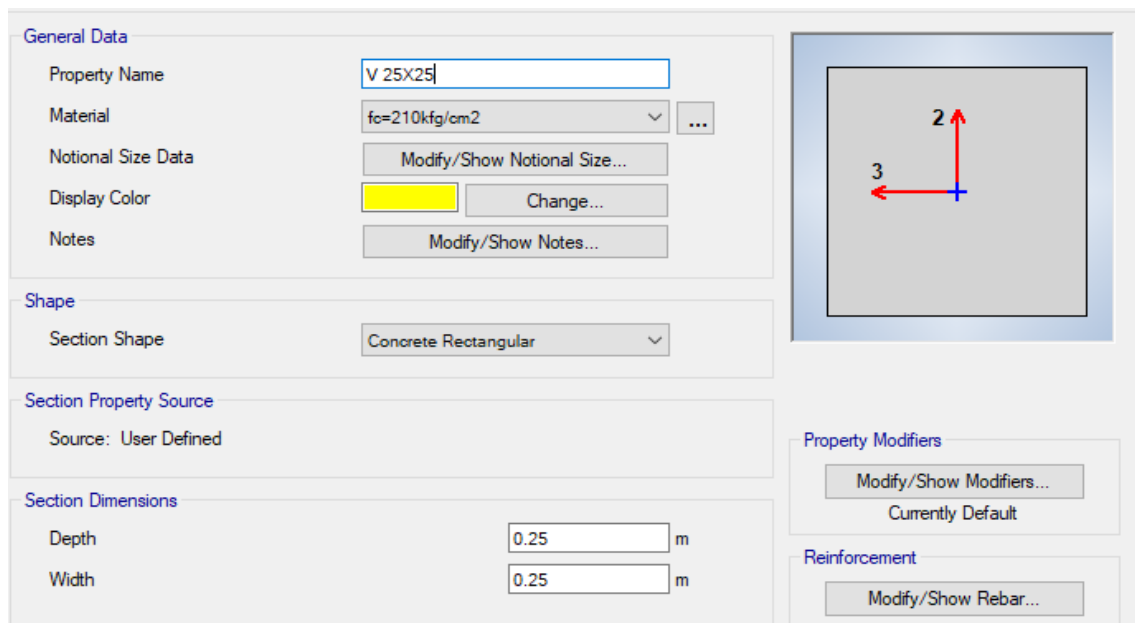


Figura 5: Creación de la viga secundaria, desarrollado en ETABS.

Fuente: Elaboración propia.

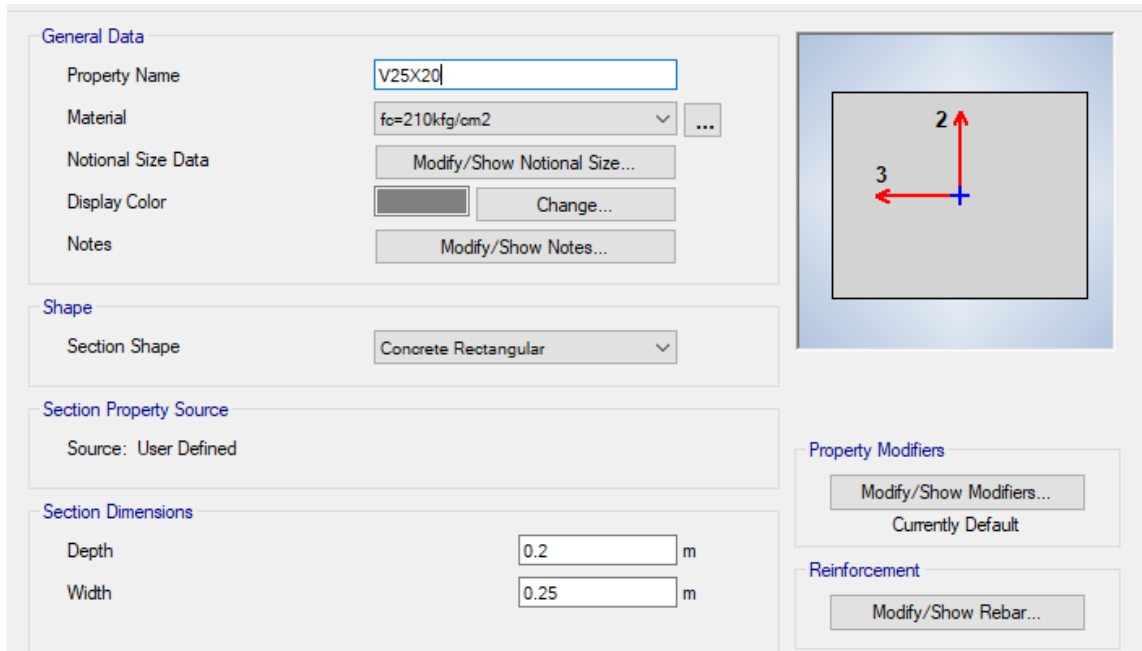


Figura 6: Creación de la viga chata, desarrollado en ETABS.

Fuente: Elaboración propia.

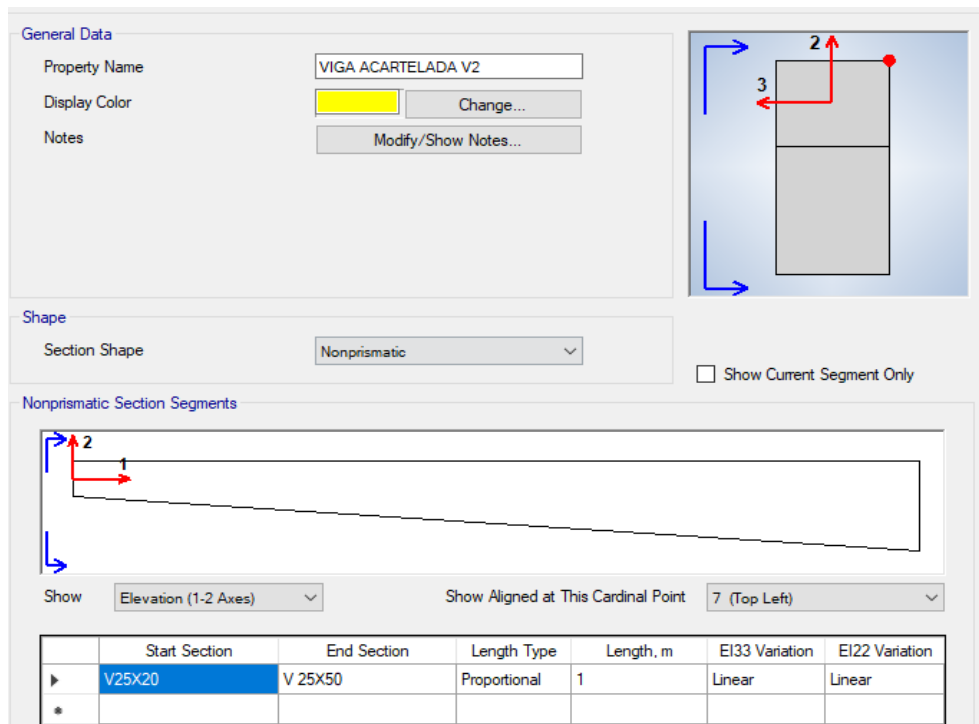


Figura 7: Creación de la viga acartelada, desarrollado en ETABS.

Fuente: Elaboración propia.

General Data

Property Name:

Slab Material: ...

Notional Size Data:

Modeling Type:

Modifiers (Currently Default):

Display Color:

Property Notes:

Use Special One-Way Load Distribution

Property Data

Type:

Overall Depth: m

Slab Thickness: m

Stem Width at Top: m

Stem Width at Bottom: m

Rib Spacing (Perpendicular to Rib Direction): m

Rib Direction is Parallel to:

Figura 8: Creación de losa aligerada 1 dirección desarrollado en ETABS.

Fuente: Elaboración propia.

General Data

Property Name:

Property Type:

Wall Material: ...

Notional Size Data:

Modeling Type:

Modifiers (Currently Default):

Display Color:

Property Notes:

Property Data

Thickness: m

Figura 9: Creación de placa de concreto, desarrollado en ETABS.

10.2.1 Definición de las secciones sin reforzamiento

Fuente: Elaboración propia.

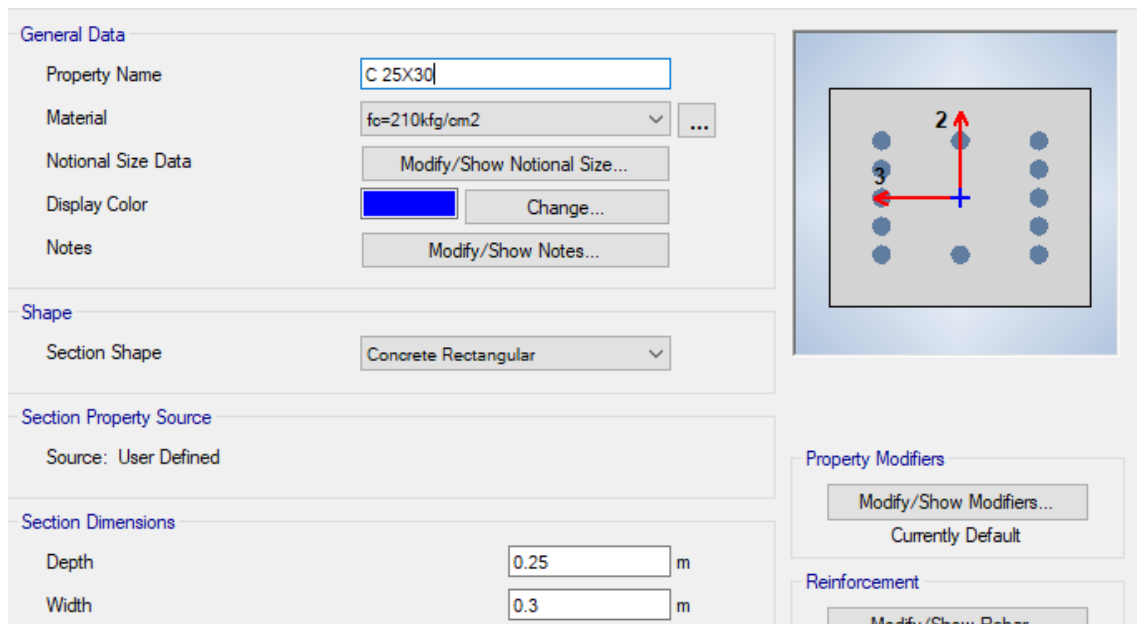


Figura 10: Creación de columna rectangular, desarrollado en ETABS.

Fuente: Elaboración propia.

10.2.2 Definición de las secciones reforzadas

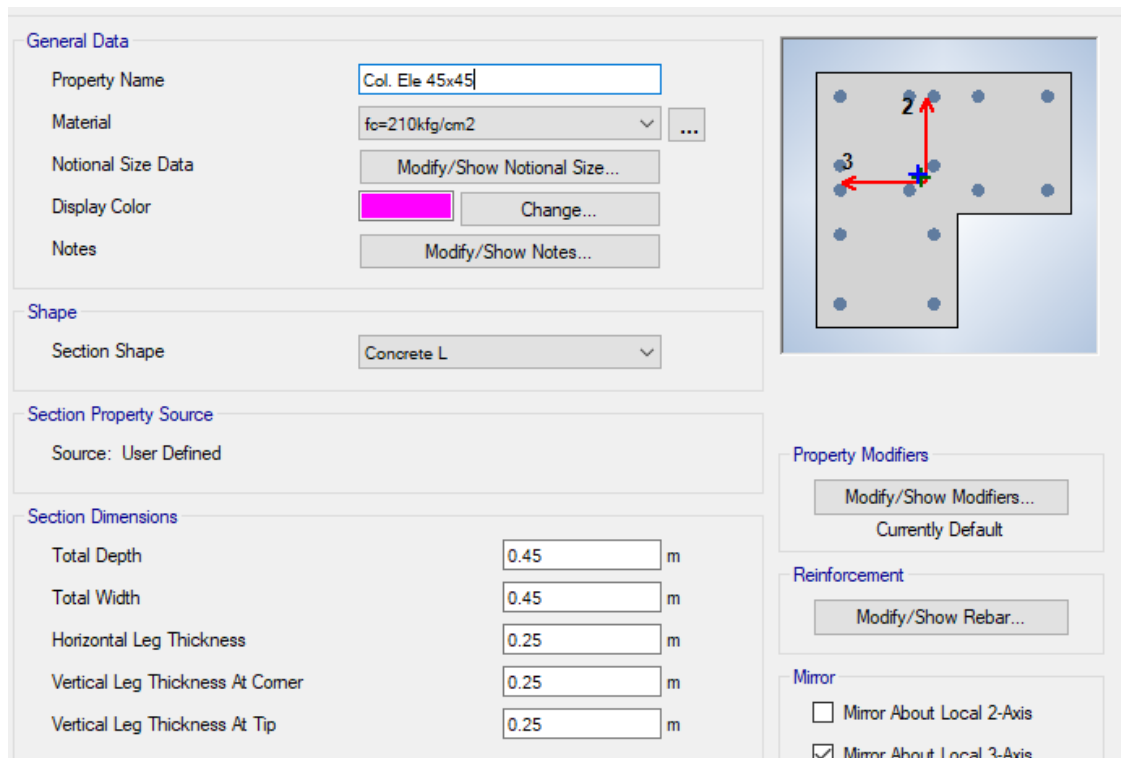


Figura 11: Creación de columna ELE, desarrollado en ETABS.

Fuente: Elaboración propia.

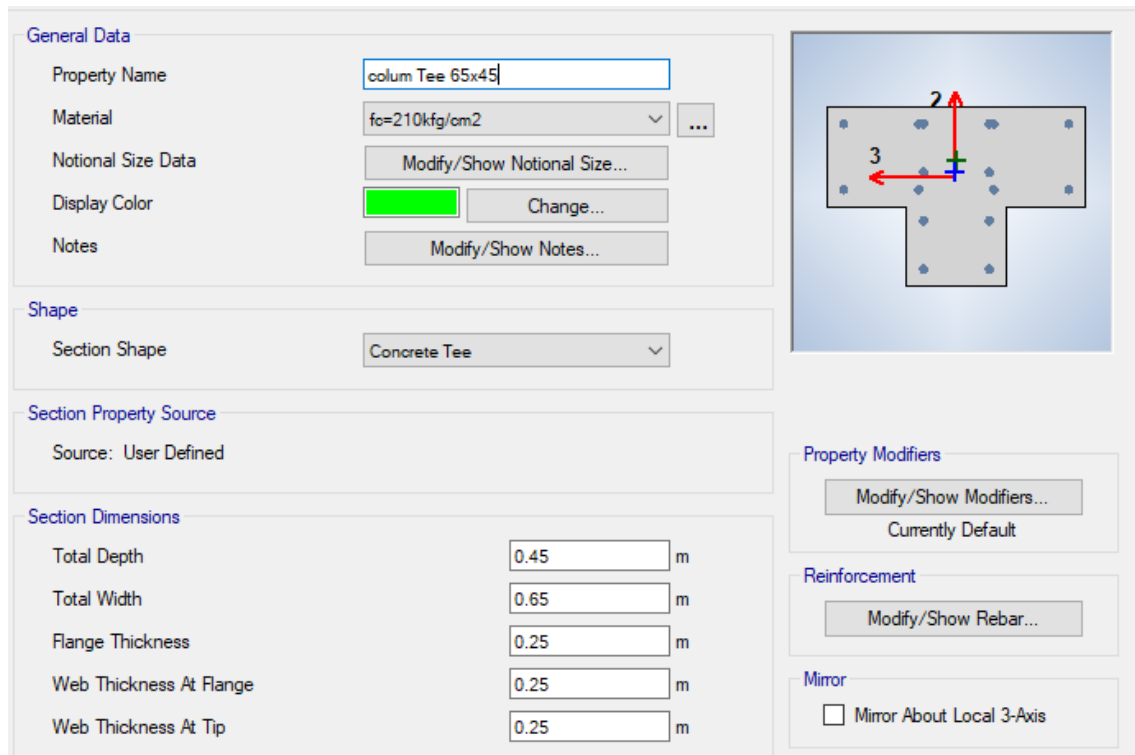


Figura 12: Creación de columna TEE, desarrollada en ETABS.

Fuente: Elaboración propia.

10.3 Definición del modelo sin reforzamiento

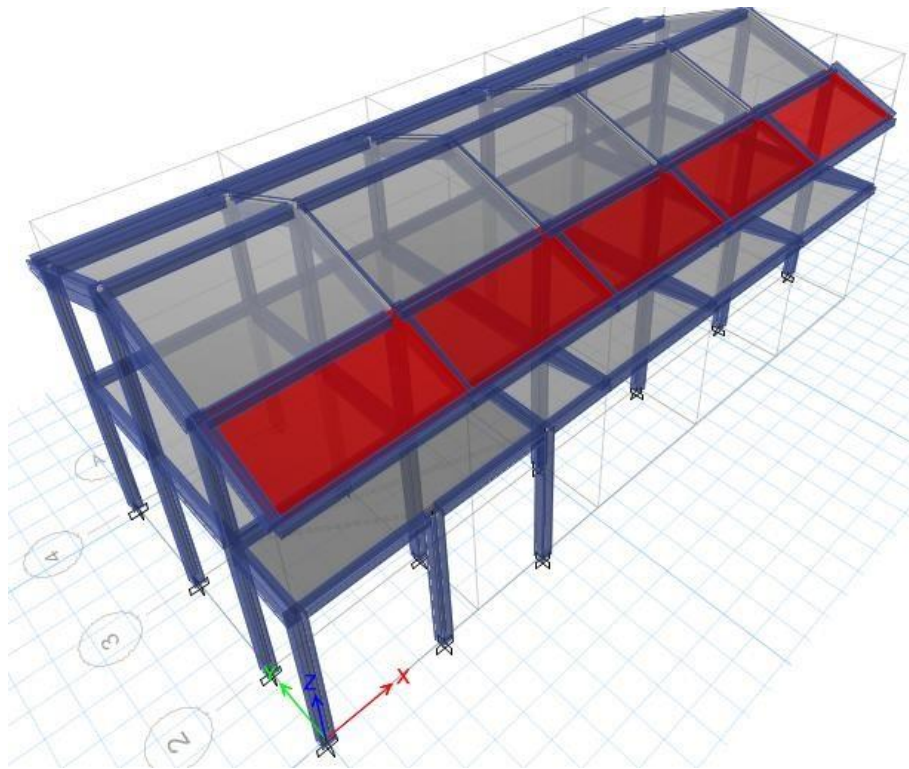


Figura 8: Modelo tridimensional de la edificación analizada. Fuente: Elaboración propia.

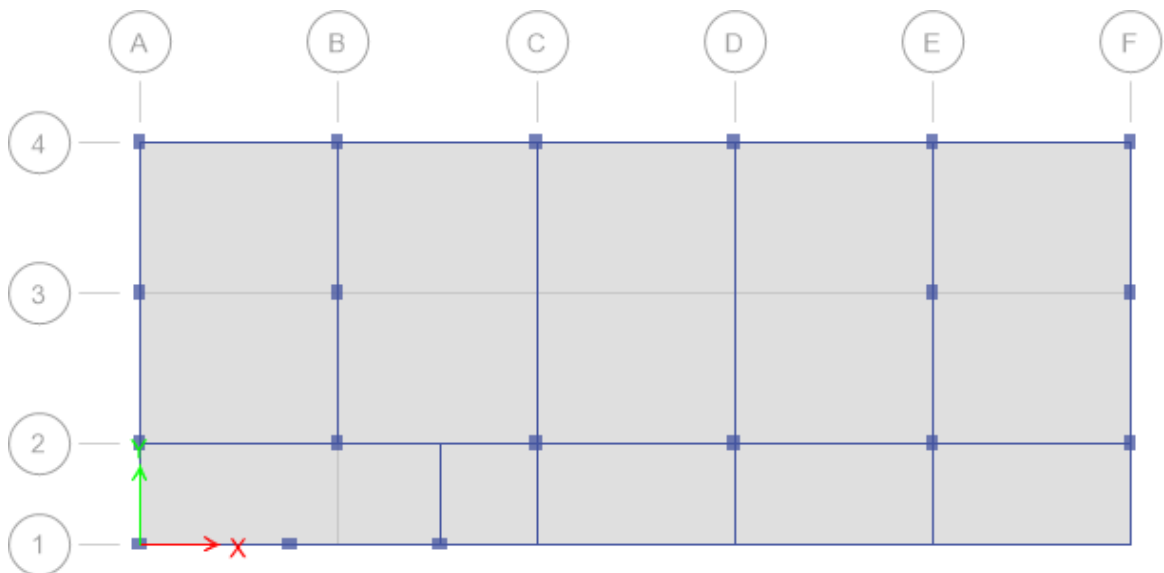


Figura 9: Vista en planta de la edificación sin reforzamiento. Fuente: Elaboración propia.

10.4 Definición del modelo estructural tridimensional del reforzamiento

Lo módulos fueron analizados con modelos tridimensionales, suponiendo losas infinitamente rígidas frente a acciones en su plano. En el análisis de la estructura se supuso un comportamiento lineal y elástico. Los elementos de concreto armado se representaron con elementos lineales. Los modelos se analizaron considerando sólo los elementos estructurales, sin embargo, los elementos no estructurales han sido ingresados en el modelo como solicitaciones de carga debido a que aquellos no son importantes en la contribución de la rigidez y resistencia de la edificación.

En cuanto a la propuesta de reforzamiento, se debe mencionar que, las secciones de los elementos verticales resistentes a sismos fueron modificadas, de tal forma que las nuevas secciones provean el nivel de rigidez requerido por normativa, en este caso se usó la norma peruana de diseño sísmico. A continuación, se muestran los elementos estructurales que fueron intervenidos para lograr las metas exigidas en la norma de diseño sísmico.

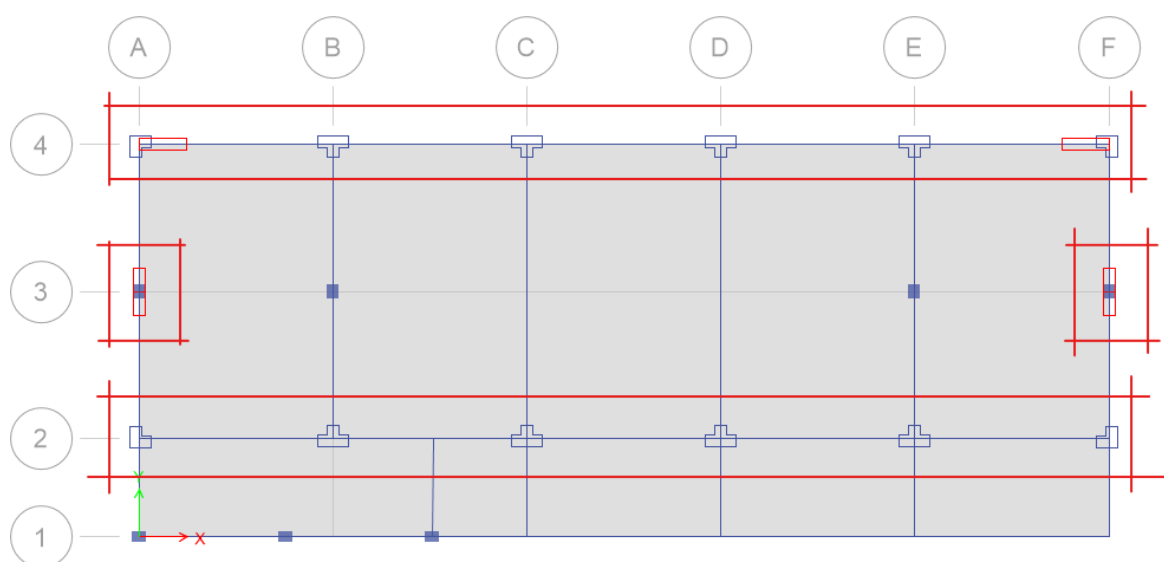


Figura 10: Vista en planta de los elementos estructurales reforzados. Fuente: Elaboración propia.

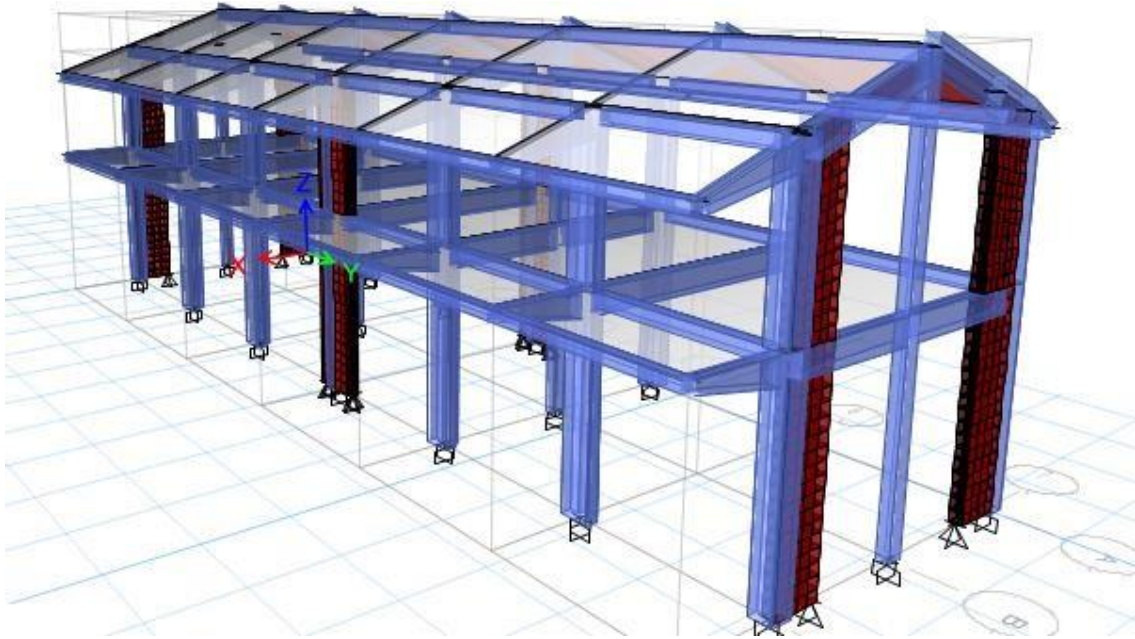


Figura 11: Modelo tridimensional Bloque I, desarrollado en ETABS.
Fuente: Elaboración propia.

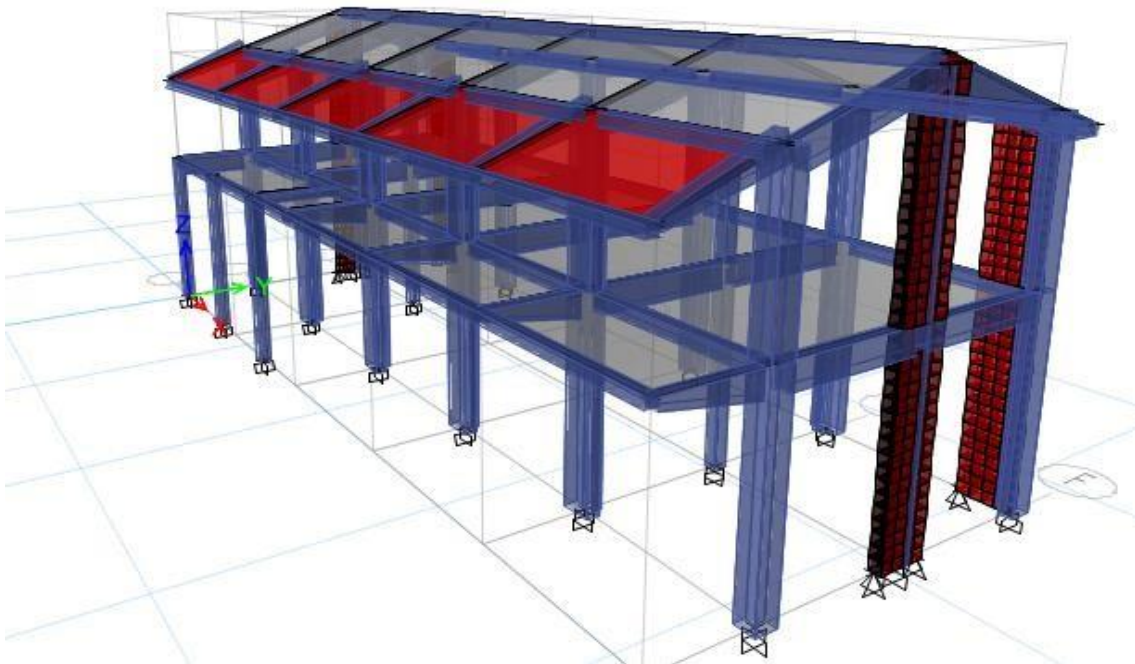


Figura 12: Modelo tridimensional Bloque II, desarrollado en ETABS.
Fuente: Elaboración propia.

Definición de la masa sísmica

Se calcula adicionándolo a la carga permanente y total de la edificación un porcentaje de la carga viva o sobrecarga que se determina de la siguiente manera:

Edificaciones de categorías A y B se toma un 50% de la carga viva. En edificaciones de la categoría C, se toma el 25% de la carga viva. Y en nuestro caso nuestra edificación es de tipo A.

The screenshot displays the 'Mass Source' and 'Mass Multipliers for Load Patterns' settings in ETABS. The 'Mass Source Name' is 'MsSrc1'. Under 'Mass Source', 'Specified Load Patterns' is checked. The 'Mass Multipliers for Load Patterns' table is as follows:

Load Pattern	Multiplier
CM	1
CV	0.5
AZOTEA	0.25

Under 'Mass Options', 'Include Lateral Mass', 'Include Vertical Mass', and 'Lump Lateral Mass at Story Levels' are all checked.

Figura 15: Modelo tridimensional Bloque II, desarrollado en ETABS.

Fuente: Elaboración propia.

Objetivo específico N° 02

Establecer las mejoras cuantitativas obtenidas a través del uso de encamisado de columnas en la edificación educativa analizada.

10.5 Formas de modo presentes en la estructura

Según la E.030 dice que tenemos que tener mínimo tres modos de vibración que contenga mínimo el 90% de masa participativa para poder continuar con el análisis, para lo cual se puede apreciar que, si estamos cumpliendo, y de tal manera que podemos disminuir los modos para que el análisis de nuestra estructura no sea tan pesado.

10.5.1 Sin reforzamiento

Tabla 1: Formas de modo consideradas y factores de participación modal de la estructura sin reforzamiento.

Mode	Period sec	UX	UY	Sum UX	Sum UY	RX	Sum RZ
1	0.725	0.985	0.001	98%	0%	0%	0%
2	0.639	0.002	0.851	99%	85%	1%	14%
3	0.538	0.000	0.135	99%	99%	0%	98%
4	0.224	0.013	0.000	100%	99%	0%	98%
5	0.19	0.000	0.013	100%	100%	31%	98%
6	0.17	0.000	0.000	100%	100%	0%	100%
7	0.147	0.000	0.000	100%	100%	5%	100%
8	0.133	0.000	0.000	100%	100%	0%	100%
9	0.13	0.000	0.000	100%	100%	7%	100%
10	0.119	0.000	0.000	100%	100%	1%	100%
11	0.112	0.000	0.000	100%	100%	1%	100%
12	0.105	0.000	0.000	100%	100%	0%	100%

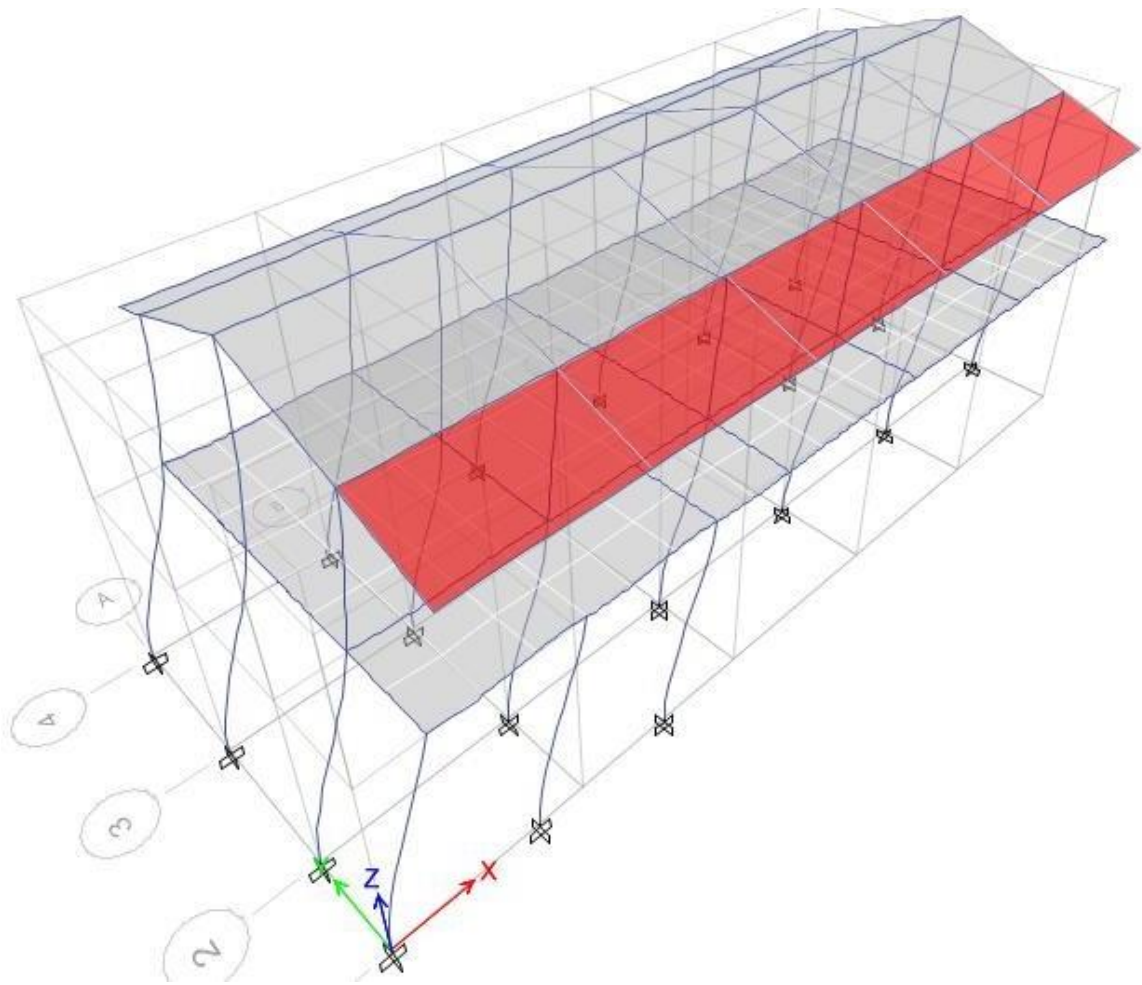


Figura 13: Primera forma de modo de la estructura sin reforzamiento, desarrollado en ETABS. Fuente: Elaboración propia.

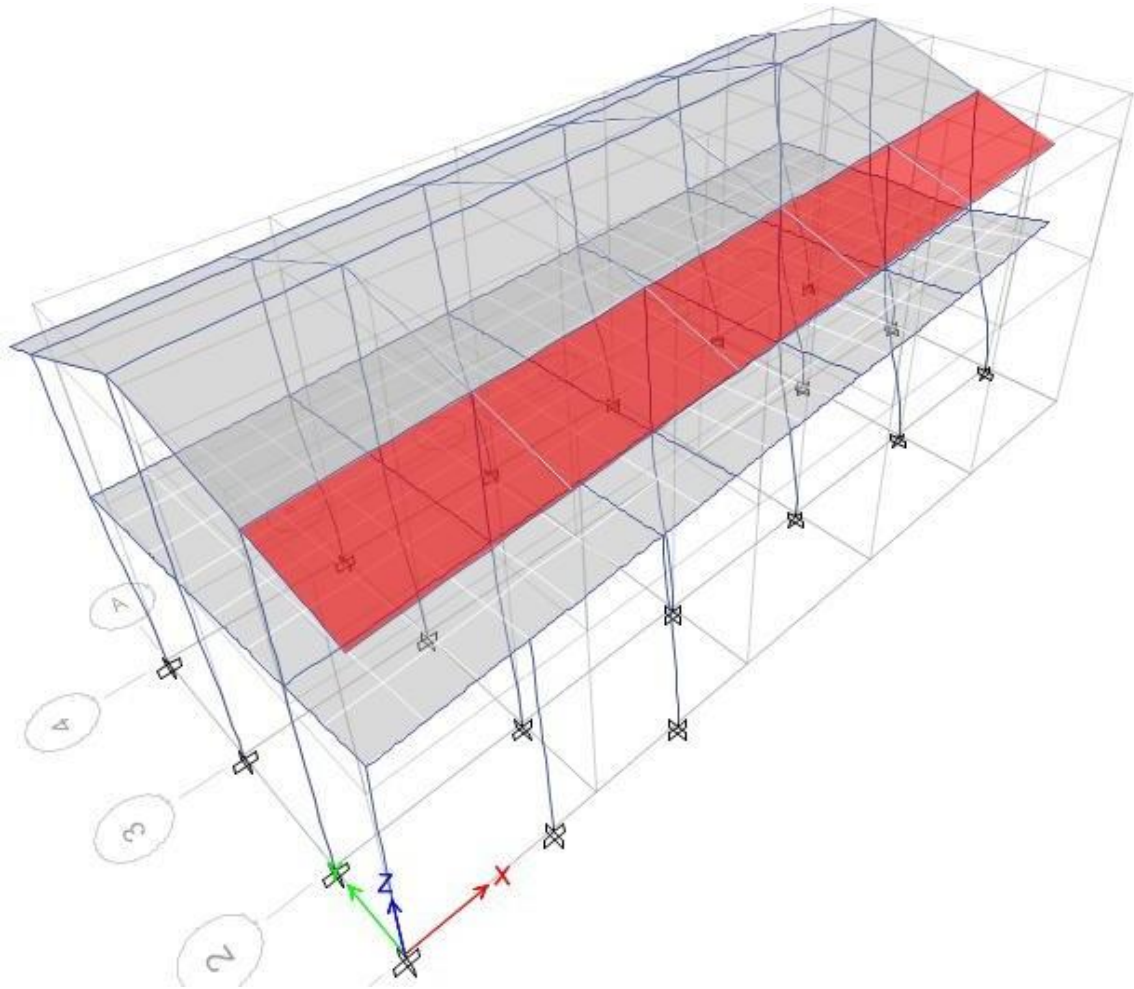


Figura 14: Segunda forma de modo de la estructura sin reforzamiento, desarrollado en ETABS. Fuente: Elaboración propia.

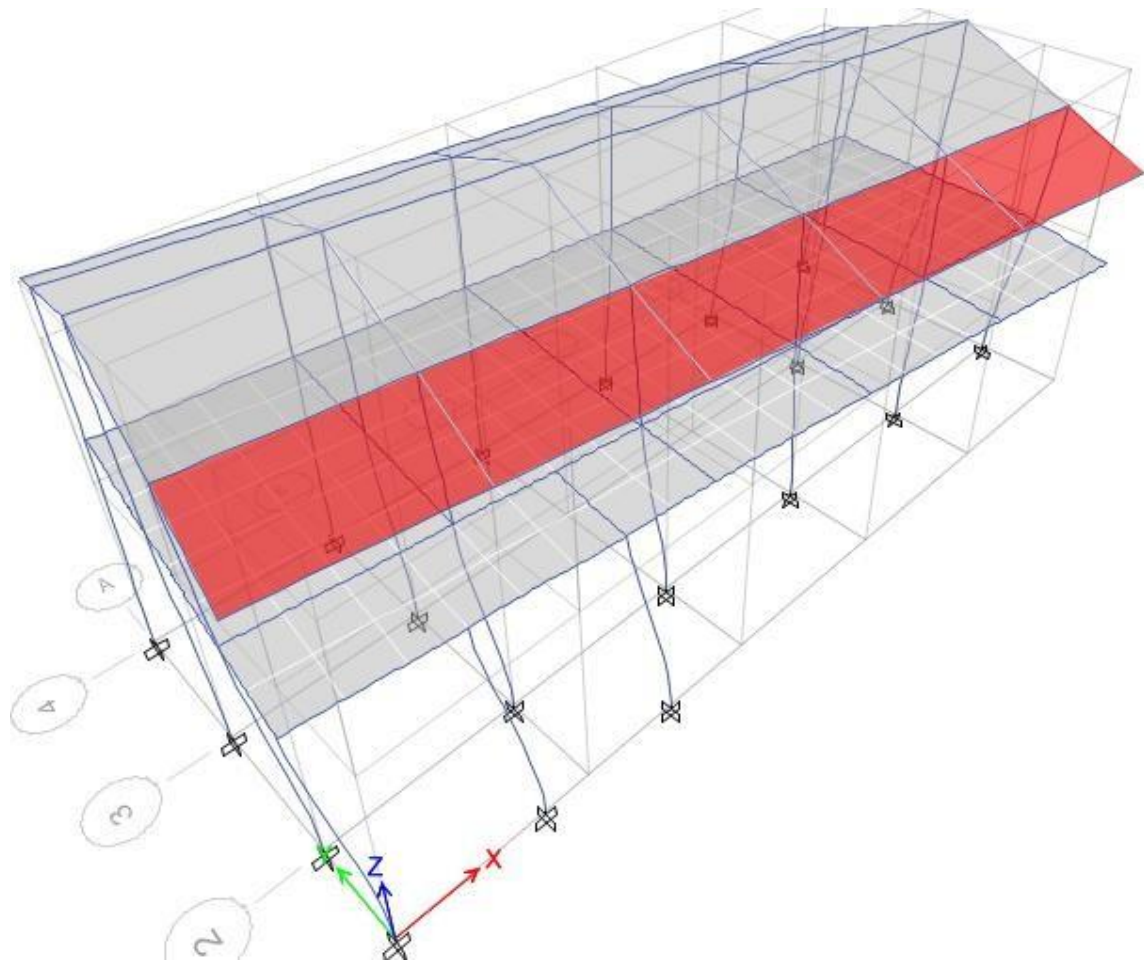


Figura 15: Tercera forma de modo de la estructura sin reforzamiento, desarrollado en ETABS. Fuente: Elaboración propia.

10.5.2 Con reforzamiento

Tabla 2: Formas de modo consideradas y factores de participación modal de la estructura reforzada.

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
Modal	1	0.318	0.000	0.885	0.000	0.000	0.885	0.000
Modal	2	0.257	0.888	0.000	0.003	0.888	0.885	0.003
Modal	3	0.191	0.000	0.000	0.000	0.888	0.886	0.003
Modal	4	0.13	0.019	0.000	0.052	0.907	0.886	0.055
Modal	5	0.128	0.000	0.000	0.000	0.907	0.886	0.055

Modal	6	0.123	0.000	0.000	0.000	0.907	0.886	0.056
Modal	7	0.118	0.000	0.000	0.000	0.907	0.886	0.056
Modal	8	0.112	0.000	0.000	0.000	0.907	0.886	0.056
Modal	9	0.111	0.019	0.000	0.046	0.926	0.886	0.102
Modal	10	0.106	0.000	0.000	0.000	0.926	0.886	0.102
Modal	11	0.101	0.000	0.000	0.001	0.927	0.886	0.102
Modal	12	0.096	0.000	0.000	0.000	0.927	0.886	0.102
Modal	13	0.091	0.001	0.000	0.001	0.928	0.886	0.103
Modal	14	0.089	0.007	0.000	0.008	0.935	0.886	0.111
Modal	15	0.089	0.000	0.000	0.000	0.935	0.886	0.112
Modal	16	0.075	0.023	0.000	0.000	0.958	0.886	0.112
Modal	17	0.073	0.000	0.000	0.000	0.958	0.886	0.112
Modal	18	0.07	0.000	0.099	0.000	0.958	0.984	0.112
Modal	19	0.065	0.026	0.000	0.018	0.983	0.984	0.130
Modal	20	0.051	0.000	0.000	0.124	0.983	0.984	0.254

Fuente: Elaboración propia.

Figura 16: Primer modo del Bloque I, desarrollado en ETABS.

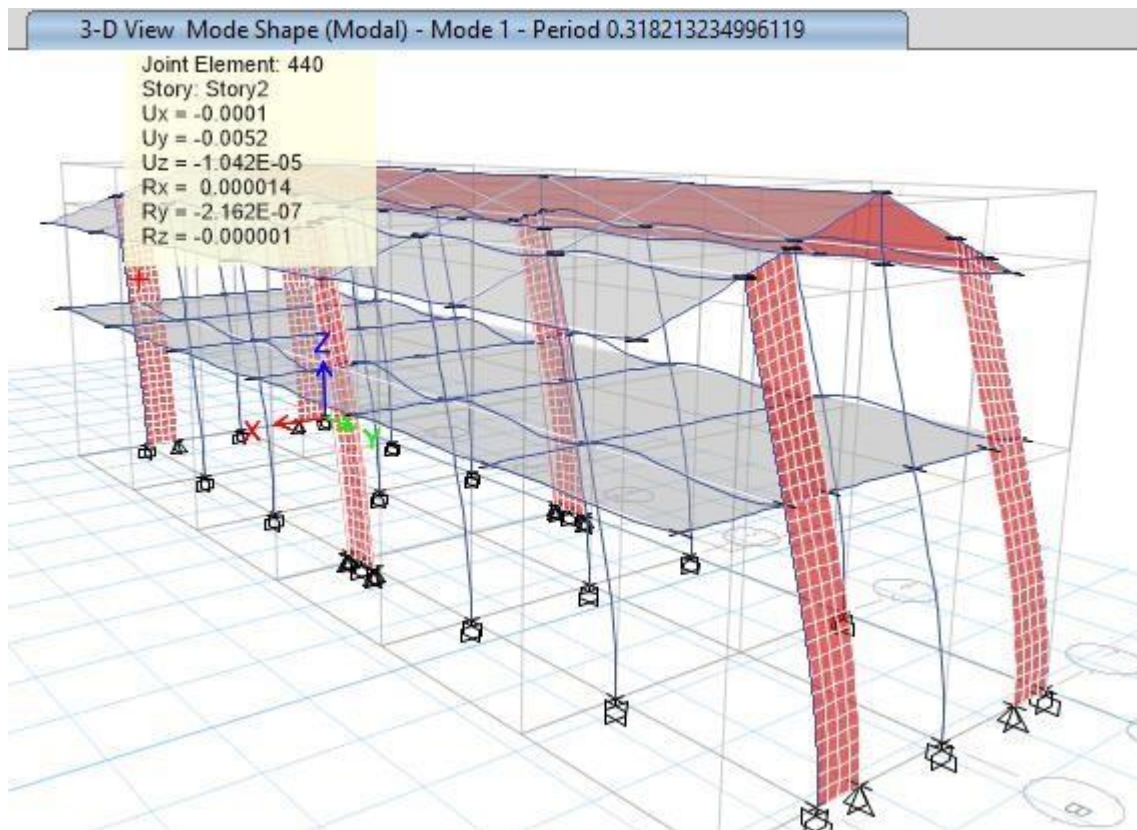


Figura 17: Primera forma modo de la estructura reforzada, desarrollado en ETABS.

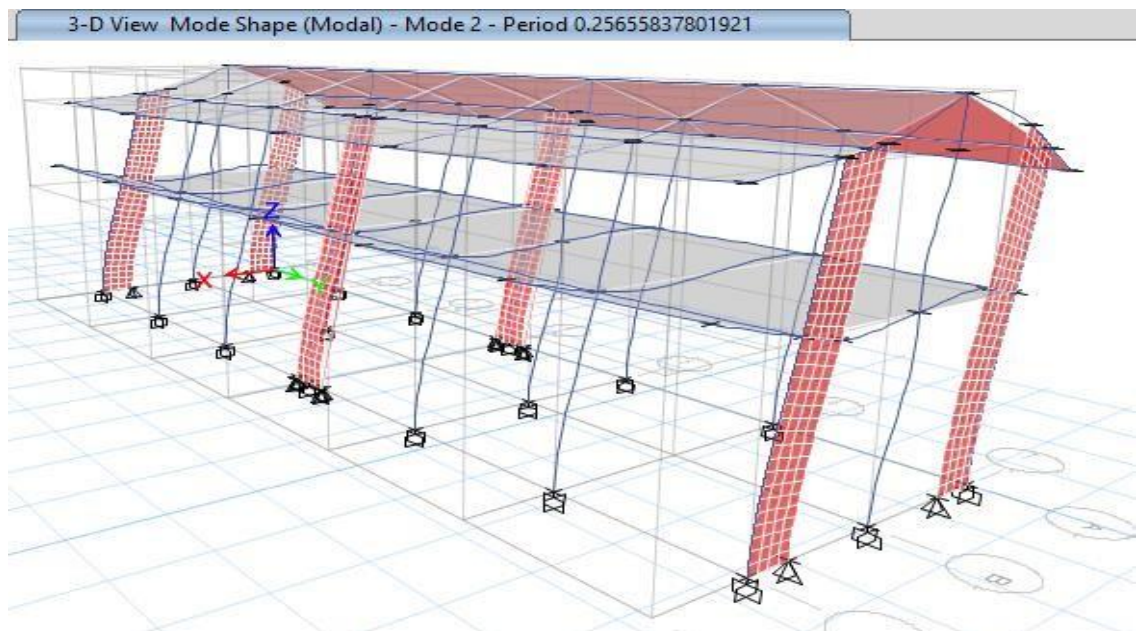


Figura 18: Segunda forma de modo de la estructura reforzada, desarrollado en ETABS.

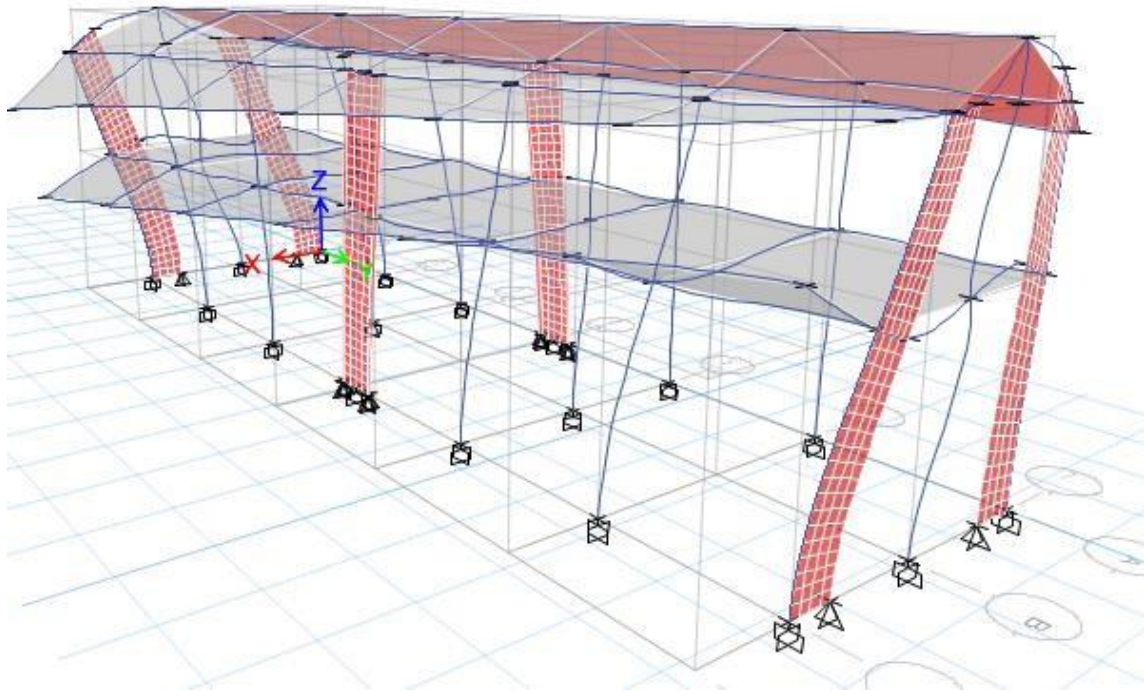


Figura 19: Tercera forma de modo de la edificación reforzada desarrollado en ETABS.

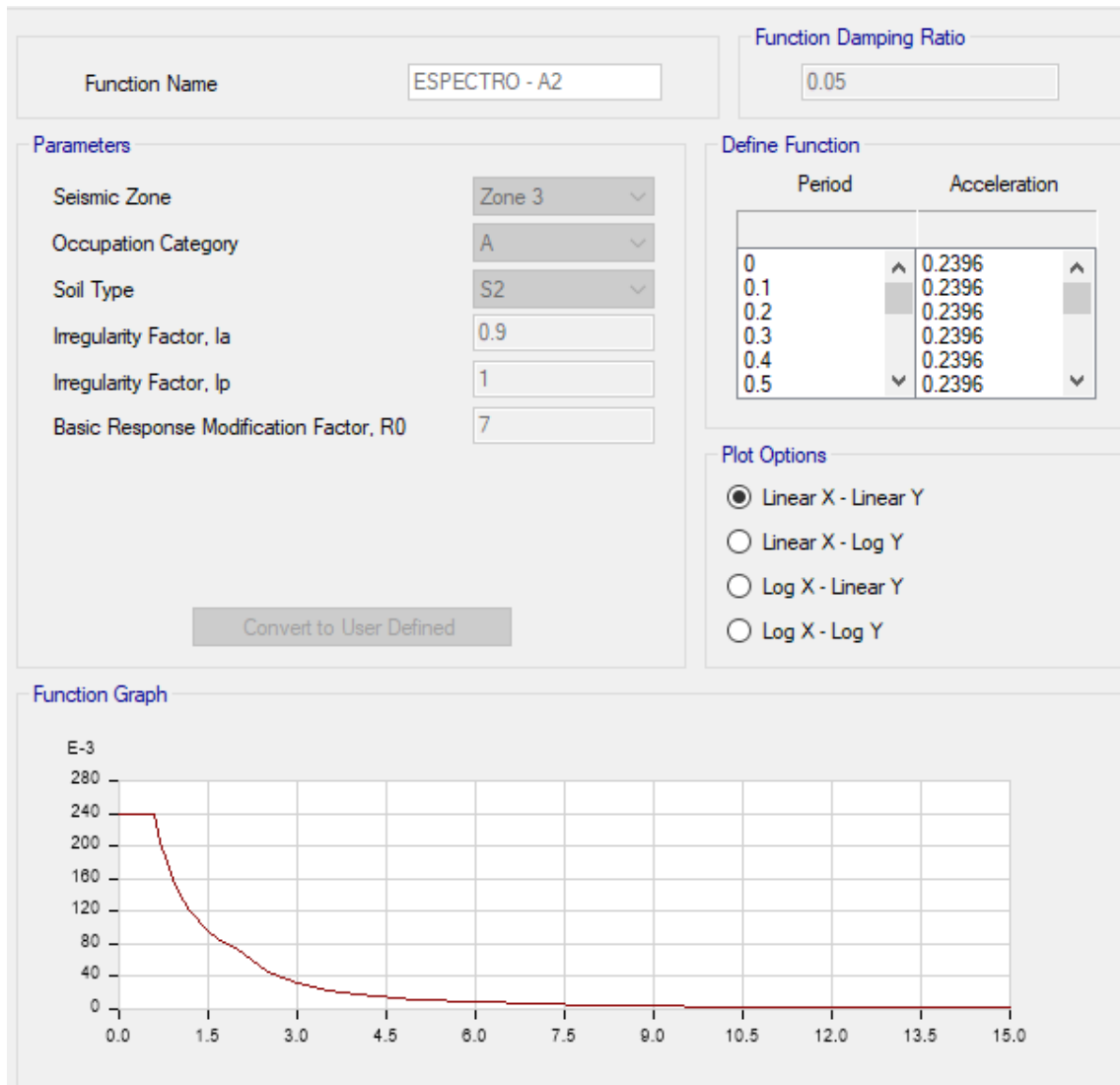


Figura 20: Mapa de microzonificación sísmica del Perú de acuerdo con la norma peruana de diseño sísmico.

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones E.030.

10.6 Definición de la demanda sísmica considerando $I_a=1$ e $I_p=1$

Figura 21: Espectro de respuesta de acuerdo con la norma peruana E030, desarrollado en ETABS.



Fuente: Elaboración propia.

10.7 Objetivo específico N°03

Determinar los tipos de irregularidades estructurales que se han evitado haciendo uso del encamisado de columnas en la institución educativa analizada.

10.7.1 Sin reforzamiento

La irregularidad torsional es uno de los tipos más frecuentes en las edificaciones de concreto armado, especialmente aquellas que fueron diseñadas antes de la normativa de diseño sísmico del 2003, y antes de la normativa aparecida en el 2018. Este tipo de irregularidad cuantifica la tendencia de la estructura a realizar un giro entorno a su eje vertical, este tipo de movimiento es particularmente difícil de afrontar para una estructura y más especialmente si ésta no ha sido diseñada apropiadamente. Por lo expuesto a continuación se realiza la verificación de la irregularidad torsional de la edificación previo al reforzamiento propuesto.

Es importante recordar que, de acuerdo con la normativa vigente, la norma de diseño sísmico de edificaciones del 2018, una edificación presenta irregularidad torsional si el máximo desplazamiento de un entrepiso sometido a la acción sísmica tanto en x como en Y es 1.5 veces el desplazamiento promedio tanto en dirección x como en Y del piso correspondiente.

Los resultados del análisis realizado se muestran a continuación de forma tabular en la tabla número 3. A partir de esta tabla se puede apreciar que el máximo ratio obtenido fue de 172 unidades. Este número, como es evidente, está más allá del máximo límite permitido en la norma de diseño sísmico, que establece que el máximo ratio permitido es de 1.5 en el caso de edificaciones. Se concluye pues, que la edificación analizada presenta irregularidad en planta de torsión. Es importante agregar que la norma considera irregularidad torsional extrema como si el ratio comentado excede 1.7; así de acuerdo con los resultados obtenidos, estamos ante un caso de irregularidad torsional extrema.

Tabla 3: Evaluación de la irregularidad torsional sin reforzamiento. Fuente:
Elaboración propia.

Story	Item	Max Drift	Avg Drift	Ratio	Max Loc X	Max Loc Y
	Mm/mm	1/1000	1/1000	Unid	m	m
Story1	Diaph D1 X	0.0018	0.0018	101.6	16.51	8.35
Story1	Diaph D1 X	0.0005	0.0003	171.6	0	0
Story1	Diaph D1 Y	0.0022	0.0017	128.6	20.64	5.22

Otro parámetro de gran importancia en la evaluación y cuantificación de la respuesta sísmica y por ende la irregularidad de una edificación, es la cuantificación de las máximas distorsiones de entrepiso. En la figura 20 se muestran las máximas desplazamientos laterales debido a la acción del sismo en la dirección X. La línea azul representa las los máximos desplazamientos laterales obtenidos en dirección X debido a la acción del sismo en X, mientras que la línea en color rojo representa los máximos desplazamientos laterales obtenidos en dirección Y debido al sismo aplicado en dirección X.

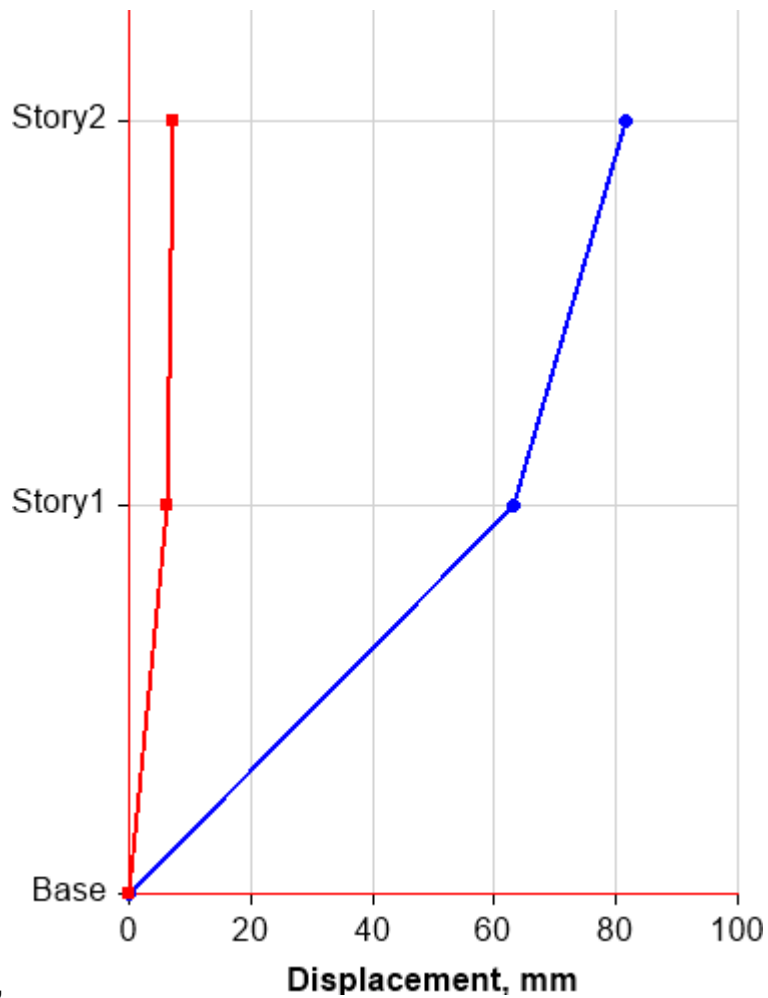


Figura 22: Máximos desplazamientos laterales en dirección X. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar de los resultados obtenidos los máximos desplazamientos laterales se dieron en el primer nivel, con un valor de 81.7 mm en dirección X, mientras que en la dirección Y, el máximo desplazamiento lateral fue de 7 25 mm. Tales resultados presentados de manera gráfica en la figura correspondiente se han tabulado y se presentan en la tabla número cuatro.

Tabla 4: Máximos desplazamientos laterales en dirección X. Fuente: Elaboración propia.

Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	m		mm	mm
Story2	8.55	Top	81.68	7.25
Story1	4.3	Top	63.23	6.11
Base	0	Top	0	0

Al igual que en el caso de los máximos desplazamientos obtenidos en dirección X debido al sismo en X, es posible obtener los máximos desplazamientos provocados por la acción de un sismo en la dirección Y, tanto en la dirección X como en la dirección y. resultados se muestra en la figura XXI puesta a continuación. Como se puede apreciar de esta figura, los máximos desplazamientos laterales alcanzaron un valor de 98 mm en el segundo nivel en dirección Y, mientras que los máximos desplazamientos laterales en dirección X fueron de apenas 20 mm.

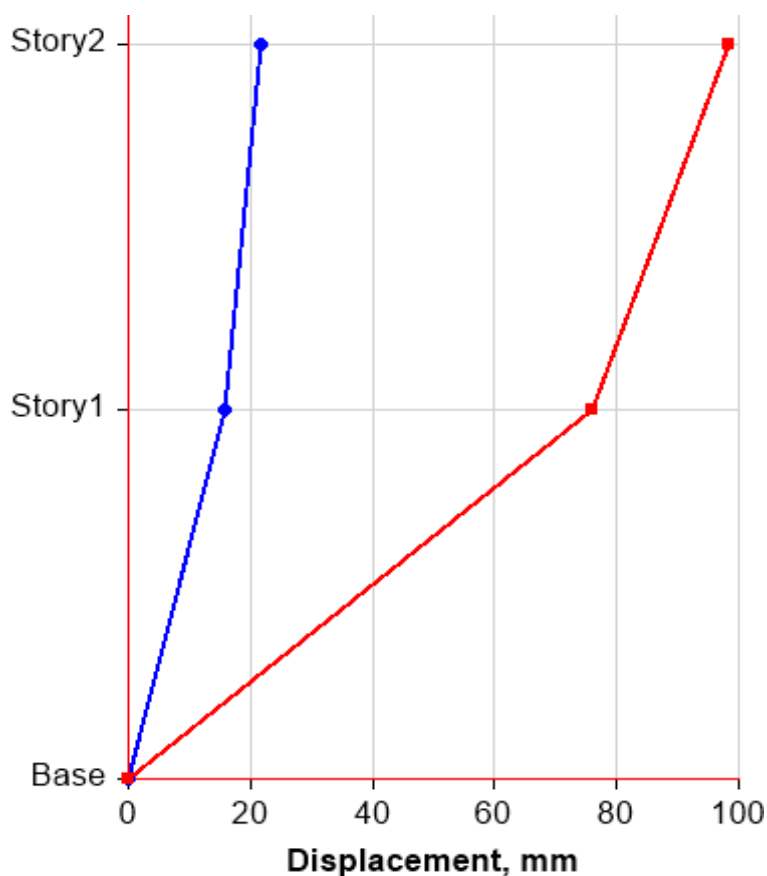


Figura 23: Máximos desplazamientos laterales en dirección Y. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos se muestran de manera tabulada en la tabla número 5 presentada a continuación. Como se puede apreciar de los resultados mostrados los máximos desplazamientos laterales se dieron, en esta ocasión, en la dirección Y. Este resultado era previsible pues el sismo se estaba aplicando en la dirección Y por lo que es de esperar que los mayores desplazamientos se presenten en la misma dirección.

Tabla 5: Máximos desplazamientos laterales en dirección Y. Fuente: Elaboración propia.

Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	m		mm	mm
Story2	8.55	Top	21.55	98.27
Story1	4.3	Top	15.80	76.08
Base	0	Top	0	0

Otro parámetro de comportamiento sísmico de gran importancia es el correspondiente a las máximas distorsiones laterales de entrepiso. De acuerdo con la norma peruana de diseño sísmico, las máximas distorsiones laterales de una edificación se definen como el cociente obtenido entre el desplazamiento relativo de entrepiso y la altura de dicho entrepiso. El resultado como es evidente, es un número que se interpreta como la deformación lateral provocada por la acción de cargas laterales en la edificación.

Este parámetro ha sido calculado para el caso de la edificación sin reforzamiento y se muestra a continuación. Las máximas distorsiones laterales encontradas en la edificación debido a la acción del sismo en dirección X han alcanzado un valor de 15 por 1000 en la dirección X.

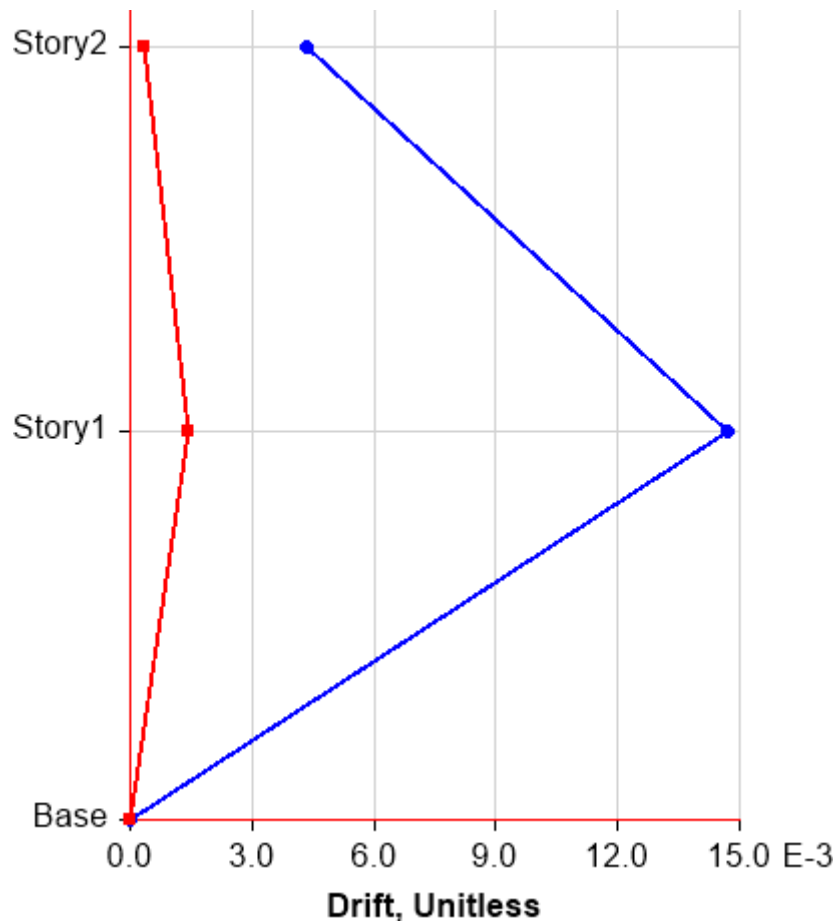


Figura 24: Máximas distorsiones laterales en dirección X. Fuente: Elaboración propia.

Las máximas distorsiones encontradas por la acción del sismo en dirección x en el segundo nivel fueron de 14.7 por 1000 y 4.32 por 1000 en la azotea. Estos valores son sorprendentemente elevados si se comparan con los máximos permitidos en la norma peruana de diseño sísmico vigente, la norma de diseño del 2018. De acuerdo con esta normativa para que una edificación tenga una rigidez adecuada debe tener una máxima distorsión lateral de 7 por 1000. Evidentemente en este caso se ha superado y casi se ha duplicado las máximas distorsiones laterales permitidas por lo que se intuye que la edificación analizada tiene un problema serio de rigidez. A continuación, se presentan también las máximas instituciones laterales de manera tabular.

Tabla 6: Máximas distorsiones laterales en dirección X. Fuente: Elaboración propia.

Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	m			
Story2	8.55	Top	0.00432	0.00033
Story1	4.3	Top	0.01470	0.00142
Base	0	Top	0	0

El ejercicio realizado en el párrafo anterior puede extenderse de manera sencilla al caso en el que la dirección del sismo coincide con la dirección Y geométrica de la estructura analizada. Los resultados obtenidos de este análisis se muestran a continuación en la figura 23. De este gráfico se puede ver que las máximas distorsiones laterales en dirección Y en el piso uno alcanzó valores de 17 por 1000, al igual que el caso anterior 17 por 1000 es un valor que casi triplica el máximo permitido en la norma peruana de diseño sísmico por lo que se prevé un comportamiento sísmico inadecuado.

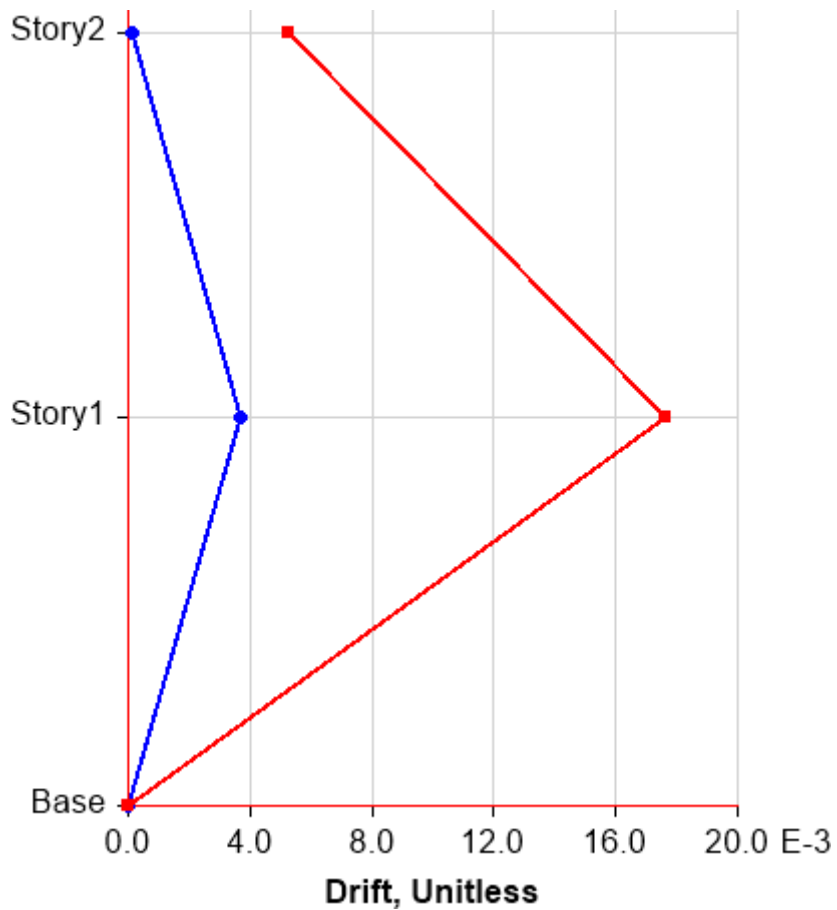


Figura 25: Máximas distorsiones laterales en dirección Y. Fuente: Elaboración propia.

Los valores presentados de manera gráfica se han tabulado y se muestran de manera ordenada en la tabla número 7. Como se puede observar las máximas distorsiones laterales se presentaron en el piso uno como esto se debieron a la acción del sismo aplicado en dirección Y.

Tabla 7: Máximas distorsiones laterales en dirección Y. Fuente: Elaboración propia.

Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	m			
Story2	8.55	Top	0.00014	0.00529
Story1	4.3	Top	0.00367	0.01765
Base	0	Top	0	0

10.7.2 Con reforzamiento

Un análisis de irregularidad torsional aplicado a la edificación reforzada se muestra a continuación. De acuerdo con el análisis de irregularidad implementado de acuerdo con la normativa del diseño sísmico vigente en el reglamento nacional de edificaciones del Perú como una edificación presenta irregularidad torsional si el máximo desplazamiento de entrepiso dividido por el máximo desplazamiento relativo promedio del mismo supera el valor de 1.5. En el caso de que el parámetro obtenido supere 7/1000 se dice que la edificación posee irregularidad torsional extrema.

De acuerdo con los resultados obtenidos, y mostrados en la tabla siguiente, el ratio máximo alcanzado fue de 1.68. Como se puede apreciar de estos valores numéricos el parámetro ha sufrido una disminución con respecto del parámetro máximo obtenido previo al reforzamiento, por lo que se concluye que el reforzamiento ha logrado disminuir la clasificación de irregularidad torsional extrema a simplemente irregularidad torsional.

Tabla 8: Evaluación de irregularidad torsional en la estructura reforzada. Fuente:
Elaboración propia.

Story	Item	Max Drift	Avg Drift	Ratio	Max Loc X	Max Loc Y
		1/1000	1/1000		m	m
Story1	Diaph D1 X	0.521	0.439	1.185	0	0
Story1	Diaph D1 Y	0.233	0.139	1.679	0	4.72
Story1	Diaph D1 Y	0.507	0.498	1.018	20.64	4.72
Story1	Diaph D1 X	4.164	3.514	1.185	0	0
Story1	Diaph D1 Y	1.868	1.112	1.679	0	4.72
Story1	Diaph D1 Y	4.058	3.985	1.018	20.64	4.72

En cuanto a las distorsiones laterales, en el caso de la edificación reforzada mediante la técnica de encamisado propuesta, las máximas distorsiones laterales debidas a la acción de un sismo en dirección X se muestran en la figura 24. Como se puede apreciar de esta figura las máximas distorsiones alcanzadas en dirección X estuvieron en el orden de los 31.3 mm, en el segundo piso, mientras que en el primer piso este valor alcanzó 18 mm tal como se puede apreciar en el gráfico adjunto.

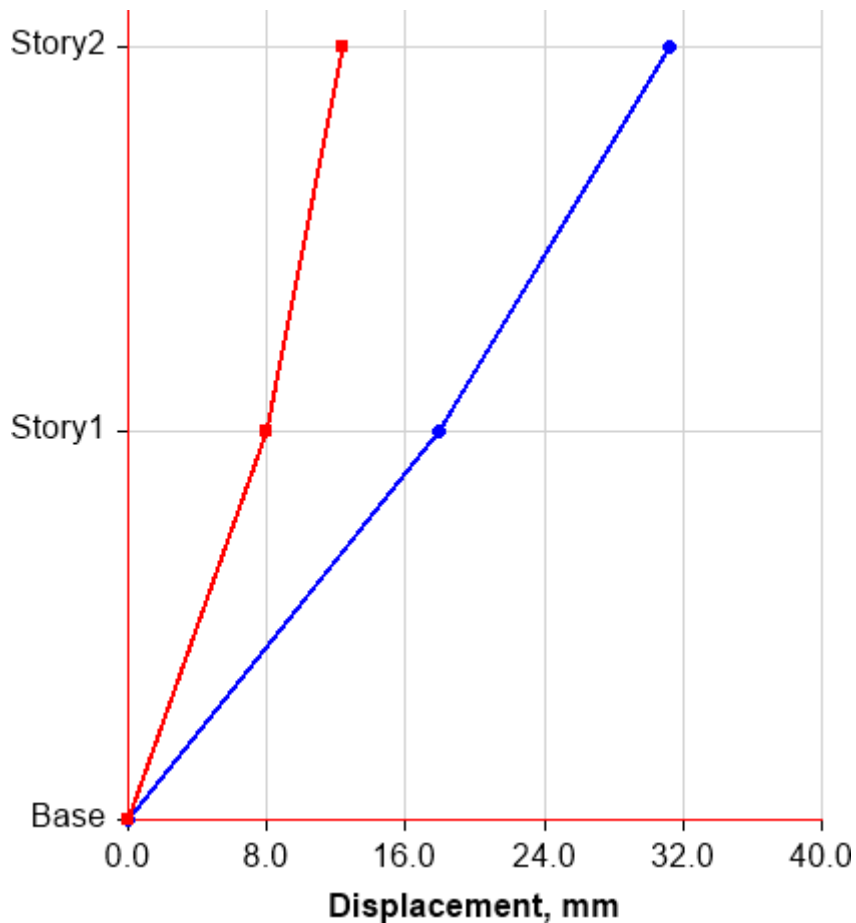


Figura 26: Máximos desplazamientos laterales en dirección X. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados comentados y mostrados de manera gráfica se presentan a continuación de forma tabular. De acuerdo con esta las máximas distorsiones encontradas en dirección y están en el orden de 12 y 8 mm respectivamente para el primer y segundo piso.

Tabla 9: Máximos desplazamientos laterales en dirección X. Fuente: Elaboración propia.

Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	m		mm	mm
Story2	8.55	Top	31.25	12.33
Story1	4.3	Top	17.91	8.03
Base	0	Top	0	0

Comentarios similares pueden hacerse en el caso de que el sismo se ha aplicado en dirección, si este es el caso los máximos desplazamientos laterales alcanzados están en el orden de los 27 mm y 17 mm para el segundo y primer piso respectivamente.

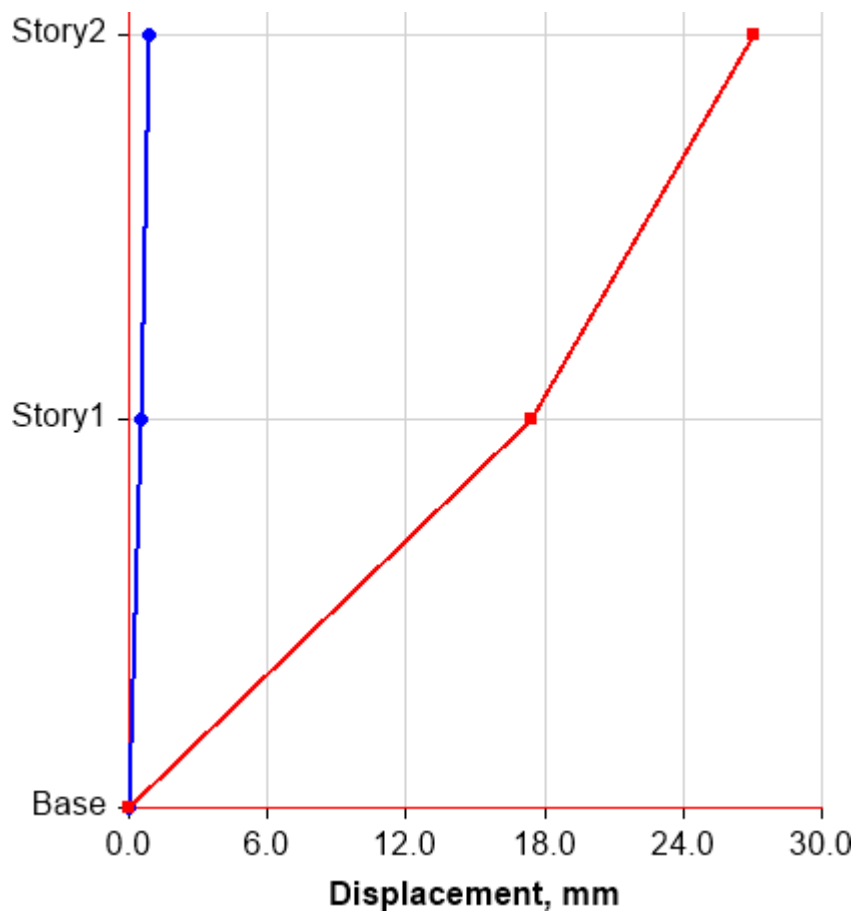


Figura 27: Máximos desplazamientos laterales en dirección Y. Fuente: Elaboración propia.

De la misma forma, los máximos desplazamientos laterales pueden ser presentados de manera tabular como tal como se muestra a continuación.

Tabla 10: Máximos desplazamientos laterales en dirección Y. Fuente: Elaboración propia.

Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	m		mm	mm
Story2	8.55	Top	0.831	27.077
Story1	4.3	Top	0.531	17.452
Base	0	Top	0	0

En cuanto a las máximas distorsiones laterales de entrepiso, en el caso de la estructura con el reforzamiento propuesto se han encontrado las siguientes distorsiones cuando el sismo es aplicado en dirección x. Las máximas distorsiones laterales encontradas en dirección x alcanzaron los 4.2 por 1000 en la misma dirección y se alcanzaron en el segundo nivel. Mientras que las máximas distorsiones laterales alcanzadas en el último nivel estuvieron en el orden de 2.7 por 1000 tal como se puede apreciar en la figura adjunta.

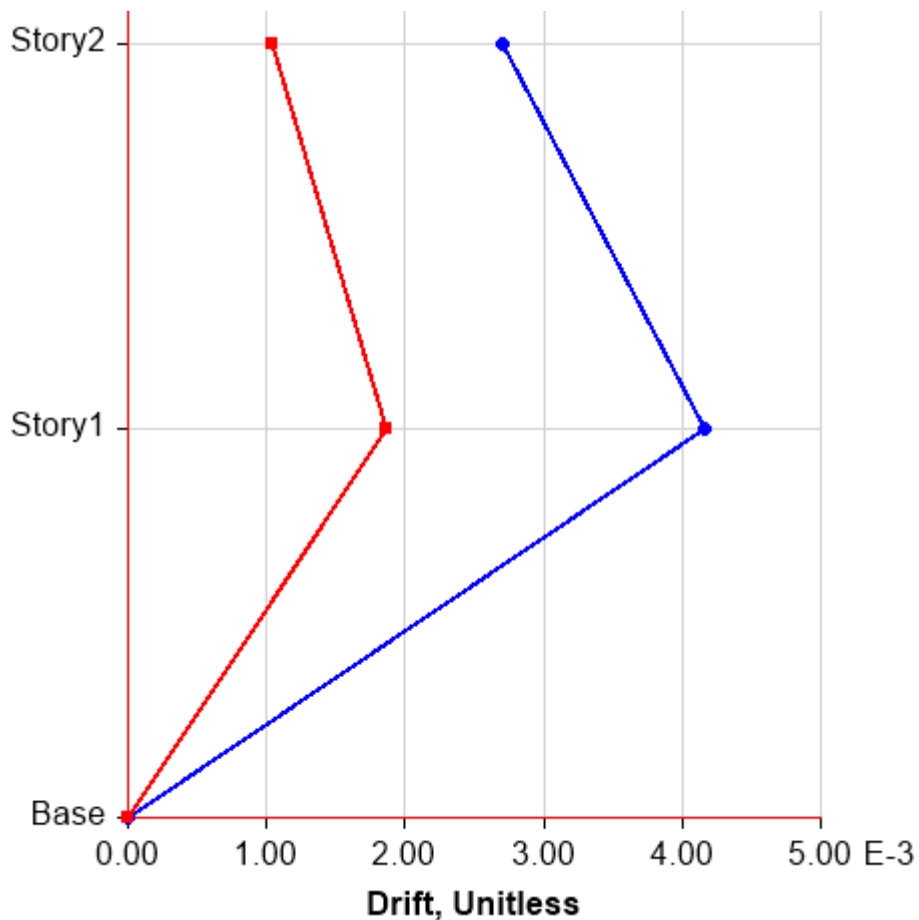


Figura 28: Máximas distorsiones laterales en dirección X. Fuente: Elaboración propia.

Estos mismos resultados se muestran a continuación de forma tabular. De este gráfico se aprecia que las máximas distorsiones alcanzadas en dirección X debido al sismo aplicado en dirección X estuvo en el orden de 1.9 por 1000.

Tabla 11: Máximas distorsiones laterales en dirección X. Fuente: Elaboración propia.

Story	Elevation m	Location	X-Dir	Y-Dir
Story2	8.55	Top	0.0027	0.001
Story1	4.3	Top	0.0042	0.0019
Base	0	Top	0	0

De forma análoga a lo mostrado en el párrafo anterior, a continuación, se presentan las máximas distorsiones laterales en dirección Y. Las máximas distorsiones laterales encontradas en este caso fueron de 4 por 1000, y se dio en el primer nivel de la edificación, tal como se puede apreciar en la siguiente figura.

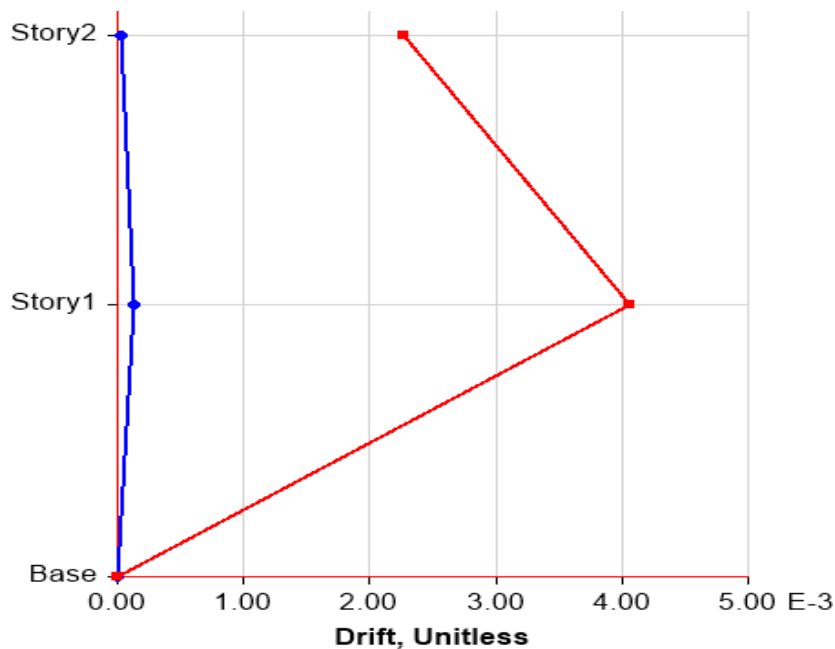


Figura 29: Máximas distorsiones laterales en dirección Y. Fuente: Elaboración propia.

Estos mismos resultados se presentan a continuación de forma tabular. Como se puede apreciar las máximas distorsiones laterales alcanzadas en el segundo nivel estuvieron en el orden de 2.3 por 1000. De acuerdo con esta data, las distorsiones laterales asociadas en dirección x fueron insignificantes. En este punto, es importante comentar que las máximas distorsiones laterales de la edificación en el caso reforzado han disminuido considerablemente, pasando de 15 por 1000 en el caso no reforzado a 4 por 1000 en el caso reforzado. Este es un hecho notable ya que de acuerdo con la norma de diseño sísmico vigente la rigidez lateral de una edificación es adecuada, sí las máximas distorsiones laterales están por debajo de 7 por 1000.

Tabla 12: Máximas distorsiones laterales en dirección Y. Fuente: Elaboración propia.

Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	m			
Story2	8.55	Top	3E-05	0.0023
Story1	4.3	Top	0.0001	0.0041
Base	0	Top	0	0

DISCUSIÓN

11.1 Objetivo General

11.2 Objetivo específico 01

Determinar el tipo de encamisado más apropiado a usarse en la presente institución educativa y que permita alcanzar los fines de mejora de respuesta sísmica especificados.

De acuerdo con los resultados encontrados del análisis sísmico realizado a la edificación de interés, se determinó que la estructura en su estado actual posee una rigidez lateral insuficiente a los requerimientos de demanda sísmica especificados por la actual normativa de diseño sísmico peruana. Debido a esto se ha planteado que la mejor forma de incrementar la rigidez lateral de la edificación analizada es incrementando el área transversal de las secciones analizadas.

En este sentido se ha creído conveniente incrementar la sección en las 2 direcciones de análisis, es decir, se ha incrementado el área de la sección transversal tanto en la dirección X, como en la dirección Y. El criterio de incremento de áreas se basó fundamentalmente en el criterio de rigidez lateral establecido en la norma de diseño sísmico, es decir, el control de distorsiones laterales de la edificación sometida a carga sísmica. El resultado de tal análisis muestra que se requiere un incremento del área de la sección original de hasta un 100 por ciento tanto en dirección X como en dirección Y. Los resultados encontrados están de acuerdo con lo mostrado por Jácome (2016).

Este autor señala que en el caso de edificaciones basadas en pórticos de concreto armado la rigidez lateral usualmente es insuficiente para resistir los altos niveles de demanda sísmica propios de un país de un elevado nivel de peligro sísmico como es el caso peruano. Se ha podido constatar que Yauli, J (2014) presenta conclusiones similares dentro de su trabajo de investigación, subrayando la necesidad de incrementar las secciones transversales de las columnas de concreto armado hasta en un 100% para lograr alcanzar los niveles de rigidez requeridos por la actual normativa de diseño sísmico.

11.3 Objetivo específico 02

Establecer las mejoras cuantitativas obtenidas a través del uso de encamisado de columnas en la edificación educativa analizada.

De acuerdo con los resultados obtenidos del análisis sísmico realizado en 2 situaciones específicas, cuando la edificación aún no ha sido reforzada y cuando está ya has sido reforzada y por tanto se han considerado las secciones transversales de los nuevos elementos estructurales.

Del análisis se ha encontrado que las máximas distorsiones laterales en dirección X alcanzaron valores de hasta 14.7/1000 cuando el sismo es aplicado en esta misma dirección, y valores de hasta 17.65/1000 en dirección Y cuando el sismo es aplicado en esa misma dirección. Estos resultados muestran con claridad absoluta que la edificación en su estado actual padece de una deficiencia de rigidez lateral que se traduce en un elevado nivel de vulnerabilidad sísmica de la edificación en el estado actual.

Los resultados obtenidos para la edificación reforzada muestran, Por otro lado, que la edificación analizada y reforzada mediante encamisado de columnas presente distorsiones laterales de 4.2/1000 en dirección X, cuando el sismo es aplicado en esta dirección, y 4.1/1000 en dirección Y, cuando el sismo se aplica en tal dirección.

Estos resultados muestran con toda claridad la efectividad alcanzada por la propuesta de reforzamiento de columnas basada en el encabezado de las secciones analizadas. En términos cuantitativos, se ha logrado un incremento de rigidez de 300%, por lo que, de acuerdo con la normativa vigente de diseño sísmico del 2018, se concluye que la edificación analizada posee un comportamiento sísmico adecuado y dentro de los parámetros establecidos como razonables dentro de la actual normativa.

Los parámetros comentados previamente están de acuerdo con los resultados encontrados en los trabajos de Silva, P (2016), quien encontró que la técnica del encamisado de columnas y técnicas de reforzamiento similares dedicadas al incremento de la rigidez lateral pueden lograr un incremento considerable de la rigidez lateral de la estructura, y por tanto una reducción apreciable de las máximas distorsiones laterales de entrepiso. Resultados similares fueron alcanzados en los

trabajos presentados por Peña, W (2017). Este autor concluyó que el reforzamiento lateral basado en encamisado de columnas logra disminuir en más del 100% las máximas distorsiones laterales de entrepiso, cumpliendo así con lo dispuesto en la norma peruana de diseño sísmico.

11.4 Objetivo específico 03

Determinar los tipos de irregularidades estructurales que se han evitado haciendo uso del encamisado de columnas en la institución educativa analizada.

De acuerdo con el análisis sísmico y análisis estructural realizado en el desarrollo del presente trabajo de investigación, la edificación antes del reforzamiento presentaba la irregularidad conocida como irregularidad torsional extrema. Este tipo de irregularidad genera un giro alrededor del eje vertical de la edificación, lo que en la gran mayoría de casos representa un incremento de cortante considerable en las columnas extremas como pudiendo incrementarse hasta en 200% el cortante estimado en un análisis sísmico. Tal como muestran los trabajos presentados por (FERREIRA et al., 2016). En el caso del reforzamiento basado en camisa o de columnas propuesto para la edificación de interés, se encontró que el reforzamiento logró disminuir ligeramente el parámetro de irregularidad torsional, logrando que la edificación pase de poseer una irregularidad torsional extrema, a una irregularidad torsional simple. El impacto de este hecho radica en que la normativa vigente permite diseñar la edificación como un cortante reducido, puesto que considera que la irregularidad normal tiene un potencial de daño inferior al caso de la irregularidad torsional extrema. Resultados similares u análogos fueron presentados por (Kim et al., 2020) quien encontró que el reforzamiento estructural aplicado una edificación debe considerar como objetivos de diseño y de desempeño la eliminación o minimización de parámetros de irregularidad sísmica, puesto que de esta forma se estará minimizando de sobremanera la vulnerabilidad sísmica de la edificación analizada.

CONCLUSIONES

General

De acuerdo con los resultados obtenidos, se concluye que la técnica propuesta basada en el encamisado de columnas de concreto armado de la edificación analizada permitió incrementar de manera contundente la rigidez lateral de la estructura analizada. Esto a su vez permitió reducir de manera importante las máximas distorsiones laterales asociadas, por lo que se concluye que la edificación reforzada cumple con los criterios establecidos en la normativa vigente, es decir, cumple con la norma de diseño sísmico del 2018.

Específico 01

De acuerdo con los resultados del análisis sísmico se concluyó, que la mejor propuesta de reforzamiento basado en encamisado de columnas, consiste en el incremento de la sección transversal de las columnas cuadradas de 25 cm por 30 cm de lado, a secciones T y L, para el caso de columnas perimetrales y columnas esquineras, respectivamente.

Específico 02

Los resultados obtenidos del análisis sísmico muestran con claridad que la propuesta de reforzamiento basado en encamisado de columnas de concreto armado, permitió un incremento notable de la rigidez lateral, tanto en dirección X como en dirección Y. Otro parámetro que sufrió grandes mejoras debido a la técnica del encamisado de columnas propuesto en este trabajo de investigación fueron las máximas distorsiones laterales de entrepiso asociadas, habiendo logrado la reducción notable de este parámetro. En el caso de la estructura sin reforzamiento se encontró que las máximas distorsiones laterales de entrepiso fueron de 14.7/1000 y 17.65/1000 para las direcciones X e Y, mientras que, para el caso de la edificación reforzada estos mismos parámetros alcanzaron valores de 4.2 y 4.1 por 1000, respectivamente.

Específico 03

De acuerdo con los resultados del análisis obtenido se concluye que la edificación en su estado actual y sin reforzamiento presenta un tipo de irregularidad muy peligrosa para una edificación conocida como irregularidad torsional extrema. Este tipo de irregularidad provoca cortantes muy elevadas en las columnas extremas de la edificación, lo que ante un evento sísmico puede provocar la destrucción de estas. Se concluye además que la técnica basada en encamisado de columnas propuesta en este trabajo de investigación logró mitigar este efecto de torsión extrema, pasando a tener apenas, irregularidad torsional simple. Este hecho muestra con claridad que la técnica de reforzamiento implementada y propuesta permite mejorar de manera sustancial las características de comportamiento dinámico de la estructura analizada.

RECOMENDACIONES

General

se recomienda el reforzamiento inmediato de la edificación analizada, pues como se ha visto de los análisis presentados en este trabajo de investigación, la edificación es vulnerable y susceptible a daños severos de presentarse o de ocurrir un evento sísmico de gran magnitud punto se recomienda la técnica basada en encamisado de columnas por su simpleza y bajo costo a la hora de implementar esta solución.

Específico 01

Recomienda el uso de la técnica de encamisado de columna en edificaciones de concreto armado que presenten problemas de rigidez lateral, pues como se ha visto del análisis presentado, ésta permite incrementar sustancialmente la rigidez lateral de la misma y por tanto controlar de manera adecuada las máximas distorsiones laterales presentes en la edificación.

Específico 02

Se recomienda que el criterio de dimensionado del encamisado de columnas se base en criterios de rigidez lateral o que este se base en criterios de distorsiones laterales tomando en cuenta lo especificado en la actual normativa de diseño sísmico del Perú coma que exige que las máximas distorsiones laterales en edificaciones, tanto nuevas como ya existentes sea de a lo sumo 7 por 1000.

Específico 03

Se recomienda la eliminación o minimización de los efectos y características provocadas por las diferentes irregularidades que aparecen en edificaciones de concreto armado tales como la irregularidad en planta, específicamente la irregularidad torsional y la irregularidad torsional extrema. Esto pues como se ha comentado, puede incrementar de manera sustancial los cortantes esperados en elementos estructurales verticales tan importantes como las columnas.

REFERENCIAS

- Bakhoun, M., Sobrino, J., Stefanovic, P., Fujita, M., & Takahashi, T. (2015). Case Studies of Rehabilitation, Repair, Retrofitting, and Strengthening of Structures. In *Case Studies of Rehabilitation, Repair, Retrofitting, and Strengthening of Structures*. <https://doi.org/10.2749/sed012>
- Dizhur, D., Griffith, M., & Ingham, J. (2014). Out-of-plane strengthening of unreinforced masonry walls using near surface mounted fibre reinforced polymer strips. *Engineering Structures*, 59, 330–343. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2013.10.026>
- FERREIRA, D. B., GOMES, R. B., CARVALHO, A. L., & GUIMARÃES, G. N. (2016). Behavior of reinforced concrete columns strengthened by partial jacketing. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, 9(1), 1–21. <https://doi.org/10.1590/s1983-41952016000100002>
- Kim, Y., Lim, S. A., & Park, H. S. (2020). Optimal seismic retrofit method for reinforced concrete columns with wing walls. *Engineering Structures*, 210(February), 110390. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110390>
- Padilla Quincot, G. (2012). PROPUESTA PARA CONSIDERAR LA IRREGULARIDAD ESTRUCTURAL EN LA RESISTENCIA LATERAL DE LAS ESTRUCTURAS EN EL PERÚ. In *Pontificia Universidad Católica del Perú*.
- Páez, D., Zabala, J., & Rodríguez, Y. (2018). Piso Blando, Una Falla Común En El Terremoto De Pedernales. *Ciencia*, 19(1), 58. <https://doi.org/10.24133/ciencia.v19i1.327>
- RNE, 2018. (n.d.). *E.030 Diseño Sismorresistente*.
- Sabol, P., & Priganc, S. (2013). Shear strengthening of concrete members using NSM method. *Procedia Engineering*, 65, 364–369. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.09.056>
- Valdivia Chilón, J. F. (2019). *Análisis comparativo del diseño estructural de una edificación de tres niveles de estructura irregular según las normas de*

sismorresistencia E.030 -2006 y la E.030-2016, en la ciudad de Cajamarca.
[https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/3351/TESIS
JHONY
VALDIVIA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/3351/TESIS_JHONY_VALDIVIA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Zavala, C., Lavado, L., Taira, J., Cardenas, L., & Diaz, M. (2014). Comparison of behaviors of non-engineered masonry tubular blockwalls and solid engineered walls. *Journal of Disaster Research*, 9(6), 1021–1025.
<https://doi.org/10.20965/jdr.2014.p1021>

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de Consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES
General	General	General			
¿Cuál es la mejora de la respuesta sísmica de la edificación analizada cuando los elementos resistentes incrementan su sección transversal mediante el encamisado de columnas?	Mejorar la respuesta sísmica de la edificación educativa analizada usando la técnica del encamisado de columnas en los niveles y cantidades necesarias para este fin	El encamisado de columnas incrementa la sección transversal de estas, así como su resistencia y rigidez provocando esto la mejora en la respuesta sísmica de la edificación analizada	Encamisado de columnas	Rigidez inicial	Rigidez de la estructura (t/m)
Específicos	Específicos	Específicos			
¿Qué tipo de encamisado de columnas resulta más efectivo para mejorar la respuesta sísmica de una edificación educativa?	Determinar el tipo de encamisado más apropiado a usarse en la presente institución educativa y que permita alcanzar los fines de mejora de respuesta sísmica especificados	El encamisado total de columnas permitirá una mejora sustancial en la resistencia y rigidez lateral de los elementos estructurales y por tanto una mejora en la respuesta sísmica de la edificación analizada		Máximos desplazamientos laterales (E030, 2018).	Desplazamientos y distorsiones laterales obtenidas de un análisis sísmico.
¿Qué mejora en las máximas distorsiones de entrepiso genera el uso del encamisado de columnas en una edificación educativa?	Establecer las mejoras cuantitativas obtenidas a través del uso de encamisado de columnas en la edificación educativa analizada	El encamisado de columnas de concreto armado permitirá tener niveles de distorsión lateral de entre piso de la edificación dentro de los parámetros establecidos en la norma peruana de diseño sísmico	Respuesta sísmica	Máximas distorsiones laterales (E030, 2018)	Máximas fuerzas cortantes obtenidas de un análisis sísmico.
¿Qué tipo de irregularidades estructurales se pueden evitar o minimizar o sea no encamisado de columnas tengo una edificación educativa?	Determinar los tipos de irregularidades estructurales que se han evitado haciendo uso del encamisado de columnas en la institución educativa analizada	El encamisado de columnas de concreto armado permitirá minimizar los efectos de irregularidad de torsión en la edificación educativa analizada.		Máximas fuerzas cortantes de entrepiso (E030, 2018)	

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2: Matriz de operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Escala
Variable Independiente Encamisado de columnas	El encamisado de columnas incrementa la sección transversal de estas, así como su resistencia y rigidez provocando esto la mejora en la respuesta sísmica de la edificación analizada (Bakhoum et al., 2015; Sabol & Priganc, 2013).	Método para incrementar el área de la sección transversal y la cantidad de acero de la misma.	Área de la sección transversal Área de acero	<ul style="list-style-type: none"> • Área de refuerzo longitudinal • Área de refuerzo transversal 	Cm ²
Variable Dependiente Respuesta sísmica	Forma como la estructura responde ante la acción de fuerzas laterales inducidas por la acción de un sismo.	Forma en que la estructura responde en términos de desplazamientos y distorsiones y aceleraciones laterales.	Máximos desplazamientos laterales	<ul style="list-style-type: none"> • Desplazamientos laterales 	• mm
			Máximas distorsiones laterales	<ul style="list-style-type: none"> • Distorsiones laterales 	• Mm/mm
			Rigidez lateral	<ul style="list-style-type: none"> • Cortantes de entre piso 	• T

Fuente: Elaboración propia

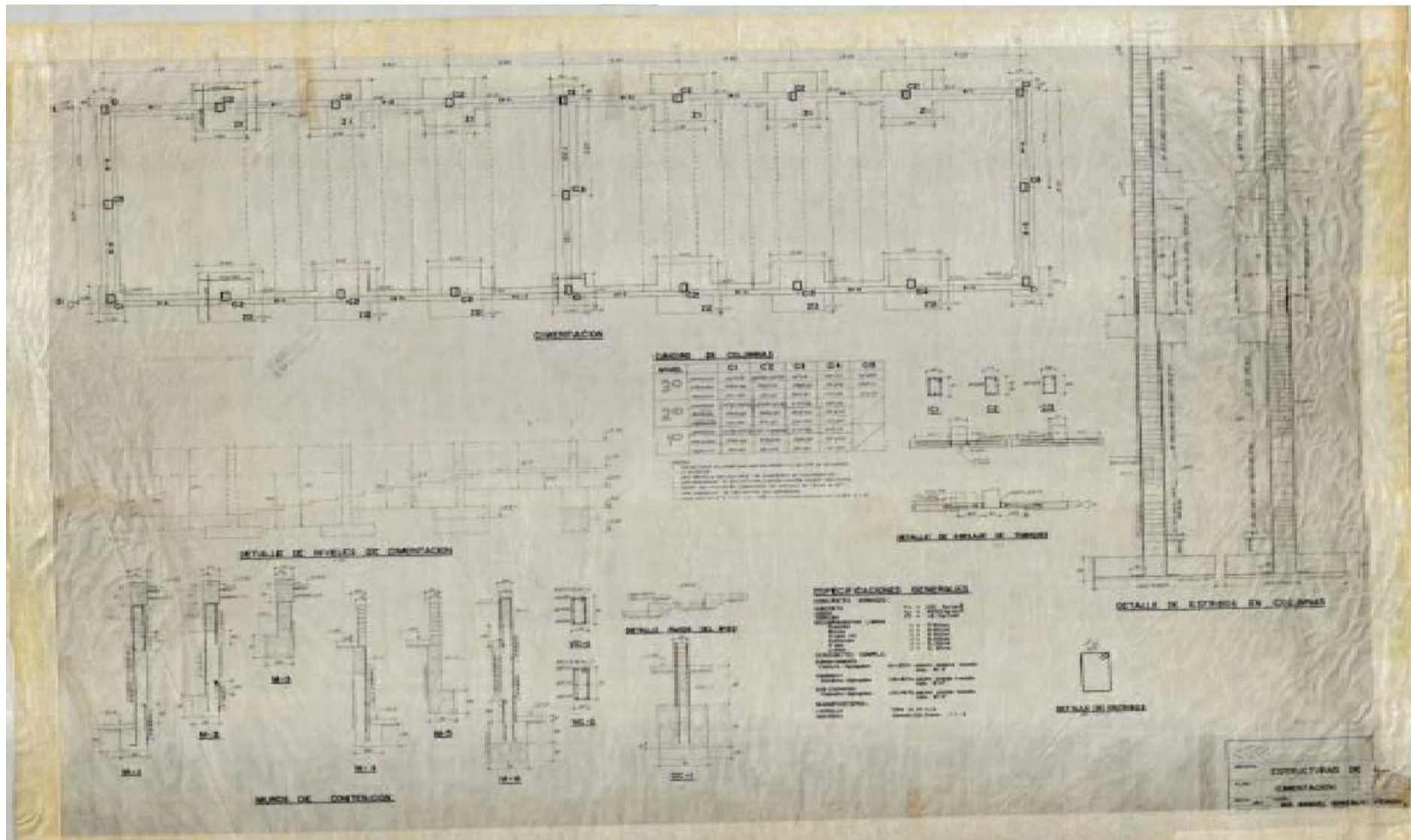
Anexo 3: Matriz de técnicas e instrumentos a aplicar por objetivos y unidad de investigación

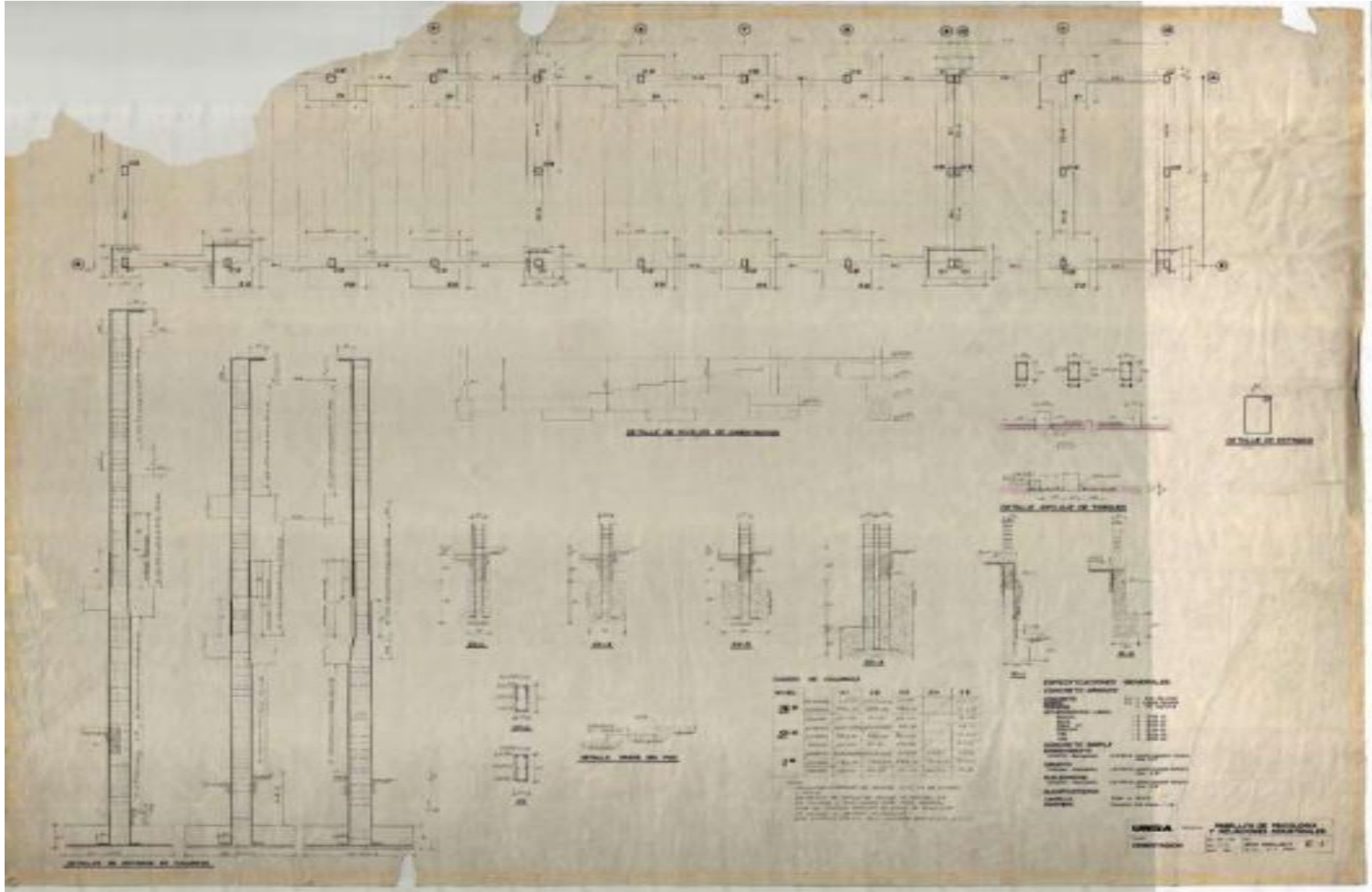
TITULO: “MEJORA DE LA RESPUESTA SÍSMICA DEL COLEGIO FELIPE SALAVERRY USANDO REFORZAMIENTO DE ENCAMISADO DE COLUMNAS DEPARTAMENTO DE AYACUCHO 2022”.

Objetivos específicos	Población	Muestra	Técnica	Instrumentos
Determinar el tipo de encamisado más apropiado a usarse en la presente institución educativa y que permita alcanzar los fines de mejora de respuesta sísmica especificados.	La población la para investigación, serán todos los elementos estructurales de concreto que son las columnas presentes en la Institución Educativa Felipe Salaverry.	Para la presente investigación por tratarse de una población limitada, se tomará la muestra igual a la población	Recolección de información	Planos de estructuras Planos de arquitectura
Establecer las mejoras cuantitativas obtenidas a través del uso de encamisado de columnas en la edificación educativa analizada.			Procesamiento de información	ETABS
Determinar los tipos de irregularidades estructurales que se han evitado haciendo uso del encamisado de columnas en la institución educativa analizada.			Procesamiento de información	ETABS

Fuente: Elaboración propia

Anexo 4: Planos antiguos estructurales hechos a mano.





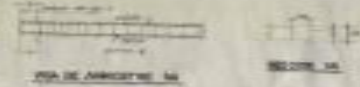
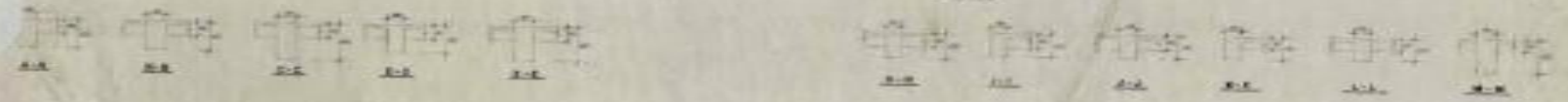


TABLE OF CONTENTS

No.	Description
1	General Notes
2	Structural Details
3	Material Specifications
4	Construction Methods
5	Quality Control
6	Safety Measures
7	Environmental Protection
8	Record Keeping
9	Communication
10	Emergency Procedures

USA **BRIDGE** **IN** **AMERICA**
STRUCTURAL **SECTION - 2**
1950
THE **AMERICAN** **BRIDGE** **CONSTRUCTION**

Anexo 5: Fotografías 1 y 2. Vista frontal de la I.E. FELIPE SALAVERRY



Fotografías N° 3, 4 y 5: Vista lateral de la I.E. FELIPE SALAVERRY





Anexo 6: Cálculo de la capacidad portante admisible – Calicata 01.

CALICATA:	C-01	ESTRUCTURA:	ZAPATA	COORDENADAS:	ESTE:	816673.00
MUESTRA:	M - 1	PROFUNDIDAD:	DE 0.50M. A 3.00M.		NORTE:	9173652.00

DATOS

$$q_{ad} = \frac{(0.867c N'c + q N'q + 0.4\gamma' B N'q)}{F.S}$$

$$q_{ad} = 1.15 \text{ Kg/cm}^2$$

DONDE:

TIPO DE SUELO		CL
ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA	(°)	f = 19.22
COHESIÓN	(kg/cm2)	c = 0.192
PESO ESPECÍFICO DEL SUELO	(kg/cm3)	g = 0.00157
PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN	(cm)	Df = 250.00
ANCHO DE CIMENTO	(cm)	B = 150.00
FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA:		N'c = 11.470
		N'q = 3.871
		N'g = 1.050
FACTOR DE SEGURIDAD		F.S. = 3.000

GUERSAN INGENIEROS S.R.L.

Lesly Jhulisa Chingay Paredes
 INGENIERO CIVIL
 REG. CIP N° 208535

Cálculo de capacidad portante admisible – Calicata 02.

CALICATA:	C-02	ESTRUCTURA:	ZAPATA	COORDENADAS:	ESTE:	816678.00
MUESTRA:	M - 1	PROFUNDIDAD:	DE 0.50M. A 3.00M.		NORTE:	9173653.00

DATOS

$$q_{ad} = \frac{(0.867c N'c + q N'q + 0.4\gamma' B N'\gamma)}{F.S}$$

$$q_{ad} = 1.12 \text{ Kg/cm}^2$$

DONDE:

TIPO DE SUELO			CL
ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA	(°)	f =	18.90
COHESIÓN	(kg/cm2)	c =	0.188
PESO ESPECÍFICO DEL SUELO	(kg/cm3)	g =	0.00157
PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN	(cm)	Df =	250.00
ANCHO DE CIMENTO	(cm)	B =	150.00
FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA:		N'c =	11.316
		N'q =	3.586
		N'g =	1.016
FACTOR DE SEGURIDAD		F.S. =	3.000

GUERSAN INGENIEROS S.R.L.

 Lesly Jhulisa Chingay Paredes
 INGENIERO CIVIL
 REG. CIP N° 208535

Cálculo de capacidad portante admisible – Calicata 03.

CALICATA:	C-03	ESTRUCTURA:	ZAPATA	COORDENADAS:	ESTE:	816679.00
MUESTRA:	M - 1	PROFUNDIDAD:	DE 0.40M. A 3.00M.		NORTE:	9173654.00

DATOS

$$q_{ad} = \frac{(0.867c N'c + q N'q + 0.4\gamma' B N'\gamma')}{F.S}$$

$$q_{ad} = 1.18 \text{ Kg/cm}^2$$

DONDE:

TIPO DE SUELO			CL
ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA	(°)	f =	19.47
COHESIÓN	(kg/cm2)	c =	0.196
PESO ESPECÍFICO DEL SUELO	(kg/cm3)	g =	0.00158
PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN	(cm)	Df =	250.00
ANCHO DE CIMIENTO	(cm)	B =	150.00
FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA:		N'c =	11.592
		N'q =	3.738
		N'g =	1.073
FACTOR DE SEGURIDAD		F.S. =	3.000

GUERSAN INGENIEROS S.R.L.

Lesly Jhulisa Chingay Paredes
 INGENIERO CIVIL
 REG. CIP N° 206535