

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**ANÁLISIS COMPARATIVO DE 2 TIPOS DE REFUERZOS
ESTRUCTURALES PARA LA “INSTITUCIÓN EDUCATIVA N°4460 -
CESAR COHAILA TAMAYO” EN EL DEPARTAMENTO DE TACNA**

TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADA POR:

Bach. MARCA VISLAO, JORGE LUIS

Bach. ROJAS CAMA, ERIK GLEYSON

ASESOR: Mg. Ing. GÁRATE CÁCERES, FRANCISCO HÉCTOR

LIMA – PERÚ

2021

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi familia por su constante apoyo a lo largo de mi vida universitaria, sin ellos no sería posible, mi aprecio eterno.

Marca Vislao Jorge

Esta tesis va dedicada a mi familia por haber sido un soporte fundamental en mi vida y en mi etapa universitaria, con mucho respeto y agradecimiento.

Rojas Cama Erik

AGRADECIMIENTO

Nuestro total agradecimiento a nuestros docentes en toda nuestra etapa universitaria, por compartir sus enseñanzas, conocimientos y forjar el amor hacia nuestra carrera. También a nuestros asesores por el desarrollo de la presente tesis y todas las personas involucradas en su realización.

Erik Rojas – Jorge Marca

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT.....	II
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1. Descripción del problema.....	3
1.2. Formulación del problema	4
1.2.1. Problema general.....	4
1.2.2. Problemas específicos	4
1.3. Objetivos de la investigación	5
1.3.1. Objetivo principal.....	5
1.3.2. Objetivos específicos.....	5
1.4. Delimitación de la investigación.....	5
1.4.1. Delimitación temporal	5
1.4.2. Delimitación espacial	6
1.4.3. Delimitación temática.....	6
1.5. Justificación e Importancia del estudio	6
1.5.1. Justificación teórica.....	6
1.5.2. Justificación práctica	7
1.5.3. Justificación social	7
1.5.4. Justificación económica.....	7
1.5.5. Importancia	7
1.6. Limitaciones del estudio	8
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	9
2.1. Investigaciones relacionadas con el tema	9
2.1.1. Investigaciones internacionales.....	9
2.1.2. Investigaciones nacionales.....	11
2.2. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio.....	13
2.2.1. Filosofía y principios de diseño sismorresistente.....	13
2.2.2. Diseño Sismorresistente por desempeño	13
2.2.3. Análisis y diseño elástico lineal de la estructura.....	13

2.2.4. Parámetros de sitio	14
2.3. Consideraciones para el análisis sísmico	14
2.3.1. Características de la zona en estudio	14
2.3.2. Zonificación	14
2.3.3. Perfil del suelo (S).....	16
2.3.4. Factor de uso	17
2.3.5. Parámetro de amplificación sísmica.....	19
2.3.6. Coeficiente básico de reducción.....	20
2.3.7. Regularidad estructural.....	20
2.3.8. Restricciones a la irregularidad.....	24
2.4. Registros sísmicos	25
2.4.1. Estimación del peso.....	26
2.4.2. Periodo fundamental de vibración.....	27
2.5. Análisis dinámico modal espectral.....	28
2.5.1. Modos de vibración	28
2.5.2. Aceleración espectral.....	28
2.5.3. Análisis dinámico lineal	28
2.6. Reforzamiento de vigas con fibras de carbono	29
2.7. Estudios de la fibra de carbono (CFRP)	29
2.8. Fibra de carbono.....	31
2.8.1. Tipos de fibras de carbono.....	31
2.8.2. Platina Sika Carbodur S, M	35
2.9. Reforzamiento a flexión de vigas.....	37
2.10. Tipos de falla	37
2.10.1. Falla tipo 1: Por delaminación extrema:.....	37
2.10.2. Falla tipo 2: Por fractura del Sistema FRP en la zona central:	38
2.11. Encamisado de Columnas.....	39
2.11.1. Análisis del encamisado	40
2.11.2. Consideraciones constructivas	40
2.11.3. Consideraciones de análisis y diseño del encamisado	41
2.11.4. Diseño del encamisado.....	44

2.12. Definición de términos básicos	44
CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS	46
3.1. Hipótesis	46
3.1.1. Hipótesis principal.....	46
3.1.2. Hipótesis secundarias	46
3.2. Variables	46
3.2.1. Definición conceptual de las variables	46
3.2.2. Variable independiente	46
3.2.3. Variable dependiente	47
3.2.4. Operacionalización de las variables	47
3.2.5. Matriz de operacionalización de variables	47
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	48
4.1. Tipo y nivel de investigación	48
4.1.1. Tipo.....	48
4.1.2. Nivel	48
4.2. Diseño de investigación	48
4.3. Población y muestra	49
4.3.1. Población	49
4.3.2. Muestra	49
4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	49
4.4.1. Técnicas	49
4.4.2. Instrumentos.....	49
4.5. Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos.....	50
4.6. Procedimientos para la recolección de datos	50
4.7. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información.....	51
4.7.1. Ecuaciones usadas	51
CAPITULO V: ANALISIS SÍSMICO DE LA ESTRUCTURA.....	52
5.1. Condiciones generales	52
5.2. Metrado de cargas de la estructura	54
5.2.1. Carga muerta (DL)	54
5.2.2. Carga viva (LL).....	54

5.2.3. Carga por sismo (Ex,Ey).....	54
5.2.4. Combinación de cargas.....	54
5.3. Consideraciones para modelo matemático de la estructura existente	55
5.4. Consideraciones para el análisis sismorresistente de la estructura existente.....	57
5.5. Definición de propiedades de los elementos estructurales	58
5.5.1. Concreto armado	59
5.5.2. Acero de refuerzo.....	59
5.6. Definición de elementos estructurales.....	60
5.6.1. Columnas	60
5.7. Análisis lineal estático de la estructura sin reforzamiento.....	60
5.7.1. Sismo estático en X.....	60
5.7.2. Sismo estático en Y.....	61
5.8. Análisis lineal dinámico modal espectral de la estructura sin reforzamiento.....	61
5.8.1. Espectro de respuesta eje X.....	61
5.8.2. Espectro de respuesta eje Y.....	61
5.9. Reforzamiento por encamisado de columnas.....	62
5.9.1. Verificación de columnas	62
5.9.2. Verificación de vigas.....	63
5.10. Reforzamiento estructural propuesto	64
5.10.1. Reforzamiento de viga con fibra de carbono.....	64
5.10.2. Cálculo del refuerzo con fibra de carbono	66
CAPÍTULO VI: INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	84
6.1. Análisis e interpretación de resultados	84
6.2. Contrastación de hipótesis	85
6.2.1. Verificación de la Hipótesis general	85
6.2.2. Contrastación de hipótesis general.....	85
6.2.3. Verificación de la Hipótesis Especifica 1	85
6.2.4. Contrastación de la Hipótesis Especifica 1.....	85
6.2.5. Verificación de la Hipótesis Especifica 2.....	86
6.2.6. Contrastación de la Hipótesis Especifica 2.....	86
6.2.7. Verificación de la Hipótesis Especifica 03.....	86

6.2.8. Contratación de la Hipótesis Especifica 3.....	86
CONCLUSIONES	87
RECOMENDACIONES	88
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
ANEXOS.....	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Colegio Cesar Cohaila Tamayo	6
Figura 2: Mapa de zonificación sísmica peruano.....	15
Figura 3: Dirección de las fibras en tejidos de CFRP	30
Figura 4: Mecanismos de los daños en sistema CFRP	31
Figura 5: Curva de tensión-deformación.....	31
Figura 6: Tipos de tejidos de fibra de carbono	33
Figura 7: Falla por delaminación extrema en el sistema CFRP.....	38
Figura 8: Falla por fractura del sistema FRP en la zona central	39
Figura 9: Encamisado de columnas.....	40
Figura 10: Encamisado de columna hasta el entrepiso.....	43
Figura 11: Encamisado de columna hasta la losa	44
Figura 12: Área de refuerzo de encamisado	44
Figura 13: Geometría de columnas	53
Figura 14: Geometría de vigas.....	53
Figura 15: Modelo tridimensional de la estructura	55
Figura 16: Vista en planta de elementos estructurales	57
Figura 17: Asignación de resistencia del concreto en Etabs.....	59
Figura 18: Definición del material de acero en Etabs	60
Figura 19: Columna T primer nivel.....	60
Figura 20: Asignación de fuerzas sismo estático X	61
Figura 21: Asignación de fuerzas sismo estático Y	61
Figura 22: Asignación columna C-2	63
Figura 23: Detalle de viga VP-2	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Factores de zona (Z)	15
Tabla 2: Clasificación de los perfiles de suelo.....	16
Tabla 3: Factor de amplificación del suelo.....	16
Tabla 4: Periodos T_p y T_l	17
Tabla 5: Factor de uso	17
Tabla 6: Parámetro de amplificación sísmica	19
Tabla 7: Coeficiente de reducción.....	20
Tabla 8: Irregularidades estructurales en altura	21
Tabla 9: Irregularidades estructurales en planta	23
Tabla 10: Categoría y regularidad de las edificaciones.....	25
Tabla 11: Registros sísmicos peruanos y chilenos.....	25
Tabla 12: Estimación del peso	26
Tabla 13: Cargas vivas mínimas repartidas	26
Tabla 14: Coeficiente para estimación de periodo fundamental.....	27
Tabla 15: Límites de desplazamiento lateral de entrepiso.....	29
Tabla 16: Características y peso del tejido de fibra de carbono	32
Tabla 17: Datos técnicos del Sikawrap -600°C	33
Tabla 18: Datos técnicos del adhesivo epóxico Sikadur 301.....	34
Tabla 19: Propiedades del adhesivo epóxico sikadur 301	34
Tabla 20: Característica anclajes Sika carbodur S	35
Tabla 21: Platinas Sika Carbodur Tipo S	35
Tabla 22: Características anclajes Sika Carbodur M	36
Tabla 23: Platinas Sika Carbodur tipo M	36
Tabla 24: Cuadro de columnas	52
Tabla 25: Cuadro de vigas	53
Tabla 26: Resumen de parámetros sísmicos NTP E.030.....	58
Tabla 27: Propuesta de refuerzo viga P-2.....	64
Tabla 28: Propiedades de la fibra de carbono Sika Carbodur.....	65
Tabla 29: Cargas y momentos para el diseño FRP	65

Tabla 30: Cálculo sistema CFRP	66
Tabla 31: Propiedades del acero	66
Tabla 32: Resultados de refuerzo CFRP	67
Tabla 33: Módulo de elasticidad	67
Tabla 34: Características del refuerzo	68
Tabla 35: Propiedades para viga en refuerzo.....	68
Tabla 36: Deformaciones al colocar el refuerzo FRP	69
Tabla 37: Deformación sistema FRP.....	70
Tabla 38: Nivel de deformación FRP	71
Tabla 39: Deformación unitaria FRP	71
Tabla 40: Deformación acero de refuerzo	72
Tabla 41: Resultados del esfuerzo en acero FRP.....	72
Tabla 42: Resultados esfuerzo efectivo FRP	73
Tabla 43: Resultados fuerzas internas	73
Tabla 44: Resultados deformación efectiva FRP	74
Tabla 45: Resultados resistencia nominal	75
Tabla 46: Resultados profundidad eje neutro	76
Tabla 47: Resultados nivel de esfuerzo en acero bajo cargas de servicio	77
Tabla 48: Resultados de nivel de esfuerzo FRP en rango elástico.....	78
Tabla 49: Resultados longitud de desarrollo FRP.....	79
Tabla 50: Momentos de agrietamiento	79
Tabla 51: Resultados a tensión viga VP-2.....	80
Tabla 52: Propiedades de varillas de refuerzo	81
Tabla 53: Resistencia nominal al cortante del acero de refuerzo.....	81
Tabla 54: Resistencia nominal al cortante del concreto	82
Tabla 55: Esfuerzo cortante nominal y última.....	82
Tabla 56: Comparación de cortantes	82

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia.....	91
Anexo 2: Matriz de variables.....	92
Anexo 3: Cronograma de actividades	93

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se analizaron y compararon 2 alternativas de reforzamiento estructural las cuales fueron el uso de Fibra de carbono (CFRP) y el Encamisado de columnas en un colegio ubicado en la ciudad de Tacna, construida en el año 2008, con el objetivo de elegir el que mejor desempeño sísmico obtenga. De esta manera se buscó adecuarla a los requerimientos de las normas técnicas actuales.

Para modelar y analizar la estructura se hizo uso del software ETABS v19, para esto, se tomaron en cuenta los datos de los documentos dentro del expediente técnico. Posteriormente para los análisis de desempeño se usaron las normas técnicas actuales las cuales contenían los nuevos requerimientos, de los cuales se consideraron las deformaciones verticales y horizontales, así como las posibles fallas de los elementos estructurales ante las nuevas combinaciones de cargas de la norma NTP-E.020. Luego de modelar y analizar las dos propuestas de reforzamiento se procedió a compararlos obteniendo como solución la mejor alternativa de reforzamiento. Así mismo, los resultados de esta tesis confirmaron la importancia de realizar una correcta evaluación estructural para edificaciones similares y su respectivo método de refuerzo.

Palabras clave: análisis comparativo, reforzamiento estructural, fibra de carbono, encamisado de columnas.

ABSTRACT

In the present research work, 2 structural reinforcement alternatives were analyzed and compared, which were the use of Carbon Fiber (CFRP) and column jacketing in a school located in the city of Tacna, built in 2008, with the aim of choosing the one that obtains the best seismic performance. In this way, it was sought to adapt it to the requirements of current technical standards.

To model and analyze the structure, the ETABS v19 software was used, for this, the data of the documents within the technical file were taken into account. Subsequently, for the performance analysis, the current technical standards were used, which contained the new requirements, of which vertical and horizontal deformations were considered, as well as the possible failures of the structural elements before the new combinations of loads of the NTP-E.020 standard. After modeling and analyzing the two reinforcement proposals, we proceeded to compare them, obtaining as a solution the best reinforcement alternative. Likewise, the results of this thesis confirmed the importance of carrying out a correct structural evaluation for similar buildings and their respective reinforcement method.

Key words: comparative analysis, structural reinforcement, carbon fiber, jacketing of columns.

INTRODUCCIÓN

Actualmente algunos de los colegios peruanos que fueron diseñados y construidos hace más de 15 años con la normativa correspondiente a su tiempo muestran deficiencias en el diseño estructural y no garantiza la seguridad de su población estudiantil. Ante la importancia que las estructuras no colapsen ante sismos severos y no tengan demasiados daños en sismos moderados, se busca tener una alternativa fiable tanto técnica como económica, de reforzamiento estructural ante las nuevas demandas normativas. Por tal motivo, se eligió el colegio Cesar Cohaila Tamayo ubicado en la ciudad de Tacna como muestra de análisis de la presente investigación.

En el presente trabajo de investigación se analizarán 2 diferentes técnicas de reforzamiento estructural que se podrían aplicar en colegios:

- Reforzamiento con fibra de carbono.
- Reforzamiento mediante el encamisado de columnas.

A partir del análisis cualitativo de las técnicas de reforzamiento, se tomará en cuenta criterios de rigidez, desplazamientos y modificaciones, se realizará un análisis comparativo de las 2 técnicas ya mencionadas. El colegio modelo que utilizaremos contará con 2 pabellones similares, 2 niveles cada uno y 4 aulas por nivel. Se analizarán, además, la situación en la que se encuentra el colegio, como el tipo de suelo y la zona sísmica en la que se ubica. Luego de obtener los resultados de los análisis haremos comparaciones y conclusiones que permitan escoger el tipo de refuerzo adecuado para las condiciones del lugar donde se hará la intervención.

En el capítulo I se realizó el planteamiento del problema, explicando la descripción del problema, la formulación del problema y los objetivos principales y específicos que se quieren alcanzar con esta investigación. También la delimitación, justificación y limitación del estudio.

En el capítulo II se recopiló la información que sirve como base teórica, basándonos en investigaciones relacionadas al tema presentado.

En el capítulo III se plantearon la hipótesis general y específicas, también se definen las variables dependiente e independiente, su operacionalidad y cómo se relacionan entre ellas.

En el capítulo IV se define la metodología de investigación, así como el tipo, nivel y diseño de la investigación. También se presenta la población y la muestra de estudio, además de las técnicas e instrumentos para la recolección de datos.

En el capítulo V se desarrolló el proceso de análisis de reforzamiento, el proceso de los modelados en el software ETABS, el metrado de cargas, la composición geométrica de los elementos estructurales, el análisis estático y dinámico y los respectivos métodos de reforzamiento.

En el capítulo VI se presenta la interpretación de resultados, en análisis comparativo y la contrastación de las hipótesis.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

El Perú es considerado uno de los países de mayor potencial sísmico en el mundo (Bernal & Tavera 2002). Además de viviendas, existen numerosas estructuras con un elevado nivel de vulnerabilidad frente a sismos, algunas de las más importantes son, por ejemplo, las estructuras educativas. De acuerdo con la norma peruana de diseño sísmico del 2018, las estructuras educativas están calificadas como esenciales, es decir, son aquellas estructuras que deben de tolerar la ocurrencia de sismos con periodos de retorno de 2500 años, sin colapsar ni sufrir de daños severos, ya que esta debe fungir de albergues en el caso de un evento sísmico de gran magnitud. La realidad, sin embargo, es que la infraestructura de numerosos centros educativos a lo largo del país que, por su antigüedad, inadecuada distribución arquitectónica, poca rigidez estructural y baja calidad en los procesos constructivos, fueron construidas en épocas en las que las normativas sísmicas no estaban del todo desarrolladas, provocando que queden vulnerables frente a la acción de sismos severos. Tal es el caso del edificio de la escuela Cesar Cohaila A. Tamayo-Ciudad Nueva-Tacna.

En los sismos de 1966 y 1970, 2001, 2007, muchos colegios resultaron dañados debido principalmente a la interacción de las columnas y los tabiques de ladrillo que forman las ventanas altas, esto es conocido como columna corta. El efecto columna corta es una característica típica de las edificaciones educativas y se da en los muros paralelos a las fachadas de las aulas. Esto es debido al insuficiente espesor de la junta entre los muros tabique y las columnas que conforman el pórtico estructural. Al ocurrir un evento sísmico, la losa del techo arrastra lateralmente a la columna haciéndola chocar contra la zona superior del alféizar (elemento más rígido que la columna), lo que genera una gran distorsión angular en la columna corta causando su falla por corte. Al degradar su rigidez, la columna corta termina aplastándose por el hecho de soportar cargas verticales que se tornan excéntricas por el excesivo desplazamiento lateral.

Generalmente en las zonas urbanas cada centro educativo primario y secundario está formado por dos o más pabellones de concreto armado o albañilería de uno o dos pisos. Estas edificaciones tienen plantas rectangulares con 2 o más aulas contiguas en cada nivel. Los ambientes para bibliotecas y oficinas administrativas generalmente se alojan

también en este tipo de edificios con divisiones de tabiquería. En ciudades importantes en el interior del país existen centros educativos de similares características arquitectónicas, pero con edificios construidos en barro, sillar o quincha. Así mismo, tomando en cuenta el diagnóstico del Plan Nacional de Infraestructura Educativa (PNIE), de las 177 mil edificaciones escolares, el 55% requiere una sustitución completa y el 18% necesita reforzamiento estructural o funcional y apenas un 25% no requiere intervención. El mismo informe del PNIE, indica que al 2025 se requerirán S/80 mil millones solo para asegurar las condiciones básicas y funcionalidad de la infraestructura existente, además de necesitarían S/29 mil millones para ampliar la capacidad de la infraestructura educativa, fortalecer la gestión y garantizar la sostenibilidad de la infraestructura.

Y de acuerdo al informe final del MINEDU (Inversión en infraestructura educativa), nuestro país enfrenta un déficit de infraestructura educativa significativo que, según cálculos del Ministerio de Educación, existe una brecha a nivel de centros educativos públicos que asciende a alrededor de S/ 56 mil millones y según bajo las condiciones actuales de inversión pública, se calcula que se requerirían cerca de 20 años para ser cerrada. Ello ocurre a pesar de que la situación de la infraestructura educativa ha venido mejorando en los últimos años producto principalmente de la creciente inversión en infraestructura de los gobiernos subnacionales

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Qué mejoras en el desempeño estructural se lograrán en la institución educativa ante el uso de 2 tipos de refuerzo estructural?

1.2.2. Problemas específicos

- a) ¿Cuáles serían las diferencias más notables entre los 2 tipos de refuerzo estructural?
- b) ¿Qué tipo de refuerzo estructural será el más conveniente?
- c) ¿En qué porcentaje mitigarían las fallas estructurales estos 2 tipos de refuerzo?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo principal

Realizar el análisis comparativo de 2 tipos de refuerzos estructurales para la institución educativa. “N°4460 - Cesar Cohaila Tamayo” en el departamento de Tacna.

1.3.2. Objetivos específicos

- a) Modelar el comportamiento sísmico de ambos refuerzos estructurales con el software ETABS.
- b) Evaluar el comportamiento sísmico de la infraestructura debido a la adición de fibras de carbono a vigas y el refuerzo por encamisado de columnas, de acuerdo a los lineamientos del RNE – NTP E.020, E.030.
- c) Realizar la valoración técnico económico de la estructura con ambos tipos de refuerzo.

1.4. Delimitación de la investigación

El presente trabajo de investigación se propone el análisis del desempeño sísmico de la institución educativa Cesar Cohaila A. Tamayo, así como emplear 2 tipos de refuerzos estructurales para la mitigación del riesgo sísmico.

1.4.1. Delimitación temporal

La presente investigación se desarrollará en un periodo de 6 meses entre los meses de mayo y octubre del año 2021. (Ver Anexo 3: Cronograma)

1.4.2. Delimitación espacial

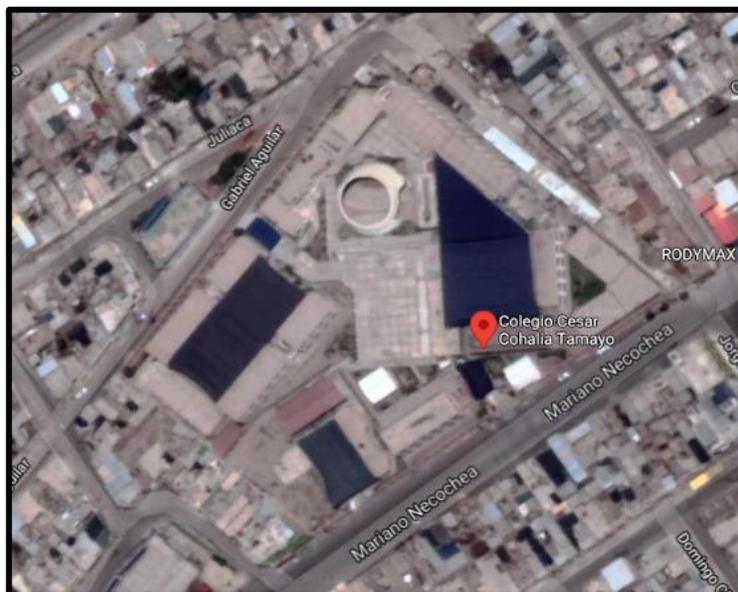


Figura 1: Colegio Cesar Cohaila Tamayo

Fuente: Elaboración propia mediante software Google earth

- a) Coordenadas: $17^{\circ}58'23''S$ $70^{\circ}13'47''W$
- b) Dirección: Av. Mariano Necochea N°1444
- c) Distrito: Ciudad Nueva
- d) Provincia: Tacna
- e) Departamento: Tacna

1.4.3. Delimitación temática

El concepto de reforzamiento estructural incita a mejorar la capacidad de respuesta de los elementos estructurales.

1.5. Justificación e Importancia del estudio

1.5.1. Justificación teórica

Con la presente investigación se tendrá claro los principales criterios de reforzamiento, así como se podrá profundizar sobre el tema de reforzamiento estructural para todo tipo de edificación. Un ejemplo de esto son las instituciones educativas construidas en la década pasadas que fueron diseñadas

con una normativa diferente al de la actualidad, mostrando deficiencias en el desempeño estructural y no garantiza la seguridad a la población estudiantil.

1.5.2. Justificación práctica

La presente investigación busca el análisis y comparación de 2 tipos de refuerzo estructural más conveniente para instituciones educativas con ciertas características. Se plantearán soluciones que permitan a nuestra estructura cumplir con los reglamentos y además se buscare una valoración técnica económica para elegir la mejor alternativa de reforzamiento.

1.5.3. Justificación social

Es importante buscar dotar a los estudiantes de un espacio seguro, funcional y confortable que cumplan con las condiciones físicas y de equipamiento adecuado. De esta manera aseguraremos el correcto desarrollo del proceso educativo. Por eso es que un adecuado sistema de reforzamiento permitirá la perdurabilidad de la institución educativa, evitando pérdidas económicas y reduciendo el riesgo de pérdidas de vidas humanas ante un evento sísmico.

1.5.4. Justificación económica

En el aspecto económico si bien es cierto que el uso de sistemas de reforzamiento a primera impresión se ve como algo novedoso y costoso. Se busca gestionar los recursos que se requieran ante las diversas instancias del gobierno que apoyan la construcción y el mantenimiento de la infraestructura educativa, además se buscará promover la aportación de otras organizaciones de la sociedad y de la iniciativa privada interesadas en este propósito buscando el uso de un reforzamiento estructural haciendo un análisis costo beneficio.

1.5.5. Importancia

El presente estudio basa su importancia en la búsqueda de un tipo de reforzamiento estructural que se adapte a las necesidades de diferentes instituciones educativas, ya que, el refuerzo y/o reparación de una estructura requiere un alto nivel de ingeniería para garantizar su perdurabilidad. Es por eso que se consideraron 2 tipos de refuerzo que actualmente se usan en diferentes tipos de edificaciones como son la fibra de carbono y encamisado de

concreto para analizarlos y finalmente establecer cuál de los 2 refuerzos será el ideal desde el punto técnico y económico.

1.6. Limitaciones del estudio

- La limitación más importante de la investigación es no poder visitar el centro educativo para tener una mejor percepción de su estado, solo nos basaremos en el expediente técnico y planos del centro educativo.
- No se diseñarán nuevas cimentaciones, se tomarán en cuenta las cimentaciones presentes en la estructura.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Investigaciones relacionadas con el tema

2.1.1. Investigaciones internacionales

- Silva, P (2016), de la tesis titulada Refuerzo estructural con fibra de carbono. para optar el grado de (Tesis de Pregrado) en el país Quito: Universidad San Francisco de Quito USFQ con el objetivo que: Bajo ensayos a los elementos de hormigón con acero estructural, nos permite conocer las propiedades mecánicas del empleo de fibras de carbono en su comportamiento a tracción. Asimismo, brinda información sobre la aplicación y el uso de las fibras de carbono que comprueba las propiedades que el elemento de acero estructural adquiere en la aplicación con las fibras de carbono y el aumento de su resistencia. (p.4) También, da a conocer las diferentes industrias, mercados en las cuales dan a conocer este método de reforzamiento estructural con fibras de carbono y las 10 alternativas de marcas en el medio en el que se desenvuelve, permitiendo al profesional interesado conocer las alternativas y especificaciones técnicas del material.

La investigación se realizó con un enfoque cuantitativo, un alcance descriptivo y un diseño experimental. Como resultado de los ensayos a tracción que el elemento reforzado con la fibra de carbono alcance su límite máximo mucho antes de lo esperado, produciendo la falla primero en el pegamento epóxico. En los ensayos se dio solo en transferencia de esfuerzos mediante la adherencia con pegamento epóxico. Verificando la falla del laminado del material. Asimismo, la investigación está orientada a probar la fibra de carbono como una alternativa de reforzamiento estructural; concluyendo que trabaja de manera eficaz, incrementando la resistencia a la tracción a pesar de ser un material tan liviano. Se concluyó que el empleo de este tipo de reforzamiento no es nada barato, pero se podría encontrar cierta diferencia de dinero al ahorrar mano de obra, el alquiler de otros equipos y espacio a utilizar durante la obra. Esta tesis nos ayuda a conocer los diferentes ámbitos y pensamientos de los profesionales en el uso de fibras de carbono como alternativa de reforzamiento

estructural y la gran acogida que tiene como alternativa de reforzamiento estructural; y la comprobación mediante ensayos los cuales garantizan el buen funcionamiento y comportamiento, a tracción de los diferentes elementos estructurales.

- Villanueva, P (2017) en su tesis para optar el grado de Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos titulada: “Influencia de las condiciones de ejecución en la resistencia de anclajes de fibra de carbono para esfuerzos en estructuras de hormigón”. Desarrollada en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid-España. Con el objetivo de: Mediante ensayos se pudo analizar la influencia de la instalación de anclajes de fibra de carbono en el comportamiento de refuerzos anclados tanto en resistencia y el modo de fallo. Se ha podido distinguir dos fases experimentales. En la primera se ha estudiado el comportamiento de cordones de fibra de carbono en función de variables geométricas y de ejecución y la segunda fase se ha buscado la mejor configuración del anclaje y del refuerzo para lograr optimizar su trabajo.

La investigación se realizó con un enfoque cuantitativo, un alcance descriptivo y un diseño experimental. Como resultado experimental en la primera fase del estudio de las variables se pudo identificar tres modos de fallo; el fallo por deslizamiento o de adherencia del polímero a las paredes del soporte, fallo por sostenimiento en el tramo de doblado del polímero y fallo por tracción en un tramo libre del polímero.

La longitud embebida es la variable que tiene mayor influencia a fallar porque da paso a fallo adherente a otros posibles modos de fallo, esto conlleva a una reducción de la resistencia a tracción.

En cuanto a la resistencia de los anclajes las de mayor importancia son; anclajes con profundidad embebida para anclajes a 90° su crecimiento de la resistencia es de tendencia lineal presentando una influencia en la carga máxima, los anclajes con ángulo de inserción los mejores se han obtenido a 135° y anclajes avellanados con sierra radial. A partir de estos resultados de distintas

combinaciones de variables se podrán emplear en función del diseño del refuerzo y las limitaciones del elemento estructural reforzado. Se puede considerar que el tipo de ensayo es representativo del comportamiento de los anclajes de fibra de carbono. Sin embargo, hay dificultad de impregnar el tramo libre del anclaje y ha llevado a fallos a tracción y bueno se tendrá que perfeccionar este sistema, o bien el uso de tramos libres más cortos para que la impregnación de los mismos trabaje sin dificultad.

De la segunda fase experimental se pudo identificar tres modos de fallo: Fallo por despegue o cohesivo del refuerzo se dio con un arrancamiento de una capa superficial de hormigón del soporte, fallo a cortante del anclaje y fallo de resistencia a tracción de las fibras.

Esta tesis nos ayuda a comprender que, mediante ensayos de laboratorios, modelos analíticos han permitido identificar carencias para la elaboración de un modelo completo. Como los ensayos no alcanzaron la carga máxima de la unión anclada, el modelo es conservador y es preferible contar con un modelo con un margen de seguridad y confiabilidad ya que genera incertidumbre en la actualidad.

2.1.2. Investigaciones nacionales

- Ariza E. (2020) en su tesis para optar el grado de título de Bachiller en Ciencias con mención en Ingeniería Civil titulada: “Análisis y comparación de técnicas de reforzamiento estructural en centros educativos 780 pre mediante el método Choosing by advantage”. Desarrollada en la Pontificia Universidad Católica del Perú con el objetivo de: Analizar diferentes tipos de técnicas de reforzamiento estructural aplicados en los centros educativos.

La investigación se realizó con un enfoque cualitativo, un alcance descriptivo y un diseño experimental. Como resultado de la investigación obtenida en el CBA se concluyó como mejor alternativa el reforzamiento de los muretes de albañilería reforzadas con malla electrosoldada dado que incrementa la rigidez y no altera el área del casco de la estructura.

En el resultado de la valoración más económica es el refuerzo mediante la adición de columnas de concreto armado.

Esta tesis nos ayuda a comprender que, mediante la investigación se puede añadir más alternativas de reforzamiento. así como incluir más factores a considerar en una comparativa mediante CBA. Es necesario desarrollar estudios adicionales con el fin de perfeccionar los estudios y emplearlos en centros educativos.

- Gameros, S (2015) en su tesis para optar el grado de título de Ingeniero Civil titulada: “Análisis comparativo de tres tipos de refuerzo estructural para pabellones de aulas de locales escolares de dos pisos y tres aulas por piso”. Desarrollada en la Pontificia Universidad Católica del Perú. Con el objetivo de: Realizar un análisis comparativo de diversas soluciones de reforzamiento para locales escolares, tomando como factores principales el desempeño y el costo.

La investigación se realizó con un enfoque cualitativo, un alcance descriptivo y un diseño experimental. Como resultado de la investigación se obtuvo que los colegios tipo modular 780 tienen problemas en diseño y en construcción. las soluciones para estos problemas estructurales se pueden corregir con reforzamientos.

- En el primer modelo se confirmó que hay graves problemas de desplazamientos laterales debido a la poca rigidez longitudinal, la distorsión supera 3 veces lo exigido por norma (2.13% vs 0.7%). Se verificó que en caso exista un sismo grande la falla se producirá por corte.
- El modelo con aletas de concreto armado tiene un buen comportamiento ya que estas toman una parte considerable del cortante de sismo en la valoración económica varía entre 20000 y 25000 soles y los materiales son fáciles de conseguir.
- El refuerzo de cierre de paños su ventaja de este sistema es que es muy económico y cumple con las normas según el desplazamiento y derivas.

No se necesita mano de obra especializada. Pero generan problemas de iluminación y ventilación de las aulas.

- El refuerzo con arriostres de acero se comporta de manera eficaz, se recomienda este sistema para colegios se requiere mano de obra calificada y el costo es similar al de ensanche de columnas.

Esta tesis nos ayuda a comprender que, mediante la investigación existen varios métodos de reforzamiento novedosos que se pueden utilizar en los locales escolares, y que no solo se busca una valoración técnica-económica. Sino la protección de la vida humana ante eventos sísmicos.

2.2. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio

2.2.1. Filosofía y principios de diseño sismorresistente

Ante los requerimientos y exigencias especiales para alcanzar la resistencia esperada ante acciones de fuerzas laterales, niveles adecuados de disipación de energía y ductilidad asociada a la capacidad de deformaciones en el rango inelástico, nace la filosofía de diseño, que se fundamenta en la reducción de deformaciones y disipación de energía en el rango inelástico de los elementos estructurales ante eventos sísmicos, de esta manera, espera evitar posibles fallas estructurales.

2.2.2. Diseño Sismorresistente por desempeño

Aun cuando el diseño por desempeño se encuentre en constante desarrollo, se encuentra definida como una recomendación de criterios o pautas de diseño en los EE. UU, o que ya este incorporada en la norma japonesa; pero para casos muy específicos. Para el desarrollo del diseño por desempeño en nuestro país, se propone una metodología de diseño donde se definen niveles de desempeño, sismo de diseño, objetivos de desempeño, evaluación de desempeño y análisis de aceptabilidad.

2.2.3. Análisis y diseño elástico lineal de la estructura

El análisis de resistencia estática tiene como objetivo la evaluación de un estado de estrés de una estructura sometida a fuerzas constantes en el tiempo. Esta evaluación se realiza generalmente con el fin de sondear las características de diseño adoptadas contra el criterio de resistencia.

2.2.4. Parámetros de sitio

Las condiciones locales de la zona en estudio, dichas condiciones derivan de una microzonificación sísmica y estudios de sitio multidisciplinarios que investigan los efectos de sismos y fenómenos asociados sobre el área de interés.

2.3. Consideraciones para el análisis sísmico

2.3.1. Características de la zona en estudio

Las condiciones locales de la zona en estudio derivan de una microzonificación sísmica y estudios de sitio multidisciplinarios que investigan los efectos de sismos y fenómenos asociados sobre el área de interés.

2.3.2. Zonificación

La norma E-030 da a conocer los diferentes parámetros que son necesarios para realizar el diseño sismorresistente para todas las edificaciones ubicadas en territorio peruano. Como el Perú está dividido en 4 zonas indicadas en la Figura 2, da a conocer el peligro sísmico que existe en cada zona basándose en el siguiente gráfico.

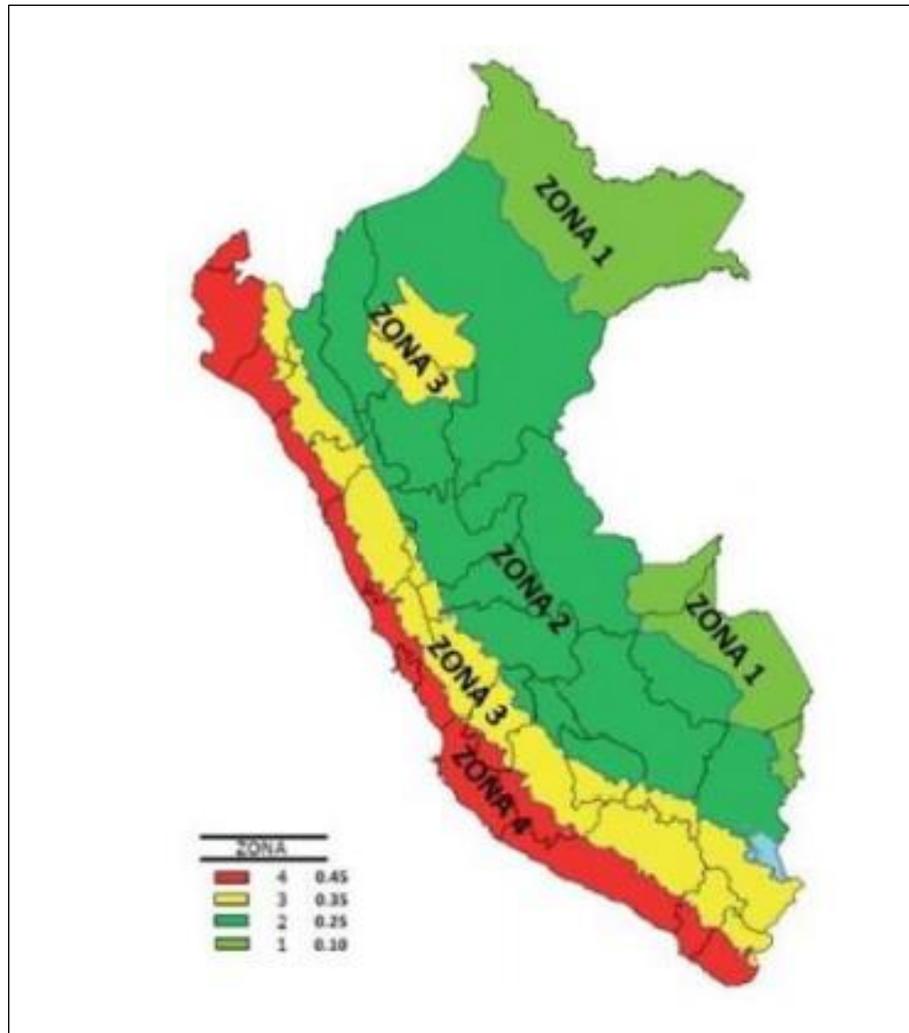


Figura 2: Mapa de zonificación sísmica peruano

Fuente: NTP E 0.30 “Diseño sismorresistente”

Los factores de zona son indicados en la Tabla 1

Tabla 1: Factores de zona (Z)

Factores de zona "Z"	
Zona	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25

1	0.10
----------	------

Fuente: NTP E 0.30 “Diseño sismorresistente”

2.3.3. Perfil del suelo (S)

Comprende 5 perfiles de suelos, el perfil del suelo depende de las condiciones del lugar de estudio y son:

- Perfil tipo S₀: Roca dura
- Perfil tipo S₁: Roca o suelo muy rígido
- Perfil tipo S₂: Roca Intermedios
- Perfil tipo S₃: Roca Blandos
- Perfil tipo S₄: condiciones Excepcionales

La Tabla 2 muestran los perfiles de suelos con sus respectivas características.

Tabla 2: Clasificación de los perfiles de suelo

Perfil	\tilde{v}_s	N_{60}	S_u
S₀	>1500 m/s	-	-
S₁	500 m/s a 1500 m/s	>50	>100 kPa
S₃	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kPa a 100 kPa
S₄	<180 m/s	<15	25 kPa a 50 kPa
S₅	Clasificación basada en el EMS		

Fuente: NTP E 0.30 “Diseño sismorresistente”

Luego se revisará la Tabla 3 considerando los parámetros antes ya elegidos

Tabla 3: Factor de amplificación del suelo

Zona / Suelo	S₀	S₁	S₂	S₃
Z4	0.80	1.00	1.05	1.10
Z3	0.80	1.00	1.15	1.20
Z2	0.80	1.00	1.20	1.40
Z1	0.80	1.00	1.60	2.00

Fuente: NTP E 0.30 “Diseño sismorresistente”

También obtendremos el parámetro de periodos indicados en la Tabla 4 según el perfil de suelo del lugar trabajado.

Tabla 4: Periodos T_p y T_L

	S_0	S_1	S_2	S_3
T_P (s)	0.3	0.4	0.6	1.0
T_L (s)	3.0	2.5	2.0	1.6

Fuente: NTP E.030 “Diseño sismorresistente”

2.3.4. Factor de uso

La Tabla 5 nos dará la categoría de las edificaciones, según el uso que le estemos dando a la estructura.

Tabla 5: Factor de uso

Categoría	Descripción	Factor “U”
A	A1: Establecimientos del sector salud (públicos y privados) del segundo y tercer nivel, según lo normado por el Ministerio de Salud.	Ver nota 1
Edificaciones Esenciales	A2: Edificaciones esenciales para el manejo de las emergencias, el funcionamiento del gobierno y en general aquellas edificaciones que pueden servir de refugio después de un desastre. son:	1.5

Establecimientos de salud no comprendidos en la categoría A2. - Puertos, aeropuertos, estaciones ferroviarias de pasajeros, sistemas masivos de transporte, locales municipales, centrales de comunicaciones. -Estaciones de bomberos, cuarteles de las fuerzas armadas y policía. - Instalaciones de generación y transformación de electricidad, reservorios y plantas de tratamiento de agua. - Instituciones educativas, institutos superiores tecnológicos y universidades. -Edificaciones cuyo colapso puede representar un riesgo adicional, tales como grandes hornos, fábricas y depósitos de materiales inflamables o tóxicos. -Edificios que almacenan archivos e información esencial del estado.

B	Edificaciones donde se	1.3
Edificaciones Importantes	reúnen gran cantidad de personas como: cines, teatros, estadios, coliseos, centros comerciales, terminales de	

	buses de pasajeros, establecimientos penitenciarios, o que guardan patrimonios valiosos (museos, bibliotecas). Depósitos de granos y otros almacenes importantes para el abastecimiento.	
C	Edificaciones comunes como:	1.0
Edificaciones Comunes	viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios o fugas de contaminantes.	
D	Construcciones provisionales	Nota 2
Edificaciones Temporales	para depósitos, casetas y otras similares.	

Fuente: NTP E 0.30 “Diseño sismorresistente”

2.3.5. Parámetro de amplificación sísmica

Se hallará el parámetro de amplificación sísmica (C) A través de las siguientes expresiones en la Tabla 6:

Tabla 6: Parámetro de amplificación sísmica

Condición	Ecuación
$T < T_p$	$C = 2.5$
$T_p < T < T_L$	$C = 2.5*(T_p/T_L)$
$T > T_L$	$C = 2.5*(T_p*T_L/T^2)$

Fuente: NTP E 0.30 “Diseño sismorresistente”

Donde:

C: Factor de amplificación

T_p: Periodo de la planta

T_L: Periodo lateral

T: Periodo fundamental de la estructura

2.3.6. Coeficiente básico de reducción

La Tabla 7 muestra los valores de coeficientes de reducción

Tabla 7: Coeficiente de reducción

Sistema Estructural	Coeficiente básico de reducción R _o
Concreto Armado:	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4
Albañilería armada o confinada	3
Madera (por esfuerzos admisibles)	7

Fuente: NTP E 0.30 “Diseño sismorresistente”

2.3.7. Regularidad estructural

Las estructuras se clasifican como regulares e irregulares con fines:

- Cumplir las restricciones de las irregularidades.
- Establecer los procedimientos de análisis
- Determinar el coeficiente de Reducción (R) de fuerzas sísmicas.

Estructuras Regulares en su configuración resistente a cargas laterales no presenta las Irregularidades. I_a=1, I_p=1.

Estructuras Irregulares con aquellas que presentan irregularidades indicadas en la Tabla 8.

Tabla 8: Irregularidades estructurales en altura

Irregularidades Estructurales en Altura	Factor de Irregularidad "Ia"
<p>1. Irregularidad de Rigidez -Piso Blando: Existe Irregularidades de rigidez en cualquiera de las direcciones de análisis, en un entrepiso la rigidez lateral es menor que 70% de la rigidez lateral del entrepiso inmediato superior, o es menor que 80% de la rigidez lateral promedio de los tres niveles superiores adyacentes. Las rigideces laterales pueden calcularse como la razón entre la fuerza cortante del entrepiso y el correspondiente desplazamiento relativo en el centro de masas, ambos evaluados para la misma condición de carga.</p>	0,75
<p>2. Irregularidades de Resistencia -Piso Débil Existe irregularidades de resistencia cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la resistencia de un entrepiso frente a fuerzas cortantes es inferior a 80% de la resistencia del entrepiso inmediato superior.</p>	
<p>3. Irregularidades Extremas de Rigidez (ver tabla N°10) Existen irregularidades extremas de rigidez cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, en un entrepiso la rigidez lateral es menor que 60% de la rigidez lateral del entrepiso inmediato superior, o es menor que 70% de la rigidez lateral promedio de los tres niveles superiores adyacentes. Las rigideces laterales pueden calcularse como la razón entre la fuerza cortante del entrepiso y el correspondiente desplazamiento relativo en el centro de masas, ambos evaluados para la misma condición de carga.</p> <p>4. Irregularidad Extrema de Resistencia (ver</p>	0,5

tabla N°10) Existe Irregularidad extrema de resistencia cuando, en cualquier de las direcciones de análisis, la resistencia de un entrepiso frente a fuerzas cortantes es inferior a 65% de la resistencia del entrepiso inmediato superior.

5. Irregularidad de Masa o Peso
Se tiene irregularidad de masa (o peso) cuando el peso de un piso, determinado según el artículo 26, es mayor que 1,5 veces el peso de un piso adyacente. Este criterio no se aplica en azoteas ni en sótanos.

0,9

6. Irregularidad Geométrica vertical
La configuración es irregular cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la dimensión en planta de la estructura resistente a cargas laterales es mayor que 1,3 veces la correspondiente dimensión en un piso adyacente. Este criterio no se aplica en azoteas ni en sótanos.

0,9

7. Discontinuidad en los Sistemas Resistentes
Se califica a la estructura como irregular cuando en cualquier elemento que resista más de 10% de la fuerza cortante se tiene un desalineamiento vertical, tanto por un cambio de orientación, como por un desplazamiento del eje de magnitud mayor que 25% de la correspondiente dimensión del elemento.

0,8

8. Discontinuidad extrema de los Sistemas Resistentes
(ver tabla N°10) Existe discontinuidad extrema cuando la fuerza cortante que resisten los elementos discontinuos según se describen en el ítem anterior, supere el 25% de la fuerza cortante total.

Fuente: NTP E 0.30 “Diseño sismorresistente”

Tabla 9: Irregularidades estructurales en planta

Irregularidades Estructurales en Planta	Factor de Irregularidad "Ip"
<p>1. Irregularidad Torsional</p> <p>Existe irregularidad torsional cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso en un extremo del edificio (Δ máx) en esa dirección, calculado incluyendo excentricidad accidental, es mayor que 1,3 veces el desplazamiento relativo promedio de los extremos del mismo entrepiso para la misma condición de carga (Δ prom). Este criterio sólo se aplica en edificios con diafragmas rígidos y sólo si el máximo desplazamiento relativo de entrepiso es mayor que 50% del desplazamiento permisible indicado en la Tabla N°11.</p>	0,75
<p>2. Irregularidad Torsional Extrema (ver tabla N°10)</p> <p>Existe Irregularidad torsional extrema cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso en un extremo del edificio (Δ máx) en esa dirección, calculado incluyendo excentricidad accidental, es mayor que 1,5 veces el desplazamiento relativo promedio de los extremos del mismo entrepiso para la misma condición de carga (Δ prom). Este criterio sólo se aplica en edificios con diafragmas rígidos y sólo si el máximo desplazamiento relativo de entrepiso es mayor que 50% del desplazamiento permisible indicado en la tabla N°11.</p>	0,6

3.	Esquinas	Entrantes.	
	La estructura se califica como irregularidades cuando tiene esquinas entrantes cuyas dimensiones en ambas direcciones son mayores que 20% de la correspondiente dimensión total en planta.		0,9
4.	Discontinuidad	del	Diafragma
	La estructura se califica como irregular cuando los diafragmas tienen discontinuidades abruptas o variaciones importantes en rigidez, incluyendo aberturas mayores que 50% del área bruta del diafragma. También existe irregularidad cuando, en cualquiera de los pisos y para cualquiera de las direcciones de análisis, se tiene alguna sección transversal del diafragma con un área neta resistente menor que 25% del área de la sección transversal total de la misma dirección calculada con las dimensiones totales de la planta.		0,85
5.	Sistemas no Paralelos	Se	
	considera que existe irregularidad cuando en cualquiera de las direcciones de análisis los elementos resistentes a fuerzas laterales no son paralelos. No se aplica si los ejes de los pórticos o muros forman ángulos menores que 30° ni cuando los elementos no paralelos resisten menos que 10% de la fuerza cortante del piso.		0,9

Fuente: NTP E 0.30 “Diseño sismorresistente”

2.3.8. Restricciones a la irregularidad

En la Tabla 10 se muestra que de acuerdo a su categoría y la zona de ubicación de la edificación se proyecta respetando las restricciones a la Irregularidad.

Tabla 10: Categoría y regularidad de las edificaciones

Categoría de la Edificación	Zona	Restricciones
A1 y A2	4,3 y 2	No se permiten irregularidades
	1	No se permiten irregularidades extremas
B	4,3 y 2	No se permiten irregularidades extremas
	1	Sin restricciones
C	4,3	No se permiten irregularidades extremas
	2	No se permiten irregularidades extremas excepto en edificios de hasta 2 pisos u 8m de altura total
	1	Sin restricciones

Fuente: NTP E 0.30 “Diseño sismorresistente”

2.4. Registros sísmicos

Para la presente investigación se hace conveniente citar los acontecimientos sísmicos más importantes ocurridos en el Perú y Chile, como se indica en la Tabla 11, por ser países con mayor potencial sísmico de Latinoamérica.

Tabla 11: Registros sísmicos peruanos y chilenos

Registro sísmico	Fecha	Profundidad (km)	Magnitud	Duración(s)
Arequipa	23/06/2001	33	6.9	199
Tarapacá	13/06/2005	108	7.8	252
Pisco	15/08/2007	40	7	218
Tocopilla	15/11/2007	40	7.7	71
Concepción	27/02/2010	30	8.8	180
Angol	27/02/2010	30	8.8	180

Fuente: Elaboración propia

2.4.1. Estimación del peso

En este apartado el peso (P) se calcula adicionando a la carga permanente y total de la edificación un porcentaje de la carga viva o sobrecarga que se determina en la Tabla 12 según norma E-030 2018.

Tabla 12: Estimación del peso

Categoría	% Carga Viva
Edificios A y B	50%
Edificios C	25%
Azoteas y techos	25%

*En depósitos, se toma el 80% del peso total que es posible almacenar.

*En estructuras de tanques, silos y similares se considera el 100% de la carga que puede contener.

Fuente: NTP E 0.30 “Diseño sismorresistente”

En donde los valores de sobrecarga se obtendrán en la Tabla 13 sacada de la norma E 0.20 “Cargas”, estas cargas están repartidas por metro cuadrado de área en planta.

Tabla 13: Cargas vivas mínimas repartidas

Ocupación o Uso	Cargas Repartidas kPa (Kgf/m ²)
Almacenaje	5,0 (500)
Baños	Igual a la carga principal del resto del área, sin que sea necesario que exceda de 3,0 (300)
Biblioteca:	
Salas de lectura	3,0 (300)

Salas de almacenaje con estantes fijos (no apilados)	7,5 (750)
Corredores y escaleras	4,0 (400)
Centros de educación:	
Aulas	2,5 (250)
Talleres	3,5 (350)
Auditorios, Gimnasios, etc.	De acuerdo a lugares de asambleas
Laboratorios	3,0 (300)
Corredores y escaleras	4,0 (400)

Fuente: NTP E 0.20 “Cargas”

2.4.2. Periodo fundamental de vibración

Cálculo del periodo fundamental de vibración (T_n) para cada dirección, considerando la relación de H_n y CT .

Donde:

H_n : Altura del edificio

Para el cálculo del periodo de una edificación estarán definidos por el tipo de sistema los cuales estarán considerados en la Tabla 14 según norma E-030 2018.

Tabla 14: Coeficiente para estimación de periodo fundamental

CT	Tipo de sistema
35	a. Pórticos de concreto armado sin considerar muros de corte.
	b. Pórticos dúctiles de acero con uniones resistentes a momentos, sin arriostramientos.
45	a. Pórticos de concreto armado con muros en las cajas de ascensores y escaleras.

-
- b. Pórticos de acero arriostrados
 - a. Edificios de albañilería y de concreto armado duales, muros estructurales y muros de ductilidad limitada.
-

Fuente: NTP E 0.30 “Diseño sismorresistente”

2.5. Análisis dinámico modal espectral

Debido a las zonas de sismicidad se debe realizar este tipo de análisis considerando un modelo lineal y elástico seguidos por la norma E 0.30 2018 y se deben detallar los siguientes criterios en el software Etabs v19.

2.5.1. Modos de vibración

Los modos de vibración podrán determinarse por un procedimiento de análisis que considere apropiadamente las características de rigidez y la distribución de masas.

2.5.2. Aceleración espectral

Para cada una de las direcciones horizontales analizadas se utilizará un espectro inelástico de pseudo aceleraciones definido como:

$$S_a = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S \cdot g}{R}$$

donde:

Z = Factor de zonificación.

U = Factor de uso.

C = Factor de amplificación sísmica.

S = Factor de suelo.

R = Coeficiente de reducción de fuerza sísmica.

g = gravedad.

2.5.3. Análisis dinámico lineal

Desplazamientos laterales relativos admisibles:

Para estructuras regulares se calcula multiplicando $0.75 \cdot R$, los resultados obtenidos del análisis lineal y elástico con las sollicitaciones sísmicas reducidas.

$$\delta_{en} = 0.75 \delta_{el}$$

Donde:

δ_{en} : Estimación de desplazamiento para un análisis sísmico estático no lineal.

δ_{el} : Desplazamiento producto de un análisis sísmico estático lineal.

No deberá exceder el desplazamiento máximo relativo de la fracción de la altura de entrepiso que se indica en la Tabla 15 según norma E 0.30.

Tabla 15: Límites de desplazamiento lateral de entrepiso

Material Predominante	δ/hei
Concreto Armado	0,007
Acero	0,010
Albañilería	0,005
Madera	0,010
Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada	0,005

Fuente: NTP E 0.30 “Diseño sismorresistente”

2.6. Reforzamiento de vigas con fibras de carbono

Las fibras de carbono CFRP es un sistema de reforzamiento ya que tiene mejores características de resistencia mecánicas, como es la resistencia a la tensión, resistencia química. En esta investigación se describirá el reforzamiento con sistemas de fibra de carbono CFRP para estructuras de concreto armado utilizando las platinas y tejidos.

2.7. Estudios de la fibra de carbono (CFRP)

Galvin, P; Medina, F. (2013) menciona que este tipo de sistema de reforzamiento CFRP están compuesto por dos tipos de materiales; una fibra y una resina. La fibra es incorporada a la resina para obtener mejor características mecánicas. Y la resina es un termo rígido como un polímero o epoxi que va colocada longitudinalmente.

Este sistema de reforzamiento posee características importantes; mecánicas: resistencia a la tracción, rigidez muy alta, ligeros. químicas: resistencia al envejecimiento, a rayos ultravioleta.

Como se observa en la Figura 3, se puede lograr que este sistema sea más resistente, alineando todas las fibras en una misma dirección, buscando que el material compuesto sea resistente en un solo sentido. En otros casos se requiere resistencia en ambas direcciones, de modo que se realizara ese arreglo.

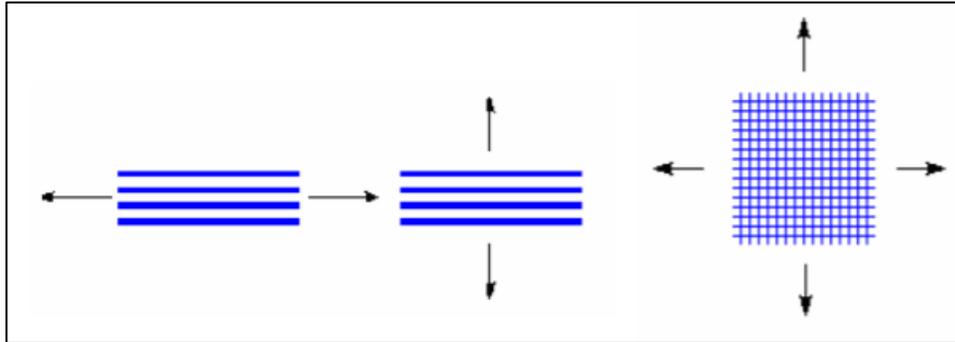


Figura 3: Dirección de las fibras en tejidos de CFRP

Fuente: Galvin P. Estructuras de hormigón reforzadas con fibra de carbono, 2013

La resina mantiene unidas a las fibras, proporcionando dureza, otorgando resistencia a la compresión al sistema de refuerzo.

A nivel microestructural (Figura 4) se puede observar daños en el sistema debido a algunos mecanismos:

- (a) Rotura de fibras
- (b) Formación de grietas en la resina
- (c) Rotura de la interfase entre fibra y resina (despegue)
- (d) Pandeo de la fibra
- (e) Despegue entre laminas adyacentes (delaminación).

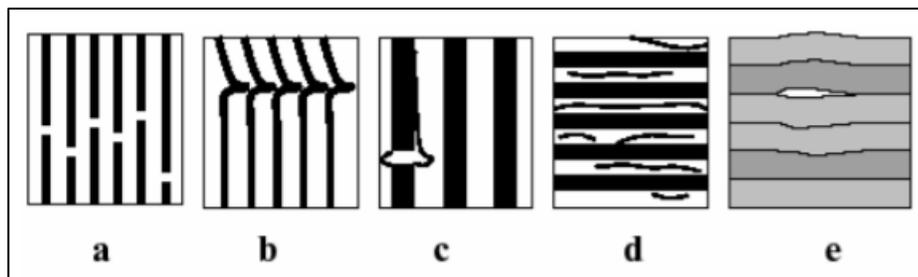


Figura 4: Mecanismos de los daños en sistema CFRP

Fuente: Galvin P. Estructuras de hormigón reforzadas con fibras de carbono, 2013

Como consecuencia de la presencia de estos modos de deterioro microestructural, existe una degradación de las propiedades elásticas y la resistencia. En un laminado cada una de las láminas van deteriorándose con el pasar del tiempo según se la orientación y contenido de su esfuerzo (comportamiento anisótropo).

2.8. Fibra de carbono

Galvin, P; Medina, F. (2013) Indica que la fibra de carbono es un polímero que posee mejores características mecánicas y químicas. Este material es de forma de grafito en la cual las láminas son largas y delgadas. Se fabrica a partir de otro polímero, llamado poliacrilonitrilo, a través de un complicado proceso de calentamiento.

Las fibras se ponen en la resina de forma longitudinal, por ende, en la dirección de la carga poseen buena resistencia a la tracción y rigidez muy altas. Su comportamiento (Figura 5) es lineal hasta la rotura, y un comportamiento excelente frente a la fatiga y a la fluencia, densidad muy baja.

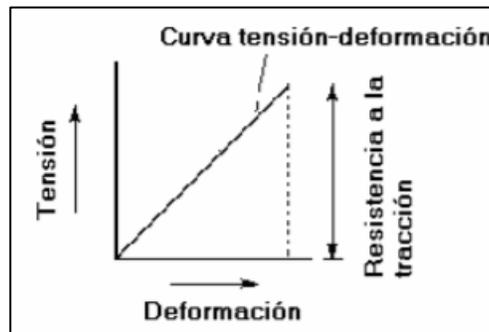


Figura 5: Curva de tensión-deformación

Fuente: Galvin P. Estructuras de hormigón reforzadas con fibra de carbono, 2013

2.8.1. Tipos de fibras de carbono

Empresas como Sika, Drizoro disponen a la venta varios tipos de fibras de carbono empleados en el ámbito de la construcción como un sistema de reforzamiento estructural del tipo pasivo.

Sika Perú (2019). Sika Wrap: Este sistema está compuesto por tejido de fibra de carbono dependerá del fabricante.

Existen diferentes productos de Fibra de carbono y se clasifican según sus propiedades mecánicas:

Tabla 16: Características y peso del tejido de fibra de carbono

Propiedades	Sika	Drizoro	
	Tejido Unidireccional SikaWrap 600°C	Tejido Unidireccional DrizoroWrap 600	Tejido Bidireccional Drizoro CarboMesh 210
Orientación	0°	0°	90°
Gramaje (g/m ²)	610	600	210 +-5%
Espesor de diseño del tejido (mm)	0.337	0.333	0.06
Densidad (g/m ³)	1.81	1.8	1.8 +-5%
Módulo de elasticidad de la fibra (N/mm ² o Mpa)	240,000	230,000	230,000
Resistencia a la tracción de la fibra (N/mm ² o Mpa)	4,300	-	4,900
Elongación de rotura de la fibra (%)	1.55	-	2.1

Fuente: Ficha técnica Sika y Drizoro

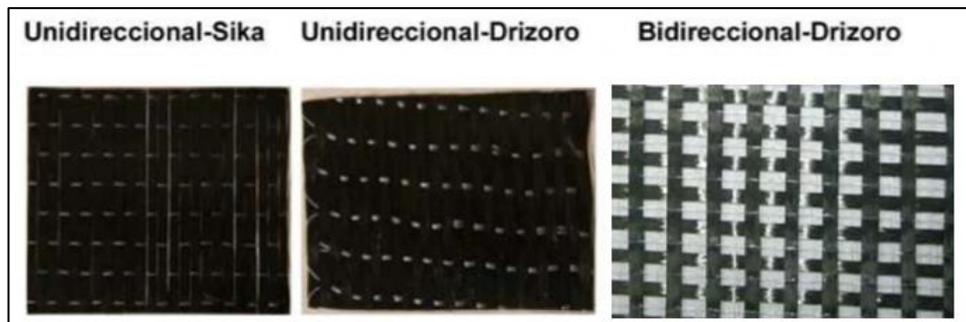


Figura 6: Tipos de tejidos de fibra de carbono

Fuente: Ficha técnica Sika

Sika Perú (2019). Propiedades del tejido compuesto detalladas en la ficha técnica de productos de Sika Perú S.A a utilizar en este sistema de reforzamiento.

SikaWrap 600C es un tejido unidireccional de fibra de carbono. El material es preparado en campo junto con el polímero epóxico Sikadur 301 para formar el sistema de reforzamiento CFRP.

Este sistema de reforzamiento puede ser utilizado para mejorar el comportamiento de las vigas y columnas frente a esfuerzos de flexión y cortante. Este material tiene gran facilidad para colocar sobre superficies irregulares y de envolver al elemento.

Tabla 17: Datos técnicos del Sikawrap -600°C

DATOS TECNICOS:	SikaWrap -600°C
Resistencia a tensión (N/mm ²)	4,300
Módulo de Elasticidad (N/mm ² o Mpa)	240,000
Elongación de rotura de la fibra (%)	1.55
Dirección de la fibra:	1
Peso por m ² : (g/m ²)	610
Espesor (mm)	0.337
Densidad de la fibra (g/cc)	1.81

Fuente: Ficha técnica Sika y Drizoro

Galvin, P; Medina, F. (2013). El adhesivo que se usa en estas aplicaciones es una resina epoxi formada por dos componentes. El primero componente es un polímero que posee bajo peso molecular con grupos epoxi en cada extremo, y el segundo es una diamina.

Cuando se combinan ambos, tanto el diepoxi y la diamina, estos se unen entre si enlazando moléculas y produciendo una sustancia rígida que puede ser muy resistente, pero no procesable (no moldeable, ni derretida).

Sika Perú (2019). Las propiedades del adhesivo epoxico que se emplearan en el sistema de reforzamiento por Fibra de carbono CFRP indicadas en la Tabla 18 son las siguientes:

Tabla 18: Datos técnicos del adhesivo epóxico Sikadur 301

Sikadur 301 (Adhesivo epoxico)		
Datos técnicos: (a 23°C -50°C)	Componente "A"	Componente "B"
Relación de componentes: (en peso y volumen)	3	1
Color:	Gris claro	
Viscosidad (mezclado) cps	2,700	
Vida del recipiente (1 galón) min	40	
Tiempo de contacto (min)	90	
Temperatura de deflexión térmica (HDT) (ASTM D- 648): (°C)	47	

Fuente: Ficha técnica Sika

Tabla 19: Propiedades del adhesivo epóxico sikadur 301

Sikadur 301 (Adhesivo epoxico)		
Propiedades mecánicas		
Propiedades de Tensión (ASTM D-638)		
Resistencia a tensión a 7 días:	8,000 psi	52.0 MPa
Módulo de Elasticidad (N/mm2 o MPa)	290 ksi	2,000 Mpa
Elongación de rotura de la fibra (%)	3.50	
Propiedades de Flexión (ASTM D-790)		
Resistencia a flexión a 7 días:	13,000 psi	90.0 Mpa

Módulo de Elasticidad (N/mm ² o MPa)	500 ksi	3,448 Mpa
Deformación unitaria de fluencia: (%)	3.00	

Fuente: Ficha técnica Sika

La utilización de este sistema en reparación y refuerzo de estructuras mediante polímeros reforzados con fibra de carbono CFRP, es interesante esta alternativa frente a otros sistemas tradicionales por lo que tiene un buen comportamiento tanto en la facilidad y rapidez de puesta en obra, además no es necesario contar con mano de obra especializada. Sin embargo, se puede considerar que tendría un impacto en el incremento del presupuesto.

2.8.2. Platina Sika Carbodur S, M

Este tipo de fibra trabaja principalmente en dos direcciones. La temperatura de servicio máxima es de 50°C.

Tabla 20: Característica anclajes Sika carbodur S

Datos técnicos	Platina carbodur S:	Adhesivos sikadur 30
Módulo de Elasticidad (N/mm o Mpa)	165,000	12,800
Resistencia a la tracción (N/mm o Mpa)	2,800	33,000
Resistencia a la rotura (N/mm o Mpa)	3,100	15,000
Deformación máxima (%)	1.7	-
Espesor (mm)	1.2-1.4	-

Fuente. Ficha técnica Sika y Drizoro

Tabla 21: Platinas Sika Carbodur Tipo S

Sika Carbodur Tipo S	Ancho	Espesor	Área sección transversal
512	50 mm	1.2 mm	60 mm ²
514	50 mm	1.4 mm	70 mm ²

614	60 mm	1.4 mm	84 mm ²
812	80 mm	1.2 mm	96 mm ²
814	80 mm	1.4 mm	112 mm ²
914	90 mm	1.4 mm	126 mm ²
1012	100 mm	1.2 mm	120 mm ²
1014	100 mm	1.4 mm	140 mm ²
1214	120 mm	1.4 mm	168 mm ²
1512	150 mm	1.2 mm	180 mm ²
1514	150 mm	1.4 mm	210 mm ²

Fuente: Ficha técnica Sika

Tabla 22: Características anclajes Sika Carbodur M

Datos técnicos	Platina carbodur M:	Adhesivos sikadur 30
Módulo de Elasticidad (N/mm ² o Mpa)	210,000	12,800
Resistencia a la tracción (N/mm ² o Mpa)	2,400	33,000
Resistencia a la rotura (N/mm ² o Mpa)	2,900	15,000
Deformación máxima (%)	1.2	-
Espesor (mm)	1.2-1.4	-

Fuente: Ficha técnica Sika y Drizoro

Tabla 23: Platinas Sika Carbodur tipo M

Sika Carbodur Tipo M	Ancho	Espesor	Área sección transversal
614	60 mm	1.4 mm	84 mm ²
914	90 mm	1.4 mm	126 mm ²
1214	120 mm	1.4 mm	168 mm ²

Fuente: Ficha técnica Sika

Las platinas de acero ha sido un sistema de reforzamiento para elementos de hormigón armado. El reforzamiento con CFRP genera varios beneficios a la estructura:

- Aumento de capacidad debido algún cambio de uso.
- Confinamiento pasivo al aumentar la resistencia sísmica.
- Mejor control de fisuras
- Mejor reforzamiento en aberturas en placas.

Sin embargo, el alto costo de la instalación de las mismas, dificultan su traslado por ser tan pesadas y su exposición genera la corrosión del acero limitando su uso.

2.9. Reforzamiento a flexión de vigas

Alegre, G. (2017). Indica que el reforzamiento estructural nace por un mal proceso constructivo, por utilización de materiales inadecuados, daños en elementos estructurales, debido al incremento de cargas por servicio en ambientes diseñados para otra labor.

Las fibras de carbono CFRP es un sistema de reforzamiento ya que tiene mejores características de resistencia mecánicas, como es la resistencia a la tensión, resistencia química. En esta investigación se describirá el reforzamiento con sistemas de fibra de carbono CFRP para estructuras de concreto armado utilizando las platinas y tejidos.

2.10. Tipos de falla

2.10.1. Falla tipo 1: Por delaminación extrema:

La norma ACI 440-2R (2008) indica que el mecanismo de falla se da:

En la primera etapa (ver Figura 7), cuando la viga tiene un comportamiento lineal y elástico hasta llegar al agrietamiento donde ocurre las primeras fisuras en el tercio central (zona de máximas tensiones) (1)

En la segunda etapa con el incremento de cargas, aumenta el nivel de fisuración en el tercio central. (2)

En la tercera etapa las zonas extremas aparecerán las primeras fisuras de tracción diagonal y que se encuentran controladas por los estribos que lleva la viga. (3).

En la cuarta etapa aparecerán fisuras de tracción diagonal y agrietamiento en las zonas extremas, en la parte inferior del laminado el recubrimiento del concreto con el refuerzo de CFRP, ocasionando una falla frágil del elemento estructural.

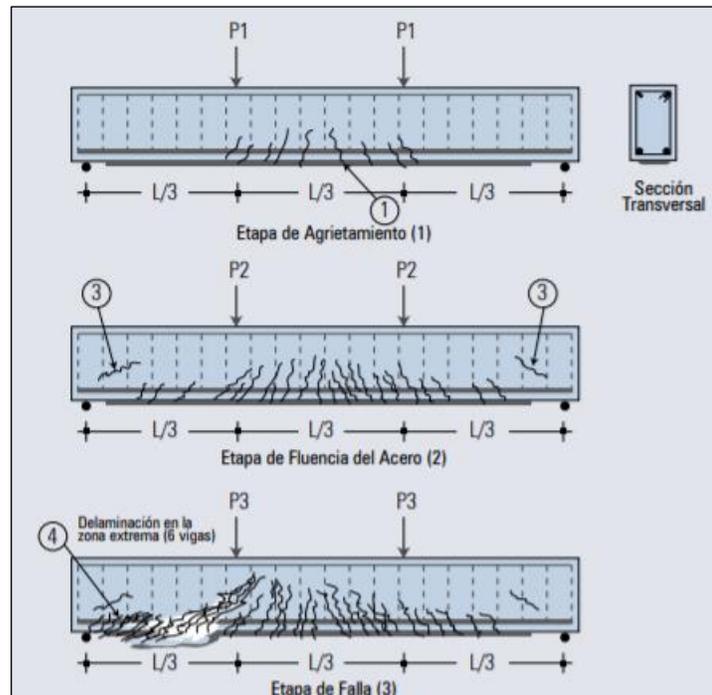


Figura 7: Falla por delaminación extrema en el sistema CFRP

Fuente: Norma ACI 440 2008

2.10.2. Falla tipo 2: Por fractura del Sistema FRP en la zona central:

La norma ACI 440-2R (2008). Este tipo de falla se presentó al añadir un refuerzo tipo U en los extremos para mejorar el anclaje y evitar falla por delaminación en los extremos.

Mecanismo de falla:

Este tipo de elementos estructurales fallaron por fractura de las fibras en el tercio central luego de una intensa fisuración. Los anclajes en U evitaron que se genere grietas en tracción diagonal bajo el recubrimiento en zonas extrema.

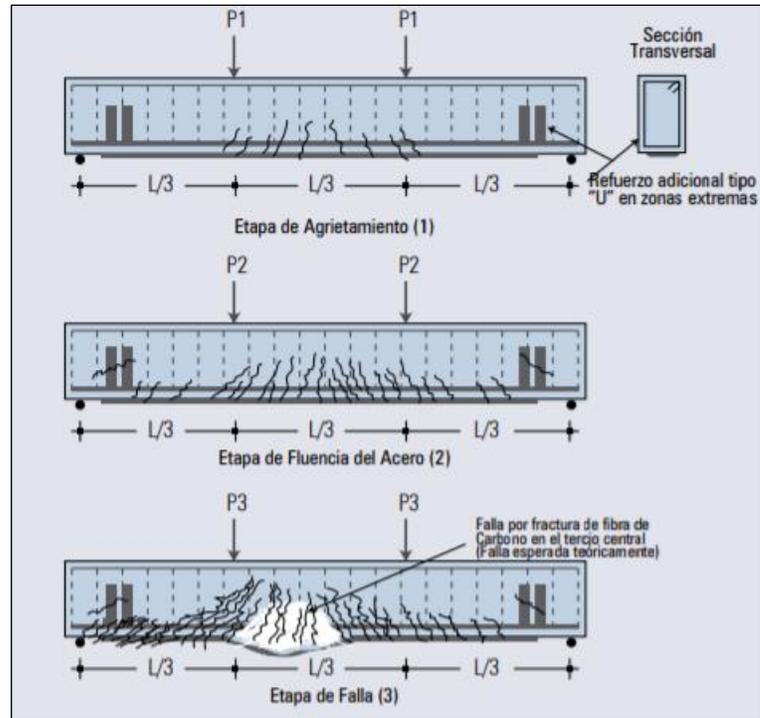


Figura 8: Falla por fractura del sistema FRP en la zona central

Fuente: Norma ACI 440, 2008

2.11. Encamisado de Columnas

El reforzamiento por encamisado de una columna de concreto armado permite el aumento de su capacidad resistente, se realiza agregando refuerzo longitudinal y transversal o una malla electrosoldada alrededor de la sección original y recubrirla con concreto premezclado lanzado. Cuando el refuerzo de un elemento estructural se realice mediante su encamisado con concreto armado, habrá que preparar la superficie del elemento para garantizar una buena adherencia entre el concreto nuevo y el viejo, además de evitar que ésta se rompa por contracciones volumétricas durante el fraguado.

Soto E. (2008, p.85) Indica que se utiliza cuando el elemento está muy dañado y requiere una mayor capacidad resistente, aumentando para ello su sección transversal mediante elementos que rodean al anterior. Debido al aumento en la sección de la columna (ver Figura 9), la resistencia axial, flexión y cortante, se incrementan. El encamisado no sólo permite reparar elementos, sino que logra aumentar su resistencia

y rigidez originales. Es por ello, que a esta técnica también se le considera como un método de refuerzo.



Figura 9: Encamisado de columnas

Fuente: Jácome P. (2016, p.51)

2.11.1. Análisis del encamisado

Se considera suficiente un análisis elástico de la estructura para determinar las fuerzas de diseño. Para este efecto puede suponerse un comportamiento monolítico del elemento existente y su camisa cuando cumplan los requisitos que se señalan en el siguiente inciso para la transmisión de esfuerzos. En el cálculo de las áreas de los elementos encamisados deben distinguirse dos casos:

- Elementos sin daño. Se sugiere utilizar el concepto de sección transformada

para convertir la sección compuesta en una sección homogénea equivalente.

- Elementos dañados. Se recomienda considerar sólo la camisa, despreciando la contribución de la sección original.

2.11.2. Consideraciones constructivas

Cuando se utiliza esta técnica reforzamiento se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos constructivos:

- Para un mejor desempeño se recomienda un encamisado completo, es decir, en todas las caras de la columna, pero ello dependerá del acceso

que se tenga a la zona dañada, pero muchas veces no se tiene acceso y por ello se aplica solamente en una, dos o tres caras.

- Para incrementar la resistencia axial, a flexión y cortante, el refuerzo longitudinal debe continuar a través de la losa de entrepiso.
- La resistencia a compresión del concreto del encamisado debe ser mayor que 210 kg/cm^2 y mayor que el f'_c del concreto utilizado en la columna original.
- La superficie del elemento debe estar limpia y rugosa para garantizar una buena adherencia entre el concreto nuevo y el existente, promoviendo con ello, un comportamiento monolítico.
- El revenimiento y el tamaño máximo del agregado grueso serán de acuerdo con la separación mínima del refuerzo y la distancia mínima entre la cimbra y el concreto existente.
- Cuando el encamisado no sea completo, deberá verificarse la necesidad de colocar elementos de conexión que garanticen la transmisión de los esfuerzos cortantes entre el encamisado y el elemento por reforzar.
- Para garantizar un comportamiento monolítico del elemento encamisado, es necesario tener un adecuado mecanismo de transferencia de cortante en la zona de contacto entre el encamisado y el elemento existente, tal que evite el movimiento relativo entre ambos concretos.
- La cuantía de refuerzo del encamisado con respecto al área encamisada debe estar limitado entre 0.015 y 0.04. (UNDP/UNIDO, 1983)
- La resistencia a compresión (f'_c) del concreto nuevo debe ser mayor que la del concreto existente por 50 kg/cm^2 . (UNDP/UNIDO, 1983)

2.11.3. Consideraciones de análisis y diseño del encamisado

Al utilizar el encamisado de concreto como técnica de reforzamiento y reparación se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos en su análisis y diseño.

- Los elementos encamisados se pueden analizar como elementos compuestos suponiendo una perfecta adherencia entre el concreto

nuevo y el existente, siempre que se asegure un comportamiento monolítico.

- Si sólo se encamisa la columna en el entrepiso se obtiene un incremento en resistencia ante carga axial y fuerza cortante, y un comportamiento dúctil, pero no se altera la resistencia original a flexión.
- Para incrementar la resistencia a flexión es necesario extender el encamisado a través de la losa, prolongando el acero longitudinal y añadiendo algunos estribos que atraviesen el alma de las vigas
- Cuando existen restricciones de espacio, es posible encamisar uno, dos o tres lados únicamente. En tal caso se puede recurrir al uso de ganchos estribos soldados o conectores entre el refuerzo longitudinal.
- Si la columna es de sección rectangular el refuerzo se concentra cerca de las esquinas para permitir confinarlo con estribos, o bien se distribuye de manera uniforme uniendo el refuerzo nuevo al existente mediante conectores soldados.
- Si bien existe incertidumbre en la distribución de las cargas entre el elemento existente y el encamisado, un análisis suponiendo un comportamiento monolítico entre el encamisado y el elemento existente proporciona un resultado razonable para el diseño.
- Para obtener las propiedades geométricas de los elementos, se puede utilizar el método de la sección transformada equivalente. Si existe daño previo en el elemento existente, es recomendable ignorar la contribución de la rigidez del elemento encamisado.

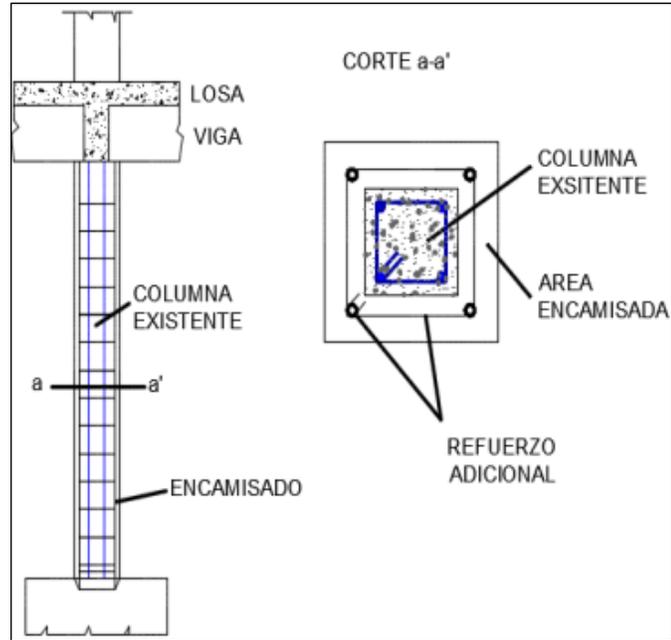


Figura 10: Encamisado de columna hasta el entrepiso

Fuente: Extraído de Soto E. (2008, p.87)

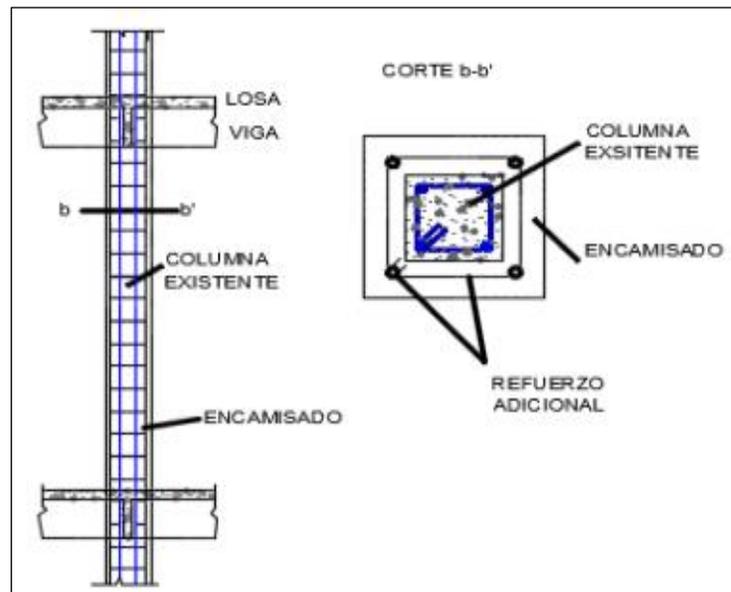


Figura 11: Encamisado de columna hasta la losa

Fuente: Extraído de Soto E. (2008, p.87)

2.11.4. Diseño del encamisado

El refuerzo debe resistir por sí mismo la totalidad de las cargas. Para columnas sometidas a compresión axial, se tiene:

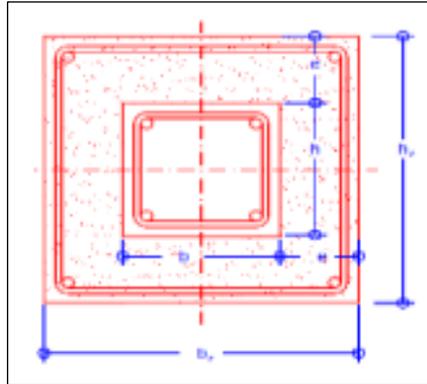


Figura 12: Área de refuerzo de encamisado

Fuente: Pérez J. (2014, p.11)

2.12. Definición de términos básicos

- NTP E.020: Norma técnica peruana con referencia a las cargas que se pueden aplicar a una edificación.
- NTP E.030: Norma técnica peruana con referencia al diseño sismorresistente de estructuras.
- NTP E.090: Norma técnica peruana con referencia al diseño de estructuras de acero.
- Refuerzo estructural: Es un conjunto de actividades para adicionar, modificar o remodelar el sistema estructural de una edificación ya construida.
- Esbeltez: Característica mecánica de las barras estructurales o prismas mecánicos que relaciona la rigidez de la sección transversal de una pieza prismática con su longitud total.
- Diseño estructural: Es un procedimiento técnico para determinar las secciones más óptimas en cualquier estructura en estudio.

- Análisis estático: Es la evaluación de un estado de estrés de una estructura sometida a fuerzas constantes en el tiempo.
- Análisis dinámico: Se refiere al análisis de las pequeñas oscilaciones o vibraciones que puede sufrir una estructura alrededor de su posición de equilibrio.
- Desempeño sísmico: Es una expresión del comportamiento deseado o del desempeño objetivo que debe ser capaz de alcanzar un edificio sujeto a un determinado nivel de movimiento sísmico.
- Marcos de momentos: Consiste en un sistema de columnas y vigas conectadas entre si con conexiones de momento restringidas y/o totales.
- Esfuerzo estructural: Fuerza que actúa sobre un cuerpo para deformarlo.
- Columna corta: Consiste en una restricción parcial del desplazamiento lateral del cuerpo de una columna, que obliga a concentrar toda la demanda de deformaciones y tensiones en su porción libre.
- Módulo de elasticidad: El módulo de elasticidad es un parámetro característico de un material se puede considerar como la resistencia a ser deformado.
- Esfuerzo a la fluencia: Esfuerzo a la fluencia es un indicador que muestra el esfuerzo máximo que tiene un material causando deformación sin llegar al estado de plasticidad.
- Concreto armado: Concreto armado es el resultado de dos materiales concreto simple y acero de refuerzo, de tal forma que combinados forman un elemento solido con características físicas propias.
- Densidad: Es una propiedad única de un material y se define como el peso por unidad de volumen.
- Resistencia: Resistencia es una de las propiedades mas importantes de un material, y se utiliza con fines estructurales.
- Elongación: Es el alargamiento que sufre un material al ser sometido a una fuerza de tracción con respecto a su estado natural, se representa mediante porcentaje (%).

CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis principal

Al realizar el análisis comparativo se obtendrá como mejor alternativa de reforzamiento estructural el encamisado de columnas.

3.1.2. Hipótesis secundarias

- a) Los resultados con el modelamiento con la fibra de carbono resultan en un comportamiento no tan eficiente en los desplazamientos máximos con respecto al encamisado de columnas exigidos por las normas técnicas actuales.
- b) El sistema de reforzamiento estructural mediante encamisado de columnas cumple los parámetros de deformaciones máximas dadas en la norma técnica RNE – NTP E.030.
- c) La evaluación técnica-económica proporcionará que la alternativa más económica en un 20% se da en el método de encamisado de columnas como mejor alternativa de reforzamiento estructural.

3.2. Variables

3.2.1. Definición conceptual de las variables

Según Arias (2006) señala que una variable es una característica o cualidad, magnitud o cantidad susceptible de sufrir cambios y es objeto de análisis, medición, manipulación o control en una investigación. Las variables identificadas en el estudio indicarán en forma directa que se debe observar o medir en el proyecto de investigación radicando en estos aspectos y su importancia.

3.2.2. Variable independiente

Según R. Pino (2010) indica que es aquella que el experimentador modifica a voluntad para averiguar si sus modificaciones provocan o no cambios en las otras variables.

Las variables independientes son:

- a) Fibra de carbono.
- b) Encamisado de columnas.

3.2.3. Variable dependiente

Según R. Pino (2010) señala que es aquella que es afectada por la presencia o acción de la variable independiente en los resultados. Que tiene como propósito, después de una investigación, determinar si la variable independiente ha generado o no los cambios anunciados en las hipótesis.

La variable dependiente es:

a) Institución educativa Cesar Cohaila Tamayo

3.2.4. Operacionalización de las variables

Según Sampieri (2010) indica que constituye el conjunto de procedimientos que describe las actividades que un observador debe realizar para recibir las impresiones sensoriales que indican la existencia de un concepto teórico en mayor o menor grado.

3.2.5. Matriz de operacionalización de variables

Ver Anexo 2

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Tipo y nivel de investigación

4.1.1. Tipo

Según Borja, M (2012), define que la investigación aplicada busca conocer, actuar, construir y modificar una realidad problemática. El interés en el uso de este tipo de investigación es la aplicación inmediata sobre una problemática antes que el desarrollo de un conocimiento universal.

La presente investigación es de tipo aplicada con enfoque cuantitativo porque evaluó la mejora en la respuesta dinámica de un colegio de 2 niveles, comparando el uso de 2 tipos de refuerzo estructural mediante un análisis dinámico con el software ETABS v18.02 para finalmente elegir un solo tipo de refuerzo que mejore el desempeño estructural del colegio.

4.1.2. Nivel

Según Borja, M (2012) define que la investigación descriptiva determina las propiedades y características más representativas de los objetos de estudio como personas, viviendas o cualquier otro fenómeno que se quiera estudiar. Una de las características principales de la investigación descriptiva es la capacidad para señalar las características fundamentales del objeto de estudio.

NUMERO DE PAGINA

El nivel de la investigación es de tipo descriptivo-comparativo dado que se investigan las características y métodos para un diseño estructural.

4.2. Diseño de investigación

Según Borja, M (2012) define que la investigación no experimental no establece, ni puede probar relaciones causales directas entre dos variables o entre dos elementos. De acuerdo a las características de la información los diseños pueden sub clasificarse, como investigaciones longitudinales que estudian la evolución del fenómeno a través del tiempo.

La siguiente investigación es no experimental con diseño longitudinal dado que la investigación busca comparar el comportamiento de 2 tipos de refuerzos empleados en una institución educativa mediante un análisis dinámico empleando software y normativa. Y que estos se van actualizando con el tiempo.

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

Según Borja, M (2012) cita que la Población o Universo al conjunto de elementos o sujetos que serán motivo de estudio.

La población de la investigación son todas las instituciones educativas del departamento de Tacna que hayan sido construidas con la normativa E030 2016.

4.3.2. Muestra

Según Borja, M (2012) cita que la muestra es una fracción o subgrupo representativo de la población, sobre la cual se habrán de recolectar datos.

La muestra es la institución educativa N°4460 Cesar Cohaila A. Tamayo- está ubicado en Ciudad Nueva- departamento de Tacna. cuenta con 2 niveles y tiene 4 aulas por nivel. La muestra fue seleccionada mediante un muestreo no probabilístico intencional

4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.4.1. Técnicas

Las técnicas o método cuantitativo de recolección de datos usada en la presente investigación es la observación. Ya que a través de la revisión de la revisión de las normas técnicas, memoria descriptiva y planos se obtuvo la capacidad de descripción y explicación del comportamiento de la edificación.

4.4.2. Instrumentos

Los instrumentos utilizados en esta investigación son:

- a) Normas técnicas: ACI 318, ACI 440-2R-17, NTP-E 0.20, NTP-E 0.60.
- b) Expediente técnico, conjunto de documentos de carácter técnico-económico que permiten la adecuada ejecución de la obra.
- c) Memoria descriptiva, nos informa de la solución definitiva elegida, dando ideas sobre el funcionamiento, materiales a emplear, coste aproximado de la solución elegida y las causas tenidas en cuenta para elegir la solución entre otras posibles.
- d) Hojas de cálculo, son herramientas electrónicas de cálculos numéricos o matemáticos.

- e) Planos de diferentes disciplinas.
- f) Software Etabs v19, programa usado para el diseño de edificaciones.
- g) Software Revit 2020, programa usado para la visualización y metrado de la estructura.

Todas las normas técnicas usadas en la investigación son las actualizadas y usadas a la fecha. En el caso de los documentos de la institución educativa se tomaron en cuenta la memoria descriptiva y los planos de las distintas disciplinas.

4.5. Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos

Se verifico la validez de la información consultada en los expedientes técnicos, (planos, memorias descriptivas) por parte de la institución educativa seleccionada en la investigación. Se uso el software que cuentan con licencias, como es el Etabs se empleó hojas de trabajo en Excel. para poder mostrar el diseño y cálculo del análisis sísmico de la estructura.

4.6. Procedimientos para la recolección de datos

- Se revisó y analizó el expediente técnico para conocer el contexto de la construcción del centro educativo.
- Se revisó los planos de las diferentes áreas de ingeniería, así como los de arquitectura para ver si entre ellas existieron discrepancias.
- Se analizó las memorias técnicas y las hojas de cálculo usadas en el diseño de los elementos estructurales del centro educativo.
- Se modeló la estructura original para poder identificar la ubicación de las fallas estructurales.
- Luego de identificar las fallas estructurales, se planteó la posible ubicación de los refuerzos estructurales.
- Se modeló la estructura con el primer tipo de refuerzo estructural, registrando los resultados en otra hoja de cálculo.
- Se modeló la estructura con el segundo tipo de refuerzo, registrando los resultados en otra hoja de cálculo.
- Se comparó resultados de las distorsiones, comportamiento de elementos estructurales y elegimos el más factible.

4.7. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información

La metodología usada para el procesamiento de información fue el experimental que consiste en contrastar las hipótesis planteadas en el capítulo III, con uso de software específico, tal es el caso de ETABS v19, para el análisis de casos por el método de elementos finitos.

4.7.1. Ecuaciones usadas

Las ecuaciones usadas se encuentran en las siguientes normas.

- ACI-318, Diseño en concreto armado
- NTP E0.20, Cargas
- NTP E.030, Diseño sismorresistente
- NTP E.090, Estructuras metálicas

CAPITULO V: ANALISIS SÍSMICO DE LA ESTRUCTURA

5.1. Condiciones generales

La estructura de estudio es la institución educativa Cesar Cohaila A. Tamayo es un colegio modelo que cuenta con 2 niveles de 5 aulas por nivel. Se puede observar que la distribución de la planta es regular con una altura de entrepiso de 3.30 m en todos los pisos; abarcando un área construida de 332.54 m² por piso. Los techos son losas unidireccionales con espesor de 20cm. Las aulas contarán con ventanas en los muros no portantes. La estructura tiene una configuración estructural de pórticos de concreto armado en ambas direcciones.

A continuación, en la Tabla 24 y Figura 13 se muestra las características de las columnas.

Tabla 24: Cuadro de columnas

Columnas				
Elemento	Ancho (cm)	Largo (cm)	f _c (kg/cm ²)	Nivel
P-1	Irregular L	-	210	Piso 1,2
P'-1	Irregular T	-	210	Piso 1,2
P-2	Irregular T	-	210	Piso 1,2
C-1	25	40	210	Piso 1,2
C-A	15	25	210	Piso 1,2

Fuente: Expediente técnico

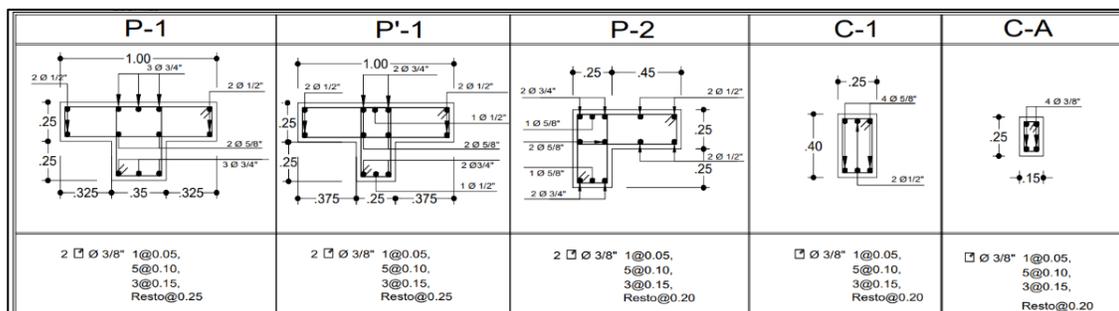


Figura 13: Geometría de columnas

Fuente: Expediente técnico

En la Tabla 25 y Figura 14 se muestran las características de las vigas existentes en la edificación

Tabla 25: Cuadro de vigas

Vigas			
Elementos	Ancho(cm)	Alto(cm)	f'c (kg/cm ²)
VP-1	25	65	210
VP-2	30	65	210
VA-1	25	60	210
Vp	25	20	210

Fuente: Expediente técnico

VP-1	VP-2	VA-1	Vb
<p>SECCION</p>	<p>SECCION</p>	<p>SECCION</p>	<p>SECCION</p>
<p>ESTRIBOS</p> <p> Ø 3/8" 1 @ 0.05 6 @ 0.10 4 @ 0.15 Rto @ 0.30 C/EXTREMO. </p>	<p>ESTRIBOS</p> <p> Ø 3/8" 1 @ 0.05 6 @ 0.10 4 @ 0.15 Rto @ 0.30 C/EXTREMO. </p>	<p>ESTRIBOS</p> <p> Ø 3/8" 1 @ 0.05 9 @ 0.10 1 @ 0.15 rest. @ .20en c/ext. C/EXTREMO. </p>	<p>ESTRIBOS</p> <p> Ø 1/4" 2 @ .05, 4 @ .10, 2 @ .15, Rto. @ .25 EN C/EXTREMO. </p>

Figura 14: Geometría de vigas

Fuente: Expediente técnico

5.2. Medrado de cargas de la estructura

Existe una infinidad de cargas a las cuales podrían estar expuestas las edificaciones según las características propias de cada estructura para nuestra investigación se considerará 2 tipos de cargas, las verticales que representan a las cargas muertas y vivas; y las horizontales que vendrían a ser las cargas del sismo.

Mencionadas a continuación:

5.2.1. Carga muerta (DL)

Son aquellas cargas verticales o llamadas por gravedad provenientes del peso de los materiales, son considerados de forma permanente y pueden desempeñar un rol estructural o no estructural.

Se puede considerar; al peso propio de los materiales, equipos, sistemas de servicios, peso propio de tabiquería y peso propio del piso terminado

5.2.2. Carga viva (LL)

Son aquellas cargas verticales provenientes del peso no permanente que se ejerce sobre una estructura

Se puede considerar; los muebles, personas, equipos móviles

- Sobrecarga de pisos típicos S/C.
- Sobrecarga de escaleras y baños.
- Sobrecarga de Azotea.

5.2.3. Carga por sismo (Ex,Ey)

Son aquellas cargas horizontales que representan la influencia de un acontecimiento sísmico sobre una edificación, encontrados en la normativa E-030 Diseño sismorresistente en función a parámetros.

$$S_a = \frac{Z.U.C.S.g}{R}$$

5.2.4. Combinación de cargas

Las combinaciones de carga utilizadas para la presente investigación. De acuerdo a la memoria de cálculo del colegio y la normativa E-020 de aquel año son las siguientes:

- C1: 1.25*(DL+LL+E)

- C2: $1.25*(DL+LL-E)$
- C3: $1.5*DL + 1.8*LL$
- C4: $0.9*DL + 1.45*E$
- C5: $0.9*DL - 1.45*E$

5.3. Consideraciones para modelo matemático de la estructura existente

La estructura fue analizada como un modelo tridimensional. En el análisis se supuso un comportamiento lineal y elástico. Los elementos de concreto armado se representaron con elementos frame, shell y membrana. Los modelos se analizaron considerando solo los elementos estructurales, sin embargo los elementos no estructurales han sido ingresados al modelo como solicitaciones de carga, debido a que ellos no son importantes en la contribución de la rigidez y resistencia de la edificación. Se tomaron en cuenta las especificaciones técnicas de los planos considerando para el concreto $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y para el acero $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$. Según los planos estructurales, se crearon las secciones de columnas, vigas y losas de espesor 20cm.

A continuación, en la Figura 15 se muestra el modelamiento de la estructura en el software ETABS 2019 v.19.

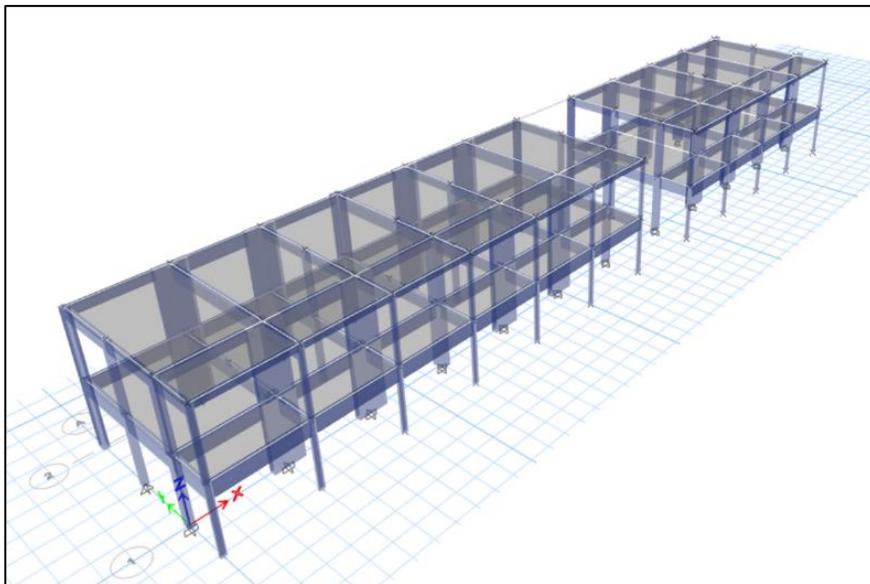


Figura 15: Modelo tridimensional de la estructura

Fuente: Elaboración propia con software ETABS v19

Para el metrado de cargas se tuvo en cuenta los lineamientos de la norma E.020 obteniendo como resultado:

Cargas por peso propio: son las cargas provenientes del peso de los materiales, tabiquería y otros elementos que forman parte de la edificación y se considerarán permanentes.

- Peso propio elementos de concreto armado: 2.40 Ton/m³
- Peso propio elementos de albañilería: 1.80 Ton/m³
- Peso propio del tarrajeo: 2.00 Ton/m³
- Peso propio de la losa aligerada (h=0.20 m): 0.30 Ton/m³
- Peso propio del piso terminado: 0.12 Ton/m³
- Peso propio de tabiquería repartida: 0.15 Ton/m³
- Peso tabiquería (h=3.10 m): 0.74 Ton/m³
- Peso tabiquería (h=1.10 m): 0.29 Ton/m³

Cargas vivas: Cargas que provienen de pesos no permanentes en la estructura, que incluyen a los ocupantes, materiales, equipos, otros elementos móviles.

- Sobrecarga en piso (aula): 250 Kg/m²
- Sobrecarga de corredores: 100 Kg/m²
- Sobrecarga en techo: 100 Kg/m²
- Muros Peso volumétrico de muros de cabeza de albañilería con 1cm de tarrajeo:

=1974 Kg/cm³

- Cargas producidas por sismo: Análisis de cargas estáticas o dinámicas que representan un evento sísmico y están reglamentadas por la norma E-030 2018 diseño sismorresistente.

En la Figura 16 se muestra la planta típica de la institución educativa y sus elementos estructurales.

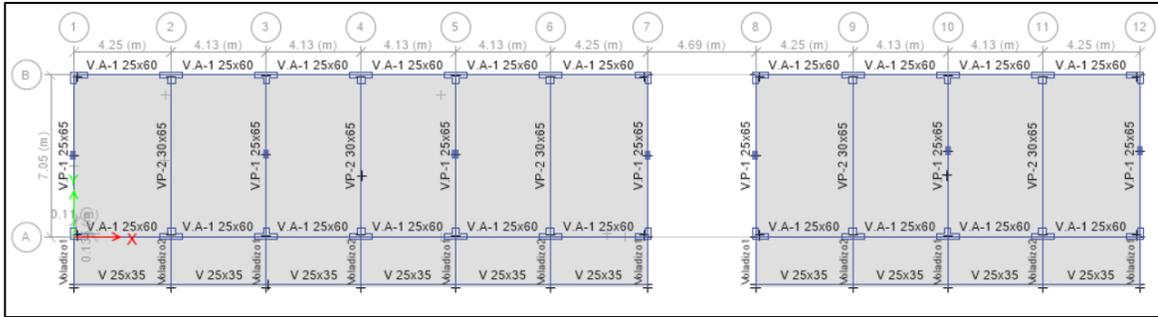


Figura 16: Vista en planta de elementos estructurales

Fuente: ETABS v19

5.4. Consideraciones para el análisis sismorresistente de la estructura existente

Para esta investigación se analizará el diseño de la institución educativa con los requerimientos de la Norma E 030- 2018. Se hallarán los valores sísmicos que varían según la ubicación y el sistema estructural.

- $Z = 0.45$ (Zona 4 departamento de Tacna.) – Tabla 1
- $S = 1.05$ (Suelo intermedio S, según EMS.) – Tabla 3
- $T_p = 0.6s$ $T_L = 2.0s$
- $U = 1.5$ (Institución educativa es considerado dentro de la categoría Edificaciones esenciales.) Figura 5
- $R_oX = 8$ (La institución educativa consta de sistemas a porticados en ambas direcciones.)
- $R_oY = 8$ (La institución educativa consta de sistemas a porticados en ambas direcciones.)
- $I_a, I_p = 1$ (No presenta irregularidades por altura ni por planta, debido a que la norma nos indica que no puede presentar irregularidades por estar ubicado en la zona 4.) Tabla 10
- $R = 8$ (El coeficiente de reducción, lo define el sistema estructural empleado y las irregularidades que tenga la estructura)
- $C =$ (Factor de amplificación sísmica, realizando un análisis espectral el valor de C varía dependiendo del periodo de la estructura.)

Finalmente, en la Tabla 26 se muestra un resumen de los valores sísmicos obtenidos de la institución educativa según la normativa E.030 2018.

Tabla 26: Resumen de parámetros sísmicos NTP E.030

Datos y Parámetros	
Categoría Edificio	A
Zona Sísmica	4
Tipo de Suelo	S2
U	1.5
Z	0.45
Ct	35
T (periodo edificio)	0.18
Tp(s)	0.60
Tl(s)	2.00
S	1.05
Ia	1.00
Ip	1.00
R ₀	8
R	8.00
C	2.5

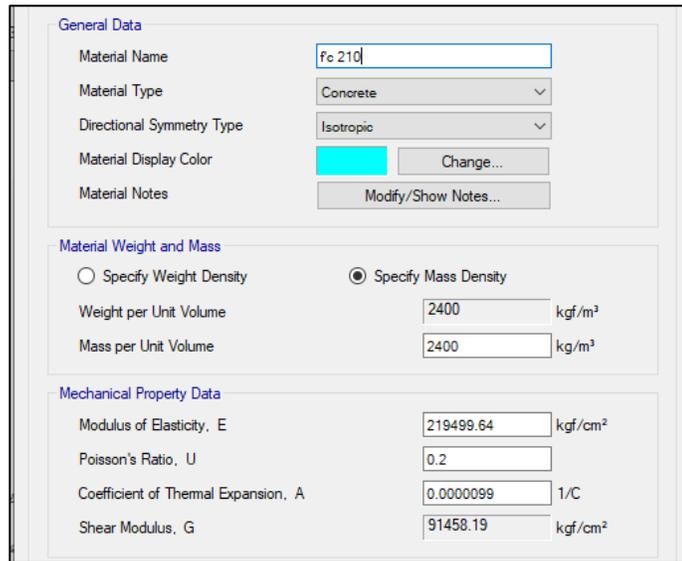
Fuente: Expediente técnico

5.5. Definición de propiedades de los elementos estructurales

Se procedió a definir las propiedades de los materiales que conforman la estructura, así como la resistencia del concreto, la fluencia del acero, el tipo de comportamiento del elemento como viga o columna dentro del modelo.

Para realizar el correcto análisis, se tiene que tener en cuenta todos los detalles típicos de la institución educativa, detallados en los expedientes técnicos y planos.

5.5.1. Concreto armado

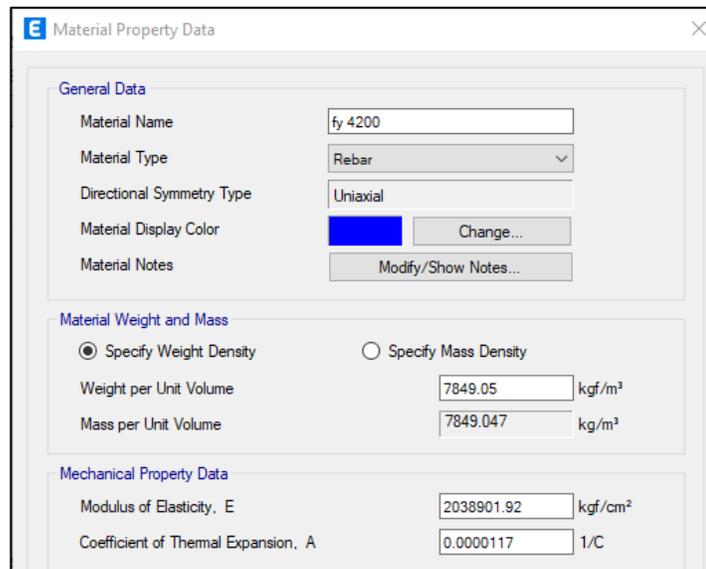


Property	Value	Unit
Material Name	fc 210	
Material Type	Concrete	
Directional Symmetry Type	Isotropic	
Material Display Color	Cyan	
Material Notes		
Specify Weight Density	<input type="radio"/>	
Specify Mass Density	<input checked="" type="radio"/>	
Weight per Unit Volume	2400	kgf/m³
Mass per Unit Volume	2400	kg/m³
Modulus of Elasticity, E	219499.64	kgf/cm²
Poisson's Ratio, U	0.2	
Coefficient of Thermal Expansion, A	0.0000099	1/C
Shear Modulus, G	91458.19	kgf/cm²

Figura 17: Asignación de resistencia del concreto en Etabs

Fuente: Elaboración propia con software ETABS v19

5.5.2. Acero de refuerzo



Property	Value	Unit
Material Name	fy 4200	
Material Type	Rebar	
Directional Symmetry Type	Uniaxial	
Material Display Color	Blue	
Material Notes		
Specify Weight Density	<input checked="" type="radio"/>	
Specify Mass Density	<input type="radio"/>	
Weight per Unit Volume	7849.05	kgf/m³
Mass per Unit Volume	7849.047	kg/m³
Modulus of Elasticity, E	2038901.92	kgf/cm²
Coefficient of Thermal Expansion, A	0.0000117	1/C

Figura 18: Definición del material de acero en Etabs

Fuente: Elaboración propia con software ETABS v19

5.6. Definición de elementos estructurales

5.6.1. Columnas

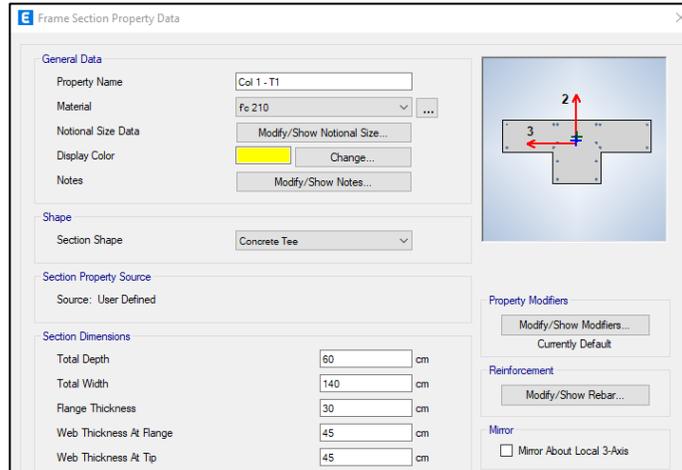


Figura 19: Columna T primer nivel

Fuente: Elaboración propia con software ETABS v19

5.7. Análisis lineal estático de la estructura sin reforzamiento

Para calcular la cortante basal nos apoyamos en una hoja de cálculo para hallar las fuerzas horizontales por piso y posteriormente ser introducidas en el software Etabs de la siguiente manera:

El valor de C de acuerdo a la norma E-030 2018 sismorresistente se encontró $C=2.5$

De acuerdo a la norma E-0.30 2018 dada la ecuación para calcular la cortante basal.

5.7.1. Sismo estático en X

En la Figura 20 se muestra los valores de las Fuerzas sismo estático en X.

Load Set 1 of 1				
Story	Diaphragm	Fx tonf	Fy tonf	Mz tonf-m
Story2	Piso 2-1	136.21	0	0
Story2	Piso 2-2	136.21	0	0
Story1	Piso 1-1	86.56	0	0
Story1	Piso 1-2	86.56	0	0

Figura 20: Asignación de fuerzas sismo estático X

Fuente: Elaboración propia con software ETABS v19

5.7.2. Sismo estático en Y

En la Figura 21 se muestra los valores de las fuerzas para el sismo estático en Y.

Load Set 1 of 1				
Story	Diaphragm	Fx tonf	Fy tonf	Mz tonf-m
Story2	Piso 2-1	0	136.21	0
Story2	Piso 2-2	0	136.21	0
Story1	Piso 1-1	0	86.56	0
Story1	Piso 1-2	0	86.56	0

Figura 21: Asignación de fuerzas sismo estático Y

Fuente: Elaboración propia con software ETABS v19

Estas fuerzas se asignan teniendo en cuenta su respectivo eje y también el nivel y ambiente de la edificación.

5.8. Análisis lineal dinámico modal espectral de la estructura sin reforzamiento

Se realizó un análisis modal espectral considerando los lineamientos de la norma E-030 2018, se asignó una masa sísmica con el 100% de la carga muerta y el 50% de la carga viva. Con ese propósito se creó un modelo usando el programa ETABS 2019 v.19 Los resultados de las derivas se presentan en los siguientes ítems.

5.8.1. Espectro de respuesta eje X

En la se muestran los resultados de las derivas de entrepiso obtenidas del análisis modal espectral.

5.8.2. Espectro de respuesta eje Y

En la se muestran los resultados de las derivas de entrepiso obtenidas del análisis modal espectral.

De estos resultados se observa que las derivas obtenidas exceden el límite máximo planteado por la norma sismorresistente E-030 2018, la cual para el caso de estudio es de 0.007 debido al sistema estructural porticado que destaca.

La cortante basal obtenida como resultado del análisis dinámico espectral fue:
 $V_{dinX} = \text{tonf}$ y $V_{dinY} = \text{Tonf}$.

La norma E-030 2018 en el artículo 29.4 indica que, para cada una de las direcciones consideradas en el análisis, la fuerza cortante en el primer entrepiso del edificio no puede ser menor que el 80%, del valor calculado.

En la siguiente se muestra la comparación de los valores obtenidos de las Cortantes dinámicas y estáticas.

De la tabla obtiene que las cortantes en la base obtenidas del sismo dinámico son mayores al 90% que establece como mínimo en la norma. No se necesita realizar ninguna corrección en las cortantes.

5.9. Reforzamiento por encamisado de columnas

5.9.1. Verificación de columnas

Para la investigación se tomará como muestra la columna, más críticos de la edificación. Del análisis realizado en el software ETABS, se identificó que en los ejes críticos se encuentran las columnas de tipo C-2. Por ello, se realizará el cálculo y evaluación de la columna C-2 (ver Figura 22)

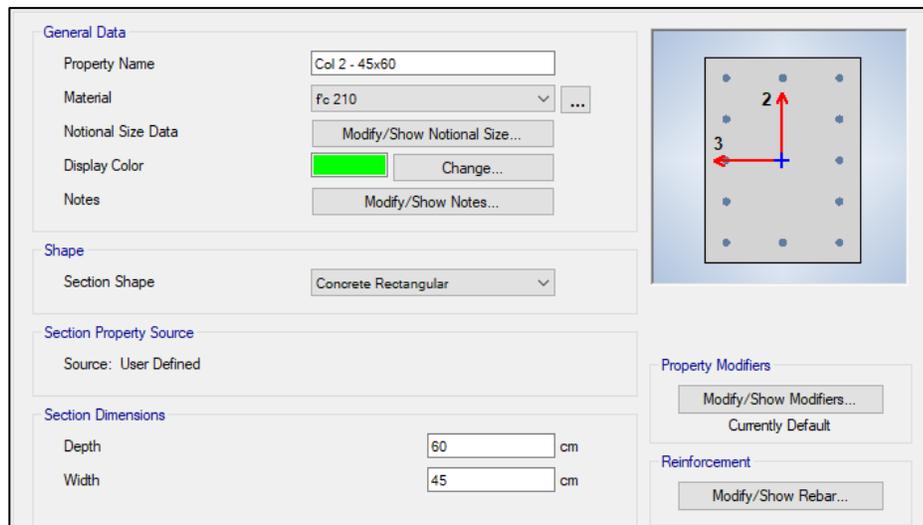


Figura 22: Asignación columna C-2

Fuente: Elaboración propia con software ETABS v19

Primero se realizará una verificación de la cuantía para elementos a compresión, para ello se calcularán los límites del área de refuerzo longitudinal total. Según la norma E.060.

$$0.01A_g < A_{st} < 0.06A_g$$

Donde:

$$A_g = b \cdot h$$

Se calcula el área del acero equivale al 0.00874 del área del concreto. Entonces, no está dentro del rango, significa que la columna necesita una intervención o reforzamiento, por ello se procede a plantear el nuevo diseño de la columna.

5.9.2. Verificación de vigas

Se debe realizar un análisis de las vigas con el cual se verificará la necesidad de reforzamiento. El análisis consistirá en comparar el Momento Nominal (ΦM_n), se calculará de forma manual, con el Momento Ultimo (M_u), se obtendrá del programa ETABS. Únicamente se procederá a reforzar, cuando se cumpla que: $\Phi M_n < M_u$.

El análisis se realizará en la viga V.P-2, es una viga que se encuentra en los ejes más críticos de la edificación. En la Figura 23 se muestran la vista longitudinal, yb se detallan la distribución de acero de la viga VP-2.

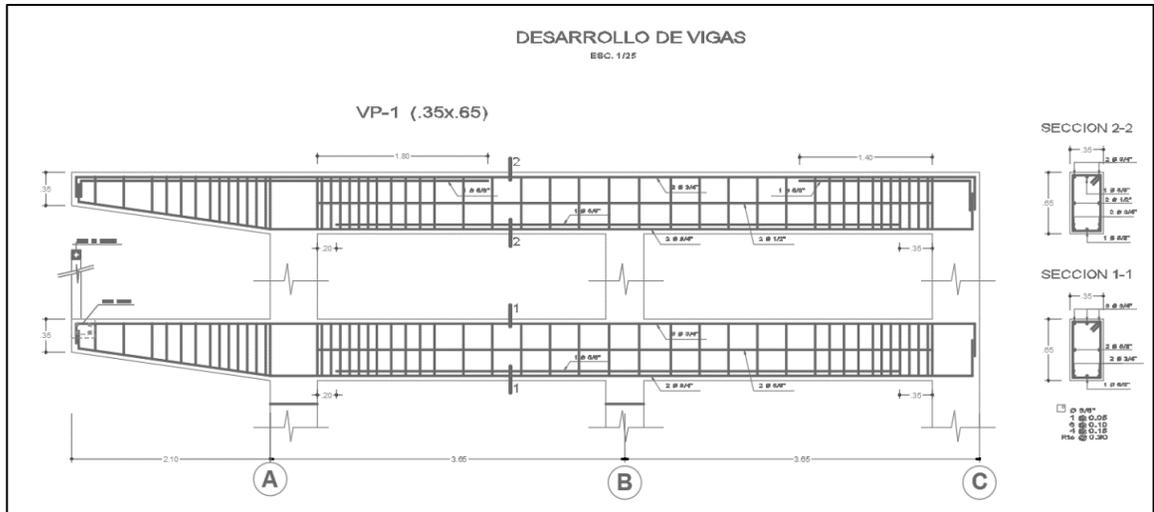


Figura 23: Detalle de viga VP-2

Fuente: Expediente técnico

5.10. Reforzamiento estructural propuesto

Primero calcular el área de los aceros por capas, es decir, sumar las áreas de los aceros por cada fila. De la misma manera, se calcularán los brazos, midiendo desde la parte superior de la viga hasta cada capa de acero, tal como se muestra en a figura. Para el caso del concreto, se tomará el área total del bloque de concreto, y su brazo será la mitad de la altura

5.10.1. Reforzamiento de viga con fibra de carbono

Las características de la propuesta de reforzamiento a las vigas se presentan en la

Tabla 27: Propuesta de refuerzo viga P-2

Símbolo	Valor	Unidad
Luz L	7.4	m
Ancho B	300	mm
Peralte efectivo D	600	mm
Altura H	650	mm
Resistencia del concreto $f'c$	21	N/mm ²
Fluencia del acero $f'y$	412	N/mm ²

Barras acero	4 ϕ 3/4"	
ϕ Mn sin CFRP	164.5	KN.m

Fuente: Elaboración propia

El refuerzo que se va utilizar para el proyecto es proporcionado por SIKA y se propone utilizar 2 láminas de 1m, y se colocaran a lo ancho de la cara inferior de la viga VP-2 (30x65) de forma externa con epóxido. Propiedades extraídas de la ficha técnica del producto de Sika Carbodur.

Tabla 28: Propiedades de la fibra de carbono Sika Carbodur

Sika Carbodur S 1012		Unidad
Espesor por tira tf	1.2	mm
Resistencia última a tensión ffu*	3100	N/mm ²
Deformación de falla ϵ_{fu} *	0.017	
Módulo de Elasticidad del FRP Ef	165000	N/mm ²

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29: Cargas y momentos para el diseño FRP

Cargas y Momentos		Unidad
Momento de Carga muerta (MDL)	115584.01	KN-mm
Momento de Carga viva (MLL)	40079.94	KN-mm
Momento de servicio (MS)	155663.95	KN-mm

Fuente: Elaboración propia

5.10.2. Cálculo del refuerzo con fibra de carbono

a) Flexión

- Paso 1: Calculo de las propiedades del sistema CFRP

Según la norma ACI 440-2R-17

$$f_{fu} = C_E * f_{fu}^*$$

$$\varepsilon_{fu} = C_E * \varepsilon_{fu}^*$$

Tabla 30: Cálculo sistema CFRP

Factor de reducción	C _E	0.95	
Esfuerzo último de diseño a tensión	f _{fu}	2945	N/mm ²
Deformación unitaria ultima del refuerzo FRP	ε _{fu}	0.01615	mm/mm

Fuente: Elaboración propia

- Paso 2: Cálculos preliminares

Propiedades del acero:

Tabla 31: Propiedades del acero

Barras de acero	4	und
Ø 3/4"	2.85	cm ²
Ancho b	300	mm
Peralte d	600	mm
Área del acero refuerzo A _s	1140	mm ²
Cuantía de acero de refuerzo ρ _s	0.00633	

Fuente: Elaboración propia

Propiedades del refuerzo con CFRP:

$$A_s = \#barras \text{ de acero} * \emptyset \text{ varilla}$$

$$\rho_s = \frac{A_s}{bd}$$

$$A_f = n * t_f * w_f$$

$$\rho_f = \frac{A_f}{bd_f}$$

Tabla 32: Resultados de refuerzo CFRP

	Resultados	
Capas n	2	und
Espesor por tira t _f	1.2	mm/capa
Ancho de cara inf. w _f	300	mm
Área de refuerzo con FRP A _f	720	mm ²
Cuantía de refuerzo FRP ρ _f	0.00400	

Fuente: Elaboración propia

Cálculo del Módulo de elasticidad del concreto, según norma E-060

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c}$$

Tabla 33: Módulo de elasticidad

	Elasticidad	
E _c	21538.106	N/mm ²
β ₁	0.85	
f' _c	21	N/mm ²

Fuente: Elaboración propia

- Paso 3: Determinar la deformación existente en la cara inferior

Se determinará la deformación existente asumiendo que la viga está completamente agrietada, la viga es considerado sin acero en compresión:

Se utilizará las siguientes formulas:

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

Proporción de la profundidad del eje neutro al refuerzo medido desde la fibra extrema a compresión (k)

$$Pk = \sqrt{(\rho n)^2 + 2\rho n} - \rho n$$

Tabla 34: Características del refuerzo

Característica	Cant.	Unidad
Relación modular del acero y concreto n	9	
Módulo de elasticidad a tensión del acero de refuerzo Es	200000	N/mm2
Módulo de elasticidad del concreto Ec	21538.106	N/mm2
Cuantía de refuerzo ρ_s	0.00633	
coeficiente k	0.26	

Fuente: Elaboración propia

Se calcula la posición del eje neutro mediante la expresión: $c=k*d$ se aplica para vigas rectangulares sin acero en compresión.

Se calcula el momento de inercia de la sección fisurada (I_{cr}):

$$I_{cr} = b * \frac{(kd)^3}{3} + nA_s(d - kd)^2$$

Tabla 35: Propiedades para viga en refuerzo

Propiedad	Cant.	Und.
I_{cr}	2402256960	mm4
Ancho b	300	mm
Coeficiente k	0.26	
Relación modular de los materiales n	9	
Área de acero de refuerzo A_s	1140	mm2

Distancia desde la fibra extrema al		
centroide del refuerzo d	600	mm
c	156	mm

Fuente: Elaboración propia

Deformación en el concreto al momento de colocar el refuerzo FRP.

$$\epsilon_{bi} = \frac{M_{DL}(d_f - kd)}{I_{Cr} * E_c} * 1000$$

Tabla 36: Deformaciones al colocar el refuerzo FRP

Propiedades	Cant.	Und.
ϵ_{bi}	0.9919	*(10 ⁻³)
Momento de carga muerta MDL	115584.01	KN.m
Peralte efectivo df	600	mm
Coficiente k	0.26	
Distancia desde la fibra extrema al		
centroide del refuerzo d	600	mm
Momento de inercia de la sección		
fisurada ICr	2402256960	mm ⁴
Módulo de elasticidad del		
concreto Ec	21538.106	N/mm ²

Fuente: Elaboración propia

- Paso 4: Determinar la deformación de diseño del sistema FRP

Esta deformación unitaria por perdida de adherencia del refuerzo FRP, se calcula con la siguiente manera:

$$\epsilon_{fd} = 0.41 \sqrt{\frac{f_c}{n E_f t_f}} \leq 0.9 \epsilon_{fu}$$

$$0.00298 \leq 0.0153$$

Tabla 37: Deformación sistema FRP

Propiedades	Cant.	Und.
ϵ_{fd}	0.002985	
Resistencia a la compresión del concreto $f'c$	21	N/mm ²
Numero de capas de FRP n	2	unid
Módulo de elasticidad a tensión del refuerzo FRP E_f	165000	N/mm ²
Espesor del refuerzo FRP t_f	1.2	mm
Deformación de falla ϵ_{fu}^*	0.017	

Fuente: Elaboración propia

Como se está cumpliendo la condición, el tipo de falla que se dará en el sistema FRP será por pérdida de adherencia.

- Paso 5: Estimación de “c” profundidad del eje neutro.

Según ACI una estimación para el valor de c es de 20% de la altura de la sección a reforzar, este valor será ajustado. $c = 0,2d = 0,2 \cdot 600 = 120\text{mm}$

- Paso 6: Determinar el nivel de deformación efectiva del refuerzo FRP.

Según ACI para calcular la deformación efectiva alcanzada en la falla se hará uso de la formula:

$$\epsilon_{fe} = 0.003 \left(\frac{d_f - c}{c} \right) - \epsilon_{bi} \leq \epsilon_{fd}$$

$$\epsilon_{fe} = 0.01226 > 0.00299$$

La condición no se está cumpliendo, entonces $\epsilon_{fe} = \epsilon_{fd} = 0.00299$

Se observa que, para la profundidad del eje neutro, la falla por adherencia es la que rige, la segunda expresión gobierna. Si la primera ecuación gobernaría la falla sería por aplastamiento del concreto.

Tabla 38: Nivel de deformación FRP

Propiedades	Cant.	Und.
ϵ_{fe}	0.01226	
Altura efectiva del refuerzo FRP a flexión h	650	mm
Distancia desde la fibra extrema a compresión al eje neutro c	120	mm
Deformación en el concreto al momento de colocar el refuerzo FRP ϵ_{bi}	0.00099	
Deformación unitaria por perdida de adherencia del refuerzo FRP ϵ_{fd}	0.00299	

Fuente: Elaboración propia

Debido a que el FRP controla el modo de falla de la sección, para calcular la deformación unitaria del concreto es calculado con la siguiente formula:

$$\epsilon_c = (\epsilon_{fe} + \epsilon_{bi}) \left(\frac{c}{d_f - c} \right)$$

Tabla 39: Deformación unitaria FRP

Propiedades	Cant.	Und.
ϵ_c	9.00581	*(10 ⁻⁴)
Deformación efectiva del refuerzo FRP alcanzada en la falla ϵ_{fe}	0.00299	
Deformación en el concreto al momento de colocar el refuerzo FRP ϵ_{bi}	0.00099	
Altura efectiva del refuerzo FRP a flexión d _f	650	mm

Distancia desde la fibra extrema a compresión al eje neutro c	120	mm
--	-----	----

Fuente: Elaboración propia

- Paso 7: Calculo de la deformación en el acero de refuerzo existente.

Para calcular la deformación se hará uso de la formula:

$$\varepsilon_s = (\varepsilon_{fe} + \varepsilon_{bi}) \left(\frac{d - c}{df - c} \right)$$

Tabla 40: Deformación acero de refuerzo

Propiedades	Cant.	Und.
ε_s	0.00360	
Deformación efectiva del refuerzo		
FRP alcanzada en la falla ε_{fe}	0.00299	
Deformación en el concreto al momento de colocar el refuerzo		
FRP ε_{bi}	0.00099	
Peralte d	600	mm
Altura efectiva del refuerzo FRP a flexión df	650	mm
Distancia desde la fibra extrema a compresión al eje neutro c	120	mm

Fuente: Elaboración propia

- Paso 8: Calculo del esfuerzo en el acero de refuerzo y en el FRP.

Para calcular el refuerzo en el acero de refuerzo se hará uso de la formula:

$$f_s = E_s \varepsilon_s \leq f_y$$

Tabla 41: Resultados del esfuerzo en acero FRP

f_s	0.7205	KN/mm ²
-------	--------	--------------------

Módulo de elasticidad a tensión del acero de refuerzo E_s	200	KN/mm ²
Deformación del acero de refuerzo ϵ_s	0.00360	
Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo f_y	0.412	KN/mm ²

Fuente: Elaboración propia

Debido a que: $f_s > f_y$ entonces $f_s = 0.412$ KN/mm²

Para calcular el Esfuerzo efectivo del refuerzo FRP en la sección de falla se utilizará la formula:

$$f_{fe} = E_f \epsilon_{fe}$$

Tabla 42: Resultados esfuerzo efectivo FRP

f_{fe}	0.493	KN/mm ²
Módulo de elasticidad a tensión del refuerzo FRP E_f	165	KN/mm ²
Deformación efectiva del refuerzo ϵ_{fe}	0.00299	

Fuente: Elaboración propia

- Paso 9: Calculo de fuerzas internas resultantes y revisión de equilibrio.

Para llegar al equilibrio se comparará el valor inicial de c con:

$$c = \frac{A_s f_s + A_f f_{fe}}{\alpha_f \beta_1 b}$$

Tabla 43: Resultados fuerzas internas

c	181.11	mm
Área de acero de refuerzo A_s	1140	mm ²
Esfuerzo del acero de refuerzo f_s	412	N/mm
Área de refuerzo FRP A_f	720	

Esfuerzo efectivo FRP en la sección de falla f_{fe}	493	N/mm
Factor de $f_c \alpha_1$	0.85	
Resistencia a compresión del concreto f'_c	21	N/mm ²
Coficiente β_1	0.85	
Ancho de la cara a compresión del elemento b	300	mm

Fuente: Elaboración propia

Se tiene como resultado $c = 181.11 \text{ mm} \neq 120 \text{ mm}$ ya que no son iguales por ende se tiene que reformular hasta obtener el equilibrio. Repetir los pasos 5-9.

- Paso 10: Ajuste de c hasta obtener el equilibrio.

Se tanteará el valor de c con otro valor:

$$c = k \cdot d = 0.301 \cdot 600 = 180.6 \text{ mm}$$

Calculamos deformación efectiva del refuerzo FRP alcanzada en la falla con la formula:

$$\varepsilon_{fe} = 0.003 \left(\frac{d_f - c}{c} \right) - \varepsilon_{bi} \leq \varepsilon_{fd}$$

Tabla 44: Resultados deformación efectiva FRP

ε_{fe}	0.00681	
Altura efectiva del refuerzo FRP a flexión d_f	650	mm
c	180.6	mm
Deformación en el concreto al momento de colocar el refuerzo FRP ε_{bi}	0.00099	
Deformación unitaria por perdida de adherencia del refuerzo FRP ε_{fd}	0.00299	

Fuente: Elaboración propia

$\epsilon_{fe} = 0.00681 > 0.00299$ se va utilizar $\epsilon_{fe} = 0.00299$

Entonces se logró el equilibrio $c = 181.11$ mm

- Paso 11: Calculo de la resistencia a diseño a flexión de la sección.

El esfuerzo a flexión de diseño se calcula con la siguiente formula:

Resistencia nominal a flexión:

$$\Phi Mn = A_s f_s \left(d - \frac{\beta_1 c}{2} \right) + \varphi_f A_f f_{fe} \left(d_f - \frac{\beta_1 c}{2} \right)$$

$$\Phi Mn = \Phi [M_{ns} + \varphi_f M_{nf}]$$

Resistencia nominal a flexión del acero:

$$M_{ns} = A_s f_s \left(d - \frac{\beta_1 c}{2} \right)$$

Resistencia nominal a flexión del refuerzo FRP:

$$M_{nf} = A_f f_{fe} \left(d_f - \frac{\beta_1 c}{2} \right)$$

Tabla 45: Resultados resistencia nominal

ϕMn (Mu)	342.87	KN-m
Mns	245655.32	KN-mm
	245.66	KN-m
Mnf	203253.22	KN-mm
	203.25	KN-m
Área de refuerzo FRP Af	720	mm ²
Esfuerzo efectivo del refuerzo FRP para flexión ffe	0.493	KN/mm ²
Altura efectiva del refuerzo FRP a flexión df	650	mm
Distancia desde la fibra extrema a compresión al eje neutro c	181.11	mm
Coficiente β_1	0.85	

Factor de reducción de resistencia del refuerzo FRP para flexión ϕ_f	0.9
Factor de reducción de resistencia ϕ	0.8

Fuente: Elaboración propia

$$\phi M_n = 342.87 \text{ KN-m} > \text{KN-m} = M_u$$

Se obtiene un resultado bueno, donde la sección reforzada con FRP cumplirá con las cargas requeridas para la institución educativa.

- Paso 12: Verificación de los esfuerzos de servicio en el refuerzo de acero y en el FRP.

Se debe hacer las verificaciones en el acero y en el FRP ocasionados por momentos de servicio.

Profundidad del eje neutro al refuerzo medido desde la fibra extrema a compresión:

$$k = \sqrt{\left(\rho_s \frac{E_s}{E_c} + \rho_f \frac{E_f}{E_c}\right)^2 + \left(\rho_s \frac{E_s}{E_c} + \rho_f \frac{E_f}{E_c} \left(\frac{df}{d}\right)\right)} - \left(\left(\rho_s \frac{E_s}{E_c} + \rho_f \frac{E_f}{E_c}\right)^2\right)$$

Tabla 46: Resultados profundidad eje neutro

Propiedad	Cant.	Und.
k	0.25	
c= kd	148	mm
Ancho b	300	mm
Peralte d	600	mm
Área de acero de refuerzo A_s	1140	mm ²
Cuantía de acero de refuerzo ρ_s	0.00633	
Altura efectiva del refuerzo FRP a flexión df	650	mm
Área de refuerzo FRP A_f	720	mm ²
Cuantía de refuerzo de FRP ρ_f	0.003692	

Módulo de elasticidad a tensión del acero de refuerzo E_s	200000	N/mm ²
Módulo de elasticidad del concreto E_c	21538	N/mm ²
Módulo de elasticidad a tensión del refuerzo FRP E_f	165	N/mm ²

Fuente: Elaboración propia

Cálculo del nivel de esfuerzo en el acero de refuerzo bajo cargas de servicio:

$$f_{s,s} = \frac{[M_s + \varepsilon_{bi} A_f E_f (df - \frac{kd}{3})](d - kd) E_s}{A_s E_s (d - \frac{kd}{3})(d - kd) + A_f E_f (df + \frac{kd}{3})(df - kd)} \leq 0.8 F_y$$

Tabla 47: Resultados nivel de esfuerzo en acero bajo cargas de servicio

Propiedad	Cant.	Und.
$f_{s,s}$	153.26	N/mm ²
Momento de servicio de la sección M_s	155664.0	KN-mm
Deformación en el concreto al momento de colocar el refuerzo FRP ε_{bi}	0.992	
Área de refuerzo FRP A_f	720	mm ²
Módulo de elasticidad a tensión del refuerzo FRP E_f	165000	N/mm ²
Peralte efectivo df	650	mm
Peralte d	600	mm
Módulo de elasticidad a tensión del acero de refuerzo E_s	200	KN/mm ²
Coefficiente k	0.25	
$c = kd$	148	mm
Área de acero de refuerzo A_s	1140	mm ²

Fuente: Elaboración propia

Verificación del nivel de esfuerzo de acero:

$$f_{ss} \leq 0.8 f_y$$

$f_{s,s} = 0.1532 \text{ KN/mm}^2 \leq 0.3296 \text{ KN/mm}^2$, Entonces $f_{s,s} = 153.26 \text{ N/mm}^2$

Cálculo del nivel de esfuerzo en el refuerzo FRP dentro del rango elástico:

$$f_{fs} = f_{ss} \left(\frac{E_f}{E_s} \right) \frac{h - kd}{d - kd} - \varepsilon_{bi} E_f$$

Tabla 48: Resultados de nivel de esfuerzo FRP en rango elástico

Propiedad	Cant.	Und.
ff,s=	148.023	N/mm2
Esfuerzo en el acero de refuerzo bajo cargas de servicio fs,s	153.26	N/mm2
Módulo de elasticidad a tensión del refuerzo FRP Ef	165000	N/mm2
Peralte efectivo df	650	mm
Peralte d	600	mm
Módulo de elasticidad a tensión del acero de refuerzo Es	200000	N/mm2
Coficiente k	0.25	
c = kd	147.71	mm
Deformación en el concreto al momento de colocar el refuerzo FRP ε_{bi}	0.9919	
Esfuerzo último de diseño a tensión ffu	3100	N/mm2

Fuente: Elaboración propia

Verificación del nivel de esfuerzo FRP:

$$f_{fs} \leq 0.55 f_{fu}$$

$f_{f,s} = 0.14802 \text{ KN/mm}^2 \leq 1.705 \text{ KN/mm}^2$, el nivel de tensión en el acero esta dentro del límite.

Detalles del refuerzo FRP

El FRP tiene una capacidad de adherencia que se desarrolla sobre la longitud de desarrollo y se calcula:

$$I_{df} = \sqrt{\frac{n f_y t_f}{Y_t}}$$

Tabla 49: Resultados longitud de desarrollo FRP

Propiedad	Cant.	Und.
Ldf	293.96	mm
n	2	
Ef	165000	N/mm ²
tf	1.2	mm
f c	21	N/mm ²
raiz f c	4.6	

Fuente: Elaboración propia

Cálculo del momento de agrietamiento:

$$M_{Cr} = \frac{f_y I_g}{y_t}$$

Tabla 50: Momentos de agrietamiento

Propiedad	Cant.	Und.
Mcr	60020285.16	N-mm
Mcr	6120.365789	Kg-m
fr	2.84	N/mm ²
raíz f c	4.6	
Ig	6865625000	mm ⁴
Ancho b	300	mm

Altura h	650	mm
Yt	325	mm

Fuente: Elaboración propia

Resultados a tensión:

Tabla 51: Resultados a tensión viga VP-2

VIGA VP-2		
Eje -tramos	Mu máximo (tonf)	øMn con FRP (Tonf)
Eje 2/A-C	25.1799	34.2867
Eje 4/A-C	24.3517	34.2867
Eje 6/A-C	25.3533	34.2867
Eje 9/A-C	25.4537	34.2867
Eje 11/A-C	25.6719	34.2867

Fuente: Elaboración propia

b) Corte

La resistencia a la cortante del sistema FRP está basado con la orientación de la fibra y un patrón de fisura asumido.

Diseño de FRP en cortante:

$$Vn = \Phi(vc + Vs + \phi Vf)$$

Resistencia al corte a FRP:

$$Vf = \frac{A_{fv} * f_{fe} * (\sin\alpha * \cos\alpha) * d_f}{sf}$$

Área de refuerzo FRP:

$$A_{fv} = 2 * n * t_f * w_f$$

Esfuerzo efectivo del FRP:

$$f_{fe} = E_f * \varepsilon_{fe}$$

Diámetros y áreas de varilla

Tabla 52: Propiedades de varillas de refuerzo

Varilla	As(cm2)	Longitud (cm)
Ø 8mm	0.50	0.38
Ø 1/4"	0.32	0.64
Ø 3/8"	0.71	0.95
Ø 1/2"	1.27	1.27
Ø 5/8"	1.98	1.59
Ø 3/4"	2.85	1.91
Ø 1"	5.07	2.54

Fuente: Elaboración propia

Para el acero:

Resistencia nominal al cortante proporcionada por el refuerzo de cortante

$$V_s = \frac{A_v * f_y * d}{s}$$

Tabla 53: Resistencia nominal al cortante del acero de refuerzo

Propiedad	Cant.	Und.
Vs	17892	Kgf
Vs	17.89	Tonf
Área de acero de estribo Av	0.71	cm2
Resistencia de acero Fy	4200	kg/cm2
Diámetro de acero d	60	cm
Espaciamiento de estribos S	10	cm

Fuente: Elaboración propia

Resistencia nominal al cortante proporcionada por el concreto:

$$V_c = 0.53\sqrt{f_c} * b_w * d$$

Tabla 54: Resistencia nominal al cortante del concreto

Propiedad	Cant.	Und.
Vc	13824.77	Kgf
Vc	13.82	Tonf
Área de acero del concreto Av	210	Kg/cm2
Raíz f'c	14.49	cm
Base viga "bw"	30	cm
Peralte de viga "d"	60	cm

Fuente: Elaboración propia

Esfuerzo cortante nominal y cortante ultima:

$$Vn = Vc + Vs$$

$$\Phi Vn \geq Vu$$

Tabla 55: Esfuerzo cortante nominal y última

Propiedad	Cant.	Und.
Vn	31.72	Tonf
ΦVn	23.79	Tonf
Factor de reducción en cortante Φ	0.75	
Resistencia nominal al cortante proporcionada por el concreto Vc	13.82	Tonf
Resistencia nominal al cortante proporcionada por el refuerzo Vs	17.89	Tonf

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, este valor se va comparar con el resultado del ETABS para los ejes más críticos.

Tabla 56: Comparación de cortantes

VIGA VP-2

Eje -tramo	Vu cortante máximo (tonf)	ϕV_n cortante nominal
Eje 2/A-C	15.9231	23.7876
Eje 4/A-C	21.899	23.7876
Eje 6/A-C	22.5994	23.7876
Eje 9/A-C	23.2932	23.7876
Eje 11/A-C	23.6844	23.7876

Fuente: Elaboración propia

Comparando los valores y no superan al valor se concluye que la viga VP-2 de los ejes 2,4,6,9,11 no van a fallar por cortante

En conclusión, está cumpliendo con el reforzamiento de fibra de carbono.

CAPÍTULO VI: INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

6.1. Análisis e interpretación de resultados

El análisis cuantitativo realizado en la estructura seleccionada mostró que las columnas variables en forma de T tienen mayor dimensión en la dirección longitudinal, mientras que la menor dimensión se orientó en la dirección transversal. Este hecho muestra a primera impresión que la estructura posee muy poca rigidez en la dirección transversal. El análisis modal espectral realizado en el proyecto de tesis tuvo como consideraciones el uso de secciones ordinarias y una masa sísmica que tiene en cuenta el 100% del peso muerto y el 50% de las cargas gravitacionales vivas. Además, se consideró un aporte modal mínimo del 90% de masas en ambas direcciones.

Los resultados encontrados mostraron que, la rigidez lateral de la estructura seleccionada fue considerablemente menor en dirección transversal que en dirección longitudinal. De los resultados obtenidos se observó que las máximas distorsiones laterales encontradas tuvieron valores de 0.0087 y 0.0093, en direcciones X e Y, respectivamente. Este análisis cuantitativo muestra que la estructura analizada necesita de un sistema de reforzamiento en dirección transversal, o de acuerdo al modelamiento en dirección Y.

Luego de actualizar las combinaciones de cargas en los dos tipos de modelado con refuerzo respectivo usando la norma E.020 actual, se observaron en mayor medida las deformaciones horizontales, principalmente en las columnas ubicadas en cada esquina de la edificación, estas luego son las que necesitaron el encamisado y así se pudo reducir las deformaciones de entrepiso.

El análisis estático no lineal nos permitió determinar los elementos más críticos que se ven afectados debido a la acción de la carga sísmica. Este análisis nos permitió observar que las columnas ubicadas en el primer nivel, específicamente aquellas ubicadas en las esquinas del primer piso de la edificación las que se vieron más afectadas por los efectos del sismo. Estos datos permitieron determinar que elemento estructural se tiene que intervenir y seleccionar que columnas presentes en la estructura, con la finalidad de lograr un desempeño sísmico aceptable, visto desde el punto de vista de la norma peruana de diseño sísmico.

Finalmente, se estudió las propuestas de los dos tipos de sistemas de reforzamientos a emplear para la institución educativa, usando para esto el uso de fibra de carbono en vigas y el encamisado de columnas. Los resultados del refuerzo por encamisado de columnas nos indican que los desplazamientos de la estructura analizada disminuyeron notablemente. De acuerdo con los resultados de distorsiones laterales encontrados, las máximas distorsiones laterales en X alcanzaron un valor de 0.0025, mientras que en la dirección Y, estas alcanzaron un valor máximo de 0.0055. Estos valores muestran claramente que el encamisado de columnas logró incrementar de manera considerablemente la rigidez lateral de la estructura analizada.

6.2. Contrastación de hipótesis

6.2.1. Verificación de la Hipótesis general

El uso del sistema de reforzamiento con encamisado de columnas permitirá mejorar de manera sustancial el desempeño sísmico de la edificación frente a eventos sísmicos.

6.2.2. Contrastación de hipótesis general

Los resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto de investigación nos muestran que se verifica nuestra hipótesis general. En primer lugar, se ha visto que el reforzamiento de encamisado de columnas ha permitido obtener distorsiones laterales de 0.0055, cuando originalmente este valor era de 0.0087. Debido a lo expuesto, se cumple la hipótesis general planteada.

6.2.3. Verificación de la Hipótesis Especifica 1

El actual desempeño sísmico de la institución educativa N° 4460 – Cesar Cohaila Tamayo es deficiente con respecto de los requerimientos exigidos por la actual norma de diseño sísmico peruana E030 2018.

Con el cálculo de los desplazamientos laterales que es una medida de rigidez de la estructura existente de concreto armado de la institución educativa N° 4460 – Cesar Cohaila Tamayo, no cumple con lo estipulado en la norma.

6.2.4. Contrastación de la Hipótesis Especifica 1

En esta hipótesis se ha verificado claramente del análisis dinámico espectral, pues de acuerdo con los resultados encontrados la máxima distorsión lateral encontrada fue de 0.0025 en la dirección X. Este resultado contradice

directamente el criterio de rigidez exigido por la norma peruana de diseño sísmico, la que exige que las máximas distorsiones laterales sean de 0.0070. Entonces al haber obtenido estos resultados, se cumple la hipótesis específica 1.

6.2.5. Verificación de la Hipótesis Especifica 2

El sistema de reforzamiento estructural mediante encamisado de columnas cumple los parámetros de deformaciones máximas dadas en las normas técnicas RNE - NTP E.030.

6.2.6. Contrastación de la Hipótesis Especifica 2

Esta hipótesis logró verificarse con el análisis modal espectral desarrollado, ya que con el reforzamiento propuesto se encontraron distorsiones laterales de 0.0055. Estas distorsiones laterales son menores a la distorsión lateral máxima exigida por la norma peruana de diseño sísmico.

6.2.7. Verificación de la Hipótesis Especifica 03

La evaluación técnica-económica proporcionará que la alternativa más económica en un 20 % se da con el uso de encamisado de columnas como mejor alternativa de reforzamiento estructural.

6.2.8. Contrastación de la Hipótesis Especifica 3

De acuerdo con los resultados del análisis estático y dinámico, la capacidad de deformación de la estructura analizada, previa al reforzamiento, en dirección Y fue de 0.0087; mientras que después del reforzamiento, este valor disminuyó hasta 0.0055. (revisar los resultados), por lo tanto, con estos resultados, se cumple la hipótesis específica 03.

CONCLUSIONES

1. Luego de realizar el modelamiento de la institución educativa se encontraron algunas deficiencias estructurales tales, como la falta de rigidez lateral, resistencia lateral insuficiente frente a demandas sísmicas contempladas en la norma peruana E-030 2018 diseño sismorresistente.
2. Posterior al análisis dinámico se encontraron problemas de desplazamiento lateral, poca rigidez en el análisis estructural en la dirección transversal eje Y-Y, en el 1er piso la distorsión es de 0.87% que es más de 1.20 veces el límite de la norma de 0.70% para pórticos de concreto armado.
3. Luego de comparar ambas propuestas de reforzamiento, específicamente en los desplazamientos laterales, se concluyó que la mejor alternativa de reforzamiento es el encamisado de columnas
4. Al realizar el análisis de costo por partidas y realizando el presupuesto de las alternativas se encontró que la alternativa de usar encamisado de columnas sería la propuesta más económica con un costo de S/. 3 541.79 con un tiempo de ejecución de 8 días.

RECOMENDACIONES

1. Se sugiere que para nuevas investigaciones se puede proponer otros métodos de reforzamiento, los cuales podrían ser tanto para la estructura como para solo los elementos estructurales. Entre esas opciones podrían considerarse los muros de albañilería confinada o armada, platinas en muros o refuerzos de fibra de carbono y arriostres de acero en K, V.X. otra alternativa sería utilizando aisladores sísmicos o disipadores de energía.
2. Se recomienda fomentar el uso de fibra de carbono y el encamisado como sistemas de reforzamiento para realizar una reparación estructural en elementos estructurales, debido a sus grandes ventajas.
3. Se recomienda seguir por el camino de la investigación de nuevos sistemas de reforzamientos que se van dando gracias a la tecnología y que podría ofrecer nuevas alternativas de trabajo.
4. Se sugiere para futuros trabajos investigaciones, realizar estudios de refuerzo de albañilería y realizar la interacción suelo-estructura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alegre, G. (2017). Estudio de la influencia en la resistencia y ductilidad de las fibras de carbono utilizados como reforzamiento de vigas de concreto armado. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Ariza Gomez, R., Matallana Curi, A., Mora Ordoñez, C., Rebata Hilario, M., & Rupay Hospinal, R. (2020). Análisis y comparación de técnicas de reforzamiento estructural en centros educativos 780 mediante el método choosing by advantage. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Estrada Porras, F. E. (2018). Estudio comparativo de dos alternativas para la ampliación de un nivel de un módulo de aulas existentes. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Kin, S. (11 de Septiembre de 2018). *La fibra de carbono ¿El superheroe de los materiales de construcción?* Obtenido de Redshift: www.autodesk.com/redshift/es/construccion-fibra-carbono/

Manrique Siles, D. A., & Paucar Berrocal, M. D. (2019). Uso de fibra de carbono en reforzamiento de estructuras de edificaciones, Centro Empresarial Camino Real, San Isidro. Lima: Universidad Ricardo Palma.

Muñoz, A., Jurado, C., & Navarro, L. (2007). *Técnicas de reforzamiento de bajo costo para edificios escolares peruanos*. Lima: Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica.

Orozco, H. (17 de Mayo de 2013). *Reforzamiento de estructuras con fibra de carbono*. Obtenido de Sika: <https://es.slideshare.net/sikamexicana/reforzamiento-de-estructuras-con-fibra-de-carbono>

Paredes, J. P. (2014). *Desempeño sísmico de una viga reparada con fibra de carbono*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.

Tumialan, G. (2014). Nueva norma para la evaluación, reparación y rehabilitación de edificaciones de concreto. Lima: Editorial Norma.

Villagrán, E., Vera, C., & Posada, A. E. (15 de Julio de 2004). *Modelo de esfuerzo-deformación para elementos de concreto reforzado que cumple con las hipótesis de las NTC RCDF*. Obtenido de Scielo: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-30211

Villanueva Llaurado, P. (2017). Influencia de las condiciones de ejecución en la resistencia de anclajes de fibra de carbono para refuerzos en estructuras de hormigón. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS
General	General	General
¿Qué mejoras en el desempeño estructural se lograrán en la institución educativa ante el uso de 2 tipos de refuerzo estructural?	Realizar el análisis comparativo de 2 tipos de refuerzos estructurales para la institución educativa. “N°4460 - Cesar Cohaila Tamayo” en el departamento de Tacna	Al realizar el análisis comparativo se obtendrá como mejor alternativa de reforzamiento estructural el encamisado de columnas.
Específicos	Específicos	Específicos
¿Cuáles serían las diferencias más notables entre los 2 tipos de refuerzo estructural?	Modelar el comportamiento sísmico de ambos refuerzos estructurales con el software ETABS	El modelamiento del comportamiento estructural es deficiente con respecto a los requerimientos exigidos por las normas técnicas actuales.
¿Qué tipo de refuerzo estructural será el más conveniente?	Evaluar el comportamiento sísmico de la adición de fibras de carbono a vigas y el encamisado de columnas para el edificio escolar en análisis, de acuerdo a los lineamientos del RNE – NTP E.020, E.030 y NTP E.090	El sistema de reforzamiento estructural propuesto para la institución educativa cumple los parámetros dados en las normas técnicas RNE – NTP E.020, E.030 y NTP E.090
¿En qué porcentaje mitigarían las fallas estructurales estos 2 tipos de refuerzo?	Realizar la valoración técnico económico de la estructura con ambos tipos de refuerzos	La evaluación técnica-económica proporcionará que la alternativa más económica en un 20% se da en el uso de encamisado de columnas como mejor alternativa de reforzamiento estructural

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2: Matriz de variables

V. Independiente	Definición conceptual	Indicador	Instrumentos
Fibra de carbono	El FRP es un material compuesto no metálico de tipo polimérico, integrado por una matriz de resina epóxica (transmite esfuerzo entre fibras) en combinación con fibras de carbono (aportan rigidez) cuya materia prima es el PAN (poliancrlonitrilo) (Rosero, L.,2013)	Ubicación de los refuerzos, características de la fibra de carbono, impacto técnico económico.	Ficha técnica, programa ETABS
Encamisado de columnas	El encamisado de columnas es un método de refuerzo bastante usado cuando se requiere aumentar el área de sección transversal de las columnas.	Ubicación de los refuerzos, características del encamisado de columnas, impacto técnico económico.	Ficha técnica, programa ETABS
V. Dependiente	Definición conceptual	Instrumentos	
La Institución educativa	La Institución educativa es una organización que impulsa la enseñanza-aprendizaje. Por tanto, buscan dar un servicio que brinde el cumplimiento de estas necesidades a la sociedad que lo solicita. (Martinez, 2012)	Planos, memorias expediente técnico	

Fuente: Elaboración propia

Anexo 3: Cronograma de actividades

ACTIVIDADES	May-21	Jun-21	Jul-21	Aug-21	Sep-21	Oct-21	Nov-21
Proyecto de Tesis							
Definir el tema y título de la investigación	■	■					
Búsqueda de material bibliográfico		■	■	■			
Antecedentes y formulación del problema			■	■			
Elaboración de las Bases Teóricas			■	■			
Justificación e hipótesis				■	■		
Diseño de la investigación					■	■	
Presentación y aprobación del plan de tesis					■	■	
Desarrollo de Tesis							
Revisión de Expediente Técnico				■			
Revisión de Planos				■			
Modelado de la estructura seleccionada				■	■		
Evaluación de los resultados				■	■		
Propuesta n°1 de reforzamiento					■	■	
Modelado de la propuesta n°1 de reforzamiento					■	■	
Evaluación de los resultados					■	■	
Propuesta n°2 de reforzamiento						■	■
Modelado de la propuesta n°2 de reforzamiento						■	■
Evaluación de los resultados						■	■
Análisis de ambos refuerzos						■	■
Resultados del análisis						■	■
Revisión y consultas							■
Presentación y sustentación de la Tesis							■

Fuente: Elaboración propia