

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO PARA LA TOMA DE DECISIÓN
ENTRE EL REFORZAMIENTO DE LA ESTRUCTURA ACTUAL O
UNA NUEVA CONSTRUCCIÓN DE UN CENTRO EDUCATIVO**

Trabajo de investigación para la obtención del grado académico de BACHILLER EN
CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA CIVIL

AUTORES

Renzo Didier Galvez Carrión
Rocio Amparo Portal Melendrez
Enrique Martin Solano Osorio
Francis Alfredo Meza Pantoja
Mijahil Pinares Luna

ASESOR:

Robinson Ucañan Diaz

Lima, Julio, 2020

RESUMEN

El presente trabajo de investigación busca mostrar las deficiencias estructurales que se pueden presentar en edificios educativos antiguos. Así, el objetivo principal es ayudar en la toma de decisión entre dos opciones para resolver dichas deficiencias estructurales: Llevar a cabo un programa de reforzamiento y rehabilitación estructural, o realizar la demolición y construcción de un nuevo bloque de aulas. Para ello, la investigación utiliza como herramienta la evaluación técnica y económica de ambas alternativas. Esta se aplica al caso práctico de un pabellón de aulas del Instituto Superior Tecnológico Público Carlos Cueto Fernandini de la ciudad de Lima con más de 50 años de construido. En el presente trabajo se desarrolla la metodología que se emplea para una evaluación de estructuras existentes de concreto armado, incluyendo los principales ensayos que se suelen realizar en la estructura, así como las técnicas más comunes y económicas de reforzamiento estructural disponibles. Luego, se detalla la evaluación estructural efectuada, donde se indica las principales deficiencias estructurales de la edificación, y se calcula el costo de los ensayos que se realizarán. Después, se plantea un programa preliminar de rehabilitación de la estructura en función de las deficiencias encontradas, de modo que la estructura renovada cumpla con las exigencias mínimas de las normas actuales; de este modo, se obtiene un estimado rápido de los costos que este programa implicaría. Seguidamente, se estima mediante ratios de un proyecto similar, los costos que generaría la alternativa de demolición y construcción de un nuevo pabellón que reemplace al existente. Finalmente, comparando los costos de las dos alternativas en estudio, se puede concluir que la opción de reforzamiento y rehabilitación es la más conveniente.

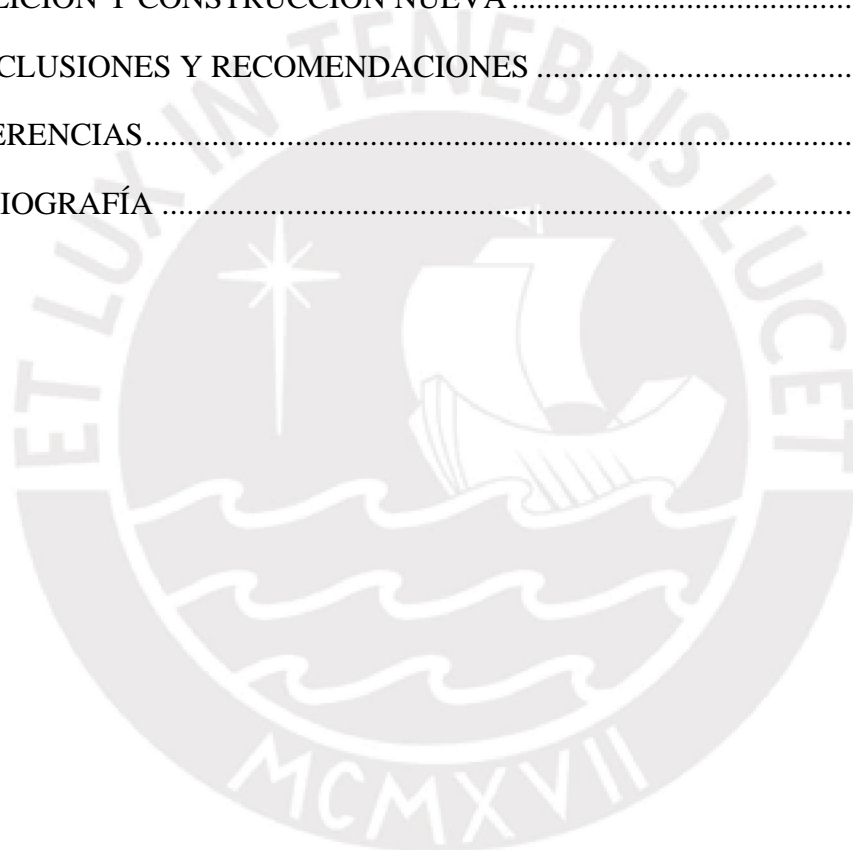
ÍNDICE GENERAL

1.	GENERALIDADES.....	1
1.1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.2.	JUSTIFICACIÓN.....	1
1.3.	ALCANCE.....	2
1.4.	OBJETIVOS.....	3
1.5.	METODOLOGÍA.....	3
2.	REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	3
2.1.	METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN E INTERVENCIÓN EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO.....	4
2.2.	ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y DESTRUCTIVOS.....	5
2.2.1.	Ensayos no destructivos.....	5
2.2.2.	Ensayos destructivos.....	7
2.3.	TÉCNICAS DE REFORZAMIENTO.....	9
2.3.1.	Reforzamiento en columnas.....	9
2.3.2.	Reforzamiento de vigas.....	11
2.3.3.	Refuerzo para evitar columna corta.....	12
3.	EVALUACIÓN ESTRUCTURAL.....	13
3.1.	EVALUACIÓN PRELIMINAR.....	13
3.1.1.	SISTEMA ESTRUCTURAL.....	13
3.1.2.	ESTADO DE FISURACIÓN A NIVEL ESTRUCTURAL.....	15
3.1.3.	ENSAYOS A REALIZAR Y ANÁLISIS DE COSTOS.....	19
3.2.	REPARACIÓN Y/O REFUERZO ESTRUCTURAL.....	20
3.2.1.	CONDICIÓN ESTRUCTURAL DE LA ESTRUCTURA EXISTENTE.....	20
3.2.2.	PROPUESTA PRELIMINAR DE REPARACIÓN Y/O REFUERZO ESTRUCTURAL.....	23

3.2.3. ANÁLISIS DE COSTOS DE LA PROPUESTA DE REFORZAMIENTO

28

4. PROYECTO DE DEMOLICIÓN Y CONSTRUCCIÓN NUEVA.....	33
4.1. ANÁLISIS DE COSTOS DE DEMOLICIÓN.....	34
4.2. ANÁLISIS DE COSTOS DE CONSTRUCCIÓN NUEVA.....	35
4.3. EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN CON EL COSTO DE REFORZAMIENTO.....	36
4.4. JUSTIFICACIÓN DE ELECCIÓN ENTRE REFORZAMIENTO O DEMOLICIÓN Y CONSTRUCCIÓN NUEVA.....	37
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	37
6. REFERENCIAS.....	38
7. BIBLIOGRAFÍA	39



ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 2.1 Diagrama de flujo de la metodología de evaluación e intervención en estructuras de concreto armado (Pasquel y Navarro, 2019).....	5
Imagen 2.2 Ensayo de velocidad de pulso de ultrasonido. (Helal et al, 2015).....	6
Imagen 2.3 Ensayo del número de rebote en concreto (Helal et al, 2015)	6
Imagen 2.4 Extracción de núcleos de concreto de una columna (Dámazo, 2006)	7
Imagen 2.5 Prueba de carbonatación en un núcleo de concreto (Tomado de: https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/carbonatacion-del-concreto-como-detectarla)	8
Imagen 2.6 Ensayo de tracción de varilla de acero. (Tomado de: https://www.zwickroell.com/en/metals/long-products/profile).....	8
Imagen 2.7 Encamisado de columnas (Belizario, 2017).....	10
Imagen 2.8 Encamisado de columnas y vigas en obra (La Torre, 2019).....	10
Imagen 2.9 Colocación de manta de fibra de carbono en una columna (Tantaleán, 2013)	11
Imagen 2.10 Encamisado de vigas de concreto (Belizario, 2017).....	11
Imagen 2.11 Encamisado de vigas en obra (Vivanco, 2018)	12
Imagen 2.12 Fuerzas cortantes y momentos en columna cautiva (Muñoz, 2019).....	12
Imagen 2.13 Junta para separar columna de tabiquería (Muñoz, 2019)	13
Imagen 3.1 Esquema de la distribución de pabellones en el instituto Carlos Cueto Fernandini.....	13
Imagen 3.2 Esquema en planta del pabellón de análisis	14
Imagen 3.3 Ubicación de las columnas que presentan corrosión en el primer piso	15
Imagen 3.4 Fisuras presentes en la base de las columnas ubicadas en el eje A.	16
Imagen 3.5 Fisuras presentes en la base de las columnas ubicadas en el eje E.....	16
Imagen 3.6 En verde se señala las vigas con fisuras longitudinales y en azul la viga con acero corroído expuesto	17
Imagen 3.7 Viga del eje A con fisuras longitudinales	17
Imagen 3.8 Viga del eje 3 con acero corroído debido a un bajo recubrimiento.....	18
Imagen 3.9 Ubicación de losa nervada con corrosión del refuerzo	18

Imagen 3.10 Acero corroído y expuesto en losa nervada del voladizo 19

Imagen 3.11 Esquema en elevación del eje A del instituto Carlos Cueto Fernandini 21

Imagen 3.12 Leyenda que describe las diferentes componentes de la propuesta preliminar de rehabilitación estructural 27

Imagen 3.13 Esquema de ubicación de las componentes de la propuesta de rehabilitación estructural 27



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Costos unitarios promedio de los diferentes ensayos	20
Tabla 3.2 Resumen de cantidad y costo final de los ensayos a realizar.....	20
Tabla 3.3 Parámetros sísmicos y valor de la cortante basal para la estructura.....	24
Tabla 3.4 Resumen del metrado de la propuesta de rehabilitación de la estructura	28
Tabla 3.5 Análisis de precio unitario de encamisado de viga	28
Tabla 3.6 Análisis de precio unitario de encamisado de columna.....	29
Tabla 3.7 Análisis de precio unitario de construcción de muro	30
Tabla 3.8 Análisis de precio unitario de reconstrucción de columna	31
Tabla 3.9 Análisis de precio unitario de reconstrucción de viga.....	32
Tabla 3.10 Resumen de presupuesto de la propuesta de rehabilitación estructural.....	33
Tabla 4.1 Análisis de precio unitario de demolición de estructuras existentes	34
Tabla 4.2 Ratios de las partidas consideradas	35
Tabla 4.3 Presupuesto estimado para la demolición y construcción del nuevo bloque de aulas	36

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1. GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

La educación es el factor más importante en cualquier país debido a que influye en el desarrollo y el progreso económico de una nación. Además, beneficia a cada ciudadano, debido a que le proporciona un enriquecimiento personal, mejora su calidad de vida, crea una sociedad más segura para ellos, aumenta las oportunidades de empleo, entre otros. El Perú, por ello, invierte en mejorar la educación de los ciudadanos; sin embargo, hay muchas dificultades que impiden lograr ese objetivo. Una de esas tantas adversidades es el mismo recinto de estudio donde se alberga a los estudiantes de nuestra nación, puesto que en la mayoría de casos se encuentra en un estado deplorable lo que puede causar la pérdida de vidas humanas debido a los deterioros estructurales que se presentan.

Según Idel Vexler Talledo (2004), ex Ministro de Educación, en el 2003, el Perú contaba con pocos locales educativos en buen estado. Además, el 13% de los locales; es decir; un total de 5517, se encontraban en un estado de colapso estructural, lo cual pone en riesgo las vidas de aproximadamente 650 000 estudiantes. Para realizar una reparación estructural de todos estos recintos se necesita una inversión de alrededor de 282 millones de soles.

Actualmente, tanto las cifras de inversión en cuanto a reparación de colegios se han incrementado, pero sigue existiendo este peligro y la dificultad para gran parte del alumnado del país. Por ello, en la presente investigación, se realiza un análisis técnico – económico de una edificación educativa, en este caso el edificio del Instituto Superior Tecnológico Público Carlos Cueto Fernandini, con el cual se podrá decidir si es mejor realizar solo reparaciones y reforzamiento, o si es mejor construir de nuevo el centro de estudio.

1.2. JUSTIFICACIÓN

El Perú es un país ubicado en el cinturón de fuego del Océano Pacífico, zona en la cual se genera mucha actividad sísmica; por esta razón, el Estado peruano cuenta con una normativa para el diseño de estructuras en el país. La Norma Técnica de Diseño Sismorresistente E.030 (2018), indica que los centros educativos pertenecen a la categoría de edificaciones esenciales, los cuales se utilizarían como refugio en casos de emergencia

a causa de algún tipo de desastre. Por ello, el análisis técnico – económico para rehabilitar o reconstruir un centro educativo deteriorado es importante, debido a que permitirá mejorar el espacio educativo para que pueda cumplir su función adecuadamente.

Por lo expuesto, es necesario realizar investigaciones que ayuden a solucionar las distintas deficiencias estructurales que se pueden presentar en una edificación de uso tan importante. Desarrollar estudios relacionados a estos temas fomenta conocer la problemática de la infraestructura educativa y cómo dar una probable solución técnica y económica que ayude a tomar la mejor decisión. Además, el Estado puede tomar este tipo de estudios como guía para realizar las mejoras necesarias a los distintos recintos educativos.

1.3. ALCANCE

El trabajo de investigación se limita a estudiar un bloque de aulas del Instituto Superior Tecnológico Público Carlos Cueto Fernandini, ubicado en la Av. Túpac Amaru Km 8.5 en el distrito de Comas; para el que se realizará un análisis técnico de la opción de reforzar estructuralmente la edificación en función de la evaluación de la condición actual del instituto. También, se realizará la comparación económica de esta opción con la opción de construir un nuevo bloque en el mismo lugar considerando los costos que permitan que en ambas alternativas se tenga la edificación lista para ser utilizada.

El trabajo de investigación abarca tres actividades principales. La primera de ellas es la evaluación estructural de un bloque de aulas para encontrar las deficiencias estructurales que presentan. Para esta evaluación se propondrá una cantidad determinada de ensayos destructivos y no destructivos para verificar el estado en el que se encuentran estos espacios de educación. Todos los costos incluyendo el de los estudios se utilizará para el posterior análisis económico.

La segunda actividad es proponer un proyecto preliminar de reforzamiento y rehabilitación estructural del bloque de aulas, conociendo los resultados de la evaluación estructural previa. Como parte del proyecto, se plantean las técnicas de reforzamiento más adecuadas y se estima el costo de estas para realizar la comparación económica.

La tercera actividad es el estudio de la posibilidad de demoler el bloque de aulas estudiado y construir uno nuevo en su lugar, teniendo en cuenta los gastos que se producirían en estas etapas. Así, se podrá comparar económicamente esta opción con la del

reforzamiento y elegir la alternativa más óptima, teniendo en cuenta que se cumpla con la normativa vigente y que los costos sean los menores.

1.4. OBJETIVOS

El objetivo general del proyecto de investigación es ayudar en la toma de decisión entre la opción de reforzar o realizar una nueva construcción de un bloque de aulas del Instituto Superior Tecnológico Público Carlos Cueto Fernandini, utilizando como herramienta una evaluación técnica y económica de ambas opciones.

Asimismo, se plantean los siguientes objetivos específicos que permitirán alcanzar el objetivo general:

- Realizar una búsqueda de las fallas estructurales que se presentan en el bloque de aulas, ubicarlas y realizar las evaluaciones necesarias para determinar cuál es la mejor solución de reforzamiento que se le puede aplicar a los elementos estructurales y que cumplan con la normativa vigente.
- Plantear una propuesta de rehabilitación de la estructura y efectuar un análisis económico de los costos de las reparaciones, los ensayos de laboratorio y demás modificaciones estructurales que se consideren.
- Analizar los costos de efectuar la demolición y la construcción de un nuevo bloque de aulas en el mismo emplazamiento.

1.5. METODOLOGÍA

El tipo de investigación que se pretende realizar es de tipo descriptivo debido a que se presenta y se describe las fallas estructurales que se presentan en el instituto educativo. Además, se detallan los procesos que conllevan la evaluación estructural y el reforzamiento estructural. Después de obtener los resultados de la evaluación estructural se procede a la solución del reforzamiento, eligiendo un método conveniente para la reparación de los elementos estructurales dañados, obteniendo el costo total del trabajo a realizar. Por otro lado se estudia la posibilidad de la demolición de la estructura y la construcción de una nueva infraestructura en el emplazamiento, consiguiendo de igual manera el valor total del proyecto, para luego tomar una decisión acertada con respecto al aspecto técnico y económico entre reforzar o construir.

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN E INTERVENCIÓN EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO

La metodología que se sigue para evaluar e intervenir estructuras existentes de concreto armado es un proceso que incluye diferentes actividades necesarias para identificar y entender las patologías que se presentan en la estructura, y así proponer soluciones adecuadas de reforzamiento, rehabilitación o reconstrucción. Si bien no existe un reglamento nacional que norme este tipo de trabajos, se puede utilizar como guía algunas normas internacionales como la elaborada en el Comité 562 del American Concrete Institute. El código ACI 562M (2013) plantea requerimientos mínimos para la evaluación, reparación y rehabilitación de construcciones de concreto, además; detalla que es responsabilidad del profesional a cargo realizar la evaluación, diseño, y detallado de las especificaciones de construcción, entre otros.

En general, como indica el ingeniero Gustavo Tumialan (2014), el procedimiento inicia con una investigación de la estructura mediante la observación de los planos y especificaciones técnicas originales del proyecto, así como mediante pruebas de campo y laboratorio. Esto con el objetivo de determinar la condición actual de la estructura, luego se obtiene un diagnóstico de los problemas en la estructura con el fin de determinar sus causas. Así, se puede elegir las alternativas de solución de dichos problemas y plantear un programa de intervención en la estructura. Finalmente, se debe detallar los documentos que permitan la adecuada ejecución y supervisión de los trabajos correctivos. También, se debe incluir un plan de mantenimiento de la estructura rehabilitada para asegurar su tiempo de vida útil.

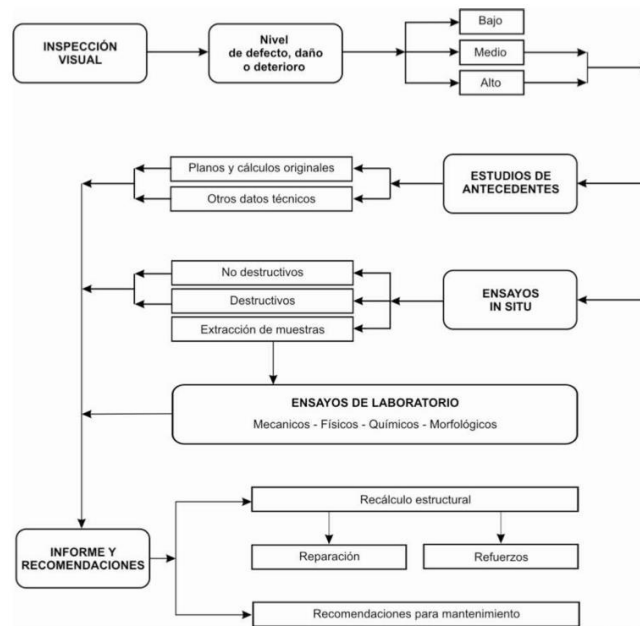


Imagen 2.1 Diagrama de flujo de la metodología de evaluación e intervención en estructuras de concreto armado (Pasquel y Navarro, 2019)

2.2. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y DESTRUCTIVOS

Estos ensayos se realizan para conocer las propiedades mecánicas de los materiales cuando no se cuenta con información preliminar suficiente. En las estructuras de concreto armado es importante conocer la resistencia a compresión del concreto y para ello se suele emplear ensayos destructivos y no destructivos. Estos últimos se caracterizan por un mínimo grado de afectación a la estructura y suelen servir de apoyo a los ensayos destructivos. Además, los resultados obtenidos de ensayos no destructivos no deben considerarse a menos de que se haya elaborado una correcta correlación con los resultados del ensayo destructivo de extracción de núcleos (ACI, 2013). A continuación, se detalla algunos de los ensayos más comunes que se realizan.

2.2.1. Ensayos no destructivos

2.2.1.1. Método de velocidad de transmisión de pulso de ultrasonido

Este ensayo consiste en medir la velocidad de propagación de una onda de ultrasonido a través del elemento de concreto en cuestión. Así, permite conocer propiedades elásticas y de densidad del material; también, permite describir la homogeneidad del material; para identificar posibles vacíos y la ubicación del refuerzo (Helal et al., 2015). El procedimiento estándar de este ensayo se especifica en la norma ASTM C597 y es utilizado para identificar zonas de concreto libre de refuerzo donde se puede realizar la

extracción de núcleos. Además, es cada vez más común en laboratorios del país, como el Laboratorio de Estructuras de la Pontificia Universidad Católica del Perú.



Imagen 2.2 Ensayo de velocidad de pulso de ultrasonido. (Helal et al, 2015)

2.2.1.2. Método del número de rebote en concreto endurecido

Este método utiliza un martillo metálico, conocido como Martillo Schmidt, que se impacta contra una superficie de concreto y registra un número de rebote que puede ser utilizado para estimar la resistencia del concreto, siempre que se haya realizado una correlación empírica entre el número de rebote y la resistencia a compresión conocida del concreto (Helal et al., 2015). Este ensayo no destructivo está especificado en la norma ASTM C805 y es útil para identificar la uniformidad del concreto, así como para identificar zonas para realizar otros ensayos como la extracción de núcleos diamantinos (Dámazo, 2006).



Imagen 2.3 Ensayo del número de rebote en concreto (Helal et al, 2015)

2.2.2. Ensayos destructivos

2.2.2.1. Método de extracción y ensayo de núcleos diamantinos

Este método es útil en estructuras existentes donde se requiere conocer la resistencia a compresión del concreto como es el caso de estructuras antiguas, ya que es necesario tener mayor información sobre las condiciones del concreto colocado (ICCG, 2019). Las condiciones generales para la extracción, así como el ensayo de compresión que se realiza a las muestras diamantinas y otras se encuentran indicadas en la norma ASTM C42. Así, para realizar la extracción de los núcleos se debe tener bastantes consideraciones y para ello, son útiles los ensayos no destructivos como los descritos anteriormente.



Imagen 2.4 Extracción de núcleos de concreto de una columna (Dámazo, 2006)

La extracción de núcleos, además de la resistencia del concreto, permite realizar otros ensayos adicionales para identificar diferentes patologías que puedan haber afectado la durabilidad del concreto en su vida útil. Por ejemplo, se puede determinar la humedad del concreto, la adherencia que tiene con el acero de refuerzo, la carbonatación que ha sufrido, la corrosión o la permeabilidad (Dámazo, 2006).



Imagen 2.5 Prueba de carbonatación en un núcleo de concreto (Tomado de: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/carbonatacion-del-concreto-como-detectarla>)

2.2.2.2. Ensayo de tracción del acero de refuerzo

Del mismo modo que el concreto, es necesario conocer las características del acero de refuerzo como su resistencia última y la fluencia. En estructuras antiguas, las características del refuerzo difieren de las características actuales del acero; así, la fluencia del acero solía ser de 2400 kg/cm² y en muchos casos no poseían corrugaciones. El Código ACI 562 (2013) indica que las propiedades del refuerzo se pueden asumir en función de una tabla de valores históricos convencionales que proporciona el mismo código. Sin embargo, se puede extraer una muestra del acero que se encuentra en la edificación existente y mediante el ensayo de tracción, según ASTM A370, se puede conocer las propiedades mecánicas del refuerzo.

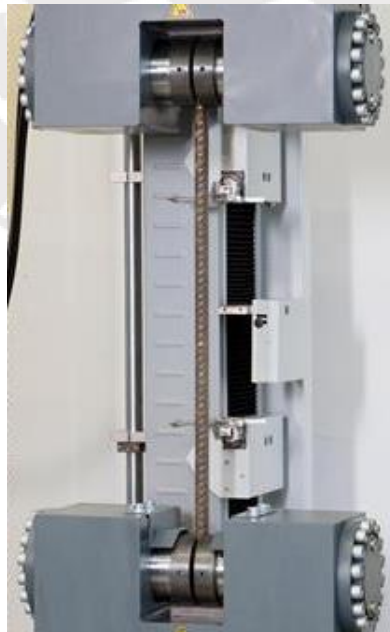


Imagen 2.6 Ensayo de tracción de varilla de acero. (Tomado de: <https://www.zwickroell.com/en/metals/long-products/profile>)

2.3. TÉCNICAS DE REFORZAMIENTO

Los elementos estructurales, con el paso del tiempo, pierden las propiedades de resistencia, rigidez y capacidad de deformación lateral que poseían al inicio de su vida útil. Según Luis Rosero (2013), existen diversas razones para que una estructura se refuerce; por ejemplo, el cambio de uso en la edificación, lo cual aumentaría las cargas iniciales de diseño; asentamientos diferenciales que pueden producir fallas en las cimentaciones; errores en la construcción o en el diseño; problemas por la degradación de los materiales que puede ser causado por el paso del tiempo o por agentes climáticos; entre otros. El reforzamiento, según Emma Soto (2008), se define como un proceso que tiene como objetivo incrementar la capacidad de la estructura añadiendo nuevos elementos. En este proceso se desea mejorar las características originales; es decir, se intenta recuperar la funcionalidad estructural que tenía el elemento afectado al momento inicial de su vida útil. De esta manera, se busca que la edificación resista según lo indicado por las normas actuales adecuadamente ante la ocurrencia de algún sismo. A continuación, se detalla algunos tipos de reforzamiento comunes.

2.3.1. Reforzamiento en columnas

2.3.1.1. Refuerzo de columna mediante encamisado

Esta técnica de reforzamiento de columna se basa en aumentar el área de una columna existente y aumentar la cuantía de refuerzo que ha sido afectado por algún factor, su capacidad original. Según Eduardo Raigosa (2010), utilizar este tipo de técnica es favorable porque la arquitectura no se ve afectada; además, ayuda a distribuir las cargas hacia el cimiento. Guillermo La Torre (2019) afirma que este tipo de refuerzo mejora las características del elemento a enfrentar altas temperaturas a causa de incendios, esto es debido al que el concreto tiene una baja conductividad térmica. Sin embargo, Christian Belizario (2017), recalca que esta técnica presenta algunas desventajas que se mencionarán a continuación: problemas de construcción e instalación, interrupción del funcionamiento de la edificación al momento de realizar este proceso e incremento del peso de la estructura.

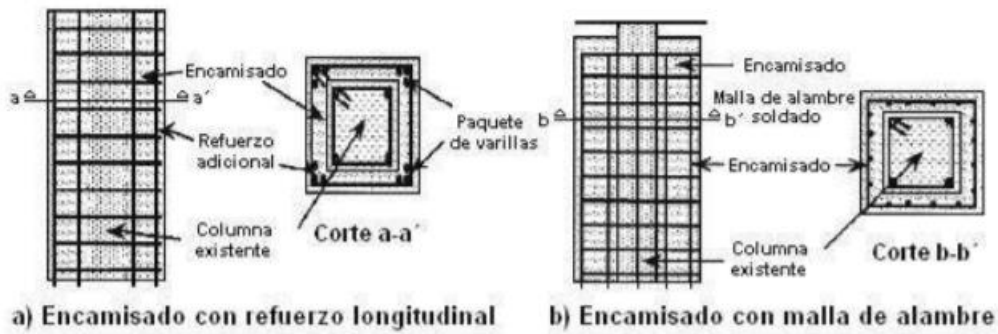


Imagen 2.7 Encamisado de columnas (Belizario, 2017)

Eduardo Raigosa Tuk (2010), explica que para realizar el encamisado de la columna se debe ejecutar un análisis con la resistencia actual de la columna. Luego, quitar el recubrimiento y todo el concreto defectuoso. Seguidamente, se debe perforar en la base del cimiento y en las vigas unos 10 a 15 cm, o lo requerido para anclar las varillas de refuerzo vertical. Después, se aplica en las caras limpias del concreto antiguo un epóxico para que mejore la adherencia con el nuevo concreto. Finalmente, se prepara el encofrado y se vacía la mezcla de concreto que debe tener una resistencia mayor a $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$.

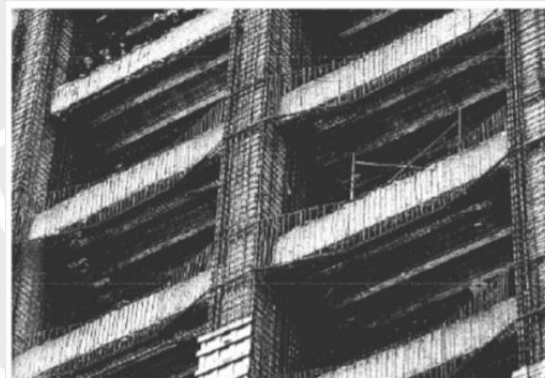


Imagen 2.8 Encamisado de columnas y vigas en obra (La Torre, 2019)

2.3.1.2. Refuerzo de columnas mediante fibra de carbono

Este tipo de reforzamiento se basa en envolver la columna con una malla de fibra de carbono (polímero que es resultado de realizar ciclos de calentamiento y enfriamiento del poliacrilonitrilo), la cual se empapa del sistema adhesivo epóxico para adherirla a la superficie del elemento de concreto. Realizar este tipo de procedimientos a la perfección asegura una capa externa de reforzamiento que mejora la resistencia del elemento para soportar las cargas y previene las deflexiones (Tantaleán, 2013).



Imagen 2.9 Colocación de manta de fibra de carbono en una columna (Tantaleán, 2013)

2.3.2. Reforzamiento de vigas

2.3.2.1. Reforzamiento de vigas peraltadas mediante encamisado

Las vigas, como elemento estructural de concreto, pueden sufrir, así como las columnas, deterioros por distintos factores como el clima de la zona, algún movimiento sísmico, etc. Esto puede causar que exista cambios en su capacidad resistente, el encamisado de una viga, según Gladys Vivanco (2018), tiene diversos propósitos como la de brindar continuidad al encamisado de las columnas, aumentar la rigidez y la resistencia al elemento dotándolo de una mayor armadura para flexión y cortante de la que poseía al comienzo. Además, en toda la longitud de la viga, se debe extender el encamisado y el refuerzo longitudinal para asegurar un adecuado reforzamiento (Belizario, 2017).

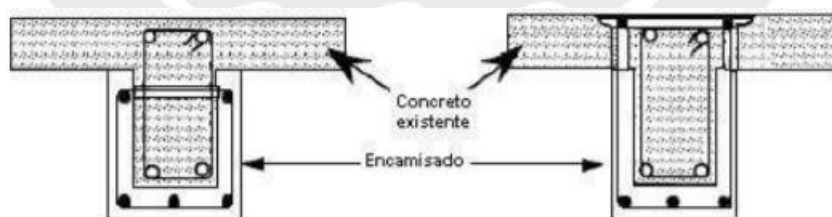


Imagen 2.10 Encamisado de vigas de concreto (Belizario, 2017)

Para realizar esta tarea se debe realizar una secuencia de pasos. En primer lugar, se debe apuntalar las losas y la viga; luego, se debe sacar el recubrimiento hasta encontrar las barras de acero. A continuación, se debe perforar las vigas en donde se van a anclar las barras; después de ello, se limpia la zona y se inserta las nuevas barras y estribos. Finalmente, se coloca el encofrado y se vacía el concreto (Belizario, 2017).



Imagen 2.11 Encamisado de vigas en obra (Vivanco, 2018)

2.3.3. Refuerzo para evitar columna corta

La columna cautiva o columna corta es un fenómeno causado por la modificación que tiene este elemento debido a otros elementos no estructurales que restringen su capacidad de deformarse lateralmente cuando es sometida a fuerzas horizontales. Este tipo de efecto causa serias fallas bajo sollicitaciones sísmicas y presenta un mecanismo de falla frágil (García y Guevara, s/f). Según Alejandro Muñoz (2019), en una columna corta, las demandas de cortante son mucho mayores que las de flexión, lo cual causa que la columna entre al rango inelástico por estas fuerzas.

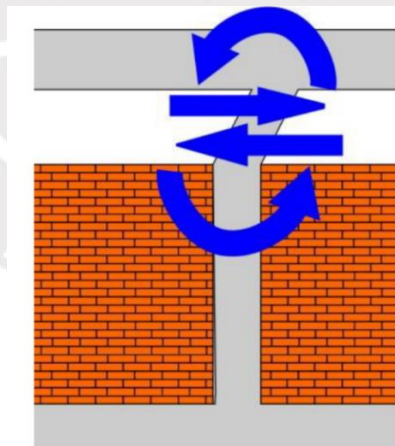


Imagen 2.12 Fuerzas cortantes y momentos en columna cautiva (Muñoz, 2019)

Existen diversos métodos para poder resolver este tipo efecto de columna corta. En el estudio del ingeniero San Bartolomé (2000), se sugieren dos tipos de soluciones. Por un lado, se puede realizar un reforzamiento de la columna cautiva por medio de un aumento de sección del elemento de concreto armado. Para ello, se debe cubrir el concreto

existente con una resina epóxica; además, de colocar las varillas necesarias en la columna y viga, así como un encamisado de columna. Este tipo de solución es muy económica, sencilla y rápida. Por otro lado, otro tipo de solución sería separar los alfeizares de los muros de las columnas, para evitar el confinamiento que produce este fenómeno; sin embargo, para ello, se debe cumplir algunos requerimientos. Primero, se debe dejar una junta con el suficiente espaciamiento para que no haya interacción entre el elemento estructural y el que produce el confinamiento. Luego, la columna debe ser diseñada para que falle por flexión y no por corte ante la eventualidad de un sismo muy severo.

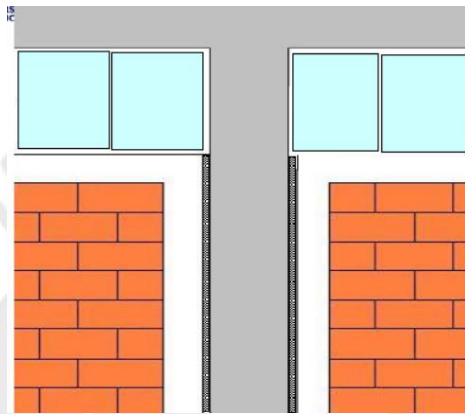


Imagen 2.13 Junta para separar columna de tabiquería (Muñoz, 2019)

3. EVALUACIÓN ESTRUCTURAL

3.1. EVALUACIÓN PRELIMINAR

3.1.1. SISTEMA ESTRUCTURAL

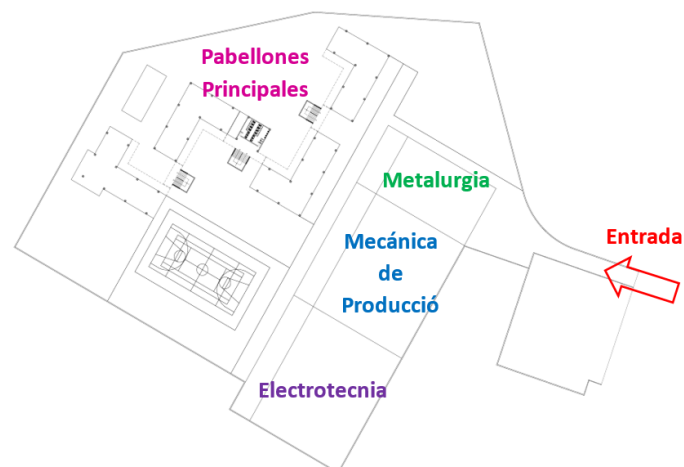


Imagen 3.1 Esquema de la distribución de pabellones en el instituto Carlos Cueto Fernandini

Los “pabellones principales” poseen tres pisos y están conformado por losas nervadas, vigas peraltadas, columnas y muros de albañilería. Dichos pabellones se dividen en tres estructuras principales en forma de “L” y están integrados con estructuras secundarias conformadas por placas, escaleras y pasadizos con losas nervadas.

Para el presente trabajo de investigación, nos enfocaremos en uno de los pabellones principales (en forma de L). Este pabellón está ubicado frente al taller de Metalurgia, el más cercano al límite de propiedad del instituto.

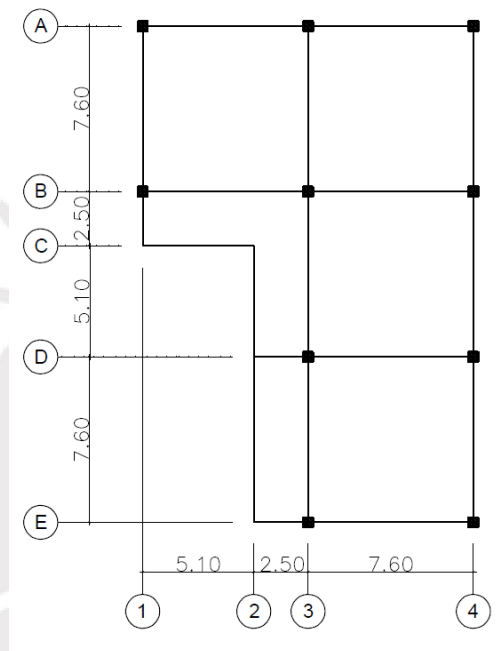


Imagen 3.2 Esquema en planta del pabellón de análisis

Este pabellón presenta una geometría irregular (no simétrica) y podría presentar, según la Norma Técnica E.030 de Diseño Sismorresistente, una irregularidad torsional en planta. Frente a un sismo, esta irregularidad induce esfuerzos torsionales a la estructura que puede provocar algún daño en la estructura si no se tiene en consideración en el diseño inicial. Los sismos devastadores ocurridos a lo largo de la historia corroboran que las estructuras irregulares sufren mayor daño respecto a las estructuras regulares (Wakchaure, 2012).

El pabellón está compuesto por pórticos en ambas direcciones, conformado por columnas y vigas. También posee losas nervadas y una losa en voladizo que conforma el pasaje de acceso a los salones en los niveles dos y tres. Esta losa en voladizo está sostenida por una viga de borde.

3.1.2. ESTADO DE FISURACIÓN A NIVEL ESTRUCTURAL

A continuación, se realizará un mapeo de las fisuras presentes en algunos elementos estructurales y se analizará el estado de carbonatación del concreto mediante la observación del grado de corrosión presente.

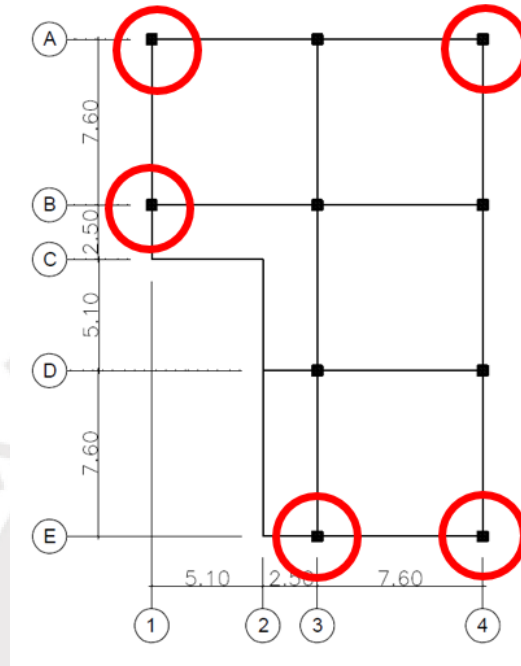


Imagen 3.3 Ubicación de las columnas que presentan corrosión en el primer piso

En la figura anterior se muestra las cinco columnas que presentan fisuras importantes debido a que la carbonatación trajo como consecuencia la corrosión en los aceros de refuerzo. El óxido producto de la corrosión incrementa el volumen del acero entre 2 a 4 veces el volumen original. Esto origina esfuerzos de tracción en el concreto que genera la aparición de fisuras en el concreto, puesto que el concreto resiste en tracción alrededor del 10% de lo que resiste en compresión. A continuación, se muestra algunas fotografías de estas columnas.



Imagen 3.4 Fisuras presentes en la base de las columnas ubicadas en el eje A.



Imagen 3.5 Fisuras presentes en la base de las columnas ubicadas en el eje E

Por otro lado, las vigas de los pisos 2 y 3 ubicados en los ejes A y 4 presentan fisuras paralelas en su longitud (señalado en verde en la imagen). La viga del piso 2 (señalado en azul en la imagen) presenta acero de refuerzo expuesto y corroído debido a que hay un recubrimiento muy pobre, de solo 1cm; así que la carbonatación y la posterior corrosión del acero hicieron que el concreto se desprenda. La norma E.060 indica que en vigas el recubrimiento debe ser de al menos 4cm (Norma E.060, 2009).

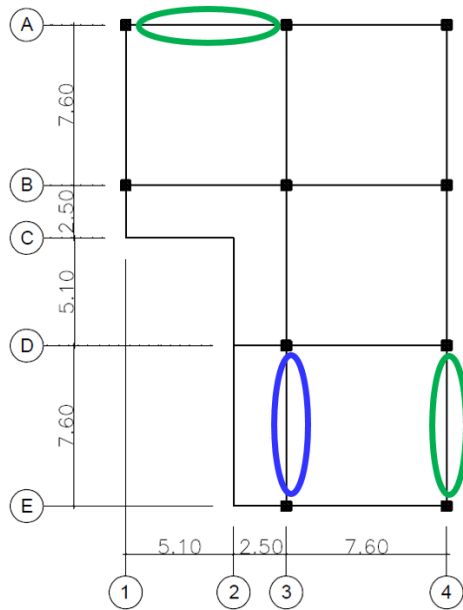


Imagen 3.6 En verde se señala las vigas con fisuras longitudinales y en azul la viga con acero corroído expuesto



Imagen 3.7 Viga del eje A con fisuras longitudinales



Imagen 3.8 Viga del eje 3 con acero corroído debido a un bajo recubrimiento

Respecto a las losas nervadas, en la zona del volado en el primer techo se presenta una corrosión con exposición del acero. Esto no solo se debe a la carbonatación del concreto, sino principalmente a un incorrecto recubrimiento del acero. Según la norma E.060 (2009), en el caso de losas con barras de refuerzo con diámetro menor a 1 3/8'' se debe tener un recubrimiento mínimo de 2 cm, mientras que en el instituto se evidencia un recubrimiento menor a 1cm. El poco recubrimiento pudo generar fisuras, que a su vez permitió el ingreso de la humedad y generó problemas de corrosión en el acero; además del proceso de carbonatación del concreto de recubrimiento.

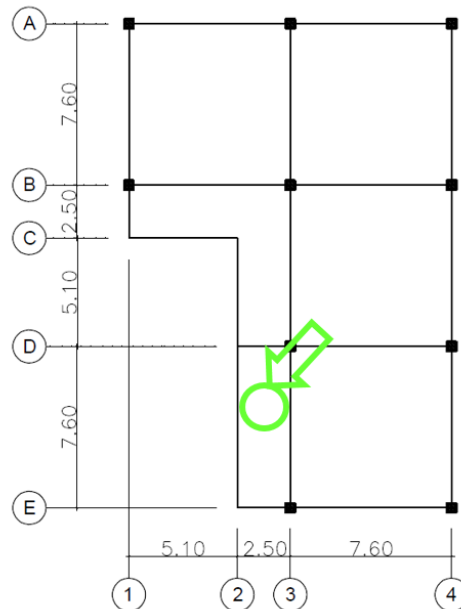


Imagen 3.9 Ubicación de losa nervada con corrosión del refuerzo



Imagen 3.10 Acero corroído y expuesto en losa nervada del voladizo

Finalmente, a continuación se indica un resumen general del estado de las fisuras encontradas para los diferentes elementos estructurales:

- Gran parte de las fisuras presentes se deben a la corrosión del acero de refuerzo debido a la carbonatación del concreto. Los productos de la corrosión generan un incremento del volumen del refuerzo que a su vez genera esfuerzos de tracción en el concreto y con ello la aparición de fisuras.
- La corrosión del acero en algunos elementos estructurales es el problema más crítico para la durabilidad de la edificación.
- Se debe verificar mediante ensayos in situ si la corrosión presente es localizada o generalizada.

3.1.3. ENSAYOS A REALIZAR Y ANÁLISIS DE COSTOS

El Instituto de Corrosión y Protección (ICP- PUCP) recomienda realizar los ensayos de carbonatación, contenido de sales, cloruros y sulfatos en conjunto para analizar las causas precisas de las fisuras en el concreto. Por otro lado, se recomienda la extracción de diamantinas en elementos donde se considere esencial para la evaluación, para averiguar si el daño es estructural en los elementos. Además, el código ACI 562 (2013) indica que la extracción de núcleo es necesaria para conocer la resistencia real del concreto, si no se tiene mayor información disponible al respecto. Análogamente, es necesario conocer las características del acero de refuerzo.

Tabla 3.1 Costos unitarios promedio de los diferentes ensayos

Ensayos	Precio Unitario (S/.)
Carbonatación	45.00
Contenido de Sales	120.00
Contenido de cloruros	82.00
Contenido de Sulfatos	120.00
Preparación de la muestra	32.00
Extracción y ensayo de Diamantinas	600.00
Extracción y ensayo de refuerzo	200.00
Total	1199.00

A continuación, se muestran los elementos y la cantidad de ensayos que se propone que deberían realizarse para obtener una evaluación completa de la condición de los diferentes elementos estructurales, así como el costo que implicaría su estudio.

Tabla 3.2 Resumen de cantidad y costo final de los ensayos a realizar

Elementos	ENSAYOS A REALIZAR							Costo Parcial (S/.)
	Carbonatación	Contenido de Sales	Contenido de cloruros	Contenido de Sulfatos	Preparación de la muestra	Extracción y ensayo de Diamantinas	Extracción y ensayo de refuerzo	
Viga Eje 3-D, E	x	x	x	x	x	x	x	1199.00
Viga Eje 4-D, E	x	x	x	x	x			399.00
Viga Eje A-1, 2	x	x	x	x	x			399.00
Losa Eje D, E-2, 3	x	x	x	x	x	x	x	1199.00
Columna A-1	x	x	x	x	x	x		999.00
Columna A-4	x	x	x	x	x	x		999.00
Columna B-1	x	x	x	x	x	x		999.00
Columna B-3	x	x	x	x	x	x		999.00
Columna B-4	x	x	x	x	x	x	x	1199.00
							Total	8391.00

3.2. REPARACIÓN Y/O REFUERZO ESTRUCTURAL

3.2.1. CONDICIÓN ESTRUCTURAL DE LA ESTRUCTURA EXISTENTE

En el Instituto Superior Tecnológico Público Carlos Cueto Fernandini se tiene diferentes pabellones y talleres destinados a diferentes actividades educativas. En este caso, como ya se indicó, se estudiará la estructura existente correspondiente a un pabellón típico de

aulas. Este pabellón se encuentra sobre un terreno con un área de 298m² y cuenta con tres niveles típicos con 3m de altura de entrepiso; además, tiene una forma de L en planta.

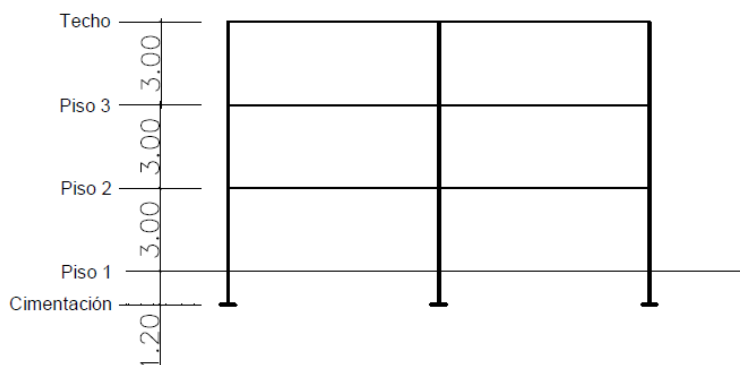


Imagen 3.11 Esquema en elevación del eje A del instituto Carlos Cueto Fernandini

La estructura original de este pabellón está conformada por pórticos ortogonales entre sí de concreto armado. Se encuentran cuatro pórticos en el sentido X y tres pórticos en el sentido Y. Asimismo, las luces entre todas las columnas son de 7.60m y se cuenta con un volado que funciona como pasadizo en todos los niveles con un ancho de 2.50m. Las columnas presentes en la estructura son todas iguales y cuadradas con dimensiones de 40cm x 40cm. Por su lado, las vigas que conectan las columnas también son iguales con unas dimensiones geométricas de 30cm de ancho y 50cm de peralte. El sistema utilizado para las losas es del tipo losa nervada en toda el área incluida la zona del volado. No se conoce realmente el tipo de cimentación, pero se estima que deben ser zapatas aisladas a una profundidad de 1.20m. También, se cuenta con muros de albañilería que sirven como cerramiento de los diferentes ambientes y pasillos (Ver imagen 3.2).

Esta estructura ha sido diseñada y construida hace 50 años aproximadamente, cuando aún no existía ningún tipo de reglamento de construcción y mucho menos una norma técnica sobre diseño sismorresistente. Sin embargo, el diseño realizado ha cumplido satisfactoriamente las condiciones de servicio que un plantel educativo requiere. Entonces, se puede indicar que las cargas que se indican actualmente en la Norma Técnica E.020 son aplicables para poder estimar un proyecto de reparación y/o refuerzo estructural. Del mismo modo, se debe aplicar las normas vigentes para poder estimar el proyecto de reparación y reforzamiento.

La estructura existente no presenta deformaciones excesivas, ni asentamientos diferenciales excesivos. Tampoco se aprecia la fluencia del refuerzo o falla estructural de

ningún elemento resistente. Así pues, se puede indicar que la condición de servicio de la estructura no está comprometida y se encuentra en estado funcional. Sin embargo, esto debe comprobarse mediante un análisis estructural más detallado. Del mismo modo, se conoce que la estructura no ha tenido ningún tipo de reforzamiento o rehabilitación estructural previa.

Los problemas que se observaron en la estructura, como fisuras, grietas, pérdida de recubrimiento, corrosión del refuerzo, entre otros, se deben a causas ambientales y del paso del tiempo, principalmente. Las posibles causas de estos problemas que se encontraron en la estructura ya se detallaron en un acápite anterior. En general, se puede clasificar estos problemas de la siguiente manera:

- Fisuras y grietas en las columnas
- Pérdida de recubrimiento y corrosión del refuerzo en las columnas
- Fisuras y grietas en las vigas
- Pérdida de recubrimiento y corrosión del refuerzo en vigas
- Pérdida de recubrimiento y corrosión del refuerzo de las losas nervadas
- Fisuras en los muros de albañilería

En la estructura se identificó cinco columnas que presentaban una pérdida parcial de recubrimiento y acero corroído, en el primer piso. Estas columnas críticas se ubican en las esquinas de la estructura y su estado se puede deber a su mayor exposición al ambiente. En las demás columnas solo se encontró fisuras o grietas en el concreto pero no se identificó acero corroído de forma tan clara como en las columnas críticas.

Por otro lado, ciertas vigas presentan fisuras y grietas menores que no indican corrosión de su refuerzo o carbonatación del concreto. Sin embargo, las vigas del perímetro del volado sí presentan una clara pérdida de recubrimiento y corrosión en su refuerzo. En el caso de columnas y vigas se espera que estas no tengan los estribos suficientes para soportar movimientos sísmicos, pues no era común en la construcción de hace 50 años.

En el caso de las losas, estas presentan fisuras mínimas en las zonas interiores techadas, por lo que no significan un problema importante. No obstante, las losas nervadas que conforman los volados, expuestos a la intemperie, presentan corrosión en su armadura de refuerzo y pérdida total del recubrimiento en algunos casos.

Finalmente, los muros de albañilería de cerramiento presentan fisuras mínimas producto del paso del tiempo. Sin embargo, estos se encuentran unidos a las columnas y podrían causar la típica falla de columna cautiva o columna corta frente a un movimiento sísmico importante, por lo que se debe tener en cuenta en la propuesta de reforzamiento.

3.2.2. PROPUESTA PRELIMINAR DE REPARACIÓN Y/O REFUERZO ESTRUCTURAL

Luego de identificar los principales problemas que presentan los elementos estructurales y de realizar un análisis estructural detallado de acuerdo a las normas vigentes, se puede plantear una propuesta final de reparación o refuerzo para obtener una estructura renovada que cumpla lo estipulado en las diferentes normas incluidas en el Reglamento Nacional de Edificaciones vigente. Principalmente, se debe tener en cuenta que se debe cumplir con las consideraciones para el diseño sísmico de elementos de concreto armado que se indican en la Normas Técnicas E.060 Concreto Armado y E.030 Diseño Sismorresistente. Así, se puede obtener la necesidad de colocar muros estructurales y/o incrementar las secciones de columnas y vigas.

No obstante, debido a que la presente investigación solo busca estimar de forma preliminar el costo de una propuesta de reparación o refuerzo estructural, no se realizará un análisis estructural como se debería. Entonces, se plantea una propuesta preliminar de reforzamiento bastante conservadora. Dicha propuesta preliminar de refuerzo estructural que se plantea incluye lo siguiente:

Adición de muros de corte o placas:

Una estructura como la que se estudia debe contar con la rigidez suficiente para soportar sismos sin presentar deformaciones importantes. Además, según la Norma E.030 (2018), un edificio educativo debe contar con un sistema resistente dual como mínimo. Por ello, se plantea adicionar muros de corte a la estructura existente.

El cálculo preliminar de la longitud necesaria de placas se realiza estimando un valor para la fuerza cortante en la base que se calculará según las indicaciones de la Norma E.030. Los parámetros sísmicos que se estiman para esta estructura son una zonificación 4 (Zona 4), una categoría A2 – edificación esencial, un suelo intermedio (S2) y un sistema resistente dual sin irregularidades. También, se puede estimar un periodo para esta

estructura de 0.15 segundos, lo que nos permite identificar el factor de amplificación sísmica (C).

Además, se considerará un peso estimado de la estructura de 1.2 ton/m², que es un valor adecuado para este análisis. Se utilizará un concreto de resistencia a la compresión $f'_c=210\text{kg/cm}^2$ y un espesor de los muros de 15cm. Así pues, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 3.3 Parámetros sísmicos y valor de la cortante basal para la estructura

Z	0.45
U	1.5
C	2.5
S	1.05
R	7
P (ton)	1072.8
V basal (ton)	271.6

La longitud necesaria de placas se obtiene con la siguiente relación:

$$L (m) = \frac{V_{basal}}{0.85 * 0.53 * \sqrt{210} * 0.8 * 15} = 3.46m$$

Entonces, la longitud mínima de muros que se debe incluir es de 3.50m (redondeando) en cada sentido de análisis. Se debe tener en cuenta la ubicación de estas, pues por la configuración en planta de la estructura se podría presentar una irregularidad de torsión que no es permitida para estructuras como esta, según la Norma Técnica E.030 (2018). Por lo tanto, y con fines prácticos de un planteamiento preliminar, se sugiere reemplazar 4 muros de cerramiento de albañilería por placas de concreto armado en toda la altura de la estructura. Estas se ubicarían en el eje 1, entre A y B; en el eje 4, entre B y D; en el eje A, entre 3 y 4; y finalmente, en el eje E, entre 3 y 4. Esta estimación debería ser verificada mediante un análisis estructural más exhaustivo.

Demolición y reconstrucción de columnas

Las columnas ubicadas en las esquinas de la estructura, en la intersección de los ejes 1 y A, 1 y B, A y 4, E y 3, y E y4, presentan un deterioro crítico en el primer piso, como ya se explicó en el acápite anterior. La carbonatación del concreto y la corrosión de la armadura hacen que sea impráctico intentar rehabilitar o reforzar dichas columnas. Por

ello, se plantea demoler estas cinco columnas y reconstruirlas siguiendo un diseño actualizado acorde a la normativa vigente. Así pues, por practicidad se recomienda reconstruir unas columnas cuadradas con dimensiones de 50cm x 50cm y una cuantía de refuerzo calculada según un análisis más detallado, pero que con bastante seguridad será el mínimo indicado por la Norma E.060 de 1% (2009).

La demolición solo se realizará del tramo del primer piso de las columnas. El resto se reforzará con un encamisado, como se indica más adelante. Por otro lado, se debe tener bastante cuidado para realizar estas demoliciones, por lo que se debe calcular la redistribución de fuerzas para poder apuntalar la estructura adecuadamente mientras dure el proceso constructivo.

Reforzamiento de columnas mediante encamisado

El resto de las columnas en todos sus tramos se reforzarán mediante la técnica conocida como encamisado, o recrecido de la sección. Esta opción se plantea como la más adecuada y económica entre las muchas técnicas de reforzamiento que existen para la estructura en cuestión. Esta solución se plantea, principalmente, para poder incluir los estribos necesarios según la normativa vigente y para poder eliminar el concreto de la superficie que puede estar afectado por la carbonatación.

Si bien las columnas tienen una sección cuadrada de 40cm x 40cm, se plantea encamisarlas hasta obtener una sección cuadrada de 50cm x 50cm. Para ello, se debe picar el recubrimiento de la columna original hasta eliminar todo el concreto que se encuentre carbonatado y limpiar mediante agua a presión la superficie que estará en contacto con el nuevo concreto. Además, se añadirá una malla de refuerzo alrededor de la columna original y se colocarán los estribos necesarios para proporcionar ductilidad a la columna, calculados según la Norma E.060. Luego, se aplicará alguna resina epóxica que mejore la adherencia entre el concreto viejo y el nuevo. Se recomienda utilizar un concreto con la misma resistencia que el concreto original. También, se debe pasar el refuerzo a través de la losa y vigas para asegurar la continuidad del elemento y el monolitismo general de la nueva estructura.

Reforzamiento de vigas peraltadas mediante encamisado

En el caso de las vigas, estas presentan fisuras y grietas menores pero al igual que las columnas se plantea realizar un reforzamiento de todas las vigas mediante la técnica del

recrecido de la sección o encamisado. Esto se realiza principalmente para poder brindar los estribos necesarios para que las vigas soporten un sismo de forma adecuada, además, se elimina el concreto superficial que puede estar afectado por factores de degradación externa como la carbonatación.

En el caso de las vigas se plantea un recrecimiento de 5cm en las caras laterales e inferior de las vigas, por lo que la nueva sección sería de 40cm x 55cm. El proceso de construcción es similar al de las columnas y se debe tener cuidado en el apuntalamiento de la estructura durante el tiempo de ejecución. Se recomienda pasar los estribos a través de la losa y amarrarlos a la armadura existente para asegurar que trabajen como un solo elemento; además de asegurar el monolitismo de la nueva estructura en conjunto.

Demolición y reconstrucción de la viga en volado

A excepción de las demás vigas, la viga del perímetro del voladizo del primer techo presenta una clara corrosión del refuerzo, como ya se explicó anteriormente. Entonces, en esta viga se plantea la demolición y reconstrucción total de la misma.

A diferencia de las demás vigas, la nueva viga mantendrá las dimensiones de la original, 30cm x 50cm. Además, el refuerzo colocado estará de acuerdo a un cálculo estructural que cumpla las indicaciones de la normativa vigente. Al igual que con los demás elementos, se debe tener en consideración un correcto apuntalamiento del volado durante la construcción y hasta que el elemento esté listo para soportar las cargas.

Demolición y reconstrucción de losa nervada

Como ya se indicó, se observa una grave pérdida de recubrimiento y corrosión del refuerzo de la losa nervada que se encuentra en la zona del volado, especialmente en el primer y segundo techo de la estructura. Entonces, se plantea como solución más adecuada la demolición de la losa de estas zonas y su reconstrucción total. Así, se asegura que la nueva losa cumpla con la normativa vigente.

Las dimensiones de la nueva losa nervada serán las mismas que la original y se seguirá un procedimiento constructivo que no comprometa la estabilidad global del resto de la estructura. Asimismo, debido a que la losa afectada está delimitada en su contorno por la viga que también se plantea reconstruir, se recomienda realizar la construcción en conjunto de ambos nuevos elementos.

Refuerzo para evitar el problema de columna corta

Si bien existen diversos métodos planteados para reforzar la zona de encuentro entre las columnas y tabiques que ocasiona la falla de columna corta, en este caso se plantea demoler los muros de tabiquería que pueden generar este problema y reconstruirlos dejando una separación adecuada entre elementos para evitar esta falla.

Esta solución se plantea debido a que también se recomienda crecer las dimensiones de las columnas mediante un encamisado. Esto implica demoler parte de los muros para poder facilitar el proceso constructivo de las nuevas columnas. Además, estos muros de albañilería tienen cerca de 50 años de construidos y, a pesar de presentar fisuras incipientes, seguramente muestran señales de desgaste en sus acabados que no son adecuados para albergar un ambiente educativo.

Finalmente, la propuesta preliminar de reforzamiento de los diferentes elementos estructurales que se detalló previamente y que permitirá estimar fácilmente el costo aproximado de una propuesta final de reforzamiento se puede resumir en el siguiente esquema con su respectiva leyenda:







LEYENDA	
	Columnas a demoler y reconstruir en el primer piso, encamisado en el resto de pisos
	Columnas a reforzar mediante encamisado en todos los pisos
	Muros de corte o placas a construir en toda la altura de la estructura
	Vigas a reforzar mediante encamisado en todos los pisos
	Vigas para demoler y reconstruir en el primer piso, encamisado en el resto de pisos
	Losa nervada a reconstruir en el primer piso

Imagen 3.12 Leyenda que describe las diferentes componentes de la propuesta preliminar de rehabilitación estructural

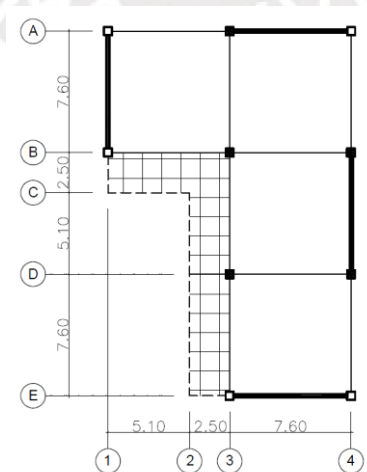


Imagen 3.13 Esquema de ubicación de las componentes de la propuesta de rehabilitación estructural

3.2.3. ANÁLISIS DE COSTOS DE LA PROPUESTA DE REFORZAMIENTO

Luego de analizar la propuesta de rehabilitación de la estructura, se puede obtener el resumen del metrado de los diferentes elementos que se han considerado para ser construidos, reforzados o reconstruidos.

Tabla 3.4 Resumen del metrado de la propuesta de rehabilitación de la estructura

	ENCAMISADO	RECONSTRUCCION
VIGAS (m ³)	50.16	4.56
COLUMNAS (m3)	1.92	0.384
LOSA NERVADA (m2)		38
MUROS (m3)	-	41.04

Ahora, se plantea un análisis de precios unitarios para cada partida de refuerzo o reconstrucción de los elementos que se ha considerado. Esto permitirá estimar el costo que implica rehabilitar la estructura existente.

Refuerzo de viga peraltada de concreto armado mediante encamisado

Se considera reforzar una viga de 30x50 cm a una de 40x55 cm con un concreto de $f'c=210$ kg/cm² (21 MPa), con acero de Grado 60 ($f_y=4200$ kg/cm²) y con una cuantía de acero de 40 kg/m³.

Tabla 3.5 Análisis de precio unitario de encamisado de viga

Código	Unidad	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio parcial
1		Materiales			
	kg	Adhesivo tixotrópico de dos componentes a base de resina epoxi, para la correcta unión entre el concreto fresco y el concreto endurecido o para mejorar la adherencia del concreto endurecido y el acero.	1.171	30.31	35.49
	m ³	Concreto $f'c=210$ kg/cm ² (21 MPa), no expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo, exposición a sulfatos insignificante, sin requerimiento de permeabilidad, no expuesto a cloruros, tamaño máximo del agregado 12,5 mm, consistencia blanda, premezclado en planta, según el Reglamento Nacional de Edificaciones NTE E.060.	0.074	241.91	17.90
	kg	Acero en varillas corrugadas, Grado 60 ($f_y=4200$ kg/cm ²), de varios diámetros, según NTP 339.186 y ASTM A 706.	2.856	2.99	8.54
	kg	Alambre galvanizado para atar, de 1,30 mm de diámetro.	0.031	3.17	0.10

m ²	Sistema de encofrado recuperable para la ejecución de vigas de concreto para revestir, compuesto de: puntales metálicos telescópicos, sopandas metálicas y superficie encofrante de madera tratada reforzada con varillas y perfiles, hasta 3 m de altura libre de planta.	0.700	64.62	45.23
		Subtotal materiales: 107.26		
2	Mano de obra			
h	Operario fierro.	0.049	22.56	1.11
h	Oficial fierro.	0.053	15.62	0.83
h	Operario especializado en vaciado de concreto.	1.501	22.56	33.86
h	Oficial especializado en vaciado de concreto.	0.722	15.62	11.28
		Subtotal mano de obra: 47.08		
3	Herramientas			
%	Herramientas	2.000	154.34	3.09
Coste de mantenimiento decenal: S/. 11,02 en los primeros 10 años.		Costos directos 157.43 (1+2+3):		

Refuerzo de columna de concreto armado mediante encamisado

Se considera reforzar una columna de 40x40 cm a una de 50x50 cm con un concreto de $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ (21 MPa), con acero de Grado 60 ($f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$) y con una cuantía de acero de 120 kg/m^3 .

Tabla 3.6 Análisis de precio unitario de encamisado de columna

Código	Unidad	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio parcial
1		Materiales			
	kg	Adhesivo tixotrópico de dos componentes a base de resina epoxi, para la correcta unión entre el concreto fresco y el concreto endurecido o para mejorar la adherencia del concreto endurecido y el acero.	2.400	30.31	72.74
	m ³	Concreto $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ (21 MPa), no expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo, exposición a sulfatos insignificante, sin requerimiento de permeabilidad, no expuesto a cloruros, tamaño máximo del agregado 12,5 mm, consistencia blanda, premezclado en planta, según el Reglamento Nacional de Edificaciones NTE E.060.	0.210	241.91	50.80
	kg	Acero en varillas corrugadas, Grado 60 ($f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$), de varios diámetros, según NTP 339.186 y ASTM A 706.	24.480	2.99	73.20
	kg	Alambre galvanizado para atar, de 1,30 mm de diámetro.	0.168	3.17	0.53
	m ²	Plancha metálica de 50x50 cm, para encofrado de columnas de concreto armado de sección rectangular o cuadrada, de hasta 3 m de altura, incluso accesorios de montaje.	0.032	138.47	4.43
			Subtotal materiales: 201.70		
2		Mano de obra			
	h	Operario fierro.	0.263	22.56	5.93
	h	Oficial fierro.	0.293	15.62	4.58
	h	Operario especializado en vaciado de concreto.	1.780	22.56	40.16

	h	Oficial especializado en vaciado de concreto.	1.277	15.62	19.95
			Subtotal mano de obra:		70.62
3	%	Herramientas	2.000	272.32	5.45
Coste de mantenimiento decenal: S/. 19,44 en los primeros 10 años.			Costos directos		277.77
					(1+2+3):

Construcción de muro de concreto

Se considera la construcción de un muro de concreto de 3 m de altura con un espesor de 15 cm, con una superficie plana, realizado con concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ (21 MPa) y acero de grado 60 ($f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$).

Tabla 3.7 Análisis de precio unitario de construcción de muro

Código	Unidad	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio parcial
1		Materiales			
	m ²	Paneles metálicos modulares, para encofrar muros de concreto de hasta 3 m de altura.	0.089	576.92	51.35
	Ud	Estructura soporte de sistema de encofrado vertical, para muros de concreto a dos caras, de hasta 3 m de altura, formada por tornapuntas metálicos para estabilización y aplomado de la superficie encofrante.	0.089	793.27	70.60
	l	Agente desmoldeante, a base de aceites especiales, emulsionable en agua para encofrados metálicos, fenólicos o de madera.	0.400	6.33	2.53
	Ud	Pasamuros de PVC para paso de los tensores del encofrado, de varios diámetros y longitudes.	5.333	2.68	14.29
	Ud	Separador homologado para muros.	8.000	0.16	1.28
	kg	Acero en varillas corrugadas, Grado 60 ($f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$), de varios diámetros, según NTP 339.186 y ASTM A 706.	51.000	2.99	152.49
	kg	Alambre galvanizado para atar, de 1,30 mm de diámetro.	0.650	3.17	2.06
	m ³	Agua.	0.199	4.32	0.86
	m ³	Arena cribada.	0.499	39.74	19.83
	m ³	Agregado grueso homogeneizado de tamaño máximo 12,5 mm.	0.624	54.06	33.73
	kg	Cemento gris en sacos.	444.622	0.43	191.19
			Subtotal materiales:		540.21
2		Equipos			
	h	Mezcladora de concreto.	0.730	4.64	3.39
			Subtotal equipos:		3.39
3		Mano de obra			
	h	Operario encofrador.	5.029	22.56	113.45
	h	Oficial encofrador.	5.486	15.62	85.69
	h	Operario fierro.	0.671	22.56	15.14
	h	Oficial fierro.	0.853	15.62	13.32
	h	Peón de construcción.	1.600	14.43	23.09
	h	Peón especializado de construcción.	1.676	14.67	24.59
	h	Operario especializado en vaciado de concreto.	0.381	22.56	8.60
	h	Oficial especializado en vaciado de concreto.	1.524	15.62	23.80
			Subtotal mano de obra:		307.68
4		Herramientas			

% Herramientas	2.000 851.28 17.03
Coste de mantenimiento decenal: S/. 34,73 en los primeros 10 años.	Costos directos 868.31 (1+2+3+4):

Reconstrucción de columna cuadrada de concreto armado

Se considera la reconstrucción de una columna de sección cuadrada de concreto armado, de 50x50 cm de sección media, realizada con concreto $f'c=210$ kg/cm² (21 MPa) y acero de grado 60 ($f_y=4200$ kg/cm²).

Tabla 3.8 Análisis de precio unitario de reconstrucción de columna

Código	Unidad	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio parcial
1		Materiales			
	Ud	Separador homologado de plástico para armaduras de columnas de varios diámetros.	12.000	0.21	2.52
	kg	Acero en varillas corrugadas, Grado 60 ($f_y=4200$ kg/cm ²), de varios diámetros, según NTP 339.186 y ASTM A 706.	126.000	2.99	376.74
	kg	Alambre galvanizado para atar, de 1,30 mm de diámetro.	0.840	3.17	2.66
	m ²	Plancha metálica de 50x50 cm, para encofrado de columnas de concreto armado de sección rectangular o cuadrada, de hasta 3 m de altura, incluso accesorios de montaje.	0.320	138.47	44.31
	Ud	Puntal metálico telescópico, de hasta 3 m de altura.	0.099	46.28	4.58
	Ud	Berenjeno de PVC, de varias dimensiones y 2500 mm de longitud.	17.800	1.01	17.98
	l	Agente desmoldeante, a base de aceites especiales, emulsionable en agua para encofrados metálicos, fenólicos o de madera.	0.400	6.33	2.53
	m ³	Agua.	0.199	4.32	0.86
	m ³	Arena cribada.	0.499	39.74	19.83
	m ³	Agregado grueso homogeneizado de tamaño máximo 12,5 mm.	0.624	54.06	33.73
	kg	Cemento gris en sacos.	444.622	0.43	191.19
					Subtotal materiales: 696.93
2		Equipos			
	h	Mezcladora de concreto.	0.730	4.64	3.39
					Subtotal equipos: 3.39
3		Mano de obra			
	h	Operario encofrador.	7.254	22.56	163.65
	h	Oficial encofrador.	8.291	15.62	129.51
	h	Operario herrero.	1.317	22.56	29.71
	h	Oficial herrero.	1.463	15.62	22.85
	h	Peón de construcción.	1.600	14.43	23.09
	h	Peón especializado de construcción.	1.676	14.67	24.59
	h	Operario especializado en vaciado de concreto.	0.549	22.56	12.39
	h	Oficial especializado en vaciado de concreto.	2.210	15.62	34.52
					Subtotal mano de obra: 440.31
4		Herramientas			
	%	Herramientas	2.000	1140.63	22.81

Costos directos 1,163.44
(1+2+3+4):

Reconstrucción de viga de concreto armado

Se considera la reconstrucción de una viga de sección rectangular de concreto armado, de 40x55 cm de sección media, realizada con concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ (21 MPa) y acero de grado 60 ($f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$).

Tabla 3.9 Análisis de precio unitario de reconstrucción de viga

Código	Unidad	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio parcial
1		Materiales			
	m ²	Tablero de madera tratada, de 22 mm de espesor, reforzado con varillas y perfiles.	0.184	108.17	19.90
	m ²	Estructura soporte para encofrado recuperable, compuesta de: sopandas metálicas y accesorios de montaje.	0.031	245.19	7.60
	Ud	Puntal metálico telescópico, de hasta 3 m de altura.	0.107	46.28	4.95
	m ³	Madera de pino.	0.012	687.00	8.24
	kg	Puntas de acero de 20x100 mm.	0.160	20.20	3.23
	l	Agente desmoldeante, a base de aceites especiales, emulsionable en agua para encofrados metálicos, fenólicos o de madera.	0.120	6.33	0.76
	Ud	Separador homologado para vigas.	4.000	0.23	0.92
	kg	Acero en varillas corrugadas, Grado 60 ($f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$), de varios diámetros, según NTP 339.186 y ASTM A 706.	157.500	2.99	470.93
	kg	Alambre galvanizado para atar, de 1,30 mm de diámetro.	1.650	3.17	5.23
	m ³	Agua.	0.199	4.32	0.86
	m ³	Arena cribada.	0.499	39.74	19.83
	m ³	Agregado grueso homogeneizado de tamaño máximo 12,5 mm.	0.624	54.06	33.73
	kg	Cemento gris en sacos.	444.622	0.43	191.19
					Subtotal materiales: 767.37
2		Equipos			
	h	Mezcladora de concreto.	0.730	4.64	3.39
					Subtotal equipos: 3.39
3		Mano de obra			
	h	Operario encofrador.	3.048	22.56	68.76
	h	Oficial encofrador.	3.048	15.62	47.61
	h	Operario herrero.	2.195	22.56	49.52
	h	Oficial herrero.	2.377	15.62	37.13
	h	Peón de construcción.	1.600	14.43	23.09
	h	Peón especializado de construcción.	1.676	14.67	24.59
	h	Operario especializado en vaciado de concreto.	0.518	22.56	11.69
	h	Oficial especializado en vaciado de concreto.	2.088	15.62	32.61
					Subtotal mano de obra: 295.00
4		Herramientas			
	%	Herramientas	2.000	1065.76	21.32

Coste de mantenimiento decenal: S/. 76,10 en los primeros 10 años.

Costos directos 1,087.08
(1+2+3+4):

Finalmente, teniendo en cuenta los precios unitarios para cada partida de construcción, reconstrucción o reforzamiento que se incluye en la propuesta de rehabilitación, y el metrado de las mismas partidas de rehabilitación se procede a calcular el presupuesto total. Además, se incluye el precio de los ensayos descritos en el capítulo 3 y se considera un costo por posibles refacciones parciales de instalaciones sanitarias, eléctricas o de comunicaciones. El costo de dichas especialidades se estimó mediante un tercio del ratio para un proyecto similar, como se describe más adelante. De este modo, la propuesta de rehabilitación permite obtener una edificación lista para ser utilizada al terminar los trabajos. También, se incorpora al presupuesto, los gastos generales o de ingeniería y la utilidad que se espera para este proyecto.

Tabla 3.10 Resumen de presupuesto de la propuesta de rehabilitación estructural

	Unidad	Metrado	Costo Unitario	Parcial	Total
Encamisado					50,060.31
Vigas	(m)	228.00	157.43	35894.04	
Columnas	(m)	51.00	277.77	14166.27	
Reconstrucción					46,539.00
Losa Nervada	(m ²)	31	177.41	5499.71	
Vigas	(m ³)	4.56	1087.08	4957.08	
Columnas	(m ³)	0.38	1163.44	446.76	
Muros	(m ³)	41.04	868.31	35635.44	
Ensayos Previos	(glb)	1.00	8,391.00	8,391.00	8,391.00
Inst. Sanitarias	(m ²)	794.62	21.17	16,822.11	16,822.11
Inst. Eléctricas	(m ²)	794.62	29.14	23,155.23	23,155.23
Inst. Comunicaciones	(m ²)	794.62	15.18	12,062.33	12,062.33
				Total Costo Directo	157,029.98
				Gastos Generales	20,000.00
				Utilidad (7%)	10,992.10
				Subtotal	188,022.08
				IGV	33,843.97
				TOTAL (S/.)	221,866.05

Se puede indicar que el costo final de la propuesta de rehabilitación que se plantea para esta estructura es de 221,866.05 soles.

4. PROYECTO DE DEMOLICIÓN Y CONSTRUCCIÓN NUEVA

El pabellón del centro de educación superior, como se ha visto en el capítulo 3 de la investigación, presenta ciertas deficiencias en varios elementos estructurales. Para realizar una comparativa entre las alternativas de reforzar o construir un pabellón nuevo en la ubicación actual de la edificación en intervención, es necesario analizar los costos que generarán cada propuesta. En esta sección del trabajo, se realiza un presupuesto rápido de los costos que produciría la demolición y la construcción de un nuevo pabellón en el I.S.T.P. Carlos Cueto Fernandini.

4.1. ANÁLISIS DE COSTOS DE DEMOLICIÓN

Para la propuesta de construir un nuevo pabellón en reemplazo del anterior, se debe analizar el impacto económico que generará este. Para empezar el análisis, se debe considerar primero los costos de demolición. La edificación existente posee tres pisos con una altura de entre piso de 3 metros y con área construida de 794.62 m². La edificación presenta corrosión del refuerzo en muchos elementos lo cual compromete su operatividad y por ello, se analiza la opción de demolerla. Para realizar una estimación del costo de demolición del pabellón, se utilizó el análisis de precios unitarios que se muestra en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Análisis de precio unitario de demolición de estructuras existentes

Partida	05.02.01.01	SALIDA PARA INTERRUPTOR DOBLE							
Rendimiento	m3/DIA	MO	4	EQ.	4	Costo unitario directo por: m3			138.96
Código	Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	Mano de Obra								
	CAPATAZ			hh	0.1000	0.2000	23.56	4.71	
	OFICIAL			hh	1.0000	2.0000	15.67	31.34	
	PEÓN			hh	2.0000	4.0000	14.52	58.08	
								94.13	
	Equipos								
	HERRAMIENTAS MANUALES			%mo		3.000	94.13	2.82	
	MARTILLO PERFORADOR (para copmpresora)			hm	1.000	1.000	16.00	16.00	
	COMPRESORA			hm	1.000	1.000	16.00	16.00	
	TRASLADO DE ESCOMBROS			Km		10.000	1.00	10.00	
								44.82	

Luego de obtener el precio unitario de la demolición, se utilizará el ratio de una edificación de igual uso y categoría a la del pabellón en estudio para obtener el costo. Se utilizará como ratio el del volumen del concreto respecto del área construida. Este ratio será multiplicado por el área construida del instituto en análisis y; finalmente, a este resultado se le multiplicará por el precio unitario de la demolición. Así, se puede obtener el precio estimado de este rubro.

A continuación, se muestra el costo obtenido luego de realizar las operaciones indicadas, el cual asciende a S/. 58,522.81.

$$0.53 \frac{m^3}{m^2} \times 794.62m^2 = 421.15m^3$$

$$421.15m^3 \times 138.96 \frac{S/}{m^3} = 58,522.81 \text{ soles}$$

4.2. ANÁLISIS DE COSTOS DE CONSTRUCCIÓN NUEVA

Una vez hallado los costos por demolición, se necesita estimar el precio total que costará realizar un nuevo pabellón en donde se encontraba el anterior. Para ello, se utilizará la misma estrategia que el punto anterior: calcular los precios por ratios de un proyecto similar a este. Los ratios que se emplearán corresponden a las partidas de encofrado, concreto, acero, movimiento de tierras, instalaciones sanitarias, instalaciones eléctricas e instalaciones de comunicaciones (Tabla 4.2); así, se obtiene el costo de la construcción nueva lista para ser utilizada. Cabe resaltar que, no se hallará los precios de la especialidad de arquitectura, ya que las dos alternativas gastarán lo mismo en esta especialidad.

Tabla 4.2 Ratios de las partidas consideradas

Descripción	Ratios (S/. / m2)
Encofrado	129.27
Concreto	285.12
Acero	141.50
Mov. Tierras	58.13
Inst. Sanitarias	63.50
Inst. Eléctricas	87.42
Inst. Comunica.	45.53

Una vez identificado los ratios, al igual que en las demoliciones, se multiplica esta cantidad por el área construida. El área construida para el primer nivel es de 231.04 m² y para el segundo y tercer nivel es de 281.79 m²; la suma de estos tres niveles resulta 794.62 m² de área construida. Luego de hallar los precios parciales por especialidad, se suman todos ellos al precio por demolición y se obtiene el total de costos directos del proyecto.

Los gastos generales corresponden a los honorarios que percibirán los profesionales a cargo de la construcción y diseño del nuevo pabellón. La utilidad del proyecto corresponde al 7 % de los costos directos del proyecto. El subtotal es la suma de los últimos tres puntos mencionados (utilidad, gastos generales y costos directos). El I.G.V. es el 18% del subtotal. Finalmente, la suma del subtotal y el I.G.V. da como resultado el precio total de la obra. En la Tabla 4.3 se puede visualizar con mayor detalle.

Tabla 4.3 Presupuesto estimado para la demolición y construcción del nuevo bloque de aulas

Descripción	Ratios (S./ / m ²)	Área	Total (S./)
Encofrado	129.27	794.62	102,720.53
Concreto	285.12	794.62	226,562.05
Acero	141.50	794.62	112,438.73
Mov. Tierras	58.13	231.04	13,430.36
Demolición	-	-	58,523.00
Inst. Sanitarias	63.50	794.62	50,458.37
Inst. Eléctricas	87.42	794.62	69,465.68
Inst. Comunica	45.53	794.62	36,179.05
Total Costos directos			669,777.77
Gastos Generales			75,000.00
Utilidad (7%)			46,884.44
Subtotal			791,662.21
I.G.V.			142,499.20
Total (S./)			934,161.41

4.3. EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN CON EL COSTO DE REFORZAMIENTO

Para realizar la comparación entre ambas alternativas es necesario enfatizar que las dos propuestas, la nueva construcción o el reforzamiento de la existente, utilizarán el mismo sistema estructural: sistema de resistencia dual; es decir, contarán con muros de corte. En los dos casos, se necesita demoler elementos estructurales; para la alternativa de reforzamiento es necesario demoler columnas y losas nervadas que, por su mal estado, es preferible construir un nuevo elemento estructural; para el caso de realizar una construcción nueva, se plantea demoler toda la construcción existente, diseñar según lo recomendado en las normas y construir una nueva edificación. Al final de la ejecución de ambas propuestas se obtendrá un edificio listo para ser utilizado.

El presupuesto necesario para la alternativa de construir toda la edificación asciende a la cantidad de S/. 934,161.41; por otro lado, la opción de reforzamiento y reconstrucción de algunos elementos estructurales posee un presupuesto de S/. 221,866.05. Este último presupuesto representa el 23.75 % del presupuesto de la alternativa de construcción de un nuevo pabellón.

4.4. JUSTIFICACIÓN DE ELECCIÓN ENTRE REFORZAMIENTO O DEMOLICIÓN Y CONSTRUCCIÓN NUEVA

Evaluando ambas propuestas se elige la opción de reforzamiento, pues el presupuesto de esta opción es alrededor de un cuarto del presupuesto de la opción de construir nuevamente todo el pabellón. La opción de reforzamiento representa solo el 23.75 % de la alternativa de construcción de una nueva edificación. Además, el proyecto preliminar de reforzamiento que se plantea asegura que se cumpla las actuales Normas Técnicas E.030, E.060; por lo tanto, la estructura debería poseer un buen desempeño ante sismos u otras eventualidades que puedan perjudicar la estructura. Por otro lado, al elegir la opción de reforzamiento y rehabilitación estructural se tiene un tiempo de construcción más rápido que el tiempo que implica la opción descartada, ya que se realiza tareas puntuales dentro de la edificación.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La opción de rehabilitación del instituto Carlos Cueto Fernandini es la más viable económicamente, pues solo representa un 23.75 % del costo de lo que significaría construir nuevamente el instituto. Además, de forma técnica el proyecto de rehabilitación que se propone asegura que la estructura cumpla los requerimientos mínimos que indican las normas actuales, por lo que se puede asegurar que se extenderá su tiempo de vida útil satisfactoriamente.

La opción de reforzamiento estructural es sostenible económica, ambiental y socialmente. Así, la propuesta de rehabilitación permite ahorrar dinero, evita el consumo de una gran cantidad de materiales que implicaría un impacto ambiental importante y no se afectaría la estructura demasiado tiempo, por lo que podría continuar en servicio para el beneficio de los estudiantes.

La condición de la estructura actual permite proponer una solución de reforzamiento, puesto los problemas observados son, en general, localizados y moderados. Es importante

conocer los resultados de los ensayos que se plantea realizar a la estructura para descartar algún problema intrínseco que pudiera afectar la durabilidad a futuro de la estructura reforzada.

El programa de rehabilitación debe incluir un análisis más detallado de cada elemento que se plantea intervenir. Asimismo, se debe brindar unas especificaciones claras sobre el proceso constructivo a seguir, que debe ser ejecutado por profesionales con experiencia en estos trabajos. Además, se debe incluir un plan de monitoreo y mantenimiento de la estructura rehabilitada a largo plazo.

Los resultados del presente trabajo de investigación se limitan a comparar técnica y económicamente de forma referencial las opciones de rehabilitación o de construcción nueva de una edificación educativa en específico. Para comparar dichas opciones se entiende que ambas propuestas permiten que la edificación se encuentre lista para ser utilizada; así, no se considera la influencia de los costos de acabados pues en ambos casos serán totalmente nuevos.

6. REFERENCIAS

1. American Concrete Institute (2013). *Code Requirements for Evaluation, Repair and Rehabilitation of Concrete Buildings (ACI 562-13) and Commentary*. ACI, Michigan, USA
2. Belizario Pacompia, C. F. (2017). *Reforzamiento estructural de una edificación de concreto armado de dos pisos con fines de ampliación Tema: Reforzamiento Estructural*.
3. Dámazo, J. (2006). *Las estructuras no son eternas*. Revista Construcción y Tecnología. Instituto Mexicano del Cemento y Concreto [IMCYC]. 48-54.
4. García, L. T. G. L. E. *El efecto de columna corta o columna cautiva*.
5. Helal, J. Sofi, M. y Mendis, P. (2015). *Non-Destructive Testing of Concrete: A review of Methods*. Special Issue: Electronic Journal of Structural Engineering 14(1)-2015.
6. ICCG-Instituto del Cemento y Concreto de Guatemala (2019). *Boletín Técnico ICCG Núcleos perforados para la evaluación de la resistencia a compresión del concreto endurecido*. Boletín Técnico 07 ICCG.
7. La Torre, G, A. D. J., & Silva Tupac Yupanqui, S. (2019). *Evaluación y diseño de dos propuestas de reforzamiento para vigas y columnas de concreto armado en una edificación de hotel*.
8. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2009). *Norma Técnica E.060 Concreto Armado*. Lima , Perú.
9. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2018). *Norma Técnica E.030 Diseño Sismoresistente*. Lima , Perú.
10. Muñoz Pelaez, A. J. (2019). *Columnas Cautivas*. Lima.
11. Pasquel, E y Navarro, L. (2019). *Conceptos generales básicos de patologías del concreto*. Diapositivas del curso Tecnología del Concreto. PUCP, Lima, Perú

12. Raigosa-Tuk, E. (2010). *Técnicas de reforzamiento de estructuras construidas de concreto que presentan deficiencias estructurales*.
13. Rosero, L. (2013). *Reforzamiento de estructuras de hormigón armado con FRP (fiber reinforced polymers). Aplicación al caso de refuerzo de una losa y columnas de un Salón de Audiovisuales y un Auditorio* (Doctoral dissertation, Tesis de Grado en Ingeniería Civil, Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí-Quito,-Ecuador).
14. San Bartolomé, A., Rivera, C., Durán, M., Muñoz, A., & Quiun, D. (2000). *Estudio experimental de una técnica de reforzamiento para edificaciones existentes con problemas de columna corta proyecto SENCICO-PUCP*.
15. Soto, E. (2008). *Rehabilitación de estructuras de concreto. México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2008*. Tesis de maestría.
16. Tantaleán, L. F. (2013). *Fibras de carbono: Reforzamiento de Estructuras*. Civilizate, (3), 46-48.
17. Tumialán, G. (2014). *ACI 562 Nueva norma para la evaluación, reparación y rehabilitación de edificaciones de concreto*. Primer Seminario Internacional Patología y Terapéutica del Concreto. Seminario llevado a cabo por el Capítulo Peruano del ACI, Lima, Perú.
18. Vexler Talledo, I. (2004). *Informe sobre la Educación Peruana Situación y perspectiva*. Organización de Estados Iberoamericanos.
19. Vivanco Alfaro, G. C. (2018). *Evaluación y reforzamiento estructural del centro médico municipal mediante el método de encamisado, distrito de Huancayo-2016*.
20. Wakchaure, M. (2012). Study of Plan Irregularity on High- Rise Structures. *International Journal of Innovative Research & Development*, 269-281.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. Andrade Perdrix, C. (1989). *Manual inspección de obras dañadas por corrosión de armaduras*.
2. Babiche, I. (s.f.). *Carbonatación del Recubrimiento de Concreto*. Lima, Perú: Instituto Peruano de Energía Nuclear. Obtenido de <http://dspace.ipen.gob.pe/bitstream/ipen/385/1/42-45.pdf>
3. Farfán, JC (2002). *Durabilidad de concretos estructurales*, Tesis Profesional, Facultad de Ingeniería, UNAM, México, D.F.
4. Fernández Cánovas, M. (s.f.). *Patología y terapéutica del hormigón armado*. Madrid: Dossat S.A.
5. GEHO. (1996). *Durabilidad de Estructuras de concreto: Guía de diseño del CEB*. GEHO-CEB.
6. Helene, P., & Pereira, F. (2003). *Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón, Reparación, Refuerzo y Protección*. Brasil: CYTED.
7. Maslehuddin M., Rasheeduzzafar, Al-Amoudi O.S.B., Al-Mana A.I. (1994), "Concrete durability in a very aggressive environment", Memorias de V. Mohan Malhotra Symposium,
8. Mena Ferrer Manuel. (2005). *Durabilidad de Estructuras de Concreto en México*.- IMCYC.- Primera Edición.- México.
9. Montani, R. (2000). *La carbonatación, enemigo olvidado del concreto* . Revista Construcción y Tecnología .
10. Rasheeduzzafar, Dakhil F.H., Bader M.A., y Khan M.M. (1992) "Performance of corrosion resisting steels in chloride-bearing concrete", ACI Materials Journal.
11. Torres Acosta A. A.- *Periodo de iniciación de la Corrosión (TI) en Estructuras de Concreto Expuestas a un Ambiente Marino*.- Revista Internacional Construlink (RCI).- V.2, No. 5, Construlink.- ISSN 1645-576.- 2004.

12. Trocónis de Rincón Oladis y miembros de la Red DURAR. *Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado.*- CYTED.- Tercera Edición.- Maracaibo, Venezuela. Agosto 2000.

