



UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Evaluación técnica y económica para el reforzamiento estructural en columnas de concreto armado en una edificación de 2 niveles en La Molina

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTORES

Meza Quispe, Fernando Angel
ORCID: 0009-0005-1917-3782

Valverde Contreras, Alvaro Nicolas
ORCID: 0009-0007-7722-0836

ASESOR

Garate Caceres, Francisco Hector
ORCID: 0000-0003-0413-3399

Lima, Perú

2023

METADATOS COMPLEMENTARIOS

Datos de los autores

Meza Quispe, Fernando Angel

DNI: 41262681

Valverde Contreras, Alvaro Nicolas

DNI: 72745151

Datos de asesor

Garate Caceres, Francisco Hector

DNI: 7640930

ORCID: 0000-0003-0413-3399

Datos del jurado

JURADO 1

Donayre Cordova, Oscar Eduardo

DNI: 06162939

ORCID: 0000-0002-4778-3789

JURADO 2

Lopez Silva, Maiquel

DNI: 002946058

ORCID: 0000-0002-0946-6160

JURADO 3

Carmenates Hernandez, Dayma Sadami

DNI: 002944620

ORCID: 0000-0001-5482-7562

Datos de la investigación

Campo del conocimiento OCDE: 2.01.01

Código del Programa: 732016

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Nosotros, Meza Quispe Fernando Angel, con código de estudiante N° 200221035, con DNI N° 41262681, con domicilio en Jr. Universo 305, distrito Chorrillos, provincia y departamento de Lima, y Valverde Contreras Alvaro Nicolas, con código de estudiante N° 201711086, con DNI N° 72745151, con domicilio en Av. Alejandro Velasco Astete 3472 Dpto. 301, distrito Santiago de Surco, provincia y departamento de Lima, en nuestra condición de bachilleres en Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería, declaramos bajo juramento que:

La presente tesis titulada: “Evaluación técnica y económica para el reforzamiento estructural en columnas de concreto armado en una edificación de 2 niveles en La Molina” es de nuestra única autoría, bajo el asesoramiento del docente Garate Caceres Francisco Hector, y no existe plagio y/o copia de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación presentado por cualquier persona natural o jurídica ante cualquier institución académica o de investigación, universidad, etc.; la cual ha sido sometida al anti plagio Turnitin y tiene el 18% de similitud final.

Dejamos constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en la tesis, el contenido de estas corresponde a las opiniones de ellos, y por las cuales no asumimos responsabilidad, ya sean de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o de internet.

Asimismo, ratificamos plenamente que el contenido íntegro de la tesis es de nuestro conocimiento y autoría. Por tal motivo, asumimos toda la responsabilidad de cualquier error u omisión en la tesis y somos conscientes de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de falsa declaración, nos sometemos a lo dispuesto en las normas de la Universidad Ricardo Palma y a los dispositivos legales nacionales vigentes.

Surco, 05 de octubre de 2023



Meza Quispe, Fernando Angel

DNI N° 41262681



Valverde Contreras, Alvaro Nicolas

DNI N° 72745151

INFORME DE ORIGINALIDAD-TURNITIN

Evaluación técnica y económica para el reforzamiento estructural en columnas de concreto armado en una edificación de 2 niveles en La Molina

INFORME DE ORIGINALIDAD

18% INDICE DE SIMILITUD	18% FUENTES DE INTERNET	1% PUBLICACIONES	6% TRABAJOS DEL ESTUDIANTE
-----------------------------------	-----------------------------------	----------------------------	--------------------------------------

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	6%
2	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	tesis.pucp.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Universidad Ricardo Palma Trabajo del estudiante	1%
5	repositorio.usil.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	lume.ufrgs.br Fuente de Internet	1%
7	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	docplayer.es Fuente de Internet	1%


Dra. Vargas Chang Esther Joni

DEDICATORIA

La presente tesis va dedicada a mis padres Rosa Carmen y Fernando que fueron el punto de inicio para que esto sea posible, a mi esposa Gina por brindarme su apoyo incondicional y a mi adorada hija Catalina que desde su existencia le da sentido a mi vida.

Meza Quispe, Fernando Angel

Esta tesis va dedicada a mis padres por el trabajo y sacrificio en mi formación personal y profesional, a mi hermano mayor por ser el guía del desarrollo de mi carrera, y a toda mi familia que me apoyó constantemente con sus consejos y lecciones desde los inicios de mis estudios.

Valverde Contreras, Alvaro Nicolas

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a nuestro asesor de tesis por la constante orientación y paciencia en el desarrollo de nuestro proyecto de investigación, a los docentes de nuestra querida escuela profesional de Ingeniería civil por brindarnos todos los conocimientos tanto teóricos como empíricos durante nuestra formación ingenieril.

Meza Quispe, Fernando Angel
Valverde Contreras, Alvaro Nicolas

ÍNDICE GENERAL

METADATOS COMPLEMENTARIOS	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD	iii
INFORME DE ORIGINALIDAD-TURNITIN.....	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1. Descripción y formulación del problema general y específicos	3
1.2. Objetivo general y específico	4
1.3. Delimitación de la investigación: temporal espacial y temática:.....	5
1.4 Justificación e importancia de la investigación	6
1.4.1 Justificación teórica	6
1.4.2 Justificación práctica.....	7
1.4.3 Justificación social.....	7
1.4.4 Justificación económica.....	7
1.4.5 Importancia de la investigación	8
1.5 Limitaciones.....	8
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	9
2.1 Antecedentes del estudio de investigación	9
2.2 Bases teóricas.....	12
CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS	33
3.1 Hipótesis	33
3.2 Variables	33
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA.....	34
4.1 Tipo y nivel.....	34
4.2 Diseño de investigación	34
4.3 Población y muestra.....	34

4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	35
4.5 Técnicas de procesamiento y análisis de información.....	37
CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA	
INVESTIGACIÓN	39
5.1. Evaluación de la edificación	39
5.2 Ensayo a columnas afectadas por patologías	43
5.3. Modelamiento Estructural del edificio con el Software Etabs	50
5.4 Respuesta de la estructura y verificaciones sísmicas.....	56
5.5 Diseño del encamisado	62
5.6 Análisis de modelado con columnas encamisadas	69
5.7 Evaluación económica	73
5.8 Resistencia a la flexo-compresión teórica con el encamisado	79
5.9 Comparación económica.....	82
5.10 Discusión de resultados	84
5.11 Contrastación de hipótesis	85
CONCLUSIONES	86
RECOMENDACIONES.....	87
REFERENCIAS.....	88
ANEXOS	92
ANEXO A: TABLA DE CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	92
ANEXO B: PRESUPUESTO DE INVESTIGACIÓN.....	93
ANEXO C: OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	94
ANEXO D: MATRIZ DE CONSISTENCIA	96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Resumen de la inspección respecto a hallazgo de patologías.....	42
Tabla 2 Factor “B” golpes y resistencia a la compresión para la columna N°1 P1.....	47
Tabla 3 Factor “B” golpes y resistencia a la compresión para la columna N°2 P1.....	48
Tabla 4 Factor “B” golpes y resistencia a la compresión para la columna P2.....	49
Tabla 5 Verificación de la irregularidad torsional.....	59
Tabla 6 Combinaciones de carga de resistencia requerida.....	60
Tabla 7 Comparación de derivas sin y con reforzamiento en metros (m).....	73
Tabla 8 Tabla de cargas axiales y momentos de la columna P1 y P1 reforzado.....	79
Tabla 9 Tabla de cargas axiales y momentos de la columna P2 y P2 reforzado.....	80
Tabla 10 Comparación del costo del encamisado respecto al presupuesto.....	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Plano de ubicación del parque de tecnología e innovación.....	6
Figura 2 Columnas de concreto armado.....	13
Figura 3 Columna céntrica.....	13
Figura 4 Columna exterior y columna esquinada.....	14
Figura 5 Columnas con estribos y columnas con espirales.....	15
Figura 6 Columnas cortas y esbeltas.....	15
Figura 7 Momentos en columnas esbeltas sometidas a compresión más flexión, deflectados en curvatura simple	17
Figura 8 Puntos notables de interés del diagrama de interacción.....	18
Figura 9 Curvas esfuerzo-deformación para el concreto.....	18
Figura 10 Porcentaje de fuentes genéricas de la patología en la edificación.....	20
Figura 11 Tipología de patologías y agentes causantes.....	21
Figura 12 Propiedades de un sistema CFRP en tensión.....	23
Figura 13 Encamisado de concreto en una columna.....	24
Figura 14 Elevación y sección de columna reforzada.....	25
Figura 15 Esquema representativo de la adhesión de nuevas columnas mediante pasadores de acero.....	26
Figura 16 Refuerzo mediante muretes con malla electrosoldada.....	26
Figura 17 Pórtico arriostrado de acero.....	27
Figura 18 Sección transversal encamisada.....	27
Figura 19 Determinación de la factibilidad económica, mediante la comparación entre candidatos en base a su respectivo costo.....	29
Figura 20 Diagrama de recolección y procesamiento de datos para mejorar la resistencia a la flexo-compresión del encamisado a las columnas de concreto armado.....	36
Figura 21 Diagrama de recolección y procesamiento de datos para modelar la edificación de 2 niveles mejorada con el encamisado de columnas de concreto armado mediante el software ETABS.....	37
Figura 22 Diagrama de recolección y procesamiento de datos para determinar la factibilidad económica del encamisado de columnas de concreto armado.....	37
Figura 23 Plano de ubicación del parque de tecnología e innovación.....	39

Figura 24 Plano de elevación 01.....	40
Figura 25 Plano en planta PISO 1 columnas afectadas por patologías.....	40
Figura 26 Plano en planta PISO 2 columnas afectadas por patologías.....	41
Figura 27 Patologías halladas en columnas P1 y P2.....	43
Figura 28 Esclerómetro análogo Forney LA-0352.....	44
Figura 29 Ábaco para el cálculo de resistencia a la compresión en PSI.....	44
Figura 30 Distribución de golpes en columnas P1 y P2.....	45
Figura 31 Toma de valor de golpe de martillo “B” en columna N°1 P1.....	46
Figura 32 Toma de valor de golpe de martillo “B” en columna N°2 P1.....	46
Figura 33 Toma de valor de golpe de martillo “B” en columna P2.....	47
Figura 34 Asignación de unidades en ETABS.....	51
Figura 35 Definición de materiales.....	52
Figura 36 Definición de elementos estructurales.....	52
Figura 37 Edificación actual modelada en ETABS.....	53
Figura 38 Resumen de análisis sísmico dinámico.....	54
Figura 39 Espectro de diseño (Aceleración espectral vs Periodo)	55
Figura 40 Tabla de participación de masas.....	56
Figura 41 Máximas derivas de entrepiso del modelo sin reforzar en la Dirección “X” e “Y”	57
Figura 42 Desplazamientos laterales relativos admisibles.....	57
Figura 43 Distribución de nudos para el cálculo de derivas.....	58
Figura 44 Desplazamientos en los nudos de la edificación.....	58
Figura 45 Diagrama de interacción de columna P1 con $f'c = 180\text{kg/cm}^2$	60
Figura 46 Diagrama de interacción de columna P2 con $f'c = 180\text{ kg/cm}^2$	61
Figura 47 Detalle de columnas existentes.....	62
Figura 48 Sección bruta P1 quitando el concreto con patologías.....	63
Figura 49 Sección de columna encamisada P1 Propuesta.....	65
Figura 50 Sección bruta P2 quitando el concreto con patologías.....	66
Figura 51 Sección de columna encamisada P2 Propuesta.....	68
Figura 52 Diseño de columna encamisada P1 en ETABS.....	69
Figura 53 Diseño de columna encamisada P2 en ETABS.....	69
Figura 54 Diagramas de interacción P1 reforzado.....	70
Figura 55 Diagramas de interacción P2 reforzado.....	71
Figura 56 Periodos y frecuencias del nuevo modelo.....	71

Figura 57 Participación de masas del nuevo modelo.....	72
Figura 58 Derivas del nuevo modelo.....	72
Figura 59 Partidas a utilizar para el reforzamiento de columnas con el encamisado.....	74
Figura 60 Planilla de metrados.....	75
Figura 61 Vista en planta mostrando a detalle de zona de intervención para trabajos de excavación, demolición, acero, anclajes, encofrados y concreto.....	77
Figura 62 Vista en de corte mostrando a detalle de zona de intervención para trabajos de excavación, demolición, acero, anclajes, encofrados y concreto.....	77
Figura 63 Presupuesto antes de aplicar el encamisado de columnas.....	78
Figura 64 Presupuesto después de aplicar el encamisado.....	78
Figura 65 Comparación del diagrama de interacción de las columnas P1 y P1 reforzado.....	80
Figura 66 Comparación del diagrama de interacción de las columnas P2 y P2 reforzado.....	81
Figura 67 Comparación de la resistencia axial P1 y P1 reforzado, P2 y P2 reforzado.....	82
Figura 68 Comparación de momentos P1 y P1 reforzado, P2 y P2 reforzado.....	82
Figura 69 Presupuesto total de la obra.....	83
Figura 70 Gráfico de barras comparativo del costo de encamisado respecto al presupuesto.....	84

RESUMEN

El presente estudio tuvo como finalidad realizar la evaluación técnica-económica del tipo de reforzamiento estructural conocido como “encamisado” aplicado en una edificación de 2 niveles en La Molina, sin embargo, debido a un mal proceso constructivo se detectaron patologías en algunas las columnas de concreto armado, además de que su resistencia a la compresión estaba por debajo de lo que requieren las especificaciones técnicas del proyecto.

Mediante un análisis estructural se detectó deficiencias estructurales principalmente en cuanto a derivas, por lo cual se propuso un nuevo diseño de columnas encamisadas, esto aumentó su resistencia a la flexocompresión y corrigió dichas deficiencias estructurales. Se modela nuevamente la estructura con el diseño de encamisado para las columnas deficientes y se demostró que la propuesta planteada mejoró la respuesta estructural. Finalmente, el método del encamisado resultó factible económicamente debido al bajo costo que generaron las metrados y partidas que componen el reforzamiento estructural propuesto.

Palabras clave: evaluación técnica-económica, encamisado, análisis estructural, deficiencia estructural, patologías.

ABSTRACT

The purpose of this study was to carry out the technical-economic evaluation of the type of structural reinforcement known as “jacketed” applied in a 2-story building in La Molina, however, due to a poor construction process, pathologies were detected in some of the columns. concrete reinforcement, in addition to the fact that its compression resistance was below what the technical specifications of the project require.

Through a structural analysis, structural deficiencies were detected mainly in terms of derivatives, for which a new design of jacketed columns was proposed, this increased their resistance to flexo-compression and corrected these structural deficiencies. The structure is modeled again with the casing design for the deficient columns and it is demonstrated that the proposed proposal improved the structural response.

Finally, the casing method was economically feasible due to the low cost generated by the measurements and items that make up the proposed structural reinforcement.

Keywords: technical-economic evaluation, jacketed, structural analysis, structural deficiency, pathologies.

INTRODUCCIÓN

En el Perú es común la ejecución de obras por remodelación y reforzamiento, las causas pueden ser distintas por ello la necesidad de reforzar los elementos estructurales que componen la edificación, al no contar con la resistencia producto de una mala práctica en el proceso constructivo el objetivo fundamental es prolongar la vida útil de la estructura, particularmente las columnas es uno de los elementos más importantes cuando existe la necesidad de reforzar una edificación, ya que son elementos que aportan el apoyo necesario ante las cargas verticales así como también la rigidez lateral.

Las patologías y observaciones halladas durante el estudio demuestran la falta de control y seguimiento durante la ejecución de las diversas partidas, en virtud a ello se deben tomar las acciones correctivas con el fin de proteger la inversión que demanda el proyecto.

En consecuencia, la edificación de 2 niveles en La Molina, se evidencia que las patologías se ubican en las columnas de concreto armado, por tal motivo se plantea como tipo de reforzamiento estructural el encamisado de concreto armado, la propuesta planteada otorgar una mayor vida útil de las estructuras ya que permitiría una transmisión satisfactoria de esfuerzos.

En la actualidad existen diversos métodos de reforzamiento, sin embargo, el encamisado de concreto armado tiene una serie de ventajas como:

1. Concordancia entre el material original y el de refuerzo.
2. Extensa superficie de contacto, que permite una adherencia entre el nuevo concreto y el original.
3. Conexión de las estructuras originales con las nuevas.
4. Baja conductividad térmica, quiere decir buena resistencia al fuego y buen aislamiento térmico para las estructuras.
5. Facilidad para realizar los acabados de arquitectura por causa del concreto; de las cuales se obtiene un elemento monolítico.

Por esta razón, en el Perú, los proyectistas optan por usar el tipo de método propuesto ya que mejora la respuesta estructural ante el hallazgo de problemas críticos que comprometen la edificación en general.

En el capítulo I presentamos el problema, explicando el planteamiento del problema, se da a conocer porque se eligió este tema para este trabajo y nos orienta hacia la formulación del problema y a los objetivos generales y específicos que esperamos lograr en este estudio. También se desarrollaron significados temáticos en evolución y sus

justificaciones apropiadas, delineados por espacio, tiempo y tema, y se definió su viabilidad.

En el Capítulo II se desarrolla el marco teórico con la ayuda de una recopilación de información bibliográfica sobre el tema a desarrollar, incluyendo artículos importantes (nacionales e internacionales). Además, se presentan los antecedentes recopilados y las fuentes utilizadas en el trabajo, así como la justificación para ampliar la información.

En el Capítulo III se desarrollan las hipótesis principal y secundaria y se explican las variables dependientes e independientes, su operacionalización y relación entre sí, y su influencia entre sí.

En el Capítulo IV se implementa la metodología de investigación y se define el método de investigación, tipo, nivel, diseño y representación de la población y muestra de estudio. No sólo introduce métodos y equipos para la recopilación de datos, sino que también conduce a procedimientos y análisis de investigación.

El Capítulo V se desarrollan la descripción del proyecto, la investigación y descripción del proceso de refuerzo estructural de columnas de concreto armado mediante la recolección de datos y validación de las condiciones iniciales (no reforzadas) y finales (reforzadas) de la edificación, además de la evaluación y comparación económica, discusión de resultados y comparación de resultados. A través de un escenario se demuestra la viabilidad del refuerzo estructural de la edificación de 2 pisos en La Molina. Utilizando el software ETABS y el análisis económico, se logra aumentar la capacidad de las columnas de concreto armado que tenían patologías reforzando su estructura para mantener sus condiciones de funcionamiento. Y se evalúa la diferencia de costos entre utilizar el refuerzo alternativo propuesto (encamisado de concreto armado) y compararlo con el refuerzo original.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción y formulación del problema general y específicos

Descripción del Problema

El reforzamiento estructural es un componente vital en cuanto a la mejora de elementos o sistemas estructurales deficientes, debido a un mal diseño o inadecuada construcción.

Según un especialista en estructuras ecuatoriano:

Las estructuras de hormigón armado pueden presentar daños por varios motivos; materiales inadecuados, mano de obra no calificada, cargas concentradas sobre los elementos, asentamientos diferenciales, cambio de uso de edificaciones y la ocurrencia de eventos naturales no previstos. Los profesionales estructurales luego de analizar los daños, proponen y diseñan reforzamientos para cada uno de los casos, generando planos técnicos como entregable final. (Gualotuña, 2022, p. 14)

Las deficiencias estructurales se presentan en cualquier edificación, sin embargo, cuando estas tienen una mayor concurrencia de personas generan un gran peligro, por ejemplo, en referencia a edificaciones solicitadas, Quesada dice:

La necesidad de mejorar la calidad estética y las condiciones de infraestructura de los ambientes educativos debería ser una prioridad de las políticas educativas con el fin de crear una atmósfera óptima que promueva los procesos de enseñanza y aprendizaje para promover el sentido mismo de la educación más allá de sus propósitos académicos. (Quesada, 2019, p. 1)

El Perú, debido a la mala gestión en cuanto a construcción de edificaciones cuenta con muchos casos de elementos o incluso sistemas enteros estructuralmente deficientes, en algunos casos esto supone la demolición parcial o total de su edificación, siendo la opción menos viable, especialmente para instituciones que no cuentan con el suficiente capital para optar por esto.

Ante la existencia de edificaciones con alto riesgo sísmico, entidades como FEMA (395, 2003) plantean diferentes procedimientos para el reforzamiento mediante acciones implementadas en periodos de tiempos. De acuerdo a los lineamientos de FEMA 395, la más importante consideración es reducir el riesgo de colapso estructural catastrófico ya que esto representa la mayor amenaza para la vida de los usuarios. La primera opción es no hacer nada y esto representa ningún costo, pero un alto riesgo en la estructura. La segunda, es reemplazar la estructura por una nueva que se encuentre adaptada a los códigos y normativa vigente, esto

representa un alto costo y un bajo riesgo. La tercera, es reducir el riesgo realizando un reforzamiento en la estructura. (Quispe et al., 2020, p. 5)

En respuesta a esto, uno de los métodos más utilizados en cuanto a reforzamiento estructural es el encamisado, principalmente cuando se trata de columnas.

Ospina Gómez & López Román (2019) concluyó que el encamisado de columnas demostró aumento en cuanto a efecto en la capacidad, efecto en la rigidez y efecto de la durabilidad frente a otros métodos, pero en cuanto al aspecto de la estética, al aumentar la sección también reduce el área y distribución de arquitectura resultando algo molesto e incómodo; sin embargo, cuando se trata de reforzamiento estructural prima la funcionalidad sobre lo estético. (p. 45)

En base a lo mencionado anteriormente, se induce que el reforzamiento se prioriza sobre la estética, resulta más conveniente sacrificar algunos m² para asegurar que la edificación cumpla estructuralmente. Para la presente investigación, se evaluará técnica y económicamente el caso del edificio de 2 niveles construido en la Universidad Nacional Agraria La Molina, posteriormente se analizará cómo dicho método mejorará las propiedades de las columnas de concreto armado y determinar cuán factible económicamente resulta.

Formulación del Problema

Problema General

¿Cómo realizar la evaluación técnica y económica para el reforzamiento estructural en columnas de concreto armado en una edificación de 2 niveles en La Molina?

Problemas Específicos

- a) ¿Cómo mejorar la resistencia a la flexo-compresión mediante el encamisado a las columnas de concreto armado?
- b) ¿Cómo modelar la edificación de 2 niveles mejorada con el encamisado de columnas de concreto armado mediante el software ETABS?
- c) ¿Cómo determinar la factibilidad económica del encamisado de columnas de concreto armado?

1.2. Objetivo general y específico

Objetivo general

Realizar la evaluación técnica y económica para el reforzamiento estructural en columnas de concreto armado en una edificación de 2 niveles en La Molina.

Objetivos específicos

- a) Mejorar la resistencia a la flexo-compresión mediante el encamisado a las columnas de concreto armado.
- b) Modelar la edificación de 2 niveles mejorada con el encamisado de columnas de concreto armado mediante el software ETABS.
- c) Determinar la factibilidad económica del encamisado de columnas de concreto armado.

1.3. Delimitación de la investigación: temporal espacial y temática:

Delimitación temporal

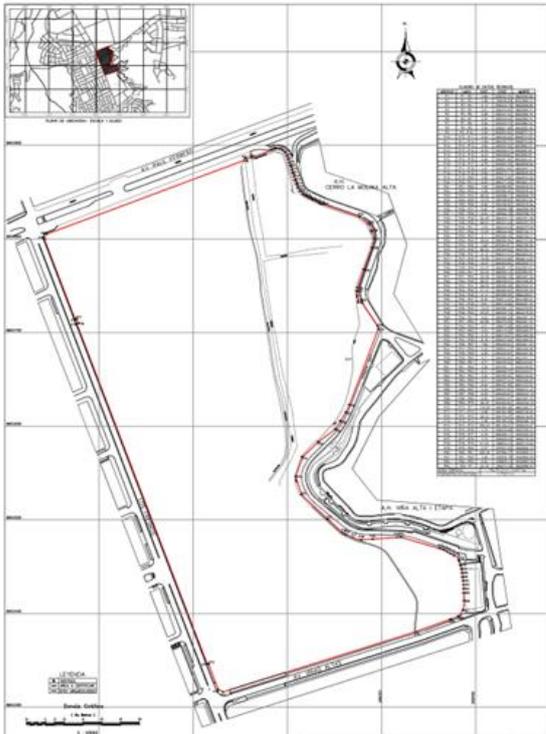
El inicio del proyecto de investigación inicia la primera semana de mayo del 2023, se estima que la inspección a la edificación, el desarrollo del ensayo, el modelamiento, diseño y análisis de resultados comprenderán 6 meses, culminando en noviembre del 2023, mejor detallado en el cronograma de actividades Anexo 1.

Delimitación espacial

Este trabajo de investigación se realiza entre las avenidas: Av. Raúl Ferrero, Av. Los Fresnos, Av. Viña Alto y Av. Las Moras (AA. HH Cerro La Molina Alta y AA. HH Viña Alta), que pertenece al distrito de La Molina, provincia de Lima, departamento de Lima, Perú. Las coordenadas son: Norte = 8029602 y Este = 276284, a una altura aproximada de 238 m.s.n.m., se presenta la ubicación en la Figura 1.

Figura 1

Plano de ubicación del módulo laboratorio



Nota: Base de datos del expediente técnico

Dicha construcción, consta principalmente de 5 módulos destinados a diferentes áreas, están conectados mediante plazas internas, áreas verdes, pasos peatonales y ciclovías. Entre dichos módulos, se evaluará el edificio “Laboratorio”, cuenta con 2 niveles, y un área techada aproximada de 2,900 m².

Delimitación temática

La línea de investigación comprende a “Reforzamiento estructural” y la especialidad es “Estructuras”.

1.4 Justificación e importancia de la investigación

1.4.1 Justificación teórica

En la actualidad en el Perú, todas las edificaciones mayormente presentan problemas, las patologías comprometen el desempeño de los elementos estructurales, de tal manera que hace necesario reforzar dichos elementos, como son las columnas de concreto armado, según el reglamento nacional los edificios afectados por fenómenos naturales o provocados por la mano de obra deben ser evaluados y diagnosticados para mitigar este problema, normalmente se prescriben las obras de refuerzo. Podremos realizar la

evaluación técnica y económica para el refuerzo estructural de columnas de concreto armado en una estructura de dos niveles en La Molina basándonos en las normas E 030, E 060 del RNE, ACI 369, además de utilizar la información recopilada.

1.4.2 Justificación práctica

En este estudio se propone realizar una evaluación del reforzamiento de encamisado de las columnas de concreto armado, para determinar cómo el encamisado mejora la resistencia a la flexo-compresión de la edificación, lo cual incrementa el desempeño sísmico corrigiendo derivas u otros problemas estructurales que estipule las normas del país, además de comprobar que dicho reforzamiento resulta económico para el proyecto. Es por esa razón, que la presente investigación busca demostrar que, en cuanto a edificaciones con problemas estructurales, el encamisado resulta la mejor opción en cuanto a reforzamiento estructural, esto con el fin de que puedan ser tomadas como referencia e incluso ser aplicadas en otros casos que tengan problemas estructurales en sus columnas debido al mal proceso constructivo y se cuente con un presupuesto bajo.

1.4.3 Justificación social

La propuesta se puede utilizar en estructuras que presenten patologías o deficiencias estructurales. Con el fin de proteger los cientos de vidas que se albergan en las instalaciones de gran concurrencia, el método elegido también será accesible, viable y económicamente factible. En este sentido, este estudio de investigación se concentrará en uno de los cinco módulos del proyecto el cual es un “Laboratorio”, en el cual se estima que 500 usuarios concurrirán diariamente para el uso de ensayos de varios tipos, la implementación del refuerzo estructural asegurará que la edificación cumpla la norma sismorresistente, de esta forma este proyecto de investigación beneficia a los usuarios mediante un local con infraestructura de vanguardia en base a las normativas peruanas.

1.4.4 Justificación económica

Entre las alternativas de reforzamiento estructural está el encamisado de columnas, el que resulta ser hasta en un 45% más económico que otros como el CFRP (Polímero reforzado de fibra de carbono), uno de los reforzamientos más populares; esto resulta una alternativa llamativa para centros de educación nacionales o privados que cuenten con escasos recursos o un ajustado presupuesto para la mitigación de problemas detectados durante el proceso constructivo.

1.4.5 Importancia de la investigación

El estudio de investigación demostrará que el método de encamisado de columnas resulta factible en cuanto a reforzamiento estructural de edificaciones con alta concurrencia, que hayan tenido problemas durante el proceso constructivo, se presenta dicho método como la mejor alternativa económica y beneficiosa para reforzar la estructura a fin de que se ajuste a los requisitos estructurales dados por las normas del Reglamento Nacional de Edificaciones.

1.5 Limitaciones

- El proyecto de investigación plantea el diseño del encamisado, el desempeño de la resistencia a la flexo-compresión y el costo netamente teórico, más no se ha efectuado en la práctica dicho reforzamiento en el proyecto sobre el que se plantea, esto debido a que no se cuenta con el permiso para realizarlo.
- El enfoque es el estudio de la resistencia a la flexo-compresión en las columnas de concreto armado y requerimientos sísmicos, por lo que no se evaluó la interacción suelo-columna (cimentaciones).

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del estudio de investigación

En el ámbito Internacional

Guaño (2018) en su trabajo para optar por el título de Magister: Estudio de la influencia de los sistemas de reforzamiento, mediante un análisis estructural, para mejorar la respuesta sismorresistente del edificio de la Contraloría General del Estado-Regional 1. Realizado en Quito, Ecuador.

Con el fin de elegir la opción más adecuada para reforzar estructuralmente la edificación mencionada en el título, se analizó los tres tipos de reforzamientos más conocidos en su país: refuerzo con recrecidos (encamisado) de hormigón, refuerzo con polímeros reforzados con fibras de carbono y refuerzo con encamisados de acero estructura.

El principal resultado es que en todos los tipos de reforzamientos se produjo que los desplazamientos laterales (derivas) y el periodo de vibración fueron influenciados positivamente, los elementos estructurales reforzados vieron una mejora en cuanto a desempeño sísmico que a su vez genera que la estructura en general aumente su rigidez.

El autor concluye que los sistemas de reforzamiento estructural mejoraron el comportamiento sismorresistente de la edificación estudiada, debido a que estos influyeron en el aumento de resistencia y ductilidad de la estructura.

Este proyecto de investigación comprueba que los reforzamientos estructurales como el encamisado y el uso de polímero de fibras de carbono tienen una influencia positiva para las edificaciones que presenten problemas en cuanto a derivas u otros parámetros relacionados al comportamiento sismorresistente, lo que vuelve a estos tipos de reforzamientos en las opciones más populares y factibles en nuestra región América del Sur.

Yépez (2019) en su tesis doctoral: Comportamiento de columnas de concreto armado reforzadas mediante el incremento de su sección transversal. Realizada en Rio Grande del Sur, Brasil.

El objetivo principal es el estudio del comportamiento de columnas esbeltas reforzadas mediante el recrecido de su sección transversal ó encamisado y la generación de un método numérico para calcular la resistencia a la flexo-compresión y utilizarlo en su diseño y análisis.

El principal resultado del desarrollo del método es un modelo matemático que facilita el cálculo de la resistencia a la flexocompresión de las columnas de concreto armado una vez aplicada la tensión mediante el enrasado (también conocido como encamisado) de su

sección transversal.

El autor concluye que, la principal ventaja del método de reforzamiento encamisado fue que la resistencia a la flexo-compresión aumenta considerablemente, esto se valida gracias al modelo simplificado desarrollado en la presente tesis, dicho modelo ahorró tiempo en cuanto a análisis de diseño en este aspecto.

Esta investigación doctoral valida que el encamisado de columnas mejora la resistencia a la flexo-compresión de las columnas, ya que el modelo simplificado que se desarrolló se basa en los lineamientos del código ACI.

Rodríguez (2020) en su tesis de grado: Análisis comparativo de las diferentes metodologías de reforzamiento estructural aplicables a edificaciones construidas en concreto reforzado. Realizado en Bogotá, Colombia. En el resumen indica que:

En diferentes partes del mundo es probable poder hallar varios tipos de estructuras como son las edificaciones y que estas al estar expuestas a los diversos fenómenos como las lluvias, vientos, sismos, inundaciones, remoción en masa, etc., se van deteriorando de tal manera que pierden algunas propiedades relacionadas con la estabilidad estructural, este problema hace que el elemento estructural se deteriore y pueda aumentar su probabilidad de que la edificación colapse.

Teniendo en consideración lo anterior es preciso señalar que en las últimas 5 décadas se han venido mejorando varios métodos o técnicas que permiten rehabilitar en gran medida las propiedades de estos elementos estructurales.

El objetivo principal de la investigación es entender cómo podemos llegar a reparar y restablecer el estado inicial que tenía este tipo de estructuras que fueron construidas muy recientemente, en vista que existe la obligación de mejorar su comportamiento estructural frente a la acción de diversos fenómenos naturales.

Esta tesis nos permite tener un mejor criterio analítico de tipo económico y de ingeniería, con el fin de poder obtener una idea más clara que nos permita tomar la mejor decisión entre una posible demolición y reconstrucción de la estructura o su mejoramiento por medio de la aplicación de algún método que serán expuestas.

En el ámbito Nacional

Guillermo & Silva (2019), en su tesis de grado: Evaluación y diseño de dos propuestas de reforzamiento para vigas y columnas de concreto armado de una edificación de hotel. Realizado en Lima, Perú.

El objetivo general es determinar si el CFRP o el encamisado para reforzar las vigas y

columnas de concreto armado era el más óptimo para una edificación de hotel.

El principal resultado es que el encamisado de columnas resultaba mucho más económico, sin embargo, el CFRP resultó superior en cuanto a tiempo de ejecución siendo el tiempo de actividades a desarrollar un 58% más rápido.

El autor concluye que para este caso en específico que se necesita una ejecución rápida para poner en actividad cuanto antes la edificación el CFRP resulta la mejor opción, ya que se prevé que el costo de la implementación del reforzamiento podría ser compensado con el capital generado por el inicio de actividades de dicho hotel.

El diseño del encamisado que se realiza en esta tesis, sirve como guía para el diseño del encamisado de las columnas de nuestra edificación, ya que este sigue la norma ACI 369 Rehabilitación sísmica de edificios de estructura de hormigón existentes.

Sarmiento (2021), en su trabajo de investigación: Análisis y diseño de dos propuestas de reforzamiento para columnas y vigas de la I.E Julio Cesar Tello en Ica – Pisco. En el resumen indica que:

El estudio realizado hasta 1997 encuentra que los desplazamientos laterales provocados por las presiones sísmicas estaban sobreestimados y que alrededor del 55% de las instituciones educativas públicas estaban construidas con estándares sismorresistentes. Por ello, el objetivo de este estudio es mejorar el comportamiento estructural del Colegio Julio César Tello, construido en 1959 en la ciudad de Ica, proponiendo dos métodos de refuerzo estructural y así aumentar su rigidez lateral en el eje débil. El centro educativo presenta una planta convencional de dos pisos, constituida principalmente por un sistema estructural con estructura aporticada que se extiende en ambas direcciones, y cuyas recomendaciones de refuerzo incluyen el uso de fibras de carbono y encamisado de concreto armado. La Norma ACI 440.2R-17 Fibra de Carbono y la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente, respectivamente, así como la Norma E.060 Hormigón Armado, sirven de base para los criterios de evaluación.

En general, se determina utilizando las normas técnicas y financieras que el encamisado de concreto armado para columnas, la aplicación de fibra de carbono para vigas y el encamisado de hormigón armado para I.E. Julio César Tello son las mejores opciones de refuerzo.

El presente estudio elige al encamisado como mejor opción principalmente por el costo y la simplicidad de las partidas de ejecución, además de mejorar el desempeño sísmico de la edificación más que la otra alternativa el CFRP.

Tudela (2022), en su tesis de grado: Análisis comparativo entre el encamisado de concreto

armado y el uso de CFRP como métodos de reforzamiento estructural en columnas. Realizado en Lima, Perú.

Tiene como objetivo general analizar y comparar cuál método es mejor para el reforzamiento estructural de columnas de concreto armado, si el encamisado o el uso de CFRP, específicamente comparó teóricamente la resistencia a la flexo-compresión de columnas, el proceso constructivo, costo, ventajas y desventajas de ambos métodos; adicionalmente comparó casos en el Perú de cada método.

El resultado es que, en el análisis de los dos métodos, el gasto que supone llevar a cabo cada propuesta de refuerzo en una columna, resultando sustancialmente más caro el refuerzo con CFRP (1,45 veces el coste del encamisado), lo que se debe al precio de los materiales necesarios para desarrollarlo.

El autor concluye que el análisis teórico de encamisado de columnas aportó más resistencia a la flexo-compresión, también este método permitió reducir el desplazamiento lateral de las estructuras analizadas, así como se evidencio que el proceso constructivo de este, presenta más ventajas frente al CFRP (principalmente por su simplicidad, que sólo implica partidas de encofrado, armado de acero y vaciado de concreto). En cuanto al costo, el encamisado resultó ser un 45% más económico que el método competidor (CFRP).

La evaluación económica que se realiza entre los proyectos analizados (partidas, metrados y sub presupuestos) servirá como base y fuente para desarrollar el presupuesto y determinación de la factibilidad económica de la edificación analizada en nuestra tesis.

2.2 Bases teóricas

Columnas de concreto armado

Son elementos estructurales, mayormente verticales encargados de transmitir las cargas de todo el edificio a los cimientos, mediante esfuerzos de compresión y flexión, en particular las columnas de concreto armado están compuestas de concreto y acero de refuerzo longitudinal, mostrada en la Figura 2.

Figura 2

Columnas de concreto armado



Nota: Revista cimientos (2019)

Tipos de columnas

Según su ubicación en la edificación:

Céntricas

Es una columna que se ubica en zonas al centro o cercanas al centro de la edificación, está conectada a 4 vigas y normalmente recibe mayor área tributaria que otras, como se observa en la Figura 3.

Figura 3

Columna céntrica



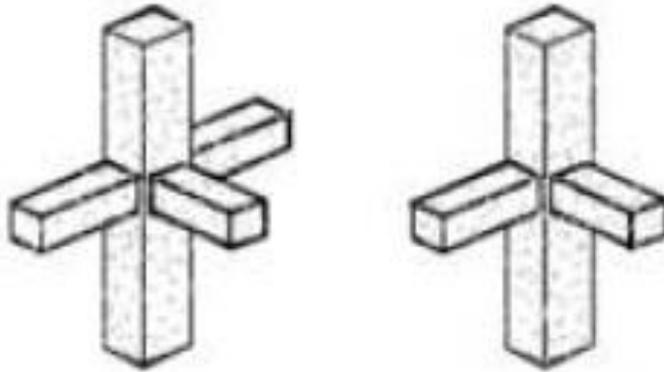
Nota: Vera (2020)

Exteriores y esquineras

Esta columna está posicionada en una zona que da más al exterior de la edificación, se encuentra conectada a 2 o 3 vigas, por su posición ocupan menos área tributaria, como se detalla en la Figura 4.

Figura 4

Columna exterior y columna esquinada



Nota: Vera (2020)

Según su forma y tipo de refuerzo transversal

Columnas con estribos o ganchos

Tudela. (2022, como se citó en Otazzi, 2016) dice que:

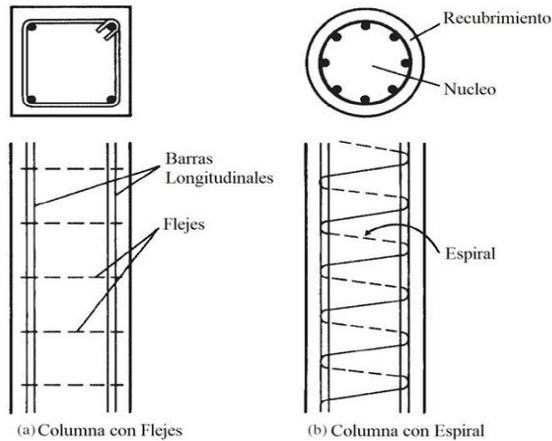
Son los más frecuentes en nuestro entorno y pueden identificarse por la forma en que se disponen los estribos a lo largo de la columna de forma aislada. Debido a los efectos de cortante y confinamiento, la separación entre estribos se reduce cuando las estructuras se construyen en zonas sísmicas. (p.6)

Columnas con espirales

Tudela (2022, como se citó en Otazzi, 2016) menciona que: “Cuando se requiere una gran ductilidad o cuando existen cargas axiales importantes, se suele emplear esta forma de columna, que a menudo se corresponde con secciones circulares”, como se muestra en la Figura 5. (p.7)

Figura 5

Columnas con estribos y columnas con espirales



Nota: McCormac (2011)

Según su esbeltez

Columna corta

Este tipo de columna no se ve afectado por la esbeltez en su comportamiento estructural, ya que normalmente estas son más pequeñas a pesar de tener una sección transversal considerable, debido a ello no tienen peligro de verse afectada por el pandeo.

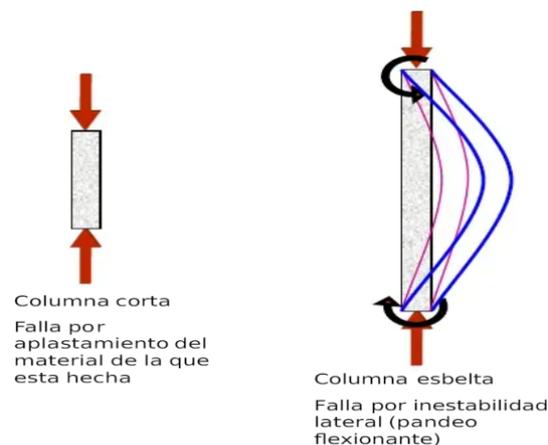
Columna esbelta

Son columnas que tienen una sección transversal pequeña en comparación a su sección longitudinal, esto se puede interpretar como si la columna es más “alta” pero más “delgada”, esto influye en su comportamiento estructural, cuando se produce el esfuerzo flexo-compresión se pandea debido a las cargas axial y momentos que se generan.

Para la presentación dichos casos, se observan en la Figura 6 columna corta y esbelta.

Figura 6

Columnas cortas y esbeltas



Nota: Cancino (2020)

Resistencia a la flexo-compresión

Las columnas de concreto armado trabajan mediante esfuerzos de compresión y flexión combinados, esto debido a que están sometidos en conjunto a cargas axiales y momentos flectores generados porque soportan gran parte del peso de la estructura (vigas, losas y demás elementos estructurales) tanto en el rango elástico como en el rango plástico.

Yépez (2019, como se citó en Nilson, 1999) dice que el comportamiento de las columnas depende en gran medida de su esbeltez, explicó que:

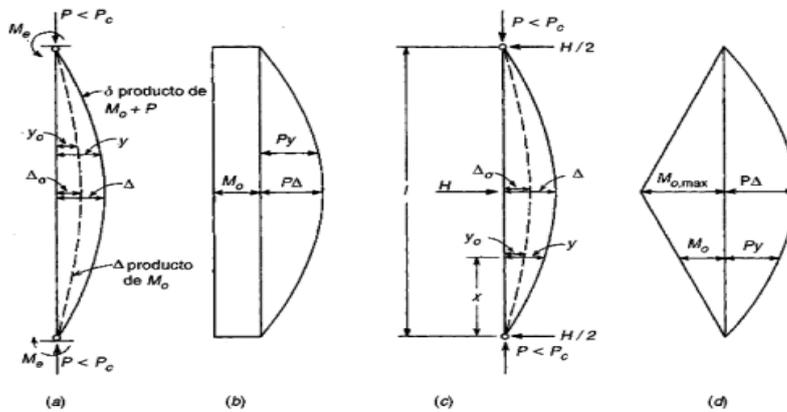
La columna de la ilustración adjunta se muestra cargada axialmente con una carga P y doblada por momentos iguales en sus extremos, M_e . El momento M_o en la columna sería constante a lo largo de la columna e igual al momento en los extremos M_e si no existiera la carga axial; la Figura (b) lo muestra. En este caso, la columna se dobla, lo que equivale a una flexión simple sin fuerza axial de compresión, como muestra la curva discontinua de la Figura (a), en la que M_e indica la deformación en cualquier punto provocada únicamente por la flexión. El momento de cualquier punto aumenta en una cantidad igual a P veces su brazo de palanca cuando se aplica la carga P . Los aumentos de momento conducen a más deflexiones, lo que da lugar a la curva continua de la Figura (a) para la deflexión bajo la acción combinada de P y M_o . El momento total se muestra entonces en cualquier punto está dado por:

$$M = M_o + P$$

Es decir, el momento total consiste en el momento M_o que actúa en presencia de P y el momento adicional producido por P , igual a P veces la deflexión lateral, mostrado en la Figura 7. (p.32)

Figura 7

Momentos en columnas esbeltas sometidas a compresión más flexión, deflectados en curvatura simple.



Nota: NILSON (1999).

Diagrama de interacción de la columna

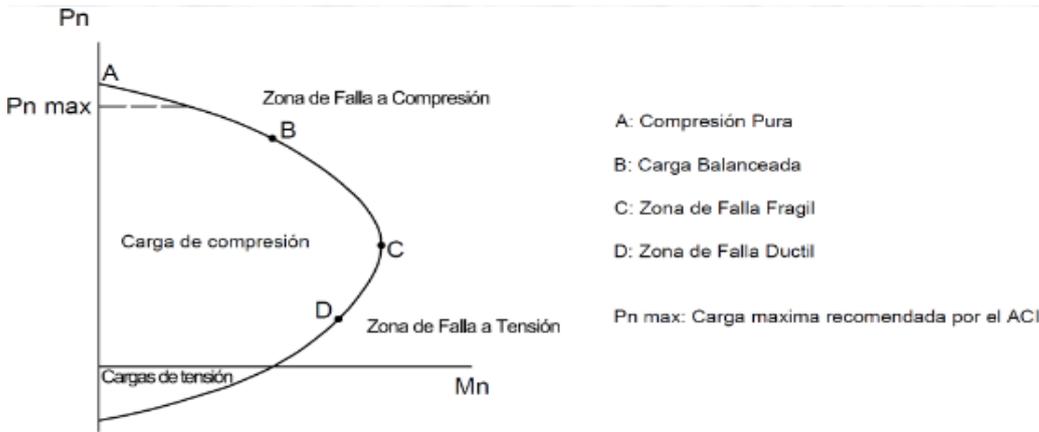
Un diagrama de interacción de resistencia define la carga y el momento de falla para determinada columna en el intervalo completo de excentricidades desde cero hasta el infinito. Para cualquier excentricidad, existe un solo par de valores P_n y M_n , que producirán un estado inminente de falla. (Nilson & Darwin, 1999. p.132).

Antes de dibujar el diagrama, se hacen las siguientes suposiciones sobre la columna:

- 1) En cada sección debe cumplirse la condición de equilibrio.
- 2) Debe suponerse que las tensiones unitarias en el concreto en el refuerzo no preesforzado son linealmente proporcionales a la separación del eje neutro.
- 3) Se recomienda suponer que en la fibra extrema que está sometida a compresión del concreto, la máxima deformación unitaria es de 0.003.
- 4) Debe considerarse que la zona de compresión equivalente tiene un esfuerzo de $0,85f'_c$ que se distribuye uniformemente y está separada de la fibra con mayor deformación unitaria en compresión por una distancia a , determinada por la fórmula: $a = \beta_1 x c$.
- 5) Según los requisitos reglamentarios para el hormigón estructural del ACI (ACI 318 SUS-14, 2014), la distancia, c , entre la fibra de deformación unitaria máxima y el eje neutro se medirá en la dirección perpendicular al eje neutro, como se ilustra en la Figura 8.

Figura 8

Puntos notables de interés del diagrama de interacción



Nota: ACI 318 SUS-14 (2014)

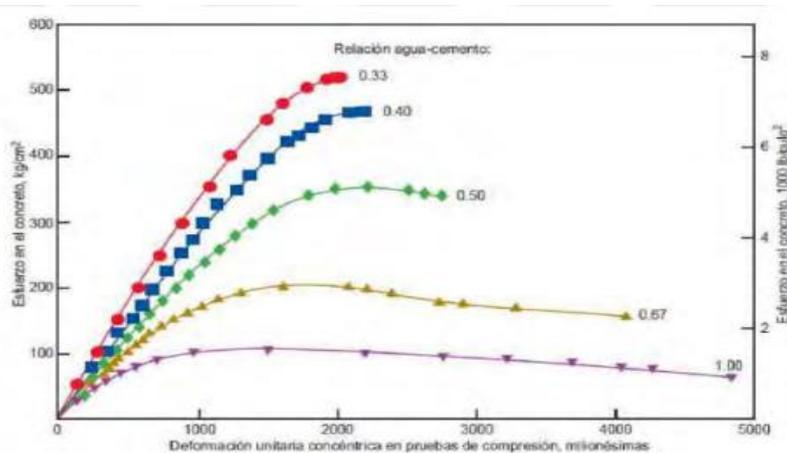
Resistencia a la compresión

Según Tudela (2022) en su tesis de grado define:

El valor de f'_c es el parámetro utilizado para cuantificar la resistencia a compresión del concreto, este valor generalmente indica la calidad del concreto. Se muestra a continuación en la Figura 9 curvas que relacionan el esfuerzo de compresión axial con la deformación unitaria para concreto. Al momento de realizar una construcción, se debe verificar que el concreto utilizado en campo cumpla el valor de f'_c especificado en el diseño, por lo que se realizan ensayos de calidad del concreto, en los que se somete probetas hechas con el concreto utilizado en obra a un esfuerzo de compresión axial. (p.7)

Figura 9

Curvas esfuerzo-deformación para el concreto



Nota: Portland Cement Association et al. (2004)

Evaluación estructural

Sika (2017), en su trabajo de investigación dice que:

La evaluación estructural normalmente se refiere al proceso de registrar observaciones y datos sobre el estado actual de la estructura por medio de métodos sistemáticos y científicos. Al realizar una evaluación estructural, es necesario llevar a cabo una serie de pruebas y recopilar datos para diagnosticar la patología o el daño del componente o de toda la estructura que se está evaluando. Esto implica una serie de procesos que deben tenerse en cuenta. (p.12)

Se recomienda realizar los siguientes pasos:

- a) Revisión de la información proporcionada
- b) Toma de medidas y fotografías
- c) Inspección de fisuras y grietas
- d) Evaluación y observación de fisuras y fracturas
- e) Evaluación de la resistencia actual del hormigón
- f) Inspección del acero de refuerzo
- g) La verificación de los cimientos
- h) Una medición de las vibraciones ambientales

Quevedo et al. (2020), en su trabajo de investigación sobre el procedimiento de evaluación estructural, recomienda dividirlo en tres fases:

PRIMERA FASE. - recopilación de datos fundamentales, como la recopilación de planos actuales, la revisión del proceso de construcción, la recopilación de las condiciones del emplazamiento y la recopilación de detalles sobre el suelo en el que se asienta el edificio.

SEGUNDA FASE. - comprende la evaluación preliminar, que incluye una inspección visual de la vivienda, la documentación de las condiciones descubiertas y la confirmación preliminar de las circunstancias actuales y las características estructurales de la vivienda, entre otras cosas.

TERCERA FASE. - consiste en una evaluación exhaustiva, que se lleva a cabo realizando las pruebas in situ y de laboratorio identificadas en la segunda fase, determinando el estado estructural actual y las características de la casa, comparando los resultados con los intervalos de valores aceptables establecidos por la norma y, por último, analizando los datos para decidir si es necesario un refuerzo estructural o una demolición parcial o total. (pp. 14-21)

Tanto autores locales, como empresas dedicadas al rubro de la construcción recomiendan

seguir una serie de pasos parecidos, empezando de la recopilación de información primaria y/o disponible (planos, fotos) del estado actual de la estructura, en caso de tener grietas o fisuras, se revisa el acero y concreto, posteriormente se realizan ensayos in situ y de laboratorios para la determinar si la estructura cumple con los valores establecidos por la norma; finalmente de no cumplir lo anterior mencionado, se diagnostica la acción necesaria para la estructura.

Patologías

Según Nina, E. (2020, como se citó en Ventura, 2004), en su tesis de grado define:

El término "Patología" también puede utilizarse para describir el estudio de las lesiones o problemas que se producen en los edificios y que están causados por la ausencia de algunas condiciones básicas de funcionamiento, como la funcionalidad, la seguridad o la habitabilidad. La patología en el contexto de la construcción es el estudio de una serie de procesos de degradación representados por cambios en los materiales y elementos constructivos (p.29)

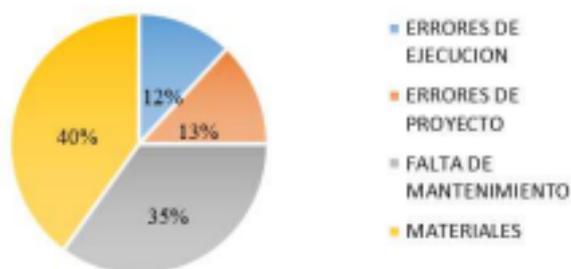
Fuentes de la patología

Nina, E. (2020, como se citó en Calavera, 2005), nos indica que:

Las principales causas de patologías en un edificio se basan en cuatro aspectos significativos relacionados con las investigaciones de accidentes, las construcciones con circunstancias de ejecución incorrectas, los errores de proyecto, la falta de mantenimiento en los elementos estructurales y el uso de materiales de construcción deficientes, según se determinó mediante un estudio exhaustivo los valores estimados fueron los siguientes, según se observa en la Figura 10. (p.29)

Figura 10

Porcentaje de fuentes genéricas de la patología en la edificación



Nota: Calavera (2005)

Según Nina (2020) que en base la publicación de Calavera del 2005 "En torno a la

inspección térmica de edificios” de Inganacion García Casas e Igro Yañez Velasco, sintetizó las patologías más frecuentes y sintomatología para su detección y diagnóstico, como se detalla en la Figura 11. (p.30)

Figura 11

Tipología de patologías y agentes causantes

TIPOLOGIAS DE LAS PATOLOGIAS Y LOS AGENTES CAUSANTES		
Tipología de la lesión	Sintomatología	Agente Patológico
Físicas	<ul style="list-style-type: none"> - Humedad - Erosión Física - Meteorización 	<ul style="list-style-type: none"> - Presencia de agua - Condiciones atmosféricas - Excrementos de animales
Mecánicas	<ul style="list-style-type: none"> - Deformaciones - Agrietamientos - Fisuraciones - Desprendimientos - Erosión Mecánica 	<ul style="list-style-type: none"> - Cargas y sobrecargas - Incremento esbeltez - Fallo de sustentación - Dilataciones - Retracciones - Mala ejecución - Acción del viento
Químicas	<ul style="list-style-type: none"> - Disgregación - Disolución - Oxidación - Eflorescencias - Explosión - Combustión 	<ul style="list-style-type: none"> - Contaminantes ambientales - Presencia de agua - Disolución de sales - Temperatura - Proceso Involutivo
Electro Químicas	<ul style="list-style-type: none"> - Corrosión 	<ul style="list-style-type: none"> - Presencia de agua - Mala ejecución
Biológicas	<ul style="list-style-type: none"> - Pudrición Parda - Pudrición Blanca - Disgregación 	<ul style="list-style-type: none"> - Presencia de hongos - Presencia de xilófagos

Nota: Calavera (2005)

Reforzamiento estructural

Arellano (2021) define que:

La aplicación de sistemas de refuerzos a utilizar tiene como fin extender el tiempo de vida útil de un edificio actual que se ciñe a los requerimientos del cliente. La recuperación de una edificación no siempre se realizará cuando los elementos estructurales presentan un mal estado, más bien podría ser ejecutado estando en buenas condiciones. Un ejemplo notorio es cuando se requiere que la estructura soporte más peso de lo debido o un cambio de uso futuro. La acción de corregir la desviación en concreto armado, restituir o hacer un recambio incluso incrementar las propiedades del elemento a reforzar es una de la finalidad principal. Estas se adaptan a la estructura para brindar un mejor desempeño estructural ante posibles agentes externos como son los desplazamientos por efecto de los sismos. (p.8)

Reforzamiento:

- Incremento de la capacidad estructural superando los niveles originales.
- El reforzamiento sísmico debe satisfacer ciertos requerimientos descritos en la norma de la ASCE:
- La recuperación incorpora el reemplazo, reforzamiento del elemento o variación de la estructura de tal forma que su comportamiento llegue alcanzar el nivel de desempeño elegido.
- Los resultados del reforzamiento en la rigidez, resistencia y deformación deben ser considerados en el análisis de la estructura recuperada.
- Las conexiones requeridas entre los componentes nuevos y existentes deben satisfacer los requerimientos dados en ACI 318 (p.18)

Técnicas de reforzamiento estructural

Ariza, R. (2020), en su trabajo de investigación indica que:

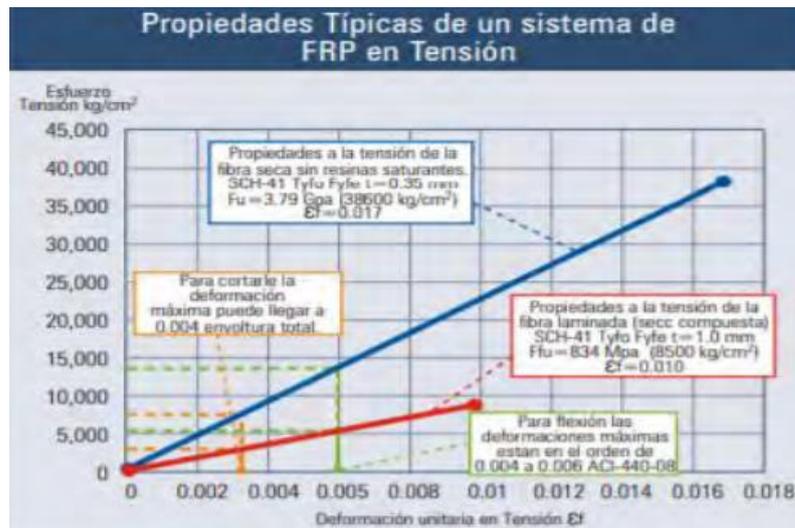
Existen 2 tipos de métodos de reforzamiento: el método integral y el incremental; y que a partir de estos tenemos las técnicas de reforzamiento, entre ellas:

1. Refuerzo con CFRP

Esta técnica es usada mundialmente desde los 80's, pero es recién aplicada en el Perú desde los años 90's; se obtiene del recalentamiento sucesivo del poliacrilonitrilo, resultando el CFRP cintas delgadas casi 10 veces menor al diámetro de un cabello, pero resistentes a la tracción y muy flexibles. Dicho material se usa a menudo para el refuerzo de vigas y losas para mejorar su resistencia a la flexión y cortante, el refuerzo de columnas, muros y placas para soportar mayores cargas axiales y cortantes, como se muestra en la Figura 12. (p.16)

Figura 12

Propiedades de un sistema CFRP en tensión



Nota: Ariza (2020)

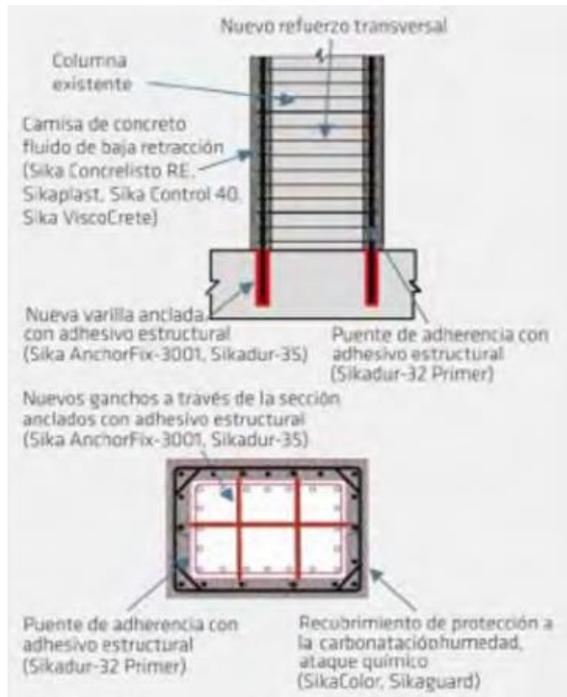
2. Reforzamiento mediante encamisado de columnas

Esta técnica aumenta la sección transversal del elemento, esto ocasiona un aumento en la resistencia axial, cortante, flexión y rigidez. Existen 2 tipos de encamisados: concreto reforzado y acero.

Encamisado de concreto. - consiste en agregar refuerzo longitudinal y transversal o una malla electrosoldada alrededor de la sección de la columna (dicho refuerzo debe de estar conectado mediante conexiones soldadas con la armadura de la columna original), dependiendo del estado del concreto: si el concreto es antiguo pero está en un estado aceptable se vacía el concreto sobre este, claro está se debe aplicar una sustancia de adherencia como un epóxico, de ser el caso de un concreto pobre o afectado por algún tipo de patología, se pica el concreto hasta llegar al acero longitudinal, posteriormente se vaciará el concreto; adicionalmente se pueden añadir aditivos para mejora la adherencia, según se detalla en la Figura 13. (p.28)

Figura 13

Encamisado de concreto en una columna

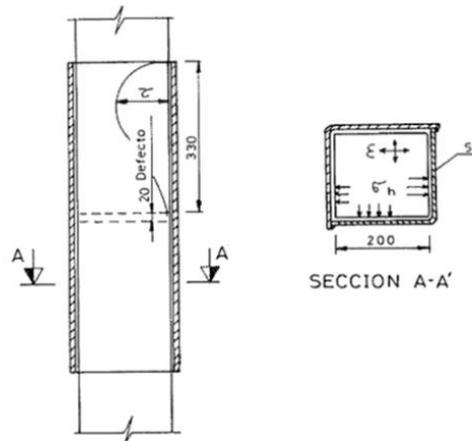


Nota: Sika (2017)

3. Encamisado de acero.- que consiste en adicionar acero a la superficie de la columna existente, para lo cual existen diversas formas de hacerlo: colocación de ángulos de acero en aristas unidas mediante soleras transversales, encamisado de chapas y ángulos de aceros unidos; para eso es necesario preparar la superficie de la columna para posteriormente preparar chapas en base a las dimensiones de la columna para colocarlas a un espaciamiento de al menos 2 mm con la inyección de material a base de resina epóxica, que sirve como adhesivo entre la columna y el refuerzo metálico, como se observa en la Figura 14. (p.32)

Figura 14

Elevación y sección de columna reforzada



Nota: ATEP (2015)

4. Adición de columnas de concreto armado

Esta técnica consiste en la adición de nuevas columnas de concreto armado en ambos lados de columnas existentes, estas se conectan a través de pasadores de acero que unen las tres partes; se mejoran características mecánicas principalmente la inercia (por tanto, se eleva la magnitud de rigidez lateral). (p.33)

Para poder dar cuenta de la magnitud del incremento, se puede analizar el caso para la adición de dos columnas del mismo tipo a una columna de fachada asumiendo que cada una sea de sección “a” centímetros por “b” centímetros. De esta manera se tendría el siguiente valor de rigidez lateral para una columna:

$$K_{lateral1} = 12 \frac{E \times \frac{ab^3}{12}}{L^3} = \frac{Eab^3}{L^3}$$

Al añadir las nuevas secciones, se tendría de una sección de “a” centímetros por “3b” centímetros. Así, la rigidez lateral estaría dada por:

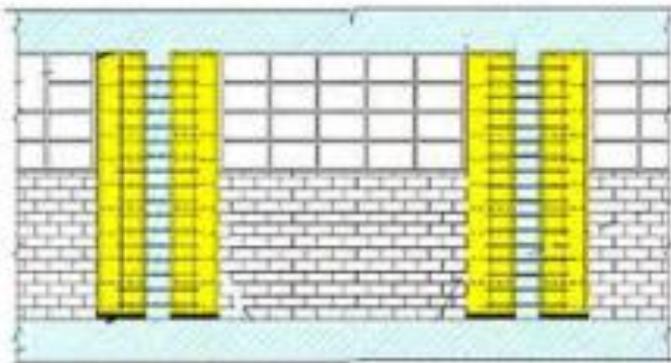
$$K_{lateral2} = 12 \frac{E \times \frac{a(3b^3)}{12}}{L^3} = 27 \frac{Eab^3}{L^3}$$

Como se puede observar, existe ahora un incremento de 27 veces el valor inicial de la

rigidez lateral. Es decir, con la adición de estas nuevas columnas (ver Figura 15), se logra una mejora considerable en las características de la columna frente a cargas de sismo. Esto se traduce en un menor daño debido a la reducción de la magnitud de las deformaciones laterales. (p.35)

Figura 15

Esquema representativo de la adhesión de nuevas columnas mediante pasadores de acero.



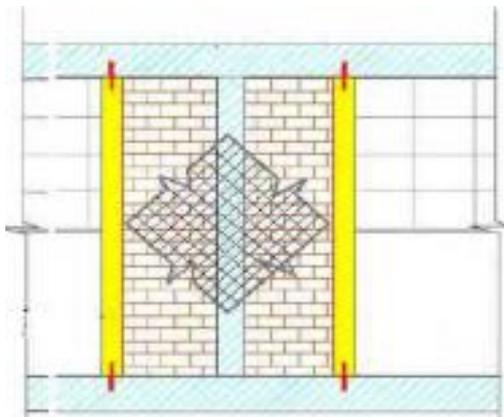
Nota: Ramirez (2017)

5. Muretes de albañilería reforzadas con malla de electrosoldados (MARM)

Se busca incrementar principalmente la rigidez y resistencia en la dirección longitudinal mediante la colocación de muretes de albañilería, para evitar que el murete sufra volcamiento se colocan columnetas a cada lado extremo del muro, dichas columnetas se anclan mediante pasadores (ver Figura 16), para su posterior enchaquetado mediante la malla electro soldada. (p.38)

Figura 16

Refuerzo mediante muretes con malla electrosoldada



Nota: Ramirez (2017)

6. Adición de marcos de acero con arriostres concéntricos (ACMAC)

Esta técnica tradicional consiste en la instalación de perfiles metálicos como arriostres entre pórticos de concreto armado, para ante la ocurrencia de algún evento sísmico el arriostre tenga un comportamiento reticulado; se caracteriza por su elevado aporte de resistencia y rigidez lateral en edificios de baja y mediana altura lo cual permite el control de desplazamientos. Se puede realizar interna y externamente al pórtico, como se muestra en la Figura 17. (p.43)

Figura 17

Pórtico arriostrado de acero



Nota: Crisafulli (2014)

Diseño de encamisado de columnas

La siguiente ecuación se suministra porque el concreto que se añadirá a la sección actual (ver Figura 18) debe soportar al menos la mitad de la resistencia axial:

$$\frac{P_n}{2} = 0.85 \times f'_{cc} \times A_b$$

Para:

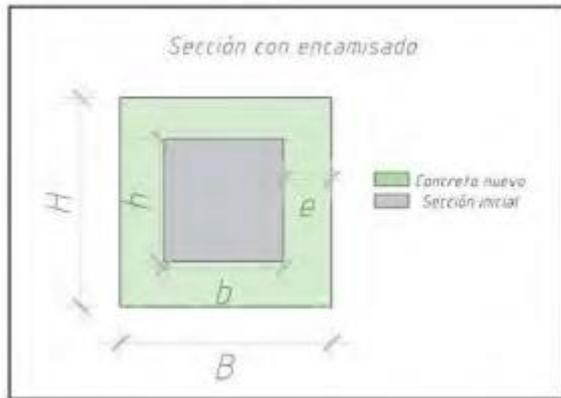
P_n = Resistencia axial nominal

f'_{cc} = Esfuerzo de compresión del concreto nuevo

A_b = Área bruta de la sección de encamisado

Figura 18

Sección transversal encamisada



Nota: Tudela (2022)

Las dimensiones de la sección actual de la columna son la base (b) y la altura (h), mientras que las dimensiones de la sección de la nueva sección transversal son la base (B) y la altura (H), siendo "e" el grosor de la columna. El área bruta de la camisa de concreto se expresa de la siguiente manera:

$$Ab = (B \times H) - (b \times h), \text{ esto se puede expresar en términos de "e"}$$

$$Ab = 4 \times (e^2) + 2 \times e \times (b + h)$$

La ecuación clásica se utiliza para determinar la resistencia axial en un pilar, punto que corresponde también al fallo por compresión en el diagrama de interacción, para el cálculo del acero.

Diseño por cortante

El diseño cortante del concreto sigue el mismo proceso que el de una columna convencional. La siguiente ecuación se utiliza para calcular la resistencia a cortante de diseño de acero en estribos:

$$\phi V_c = 0.85 \times 0.53 \times f'_{cc} \times B \times d$$

Donde:

ϕV_c = Resistencia de diseño al corte del concreto

B = Ancho de la sección

d = Peralte efectivo de la sección

f'_{cc} = Resistencia a la compresión del concreto nuevo

Para la resistencia del acero transversal se utiliza la siguiente ecuación:

$$\phi V_s = \frac{(\phi A_g \cdot f_y \cdot d)}{s}$$

Donde:

ϕV_s = Resistencia de diseño al corte del acero transversal

Ag = Resistencia a la compresión del concreto

fy = Resistencia a tracción del acero

d = Peralte efectivo de la sección

s = Separación de los estribos

Factibilidad económica

Para la determinación de viabilidad económica de un proyecto, o en este caso llamado “factibilidad económica” se deben determinar costos en la implementación para la aplicación de este.

Cueva (2021) dice que:

Ante la necesidad de adquirir una infraestructura de viviendas, las modificaciones de uso y ampliaciones, como también la importancia de saber el estado de los edificios existentes teniendo en cuenta un posible evento sísmico aparecen distintos tipos de reforzamientos estructurales o demolición para nueva edificación. El estudio se orienta en analizar, evaluar, diseñar y comparar las opciones que pueden ser objeto de investigación. (p.14)

En nuestro caso al analizar solo un tipo de reforzamiento, se comparará el costo total de la implementación del reforzamiento de encamisado con el costo de la partida de columnas, el costo de la edificación “Laboratorio” y el costo total del proyecto. Para definir un ejemplo se presenta la Figura 19.

Figura 19

Determinación de la factibilidad económica, mediante la comparación entre candidatos en base a su respectivo costo



Nota: Schneider Electric - Power EMEAS - BU Energy - Lob Transformers (2011)

ASTM C805 Método de prueba estándar para el número de rebote de concreto endurecido

Este método cubre la determinación de un número de rebote de concreto endurecido utilizando el martillo de acero accionado por resorte.

Criterios para la aplicabilidad del ensayo:

- 1) Los elementos de concreto que se van a evaluar deben estar fijados en el interior de una estructura y tener un grosor de al menos 100 mm. El soporte de los especímenes más pequeños debe ser resistente. Evite los lugares con incrustaciones, alveolados o porosidad excesiva. Si el material de forma sobre el que se ha colocado el concreto es diferente, no compare los resultados de los ensayos. En comparación con los acabados enrasados o conformados, las superficies con llanas suelen tener mayores números de rebote. Ensaye las losas estructurales desde la parte inferior de ser posible, para evitar superficies acabadas.
- 2) Preparación de la superficie de ensayo: La superficie de prueba debe tener un diámetro mínimo de 150 mm. La piedra abrasiva puede utilizarse para rectificar superficies con mucha rugosidad, blandas o sueltas. No es necesario escarificar superficies lisas o formadas con llana antes de la prueba. No compare los resultados de las superficies de tierra y sin tierra. Si hay agua libre en la superficie, retírela antes de realizar la prueba.
- 3) Al número entero más próximo, lea y anote el número de rebote. Cada área de ensayo debe arrojar 10 lecturas. Al menos 25 mm (1 pulg) deben separar los puntos de impacto, y al menos 50 mm (2 pulg) deben separar los puntos de impacto de los bordes del elemento. Si el impacto aplasta o rompe un espacio de aire cercano a la superficie, descarte la lectura y tome otra. En caso contrario, examine la impresión dejada en la superficie tras el impacto.
- 4) Calcule la media de las lecturas restantes tras eliminar cualquier lectura que se desvíe de la media de las otras 10 lecturas en más de 6 unidades. Debe descartarse todo el conjunto de mediciones y calcular números de rebote en 10 nuevos lugares alrededor de la zona de prueba si más de dos lecturas se desvían de la media en más de 6 unidades.

ACI 369 Seismic Rehabilitation of Existing Concrete Frame Buildings.

Esta norma internacional del “American Institute Concrete” (ACI) menciona que se deben tomar los siguientes aspectos en cuanto a la aplicación del reforzamiento estructural:

- ❖ Para garantizar una fuerte unión entre el concreto fresco y el antiguo, la superficie del

elemento debe estar limpia y ser rugosa. Esto favorecerá un comportamiento monolítico.

- ❖ Hay que tener en cuenta la distancia mínima entre el encofrado y el concreto existente, la separación mínima entre el refuerzo y el tamaño máximo del agregado grueso.
- ❖ Para el caso de columnas, si se desea potenciar aún más la resistencia a flexión en los extremos del elemento el refuerzo longitudinal de las columnas debe atravesar la losa.
- ❖ Para permitir la transferencia de esfuerzos entre la estructura nueva y la antigua, deben colocarse dispositivos de conexión entre el refuerzo y el concreto antiguo.
- ❖ Es esencial proporcionar un mecanismo de transferencia de esfuerzos cortantes suficiente en la zona de contacto entre el revestimiento y el elemento existente para evitar el movimiento relativo entre los dos concretos y garantizar un comportamiento monolítico del elemento revestido.

Norma técnica E 020 Cargas

Para el cálculo del metrado de cargas, se dispone de los siguientes capítulos.

Según el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2021):

La norma E 020 del RNE contiene 7 capítulos, que contiene información para el cálculo de las cargas que se presentan en la estructura a estudiar. Serán tomados los Capítulo II: Carga Muerta, Capítulo III: Carga viva y Capítulo V: Distribución y combinación de cargas. (p.2)

Norma técnica E 030 Diseño Sismorresistente

Esta norma nos permite realizar el análisis estructural dinámico para la verificación de desplazamientos laterales o derivas y otras irregularidades que se detecten en base a las disposiciones que dicha norma menciona.

Según el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2021):

La norma técnica E 030 del RNE comprende una serie de procedimientos para estimar la demanda y respuesta sísmica, por ello es de suma importancia en esta investigación porque establece la resistencia y rigidez que debe tener una edificación. Como base de estudio serán tomados en cuenta los Capítulo II: Peligro sísmico, Capítulo III: Categoría, Sistema Estructural y Regularidad de las Edificaciones, Capítulo IV: Análisis Estructural y Capítulo V: Requisitos de Rigidez, Resistencia y Ductilidad. (p.3)

Norma técnica E 060 Concreto Armado

Según el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2021):

La norma E 060 del RNE contiene 22 capítulos, que facilita información clave para el diseño y análisis de estructuras de concreto armado en la cual se hace mención a los

materiales que conforman el concreto armado como también detalla las especificaciones de las características del concreto, como su módulo de elasticidad “ E_c ”, resistencia a la compresión “ f'_c ”, detalles de refuerzo (gancho estándar, flexión, condiciones de la superficie de la armadura, colocación, espaciado, recubrimiento de concreto para la armadura, detalle de la armadura para las columnas, conexiones, armadura transversal para los elementos de compresión y flexión, refuerzo por contracción y temperatura y, por último, requisitos necesarios para la integridad estructural), así como las características del acero, como el límite elástico para el acero de grado 60. ($f_y = 4200 \text{ kgf/cm}^2$), entre otras propiedades. También posee métodos y especificaciones fundamentales para el dimensionamiento preliminar y final de elementos verticales y horizontales (columnas y vigas), muros de corte (placas), zapatas y losas. (p.2)

Definición de términos básicos

Arriostres. - Son elementos compuestos y de seguridad que conforman una armadura, suelen consistir en un núcleo de acero y un sistema para limitar la flexión de dicho núcleo.

CFRP. - Polímero reforzado con fibra de carbono.

Excentricidad. - se refiere a la distancia ficticia entre un lugar real en el espacio y el centro de gravedad de una superficie o una varilla.

Flexibilidad. - Propiedad de los materiales para doblarse o deformarse sin romperse.

Pandeo. - es un fenómeno llamado inestabilidad elástica que puede ocurrir en secciones de compresión alargadas y se manifiesta como desplazamientos significativos en la dirección principal de compresión.

Poliacrilonitrilo. - Polímero vinílico, utilizado para la fabricación de fibras sintéticas.

Reforzamiento. - Su función es aumentar la resistencia de la estructura o de sus componentes y mejorar la estabilidad estructural del edificio. El término intervención suele ser sinónimo de rehabilitación.

Refuerzo de acero. - Colocación o adición de varillas corrugadas de acero, ya sea longitudinal o transversal.

Rigidez. - Propiedad de un elemento para oponerse a la deformación causada por alguna fuerza externa.

Sismorresistente. - Se entiende que un elemento o estructura cumple con esta característica cuando su diseño y construcción soporta las cargas permanentes y sobrecargas operativas, además de considerar las acciones provocadas por los sismos.

CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

3.1 Hipótesis

Hipótesis general

La evaluación técnica y económica para el reforzamiento estructural mejorará la resistencia estructural de las columnas de concreto armado en una edificación de 2 niveles en La Molina.

Hipótesis específicas

- a) La resistencia a la flexo-compresión aumentará hasta 200% con el encamisado a las columnas de concreto armado.
- b) Conociendo el modelo de la edificación de dos niveles se mejorará la respuesta sísmica, cuyos valores son menores a los que indica la norma.
- c) Conociendo la factibilidad económica se determinará que el uso del encamisado de columnas costará un 5% del presupuesto total.

3.2 Variables

Definición conceptual de variables

a) Variable independiente

“Es aquella que el investigador puede medir, manipular o seleccionar con el fin de relacionarlo con un fenómeno o fenómeno observado” (Buendía et al., 1998, p. 12).

La variable independiente son las columnas de concreto armado de la edificación de 2 niveles ubicada en La Molina.

b) Variable dependiente

“Es el fenómeno o situación que se explica sobre la variable independiente, también se le conoce como la variable de efecto y se utiliza para caracterizar el problema estudiado” (Rodríguez et al., 2021, p. 16)

Variable 1: Evaluación técnica para el reforzamiento estructural

Variable 2: Evaluación económica para el reforzamiento estructural

Operacionalización de variables

La operacionalización de variables es importante y necesaria para la demostración de las hipótesis, consiste en ampliar el concepto de la variable, con el objeto de hallar racionalmente otras variables concretas que logren el mismo o mejor efecto. Por ejemplo, si nosotros conocemos las propiedades que caracterizan a una variable y entre ellas identificamos a las que le confieren el efecto que esperamos. (Amiel, 2007, p. 105)

Se muestra la operacionalización de las variables dependientes e independientes en el Anexo 3.

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA

4.1 Tipo y nivel

Tipo

“La investigación aplicada consiste en buscar, conocer, actuar, construir y modificar una realidad problemática” (Borja, 2012, p. 10).

“La investigación cuantitativa confía en la medición numérica, el conteo y el uso de la estadística para establecer con exactitud patrones de comportamiento de la población” (Borja, 2012, p. 10).

El tipo de investigación de la presente tesis fue aplicada y con enfoque cuantitativo; en vista que plantea una posible solución para el reforzamiento estructural aplicando el método del encamisado de columnas, se cuantificó en porcentaje el aumento de la flexocompresión en columnas y cuán factible económicamente es la implementación de dicho método de reforzamiento estructural para la edificación.

Nivel

“La investigación descriptiva se refiere al tipo de pregunta de investigación, diseño y análisis de datos que se aplica a un tema determinado. La estadística descriptiva responde a las preguntas "quién, qué, cuándo, dónde y cómo” (Abreu, 2012, p. 192).

El nivel de investigación de la presente tesis fue descriptiva puesto que, describe como el método del encamisado mejora su capacidad resistente reforzándolos frente a la flexocompresión garantizando el esfuerzo en simultáneo entre diferentes elementos.

4.2 Diseño de investigación

“La investigación no experimental, consiste en estudios que se realizan sin la manipulación deliberada de variables y en lo que sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para después analizarlos” (Hernández et al., 2010, p. 149).

“La investigación con diseño transversal es la que describe el fenómeno de estudio en un momento determinado del tiempo” (Borja, 2012, p. 10).

El modelo de diseño de la investigación fue no experimental con diseño transversal en vista que las variables independientes no serán manipuladas porque se observan tal como se ha dado en su contexto original ya que las columnas de concreto armado ya fueron diseñadas, y por otro lado transversal porque nos interesa el momento en el que son reforzadas en un determinado periodo.

4.3 Población y muestra

Población

“Una población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones” (Hernández et al., 2014, p. 174).

La población para esta investigación fueron los cinco módulos o edificaciones del proyecto estudiado.

Muestra

“Es una parte de la población que se selecciona, de esta se obtiene la información para el desarrollo del estudio y sobre la cual se harán la medición y la observación de las variables objeto de estudio” (Bernal, 2010, p. 177).

La muestra de la investigación fue uno de los módulos, llamado “Laboratorio”, que cuenta con dos niveles se encuentra al sur, cuenta con un área techada aproximada de 2900 m².

4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas

Observación Directa:

Se utilizaron los métodos propuestos por autores o instituciones que recomiendan para realizar una adecuada evaluación estructural, a partir de esta se identificaron las patologías para su clasificación y finalmente se determinó la técnica de reforzamiento adecuada.

Análisis documental:

- Se recopiló tesis, artículos, libros y otras referencias para el desarrollo de la tesis.
- Se obtuvo el expediente técnico del proyecto, este contiene el diseño de los elementos estructurales, especificaciones técnicas y demás información sobre la edificación.
- Ensayo de esclerometría:
Se obtuvo la resistencia a la compresión mediante el ensayo esclerométrico, mediante golpes de martillo a las columnas siguiendo la normativa ASTM C805 Método de prueba estándar para el número de rebote de concreto endurecido.

Instrumentos

- Expediente técnico del proyecto. - documento que contiene planos, memorias de cálculo, diseño del proyecto, etc.
- Norma ASTM C805 Método de prueba estándar para el número de rebote de concreto endurecido.
- Normas técnicas del RNE: E 020 Cargas, E 030 Diseño sismorresistente y E 060 Concreto Armado (2021).

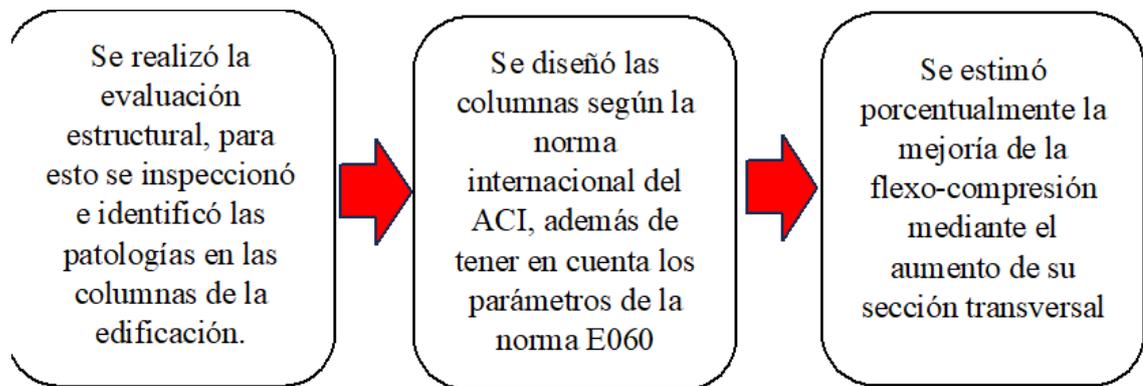
- Norma internacional del ACI 369 - Seismic Rehabilitation of Existing Concrete Frame Buildings.
- Etabs (V. 2019)
- Hojas de cálculo (Excel 2019)
- S10 (V. 2005)

Procedimiento de recolección y procesamiento de datos

En la Figura 20, se presenta el diagrama de flujo para la recolección y el procesamiento para datos para mejorar la resistencia a la flexo-compresión del encamisado a las columnas de concreto armado.

Figura 20

Diagrama de recolección y procesamiento de datos para mejorar la resistencia a la flexo-compresión del encamisado a las columnas de concreto armado.

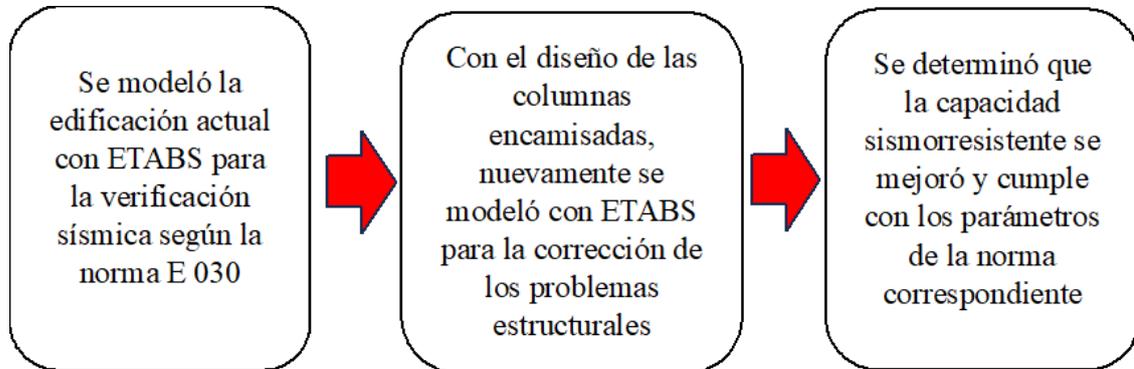


Nota: Elaboración propia

En la Figura 21 se presenta el diagrama de flujo para la recolección y el procesamiento para modelar la edificación de 2 niveles mejorada con el encamisado de columnas de concreto armado mediante el software ETABS.

Figura 21

Diagrama de recolección y procesamiento de datos para modelar la edificación de 2 niveles mejorada con el encamisado de columnas de concreto armado mediante el software ETABS.

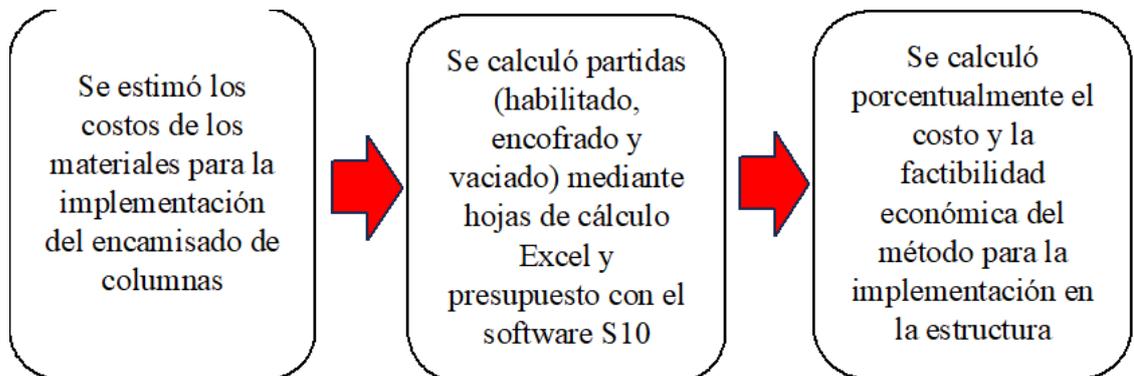


Nota: Elaboración propia

En la Figura 22, se presenta el diagrama de flujo para la recolección y el procesamiento para determinar la factibilidad económica del encamisado de columnas de concreto armado.

Figura 22

Diagrama de recolección y procesamiento de datos para determinar la factibilidad económica del encamisado de columnas de concreto armado.



Nota: Elaboración propia

4.5 Técnicas de procesamiento y análisis de información

Para la mejora de la resistencia a la flexo-compresión se diseñó una columna encamisada que aumentó la resistencia axial y los momentos flexionantes en el diagrama de interacción de los dos tipos de columnas, siguiendo lo que dice la norma internacional ACI 369, y respetando lo estipulado por los lineamientos de la norma E 060 del RNE. Se

analizó estructuralmente el modelo en ETABS con ayuda de la norma E 030, ya identificados los problemas estructurales, nuevamente se modeló la edificación con el diseño de encamisado de columnas para corregir dichos problemas y finalmente para la evaluación económica se calcularon partidas (habilitado de acero, encofrado, vaciado de concreto) y la factibilidad en % respecto del presupuesto actual.

CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

5.1. Evaluación de la edificación

Recopilación de datos

a) Ubicación y Descripción del proyecto:

La edificación de 2 niveles cuyo uso será como laboratorio se encuentra ubicado en:

Las Avenidas: Av. Raúl Ferrero, Av. Los Fresnos, Av. Viña alto y Av. Las Moras

Distrito: La Molina

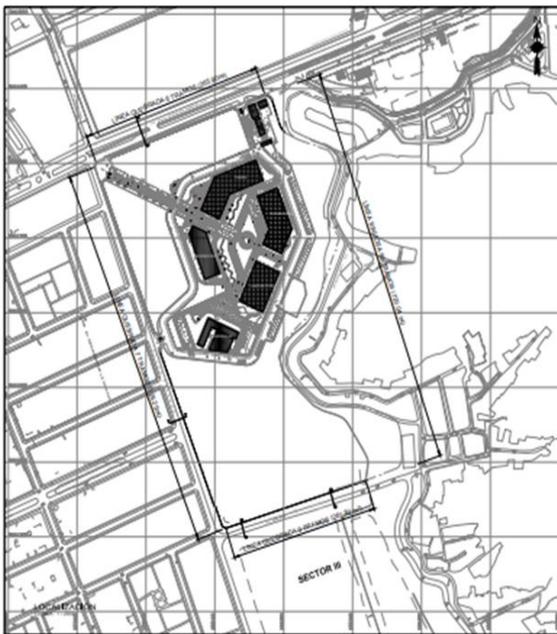
Provincia: Lima

Departamento: Lima

(Ver la Figura 23)

Figura 23

Plano de ubicación del módulo laboratorio

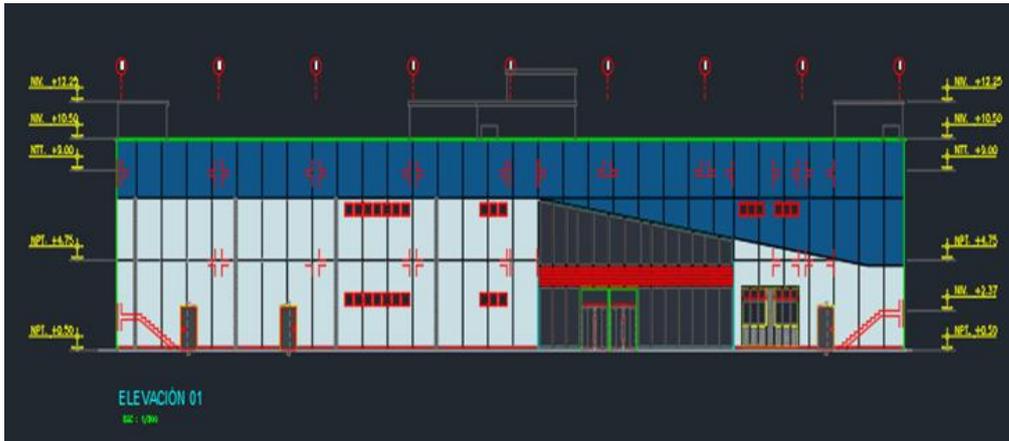


Nota: Base de datos del expediente técnico

La edificación es un bloque de dos (02) niveles y presenta una configuración estructural predominante en base a muros de concreto armado de 30 cm, 25 cm de espesor, adicionalmente se tienen pórticos de concreto armado formado por columnas con sección de 50 cm x 50 cm, 50 cm x 100 cm, vigas rectangulares de 40cm x 70cm, vigas de 30 cm x 70 cm; el diafragma está conformado por losas sólidas con espesor de 20 cm, la losa sólida es considerada como una losa en dos direcciones. La altura de entrepisos es típica de 4.25 m, como se detalla en la Figura 24.

Figura 24

Plano de elevación 01



Nota:

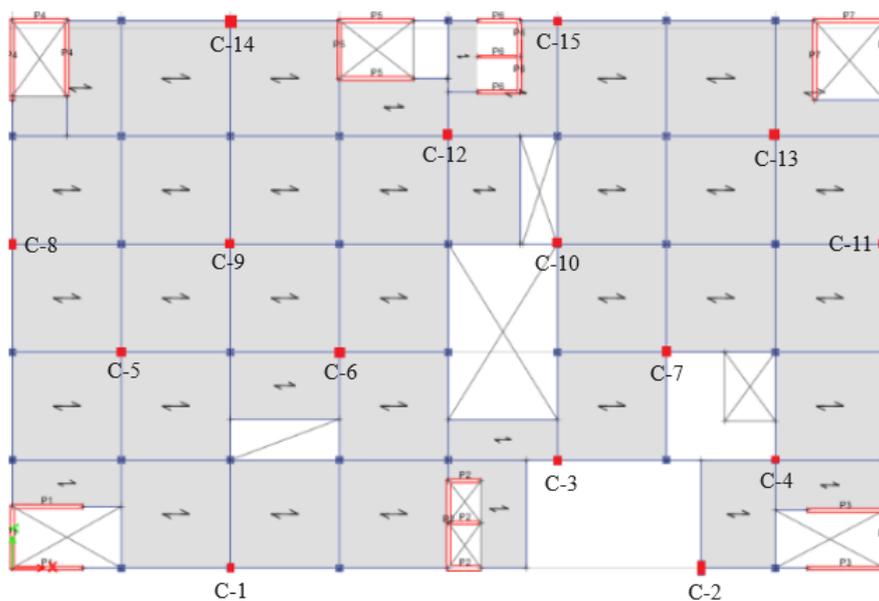
Base de datos del expediente técnico

b) Inspección de la edificación

Durante la visita de inspección, se identificó que la edificación presenta patologías en las columnas de concreto armado por efecto del mal proceso constructivo en la estructura durante su ejecución, dicha estructura cuenta con 47 columnas por planta. En la primera planta se observó que quince columnas presentan patologías, siendo catorce columnas del tipo P1 y la única columna del tipo P2, en la segunda planta fueron seis columnas las cuales son las misma de la planta baja, como se detalla en la Figura 25 y 26 las columnas afectadas por patologías teñidas de rojo en el Piso 1 y Piso 2 respectivamente.

Figura 25

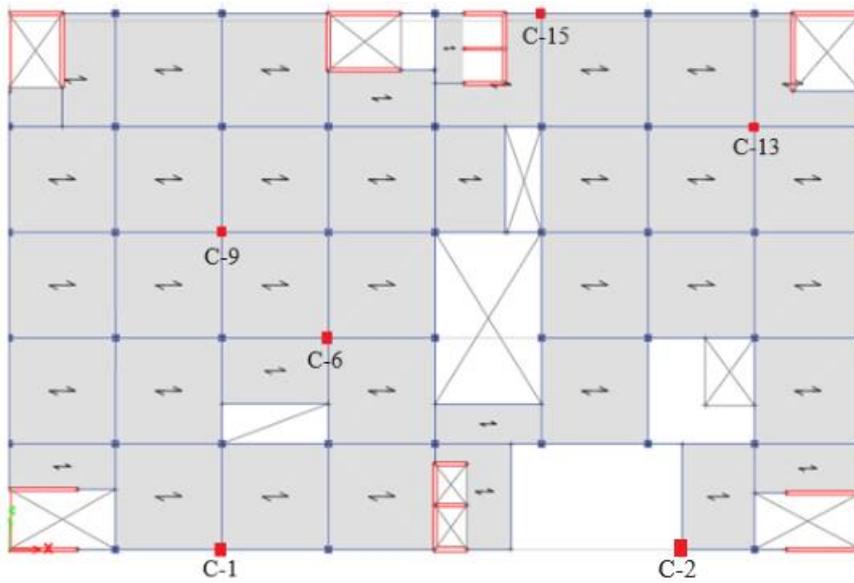
Plano en planta PISO 1 columnas afectadas por patologías.



Nota: Elaboración propia

Figura 26

Plano en planta PISO 2 columnas afectadas por patologías.



Nota: Elaboración propia

Durante la inspección se identifica el tipo de patología común según A, B, C, D Y E (siendo A=grieta o fisura, B=erosión, C=segregación, D=cangrejera y E=Otros), además de describirlo brevemente en observaciones, para lo cual se presenta la Tabla 1 resumen de inspección respecto a las columnas.

Tabla 1*Resumen de la inspección respecto a hallazgo de patologías*

RESUMEN DE LA INSPECCIÓN				
Planta	Código	Tipo	Tipo de patología	Observación
Piso 1	C-1	P1	C	En forma elíptica, apróx. 19 cm
	C-2	P2	A, C	Grieta no continua, apróx. 17 cm. Segregación en forma elíptica, apróx 31 cm
	C-3	P1	C, D	Segregación en forma elíptica, apróx. 27 cm Cangrejera en forma elíptica, apróx. 23 cm
	C-4	P1	C	En forma elíptica, apróx. 21 cm
	C-5	P1	D	En forma circular, apróx. 12 cm
	C-6	P1	C	En forma elíptica, apróx. 29 cm
	C-7	P1	C	En forma circular, apróx. 37 cm
	C-8	P1	C	En forma elíptica, apróx. 28 cm
	C-9	P1	C, D	Segregación en forma elíptica, apróx. 32 cm Cangrejera en forma circular, apróx. 22 cm
	C-10	P1	D	En forma elíptica, apróx. 17 cm
	C-11	P1	D	En forma elíptica, apróx. 30cm
	C-12	P1	D	En forma circular, apróx. 22 cm
	C-13	P1	C	En forma circular, apróx. 26 cm
	C-14	P1	C, D	Segregación en forma circular, apróx. 24 cm Cangrejera en forma circular, apróx. 21 cm
	C-15	P1	C, D	Segregación en forma circular, apróx. 27 cm Cangrejera en forma elíptica, apróx. 29 cm
Piso 2	C-1	P1	C	En forma circular, apróx. 31 cm
	C-5	P1	D	En forma elíptica, apróx. 38 cm
	C-6	P1	C	En forma elíptica, apróx. 24 cm
	C-9	P1	C	En forma elíptica, apróx. 27 cm
	C-13	P1	D	En forma circular, apróx. 9 cm
	C-15	P1	C, D	Segregación en forma elíptica, apróx. 28 cm Cangrejera en forma elíptica, apróx. 23 cm

Nota: Elaboración propia

En la Figura 27, se muestra el panel fotográfico de patologías, se registraron los siguientes hallazgos:

- Cangrejeras. - se registró este tipo de patología en partes superiores e intermedias de la sección longitudinal de la columna, gran parte de ellas en forma vertical y abarcando tamaños variables, en promedio aproximadamente 23 cm.
- Segregación. - esta patología se encontró tanto en columnas P1 como en columnas P2, de diferentes formas, verticales, diagonales y horizontales, midiendo en promedio 28 cm.
- Grietas. - se registró una única grieta horizontal en la columna P2, mide aproximadamente 17 cm en el centro de la sección longitudinal de dicha columna.

Figura 27

Patologías halladas en columnas P1 y P2



Nota: Elaboración propia

5.2 Ensayo a columnas afectadas por patologías

a) Ensayo No destructivo

Ensayo con esclerómetro análogo.- Consiste en que dicho instrumento da “golpes de martillo” perpendiculares a la superficie del concreto endurecido, se registra un valor llamado “B” el cual se relaciona con el ábaco que lleva impregnado en dicho instrumento (ver Figuras 28 y 29), en el ábaco encontramos tres curvas, estas se utilizan dependiendo de la posición en la que se haya colocado el esclerómetro respecto del elemento a analizar, el valor “B” relacionado con la curva es la resistencia

a la compresión; el modelo análogo Forney utilizado daba los valores en PSI (lb/pulg²).

Figura 28

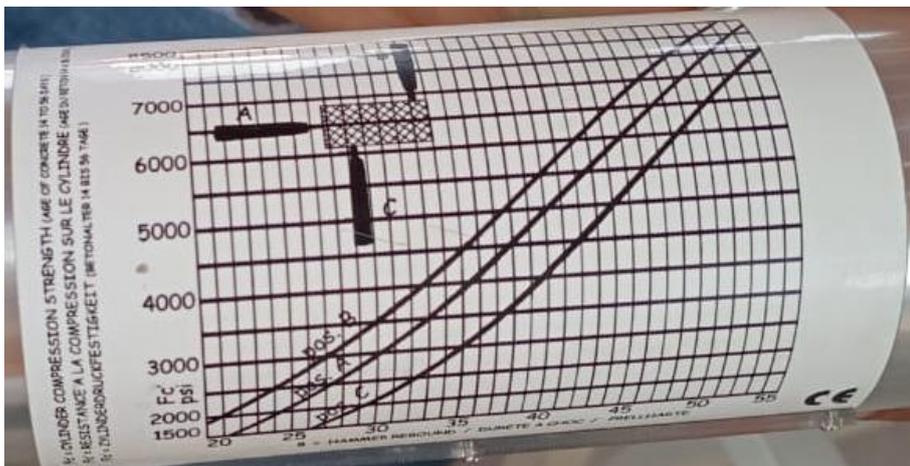
Esclerómetro análogo Forney LA-0352



Nota: Forney LA-0352

Figura 29

Ábaco para el cálculo de resistencia a la compresión en PSI



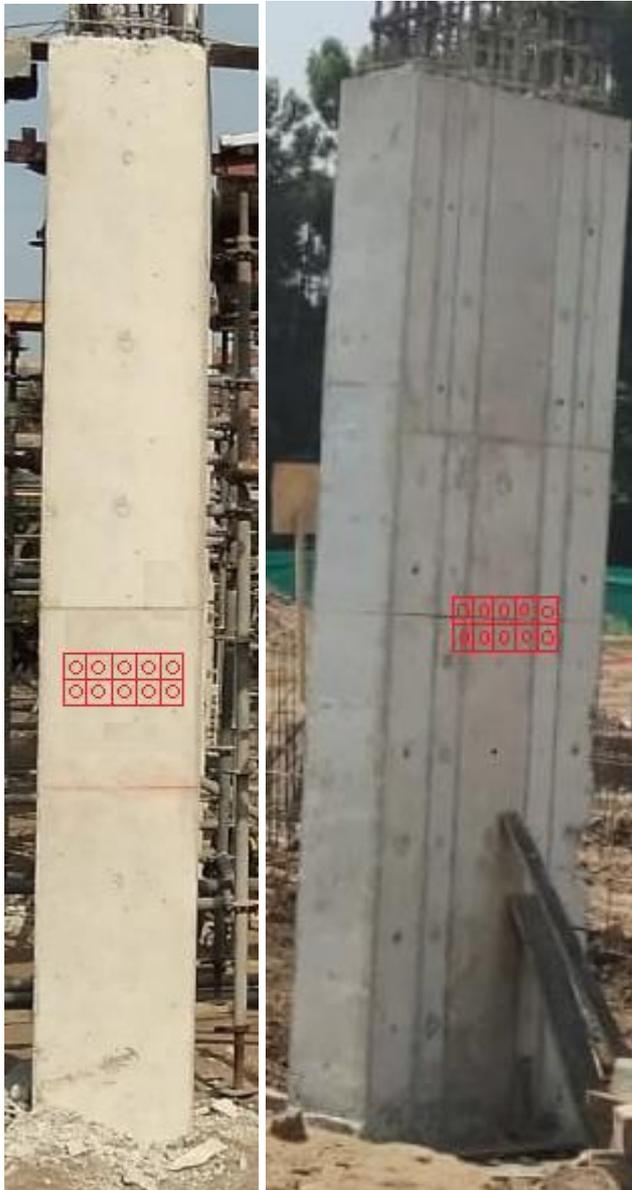
Nota: Propia extraída del equipo Forney LA-0352

De las columnas que presentaban patologías, se realizó el ensayo a dos columnas P1 y a la única columna P2. El ensayo consistió en realizar 10 golpes perpendiculares a la sección longitudinal de la columna con el esclerómetro (se usaría la curva Pos. A),

separados a 25 mm en la sección longitudinal de dichas columnas. como lo establece la ASTM C805. La distribución de golpes se simula en la Figura 30, además se observa en la Figura 30, 31, 32 y 33 el procedimiento de ensayo de golpes a las columnas.

Figura 30

Distribución de golpes en columnas P1 y P2



Nota: Elaboración propia

Figura 31

Toma de valor de golpe de martillo "B" en columna N°1 P1



Nota: Elaboración propia

Figura 32

Toma de valor de golpe de martillo "B" en columna N°2 P1



Nota: Elaboración propia

Figura 33

Toma de valor de golpe de martillo “B” en columna P2



Nota: Elaboración propia

A partir de la distribución de golpes tomados, se construyen las Tablas 2, 3 y 4 del ensayo a la columna N°1 P1, columna N°2 P1 y columna N°1 P2 respectivamente.

Tabla 2

Factor “B” golpes y resistencia a la compresión para la columna N°1 P1

Factor “B” de golpe	Factor “B” Promedio	Desviación de cada valor respecto al Factor “B” Promedio
27	26.9 ≈ 27	0
30		3
26		1
26		1
27		0
27		0
28		1
28		1
26		1
24		3

Nota: Elaboración propia

De la Tabla 2 se han obtenido valores que son menores a 6 unidades del promedio, por lo que se concluye que el ensayo termina con un valor de $B = 27$, con el ábaco y la curva pos A. obtenemos que la resistencia a la compresión en promedio dió 2600 PSI (lb/pulg²)

que serían 182.80 kg/cm².

Tabla 3

Factor “B” golpes y resistencia a la compresión para la columna N°2 P1

Factor “B” de golpe	Factor “B” Promedio	Desviación de cada valor respecto al Factor “B” Promedio
32	27.6 ≈ 28	4
27		1
28		0
25		3
27		1
27		1
26		2
28		0
29		1
27		1

Nota: Elaboración propia

De la Tabla 3 se han obtenido valores que son menores a 6 unidades del promedio, por lo que se concluye que el ensayo termina con un valor de B = 28, con el ábaco y la curva pos A. obtenemos que la resistencia a la compresión en promedio dió 2650 PSI (lb/pulg²) que serían 186.31 kg/cm².

A partir de estos 2 resultados, el promedio es de 184.55 kg/cm², para efectos del modelado se usará f'c= 180 kg/cm² para todas las columnas afectadas tipo P1.

Tabla 4*Factor "B" golpes y resistencia a la compresión para la columna P2*

Factor "B" de golpe	Factor "B" Promedio	Desviación de cada valor respecto al Factor "B" Promedio
33	27.1 \approx 27	6
26		1
27		0
27		0
24		3
25		2
28		1
27		0
28		1
26		1

Nota: Elaboración propia

Y de la Tabla 4 se ha obtenido solo un valor que es 6 unidades distante del promedio, por lo que se concluye que el ensayo termina con un valor de $B = 27$, con el ábaco y la curva pos A. obtenemos que la resistencia a la compresión en promedio dió 2600 PSI (lb/pulg²) que serían 182.80 kg/cm². Para efectos del modelado se usará $f'_c = 180$ kg/cm² para todas las columnas afectadas tipo P2.

5.3. Modelamiento Estructural del edificio con el Software Etabs

Normatividad en el Perú

Se siguen las disposiciones de los Reglamentos y Normas Nacionales e Internacionales descritas a continuación. (Diego Espinoza, 2022, pág. 51).

Reglamento Nacional de Edificaciones (Perú) – Normas Técnicas de Edificación (N.T.E.):

NTE E.020 - Cargas, para el metrado de cargas vivas y muertas.

NTE E.030 - Diseño sismorresistente, para el análisis sismorresistente dinámico.

NTE E.060 - Concreto armado, para los requisitos generales de resistencia requerida.

A.C.I. 369 – 2018 (American Concrete Institute) - Building Code Requirements for Structural Concrete, para el diseño del encamisado

Determinación del material

El proyecto de edificación de acuerdo a la memoria de cálculo, sugiere considerar un concreto con resistencia de $f'c=210$ kg/cm², su módulo de elasticidad (E) es igual a 2'173,706.00 Ton/m², sin embargo, dado el ensayo esclerométrico se asignará $f'c=180$ kg/cm² a la columna P2 y a la P1.

Por otro lado, se implementó un esfuerzo de fluencia del acero de 4200 kg/cm² con una elasticidad de 2 '100,000.00 kg/cm².

Determinación de secciones en columnas

Las columnas de concreto armado forman parte de uno de los elementos estructurales que componen la edificación, las columnas presentan secciones tal como se muestra en la tabla 1, que consta de 2 tipos (P1 y P2).

Asignación de cargas

Carga muerta

1er Piso

- Carga muerta de losa sólida en 2 direcciones con $h= 0.20$ m. : 480 Kg/cm²
- Carga muerta de acabados : 100 Kg/cm²
- Carga muerta por peso de tabiquería : 200 Kg/cm²

2do Piso

- Carga muerta de losa sólida en 2 direcciones con $h= 0.20$ m. : 480 Kg/cm²
- Carga muerta de acabados : 200 Kg/cm²

Carga viva (Sobrecarga)

1er Piso

- Carga viva laboratorio : 500 Kg/cm²

2do Piso

- Carga viva laboratorio : 100 Kg/cm²

Asignación de parámetros del suelo

De acuerdo al informe técnico del estudio de mecánica de suelos con fines de cimentación para el presente proyecto, se tiene las consideraciones mínimas para las cimentaciones resumidas a continuación:

Tipo de cimentación: Zapatas conectadas

Estrato de apoyo de cimentación: Arcilla ML

Tipo de cemento: Cemento Tipo I

Profundidad mínima de desplante (Df): 1.40 m.

Capacidad portante del suelo (qadm): 1.46 kg/cm².

Asentamiento admisible (smax): 2.32 cm.

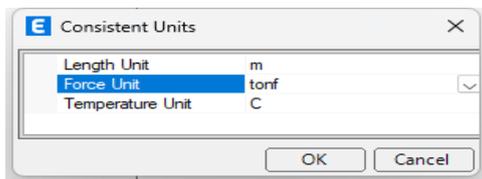
Ataque de sulfatos y/o cloruros: Leve

Modelamiento de la edificación

Respecto a la configuración de unidades en general se usaron para las unidades de longitud = metros (m), para las unidades de fuerza = toneladas fuerzas (ton-f) y las unidades de temperatura = grados centígrados (C°), como lo muestra la Figura 34.

Figura 34

Asignación de unidades en ETABS

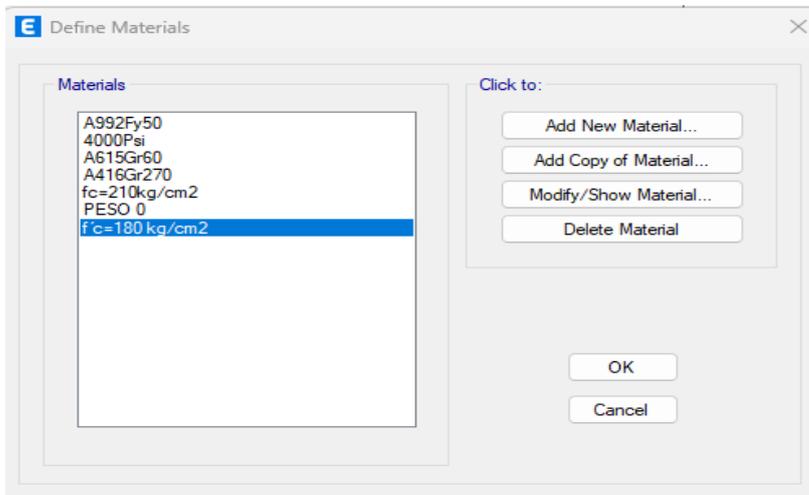


Nota: Elaboración propia

En la Figura 35 se muestra la definición de materiales, se tiene f'_c (resistencia a la compresión) para el concreto y f_y (resistencia a la fluencia o tracción) para el acero, sin embargo, para el software se optó por agregar un material específico para losas macizas.

Figura 35

Definición de materiales

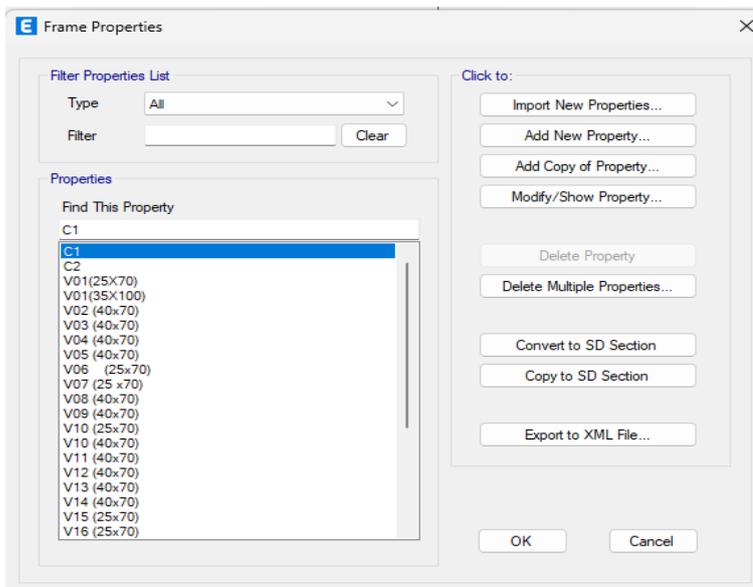


Nota: Elaboración propia

Asimismo, se asignaron todos los elementos estructurales: 2 tipos de columnas, 25 tipos de vigas, 1 tipo de placa y 1 tipo de losa maciza, cada elemento estructural con las dimensiones respectivas según el expediente técnico del proyecto, como lo muestra la Figura 36.

Figura 36

Definición de elementos estructurales



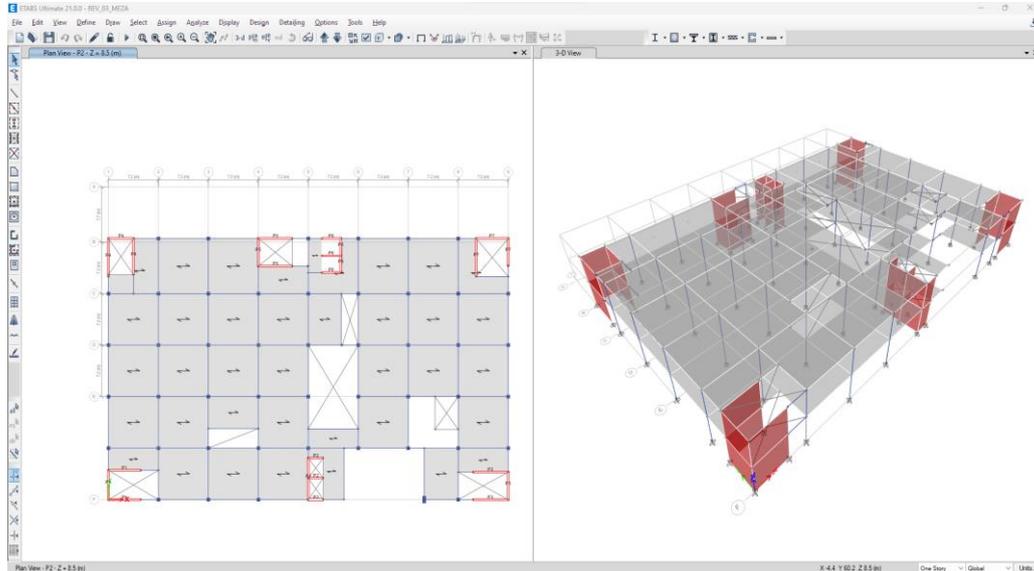
Nota: Elaboración propia

Se obtiene así en la Figura 37 el modelo actual de la edificación “Laboratorio” (ver Figura

37) con todos sus elementos, distribución en planta, distribución en altura y demás especificaciones técnicas según el expediente técnico.

Figura 37

Edificación actual modelada en ETABS



Nota: Elaboración propia

Análisis sismorresistente dinámico

Parámetros (ZUCS)

Factor de zona 4 (La Molina, Lima, Perú): $Z = 0.45$

Factor de uso tipo A (Edificación esencial educativa): $U = 1.5$

Factor de amplificación sísmica: $C = 2.5$

Factor de suelo: $S = 1.05$

Parámetros de sitio (T_p y T_I)

Perfil de Suelo intermedio: S_2

Periodo $T_p = 0.6$; Periodo $T_I = 2.0$

Coefficiente Básico de reducción (R_o)

Para concreto armado de un sistema tipo dual: $R_o = 7$

Factores de irregularidad (I_a e I_p)

En cuanto a la altura, no se ha encontrado algún tipo de irregularidad estructural que menciona la norma, por lo que se considera: Irregularidad en altura (I_a) = 1, Respecto a la planta, se tienen aberturas y esquinas entrantes, pero estas no superan el límite que menciona la norma, por tanto: Irregularidad en planta (I_p) = 1

Coefficiente de reducción en las fuerzas sísmicas (R)

$$R = 7 \times 1 \times 1 = 7$$

Periodo fundamental de vibración (T)

$$T = 8.5 / 45 = 0.189 \text{ seg}$$

Peso de la estructura (P)

Edificio categoría A: $P = (CV+CM) + 50\%CV$

$$P = 4027.65 \text{ tonf}$$

Coefficiente Basal: $ZUCS/R = 0.2531$

Fuerza cortante en la base (V):

$$V = (ZUCS \times P)/R = 1019.50 \text{ Tonf}$$

Aceleración espectral (Sa):

$$Sa = (ZUCS \times g)/R = 2.48$$

Se tiene el resumen de los parámetros sísmicos en la Figura 38.

Figura 38

Resumen de análisis sísmico dinámico

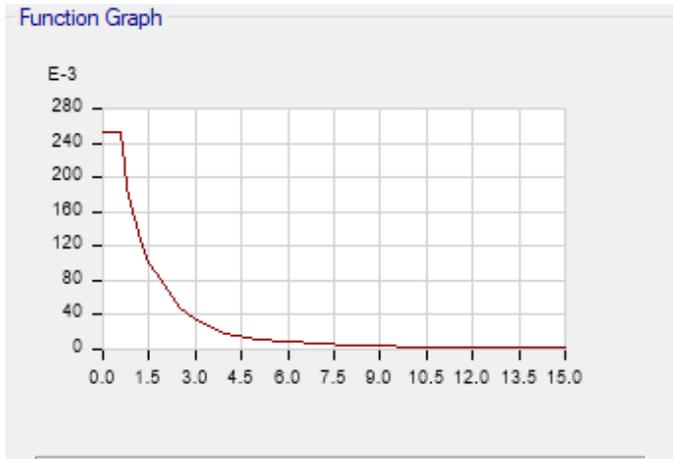
DATOS SÍSMICOS																			
	X-X	Y-Y																	
TIPO DE ESTRUCTURA:	REGULAR	REGULAR																	
ZONA SÍSMICA	Z4																		
TIPO DE SUELO	S2																		
CATEGORÍA	A2																		
SISTEMA ESTRUCTURAL	DUAL	DUAL																	
IRREGULARIDAD EN ALTURA	REGULAR	REGULAR																	
IRREGULARIDAD EN PLANTA	REGULAR	REGULAR																	
ANÁLISIS ESTÁTICO																			
	X-X	Y-Y																	
Z=	0.45																		
U=	1.5																		
S=	1.05																		
Hn=	8.5																		
Ct=	45	45																	
T=	0.189	0.189																	
C=	2.5	2.5																	
R=	7	7																	
C/R ≥ 0.11	OK	OK																	
CM=	3181.2645																		
CV=	1692.763																		
P sísmico (ton)=	4027.65	P Total (ton)=	4874.03																
	$T < T_p \quad C = 2,5$ $T_p < T < T_L \quad C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_p}{T}\right)$ $T > T_L \quad C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_p \cdot T_L}{T^2}\right)$																		
		CSx	0.2531																
		CSy	0.2531																
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">CORTANTE BASAL</th> </tr> <tr> <th>DIRECCIÓN</th> <th>V basal (ton)</th> <th>%P</th> <th>%V (ton)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X-X</td> <td>1019.50</td> <td>25.31 %</td> <td>815.60</td> </tr> <tr> <td>Y-Y</td> <td>1019.50</td> <td>25.31 %</td> <td>815.60</td> </tr> </tbody> </table>			CORTANTE BASAL				DIRECCIÓN	V basal (ton)	%P	%V (ton)	X-X	1019.50	25.31 %	815.60	Y-Y	1019.50	25.31 %	815.60
CORTANTE BASAL																			
DIRECCIÓN	V basal (ton)	%P	%V (ton)																
X-X	1019.50	25.31 %	815.60																
Y-Y	1019.50	25.31 %	815.60																
	$V = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot P$																		

Nota: Elaboración propia

Con dichos datos, se construye el espectro de diseño, mostrado en la Figura 39.

Figura 39

Espectro de diseño (Aceleración espectral vs Periodo)



Nota: Elaboración propia

Requisitos generales de resistencia

Dadas las características del proyecto de edificación, según la norma E 060, los requerimientos respecto a combinaciones de cargas muertas, vivas y de sismo serán los siguientes:

$$U = 1.40 CM + 1.70 CV$$

$$U = 1.25 (CM + CV) \pm CS$$

$$U = 0.90 CM \pm CS$$

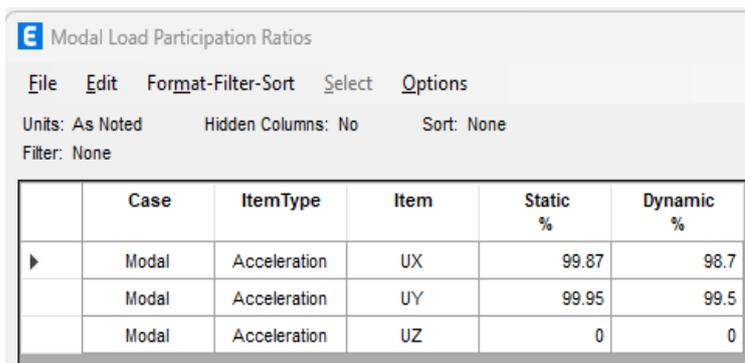
5.4 Respuesta de la estructura y verificaciones sísmicas

Modos de vibración

El análisis respecto a los modos de vibración consiste en considerar las características de la rigidez y distribución de masa. En la Figura 40 se muestra la Tabla de partición de masas que nos explica que en la edificación se obtuvo valores entre 98-99% estos están dentro del rango de participación de la suma de masas efectivas, que debe ser mayor al 90% establecido en la norma E 030 tanto para el caso estático como para el caso dinámico.

Figura 40

Tabla de participación de masas



	Case	ItemType	Item	Static %	Dynamic %
▶	Modal	Acceleration	UX	99.87	98.7
	Modal	Acceleration	UY	99.95	99.5
	Modal	Acceleration	UZ	0	0

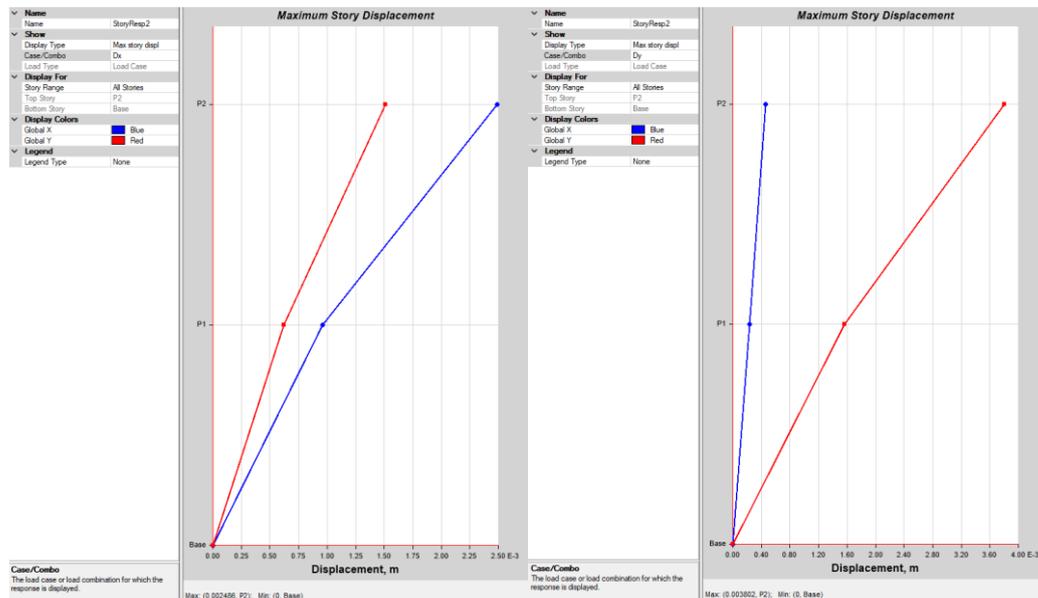
Nota: Elaboración propia

Desplazamientos laterales

En la Figura 41, se han obtenido las máximas derivas de entrepiso del análisis lineal de la edificación, siendo en la dirección “X” una deriva de 0.002486 m y para la dirección “Y” una deriva de 0.003802 m a partir de estos resultados se calcula los desplazamientos laterales mencionados en la norma E 030.

Figura 41

Máximas derivas de entrepiso del modelo sin reforzar en la Dirección “X” e “Y”



Nota: Elaboración propia

Tratándose de una estructura regular el desplazamiento lateral está definido por:

$$(\Delta_i/h_i) = \text{Deriva} \times 0.75 \times R$$

Desplazamiento lateral en “X”: $(\Delta_i/h_i)_x = 0.002486 \times 0.75 \times R$

Desplazamiento lateral en “X”: $(\Delta_i/h_i) = 0.013$

Desplazamiento lateral en “Y”: $(\Delta_i/h_i)_y = \text{Deriva} \times 0.75 \times R$

Desplazamiento lateral en “Y”: $(\Delta_i/h_i) = 0.020$

Según la Figura 42 de la norma E 030 del RNE, los desplazamientos laterales admisibles son:

Figura 42

Desplazamientos laterales relativos admisibles

Tabla N° 11	
LÍMITES PARA LA DISTORSIÓN DEL ENTREPISO	
Material Predominante	(Δ_i / h_{ei})
Concreto Armado	0,007
Acero	0,010
Albañilería	0,005
Madera	0,010
Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada	0,005

Nota: RNE (2021)

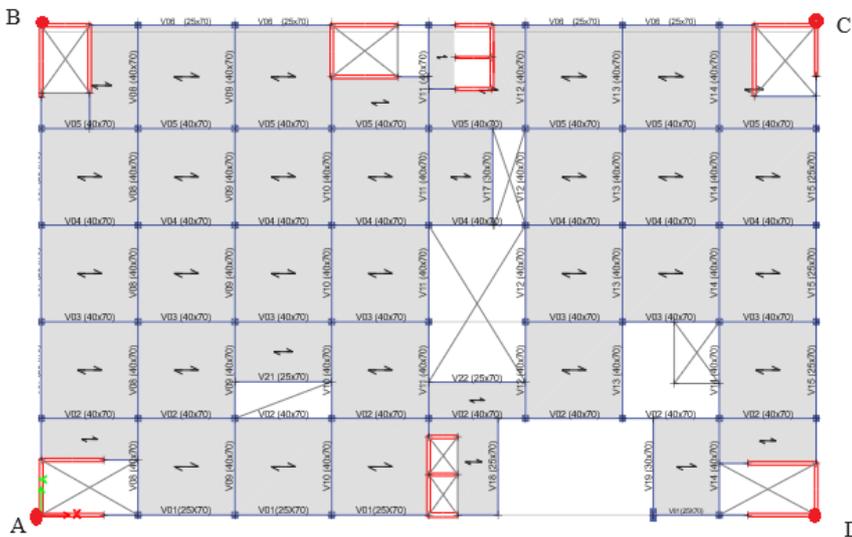
Las distorsiones de entrepiso para las edificaciones de concreto armado son 0.007, en el caso de la dirección “X” dicha distorsión es casi del doble del límite y para la dirección “Y” son casi el triple.

Evaluación de la irregularidad estructural en planta

Para la verificar si la edificación tiene irregularidad torsional se realiza el cálculo de derivas en cada nudo para hallar la relación entre el máximo y el promedio según la norma E030, para tal fin se distribuyó los nudos según la Figura 43, así como los valores de desplazamiento son presentados en la Figura 44.

Figura 43

Distribución de nudos para el cálculo de derivas



Nota: Elaboración propia

Figura 44

Desplazamientos en los nudos de la edificación

Nudo	Story	Label	Unique Name	Output Case	Case Type	Step Type	Ux m	Uy m	Uz m	Rx rad	Ry rad	Rz rad
D	P2	120	258	Dx	LinRespSpec	Max	0.000907	0.000491	0.000162	6.60E-05	0.000102	0.000496
	P1	120	176	Dx	LinRespSpec	Max	0.000448	0.000213	0.000141	6.50E-05	0.000116	0.000186
	Base	120	181	Dx	LinRespSpec	Max	0	0	0	0	0	0
C	P2	107	255	Dx	LinRespSpec	Max	0.001229	0.000811	0.000358	0.00013	0.000119	0.000251
	P1	107	169	Dx	LinRespSpec	Max	0.000619	0.000287	0.000309	0.000109	0.000158	8.60E-05
	Base	107	174	Dx	LinRespSpec	Max	0	0	0	0	0	0
B	P2	98	234	Dx	LinRespSpec	Max	0.001399	0.000538	0.00034	9.60E-05	0.000151	0.000266
	P1	98	191	Dx	LinRespSpec	Max	0.000662	0.000187	0.000286	7.10E-05	0.00018	6.10E-05
	Base	98	204	Dx	LinRespSpec	Max	0	0	0	0	0	0
A	P2	88	227	Dx	LinRespSpec	Max	0.001491	0.000289	0.000285	3.00E-05	0.000183	0.000445
	P1	88	153	Dx	LinRespSpec	Max	0.00064	0.000128	0.000237	3.90E-05	0.000195	0.000155
	Base	88	152	Dx	LinRespSpec	Max	0	0	0	0	0	0

Nota: Elaboración propia

El valor de interés para el cálculo de deriva es el “Ux” que es la columna sombreada, este es el valor de la deriva en cada nudo y en cada piso.

Verificación de la irregularidad torsional

La Tabla 5 muestra la diferencia de derivas, a partir de la cual se obtendrá el promedio y el máx. con el fin de que haya la relación entre dichos valores, el resultado no debe ser mayor a 1.30 según los parámetros respecto a irregularidad torsional.

Tabla 5

Verificación de la irregularidad torsional

Nudo	dr	dr prom	dr máx	relación			
D	0.000459	0.0006643	0.000851	1.2811441			
	0.000448						
B	0.00061						
	0.000619						
C	0.000737				0.0005923	0.000662	1.1177712
	0.000662						
A	0.000851						
	0.00064						

Nota: Elaboración propia

Combinaciones de carga según requerimientos generales de resistencia

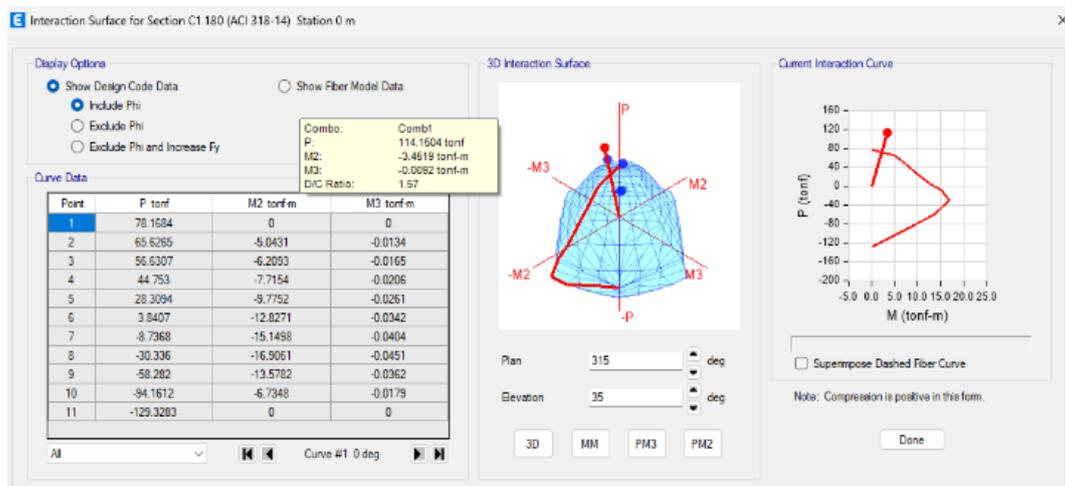
Según los requerimientos de la norma, se han realizado las combinaciones de carga, dichos valores fueron extraídos del software y están presentes en la Tabla 6.

Tabla 6*Combinaciones de carga de resistencia requerida*

Combo	Combinación	P (Tonf)	M2 (Tonf-m)	M3 (Tonf-m)
1	1.4 CM + 1.7 CV	114.15	-3.45	0.00
2	1.25 (CM + CV) + SX	96.65	-2.01	2.92
3	1.25 (CM + CV) - SX	96.65	-2.01	2.92
4	1.25 (CM + CV) + SY	96.84	-2.92	0.05
5	1.25 (CM + CV) - SY	96.84	-2.92	0.05
6	0.90 (CM + CV) + SX	50.75	-0.96	1.53
7	0.90 (CM + CV) - SX	50.75	-0.96	1.53
8	0.90 (CM + CV) + SY	50.94	-1.33	1.54
9	0.90 (CM + CV) - SY	50.94	-1.33	1.54

Nota: Elaboración propia**Diagramas de interacción**

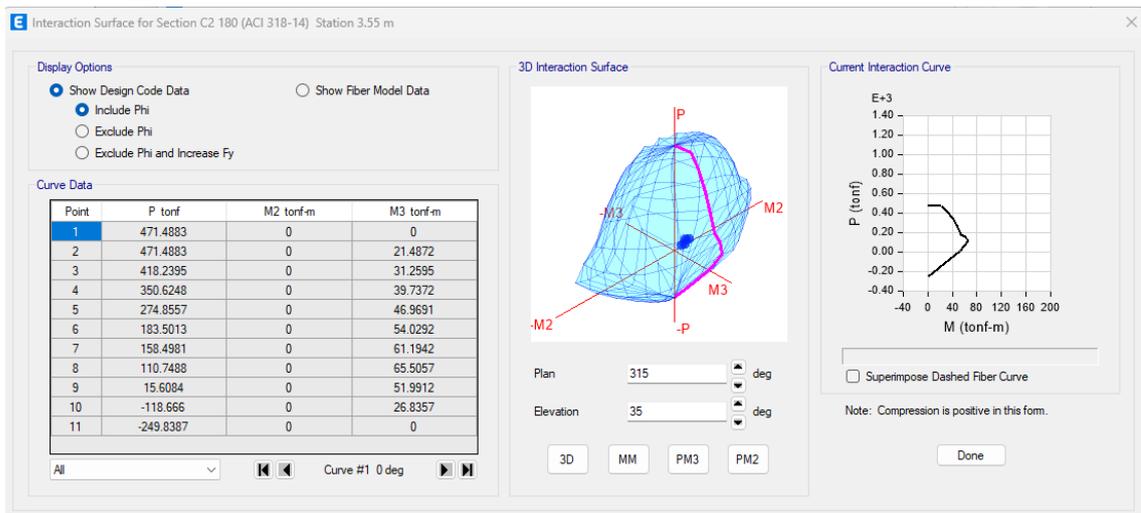
Según las combinaciones de carga para la columna P1 de la Tabla 6, se ha obtenido el diagrama de interacción en la Figura 45, que se observa que las combinaciones de carga según las resistencias requeridas no están dentro del diagrama de interacción, lo que provoca una falla en la columna.

Figura 45*Diagrama de interacción de columna P1 con $f'_c = 180\text{kg/cm}^2$* *Nota:* Elaboración propia

Sin embargo, en la Figura 46 se observa que las combinaciones de carga según las resistencias requeridas si están dentro del diagrama de interacción, a pesar de eso la columna presenta fisuras y otras patologías, además que su resistencia a la compresión está por debajo de las especificaciones técnicas.

Figura 46

Diagrama de interacción de columna P2 con $f'_c = 180 \text{ kg/cm}^2$



Nota: Elaboración propia

5.5 Diseño del encamisado

Dada la resistencia de las columnas P1 y P2 a reforzar es de 180 kg/cm², el ACI recomienda utilizar un f'c que sea por lo menos unos 50 kg/cm² mayor que el concreto original, en el Perú las resistencias nominales son de: 210, 245, 280 kg/cm², la resistencia de 280 no resulta factible debido a su dosificación, por tanto, se elige la resistencia de 245 kg/cm².

Columna P1

Se tiene que: Pu = 114.15 tonf y Mu = 2.92 tonf-m

$\phi \times P_n \geq P_u$, siendo $\phi = 0.7$ para elementos sometidos a compresión

$$0.7 \times P_n \geq 114.15 \text{ tonf}$$

$$P_n \geq 163.07 \text{ tonf}$$

El área bruta (Ab) será de:

$$P_n / 2 = 0.85 \cdot f'_{cc} \cdot A_b$$

$$163.07 \times 1000 \text{ kg} / 2 = 0.85 \cdot 245 \cdot A_b$$

$$A_b = 391.52 \text{ cm}^2$$

Se tienen los detalles del armado de columnas existentes P1 y P2 presentados en la Figura 47.

Figura 47

Detalle de columnas existentes

CUADRO DE COLUMNAS			
PISO	CONCRETO f'c'(Kg/cm ²)	P1	P2
1º PISO	210	0.50x0.50 12 Ø 3/4" 3  Ø 3/8" (A)	0.50x1.00 4 Ø 1" + 16 Ø 3/4" 4  Ø 3/8"(*) (B)
2º PISO	210	0.50x0.50 12 Ø 3/4" 3  Ø 3/8" (A)	0.50x1.00 4 Ø 1" + 16 Ø 3/4" 4  Ø 3/8"(*) (B)

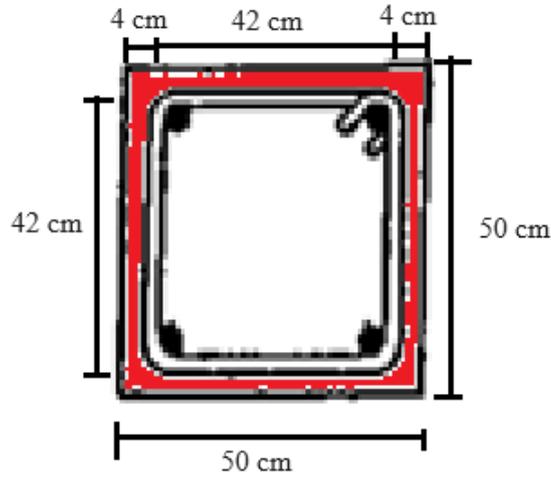
 1@.05, 8@.10, 3@.15, Rto@.25 C/E
 (*)  1@.05, 10@.10, 3@.15, Rto@.25 C/E

Nota: Base de datos del expediente técnico

La representación de la nueva columna P1 esta presentada en la Figura 48.

Figura 48

Sección bruta P1 quitando el concreto con patología



Nota: Elaboración propia

Ahora la sección bruta de encamisado es una columna (42 cm x 42 cm)

$$A_b = 4 \times (e^2) + 2 \times e \times (b + h)$$

$$391.52 \text{ cm}^2 = 4 \times (e^2) + 2 \times e \times (42 + 42)$$

$$e = 2.21 \text{ cm}$$

Sin embargo, el espesor mínimo a encamisar es de 10 cm por lo cual pasa a ser: $e = 10 \text{ cm}$

Por tanto, $B = b + 2 \cdot e$ y $H = h + 2 \cdot e$

$$B = 42 + 2 \cdot 10 \text{ y } H = 42 + 2 \cdot 10$$

$$B = 62 \text{ cm y } H = 62 \text{ cm}$$

Siendo la nueva sección C1 de 62 cm x 62 cm

$$\text{Siendo: } A_t = B \times H \text{ y } A_o = 42 \text{ cm} \times 42 \text{ cm} = 1764 \text{ cm}^2$$

$$A_t = 62 \text{ cm} \times 62 \text{ cm} = 3844 \text{ cm}^2$$

$$A_b = A_t - A_o = 2080 \text{ cm}^2$$

En cuanto al acero:

La cuantía mínima es:

$$\rho_{\min} = 0.01 \cdot A_b$$

$$\rho_{\min} = 0.01 \cdot 2080 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{\min} = 20.80 \text{ cm}^2$$

La cuantía máxima es:

$$\rho_{\text{máx}} = 0.06 \cdot A_b$$

$$\rho_{\text{máx}} = 0.06 \cdot 2080 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{\text{máx}} = 124.80 \text{ cm}^2$$

Se usarán 12 varillas de $\emptyset \frac{3}{4}$ " siendo:

$$\rho = (12 \times 2.87) = 27.40 \text{ cm}^2$$

Además, se consideró un recubrimiento de 4cm.

Diseño por Cortante

Siendo para P1:

$\phi = 0.7$ (para elementos a compresión con estribos rectangulares)

$B = 0.62$; $d = H - \text{rec} = 62 - 4 = 58 \text{ cm}$; $f'c = Ag = 245 \text{ kg/cm}^2$

Tenemos que del Momento Último (M_n):

$$M_u = \phi M_n$$

$$M_n = 2.92/0.7 = 4.17 \text{ tonf}$$

Y para V_u , (se idealiza que $M_{sn} = M_{ni}$ ya que ambos actúan en los extremos de la columna):

$$V_u = (M_{sn} + M_{ni}) / h_n$$

$$V_u = (4.17+4.17) / 4.25 = 1.04 \text{ tonf}$$

Cálculo de ϕV_c :

$$\phi V_c = 0.85 \cdot 0.53 \cdot (\sqrt{f'c}) \cdot B \cdot d$$

$$\phi V_c = 0.85 \times 0.53 \times (\sqrt{245}) \times 62 \times 58 = 45.94 \text{ tonf}$$

$$\phi V_c < V_u \text{ (NO CUMPLE)}$$

No se cumple la relación para el cálculo de estribo, ya que se están considerando que el estribo actual ya aporta suficiente resistencia la cortante; sin embargo, el acero longitudinal no puede quedar sin el reforzamiento de estribo, por lo cual se agrega lo mínimo recomendado por la norma E 060:

Se plantea 1 capa de Estribo ($\frac{3}{8}$ "), área = 0.71 cm²

Longitud de confinamiento (L_o):

No debe ser menor que el mayor que:

- $\frac{1}{6}$ de la luz libre: $\frac{1}{6} \times 4.25 \text{ m} = 0.71 \text{ m}$
- La mayor dimensión de la columna = 0.62 m
- Debe ser mayor o igual a 500 mm = 0.50 m

El mayor es 0.71 m, $L_o = 80 \text{ cm}$

Espaciamiento en zona de confinamiento (S_o):

No se debe exceder el menor de:

- 8 db (menor diámetro de varilla) = $8 \times \text{Ø } \frac{3}{4}'' = 8 \times 1.91 \text{ cm} = 15.28 \text{ cm}$
- $\frac{1}{2}$ de la menor dimensión de la columna = $\frac{1}{2} \times 62 \text{ cm} = 31 \text{ cm}$
- $\text{Ó } 100 \text{ mm} = 10 \text{ cm}$

El menor es 10 cm. $S_o = 10 \text{ cm}$

Cantidad de estribos: $80/10 = 8$ estribos

Zona central (fuera del confinamiento):

No debe exceder el menor de:

- 16 db (menor diámetro de varilla) = $16 \times \text{Ø } \frac{3}{4}'' = 16 \times 1.91 \text{ cm} = 30.56 \text{ cm}$
- 48 db (diámetro de varilla de estribo) = $48 \times \text{Ø } \frac{3}{8}'' = 48 \times 9.5 \text{ cm} = 45.60 \text{ cm}$
- $S <$ menor sección de la columna = 62 cm
- $S < 300 \text{ mm} = 30 \text{ cm}$

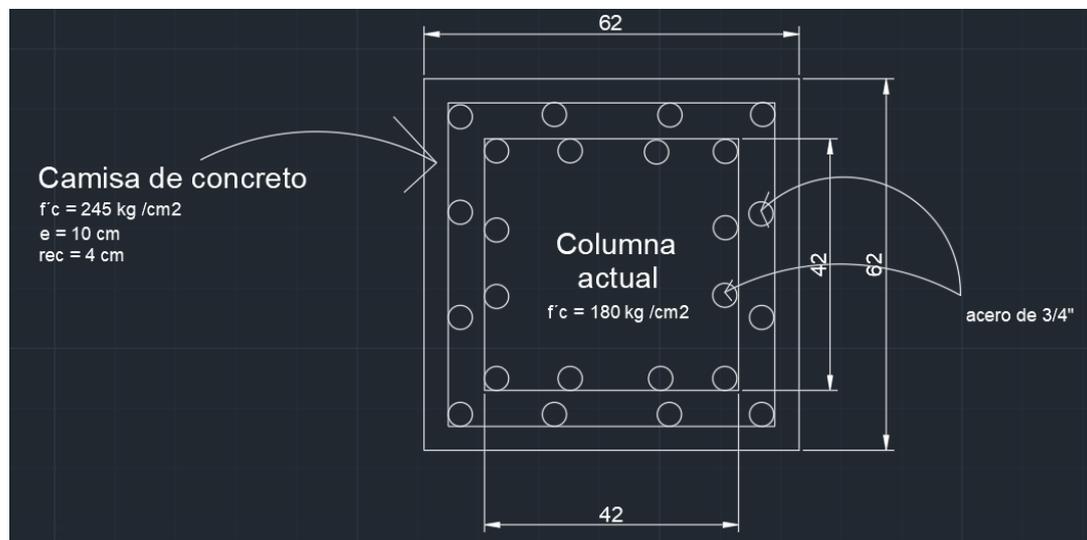
Por tanto, $S = 30 \text{ cm}$

Estribo ($\frac{3}{8}''$) $\rightarrow 1@0.05, 8 @0.10, \text{ resto}@0.30$

En la Figura 49, se tiene a más detalle el armado de la columna P1.

Figura 49

Sección de columna encamisada P1 Propuesta

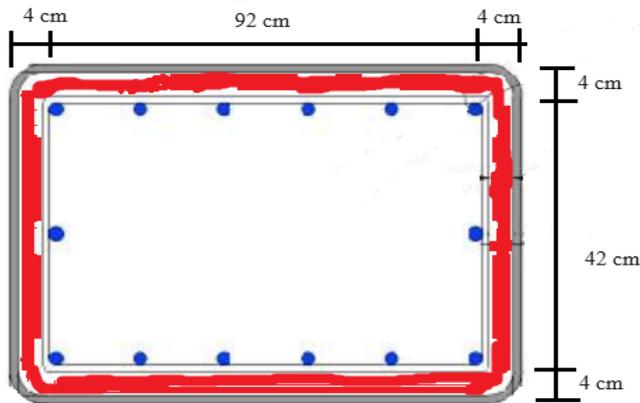


Nota: Elaboración propia

La representación de la nueva columna P2 esta presentada en la Figura 50.

Figura 50

Sección bruta P2 quitando el concreto con patologías



Nota: Elaboración propia

Columna P2

De la combinación de cargas obtenemos que: $P_u = 471.48$ tonf y $M_u = 61.19$ tonf-m

$\phi \times P_n \geq P_u$, siendo $\phi = 0.7$ para elementos sometidos a compresión

$$0.7 \times P_n \geq 60.37 \text{ tonf}$$

$$P_n \geq 86.24 \text{ tonf}$$

El área bruta (A_b) será de:

$$P_n / 2 = 0.85 \cdot f'_{cc} \cdot A_b$$

$$471.48 \times 1000 \text{ kg} / 2 = 0.85 \cdot 245 \cdot A_b$$

$$A_b = 1132.01 \text{ cm}^2$$

Para la columna C2 (42 x 92):

$$A_b = 4 \times (e^2) + 2 \times e \times (b + h)$$

$$1132.01 \text{ cm}^2 = 4 \times (e^2) + 2 \times e \times (42 + 92)$$

$$e = 3.98 \text{ cm}$$

Sin embargo, el espesor mínimo a encamisar es de 10 cm por lo cual pasa a ser: $e = 10$ cm

$$\text{Por tanto, } B = b + 2 \cdot e \text{ y } H = h + 2 \cdot e$$

$$B = 42 + 2 \cdot 10 \text{ y } H = 92 + 2 \cdot 10$$

$$B = 62 \text{ cm y } H = 112 \text{ cm}$$

Siendo la nueva sección C2 de 62 cm x 112 cm

$$\text{Siendo: } A_t = B \times H \text{ y } A_o = 42 \text{ cm} \times 92 \text{ cm} = 3864 \text{ cm}^2$$

$$A_t = 62 \text{ cm} \times 112 \text{ cm} = 6944 \text{ cm}^2$$

$$A_b = A_t - A_o = 3080 \text{ cm}^2$$

En cuanto al acero:

La cuantía mínima es:

$$\rho_{\min} = 0.01 \cdot A_b$$

$$\rho_{\min} = 0.01 \cdot 3080 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{\min} = 30.80 \text{ cm}^2$$

La cuantía máxima es:

$$\rho_{\max} = 0.06 \cdot A_b$$

$$\rho_{\max} = 0.06 \cdot 3080 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{\max} = 184.80 \text{ cm}^2$$

Se usarán 4 varillas de 1" y 12 de ¾", siendo:

$$\rho = (4 \times 5.07) + (12 \times 2.87) = 54.72 \text{ cm}^2$$

Además, se consideró un recubrimiento de 4cm.

Diseño por Cortante

Siendo para P1:

$\phi = 0.7$ (para elementos a compresión con estribos rectangulares)

$B = 0.62$; $d = H - \text{rec} = 112 - 4 = 108 \text{ cm}$; $f'_c = A_g = 245 \text{ kg/cm}^2$

Tenemos que del Momento Último (M_n):

$$M_u = \phi M_n$$

$$M_n = 61.19/0.7 = 87.41 \text{ tonf}$$

Y para V_u , (se idealiza que $M_{sn} = M_{ni}$ ya que ambos actúan en los extremos de la columna):

$$V_u = (M_{sn} + M_{ni}) / h_n$$

$$V_u = (87.41 + 87.41) / 4.25 = 41.13 \text{ tonf}$$

Cálculo de ϕV_c :

$$\phi V_c = 0.85 \cdot 0.53 \cdot (\sqrt{f'_c}) \cdot B \cdot d$$

$$\phi V_c = 0.85 \times 0.53 \times (\sqrt{245}) \times 62 \times 108 = 47.22 \text{ tonf}$$

$$\phi V_c < V_u \text{ (NO CUMPLE)}$$

No se cumple la relación para el cálculo de estribo, ya que se están considerando que el estribo actual ya aporta suficiente resistencia la cortante; sin embargo, el acero longitudinal no puede quedar sin el reforzamiento de estribo, por lo cual se agrega lo mínimo recomendado por la norma E 060:

Se plantea 1 capa de Estribo ($\frac{3}{8}$ "), área = 0.71 cm²

Longitud de confinamiento (Lo):

No debe ser menor que el mayor que:

- $\frac{1}{6}$ de la luz libre: $\frac{1}{6} \times 4.25 \text{ m} = 0.71 \text{ m}$
- La mayor dimensión de la columna = 1.12 m
- Debe ser mayor o igual a 500 mm = 0.50 m

El mayor es 1.12 m, Lo = 120 cm

Espaciamiento en zona de confinamiento (So):

No se debe exceder el menor de:

- 8 db (menor diámetro de varilla) = $8 \times \text{Ø } \frac{3}{4}" = 8 \times 1.91 \text{ cm} = 15.28 \text{ cm}$
- $\frac{1}{2}$ de la menor dimensión de la columna = $\frac{1}{2} \times 62 \text{ cm} = 31 \text{ cm}$
- Ó 100 mm = 10 cm

El menor es 10 cm. So = 10 cm

Cantidad de estribos: $120/10 = 12$ estribos

Zona central (fuera del confinamiento):

No debe exceder el menor de:

- 16 db (menor diámetro de varilla) = $16 \times \text{Ø } \frac{3}{4}" = 16 \times 1.91 \text{ cm} = 30.56 \text{ cm}$
- 48 db (diámetro de varilla de estribo) = $48 \times \text{Ø } \frac{3}{8}" = 48 \times 9.5 \text{ cm} = 45.60 \text{ cm}$
- S < menor sección de la columna = 62 cm
- S < 300 mm = 30 cm

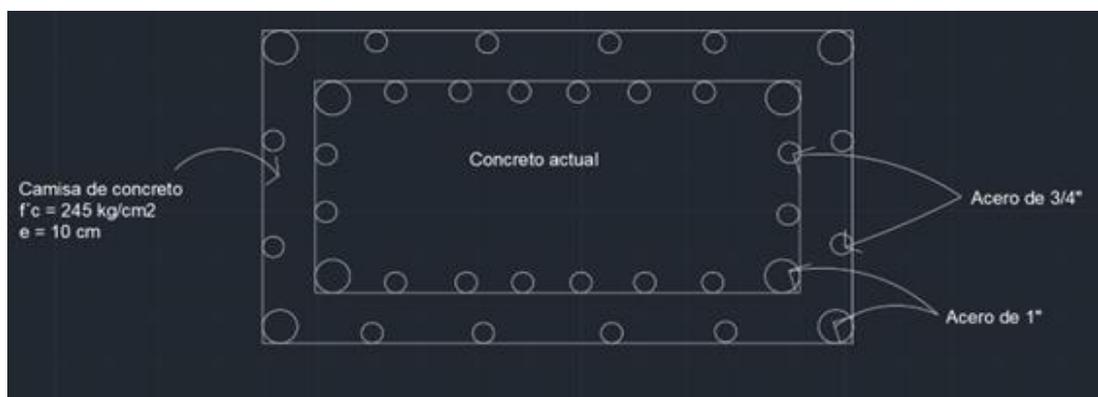
Por tanto, S = 30 cm

Estribo ($\frac{3}{8}$ ") → 1@0.05, 12 @0.10, resto@0.30

En la Figura 51, se tiene a más detalle el armado de la columna P2.

Figura 51

Sección de columna encamisada P2 Propuesta



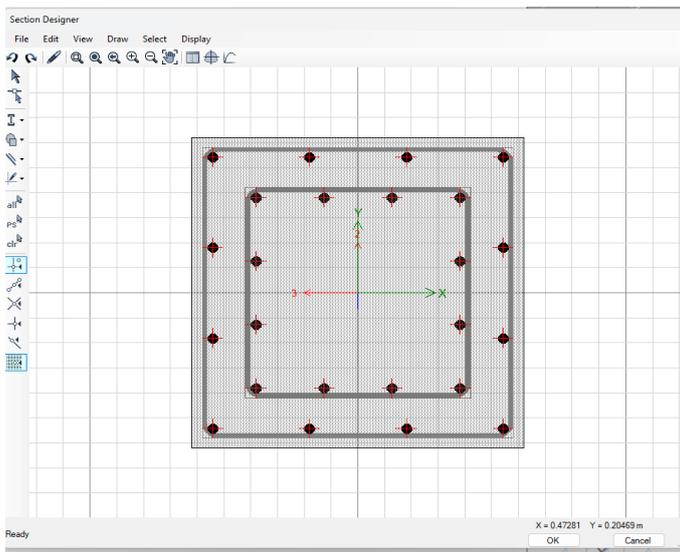
Nota: Elaboración propia

5.6 Análisis de modelado con columnas encamisadas

Se realiza el modelado de las columnas con el diseño presentado en el anterior acápite para la columna P1 y P2, según se muestra en las Figuras 52 y 53 respectivamente.

Figura 52

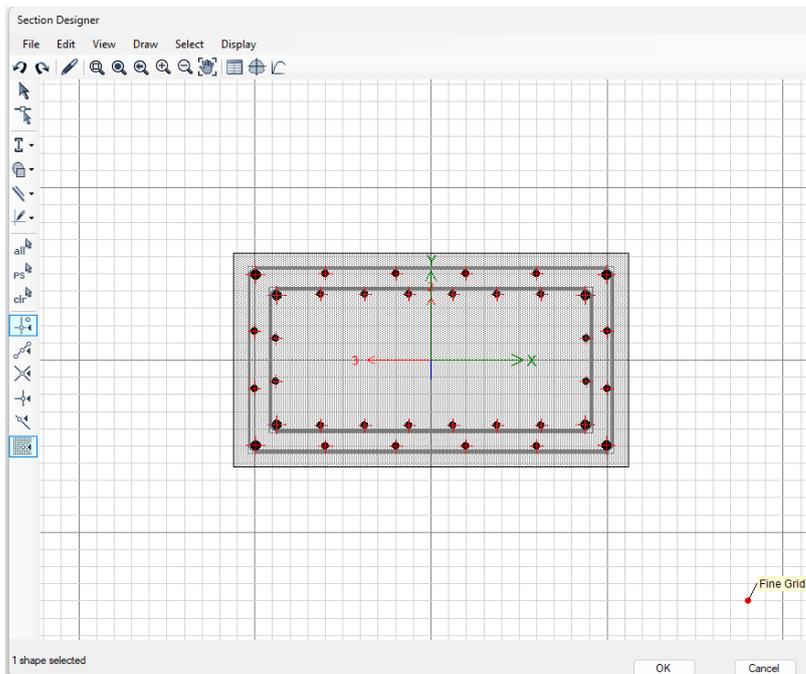
Diseño de columna encamisada P1 en ETABS



Nota: Elaboración propia

Figura 53

Diseño de columna encamisada P2 en ETABS



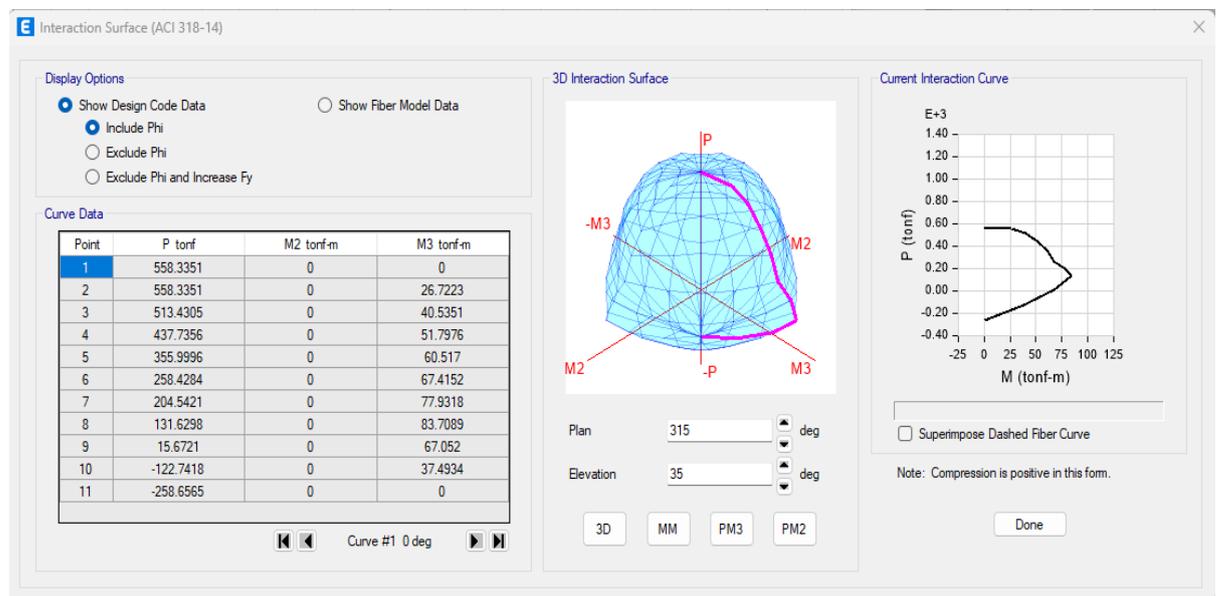
Nota: Elaboración propia

Según el diagrama de interacción de la Figura 54 el nuevo diseño de la columna P1 permite que las combinaciones de cargas estén dentro del diagrama de interacción, por otro lado, en la Figura 55, en cuanto a la columna P2 su resistencia a la flexocompresión se ve aumentada considerablemente, ya que este aumento en cuanto a resistencia axial y a momento de flexión.

Se modela nuevamente la estructura con las columnas ya encamisadas, para verificar que las deficiencias estructurales se hayan resuelto o aminorado.

Figura 54

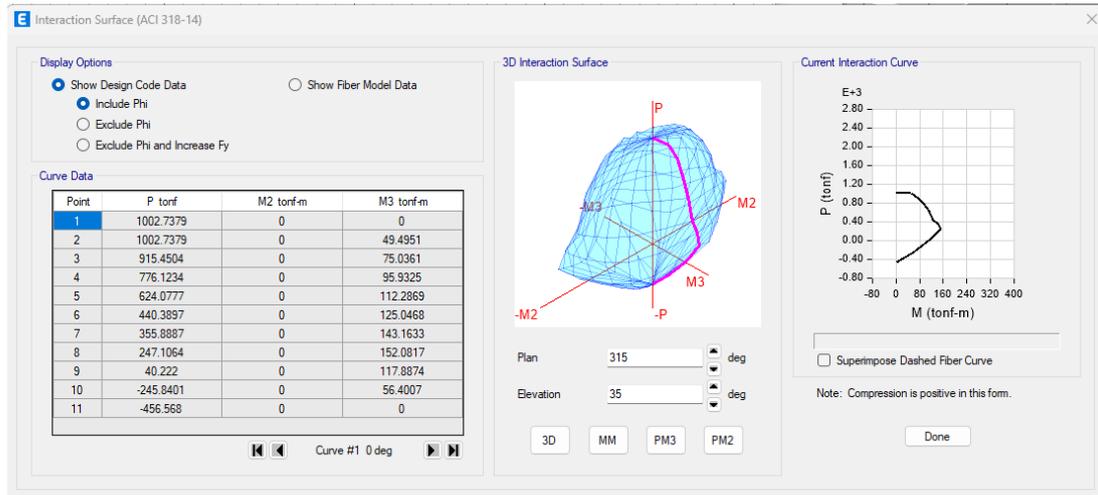
Diagramas de interacción P1 reforzado



Nota: Elaboración propia

Figura 55

Diagramas de interacción P2 reforzado



Nota: Elaboración propia

En cuanto al periodo la Figura 56 no se ha visto una gran variación, pasando de 0.15 a 0.145, lo cual no afecta en gran medida el cálculo de la cortante basal.

Figura 56

Periodos y frecuencias del nuevo modelo

The screenshot shows the 'Modal Periods And Frequencies' window with a table of 15 modal cases. The table includes columns for Case, Mode, Period (sec), Frequency (cyc/sec), CircFreq (rad/sec), and Eigenvalue (rad²/sec²).

Case	Mode	Period sec	Frequency cyc/sec	CircFreq rad/sec	Eigenvalue rad²/sec²
Modal	1	0.145	6.896	43.3305	1877.5298
Modal	2	0.132	7.564	47.529	2259.0028
Modal	3	0.113	8.832	55.4901	3079.1542
Modal	4	0.104	9.604	60.343	3641.2801
Modal	5	0.1	10.012	62.9064	3957.209
Modal	6	0.097	10.354	65.0581	4232.5612
Modal	7	0.079	12.7	79.7981	6367.7333
Modal	8	0.075	13.315	83.6624	6999.3964
Modal	9	0.074	13.481	84.7068	7175.2349
Modal	10	0.072	13.868	87.1343	7592.3821
Modal	11	0.068	14.741	92.6204	8578.5437
Modal	12	0.062	16.12	101.2848	10258.619
Modal	13	0.06	16.583	104.1954	10856.6817
Modal	14	0.059	16.96	106.5647	11356.0407
Modal	15	0.058	17.372	109.1489	11913.4894

Nota: Elaboración propia

Según la Figura 57 la partición de masas no ha visto gran diferencia, más que para el análisis dinámico que pasó de 98% a 97%, además de cumplir con los requisitos mínimos estructurales.

Figura 57

Participación de masas del nuevo modelo

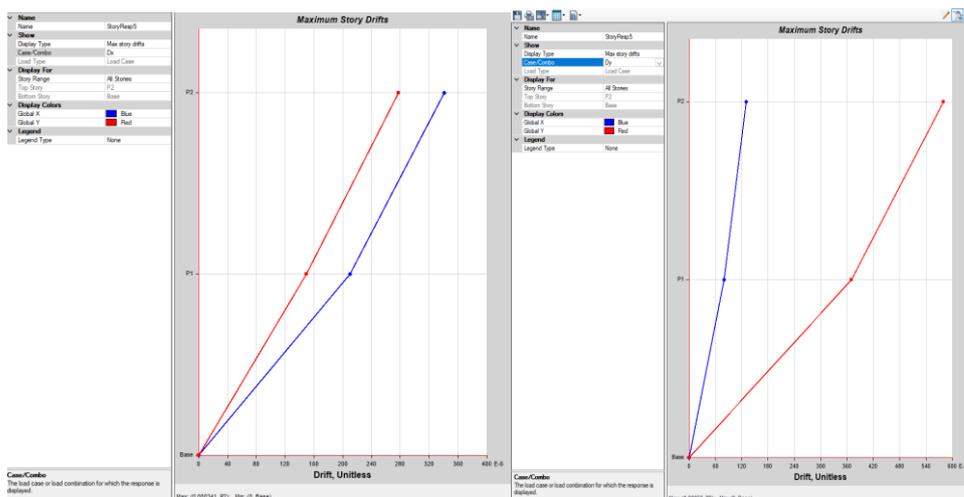
Case	ItemType	Item	Static %	Dynamic %
Modal	Acceleration	UX	99.69	97.73
Modal	Acceleration	UY	99.85	99.01
Modal	Acceleration	UZ	0	0

Nota: Elaboración propia

Se han obtenido las máximas derivas de entrepiso del análisis lineal de la edificación según la Figura 58, siendo en la dirección “X” una deriva de 0.000341 m y para la dirección “Y” una deriva de 0.00058 m a partir de estos resultados se calcula los desplazamientos laterales mencionados en la norma E 030.

Figura 58

Derivas del nuevo modelo



Nota: Elaboración propia

Tratándose de una estructura regular el desplazamiento lateral está definido por:

$$(\Delta i/h_i) = \text{Deriva} \times 0.75 \times R$$

$$\text{Desplazamiento lateral en "X": } (\Delta i/h_i)_x = 0.000341 \times 0.75 \times 7$$

$$\text{Desplazamiento lateral en "X": } (\Delta i/h_i) = 0.0017$$

$$\text{Desplazamiento lateral en "Y": } (\Delta i/h_i)_y = 0.00058 \times 0.75 \times 7$$

$$\text{Desplazamiento lateral en "Y": } (\Delta i/h_i) = 0.003$$

Se han corregido las derivas que eran por mucho superiores a lo establecido por la norma (ver Tabla 7).

Tabla 7

Comparación de derivas sin y con reforzamiento en metros (m)

Máximo desplazamiento	Sin reforzar	Admisible según norma	Con reforzamiento
X	0.0131	0.007	0.0017
Y	0.02	0.007	0.003

Nota: Elaboración propia

5.7 Evaluación económica

Partidas del encamisado de concreto armado

Para el reforzamiento del encamisado de concreto armado, se deben tomar en cuenta una serie de partidas antes de su ejecución, entre otras las más importantes sería el escarificado del concreto existente. Luego de esto, la colocación del acero de refuerzo adicional y finalizando el encofrado y vaciado de concreto entre otras, mostrado en la Figura 59.

Figura 59

Partidas a utilizar para el reforzamiento de columnas con el encamisado

PARTIDAS DEL REFORZAMIENTO CON ENCAMISADO DE CONCRETO ARMADO		
ITEM	DESCRIPCION	UND
1.00	ESTRUCTURAS	
1.00.01	OBRAS PRELIMINARES	
1.00.01.01	Trazo y replanteo	m2
01.00.01.02	Limpieza y habilitacion de superficie de Columna para el reforzamiento (Escarificado)	m2
01.00.01.03	Demolicion de Falso piso	m2
01.00.01.04	Demolicion de Losa solida	m2
01.00.01.05	Acarreo y eliminacion de material por demolicion	m3
1.00.02	MOVIMIENTO DE TIERRAS	
1.00.02.01	Excavacion de relleno para anclajes de acero vertical en cimiento	m3
1.00.02.02	Relleno con material propio	m3
1.00.02.03	Relleno con material de prestamo afirmado	m3
1.00.02.04	Acarreo y eliminacion de material por excavacion	m3
1.00.03	CONCRETO ARMADO	
1.00.03.01	COLUMNAS	
1.00.03.01.01	Acero grado 60 en columna $F_y=4200 \text{ Kg/cm}^2$	kg
1.00.03.01.02	Aplicacion de aditivo adhesivo epoxico para anclaje de refuerzo	und
1.00.03.01.03	Aplicación de aditivo adhesivo epoxico concreto nuevo/antiguo	m2
1.00.03.01.04	Encofrado y desencofrado en columna	m2
1.00.03.01.05	Concreto Premezclado en columna $f_c'= 245 \text{ Kg/cm}^2$	m3
1.00.03.01.06	Curado de concreto en columnas	m2

Nota: Elaboración propia

Se detallan cada una de las actividades (partidas) necesarias para el reforzamiento propuesto, para el inicio del reforzamiento en primer lugar se debe realizar el trazo y replanteo, esto con el fin de verificar la verticalidad del elemento por reforzar para luego proceder con las demás actividades.

Metrados de las partidas

En la Figura 60 se aprecian los metrados generados por cada actividad, para el escarificado de cada columna se debe tomar consideración el retiro del recubrimiento original (4 cm), hasta llegar al acero de refuerzo para que luego del vaciado se obtenga

un elemento monolítico, esto permitirá una mejor transferencia de esfuerzos por el recreado de la sección respecto a la original.

Figura 60

Planilla de metrados

ITEM	DESCRIPCION	UND	N° de veces	Dimensiones			Metrado Parcial	Metrado Total
				Ancho (m)	Largo (m)	Alto (m)		
1.00	ESTRUCTURAS							
1.00.01	OBRAS PRELIMINARES							
1.00.01.01	Trazo y replanteo	m2						166.37
	<u>1er Piso</u>							
	Columna P1		14	2.80	2.80	--	109.76	
	Columna P2		1	3.20	2.72	--	8.70	
	<u>2do Piso</u>							
	Columna P1		5	2.80	2.80	--	39.20	
	Columna P2		1	3.20	2.72	--	8.70	
01.00.01.02	Limpieza y habilitación de superficie de Columna para el reforzamiento (Escarificado)	m2						298.24
	<u>1er Piso</u>							
	Columna P1		14	--	3.20	4.35	194.88	
	Columna P2		1	--	3.88	4.35	16.88	
	<u>2do Piso</u>							
	Columna P1		5	--	3.20	4.35	69.60	
	Columna P2		1	--	3.88	4.35	16.88	
01.00.01.03	Demolicion de Falso piso	m2						30.50
	<u>1er Piso</u>							
	Columna P1		14	1.50	1.50	--	28.00	
	Columna P2		1	1.50	2.00	--	2.50	
01.00.01.04	Demolicion de Losa solida	m2						5.84
	<u>1er Piso</u>							
	Columna P1		14	0.80	0.80	--	5.46	
	Columna P2		1	0.72	1.22	--	0.38	
01.00.01.05	Acarreo y eliminacion de material por demolicion	m3						28.69
	Limpieza y habilitación de superficie de Columna para el reforzamiento (Escarificado)				Area de limpieza de superficie de columna e=0.05 mt	298.24	0.05	14.91
	Demolicion de Falso piso				Area de limpieza de superficie de columna e=0.05 mt	30.50	0.10	3.05
	Demolicion de Losa solida				Area de limpieza de superficie de columna e=0.05 mt	5.84	0.20	1.17
1.00.02	MOVIMIENTO DE TIERRAS							
1.00.02.01	Excavacion de relleno para anclajes de acero vertical en cimient	m3						21.35
	<u>1er Piso</u>							
	Columna P1		14	1.50	1.50	0.70	19.60	
	Columna P2		1	1.50	2.00	0.70	1.75	
1.00.02.02	Relleno con material propio	m3						16.78
	Area para relleno con material propio		1	30.50	1.00	0.55	16.78	
1.00.02.03	Relleno con material de prestamo afirmado	m3						4.58
	Area para relleno con material de prestamo		1	30.50	1.00	0.15	4.58	
1.00.02.04	Acarreo y eliminacion de material por excavacion	m3						5.17
	Material para acarrear y eliminar		1	30.50	1.00	0.15	5.17	

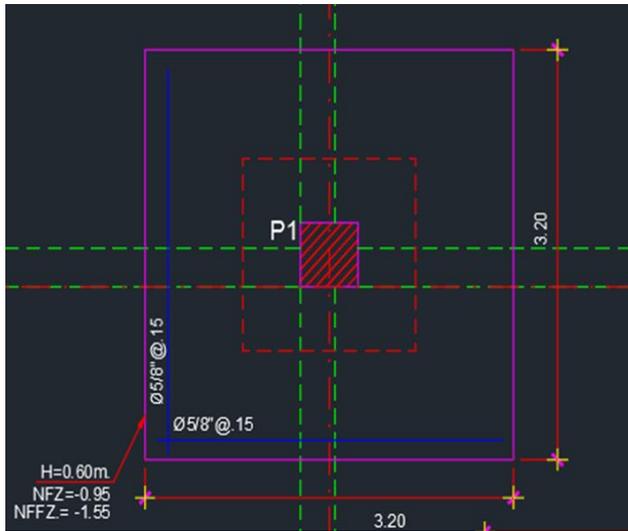
1.00.03	CONCRETO ARMADO							
1.00.03.01	COLUMNAS							
1.00.03.01.01	Acero grado 60 en columna $F_y=4200 \text{ Kg/cm}^2$	kg						3,874.94
	<u>1er Piso</u>							
	Columna P1		14		Detalle en planila de Metrad.		189.53	2,653.43
	Columna P2		1		Detalle en planila de Metrad.		204.02	204.02
	<u>2do Piso</u>							
	Columna P1		5		Detalle en planila de Metrad.		167.22	836.11
	Columna P2		1		Detalle en planila de Metrad.		181.39	181.39
1.00.03.01.02	Aplicacion de aditivo adhesivo epoxico para anclaje de refuerzo	und						1,082.00
	<u>1er Piso</u>							
	Columna P1		14	72	--	--	1008.00	
	Columna P2		1	74	--	--	74.00	
1.00.03.01.03	Aplicación de aditivo adhesivo epoxico concreto nuevo/antiguo	m2						152.75
	<u>1er Piso</u>							
	Columna P1		14	Per. =	1.68	4.35	102.31	
	Columna P2		1	Per. =	2.68	4.35	11.66	
	<u>2do Piso</u>							
	Columna P1		5	Per. =	1.68	3.50	29.40	
	Columna P2		1	Per. =	2.68	3.50	9.38	
1.00.03.01.04	Encofrado y desencofrado en columna	m2						281.34
	<u>1er Piso</u>							
	Columna P1		14	Per. =	3.20	4.35	194.88	
	Columna P2		1	Per. =	3.88	4.35	16.88	
	<u>2do Piso</u>							
	Columna P1		5	Per. =	3.20	3.50	56.00	
	Columna P2		1	Per. =	3.88	3.50	13.58	
1.00.03.01.05	Concreto Premezclado en columna $f_c' = 245 \text{ Kg/cm}^2$	m3						32.06
	<u>1er Piso</u>							
	Columna P1		14	0.80	0.80	4.35	23.75	
	Columna P2		1	0.72	1.22	4.35	1.65	
	<u>2do Piso</u>							
	Columna P1		5	0.80	0.80	3.50	5.76	
	Columna P2		1	0.72	1.22	3.50	0.90	
1.00.03.01.06	Curado de concreto en columnas	m2						281.34
	<u>1er Piso</u>							
	Columna P1		14	Per. =	3.20	4.35	194.88	
	Columna P2		1	Per. =	3.88	4.35	16.88	
	<u>2do Piso</u>							
	Columna P1		5	Per. =	3.20	3.50	56.00	
	Columna P2		1	Per. =	3.88	3.50	13.58	

Nota: Elaboración propia

En la Figura 61 y 62, se observan que la zona de intervención para los trabajos de reforzamiento, debe crecer unos 50 cm adicionales con el fin de liberar la superficie de cimentación para luego proceder con la colocación de anclajes con acero de refuerzo.

Figura 61

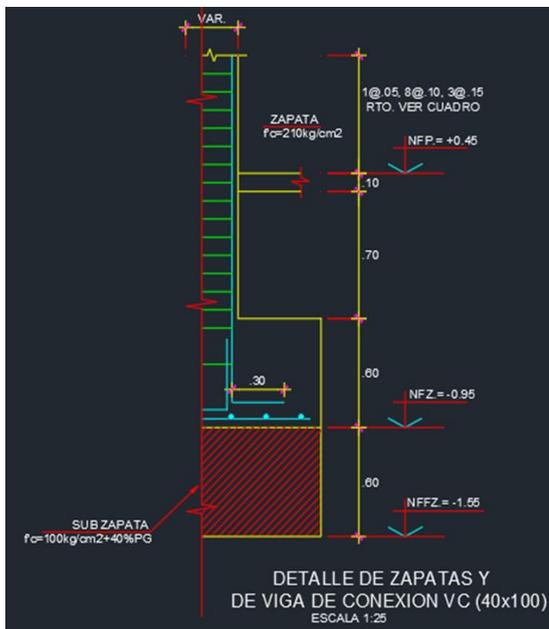
Vista en planta mostrando a detalle de zona de intervención para trabajos de excavación, demolición, acero, anclajes, encofrados y concreto.



Nota: Elaboración propia

Figura 62

Vista en de corte mostrando a detalle de zona de intervención para trabajos de excavación, demolición, acero, anclajes, encofrados y concreto.



Nota: Elaboración propia

Costos y presupuestos antes del reforzamiento

La Figura 63 las actividades del proyecto original, que corresponden solo a las columnas

de concreto armado.

Figura 63

Presupuesto antes de aplicar el encamisado de columnas

PRESUPUESTO ANTES DEL REFORZAMIENTO CON ENCAMISADO DE CONCRETO ARMADO					
ITEM	DESCRIPCION	UND	METRADO	COSTO UNITARIO (S/.)	SUBTOTAL (S/.)
1.00	ESTRUCTURAS				S/ 62,557.71
1.00.01	OBRAS PRELIMINARES				
1.00.01.01	Trazo y replanteo	m2	133.75	6.70	S/ 896.13
1.00.02	CONCRETO ARMADO				
1.00.02.01	COLUMNAS				
1.00.02.01.01	Acero grado 60 en columna Fy=4200 Kg/cm2	kg	5984.32	6.80	S/ 40,693.35
1.00.02.01.02	Encofrado y desencofrado en columna	m2	180.35	74.00	S/ 13,345.90
1.00.02.01.03	Concreto Premezclado en columna fc'= 210 Kg/cm2	m3	23.53	324.01	S/ 7,622.34
TOTAL COSTO DIRECTO					S/ 62,557.71

Nota: Elaboración propia

Costos y presupuestos después del reforzamiento

De la Figura 64 se induce que el costo del encamisado es de S/13857.76, se ve un aumento en el presupuesto del 22.15%, para los costos de reforzamiento final también fueron consideradas las partidas ejecutadas del casco inicial.

Figura 64

Presupuesto después de aplicar el encamisado

PARTIDAS DEL REFORZAMIENTO CON ENCAMISADO DE CONCRETO ARMADO					
ITEM	DESCRIPCION	UND	METRADO	COSTO UNITARIO	SUBTOTAL (S/.)
1.00	ESTRUCTURAS				76,433.47
1.00.01	OBRAS PRELIMINARES				
1.00.01.01	Trazo y replanteo	m2	166.37	6.70	1,114.67
01.00.01.02	Limpieza y habilitación de superficie de Columna para el reforzamiento (Escarificado)	m2	298.24	3.35	999.09
01.00.01.03	Demolicion de Falso piso	m2	30.50	19.50	594.75
01.00.01.04	Demolicion de Losa solida	m2	5.84	40.00	233.54
01.00.01.05	Acarreo y eliminacion de material por demolicion	m3	28.69	38.00	1,090.38
1.00.02	MOVIMIENTO DE TIERRAS				
1.00.02.01	Excavacion de relleno para anclajes de acero vertical en cimient	m3	21.35	46.00	982.10
1.00.02.02	Relleno con material propio	m3	16.78	73.40	1,231.29
1.00.02.03	Relleno con material de prestamo afirmado	m3	4.58	103.00	471.23
1.00.02.04	Acarreo y eliminacion de material por excavacion	m3	5.17	38.00	196.45
1.00.03	CONCRETO ARMADO				
1.00.03.01	COLUMNAS				
1.00.03.01.01	Acero grado 60 en columna Fy=4200 Kg/cm2	kg	3874.94	6.80	26,349.61
1.00.03.01.02	Aplicacion de aditivo adhesivo epoxico para anclaje de refuerzo	und	1082.00	6.20	6,708.40
1.00.03.01.03	Aplicación de aditivo adhesivo epoxico concreto nuevo/antiguo	m2	152.75	32.75	5,002.56
1.00.03.01.04	Encofrado y desencofrado en columna	m2	281.34	74.00	20,819.01
1.00.03.01.05	Concreto Premezclado en columna fc'= 245 Kg/cm2	m3	32.06	338.00	10,835.92
1.00.03.01.06	Curado de concreto en columnas	m2	281.34	0.98	275.71
S/ 76,433.47					

Nota: Elaboración propia

5.8 Resistencia a la flexo-compresión teórica con el encamisado

Mediante el apoyo del software ETABS, obtenemos el comportamiento y resistencia a la flexo-compresión antes y después del reforzamiento; siendo antes del reforzamiento la columna original P1, además de ser la columna reforzada P1 en base al diseño propuesto en el acápite 5.4 (ver Tabla 8)

Tabla 8

Tabla de cargas axiales y momentos de la columna P1 y P1 reforzado

Columna	P1		P1 REFORZADA	
	P (tonf)	M (tonf-m)	P (tonf)	M (tonf-m)
1	78.17	0.00	558.33	0.00
2	65.63	5.04	558.33	26.72
3	56.63	6.21	513.43	40.53
4	44.75	7.71	437.73	51.80
5	28.31	9.77	356.00	60.52
6	3.84	12.83	258.43	67.41
7	-8.74	15.15	204.54	77.93
8	-30.34	16.91	131.63	83.70
9	-58.28	13.58	15.67	67.05
10	-94.16	6.73	-122.74	37.49
11	-129.33	0.00	-258.66	0.00

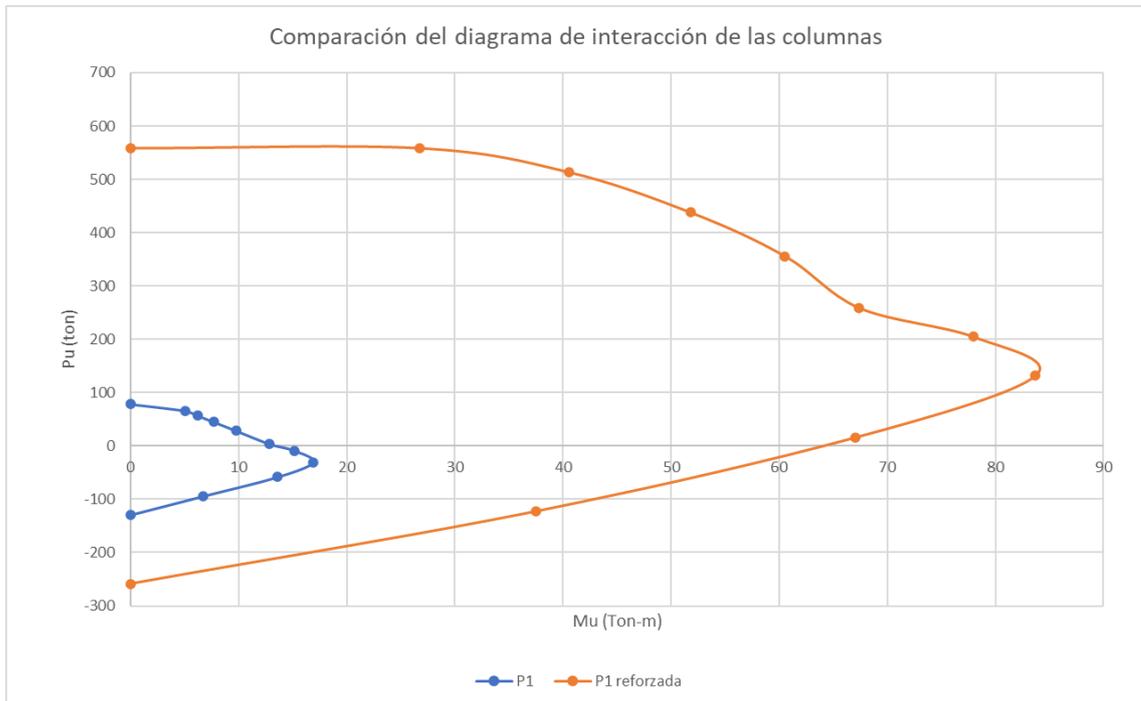
Nota: Propia con apoyo de ETABS

Se observa la P y M antes y después del reforzamiento, siendo P la carga axial medida en toneladas fuerza y el momento soportado en toneladas fuerza por metro lineal.

Se comparan los diagramas de interacción de las columnas P1 sin y con reforzamiento, según la Figura 65 el incremento es de más de 7 veces del original.

Figura 65

Comparación del diagrama de interacción de las columnas P1 y P1 reforzado



Nota: Elaboración propia

De la misma forma para la columna P2, se tiene la Tabla 9:

Tabla 9

Tabla de cargas axiales y momentos de la columna P2 y P2 reforzado

Columna	P2		P2 REFORZADA	
	P (tonf)	M (tonf-m)	P (tonf)	M (tonf-m)
1	471.48	0.00	1002.74	0.00
2	471.48	21.49	1002.74	49.49
3	418.24	31.26	915.45	75.03
4	350.62	39.73	776.12	95.93
5	274.86	46.97	624.07	112.29
6	183.50	54.03	440.39	125.05
7	158.50	61.19	355.89	143.16
8	110.75	65.50	247.11	152.08
9	15.61	51.99	40.22	117.89

Nota: Propia con apoyo de ETABS

Sin embargo, en la Figura 66 se observa la comparación de columnas

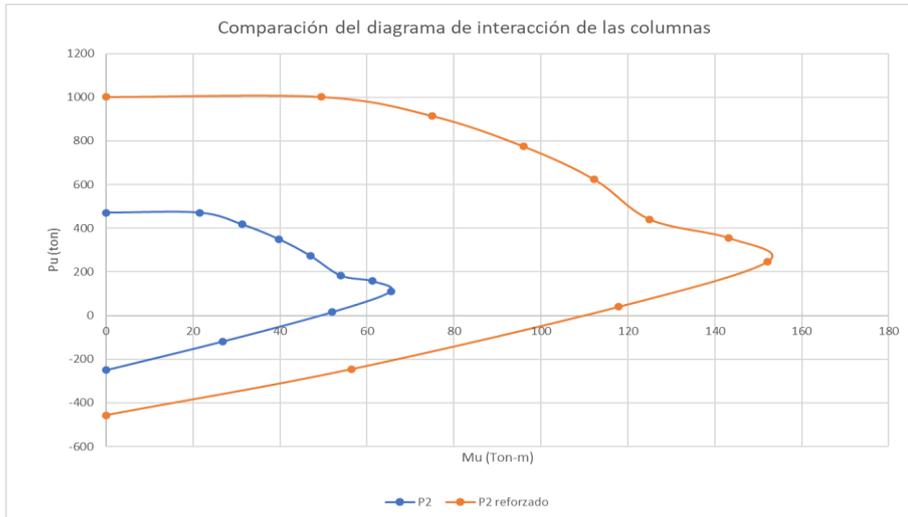
10	-118.67	26.83	-245.84	56.40
11	-249.84	0.00	-456.57	0.00

P2 sin y con

reforzamiento, en el cual el incremento es de poco más del doble.

Figura 66

Comparación del diagrama de interacción de las columnas P2 y P2 reforzado

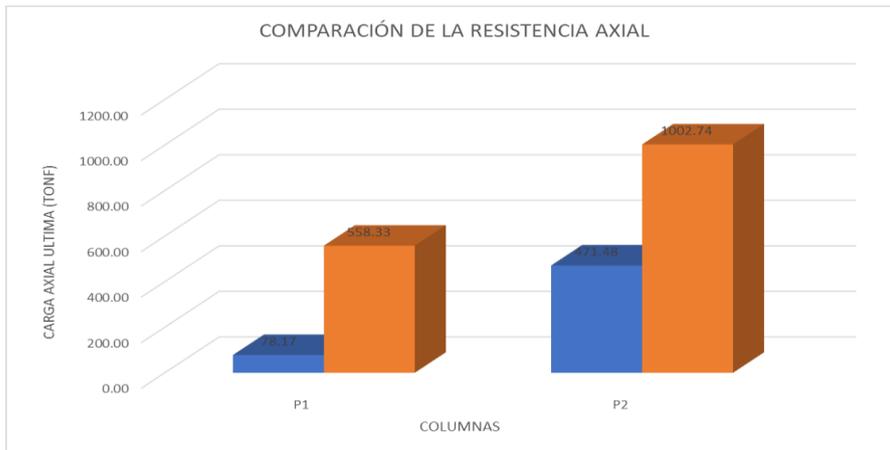


Nota: Elaboración propia

En la Figura 67 y 68 observamos la comparación de cargas axiales últimas y momentos últimos alcanzados por la columna en su diagrama de interacción, siendo la columna azul la columna P1 original, mientras que la columna naranja representa la columna P1 reforzada, la misma interpretación aplica para la columna de P2. El reforzamiento en la columna P1 alcanzó más del 700% en resistencia axial, mientras que en su momento fue de poco menos de 500%; sin embargo, en la columna P2, el incremento de resistencia axial fue solo de 213% y el de momentos un 232%.

Figura 67

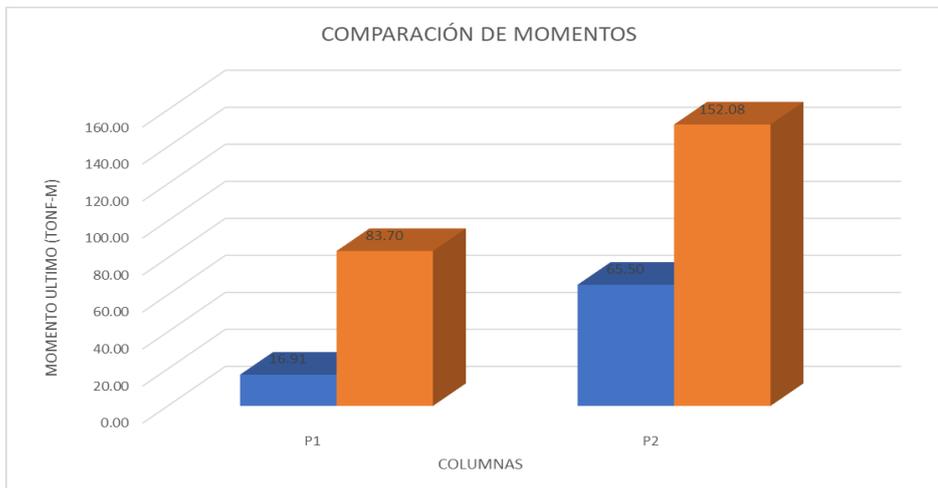
Comparación de la resistencia axial P1 y P1 reforzado, P2 y P2 reforzado



Nota: Elaboración propia

Figura 68

Comparación de momentos P1 y P1 reforzado, P2 y P2 reforzado



Nota: Elaboración propia

5.9 Comparación económica

En la Figura 69 se expone el presupuesto total de la obra (todo el parque que consta de 5 módulos o edificaciones) siendo este un total de S/69,975,217.26, nótese que de la

edificación estudiada (Laboratorio) corresponde a S/17,099,995.55.

Figura 69

Presupuesto total de la obra

PARTIDAS	PTO. PERFIL	PTO, ESTIMADO	DIFERENCIAL
OBRAS EXTERIORES	10,180,307.74	1,707,350.76	-8,472,956.98
PRESUPUESTO LABORATORIO	5,583,588.15	17,099,995.55	11,516,407.41
PRESUPUESTO HOSPEDAJE	2,759,668.18	5,482,887.80	2,723,219.62
PRESUPUESTO INCUBADORA	6,097,361.63	15,273,771.16	9,176,409.53
PRESUPUESTO CEDEE	8,837,648.33	21,853,236.52	13,015,588.18
PRESUPUESTO ACELERADORA	3,315,146.63	6,431,609.31	3,116,462.69
PRESUPUESTO SERVICIOS GENERALES (*)	0.00	2,126,366.16	2,126,366.16
MITIGACION AMBIENTAL (**)	544,157.00	0.00	-544,157.00
TOTAL PRESUPUESTO DE OBRA	37,317,877.65	69,975,217.26	32,657,339.61

(*) Partidas no contempladas en el estudio de preinversión

(**) Partida distribuida en cada componente.

Nota: Base de datos del expediente técnico

En la Tabla 10 se realiza la comparación porcentual del costo del encamisado respecto del presupuesto para las columnas de la edificación “Laboratorio”, el presupuesto total de la edificación “Laboratorio” y el presupuesto total del proyecto.

Tabla 10

Comparación del costo del encamisado respecto al presupuesto

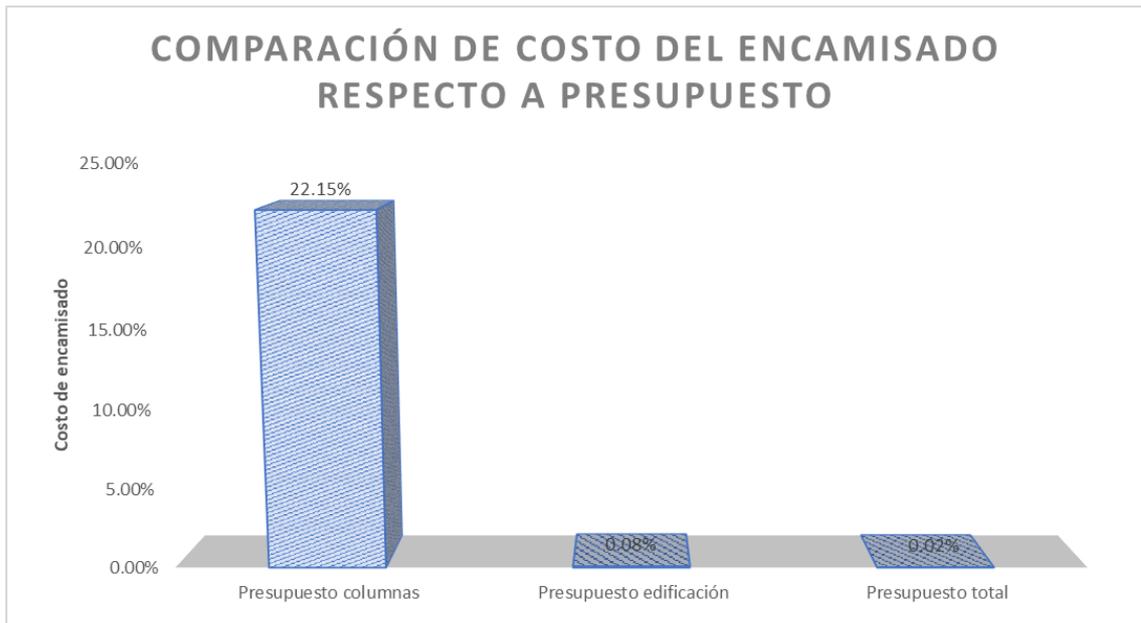
Descripción	Costo (S/)	Porcentaje respectivo
Encamisado	13857.76	-
Presupuesto columnas	62557.71	22%
Presupuesto edificación	17099995.55	0.45%
Presupuesto total	69975217.26	0.11%

Nota: Elaboración propia

Finalmente, se tiene la comparación en cuanto a costo del presupuesto de columnas vs el presupuesto edificación vs el presupuesto total.

Figura 70

Gráfico de barras comparativo del costo de encamisado respecto al presupuesto



Nota: Elaboración propia

5.10 Discusión de resultados

- Según el objetivo específico: Mejorar la resistencia a la flexo-compresión mediante el encamisado a las columnas de concreto armado.

En la figura 35, el aumento de la resistencia axial del encamisado llegó al 714.25% del diseño original. Respecto a P2, el aumento fue de 212.67% del diseño original. Sin embargo, en la figura 36 observamos la comparación de momentos últimos alcanzados por la columna en su diagrama de interacción, siendo el aumento del encamisado hasta 494.97% del diseño original. Respecto a P2, el aumento fue de 232.18% del diseño original.

- Según el objetivo específico: Modelar la edificación de 2 niveles mejorada con el encamisado de columnas de concreto armado mediante el software ETABS.

Se modeló la edificación con el diseño del encamisado que reforzó las columnas que presentaban patologías y deficiencias estructurales como la calidad de la resistencia a la compresión (f'_c), obteniéndose que la respuesta sísmica mejoró, se redujo la deriva para la dirección “X” hasta el 13% y para la dirección “Y” hasta el 15% lo cual se ajusta a los parámetros de la norma E030 (máxima deriva admisible en estructuras de concreto armado: 0.007).

- Según el objetivo específico: Determinar la factibilidad económica del encamisado de columnas de concreto armado.

Para el proyecto resulta factible usar el encamisado para las columnas que presentan

patologías como cangrejas, segregación y grietas, ya que este costó un S/13857.76, lo que representa un 22.15% extra de las columnas afectadas, un 0.45% de la edificación “Laboratorio” y un 0.11% del presupuesto total del proyecto.

5.11 Contratación de hipótesis

- Según la hipótesis general: “La evaluación técnica y económica para el reforzamiento estructural mejoró la resistencia estructural de las columnas de concreto armado en una edificación de 2 niveles en La Molina”, se validó ya que se cumplió con las tres hipótesis especificadas mencionadas a continuación.
- Según la hipótesis específica 1: “La resistencia a la flexo-compresión aumentará hasta 200% con el encamisado a las columnas de concreto armado”, se valida la hipótesis ya que tanto la resistencia axial como los momentos obtenidos para la columna P1 como la columna P2 con el encamisado de las columnas superan el 200% del diseño original.
- Según la hipótesis específica 2: “Conociendo el modelo de la edificación de dos niveles se mejoraría la respuesta sísmica, cuyos valores son menores a los que indica la norma”, se valida la hipótesis porque el nuevo modelo con columnas encamisadas corrigió el exceso de derivas y cumple con los parámetros sísmicos requeridos por la norma E030.
- Según la hipótesis específica 3: “Conociendo la factibilidad económica se determinaría que el uso del encamisado de columnas costará un 5% del presupuesto total”, se valida la hipótesis porque el encamisado de las columnas afectadas por patologías resultó costar un 0.11% del presupuesto total del proyecto.

CONCLUSIONES

1. Según los resultados, se concluye que al emplear el reforzamiento con el encamisado de concreto armado a las columnas, la respuesta estructural mejoró, también el comportamiento de la columna frente a esfuerzos de compresión y flexión, además que resultó factible económicamente por su bajo costo de implementación.
2. Con el reforzamiento propuesto se aumentó la resistencia a la flexo compresión:
Para el caso de las columnas tipo P1 se vio un aumento drástico, la resistencia axial aumentó hasta 7 veces de lo que se tenía originalmente, y para los momentos flexionantes su aumento fue de 5 veces lo que poseía originalmente.
Mientras que para la columna tipo P2 tanto para resistencia axial como para momentos flexionantes se aportó poco más de 2 veces en ambos casos, en comparación de lo que poseía originalmente.
Se concluye que dado el diseño de la columna P2 a pesar de tener una resistencia a la compresión menor a la requerida, cumplía con las combinaciones de cargas requeridas, esto se evidencia en su diagrama de interacción, aun así, se plantea el diseño de encamisado de esta columna P2 ya que no se cumplían el $f'c$ de las especificaciones técnicas, además se redujeron las derivas que estaban al límite de lo que señala la norma (máxima deriva = 0.007).
3. El encamisado de la columna P2 resultó tener un costo mucho mayor del que se tenía planeado, ya que el acero usado en dicha columna aumentó un 40% debido al diseño según la cuantía mínima requerida.
4. Adicionalmente se plantea usar ganchos de refuerzo que aseguren que el acero longitudinal esté asegurado, dada la amplitud de las dimensiones en la nueva sección transversal.
5. El nuevo modelo del encamisado redujo los desplazamientos laterales o derivas hasta el 12.97% en la dirección "X" y hasta el 15% en la dirección "Y", dichas derivas si se encuentran debajo del máximo permitido según lo que establece la norma sismorresistente.
6. Para el proyecto resulta factible usar el encamisado para las columnas que presentan patologías como cangrejeras, segregación y grietas, debido a que el costo de la implementación del reforzamiento mediante el encamisado de dichas columnas representa un 22.15% de costo extra de la partida de columnas del edificio, un 0.45% del presupuesto de la edificación "Laboratorio" y un 0.11% del presupuesto total del proyecto.

RECOMENDACIONES

1. El procedimiento constructivo del encamisado es simple y parecido a la de una columna normal, sin embargo, se debe tener cuidado en la aplicación del epóxico esto para asegurar que el nuevo concreto (concreto del encamisado) se adhiera correctamente a la columna a reforzar.
2. Para tener resultados más concisos, se deben realizar ensayos al concreto ya reforzado, esto para contrastar lo planteado teóricamente sobre la resistencia a la flexo-compresión, es imprescindible cuantificar en porcentaje los aumentos reales para la verificación del reforzamiento. Se recomienda un mayor cuidado en los procesos constructivos, siguiendo las normas, para evitar las patologías como son la segregación, cangrejeras y grietas.
3. Se recomienda el uso de ganchos de refuerzo en casos donde el elemento a reforzar tenga un aumento de sección transversal, especialmente si la sección transversal de la columna no es cuadrada.
4. Para efectos del análisis comparativo económico se recomienda usar análisis de precios unitarios y precios vigentes para minimizar el margen de error.
5. Para futuras investigaciones se recomienda una comparación entre el estudio de encamisado frente algún otro tipo de reforzamiento como la adición de columnas o muros de concreto armado, muretes de albañilería reforzadas con malla de electrosoldados o también adición de marcos de acero con arriostres concéntricos.

REFERENCIAS

- Abreu, J. (2012). *Hipótesis, Método & Diseño de Investigación*. México: la Universidad Autónoma de Nuevo León en la Facultad de Contaduría Pública y Administración. Obtenido de <http://www.spentamexico.org/v7-n2/7%282%29187-197.pdf>
- Amiel, J. (2007). *Las variables en el método científico*. Lima, Perú. Obtenido de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2007000300007
- Ariza, R., Matallana, A., Mora, C., Rebata, M., & Rupay, R. (2020). *Análisis y comparación de técnicas de reforzamiento estructural en centros educativos 780 pre mediante el método Choosing by advantage*. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú. Obtenido de https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/18120/ARIZA_G%c3%93MEZ_RICARDO_AN%c3%81LISIS_COMPARACI%c3%93N_T%c3%89CNICAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Bernal, C. (2010). *Metodología de la Investigación, administración, economía, humanidades y ciencias sociales* (3 ed.). Pearson. Obtenido de <https://abacoenred.com/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigaci%C3%B3n-F.G.-Arias-2012-pdf.pdf>
- Borja, M. (2012). *Metodología de la Investigación Científica para ingenieros*. Chiclayo. Obtenido de <file:///C:/Users/Nico/Downloads/MI.%20MANUEL%20BORJAS%202012.pdf>
- Buendía, L., Colás, P., & Hernández, F. (1998). *Métodos de Investigación en Psicopedagogía* (1 ed.). McGraw-Hill Interamericana. Obtenido de <https://www.buscalibre.pe/libro-metodos-de-investigacion-en-psicopedagogia/9788448112547/p/1247533>
- Cueva, E. (2021). *Comportamiento estructural y Factibilidad económica para las alternativas de una edificación nueva o ampliación de un proyecto Multifamiliar de cinco niveles*. Lima, Perú: Universidad San Martín de Porres. Obtenido de file:///C:/Users/Nico/Downloads/cueva_vej.pdf
- Guaño, M. (2018). *Estudio de la influencia de los sistemas de reforzamiento, mediante un análisis estructural, para mejorar la respuesta sismorresistente del edificio de la Contraloría General del Estado-Regional 1*. Quito, Ecuador. Universidad Central del Ecuador. Obtenido de: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/17609/1/T-UCE-0011-ICF-007->

[P.pdf](#)

- Gualotuña, E. (2022). *Manual de Procesos para Reforzamiento de Columnas de Hormigón Armado con Aplicaciones de Acero*. Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/29325/1/UCE-FING-CPO-GUALOTU%C3%91A%20EDWIN.pdf>
- Guillermo, A. & Silva, S. (2019) *Evaluación y diseño de dos propuestas de reforzamiento para vigas y columnas de concreto armado de una edificación de hotel*. Lima, Perú. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Obtenido de: https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/628230/Guillermo_TA.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2010). *Metodología de la Investigación* (5 ed.). Mc-GRAWHILL Interamericana de Editores.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación* (6 ed.). McGraw-Hill Interamericana de Editores. Obtenido de <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2021). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima, Perú: Gobierno del Perú. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/informes-publicaciones/2309793-reglamento-nacional-de-edificaciones-rne>
- Nina, E., & Quispe, E. (2020). *Evaluación de la resistencia a la compresión y patologías mediante ensayos no destructivos en elementos estructurales vigas y columnas en el estadio Inca Garcilaso De la Vega Wanchaq Cusco-2020*. Cusco, Perú: Universidad Andina del Cusco. Obtenido de https://repositorio.uandina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12557/4210/Edder_Erick_Tesis_bachiller_2021_Part.1.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ospina, E., & López, J. (2019). *Efectividad de las técnicas de revestimiento más columnas para el reforzamiento de columnas de concreto reforzado*. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia. Obtenido de https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/15806/1/LopezJonathan_2019_RevestimientoReforzamientoColumnas.pdf
- Quesada, M. (2019). *Condiciones de la infraestructura educativa en la región pacífico central: los espacios escolares que promueven el aprendizaje en las aulas*. Revista Educación, 43(1), 1. Obtenido de

<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/educacion/article/view/28179/36568>

- Quevedo, H., Barreto, R., & Ñaupari, A. (2020). *Procedimiento para una evaluación estructural en una vivienda de concreto armado*. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú. Obtenido de https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/18371/QUEVEDO%20RIVERA_BARRETO%20MAURICIO_MEGO%20FARIAS_%C3%91AUPARI%20DIAZ_ESPADA%20CHILIN_PROCEDIMIENTO_EVALUACION_ESTRUCTURAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Quispe, J., Rúa, M., Taipe, D., Huapaya, Y., & Rojas, J. (2020). *Técnicas de reforzamiento para centros educativos tipo modular tipo 780 PRE*. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú. Obtenido de https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/18224/QUIPE%20RODRIGUEZ_HUAPAYA%20TERRONES_%20ROJAS%20RAMOS_TAIPE%20GRATELLE_RUA%20ALVAREZ_TECNICAS_REFORZAMIENTO.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rodriguez, C., Breña, J. L., & Esenarro, D. (2021). *Las variables en la metodología de la investigación científica*. Área de innovación y desarrollo S.L. Obtenido de <https://www.3ciencias.com/wp-content/uploads/2021/10/Las-Variables.pdf>
- Rodriguez, E. (2020). *Análisis comparativo de las diferentes metodologías de reforzamiento estructural aplicables a edificaciones construidas en concreto reforzado*. Bogotá, Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/28744>
- Sarmiento, F., Córdova, K., & Gómez, H. (2021). *Análisis y diseño de dos propuestas de reforzamiento para columnas y vigas de la I.E. Julio Cesar Tello en Ica - Pisco*. Lima, Perú. Obtenido de <https://repositorio.usil.edu.pe/entities/publication/97b3caf5-080c-4551-88c4-31ab8933e695>
- Sika. (2017). *Reforzamiento de estructuras de Concreto*. *Concreto*, 4. Obtenido de <https://col.sika.com/dms/getdocument.get/c5fbb55d-9240-3b09-9eee-edf695806345/Reforzamiento%20Estructuras%202017.pdf>
- Tudela, M. (2022). *Análisis comparativo entre el encamisado de concreto armado y el uso de CFRP como métodos de reforzamiento estructural en columnas*. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú. Obtenido de <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/23914/TUD>

[ELA_LAURA_MARCELL_ANALISIS_COMPARATIVO_ENCAMISADO.pdf?sequence=1&isAllowed=y](#)

Yépez, J. (2019). *Comportamiento de columnas de concreto armado reforzadas mediante el incremento de su sección transversal*. Rio Grande del Sur, Brasil: Universidad Federal de Rio Grande del Sur. Obtenido de <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/204074/001108218.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ANEXOS

ANEXO A: TABLA DE CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

N°	ACTIVIDADES	1er mes	2do mes	3er mes	4to mes	5to mes	6to mes
1	Selección y formulación del tema	May-23					
2	Busqueda de información y referencias de la investigación						
3	Formulación del problema y posibles objetivos						
4	Desarrollo del Capítulo 1: Planteamiento del problema						
5	Desarrollo del Capítulo 2: Marco teórico						
6	Desarrollo del Capítulo 3: Hipótesis y variables de investigación						
7	Desarrollo del Capítulo 4: Metodología de la investigación		Jun-23				
8	Desarrollo del Capítulo 5: Desarrollo de la investigación						
9	Ensayos en el lugar de investigación						
10	Modelado de datos en software						
11	Diseño de mejora del elemento estructural			Jul-23			
12	Determinación de la factibilidad del método						
13	Desarrollo del Capítulo 5: Presentación e interpretación de resultados				Ago-23		
14	Desarrollo del Capítulo 6: Conclusiones y recomendaciones						
15	Revisión de la fuente bibliográfica					Set-23	
16	Observaciones y correcciones						
17	Entrega final del proyecto de tesis						Oct-23

Nota: Elaboración propia

ANEXO B: PRESUPUESTO DE INVESTIGACIÓN

Presupuesto				
Ensayo en campo				
Descripcion	UND	CANT	P.U.	PARCIAL
Pasajes (Zona sur - La molina)	und	2	10	20
Alquiler de equipo o instrumentos	dia	1	50	50
				70
Modelamiento y diseño en computadora				
Descripcion	UND	CANT	P.U.	PARCIAL
Luz	mes	6	30	180
Internet	mes	6	70	420
Impresión de tesis	und	5	150	750
				1350
			TOTAL	1420

Nota: Elaboración propia

ANEXO C: OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos
Columnas de concreto armado	Son elementos estructurales, generalmente verticales que se encargan de transmitir esfuerzos y cargas de una edificación hacia la tierra, utilizando a las zapatas como estructuras intermediarias de apoyo para dicho evento	Diseño Resistencia Estructura conformada	Sección transversal aumentada Flexo-compresión Rigidez	Norma E.060 Norma E.060 ETABS
Evaluación técnica	Es un conjunto de pasos para estimar, verificar y valorar los procesos constructivos que fueron realizados para el cumplimiento del proyecto, teniendo como resultado un informe que presente el estado del proyecto y si existen deficiencias	Patologías	Tipología	Métodos según las referencias

Evaluación económica	Se usa para identificar, medir y comparar costos en un proyecto, determina la viabilidad económica de este.	Factibilidad económica	Metrados Presupuestos	Hojas de cálculo S10

Nota: Elaboración propia

ANEXO D: MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
¿Cómo mejora la evaluación técnica y económica para el reforzamiento estructural en columnas de concreto armado en una edificación de 2 niveles en la Molina?	Realizar la evaluación técnica y económica para el reforzamiento estructural en columnas de concreto armado en una edificación de 2 niveles en La Molina.	La evaluación técnica y económica para el reforzamiento estructural mejoró la resistencia estructural de las columnas de concreto armado en una edificación de 2 niveles en La Molina.	Columnas de concreto armado de la edificación de 2 niveles ubicada en La Molina	Diseño Resistencia	Sección transversal aumentada A la flexo-compresión	Norma E060 Norma E 060
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS		Estructura conformada	Rigidez	ETABS Norma E030

¿Cómo mejorará las propiedades estructurales con el encamisado a las columnas de concreto armado?	Mejorar la resistencia a la flexo-compresión con el encamisado a las columnas de concreto armado.	La resistencia a la flexo-compresión aumentará hasta un 200% con el encamisado a las columnas de concreto armado.	VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
¿Cómo modelar la edificación de 2 pisos mejorada con el encamisado de columnas de concreto armado mediante el software ETABS?	Modelar la edificación de 2 pisos mejorada con el encamisado de columnas de concreto armado mediante el software ETABS.	Conociendo el modelo de la edificación de 2 niveles se mejoraría la respuesta sísmica, cuyos valores son menores a los que indica la norma	Evaluación técnica para el reforzamiento estructural	Patologías	Tipología	Métodos según referencias
¿Cuán factible es económicamente realizar el encamisado de columnas de concreto armado?	Determinar la factibilidad económica del encamisado de columnas de concreto armado.	Conociendo la factibilidad económica se determinaría que el uso del encamisado de columnas costará un 5% del presupuesto total	Evaluación económica para el reforzamiento estructural	Factibilidad económica	Metrados Presupuestos	Hojas de cálculo S10

Nota: Elaboración propia

