

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA CIVIL



TESIS

**“Desempeño estructural para establecer el grado de
vulnerabilidad sísmica del palacio municipal de Cayna –
Ambo – Huánuco – 2024”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
CIVIL**

AUTORA: Alcántara Graciano, Juan Dither

ASESOR: Martínez Fabian, Efraín Raúl

HUÁNUCO – PERÚ
2025

U

D

H

**TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:**

- Tesis (X)
- Trabajo de Suficiencia Profesional()
- Trabajo de Investigación ()
- Trabajo Académico ()

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Contaminación ambiental
AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería Civil

Disciplina: Ingeniería Civil

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título Profesional de Ingeniero(a) ambiental

Código del Programa: P09

Tipo de Financiamiento:

- Propio (X)
- UDH ()
- Fondos Concursables ()

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 76411549

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 22486921

Grado/Título: Maestro en gestión pública

Código ORCID: 0000-0002-5177-380X

DATOS DE LOS JURADOS:

APELLIDOS Y				
Nº	NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Trujillo Ariza, Yelen Lisseth	Maestro en medio ambiente y desarrollo sostenible, mención en gestión ambiental	70502371	0000-0002-5650-3745
2	Cecilio Reyes, Fatima Rosaria	Maestro en medio ambiente y desarrollo sostenible, mención en gestión ambiental	44287920	0000-0001-9180-7405
3	Jara Trujillo, Alberto Carlos	Maestro en Ingeniería con mención en gestión ambiental y desarrollo sostenible	41891649	0000-0001-8392-1769

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO(A) CIVIL**

En la ciudad de Huánuco, siendo las 19:00 horas del día miércoles 17 de diciembre de 2025, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron los Jurados Calificadores integrado por los docentes:

❖ MG. YELEN LISSETH TRUJILLO ARIZA	PRESIDENTE
❖ MG. FATIMA ROSARIA CECILIO REYES	SECRETARIO
❖ MG. ALBERTO CARLOS JARA TRUJILLO	VOCAL

Nombrados mediante la RESOLUCIÓN No 2794-2025-D-FI-UDH para evaluar la Tesis intitulada: "DESEMPEÑO ESTRUCTURAL PARA ESTABLECER EL GRADO DE VULNERABILIDAD SISMICA DEL PALACIO MUNICIPAL DE CAYNA – AMBO – HUANUCO – 2024", presentado por el (la) Bachiller. Bach: Juan Dither ALCANTARA GRACIANO, para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Civil.

Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) APROBADO..... por UNANIMIDAD..... con el calificativo cuantitativo de 12... y cualitativo de SUFICIENTE... (Art. 47).

Siendo las 20:05 horas del día 17 del mes de diciembre del año 2025, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.



MG. YELEN LISSETH TRUJILLO ARIZA
DNI: 70502371
ORCID: 0000-0002-5650-3745
PRESIDENTE



MG. FATIMA ROSARIA CECILIO REYES
DNI: 47064856
ORCID: 0009-0001-5016-5538
SECRETARIO (A)



MG. ALBERTO CARLOS JARA TRUJILLO
DNI: 41891649
ORCID: 0000-0001-8392-1769
VOCAL



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: JUAN DITHER ALCÁNTARA GRACIANO, de la investigación titulada "DESEMPEÑO ESTRUCTURAL PARA ESTABLECER EL GRADO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL PALACIO MUNICIPAL DE CAYNA - AMBO - HUÁNUCO - 2024", con asesor(a) EFRAÍN RAÚL MARTÍNEZ FABIAN, designado(a) mediante documento: RESOLUCIÓN N° 1237-2024-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA CIVIL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 21 % verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

Por lo que concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con todas las normas de la Universidad de Huánuco.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Huánuco, 26 de noviembre de 2025



RICHARD J. SOLIS TOLEDO
D.N.I.: 47074047
cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

239. Alcántara Graciano, Juan Dither..docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

21 %

INDICE DE SIMILITUD

21 %

FUENTES DE INTERNET

4 %

PUBLICACIONES

7 %

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.unheval.edu.pe

Fuente de Internet

8 %

2

hdl.handle.net

Fuente de Internet

6 %

3

1library.co

Fuente de Internet

1 %

4

repositorio.ug.edu.ec

Fuente de Internet

1 %

5

repositorio.upla.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %



RICHARD J. SOLIS TOLEDO

D.N.I.: 47074047

cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA

D.N.I.: 71345687

cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

DEDICATORIA

Dedicado a mi querida madre Albertina y a mi hermano, porque gracias a ellos alcance esta meta, me hicieron quien soy hoy y tus bendiciones diarias me protegen en la vida que atravesamos cada día.

También dedicarles esta investigación a mis familiares, gracias por su acompañamiento en todo este proceso y por brindarme sus apoyos incondicionales.

AGRADECIMIENTO

Estoy muy agradecido con Dios por protegerme, guiarme y darme la fuerza para continuar y seguir luchando en la vida y en cada logro que alcanzo.

Agradecer infinitamente a mi madre Albertina y Hermano, quienes me inculcaron sus valores y fueron maravillosos que me guiaron en el proceso de mi vida, todo esto hoy es una realidad. A un centro de aprendizaje donde me formé, a los profesores que me inculcaron conocimientos y valores que respeto mucho, ya que fueron cruciales para mi desarrollo profesional.

Gracias a todos mis amigos que me han apoyado de una forma u otra en este trabajo.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE DE TABLAS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
INTRODUCCIÓN	XI
CAPÍTULO I	12
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	12
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	12
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	14
1.3. OBJETIVO GENERAL	14
1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	15
1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.7. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	17
CAPÍTULO II	18
MARCO TEÓRICO	18
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	18
2.2. BASES TEÓRICAS	23
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES	37
2.4. HIPÓTESIS	42
2.5. VARIABLES	42
2.5.1. VARIABLE DE CALIBRACIÓN	42
2.5.2. VARIABLE EVALUATIVA	42

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	43
CAPÍTULO III.....	45
METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	45
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	45
3.1.1. ENFOQUE	45
3.1.2. ALCANCE O NIVEL	45
3.1.3. DISEÑO	46
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	47
3.2.1. POBLACIÓN	47
3.2.2. MUESTRA.....	47
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS ...	48
3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS	48
3.3.2. PROTOCOLO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	50
3.3.3. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS	51
3.3.4. PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS ..	51
CAPÍTULO IV	52
RESULTADOS	52
4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS	52
4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS ..	67
CAPÍTULO V	72
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	72
5.1. CONTRASTACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	72
CONCLUSIONES	74
RECOMENDACIONES.....	76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77
ANEXOS	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Descripción de los estados de daño y niveles de desempeño	25
Tabla 2 Niveles de desempeño de las estructuras.....	28
Tabla 3 Valores límites de la deriva máxima de entrepiso para los niveles de desempeño	29
Tabla 4 Valores límites de la deriva máxima de entrepiso para los niveles de desempeño	29
Tabla 5 Niveles de desempeño de las estructuras.....	58
Tabla 6 Niveles de desempeño de las estructuras.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Fuerzas cortantes estáticas a nivel de planta	33
Figura 2 Estándar de seguridad con bajos costos	34
Figura 3 Curva de capacidad elastoplástico	36
Figura 4 Esquema de diseño de investigación	47
Figura 5 Equipo para inspección de campo	49
Figura 6 Modelo numérico lineal	53
Figura 7 Curva esfuerzo deformación en tensión del concreto	53
Figura 8 Curva esfuerzo deformación en compresión del concreto.....	54
Figura 9 Curva esfuerzo deformación del acero de refuerzo.....	54
Figura 10 Vista de la distribución de aceros longitudinales en vigas y columnas	55
Figura 11 Vista de la distribución de estribos en vigas y columnas	55
Figura 12 Primer modo de vibración – traslacional en la dirección X	56
Figura 13 Segundo modo de vibración – traslacional en la dirección Y.....	57
Figura 14 Tercer modo de vibración – Rotacional.....	57
Figura 15 Modos de vibración (Hz.)	58
Figura 16 Modos de vibración (sg.).....	59
Figura 17 Participación de masas en cada modo de vibración	59
Figura 18 Generación del pushover modal en la dirección X con el modo de vibración 1	60
Figura 19 Generación del pushover modal en la dirección Y con el modo de vibración 2	61
Figura 20 Generación del pushover por deformación prescrita, dirección X	61
Figura 21 Generación del pushover por deformación prescrita, dirección Y	62
Figura 22 Derivas de entrepiso, dirección X	62
Figura 23 Derivas de entrepiso, dirección Y	63
Figura 24 Curva de capacidad, dirección X	64
Figura 25 Curva de capacidad, dirección Y	65
Figura 26 Curva de capacidad y punto de desempeño en la dirección X	65
Figura 27 Curva de capacidad y punto de desempeño en la dirección Y	66
Figura 28 Desempeño de un edificio durante un sismo	68

Figura 29 Nodos de la malla finita que representan la plasticidad distribuida en el material concreto	68
Figura 30 Influencia del alcance de la deformación en cedencia para el material concreto	69
Figura 31 Nodos de la malla finita que representan la plasticidad distribuida en el acero de refuerzo	69
Figura 32 Influencia del alcance de la deformación en cedencia para el material acero de refuerzo	70
Figura 33 Computo de la ductilidad global en la dirección X	71

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue establecer el grado de vulnerabilidad sísmica mediante el desempeño estructural del palacio municipal de Cayna – Ambo – Huánuco, Para demostrar tal objetivo se utilizaron modelos no lineales para el concreto y el acero de refuerzo, así como la información de la distribución de la masa en cada modo de vibración para generar el caso de análisis pushover del tipo modal y por desplazamiento prescrito, finalmente la deriva de entrepiso se clasifica entre los niveles de desempeño según la metodología del (VISION 2000, 1996).

El modelo matemático fue concebido siguiendo los lineamientos del expediente técnico del palacio municipal de Cayna – Ambo – Huánuco, el refuerzo longitudinal en vigas y columnas fueron representadas por barras embebidas, mientras que los estribos fueron representados por secciones equivalentes, cada modelo constitutivo presento su propia curva esfuerzo-deformación, con la finalidad de cuantificar el daño basado en las deformaciones unitarias de las mismas.

Mediante el caso de análisis de valores y vectores propios se determinó el periodo fundamental de vibración y los demás periodos presentes en la estructura en mención, luego se determinó el porcentaje de participación modal y en base a esta información fue creado el caso del pushover modal, con la finalidad de obtener el desempeño estructural en base a la curva de capacidad. Finalmente, se determinó el punto de desempeño para clasificarlo dentro de los lineamientos del (VISION 2000, 1996) y así determinar el nivel de desempeño. La dirección X presenta una deriva global del orden de 0.67% lo cual lo clasifica en el nivel de desempeño de “seguridad de vida”, la deriva global para la dirección Y es igual a 1.8% motivo por el cual se clasifica en el nivel de desempeño denominado “próximo al colapso”, por lo cual se concluye la falta de rigidez lateral en toda la estructura del palacio municipal y la necesidad de aplicar técnicas de reforzamiento estructural.

Palabras clave: Desempeño estructural, análisis estático no lineal, derivas, desplazamientos relativos, vulnerabilidad sísmica.

ABSTRACT

The objective of this research was to establish the degree of seismic vulnerability through the structural performance of the municipal palace of Cayna – Ambo – Huánuco. To demonstrate this objective, nonlinear models were used for concrete and reinforcing steel, as well as information on mass distribution in each vibration mode to generate a modal pushover analysis case and a prescribed-displacement pushover case. Finally, the interstory drift was classified into performance levels according to the VISION 2000 (1996) methodology.

The mathematical model was developed following the guidelines of the technical dossier of the municipal palace of Cayna – Ambo – Huánuco. Longitudinal reinforcement in beams and columns was represented by embedded bars, while stirrups were modeled using equivalent sections. Each constitutive model presented its own stress–strain curve, with the purpose of quantifying damage based on the corresponding unit strains.

Through the eigenvalue and eigenvector analysis, the fundamental vibration period and the other periods present in the structure were determined. Then, the modal participation percentages were obtained, and based on this information the modal pushover case was created, in order to evaluate structural performance from the capacity curve. Finally, the performance point was identified to classify it within the VISION 2000 (1996) guidelines and thus determine the performance level. The X direction shows a global drift of about 0.67%, which classifies it at the “life safety” performance level. The global drift in the Y direction is 1.8%, which places it at the performance level called “near collapse.” Therefore, a lack of lateral stiffness is concluded throughout the municipal palace structure, along with the need to apply structural strengthening techniques.

Keywords: Structural performance, nonlinear static analysis, drifts, relative displacements, seismic vulnerability.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación a nivel de tesis está conformada por cinco capítulos en total, mismo que detallan partes importantes buscando el entendimiento de la misma.

El capítulo I describe y formula los problemas específicos, se detalla el objetivo general y los objetivos específicos, también se detalla la justificación, limitaciones y viabilidad de la investigación desde un punto de vista técnico.

En el capítulo II se pretende presentar los antecedentes de la investigación desde los internacionales hasta los locales, las bases teóricas fueron extraídas desde el conocimiento del estado del arte, finalmente se definen las hipótesis y variables de investigación.

El capítulo III describe la metodología usada para ejecutar la presente investigación, se definió el tipo de investigación, la población y muestra, las técnicas e instrumentos de recolección de datos y las técnicas para el procesamiento de dato, reportados por diversos autores.

El capítulo IV muestra el procesamiento general de datos, la construcción del modelo numérico lineal, la determinación de periodos y masas participativas, la generación del caso pushover modal y por desplazamientos, luego se determinó la curva de capacidad de la estructura y en base a esta el nivel de desempeño en ambas direcciones de análisis. Posteriormente se presentó la contrastación de hipótesis, mismas que fueron aceptadas y rechazadas utilizando los resultados por cada apartado.

Mediante el capítulo V muestra la discusión y contrastación de resultados con otras investigaciones de carácter similar, esta discusión de resultados se presenta tanto de forma numérica como de forma textual, tratándose de contrastar lo encontrado en esta tesis con otras similares.

Finalmente se presentan las conclusiones del objetivo general y de los objetivos específicos propuestos en el capítulo I inciso 1.3, también se presentan diversas recomendaciones en base a lo hallado y estudiado en la presente investigación.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En la década de 1970, debido a los problemas estructurales causados por los sismos en Estados Unidos, el gobierno estadounidense decidió encargar al Consejo de Tecnología Aplicada (ATC) la creación de un documento que proporcionara una metodología para la evaluación y adecuación sísmica de edificios de concreto armado, con el objetivo de proteger las edificaciones existentes. (Mediavilla, 2017)

El mismo organismo ATC, junto con la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA), llevan a cabo una serie de investigaciones cuyo objetivo es desarrollar un conjunto de guías para la rehabilitación sísmica de edificaciones. En el mundo ante la necesidad de evaluar edificaciones se realizó muchas investigaciones que aportaron para la creación de varias normativas, donde finalmente, se creó la normativa ASCE/SEI 31-03, cuyo objetivo principal era desarrollar una metodología que pudiera ser utilizada por ingenieros no especialistas, permitiéndoles evaluar y verificar la ductilidad de sus diseños dentro del rango permitido, ya sea en cuanto a las rótulas plásticas, la deformación individual o el conjunto. (Mediavilla, 2017)

Debido a los comportamientos inesperados de numerosos edificios de concreto armado en Estados Unidos, se decidió desarrollar una metodología para aumentar la ductilidad de las estructuras, con el fin de reducir las fallas frágiles y prevenir colapsos repentinos. Así nació la Evaluación Estructural por Desempeño, que permite un análisis en el rango inelástico, muy cercano al colapso. (Mediavilla, 2017)

En el Perú no se cuenta con una normativa específica para la evaluación estructural, debido a la falta de investigadores en este campo. La liquidación de obras inconclusas genera millones de pérdidas económicas y pone en riesgo la vida de muchas personas ya que justamente este tipo de obras se hacen con el fin de estafar al estado y/o realizando construcciones

sin respaldo técnico, este tipo de construcciones generalmente son vulnerables a eventos sísmicos así como lo menciona (Solórzano & Tacuche, 2023) Indican que las deficiencias en el proceso constructivo de las edificaciones inconclusas generalmente son por presentar un mal diseño estructural, que arrastra muchos problemas, siendo la más crítica, la vulnerabilidad sísmica, ante esto en la actualidad el estudio de edificaciones existentes para conocer su comportamiento viene siendo un tema de investigación a nivel nacional, con la finalidad de conocer su comportamiento ante un sismo de gran magnitud y así poder prevenir y poder determinar la rehabilitación, reforzamiento o la demolición de la misma.

En el año de 2014 se empezó a construir el Palacio Municipal de Cayna, en la actualidad esta obra esta liquidada, pero la realidad es que solo se tiene un avance físico del 25%, tiene los elementos estructuras construidos hasta el segundo nivel, pero la proyección de esta ejecución se realizó para 4 niveles, se tiene necesidad de finalizar la obra, para ello se necesita ciertos criterios tanto en lo legal como en lo estructural, siendo este ultimo la rama de la investigación de este proyecto. (Canduelas, 2023)

Otro de los problemas es que el Palacio municipal se encuentra en un abandono total, nadie habita estas instalaciones desde el 2014, es por ello que presenta muros sin tarrajear expuestos a la humedad, instalaciones sanitarias inconclusas y expuestas, marcos de ventanas y puertas no colocadas, muros en interiores inconclusos, siendo el estado del palacio municipal deplorable, además, las patologías que se pueden visualizar son grietas y fisuras, falta de juntas y columnas de confinamiento, ataques de sulfatos y cloruros. . (Canduelas, 2023)

Es por ello que, ante la necesidad de seguir construyendo de las autoridades, se necesita hacer una evaluación visual, detallada y profunda de la edificación con la finalidad de conocer el comportamiento por desempeño de la estructura, en el estado actual y en la proyección final de la edificación de ser el caso.

Ante esto, la presente investigación busca conocer el grado de vulnerabilidad sísmica de la edificación mediante una evaluación visual, detallada y profunda con la finalidad de conocer las características propias de la mecánica de materiales así como determinar los diámetros de acero en columnas y vigas, para su posterior análisis por desempeño de la estructura del Palacio Municipal de Cayna, es por ello que se plantea las siguientes interrogantes que viene a ser los problemas generales y específicos de la investigación.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Problema Principal

¿Cuál será el grado de vulnerabilidad sísmica mediante el desempeño estructural del palacio municipal de Cayna – Ambo – Huánuco – 2024?

Problemas Específicos

¿Cuál es la influencia de las rótulas plásticas que alcanzan la deformación de cedencia en el grado de vulnerabilidad sísmica en la estructura del Palacio Municipal de Cayna – Ambo – Huánuco – 2024?

¿Cómo se relacionaría los desplazamientos laterales y el grado de vulnerabilidad sísmica en la estructura del Palacio Municipal de Cayna – Ambo – Huánuco – 2024?

¿Existirá relación entre las dimensiones de esfuerzos resistentes, ductilidad de los elementos y el grado de vulnerabilidad sísmica en la estructura del Palacio Municipal de Cayna – Ambo – Huánuco – 2024?

1.3. OBJETIVO GENERAL

Determinar el grado de vulnerabilidad sísmica mediante desempeño estructural del palacio municipal de Cayna – Ambo – Huánuco – 2024.

1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar la influencia de las rótulas plásticas que alcanzan la deformación de cedencia en el grado de vulnerabilidad sísmica en la estructura del Palacio Municipal de Cayna – Ambo – Huánuco – 2024.

Evaluar la relación entre los desplazamientos laterales y el grado de vulnerabilidad sísmica en la estructura del Palacio Municipal de Cayna – Ambo – Huánuco – 2024.

Determinar si existe una relación entre las dimensiones de esfuerzos resistentes, ductilidad de los elementos y el grado de vulnerabilidad sísmica en la estructura del Palacio Municipal de Cayna – Ambo – Huánuco – 2024.

1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación se justifica en el ámbito social porque propone soluciones sustentadas en parámetros técnicos orientados a disminuir la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones, contribuyendo a generar mayor confianza en la población de Cayna. Del mismo modo, permitirá optimizar la calidad de la atención a la comunidad mediante la recuperación y puesta en uso de los ambientes administrativos que actualmente se encuentran subutilizados o en desuso. Asimismo, se busca incentivar la participación de investigadores locales en el campo de la ingeniería estructural forense, con miras a fortalecer el desarrollo de la investigación científica en esta área especializada.

La importancia del estudio radica en que proporcionará información clave sobre el comportamiento del Palacio Municipal de Cayna, insumo fundamental para plantear alternativas de solución y apoyar la toma de decisiones estratégicas a partir de los resultados obtenidos. Ello se logrará mediante la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de la estructura y la determinación de su nivel de seguridad frente a la ocurrencia de movimientos sísmicos.

1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

De tiempo, los trabajos de campo se realizarán en un tiempo de 1 mes, ya que los encargados pueden facilitarnos el ingreso a las instalaciones en dicho periodo de tiempo, el trabajo de gabinete se realizará de tiempo de 1 mes, tiempo prudente para la investigación e indagación de alternativas de solución a los problemas que se pueden presentar.

De alcance, la investigación estará limitada al estudio de la estructura existente del palacio municipal, así como a la proyección final del mismo, limitándonos al conocimiento de los elementos estructurales como vigas, columnas y muros de concreto armado que son el sistema resistente ante los eventos sísmicos, así mismo nos limitaremos al uso de normativas internacionales y extranjeras las cuales son ASCE 41-17, Normativa de diseño sismorresistente E030 y Norma de concreto armado E060, adicionalmente se usará el manual de (Visión 2000, 1996).

De lugar, la investigación está limitada específicamente al Palacio Municipal de Cayna, el alcance de esta investigación se limita a la evaluación del desempeño estructural del diseño original, según lo estipulado en el expediente técnico. El modelo numérico no incorpora la simulación de patologías existentes (fisuras, degradación por humedad) observadas en la inspección visual, asumiendo que el análisis corresponde al comportamiento de la estructura si esta se hubiese completado según planos. La evaluación del impacto de dichas patologías constituye una línea de investigación futura.

Así mismo, el alcance de esta investigación se limita a la evaluación del desempeño estructural del diseño original, según lo estipulado en el expediente técnico. El modelo numérico no incorpora la simulación de patologías existentes (fisuras, degradación por humedad) observadas en la inspección visual, asumiendo que el análisis corresponde al comportamiento de la estructura si esta se hubiese completado según planos. La evaluación del impacto de dichas patologías constituye una línea de investigación futura.

1.7. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

Será viable esta investigación desde lo económico y técnico, ya que los costos de la ejecución de los diferentes ensayos como el ensayo de esclerometría y pacometría, resulta accesible para el investigador, así mismo desde lo técnico es viable ya que el investigador tiene conocimiento en el campo de la ingeniería estructural.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Antecedentes internacionales

Daniela R. (2019), en la tesis titulada “Evaluación integral de la seguridad estructural de edificaciones existentes dañadas por sismos de gran magnitud”, plantea como objetivo proponer una metodología para evaluar de manera integral la seguridad estructural de edificaciones de concreto reforzado que hayan sido afectadas por movimientos sísmicos, combinando trabajos de campo y de gabinete. La metodología sugerida también puede aplicarse a construcciones nuevas respecto de las cuales existan dudas sobre su integridad o desempeño estructural, así como a estructuras que han sido reforzadas y en las que se requiera comprobar la eficacia de las intervenciones realizadas. La autora concluye que la evaluación integral de la seguridad estructural de una edificación es un proceso complejo, que enfrenta múltiples dificultades para alcanzar un diagnóstico confiable. Sin embargo, señala que el seguimiento adecuado y sistemático de las etapas descritas en la propuesta metodológica permite incrementar de manera significativa el grado de certeza de los resultados obtenidos.

Oscar, C. (2021), en su tesis titulada “Estudio del desempeño sísmico y mejoramiento estructural de las viviendas de emergencia Techo en las localidades Ciudad Bolívar y Usme de Bogotá D.C.”, plantea como objetivo general evaluar el desempeño sísmico de las viviendas de emergencia construidas por la fundación TECHO en las zonas de Ciudad Bolívar y Usme, considerando distintas alternativas de mejora. De manera específica, el autor se propone: elaborar un modelo del sistema estructural empleado por TECHO en este tipo de viviendas, analizar el comportamiento sísmico actual de dicho sistema, identificar estrategias para incrementar su capacidad sísmica y, finalmente, elaborar un mapa que represente el impacto de las mejoras

propuestas frente a la amenaza sísmica en ambas localidades. Entre las conclusiones más relevantes, se destaca que el modelo constructivo que la fundación TECHO utiliza para atender las necesidades habitacionales de poblaciones vulnerables resulta insuficiente cuando se analiza desde el punto de vista sísmico. En otras palabras, el sistema estructural actual no alcanza a satisfacer la demanda sísmica asociada a los tipos de suelo presentes en Usme y Ciudad Bolívar. Esto evidencia que, si bien la fundación contribuye de manera importante a reducir el déficit de vivienda al brindar refugio y protección básica frente al clima y otros factores externos, no está garantizando adecuadamente la seguridad de los ocupantes ante la ocurrencia de desastres naturales, en particular de eventos sísmicos. El estudio subraya, además, que las viviendas de emergencia construidas por TECHO no incorporan medidas suficientes para disminuir la probabilidad de falla estructural durante un sismo, lo que implica un riesgo significativo tanto para los bienes materiales como, sobre todo, para la vida de sus habitantes.

Julián, A & Sergio ,E. (2021), en su tesis: “Análisis y desempeño de riostras de pandeo restringido en viviendas de desarrollo progresivo de 2 y 3 pisos en la ciudad de Bogotá”, el objetivo de esta tesis es: Evaluar la capacidad sísmica de viviendas de desarrollo gradual de 2 y 3 niveles utilizando sistemas de riostras de pandeo restringido (BRB) en comparación con viviendas que carecen de cualquier sistema de disipación de energía., llegando a la conclusión: Los niveles de desempeño se establecieron mediante el análisis de los espectros de desplazamiento. Se encontraron porcentajes de 13%, indicando un nivel de ocupación intermedia, 32% representando un nivel de seguridad de vida, y 39% que indica un nivel de prevención contra el colapso. Estos porcentajes se basaron en datos de viviendas de mampostería obtenidos de la literatura. Para los suelos de Bogotá, se observó que la implementación de BRB en viviendas de 2 pisos tiene un mejor desempeño en suelos como Lacustre 300 (18%, ocupación inmediata), Piedemonte B (15%, ocupación inmediata), Lacustre 200

(14%, ocupación inmediata), Aluvial 100 (13%, ocupación inmediata). Esto sugiere que el punto de desempeño se encuentra dentro del rango de 13% y 32%, lo que implica un nivel de ocupación intermedia y brinda seguridad para que las personas habiten estas viviendas sin riesgo de colapso.

Antecedentes nacionales

Gonzalo L. (2020), en su tesis titulada “La evaluación estructural de construcciones masivas de tierra mediante modelos numéricos avanzados se ilustra a través del estudio de la Huaca de la Luna”, plantea como propósito evaluar estructuralmente un sitio patrimonial utilizando el método de los elementos finitos, a fin de comprender el efecto de la amplificación sísmica en construcciones masivas de tierra. Para ello, analiza la respuesta de estas estructuras frente a un registro de aceleraciones sísmicas. El estudio concluye que las variaciones en la geometría generan cambios en la respuesta estructural, aunque sin mostrar una tendencia claramente definida, a diferencia de lo que ocurre cuando se incorpora la interacción suelo–estructura, donde las diferencias resultan más marcadas. Asimismo, la distribución de esfuerzos y el patrón de agrietamiento en el estado intacto evidencian que la zona donde actualmente se observa el forado habría sufrido daños incluso bajo cargas gravitacionales, lo que sugiere la posibilidad de que esa región ya estuviera debilitada antes de las excavaciones, facilitando la remoción del material. Este resultado es especialmente relevante porque coincide con las observaciones de campo sobre el daño existente y ayuda a explicar el estado actual de la estructura, en particular en la zona intermedia donde se ubica el forado, la cual presenta indicios de colapso hacia el borde derecho.

Rully, D. (2021), en la investigación de tesis: “Evaluación por desempeño sísmico y comportamiento estructural de un edificio, huacho-2020”, el objetivo de esta tesis es: Realizar un análisis detallado del estado estructural inicial del edificio seleccionado en Huacho, identificando sus principales debilidades y puntos críticos ante

eventos sísmicos. Así mismo, aplicar la EDS para determinar cómo puede mejorarse la capacidad sísmica del edificio, incrementando su ductilidad y reduciendo la probabilidad de fallas frágiles y colapsos repentinos. Llegando a la conclusión: La evaluación por desempeño sísmico ha demostrado ser una herramienta efectiva para mejorar el comportamiento estructural de los edificios en Huacho. La implementación de las recomendaciones derivadas de la EDS resultó en una notable mejora en la resistencia y ductilidad del edificio estudiado, reduciendo significativamente el riesgo de colapso ante futuros eventos sísmicos. Este estudio subraya la importancia de adoptar metodologías avanzadas de evaluación sísmica para proteger las edificaciones en regiones propensas a sismos.

Diego, E. (2022), en su tesis titulada “Evaluación del desempeño estructural del edificio Multifamiliar Bernales mediante análisis Push Over en Surquillo - Lima”, plantea como objetivo general evaluar el comportamiento estructural del edificio Multifamiliar Bernales a través de un análisis pushover en el distrito de Surquillo, Lima. De manera específica, se propone determinar los desplazamientos máximos relativos de la edificación, elaborar su curva de capacidad e identificar los puntos de desempeño estructural mediante dicho análisis. El autor concluye que el edificio Multifamiliar Bernales experimenta daños en la dirección de análisis Y frente a acciones sísmicas clasificadas como raras y muy raras, advirtiendo que una cortante superior a aproximadamente 400 toneladas conduce a la estructura al rango inelástico, con la consecuente aparición de fallas estructurales y un posible colapso. Asimismo, se resalta que el aporte de rigidez de los muros de corte o muros estructurales resulta determinante en la respuesta global del sistema, obteniéndose distorsiones angulares máximas de 0.004436 y 0.005899 para las direcciones X y Y, respectivamente, valores que se mantienen dentro de los límites establecidos por la NTP E.030. Finalmente, se evidencia que los escenarios de desempeño planteados por el comité Vision 2000 (1996) cumplen los objetivos básicos para sismos ocasionales y frecuentes en

ambas direcciones; sin embargo, ante sismos raros y muy raros, dichos objetivos solo se satisfacen en la dirección X, mientras que en la dirección Y la edificación entra en condición de colapso.

Antecedentes regionales

Jesús, S. y David, T. (2023) desarrollaron la tesis titulada “Evaluación estructural mediante el análisis no lineal Pushover, para establecer el grado de vulnerabilidad sísmica que presenta el centro de salud Amarilis – Huánuco”, presentada para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil en la Universidad Nacional Hermilio Valdizán – Huánuco. El objetivo central del estudio fue evaluar la susceptibilidad sísmica del Centro de Salud Amarilis, ubicado en el distrito de Amarilis, provincia y región Huánuco, a través de la aplicación del análisis no lineal pushover. De manera específica, se buscó analizar la incidencia de las rótulas plásticas que alcanzan el límite de cedencia en la susceptibilidad sísmica, evaluar la relación entre los desplazamientos horizontales y el nivel de vulnerabilidad sísmica, así como indagar la posible conexión entre las dimensiones resistentes, la ductilidad de los elementos y el grado de vulnerabilidad estructural. Los autores concluyen que el Centro de Salud Amarilis presenta un nivel de vulnerabilidad sísmica correspondiente al rango de colapso, evidenciando un riesgo elevado, dado que los desplazamientos superan el 2,50 % en ambos módulos. La aparición de rótulas plásticas que alcanzan la cedencia dentro del rango de colapso conduce a un modo de falla frágil, lo que impide una respuesta adecuada en el rango inelástico, situación inadmisibles tanto para una edificación esencial como para una edificación básica. Se confirma, además, que la formación de estas rótulas plásticas en el rango de colapso condiciona el grado de vulnerabilidad, lo que respalda la primera hipótesis específica. El estudio identifica una relación clara entre la deformación de cedencia y el nivel de vulnerabilidad sísmica, ambos en el dominio de colapso, y evidencia que la escasa plastificación de los elementos indica que la estructura no ingresa de manera adecuada en el rango

inelástico. Respecto a los desplazamientos laterales de los módulos I y II, los resultados no muestran una relación directamente proporcional entre mayor desplazamiento y mayor vulnerabilidad, debido a la limitada ductilidad de los elementos. Asimismo, se observa una relación inversamente proporcional entre el grado de vulnerabilidad sísmica y la sobrerresistencia: a mayor sobrerresistencia, menor vulnerabilidad. En conjunto, la investigación se orienta a comprender el comportamiento estructural tanto local como global, es decir, cómo la falla de un elemento particular puede comprometer la integridad estructural del sistema en su totalidad.

2.2. BASES TEÓRICAS

Niveles de daño y desempeño

El nivel de desempeño describe un estado límite particular de daño. En esencia, corresponde a una condición máxima aceptable definida a partir de tres aspectos centrales:

- Los posibles daños físicos en los componentes estructurales y no estructurales.
- El riesgo que dichos daños representan para la seguridad de los ocupantes de la edificación.
- El grado de funcionalidad que conserva la edificación después del sismo (ATC, 1996).

Seguidamente, se expone una descripción detallada de los niveles de desempeño propuestos en los estudios más completos desarrollados por el ATC-40 y el comité VISION 2000 (1996).

Propuesta del desempeño por el comité (VISION 2000, 1996)

Este comité establece cuatro niveles de desempeño, los cuales son identificados mediante los siguientes calificadores:

- Totalmente operacional: En este nivel prácticamente no se manifiestan daños en la edificación. La estructura se

mantiene totalmente segura para los ocupantes y tanto el contenido como los servicios continúan operando con normalidad y disponibles para su uso. En general, no se requiere la ejecución de trabajos de reparación.

- Operacional: En este nivel se presentan daños moderados en los elementos no estructurales y en parte del contenido del edificio, además de afectaciones leves en algunos elementos estructurales. El deterioro sigue siendo acotado y no compromete la seguridad de la edificación para su ocupación inmediata tras el sismo. No obstante, los daños en determinados contenidos y componentes no estructurales pueden ocasionar interrupciones parciales de ciertas funciones habituales. En general, se requieren únicamente reparaciones de carácter menor.
- Seguridad: Este nivel se caracteriza por la presencia de daños moderados tanto en elementos estructurales como no estructurales, así como en ciertos contenidos del edificio. La rigidez lateral y la capacidad de la estructura para soportar cargas sísmicas adicionales se ven disminuidas, en algunos casos de manera considerable, aunque aún persiste un margen de seguridad frente al colapso. La magnitud de los daños puede impedir la ocupación inmediata de la edificación tras el sismo, por lo que usualmente se requiere su rehabilitación, siempre que esta resulte técnica y económicamente justificable.
- Próximo al colapso: En este nivel, la pérdida de rigidez lateral y de capacidad resistente del sistema compromete seriamente la estabilidad global de la edificación, situándola en un estado muy cercano al colapso. Los recorridos y servicios de evacuación pueden verse afectados por fallas locales, aunque los elementos responsables de las cargas verticales aún se mantienen en servicio. Bajo estas condiciones, la estructura deja de ser segura para los

ocupantes y, además, los trabajos de reparación suelen resultar técnica o económicamente poco viables.

El informe del comité VISION 2000 (1996) describe en detalle los niveles aceptables de daño correspondientes a los cuatro niveles de desempeño, considerando distintos sistemas y subsistemas del edificio, entre ellos los elementos que resisten cargas verticales y laterales, así como los componentes secundarios y no estructurales (arquitectónicos, eléctricos, mecánicos, entre otros). En la Tabla N.º 01 se sintetizan las características más relevantes de dichos niveles de desempeño y su vínculo con los distintos estados de daño. Estos límites se adoptan en la presente investigación por ser los más recomendados y guardar coherencia con las disposiciones de FEMA 440 y ASCE 41-13. Si bien no se aplicarán directamente las recomendaciones del ATC-40 debido a su antigüedad, se las considerará como un antecedente de referencia, dado que a partir de ellas se han derivado la mayoría de los criterios de control actuales.

Tabla 1

Descripción de los estados de daño y niveles de desempeño

Estado de daño	Nivel de desempeño	Descripción de los daños
Despreciable	Totalmente Operacional	No se observa ningún daño estructural o no estructural significativo. Los sistemas de evacuación y todas las instalaciones continúan operando sin interrupciones.
Leve	Operacional	Se presentan grietas en los elementos estructurales, mientras que se registra daño leve a moderado en el contenido y los elementos arquitectónicos. A pesar de esto, los sistemas de seguridad y evacuación siguen operando normalmente.

Moderado	Seguridad	Se detectan daños moderados en ciertos elementos, lo que ocasiona una pérdida de resistencia y rigidez en el sistema de carga lateral. A pesar de ello, el sistema sigue funcionando. Algunos elementos no estructurales y contenidos podrían resultar dañados. Es posible que sea necesario cerrar temporalmente el edificio.
Severo	Pre - Colapso	Se evidencian daños severos en los elementos estructurales, acompañados de fallos en elementos secundarios, no estructurales y en el contenido. En casos extremos, podría ser necesario demoler el edificio.
Completo	Colapso	Se experimenta una pérdida parcial o total de soporte, lo que conduce al colapso parcial o total. La reparación no es factible en estas condiciones.

Nota. Fuente: (VISION 2000, 1996).

Propuesta del desempeño por ATC-40

Los niveles de desempeño propuestos por el ATC-40 para las estructuras se construyen a partir de la combinación de los estados definidos por separado para los elementos estructurales y no estructurales. En este marco se establecen tres niveles o estados discretos de daño: ocupación inmediata, seguridad y estabilidad estructural, los cuales pueden emplearse de manera directa como referencia técnica en los procesos de evaluación y rehabilitación sísmica de edificaciones. Asimismo, se consideran dos rangos intermedios, daño controlado y seguridad limitada, que permiten afinar la clasificación del desempeño estructural y resultan especialmente útiles cuando se requiere una evaluación más detallada o el planteamiento de refuerzos puntuales. Estos niveles se identifican mediante la sigla SP-n, donde SP alude a Structural Performance y n

es un número comprendido entre 1 y 6. En seguida se describen de manera resumida los seis niveles de desempeño considerados en esta clasificación.

- En el nivel de ocupación inmediata, SP-1, los daños son muy ligeros y no comprometen de manera relevante la capacidad ni la resistencia del sistema estructural frente a cargas laterales o verticales. No se producen pérdidas humanas y la edificación puede continuar operando con normalidad.
- En el nivel de daño controlado, SP-2, el estado de afectación se ubica entre los extremos de ocupación inmediata y seguridad. Si bien la integridad de los ocupantes no se ve comprometida, estos pueden verse perjudicados por los daños presentes en la edificación.
- En el nivel de seguridad SP-3, los daños ocasionados por el sismo no consumen por completo los márgenes de seguridad frente a un posible colapso parcial o total de la edificación. Puede registrarse la presencia de heridos dentro y fuera de la estructura; sin embargo, la probabilidad de pérdida de vidas asociada a una falla de los elementos estructurales es muy baja. Antes de volver a ocupar el inmueble, es posible que se requieran labores de reparación, siempre que estas resulten técnica y económicamente viables.
- En el nivel de seguridad limitada SP-4, el estado de daño se ubica en una condición intermedia entre los niveles de seguridad y de estabilidad estructural. En este escenario, ciertos sectores de la estructura pueden requerir refuerzo para garantizar un nivel de seguridad adecuado frente a futuras sollicitaciones sísmicas.
- El nivel de estabilidad estructural SP-5 describe una situación de daño severo posterior a un terremoto, en la cual el sistema resistente se encuentra próximo al colapso parcial o total. Se evidencian deterioros significativos, así como una

pérdida importante de rigidez y resistencia en los elementos estructurales. Aunque el sistema portante de cargas verticales continúa funcionando, el riesgo de colapso ante posibles réplicas es elevado. En edificaciones antiguas, los daños suelen ser, en muchos casos, técnica y económicamente irreparables.

- La categoría no considerada, SP-6 no corresponde a un nivel de desempeño propiamente dicho, pero puede resultar útil cuando se requiere valorar daños sísmicos de carácter no estructural o planificar intervenciones adicionales de reforzamiento).

Tabla 2

Niveles de desempeño de las estructuras

Niveles de desempeño	Niveles de desempeño estructural					
	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5	SP6
o no estructural						
NP-A	1-A Operacional	2-A	NR	NR	NR	NR
NP-B	1 - B Ocupación Inmediata	2-B	3-B	NR	NR	NR
NP-C	1-C	2-C	3-C Seguridad	4-C	5-C	6-C
NP-D	NR	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
NP-E	NR	NR	3-E	4-E	5-E Estabilidad estructural	No Aplicable

NR: combinación No Recomendada

Nota. Fuente: ATC – 40, (1996).

Verificación del desempeño

Una vez determinado el punto de desempeño de la estructura para un sismo específico, resulta imprescindible comprobar si dicho valor se ubica dentro de los límites aceptables correspondientes al nivel de desempeño previsto para la edificación; es decir, verificar si se han alcanzado los objetivos de desempeño planteados. Para ello, es necesario definir indicadores que reflejen la respuesta de cada componente estructural, no estructural y del contenido frente al movimiento sísmico. En general, se ha observado que los elementos estructurales son particularmente sensibles a los desplazamientos, mientras que los no estructurales pueden responder con mayor intensidad a parámetros como la aceleración o la deriva de entrepiso. Por consiguiente, es fundamental establecer rangos de variación para estos indicadores y vincularlos de manera coherente con los distintos niveles de desempeño considerados.

Tabla 3

Valores límites de la deriva máxima de entrepiso para los niveles de desempeño

Nivel de desempeño	Deriva entre piso δ_i (% altura entre piso)
Ocupación inmediata	0.01
Seguridad	0.02
Estabilidad estructural	0.33 V_i P_i

Nota. Fuente: ATC-40, (1996).

Tabla 4

Valores límites de la deriva máxima de entrepiso para los niveles de desempeño

Nivel de desempeño	Deriva entre piso (% altura entre piso)
Totalmente operacional	0.2
Operacional	0.5
Seguridad	1.50
Próximo al colapso	2.50
Colapso	> 2.50

Nota. Fuente: (VISION 2000, 1996), (1996).

Las diferencias existentes entre las normas de diseño, las prácticas constructivas, los tipos estructurales, los materiales utilizados, las configuraciones arquitectónicas y los sistemas de control, entre otros aspectos, ponen de manifiesto que cada región debería definir sus propios criterios de niveles de desempeño. La adopción directa de valores procedentes de otras realidades puede conducir a una evaluación poco precisa tanto del desempeño como de la vulnerabilidad estructural.

Asimismo, la elección del parámetro que represente el daño debe responder a la tipología estructural y al tipo de elemento analizado, así como al nivel de daño (local o global) que se pretende caracterizar. Por ejemplo, en estructuras cuyo comportamiento está dominado por deformaciones de cortante, la deriva máxima de entrepiso puede considerarse un indicador adecuado del daño global; en cambio, para elementos no estructurales, la aceleración máxima de piso resulta, en general, un parámetro más representativo

Vulnerabilidad Sísmica

Vizconde (2004) aclara que la vulnerabilidad no depende directamente de qué tan peligroso sea el lugar, sino de las características propias de la estructura. De hecho, en distintos sismos se ha comprobado que edificaciones con tipologías muy parecidas pueden presentar niveles de daño muy diferentes (p. 37). Dicho de otro modo, una estructura puede ser frágil desde el punto de vista estructural, pero no estar realmente en riesgo si no se ubica en una zona con alta peligrosidad o amenaza sísmica.

En la misma línea, Bonnett (2003) enfatiza que la reducción del riesgo sísmico en un territorio exige trabajar simultáneamente sobre la amenaza y sobre la vulnerabilidad. Aunque conocer la amenaza es indispensable para diseñar nuevas edificaciones y elegir adecuadamente los sitios de construcción, las posibilidades de

modificarla en estructuras ya existentes son muy limitadas. Por ello, la intervención directa sobre la vulnerabilidad estructural se convierte en el principal mecanismo para disminuir el riesgo. Entre los factores que condicionan ese nivel de vulnerabilidad destacan el tipo de irregularidad estructural, el sistema resistente empleado, las propiedades del terreno y el estado de conservación de la edificación (Bonnett, 2003, p. 10).

Respecto al grado de vulnerabilidad sísmica, este se entiende como la tendencia inherente de los elementos estructurales a sufrir daños cuando ocurre un sismo. El ATC-40 lo clasifica en función de distintos escenarios de acción sísmica: sismo de servicio, sismo de diseño y sismo máximo. De manera complementaria, normas como FEMA y ASCE 41-13 describen el desempeño sísmico mediante niveles tales como Totalmente Operativo, Operacional u Ocupación Inmediata, Seguridad de Vida, Precolapso y Colapso, asociados a rangos de daño que van desde la ausencia de afectación visible hasta el colapso total de la edificación.

Consideraciones generales para el diseño bajo norma E030

La Norma E.030 establece los lineamientos fundamentales para el diseño sismorresistente de edificaciones, poniendo como eje central la protección de la vida humana y la reducción de daños materiales. Su filosofía se orienta a evitar pérdidas humanas, garantizar la continuidad de los servicios esenciales y limitar, en la medida de lo posible, los perjuicios a la propiedad. Entre sus principios se incluye que la estructura debe responder adecuadamente frente a sismos moderados y severos, sin llegar al colapso ni generar daños estructurales graves, y que, ante movimientos sísmicos de menor intensidad, los daños sean mínimos y reparables.

Asimismo, la norma subraya que las edificaciones esenciales deben poder seguir funcionando después de un terremoto de gran intensidad. Para lograrlo, el esquema estructural sismorresistente debe prever, entre otros criterios, una distribución de masas y rigideces

sencilla y casi simétrica, la disminución de cargas en los pisos superiores, capacidad resistente suficiente en las dos direcciones principales, continuidad de los elementos en planta y en altura, adecuados niveles de ductilidad para admitir deformaciones inelásticas y un control eficaz de los desplazamientos laterales.

Análisis lineal

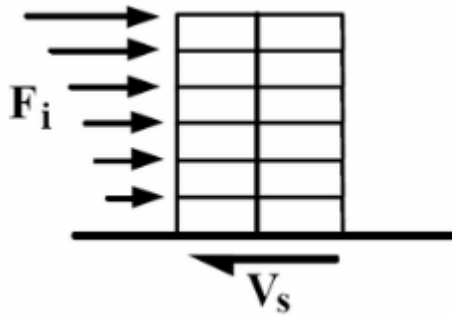
La Norma Peruana E.030 de Diseño Sismorresistente establece un conjunto preciso de criterios y procedimientos para la ejecución de análisis lineales, que constituyen el soporte fundamental del diseño sísmico de estructuras en el país, aun cuando en este estudio se dé prioridad a los enfoques no lineales. Bajo una filosofía conservadora, la norma dispone que la capacidad estructural debe ser mayor que la demanda sísmica esperada y diferencia dos grandes grupos de métodos de análisis: el análisis estático y el análisis dinámico.

Análisis estático

El método de fuerzas equivalentes, señalado en la Norma E.030 Diseño Sismorresistente (2019) como procedimiento básico de análisis, idealiza el sismo como un sistema de cargas laterales aplicadas en el centro de masas de cada piso de la edificación. La magnitud de dichas fuerzas se calcula empleando las expresiones prescriptivas de la norma. No obstante, su campo de aplicación es limitado: solo se admite para edificaciones ubicadas en zona sísmica 1 con alturas que no superen los 30 m. Además, cuando la estructura trabaja con muros portantes o sistemas de albañilería armada o confinada, la altura máxima permitida se reduce a 15 m.

Figura 1

Fuerzas cortantes estáticas a nivel de planta



Nota. Adaptado de Análisis sísmico de edificaciones (p.151), por Roberto Aguiar, 2008, Editorial Centro de investigación científica.

Análisis Dinámico Modal Espectral y Tiempo Historia

El segundo procedimiento previsto en la normativa peruana consiste en representar la estructura como un sistema de múltiples grados de libertad, incorporando matrices de masa, rigidez y amortiguamiento, y considerando un conjunto de modos de vibración que acumulen al menos el 90 % de la masa total. De manera complementaria, puede aplicarse el análisis dinámico no lineal en el dominio del tiempo, empleando un modelo matemático que reproduce el comportamiento histórico de los elementos estructurales y permite estimar su respuesta frente a diferentes registros de aceleración del suelo.

Análisis no lineal

En el contexto nacional, el diseño de edificaciones se orienta a que las estructuras respondan adecuadamente frente a sismos leves y moderados, y que no colapsen ante movimientos severos. No obstante, en la práctica, en algunas ocasiones las edificaciones pueden estar sometidas a acciones sísmicas superiores a las consideradas en el diseño, lo que las conduce al rango inelástico sin haber sido concebidas para trabajar en ese dominio. Proyectar estructuras que resistan sismos severos sin sobrepasar el comportamiento elástico implicaría secciones estructurales muy robustas, con el consiguiente incremento

de los costos de construcción y un posible impacto negativo en la solución arquitectónica. En este escenario, el análisis no lineal de estructuras se plantea como una alternativa que permite optimizar el diseño, garantizando niveles adecuados de seguridad sísmica sin generar incrementos desproporcionados en los costos.

Figura 2

Estándar de seguridad con bajos costos



Nota. Adaptado de Análisis sísmico de edificaciones (p.164), por Roberto Aguiar, 2008, Editorial Centro de investigación científica

Análisis no lineal – Pushover

El análisis no lineal pushover es una técnica que se utiliza para estudiar cómo responden las estructuras cuando dejan el rango elástico durante un sismo, ofreciendo una aproximación más realista de su comportamiento frente a este tipo de acciones. El método consiste, en términos generales, en aplicar cargas laterales crecientes sobre la estructura, distribuidas a lo largo de su altura, con el fin de llevarla progresivamente hacia un estado cercano al colapso y obtener de esa manera la correspondiente curva de capacidad ante la acción sísmica. En este procedimiento, las fuerzas horizontales se incrementan de forma monotonía hasta que la edificación entra plenamente en el régimen no lineal y se puede seguir paso a paso la formación y propagación de los distintos mecanismos de falla.

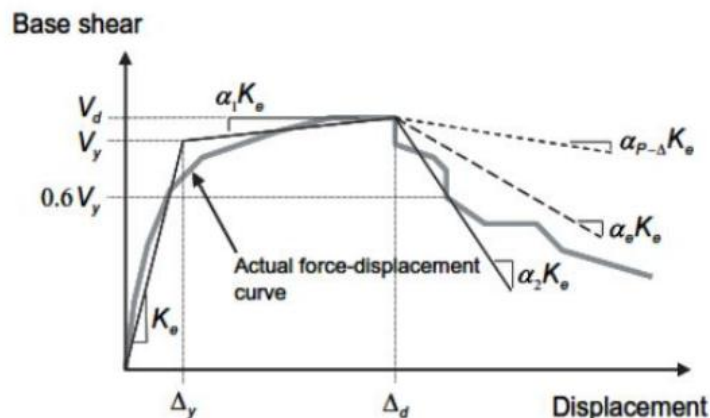
Este tipo de análisis no solo permite estimar la capacidad resistente global de la edificación, sino también reconocer el orden en que los elementos alcanzan su punto de falla, incluyendo procesos de agrietamiento y fluencia. Para que los resultados sean representativos, es deseable que la estructura presente la menor cantidad posible de irregularidades en planta y en altura; de lo contrario, puede ser necesario complementar la evaluación con un análisis dinámico no lineal. En síntesis, el análisis pushover hace posible examinar el desempeño estructural previsto de una edificación a partir de la relación entre fuerzas aplicadas y deformaciones en el diseño sísmico, y puede emplearse como base para distintas estrategias de evaluación y reforzamiento:

- La verificación y evaluación de la resistencia estructural puede abarcar diversos aspectos relevantes, entre ellos:
- Alternativas de revisión y rediseño: Se exploran diferentes opciones para mejorar la resistencia estructural de la edificación, lo que puede implicar ajustes en el diseño original o cambios en los materiales utilizados.
- Verificación de nudos y conexiones críticas: Se revisan con detalle las uniones más importantes de la estructura para comprobar si conservan la capacidad de transmitir adecuadamente las cargas entre los distintos elementos. Esta comprobación resulta esencial para mantener la seguridad y el buen funcionamiento del sistema resistente.
- Estimación de la distribución y secuencia del daño: Se estudia cómo se concentraría y cómo se iría extendiendo el daño en la edificación frente a un evento sísmico, así como el orden probable en que aparecerían las distintas fallas. Esta información es fundamental para plantear medidas de mitigación y definir planes de reparación adecuados.
- El procedimiento de análisis Pushover se detalla de la siguiente manera:

- Construir el modelo estructural en el programa DIANA FEA v.19, incorporando las propiedades mecánicas y los criterios necesarios para el comportamiento no lineal conforme a los parámetros propuestos por la normativa ASCE 41-13.
- Analizar y seleccionar la posición más conveniente del nodo de control, usualmente ubicado en el centro de masas del último piso de la edificación.
- Calcular las cargas horizontales incrementales que se aplicarán al modelo.
- Definir el patrón de carga lateral y aumentarlo de manera monotónica en cada paso del análisis.
- Obtener la curva de capacidad, que representa la relación entre la fuerza cortante en la base y el desplazamiento global, registrando al mismo tiempo las fuerzas internas y deformaciones en cada elemento estructural para poder compararlas con el diagrama momento–curvatura. Cada incremento de carga se fija en función de la respuesta obtenida en el paso anterior.
- Generar la curva de capacidad idealizada, considerada como una versión simplificada que resume la capacidad resistente global de la estructura.

Figura 3

Curva de capacidad elastoplástico



Nota. Adaptado de Análisis sísmico de edificaciones (p.165), por Roberto Aguiar, 2008, Editorial Centro de investigación científica.

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

Amenaza o Peligro

Jiménez (2000) la define como la probabilidad de que, en un lugar específico y dentro de un determinado intervalo de tiempo, se supere un cierto nivel de ocurrencia de un fenómeno natural potencialmente dañino, asociado a una intensidad dada.

Capacidad portante

Palomino (2016) señala que es la capacidad que tiene el terreno para soportar las presiones transmitidas por el cimiento, sin que este llegue a fallar por asentamientos excesivos ni por esfuerzos de corte.

Cuantía de acero

Carillo (2017) indica que este parámetro corresponde al porcentaje de acero existente en la sección, definido como la razón entre el área de acero de refuerzo y el área bruta de la sección de concreto.

CYPECAD 2023

Es un programa que esta dedica específicamente para el diseño y cálculo de estructuras de edificaciones, mediante el cual se puede realizar lineal, tiene la facilidad de cargar planos y exportarlos para su mejor comprensión, así mismo cuenta con la normativa peruana e internacional. (Solorzano, 2023)

Deriva elástica

Aguilar (2006) señaló que el desplazamiento último corresponde al máximo desplazamiento que un elemento puede soportar antes de alcanzar la condición de colapso.

Deriva inelástica

Se conoce como deriva a la razón entre el desplazamiento relativo de un piso respecto al inmediatamente inferior y la altura de entrepiso correspondiente, magnitud que depende del sistema estructural adoptado. La Norma E.030 fija, para edificaciones de concreto armado, un valor límite de 0.007. En este contexto, la deriva inelástica se interpreta como la máxima deformación que puede experimentar el elemento bajo la acción sísmica (Norma E.030, Diseño Sismorresistente, 2016)

Elementos de Riesgo

Se consideran elementos de riesgo a todos aquellos componentes susceptibles de ser afectados por un fenómeno natural: la población, las edificaciones, las obras civiles, las actividades económicas, los servicios públicos, las redes de suministro básico y, en general, toda la infraestructura que podría sufrir daños ante la ocurrencia de un evento natural (Engel, 2007)

Esfuerzo o Punto de Cedencia

La fuerza de cedencia, o punto de cedencia, indica el momento a partir del cual un material deja de comportarse de forma puramente elástica y comienza a desarrollar deformaciones permanentes. Méndez et. al. (2011) precisan que el esfuerzo de cedencia es el valor mínimo de esfuerzo que provoca el inicio del flujo plástico del material.

Estado de Falla Balanceada o Ductilidad

Morales (2012) entiende la ductilidad como la capacidad de un material para soportar grandes deformaciones sin que su resistencia disminuya de manera apreciable. Conforme al enfoque de estado límite último, el dimensionamiento estructural debe garantizar que la resistencia de diseño de cada sección, frente a los esfuerzos internos

y momentos actuantes, sea al menos igual al valor de diseño de dichas acciones, incorporando en la verificación el factor de resistencia correspondiente.

DIANA FEA

DIANA FEA es un programa especializado de cálculo numérico que utiliza el método de los elementos finitos (FEM) para reproducir la respuesta estructural y geotécnica de distintos materiales y configuraciones constructivas sometidos a diversas combinaciones de carga. El software está particularmente orientado al estudio no lineal — tanto estático como dinámico— de estructuras complejas en los campos de la ingeniería civil, mecánica y geotécnica (DIANA FEA BV, 2024).

Factor de importancia del edificio por su uso (U)

El factor de uso o de importancia (U), definido en las tablas de la Norma E.030, se elige en función del tipo de edificación y de la categoría de riesgo asociada a su utilización. Para construcciones clasificadas como esenciales, la norma establece que debe emplearse un valor de $U = 1,50$ (Norma E.030, Diseño Sismorresistente, 2016)

Factor de influencia de las condiciones topográficas (G)

Domínguez (2011) indica que este parámetro mide la intensidad con la que el movimiento del suelo incide sobre la base de la edificación y que su valor depende, por un lado, del nivel de sismicidad propio del terreno en la zona y, por otro, de la interacción entre las propiedades dinámicas de la estructura y las del suelo.

Factor de zona sísmica (Z)

El territorio nacional se divide en cuatro zonas sísmicas de acuerdo con lo establecido en la Norma E.030. Dicha clasificación se basa en la forma en que se distribuye espacialmente la sismicidad

registrada y en las características típicas de los movimientos sísmicos que afectan al país (Norma E.030, Diseño Sismorresistente, 2016).

Fisura

Corresponden a deterioros de carácter superficial que no comprometen el sistema resistente de la edificación. Estos elementos no participan estructuralmente, por lo que pueden ser reparados mediante técnicas de acabado adecuadas, sin que el daño vuelva a manifestarse posteriormente. (Panizza, 2008).

Fuerza cortante basal

Es la resultante de las fuerzas que aportan todos los elementos que integran la estructura y se concentra en la base de la misma. Esta reacción permite calcular la fuerza lateral total, la cual se reparte posteriormente a lo largo de las distintas alturas de la edificación (Arias, 2017).

Grieta

Se trata de fallas que comprometen la totalidad del elemento estructural y que pueden volverse más peligrosas cuando se propagan a lo largo de todo su espesor. Una de las causas principales es un diseño estructural inadecuado, que induce a los elementos a trabajar por encima de su capacidad resistente. (Cruz, 2015).

Resistencia a la compresión

Se denomina resistencia a la compresión a la capacidad de un material o de un elemento estructural para soportar esfuerzos que intentan acortarlo bajo la acción de cargas externas. En muchos materiales este tipo de resistencia es reducida; el concreto constituye una excepción importante por su alta capacidad para trabajar adecuadamente ante cargas de compresión. (Gonzales, 2007)

Resistencia a la tracción

La resistencia a la tracción es el valor máximo de esfuerzo de tracción que un elemento puede admitir antes de fisurarse o romperse. En laboratorio se determina mediante un ensayo aplicado en forma lenta y gradual, manteniendo inicialmente el comportamiento en el rango elástico del material hasta que se alcanza la falla. (Sacchero, 2007).

Rigidez

La rigidez expresa el grado de oposición de los elementos de una estructura frente a las deformaciones que producen las fuerzas externas. Un elemento rígido se deforma poco ante la carga y, una vez retirada esta, recupera prácticamente su configuración original, sin daños permanentes apreciables. (Ferrerres, 2000).

Vulnerabilidad alta

De acuerdo con Santos (2019), se considera vulnerabilidad sísmica alta cuando una edificación presenta un sistema resistente con deficiencias marcadas, de tal forma que, por las propias características de su infraestructura, se anticipan daños severos tanto en la construcción como en sus ocupantes. Ante la ocurrencia de un sismo, este tipo de edificaciones puede originar un número importante de víctimas humanas y pérdidas económicas de gran magnitud.

Vulnerabilidad media

Santos (2019) sostiene que la vulnerabilidad sísmica media se asocia a construcciones que presentan algunas deficiencias en su sistema resistente. Frente a un movimiento sísmico, este tipo de edificaciones podría ocasionar afectaciones de intensidad moderada a los ocupantes, mientras que la estructura experimentaría solo daños leves. En estas condiciones, las pérdidas económicas previstas tienden a ser relativamente bajas.

Vulnerabilidad baja

En cuanto a la vulnerabilidad baja, Santos (2019) la vincula con edificaciones que disponen de una capacidad estructural elevada; por ello, aun ante la ocurrencia de un sismo, no se anticipan daños significativos ni para las personas ni para los bienes materiales, y el impacto económico sería prácticamente despreciable.

2.4. HIPÓTESIS

HIPÓTESIS GENERAL

H₁: El grado vulnerabilidad sísmica es de “seguridad de vida”, mediante el desempeño estructural en el palacio municipal de Cayna – Ambo – Huánuco – 2024.

HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

H.E₁: Las rótulas plásticas que alcanzan la deformación de cedencia influyen de manera significativa en el grado de vulnerabilidad sísmica en el palacio municipal de Cayna – Ambo – Huánuco – 2024.

H.E₂: La relación entre los desplazamientos laterales y el grado vulnerabilidad sísmica es directamente proporcional en el palacio municipal de Cayna – Ambo – Huánuco – 2024.

H.E₃: Existe una relación entre las dimensiones de esfuerzos resistentes, ductilidad de los elementos y el grado de vulnerabilidad sísmica en el palacio municipal de Cayna – Ambo – Huánuco – 2024.

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLE DE CALIBRACIÓN

Desempeño estructural.

2.5.2. VARIABLE EVALUATIVA

Grado de vulnerabilidad sísmica.

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

“Desempeño estructural para establecer el grado de vulnerabilidad sísmica del palacio municipal de Cayna – Ambo – Huánuco – 2024”

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍNDICE	MEDICIÓN
VARIABLE INDEPENDIENTE Desempeño estructural	Referido a la capacidad de una estructura para resistir y responder adecuadamente a las cargas y sollicitaciones a las que está sometida, incluyendo acciones sísmicas.	Formación de rotulas plásticas.	Esfuerzo de cedencia	Porcentaje	Tonf/m2
		Desplazamientos laterales de la estructura	Derivas	Porcentaje	adimensional
		Esfuerzos cortantes resistentes en los elementos	Cortantes de diseño	Porcentaje	tonf
		Capacidad de ductilidad de los elementos estructurales	Estado de falla balanceada	Porcentaje	adimensional
VARIABLE DEPENDIENTE Grado de vulnerabilidad sísmica	Referido a la predisposición inherente a sufrir daño durante un terremoto. Esta vulnerabilidad puede clasificarse según normativas como ATC 40-FEMA y ASCE 41-17 que definen niveles de desempeño como totalmente operativo, operacional, seguridad de vida, pre colapso y colapso.	Ocupación inmediata (IO).	Agrietamientos en elementos estructurales. Daños leves.	%Nivel de desempeño $\leq 0.50\%$	Adimensionales
		Seguridad de vida (LS)	Presencia de daños moderados en ciertos elementos, acompañados de una reducción apreciable de su resistencia y rigidez	$0.50\% \leq$ %Nivel de desempeño $\leq 1.50\%$	
		Prevención al colapso (CP).	Daños severos en elementos estructurales, así como fallas en elementos secundarios, no estructurales y en el	$1.50\% \leq$ %Nivel de desempeño $\leq 2.50\%$	

contenido de la
edificación.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Según Lozada (2014), la investigación aplicada busca generar conocimientos que puedan emplearse directamente para resolver problemas específicos que afectan a la población y al entorno productivo. Este tipo de estudio se nutre de los avances tecnológicos logrados por la investigación básica y tiene como finalidad articular la teoría con la generación de productos, procedimientos o soluciones de uso práctico.

3.1.1. ENFOQUE

De acuerdo con Durkheim (2001), el enfoque del presente trabajo será cuantitativo y se desarrolla mediante una secuencia de etapas de carácter probatorio, donde cada fase depende de la anterior, aunque es posible introducir ajustes cuando las circunstancias lo requieran. El proceso arranca a partir de una idea inicial que se va precisando y delimitando progresivamente; una vez consolidada, se formulan los objetivos y las preguntas de investigación, se realiza la revisión de la literatura disponible y se elabora el marco teórico o la perspectiva conceptual que sustentará el estudio.

3.1.2. ALCANCE O NIVEL

Según Creswell, (2003) El nivel de investigación correlacional busca comprender las relaciones causales entre variables, profundizando en el por qué y el cómo de los fenómenos estudiados. En lugar de simplemente describir o correlacionar, se enfoca en identificar las razones subyacentes detrás de los resultados observados. Este nivel de investigación aspira a proporcionar una comprensión más profunda y coherente de los fenómenos, analizando las relaciones de causa y efecto.

3.1.3. DISEÑO

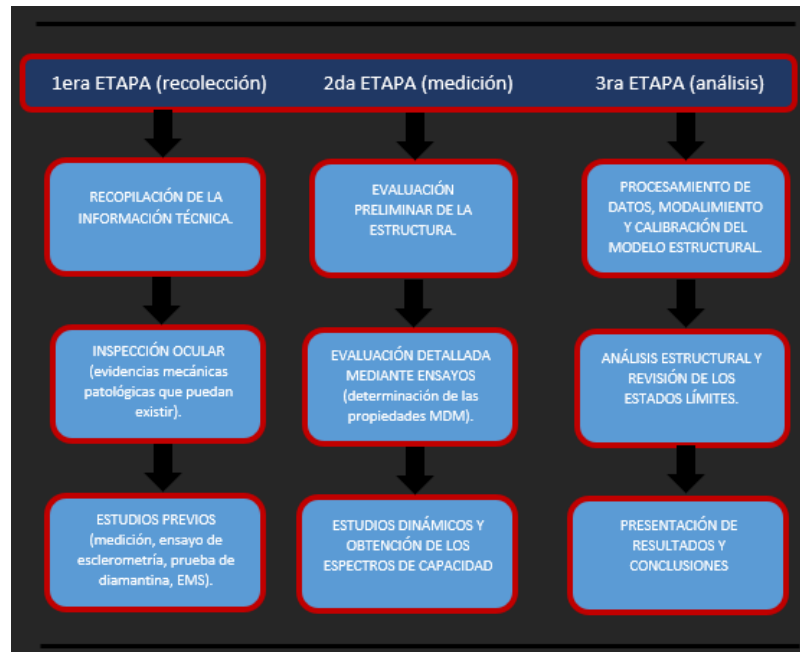
De acuerdo con Bryman (2020), el estudio se enmarca en un diseño de investigación no experimental y transversal, en el que las variables de interés no serán intervenidas ni modificadas. La información se obtendrá fundamentalmente en campo y luego se procesará mediante un modelo matemático, cuyos parámetros se fijarán conforme a los criterios establecidos para la evaluación estructural. En los apartados siguientes se detallan los ensayos, pruebas y estudios que permitirán definir dichos parámetros.

La evaluación estructural de las edificaciones se desarrollará siguiendo un esquema metodológico ampliamente utilizado, que incluye, entre otras actividades: la revisión de la documentación técnica existente, la inspección visual del inmueble, el levantamiento geométrico y topográfico, la determinación de las propiedades mecánicas de los materiales, el estudio geotécnico del terreno, la realización de análisis dinámicos, la construcción y ajuste del modelo estructural, el análisis estructural propiamente dicho, la comprobación de los estados límite y, finalmente, la elaboración de las conclusiones. Este conjunto de fases puede organizarse de forma sintética mediante un diagrama o esquema de investigación.

Para diseñar la investigación, se utilizarán las tres técnicas del proyecto representadas en la Figura N° 7: recolección, medición y análisis.

Figura 4

Esquema de diseño de investigación



3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

Para la investigación se tomará como población al Palacio Municipal de Cayna.

3.2.2. MUESTRA

El único módulo a evaluar del Palacio Municipal.

La población y muestra está representada por la estructura completa del Palacio Municipal de Cayna y el módulo único respectivamente.

¿Cómo llega a establecer esta información?, ¿En qué se basa? Se llega a establecer bajo la preocupación del conocimiento y determinación del desempeño estructural de una edificación de carácter importante como es un palacio municipal, basado en que

alberga grandes cantidades de ocupantes, así mismo su fallo estructural generaría pérdidas de vidas humanas y materiales. Estas últimas son las que se desean evitar según la filosofía de diseño de la E.030.

¿Va hacer el análisis a todos los pórticos del módulo?, Efectivamente, el aporte de rigidez de un solo pórtico no ofrecería una respuesta estructural adecuada y cercana a la realidad, lo que se busca es conocer el desempeño estructural para establecer el grado de vulnerabilidad sísmica.

Aparte no solamente los pórticos serán evaluados, sino también las losas de entrepiso, estas últimas son las encargadas de proporcionar información relevante sobre las derivas de entrepiso, mismas que son necesarias para clasificarlas según el comité del VISION 2000.

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

TÉCNICAS

Para la etapa de recolección de información se empleará la observación directa en campo, donde el investigador actuará como observador principal y coordinará las actividades del equipo. La información obtenida se registrará en fichas especialmente diseñadas que contemplarán, entre otros elementos, la identificación y ubicación de la edificación, el registro sistemático de la inspección visual y el programa de ensayos a realizar. Estas fichas se elaborarán tomando como referencia los criterios del RNE E-0.60, capítulo 20 (Evaluación de la resistencia de estructuras existentes), del ACI 364 (Rehabilitación de estructuras de concreto) y del ACI 562 (Norma para la Evaluación, Reparación y Rehabilitación de Edificaciones de Concreto). Dichas normas, además, proporcionan

lineamientos para la ejecución de ensayos detallados, dentro de los cuales se incluyen la esclerometría y la pacometría.

INSTRUMENTOS

La recopilación de información se realizará mediante hojas de registro elaboradas de acuerdo con los formatos específicos definidos para cada método de evaluación. Para el desarrollo de la evaluación preliminar, se emplearán los siguientes instrumentos:

- Cámara fotográfica.
- Wincha de 50 m.
- Equipos y elementos de seguridad personal.
- Formatos de inspección (Anexo 1).
- Croquis o plano esquemático previo.
- GPR (equipo para la identificación del tipo de material).
- Pacómetro (equipo para estimar el recubrimiento y ubicación del acero de refuerzo).
- Esclerómetro (equipo utilizado para evaluar la homogeneidad del concreto).

Figura 5

Esquema de diseño de investigación



3.3.2. PROTOCOLO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

El proceso de evaluación estructural se desarrollará en tres fases principales: una evaluación preliminar, una evaluación detallada en profundidad y, finalmente, la determinación de parámetros acompañada del correspondiente análisis estructural.

En la fase preliminar se realiza la recopilación de información, la inspección visual y el levantamiento de medidas de la estructura y de cada uno de sus elementos. En esta etapa se identifican posibles patologías, tanto estructurales como no estructurales, y se verifica el tipo y grado de deterioro que presenta la edificación.

Para realizar una evaluación estructural sólida, primero es necesario disponer de antecedentes sobre las condiciones en que la edificación fue concebida y ejecutada. Ante la ausencia de la documentación original, se recurrirá a información de la época de construcción con el fin de identificar los reglamentos sísmicos y criterios de diseño que probablemente se emplearon. Se asumirá, por tanto, que en esa fecha se efectuó una verificación sísmica acorde a la normativa vigente, ya sea mediante procedimientos lineales o a partir de la revisión de reglamentos posteriores. Todo este proceso se desarrollará utilizando un modelo matemático organizado que permita reconocer las características cualitativas más relevantes de la edificación, las cuales servirán como base para el análisis estructural no lineal.

Antes de aplicar cualquier procedimiento numérico, es imprescindible recopilar información básica sobre la estructura, incluyendo las propiedades mecánicas y los parámetros resistentes del concreto, la fluencia del acero, los resultados de los estudios de suelos y la inspección superficial de los distintos módulos. Con este conjunto de datos es posible caracterizar con mayor precisión el comportamiento estructural y, en consecuencia, plantear alternativas de solución más adecuadas. Para tal fin, se empleará como herramienta principal el análisis estático no lineal, o método pushover.

3.3.3. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS

Para mi estudio se utilizó tablas y gráficos resultantes de análisis estadísticos, cuyos resultados fueron interpretados por el investigador y resultaron útiles para la discusión de la hipótesis y la elaboración de las conclusiones del proyecto de investigación.

3.3.4. PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

La etapa de procesamiento de datos se ejecutó utilizando Excel junto con el software DIANA FEA. El análisis de la información resultante se apoyó en tablas de frecuencia, figuras y las respectivas pruebas de hipótesis.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

El estudio del desempeño estructural del Palacio Municipal de Cayna – Ambo considera, de manera conjunta, la respuesta inelástica de los materiales y los efectos de la no linealidad geométrica de la edificación. Como medida síntesis de este comportamiento se emplea la curva de capacidad, la cual se obtiene aplicando un análisis de empuje estático no lineal a través de los esquemas de pushover modal y de pushover controlado por desplazamiento.

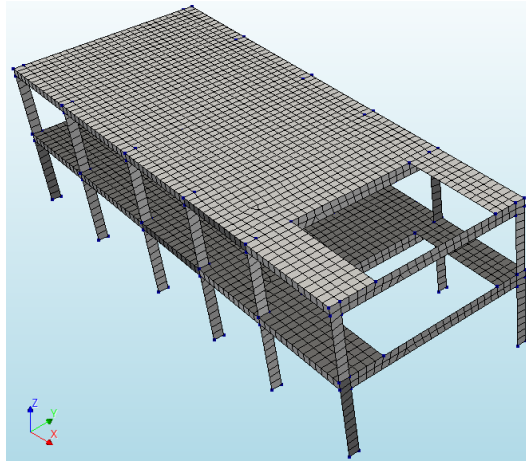
Para determinar el grado de vulnerabilidad sísmica del Palacio Municipal de Cayna, se secciona la curva de capacidad en función de desplazamientos objetivo máximos asociados a distintos niveles de desempeño, a partir de los cuales se identifica el punto de desempeño que caracteriza dicha vulnerabilidad sísmica. Vision 2000 (1996) plantea diversos objetivos de desempeño y establece que, para que estos se cumplan, los valores obtenidos deben mantenerse por debajo de los límites consignados en la Tabla N.º 4 del capítulo 2.

Modelo numérico lineal y no lineal

El modelo numérico fue concebido en el software (DIANA FEA, 2022), para que este modelo sea capaz de ejecutar las solicitudes del pushover modal y pushover por desplazamiento prescrito es necesario que responda en el rango no lineal e inelástico.

Figura 6

Modelo numérico lineal



Por lo tanto, para construir el modelo no lineal es imprescindible incorporar el comportamiento inelástico de los materiales que lo conforman, el cual se representa mediante sus correspondientes curvas esfuerzo–deformación:

Figura 7

Curva esfuerzo deformación en tensión del concreto

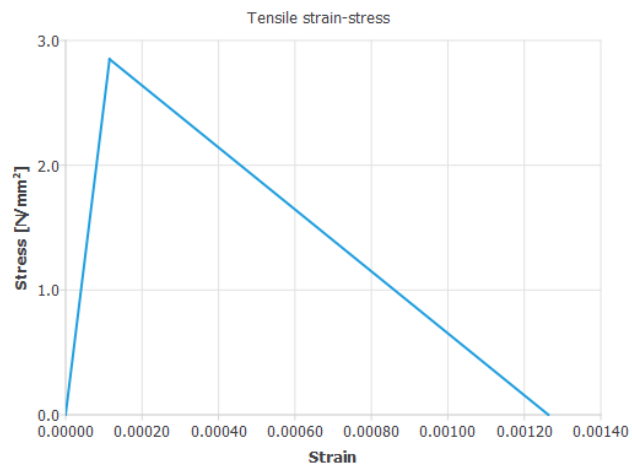
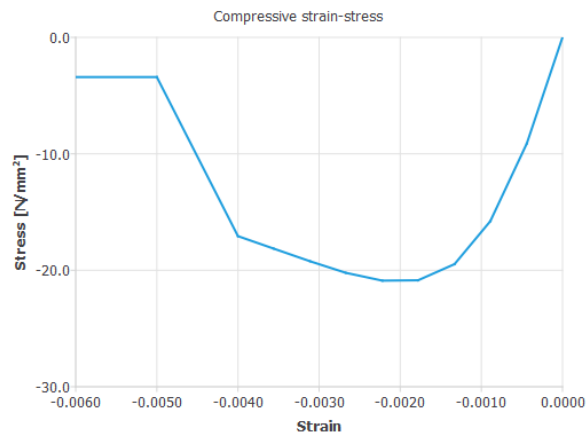


Figura 8

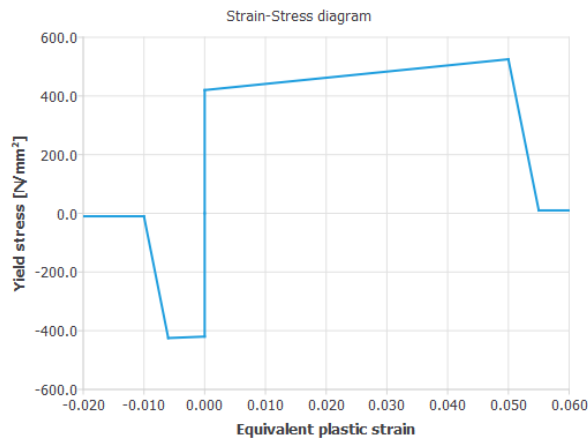
Curva esfuerzo deformación en compresión del concreto



De igual modo, es necesario indicar la curva esfuerzo deformación para el acero de refuerzo, cabe mencionar que la curva es la misma en la zona de tracción y compresión.

Figura 9

Curva esfuerzo deformación del acero de refuerzo



Finalmente, es necesario realizar el dibujo de los reforzamientos en cada sección estructural, es decir modelar los refuerzos longitudinales y transversales de las columnas, vigas y losas en función de los planos estructurales en base al expediente técnico.

Figura 10

Vista de la distribución de aceros longitudinales en vigas y columnas

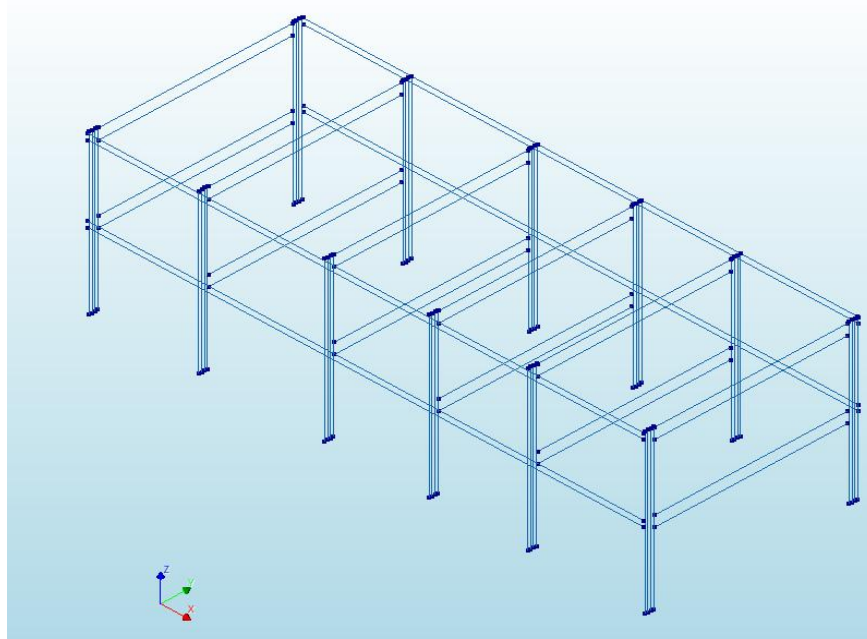
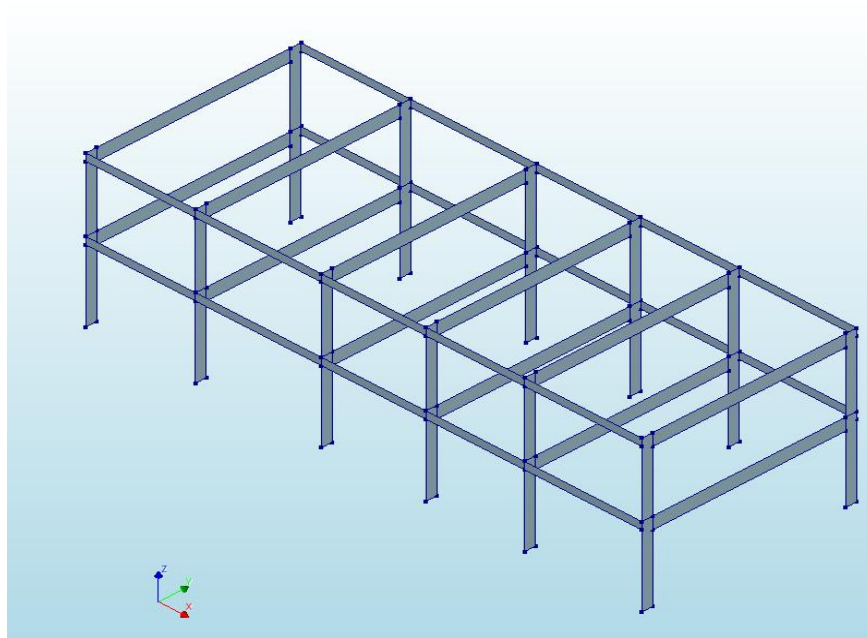


Figura 11

Vista de la distribución de estribos en vigas y columnas.



Determinación de periodos de vibración y masas participativas

Los periodos de vibración del modelo numérico representan el tiempo en que la estructura parte de su posición original y regresa a la misma, cada uno de los periodos de vibración son generados por la participación de las masas en las direcciones de análisis. El análisis de valores y vectores propios es propicio para la determinación de estos periodos y sobre todo el conocimiento de cuanto porcentaje de masa participa en cada modo.

Figura 12

Primer modo de vibración – traslacional en la dirección X

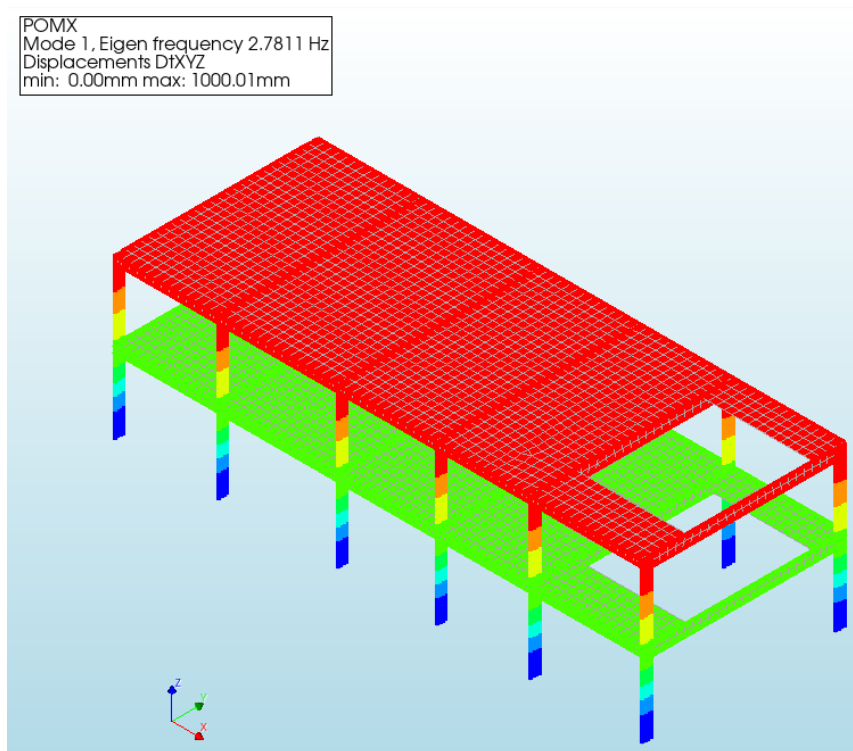


Figura 13

Segundo modo de vibración – traslacional en la dirección Y

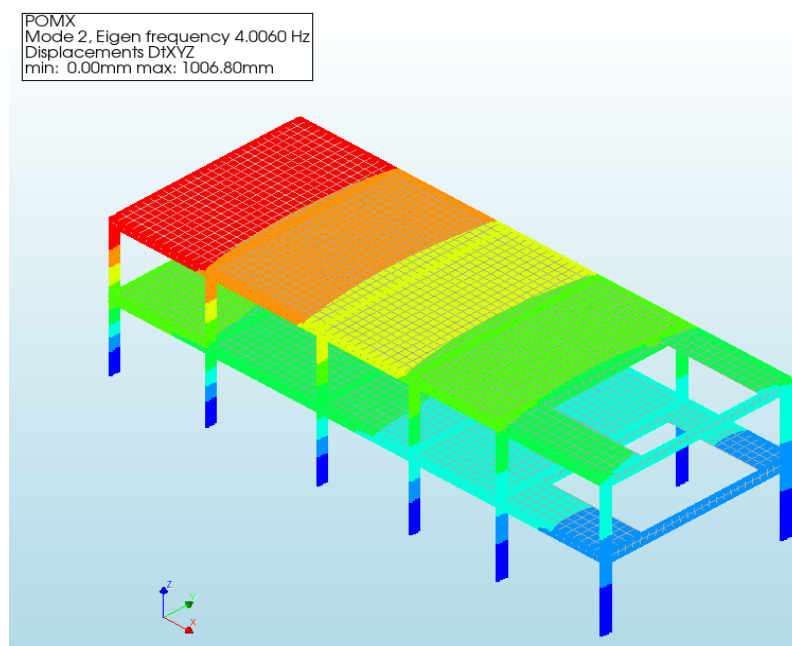
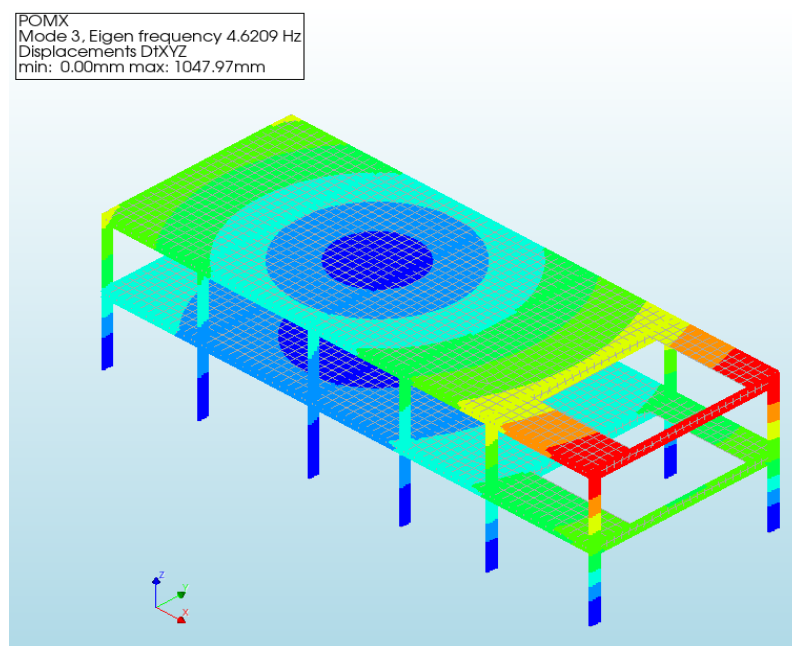


Figura 14

Tercer modo de vibración - Rotacional



En la tabla siguiente se presentan los seis primeros modos de vibración; para cada nivel se consideran tres modos de vibración (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018).

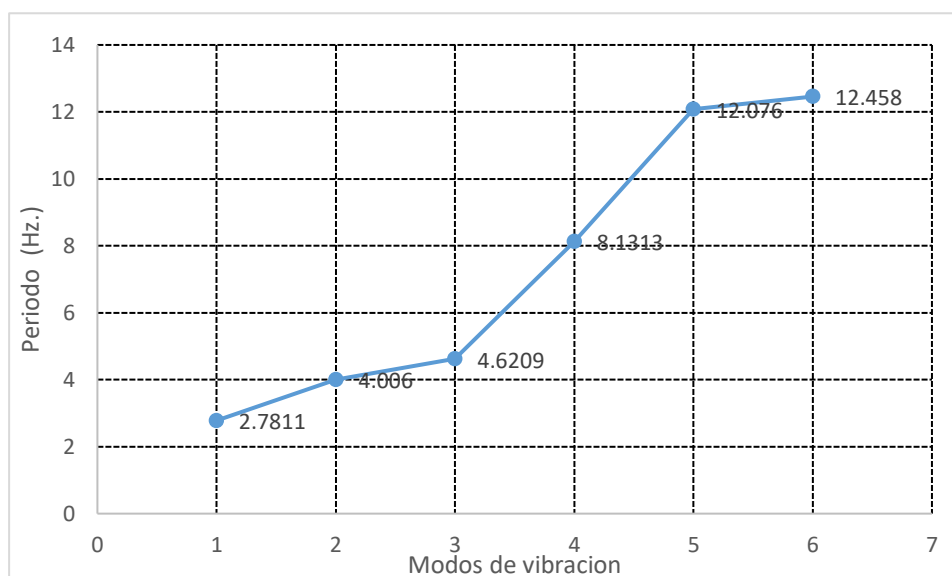
Tabla 5

Niveles de desempeño de las estructuras

Numero de Modo	Modo de vibración (Hz.)	Modo de vibración (sg.)
1	2.781	0.359
2	4.006	0.249
3	4.621	0.216
4	8.131	0.123
5	12.076	0.082
6	12.458	0.080

Figura 15

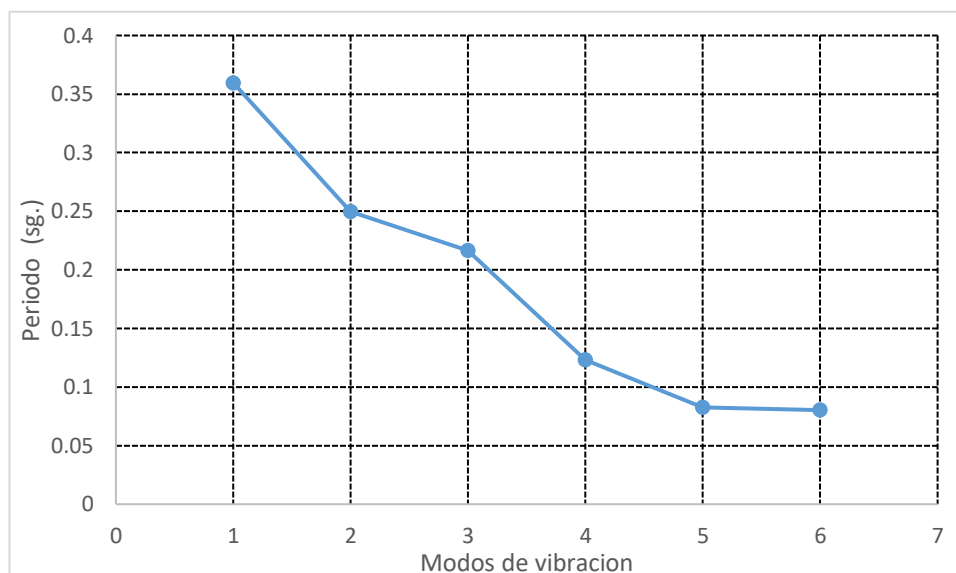
Modos de vibración (Hz):



Análisis: Los primeros tres modos de vibración corresponden a los períodos predominantes del comportamiento dinámico de la estructura. Vista en Hertz.

Figura 16

Modos de vibración (sg):



Análisis: Cabe señalar que el período fundamental de la estructura es el primero del orden de 0.359 sg. Vista en segundos.

Finalmente, mediante la figura 17 se procede a mostrar la participación de masas en cada modo de vibración (ASCE, 2017), el mismo que servirá para la creación del caso del pushover modal.

Figura 17

Participación de masas en cada modo de vibración:

MODE	FREQUENCY	EFF.MASS TX	PERCENTAGE	CUM.PERCENT.
1	0.24750E+01	0.24860E+00	0.92882E+02	0.92882E+02
2	0.35816E+01	0.26891E-07	0.10047E-04	0.92882E+02
3	0.40638E+01	0.88148E-06	0.32934E-03	0.92882E+02
4	0.72413E+01	0.14924E-01	0.55759E+01	0.98458E+02
5	0.11090E+02	0.11741E-06	0.43866E-04	0.98458E+02
6	0.11158E+02	0.48352E-10	0.18065E-07	0.98458E+02
MODE	FREQUENCY	EFF.MASS TY	PERCENTAGE	CUM.PERCENT.
1	0.24750E+01	0.79898E-08	0.29851E-05	0.29851E-05
2	0.35816E+01	0.22699E+00	0.84808E+02	0.84808E+02
3	0.40638E+01	0.16383E-01	0.61208E+01	0.90929E+02
4	0.72413E+01	0.90357E-08	0.33759E-05	0.90929E+02
5	0.11090E+02	0.18880E-04	0.70537E-02	0.90936E+02
6	0.11158E+02	0.18281E-01	0.68302E+01	0.97766E+02
MODE	FREQUENCY	EFF.MASS TZ	PERCENTAGE	CUM.PERCENT.
1	0.24750E+01	0.67322E-08	0.25153E-05	0.25153E-05
2	0.35816E+01	0.71660E-07	0.26773E-04	0.29289E-04
3	0.40638E+01	0.42423E-06	0.15850E-03	0.18779E-03
4	0.72413E+01	0.33047E-08	0.12347E-05	0.18902E-03
5	0.11090E+02	0.33231E-01	0.12416E+02	0.12416E+02
6	0.11158E+02	0.27679E-04	0.10341E-01	0.12426E+02

Análisis: Cabe señalar que el período fundamental de la estructura es el primero del orden de 0.359 sg. Vista en segundos.

Finalmente, mediante la figura 17 se procede a mostrar la participación de masas en cada modo de vibración (ASCE, 2017), el mismo que servirá para la creación del caso del pushover modal.

Generación del pushover modal y pushover por desplazamiento

En la literatura existen dos distintas maneras de generar el caso no lineal estático pushover, el primero es el pushover modal, que como ya se vio utiliza la mayor participación de masas en las direcciones de análisis, y el otro caso es el pushover por desplazamiento, en donde se le aplica una deformación prescrita en un nodo de control del piso superior (DIANA FEA, 2022). Esta investigación utilizó ambos casos en mención:

Figura 18

Generación del pushover modal en la dirección X con el modo de vibración 1:

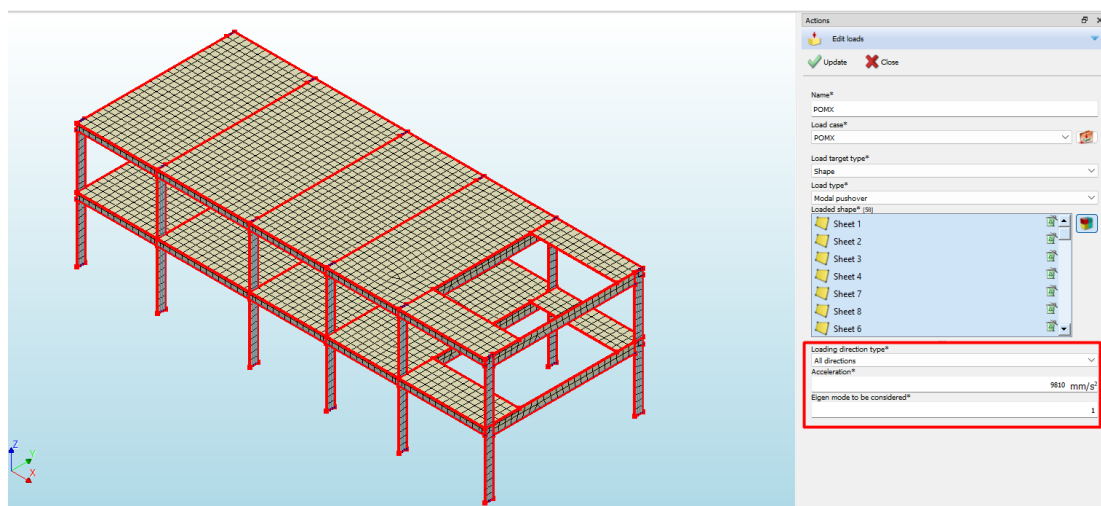


Figura 19

Generación del pushover por deformación prescrita, dirección X:

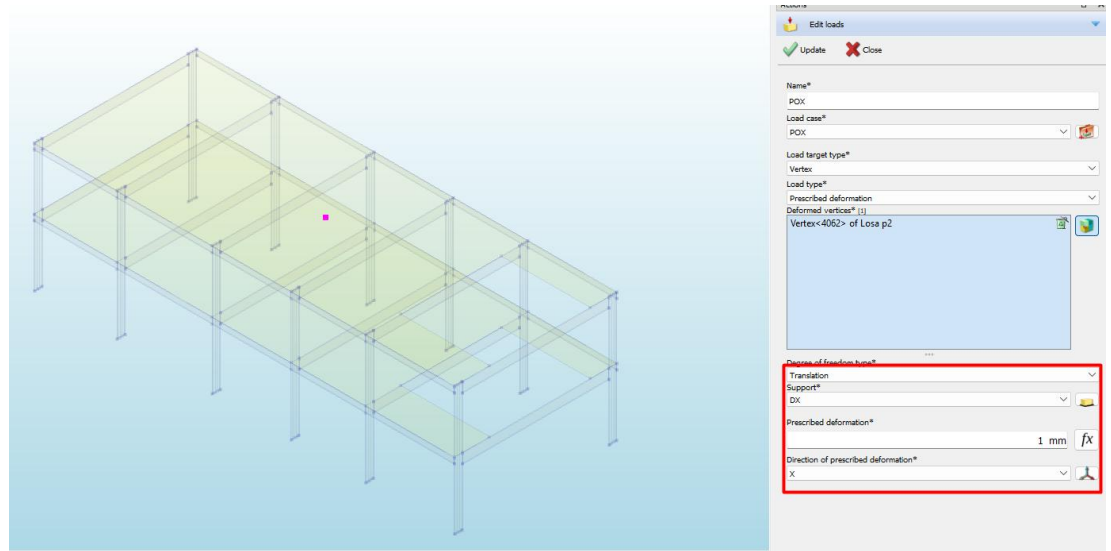
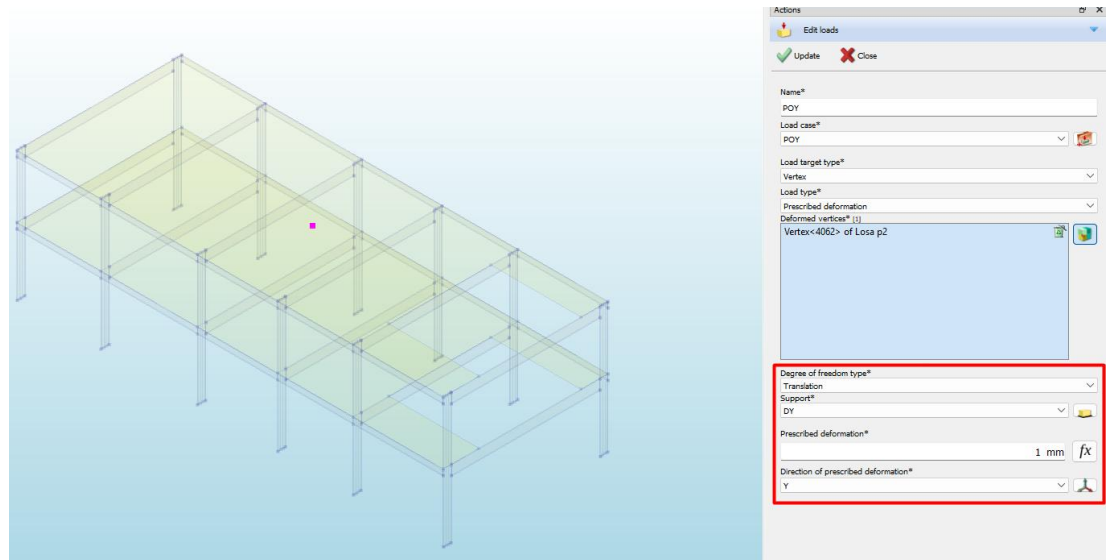


Figura 20

Generación del pushover por deformación prescrita, dirección Y:

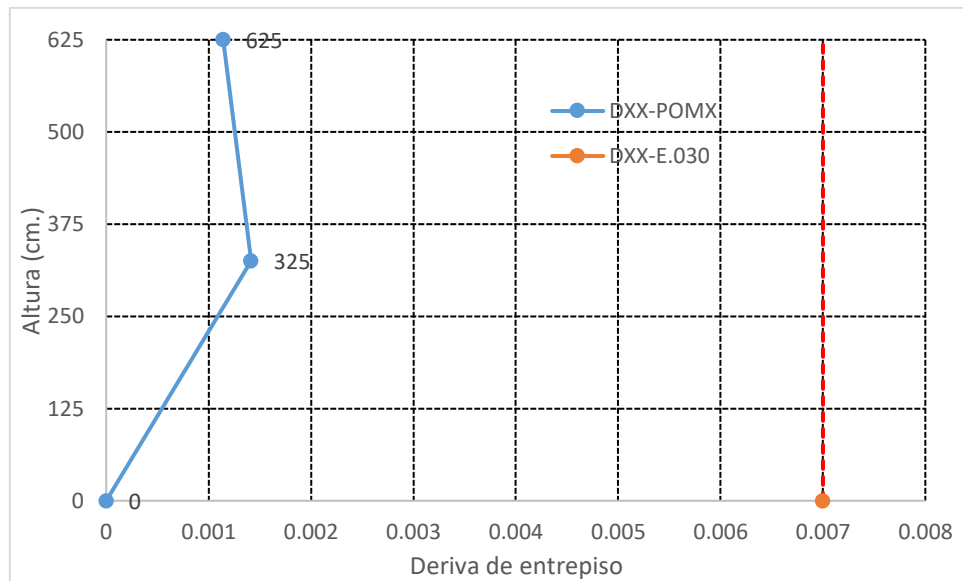


Verificación y control de derivas

Las derivas fueron computadas dividiendo los desplazamientos laterales máximos entre la altura de entrepiso (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento MVCS, 2018) y fueron comparadas con la deriva normada (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018)

Figura 21

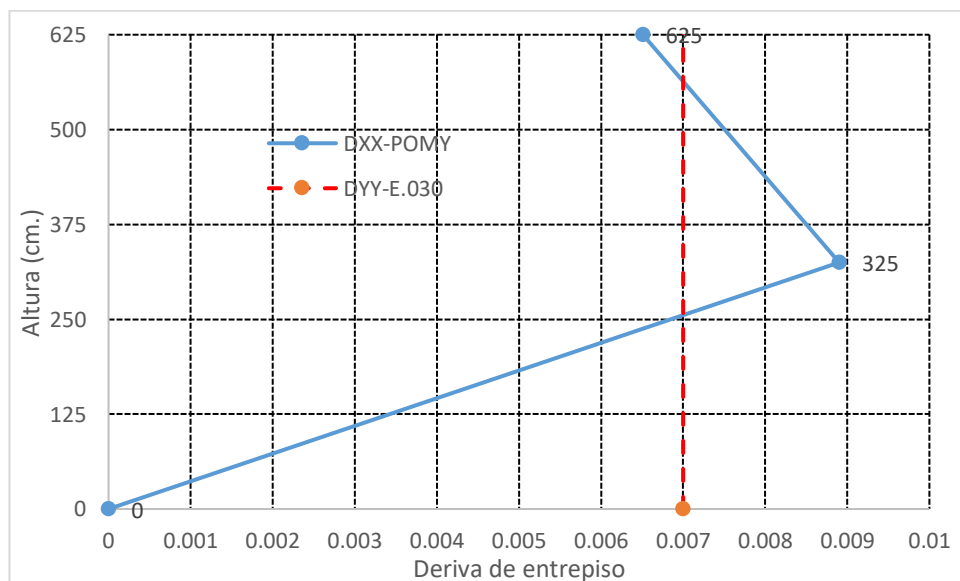
Derivas de entrepiso, dirección X:



Análisis: Mediante el control de derivas, la dirección X presenta desplazamientos laterales menores que no superan los desplazamientos máximos (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018). Teniéndose una deriva máxima de 0.0014.

Figura 22

Derivas de entrepiso, dirección Y:



Análisis: Mediante el control de derivas, la dirección Y presenta

desplazamientos laterales excesivos, por lo que superan las derivas máximas (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018). Teniéndose una deriva máxima de 0.0089.

Obtención de la curva de capacidad

La resistencia a fuerzas laterales del palacio municipal de Cayna se representa mediante las curvas de capacidad en ambas direcciones.

Figura 23

Curva de capacidad, dirección X:

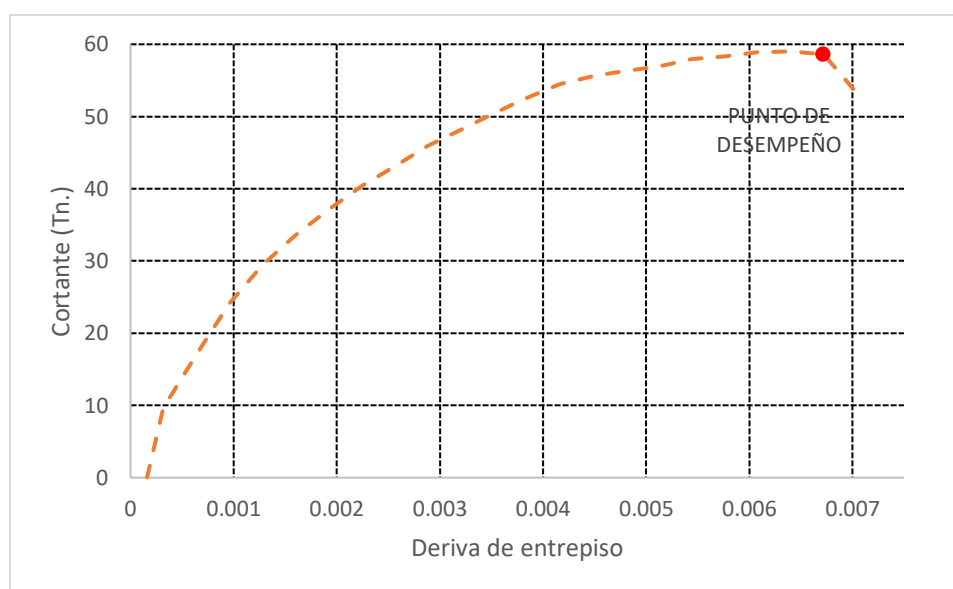
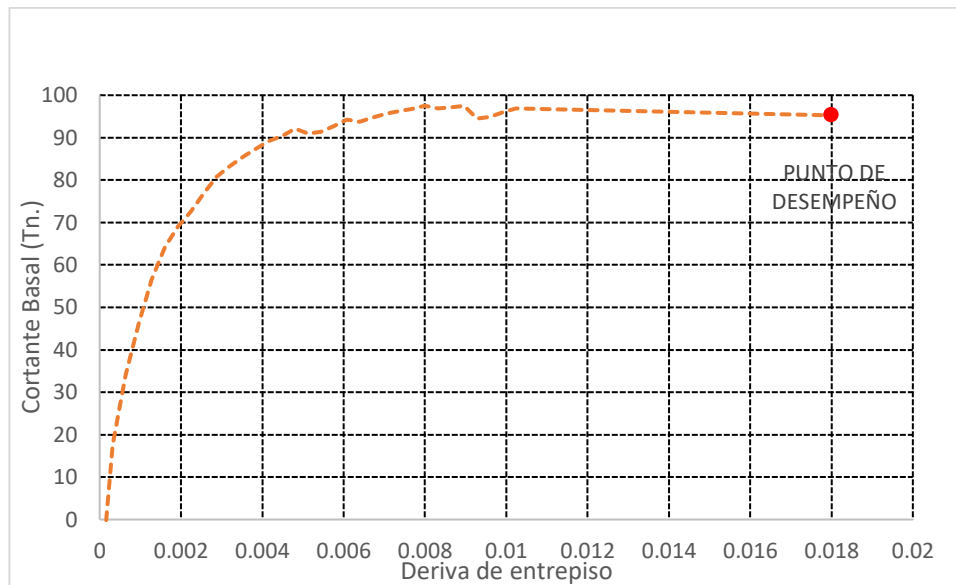


Figura 24

Curva de capacidad, dirección Y:



Determinación del nivel de desempeño en base a la deriva de entrepiso

Las derivas de entrepiso objetivas para cada nivel de desempeño fueron mostradas en la tabla N°6 del capítulo 2:

Tabla 6

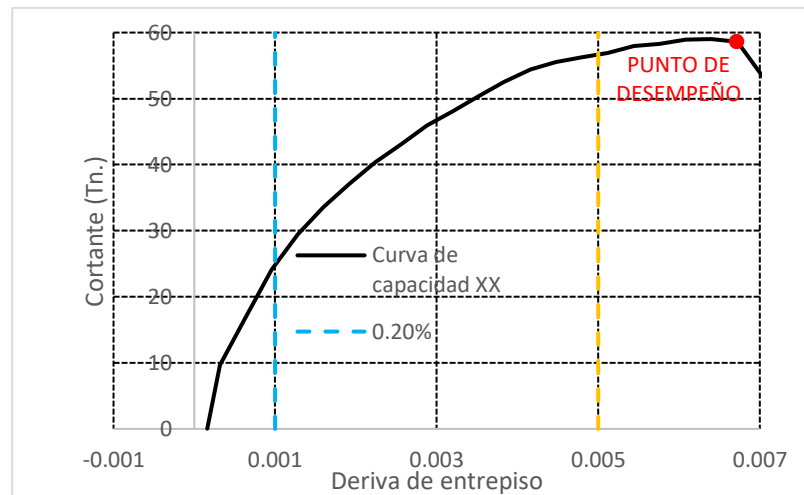
Niveles de desempeño de las estructuras

Nivel de desempeño	Deriva entre piso (% altura entre piso)
Totalmente operacional	0.2
Operacional	0.5
Seguridad de vida	1.50
Próximo al colapso	2.50
Colapso	> 2.50

Para ambas direcciones de análisis, la curva de capacidad fue dividida de modo que se pudiera identificar claramente el punto de desempeño (Visión 2000, 1996), luego se trazaron líneas verticales que representan cada nivel de desempeño, tal como se muestra mediante la figura 26 y 27:

Figura 25

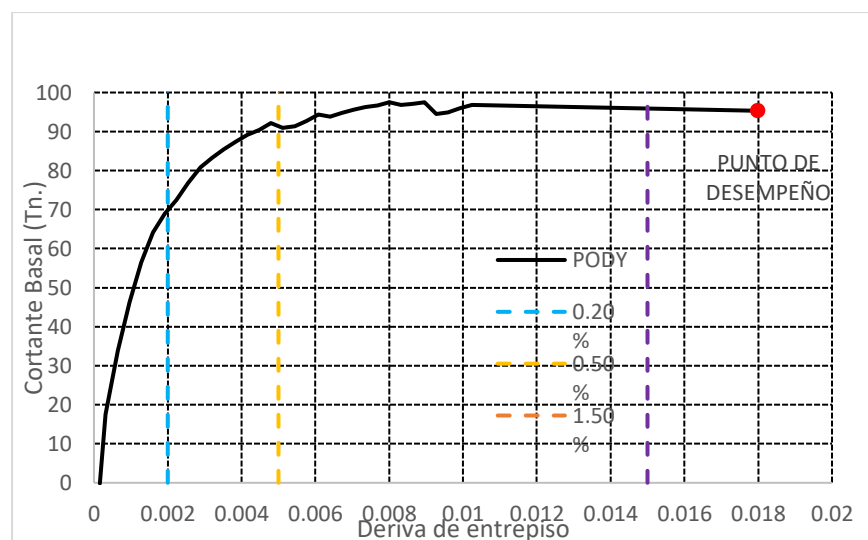
Curva de capacidad y punto de desempeño en la dirección X:



El punto de desempeño pone en evidencia que la estructura, en la dirección X encontró respuestas estructurales hasta una deriva de 0.0067, pasando este nivel de deriva el sistema estructural encontró la no convergencia de la estructura en global. La deriva de desempeño es inferior a la deriva del 1.50% por lo que se sitúa en el nivel de desempeño de seguridad de vida (Visión 2000, 1996), para un sismo raro.

Figura 26

Curva de capacidad y punto de desempeño en la dirección Y:



La estructura en dirección Y en su punto de desempeño demostró y encontró respuestas estructurales hasta una deriva de 0.018, pasando este

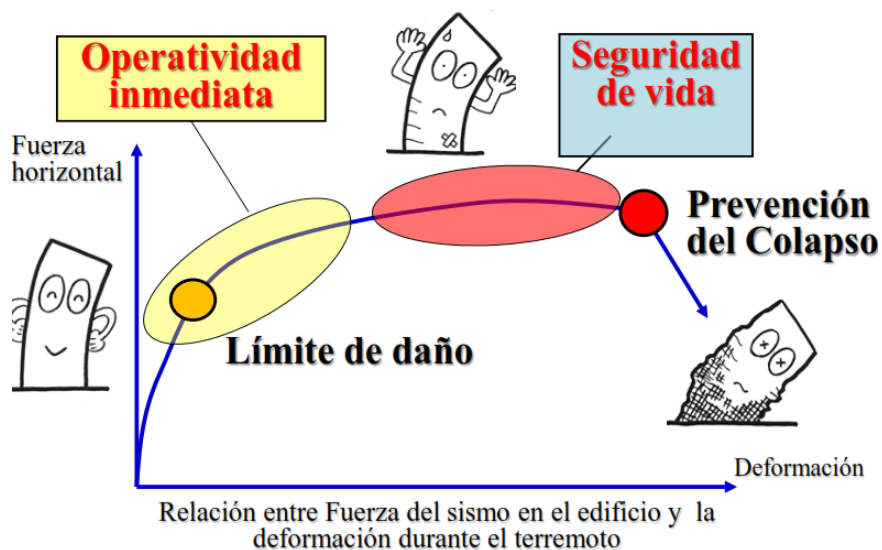
nivel de deriva el sistema estructural encontró continuo la iteración matemática, pero presentando no convergencias en algunos pasos siguientes. La deriva de desempeño es inferior a la deriva del 2.50% por lo que se sitúa en el nivel de desempeño de próximo al colapso (Vision 2000, 1996) para un sismo raro y máximo.

Finalmente, mediante la figura 28 se muestran los niveles de desempeño bajo una escala grafica.

- La deriva de entrepiso en la dirección X se ubica en el nivel de desempeño “seguridad de vida” (Vision 2000, 1996), lo que implica que la edificación se considera segura durante la ocurrencia del sismo, aunque podría no mantener dicha condición una vez finalizado el evento.
- La deriva de entrepiso en la dirección Y se encuentra en el nivel de desempeño “prevención de colapso” (Vision 2000, 1996), situación en la que la edificación presenta un riesgo significativo de colapsar y existe una probabilidad importante de pérdidas materiales y afectación a la integridad de las personas.

Figura 27

Desempeño de un edificio durante un sismo:



4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

H1: El grado vulnerabilidad sísmica es de “seguridad de vida”, mediante el desempeño estructural en el palacio municipal de Cayna – Ambo – Huánuco – 2024.

En la dirección de análisis correspondiente al eje X, el nivel de vulnerabilidad sísmica se ubica en el rango de “seguridad de vida”, tal como se aprecia en la figura 26 y se corrobora en la figura 28. En cambio, para la dirección asociada al eje Y, el comportamiento estructural se clasifica como “próximo al colapso” (prevención de colapso), de acuerdo con lo ilustrado en la figura 27 y su contraste en la figura 28.

Por lo tanto, la hipótesis general (H1) se rechaza ya que al analizar ambas direcciones la vulnerabilidad sísmica es distinta, en la dirección X se determina la vulnerabilidad sísmica de “seguridad de vida” mientras que en la dirección Y la vulnerabilidad sísmica es “próximo al colapso”, con esto se falsifica la proposición de la hipótesis general (el grado de vulnerabilidad sísmica no es homogéneo y tiene dependencia por cada dirección de análisis).

He1: Las rótulas plásticas que alcanzan la deformación de cedencia influyen de manera significativa en el grado de vulnerabilidad sísmica en el palacio municipal de Cayna – Ambo – Huánuco – 2024.

Las rotulas plásticas consideradas en la ejecución de la presente investigación fueron del tipo plasticidad distribuida a través de los elementos finitos, es decir genera secciones finitas discretizadas por nodos que contemplan toda la no linealidad del material y geométrica.

La influencia del alcance de la deformación de cedencia para el material no lineal del concreto es mostrada mediante las siguientes figuras.

Figura 28

Nodos de la malla finita que representan la plasticidad distribuida en el material concreto

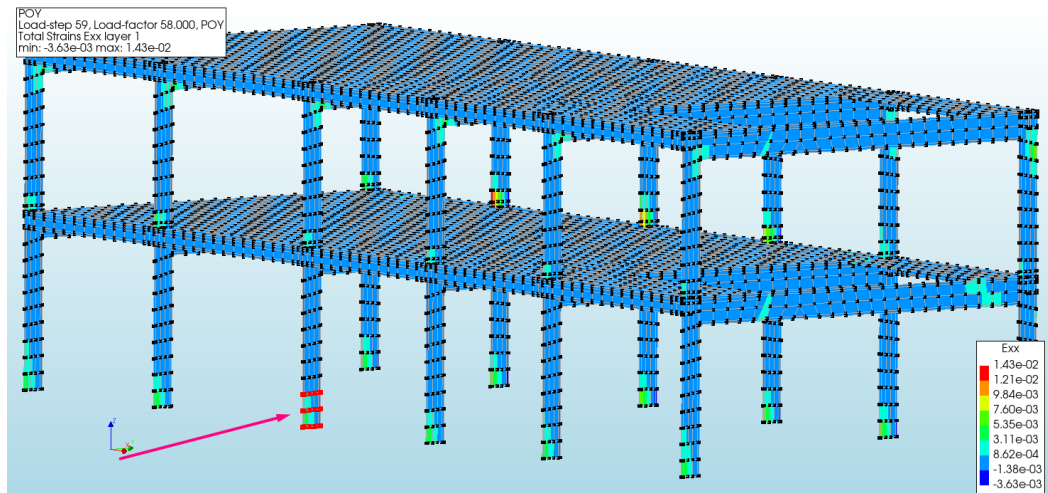
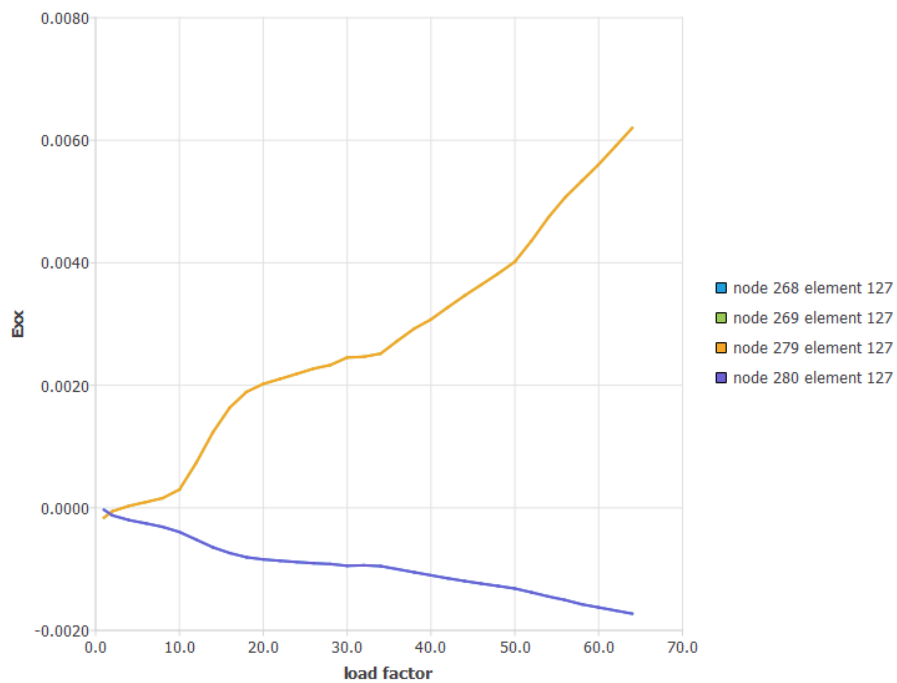


Figura 29

Influencia del alcance de la deformación en cedencia para el material concreto



La influencia del alcance de la deformación de cedencia para el material no lineal del acero de refuerzo es mostrada mediante las siguientes figuras.

Figura 30

Nodos de la malla finita que representan la plasticidad distribuida en el acero de refuerzo

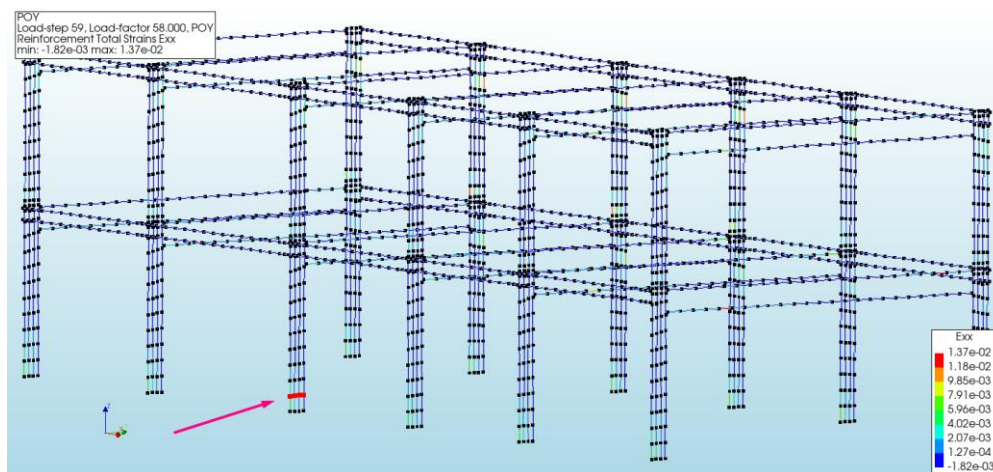
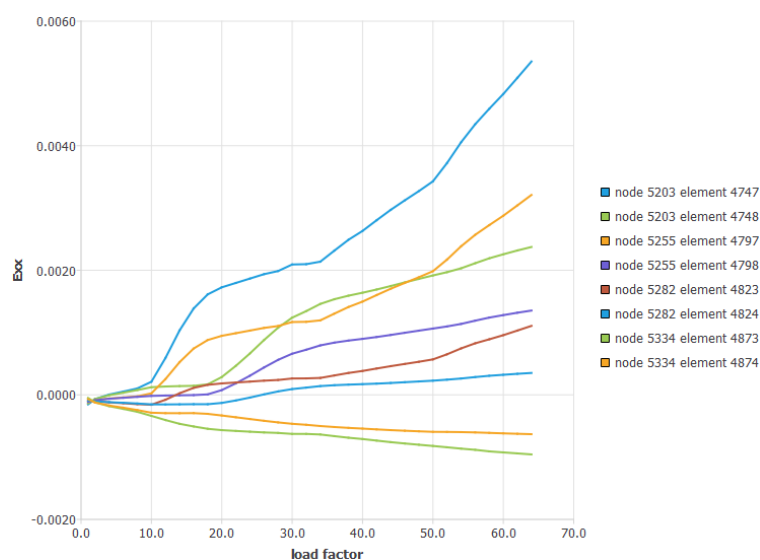


Figura 31

Influencia del alcance de la deformación en cedencia para el material acero de refuerzo



He2 La relación entre los desplazamientos laterales y el grado vulnerabilidad sísmica es directamente proporcional en el palacio municipal de Cayna – Ambo – Huánuco – 2024.

Los desplazamientos laterales traducidos a derivas de entrepiso son mostrados en las figuras 26 y 27 para la dirección X e Y respectivamente, las mismas que son clasificadas en la tabla 4 del capítulo 2, de la cual se obtiene los niveles de desempeño de totalmente operacional (0.2%), operacional

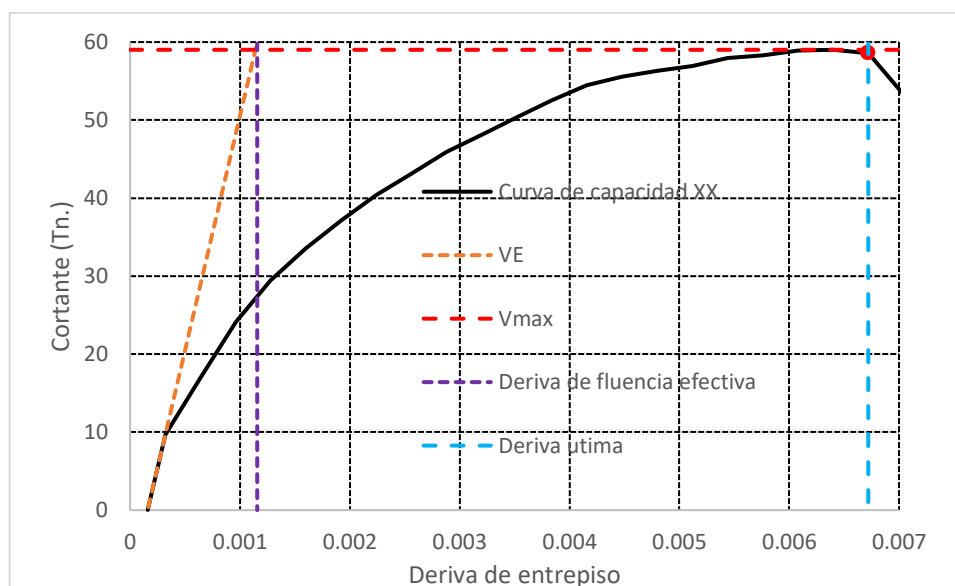
(0.5%), seguridad de vida (1.50%), próximo al colapso (2.50%) y colapso (2.50%), por lo cual se establece el carácter proporcional entre ambos parámetros.

He3: Existe una relación entre las dimensiones de ductilidad de los elementos y el grado de vulnerabilidad sísmica en el palacio municipal de Cayna – Ambo – Huánuco – 2024.

La ductilidad se define como la relación entre la deriva ultima y el desplazamiento de fluencia, a través de la figura 33 se muestra el cálculo de ambos parámetros con el fin de analizar su relación con el nivel de vulnerabilidad sísmica del palacio municipal.

Figura 32

Computo de la ductilidad global en la dirección X

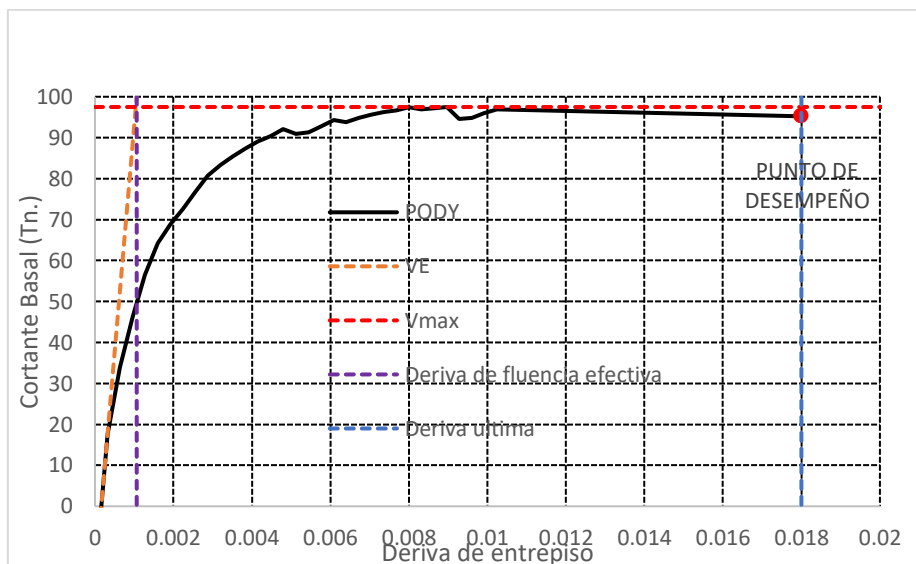


$$\mu_{T-X} = \frac{\delta_u}{\delta_y} = \frac{0.00672}{0.001156} = 5.813$$

A continuación, en la figura 34 se muestra el cálculo de ambos parámetros, con el propósito de analizar su relación con el grado de vulnerabilidad sísmica del palacio municipal en la dirección Y.

Figura 33

Computo de la ductilidad global en la dirección Y



$$\mu_{T-Y} = \frac{\delta_u}{\delta_y} = \frac{0.018}{0.0010632} = 16.93$$

La hipótesis específica 3 se acepta parcialmente. Si bien se determinó una relación y se cuantificó la ductilidad global ($\mu_{T-X}=5.813$, $\mu_{T-Y}=16.93$), se concluye que, dentro del marco metodológico de (VISION 2000, 1996) , este parámetro no es el indicador determinante para la clasificación del grado de vulnerabilidad sísmica, rol que cumple exclusivamente la deriva de entrepiso.

NOTA: En la elaboración del modelo numérico, las características mecánicas de los materiales se definieron a partir de los resultados de las pruebas realizadas en campo. De esta manera, en vez de considerar la resistencia a compresión consignada en el expediente técnico, se adoptó para el concreto un valor de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. Además, los ensayos de pacometría verificaron que la configuración del acero de refuerzo, tanto longitudinal como transversal, coincide con lo indicado en los planos, lo que refuerza la consistencia del modelo obtenido a partir de la información del expediente

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. CONTRASTACIÓN DE LOS RESULTADOS

Silva (2023) concluye que el análisis no lineal aplicado al edificio evidencia que, en su estado actual, la respuesta en la dirección X es crítica, ya que frente al sismo de diseño su comportamiento se sitúa en la franja de transición entre los estados de “cercano al colapso” y “resguardo de la vida”. En la dirección Y, en cambio, la estructura se clasifica en el nivel de resguardo de la vida; aunque este no representa el escenario óptimo, al encontrarse muy próximo al rango considerado funcional, el autor lo considera aceptable desde una perspectiva global.

A partir del procesamiento y la revisión de la información obtenida del análisis estático no lineal empleando tanto el esquema de pushover modal como el procedimiento controlado por desplazamiento se determina que el Palacio Municipal de Cayna desarrolla un desempeño de resguardo de vida en la dirección X y de próximo al colapso en la dirección Y, lo que pone de manifiesto una marcada vulnerabilidad sísmica en ambas direcciones principales.

Albarracín y Gallo (2010) señalan que, con base en los resultados obtenidos, la edificación analizada presenta una ductilidad global de 3.95 y un factor de sobrerresistencia de 1.2 respecto de la fluencia efectiva. En relación con la demanda establecida por la normativa, la estructura alcanza una sobrerresistencia frente al colapso igual a 2.1. Los autores indican que, ante sismos de ocurrencia frecuente u ocasional, la respuesta se limita a incursiones inelásticas leves, manteniendo un comportamiento funcional en la dirección transversal (X–X) y conservando un desempeño operacional en la dirección longitudinal (Y–Y).

El Palacio municipal de Cayna presenta una ductilidad de 5.813 en la dirección X mientras que la dirección Y presenta 16.93. Aunque teóricamente la ductilidad es parte del desempeño, este estudio encuentra que la deriva es el único indicador válido según la metodología VISION 2000.

(Suarez, 2017) indica que, en cuanto a la formación de los mecanismos de falla (rótulas plásticas), estos se desarrollan de manera adecuada y óptima en la mayoría de las vigas durante los dos únicos pasos obtenidos en el análisis, registrándose un nivel de daño considerado aceptable. Asimismo, en el segundo paso se forma un par de rótulas plásticas en una columna, asociado a un daño de magnitud moderada. En conjunto, el comportamiento estructural frente al daño resulta muy satisfactorio dentro del rango elástico, alcanzando un desplazamiento máximo de 22,64 cm.

Para esta investigación se adoptó un modelo de rótulas plásticas distribuidas, es decir, la respuesta inelástica del material se reparte a lo largo de las zonas críticas de columnas, vigas y losas, las cuales se idealizan mediante elementos de malla finita y sus nodos respectivos. En términos de daño, las rótulas ubicadas en los nodos asociados al comportamiento no lineal del concreto evidencian aplastamiento, ya que las deformaciones unitarias superan aproximadamente 0.004. En cambio, las rótulas ligadas al comportamiento inelástico del acero de refuerzo muestran, como respuesta última, la fluencia del acero, al registrarse deformaciones mayores a 0.006.

Orihuela et. al. (2021) señalan que, a partir del análisis estático no lineal realizado a su modelo, fue posible obtener la curva de capacidad en ambas direcciones de estudio. En la dirección X–X se alcanzó una cortante basal de 226.55 tonf, asociada a un desplazamiento horizontal máximo de 24 cm en el punto de control. Para la dirección Y–Y, la cortante basal llegó a 392.59 tonf con un desplazamiento máximo de 3.03 cm; sin embargo, la estructura entra en falla cuando el punto de control alcanza 4.13 cm, debido a que el sistema de albañilería confinada conduce al colapso de los muros, registrándose en ese instante una cortante basal de 279.75 tonf.

De manera análoga, el análisis estático no lineal aplicado al Palacio Municipal de Cayna permitió trazar su curva de capacidad. En la dirección X se obtuvo una cortante basal del orden de 59.01 tonf para una deriva máxima cercana a 0.067, mientras que en la dirección Y la cortante basal fue de 97.50 tonf con una deriva máxima aproximada de 0.018. Para este último valor de deriva se estima que la estructura alcanza una condición próxima al colapso.

CONCLUSIONES

El grado de vulnerabilidad sísmica mediante el desempeño estructural del palacio municipal de Cayna – Ambo – Huánuco en la dirección longitudinal (X) es de seguridad de vida, debido a que la deriva de entrepiso es del orden del 0.67%. Así mismo el grado de vulnerabilidad sísmica mediante el desempeño estructural del palacio municipal de Cayna – Ambo – Huánuco en la dirección transversal (Y) es de próximo al colapso, debido a que la deriva de entrepiso es del orden del 1.8%.

Se evaluó también la incidencia de las rótulas plásticas formadas en el concreto y en el acero de refuerzo sobre la vulnerabilidad del palacio municipal. El análisis detallado de cada rótula plástica distribuida permitió identificar un mecanismo de falla frágil: primero se produce el aplastamiento del concreto y luego la rotura del acero de refuerzo, concentrándose este fenómeno en los extremos inicial y final de las columnas estructurales.

En relación con los desplazamientos, para la dirección X se obtuvo una deriva global aproximada de 0.67 %, valor que, según los criterios del comité VISION 2000 (1996), corresponde al nivel de desempeño de seguridad de vida. Para la dirección Y, la deriva global se aproxima a 1.80 %, lo que, de acuerdo con la misma referencia, ubica a la estructura en el nivel de próximo al colapso. Por ello, en ambas direcciones de análisis el palacio municipal de Cayna – Ambo – Huánuco requiere la aplicación de medidas de reforzamiento estructural.

En esta investigación, la ductilidad global de los elementos se obtuvo a partir de la curva de capacidad, encontrándose valores de 5.813 y 16.93 para las direcciones X e Y, respectivamente. Sin embargo, dichos resultados no evidencian una relación directa con el grado de vulnerabilidad sísmica estimado para el palacio municipal de Cayna – Ambo – Huánuco.

Finalmente, los ensayos de esclerometría permitieron caracterizar la rigidez del concreto en las secciones de columnas y en las losas. Para las columnas, los valores de rebote, entre 44 y 45 golpes, indican una rigidez

adecuada; mientras que en las losas aligeradas los registros oscilan entre 47 y 48 golpes, lo que refleja una rigidez relativamente mayor.

El ensayo de pacometría fue realizado en secciones de columnas y vigas, se evidencia la disposición, cantidad de refuerzo y recubrimientos en función de los planos estructurales, por lo que la construcción del modelo no lineal del palacio municipal refleja la realidad ante eventos sísmicos.

RECOMENDACIONES

La estimación del grado de vulnerabilidad sísmica de la edificación se realizó mediante un análisis estático no lineal; sin embargo, también podría evaluarse recurriendo a un análisis dinámico no lineal apoyado en registros sísmicos reales.

La evaluación del grado de vulnerabilidad sísmica a partir del desempeño estructural debería extenderse a los demás sistemas estructurales reconocidos por la Norma E.030-2018, tales como muros estructurales, albañilería, estructuras de acero y muros de ductilidad limitada.

Existen distintos tipos de rótulas plásticas, siendo las más habituales las de plasticidad concentrada y la plasticidad distribuida. Sería recomendable que futuros trabajos de investigación continúen explorando la plasticidad distribuida, ya que permite modelar la respuesta mediante elementos finitos distribuidos a lo largo de toda el área de la sección en estudio.

El desempeño estructural también puede analizarse dentro del marco de la Norma E.030-2018 “Diseño Sismorresistente”, utilizando pares de registros sísmicos y atendiendo a las exigencias propias del análisis dinámico no lineal.

Asimismo, la incorporación de códigos internacionales, como ASCE/SEI 41-17, FEMA P-58, ATC-40, entre otros, resulta adecuada para valorar la incertidumbre asociada al desempeño estructural y obtener resultados más robustos y confiables.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albarracin y Gallo (2010): “Desempeño sísmico de un edificio aporticado de siete pisos diseñado con el reglamento nacional de construcciones y aceptando una deriva máxima de 1%” – (Tesis de Posgrado). Pontificia Universidad Católica del Perú – Lima, Perú.
- ASCE/SEI 41-13 (2014). Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Building's. (This Document uses both international). American Society of Civil Engineers – Estados Unidos.
- ATC-40 CAP. 8 (1996). Procedimiento de Análisis Estático No Lineal. (Código Americano)
- Build Change (2012). Manual de Evaluación y Reforzamiento Sísmico para Reducción de Vulnerabilidad en Viviendas. (Revista de Investigación).
- Canduelas Flores, W. Informe pericial del palacio municipal de Cayna, Cayna-Ambo, Huánuco. (Informe de Investigación). Municipalidad Distrital de Cayna – Ambo, Huánuco.
- Contreras (2023): “Evaluación del desempeño sísmico y propuesta de reforzamiento para una edificación escolar típica basada en el módulo 780 PRE NDSR-1997”. (Tesis de Grado). Pontificia Universidad Católica del Perú – Lima, Perú.
- Espada Chilin, S. M. & Mego Farías. A. S. (2020). Procedimiento para una evaluación estructural en una vivienda de concreto armado. (Tesis de Grado). Pontificia Universidad Católica del Perú – Lima, Perú.
- Gálvez Chunas, V. A. (2011). Evaluación del Desempeño Sismorresistente Usando Análisis No Lineal en el Tiempo. (Tesis de Grado). Pontificia Universidad Católica del Perú – Lima, Perú.
- Gómez Prado, W. (2014). Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de centros de salud del distrito de Ayacucho. (Tesis de Grado). Universidad Nacional de Huancavelica – Huancavelica, Perú.

Lozano Chávez, G. A. (2020). Evaluación estructural de construcciones masivas de tierra utilizando modelos numéricos avanzados: el caso de la huaca de la luna. (Tesis de Grado). Pontificia Universidad Católica del Perú – Lima, Perú.

Maldonado Tapia, R. A. (2012). Sensibilidad y seguridad de estructuras de Hormigón en régimen no lineal. (Tesis de Maestría). Universidad Politécnica de Cataluña – Barcelona, España.

Orderique Pacherrres, O. A. (2019). Evaluación estructural aplicando el método de índices de vulnerabilidad en la I.E. Santa Lucía, Provincia Ferreñafe – Región Lambayeque. (Tesis de Grado). Universidad Cesar Vallejo - Chiclayo, Perú.

Orihuela, E. y Orihuela, M. (2021). Desempeño sísmico del pabellón D de la I.E. Francisco Bolognesi, mediante el análisis estático no lineal “pushover”, distrito Chilca, Huancayo, 2021. Tesis de grado. Universidad Continental – Huancayo.

Razo Carrasco, D. (2019). Evaluación integral de la seguridad estructural de edificaciones existentes dañadas por sismos de gran magnitud. (Revista de Ingeniería Sísmica). Sociedad mexicana de ingeniería sísmica – ciudad de México, México.

Solorzano Campo, J. S. & Tacuche Carbajal, D. Evaluación estructural mediante el análisis no lineal para establecer el grado de vulnerabilidad sísmica en el centro de salud Amarilis. (Tesis de grado). Universidad Nacional Hermilio Valdizan – ciudad de Huánuco, Huánuco.

Suarez, E. (2017). Determinación de rotulas plásticas de un edificio irregular. (Tesis de grado). Universidad Nacional Autónoma de México – Facultad de estudios superiores Aragón – Nezahualcóyotl, estado de México

COMO CITAR ESTRE TRABAJO DE INVESTIGACION

Alcántara Graciano, J. (2025). *Desempeño estructural para establecer el grado de vulnerabilidad sísmica del palacio municipal de Cayna – Ambo –*

Huánuco – 2024. [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio institucional UDH. url: <http://...>

ANEXOS

ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

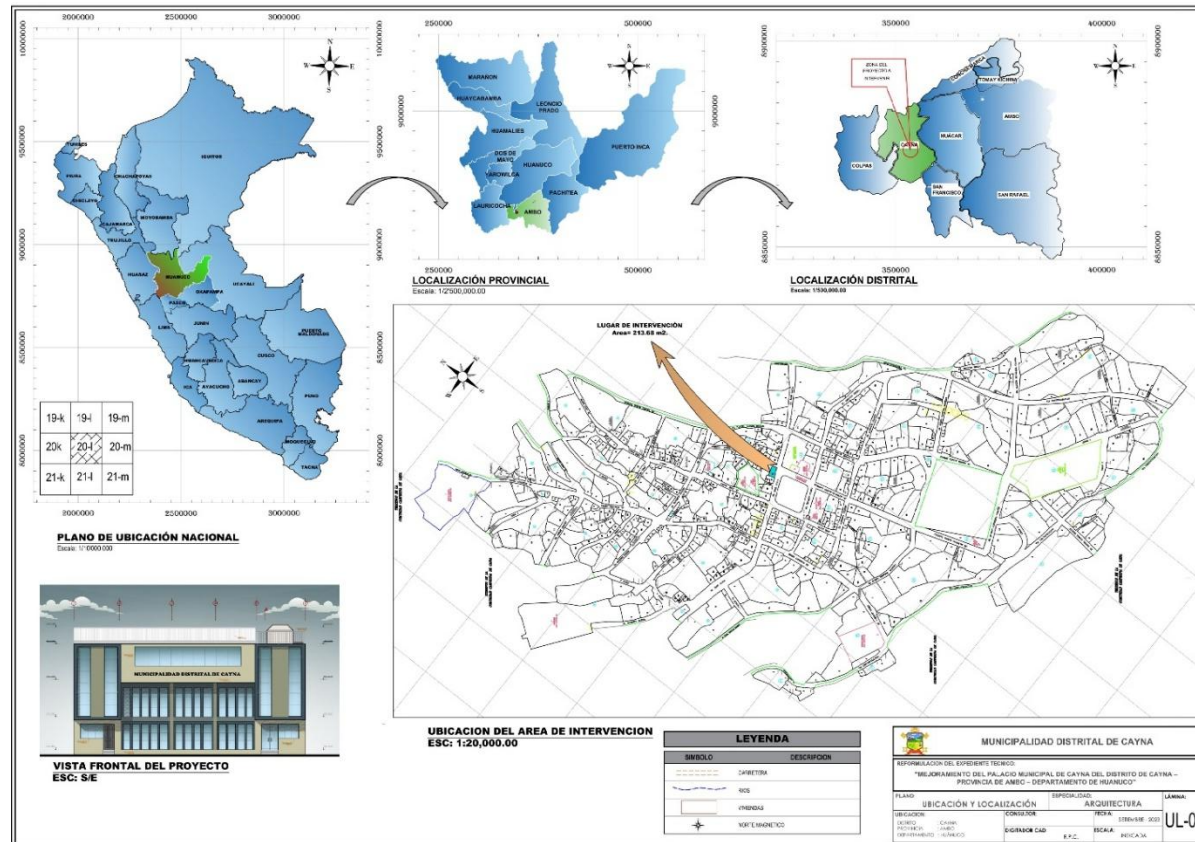
“DESEMPEÑO ESTRUCTURAL PARA ESTABLECER EL GRADO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL PALACIO MUNICIPAL DE CAYNA – AMBO – HUÁNUCO – 2024”

Formulación del problema	Objetivo	Hipótesis	Variable	Índice	Metodología de la investigación
Formulación general ¿Cuál será el grado de vulnerabilidad sísmica mediante el desempeño estructural del palacio municipal de Cayna – Ambo – Huánuco – 2024? Problemas específicos. ¿Cuál es la influencia de las rótulas plásticas que alcanzan la deformación de cedencia en el grado de vulnerabilidad sísmica en la estructura del Palacio Municipal	Objetivo general Determinar el grado de vulnerabilidad sísmica mediante el desempeño estructural del palacio municipal de Cayna – Ambo – Huánuco – 2024. Objetivos específicos Determinar la influencia de las rótulas plásticas que alcanzan la deformación de cedencia en el grado de vulnerabilidad sísmica en la estructura del Palacio Municipal	Hipótesis general. • H1: El grado vulnerabilidad sísmica es de “seguridad de vida”, mediante el desempeño estructural en el palacio municipal de Cayna – Ambo – Huánuco – 2024. Hipótesis específicas. He1 Las rótulas plásticas que alcanzan la deformación de cedencia influyen de manera significativa en el grado de vulnerabilidad sísmica en el palacio municipal de Cayna – Ambo – Huánuco – 2024. He2 La relación entre los desplazamientos laterales y el grado vulnerabilidad sísmica es directamente proporcional en el palacio municipal de Cayna – Ambo – Huánuco – 2024. He3: Existe una relación entre las dimensiones de	Variable Independiente: Desempeño estructural. Dimensiones Rotulas plásticas. Derivas. Cortantes de diseño. Estado de falla balanceada.	Porcentaje Porcentaje Porcentaje	Tipo de investigación: Enfoque: Cuantitativa. Nivel: Correlacional Diseño: No experimental Población: Palacio Municipal de Cayna. Muestra: Módulo del Palacio Municipal Técnicas: - Fichas específicas para recopilar información, como la descripción y ubicación de la estructura, la evaluación visual y el plan de ensayos

de Cayna – Ambo – Huánuco – 2024? ¿Cómo se relacionaría los desplazamientos laterales y el grado vulnerabilidad sísmica en la estructura del Palacio Municipal de Cayna – Ambo – Huánuco – 2024? ¿Existirá relación entre las dimensiones de esfuerzos resistentes, ductilidad de los elementos y el grado de vulnerabilidad sísmica en la estructura del Palacio Municipal de Cayna – Ambo – Huánuco – 2024?	de Cayna – Ambo – Huánuco – 2024. Evaluar la relación entre los desplazamientos laterales y el grado vulnerabilidad sísmica en la estructura del Palacio Municipal de Cayna – Ambo – Huánuco – 2024. Determinar si existe una relación entre las dimensiones de esfuerzos resistentes, ductilidad de los elementos y el grado de vulnerabilidad sísmica en la estructura del Palacio Municipal de Cayna – Ambo – Huánuco – 2024	esfuerzos resistentes, ductilidad de los elementos y el grado de vulnerabilidad sísmica en el palacio municipal de Cayna – Ambo – Huánuco – 2024.	Variable dependiente: Grado de vulnerabilidad sísmica. Dimensiones Ocupación inmediata (IO) Seguridad de vida (LS) Prevención al colapso (CP)	Nivel de desempeño <= 0.50% 0.50% <= Nivel de desempeño <=1.50% 1.50% <= Nivel de desempeño <=2.50%
---	---	---	--	---

ANEXO 2

PLANO DE UBICACIÓN

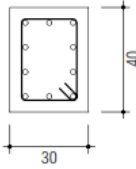
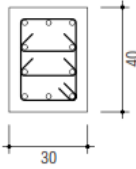
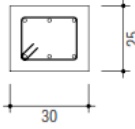
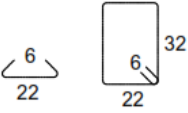


PLANTA DE CIMENTACION – PALACIO MUNICIPAL CAYNA



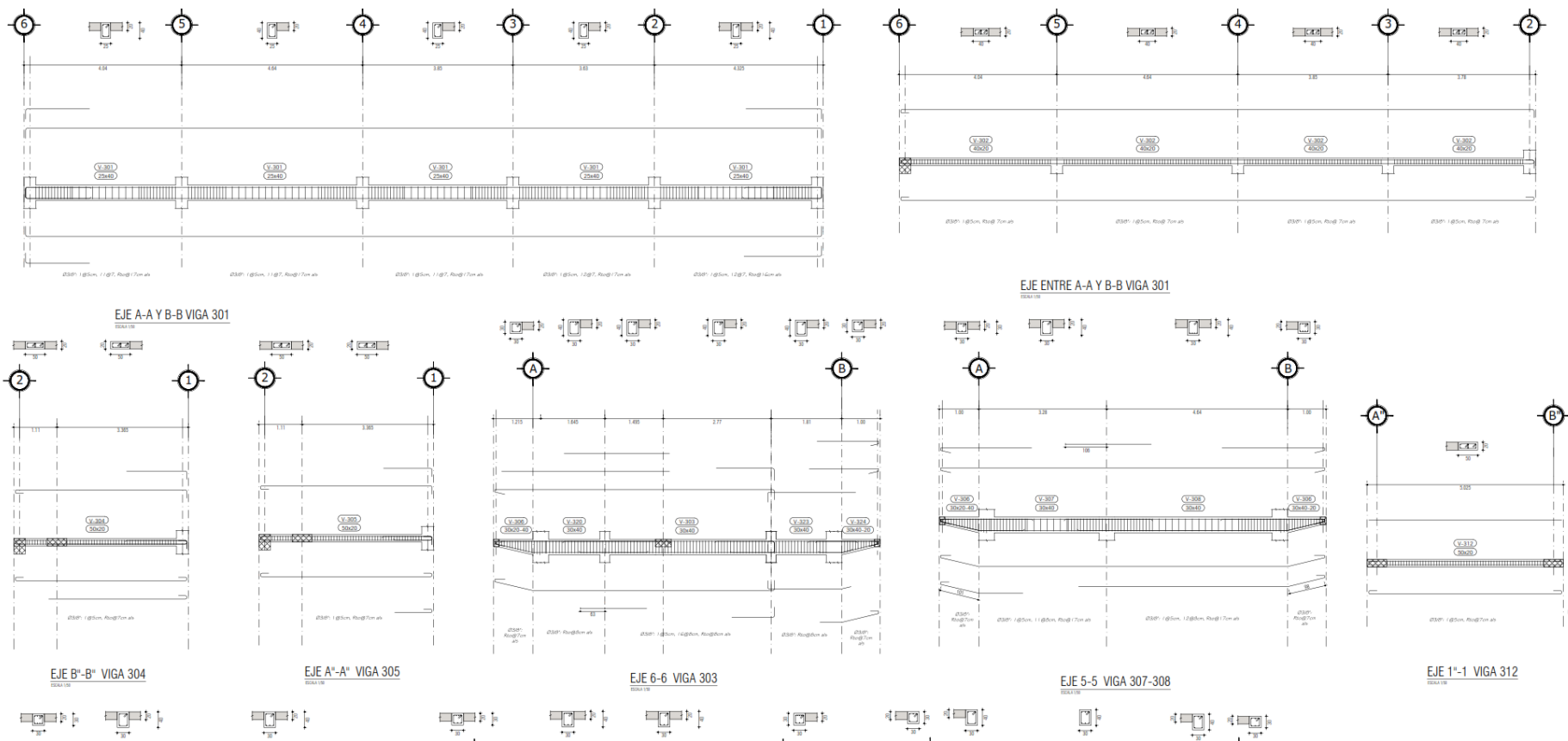
ANEXO 4

CUADRO DE COLUMNAS

CUADRO DE COLUMNA				
NIVEL	TIPO	C-1	C-2	C-3
1ER A 4TO PISO	GEOMETRIA			
	BxT	Sección Rectangular (0.40 x 0.30)	Sección Rectangular (0.40 x 0.30)	Sección Rectangular (0.30 x 0.25)
	REF. PRINCIPAL	10 Ø 3/4"	10 Ø 3/4"	6 Ø 1/2"
	REF. TRANSVERSAL			

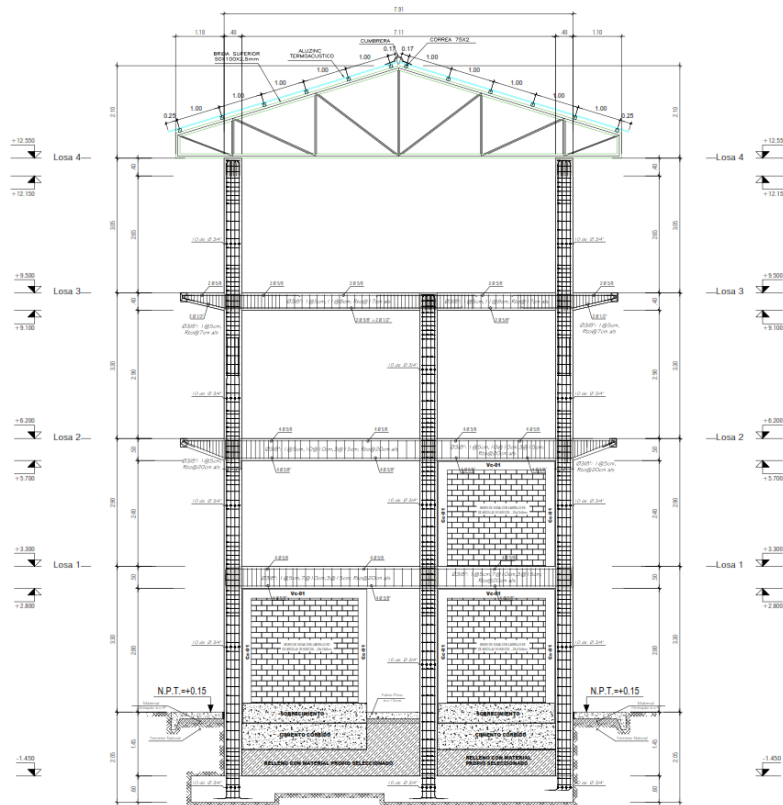
ANEXO 5

DETALLE DE VIGAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES

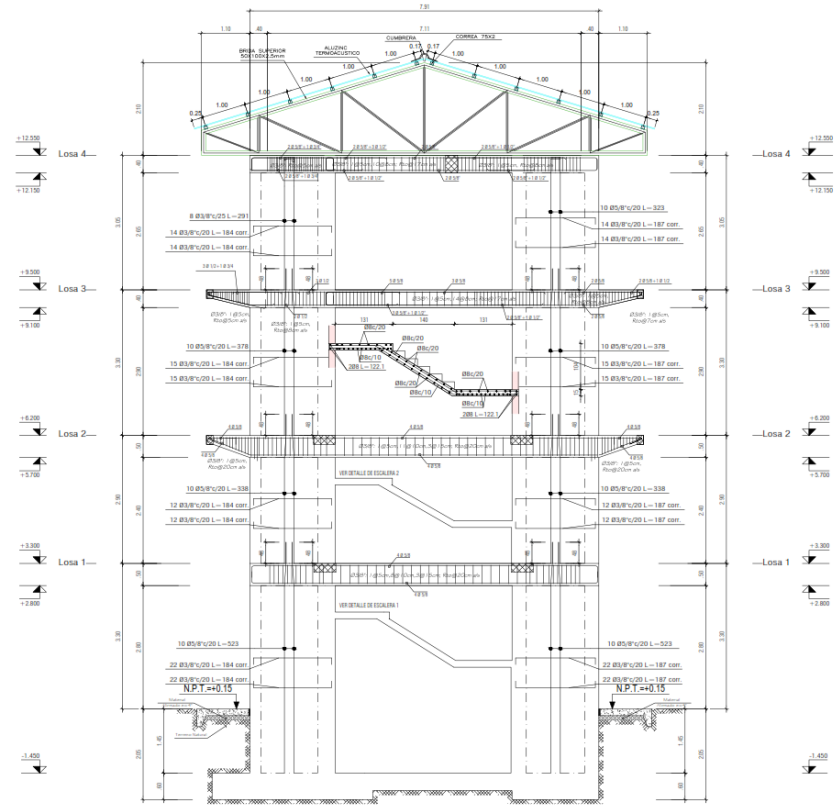


ANEXO 6

PÓRTICOS TRANSVERSALES



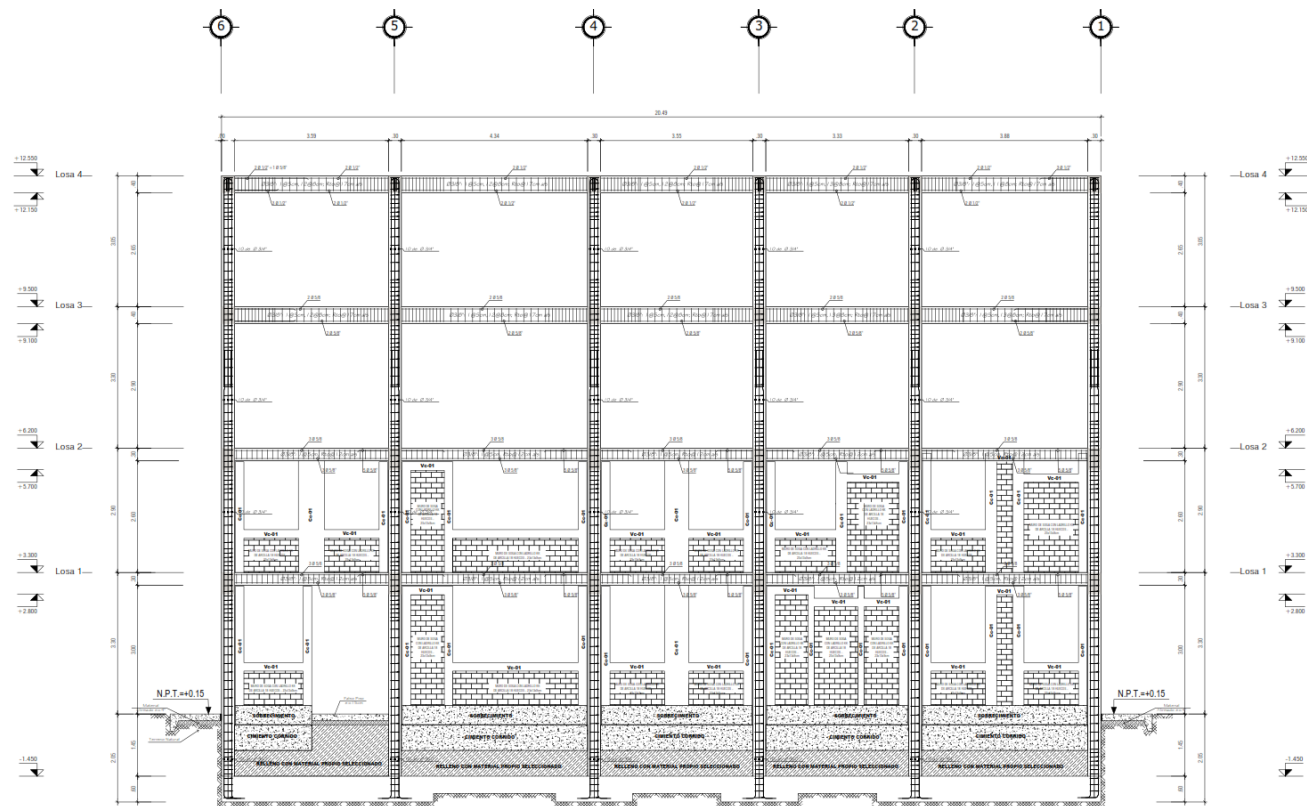
PÓRTEO ESTRUCTURAL EJE 5-5
EJE 5-5



PÓRTEO ESTRUCTURAL EJE 1-1
EJE 1-1

ANEXO 7

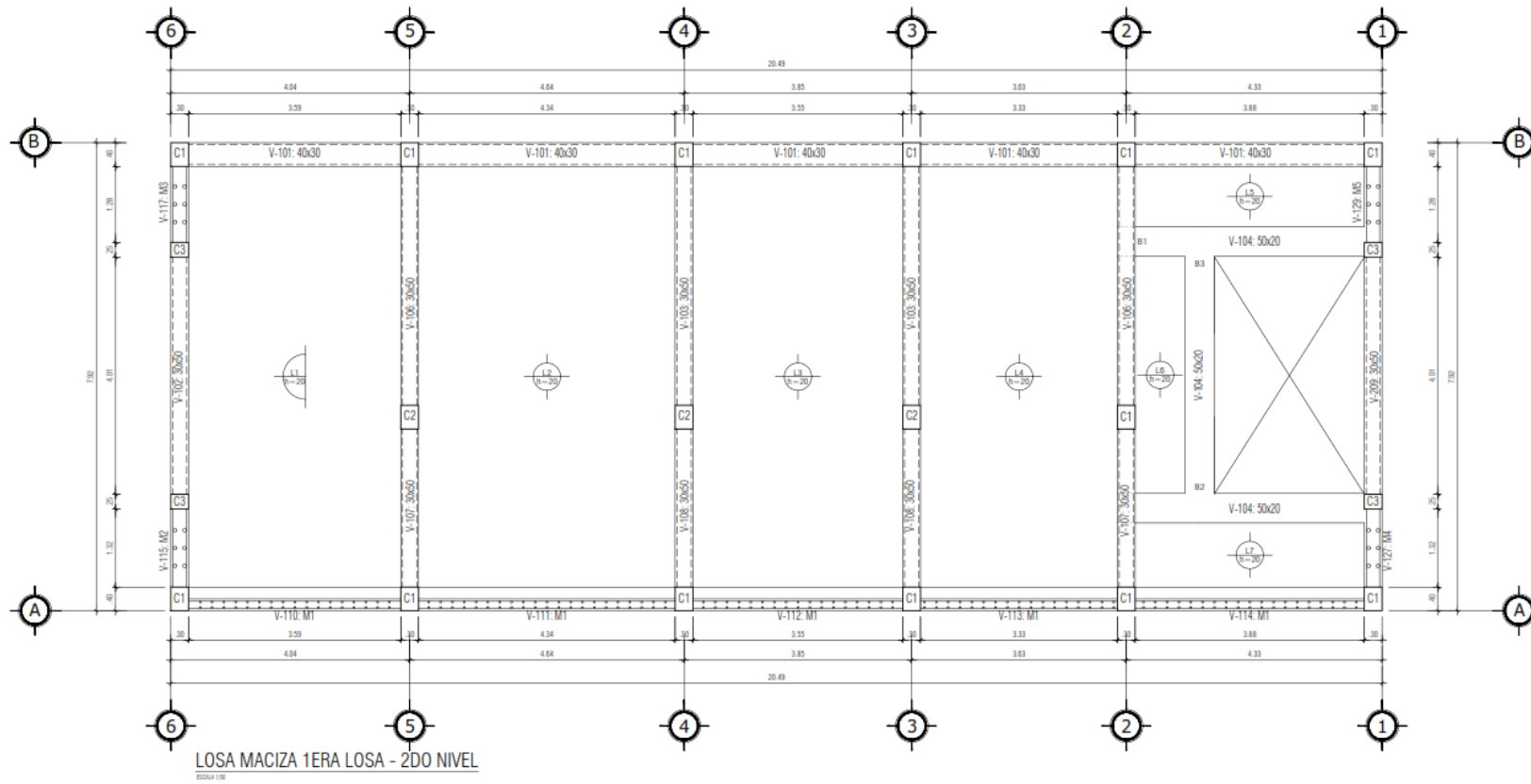
PÓRTICOS LONGITUDINALES



PÓRTICO ESTRUCTURAL EJE B-B
00001-10

ANEXO 8

DETALLE DE LA LOSA ALIGERADA



ANEXO 9

PROTOCOLOS DE ENSAYO DE PACOMETRÍA EN COLUMNAS

PROTOCOLOS DE ENSAYO DE PACOMETRÍA EN COLUMNAS

Escaneado con CamScanner

PROTOCOLOS DE ENSAYO DE PACOMETRÍA

Informe de ensayo de pacometría

Tesis: Desempeño estructural para establecer el grado de vulnerabilidad sísmica del palacio municipal de Cayna – Ambo – Huánuco – 2024.

Fecha: 10/04/2025

Ubicación: Columna C1 – Eje 1-1 entre A-A.

Instrumento: Pacómetro marca Hilti PS 300

Objetivo:

Determinar la ubicación y diámetro aproximado de las armaduras, así como el espesor del recubrimiento de concreto.

Procedimiento:

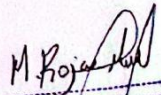
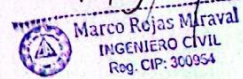
Se realizó un escaneo superficial sobre la columna C1 utilizando el pacómetro. Se marcaron previamente las zonas de medición y se registraron las distancias entre barras, recubrimientos y diámetros estimados.

Resultados:

- Diámetro estimado de armaduras longitudinales: Ø19 mm
- Recubrimiento promedio: 40 mm
- Separación entre barras X: 110 mm
- Separación entre barras Y: 106 mm
- Presencia de estribos cada 100 mm

Conclusión:

Los resultados coinciden con lo establecido en los planos estructurales del proyecto original. El recubrimiento se encuentra dentro del rango normativo.



Marco Rojas Miraval
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP: 300954

PROTOCOLOS DE ENSAYO DE PACOMETRÍA

Informe de ensayo de pacometría

Tesis: Desempeño estructural para establecer el grado de vulnerabilidad sísmica del palacio municipal de Cayna – Ambo – Huánuco – 2024.

Fecha: 10/04/2025

Ubicación: Columna C1 – Eje 1-1 entre B-B.

Instrumento: Pacómetro marca Hilti PS 300

Objetivo:

Determinar la ubicación y diámetro aproximado de las armaduras, así como el espesor del recubrimiento de concreto.

Procedimiento:

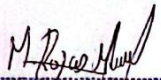
Se realizó un escaneo superficial sobre la columna C1 utilizando el pacómetro. Se marcaron previamente las zonas de medición y se registraron las distancias entre barras, recubrimientos y diámetros estimados.

Resultados:

- Diámetro estimado de armaduras longitudinales: Ø19 mm
- Recubrimiento promedio: 40 mm
- Separación entre barras X: 110 mm
- Separación entre barras Y: 106 mm
- Presencia de estribos cada 100 mm

Conclusión:

Los resultados coinciden con lo establecido en los planos estructurales del proyecto original. El recubrimiento se encuentra dentro del rango normativo



Marco Rojas Miraval
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP: 300951

PROTOCOLOS DE ENSAYO DE PACOMETRÍA

Informe de ensayo de pacometría

Tesis: Desempeño estructural para establecer el grado de vulnerabilidad sísmica del palacio municipal de Cayna – Ambo – Huánuco – 2024.

Fecha: 10/04/2025

Ubicación: Columna C1 – Eje 2-2 entre A'-A'.

Instrumento: Pacómetro marca Hilti PS 300

Objetivo:

Determinar la ubicación y diámetro aproximado de las armaduras, así como el espesor del recubrimiento de concreto.

Procedimiento:

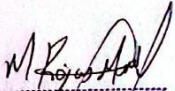
Se realizó un escaneo superficial sobre la columna C1 utilizando el pacómetro. Se marcaron previamente las zonas de medición y se registraron las distancias entre barras, recubrimientos y diámetros estimados.

Resultados:

- Diámetro estimado de armaduras longitudinales: Ø19 mm
- Recubrimiento promedio: 40 mm
- Separación entre barras X: 110 mm
- Separación entre barras Y: 106 mm
- Presencia de estribos cada 100 mm

Conclusión:

Los resultados coinciden con lo establecido en los planos estructurales del proyecto original. El recubrimiento se encuentra dentro del rango normativo


 Marco Rojas Miraval
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP: 300954

PROTOCOLOS DE ENSAYO DE PACOMETRÍA

Informe de ensayo de pacometría

Tesis: Desempeño estructural para establecer el grado de vulnerabilidad sísmica del palacio municipal de Cayna – Ambo – Huánuco – 2024.

Fecha: 10/04/2025

Ubicación: Columna C1 – Eje 2-2 entre B-B.

Instrumento: Pacómetro marca Hilti PS 300

Objetivo:

Determinar la ubicación y diámetro aproximado de las armaduras, así como el espesor del recubrimiento de concreto.

Procedimiento:

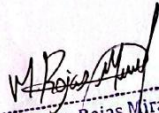
Se realizó un escaneo superficial sobre la columna C1 utilizando el pacómetro. Se marcaron previamente las zonas de medición y se registraron las distancias entre barras, recubrimientos y diámetros estimados.

Resultados:

- Diámetro estimado de armaduras longitudinales: Ø19 mm
- Recubrimiento promedio: 40 mm
- Separación entre barras X: 110 mm
- Separación entre barras Y: 106 mm
- Presencia de estribos cada 100 mm

Conclusión:

Los resultados coinciden con lo establecido en los planos estructurales del proyecto original. El recubrimiento se encuentra dentro del rango normativo



Marco Rojas Miraval
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP: 300954

PROTOCOLOS DE ENSAYO DE PACOMETRÍA

Informe de ensayo de pacometría

Tesis: Desempeño estructural para establecer el grado de vulnerabilidad sísmica del palacio municipal de Cayna – Ambo – Huánuco – 2024.

Fecha: 10/04/2025

Ubicación: Columna C2 – Eje 3-3 entre A'-A'.

Instrumento: Pacómetro marca Hilti PS 300

Objetivo:

Determinar la ubicación y diámetro aproximado de las armaduras, así como el espesor del recubrimiento de concreto.

Procedimiento:

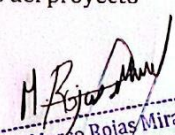
Se realizó un escaneo superficial sobre la columna C2 utilizando el pacómetro. Se marcaron previamente las zonas de medición y se registraron las distancias entre barras, recubrimientos y diámetros estimados.

Resultados:

- Diámetro estimado de armaduras longitudinales: Ø19 mm
- Recubrimiento promedio: 40 mm
- Separación entre barras X: 110 mm
- Separación entre barras Y: 106 mm
- Presencia de estribos cada 100 mm

Conclusión:

Los resultados coinciden con lo establecido en los planos estructurales del proyecto original. El recubrimiento se encuentra dentro del rango normativo



Marco Rojas Miraval
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP: 300954

PROTOCOLOS DE ENSAYO DE PACOMETRÍA

Informe de ensayo de pacometría

Tesis: Desempeño estructural para establecer el grado de vulnerabilidad sísmica del palacio municipal de Cayna – Ambo – Huánuco – 2024.

Fecha: 10/04/2025

Ubicación: Columna C1 – Eje 3-3 entre B-B.

Instrumento: Pacómetro marca Hilti PS 300

Objetivo:

Determinar la ubicación y diámetro aproximado de las armaduras, así como el espesor del recubrimiento de concreto.

Procedimiento:

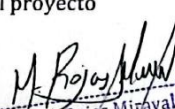
Se realizó un escaneo superficial sobre la columna C1 utilizando el pacómetro. Se marcaron previamente las zonas de medición y se registraron las distancias entre barras, recubrimientos y diámetros estimados.

Resultados:

- Diámetro estimado de armaduras longitudinales: Ø19 mm
- Recubrimiento promedio: 40 mm
- Separación entre barras X: 110 mm
- Separación entre barras Y: 106 mm
- Presencia de estribos cada 100 mm

Conclusión:

Los resultados coinciden con lo establecido en los planos estructurales del proyecto original. El recubrimiento se encuentra dentro del rango normativo


 Marco Rojas Miraval
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP: 300954

PROTOCOLOS DE ENSAYO DE PACOMETRÍA

Informe de ensayo de pacometría

Tesis: Desempeño estructural para establecer el grado de vulnerabilidad sísmica del palacio municipal de Cayna – Ambo – Huánuco – 2024.

Fecha: 10/04/2025

Ubicación: Columna C2 – Eje 4-4 entre A' - A'.

Instrumento: Pacómetro marca Hilti PS 300

Objetivo:

Determinar la ubicación y diámetro aproximado de las armaduras, así como el espesor del recubrimiento de concreto.

Procedimiento:

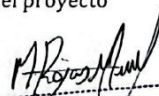
Se realizó un escaneo superficial sobre la columna C2 utilizando el pacómetro. Se marcaron previamente las zonas de medición y se registraron las distancias entre barras, recubrimientos y diámetros estimados.

Resultados:

- Diámetro estimado de armaduras longitudinales: $\varnothing 19$ mm
- Recubrimiento promedio: 40 mm
- Separación entre barras X: 110 mm
- Separación entre barras Y: 106 mm
- Presencia de estribos cada 100 mm

Conclusión:

Los resultados coinciden con lo establecido en los planos estructurales del proyecto original. El recubrimiento se encuentra dentro del rango normativo


 Marco Rojas Miraval
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP: 300954

PROTOCOLOS DE ENSAYO DE PACOMETRÍA

Informe de ensayo de pacometría

Tesis: Desempeño estructural para establecer el grado de vulnerabilidad sísmica del palacio municipal de Cayna – Ambo – Huánuco – 2024.

Fecha: 10/04/2025

Ubicación: Columna C1 – Eje 4-4 entre B-B.

Instrumento: Pacómetro marca Hilti PS 300

Objetivo:

Determinar la ubicación y diámetro aproximado de las armaduras, así como el espesor del recubrimiento de concreto.

Procedimiento:

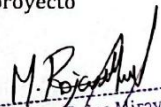
Se realizó un escaneo superficial sobre la columna C1 utilizando el pacómetro. Se marcaron previamente las zonas de medición y se registraron las distancias entre barras, recubrimientos y diámetros estimados.

Resultados:

- Diámetro estimado de armaduras longitudinales: Ø19 mm
- Recubrimiento promedio: 40 mm
- Separación entre barras X: 110 mm
- Separación entre barras Y: 106 mm
- Presencia de estribos cada 100 mm

Conclusión:

Los resultados coinciden con lo establecido en los planos estructurales del proyecto original. El recubrimiento se encuentra dentro del rango normativo


Marco Rojas Miraval
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP: 300954

PROTOCOLOS DE ENSAYO DE PACOMETRÍA

Informe de ensayo de pacometría

Tesis: Desempeño estructural para establecer el grado de vulnerabilidad sísmica del palacio municipal de Cayna – Ambo – Huánuco – 2024.

Fecha: 10/04/2025

Ubicación: Columna C2 – Eje 5-5 entre A'-A'.

Instrumento: Pacómetro marca Hilti PS 300

Objetivo:

Determinar la ubicación y diámetro aproximado de las armaduras, así como el espesor del recubrimiento de concreto.

Procedimiento:

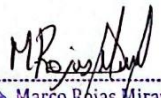
Se realizó un escaneo superficial sobre la columna C2 utilizando el pacómetro. Se marcaron previamente las zonas de medición y se registraron las distancias entre barras, recubrimientos y diámetros estimados.

Resultados:

- Diámetro estimado de armaduras longitudinales: Ø19 mm
- Recubrimiento promedio: 40 mm
- Separación entre barras X: 110 mm
- Separación entre barras Y: 106 mm
- Presencia de estribos cada 100 mm

Conclusión:

Los resultados coinciden con lo establecido en los planos estructurales del proyecto original. El recubrimiento se encuentra dentro del rango normativo



Marco Rojas Miraval
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP: 300954

PROTOCOLOS DE ENSAYO DE PACOMETRÍA

Informe de ensayo de pacometría

Tesis: Desempeño estructural para establecer el grado de vulnerabilidad sísmica del palacio municipal de Cayna – Ambo – Huánuco – 2024.

Fecha: 10/04/2025

Ubicación: Columna C1 – Eje 5-5 entre B-B.

Instrumento: Pacómetro marca Hilti PS 300

Objetivo:

Determinar la ubicación y diámetro aproximado de las armaduras, así como el espesor del recubrimiento de concreto.

Procedimiento:

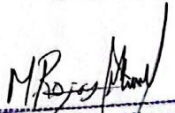
Se realizó un escaneo superficial sobre la columna C1 utilizando el pacómetro. Se marcaron previamente las zonas de medición y se registraron las distancias entre barras, recubrimientos y diámetros estimados.

Resultados:

- Diámetro estimado de armaduras longitudinales: $\varnothing 19$ mm
- Recubrimiento promedio: 40 mm
- Separación entre barras X: 110 mm
- Separación entre barras Y: 106 mm
- Presencia de estribos cada 100 mm

Conclusión:

Los resultados coinciden con lo establecido en los planos estructurales del proyecto original. El recubrimiento se encuentra dentro del rango normativo


 Marco Rojas Miraval
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP: 300954

PROTOCOLOS DE ENSAYO DE PACOMETRÍA

Informe de ensayo de pacometría

Tesis: Desempeño estructural para establecer el grado de vulnerabilidad sísmica del palacio municipal de Cayna – Ambo – Huánuco – 2024.

Fecha: 10/04/2025

Ubicación: Columna C3 – Eje 6-6 entre A'-A'.

Instrumento: Pacómetro marca Hilti PS 300

Objetivo:

Determinar la ubicación y diámetro aproximado de las armaduras, así como el espesor del recubrimiento de concreto.

Procedimiento:

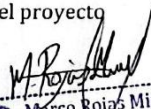
Se realizó un escaneo superficial sobre la columna C3 utilizando el pacómetro. Se marcaron previamente las zonas de medición y se registraron las distancias entre barras, recubrimientos y diámetros estimados.

Resultados:

- Diámetro estimado de armaduras longitudinales: Ø19 mm
- Recubrimiento promedio: 40 mm
- Separación entre barras X: 110 mm
- Separación entre barras Y: 106 mm
- Presencia de estribos cada 100 mm

Conclusión:

Los resultados coinciden con lo establecido en los planos estructurales del proyecto original. El recubrimiento se encuentra dentro del rango normativo



Marco Rojas Miraval
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP: 300354

PROTOCOLOS DE ENSAYO DE PACOMETRÍA

Informe de ensayo de pacometría

Tesis: Desempeño estructural para establecer el grado de vulnerabilidad sísmica del palacio municipal de Cayna – Ambo – Huánuco – 2024.

Fecha: 10/04/2025

Ubicación: Columna C1 – Eje 6-6 entre B-B.

Instrumento: Pacómetro marca Hilti PS 300

Objetivo:

Determinar la ubicación y diámetro aproximado de las armaduras, así como el espesor del recubrimiento de concreto.

Procedimiento:

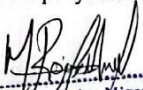
Se realizó un escaneo superficial sobre la columna C1 utilizando el pacómetro. Se marcaron previamente las zonas de medición y se registraron las distancias entre barras, recubrimientos y diámetros estimados.

Resultados:

- Diámetro estimado de armaduras longitudinales: Ø19 mm
- Recubrimiento promedio: 40 mm
- Separación entre barras X: 110 mm
- Separación entre barras Y: 106 mm
- Presencia de estribos cada 100 mm

Conclusión:

Los resultados coinciden con lo establecido en los planos estructurales del proyecto original. El recubrimiento se encuentra dentro del rango normativo



Marco Rojas Miraval
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP: 800954

PROTOSCOLOS DE ENSAYO DE PACOMETRÍA EN VIGAS PRINCIPALES

Escaneado con CamScanner

PROTOCOLOS DE ENSAYO DE PACOMETRÍA

Informe de ensayo de pacometría

Tesis: Desempeño estructural para establecer el grado de vulnerabilidad sísmica del palacio municipal de Cayna – Ambo – Huánuco – 2024.

Fecha: 10/04/2025

Ubicación: Vigas principales (VP) – Eje A-A y B-B, Eje B'-B', Eje 6-6, Eje 5-5, Eje 1'-1', Eje 2-2.

Instrumento: Pacómetro marca Hilti PS 300

Objetivo:

Determinar la ubicación y diámetro aproximado de las armaduras, así como el espesor del recubrimiento de concreto.

Procedimiento:

Se realizó un escaneo superficial sobre las vigas principales utilizando el pacómetro. Se marcaron previamente las zonas de medición y se registraron las distancias entre barras, recubrimientos y diámetros estimados.

Resultados:

- Diámetro estimado de armaduras longitudinales: Ø16 mm
- Recubrimiento promedio: 40 mm
- Separación entre barras X: 110 mm
- Presencia de estribos cada 150 mm

Conclusión:

Los resultados coinciden con lo establecido en los planos estructurales del proyecto original. El recubrimiento se encuentra dentro del rango normativo



Marco Rojas Miraval
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP: 300954

PROTOCOLOS DE ENSAYO DE PACOMETRÍA

Informe de ensayo de pacometría

Tesis: Desempeño estructural para establecer el grado de vulnerabilidad sísmica del palacio municipal de Cayna - Ambo - Huánuco - 2024.

Fecha: 10/04/2025

Ubicación: Vigas secundarias (VS) - Eje A-A y Eje B-B.

Instrumento: Pacómetro marca Hilti PS 300

Objetivo:

Determinar la ubicación y diámetro aproximado de las armaduras, así como el espesor del recubrimiento de concreto.

Procedimiento:

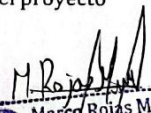
Se realizó un escaneo superficial sobre vigas secundarias utilizando el pacómetro. Se marcaron previamente las zonas de medición y se registraron las distancias entre barras, recubrimientos y diámetros estimados.

Resultados:

- Diámetro estimado de armaduras longitudinales: $\varnothing 13$ mm
- Recubrimiento promedio: 40 mm
- Separación entre barras X: 110 mm
- Presencia de estribos cada 150 mm

Conclusión:

Los resultados coinciden con lo establecido en los planos estructurales del proyecto original. El recubrimiento se encuentra dentro del rango normativo



Marco Rojas Miraval
INGENIERO CIVIL
Reg. CIR: 300954

ESCALOMETRÍA

DETERMINACIÓN DE LA UNIFORMIDAD DEL CONCRETO MEDIANTE EL ESCLEROMETRO										
NORMA: ASTM C 805 y N.T.F. 339.181 (B1)										
ESPECIMEN	LECTURA DE REBOTE					LECTURA DE REBOTE				
	CUADRICULA 1					CUADRICULA 2				
COLUMNA C-1	45	43	44	43	42	41	43	44	45	44
	45	44	43	43	42	41	44	45	44	45
COLUMNA C-2	44	46	45	45	47	46	46	45	44	44
	46	46	45	43	46	47	48	44	45	47
COLUMNA C-3	45	46	45	45	46	47	46	46	45	46
	44	46	44	44	46	47	44	45	45	45
COLUMNA C-4	45	46	45	46	46	45	46	45	46	45
	46	46	46	46	44	44	44	46	44	45
COLUMNA C-5	45	45	46	45	44	44	44	45	44	45
	46	44	46	46	46	46	45	45	45	45
COLUMNA C-6	45	46	45	45	47	45	45	44	44	44
	44	45	44	44	45	45	45	46	46	46
COLUMNA C-7	46	45	46	44	45	46	44	44	45	44
	46	44	46	45	46	46	48	47	45	47
COLUMNA C-8	45	44	46	46	47	46	45	44	46	46
	45	46	46	46	46	45	45	46	45	45
COLUMNA C-9	45	46	46	46	46	45	45	45	47	47
	46	46	46	46	45	46	45	46	47	46
COLUMNA C-10	46	46	47	46	44	46	47	48	47	46
	46	47	45	45	44	46	45	46	45	46
COLUMNA C-11	47	47	44	45	45	45	45	45	45	46
	45	47	45	44	46	45	45	46	45	46
COLUMNA C-12	45	46	46	43	46	45	46	46	46	42
	46	46	45	45	45	45	46	47	46	44
COLUMNA C-13	45	46	45	45	46	44	46	46	45	46
	46	46	46	45	46	46	46	46	44	46
COLUMNA C-14	46	46	46	45	46	46	46	46	44	45
	46	45	46	46	45	46	45	45	46	45
COLUMNA C-15	46	45	46	46	46	46	46	46	45	46
	44	46	46	43	45	46	45	45	46	46
COLUMNA C-16	46	46	45	46	44	47	45	45	46	46
	45	46	44	46	46	46	45	46	45	45
COLUMNA C-17	45	44	47	46	45	46	47	47	45	45
	45	46	46	46	45	46	47	47	45	45
COLUMNA C-18	46	44	45	46	46	46	47	46	45	45
	46	44	45	46	46	46	47	46	45	45

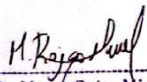


 M. Rojas Miraval

 INGENIERO CIVIL

 Reg. CIP. 30054

DETERMINACION DE LA UNIFORMIDAD DEL CONCRETO MEDIANTE EL ESCLEROMETRO									
NORMA: ASTM C 805 y N.T.P 339.181 (01)									
ESPECIMEN	LECTURA DE REBOTE								
	CUADRICULA 1					CUADRICULA 2			
LOSA 1/2	47	48	47	48	49	49	48	49	48
	46	47	48	48	49	48	48	47	47
	46	47	47	48	48	48	48	48	48
LOSA 1	47	48	48	48	45	49	47	48	48
	47	47	47	47	44	48	47	47	47
	48	46	46	46	48	47	47	48	48
LOSA 2/2	47	48	49	47	48	47	48	47	47
	49	48	48	47	47	48	47	48	48
	48	49	48	48	48	48	48	46	47
LOSA 2	48	49	47	47	47	49	48	48	47
	48	49	48	47	47	49	47	47	47
	49	48	48	47	46	48	48	47	48



 Marco Rojas Miraval
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP: 550.54

ANEXO 10

PANEL FOTOGRÁFICO

VISTA DEL PROCESO DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS - PACOMETRÍA Y ESCLEROMETRÍA



Nota: Determinación de la uniformidad del concreto, mediante el esclerómetro en secciones de columnas y vigas.



Nota: Determinación de la uniformidad del concreto, mediante el esclerómetro en secciones de columnas



Nota: Determinación de la ubicación y diámetro aproximado de varillas de refuerzo, mediante pacometría en secciones de columnas.



Nota: Determinación de la ubicación y diámetro aproximado de varillas de refuerzo, mediante pacometría en secciones de columnas.



Nota: Determinación de la ubicación y diámetro aproximado de varillas de refuerzo, mediante pacometría en secciones de columnas.



Nota: Vista panorámica del Palacio Municipal del distrito de Cayna-Ambo-Huánuco.

Fuente: elaboración propia