

**UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

---

**“Optimización del espesor de junta sísmica para mitigar el efecto de columna corta en pórticos escolares tipo 780-pre, distrito de Amarilis - Huánuco - 2025”**

---

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

AUTOR: Pacci Mejía, Cristhoper Frank

ASESOR: Taboada Trujillo, William Paolo

HUÁNUCO – PERÚ

2026



# U

### TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACION:

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

**LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:** Gestión de la regulación Contable.

**AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)**

### CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

**Área:**

**Sub área:**

**Disciplina:**

### DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título Profesional de Ingeniero Civil

Código del Programa: P12

Tipo de Financiamiento:

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

### DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 71253297

### DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 40847625

Grado/Título: Maestro en medio ambiente y desarrollo sostenible, mención en gestión ambiental.

Código ORCID: 0000-0002-4594-1491

### DATOS DE LOS JURADOS:

N°	APELLIDOS Y 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	Valdivieso Echevarría, Martín César	Maestro en Gestión Pública	22416570	0000-0002-0579-5135
3	Jara Trujillo, Alberto Carlos	Maestro en ingeniería, con mención en gestión ambiental y desarrollo sostenible	41891649	0000-0001-8392-1769

# D

# H



**UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO**  
*Facultad de Ingeniería*

**PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL**

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

En la ciudad de Huánuco, siendo las 15:00 horas del día jueves 30 de abril de 2026, 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:

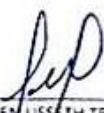
- |  |            |
|--|------------|
| ◆ MG. YELEN LISSETH TRUJILLO ARIZA       | PRESIDENTE |
| ◆ MG. MARTIN CESAR VALDIVIESO ECHEVARRIA | SECRETARIO |
| ◆ MG. ALBERTO CARLOS JARA TRUJILLO       | VOCAL      |


Nombrados mediante la RESOLUCIÓN No 0642-2026-D-FI-UDH, para evaluar la Tesis intitulada: "OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE JUNTA SÍSMICA PARA MITIGAR EL EFECTO DE COLUMNA CORTA EN PÓRTICOS ESCOLARES TIPO 780-PRE, DISTRITO DE AMARILIS - HUÁNUCO - 2025", presentado por el (la) Bachiller. Bach: Cristhoper Frank PACCI MEJIA, 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 *15* y cualitativo de *Bueno* (Art. 47).

Siendo las *16:30* horas del día 30 del mes de abril del año 2026, 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. MARTIN CESAR VALDIVIESO ECHEVARRIA  
DNI: 22416570  
ORCID: 0000 0002 0579 5135  
**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: CRISTHOPER FRANK PACCI MEJÍA, de la investigación titulada "OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE JUNTA SÍSMICA PARA MITIGAR EL EFECTO DE COLUMNA CORTA EN PÓRTICOS ESCOLARES TIPO 780-PRE, DISTRITO DE AMARILIS - HUÁNUCO - 2025", con asesor(a) WILLIAM PAOLO TABOADA TRUJILLO, designado(a) mediante documento: RESOLUCIÓN N° 1709-2023-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA CIVIL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 5 % 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, 19 de diciembre 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

## 137. Pacci Mejía, Cristhoper Frank.docx

### INFORME DE ORIGINALIDAD



### FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	1%
2	<a href="https://distancia.udh.edu.pe">distancia.udh.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
3	<a href="https://repositorio.unc.edu.pe">repositorio.unc.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
4	Ramirez Garcia, Pamela Del Rocío. "Evaluación experimental de una propuesta de reforzamiento estructural para las edificaciones escolares construidas antes de 1997, Peru", Pontificia Universidad Católica del Perú - CENTRUM Católica (Peru), 2021 Publicación	<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**

A Dios, por ser mi guía y fortaleza en cada paso de este camino. Por darme la sabiduría, la paciencia y la perseverancia necesarias para alcanzar mis metas, incluso en los momentos más difíciles.

A mi familia, por su amor incondicional, por creer siempre en mí y brindarme su apoyo constante. A mis padres, por sus sacrificios, consejos y ejemplo de esfuerzo y dedicación; a mis hermanos, por su compañía y palabras de aliento.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco profundamente a Dios, por permitirme alcanzar esta meta y por su presencia constante en cada momento de mi vida académica y personal.

A mi familia, por su motivación, confianza y apoyo inquebrantable durante todo el proceso de elaboración de esta tesis. Su ejemplo y dedicación han sido una fuente continua de inspiración.

Expreso asimismo mi reconocimiento a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por su valiosa orientación, compromiso y aporte a mi formación académica.

Finalmente, extendiendo mi agradecimiento a todas las personas e instituciones que, de manera directa o indirecta, contribuyeron al desarrollo y culminación de este trabajo de investigación.

# ÍNDICE

DEDICATORIA .....	II
AGRADECIMIENTO .....	III
ÍNDICE.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS .....	X
RESUMEN .....	XII
ABSTRACT.....	XIII
INTRODUCCION .....	XIV
CAPÍTULO I.....	15
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	15
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	15
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	16
1.2.1. PROBLEMA GENERAL.....	16
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS .....	16
1.3. OBJETIVOS.....	16
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	16
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	17
1.4.1. JUSTIFICACIÓN PRACTICA .....	17
1.4.2. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA.....	17
1.4.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA .....	17
1.5. LIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	18
1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
CAPÍTULO II.....	20
MARCO TEÓRICO .....	20
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	20
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	20
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES .....	20
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES.....	21
2.2. BASES TEÓRICAS .....	22
2.2.1. EFECTO DE COLUMNA CORTA.....	22

2.2.2. INTERACCIÓN TABIQUE–PÓRTICO .....	22
2.2.3. REFORZAMIENTO INCREMENTAL TIPO 780-PRE .....	23
2.2.4. PROPUESTA DEL ESPESOR DE JUNTA SÍSMICA .....	31
2.2.5. MODELACIÓN ESTRUCTURAL NUMÉRICA .....	34
2.2.6. MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS (FEM).....	35
2.2.7. SOFTWARE DIANA FEM.....	35
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES .....	35
2.4. HIPÓTESIS.....	38
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL .....	38
2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.....	38
2.5. VARIABLES.....	38
2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE.....	38
2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE .....	38
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	39
CAPITULO III.....	40
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	40
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	40
3.1.1. ENFOQUE.....	40
3.1.2. ALCANCE O NIVEL .....	40
3.1.3. DISEÑO.....	40
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA .....	41
3.2.1. POBLACIÓN.....	41
3.2.2. MUESTRA .....	41
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS ..	42
3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS .....	42
3.3.2. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS .....	44
3.3.3. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	44
3.4. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	44
3.4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS.....	45
CAPITULO IV.....	52
RESULTADOS.....	52
4.1. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS....	52
CAPITULO V.....	61
DISCUSION DE RESULTADOS.....	61

5.1. CONTRASTACIÓN DE RESULTADOS .....	61
CONCLUSIONES .....	64
RECOMENDACIONES.....	65
BIBLIOGRAFIA.....	66
ANEXOS.....	69

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de Variables.....	39
Tabla 2 Resumen de los instrumentos de recolección de datos.....	42
Tabla 3 Resumen de los instrumentos de recolección de datos.....	43
Tabla 4 Censo de Infraestructura Educativa - PRONIED .....	49
Tabla 5 Relaciones cuantificables entre el espesor de junta sísmica e indicadores.....	55
Tabla 6 Puntuaciones para la calibración .....	59
Tabla 7 Evaluación del espesor de junta sísmica en función del desplazamiento relativo máximo.....	60

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Desempeño de un edificio durante un sismo .....	23
Figura 2 Selección del desempeño sísmico esperado .....	24
Figura 3 Esquemas estructurales de reforzamiento.....	25
Esquemas estructurales de reforzamiento.....	25
Figura 4 Tejido de reforzamientos del ensayo del pórtico 780-PRE .....	25
Figura 5 Tejido de reforzamientos del ensayo del pórtico 780-PRE .....	26
Figura 6 Vista final del pórtico 780-PRE .....	26
Figura 7 Vista en planta de la realización del ensayo del pórtico 780-PRE ..	26
Figura 8 Vista en elevación de la realización del ensayo del pórtico 780-PRE. .....	27
Figura 9 Vista en planta del módulo 780-PRE .....	28
Figura 10 Pórtico del módulo 780-PRE. Elevación fronta .....	28
Figura 11 Vista en elevación del ensayo del pórtico 780-PRE .....	29
Figura 12 Protocolo de desplazamientos para el ensayo del pórtico 780-PRE .....	29
Figura 13 Curva histerética del espécimen 780-PRE .....	30
Figura 14 Deriva máxima de entrepiso .....	32
Figura 15 Comportamiento de la columna corta .....	32
Figura 16 Diagrama de cuerpo libre de la columna corta .....	33
Figura 17 (a) Edificio de albañilería, (b) Modelo computacional .....	33
Figura 18 Construcción de la cimentación y columnas en el software DIANA FEA.....	46
Figura 19 Construcción de columnetas, viguetas y vigas en el software DIANA FEA.....	46
Figura 20 Construcción del muro de albañilería en el software DIANA FEA	47
Figura 21 Construcción del refuerzo en columnas y vigas en el software DIANA FEA.....	47
Figura 22 Construcción del refuerzo en columnas y vigas en el software DIANA FEA.....	48
Figura 23 Curva esfuerzo – deformación del concreto de 21 MPa .....	50
Figura 24 Curva esfuerzo – deformación del acero de refuerzo grado 60 ....	50
Figura 25 Calibración de la respuesta histerética del espécimen 780-PR ....	52

Figura 26 Modelo del pórtico tipo 780-PRE .....	53
Figura 27 Ubicación de nodos en la unión columneta - columna.....	53
Figura 28 Desplazamiento máximo en la unión columneta - columna.....	54
Figura 29 Simulación del efecto de la columna corta.....	55
Figura 30 Comportamiento histerética del pórtico 780-PRE .....	56
Figura 31 Escalamiento para el sismo de Chile – Maule (2010).....	57
Figura 32 Escalamiento para el sismo de Perú – Moquegua (2001) .....	58
Figura 33 Escalamiento para el sismo de Perú – Ica (2007) .....	58
Figura 34 Historia de desplazamientos entre columnetas y columnas .....	59

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1 Vista de frontal de la I.E Julio Armando Ruiz Vasquez.....	72
Fotografía 2 Vista de frontal del pabellon 4, se aprecia el modelo de portico escolar tipo 780-PRE, estandarizado con un modelo repetitivo.....	73
Fotografía 3 Vista de un aula escolar, el muro se encuentra confinado entre columnas y vigas de concreto armado, los vanos de ventana se ubican en la parte superior del muro, lo que puede generar el efecto de columna corta si no se cuenta con juntas sismicas adecuadas.....	74
Fotografía 4 Vista interna del aula escolar del cuarto grado de primaria. ....	75
Fotografía 5 Vista interna del aula, procedemos a realizar una inspeccion visual de como se encuentra la estructura para ver si presenta daños como fisuras, desprendimientos, deformaciones o indicios de deterioro que puedan comprometer el desempeño estructural del portico ante acciones sismicas. Asi mismo se verifica el vano alto de ventana y su interaccion con los elementos de concreto armado, debido a su incidencia en el efecto de columna corta.	76
Fotografía 6 Vista interna del aula, procedemos a recopilar datos, realizando la medicion del portico con ayuda de un flexometro, tanto de columnas, vigas y muros.....	77
Fotografía 7 Vista frontal de la I.E Cesar Vallejo.....	78
Fotografía 8 Vista frontal, podemos apreciar el pabellon “A” del I.E Cesar Vallejo, los porticos estan construidos según el prototipo 780-PRE. ....	79
Fotografía 9 Vista de un aula escolar, el muro se encuentra confinado entre columnas y vigas de concreto armado, los vanos de ventana se ubican en la parte superior del muro, lo que puede generar el efecto de columna corta si no se cuenta con juntas sismicas adecuada.....	80
Fotografía 10 Se puede apreciar la vista interna del aula del tercer grado de secundaria.....	81
Fotografía 11 Empezamos a realizar la inspeccion visual del portico para ver en que situacion se encuentra, a su vez procedemos a obtener las mediciones correspondientes; cabe resaltar que hay una diferencia con las demas instituciones respecto a los vanos altos ya que las ventanas tienen una altura de 50cm.....	82
Fotografía 12 Vista Frontal de la I.E Jose Carlos Mariategui.....	83

Fotografía 13 Vista del segundo nivel del pabellon A, se aprecia como esta conformado el portico con el prototipo 780-PRE.....	84
Fotografía 14 Vista interna del aula del cuarto grado se secundaria, se aprecia como esta conformado el portico con el prototipo 780-PRE, procedemos a obtener las medidas del correspondientes del portico. ....	85
Fotografía 15 En la figura se aprecia el vano superior de ventana ubicado en el aula, el cual presenta una altura y configuración similar a la observada en la primera edificación inspeccionada (I.E Julio Armando Ruiz Vásquez).....	86

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como propósito determinar, mediante simulaciones numéricas, el espesor adecuado de la junta sísmica que permita reducir el efecto de columna corta en pórticos escolares tipo 780-PRE ubicados en el distrito de Amarilis, Huánuco, para el año 2025. Para ello se empleó un diseño Cuasi-experimental, en el cual se modificó el espesor de la junta sísmica en diversos modelos computacionales construidos a partir de las características estructurales reales del sistema 780-PRE. Con este procedimiento se analizaron las variaciones en el comportamiento sísmico utilizando el software DIANA FEM como herramienta principal. Los resultados obtenidos permitieron identificar el espesor de junta sísmica más adecuado para mitigar el efecto de columna corta en estos pórticos escolares, que es equivalente a 1/2" (10.25 mm). La conclusión más resaltante estuvo basada en simular el efecto de columna corta ante excitaciones sísmicas, estas fueron Maule Chile (2010), Moquegua Perú (2001) e Ica Perú (2007), todos ellos escalados al espectro elástico concordante al artículo 30 del RNE E.030, (2018), luego de evaluar los desplazamientos de la columna estructural y la columneta se demuestra, mediante simulación numérica, para las condiciones sísmicas del distrito de Amarilis ( $Z=0.25g$ ), que el desplazamiento relativo máximo entre la columneta y la columna es de 10.25 mm. Por lo tanto, se establece que el espesor óptimo de junta sísmica debe ser superior a este valor, recomendándose un espesor constructivo de 1/2" (12.70 mm) para mitigar el efecto de columna corta.

**Palabras Clave:** Espesor de junta sísmica, columna corta, pórtico 780-PRE, mitigar, modelo numérico.

## ABSTRACT

This research aimed to determine, through numerical simulation, the optimal seismic joint thickness to minimize the short column effect in 780-PRE type school frames in the Amarilis district, Huánuco, 2025. This was achieved using a quasi-experimental design, as the seismic joint thickness was modified in computational models built from real structural characteristics. The objective was to observe the effects on the seismic behavior of 780-PRE type school frames, using DIANA FEM software as the main analysis tool. The results show that the optimal seismic joint thickness to minimize the short column effect in 780-PRE type school frames in the Amarilis district, Huánuco, 2025, is equivalent to 1/2" (10.25 mm). The most significant conclusion was based on simulating the short column effect under seismic excitations in Maule, Chile (2010), Moquegua, Peru (2001), and Ica, Peru (2001), all scaled to the elastic spectrum consistent with Article 30 of RNE E.030 (2018). After evaluating the displacements of the structural column and the column block, numerical simulations demonstrated, for the seismic conditions of the Amarilis district ( $Z=0.25g$ ), that the maximum relative displacement between the columns is 10.25 mm. Therefore, it was established that the optimal thickness of the seismic joint should be greater than this value, with a recommended construction thickness of 1/2" (12.70 mm) to mitigate the short column effect.

**Keywords:** Seismic joint thickness, short column, 780-PRE frame, mitigate, numerical model.

## INTRODUCCION

El espécimen conocido como pórtico 780-PRE representa a un amplio conjunto de edificaciones escolares construidas en el Perú desde la década de 1970 hasta la actualidad, según el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID). Este modelo fue elaborado para reproducir ensayos experimentales, tanto a escala real como reducida, con el propósito de analizar su comportamiento sísmico bajo condiciones no lineales, ya sea en pruebas estáticas, cíclicas o dinámicas. En el marco de la presente investigación, dicho pórtico se empleó específicamente para estudiar el fenómeno de columna corta y su relación directa con la variación del espesor de junta sísmica.

Los antecedentes internacionales evidencian que diversos autores han centrado sus estudios en el análisis del fenómeno de columna corta en estructuras aporticadas de concreto armado, empleando diferentes metodologías para evaluar su vulnerabilidad sísmica (Sánchez, 2020). En el ámbito nacional, Vásquez y Sánchez (2023) orientaron su investigación a examinar los efectos de la interacción entre tabiques y pórticos, así como del mecanismo de columna corta, con el propósito de plantear alternativas que mejoren el desempeño estructural de edificaciones existentes. No obstante, a nivel local aún no se registran trabajos que aborden específicamente esta problemática, por lo que se espera que el presente estudio constituya un esfuerzo pionero dentro del campo, sirviendo como punto de partida para futuras investigaciones en la temática.

Con base en lo anterior, se plantearon como objetivos tanto generales como específicos determinar, mediante análisis numérico, el espesor adecuado de la junta sísmica que permita reducir el efecto de columna corta en pórticos escolares tipo 780-PRE ubicados en el distrito de Amarilis. Asimismo, se buscó desarrollar un modelo numérico calibrado del pórtico 780-PRE que reproduzca con fidelidad la manifestación del efecto de columna corta bajo acciones sísmicas. Finalmente, se pretendió identificar el espesor o intervalo de espesores de junta sísmica que proporcione una respuesta estructural más favorable, atenuando dicho efecto conforme a criterios de desempeño sísmico.

# CAPÍTULO I

## PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En nuestro país, una gran cantidad de instituciones educativas fueron construidas bajo el modelo estructural estandarizado tipo 780-PRE, el cual data de las décadas previas a la implementación de normativas sísmicas modernas. Estas edificaciones, presentes también en el distrito de Amarilis – Huánuco, han sido identificadas por estudios técnicos como vulnerables ante eventos sísmicos, principalmente debido a configuraciones arquitectónicas que generan el efecto de columna corta.

El fenómeno de columna corta se presenta cuando tabiques, muros u otros elementos no estructurales se apoyan sobre parte de la altura libre de una columna, limitando su capacidad de deformación y provocando acumulaciones elevadas de esfuerzo cortante durante un sismo. Esta situación aumenta la probabilidad de daños graves o colapso, especialmente en escuelas, donde las repercusiones pueden ser tanto humanas como sociales.

Aunque el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) y otras entidades han planteado estrategias de reforzamiento incremental para aumentar la seguridad sísmica de estas edificaciones, no existe una guía técnica específica ni estudios que determinen el espesor óptimo de junta sísmica necesario para mitigar o eliminar el efecto de columna corta en pórticos escolares tipo 780-PRE. Asimismo, la falta de planos estructurales originales de muchas escuelas dificulta la intervención directa, lo que requiere construir modelos representativos mediante simulaciones numéricas basadas en observación in situ y normativa vigente.

Ante esta situación, se hace necesaria la realización de un estudio que permita establecer el espesor óptimo de la junta sísmica como parte del reforzamiento incremental, con el fin de reducir de manera efectiva el efecto de columna corta en pórticos escolares tipo 780-PRE y asegurar un mayor nivel de seguridad estructural.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. PROBLEMA GENERAL**

PG: ¿Cuál es el espesor óptimo de junta sísmica, obtenido por simulación numérica, que minimiza el efecto de columna corta en pórticos escolares tipo 780 PRE del distrito de Amarilis Huánuco - 2025?

### **1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

PE1: ¿Cómo desarrollar un modelo numérico válido del pórtico escolar tipo 780-PRE que simule con precisión el efecto de columna corta ante excitaciones sísmicas?

PE2: ¿De qué manera la variación del espesor de junta sísmica influye en los indicadores de respuesta estructural asociados al efecto de columna corta en el modelo del pórtico tipo 780-PRE?

PE3: ¿Cuál es el espesor o rango de espesores de junta sísmica que, según criterios de desempeño sísmico, optimiza la respuesta estructural minimizando el efecto de columna corta?

## **1.3. OBJETIVOS**

### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

OG: Determinar, mediante simulación numérica, el espesor óptimo de junta sísmica para minimizar el efecto de columna corta en pórticos escolares tipo 780-PRE del distrito de Amarilis, Huánuco, 2025.

### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

OE1: Desarrollar un modelo numérico validado del pórtico escolar tipo 780-PRE para simular con precisión el efecto de columna corta ante excitaciones sísmicas.

OE2: Evaluar la influencia de la variación del espesor de junta sísmica en los indicadores de respuesta estructural asociados al efecto de columna corta.

OE3: Identificar el espesor o rango de espesores de junta sísmica que optimiza la respuesta estructural, minimizando el efecto de columna corta, según criterios de desempeño sísmico.

## **1.4. JUSTIFICACIÓN**

### **1.4.1. JUSTIFICACIÓN PRACTICA**

En el caso del presente proyecto de tesis, el sistema estructural tipo 780-PRE fue la base en la ejecución de instituciones educativas en el Perú, especialmente durante las décadas de 1970 y 1980. Muchas de estas edificaciones continúan operando sin intervenciones significativas, a pesar de presentar vulnerabilidades estructurales que se manifiestan, principalmente, a través del efecto de columna corta, este fenómeno representa un riesgo considerable durante eventos sísmicos, comprometiendo la integridad de columnas y, por tanto, de toda la estructura. La presente investigación adquiere relevancia práctica al proponer el diseño del espesor adecuado de junta sísmica como estrategia de mitigación, la cual puede ser replicada en otras edificaciones similares a nivel nacional.

### **1.4.2. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA**

Definida como en el corte de brechas de conocimientos existentes que se busca minimizar, para ello es necesario mencionar que la teoría de la columna corta y la ausencia o mínima presencia de la junta sísmica presente en edificaciones educativas es continuamente estudiada y analizada por dos de las mejores universidades de nuestro país.

Diversas universidades y entidades estatales desarrollaron una propuesta orientada a incorporar medidas de reforzamiento incremental en las escuelas del tipo 780 edificadas antes de 1997 (CISMID, 2016). Asimismo, la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), en colaboración con el Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO), realizó el Estudio experimental de una técnica de reforzamiento para edificaciones existentes con problemas de columna corta (PUCP & SENCICO, 1999), dirigido a reducir los efectos vinculados a este tipo de falla en construcciones educativas. En coherencia con estas iniciativas, la presente investigación orienta su objetivo a determinar el espesor más adecuado de la junta sísmica.

### **1.4.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA**

Sustentado o basado en la simulación estructural computacional, lo cual permite analizar de forma precisa el comportamiento de modelos

estructurales sin requerir ensayos destructivos o intervención física en edificaciones reales. Se utiliza el software especializado DIANA Finite Element Analysis (DIANA FEA BV, 2021), que permite observar con alto nivel de detalle los efectos de variaciones en el espesor de junta sísmica sobre el comportamiento de pórticos tipo 780-PRE.

Por otro lado, se opta por la construcción de un modelo estructural representativo en lugar de realizar un análisis individualizado de cada institución educativa, debido a la falta de planos estructurales completos y a limitaciones logísticas de acceso. Esta decisión metodológica se basa en la observación directa, así con las recomendaciones del jurado evaluador. En conjunto, estas medidas permiten obtener resultados confiables, generalizables y defendibles dentro del contexto técnico actual.

### **1.5. LIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

Existen limitaciones relacionadas con la disponibilidad de información técnica, el acceso a edificaciones existentes y los recursos con los que se cuenta. Una de las principales restricciones previstas es la posible dificultad para obtener los planos estructurales y arquitectónicos originales de las instituciones educativas construidas bajo el sistema 780-PRE en el distrito de Amarilis. Dado que muchas de estas edificaciones fueron levantadas hace varias décadas, es probable que sus documentos técnicos no se encuentren digitalizados o disponibles para una consulta inmediata.

En caso no se cuente con estos documentos, se plantea como alternativa la construcción de un modelo estructural representativo, elaborado a partir de observación directa, criterios normativos vigentes y documentación técnica general sobre el sistema 780-PRE. Esta decisión metodológica permitiría continuar con el análisis sin comprometer la validez técnica del estudio. Asimismo, se anticipa que, por razones de tiempo, logística o permisos institucionales, no sea posible realizar un diagnóstico estructural detallado en cada una de las instituciones educativas identificadas. Por ello, el enfoque se centrará en el uso de un prototipo estructural generalizable, que represente las condiciones típicas del sistema estudiado, en lugar de analizar múltiples casos individualizados.

## **1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN**

Esta tesis resulta factible en los aspectos técnicos, metodológicos, logísticos y económicos, debido a que se plantea ejecutarla íntegramente en un entorno controlado mediante simulaciones estructurales, sin requerir la intervención directa en edificaciones existentes.

Desde la perspectiva técnica, se utilizará el software especializado DIANA FEA, una herramienta ampliamente reconocida a nivel internacional para el análisis estructural mediante el método de elementos finitos. Este programa permite representar con alto nivel de detalle el comportamiento de un pórtico tipo 780-PRE, analizar su respuesta ante diferentes configuraciones de junta sísmica y validar los resultados mediante simulaciones numéricas. Su uso facilita la ejecución del proyecto sin requerir ensayos destructivos ni la intervención directa en instituciones educativas. En cuanto a la viabilidad metodológica, la investigación se basa en un modelo estructural representativo construido a partir de observación directa, normativa técnica (RNE) y fuentes documentales especializadas. Este enfoque es coherente con los objetivos propuestos, ya que permite evaluar el efecto del espesor de la junta sísmica sin depender de la disponibilidad de planos completos o del acceso directo a múltiples instituciones. Desde el plano logístico y económico, el proyecto no requiere de un presupuesto elevado. Se prevé utilizar recursos de acceso personal o libre (como computadoras propias, conexión a internet y software educativo), además de realizar observaciones in situ puntuales dentro del distrito de Amarilis.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES**

Han et al. (2023) realizaron una tesis llamada: "Comportamiento y diseño de columnas cortas CFST octogonales de alta resistencia sometidas a compresión y flexión combinadas". evaluaron el desempeño estructural de columnas cortas octogonales conformadas por tubos de acero rellenos de concreto (CFST), construidas con acero de alta resistencia S690 y concreto C90, sometidas a la acción simultánea de compresión y flexión. La investigación comprendió ensayos experimentales aplicados a doce especímenes con distintas relaciones ancho-espesor, además de un análisis numérico desarrollado. Como resultado, los autores concluyeron que los métodos de diseño vigentes ofrecen estimaciones de resistencia conservadoras y pueden emplearse de forma segura en el diseño de este tipo de columnas.

Sánchez (2020), desarrolló una tesis con el propósito de analizar el efecto de columna corta en estructuras reticulares de concreto armado. Estas técnicas fueron utilizadas también para estimar primas de aseguramiento y posibles pérdidas económicas, el autor señala que el efecto de columna corta tiene una influencia significativa en el nivel de daño estructural ocasionado por eventos sísmicos. Los resultados indicaron que los cambios no previstos en la rigidez, provocados por elementos como los muros, aumentan considerablemente la vulnerabilidad estructural.

##### **2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES**

Vásquez & Sánchez (2023) desarrollaron el estudio con el propósito de analizar cómo la interacción entre los tabiques y los pórticos, junto con el fenómeno de columna corta, afectan la salud estructural, con el fin de plantear soluciones que permitan que la estructura permanezca estable ante un sismo de gran intensidad. Para el análisis se empleó ETABS v.20, evidenciándose que los muros interiores provocan concentraciones de esfuerzos en las columnas

cortas, incrementando su demanda estructural. Como medida de mejora, se recomendó desacoplar los tabiques de la superestructura y reforzar las columnas mediante encamisado, lo que permitió mejorar su comportamiento sísmico y reducir los desplazamientos a niveles aceptables.

Vega (2021), en su tesis analizó el impacto que tiene un inadecuado aislamiento de tabiques sobre el comportamiento sísmico de estructuras aporricadas. Para ello, se desarrollaron dos modelos estructurales de cinco niveles utilizando el software ETABS y uso el análisis dinámico. Los resultados mostraron que la falta de aislamiento adecuado produce una respuesta sísmica más crítica, incrementando de manera considerable la fuerza cortante basal, las derivas entre pisos y generando una marcada irregularidad torsional, condición no permitida en zonas de elevada peligrosidad sísmica. En consecuencia, se corroboró que los tabiques mal aislados afectan de forma severa el desempeño estructural de la edificación.

Cornejo (2019), El estudio tuvo como finalidad analizar el desempeño mecánico de una columna corta reforzada mediante bandas de polímero reforzado con fibras de carbono (CFRP) y con fibras de vidrio (GFRP), cuando es sometida a carga lateral cíclica. Para ello se construyeron tres especímenes representativos del comportamiento típico de una columna corta, los cuales fueron evaluados bajo un protocolo de carga lateral cíclica utilizando el actuador dinámico del Laboratorio de Estructuras de la PUCP. Los resultados evidenciaron que los elementos intervenidos con materiales compuestos FRP mostraron un aumento significativo en su resistencia frente a acciones laterales, confirmando la eficacia del reforzamiento con CFRP y GFRP en la mejora del desempeño estructural.

### **2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES**

Actualmente, no existen estudios previos relacionados con el efecto de columna corta en edificios escolares en ninguna de las universidades de nuestra región.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. EFECTO DE COLUMNA CORTA**

Es un fenómeno estructural que ocurre cuando una columna presenta una longitud efectiva menor que otras adyacentes, debido a obstrucciones parciales como muros, tabiques, ventanas o rampas. Esta configuración impide la libre deformación de la columna durante un sismo, concentrando esfuerzos cortantes que pueden desencadenar fallas prematuras y localizadas (Meli, 2003). En estructuras escolares peruanas, se generan por la mala disposición de tabiques no estructurales construidos sin separación adecuada respecto al pórtico estructural.

De acuerdo con el CISMID (2016), muchas edificaciones escolares tipo 780-PRE presentan muros interiores que generan discontinuidades en la rigidez de las columnas, lo que incrementa significativamente la vulnerabilidad sísmica de estas estructuras.

### **2.2.2. INTERACCIÓN TABIQUE–PÓRTICO**

La interacción tabique–pórtico ocurre cuando los tabiques (muros no estructurales) actúan de forma solidaria con los elementos estructurales como vigas y columnas. Aunque no están diseñados para resistir cargas, los tabiques modifican el comportamiento dinámico de la estructura al aumentar su rigidez local. Este efecto provoca concentraciones de esfuerzos no previstas, sobre todo en columnas parciales o de menor longitud libre, generando así el conocido efecto de columna corta (Flores, 2011). Este tipo de interacción es frecuente en edificaciones escolares, donde se construyen muros interiores sin considerar juntas sísmicas o separaciones estructurales adecuadas.

La junta sísmica es un espacio de separación entre elementos estructurales contiguos, diseñado para evitar colisiones entre bloques o componentes de una edificación durante un movimiento sísmico. Su correcta implementación permite el desplazamiento independiente de los elementos, evitando esfuerzos adicionales no previstos (Morán, 2014). En el caso de las edificaciones tipo 780-PRE, la presencia o ausencia de junta sísmica adecuada influye directamente en la aparición del efecto de columna corta.

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE, 2006), las juntas sísmicas deben ser diseñadas considerando la deriva sísmica esperada, la rigidez relativa entre bloques estructurales y la interacción con elementos no estructurales, como tabiques o muros divisorios.

### 2.2.3. REFORZAMIENTO INCREMENTAL TIPO 780-PRE

El reforzamiento estructural incremental es una estrategia de intervención progresiva que busca disminuir la vulnerabilidad de edificaciones existentes mediante acciones técnicamente factibles, seleccionadas en función de su efectividad y viabilidad. Esta metodología fue aplicada en investigaciones como la realizada por la PUCP y SENCICO (1999), donde se planteó desacoplar físicamente los tabiques de las columnas y reforzar las columnas cortas mediante encamisado, logrando una mejora notable en el desempeño estructural frente a sismos de intensidad moderada y alta.

#### 2.2.3.1. COMPORTAMIENTO DE UN EDIFICIO DURANTE UN SISMO

El convenio establecido entre varias universidades y entidades públicas, señala que el comportamiento sísmico de una edificación escolar depende del ratio entre la fuerza sísmica que actúa sobre la estructura y la deformación que esta experimenta durante un terremoto, tal como se observa a continuación:

**Figura 1**

*Desempeño de un edificio durante un sismo*



Nota. Fukuyama, 2019.

La selección del desempeño sísmico esperado consta de 4 etapas esperadas, las cuales se mencionan a continuación:

### 2.2.3.1.1. OPERATIVO

Se espera que la estructura se comporte dentro del rango lineal, sin presencia de fisuras y menos aún daños estructurales.

### 2.2.3.1.2. OCUPACIÓN INMEDIATA

Se espera que los elementos estructurales resistentes a fuerzas sísmicas incurran en el rango no lineal sin llegar al punto de deformaciones unitarias máximas.

### 2.2.3.1.3. SEGURIDAD DE VIDA

Es la etapa esperada bajo el sismo del diseño, la gran mayoría de elementos estructurales han sufrido daño sin embargo después del sismo es necesario una intervención.

### 2.2.3.1.4. PREVENCIÓN AL COLAPSO

Colapso inminente, todos los elementos estructurales han soportado las deformaciones y esfuerzos cercanos al colapso.

Figura 2

Selección del desempeño sísmico esperado



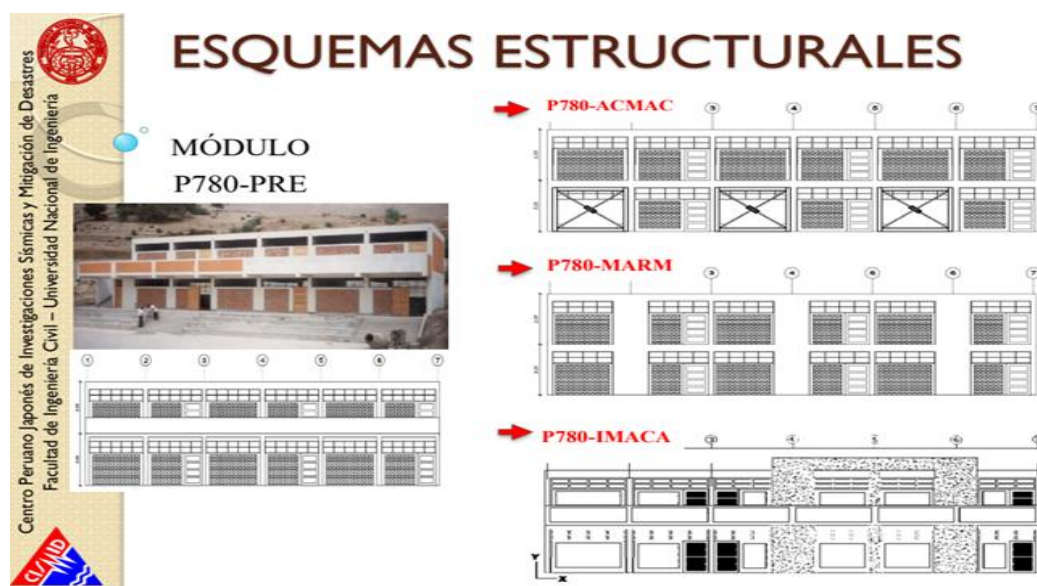
Nota. Selección del comportamiento sísmico (desempeño) esperado, 2016.

Se ensayaron un total de 4 módulos de pórticos representativos del módulo P780-PRE, como se muestra a continuación:

El primero representa al módulo P780-PRE sin ninguna intervención de reforzamiento, el segundo denominado (P780-ACMAC), le tercero (P780-MARM) y el cuarto denominado (P780-IMACA) representan al mismo pórtico, pero bajo algún tipo de intervención como por ejemplo arriostres, separación y aumento de la junta sísmica.

**Figura 3**

*Esquemas estructurales de reforzamiento*



*Nota.* CISMID, PUCP, SENCICO, & Ministerio de Educación. (2016).

#### **a) Resumen Ejecutivo**

La Sección 3.00 presenta los ensayos experimentales realizados sobre muestras representativas de las edificaciones escolares típicas 780-PRE y de sus tres modalidades de reforzamiento, con el fin de analizar y comparar su capacidad estructural. Para este propósito, se efectuaron siete ensayos estáticos cíclicos y dos pruebas dinámicas utilizando modelos a escala reducida. Asimismo, se llevaron a cabo pruebas estáticas cíclicas en una estructura real representativa del Formulario 780-PRE, evaluando cada uno de los refuerzos propuestos bajo cargas cíclicas que reproducen las acciones repetitivas de carga y descarga propias de un evento sísmico.

**Figura 4**

*Tejido de reforzamientos del ensayo del pórtico 780-PRE*



*Nota.* CISMID, PUCP, SENCICO, & Ministerio de Educación. (2016).

**Figura 5**

*Tejido de reforzamientos del ensayo del pórtico 780-PRE*



*Nota.* CISMID, PUCP, SENCICO, & Ministerio de Educación. (2016).

**Figura 6**

*Vista final del pórtico 780-PRE*



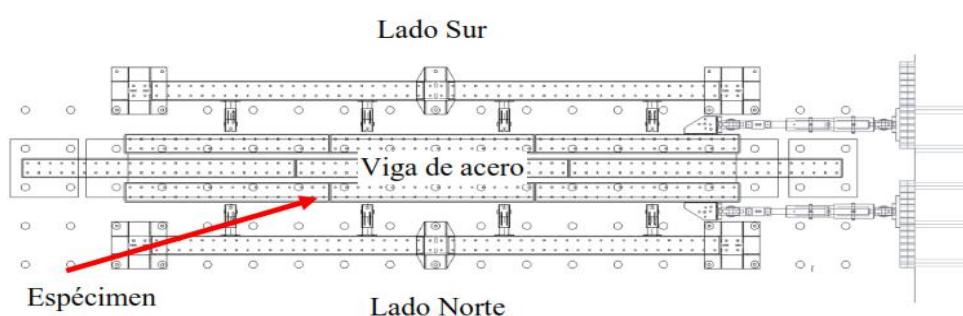
*Nota.* CISMID, PUCP, SENCICO, & Ministerio de Educación. (2016).

### **b) Ensayos Estáticos a Escala Natural**

Se ejecuta con el fin de evaluar el comportamiento estructural del pórtico representativo del módulo 780-PRE, tanto en su condición original como considerando cada uno de los reforzamientos propuestos, frente a cargas cíclicas que reproducen la acción sísmica (CISMID, 2016), la figura 7 manifiesta los elementos utilizados para ejecutar el ensayo.

**Figura 7**

*Vista en planta de la realización del ensayo del pórtico 780-PRE.*



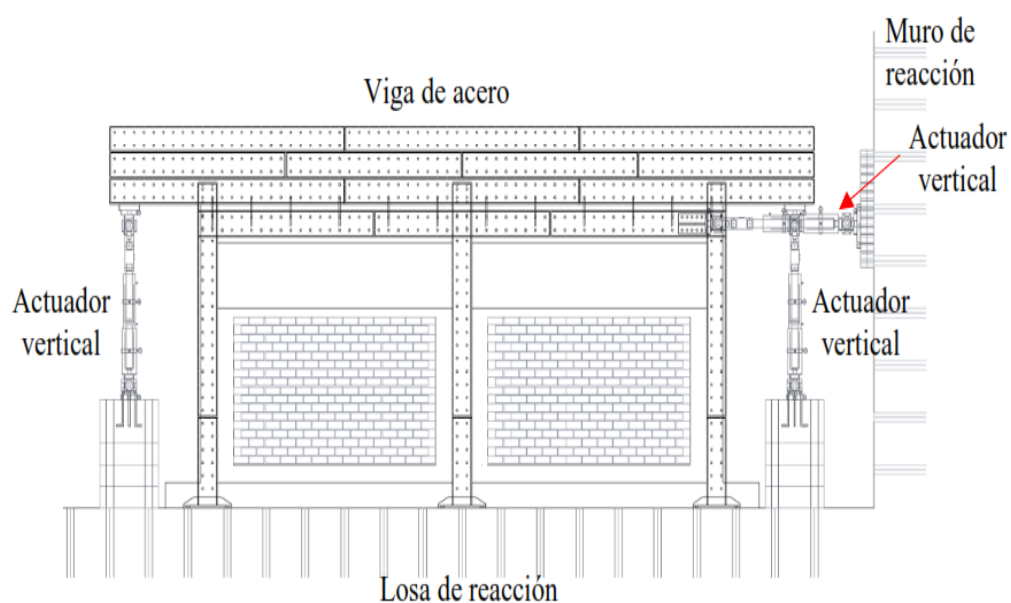
*Nota.* CISMID, PUCP, SENCICO, & Ministerio de Educación. (2016).

### c) Sistema de Aplicación de Carga.

Conformado por cuatro gatos hidráulicos de operación estática. Durante la ejecución del ensayo. Esta carga se aplica bajo control de carga, utilizando ambos gatos verticales para generar el esfuerzo requerido, el cual se distribuye horizontalmente a través de una viga de acero (CISMID, 2016).

**Figura 8**

*Vista en elevación de la realización del ensayo del pórtico 780-PRE.*



*Nota.* CISMID, PUCP, SENCICO, & Ministerio de Educación. (2016).

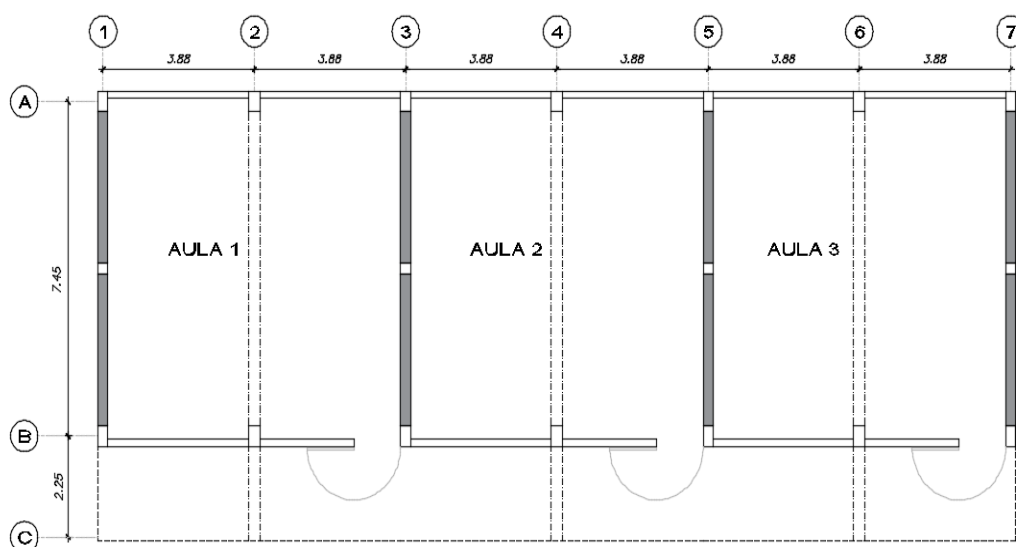
### d) Especímenes

El módulo escolar 780-PRE corresponde a una edificación educativa de dos niveles que dispone de tres aulas por planta, complementadas con un corredor de circulación descubierta en el segundo nivel. Su sistema resistente está conformado por pórticos de concreto armado en la dirección longitudinal, mientras que en el sentido transversal la rigidez estructural es provista por muros de albañilería.

Las aulas tienen ventanas altas con alfeizares de 2.00m de altura en el fondo y ventanas bajas con muros de 1.30m en el frente, ambas en la dirección longitudinal, que originan un mecanismo de columna corta durante las acciones de carga y descarga durante un evento sísmico (CISMID, 2016), como se muestra a continuación:

**Figura 9**

*Vista en planta del módulo 780-PRE.*



*Nota.* CISMID, PUCP, SENCICO, & Ministerio de Educación. (2016).

**Figura 10**

*Pórtico del módulo 780-PRE. Elevación frontal*



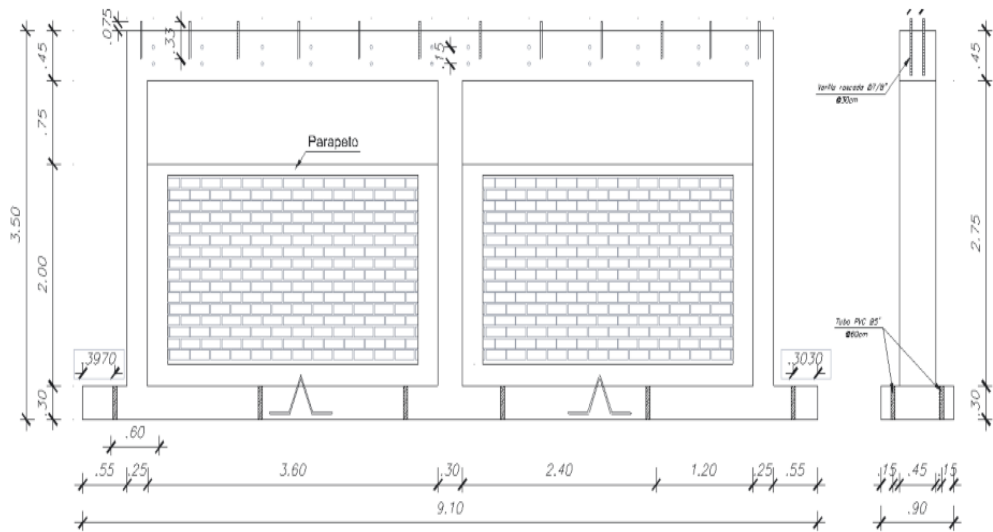
*Nota.* CISMID, PUCP, SENCICO, & Ministerio de Educación. (2016).

### **e) Espécimen 780-PRE**

El espécimen básico consiste en el pórtico 780-PRE representativo existente mostrado en la Figura N°10 El pórtico a ensayar corresponde a aquel ubicado en el eje del frente del módulo 780-PRE, cuyo muro bajo las ventanas de 2 metros de altura se encuentra sin junta de separación al pórtico de concreto armado (CISMID, 2016).

**Figura 11**

*Vista en elevación del ensayo del pórtico 780-PRE*



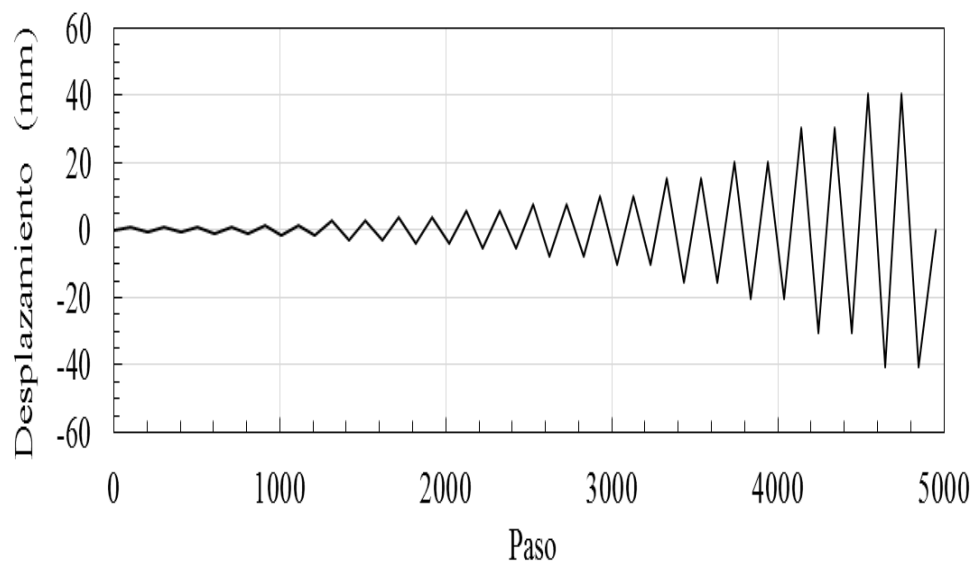
*Nota.* CISMID, PUCP, SENCICO, & Ministerio de Educación. (2016).

### f) Patrón de Desplazamientos

La carga horizontal se introduce utilizando un sistema de control por desplazamiento del actuador, siguiendo el protocolo establecido para el ensayo. Este protocolo, ilustrado en la Figura N.º 12 define la secuencia de desplazamientos objetivo que deben aplicarse durante todo el proceso experimental (CISMID, 2016). (Norma E030, 2018)

**Figura 12**

*Protocolo de desplazamientos para el ensayo del pórtico 780-PRE*



*Nota.* CISMID, PUCP, SENCICO, & Ministerio de Educación. (2016).

### g) Resultados del Ensayo del Espécimen 780-pre

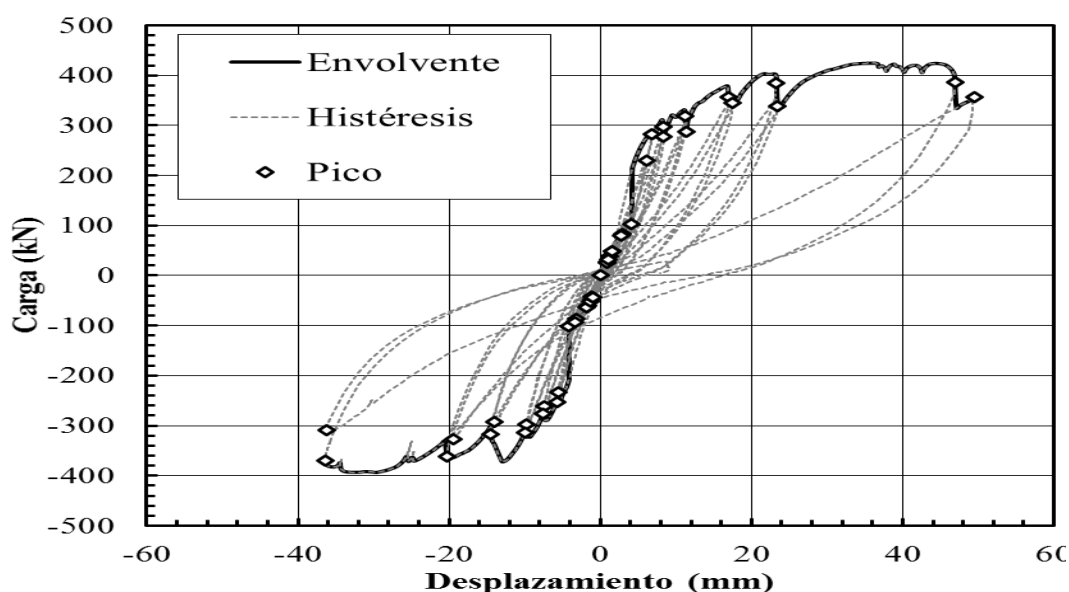
De acuerdo con el patrón de desplazamiento establecido en la Figura N.º 12, se procedió a ejecutar el ensayo estático cíclico (CISMID, 2016).

La Figura N.º 12 presenta la relación entre el desplazamiento y la fuerza aplicada del espécimen P780-PRE, expresada mediante su curva de histéresis (CISMID, 2016).

Asimismo, la figura incluye la envolvente de la curva de histéresis y los valores máximos obtenidos en cada ciclo. Cabe señalar que el espécimen evaluado está conformado por muros de albañilería tipo tabique que carecen de junta de separación respecto a las columnas de concreto armado (CISMID, 2016).

**Figura 13**

*Curva histéretica del espécimen 780-PRE*



*Nota.* CISMID, PUCP, SENCICO, & Ministerio de Educación. (2016).

### h) Comparación de Resultados del Ensayo del Espécimen 780-pre

Se observó durante los experimentos, que después de alcanzar aproximadamente los 3 mm de desplazamiento horizontal del espécimen P780-PRE, equivalente a una distorsión de 0.001, los muros que no presentan junta de separación respecto a las columnas, comienzan a restringir la deformación de la columna, resultando en un incremento de la rigidez del espécimen P780-PRE (CISMID, 2016).

## **2.2.4. PROPUESTA DEL ESPESOR DE JUNTA SÍSMICA**

### **2.2.4.1. SEPARACIÓN ENTRE EDIFICACIONES**

Como se menciona en el Capítulo 3 Separación de edificios Norma de edificación A.0.10 Disposiciones Condiciones generales de diseño. Edificios Nacionales, todos los edificios deben mantener distancia física, hay tres razones principales entre los dos: primero, la seguridad en caso de terremotos; El segundo es la seguridad contra incendios y el tercero son las condiciones de iluminación y ventilación ambiental natural.

El primero y el que nos interesa se calcula en base a la siguiente estructura: Norma Sísmica E.030 y otra formulada en base a la Norma Sísmica E.030 RNE A.130 Norma E030 (2018).

También vale la pena mencionar que nuestros estándares han cambiado todo el tiempo, durante años. Uno de ellos pasa del estándar 77 al estándar 97. Basado en 11 observaciones de múltiples derrumbes de edificios que ocurrieron después de un terremoto ese año. En la ciudad de Nazca, los resultados de las pruebas demostraron que la estructura se vuelve plástica a partir de cierta deformación, motivo por el cual se tomó la decisión. Es mejor controlar las operaciones, fortalecer la estructura, pero pensar más ampliamente flexibilidad (estructural).

### **2.2.4.2. DESPLAZAMIENTOS TRATAMIENTO DE RESULTADOS.**

La Norma E.030 establece que, cuando se emplean siete o más conjuntos de registros sísmicos, los valores utilizados para el diseño incluyendo fuerzas internas, deformaciones de los elementos y desplazamientos deben determinarse a partir del promedio de los máximos obtenidos en cada uno de los análisis realizados.

Asimismo, la normativa señala que las derivas máximas de entrepiso no pueden superar el 125% de los valores límites especificados en la figura N.º 14 de la edición 2018 de la misma norma.

Respecto a los desplazamientos laterales permitidos, se precisa que el desplazamiento relativo de entrepiso no debe sobrepasar la relación deriva-altura correspondiente, según lo establecido en el artículo 31 y conforme a los parámetros representados en la figura asociada a la Tabla N.º 11 de la Norma E.030 (201)

**Figura 14**

*Deriva máxima de entrepiso*

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

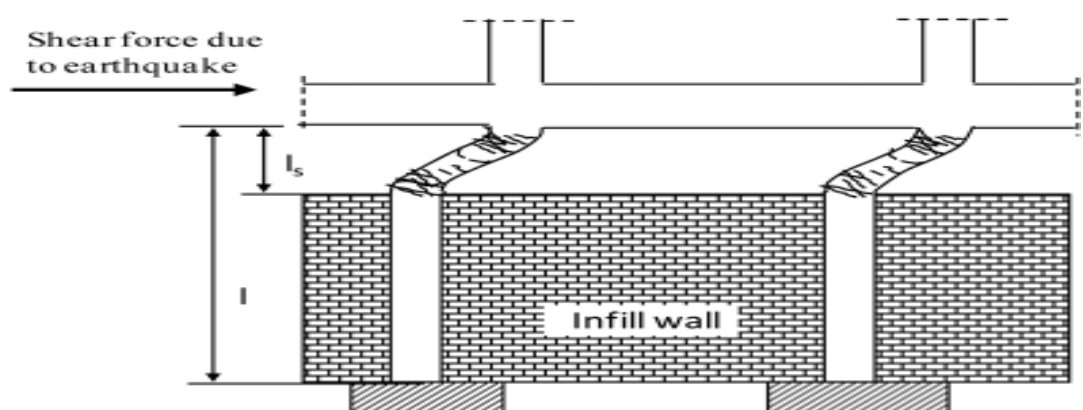
*Nota.* SENCICO (2020).

### 2.2.4.3. COMPORTAMIENTO DE COLUMNA CORTA.

Cagatay (2010), considera el marco parcialmente relleno con paredes de relleno conectadas a las columnas que se muestra en la figura.

**Figura 15**

*Comportamiento de la columna corta*



*Nota.* Cagatay et al. (2010).

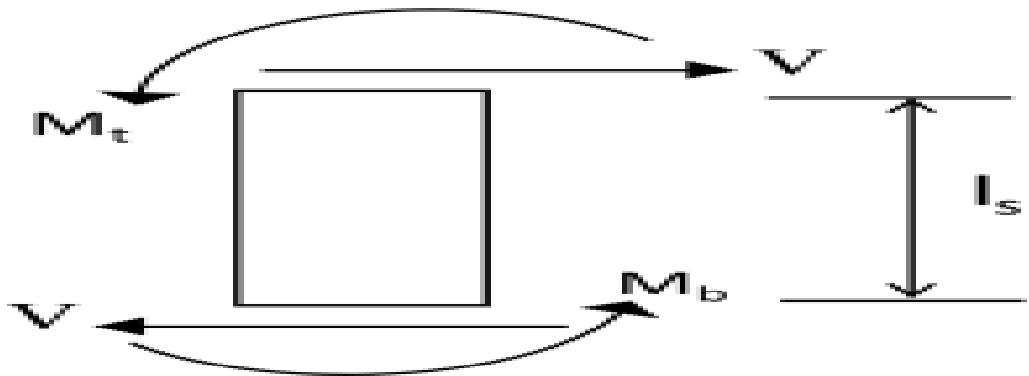
La fuerza cortante,  $V$  de la columna corta se puede calcular a partir del equilibrio de la siguiente manera.

$$V = \frac{M_t + M_b}{l_s}$$

Donde  $M_t$  y  $M_b$  son los momentos flectores en la parte superior e inferior de la columna corta, respectivamente,  $l_s$  es la longitud de la columna corta como se muestra en la figura.

**Figura 16**

*Diagrama de cuerpo libre de la columna corta*

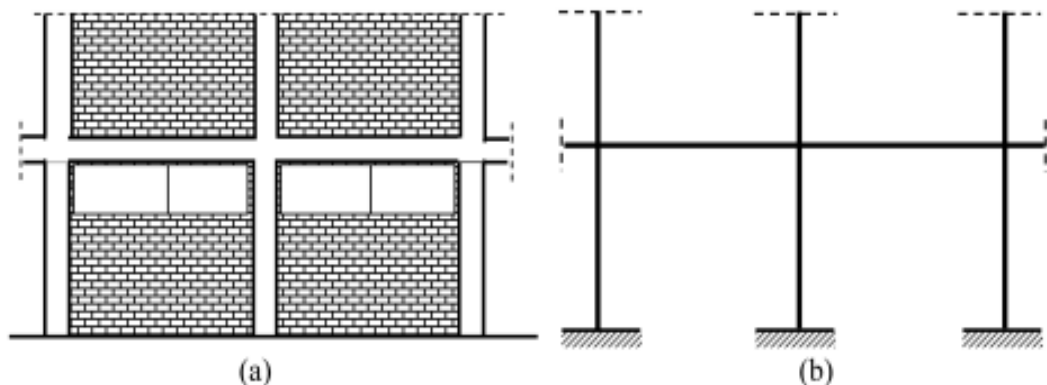


*Nota.* Cagatay et al. (2010).

Teóricamente, cuanto menor sea la longitud corta de la columna, mayor será la fuerza cortante obtenida. Generalmente, el efecto de los muros de relleno en el diseño de estructuras de RC se ignora cuándo se considera el peso del muro de relleno, pero no se modela en el análisis del edificio. En ese sentido, el modelo estructural contiene solo vigas, columnas y losas, como se muestra en la figura.

**Figura 17**

*(a) Edificio de albañilería, (b) Modelo computacional*



Fuente: Cagatay et al. (2010).

Por otro lado, el comportamiento real de la estructura con muros de relleno durante un terremoto es significativamente diferente del modelo

sin muros de relleno. En los casos en los que no se pueden evitar columnas cortas, por ejemplo, debido a muros de relleno parciales conectados a la columna, las fuerzas de corte en las columnas pueden causar el colapso del edificio. Los códigos sísmicos modernos, como el Código de Terremotos de Turquía, afirman que la fuerza cortante utilizada en el cálculo del refuerzo transversal debe obtenerse considerando la altura corta de la columna. Sin embargo, hay muchos edificios existentes que se construyeron sin considerar la presencia de alturas de relleno parciales y columnas cortas. Por lo tanto, es muy importante prevenir o reducir posibles fallas por corte en este tipo de edificaciones debido al efecto de columna corta durante un terremoto de manera eficaz y sin medidas costosas.

#### **2.2.4.4. RECOMENDACIONES PRÁCTICAS PARA ELIMINAR EL EFECTO DE LA COLUMNA CORTA**

Una de las mejores maneras de eliminar el efecto de columna corta es separar el muro de relleno del marco estructural delimitador con un espacio adecuado que permita que la columna se doble libremente. Sin embargo, en este caso, ocurre otro problema donde el muro puede fallar fácilmente en la dirección fuera del plano debido a la ineficiencia de su rigidez a lo largo del eje perpendicular al plano del muro.

Cagatay (2010), propuso un método adecuado que consiste en ubicar una viga de acero con sección en forma de U entre el muro de relleno y el marco de RC. Por lo tanto, la columna RC puede doblarse en toda su altura debido a terremotos o cargas laterales y la viga de acero agregada con una sección en forma de U evita que el muro de relleno falle en la dirección fuera del plano.

#### **2.2.5. MODELACIÓN ESTRUCTURAL NUMÉRICA**

La modelación estructural numérica permite simular el comportamiento estructural de una estructura ante distintos escenarios de carga sin necesidad de realizar ensayos destructivos. Esta metodología facilita la identificación de zonas críticas, distribución de esfuerzos y posibles mecanismos de falla. Además, permite evaluar

alternativas de diseño y reforzamiento en un entorno controlado (Chopra, 2011).

En el contexto de esta investigación, la modelación se aplica a pórticos escolares tipo 780-PRE con el objetivo de simular los efectos de diferentes espesores de junta sísmica sobre el comportamiento estructural ante cargas cíclicas.

#### **2.2.6. MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS (FEM)**

Es una técnica de análisis numérico que permite aproximar soluciones a problemas estructurales complejos, dividiendo el modelo en una malla de elementos pequeños interconectados. Esta herramienta es ampliamente utilizada en ingeniería sísmica para representar con mayor precisión el comportamiento de materiales, geometrías irregulares y condiciones de frontera (Logan, 2012).

El FEM resulta especialmente útil para estudiar efectos localizados como la plastificación en columnas cortas o la distribución de esfuerzos ante cargas no lineales, como las inducidas por sismos.

#### **2.2.7. SOFTWARE DIANA FEM**

Es un software especializado en análisis estructural avanzado mediante elementos finitos. Desarrollado por DIANA FEA, permite realizar estudios estáticos, dinámicos y no lineales en estructuras de concreto, acero y materiales compuestos. Su capacidad para simular el comportamiento progresivo del daño estructural lo convierte en una herramienta idónea para la investigación sísmica y el análisis de estructuras vulnerables.

En el presente estudio, DIANA FEA se emplea para analizar con detalle el efecto de variaciones en el espesor de junta sísmica en pórticos escolares tipo 780-PRE, a fin de identificar el espesor óptimo que reduzca los efectos del fenómeno de columna corta.

### **2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES**

#### **2.3.1. ANÁLISIS ESTRUCTURAL**

Disciplina dedicada al desarrollo y aplicación de métodos de cálculo que permiten evaluar diversos componentes estructurales. A través de estos procedimientos se obtienen los parámetros indispensables para

garantizar un diseño eficiente, seguro y económicamente viable (Villareal, 2009).

### **2.3.2. COLUMNA CORTA**

Este comportamiento se debe a que la rigidez de una columna está inversamente relacionada con el cubo de su altura (Beauperthuy, 2022).

### **2.3.3 CURVA CÍCLICA**

Curva de fuerza generalizada frente a deformación que envuelve los datos de respuesta obtenidos de la carga cíclica de un componente o ensamblaje estructural (NIST GCR 10-917-5, 2010)

### **2.3.4 ESPESOR DE JUNTA SÍSMICA**

Representado por el grosor de un sólido como pueden ser los materiales industriales de carácter amortiguador (Chopra, 2014).

### **2.3.5 FUERZAS INTERNAS**

Constituyen información esencial para el diseño estructural y se describen como las sollicitaciones internas que experimentan las estructuras, tales como esfuerzos axiales, cortantes y momentos flectores (Norma E060, 2009).

### **2.3.6 GRADOS DE LIBERTAD (GL)**

Es la capacidad de un sistema estructural para desarrollar un cierto nivel de desplazamiento o rotación, asumido con fines de diseño (Chopra, 2014).

### **2.3.7 GRADOS DE LIBERTAD DINÁMICOS (GLD)**

Corresponden a los desplazamientos o rotaciones no restringidas de una estructura y pueden entenderse como la capacidad que posee un sistema de concreto armado para deformarse alrededor de un eje determinado (Chopra, 2014)

### **2.3.8 JUNTA SÍSMICA**

Separación física entre bloques o elementos estructurales y permitir el movimiento independiente durante un sismo (Suarez, 2020).

### **2.3.9 MODELACIÓN NUMÉRICA ESTRUCTURAL**

Simulación computacional que reproduce el comportamiento estructural ante diferentes condiciones de carga, sin necesidad de intervenir físicamente la edificación (Chopra, 2014)

### **2.3.10 MODELACIÓN ESTRUCTURAL**

La modelación estructural es el proceso técnico mediante el cual se representa una estructura en un modelo analítico o computacional, con la finalidad de evaluar su comportamiento frente a las cargas que actúan sobre ella (BuildSoft, 2022).

### **2.3.11 PÓRTICOS**

Sistema estructural compuesto por la unión no monolítica de elementos verticales (columnas de concreto armado) y elementos horizontales (vigas de concreto armado) (Derbes, 2020).

### **2.3.12 RESPUESTA ESTRUCTURAL**

La respuesta estructural se expresa mediante un conjunto de variables físicas que permiten caracterizar el desempeño del sistema frente a las solicitaciones externas que actúan sobre él (Ibarra, 2019)

### **2.3.13 REFORZAMIENTO INCREMENTAL**

Utilización de técnicas modernas de reforzamiento estructural con la finalidad de mantener las condiciones estructurales después de alguna excitación dinámica (CISMID, 2016)

### **2.3.14 RIGIDEZ ESTRUCTURAL**

La forma más precisa de describir este parámetro estructural es como la relación entre la capacidad de una estructura y el desplazamiento que experimenta ante una fuerza  $P$  aplicada (Chopra, 2014)

### **2.3.15 SISMO**

Se describe como un movimiento de carácter dinámico originado por el impacto entre placas tectónicas y la energía que se disipa posteriormente (Chopra, 2014)

### **2.3.16 ANÁLISIS ESTÁTICO EQUIVALENTE**

Técnica de cálculo estructural simplificada que reemplaza el efecto de un sismo por una carga lateral estática equivalente.

### **2.3.17 SOFTWARE DE SIMULACIÓN ESTRUCTURAL**

Programa informático que permite modelar, analizar y evaluar el comportamiento de estructuras ante diferentes tipos de carga.

### **2.3.18 780-PRE**

Tipología de edificación escolar prefabricada empleada en el Perú, diseñada en la década de 1980, caracterizada por su modularidad y uso extendido en instituciones educativas.

### **2.3.19 ENCAMISADO DE COLUMNA**

Técnica de reforzamiento estructural que consiste en envolver una columna con nuevos materiales para incrementar su capacidad y rigidez.

### **2.3.20 ELEMENTOS FINITOS**

Método numérico que subdivide una estructura en pequeñas partes (elementos) para calcular con precisión la distribución de esfuerzos, deformaciones y otros parámetros estructurales.

## **2.4. HIPÓTESIS**

### **2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL**

HG: La aplicación de un espesor óptimo de junta sísmica, obtenido mediante simulación numérica, minimiza significativamente el efecto de columna corta en los pórticos escolares tipo 780-PRE, en comparación con la ausencia de junta o espesores no optimizados.

### **2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

HE1: Es factible desarrollar un modelo numérico validado del pórtico tipo 780-PRE que simule con precisión el efecto de columna corta bajo excitaciones sísmicas.

HE2: Existe una relación cuantificable entre la magnitud del espesor de junta sísmica y la variación de los indicadores de respuesta estructural asociados al efecto de columna corta.

HE3: Se identificó un espesor o rango de espesores de junta sísmica que minimiza óptimamente el efecto de columna corta, cumpliendo con criterios de desempeño sísmico predefinidos.

## **2.5. VARIABLES**

### **2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE**

Efecto de columna corta

### **2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE**

Espesor de junta sísmica

## 2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 1

*Operacionalización de Variables*

VARIABLES	DIMENSIONES	TECNICAS DE MEDICION	INDICADORES	MEDICIÓN	TIPO
Independiente: Espesor de junta sísmica	Configuración de la junta sísmica	Modelamiento en DIANA FEM	Separación muro-columna	mm (milímetros)	Cuantitativa
	Diseño estructural del pórtico	Simulación estructural	Espesor aplicado	mm	Cuantitativa
Dependiente: Efecto de columna corta	Comportamiento dinámico	Resultados FEM	Deriva interpisos	% (porcentaje relativo)	Cuantitativa
	Respuesta estructural bajo carga sísmica	Resultados FEM	Desplazamiento lateral	mm (milímetros)	Cuantitativa

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Tamayo (2003) señala que la investigación aplicada tiene como propósito intervenir en una realidad específica para comprenderla y mejorarla a través del conocimiento científico. Bajo este enfoque se pretende determinar un espesor óptimo de junta sísmica que permita optimizar el desempeño estructural de los pórticos educativos tipo 780-PRE, contribuyendo a reducir los efectos asociados al fenómeno de columna corta en edificaciones vulnerables ubicadas en el distrito de Amarilis – Huánuco.

##### **3.1.1. ENFOQUE**

Tamayo (2003) señala que el enfoque cuantitativo permite estudiar la realidad a través de mediciones numéricas y procedimientos estadísticos, con el propósito de verificar hipótesis y reconocer tendencias en el comportamiento de los fenómenos. Bajo esta perspectiva, el presente estudio adopta un enfoque cuantitativo, ya que se emplearán valores numéricos obtenidos mediante simulaciones estructurales realizadas en el software DIANA FEM, con el fin de evaluar la respuesta de la edificación frente a distintas configuraciones de espesor de la junta sísmica.

##### **3.1.2. ALCANCE O NIVEL**

Hernández Sampieri (2022) indican que el nivel explicativo tiene como propósito identificar las causas de los fenómenos y determinar las relaciones causales entre sus variables. Bajo este enfoque, la presente investigación se clasifica como explicativa, pues busca evidenciar de qué manera el espesor de la junta sísmica incide en la reducción del efecto de columna corta, mediante el análisis estructural de modelos representativos de pórticos 780-PRE.

##### **3.1.3. DISEÑO**

Hernández Sampieri (2022) indican que el diseño cuasi-experimental implica intervenir en una variable independiente sin contar con control total sobre las demás condiciones que rodean el estudio. En esta investigación se recurre a un diseño cuasi-experimental basado en

simulación estructural, ya que se ajustará el espesor de la junta sísmica en modelos computacionales construidos a partir de las características reales de la estructura, con el fin de analizar cómo estas variaciones afectan el desempeño sísmico de los pórticos escolares tipo 780-PRE, empleando el software DIANA FEM como herramienta central de evaluación.

### **3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA**

Diversos autores señalan que la selección de la población y la muestra por conveniencia corresponde a un tipo de muestreo no probabilístico y no aleatorio, en el cual los elementos se eligen en función de su accesibilidad, disponibilidad temporal o cualquier otra condición práctica que facilite su incorporación al estudio.

En este sentido, el presente trabajo de tesis se ajusta a este criterio, ya que la población y la muestra se determinan según la facilidad para acceder a los pórticos escolares que presentan el fenómeno de columna corta dentro del ámbito local. Aunque este problema se observa en numerosas instituciones educativas a nivel nacional, analizarlos todos resultaría mucho más complejo, por lo que se opta por aquellos que se encuentran al alcance dentro de la ciudad.

#### **3.2.1. POBLACIÓN**

Según Palella (2008), es el conjunto de unidades sobre las cuales se desea obtener información y a partir de las cuales se formulan conclusiones. En este estudio, la población está constituida por las edificaciones escolares del distrito de Amarilis – Huánuco que fueron construidas con el sistema estructural 780-PRE y que presentan características relacionadas con la aparición del efecto de columna corta.

Este fenómeno se origina, principalmente, por la presencia de elementos no estructurales como tabiques o muros de alfeizar que reducen la altura libre de las columnas, generando una concentración de esfuerzos cortantes durante un movimiento sísmico.

#### **3.2.2. MUESTRA**

Conformada por edificaciones existentes que presentan elementos arquitectónicos que pueden generar el efecto de columna corta. Su

elección se fundamenta en criterios de accesibilidad, inspección directa y representatividad estructural dentro del entorno local. Debido a la falta de planos estructurales completos para todas las instituciones educativas, se optará por elaborar prototipos representativos de pórticos escolares tipo 780-PRE, tomando como referencia configuraciones estándar del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), documentación técnica disponible y la verificación en campo.

**Tabla 2**

*Resumen de los instrumentos de recolección de datos*

EDIFICIO ESCOLAR	UBICACIÓN
I.E. El amauta José Carlos Mariátegui	Amarilis – Huánuco - Huánuco
Institución Educativa Cesar Vallejo	Amarilis – Huánuco - Huánuco
Institución Educativa Julio Armando Ruiz Vásquez	Amarilis – Huánuco - Huánuco

Si bien se identificaron tres instituciones educativas que presentan indicios del efecto de columna corta, no se realizará un análisis individual de cada una. En su lugar, se ha optado por desarrollar un modelo estructural representativo del tipo 780-PRE, a fin de realizar simulaciones estructurales que permitan evaluar el comportamiento general del sistema estructural ante distintas configuraciones de junta sísmica. Esta decisión metodológica responde tanto a la naturaleza aplicada de la investigación como a las recomendaciones del jurado revisor, quienes sugirieron enriquecer el aporte de la tesis sin extender el alcance más allá de lo factible técnica y logísticamente.

### **3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

#### **3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS**

De acuerdo con diversos autores, las técnicas están relacionadas con los procedimientos empleados para obtener información, tales como la revisión de documentos, la observación y las técnicas psicométricas, entre otras.

En esta investigación, la técnica central es la simulación estructural computacional, que permite estudiar el comportamiento de una estructura ante diferentes escenarios sísmicos sin necesidad de realizar pruebas físicas. Esta técnica es apropiada para analizar edificaciones

existentes o modelos prototípicos cuando la intervención directa no es posible. En este estudio se aplicará dicha técnica sobre un modelo estructural representativo del sistema 780-PRE, con el propósito de evaluar su rendimiento frente a distintos espesores de junta sísmica, utilizando cargas cíclicas o registros de movimiento sísmico.

Mediante la tabla 3, se detallan los principales instrumentos de recolección de datos para el presente proyecto de tesis:

**Tabla 3**

*Resumen de los instrumentos de recolección de datos*

<b>Instrumento</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Aplicación al presente proyecto de tesis</b>
Observación directa	Registro descriptivo de una situación real específica, en el que se documentan los hechos siguiendo un esquema preestablecido, manteniendo el investigador una participación directa en la actividad que se observa.	Utilizado para captar la realidad de lo que se pretende estudiar, en este caso la verificación del efecto de la columna corta en los diversos edificios escolares reportados en la sección de población y muestra; con la finalidad de determinar los espesores adecuados de junta sísmica.
Revisión documental	La revisión documental facilita comprender la evolución, los principios y las particularidades de los procesos estudiados, además de permitir contrastar, verificar o cuestionar la información existente en las fuentes consultadas.	Destinado a la revisión, entendimiento y aplicación de los expedientes técnicos de los mencionados edificios escolares; así mismo a la revisión técnica de la literatura en donde se muestre la metodología del comportamiento de la columna corta y la manera de solucionarlo a través de un espesor adecuado en función de la sismicidad del distrito de Amarilis.

### **3.3.2. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS**

Este apartado con referencia al presente proyecto de tesis busca generar gráficos estadísticos (graficas de barras, graficas circulares, etcétera) y tablas de datos, actualmente estos gráficos estadísticos pueden generarse a partir de cualquier programa dentro del paquete office que poseen todos los usuarios que utilicen el sistema informático de Windows.

Los gráficos estadísticos mostrarán los desplazamientos obtenidos a partir del patrón de desplazamiento del edificio escolar 780PRE y para los registros sísmicos, la media geométrica y las desviaciones estándar serán mostradas a partir de tablas de datos.

### **3.3.3. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

El instrumento principal será el software DIANA FEM, especializado en análisis estructural. Esta herramienta permite realizar simulaciones detalladas del comportamiento de pórticos de concreto armado, considerando diferentes condiciones de borde, geometría, materiales y configuraciones de junta sísmica.

A través de este instrumento se obtendrán los siguientes datos técnicos:

- Esfuerzos cortantes en columnas
- Deriva interpisos
- Desplazamiento lateral
- Concentración de plastificación (zonas de daño estructural)

Los resultados serán exportados como gráficos, mapas de tensiones, tablas de respuesta estructural y reportes de desempeño, los cuales servirán como base para el análisis comparativo.

### **3.4. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS**

Taylor (1994), manifiesta que la utilización de la estadística inferencial juega un rol importante al momento de analizar, tratar e interpretar los datos reales, mediante esta herramienta estadística es posible la obtención de medias geométricas y desviaciones estándar de diversos datos; por ello se plantea como un método de análisis e interpretación de los datos para el presente proyecto de tesis.

Así mismo la interpretación de datos estará destinada a la utilización del software basados en elementos finitos denominado DIANA FEM, que es un potente software capaz de representar modelos estructurales bajo la herramienta computacional de los elementos finitos, es decir discretiza al elemento estructural utilizando mallas de una determinada sección, y asume los esfuerzos y deformaciones en base al tipo de material.

La información obtenida a partir de la simulación estructural será procesada mediante técnicas de análisis comparativo cuantitativo. Los datos serán organizados en tablas, cuadros y gráficos que permitirán identificar variaciones en el comportamiento estructural del modelo frente a distintos espesores de junta sísmica.

Los indicadores a evaluar incluyen:

- Esfuerzo cortante en columnas
- Deriva interpisos
- Desplazamiento lateral
- Concentración de plastificación

El análisis buscará establecer la relación entre la variable independiente (espesor de junta sísmica) y la variable dependiente (mitigación del efecto de columna corta), a fin de identificar el espesor que ofrezca mejor desempeño estructural en escenarios sísmicos simulados.

Con base en estos resultados, se validarán o rechazarán las hipótesis formuladas, permitiendo formular conclusiones cuantificables, con sustento técnico y aplicabilidad real.

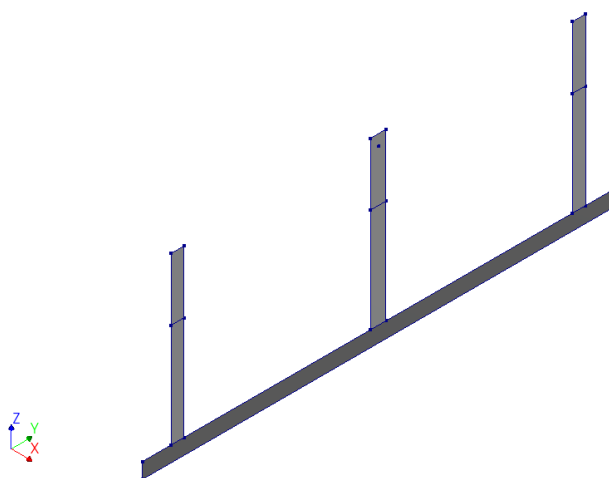
#### **3.4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS**

La construcción del modelo numérico del módulo 780-PRE se ha realizado utilizando elementos shells en secciones de concreto y albañilería, para el acero de refuerzo se ha utilizado elementos tipo línea, a continuación, se muestran los principales pasos:

Construcción de la cimentación y columnas Mediante la figura 18 se muestra la construcción de shells que representen a la cimentación y a las columnas, nótese que para reproducir el efecto de la columna corta se ha separado en dos partes distintas a las columnas, en función de los planos estructurales mostrados en los anexos.

**Figura 18**

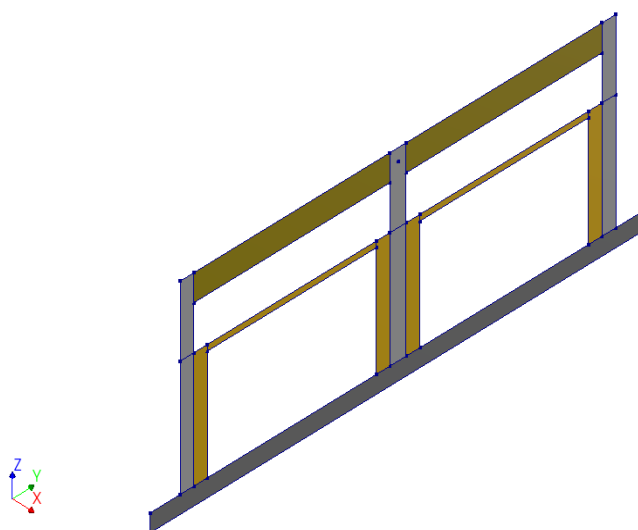
*Construcción de la cimentación y columnas en el software DIANA FEA.*



Construcción de las columnetas, viguetas y vigas Mediante la figura 19 se muestra la construcción de shells que representen los elementos no estructurales (columnetas y viguetas) y a las vigas, en función de los planos estructurales mostrados en los anexos.

**Figura 19**

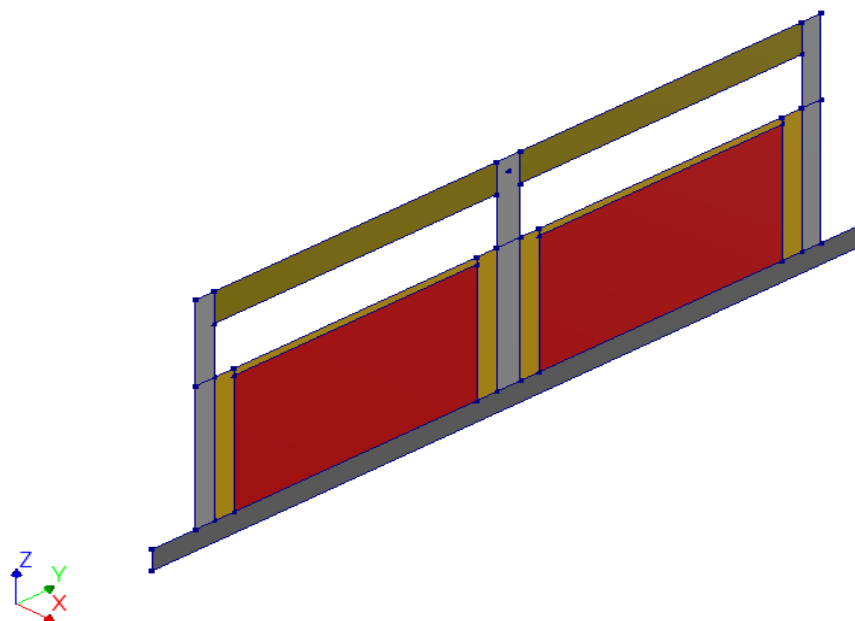
*Construcción de columnetas, viguetas y vigas en el software DIANA FEA.*



Construcción de la albañilería Mediante la figura 20 se muestra la construcción de shells que represente a la albañilería. Nótese a disposición de este elemento dentro de las columnetas y viguetas, en función de los planos estructurales mostrados en los anexos.

**Figura 20**

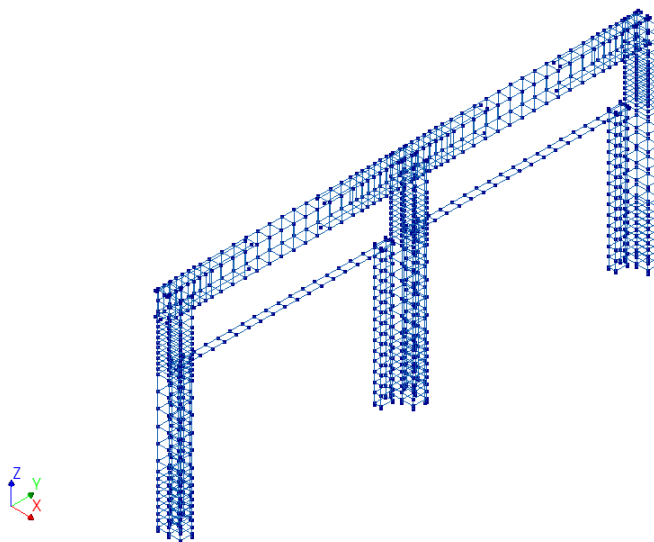
*Construcción del muro de albañilería en el software DIANA FEA.*



Disposición del refuerzo en secciones de columnas y vigas  
Mediante la figura 21 se muestra la utilización de elementos línea para caracterizar el refuerzo en secciones de columnas y vigas, en función de los planos estructurales mostrados en los anexos.

**Figura 21**

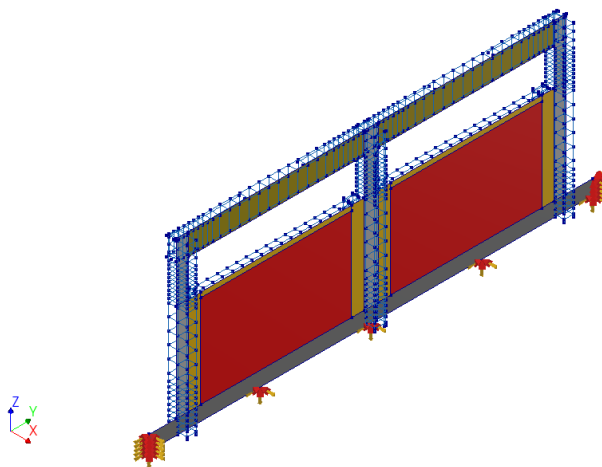
*Construcción del refuerzo en columnas y vigas en el software DIANA FEA.*



Empotramiento perfecto de la base  
Mediante la figura 22 se muestra el empotramiento perfecto a la base de fundación, tal como menciona el RNE en su apartado E.030.

## Figura 22

Construcción del refuerzo en columnas y vigas en el software DIANA FEA.



Luego de la ejecución de todos los pasos mencionados anteriormente este modelo queda listo para ser sometido a acciones dinámicas y cíclicas.

A continuación, se presentan las dimensiones empleadas para elaborar el modelo numérico del pórtico 780-PRE, así como la cantidad de refuerzo utilizada, de acuerdo con lo especificado en los planos constructivos incluidos en los anexos.

- Longitud del pórtico: 9.10 mts.
- Longitud del pórtico (columna a columna): 8.00 mts.
- Altura total del pórtico: 3.50 mts.
- Altura del vano: 2.00 mts
- Sección de las columnas: 25cm. x 45cm.
- Refuerzo Long. en las columnas: 6RB#6
- Refuerzo Transv. en las columnas: 1@5cm., 10@10cm., Rto. 25cm.
- Sección de la viga: 25cm. x 45cm.
- Refuerzo Long. en la viga: 4RB#5,

- Refuerzo Transv. en la viga: 1@5cm., 7@10cm., 1@15cm., Rto. 20cm.

Para el módulo del pórtico 780-PRE: El Instituto Nacional de Infraestructura Educativa y Salud (INFES) fue la entidad encargada de evaluar experimentalmente el módulo 780-PRE (NDSR-1997), luego este modelo fue adoptado para la Sierra del Perú.

Por otra parte, PRONIED reporta que, de un universo de 5,715 edificaciones escolares, el 49.65% corresponden al módulo 780-PRE, el 49.01% corresponde al módulo 780-POST y lo restante a otro tipo de edificaciones.

**Tabla 4**

*Censo de Infraestructura Educativa - PRONIED*

<b>Censo de infraestructura educativa</b>		
<b>Antigüedad de la edificación</b>	<b>Número total de locales escolares</b>	<b>Proporción (%)</b>
Antes y durante de 1977	757.00	13.00%
Entre 1978 y 1998	2081.00	36.00%
Después de 1998	2081.00	49.00%
No especificado	76.00	1.00%
<b>TOTAL</b>	<b>5,715.00</b>	<b>100%</b>

Análisis: de la tabla 4 se observa que al utilizar el módulo 780-PRE se cubre todas las edificaciones educativas construidas antes y durante de 1997 (>49%), estas edificaciones suelen ser típicas con ligeras variaciones para la costa, sierra y selva.

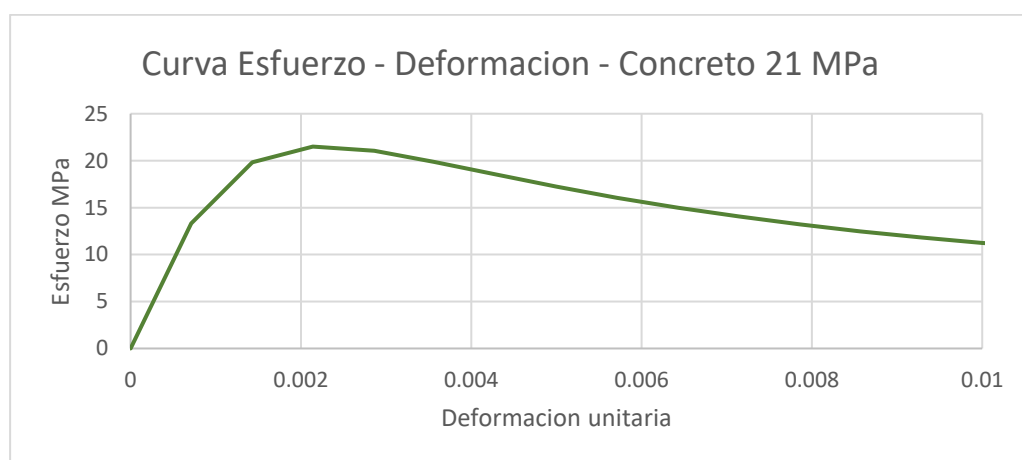
Interpretación: A nivel local se evidencia la presencia de edificaciones educativas con el módulo/pórtico típico del 780-PRE (como se muestra en los anexos), lo cual prueba lo mencionado en la tabla 4, motivo por el cual es utilizado considerando las características propias

de la zona (Amarilis – Huánuco) con la finalidad de estimar el espesor mínimo y/o prudente para las condiciones de sitio de nuestra región.

Para los materiales constitutivos: Para considerar las condiciones de sitio se utilizan diversos materiales constitutivos para representar al concreto y acero de refuerzo. En nuestro medio el concreto es del orden de 21 MPa y el acero de refuerzo es de Grado 60 con un límite de fluencia de 420 MPa.

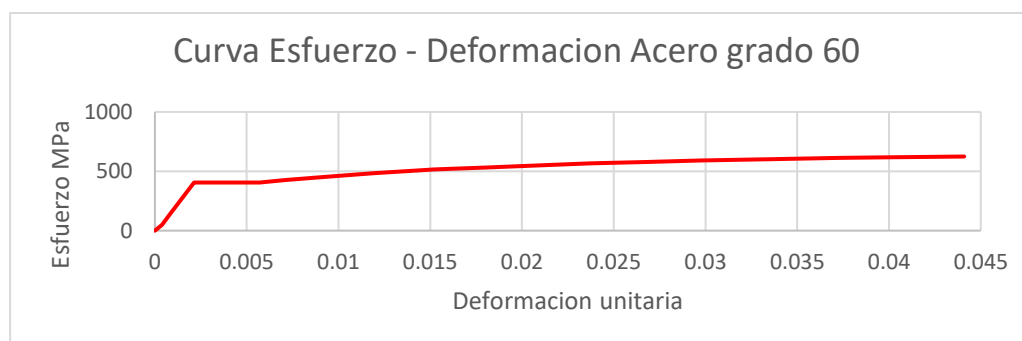
**Figura 23**

*Curva esfuerzo – deformación del concreto de 21 MPa*



**Figura 24**

*Curva esfuerzo – deformación del acero de refuerzo grado 60*



Análisis: Debido a que el ensayo experimental tuvo un comportamiento no lineal e inelástico, mediante la simulación numérica se busca determinar el modo de colapso de columna corta y el espesor adecuado de junta sísmica para evitar el modo de colapso ya mencionado, por lo cual se generaron curvas no lineales de esfuerzo versus deformación.

Interpretación: Para el concreto se espera un esfuerzo máximo de 21 MPa a una deformación unitaria de 0.00214 y la rotura a 0.003, para el acero de refuerzo se espera un esfuerzo máximo de 420 MPa a una deformación unitaria máxima de 0.005 y la rotura a 0.05

## CAPITULO IV

### RESULTADOS

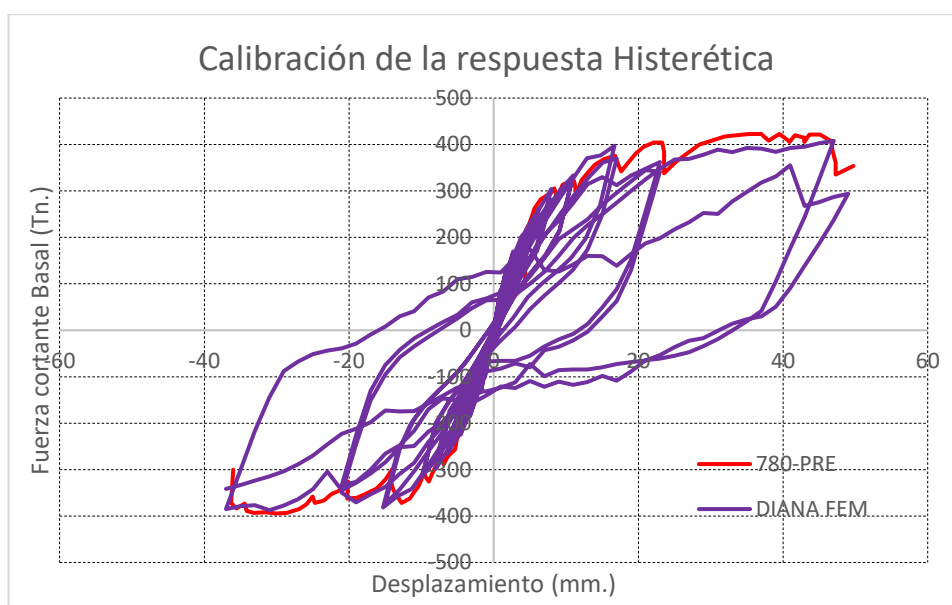
#### 4.1. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

HG: La aplicación de un espesor óptimo de junta sísmica, obtenido mediante simulación numérica, minimiza significativamente el efecto de columna corta en los pórticos escolares tipo 780-PRE, en comparación con la ausencia de junta o espesores no optimizados.

La simulación numérica del pórtico 780 PRE (ubicado en una zona sísmica  $Z=0.45g$ ) estuvo basado en un ensayo cíclico realizado por el CISMID con el objetivo de conocer y comparar su capacidad estructural, este ensayo cíclico arrojó una respuesta histerética, que, usando el software DIANA FEM se logra la reproducción parcial del mencionado ensayo cíclico, tal como se muestra a continuación.

**Figura 25**

*Calibración de la respuesta histerética del espécimen 780-PRE*

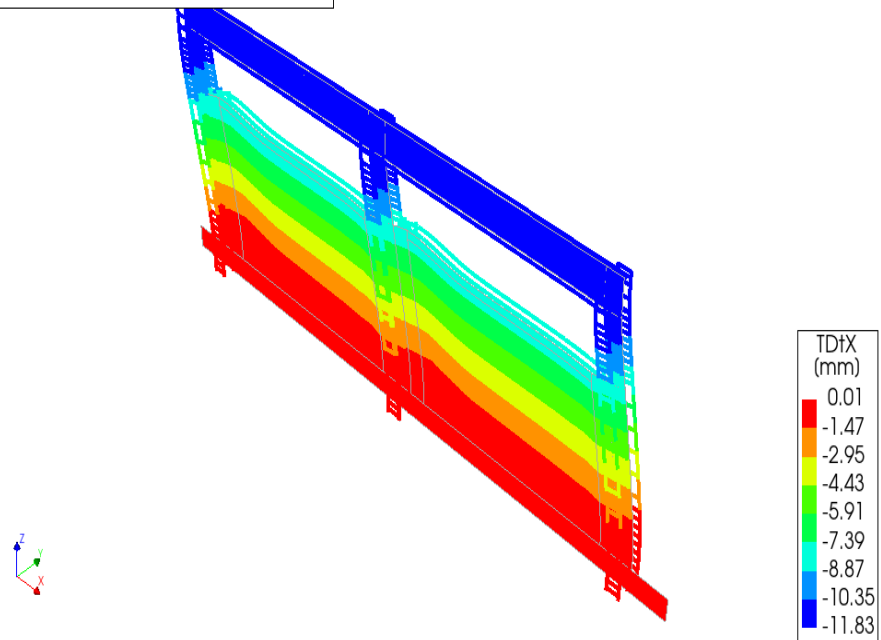


Esta simulación se ha realizado considerando que no había una separación mínima entre las columnetas y las columnas, a continuación, se muestra los desplazamientos máximos obtenidos en la unión de estos dos elementos.

**Figura 26**

*Modelo del pórtico tipo 780-PRE*

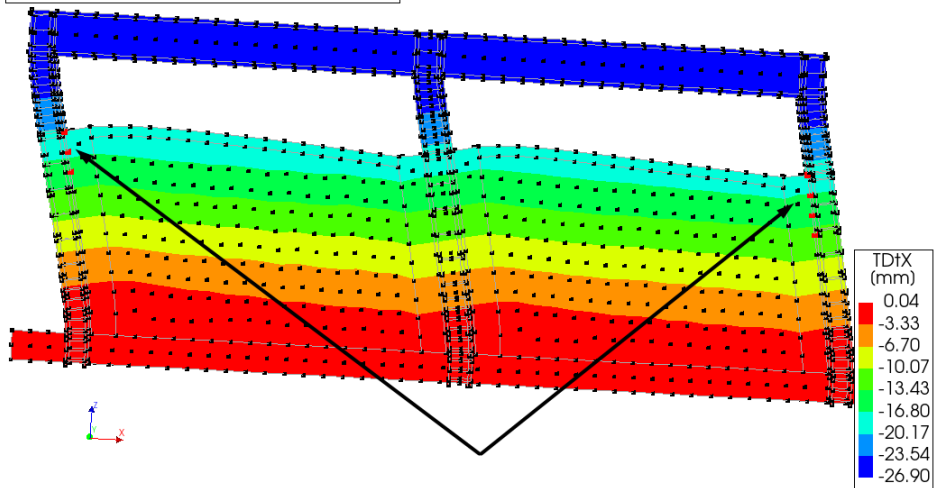
Analysis1  
Load-step 161, Load-factor -11.800, ENSAYO  
Displacements TDtX  
min: -11.83mm max: 0.01mm



**Figura 27**

*Ubicación de nodos en la unión columneta - columna*

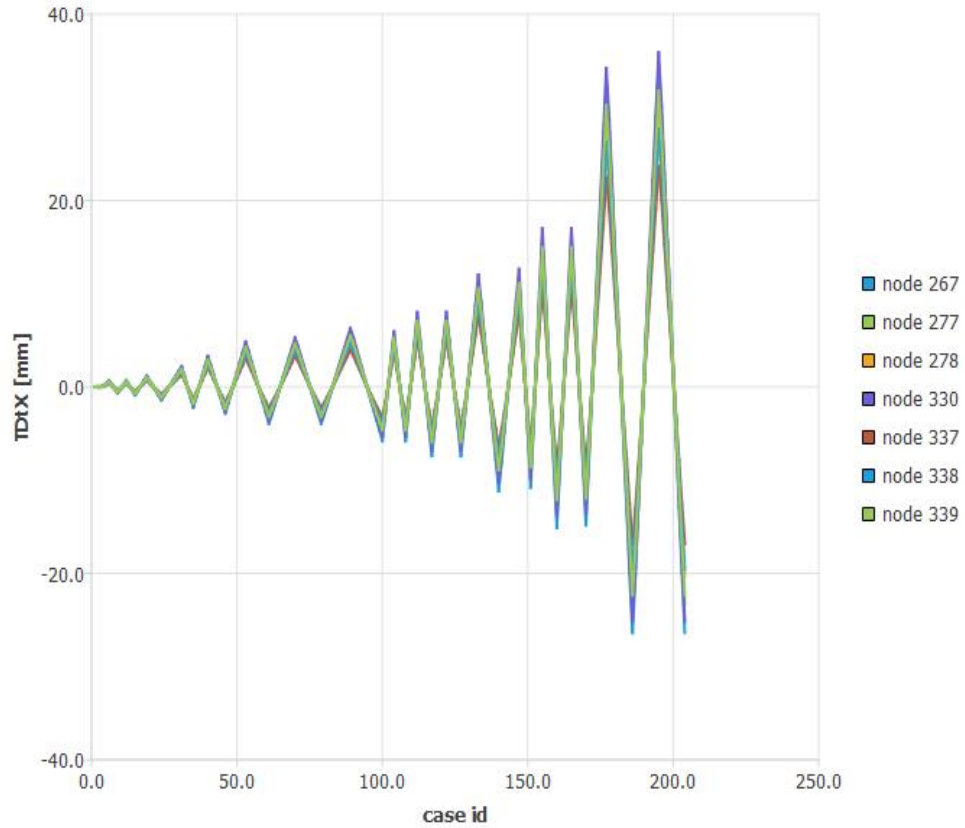
Analysis1  
Load-step 203, Load-factor -26.800, ENSAYO  
Displacements TDtX  
min: -26.90mm max: 0.04mm



La figura 27 refleja que el espesor teórico (espesor que poseen todas las edificaciones educativas reportadas en los anexos) equivalente a 1" se ve superado por lo cual se determina que existe interacción entre la columneta y la columna. Con esto se demuestra la existencia del fenómeno de la columna corta.

**Figura 28**

*Desplazamiento máximo en la unión columneta - columna*



HE1: Es factible desarrollar un modelo numérico validado del pórtico tipo 780-PRE que simule con precisión el efecto de columna corta bajo excitaciones sísmicas.

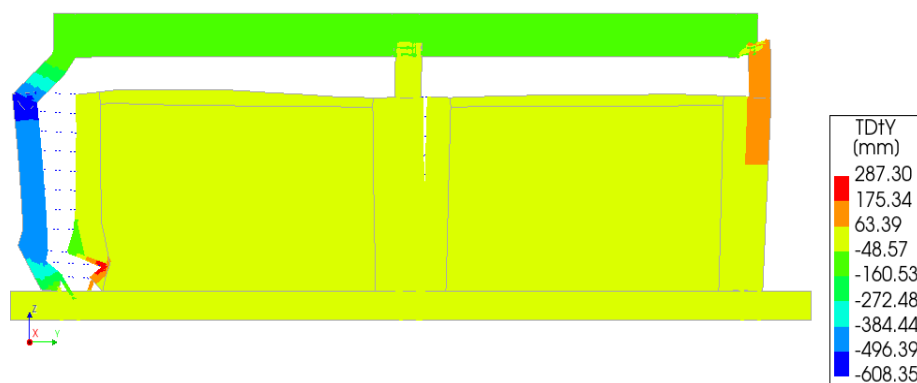
El desarrollo de un modelo numérico validado por la respuesta experimental del pórtico tipo 780-PRE fue desarrollado utilizando el software DIANA FEA, el cual logra simular el efecto de columna corta bajo excitaciones sísmicas, para ello nuevamente se presenta la calibración de la respuesta histerética experimental desde la figura 30.

Finalmente se acepta la hipótesis ya que, la aplicación de la carga cíclica logra simular el efecto de la columna corta a partir del modelo numérico que fue validado por la respuesta histerética del pórtico 780-PRE, tal como muestra la figura 30.

**Figura 29**

*Simulación del efecto de la columna corta*

Analysis1  
Load-step 324, Load-factor -56.600, ENSAYO  
Displacements TDtY  
min: -608.35mm max: 287.30mm



Adicionalmente al evaluar e interpretar, se determina que para un desplazamiento equivalente a -56.60 milímetros se produce el fenómeno de la columna corta en el modelo numérico del pórtico 780-PRE, concordantemente en la figura 32 se estima un espesor mínimo de 2” para evitar este fenómeno; por lo cual la proposición mencionada de utilizar 2” de espesor es prudente para mitigar el fenómeno de la columna corta al menos en el pórtico en estudio.

HE2: Existe una relación cuantificable entre la magnitud del espesor de junta sísmica y la variación de los indicadores de respuesta estructural asociados al efecto de columna corta.

**Tabla 5**

*Relaciones cuantificables entre el espesor de junta sísmica e indicadores*

Parámetros	Indicadores	Descripción	¿Es cuantificable?
Espesor de junta sísmica	Separación columna - columneta	Cuantificado a través de desplazamientos en milímetros, <b>según la figura 29.</b>	Existe una relación cuantificable
Espesor de junta sísmica	Deriva de entrepiso	Cuantificado, esto se obtiene dividiendo los desplazamientos máximos (10.25mm.) entre la altura total del	Existe una relación cuantificable

		pórtico 780-PRE (3500mm.), de donde se desprende un $\delta/h=0.0029<0.007$ .	
Espesor de junta sísmica	Desplazamiento lateral	Cuantificado a través de desplazamientos en milímetros, según la figura 29.	Existe una relación cuantificable

Mediante la tabla 5, se da por aceptado parcialmente la hipótesis específica 2, ya que algunos indicadores tienen una relación cuantificable

HE3: Se identificó un espesor o rango de espesores de junta sísmica que minimiza óptimamente el efecto de columna corta, cumpliendo con criterios de desempeño sísmico.

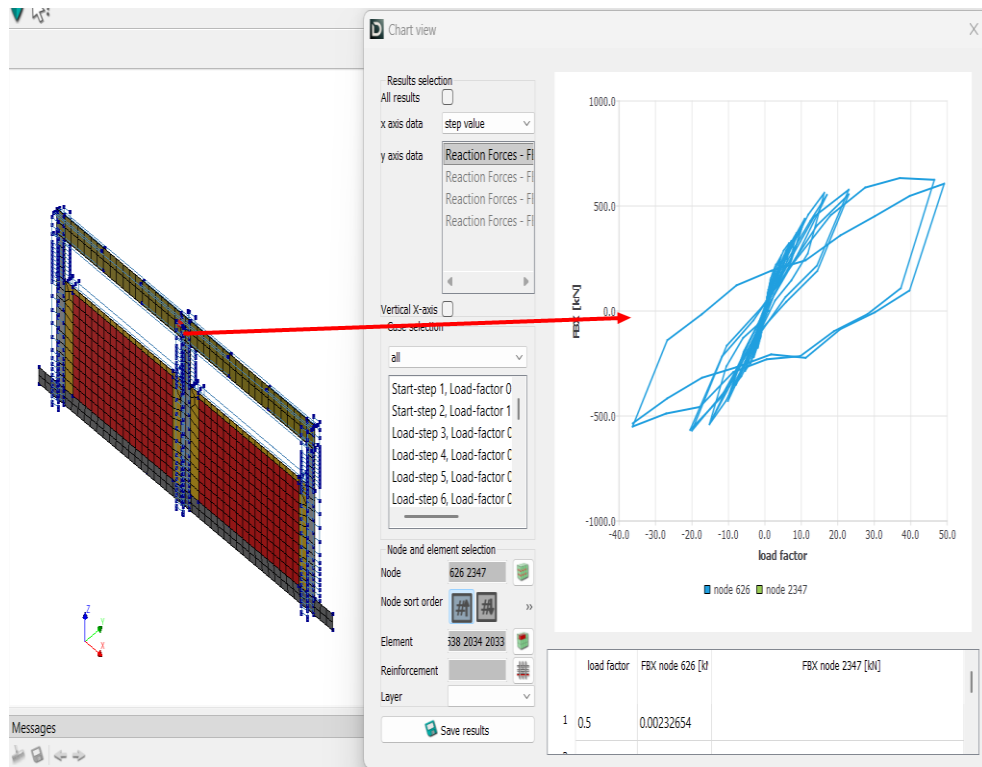
El desempeño sísmico se mide de acuerdo a las condiciones de sitio y el uso de una edificación bajo condiciones de excitación dinámica, la presente investigación se apoya en un pórtico ensayado experimentalmente que, efectivamente fue representada en base a un pórtico representativo de edificaciones escolares en zonas sísmicas (Zona sísmica 4,  $Z=0.45g$ ), pero aplicado a la zona en estudio de Amarilis – Huánuco (Zona sísmica 2,  $Z=0.25g$ ).

Con esto se busca identificar un espesor o rango de espesores de junta sísmica que minimice(n) óptimamente el efecto de la columna corta mediante el DESEMPEÑO SISMICO, basado en ello se recurre al artículo 30.3 del reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) exactamente en la normativa E.030 (2018).

El modelo matemático que considera directamente el comportamiento histerético de los elementos se muestra en la figura 35.

**Figura 30**

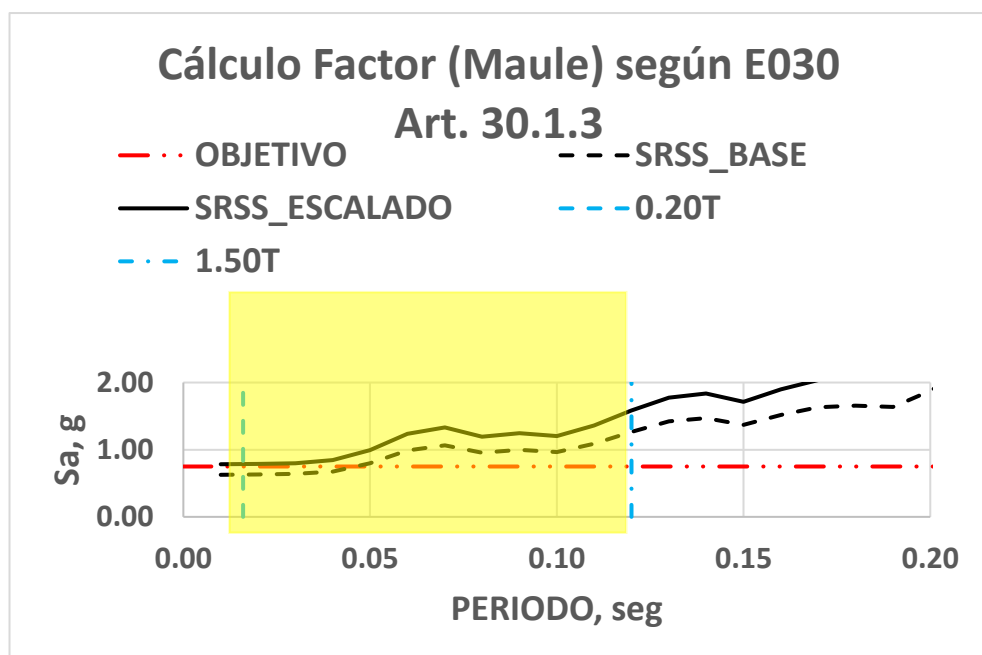
*Comportamiento histerética del pórtico 780-PRE*



Se usaron como mínimo tres conjuntos de registros de aceleraciones del terreno, cada uno de los cuales incluye dos componentes en direcciones ortogonales.

**Figura 31**

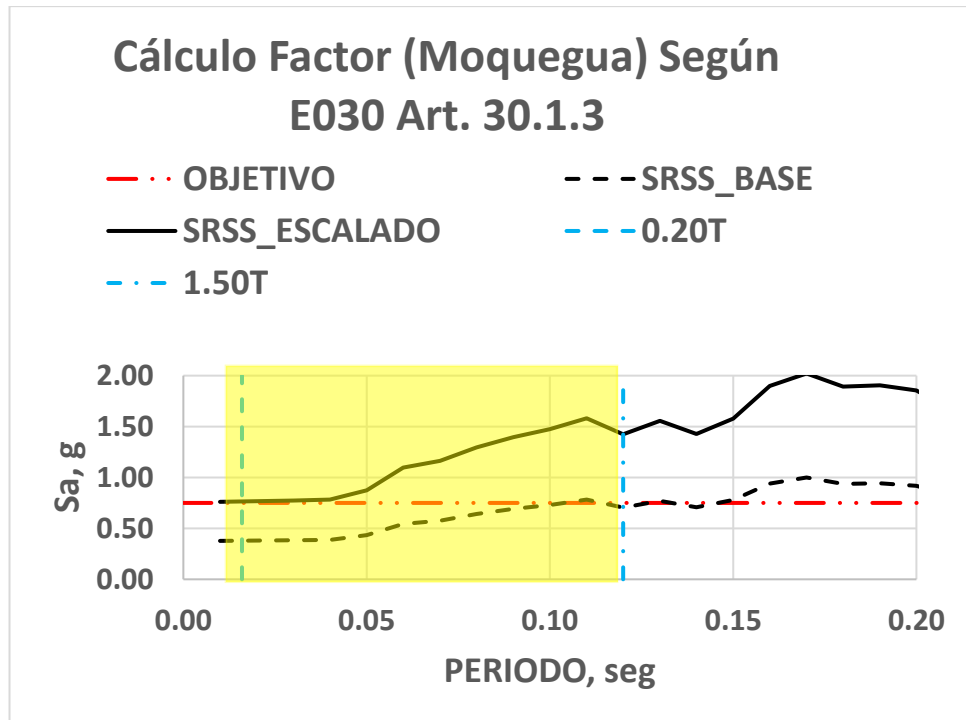
*Escalamiento para el sismo de Chile – Maule (2010)*



Fuente: Gálvez, (2022).

**Figura 32**

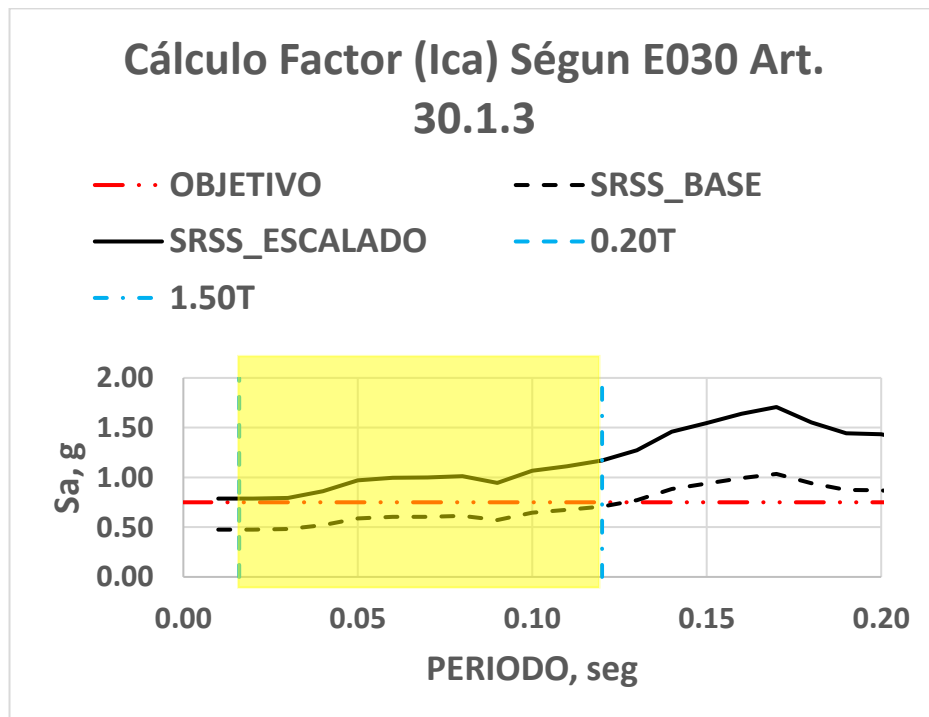
Escalamiento para el sismo de Perú – Moquegua (2001)



Fuente: Gálvez, (2022).

**Figura 33**

Escalamiento para el sismo de Perú – Ica (2007)

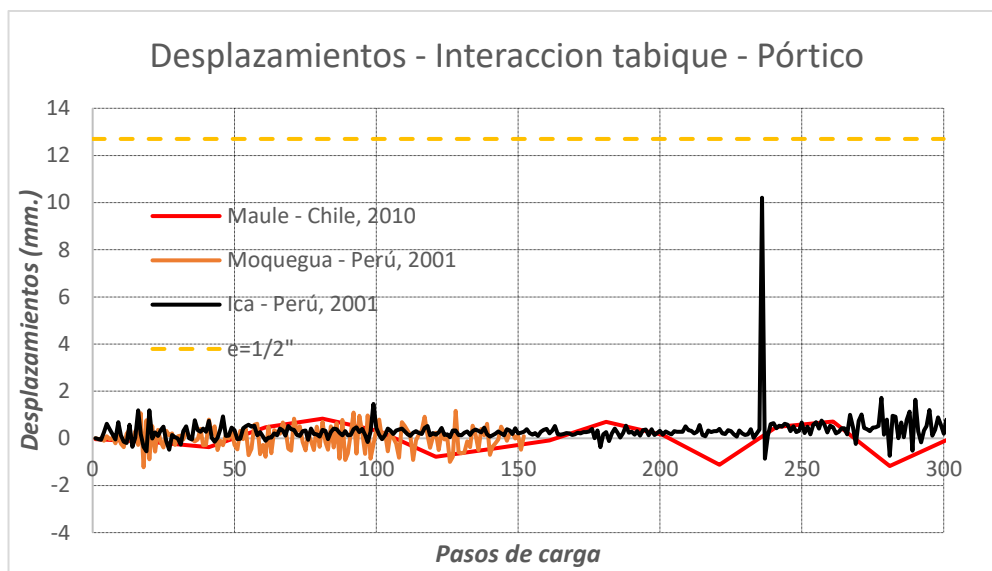


Fuente: Gálvez, (2022).

Considerando las condiciones de sitio de Huánuco – Amarilis ( $Z=0.25g$ ,  $U=1.0$ ,  $S=1.0$ ) y con la ejecución de los sismos de Maule – Chile (2010), Moquegua – Perú (2001) e Ica – Perú (2007), se presentan los desplazamientos ocurridos entre la columna y columneta.

**Figura 34**

*Historia de desplazamientos entre columnetas y columnas*



**Tabla 6**

*Puntuaciones para la calibración*

Calibración de la respuesta histerética		
Registro sísmico	Máximo desplazamiento (mm)	Máxima deriva de entrepiso ( $\delta/h$ )
Maule Chile EW	1.12	0.00032
Maule Chile NS	1.05	0.00030
Moquegua Perú EW	1.22	0.00034
Moquegua Perú NS	1.19	0.00033
ICA Perú EW	10.25	0.0029
ICA Perú NS	10.05	0.0028

Desempeño sísmico:  $(\delta/h) < 1.25(\delta/h)$

Desempeño sísmico:  $0.0029 < 0.00875$  CUMPLE Buen desempeño

780-PRE

Cuando se realice la utilización de tres registros sísmicos en dos componentes de análisis, se escoge el mayor de los desplazamientos

por lo cual se elige 10.25 milímetros de desplazamiento entre el elemento estructural (llámese columna) versus el elemento no estructural (llámese columneta). Este desplazamiento representa la identificación de un espesor de junta sísmica que minimiza óptimamente el efecto de columna corta, cumpliendo con criterios de desempeño sísmico.

**Tabla 7**

*Evaluación del espesor de junta sísmica en función del desplazamiento relativo máximo*

<b>Espesor de junta (mm)</b>	<b>Comparación con desplazamiento (10.25 mm)</b>	<b>Interacción columna - tabique</b>	<b>Cumplimiento</b>	<b>Interpretación</b>
5 mm	< 10.25 mm	Existe contacto	No cumple	Se mantiene el efecto de columna corta
10 mm	≈ 10.25 mm	Contacto incipiente	Limite	Riesgo de interacción
12.7 mm (1/2")	> 10.25 mm	No hay contacto	Cumple	Evita interacción comportamiento adecuado
15 mm	> 10.25 mm	No hay contacto	Cumple	Conservador

## CAPITULO V

### DISCUSION DE RESULTADOS

#### 5.1. CONTRASTACIÓN DE RESULTADOS

Las evidencias principales del presente estudio son:

- Determinación del desplazamiento máximo entre columnas y columnetas considerando las condiciones sísmicas ( $Z=0.45g$ ,  $U=1.00$ ,  $S=1.2$ ) del ensayo experimental del espécimen del pórtico 780-PRE.
- Se determinó un desplazamiento máximo de 10.25 milímetros entre columnas y columnetas, considerando las condiciones sísmicas del distrito de Amarilis, en la ciudad de Huánuco ( $Z = 0.25g$ ,  $U = 1.00$ ,  $S = 1.0$ ), empleando el modelo del ensayo experimental del pórtico tipo 780-PRE. Para ello, se efectuó un análisis dinámico no lineal utilizando tres registros sísmicos: Maule, Chile (2010); Moquegua, Perú (2001) e Ica, Perú (2007). No obstante, desde el punto de vista constructivo, se recomienda utilizar una junta mínima de 1/2", con el fin de reducir la manifestación del efecto de columna corta.
- El desempeño estructural se realizó utilizando el artículo 30 del RNE en su apartado E030, obteniéndose un desempeño satisfactorio con el espesor propuesto de 1/2" (para las condiciones sísmicas de Amarilis – Huánuco).

Contraste de las evidencias con Vásquez & Sánchez (2023):

- Esta investigación concuerda con que: aislar los tabiques de la superestructura y aplicar encamisado en las columnas, mejorará el desempeño estructural y reducirá los desplazamientos a niveles aceptables, sin embargo, no basta con indicarlo sino con comprobarlo como se realizó en el apartado 4.2.
- Estos autores también recomiendan que, en estudios y diseños sísmicos de edificaciones escolares similares, especialmente en zonas sísmicas como Arequipa, se incorpore el análisis con interacción tabique-pórtico para obtener estimaciones más realistas y seguras. Tal como se hizo en el apartado 4.2, ajustar el espectro de diseño a estimaciones del análisis no lineal dinámico, el cual mostró el real desplazamiento de la interacción tabique-pórtico para la realidad de Huánuco.

Contraste de las evidencias con Vega (2021):

- Este autor verificó que, si los tabiques no están bien aislados del sistema estructural a porticado, su presencia afecta desfavorablemente la respuesta sísmica del edificio. Tal cual como mostró esta investigación mediante la figura 34 en donde se nota el fenómeno de columna corta debido a la mala respuesta sísmica.
- Las deformaciones relativas entre niveles (drift o deriva entrepiso) se ven incrementadas con el mal aislamiento de los tabiques. En contraste con esta investigación, se encontró que los drift o deriva de entrepiso luego del análisis dinámico no lineal estaban del orden de 0.003 como máximo.
- El análisis se basó en modelos matemáticos que incluyen el análisis modal espectral, realizado con ETABS y de acuerdo a la norma técnica de edificación E.030 de diseño sismorresistente. Esto permitió cuantificar las variaciones atribuibles al mal aislamiento. En contraste con esta investigación, el análisis estuvo basado en el artículo 30 del reglamento E.030, en el cual se sometió a excitaciones dinámicas al pórtico 780-PRE, pero bajo la realidad de Amarilis – Huánuco.

Contraste de las evidencias con H. El-Dakhkhni et al. (2003):

- Juntas de 15 a 20 mm (1.5–2 cm) fueron suficientes para eliminar la concentración de esfuerzos en columnas y reducir la rigidez inicial excesiva. Tal como se propone en esta investigación, un espesor equivalente a 1/2" (12.70 mm).

Esto incrementa notablemente las fuerzas cortantes y momentos en columnas adyacentes, generando el efecto de columna corta en la zona donde el tabique llega a media altura de la columna.

Fortalezas:

- La utilización del análisis dinámico no lineal usando señales sísmicas reales y concordantes con el lugar de análisis (Huánuco – Amarilis) representa el modelo avanzado dentro de la ingeniería estructural.
- El ensayo experimental realizado al pórtico 780-PRE representa un modelo capaz de simular el efecto de la columna corta en edificaciones educativas, de este ensayo real se han desprendido los resultados que

indican la utilización de 1/2" de junta sísmica para una zona no sísmica y 2" para una zona sísmica.

- La coherencia de los resultados obtenidos contra los resultados contrastados muestra que los resultados son confiables y útiles dentro de la ingeniería civil.

Limitaciones:

- La norma E.030 menciona la utilización como máximo de 7 registros, sin embargo, en esta investigación se utilizó el mínimo, es decir 3 registros, esta limitación recae por el amplio esfuerzo computacional al ejecutar análisis no lineales.
- Esta investigación solo se ha basado en la zona sísmica 2 (zona predominante para la ciudad de Huánuco – Amarilis), lo ideal sería obtener este espesor mínimo para todas las regiones sísmicas con diferentes tipos de suelo.

## CONCLUSIONES

Se determinó, mediante simulación numérica para las condiciones sísmicas del distrito de Amarilis ( $Z=0.25g$ ), que el desplazamiento relativo máximo entre la columneta y la columna es de 10.25 mm, Por lo tanto, se establece que el espesor óptimo de junta sísmica debe ser superior a este valor, recomendándose un espesor constructivo de 1/2" (12.70 mm) para mitigar el efecto de columna corta.

Fue posible desarrollar un modelo numérico validado mediante calibración histerética del pórtico escolar tipo 780-PRE para la ejecución de la simulación del efecto de columna corta ante excitaciones sísmicas, estas excitaciones sísmicas fueron: Maule Chile (2010), Moquegua Perú (2001) e Ica Perú (2007), todos ellos escalados al espectro elástico concordante al artículo 30 del RNE E.030, (2018).

Se evaluó la influencia de la variación del espesor de junta sísmica, demostrando que al proveer una separación de 1/2" (12.70 mm), los indicadores de respuesta estructural (deriva de entrepiso y desplazamiento lateral) se mantienen dentro de los límites admisibles de la norma E.030, evitando la interacción tabique-pórtico y, por ende, mitigando el efecto de columna corta.

La Identificación del espesor o rango de espesores de junta sísmica que optimice la respuesta estructural fue ejecutada realizando tres pares de registros sísmicos concordantes a la normativa E.030 (2018), luego la minimización del efecto de columna corta se ha realizado cuantificando la deriva entrepiso obtenida de análisis no lineales con la deriva máxima según la E.030 (2018).

El espécimen denominado 780-PRE es un ensayo experimental idóneo para evaluar diversos sistemas estructurales, el mismo que en esta investigación fue realizada para determinar el espesor prudente de acuerdo a las condiciones sísmicas de la ciudad de Huánuco.

## RECOMENDACIONES

La determinación del espesor mínimo de junta sísmica para minimizar el efecto de la columna corta tiene que ser ejecutado considerando todas las zonas sísmicas con los diferentes tipos de suelo propuesto por la normativa E.030, (2018). Esto servirá para aplicarlo a todas las condiciones del Perú, tanto en zonas sísmicas altas, medianas y bajas.

La calibración de la respuesta histerética del espécimen 780-PRE muestra la similitud del ensayo real con el ensayo experimental, sin embargo, existen más modelos de este espécimen como son: 780-PRE-AMACA, 780-PRE REFORZADO, 780-PRE MODIFICADO, etc., mismos que servirán para la representación de diversos parámetros dentro de la ingeniería sísmica.

En la página web de SENCICO existen un total de 21 señales sísmicas con ambas componentes verticales, mismos que son idóneos para la aplicación del artículo 30, es decir existe un abanico de posibilidades para evaluar la generación y mitigación del efecto de la columna corta en edificaciones educativas.

La influencia de la variación del espesor de junta sísmica en los indicadores de respuesta estructural que no han sido cuantificados se puede lograr utilizando la plasticidad concentrada, es decir indicándole zonas de rotulaciones plásticas a las columnas y evaluar las fuerzas concentradas en ella, también evaluar estas fuerzas, pero ya con la interacción tabique pórtico.

## BIBLIOGRAFIA

- Alidad, H. (2007). *Seismic evaluation of reinforced concrete buildings including effects of masonry infill walls* (PEER Report 2007-100). Pacific Earthquake Engineering Research Center. <https://peer.berkeley.edu/publications/2007-100>
- ASCE. (2017). *Seismic evaluation and retrofit of existing buildings* (ASCE/SEI 41-17).
- Beaupertuy, J. L. (2022). *El efecto de columna corta: Estudio de casos*. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/339697161>
- Bernal, C. A. (2010). *Metodología de la investigación: Para administración, economía, humanidades y ciencias sociales*. <https://abacoenred.org/>
- BuildSoft. (2022). *Conceptos básicos de un modelo de análisis estructural*. Recuperado de <https://www.buildsoft.eu/>
- Cagatay, I. (2010). *Investigation of short column effect of RC buildings: Failure and prevention*. <https://www.researchgate.net/publication/264150838>
- Chopra, A. K. (2014). *Dinámica de estructuras* (4.<sup>a</sup> ed.). Pearson.
- CISMID. (2016). *Propuesta de actualización del Reglamento Nacional de Edificaciones para incorporar el reforzamiento incremental en edificaciones escolares tipo 780 construidas antes de 1997*. CISMID–UNI.
- Cornejo, C. (2019). *Comportamiento experimental de columnas cortas con refuerzo externo* [Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <https://tesis.pucp.edu.pe/>
- Crespo, C. (2008). *Mecánica de suelos y cimentaciones*. Limusa.
- CISMID. (2019). *Informe técnico sobre vulnerabilidad sísmica de edificaciones escolares*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Derbes, E. (2020). *Pórticos de concreto armado*. <https://es.scribd.com/>
- DIANA FEA BV. (2022). *DIANA finite element analysis: Documentation (Release 10.5)* (D. Ferreira & J. Manie, Eds.). DIANA FEA BV.
- Domínguez, M. (2014). Períodos de vibración de las edificaciones. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 8. Recuperado de <http://www.redalyc.org/>
- El-Dakhakhni, W., et al. (2003). *Influence of openings and separation gap on infilled RC frames*.

- Galicia Guarníz, W. C., & León Vásquez, J. R. (2007). *Interacción sísmica suelo-estructura en edificaciones de albañilería confinada con plateas de cimentación* [Tesis]. Universidad Privada Antenor Orrego.
- Gálvez Villacorta, A. (s. f.). *El análisis no lineal dinámico y su aplicación en la simulación de respuestas estructurales* [Documento técnico]. ADGAVI y Asociados S.A.C.
- Gonzáles, O. (2008). *Análisis estructural*. Limusa.
- Han Fang, Q., & Li, M. (2024). Behaviour and design of high-strength octagonal CFST short columns subjected to combined compression and bending. *Journal of Constructional Steel Research*. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/>
- Hernández Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2022). *Metodología de la investigación* (7.<sup>a</sup> ed.). McGraw Hill.
- Ibarra, K. R. (2019). *Análisis y diseño de mejora de desempeño estructural de pérgolas*. <https://doi.org/10.36790/epistemus.v13i26.91>
- INFES. (1998). *Informe técnico sobre la evaluación experimental del módulo 780-PRE*. Instituto Nacional de Infraestructura Educativa y de Salud.
- Meli, R., & Bazán, E. (2010). *Diseño sísmico de edificios*. Limusa.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2018). *Norma Técnica E.030 Diseño sismorresistente*. RNE del Perú.
- Muñoz, A. (2020). *Comentarios a la Norma Peruana E.030 Diseño Sismorresistente*. Recuperado de <https://www.gob.pe/>
- NIST. (2010). *Nonlinear structural analysis for seismic design* (NIST GCR 10-917-5). <https://www.nehrp.gov/>
- Norma E.020. (2009). *Cargas*. Instituto de la Construcción y Gerencia.
- Norma E.060. (2009). *Concreto armado*. Instituto de la Construcción y Gerencia.
- Norma E.070. (2021). *Albañilería*. SENCICO.
- Norma E.030. (2018). *Diseño sismorresistente*. Instituto de la Construcción y Gerencia.
- Olarte, J. R. (2016). *Análisis dinámico y técnicas de reforzamiento en estructuras de infraestructura educativa*. CISMID–UNI.

- Palella, S., & Martins, F. (2008). *Metodología de la investigación cuantitativa*. Recuperado de <https://investigacionmetodologicaderojas.blogspot.com/>
- PRONIED. (2020). *Informe técnico sobre el estado estructural de los módulos 780-PRE*. Ministerio de Educación del Perú.
- San Bartolomé, A., Quiun, D., & Silva, W. (2011). *Diseño y construcción de estructuras sismorresistentes de albañilería*. PUCP.
- Sánchez, J. (2019). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica estructural considerando el efecto de columna corta* [Tesis]. UNAM.
- Suárez, L. (2020). *Golpeteo estructural*. Recuperado de <https://www.uprm.edu/>
- Tamayo, M. (2003). *El proceso de la investigación científica*. Recuperado de <https://www.gob.mx/>
- Tavera, H., Bernal, I., Condori, C., Ordaz, M., Zevallos, M., & Ishizawa, O. (2014). *Evaluación del peligro sísmico en Perú*.
- Taylor, S. J., & Bogdan, R. (1994). *Introducción a los métodos cualitativos de investigación*. Recuperado de <https://pics.unison.mx/>
- UNI. (2022). *Edificios educativos 2*. Recuperado de <https://es.slideshare.net/>
- Vásquez, B. S. (2023). *Evaluación de dos pabellones considerando los efectos de interacción tabique-pórtico y columna corta*. Universidad Privada Antenor Orrego.
- Vega, C. (2021). *Influencia del mal aislamiento de tabiques en la respuesta sísmica del edificio aporticado en Lima*. Universidad Peruana Los Andes.
- Villarreal, G. (2009). *Análisis estructural*. Recuperado de <https://www.academia.edu/>

### **COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

Pacci Mejía, C. (2025). *Optimización del espesor de junta sísmica para mitigar el efecto de columna corta en pórticos escolares tipo 780-pre, distrito de Amarilis - Huánuco - 2025*. [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <https://...>

## **ANEXOS**

## ANEXO 1

### MATRIZ DE CONSISTENCIA

**Título:** “Optimización del espesor de junta sísmica para mitigar el efecto de columna corta en pórticos escolares tipo 780-pre, Distrito de Amarilis, Huánuco, 2025”

Formulación del problema	Objetivo	Hipótesis	Variable	Indicadores	Metodología de la investigación
<p><b>Formulación general</b> ¿Cuál es el espesor óptimo de junta sísmica, obtenido por simulación numérica, que minimiza el efecto de columna corta en pórticos escolares tipo 780- PRE distrito de Amarilis, Huánuco?</p> <p><b>Problemas específicos</b> PE1: ¿Cómo desarrollar un modelo numérico valido del pórtico escolar tipo 780-PRE que simule con precisión el efecto de columna corta ante excitaciones sísmicas? PE2: ¿De qué manera la variación del espesor de junta sísmica influye en los indicadores de respuesta estructural asociados al</p>	<p><b>Objetivo general</b> Determinar, mediante simulación numérica, el espesor óptimo de junta sísmica para minimizar el efecto de columna corta en pórticos escolares tipo 780-PRE del distrito de Amarilis, Huánuco.</p> <p><b>Objetivos específicos</b> OE1: Desarrollar un modelo numérico validado del pórtico escolar tipo 780-PRE para simular con precisión el efecto de columna corta ante excitaciones sísmicas. OE2: Evaluar la influencia de la variación del espesor de junta sísmica</p>	<p><b>Hipótesis general</b> HG1: La aplicación de un espesor óptimo de junta sísmica, obtenido mediante simulación numérica, minimiza significativamente el efecto de columna corta en los pórticos escolares tipo 780-PRE, en comparación con la ausencia de junta o espesores no optimizados.</p> <p><b>Hipótesis específicas</b> HE1: Es factible desarrollar un modelo numérico validado del pórtico tipo 780-PRE que simule con precisión el efecto de columna corta bajo excitaciones sísmicas. HE2: Existe una relación cuantificable entre la magnitud del espesor de junta sísmica y la variación de los indicadores de respuesta estructural asociados al efecto de columna corta.</p>	<p><b>Variable Independiente:</b> Espesor de junta sísmica</p> <p><b>Variable dependiente:</b> Efecto de columna corta</p>	<p>-Espesor aplicado (mm)</p> <p>-Esfuerzo cortante</p> <p>-Deriva interpisos</p> <p>-Desplazamiento lateral</p> <p>-Zonas plastificadas</p> <p>-Modelo estructural elaborado según norma</p> <p>-Resultados estructurales FEM</p>	<p><b>Tipo de investigación:</b> Aplicada</p> <p><b>Enfoque:</b> Cuantitativo</p> <p><b>Nivel:</b> Explicativo</p> <p><b>Diseño:</b> Cuasi-experimental</p> <p><b>Población:</b> Edificaciones escolares tipo 780-PRE del distrito de Amarilis</p> <p><b>Muestra:</b> Un (1) Modelo numérico estructural representativo tipo 780-PRE</p> <p><b>Técnicas:</b> Revisión documental</p>

---

<p>efecto de columna corta en el modelo del pórtico tipo 780-PRE?</p> <p><b>PE3:</b> ¿Cuál es el espesor o rango de espesores de junta sísmica que, según criterios de desempeño sísmico, optimiza la respuesta estructural minimizando el efecto de columna corta?</p>	<p>en los indicadores de respuesta estructural asociados al efecto de columna corta.</p> <p><b>OE3.</b> Identificar el espesor o rango de espesores de junta sísmica que optimiza la respuesta estructural, minimizando el efecto de columna corta, según criterios de desempeño sísmico.</p>	<p><b>HE3:</b> Se identificó un espesor o rango de espesores de junta sísmica que minimiza óptimamente el efecto de columna corta, cumpliendo con criterios de desempeño sísmico predefinidos.</p>	<p>-Comparación de curvas fuerza-desplazamiento</p> <p>-Reducción de daño estructural</p>	<p>Modelado numérico por elementos finitos</p> <p>Simulación de análisis dinámico no lineal</p> <p><b>Instrumentos:</b></p> <p>Fichas de recopilación de datos</p> <p>Software DIANA FEM</p>
---	---	--	---	--

---

## ANEXO 2

### PANEL FOTOGRÁFICO

TESIS	“Optimización del espesor de junta sísmica para mitigar el efecto de columna corta en pórticos escolares tipo 780-pre, distrito de Amarilis - Huánuco - 2025”
TESISTA	Bach. Cristhoper Frank Pacci Mejía
ASESOR	Mg. William Paolo Taboada Trujillo
FECHA	01/09/2025
	I.E Julio Armando Ruiz Vásquez



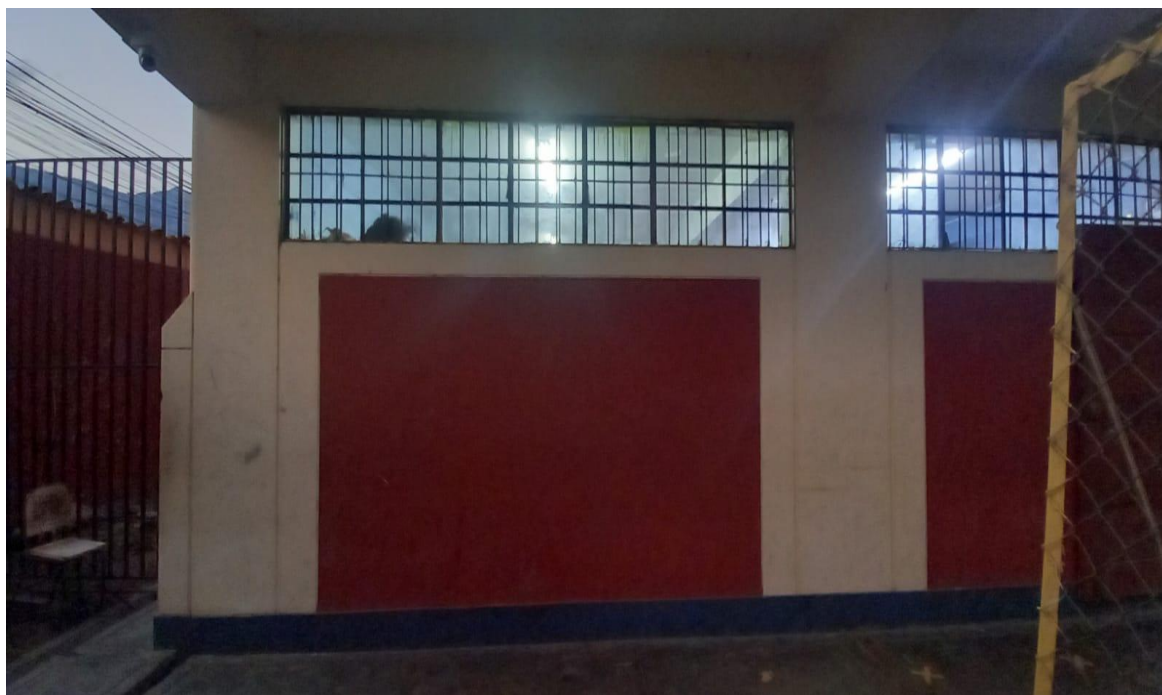
Fotografía 1 Vista de frontal de la I.E Julio Armando Ruiz Vasquez.

TESIS	“Optimización del espesor de junta sísmica para mitigar el efecto de columna corta en pórticos escolares tipo 780-pre, distrito de Amarilis - Huánuco - 2025”
TESISTA	Bach. Cristhoper Frank Pacci Mejía
ASESOR	Mg. William Paolo Taboada Trujillo
FECHA	01/09/2025
	I.E Julio Armando Ruiz Vásquez



Fotografía 2 Vista de frontal del pabellon 4, se aprecia el modelo de portico escolar tipo 780-PRE, estandarizado con un modelo repetitivo.

TESIS	“Optimización del espesor de junta sísmica para mitigar el efecto de columna corta en pórticos escolares tipo 780-pre, distrito de Amarilis - Huánuco - 2025”
TESISTA	Bach. Cristhoper Frank Pacci Mejía
ASESOR	Mg. William Paolo Taboada Trujillo
FECHA	01/09/2025
	I.E Julio Armando Ruiz Vásquez



Fotografía 3 Vista de un aula escolar, el muro se encuentra confinado entre columnas y vigas de concreto armado, los vanos de ventana se ubican en la parte superior del muro, lo que puede generar el efecto de columna corta si no se cuenta con juntas sísmicas adecuadas.

TESIS	“Optimización del espesor de junta sísmica para mitigar el efecto de columna corta en pórticos escolares tipo 780-pre, distrito de Amarilis - Huánuco - 2025”
TESISTA	Bach. Cristhoper Frank Pacci Mejía
ASESOR	Mg. William Paolo Taboada Trujillo
FECHA	01/09/2025
	I.E Julio Armando Ruiz Vásquez



Fotografía 4 Vista interna del aula escolar del cuarto grado de primaria.

TESIS	“Optimización del espesor de junta sísmica para mitigar el efecto de columna corta en pórticos escolares tipo 780-pre, distrito de Amarilis - Huánuco - 2025”
TESISTA	Bach. Cristhoper Frank Pacci Mejía
ASESOR	Mg. William Paolo Taboada Trujillo
FECHA	01/09/2025
	I.E Julio Armando Ruiz Vásquez



Fotografía 5 Vista interna del aula, procedemos a realizar una inspeccion visual de como se encuentra la estructura para ver si presenta daños como fisuras, desprendimientos, deformaciones o indicios de deterioro que puedan comprometer el desempeño estructural del portico ante acciones sismicas. Asi mismo se verifica el vano alto de ventana y su interracion con los elementos de concreto armado, debido a su incidencia en el efecto de columna corta.

TESIS	“Optimización del espesor de junta sísmica para mitigar el efecto de columna corta en pórticos escolares tipo 780-pre, distrito de Amarilis - Huánuco - 2025”
TESISTA	Bach. Cristhoper Frank Pacci Mejía
ASESOR	Mg. William Paolo Taboada Trujillo
FECHA	01/09/2025
	I.E Julio Armando Ruiz Vásquez



Fotografía 6 Vista interna del aula, procedemos a recopilar datos, realizando la medición del portico con ayuda de un flexometro, tanto de columnas, vigas y muros.

TESIS	“Optimización del espesor de junta sísmica para mitigar el efecto de columna corta en pórticos escolares tipo 780-pre, distrito de Amarilis - Huánuco - 2025”
TESISTA	Bach. Cristhoper Frank Pacci Mejía
ASESOR	Mg. William Paolo Taboada Trujillo
FECHA	10/09/2025
	I.E CESAR VALLEJO



Fotografía 7 Vista frontal de la I.E Cesar Vallejo

TESIS	“Optimización del espesor de junta sísmica para mitigar el efecto de columna corta en pórticos escolares tipo 780-pre, distrito de Amarilis - Huánuco - 2025”
TESISTA	Bach. Cristhoper Frank Pacci Mejía
ASESOR	Mg. William Paolo Taboada Trujillo
FECHA	10/09/2025
	I.E CESAR VALLEJO



Fotografía 8 Vista frontal, podemos apreciar el pabellon “A” del I.E Cesar Vallejo, los porticos estan contruidos según el prototipo 780-PRE.

TESIS	“Optimización del espesor de junta sísmica para mitigar el efecto de columna corta en pórticos escolares tipo 780-pre, distrito de Amarilis - Huánuco - 2025”
TESISTA	Bach. Cristhoper Frank Pacci Mejía
ASESOR	Mg. William Paolo Taboada Trujillo
FECHA	10/09/2025
	I.E CESAR VALLEJO



Fotografía 9 Vista de un aula escolar, el muro se encuentra confinado entre columnas y vigas de concreto armado, los vanos de ventana se ubican en la parte superior del muro, lo que puede generar el efecto de columna corta si no se cuenta con juntas sísmicas adecuadas.

TESIS	“Optimización del espesor de junta sísmica para mitigar el efecto de columna corta en pórticos escolares tipo 780-pre, distrito de Amarilis - Huánuco - 2025”
TESISTA	Bach. Cristhoper Frank Pacci Mejía
ASESOR	Mg. William Paolo Taboada Trujillo
FECHA	10/09/2025
	I.E CESAR VALLEJO



Fotografía 10 Se puede apreciar la vista interna del aula del tercer grado de secundaria

TESIS	“Optimización del espesor de junta sísmica para mitigar el efecto de columna corta en pórticos escolares tipo 780-pre, distrito de Amarilis - Huánuco - 2025”
TESISTA	Bach. Cristhoper Frank Pacci Mejía
ASESOR	Mg. William Paolo Taboada Trujillo
FECHA	10/09/2025
	I.E CESAR VALLEJO



Fotografía 11 Empezamos a realizar la inspeccion visual del portico para ver en que situacion se encuentra, a su vez procedemos a obtener las mediciones correspondientes; cabe resaltar que hay una diferencia con las demas instituciones respecto a los vanos altos ya que las ventanas tienen una altura de 50cm.

TESIS	“Optimización del espesor de junta sísmica para mitigar el efecto de columna corta en pórticos escolares tipo 780-pre, distrito de Amarilis - Huánuco - 2025”
-------	---

TESISTA	Bach. Cristhoper Frank Pacci Mejía
ASESOR	Mg. William Paolo Taboada Trujillo
FECHA	11/09/2025
	I.E José Carlos Mariátegui



Fotografía 12 : Vista Frontal de la I.E Jose Carlos Mariategui.

TESIS	“Optimización del espesor de junta sísmica para mitigar el efecto de columna corta en pórticos escolares tipo 780-pre, distrito de Amarilis - Huánuco - 2025”
TESISTA	Bach. Cristhoper Frank Pacci Mejía
ASESOR	Mg. William Paolo Taboada Trujillo
FECHA	11/09/2025
	I.E José Carlos Mariátegui



Fotografía 13 Vista del segundo nivel del pabellon A, se aprecia como esta conformado el portico con el prototipo 780-PRE.

TESIS	“Optimización del espesor de junta sísmica para mitigar el efecto de columna corta en pórticos escolares tipo 780-pre, distrito de Amarilis - Huánuco - 2025”
TESISTA	Bach. Cristhoper Frank Pacci Mejía
ASESOR	Mg. William Paolo Taboada Trujillo
FECHA	11/09/2025
	I.E José Carlos Mariátegui



Fotografía 14 Vista interna del aula del cuarto grado se secundaria, se aprecia como esta conformado el portico con el prototipo 780-PRE, procedemos a obtener las medidas del correspondientes del portico.

TESIS	“Optimización del espesor de junta sísmica para mitigar el efecto de columna corta en pórticos escolares tipo 780-pre, distrito de Amarilis - Huánuco - 2025”
TESISTA	Bach. Cristhoper Frank Pacci Mejía
ASESOR	Mg. William Paolo Taboada Trujillo
FECHA	11/09/2025
	I.E José Carlos Mariátegui



Fotografía 15 En la figura se aprecia el vano superior de ventana ubicado en el aula, el cual presenta una altura y configuración similar a la observada en la primera edificación inspeccionada (I.E Julio Armando Ruiz Vásquez).

# ANEXO 3

## AUTORIZACIONES

### AUTORIZACIÓN

Yo, Vidal Ticona Chaiña con DNI 01281575 en mi calidad de Director de la I.E. "Cesar Vallejo" por medio de la presente, AUTORIZO al Bachiller, Cristhoper Frank Pacci Mejía, egresado de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad de Huánuco, a hacer uso de las instalaciones de este plantel con la finalidad de desarrollar las actividades necesarias para su tesis titulado: "Optimización del espesor de junta sísmica para mitigar el efecto de columna corta en pórticos escolares tipo 780-PRE, distrito de Amarilis - Huánuco - 2025".

El uso de las instalaciones se permitirá únicamente para fines académicos y de investigación, cuidando en todo momento la integridad de la infraestructura.

Sin otro particular, extendo la presente autorización para los fines correspondientes.



The image shows a circular official stamp of the Regional Directorate of Education of Huánuco, specifically for the Cesar Vallejo Institute. The stamp contains the text: 'DIRECCION REGIONAL DE EDUCACION HUANUCO', 'I.E. N° 1711 EDUCACION POSTALAMUNCO', 'TESAR VALLEJO / PAUCARBANBA', 'SUBDIRECCION', and 'TESAR VALLEJO'. Overlaid on the stamp is a handwritten signature in blue ink, which appears to be 'Vidal Ticona Chaiña'. Below the signature, the name 'Mg. Vidal Ticona Chaiña' and the title 'SUBDIRECTOR' are printed.

Director

Huánuco, 10 de Septiembre de 2025

**AUTORIZACIÓN**

Yo, JARAMILLO FALCÓN, Esaú con DNI 22487922 en mi calidad de Director del CEBA "Julio Armando Ruiz Vásquez" por medio de la presente, AUTORIZO al Bachiller, Cristhoper Frank Pacci Mejía, egresado de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad de Huánuco, a hacer uso de las instalaciones de este plantel con la finalidad de desarrollar las actividades necesarias para su tesis titulado: "Optimización del espesor de junta sísmica para mitigar el efecto de columna corta en pórticos escolares tipo 780-PRE, distrito de Amarilis - Huánuco - 2025".

El uso de las instalaciones se permitirá únicamente para fines académicos y de investigación, cuidando en todo momento la integridad de la infraestructura.

Sin otro particular, extendiendo la presente autorización para los fines correspondientes.

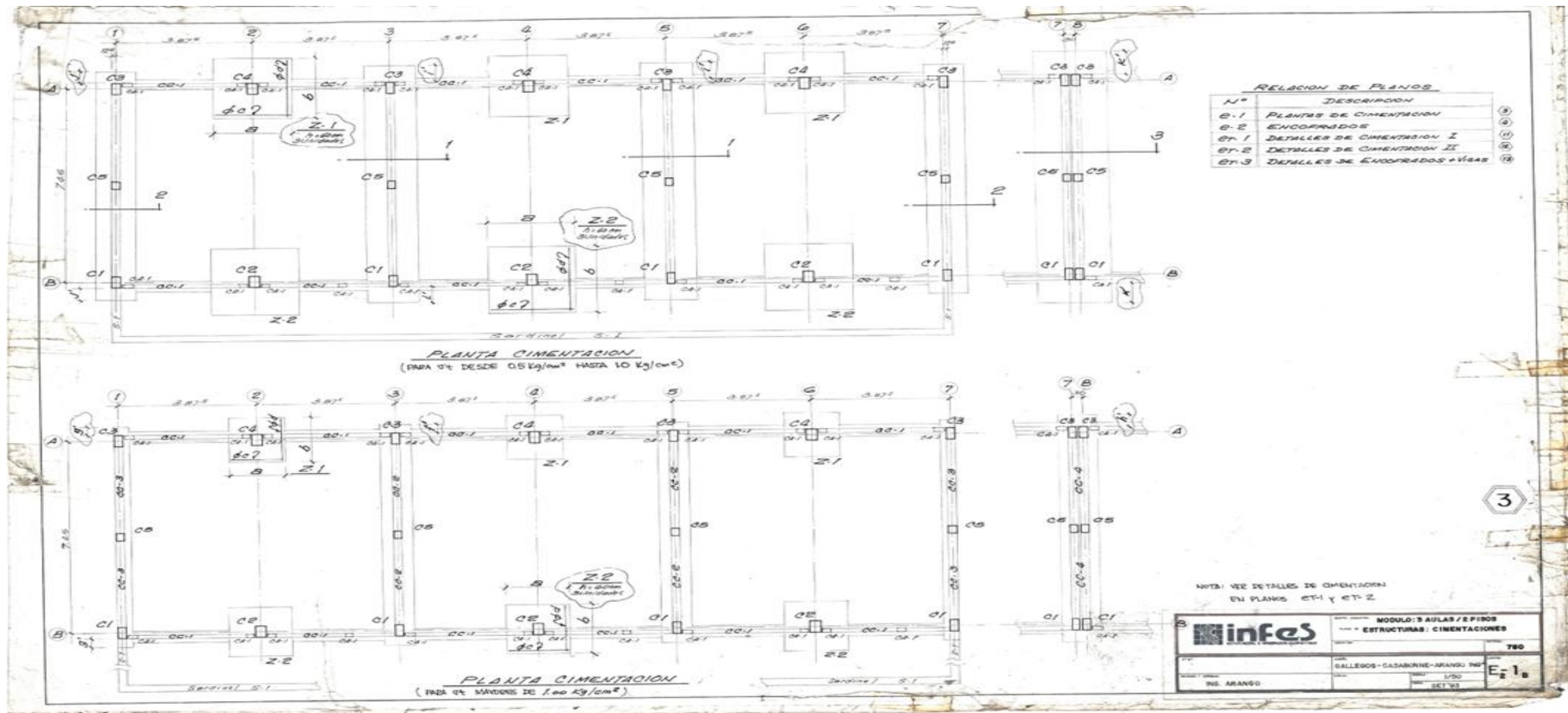
Huánuco, 01 de Setiembre de 2025

  
MINISTERIO DE EDUCACIÓN  
DE HUÁNUCO  
Esaú Jaramillo Falcón  
DIRECTOR

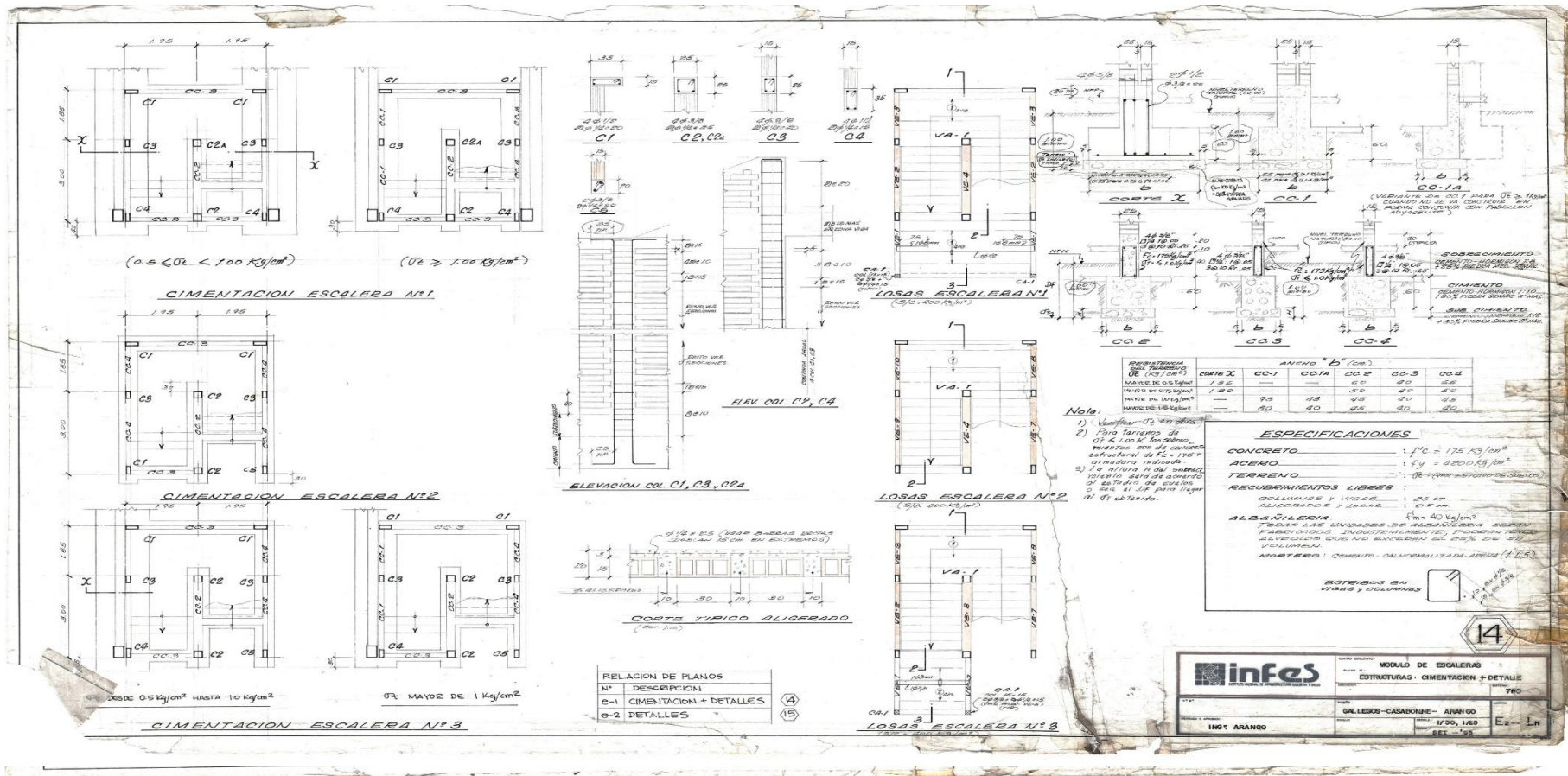
Director

## ANEXO 4

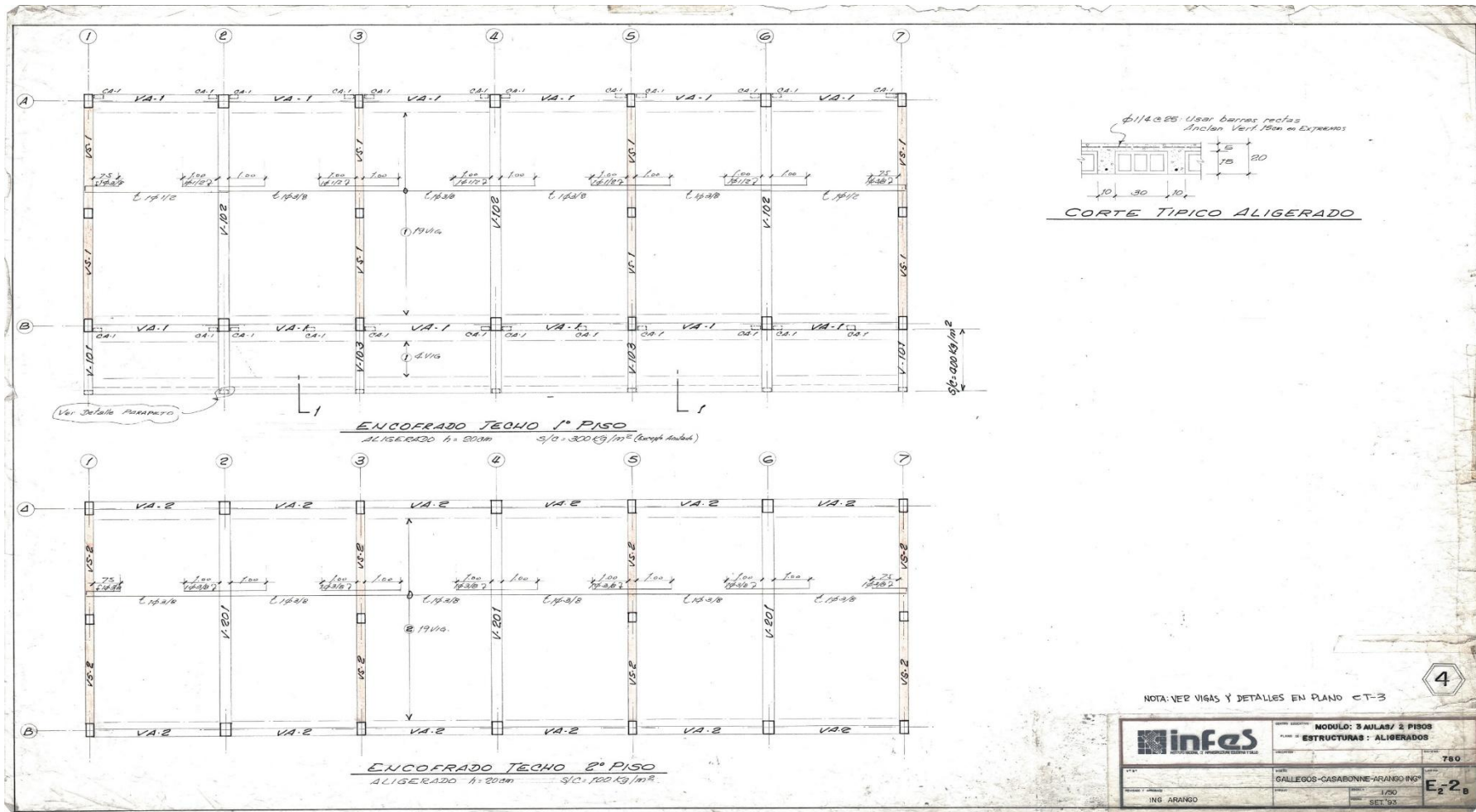
### PLANOS PROTOTIPO ESTRUCTURAL TIPO 780-PRE



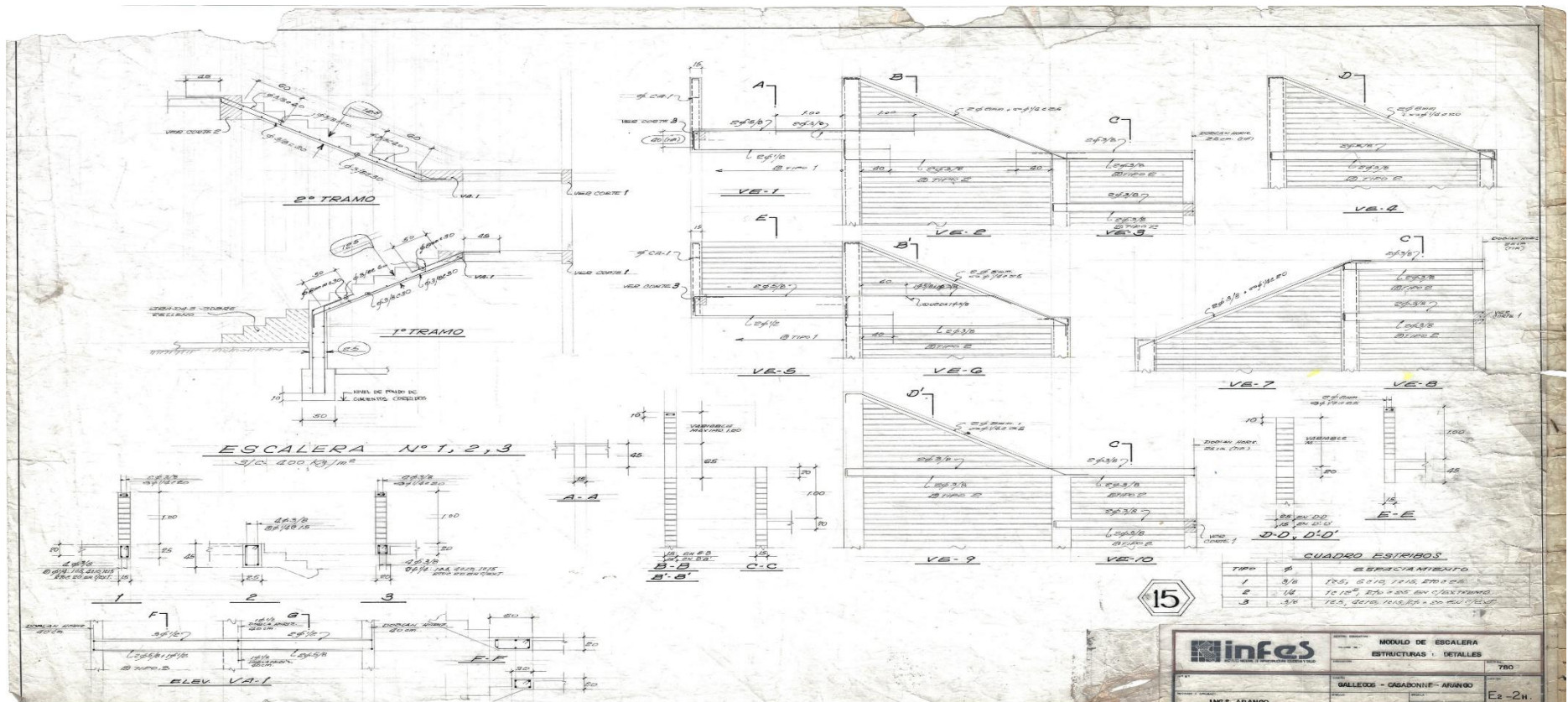
Fuente: Instituto Nacional de Infraestructura Educativa y Salud



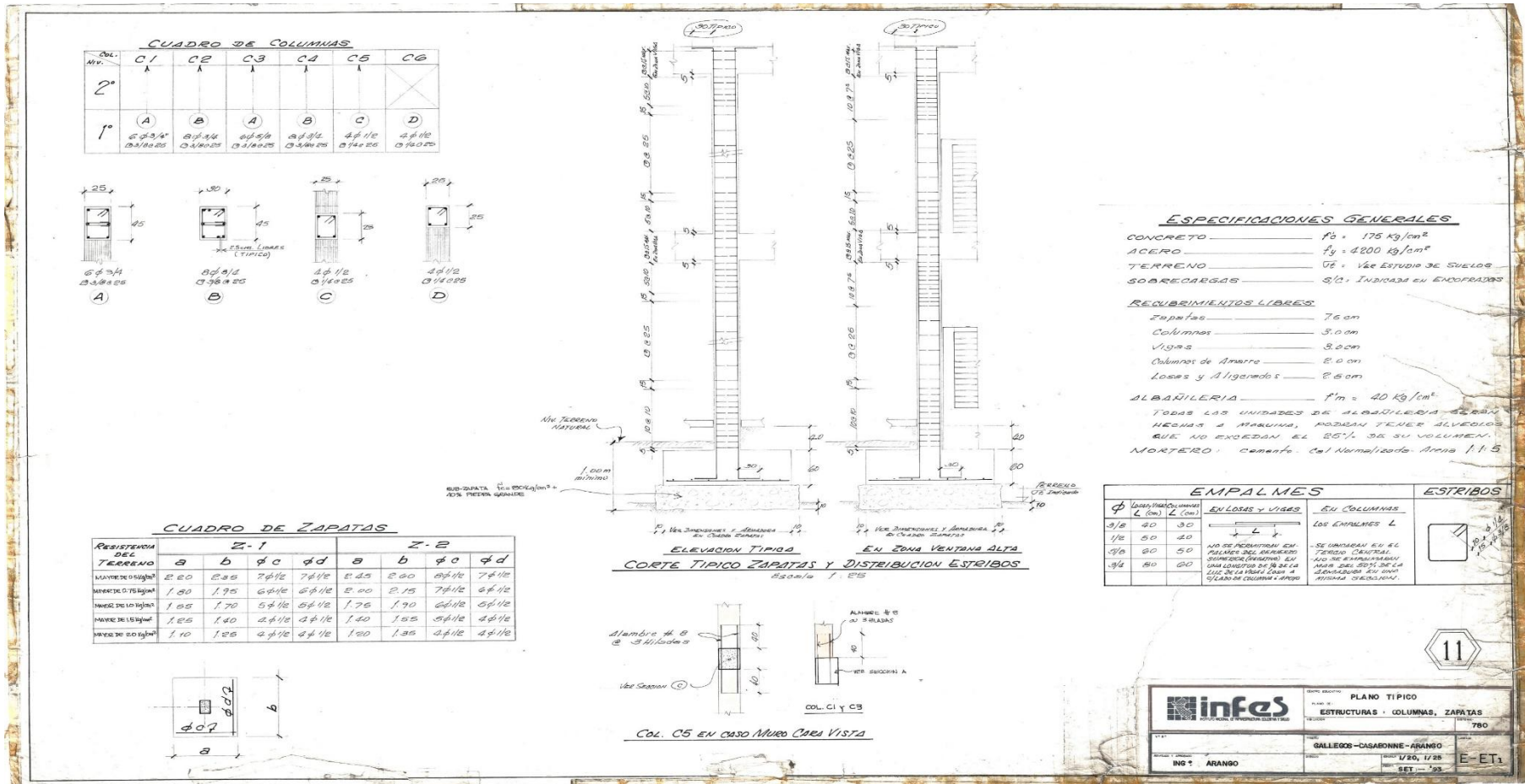
Fuente: Instituto Nacional de Infraestructura Educativa y Salud



Fuente: Instituto Nacional de Infraestructura Educativa y Salud



Fuente: Instituto Nacional de Infraestructura Educativa y Salud



### EMPALMES

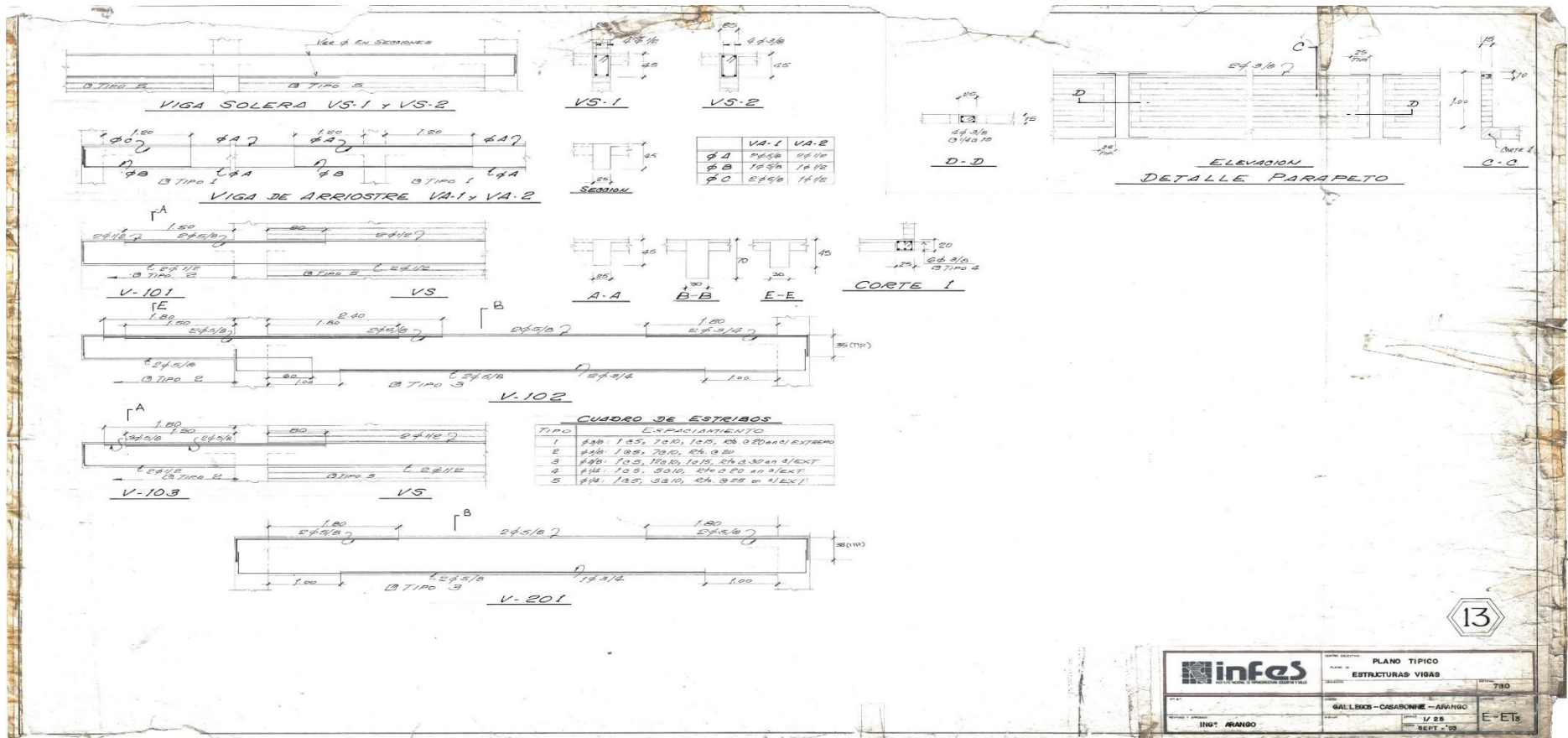
φ (cm)	EN LOSAS Y VIGAS		EN COLUMNAS
	L (cm)	L (cm)	
3/8	40	30	LOS EMPALMES L
1/2	50	40	
3/4	60	50	
1	80	60	

NO SE PERMITIRÁN EN PALMER DEL ANCHURAS QUINCE (15) CM EN UNA LONGITUD DE 1/3 DE LA C/L DE LA VIGA O LA C/L DE LA COLUMNA + 30 CM.

SE UNIFICARÁN EN EL TERREJO CENTRAL, CADA UNO DE ELLOS DEBE SER MÁS DEL 50% DE LA LONGITUD EN UNA MISMA DIRECCIÓN.

11

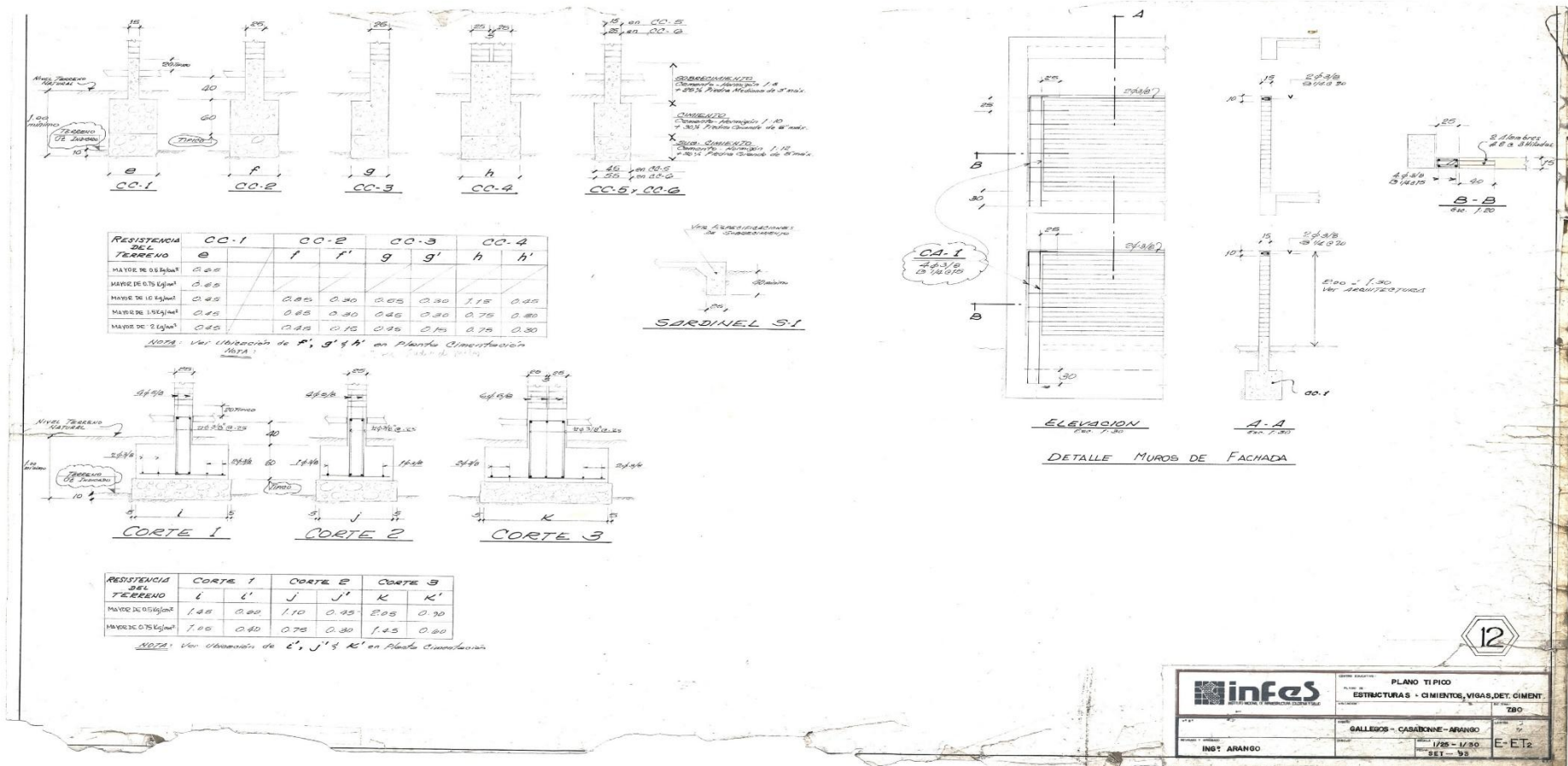
<b>infas</b>		PLANO TÍPICO	
ESTRUCTURAS - COLUMNAS, ZAPATAS		780	
GALLECOS-CASABONNE-ARANGO		E-ET1	
IND ? ARANGO		SET - 195	



13

<b>infes</b>		PLANO TÍPICO	
ESTRUCTURAS VIGAS		730	
ING. ARANGO		GALLEGOS-CASABLANCA-ARANGO	
		1/25	
		SEPT '55	
		E-E1s	

Fuente: Instituto Nacional de Infraestructura Educativa y Salud



Fuente: Instituto Nacional de Infraestructura Educativa y Salud