



**UNIVERSIDAD ANDINA**

**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO PARA MEJORAR EL  
CONTROL DE DAÑOS ESTRUCTURALES DE EDIFICACIONES  
EDUCATIVAS EMBLEMÁTICAS EN LA CIUDAD DE ILO**

**TESIS PRESENTADA POR:**

**Bach. GARY IVAN NIELS LIMACHI PACO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**JULIACA – PERÚ**

**2025**



**UNIVERSIDAD ANDINA**

**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO PARA MEJORAR EL CONTROL DE DAÑOS ESTRUCTURALES DE EDIFICACIONES EDUCATIVAS EMBLEMÁTICAS EN LA CIUDAD DE ILO**

**TESIS PRESENTADA POR:**

**Bach. GARY IVAN NIELS LIMACHI PACO**

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

**APROBADA POR EL JURADO REVISOR:**

**PRESIDENTE**

  
: \_\_\_\_\_  
Dr. CESAR GUILLERMO CAMARGO NAJAR

**PRIMER MIEMBRO**

: \_\_\_\_\_  
Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

**SEGUNDO MIEMBRO**

: \_\_\_\_\_  
Mgtr. WILFREDO DAVID SUPO PACORI

**ASESOR DE TESIS**

: \_\_\_\_\_  
Dr. ARNALDO YANA TORRES

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

: TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P17



**RESOLUCIÓN DECANAL N° 1002-2025-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 05 de septiembre del 2025

**VISTO:** El expediente N° 2025- CU-7224 presentado por el (la) Bachiller: **GARY IVAN NIELS LIMACHI PACO** estudiante de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN.**

**CONSIDERANDO:**

Que, el (la) Bach. **GARY IVAN NIELS LIMACHI PACO**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulado: **EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO PARA MEJORAR EL CONTROL DE DAÑOS ESTRUCTURALES DE EDIFICACIONES EDUCATIVAS EMBLEMÁTICAS EN LA CIUDAD DE ILO**, la misma que pertenece a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil.**

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en concordancia con el dictamen de similitud.

De conformidad al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 24, Art. 28 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

**RESUELVE:**

**ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR**, la **NOMINACIÓN DE JURADOS** integrado por los siguientes docentes:

- \* **Presidente** : Dr. CESAR GUILLERMO CAMARGO NAJAR
- \* **1er Miembro** : Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES
- \* **2do Miembro** : Mgtr. WILFREDO DAVID SUPO PACORI

**ARTICULO SEGUNDO.** – **RECONOCER** como asesor de la investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, **Dr. ARNALDO YANA TORRES.**

**ARTICULO TERCERO .** – **APROBAR**, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de el (la) bachiller: **GARY IVAN NIELS LIMACHI PACO**; del informe final de la investigación (tesis) titulado: **EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO PARA MEJORAR EL CONTROL DE DAÑOS ESTRUCTURALES DE EDIFICACIONES EDUCATIVAS EMBLEMÁTICAS EN LA CIUDAD DE ILO** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil.** de acuerdo al siguiente detalle:

- \* **FECHA** : viernes 12 de septiembre del 2025
- \* **HORA** : 14:00 horas
- \* **LUGAR** : Aula 306 - FICP

**ARTÍCULO CUARTO.- DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CS. PURAS



Dr. OSCAR V. VIAMONTE CALLA  
DECANO (e)  
C.I.P. 32730

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS



Dr. Fritz Willy Mamani Apaza  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.  
Archivo  
interesado (a)



**RESOLUCIÓN DECANAL N° 345-2025-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 23 de mayo del 2025

**VISTO:** El expediente N° 2025-CU - 1280 por el señor (a): **GARY IVAN NIELS LIMACHI PACO** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el PROVEIDO - N° 179- 2025-UI-FICP-UANCV/J, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACION (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 022 - 2025 del integrante del comité de investigación **EPIC** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

**CONSIDERANDO:**

Que, el señor (a): **GARY IVAN NIELS LIMACHI PACO**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: **EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO PARA MEJORAR EL CONTROL DE DAÑOS ESTRUCTURALES DE EDIFICACIONES EDUCATIVAS EMBLEMÁTICAS EN LA CIUDAD DE ILO**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Dr. Cesar Guillermo Camargo Najar** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 022 - 2025 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO PARA MEJORAR EL CONTROL DE DAÑOS ESTRUCTURALES DE EDIFICACIONES EDUCATIVAS EMBLEMÁTICAS EN LA CIUDAD DE ILO**, Correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducentes a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y estando a la opinión favorable del comité de investigación respecto al informe final de la investigación (borrador de tesis).

Estando, con la opinión favorable del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 27 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

**RESUELVE:**

**ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR**, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, presentado por el señor (a): **GARY IVAN NIELS LIMACHI PACO**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO PARA MEJORAR EL CONTROL DE DAÑOS ESTRUCTURALES DE EDIFICACIONES EDUCATIVAS EMBLEMÁTICAS EN LA CIUDAD DE ILO** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**, en virtud a los considerandos expuestos.

**ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR** como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) la), **Mgtr. ARNALDO YANA TORRES**.

**ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS

Dr. OSCAR V. VIANONTE CALLA  
DECANO (e)  
CIP: 32730



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. Fritz Willy Mamani Apaza  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.  
Archivo  
interesado (a)



**RESOLUCIÓN DECANAL N° 190-2024-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 18 de abril del 2024

**VISTO:** El expediente N° 2024-CU-3323, presentado por el señor (a) **GARY IVAN NIELS LIMACHI PACO** solicitando **APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** el PROVEIDO - N° 205 -2024-UI-FICP-UANCV/J, y la **FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** formato N° 84 -2024 del integrante del comité de investigación **EPIC** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

**CONSIDERANDO:**

Que, el (la) estudiante: **GARY IVAN NIELS LIMACHI PACO** ha presentado su propuesta de investigación Titulado: **EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO PARA MEJORAR EL CONTROL DE DAÑOS ESTRUCTURALES DE EDIFICACIONES EDUCATIVAS EMBLEMÁTICAS EN LA CIUDAD DE ILO**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Mgtr. Arnaldo Yana Torres** de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 84 -2024- aprobando la propuesta de investigación titulado: **EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO PARA MEJORAR EL CONTROL DE DAÑOS ESTRUCTURALES DE EDIFICACIONES EDUCATIVAS EMBLEMÁTICAS EN LA CIUDAD DE ILO**.

Que, es requisito indispensable contar con un asesor docente ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de doctor o magister y experiencia en la línea a investigar, o deberá estar acreditado por Resolución 0989-2022-UANCV-CU-R, quien asumirá como asesor de la propuesta de investigación, según el área o grado.

Estando, con la opinión favorable de la propuesta de investigación del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 25 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

**RESUELVE:**

**ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR**, la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el o (la) Bachiller: **GARY IVAN NIELS LIMACHI PACO**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO PARA MEJORAR EL CONTROL DE DAÑOS ESTRUCTURALES DE EDIFICACIONES EDUCATIVAS EMBLEMÁTICAS EN LA CIUDAD DE ILO** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**.

La misma que deberá proceder con la ejecución de la propuesta de Investigación aprobado de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales.

**ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER** como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** de al (a la) docente **Mgtr. ARNALDO YANA TORRES**.

**ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS  
Dr. MILTHON QUISPE HUANCA  
DECANO  
CIP. 47790



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN  
Dr. Efraín Parillo Sosa  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.  
Archivo 2024  
Interesado (a)



## 16% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

### Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

### Fuentes principales

- 12% Fuentes de Internet
- 4% Publicaciones
- 12% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.


Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



### Metadatos Complementarios

<b>Título de la tesis</b>	
<b>EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO PARA MEJORAR EL CONTROL DE DAÑOS ESTRUCTURALES DE EDIFICACIONES EDUCATIVAS EMBLEMÁTICAS EN LA CIUDAD DE ILO</b>	
<b>Datos del autor</b>	
Nombres y apellidos	Gary Ivan Niels Limachi Paco
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	70301375
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0009-0000-6426-0715">https://orcid.org/0009-0000-6426-0715</a>
<b>Datos del asesor</b>	
Nombres y apellidos	Arnaldo Yana Torres
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	41414676
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0000-0002-6740-5024">https://orcid.org/0000-0002-6740-5024</a>
<b>Datos del jurado</b>	
<b>Presidente del jurado</b>	
Nombres y apellidos	Cesar Guillermo Camargo Najjar
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02441152
<b>Miembro del jurado 1</b>	
Nombres y apellidos	Franz Joseph Barahona Perales
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02442876
<b>Miembro del jurado 2</b>	
Nombres y apellidos	Wilfredo David Supo Pacori
Tipo de documento	DNI



Número de documento de identidad	02428673
<b>Datos de investigación</b>	
Línea de investigación	<b>Tecnología de la construcción – P17</b>
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	<p>País: Perú Departamento: Moquegua Provincia: Ilo Distrito: Ilo Calle: Av. Mariano Lino Urquieta N°588 Latitud: -17.6397202 Longitud: -71.3394535</p>  <p><a href="https://maps.app.goo.gl/fMMYHFK8G7n3x9TT6">https://maps.app.goo.gl/fMMYHFK8G7n3x9TT6</a></p>
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Abril 2024 – diciembre 2024
URL de disciplinas OCDE <a href="https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html">https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html</a> - Librería	<b>Ingeniería civil</b> <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01</a> <b>Ingeniería de la construcción</b> <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03</a> <b>Ingeniería estructural y municipal</b> <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.04">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.04</a>



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES HELASOMEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PÉRUAS

*Dr. Fredy Willy Mamani Apaza*  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo Gary Ivan Niels Limachi Paco, identificado con DNI Nro. 70301375, en mi condición de egresado de:

- [X] Escuela Profesional
[ ] Programa de Segunda Especialidad,
[ ] Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Civil

informo que he elaborado el/la [X] Tesis o [ ] Trabajo de Investigación, [ ] Trabajo Académico denominada:

EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO PARA MEJORAR EL CONTROL DE DAÑOS ESTRUCTURALES DE EDIFICACIONES EDUCATIVAS EMBLEMÁTICAS EN LA CIUDAD DE ILO

Asesorado por: Dr. Arnaldo Yana Torres

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y no existe plagio/copia de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca 03 de OCTUBRE del 2025

[Handwritten signature of the advisor]

Firma del Asesor (obligatoria)

[Handwritten signature of the student]

Firma del Estudiante (obligatoria)



Huella



### **DEDICATORIA**

A mis adorados padres Sergio y Rocio, cuya presencia ha sido el faro constante en cada etapa de mi vida. Su amor incondicional y dedicación me han brindado la fortaleza necesaria para enfrentar los desafíos y perseverar en los momentos de adversidad. Gracias por creer siempre en mí y ser la fuente constante de inspiración que me impulsa a seguir adelante.

A mis queridos abuelos Juan y Rosario, por su cariño y constante apoyo en cada paso de este recorrido. Siempre los guardaré en mi corazón, con una gratitud eterna.

A mi querida tía Elizabeth, quien desde pequeño me cuidó con el amor y la entrega de una madre. Su cariño y sabios consejos me permitieron mantenerme siempre enfocado en cada una de las metas que me he propuesto.



## **AGRADECIMIENTOS**

Con profunda gratitud, expreso mi sincero agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la culminación de esta investigación.

A mi querida familia, el pilar fundamental en mi vida, por su constante apoyo, comprensión y paciencia a lo largo de todo este proceso. Este logro también es suyo, pues sin su acompañamiento, alcanzar esta meta no habría sido posible.

A la I.E.E. Daniel Becerra Ocampo y la Gerencia Sub Regional de Ilo, por brindarme su confianza y las facilidades necesarias para la ejecución de esta investigación.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA .....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xvi
RESUMEN .....	xvii
ABSTRACT.....	xviii

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

<b>1.1</b> Análisis de la Situación Problemática.....	<b>19</b>
<b>1.2</b> Formulación del Problema .....	<b>22</b>
1.2.1 Problema General.....	22
1.2.2 Problemas Específicos .....	22
<b>1.3</b> Objetivos de la Investigación.....	<b>23</b>
1.3.1 Objetivo General .....	23
1.3.2 Objetivos Específicos.....	23
<b>1.4</b> Justificación e Importancia .....	<b>23</b>
1.4.1 Importancia .....	23
1.4.2 Justificación.....	24
<b>1.5</b> Hipótesis de la Investigación .....	<b>24</b>
1.5.1 Hipótesis General .....	24
1.5.2 Hipótesis Específicas.....	25



<b>1.6 Variables</b> .....	<b>25</b>
1.6.1 Operacionalización de Variables .....	25
<b>1.7 Limitaciones</b> .....	<b>26</b>

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

<b>2.1 Antecedentes de la Investigación</b> .....	<b>28</b>
2.1.1 Antecedentes Nacionales .....	28
2.1.2 Antecedentes Internacionales .....	30
<b>2.2 Bases Teóricas</b> .....	<b>31</b>
2.2.1 Evolución de la Infraestructura Educativa .....	31
2.2.1.1 Modos de Falla Recurrentes en Elementos Estructurales .....	38
2.2.2 Evaluación Visual Rápida de Edificaciones Escolares.....	44
2.2.2.1 Formato para la Evaluación Visual Rápida.....	45
2.2.2.2 Metodología.....	49
2.2.2.3 Uso de los Resultados .....	52
2.2.3 Peligro Sísmico .....	53
2.2.3.1 Cuantificación del Peligro Sísmico.....	54
2.2.3.2 Parámetros Sismológicos .....	56
2.2.3.3 Curvas de Peligro Sísmico.....	59
2.2.4 Ingeniería Sísmica Basada en el Desempeño .....	60
2.2.4.1 Diseño Sísmico Basado en el Desempeño.....	61
2.2.4.2 Evaluación del Desempeño Sísmico .....	69
2.2.4.3 Punto de Desempeño .....	90
2.2.4.4 Criterios de Aceptación .....	99
<b>2.3 Definición de Términos Básicos</b> .....	<b>102</b>



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

**3.1 Diseño de la Investigación ..... 105**

**3.2 Nivel de Investigación ..... 106**

**3.3 Población y Muestra ..... 106**

    3.3.1 Población ..... 106

    3.3.2 Muestra ..... 108

**3.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos ..... 109**

    3.4.1 Técnicas ..... 110

    3.4.2 Instrumentos ..... 110

**3.5 Análisis y Procesamiento de la Información ..... 111**

    3.5.1 Descripción de los Edificios de Estudio ..... 111

    3.5.2 Evaluación de las Condiciones Existentes ..... 117

    3.5.3 Modelamiento Estructural ..... 118

        3.5.3.1 Propiedades Geométricas ..... 118

        3.5.3.2 Propiedades de los Materiales ..... 129

        3.5.3.3 Definición de Cargas ..... 131

    3.5.4 Análisis Estático No Lineal ..... 132

        3.5.4.1 No Linealidad de los Materiales ..... 132

        3.5.4.2 Rigidez Efectiva ..... 132

        3.5.4.3 No Linealidad de Elementos Estructurales ..... 133

        3.5.4.4 Carga Gravitacional No Lineal ..... 142

        3.5.4.5 Patrón de Carga Lateral ..... 142

    3.5.5 Cuantificación del Peligro Sísmico ..... 143

        3.5.5.1 Geometría de las Fuentes Sismogénicas ..... 143



3.5.5.2 Parámetros Sismológicos y Atenuación de Ondas Sísmicas . 145

3.5.6 Cuantificación del Desempeño Sísmico ..... 146

3.5.6.1 Objetivos de Desempeño ..... 146

3.5.6.2 Método de Linealización Equivalente ..... 147

3.5.6.3 Método de los Coeficientes ..... 147

3.5.6.4 Criterios de Aceptación ..... 147

**CAPÍTULO IV**

**ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS**

**4.1 Vulnerabilidad Estructural ..... 149**

**4.2 Demanda Sísmica ..... 156**

**4.3 Evaluación del Nivel de Desempeño ..... 159**

4.3.1 Curva de Capacidad ..... 159

4.3.2 Punto de Desempeño ..... 162

4.3.3 Nivel de Desempeño Global ..... 165

4.3.4 Nivel de Desempeño Local ..... 189

**4.4 Discusión de Resultados ..... 207**

**CONCLUSIONES ..... 213**

**RECOMENDACIONES ..... 216**

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 217**

**ANEXOS ..... 226**



ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1</b> Operacionalización de variables.....	27
<b>Tabla 2</b> Modos de falla en vigas .....	38
<b>Tabla 3</b> Modos de falla en columnas.....	39
<b>Tabla 4</b> Modos de falla en losas .....	40
<b>Tabla 5</b> Modos de falla en muros estructurales.....	41
<b>Tabla 6</b> Modos de falla en muros de albañilería confinada.....	42
<b>Tabla 7</b> Estructura del formato EVR de edificaciones escolares .....	47
<b>Tabla 8</b> Niveles de daño para elementos estructurales .....	51
<b>Tabla 9</b> Condición estructural de las edificaciones escolares.....	52
<b>Tabla 10</b> Objetivo de seguridad básica para edificaciones convencionales .....	64
<b>Tabla 11</b> Objetivos de desempeño .....	64
<b>Tabla 12</b> Niveles de amenaza sísmica propuestos por el ATC-40 .....	68
<b>Tabla 13</b> Población finita de la investigación.....	107
<b>Tabla 14</b> Características técnicas del pabellón "A" .....	112
<b>Tabla 15</b> Características técnicas del pabellón "B" .....	114
<b>Tabla 16</b> Características técnicas del pabellón "C" .....	115
<b>Tabla 17</b> Características técnicas del pabellón "Primaria" .....	116
<b>Tabla 18</b> Propiedades de las columnas y muro estructural del bloque A1 .....	120
<b>Tabla 19</b> Propiedades de las columnas y muro estructural del bloque A2 .....	121
<b>Tabla 20</b> Propiedades de las columnas y muros estructurales del bloque B1.....	124
<b>Tabla 21</b> Propiedades de las columnas y muro estructural del bloque B2 .....	125
<b>Tabla 22</b> Propiedades de las columnas pabellón C .....	127
<b>Tabla 23</b> Propiedades de las columnas y muro estructural del pabellón Primaria .....	128
<b>Tabla 24</b> Propiedades mecánicas de los materiales considerados en los modelos .....	130
<b>Tabla 25</b> Cargas gravitacionales .....	131
<b>Tabla 26</b> Parámetros de control de desplazamiento.....	139
<b>Tabla 27</b> Clasificación de daño para muros de albañilería confinada.....	140



<b>Tabla 28</b>	Parámetros sismológicos de las fuentes sismogénicas de la zona de estudio.....	145
<b>Tabla 29</b>	Matriz de objetivos de desempeño adoptado.....	146
<b>Tabla 30</b>	Deterioros, daños y defectos estructurales en el bloque A1 .....	149
<b>Tabla 31</b>	Deterioros, daños y defectos estructurales en el bloque A2.....	151
<b>Tabla 32</b>	Deterioros, daños y defectos estructurales en el bloque B1 .....	152
<b>Tabla 33</b>	Deterioros, daños y defectos estructurales en el bloque B2.....	152
<b>Tabla 34</b>	Deterioros, daños y defectos estructurales en el pabellón "C" .....	153
<b>Tabla 35</b>	Deterioros, daños y defectos estructurales en el pabellón "Primaria" ..	155
<b>Tabla 36</b>	Aceleraciones máximas horizontales esperadas para un suelo tipo $S_1$	157
<b>Tabla 37</b>	Rigideces laterales elásticas, desplazamientos máximos y cortantes en la base.....	161
<b>Tabla 38</b>	Puntos de desempeño en la dirección longitudinal .....	163
<b>Tabla 39</b>	Puntos de desempeño en la dirección transversal.....	163
<b>Tabla 40</b>	Puntos de interés de la curva bilineal en la dirección longitudinal del bloque A1 .....	166
<b>Tabla 41</b>	Variación de la ductilidad en la dirección longitudinal del bloque A1....	167
<b>Tabla 42</b>	Puntos de interés de la curva bilineal en la dirección transversal del bloque A1 .....	168
<b>Tabla 43</b>	Variación de la ductilidad en la dirección transversal del bloque A1 ...	168
<b>Tabla 44</b>	Matriz de desempeño del bloque A1 .....	169
<b>Tabla 45</b>	Puntos de interés de la curva bilineal en la dirección longitudinal del bloque A2.....	170
<b>Tabla 46</b>	Variación de la ductilidad en la dirección longitudinal del bloque A2....	171
<b>Tabla 47</b>	Puntos de interés de la curva bilineal en la dirección transversal del bloque A2.....	172
<b>Tabla 48</b>	Variación de la ductilidad en la dirección transversal del bloque A2 ...	172
<b>Tabla 49</b>	Matriz de desempeño del bloque A2 .....	173
<b>Tabla 50</b>	Puntos de interés de la curva bilineal en la dirección longitudinal del bloque B1 .....	174
<b>Tabla 51</b>	Variación de la ductilidad en la dirección longitudinal del bloque B1....	175
<b>Tabla 52</b>	Puntos de interés de la curva bilineal en la dirección transversal del bloque B1 .....	176
<b>Tabla 53</b>	Variación de la ductilidad en la dirección transversal del bloque B1 ...	176



<b>Tabla 54</b>	Matriz de desempeño del bloque B1 .....	177
<b>Tabla 55</b>	Puntos de interés de la curva bilineal en la dirección longitudinal del bloque B2.....	178
<b>Tabla 56</b>	Variación de la ductilidad en la dirección longitudinal del bloque B2....	179
<b>Tabla 57</b>	Puntos de interés de la curva bilineal en la dirección transversal del bloque B2.....	180
<b>Tabla 58</b>	Variación de la ductilidad en la dirección transversal del bloque B2 ....	180
<b>Tabla 59</b>	Matriz de desempeño del bloque B2 .....	181
<b>Tabla 60</b>	Puntos de interés de la curva bilineal en la dirección longitudinal del bloque C.....	182
<b>Tabla 61</b>	Variación de la ductilidad en la dirección longitudinal del bloque C.....	183
<b>Tabla 62</b>	Puntos de interés de la curva bilineal en la dirección transversal del bloque C.....	184
<b>Tabla 63</b>	Variación de la ductilidad en la dirección transversal del bloque C .....	184
<b>Tabla 64</b>	Matriz de desempeño del bloque C .....	185
<b>Tabla 65</b>	Puntos de interés de la curva bilineal en la dirección longitudinal del bloque Primaria.....	186
<b>Tabla 66</b>	Variación de la ductilidad en la dirección longitudinal del bloque Primaria .....	187
<b>Tabla 67</b>	Puntos de interés de la curva bilineal en la dirección transversal del bloque Primaria.....	188
<b>Tabla 68</b>	Variación de la ductilidad en la dirección transversal del bloque Primaria .....	188
<b>Tabla 69</b>	Matriz de desempeño del bloque Primaria .....	189
<b>Tabla 70</b>	Nivel de desempeño por componentes en la dirección longitudinal del bloque A1 .....	191
<b>Tabla 71</b>	Nivel de desempeño por componentes en la dirección transversal del bloque A1 .....	192
<b>Tabla 72</b>	Nivel de desempeño por componentes en la dirección longitudinal del bloque A2.....	195
<b>Tabla 73</b>	Nivel de desempeño por componentes en la dirección transversal del bloque A2.....	195
<b>Tabla 74</b>	Nivel de desempeño por componentes en la dirección longitudinal del bloque B1 .....	197



<b>Tabla 75</b>	Nivel de desempeño por componentes en la dirección transversal del bloque B1 .....	198
<b>Tabla 76</b>	Nivel de desempeño por componentes en la dirección longitudinal del bloque B2.....	200
<b>Tabla 77</b>	Nivel de desempeño por componentes en la dirección transversal del bloque B2.....	200
<b>Tabla 78</b>	Nivel de desempeño por componentes en la dirección longitudinal del bloque C.....	203
<b>Tabla 79</b>	Nivel de desempeño por componentes en la dirección transversal del bloque C.....	203
<b>Tabla 80</b>	Nivel de desempeño por componentes en la dirección longitudinal del bloque Primaria.....	206
<b>Tabla 81</b>	Nivel de desempeño por componentes en la dirección transversal del bloque Primaria.....	206
<b>Tabla 82</b>	Resumen comparativo de los niveles de desempeño por edificación ..	209



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1</b> Edificaciones educativas rurales en la región sur .....	32
<b>Figura 2</b> Grand Unidad Escolar (GUE) .....	33
<b>Figura 3</b> Edificación escolar INFES 780 pre NDSR-1997 .....	34
<b>Figura 4</b> Configuración estructural típica INFES 780 pre NDSR-1997 .....	34
<b>Figura 5</b> Edificación escolar INFES 780 post NDSR-1997.....	36
<b>Figura 6</b> Configuración estructural típica INFES 780 post NDSR-1997.....	36
<b>Figura 7</b> Infraestructura educativa bioclimática .....	37
<b>Figura 8</b> Fallas recurrentes en vigas de concreto armado .....	39
<b>Figura 9</b> Efecto de columna corta .....	40
<b>Figura 10</b> Falla recurrente en losas aligeradas .....	41
<b>Figura 11</b> Fallas recurrentes por flexión en muros estructurales .....	42
<b>Figura 12</b> Falla por tensión diagonal en muro estructural .....	42
<b>Figura 13</b> Fallas recurrentes en muros de albañilería confinada .....	43
<b>Figura 14</b> Deterioro de elementos estructurales.....	44
<b>Figura 15</b> Formato para la Evaluación Visual Rápida de edificaciones escolares..	46
<b>Figura 16</b> Flujograma para la Evaluación Visual Rápida de edificaciones escolares .....	50
<b>Figura 17</b> Mecanismo de propagación de la energía sísmica .....	53
<b>Figura 18</b> Esquema del Análisis de Peligro Sísmico Probabilístico .....	56
<b>Figura 19</b> Flujograma del PBSO .....	62
<b>Figura 20</b> Combinaciones de niveles de desempeño propuestos por el ATC-40 ...	65
<b>Figura 21</b> Combinaciones de niveles de desempeño propuestos por el ASCE/SEI 41-17.....	67
<b>Figura 22</b> Niveles de desempeño estructural de una edificación frente a un evento sísmico.....	68
<b>Figura 23</b> Procedimiento para la realización de un Análisis Estático No Lineal ....	72
<b>Figura 24</b> Diferencias entre tres tipos de patrones de fuerza lateral.....	73
<b>Figura 25</b> Curva esfuerzo-deformación unitaria a compresión uniaxial .....	74
<b>Figura 26</b> Curva esfuerzo-deformación propuesta para concreto confinado .....	76
<b>Figura 27</b> Confinamiento efectivo del núcleo en una sección rectangular .....	77



<b>Figura 28</b>	Curva esfuerzo-deformación completa del acero sometido a tracción ...	78
<b>Figura 29</b>	Diagrama típico Momento-Curvatura de una viga de concreto armado .	80
<b>Figura 30</b>	Aproximación bilineal de un diagrama Momento-Curvatura .....	80
<b>Figura 31</b>	Modelo numérico para la degradación de la capacidad por corte .....	81
<b>Figura 32</b>	Distribución de la curvatura a lo largo de una viga bajo momento último .....	84
<b>Figura 33</b>	Relaciones fuerza-deformación generalizadas para componentes estructurales .....	85
<b>Figura 34</b>	Modelos inelásticos comúnmente utilizados .....	86
<b>Figura 35</b>	Modelo de rótula plástica para vigas de concreto armado.....	87
<b>Figura 36</b>	Modelo de fibra para columnas de concreto armado .....	88
<b>Figura 37</b>	Modelo de columna ancha para muros de albañilería confinada.....	89
<b>Figura 38</b>	Modelo de puntal diagonal equivalente para tabiques .....	90
<b>Figura 39</b>	Espectro de capacidad y demanda inicial en formato ADRS.....	93
<b>Figura 40</b>	Representación bilineal del espectro de capacidad .....	94
<b>Figura 41</b>	Determinación del desplazamiento máximo estimado mediante la intersección del espectro de capacidad y el MADRS.....	96
<b>Figura 42</b>	Curva idealizada fuerza-desplazamiento .....	99
<b>Figura 43</b>	Sectorización de la curva de capacidad según los niveles de desempeño de VISION 2000.....	101
<b>Figura 44</b>	Criterios de aceptación para la deformación de los elementos .....	102
<b>Figura 45</b>	Muestreo intensional de la población finita.....	109
<b>Figura 46</b>	Emplazamiento de las edificaciones educativas objeto de estudio .....	111
<b>Figura 47</b>	Vista frontal del pabellón “A” – Nivel educativo secundario .....	113
<b>Figura 48</b>	Vista frontal del pabellón “B” – Nivel educativo secundario .....	114
<b>Figura 49</b>	Vista posterior del pabellón “C” – Nivel educativo secundario.....	115
<b>Figura 50</b>	Vista frontal del pabellón “Primaria” – Nivel educativo primario.....	117
<b>Figura 51</b>	Vista en planta del primer y segundo nivel del bloque A1 .....	119
<b>Figura 52</b>	Sección transversal de las columnas y muro estructural del bloque A1 .....	119
<b>Figura 53</b>	Vista en planta del primer y segundo nivel del bloque A2 .....	121
<b>Figura 54</b>	Sección transversal de las columnas y muro estructural del bloque A2 .....	121
<b>Figura 55</b>	Vista en planta del primer nivel del bloque B1 .....	123



**Figura 56** Sección transversal de las columnas y muros estructurales del bloque B1 ..... 123

**Figura 57** Vista en planta del primer y segundo nivel del bloque B2 ..... 125

**Figura 58** Sección transversal de las columnas y muro estructural del bloque B2 ..... 125

**Figura 59** Vista en planta del primer nivel del pabellón C ..... 126

**Figura 60** Sección transversal de las columnas del pabellón C ..... 127

**Figura 61** Vista en planta del primer nivel del pabellón Primaria ..... 128

**Figura 62** Sección transversal de las columnas y muro estructural del pabellón Primaria..... 128

**Figura 63** Formulación de una rótula plástica controlada por flexión en una viga 134

**Figura 64** Parámetros de modelado y criterios de aceptación en una rótula plástica por flexión ..... 134

**Figura 65** Disposición de las fibras de concreto y acero en la sección transversal de una columna ..... 136

**Figura 66** Refuerzo longitudinal y transversal en un modelo tipo fibra ..... 137

**Figura 67** Geometría de los muros de albañilería confinada ensayados ..... 138

**Figura 68** Calibración del modelo analítico..... 138

**Figura 69** Parámetros y criterios de aceptación de una rótula plástica por corte . 140

**Figura 70** Patrón de carga lateral en el sentido longitudinal ..... 142

**Figura 71** Fuentes sismogénicas de subducción: interfase e intraplaca..... 144

**Figura 72** Fuentes sismogénicas continentales..... 144

**Figura 73** Parámetros sismológicos..... 145

**Figura 74** Estadísticas derivadas de los datos recopilados..... 156

**Figura 75** Curvas de peligro sísmico para un amortiguamiento del 5%..... 157

**Figura 76** Espectros de peligro uniforme para diferentes periodos de retorno ..... 158

**Figura 77** Comparación entre espectros de sitio y espectros de la Norma E.030 159

**Figura 78** Curvas de capacidad de los edificios educativos emblemáticos ..... 160

**Figura 79** Puntos de desempeño para cada nivel de intensidad sísmica ..... 164

**Figura 80** Evaluación del nivel de desempeño en la dirección longitudinal del bloque A1 ..... 166

**Figura 81** Evaluación del nivel de desempeño en la dirección transversal del bloque A1 ..... 167



<b>Figura 82</b>	Evaluación del nivel de desempeño en la dirección longitudinal del bloque A2.....	170
<b>Figura 83</b>	Evaluación del nivel de desempeño en la dirección transversal del bloque A2.....	171
<b>Figura 84</b>	Evaluación del nivel de desempeño en la dirección longitudinal del bloque B1 .....	174
<b>Figura 85</b>	Evaluación del nivel de desempeño en la dirección transversal del bloque B1 .....	175
<b>Figura 86</b>	Evaluación del nivel de desempeño en la dirección longitudinal del bloque B2.....	178
<b>Figura 87</b>	Evaluación del nivel de desempeño en la dirección transversal del bloque B2.....	179
<b>Figura 88</b>	Evaluación del nivel de desempeño en la dirección longitudinal del bloque C.....	182
<b>Figura 89</b>	Evaluación del nivel de desempeño en la dirección transversal del bloque C.....	183
<b>Figura 90</b>	Evaluación del nivel de desempeño en la dirección longitudinal del bloque Primaria.....	186
<b>Figura 91</b>	Evaluación del nivel de desempeño en la dirección transversal del bloque Primaria.....	187
<b>Figura 92</b>	Formación de rótulas plásticas en el bloque A1.....	190
<b>Figura 93</b>	Formación de rótulas plásticas en la dirección longitudinal del bloque A2 .....	193
<b>Figura 94</b>	Formación de rótulas plásticas en la dirección transversal del bloque A2 .....	194
<b>Figura 95</b>	Formación de rótulas plásticas en el bloque B1.....	196
<b>Figura 96</b>	Formación de rótulas plásticas en el bloque B2.....	199
<b>Figura 97</b>	Formación de rótulas plásticas en la dirección longitudinal del bloque C .....	201
<b>Figura 98</b>	Formación de rótulas plásticas en la dirección transversal del bloque C .....	202
<b>Figura 99</b>	Formación de rótulas plásticas en la dirección longitudinal del bloque Primaria.....	204



**Figura 100** Formación de rótulas plásticas en la dirección transversal del bloque

Primaria.....205



## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>Anexo 1.</b> Matriz de consistencia .....	226
<b>Anexo 2.</b> Fuentes sismogénicas .....	227
<b>Anexo 3.</b> Formato de Evaluación Visual Rápida .....	229
<b>Anexo 4.</b> Cálculo de los puntos de desempeño y desplazamientos objetivos .....	235
<b>Anexo 5.</b> Normatividad utilizada .....	236
<b>Anexo 6.</b> Panel fotográfico .....	237



## RESUMEN

Las recientes catástrofes sísmicas han puesto de manifiesto la vulnerabilidad de las edificaciones educativas, las cuales han experimentado severos daños estructurales capaces de interrumpir su operatividad, comprometer su estabilidad e incluso provocar su colapso, poniendo en riesgo la vida de los ocupantes. El objetivo de la presente investigación fue explicar en qué medida la evaluación del desempeño sísmico permitió cuantificar la severidad de los daños estructurales en la institución educativa emblemática Daniel Becerra Ocampo, ubicada en la ciudad de Ilo. El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicada, con un nivel explicativo y diseño experimental. El proceso de evaluación comprendió la inspección visual de las edificaciones, la calibración de modelos numéricos y la estimación de aceleraciones máximas del suelo para distintas probabilidades de excedencia. Con esta información, se cuantificó el nivel de desempeño sísmico de cada edificio frente a diferentes niveles de intensidad, conforme a las metodologías del FEMA 440 y del ASCE/SEI 41-17; obteniéndose que, en el caso de un Sismo Raro, el 83% de las edificaciones satisface el nivel de desempeño de Ocupación Inmediata, mientras que, frente a un Sismo Muy Raro, el 67% alcanzan un nivel de Seguridad de Vida. Sin embargo, ante un Sismo Máximo Considerado, solo el 33% de los edificios presentan un nivel de Prevención de Colapso, y uno de ellos colapsa. El estudio concluyó que la evaluación del desempeño sísmico mejoró significativamente la cuantificación de los daños estructurales y permitió identificar los principales mecanismos de falla en los edificios educativos 780 post y 780 pre, evidenciando diferencias entre un comportamiento estructural dúctil y otro frágil.

**Palabras clave:** Daño estructural, desempeño sísmico, infraestructura educativa.



## ABSTRACT

Recent seismic disasters have highlighted the vulnerability of educational buildings, which have sustained severe structural damage capable of interrupting their operability, compromising their stability, and even causing collapse, thereby endangering the lives of occupants. The objective of the present research was to explain the extent to which seismic performance assessment allowed quantifying the severity of structural damage in the emblematic educational institution Daniel Becerra Ocampo, located in the city of Ilo. The study was conducted under a quantitative approach, applied approach, with an explanatory level and experimental design. The evaluation process included the visual inspection of the buildings, the calibration of numerical models, and the estimation of maximum ground accelerations for different exceedance probabilities. Based on this information, the seismic performance level of each building was quantified under different seismic intensity scenarios, following the methodologies of FEMA 440 and ASCE/SEI 41-17. The results showed that, under a Rare Earthquake, 83% of the buildings met the Immediate Occupancy performance level, while under a Very Rare Earthquake, 67% achieved the Life Safety level. However, under a Maximum Considered Earthquake, only 33% of the buildings reached the Collapse Prevention level, and one of them collapsed. The study concluded that seismic performance assessment significantly improved the quantification of structural damage and enabled the identification of the main failure mechanisms in the educational buildings 780 post and 780 pre, revealing differences between ductile and brittle structural behavior.

**Keywords:** Structural damage, seismic performance, educational infrastructure.



## CAPÍTULO I

### ASPECTOS GENERALES

#### 1.1 Análisis de la Situación Problemática

A pesar de los avances en el campo de la ingeniería sismorresistente, el comportamiento sísmico inadecuado de las estructuras sigue siendo una de las principales causas de pérdidas de vidas humanas y económicas. Cada año, la ocurrencia de eventos sísmicos, moderados o severos, ocasionan graves daños en la infraestructura educativa capaz de interrumpir la prestación de servicios, comprometer la estabilidad o incluso provocar su colapso, poniendo en riesgo la vida de sus ocupantes.

Durante la última década, decenas de miles de niños perdieron la vida cuando sus escuelas colapsaron y miles más se libraron de sufrir lesiones o morir únicamente porque el terremoto ocurrió fuera del horario escolar (Rodgers, 2012). Un ejemplo claro es el terremoto ocurrido en la provincia de Sichuan, China, en mayo de 2008, donde más de 7,000 escuelas colapsaron y aproximadamente 10,000 estudiantes fallecieron en sus aulas (Bastidas, 2011). Situaciones similares se han registrado en Haití (2010) y Nepal (2015), donde alrededor de 12,200 centros educativos fueron dañados o destruidos, afectando a más de 2.5 millones de estudiantes (Baytiyeh,



2018). Por su parte, en México, dos grandes terremotos en setiembre de 2017 provocaron el deceso de 477 personas y un total de 19,194 planteles escolares dañados (Alcocer et al., 2020).

El Perú no está exento a estas catástrofes, puesto que por su ubicación geográfica forma parte del denominado Cinturón de Fuego del Pacífico, lugar donde se concentra la mayor actividad sísmica del planeta. El alto grado de sismicidad en el país se caracteriza principalmente por el proceso de subducción entre la Placa Oceánica de Nazca bajo la Placa Continental Sudamericana, originando sismos de diferentes magnitudes y profundidades. Estos sismos constituyen la principal fuente sismogénica debido a su magnitud elevada y mayor frecuencia. Sin embargo, también existe un importante aporte sísmico proveniente de las deformaciones corticales que generan sismos menos frecuentes y de menor magnitud, pero igualmente destructivos por su proximidad a la superficie. Así, en el 2007, el sur del país aconteció una de las peores tragedias producto de un sismo de magnitud de 7.9 Mw, que afectó los departamentos de Ica, Lima, Ayacucho y Huancavelica, produciendo la muerte de más de quinientas personas y miles de damnificados; además de daños en un gran número de viviendas y 622 aulas de instituciones educativas destruidas (Instituto Nacional de Defensa Civil [INDECI], 2011).

Las edificaciones educativas desempeñan un papel fundamental durante y después de un desastre, razón por la cual su diseño sismorresistente ha evolucionado progresivamente en pos de reducir el daño significativo durante sismos severos y asegurar su operatividad inmediata después de un desastre. Sin embargo, las experiencias durante las últimas catástrofes sísmicas alrededor del mundo han evidenciado una importante limitación del enfoque de los códigos sísmicos hasta ahora empleados, debido a que estos no cuantifican, en términos de daño, el



desempeño sísmico de una edificación ni el impacto de los daños en las actividades posteriores al sismo (Bertero, 1992). Este hecho, sumado a un comportamiento sísmico inadecuado, ha generado incertidumbre y, en particular, la infraestructura educativa pública; puesto que más del 50% de los edificios educativos son altamente vulnerables por su sistema estructural, el 42% fueron diseñados considerando disposiciones sismorresistentes con umbrales limitados y el 61% están localizados en zonas de amenaza sísmica alta y muy alta, con una acumulación máxima de asperezas en el centro y sur del país (Ministerio de Educación [MINEDU], 2017).

Históricamente el sur del país ha sido afectado por eventos sísmicos que han ocasionado cuantiosos daños a la infraestructura educativa, principalmente en aquellas construidas antes de 1997. Estas edificaciones, que por su legado histórico y educativo han alcanzado el grado de emblemáticas, se caracterizan por ser un patrimonio extremadamente heterogéneo rezagado en el tiempo. El prolongado deterioro, así como el desfase de la infraestructura respecto a las exigencias actuales han repercutido directamente en su desempeño, provocando que la mayoría de ellas fallen estructural o funcionalmente cuando se han visto sometidas a eventos sísmicos de diferentes intensidades. El colapso de varias edificaciones educativas durante los terremotos del 2001 y 2007 en los departamentos de Arequipa, Moquegua e Ica representa un claro símbolo de la gravedad de este problema.

Por otro lado, estudios recientes en la región Moquegua han identificado fallas geológicas activas capaces de generar sismos de hasta 7 Mw. Una de ellas es la falla geológica del Chololo, que atraviesa el subsuelo de la ciudad de Ilo. Esta constante amenaza, combinada con el hecho que esta zona no habría liberado gran energía desde el terremoto de 1868, ha propiciado un panorama de riesgo en la comunidad educativa, reduciendo significativamente su percepción de seguridad. Dadas estas



condiciones, resulta imperativo reducir el alto riesgo de daño físico a la infraestructura mediante estrategias de intervención que permitan comprender con precisión el comportamiento sísmico de las edificaciones educativas, más allá de parámetros ingenieriles definidos, sino en términos de su impacto en la funcionalidad posterior al sismo.

Por lo expuesto, el objetivo de la presente investigación es explicar en qué medida la evaluación del desempeño sísmico permite cuantificar la severidad de los daños estructurales en la institución educativa emblemática Daniel Becerra Ocampo, ubicada en la ciudad de Ilo, empleando procedimientos estáticos no lineales, en el marco de la Ingeniería Sísmica Basada en Desempeño.

## 1.2 Formulación del Problema

### 1.2.1 Problema General

¿En qué medida la evaluación del desempeño sísmico permite cuantificar la severidad de los daños estructurales en la institución educativa emblemática Daniel Becerra Ocampo de la ciudad de Ilo?

### 1.2.2 Problemas Específicos

- ¿Cuáles son las patologías estructurales que inciden en la vulnerabilidad estructural de la institución educativa emblemática Daniel Becerra Ocampo en la ciudad de Ilo?
- ¿En qué medida la evaluación del desempeño sísmico contribuye a cuantificar el daño global en la institución educativa emblemática Daniel Becerra Ocampo de la ciudad de Ilo?
- ¿En qué medida la evaluación del desempeño sísmico contribuye a cuantificar el daño local en la institución educativa emblemática Daniel Becerra Ocampo de la ciudad de Ilo?



## 1.3 Objetivos de la Investigación

### 1.3.1 Objetivo General

Explicar en qué medida la evaluación del desempeño sísmico permite cuantificar la severidad de los daños estructurales en la institución educativa emblemática Daniel Becerra Ocampo de la ciudad de Ilo.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar las patologías estructurales que inciden en la vulnerabilidad estructural de la institución educativa emblemática Daniel Becerra Ocampo en la ciudad de Ilo.
- Determinar en qué medida la evaluación del desempeño sísmico contribuye a cuantificar el daño global en la institución educativa emblemática Daniel Becerra Ocampo de la ciudad de Ilo.
- Determinar en qué medida la evaluación del desempeño sísmico contribuye a cuantificar el daño local en la institución educativa emblemática Daniel Becerra Ocampo de la ciudad de Ilo.

## 1.4 Justificación e Importancia

### 1.4.1 Importancia

El comportamiento sismorresistente inadecuado de las edificaciones durante desastres recientes ha generado gran preocupación, y en particular las edificaciones esenciales, puesto que por sus características de ocupación y el papel que desempeñan después de un desastre requieren mantener en todo momento sus actividades. Es por ello que surge la necesidad de evaluar el desempeño sísmico de las edificaciones educativas emblemáticas empleando una filosofía más evolucionada y versátil de Ingeniería Sísmica Basada en Desempeño. Su aplicación permite estimar de manera más precisa, e incluso



controlar efectivamente, el potencial de daño estructural dentro de márgenes predeterminados ante distintos niveles de intensidad sísmica.

## **1.4.2 Justificación**

La presente investigación posee una justificación práctica, puesto que proporciona evidencia cuantitativa sobre los niveles de desempeño sísmico de las edificaciones educativas emblemáticas. Los resultados obtenidos permitirán desarrollar estrategias de intervención que prioricen la mitigación del riesgo sísmico en este sector. Además, los análisis de peligro sísmico, procesados para múltiples periodos de retorno de la provincia de Ilo, pueden ser de interés para investigadores y profesionales que requieran obtener espectros de diseño específicos.

Se justifica metodológicamente porque propone un instrumento de recolección de datos contextualizado a la realidad nacional para identificar, inventariar y evaluar edificaciones educativas potencialmente vulnerables a fenómenos sísmicos. Los datos obtenidos permitirán planificar y gestionar acciones orientadas a la conservación y rehabilitación de la infraestructura.

Finalmente, se justifica socialmente ya que los hallazgos contribuirán directamente al desarrollo de infraestructura educativa resiliente, garantizando la seguridad y el bienestar de la comunidad educativa ante eventos sísmicos.

## **1.5 Hipótesis de la Investigación**

### **1.5.1 Hipótesis General**

La evaluación del desempeño sísmico empleando procedimientos estáticos no lineales permitirá cuantificar con mayor precisión la severidad de los daños estructurales, tanto a nivel local como global, en la institución educativa emblemática Daniel Becerra Ocampo de la ciudad de Ilo.



## 1.5.2 Hipótesis Específicas

- Las patologías estructurales asociadas a mecanismo de falla por cortante incidirán de manera significativa en la vulnerabilidad estructural de la institución educativa emblemática Daniel Becerra Ocampo en la ciudad de Ilo.
- La evaluación del desempeño sísmico empleando los métodos de linealización equivalente y coeficientes contribuirá de manera significativa a la cuantificación del daño global en la institución educativa emblemática Daniel Becerra Ocampo de la ciudad de Ilo.
- La evaluación del desempeño sísmico empleando límites de rotación plástica contribuirá de manera significativa a la cuantificación del daño local en la institución educativa emblemática Daniel Becerra Ocampo de la ciudad de Ilo.

## 1.6 Variables

- a. Variable independiente.
  - Desempeño sísmico.
- b. Variable dependiente.
  - Daño estructural.

### 1.6.1 Operacionalización de Variables

La operacionalización de las variables empleadas en esta investigación se presenta en la Tabla 1.



## 1.7 Limitaciones

Las limitaciones que han surgido durante la realización de esta investigación son:

- Escasa información sismológica sobre la falla geológica activa Chololo.
- Escasa información sobre modelos constitutivos de albañilería confinada en el país.
- Restricciones impuestas por la Unidad de Gestión Educativa Local para realizar el muestreo de núcleos de concreto en las edificaciones objeto de estudio.



**Tabla 1**

*Operacionalización de variables*

Variables	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Índice	Valor final	Tipo	Instrumentos
Desempeño sísmico.	Cuantificación de la respuesta inelástica de la estructura frente a distintas intensidades de aceleración sísmica del suelo, expresada en términos de desplazamientos objetivos.	Peligro sísmico.	Aceleración máxima del suelo.	cm/s <sup>2</sup>	0.45 – 08 cm/s <sup>2</sup>	Continua	Análisis de peligro sísmico probabilístico.
		Capacidad estructural.	Curva de capacidad (desplazamiento vs cortante basal).	cm; tnf	10 – 25 cm; 300 – 800 tnf	Continua	Análisis estático no lineal.
		Punto de desempeño.	Desplazamiento objetivo.	cm	0.50 – 12 cm	Continua	Linealización equivalente, Coeficientes.
Daño estructural.	Grado de deterioro y pérdida de resistencia que experimentan los elementos estructurales como consecuencia de la acción sísmica, cuantificado en desplazamientos máximos, umbrales de daño y rotaciones plásticas.	Patología estructural.	Tipos de patologías.		- Columna corta. - Combinación viga fuerte-columna débil. - Ausencia de diafragma rígido, etc.	Nominal	FEMA P-154.
		Daño global.	Estados límites de daño.		- Completamente Operacional. - Ocupación Inmediata. - Seguridad de Vida. - Prevención de Colapso.	Ordinal	VISION 2000.
		Daño local.	Porcentaje de rótulas plásticas por estado límite de daño.	%	5 – 70 %	Continua	ASCE/SEI 41.



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes de la Investigación

##### 2.1.1 Antecedentes Nacionales

Loa (2017) en su tesis de maestría “Evaluación del desempeño sísmico de tres opciones de reforzamiento incremental en edificaciones educativas típicas construidas antes de 1997”, de la Pontificia Universidad Católica del Perú, tuvo como propósito estimar el desempeño sísmico de una edificación educativa 780 Pre en su condición actual y reforzada mediante tres técnicas de reforzamiento incremental, para reducir el riesgo sísmico. La investigación se enfocó en realizar el Análisis Estático No Lineal y Dinámico Incremental a una edificación de baja altura, empleando modelos numéricos calibrados para cada caso. Los resultados obtenidos revelan que la edificación educativa, en su condición actual, no exhibe un desempeño sísmico satisfactorio. Asimismo, se determinó que la implementación del reforzamiento óptimo sería eficaz únicamente en la primera fase, ya que permitiría reducir la pérdida esperada del 49 % al 15 %. Además, indicó que la técnica de reforzamiento con adición de marcos de acero con



arriostres concéntricos (ACMAC) logra una notable mejora al reducir el daño esperado a menos del 10% para un sismo raro.

Asmat (2016) en su tesis de maestría "Disposiciones sísmicas de diseño y análisis en base a desempeño aplicables a edificaciones de concreto armado", de la Pontificia Universidad Católica del Perú, tuvo como objetivo recopilar las principales buenas prácticas utilizadas en el diseño sismorresistente de edificaciones para asegurar el nivel de desempeño sísmico deseado. El análisis de dos casos de estudio permitió demostrar que la adopción de estas disposiciones efectivamente contribuye al cumplimiento de los objetivos de desempeño esperados. Entre sus conclusiones más relevantes se encuentran que, las edificaciones que poseen configuraciones regulares y buena simetría en sus elementos estructurales exhiben un desempeño satisfactorio. Además, sugiere la aplicación del Diseño Sísmico Basado en el Desempeño para diseñar edificaciones que sean seguras y previsibles frente a eventos sísmicos.

Chacón y Paz (2016) en su tesis de maestría "Análisis de desempeño sísmico de los edificios escolares típicos 780 post 97 de la costa peruana", de la Pontificia Universidad Católica del Perú, tuvo como propósito determinar la función de vulnerabilidad para edificaciones educativas 780 post, en términos de pérdidas económicas, empleando la metodología del PBEE. La investigación se llevó a cabo en cuatro etapas: el análisis de peligro sísmico, análisis de respuesta, análisis de daño y análisis de pérdidas, con el fin de proporcionar una evaluación probabilística del desempeño de dos edificaciones educativas 780 post. Concluye que las estructuras de baja altura (dos y tres niveles) evaluadas presentan daños mínimos ante aceleraciones sísmicas de hasta 1.5g. No obstante, a intensidades superiores, el edificio de tres niveles sufre mayores daños y, por consiguiente,



mayores costos de reparación. Finalmente, destacó que el Análisis Dinámico Incremental es la técnica más adecuada para evaluar el comportamiento estructural, puesto que proporciona información detallada que facilita el desarrollo de evaluaciones probabilísticas de daños con un alto grado de precisión.

## 2.1.2 Antecedentes Internacionales

Safina (2002) en su tesis de doctorado "Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Análisis de su contribución al riesgo sísmico", de la Universidad Politécnica de Cataluña, España. Tuvo como objetivo destacar la importancia de las edificaciones esenciales para la respuesta ante emergencias sísmicas y proponer una estrategia integral para evaluar la vulnerabilidad sísmica del sistema de salud desde un enfoque sistémico. La investigación describió el sistema de salud de Cataluña, centrándose especialmente en los 64 hospitales que integran la red de hospitales públicos de la región y en el hospital Dr. Domingo Luciani (Venezuela), con la finalidad de estimar su desempeño sísmico a nivel local como global. Concluye que, de los 64 hospitales evaluados en Cataluña, 14 presentan una respuesta aceptable, 35 presentan una respuesta intermedia y 15 una respuesta crítica. En cuanto al hospital Dr. Domingo Luciani, concluyó que su nivel de desempeño es adecuado ya que satisface los objetivos previstos para edificaciones esenciales.

Bairán y Moreno (2014) en su tesis de maestría "Calibración de umbrales de daño sísmico para el análisis de fragilidad sísmica de estructuras de hormigón armado mediante Análisis Estático No Lineal (*Push-Over*)", de la Universidad Politécnica de Cataluña, España. Tuvo como propósito analizar y calibrar las expresiones que determinan los límites de daño propuestos por Moreno (2006). La investigación analizó 17 pórticos de concreto armado correspondiente a



estructuras con diversas características ubicadas en zonas de alta amenaza sísmica. Se utilizó el análisis *Pushover* y las ecuaciones planteadas por Moreno para estimar el daño esperado, considerando la capacidad de cedencia y última de las estructuras. Concluye que, en el proceso de calibración, se observó que la ecuación ajustada para el umbral de daño leve convergió hacia el valor  $0.9d_y$ . En cuanto al umbral moderado, se observó que la inclusión del parámetro de desfase de la curva de capacidad bilineal reduce la dispersión de la ecuación de evaluación. Por último, la ecuación para el umbral severo no se incorporó en la nueva fórmula propuesta, debido a que requiere un mayor desplazamiento para alcanzar dicho nivel de daño.

## 2.2 Bases Teóricas

### 2.2.1 Evolución de la Infraestructura Educativa

A lo largo de los años, la infraestructura educativa ha evolucionado continuamente para satisfacer las necesidades cambiantes de la sociedad y asegurar condiciones para el desarrollo educativo. Este proceso ha propiciado el desarrollo de diversos tipos de edificaciones educativas en todo el territorio nacional.

En el ámbito rural, la mayoría de instituciones educativas presentan una infraestructura precaria, generalmente construidas con adobe. Estas edificaciones suelen contar con muros de espesor aproximadamente de 40 cm a 50 cm, un solo nivel, una geometría rectangular horizontal y albergar hasta tres aulas. Además, suelen construirse sin asistencia técnica, lo que conlleva a una gran variabilidad en las dimensiones y la calidad de los materiales utilizados. En consecuencia, altamente vulnerables frente a amenazas sísmicas.

**Figura 1***Edificaciones educativas rurales en la región sur*

*Nota.* a) Edificación educativa primaria de adobe en Andahuaylillas, Cusco. b) Institución educativa primaria de adobe en Conaviri, Puno. Tomada de la Fundación Javier Oriol Miranda (<https://fundacionjavieroriolmiranda.org>)

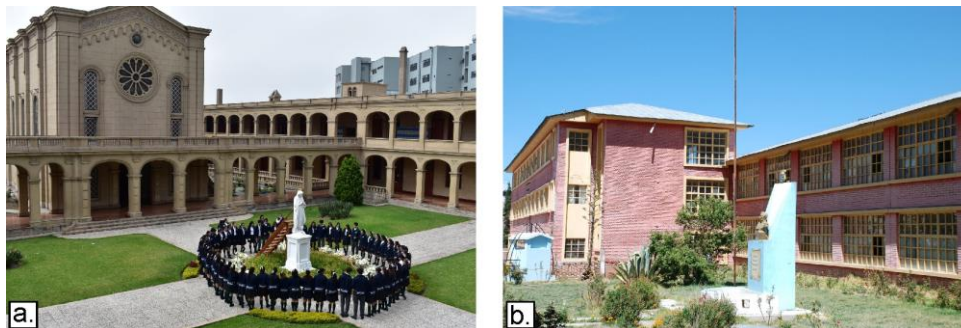
Blanco (2005) explica que las primeras edificaciones educativas de concreto armado del siglo XX se estructuraban con pórticos de concreto armado en la dirección longitudinal, muros de albañilería en la dirección transversal y losas de concreto aligeradas o macizas. Estas edificaciones, que generalmente se constituían de uno a tres niveles, presentaban una geometría acorde al estilo arquitectónico de la época. Su comportamiento sísmico observado en sismos pasados ha sido en general aceptable, en gran medida debido a la densidad de sus muros que proporcionaron rigidez lateral y resistencia a la estructura.

En la década de los 50 inició un programa importante de construcción de colegios denominados Gran Unidad Escolar. Estas edificaciones contaban con pabellones de dos a tres niveles, con 4 a 6 aulas por nivel, amplios corredores (de 3 m y 4.5 m de ancho) y una geometría rectangular horizontal (Blanco, 2005). Su configuración estructural variaba en dimensiones y ubicación, dependiendo del año de construcción; sin embargo, típicamente la dirección longitudinal estaba conformada por pórticos de concreto armado con vigas peraltadas y columnas rectangulares robustas, mientras que, en la dirección transversal, predominaban

los muros de albañilería junto con pórticos de concreto armado. El daño sísmico experimentado en estas edificaciones se atribuía principalmente a la escasa rigidez en su dirección longitudinal, la separación inadecuada entre los pabellones (junta sísmica), la insuficiente resistencia a la tracción de la albañilería (falla por cizallamiento) e interacción pórtico-tabique que originó fallas en las columnas debido al fenómeno de "columna corta". Más tarde en la década de los 70 y 80, se propuso el aislamiento del tabique como una solución para eliminar el efecto de "columna corta" pero fue insuficiente, puesto que los desplazamientos laterales durante sismos eran mayores al espesor de la junta. Actualmente, algunas edificaciones del programa Gran Unidad Escolar han recibido reparación y reforzamiento estructural.

## Figura 2

*Grand Unidad Escolar (GUE)*



*Nota.* a.) Colegio Sagrado Corazón Sophianum construido en 1941, Lima. Tomada de <https://sophianum.edu.pe>. b) Gran Unidad Escolar San Carlos inaugurado en 1956, Puno.

En la década de los 90, se puso en marcha otro ambicioso plan de construcción de infraestructura educativa bajo la dirección del Instituto Nacional de Infraestructura Educativa y de Salud (INFES), el cual introdujo los prototipos educativos estandarizados conocidos como Sistémicos 780 (Blanco, 2005). Estos prototipos contaban con una geometría rectangular horizontal, con uno a tres

niveles, con un corredor suspendido contiguo a las aulas y una caja de escaleras adyacente al pabellón. Su configuración estructural en la dirección longitudinal estaba compuesta por pórticos de concreto armado con vigas peraltadas, mientras que en la dirección transversal se utilizaban muros de albañilería confinada y pórticos de concreto armado en el centro de las aulas. Durante sismos pasados, se observó que la falla más recurrente en este prototipo era el fenómeno de "columna corta", que ocasionaba daños significativos especialmente en el primer nivel.

### Figura 3

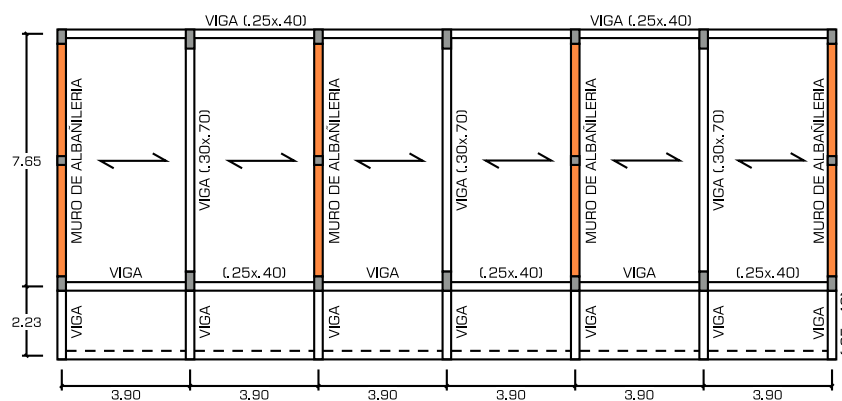
*Edificación escolar INFES 780 pre NDSR-1997*



*Nota.* Tomada de Muñoz et al. (2004, p. 4).

### Figura 4

*Configuración estructural típica INFES 780 pre NDSR-1997*



*Nota.* Adaptada de Muñoz y Blondet, 2007.



El terremoto de Nazca de 1996 causó daños severos en escuelas recién construidas, lo que generó una profunda reflexión en la ingeniería peruana sobre la insuficiente rigidez lateral de estas estructuras y las limitaciones de la normativa vigente. En respuesta a este evento, en 1997 se promulgó la nueva Norma Técnica Peruana E.030 de Diseño Sismorresistente, la cual estableció requisitos más estrictos para el control de desplazamientos y reconoció a las instituciones educativas como edificaciones esenciales, elevando así los estándares de seguridad sísmica.

Las edificaciones educativas construidas conforme a la nueva normativa conservaron el modelo convencional de dos a cinco aulas por nivel, pero incorporando una configuración más robusta y rígida. En la dirección longitudinal, se emplearon pórticos robustos de concreto armado y columnas en forma de "T", mientras que en la dirección transversal se implementó un sistema dual de pórticos de concreto armado y muros de albañilería confinada. Además, para evitar el fenómeno de "columna corta", se aislaron los tabiques. En cuanto a los techos de estas nuevas edificaciones, en la costa se mantuvieron horizontales, mientras que en las zonas lluviosas se optó por techos inclinados a dos aguas, generalmente construidos con losas aligeradas. Según Muñoz et al. (2007), durante los sismos ocurridos en el 2001 y 2007, las edificaciones no sufrieron ningún daño significativo, incluso en las zonas epicentrales, lo cual fue interpretado como un buen comportamiento sísmico debido a la conveniente rigidez en ambas direcciones.

### Figura 5

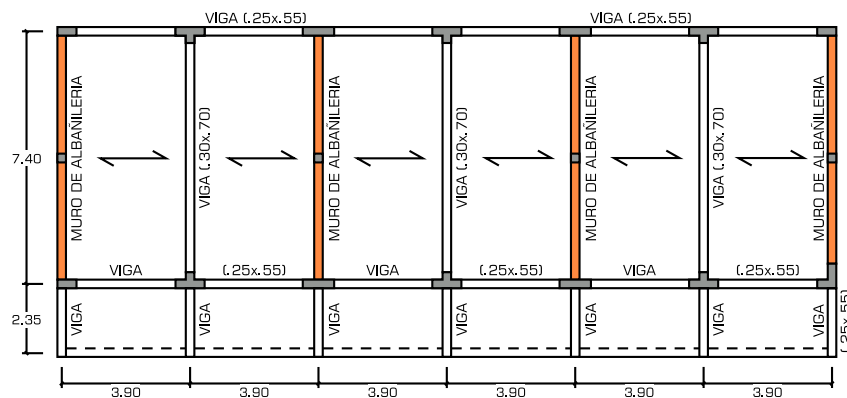
*Edificación escolar INFES 780 post NDSR-1997*



*Nota.* a) Reconstrucción del colegio Julio C. Tello después del terremoto de Pisco en el 2007. Tomada de Santa Cruz et al. (2013, p. 68). b) Típica edificación educativa INFES 780 post.

### Figura 6

*Configuración estructural típica INFES 780 post NDSR-1997*



*Nota.* Adaptada de Muñoz y Blondet, 2007.

En el 2019, se aprobaron dos normas técnicas importantes para el fortalecimiento de la infraestructura educativa en el país. La primera, titulada “Norma Técnica Criterios de Diseño para Colegios de Alto Rendimiento-COAR”, tuvo como objetivo garantizar condiciones de funcionalidad, habitabilidad, seguridad y costo-eficiencia, adaptándose a las particularidades del entorno local y complementándose con los dispuesto en el Reglamento Nacional de

Edificaciones. La segunda, denominada “Norma Técnica Módulo Básico de Reconstrucción Frente a Desastres para las Intervenciones del Sector Educación Comprendidas en el Plan Integral de Reconstrucción con Cambios”, se centró en restablecer el servicio educativo en instituciones afectadas por el Fenómeno El Niño costero de 2017. En esta norma se propuso el Módulo Básico de Reconstrucción (MBR), que establece combinaciones programáticas predefinidas para los niveles de educación inicial, primaria y secundaria, y emplea sistemas estructurales conformados principalmente por pórticos y muros de concreto armado.

Un año después, se crea el Proyecto Especial de Inversión Pública Escuelas Bicentenario, con el propósito de ejecutar proyectos de infraestructura educativa mediante un Catálogo de Escuelas Modulares – Sistémicos diseñados para las diversas condiciones climatológicas de nuestro país. En ese sentido, es evidente que estas nuevas edificaciones educativas con requerimientos especiales demandarán nuevos diseños conceptuales innovadores, cuya eficiencia solo podrá corroborarse con exactitud cuando sean sometidos a la acción de un sismo.

## Figura 7

### *Infraestructura educativa bioclimática*





Nota. a) Colegio de Alto Rendimiento, Ica. Tomada de <https://gob.pe/pl/pronied>.  
b) PEIP-EB I.E. 0035 Nuestra Señora de la Visitación. Tomada de <https://peip-eb.gob.pe>.

### 2.2.1.1 Modos de Falla Recurrentes en Elementos Estructurales

La intensa actividad sísmica en el país ha evidenciado modos de falla estructurales recurrentes en las edificaciones educativas, los cuales presentan patrones similares, pero con características propias para cada elemento. A continuación, se describe los principales modos de falla que se presentan en la infraestructura educativa.

**Tabla 2**

*Modos de falla en vigas*

Modos de falla	Descripción
Falla por flexión	Es el modo de falla deseado para una viga de concreto armado. Se distingue por la aparición de grietas verticales en el concreto y la fluencia del acero de refuerzo longitudinal en la región sometida a flexión. En estructuras con comportamiento dúctil esta falla se ubica, normalmente, en sus extremos adyacente a las columnas (rótula plástica).
Falla por tensión diagonal	Se caracteriza por presentar un agrietamiento diagonal (aproximadamente de 45°) súbito respecto al eje de la viga y subsecuente degradación de la resistencia. Los factores que desencadenan este modo de falla son el escaso detallado de acero de refuerzo transversal o la separación excesiva de estos.
Falla por torsión	Este fenómeno se produce cuando los momentos torsionales superan la capacidad de los mecanismos de disipación de energía, generando un giro en el eje longitudinal de la viga. Se caracteriza por presentar agrietamiento en forma helicoidal que sigue la dirección de las tensiones principales de compresión.
Falla por cortante en el nudo viga-columna	Se caracteriza por el agrietamiento diagonal y fractura del concreto en el nudo. Ocurre cuando las fuerzas cortantes transmitidas de los elementos adyacentes al nudo superan su resistencia a cortante. Este modo de falla se debe a la insuficiente cuantía de acero de refuerzo transversal en el nudo.

### Figura 8

#### *Fallas recurrentes en vigas de concreto armado*



*Nota.* a) Agrietamiento del concreto por tensión diagonal en una viga de la I.E. 2038 Inca Garcilaso de la Vega, Lima. b) Falla por tensión diagonal pura ocasionada por el sismo de Pisco en el 2007. Adaptada de <https://puntoedu.pucp.edu.pe>.

### Tabla 3

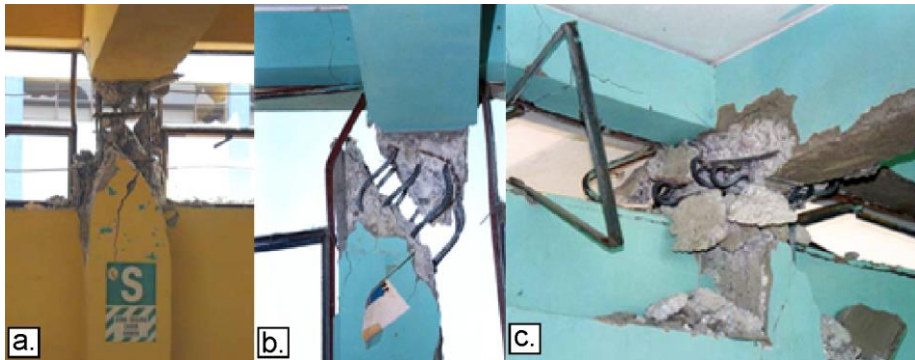
#### *Modos de falla en columnas*

Modos de falla	Descripción
Falla por flexión	Se caracteriza por el agrietamiento horizontal en el lado de las tensiones, fractura del concreto y subsecuente fluencia del acero de refuerzo longitudinal. Este modo de falla frecuentemente se presenta en los extremos del elemento.
Falla por tensión diagonal	Al igual que en las vigas se origina por el deficiente confinamiento del núcleo de concreto en sus extremos. Las grietas que se originan por este modo de falla frecuentemente exhiben un patrón en forma de aspa y denotan un comportamiento frágil.
Falla por compresión	Se distingue por la formación de grietas diagonales y el aplastamiento del concreto dirigido hacia el núcleo de la columna. Ocurre cuando la columna está sujeta a elevadas cargas axiales o existe una elevada cuantía de acero de refuerzo transversal en los extremos. Este modo de falla denota un comportamiento frágil.
Falla por adherencia	Se caracteriza por el agrietamiento vertical paralelo al acero de refuerzo longitudinal producto del deslizamiento de las barras en el traslape. Esta discontinuidad ocasiona que la resistencia a flexión sea prácticamente nula.
Falla por tensión diagonal en columna corta	Se caracteriza por el agrietamiento diagonal ancho y aplastamiento del concreto en el eje del elemento. Ocurre cuando el desplazamiento lateral de la columna se restringe

Modos de falla	Descripción
Falla por pandeo	parcialmente, lo que provoca un incremento significativo de las deformaciones y tensiones en la porción libre de la columna. Generalmente este modo de falla ocurre en columnas esbeltas sujetas a cargas axiales considerables y se caracteriza por presentar deformaciones cóncavas o convexas en el elemento.

**Figura 9**

*Efecto de columna corta*



*Nota.* a) Falla por tensión diagonal en columna corta de pórtico de concreto armado. b) Fractura del concreto y pandeo del acero de refuerzo longitudinal. c) Aplastamiento del concreto por cargas axiales que se tornan excéntricas por el desplazamiento lateral. Adaptada de Blanco, 2005.

**Tabla 4**

*Modos de falla en losas*

Modos de falla	Descripción
Falla por cortante	Este modo de falla se presenta al agotarse la resistencia a corte debido a los desplazamientos laterales. Se caracteriza por el agrietamiento horizontal y diagonal en toda el alma del elemento.

**Figura 10***Falla recurrente en losas aligeradas*

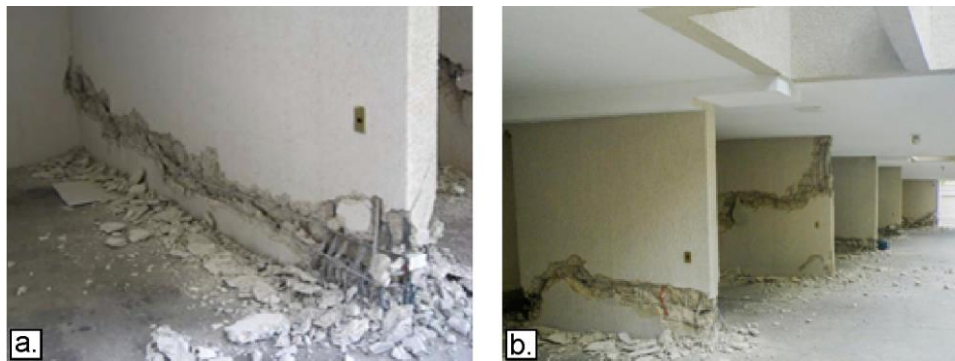
*Nota.* Agrietamiento horizontal en losa aligerada del primer nivel de un pabellón de la I.E. 2038 Inca Garcilaso de la Vega, Lima.

**Tabla 5***Modos de falla en muros estructurales*

<b>Modos de falla</b>	<b>Descripción</b>
Falla por flexión	Se caracteriza por el agrietamiento horizontal en la base, aplastamiento del concreto en el talón y fluencia del acero de refuerzo longitudinal producto del balanceo del muro en torno a sus extremos. Este modo de falla generalmente ocurre cuando no se cuenta con elementos de borde.
Falla por tensión diagonal	Se caracteriza por el agrietamiento diagonal ancho en el muro, aplastamiento del concreto en el talón y pandeo del acero de refuerzo longitudinal. Este modo de falla se produce frecuentemente en muros de mediana o baja altura, con insuficiente cantidad de acero de refuerzo transversal.
Falla por flexocompresión	Este tipo de falla, común en muros esbeltos sin confinamiento adecuado en los bordes, se manifiesta por grietas diagonales y aplastamiento del concreto en el alma del muro, seguido del pandeo del refuerzo longitudinal en los elementos de borde.
Falla por cortante por desplazamiento	Se caracteriza por el agrietamiento horizontal en toda la longitud del muro. Este modo de falla se produce debido a la segregación del concreto o deficiente detallado del acero de refuerzo longitudinal en la junta de construcción.
Falla por adherencia	Al igual que en las columnas se presenta agrietamiento vertical paralelo al acero de refuerzo longitudinal producto del deslizamiento de las barras en el traslape.

**Figura 11**

*Fallas recurrentes por flexión en muros estructurales*



*Nota.* a) Falla por flexocompresión en muro estructural sin elementos de borde.  
b) Agrietamiento horizontal, aplastamiento del concreto y pandeo del acero de refuerzo longitudinal. Adaptada de San Bartolomé et al., 2011.

**Figura 12**

*Falla por tensión diagonal en muro estructural*



*Nota.* Tomada de San Bartolomé et al. (2011, p. 41).

**Tabla 6**

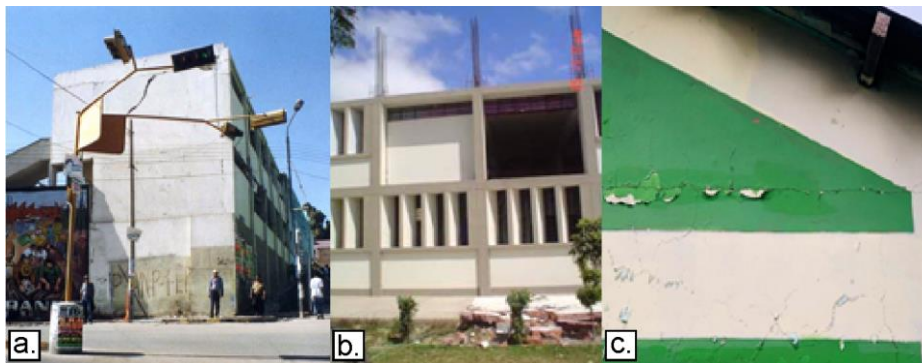
*Modos de falla en muros de albañilería confinada*

<b>Modos de falla</b>	<b>Descripción</b>
Falla por flexión	Ocurre generalmente en muros con deficiente confinamiento y se caracteriza por presentar agrietamiento horizontal en la base y trituración en el talón del muro.
Falla por flexión perpendicular al plano	Este tipo de falla, común en muros esbeltos con escasa inercia y arriostramiento deficiente en su parte superior, se manifiesta mediante grietas horizontales y diagonales a lo largo del alma del muro de albañilería.

Modos de falla	Descripción
Falla por tensión diagonal	Se caracteriza por el agrietamiento diagonal (con patrón en forma de aspa), aplastamiento y trituración de la albañilería en el centro del muro. Este modo de falla denota un comportamiento frágil y es el más recurrente en muros de albañilería mal confinados. Otra característica de este modo de falla es el agrietamiento escalonado a través de las juntas debido a una deficiente adherencia entre el mortero y la unidad de albañilería.

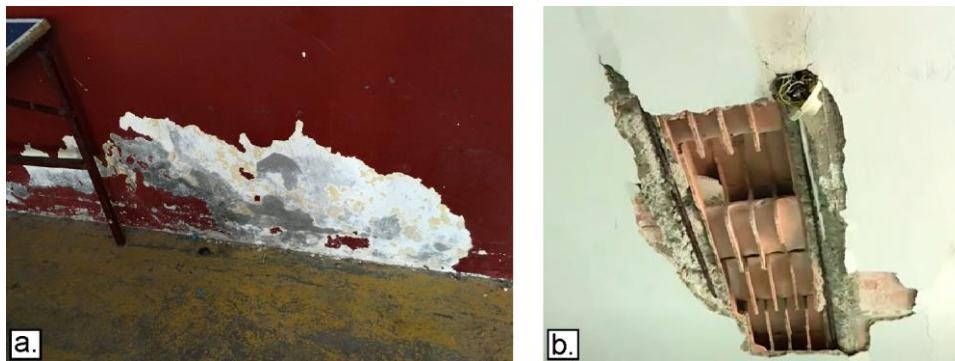
### Figura 13

#### *Fallas recurrentes en muros de albañilería confinada*



*Nota.* a) Falla por tensión diagonal ocasionado por el sismo de Moquegua en el 2001. b) Volcamiento de muro de albañilería por inadecuado arriostramiento vertical en la Facultad de Medicina de la Universidad San Luis Gonzaga, Ica. Adaptada de Blanco, 2005. c) Falla por cizallamiento en el pabellón "A" de la I.E. San Juan Bosco, Puno.

Por otra parte, la falta de mantenimiento y la exposición prolongada de los elementos estructurales a condiciones ambientales desfavorables pueden ocasionar el deterioro del edificio, incrementando su vulnerabilidad física.

**Figura 14***Deterioro de elementos estructurales*

*Nota.* a) Presencia de eflorescencia en el muro portante de albañilería de la I.E. Daniel Becerra Ocampo, Ilo. b) Corrosión del acero de refuerzo positivo de la losa aligerada, causada por filtraciones de aguas pluviales en la I.E. 2038 Inca Garcilaso de la Vega, Lima.

**2.2.2 Evaluación Visual Rápida de Edificaciones Escolares**

En las últimas décadas, diversas organizaciones han desarrollado procedimientos e instrumentos destinados a evaluar la vulnerabilidad estructural de las edificaciones. Uno de los más utilizados es el *Rapid Visual Screening* (RVS) que permite identificar, inventariar y evaluar edificaciones que son potencialmente vulnerables a múltiples peligros naturales. Este método se basa en un análisis visual del edificio y un formulario de recopilación de datos que proporciona un sistema de puntuación simple para estimar la vulnerabilidad frente a un evento sísmico.

El *Rapid Visual Screening* (RVS) puede implementarse de manera rápida y económica; no obstante, la confiabilidad de sus resultados está directamente relacionada a la experticia del evaluador. En países con alta actividad sísmica, como Japón y Nueva Zelanda, se promueve la realización de evaluaciones exhaustivas de la capacidad sísmica de las edificaciones, dadas la rigurosidad de sus códigos.




El procedimiento propuesto en esta investigación tiene como objetivo identificar los factores que contribuyen al incremento de la vulnerabilidad estructural y determinar la condición estructural de los edificios educativos. Para ello, se emplea la inspección visual y un formulario especializado que permite determinar acciones prioritarias según las necesidades de cada edificación. Este procedimiento se basa en la metodología establecida por el FEMA P-154, adaptada a la realidad nacional y a las prescripciones contenidas en la Norma Técnica Peruana E.030 Diseño Sismorresistente.

### **2.2.2.1 Formato para la Evaluación Visual Rápida**

El formato para la Evaluación Visual Rápida de edificaciones escolares es un instrumento de diagnóstico enfocado en la mitigación del riesgo sísmico, que permite identificar, inventariar y evaluar edificaciones educativas potencialmente vulnerables a fenómenos sísmicos a través de una base de datos confiable.

**Figura 15**

*Formato para la Evaluación Visual Rápida de edificaciones escolares*



**FORMATO DE EVALUACIÓN VISUAL RÁPIDA  
EDIFICACIONES ESCOLARES**

DBC-EVR-001

**1. DATOS GENERALES**

Institución educativa: \_\_\_\_\_ Nivel: \_\_\_\_\_ Evaluador: \_\_\_\_\_  
 Dirección: \_\_\_\_\_ Edificación: \_\_\_\_\_ Fecha/Hora: \_\_\_\_\_  
 Coordenadas UTM: \_\_\_\_\_ Director/Propietario: \_\_\_\_\_  
 Tipo de evaluación:  Desde la calle  Exterior  Parcialmente interior  Interior  Otro: \_\_\_\_\_  
 Año de construcción: \_\_\_\_\_  Desconocido Reglamento\*:  Antes de 1997  Después de 1997  
 Cerco perimétrico:  Parcial  Completo  Ninguno Zona sísmica: \_\_\_\_\_ Planos:  Arq.  Estr.

**Peligros externos y de origen geotécnico** **Posición en la manzana**

A. Falla geológica: Si/No/Desc. D. Tsunami: Si/No/Desc.  Frente a la calle  Esquina  Medio  Aislado  
 B. Desliz. de tierra: Si/No/Desc. E. Socavación: Si/No/Desc.  
 C. Licuefacción: Si/No/Desc. Otro: \_\_\_\_\_

\*Todos los ítems en blanco serán considerados como "Ninguno".  
 (\*) Si la edificación no tuvo dirección técnica tachar Reglamento.

**2. DESCRIPCIÓN DE LA EDIFICACIÓN**

**Bosquejo en planta y elevación**

Comentarios, recomendaciones y fotografías adjuntos.

Tipo:  780 PRE  780 POST  Adobe  
 Gran Unidad  Otro: \_\_\_\_\_  
 No. de pisos: \_\_\_\_\_ Área en planta: \_\_\_\_\_  
 Altura: \_\_\_\_\_ Altura entrepiso: \_\_\_\_\_  
 Irregularidad:  Irregularidad estr. horizontal  
 Irregularidad estr. vertical  
 Arquitectura:  Voladizo  Ornamento  
 Tragaluz  Balcón  
 Parapeto  Otro: \_\_\_\_\_  
 Tipo de techo:  Plano  Un agua  
 Dos aguas  Cuatro aguas  
 Otro: \_\_\_\_\_  
 Junta sísmica:  Si  No

**Distribución**

Aula  Taller  Administrativo  
 Biblioteca  Servicio  Laboratorio  
 Usos mult.  Comedor  Otro: \_\_\_\_\_

Máx. dimensión de abertura en muro: \_\_\_\_\_ Dimensión de aula típica: \_\_\_\_\_  
 Abertura total en muros: \_\_\_\_\_ No. de vanos: \_\_\_\_\_ No. de puertas: \_\_\_\_\_

**3. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA**

Material predominante:  Concreto armado  Albañilería  Acero  Madera  Tierra  
 Sistema estructural:  Pórticos  Dual  MDL  Albañilería confinada  
 Mixto  Tierra reforzada  Otro: \_\_\_\_\_  
 Tipo de cimentación:  Cimiento corrido  Zapata conectada  Losa de cimentación  
 Zapata aislada  Zapata combinada  Otro: \_\_\_\_\_  
 Estructura de techo:  Losa aligerada  Losa maciza  Tijeral de madera  Estructura metálica  
 Ampliación/Remodelación:  No  Si (Tipo/Fecha) \_\_\_\_\_  
 Reforzamiento:  No  Si (Tipo/Fecha) \_\_\_\_\_  
 Problemas de configuración estructural:  Columna corta  Piso blando  Proximidad entre edificaciones  
 Columna débil  Riesgo torsional  Concentración de masa  
 Discontinuidad de elementos estr.  Otro: \_\_\_\_\_

NIVEL DE DAÑO ESTRUCTURAL					Sección de elementos estructurales (cm):	
	Ligero	Moderado	Severo			
Elem. estructural	Columna	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Tabiquería agrietada	<input type="checkbox"/>
	Viga	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Cielo raso deteriorado	<input type="checkbox"/>
	Muro estructural	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Denso mobiliario y equipamiento	<input type="checkbox"/>
	Muro portante	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Vidrios rotos	<input type="checkbox"/>
	Losa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Andaje de luminarias deteriorado	<input type="checkbox"/>
Elem. no estructural	Sistema de techo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Escalera agrietada	<input type="checkbox"/>
					Tanque elevado inestable	<input type="checkbox"/>

CONDICIÓN ESTRUCTURAL:  Inaceptable  Deficiente  Adecuado  Satisfactorio

Elaborado por: Bach, Gary Ivan Niels Limachi Paco (2024)

El formato para la Evaluación Visual Rápida (EVR) de edificaciones escolares está compuesto por tres secciones, cada una de ellas con ítems que se describen en la Tabla 7.

Tabla 7

*Estructura del formato EVR de edificaciones escolares*

Secciones	Ítems
Datos generales	<ul style="list-style-type: none"><li>- Institución educativa, nivel, evaluador, dirección, fecha/hora, director/propietario: registre el nombre según corresponda.</li><li>- Coordenadas UTM: registre la georreferenciación de la edificación en coordenadas UTM.</li><li>- Edificación: registre un código apropiado para la edificación.</li><li>- Tipo de evaluación: marque con un aspa el tipo de evaluación según corresponda (desde la calle, exterior, parcialmente interior, interior, otro).</li><li>- Año de construcción: registre el año de construcción de la edificación o marque con un aspa si la desconoce.</li><li>- Reglamento*: marque con un aspa el tipo de reglamento de Diseño Sismorresistente según corresponda (antes de 1997, después de 1997). *Si la edificación no tuvo dirección técnica tachar "Reglamento".</li><li>- Cerco perimétrico: marque con un aspa el tipo de cerco perimétrico según corresponda (parcial, completo, ninguno).</li><li>- Zona sísmica: registre la zonificación sísmica que corresponda, según la N.T.P. E.030 Diseño Sismorresistente.</li><li>- Planos: marque con un aspa los planos post construcción disponibles (arquitectura, estructura).</li><li>- Peligros externos y de origen geotécnico: encierre en un círculo "Si", "No" o "Desc." según el peligro que corresponda o registre otro peligro en "otro".</li><li>- Posición en la manzana: marque con un aspa según corresponda (frente a la calle, esquina, medio, aislado).</li></ul>
Descripción de la edificación	<ul style="list-style-type: none"><li>- Tipo: marque con un aspa el tipo de edificación educativa según corresponda (780 pre, 780 post, adobe, Gran Unidad, otro).</li><li>- No. de pisos: registre el número de pisos de la edificación.</li><li>- Área en planta: registre el área en planta de la edificación (m<sup>2</sup>).</li><li>- Altura: registre la altura de la edificación (m).</li><li>- Altura entrepiso: registre la altura de entrepiso de la edificación (m).</li><li>- Irregularidad: marque con un aspa el tipo de irregularidad estructural según corresponda (irregularidad estructural horizontal, irregularidad estructural vertical).</li><li>- Arquitectura: marque con un aspa los elementos arquitectónicos que conforman la edificación (voladizo, tragaluz, parapeto, ornamento, balcón, otro).</li><li>- Tipo de techo: marque con un aspa el tipo de techo de la edificación según corresponda (plano, un agua, dos aguas, cuatro aguas, otro).</li><li>- Junta sísmica: marque con un aspa "Si" o "No" según corresponda.</li></ul>



Secciones	Ítems
Descripción de la estructura	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Distribución: marque con un aspa los ambientes con los que cuenta la edificación según corresponda (aula, biblioteca, usos múltiples, taller, servicio, comedor, administrativo, laboratorio, otro).</li> <li>- Máx. dimensión de abertura en muro: registre la máxima dimensión de abertura en muros (m).</li> <li>- Abertura total en muros: registre el total de aberturas en muros (m).</li> <li>- Dimensión de aula típica: registre las dimensiones del aula típica de la edificación (m).</li> <li>- No. de vanos: registre el número de vanos de la edificación.</li> <li>- No. de puertas: registre el número de puertas de la edificación.</li> <li>- Bosquejo en planta y elevación: bosqueje la edificación en planta y elevación incluyendo los detalles relevantes. Marque con un aspa si se adjuntó comentarios, recomendaciones, fotografías o información adicional.</li> <li>- Material predominante: marque con un aspa el material predominante de la edificación según corresponda (concreto armado, albañilería, acero, madera, tierra).</li> <li>- Sistema estructural: marque con un aspa el tipo de sistema estructural según corresponda (pórticos, dual, muros de ductilidad limitada, albañilería confinada, mixto, tierra reforzada, otro).</li> <li>- Tipo de cimentación: marque con un aspa el tipo de cimentación de la edificación según corresponda (cimiento corrido, zapata conectada, losa de cimentación, zapata aislada, zapata combinada, otro).</li> <li>- Estructura de techo: marque con un aspa el tipo de estructura de techo de la edificación según corresponda (losa aligerada, losa maciza, tijeral de madera, estructura metálica).</li> <li>- Ampliación/Remodelación: marque con un aspa "Si" o "No" según corresponda. Si marca "Si" especifique el tipo ampliación y/o remodelación que se realizó y la fecha.</li> <li>- Reforzamiento: marque con un aspa en "Si" o "No" según corresponda. Si marca "Si" especifique el tipo de reforzamiento que se realizó y la fecha.</li> <li>- Problemas de configuración estructural: marque con un aspa el tipo de problema de configuración estructural según corresponda (columna corta, columna débil, discontinuidad de elementos estructurales, piso blando, riesgo torsional, proximidad entre edificaciones, concentración de masa, otro).</li> <li>- Nivel de daño estructural: marque con un aspa el nivel de daño (ligero, moderado, severo) para cada elemento estructural o no estructural según corresponda. Consulte la Tabla 8 para obtener más detalles sobre los niveles de daño.</li> <li>- Sección de elementos estructurales: registre las dimensiones de la sección de cada elemento estructural según corresponda (columnas, vigas, muros estructurales). Para la losa, especifique el espesor correspondiente.</li> </ul>



Secciones	Ítems
	- Condición estructural: marque con un aspa el tipo de condición estructural según corresponda (inaceptable, deficiente, adecuado, satisfactorio). Consulte la Tabla 9 para obtener mayor información acerca de los diferentes tipos de condición estructural.

*Nota.* Todos los ítems en blanco serán considerados como "Ninguno".

### 2.2.2.2 Metodología

La Evaluación Visual Rápida de edificaciones escolares debe ser realizada por personal capacitado o que cuenten con experiencia comprobada en la inspección de edificaciones, a fin de evitar interpretaciones incorrectas.

A continuación, se describe el proceso adoptado para la determinación de la condición estructural de una edificación escolar.

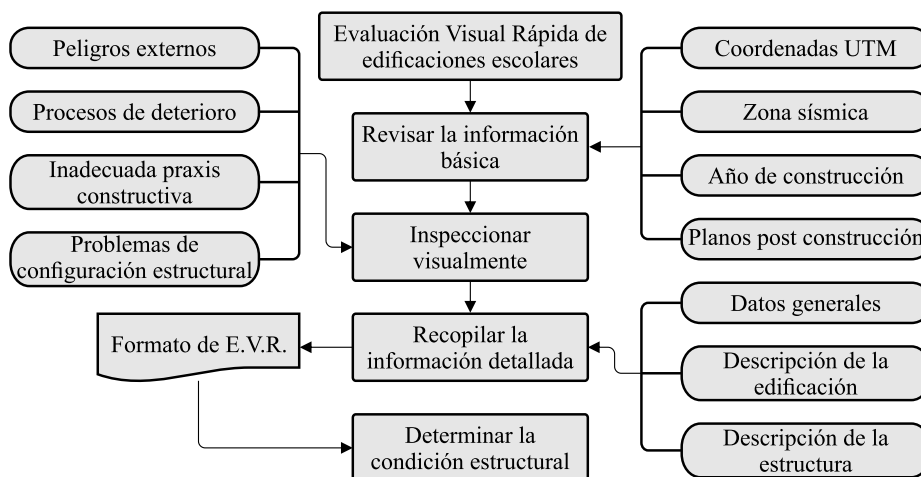
1. Para iniciar con la evaluación, es necesario revisar la información relacionada a los aspectos generales de la edificación como el año de construcción, antecedentes, la ubicación, la zonificación sísmica y los planos post construcción o *as built*. Además de gestionar las autorizaciones necesarias con el responsable del activo.
2. Seguidamente, se procede a realizar la inspección detallada de la edificación, comenzando desde el exterior hacia el interior según lo requerido por el formulario. Se deberá prestar especial atención a los elementos estructurales y no estructurales de la edificación con el objetivo de detectar deterioros que podrían comprometer su capacidad estructural, así como daños físicos, deficientes procesos constructivos y problemas de configuración estructural. Es posible que algunos componentes estructurales no se puedan identificar debido a los acabados arquitectónicos o se tenga restricciones de acceso. Si fuera

- el caso, se deberá registrar como comentario en una hoja adjunta al formulario.
- Una vez culminada la inspección visual se deberá completar el formulario en el orden establecido: datos generales, descripción de la edificación y descripción de la estructura. Además, si fuera necesario se puede adjuntar una hoja con comentarios, recomendaciones y fotografías.
  - Por último, utilizando los datos recopilados y el buen juicio del evaluador se determina la condición estructural de la edificación escolar, considerando lo indicado en la Tabla 9.

El tiempo estimado para completar este proceso es de 20 a 30 minutos por edificación; no obstante, dicho intervalo puede variar en función del tamaño y complejidad de la infraestructura.

**Figura 16**

*Flujograma para la Evaluación Visual Rápida de edificaciones escolares*



La información consignada en el formulario es de carácter de declaración jurada y está sujeta a verificaciones posteriores.



**Tabla 8**

*Niveles de daño para elementos estructurales*

<b>Niveles de daño</b>	<b>Descripción</b>
Sin daño	Pequeñas fisuras, casi imperceptibles sobre la superficie del concreto.
Ligero	<p><i>Concreto armado.</i> Agrietamiento del concreto, sin pérdida del recubrimiento significativo ni pandeo o fractura del acero de refuerzo.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Columna, agrietamiento menor a 0.5 mm y diagonal menor a 1 mm.</li> <li>- Viga, agrietamiento por flexión menor a 4.5 mm y diagonal menor a 1.5 mm.</li> <li>- Muro estructural, agrietamiento por flexión menor a 4 mm y diagonal menor a 3 mm.</li> <li>- Losa, agrietamiento superficial menor a 1 mm.</li> </ul> <p><i>Albañilería.</i> Grietas en la albañilería sin desprendimiento o aplastamiento de la misma.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Muro portante, agrietamiento horizontal y diagonal menor a 2 mm.</li> </ul> <p>El sistema de techo dependiendo del material que lo componga presentará deterioro y deformaciones menores casi imperceptibles.</p>
Moderado	<p><i>Concreto armado.</i> Agrietamiento del concreto y posible desprendimiento del recubrimiento en la zona de articulación plástica, sin pandeo o fractura del acero de refuerzo.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Columna, agrietamiento vertical o diagonal menor a 5 mm.</li> <li>- Viga, agrietamiento menor a 5 mm.</li> <li>- Muro estructural, agrietamiento menor a 5 mm.</li> <li>- Losa, agrietamiento menor a 2 mm.</li> </ul> <p><i>Albañilería.</i> Grietas en la albañilería, columnetas y/o viga de confinamiento, con desprendimiento limitado, sin fractura y/o exposición del acero refuerzo de las columnetas.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Muro portante, agrietamiento horizontal menor a 3 mm y diagonal menor a 5 mm.</li> </ul> <p>El sistema de techo dependiendo del material que lo componga presentará agrietamiento, daños y deformaciones perceptibles a simple vista.</p>
Severo	<p><i>Concreto armado.</i> Agrietamiento y aplastamiento significativo del concreto, degradación de la rigidez y resistencia del elemento, pandeo y posible fractura del acero de refuerzo.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Columna, agrietamiento mayor a 5 mm.</li> <li>- Viga, agrietamiento mayor a 5 mm.</li> <li>- Muro estructural, agrietamiento mayor a 5 mm.</li> <li>- Losa, agrietamiento excesivo mayor a 4 mm.</li> </ul> <p><i>Albañilería.</i> Agrietamiento significativo en el núcleo y aplastamiento de la albañilería, fractura y/o exposición del acero de refuerzo de las columnetas.</p>

Niveles de daño	Descripción
	- Muro portante, agrietamiento horizontal y diagonal mayor a 5 mm. El sistema de techo dependiendo del material que lo componga presentará agrietamiento significativo, disminución de la sección, deformaciones o daños en las zonas donde podrían ocurrir articulaciones plásticas.
Colapso	Colapso total o parcial de los elementos estructurales.

*Nota.* Adaptada de Alcocer (2021, pp. 53-96).

**Tabla 9***Condición estructural de las edificaciones escolares*

Condición estructural	Descripción
Satisfactorio	No presenta ningún tipo de daño en sus componentes estructurales y no estructurales o es despreciable (tabiquería fisurada). La adecuada configuración estructural de la edificación garantiza la seguridad para sus ocupantes.
Adecuado	El daño es ligero o despreciable en los componentes estructurales y moderado en los no estructurales (tabiquería agrietada, caída de revestimientos y ornamentos frágiles). Estructura regular en planta y elevación. La edificación no genera riesgo para la vida de sus ocupantes, pero requiere reparaciones menores.
Deficiente	Daño moderado o severo en ciertos componentes estructurales y moderado en los no estructurales. Probables problemas de configuración estructural, inadecuados procesos constructivos y signos de deterioro en la estructura. En estas condiciones, se reduce considerablemente los márgenes de seguridad para sus ocupantes y se evidencia la necesidad de una pronta rehabilitación estructural.
Inaceptable	Daño severo en varios de los componentes estructurales que comprometen la estabilidad de la edificación. Esta condición genera riesgo inminente para la vida de sus ocupantes y para las edificaciones colindantes. Es muy probable que sea necesario la demolición de la edificación.

**2.2.2.3 Uso de los Resultados**

La Evaluación Visual Rápida de edificaciones escolares tiene como finalidad identificar las edificaciones potencialmente peligrosas frente a sismos; no obstante, la información recabada también puede aprovecharse para planificar y gestionar acciones destinadas a mitigar de manera efectiva la vulnerabilidad

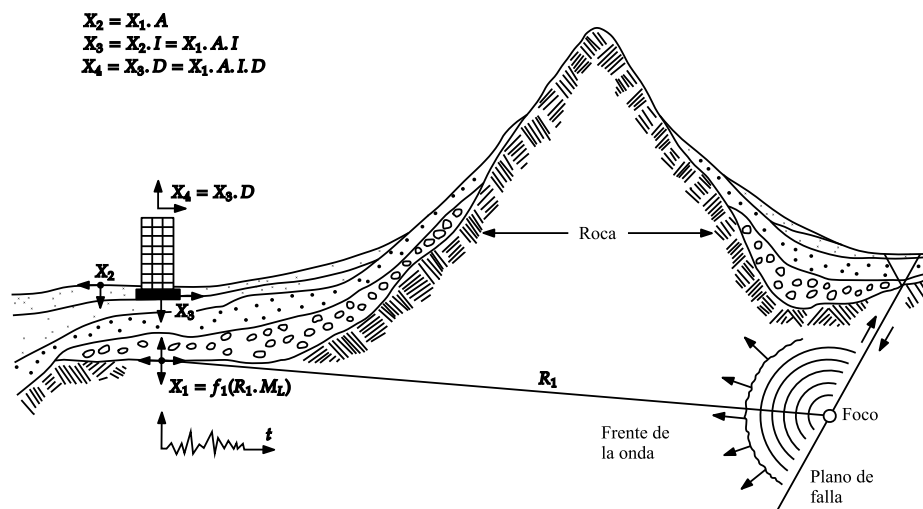
física de las escuelas, implementar un sistema de monitoreo estructural, contribuir al desarrollo del Plan de Gestión del Riesgo de Desastres (PGRD) y facilitar la planificación de medidas de contingencia en los centros educativos.

### 2.2.3 Peligro Sísmico

El peligro sísmico o amenaza sísmica se define como “la probabilidad de excedencia de un cierto valor de la intensidad del movimiento del suelo producido por terremotos, en un determinado emplazamiento y durante un periodo de tiempo dado” (Benito y Jiménez, 1999, p. 14). El peligro puede expresarse en valores máximos de aceleración, velocidad o desplazamiento del suelo, pero también es común en términos de intensidad macrosísmica. La evaluación del peligro sísmico requiere examinar la secuencia de procesos físicos que se desarrollan desde la generación de ondas en el hipocentro hasta su propagación al área objetivo.

**Figura 17**

*Mecanismo de propagación de la energía sísmica*



*Nota.* Adaptada de Bertero, 1992.

Cuando se genera un sismo con determinadas características, una fracción de la energía liberada se propaga en forma de ondas sísmicas. Estas ondas, al desplazarse a través de la tierra, pueden experimentar fenómenos como la



reflexión, refracción, atenuación o amplificación, en forma de excitación sísmica  $X_1$ , hasta alcanzar el basamento rocoso subyacente al sitio de emplazamiento de una estructura. Al atravesar los distintos estratos de suelo existentes entre dicho basamento y la superficie, estas ondas son modificadas por una función de transferencia  $A$ , obteniendo como resultado una nueva señal  $X_2$ . Posteriormente, debido al efecto de la interacción entre el suelo y la estructura, representado mediante la función de transferencia  $I$ , la señal se transforma nuevamente, generando así la excitación  $X_3$  en la base del edificio. Finalmente, la respuesta estructural  $X_4$  se obtiene mediante la convolución de  $X_3$  con la función de transferencia  $D$ , que caracteriza el comportamiento dinámico del edificio ante dicha excitación (Bozzo y Barbat, 2000).

### 2.2.3.1 Cuantificación del Peligro Sísmico

La evaluación de la amenaza sísmica se fundamenta en dos enfoques metodológicos principales: el análisis determinista y el probabilista.

El Análisis de Peligro Sísmico Probabilístico (*Probabilistic Seismic Hazard Analysis*, PSHA) se desarrolló en la década de los 70, como un medio para estimar la acción sísmica de un determinado lugar con una probabilidad asociada. Este método considera la contribución del potencial sísmico de las fuentes sismogénicas, así como las incertidumbres de los parámetros que intervienen y la combinación de estos mediante ecuaciones de predicción del movimiento, proporcionando un análisis más completo.

Esta metodología se fundamenta en el teorema de la probabilidad total, el cual indica que podemos calcular la probabilidad total de un sistema sumando las probabilidades individuales de cada parte que lo integran.

$$P(A) = \sum_{i=1}^N P(A/E_i)P(E_i) \quad (1)$$

Donde  $P(A/E_i)$  representa la probabilidad condicional que  $A$  ocurra, dado que  $E_i$  ocurra.

La ecuación utilizada para evaluar el peligro sísmico, según la metodología propuesta por Cornell (1968), es la siguiente:

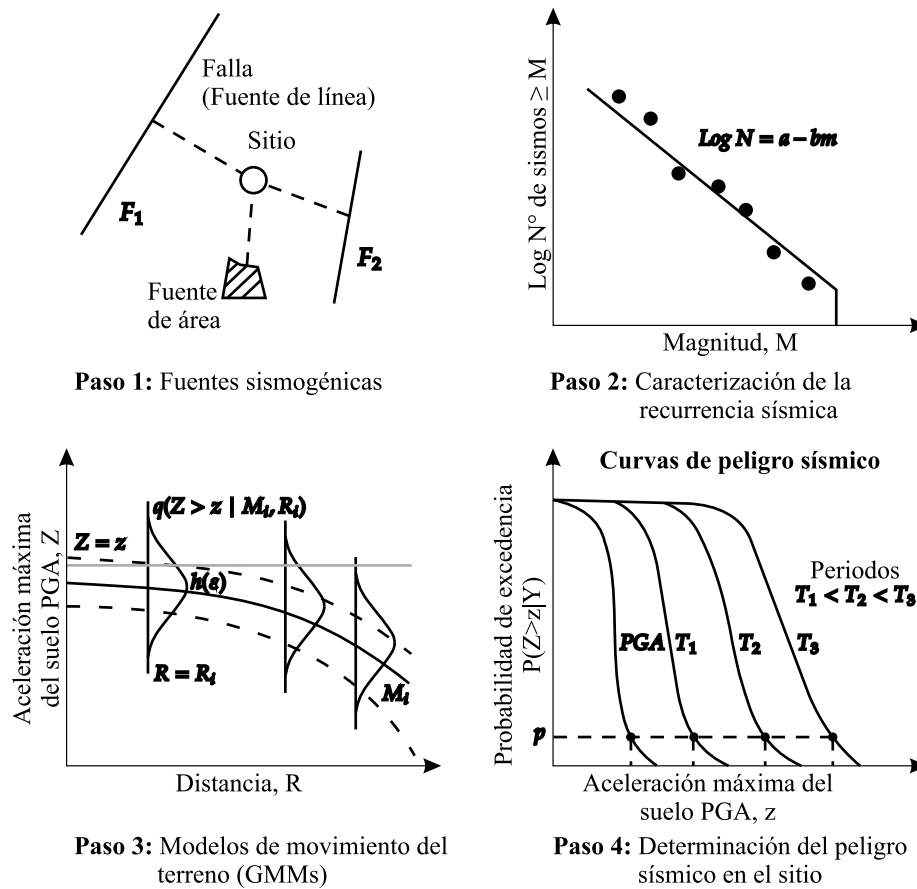
$$\lambda(y > Y) = \sum_{i=1}^N \lambda_i(y > Y) = \sum_{i=1}^N v_i \iiint P_i[y > Y|m, r, \varepsilon] f_{M_i}(m) f_{R_i}(r) f_{\varepsilon_i}(\varepsilon) dm dr d\varepsilon \quad (2)$$

Aguiar y Rivas (2018) explican que, la tasa anual de excedencia del nivel movimiento  $Y$ , denotado como  $\lambda(y > Y)$ , representa la frecuencia con la que dicho nivel es superado debido a la actividad sísmica proveniente de  $N$  fuentes sísmicas. Esta tasa se obtiene como la suma de las tasas de excedencia anuales individuales de cada fuente  $\lambda_i(y > Y)$ , donde cada una está asociada a una tasa anual de ocurrencia sísmica  $v_i$ . La probabilidad condicional de que se exceda el nivel  $Y$ , dada una magnitud  $m$ , una distancia  $r$  y un valor de épsilon  $\varepsilon$ , esta expresada por el término  $P_i[y > Y|m, r, \varepsilon]$ . Además,  $f_{M_i}(m)f_{R_i}(r)f_{\varepsilon_i}(\varepsilon)$  son las funciones de densidad de probabilidad de la magnitud, distancia y épsilon, respectivamente.

La Figura 18 presenta un esquema representativo del procedimiento utilizado para el análisis de peligro sísmico.

Figura 18

## Esquema del Análisis de Peligro Sísmico Probabilístico



## 2.2.3.2 Parámetros Sismológicos

Para estimar la variabilidad en las magnitudes sísmicas generadas por una fuente requiere determinar su recurrencia sísmica. Este parámetro cuantifica la frecuencia de eventos con magnitudes iguales o superiores a un valor umbral, definido mediante la pendiente  $b$  de la relación de recurrencia de Gutenberg y Richter (1954), la tasa anual de actividad sísmica  $N$ , la magnitud máxima y mínima (Bolaños y Monroy, 2004).

Una hipótesis fundamental del análisis sísmico probabilístico sostiene que la recurrencia derivada de la sismicidad histórica es adecuada para predecir la



sismicidad futura. Para cuantificar esta relación de recurrencia en una región específica, se utiliza la siguiente expresión modificada por Richter (1958).

$$\text{Log } N = a - bM \quad (3)$$

Donde,

$N$  : Número acumulado de sismos con magnitud igual o superior a  $M$ .

$a, b$ : Constantes propias de la sismicidad de cada región.

Por lo general, estos parámetros suelen derivarse de un análisis de regresión aplicado a catálogos sísmicos de la fuente en estudio. Donde la constante  $b$ , de la relación de Gutenberg-Richter, indica la frecuencia entre eventos de alta y baja magnitud; la tasa  $N$  representa la razón media anual de actividad sísmica para eventos que son iguales o superiores a la magnitud mínima  $M_{min}$  de homogeneidad y la magnitud mínima se define a partir del nivel de completitud del catálogo sísmico, el cual corresponde al punto de máxima curvatura en la curva de recurrencia sísmica (Bolaños y Monroy, 2004).

Por su parte, el criterio para determinar la magnitud máxima  $M_{max}$  se basa en la premisa de que, si en la fuente sísmica ocurrió un evento extraordinario en el pasado, este también podría volver a suceder en el futuro. Roncal (2017) indica que la magnitud máxima puede definirse de forma preliminar como un rango con una variación de  $\pm 0.1 M_w$ .

$$M_{maxFi} = M_{maxi} \pm 0.1M_w \quad (4)$$

### ***Determinación del Valor de b***

El valor  $b$  puede ser determinado mediante el método de mínimos cuadrados o el de máxima verosimilitud. Sin embargo, el primero puede generar resultados inestables al aplicarse a distribuciones acumulativas, como la relación de Gutenberg-Richter, especialmente cuando hay pocos datos de gran magnitud,

ya que su influencia en el ajuste puede ser desproporcionada (Bolaños y Monroy, 2004).

Según Roncal (2017) el método de máxima verosimilitud permite estimar la recta que mejor se ajusta al valor medio más probable de los datos muestreados, considerando las magnitudes mínima y máxima, y ofrece una representación más adecuada al estar basado en una función de densidad de probabilidad.

Para realizar el análisis de recurrencia sísmica, se sugiere seguir la metodología de Weichert (1980), la cual se fundamenta en la estimación de los valores más probables de los parámetros  $N_0$  y  $\beta$ , partiendo de la relación expresada  $\log(N) = N_0 \exp(-\beta m)$  (Roncal, 2017).

$$\beta = b \ln 10 \quad (5)$$

Donde, el valor de  $\beta$  se determina por métodos iterativos.

### ***Ecuaciones de Predicción de Movimiento del Suelo***

Las ecuaciones de predicción de movimiento del suelo, también conocidas como leyes de atenuación, son modelos matemáticos empleados para estimar los efectos generados por diversas fuentes sísmicas en un sitio determinado, expresados en términos de intensidad sísmica. Estas ecuaciones comúnmente se obtienen del análisis estadístico de la relación entre variables como la magnitud del sismo, el mecanismo focal, la distancia entre el foco y el punto de estudio, los efectos de sitio y otros parámetros sismológicos.

A continuación, se detallan los modelos más representativos en el ámbito nacional para la predicción del movimiento del suelo.

- Para los sismos de subducción, se utilizan los modelos de atenuación de Youngs et al. (1997), Zhao et al. (2006), Abrahamson et al. (2016), Montalva et al. (2017), Parker et al. (2020) y Kuehn et al. (2020).
- Para los sismos continentales, se utilizan los modelos de atenuación sísmica Sadigh et al. (1997), Campbell y Bozorgnia (2014), Chiou y Youngs (2014) y Abrahamson et al. (2014-2015).

### 2.2.3.3 Curvas de Peligro Sísmico

Los resultados de un Análisis de Peligro Sísmico Probabilístico pueden expresarse de diversas maneras dependiendo del objetivo de estudio. Un enfoque habitual consiste en elaborar curvas de peligro sísmico, las cuales indican la probabilidad anual de que se supere un determinado parámetro de movimiento del suelo en un sitio dado dentro de un periodo específico.

Para fines de diseño, los valores del parámetro seleccionado se representan mediante un espectro de peligro uniforme o mediante mapas de isoaceleraciones, cuando se evalúa un área extensa.

Para un modelo de Poisson, la probabilidad anual de excedencia se expresa.

$$v(S_a > z) = \frac{-\ln(1 - P(S_a > z|T))}{T} \quad (6)$$

$$P(S_a > z|T) = 1 - e^{\frac{-T}{Tr}} \quad (7)$$

Donde,

$P(S_a > z|T)$ : Probabilidad de excedencia deseada durante un periodo.

$T$  : Tiempo o periodo de vida útil.

$Tr$ : Periodo de retorno (años).

Otra forma de expresar el peligro sísmico es a través del periodo de retorno  $Tr$ , el cual se obtiene al calcular la inversa de la probabilidad anual de excedencia.



#### 2.2.4 Ingeniería Sísmica Basada en el Desempeño

“La Ingeniería Sísmica Basada en el Desempeño (*Performance-Based Earthquake Engineering*, PBEE) puede definirse como la práctica de pensar y trabajar en términos de fines en lugar de medios” (Gibson, 1982; Ellingwood, 1998, como se citó en Spence y Arunachalam, 2022, p. 2). Es considerada la filosofía moderna para el diseño sismorresistente de estructuras que abarca el diseño, la evaluación, la construcción, el monitoreo del funcionamiento y el mantenimiento de los edificios, asegurando el desempeño dentro de los niveles de daño predefinidos durante su vida útil.

Esta metodología surge en la década de los 90 como una respuesta a las limitaciones de los códigos sísmicos convencionales, impulsada por las considerables pérdidas económicas, en términos de costos de reparación y tiempo de inactividad, durante los terremotos de Loma Prieta de 1989 y Northridge de 1994 (Padalu y Surana, 2023). Estas pérdidas se debieron, en gran medida, por la ausencia de una definición clara de los objetivos de desempeño que los edificios deberían cumplir ante sismos de distintas intensidades. Porter (2003) explica que una diferencia fundamental entre estos dos enfoques es que LRFD busca asegurar el desempeño principalmente en términos de probabilidad de falla de los elementos estructurales, mientras que PBEE intenta abordar el desempeño principalmente a nivel del sistema en términos de riesgo de colapso, muertes, costos de reparación y pérdida de función posterior al terremoto.

Los primeros pasos para enmarcar y estandarizar la metodología PBEE comenzaron con la publicación del informe VISION 2000 (1995) por el *Structural Engineers Association of California* (SEAOC). Al año siguiente, en 1996, el *Applied Technology Council* (ATC) publicó el ATC-40, que abordaba la evaluación



sísmica y rehabilitación de edificios de concreto, introduciendo el Método de Espectro de Capacidad. Posteriormente, en 1997, el *Federal Emergency Management Agency* (FEMA) publicó los documentos FEMA 273 y FEMA 274 como directrices para la evaluación sísmica de edificaciones existentes, empleando el Método de Coeficientes de Desplazamiento para estimar el punto de desempeño. Estos tres últimos documentos tienen como objetivo común proporcionar a los ingenieros estructurales las pautas necesarias para la rehabilitación sísmica de edificios existentes, enfocándose en la predicción de varios niveles de daño para distintos tipos de movimiento del suelo que puedan afectar la estructura (Padalu y Surana, 2023). Otras contribuciones significativas al desarrollo del PBEE fueron: FEMA 356 (2000), FEMA 440 (2005), FEMA P-440A (2009) y ASCE/SEI 41 (2017).

Durante las últimas décadas, esta metodología ha experimentado una evolución considerable, adoptando un enfoque probabilístico que ha dado lugar al desarrollo de nuevos documentos, como el FEMA P695 (2008) y FEMA P-58 (2018).

En la actualidad, el *Pacific Earthquake Engineering Research Center* (PEER), con sede en la Universidad de California en Berkeley, lidera el desarrollo, validación y difusión de tecnologías que respaldan la Ingeniería Sísmica Basada en el Desempeño.

#### **2.2.4.1 Diseño Sísmico Basado en el Desempeño**

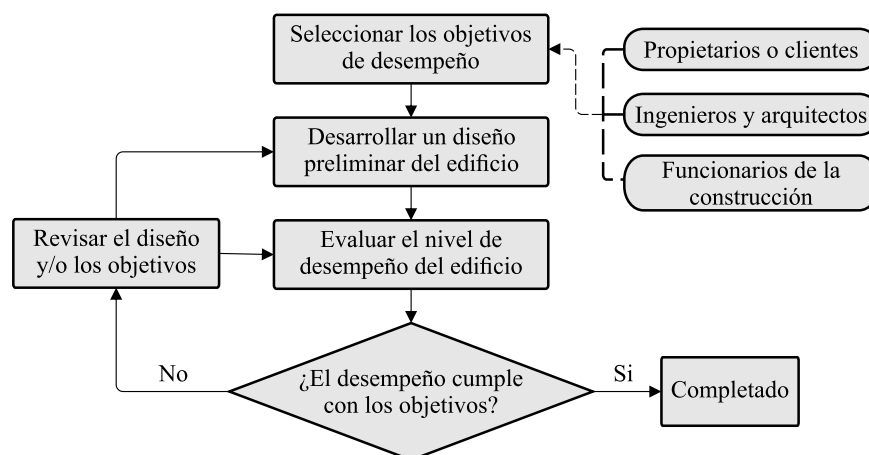
Las devastadoras consecuencias de los sismos recientes han impulsado el desarrollo de un enfoque innovador en el diseño estructural, conocido como Diseño Sísmico Basado en el Desempeño (PBSD, por sus siglas en inglés). Este enfoque multiobjetivo establece criterios de diseño orientados a alcanzar

objetivos de desempeño determinados, considerando la exposición de una estructura a diferentes niveles de amenaza sísmica. El PBSD brinda la posibilidad de diseñar edificaciones con un desempeño predecible y confiable ante eventos sísmicos, promoviendo la integración de tecnologías avanzadas y facilitando la comunicación entre los profesionales responsables del diseño y las partes interesadas. Asimismo, permite a los propietarios tomar decisiones sobre los riesgos asociados a sus propiedades.

El FEMA 445 (2006) indica que el PBSD es un proceso iterativo que comienza con la selección de criterios de diseño, los cuales se expresan mediante uno o más objetivos de desempeño. Luego, se desarrolla un diseño preliminar que considere la ubicación del sitio, configuración y ocupación del edificio. Posteriormente, se realiza una evaluación para verificar si el diseño preliminar cumple con los objetivos de desempeño seleccionados. Finalmente, si fuera necesario, se realiza un rediseño y una nueva evaluación hasta alcanzar el nivel de desempeño deseado.

**Figura 19**

*Flujograma del PBSD*



*Nota.* Adaptada de FEMA 445, 2006.



Llevar a cabo un PBSB implica invertir más tiempo y esfuerzo en las etapas de análisis y diseño; sin embargo, los beneficios pueden ser considerables en lo que se refiere a reducción de costos de construcción, optimización del uso del espacio y logro de un nivel de desempeño sísmico superior al previsto por los códigos vigentes (Golesorkhi et al., 2017). En la práctica ingenieril, su aplicación se centra principalmente en fundamentar excepciones a los requisitos específicos de los códigos, optimizar costos y recursos, demostrar niveles superiores de desempeño ante diferentes intensidades sísmicas, rehabilitar estructuras existentes y estimar pérdidas potenciales.

### ***Objetivos de Desempeño***

Un objetivo de desempeño expresa el comportamiento esperado de una estructura, el cual se determina a partir de dos aspectos: el nivel máximo de daño admisible (nivel deseado de desempeño) y un nivel de amenaza sísmica esperado. Bertero (1997) explica que la selección de estos objetivos requiere considerar factores como la ocupación, la funcionalidad, aspectos económicos como el costo de reparación y el costo de la interrupción de las actividades internas, así como la importancia general de la estructura.

En términos general, los objetivos de desempeño seleccionados atenderán las características particulares relacionadas con el uso, función e importancia de cada edificación.

**Tabla 10**

*Objetivo de seguridad básica para edificaciones convencionales*

Movimiento Sismico del Suelo	Nivel de Desempeño de la Estructura			
	Operacional	Ocupación Inmediata	Seguridad de Vida	Estabilidad Estructural
Sismo de Servicio (SE)				
Sismo de Diseño (DE)			✓	
Sismo Máximo (ME)				✓

*Nota.* Adaptada de ATC-40, 1996.

**Tabla 11**

*Objetivos de desempeño*

Niveles de Desempeño de la Estructura Objetivo				
Nivel de Amenaza Sismica	Nivel de Desempeño Operacional (1-A)	Nivel de Desempeño Ocupación Inmediata (1-B)	Nivel de Desempeño Seguridad de Vida (3-C)	Nivel de Desempeño Prevención de Colapso (5-D)
50%/50 años	a	b	c	d
BSE-1E (20%/50 años)	e	f	g	h
BSE-2E (5%/50 años)	i	j	k	l
BSE-2N (ASCE 7 $MCE_R$ )	m	n	o	p

*Notas:* Cada celda en la matriz representa un Objetivo de Desempeño discreto. Los Objetivos de Desempeño en la matriz pueden ser usados para representar tres tipos de Objetivos de Desempeño, que pueden ser seleccionados para un edificio que es asignado a la categoría de Riesgo I o II, de la siguiente forma:

Objetivos de Desempeño Básico para edificios existentes (BPEO)	g y l
Objetivos Mejorados	g y i, j, m, n, o, o p l y e o f g y l más a o b
Objetivos Limitados	k, m, n, o solamente o Solo g Solo l c, d, e o f

*Nota.* Adaptada de ASCE/SEI 41, 2017.

## Niveles de Desempeño del edificio

Un nivel de desempeño describe un estado límite de daño discreto, definido en función del daño físico de los componentes estructurales y no estructurales del edificio, la amenaza que dicho daño implica para la seguridad de sus ocupantes y la funcionalidad operativa del edificio posterior al sismo (ATC-40, 1996).

A continuación, se describen los niveles de desempeño definidos para edificaciones, conforme a los lineamientos del ATC-40 y ASCE/SEI 41-17.

**Figura 20**

*Combinaciones de niveles de desempeño propuestos por el ATC-40*

Niveles de Desempeño No Estructural	Niveles de Desempeño Estructural					
	SP-1 Ocupación Inmediata	SP-2 Control de Daño	SP-3 Seguridad de Vida	SP-4 Seguridad Limitada	SP-5 Estabilidad Estructural	SP-6 No Considerado
NP-A Operacional	1-A Operacional	2-A	NR	NR	NR	NR
NP-B Ocupación Inmediata	1-B Ocupación Inmediata	2-B	3-B	NR	NR	NR
NP-C Seguridad de Vida	1-C	2-C	3-C Seguridad de Vida	4-C	5-C	6-C
NP-D Peligro Reducido	NR	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
NP-E No Considerado	NR	NR	3-E	4-E	5-E Estabilidad Estructural	No Aplicable

*Leyenda*

	Niveles de desempeño comúnmente utilizados (SP-NP)
	Otras posibles combinaciones de SP-NP
NR	Combinaciones no recomendadas de SP-NP

*Nota.* Adaptada de ATC-40, 1996.

Los cuatro niveles de desempeño comúnmente utilizados para edificaciones son los siguientes:



**Operacional (1-A)**, en este nivel la funcionalidad del edificio no se ve afectada. Los daños en la estructura son mínimos, garantizando la seguridad para los ocupantes, y las reparaciones necesarias son de poca envergadura, pudiendo realizarse sin alterar significativamente las actividades habituales. Asimismo, los sistemas y elementos no estructurales vinculados a la operatividad presentan afectaciones menores que no comprometen las funciones del inmueble.

**Ocupación Inmediata (1-B)**, este nivel es el más utilizado en edificaciones esenciales. Se prevé que los espacios y sistemas del edificio conserven una funcionalidad aceptable. Aunque pueden producirse daños en los contenidos, no se compromete la integridad de los ocupantes.

**Seguridad de Vida (3-C)**, este nivel busca alcanzar una condición de daño en la que la probabilidad de que se generen amenazas a la integridad de los ocupantes sea extremadamente baja, ya sea por fallas en la estructura o por la caída o vuelco de componentes del edificio. Corresponde al nivel de desempeño esperado para las estructuras cuando estas son diseñadas conforme a los códigos convencionales (ATC-40, 1996).

**Estabilidad Estructural (5-E)**, el sistema estructural encargado de resistir cargas laterales presenta un margen de seguridad crítico, con una alta probabilidad de colapso ante posibles réplicas. Aunque el sistema que soporta las cargas verticales aún mantiene la estabilidad global de la estructura, no se puede garantizar la seguridad de los ocupantes ni de los transeúntes. Dado el severo daño estructural, no se considera necesario evaluar los elementos no estructurales. Se recomienda evacuar el edificio de manera inmediata y, en algunos casos, demoler la estructura (Bonett, 2003).

Por su parte, ASCE/SEI 41-17 introduce modificaciones en las definiciones de los niveles de desempeño propuestos por el ATC-40, aunque ambos documentos conservan una terminología y conceptos muy similares. La Figura 21 presenta las múltiples opciones de combinaciones para los niveles de desempeño objetivo para edificaciones, junto con las denominaciones asignadas a aquellas configuraciones que poseen una mayor probabilidad de ser adoptadas en el proceso de diseño.

## Figura 21

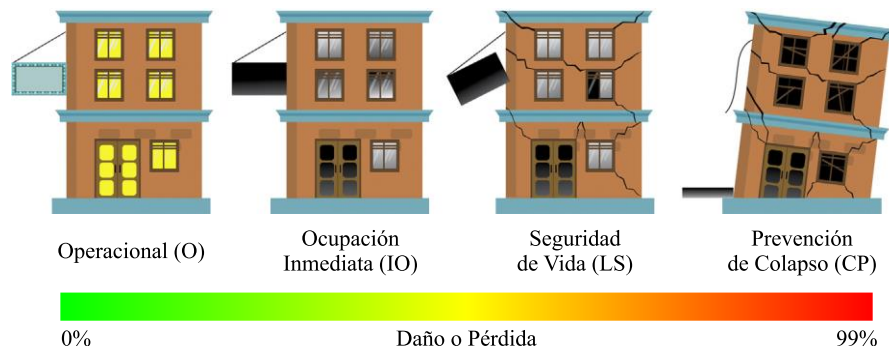
*Combinaciones de niveles de desempeño propuestos por el ASCE/SEI 41-17*

Niveles de Desempeño No Estructural	Niveles de Desempeño Estructural					
	S-1 Ocupación Inmediata	S-2 Control de Daño	S-3 Seguridad de Vida	S-4 Seguridad Limitada	S-5 Prevención de Colapso	S-6 No Considerado
N-A Operacional	1-A Operacional	2-A	NR	NR	NR	NR
N-B Retención de Posición	1-B Ocupación Inmediata	2-B	3-B	4-B	NR	NR
N-C Seguridad de Vida	1-C	2-C	3-C Seguridad de Vida	4-C	5-C	6-C
N-D Peligro Reducido	NR	NR	3-D	4-D	5-D Prevención de Colapso	6-D
N-E No Considerado	NR	NR	3-E	4-E	5-E	No evaluación o reforzamiento

*Nota.* NR= No recomendado. Adaptada de ASCE/SEI 41, 2017.

**Figura 22**

*Niveles de desempeño estructural de una edificación frente a un evento sísmico*



*Nota.* Adaptada de Anwar y Najam, 2017.

**Niveles de Amenaza Sísmica**

Un nivel de amenaza sísmica describe la intensidad esperada de un evento sísmico durante un periodo de tiempo determinado, y suele expresarse en términos de intervalo de recurrencia (periodo de retorno) o probabilidad anual de excedencia. La Tabla 12 presenta los niveles de amenaza sísmica propuestos por el documento ATC-40 (1996).

**Tabla 12**

*Niveles de amenaza sísmica propuestos por el ATC-40*

Niveles de Amenaza Sísmica	Descripción
Sismo de Servicio (SE)	Corresponde a un sismo con el 50% de probabilidad de ser excedido en un periodo de 50 años. Asimismo, es considerado como aproximadamente 0.5 veces el nivel de Sismo de Diseño. "Se considera como un sismo frecuente, ya que puede ocurrir más de una vez durante la vida útil de la estructura." <sup>a</sup> Tiene un periodo de retorno aproximado de 75 años.
Sismo de Diseño (DE)	Corresponde a un sismo con el 10% de probabilidad de ser excedido en un periodo de 50 años. "Representa un sismo poco frecuente, de intensidad entre moderada y severa, y se considera que puede ocurrir al menos una vez durante la vida útil de la estructura." <sup>a</sup> Tiene un periodo de retorno aproximado de 475 años.



Niveles de Amenaza Sísmica	Descripción
Sismo Máximo (ME)	Corresponde a un sismo con el 5% de probabilidad de ser excedido en un periodo de 50 años. "Este nivel de amenaza sísmica generalmente varía entre 1.25 y 1.50 veces el valor del Sismo de Diseño y, es utilizado para el diseño de estructuras esenciales." <sup>a</sup> Se considera como el Sismo Máximo que puede ser esperado en el sitio donde se encuentra la estructura. Tiene un periodo de retorno aproximado de 975 años.

Nota. <sup>a</sup> Bonett (2003, pp. 57-58). Adaptada de ATC-40, 1996.

### 2.2.4.2 Evaluación del Desempeño Sísmico

En los últimos años, ha surgido gran interés en los métodos de predicción y simulación del comportamiento sísmico de las estructuras. Un método ampliamente empleado y que ha sido incorporado en diversos estándares debido a su relativa simplicidad es el Análisis Estático No Lineal o *Pushover*. Este tipo de análisis proporciona información relevante sobre la capacidad sísmica de las estructuras y permite realizar evaluaciones más racionales y confiables sobre su comportamiento sísmico, en comparación con las prácticas convencionales, que se basan principalmente en métodos de análisis lineal. Estos últimos asumen que el comportamiento del material es elástico lineal y consideran que los desplazamientos y deformaciones del sistema estructural no tienen un impacto significativo en el desempeño de la estructura.

Es importante destacar que, con cualquier método de análisis solo se puede obtener estimaciones; sin embargo, la decisión de emplear métodos más sofisticados dependerá únicamente del grado de precisión que se desee alcanzar en los resultados.

Algunas fuentes de no linealidad en el comportamiento de las estructuras son:



- No linealidad del material, se produce cuando las propiedades del material se modifican debido a factores como la carga, temperatura, tiempo, etc.
- No linealidad geométrica, se presenta cuando las ecuaciones de equilibrio incorporan los efectos de las deformaciones y los desplazamientos (efectos  $P-\Delta$ ).
- No linealidad de las condiciones de contorno o de contacto, se presentan cuando estas condiciones cambian durante el análisis debido a la interacción entre sólidos deformables o rígidos.
- No linealidad por condiciones de carga, se presenta cuando la carga cambia con el tiempo.

### ***Análisis Estático No Lineal***

El Análisis Estático No Lineal es un método que permite evaluar el comportamiento inelástico de las estructuras bajo acción sísmica. Este proceso consiste básicamente en someter a un modelo matemático de la estructura, sujeta a cargas gravitacionales, a un patrón de carga lateral incremental predefinido (representación de las fuerzas de inercia esperadas durante un sismo) hasta alcanzar un desplazamiento objetivo o el estado de colapso de la estructura (Najam, 2017). El análisis toma en cuenta la no linealidad geométrica y del material, así como la redistribución de las fuerzas internas en cada incremento de carga. Los resultados obtenidos proporcionan información relevante sobre los efectos de la cedencia en los elementos estructurales, los estados límite de servicio, la sobrerresistencia, la ductilidad y la capacidad sísmica de la estructura.

El *Pushover* es el método de análisis predilecto cuando se trata de evaluar el desempeño sísmico de estructuras existentes debido a su simplicidad



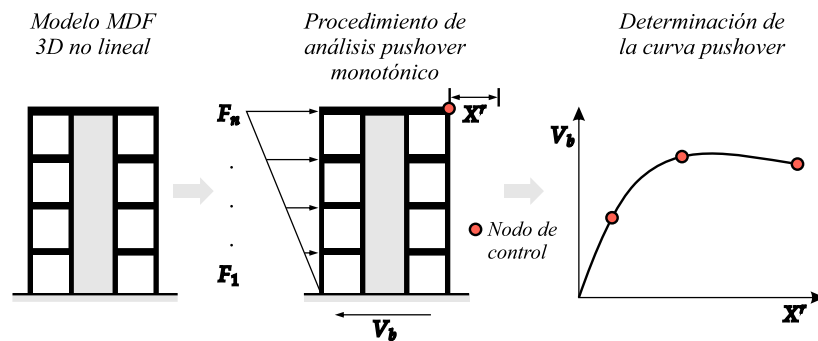
conceptual y ahorro computacional en comparación con el Análisis Dinámico no Lineal. No obstante, presenta limitaciones importantes como la omisión de la degradación progresiva de la rigidez que se produce durante la carga sísmica cíclica en la estructura, así como la premisa de que la respuesta de la estructura está dominada por el modo de vibración fundamental. Esto puede resultar inapropiado para edificios de gran altura, esbeltos o con irregularidades estructurales, donde los múltiples modos de vibración afectan el comportamiento de la estructura. Además, la estimación de deformaciones obtenidas a través de este análisis puede ser bastante imprecisas si la distribución de fuerzas laterales asumida no es la adecuada.

A pesar de estas limitaciones, el *Pushover* sigue siendo una herramienta valiosa para comprender en mayor profundidad el comportamiento no lineal de las estructuras.

Para realizar este análisis, es necesario seguir la secuencia de pasos que se presentan a continuación.

1. Construir un modelo matemático tridimensional del edificio que incorpore las propiedades no lineales de sus materiales y elementos.
2. Seleccionar un punto o nodo de control en la azotea del edificio, lo más próximo al centro de masa.
3. Aplicar las cargas gravitacionales (no lineal) en el modelo matemático.
4. Aplicar un patrón de carga lateral de forma incremental monótonica a lo largo de la altura del edificio. Este proceso inicia con la degradación de la rigidez, seguido por la resistencia y se prolonga hasta alcanzar un desplazamiento específico o la inestabilidad del modelo.

5. Determinar la curva *Pushover*, que se obtiene a partir de la relación entre la fuerza cortante en la base y el desplazamiento del nodo de control.

**Figura 23***Procedimiento para la realización de un Análisis Estático No Lineal*

*Nota.* Donde  $F_n$  es el patrón de carga lateral que incrementa monótonamente,  $V_b$  es la cortante en la base,  $X^r$  es el desplazamiento del nodo de control. Adaptada de Najam, 2017.

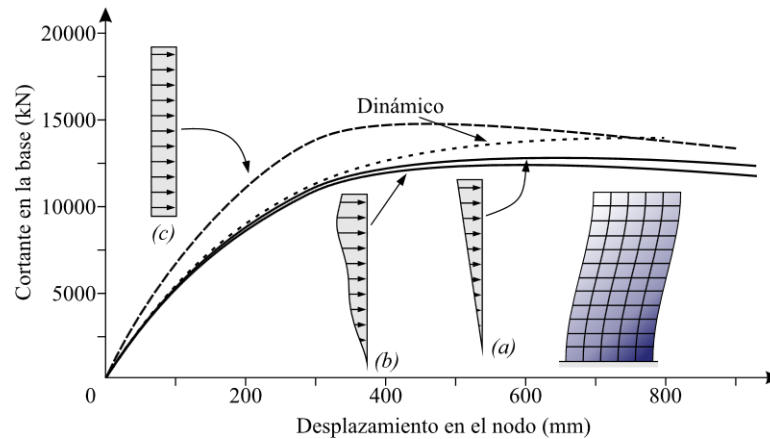
**Distribución de la carga lateral.** Una consideración importante en el Análisis Estático no Lineal es la elección del tipo de distribución de las fuerzas de inercia laterales que se aplican al modelo matemático de la estructura, puesto que esto influye directamente en la determinación de las cortantes, momentos y deformaciones dentro de la misma. El patrón de carga lateral seleccionado debe procurar ser representativo de la carga sísmica que la estructura experimenta.

A lo largo de los años, se han utilizado diversas técnicas que implican la aplicación de fuerzas laterales, algunas de las cuales se basaban en un solo patrón (rectangular, triangular invertida, de acuerdo al código sísmico, en forma del primer modo, etc.), mientras que otras recurrían a la combinación de múltiples patrones. Sin embargo, se ha demostrado que la utilización de múltiples patrones de carga lateral no mejora significativamente la precisión del análisis. Por ello, se

recomienda utilizar un patrón único basado en la forma del primer modo de vibración (FEMA 440, 2005).

### Figura 24

*Diferencias entre tres tipos de patrones de fuerza lateral*



*Nota.* Comparación de tres curvas *Pushover* correspondientes a diferentes patrones de fuerza lateral con una curva de análisis dinámico no lineal de mejor ajuste. Adaptada de Mwafy y Elnashai, 2001.

### **Modelos Constitutivos de los Materiales**

Para representar el comportamiento de los materiales, se han propuesto ecuaciones o modelos simplificados de sus relaciones constitutivas, basados en ensayos experimentales. A continuación, se describe brevemente algunos modelos analíticos de las curvas esfuerzo-deformación para el concreto y el acero de refuerzo.

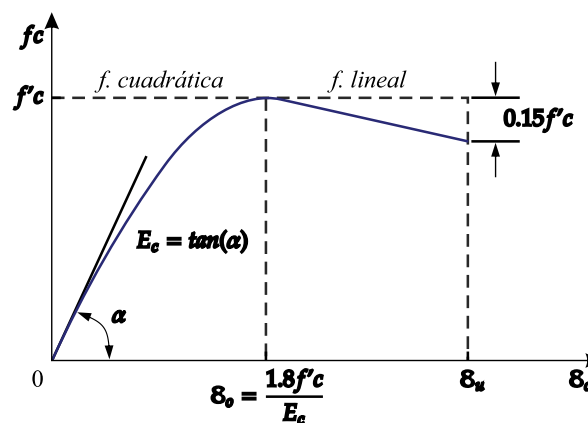
**Concreto No Confinado.** El concreto es un material heterogéneo con un adecuado comportamiento a compresión. Su curva esfuerzo-deformación se caracteriza por adoptar inicialmente una forma casi lineal para luego tomar la forma de una parábola invertida donde el vértice representa el esfuerzo máximo a compresión.

**Modelo de Hognestad.** El modelo analítico propuesto por Hognestad (1951), idealizó la curva de esfuerzo-deformación del concreto en dos segmentos: uno parabólico de segundo grado y el otro lineal. El segmento lineal se extiende hasta una deformación unitaria última del concreto  $\varepsilon_u$ , aproximadamente de 0.0038, asociada a un esfuerzo de  $0.85f'_c$ . Este modelo puede ser aplicado a secciones circulares, rectangulares o cuadradas.

$$f_c = \begin{cases} f'_c \left[ \frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_0} - \left( \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0} \right)^2 \right] & ; 0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_0 \\ f'_c - 0.15f'_c \frac{(\varepsilon_c - \varepsilon_0)}{(\varepsilon_u - \varepsilon_0)} & ; \varepsilon_0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_u \end{cases} \quad (8)$$

**Figura 25**

*Curva esfuerzo-deformación unitaria a compresión uniaxial*



*Nota.* Adaptada de Hognestad, 1951.

**Concreto Confinado.** Estudios experimentales han evidenciado que el confinamiento del concreto mediante refuerzo transversal espaciados a cierta distancia mejora considerablemente sus propiedades de esfuerzo-deformación a deformaciones elevadas, haciéndolo un material más dúctil. El efecto del confinamiento inicia cuando los esfuerzos se aproximan a la resistencia máxima, lo que provoca un aumento en la deformación debido al agrietamiento interno progresivo. En este proceso, el concreto entra en contacto con el refuerzo

transversal, que genera una fuerza de confinamiento, incrementando así su resistencia y su capacidad de deformación.

**Modelo de Mander.** El modelo propuesto por Mander et al. (1988) está definido por una única región de análisis. Este enfoque establece que el confinamiento del concreto no solo mejora su capacidad de deformación, sino que también incrementa su resistencia a la compresión. Este modelo es aplicable a secciones circulares como rectangulares, y se fundamenta en los estudios previos de Popovics (1973) (Escamilla, 2010).

La deformación unitaria última  $\varepsilon_u$  del concreto se produce cuando el refuerzo transversal se fractura, perdiendo así su capacidad para confinar eficazmente el núcleo de concreto, lo que provoca deformaciones transversales significativas en este.

El modelo constitutivo propuesto por Mander et al. (1988), se define mediante las siguientes relaciones matemáticas.

$$\varepsilon_{co} = \frac{50}{3} f'c + \frac{5000}{3} \quad (9)$$

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} \left[ 1 + 5 \left( \frac{f'cc}{f'co} - 1 \right) \right] \quad (10)$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f'c} \quad (11)$$

$$E_{sec} = \frac{f'cc}{\varepsilon_{cc}} \quad (12)$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad (13)$$

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \quad (14)$$

$$fc = \frac{f'ccxr}{r - 1 + x^r} \quad (15)$$

Donde,

$f'_{co}$ : Resistencia máxima del concreto no confinado.

$f'_{cc}$ : Resistencia máxima al concreto confinado.

$f'_{cu}$ : Resistencia última del concreto confinado.

$\epsilon_c$  : Deformación unitaria del concreto.

$\epsilon_0$  : Deformación unitaria asociada a la resistencia máxima del concreto.

$\epsilon_u$  : Deformación unitaria última o de falla del concreto confinado.

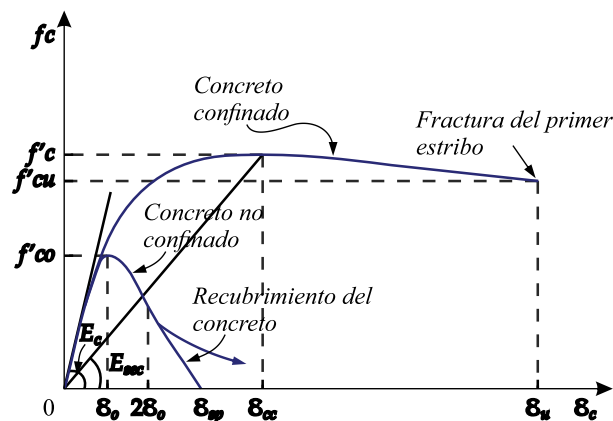
$\epsilon_{sp}$ : Deformación unitaria última asociada al recubrimiento del concreto.

$\epsilon_{cc}$ : Deformación unitaria asociada a la resistencia máxima del concreto confinado.

$E_c, E_{sec}$  : Módulo de elasticidad del concreto no confinado y módulo secante del concreto confinado en el esfuerzo máximo.

**Figura 26**

*Curva esfuerzo-deformación propuesta para concreto confinado*



*Nota.* Adaptada de Mander et al. (1988).

Para secciones geométricas de forma rectangular o cuadrada, la resistencia máxima a compresión  $f'_{cc}$  se determina utilizando las siguientes expresiones.

$$f'_{cc} = \lambda f'_c \tag{16}$$

$$f_{lx} = \frac{A_{sx}}{sb_c} k_e f_{yh} \tag{17}$$

$$f_{ly} = \frac{A_{sy}}{sb_c} k_e f_{yh} \tag{18}$$

$$A_e = \left( b_c d_c - \sum_{i=1}^n \frac{(w_i)^2}{6} \right) \left( 1 - \frac{s'}{2b_c} \right) \left( 1 - \frac{s'}{2d_c} \right) \quad (19)$$

$$k_e = \frac{1}{1 - \rho_{cc}} \left( 1 - \sum_{i=1}^n \frac{(w_i)^2}{6b_c d_c} \right) \left( 1 - \frac{s'}{2b_c} \right) \left( 1 - \frac{s'}{2d_c} \right) \quad (20)$$

Donde,

$f'_{cc}$ : Resistencia máxima del concreto confinado.

$f'_{co}$ : Resistencia a compresión del concreto no confinado.

$f_{yh}$ : Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo transversal.

$\rho_{cc}$ : Relación del área de acero longitudinal y el área de concreto confinado.

$A_e$ : Área confinada efectiva.

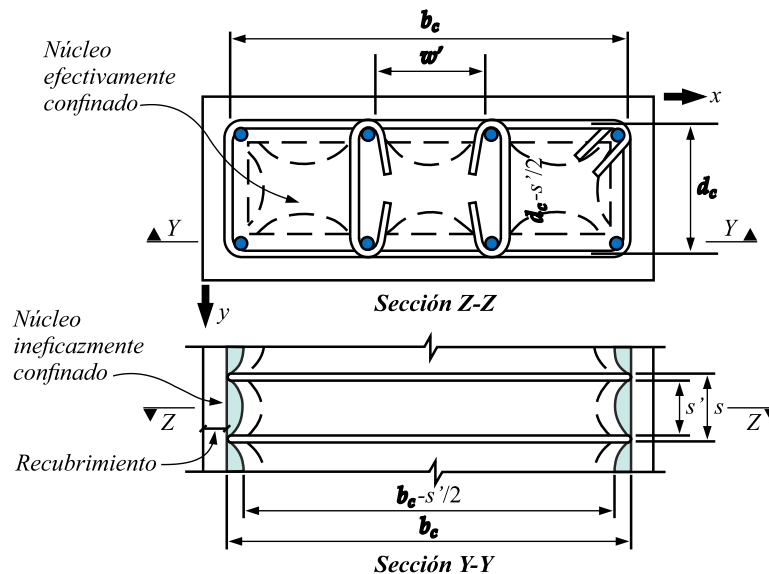
$A_{sx}, A_{sy}$ : Área de refuerzo transversal paralela al eje "x" o "y".

$f_{lx}, f_{ly}$ : Esfuerzo lateral de confinamiento efectivo en dirección "x" o "y".

$s', s$ : Separación entre los estribos a paño interior y exterior respectivamente.

**Figura 27**

*Confinamiento efectivo del núcleo en una sección rectangular*



*Nota.* Adaptada de Mander et al. (1988).

**Acero de Refuerzo.** Las deformaciones en estructuras de concreto armado durante sismos intensos se deben a la capacidad del acero de refuerzo para resistir ciclos de carga sin perder resistencia significativamente.

**Modelo de Park y Paulay.** El modelo propuesto por Park y Paulay (1975)

es el más preciso para describir el comportamiento del acero. Está definido por tres tramos: el tramo elástico lineal, el tramo posfluencia y el de endurecimiento por deformación en forma de parábola de segundo grado.

$$f_s = \begin{cases} -\left[ \frac{m(-\varepsilon_s - \varepsilon_{sh}) + 2}{60(-\varepsilon_s - \varepsilon_{sh}) + 2} + \frac{(60 - m)(-\varepsilon_s - \varepsilon_{sh})}{2(30r + 1)^2} \right] f_y & ; -\varepsilon_{su} \leq \varepsilon_s \leq -\varepsilon_{sh} \\ -f_y & ; -\varepsilon_{sh} < \varepsilon_s \leq -\varepsilon_y \\ E_s \varepsilon_s & ; -\varepsilon_y < \varepsilon_s \leq \varepsilon_y \\ f_y & ; \varepsilon_y < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sh} \\ \left[ \frac{m(-\varepsilon_s - \varepsilon_{sh}) + 2}{60(-\varepsilon_s - \varepsilon_{sh}) + 2} + \frac{(60 - m)(-\varepsilon_s - \varepsilon_{sh})}{2(30r + 1)^2} \right] f_y & ; \varepsilon_{sh} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{su} \end{cases} \quad (21)$$

$$r = \varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh} \quad (22)$$

$$m = \frac{\left(\frac{f_{su}}{f_y}\right) (30r + 1)^2 - 60r - 1}{15r^2} \quad (23)$$

Donde,

$f_y$  : Esfuerzo de fluencia nominal del acero.

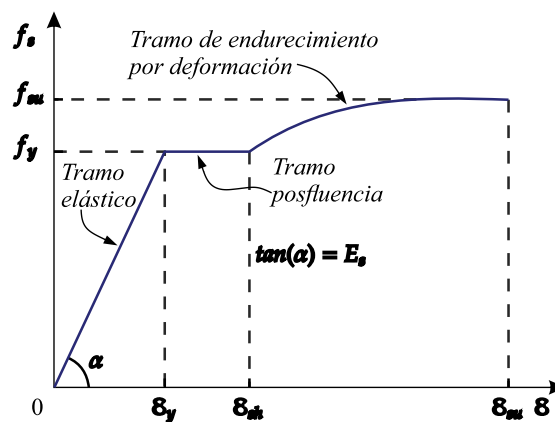
$\varepsilon_{sh}$ : Deformación máxima del tramo posfluencia del acero.

$\varepsilon_{su}, f_{su}$ : Deformación unitaria y esfuerzo últimos del acero.

$\varepsilon_s, f_s$ : Deformación unitaria y esfuerzo del acero en la zona de tracción y compresión.

**Figura 28**

*Curva esfuerzo-deformación completa del acero sometido a tracción*



Nota. Adaptada de Park y Paulay (1983).



### **Comportamiento Inelástico de Secciones y Elementos de Concreto Armado**

La respuesta sísmica de una estructura es determinada predominantemente por las propiedades de los materiales que la conforman y el comportamiento de sus secciones.

**Relación Momento-Curvatura.** El diagrama Momento-Curvatura ( $M-\varphi$ ) nos permite comprender de manera clara el comportamiento de las secciones de concreto armado sometidos a cargas crecientes, permitiendo además determinar su ductilidad, capacidad para desarrollar rótulas plásticas y la redistribución de los momentos elásticos. El diagrama es construido a partir de modelos constitutivos representativos de las condiciones del concreto y acero de refuerzo.

La ductilidad de curvatura se define por la siguiente expresión:

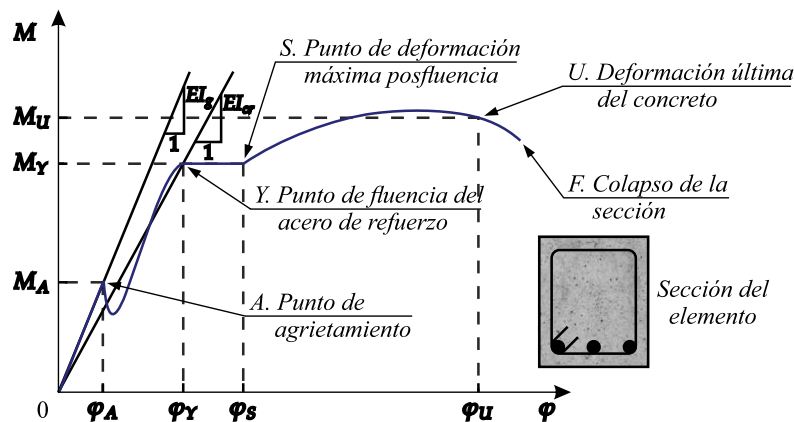
$$\mu_{\varphi} = \frac{\varphi_u}{\varphi_y} \quad (24)$$

Donde  $\varphi_u$  es la curvatura última o la falla de la sección y  $\varphi_y$  es la primera fluencia del acero de refuerzo en tracción.

Aguiar (2002) explica que hay cinco puntos de interés en un diagrama Momento-Curvatura de una sección de concreto armado, pero que normalmente solo se considera tres ( $A$ ,  $Y$  y  $U$ ) para definir la no linealidad del material. La Figura 29 muestra los cinco puntos de interés.

Figura 29

Diagrama típico Momento-Curvatura de una viga de concreto armado

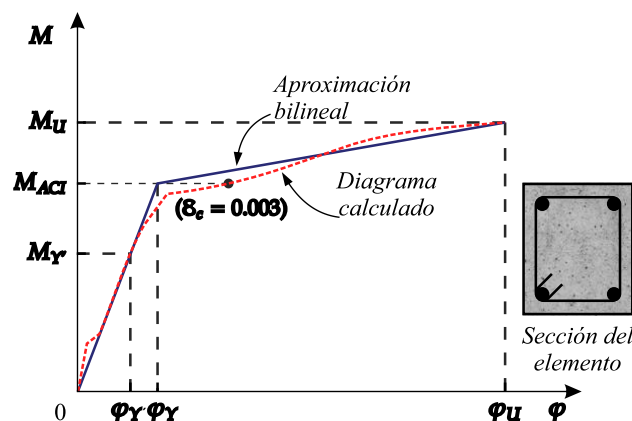


Nota. Adaptada de Aguiar, 2002.

La construcción de diagramas Momento-Curvatura puede llegar a ser una tarea numéricamente tediosa si consideramos todas las secciones que hay en una estructura. Por ello, una manera de acelerar los cálculos es idealizándolos mediante una aproximación bilineal a partir de los puntos de importancia.

Figura 30

Aproximación bilineal de un diagrama Momento-Curvatura



**Relación Corte Ductilidad por Rotación.** Los diagramas Momento-Curvatura incorporan la influencia de las fuerzas cortantes en elementos con refuerzo transversal mínimo. En el caso de columnas con un refuerzo longitudinal elevado y un refuerzo transversal limitado, es posible que se genere una falla por

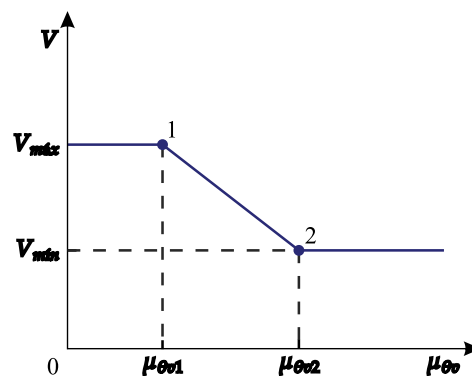
corte o bien iniciarse una falla por flexión que posteriormente se convierte en una falla por corte.

La Figura 31 muestra que la capacidad máxima de corte  $V_{m\acute{a}x}$  de la sección transversal de un elemento de concreto armado permanece constante hasta el punto 1. Sin embargo, tras la falla por compresión del concreto, se produce una degradación progresiva de la capacidad resistente hasta llegar al punto 2, donde se produce la falla por corte definitiva. Este último punto corresponde a una ductilidad de rotación  $\mu_{\theta 2}$  y un cortante mínimo  $V_{m\acute{i}n}$  (Aguiar, 2003).

$$V_{m\acute{i}n} = R_{\theta v 2} V_{m\acute{a}x} \quad (25)$$

**Figura 31**

*Modelo numérico para la degradación de la capacidad por corte*



*Nota.* El modelo constituye una recomendación de la Sociedad de Ingeniería Sísmica de Nueva Zelanda (1996) para la degradación del cortante a medida que incrementa la ductilidad por rotación. Adaptada de Aguiar (2003).

La relación corte ductilidad en vigas de sección rectangular está definida por las siguientes expresiones.

$$V_{m\acute{a}x} = \phi_r \left( 0.2\sqrt{f'c}bd + \frac{A_v f_{vy} d}{s} \right) \quad (26)$$

$$R_{\theta v2} = \frac{0.05\sqrt{f'c}bd + \frac{A_v f_{vy} d}{s}}{0.2\sqrt{f'c}bd + \frac{A_v f_{vy} d}{s}} \quad (27)$$

Donde,

$f'c$ : Resistencia a la compresión del concreto en MPa.

$\phi_r$ : Factor de reducción de esfuerzos por corte igual a 0.85.

$A_v$ : Área de corte del estribo.

$f_{vy}$ : Esfuerzo de fluencia del refuerzo del estribo.

$d$ : Peralte efectivo.

$s$ : Espaciamiento del estribo.

$\phi_{m\acute{a}x}$ : Curvatura asociada al cortante máximo igual a  $3\phi_y$ .

$\phi_{m\acute{i}n}$ : Curvatura asociada al cortante mínimo igual a  $7\phi_y$ .

Para columnas de sección rectangular, las ecuaciones son las siguientes.

$$V_{m\acute{a}x} = \phi_r \left\{ 0.85 \left( 0.29\sqrt{f'c}0.8A_g + \frac{A_v f_{vy} d''}{s} \cot(30^\circ) - N \tan(\alpha) \right) \right\} \quad (28)$$

$$R_{\theta v2} = \frac{0.1\sqrt{f'c}0.8A_g + \frac{A_v f_{vy} d''}{s} \cot(30^\circ) - N \tan(\alpha)}{0.29\sqrt{f'c}0.8A_g + \frac{A_v f_{vy} d''}{s} \cot(30^\circ) - N \tan(\alpha)} \quad (29)$$

Donde,

$A_g$ : Área gruesa de la columna.

$d''$ : Longitud del núcleo desde los extremos del refuerzo transversal.

$N$ : Carga axial de la columna.

$\alpha$ : Ángulo formado entre el eje longitudinal de la columna y la línea que conecta los puntos centrales donde actúa la fuerza a compresión en el concreto en los nudos inicial y final.

$\phi_{m\acute{a}x}$ : Curvatura asociada al cortante máximo igual a  $\phi_y$  en una columna a flexo compresión biaxial.

$\phi_{m\acute{i}n}$ : Curvatura asociada al cortante mínimo igual a  $5\phi_y$  en una columna a flexo compresión biaxial.

Para incorporar los efectos de corte en los diagramas Momento-Curvatura, se requiere aplicar la siguiente expresión.

$$M = VL \quad (30)$$



Donde,

$M$  : Momento asociado al corte máximo o mínimo.

$V$  : Cortante máximo o mínimo.

$L$  : Luz libre a corte, definida como la mitad de la longitud del elemento.

**Relación Momento-Rotación.** Es fundamental distinguir entre el diagrama Momento-Curvatura ( $M-\varphi$ ) y el diagrama Momento-Rotación ( $M-\theta$ ), puesto que el primero describe el comportamiento de una sección fisurada de concreto armado, mientras que el segundo se refiere a una porción del elemento estructural, generalmente en la región donde se forma la rótula plástica (Ottazzi, 2004).

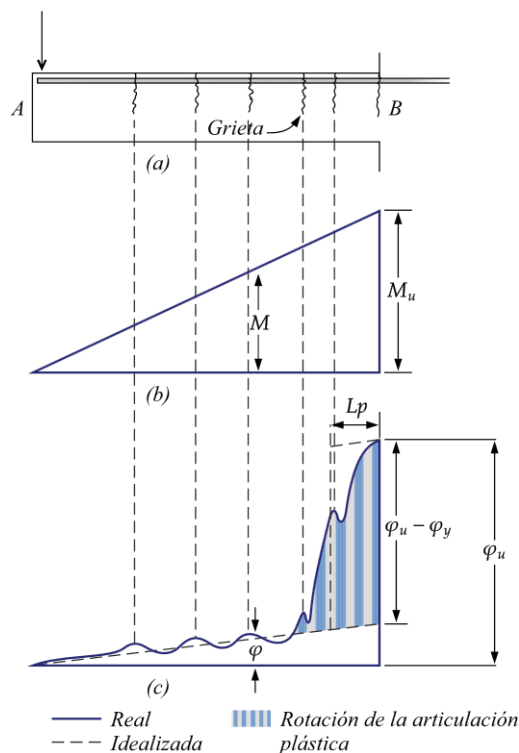
A partir del diagrama Momento-Rotación, es posible determinar la rotación inelástica de un elemento, asumiendo una curvatura constante y multiplicándola por la longitud de plastificación equivalente  $L_p$ .

$$\theta_P = (\varphi_u - \varphi_y) l_p \quad (31)$$

Según Park y Paulay (1983), diversos investigadores han propuesto distintas expresiones empíricas para definir la longitud de plastificación equivalente  $L_p$ . Sin embargo, las discrepancias entre estas expresiones demuestran que la capacidad de rotación inelástica de las rótulas plásticas solo puede estimarse de manera aproximada.

Figura 32

Distribución de la curvatura a lo largo de una viga bajo momento último



Nota. a) Viga, b) Diagrama de momento flexionante, c) Diagrama de curvatura. Adaptada de Park y Paulay (1983).

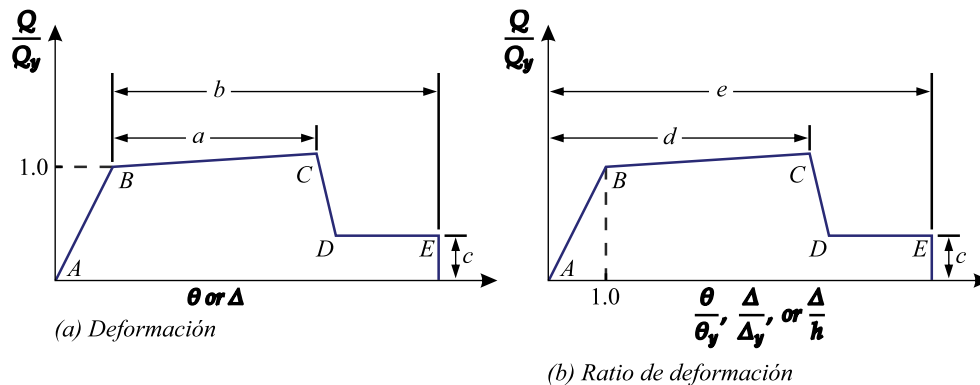
**Relación Fuerza-Deformación Generalizada.** En el análisis no lineal, el comportamiento de los componentes estructurales, los parámetros de demanda y los criterios de aceptación para acciones controladas por deformación se definen generalmente mediante relaciones fuerza-deformación generalizadas u otras derivadas de ensayos experimentales que describen su comportamiento bajo carga monotónica o cíclica.

Las relaciones fuerza-deformación generalizadas proporcionadas por el ASCE/SEI 41 y otros documentos están compuestas por cuatro segmentos: (1) Una respuesta lineal desde el estado descargado  $A$  hasta la fluencia efectiva  $B$ ; (2) un tramo post-fluencia con rigidez reducida  $B-C$ , donde la pendiente (entre 0-10% de la rigidez elástica) representa el endurecimiento por deformación; (3) un

estado de degradación significativa de la resistencia hasta  $D$ ; y (4) un último segmento  $D-E$  con capacidad residual mínima, seguido de la pérdida total de resistencia ante deformaciones superiores a  $E$  (FEMA 356, 2000).

**Figura 33**

*Relaciones fuerza-deformación generalizadas para componentes estructurales*



*Nota.* Adaptada de FEMA 356, 2000.

FEMA 356 (2000) señala que los parámetros de modelación empleados en análisis no lineales pueden clasificarse según las acciones que gobiernen el comportamiento del elemento.

- Deformación, está asociada a la falla por flexión y puede cuantificarse mediante cuatro parámetros: deformación, curvatura, rotación o elongación. Los parámetros  $a$  y  $b$  representan las secciones de deformación posterior a la cedencia y el parámetro  $c$  a la resistencia reducida.
- Ratio de deformación, está asociada a la falla por corte y se expresa en términos de cortante, deformación angular y ratio de deriva total. Los parámetros  $d$  y  $e$  representan las deformaciones totales medidas desde el origen.

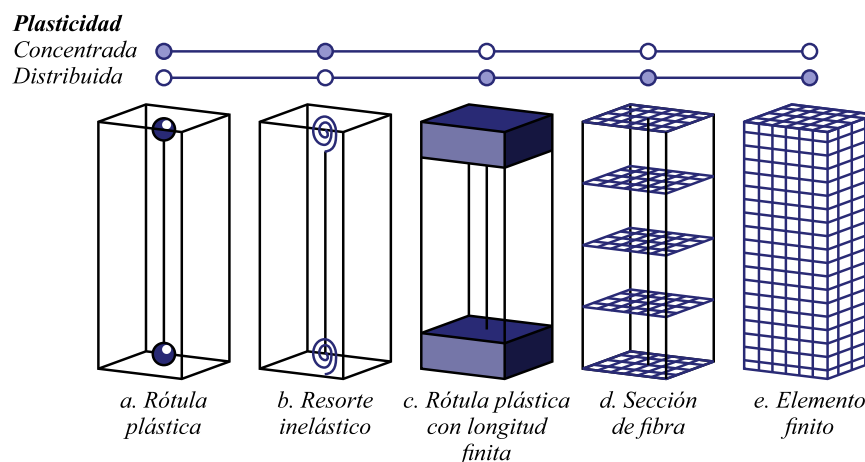
En la Tabla 10-7 del ASCE/SEI 41-17 se especifican los parámetros de modelado y los criterios numéricos de aceptación para vigas de concreto armado.

### ***Modelos Inelásticos para Elementos Estructurales***

En un análisis no lineal, es necesario utilizar modelos analíticos que consideren las propiedades geométricas y mecánicas de los elementos estructurales que representan, puesto que estos permiten simular con precisión su comportamiento inelástico frente a cargas de forma semejante a como lo haría el elemento analizado. Los modelos inelásticos pueden clasificarse según la distribución de la plasticidad en el elemento, definiéndose en dos grupos principales: modelos con plasticidad concentrada (o agrupada) y distribuida.

**Figura 34**

*Modelos inelásticos comúnmente utilizados*



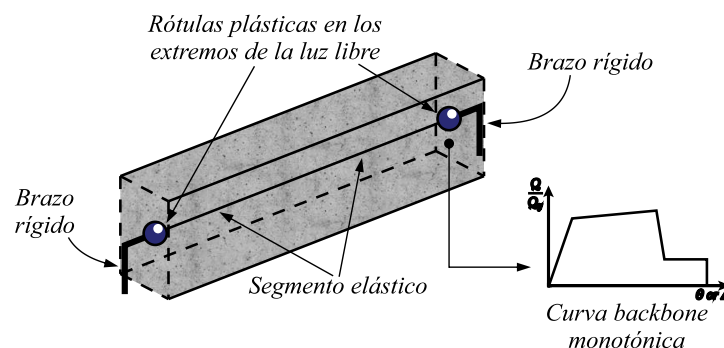
Al seleccionar un modelo inelástico, es importante considerar el comportamiento esperado, así como los supuestos y aproximaciones inherentes al tipo de modelo seleccionado. Deierlein et al. (2010) explica que, aunque los modelos más complejos pueden aparentar una mayor precisión al representar ciertos aspectos del comportamiento, los modelos simplificados a menudo logran capturar de forma más eficaz los aspectos relevantes, con un nivel de aproximación igual o menor.

A continuación, se describen algunos modelos inelásticos utilizados en el análisis no lineal de estructuras.

**Rótula o Articulación Plástica.** Uno de los modelos de plasticidad concentrada más utilizados en el análisis no lineal es la rótula o articulación plástica, la cual puede definirse como un dispositivo de disipación de energía que permite la rotación inelástica de una sección en las regiones donde se supere el momento de cedencia. Este modelo es considerado uno de los más simples; sin embargo, puede ser el más adecuado para capturar la respuesta de la degradación no lineal de los componentes a través de la calibración de curvas fenomenológicas de momentos-rotación y de histéresis obtenidas a partir de ensayos (Deierlein et al., 2010).

### Figura 35

#### *Modelo de rótula plástica para vigas de concreto armado*



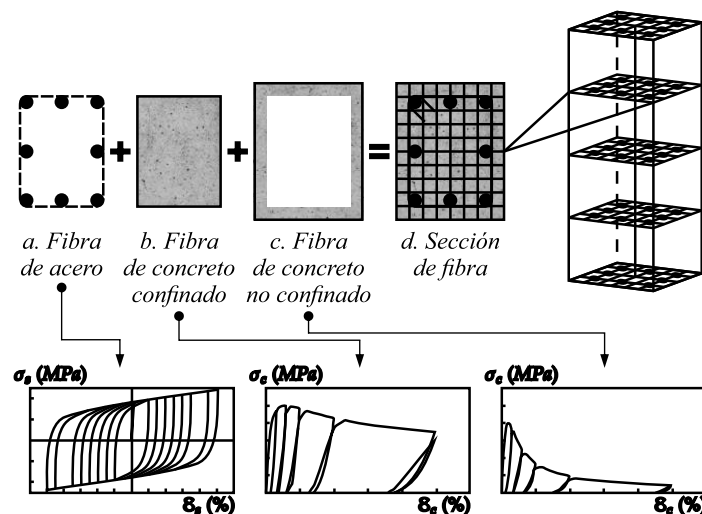
De acuerdo con los estándares ACI 318-19 y ASCE/SEI 41-17, los modelos no lineales deben ser capaces de representar los efectos de la fisuración en la rigidez de los elementos estructurales, tanto en la fase inicial de la respuesta inelástica como en las etapas posteriores al punto de cedencia. Por ello, estas normativas recomiendan utilizar los valores de rigidez efectiva que se encuentran en la Tabla 10-5 del ASCE/SEI 41-17, los cuales incorporan factores de reducción empíricos derivados de evidencias experimentales y validación numérica.

**Sección de Fibra.** En los modelos más sofisticados de plasticidad distribuida, la sección transversal de un elemento estructural se discretiza en un número finito de “fibras” uniaxiales que se extienden a lo largo de la longitud del elemento. Cada una de estas “fibras” uniaxiales está asociada a la relación constitutiva del material que representan y se pueden emplear conjuntamente con algunas suposiciones de comportamiento para obtener resultados en función de esfuerzos (fuerza axial y momento) y relaciones incrementales de momento-curvatura y fuerza axial-deformación (Deierlein et al., 2010). Si bien los resultados obtenidos por este modelo ofrecen un mayor nivel de detalle sobre los fenómenos causados por comportamientos específicos en el elemento, también pueden presentar mayores desafíos en cuanto a calibración, interpretación y costo computacional.

El modelo de fibra para columnas toma en cuenta la flexo-compresión biaxial más no considera el deslizamiento entre fibras (deformación por cortante) o combinación.

**Figura 36**

*Modelo de fibra para columnas de concreto armado*



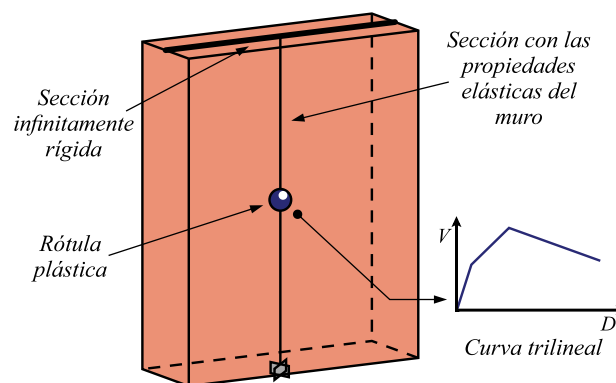
*Nota.* Adaptada de Handiana et al., 2020.

**Modelo de Columna Ancha.** En este modelo, los muros de albañilería confinada se idealizan a través de columnas equivalentes con una rótula plástica ubicada en su eje centroidal que captura sus propiedades a flexión y corte, mientras que las vigas inmersas en los muros se les asigna rigidez infinita (Zúñiga, 2005). Para considerar el efecto del confinamiento proporcionado por los arriostres verticales, se debe emplear el criterio de sección transformada estimando la relación entre el módulo del concreto y la albañilería.

A pesar del complejo comportamiento de la albañilería confinada frente a cargas laterales este modelo ha permitido representar con bastante precisión la degradación de sus propiedades estructurales asociado a su comportamiento por corte. Sin embargo, es fundamental calibrarlo con especímenes ensayados en laboratorio que posean propiedades similares.

### Figura 37

*Modelo de columna ancha para muros de albañilería confinada*

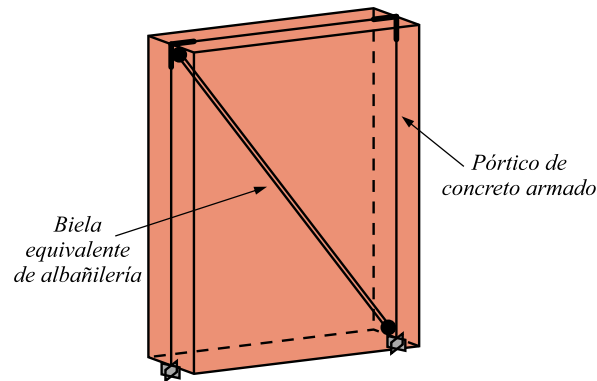


**Puntal Diagonal Equivalente.** La interacción tabique-pórtico puede modificar significativamente la rigidez del pórtico, incrementándola y, a su vez, provocando problemas estructurales importantes como la torsión en planta, piso blando y columna corta (San Bartolomé et al., 2011). Por ello, resulta imprescindible considerar su influencia en la estructura. La forma más efectiva de

representar este comportamiento es utilizando un puntal diagonal equivalente de albañilería que actúe axialmente a compresión.

### Figura 38

*Modelo de puntal diagonal equivalente para tabiques*



#### 2.2.4.3 Punto de Desempeño

##### ***Método de Linealización Equivalente***

El procedimiento mejorado de Linealización Equivalente (*Equivalent Linearization*) constituye una adaptación avanzada del método de Espectro de Capacidad propuesto en el ATC-40, diseñado para estimar el desplazamiento máximo de un sistema no lineal, a través de la transformación del sistema en uno lineal equivalente. Este procedimiento se basa en dos parámetros lineales fundamentales: el periodo efectivo  $T_{eff}$ , y el amortiguamiento efectivo  $\beta_{eff}$ , cuyos valores se determinan a partir de las propiedades de la curva de capacidad de la estructura, el amortiguamiento y periodo inicial y el nivel de ductilidad demandada  $\mu$  (FEMA 440, 2005).

Los resultados representan una estimación promedio de la respuesta y no implica ningún factor de seguridad, por lo que pueden no ser confiables para estructuras con un alto nivel de incertidumbre en su comportamiento o con ductilidades elevadas ( $\mu \geq 10$ ) (FEMA 440, 2005).

**Procedimiento de Solución.** Para la determinación del punto de desempeño, el documento FEMA 440 propone tres procedimientos iterativos o gráficos, que comparten el mismo marco conceptual y relaciones matemáticas, pero que difieren en su enfoque analítico y en el uso de técnicas gráficas.

Según FEMA 440 (2005) todos los procedimientos comienzan con una etapa inicial que incluye una serie de pasos comunes, los cuales se describen a continuación:

1. Seleccionar un espectro representativo del movimiento del terreno de interés con un amortiguamiento inicial  $\beta_i$  igual a 5%.
2. Convertir el espectro seleccionado a formato Espectro de Respuesta Aceleración-Desplazamiento (*Acceleration-Displacement Response Spectrum*, ADRS) de acuerdo al ATC-40. La conversión requiere calcular el desplazamiento espectral  $S_{ai}$  asociado a cada periodo  $T_i$  y aceleración espectral  $S_a$ .

$$S_{ai} = \frac{T_i^2}{4\pi^2} S_a g \quad (32)$$

$$S_a = Z_{esp} C S \quad (33)$$

Donde,

$S_a$  : Aceleración espectral normalizada por  $g$ .

$S_{ai}$  : Desplazamiento espectral  $i$  para cada valor de  $T_i$  y  $S_a$ .

$T_i$  : Periodo  $i$ .

$C$  : Factor de amplificación sísmica.

$S$  : Factor de suelo.

$g$  : Gravedad.

$Z_{esp}$  : Factor de zona específico.

3. Generar la curva de capacidad de la estructura y convertirla al formato ADRS. El proceso general de dicha conversión consiste en calcular el factor de participación modal  $\Gamma_1$  y el coeficiente de masa modal  $\alpha_1$ , para

luego realizar la conversión de cualquier punto en la curva de capacidad  $(V, \delta)$  a punto de formato ADRS  $(S_a, S_d)$ .

$$S_a = \frac{V/W}{\alpha_1} \quad (34)$$

$$S_d = \frac{\Delta_{roof}}{\Gamma_1 \phi_{roof1}} \quad (35)$$

$$\Gamma_1 = \frac{\sum_{i=1}^N m_i \phi_{i1}}{\sum_{i=1}^N m_i \phi_{i1}^2} \quad (36)$$

$$\alpha_1 = \frac{[\sum_{i=1}^N m_i \phi_{i1}]^2}{[\sum_{i=1}^N m_i][\sum_{i=1}^N m_i \phi_{i1}^2]} \quad (37)$$

Donde,

$S_a$ : Aceleración espectral.

$S_d$ : Desplazamiento espectral.

$\Gamma_1$ : Factor de participación modal para el modo predominante.

$\alpha_1$ : Coeficiente de masa modal para el modo predominante.

$m_i$ : Masa asignada al nivel  $i$ .

$\phi_{i1}$ : Amplitud del modo predominante en el nivel  $i$ .

$V$ : Cortante basal.

$W$ : Peso sísmico de la estructura.

$\Delta_{roof}$ : Desplazamiento del nodo de control en la azotea.

4. Seleccionar un punto de desempeño inicial, definido por la máxima aceleración  $a_{pi}$  y desplazamiento  $d_{pi}$ . Este punto estimado puede obtenerse aplicando el principio de igualdad de desplazamientos. Véase la Figura 39.
5. Desarrollar una idealización bilineal del espectro de capacidad conforme a los lineamientos del ATC-40, en la cual se determine el período inicial  $T_0$ , el desplazamiento de cedencia  $d_y$  y la aceleración de cedencia  $a_y$ . Para construir esta aproximación bilineal, primero se traza una recta desde el origen con pendiente equivalente a la rigidez inicial de la estructura  $K_i$ , posteriormente, se traza una segunda recta a partir

del punto de desempeño tentativo  $a_{pi}, d_{pi}$ , cuya pendiente permita interceptar la primera recta en el punto  $a_y, d_y$ , de modo que las áreas bajo ambas curvas  $A_1$  y  $A_2$  sean iguales. Esta igualdad de áreas tiene como finalidad representar una misma cantidad de energía en cada tramo del diagrama. Véase la Figura 40.

6. Para la representación bilineal, calcular los valores de la rigidez post-elástica  $\alpha$  y ductilidad  $\mu$ .

$$\alpha = \frac{\left(\frac{a_{pi} - a_y}{d_{pi} - d_y}\right)}{\left(\frac{a_y}{d_y}\right)} \tag{38}$$

$$\mu = \frac{d_{pi}}{d_y} \tag{39}$$

Donde,

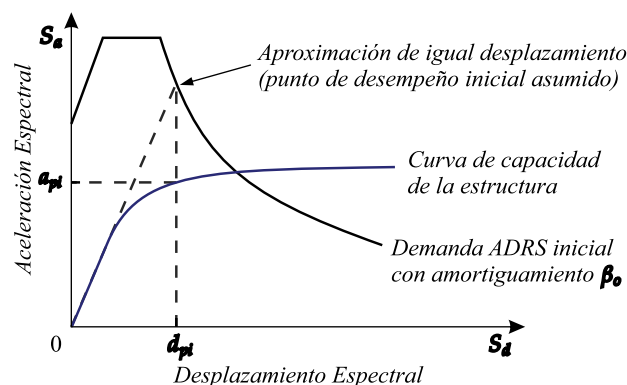
$\alpha$  : Rigidez post-elástica.

$\mu$  : Ductilidad.

7. Con estos valores, calcular el amortiguamiento efectivo  $\beta_{eff}$  y periodo efectivo  $T_{eff}$ .

**Figura 39**

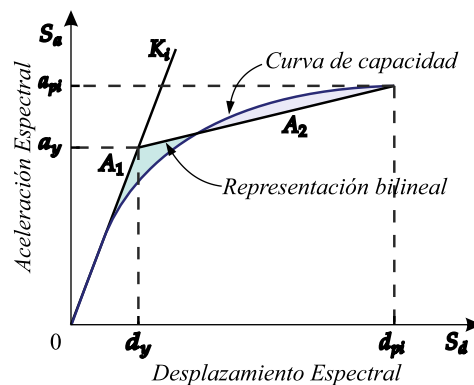
*Espectro de capacidad y demanda inicial en formato ADRS*



Nota. Adaptada de FEMA 440, 2005.

Figura 40

Representación bilineal del espectro de capacidad



Nota. Adaptada de ATC-40, 1996.

Una vez completados estos pasos iniciales, es posible optar por cualquier de los tres procedimientos propuestos por FEMA 440. A continuación, se describe el procedimiento B.

**Procedimiento B.** En este procedimiento, el punto de desempeño se define como la intersección de la curva de capacidad en formato ADRS y el Espectro de Respuesta Aceleración-Desplazamiento Modificado (*Modified Acceleration-Displacement Response Spectrum*, MADRS). De acuerdo con FEMA 440 (2005), estos pasos consisten en:

- B8. Modificar la demanda inicial en formato ADRS, utilizando el amortiguamiento efectivo  $\beta_{eff}$ . Utilizar las Ecuaciones (40) y (41).
- B9. Multiplicar los valores de aceleración espectral de la demanda (con amortiguamiento efectivo  $\beta_{eff}$ ) por el factor de modificación  $M$ , determinado usando el periodo efectivo  $T_{eff}$ , para generar la demanda MADRS.

$$M = \left( \frac{T_{eff}}{T_{sec}} \right)^2 = \frac{a_{máx}}{a_{eff}} \quad (40)$$



$$T_{sec} = \sqrt{\frac{T_o^2 \mu}{1 + \alpha(\mu - 1)}} \quad (41)$$

$$T_o = 2\pi \sqrt{\frac{d_y}{a_y g}} \quad (42)$$

Donde,

$M$  : Factor de modificación.

$T_{sec}$ : Periodo secante.

$T_o$  : Periodo elástico inicial.

$a_y$ : Aceleración cedente.

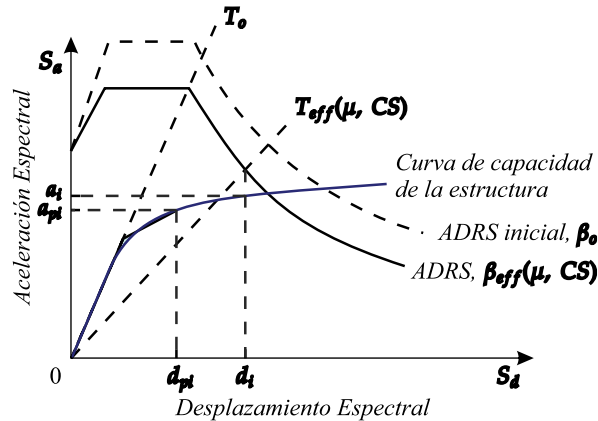
$d_y$ : Desplazamiento cedente.

B10. Determinar la estimación de la máxima aceleración  $a_i$  y el desplazamiento  $d_i$ , mediante la intersección de la demanda MADRS con la curva de capacidad en formato ADRS. Véase la Figura 41.

B11. Comparar el valor de desplazamiento máximo estimado  $d_i$  con el asumido previamente  $d_{pi}$ . Si la diferencia entre ambos se encuentra dentro de un margen de tolerancia del  $\pm 5\%$ , se considera que se ha alcanzado el punto de desempeño ( $a_i, d_i$ ). En caso contrario, se debe adoptar un nuevo valor tentativo ( $a_i, d_i$ ) y repetir el procedimiento hasta lograr la convergencia. (p. 6-8)

**Figura 41**

*Determinación del desplazamiento máximo estimado mediante la intersección del espectro de capacidad y el MADRS*



Nota. Adaptada de FEMA 440, 2005.

### **Método de los Coeficientes**

El método de los Coeficientes, definido en el FEMA 356 como el principal enfoque de Análisis Estático No Lineal, estima el desplazamiento objetivo mediante la modificación de la respuesta elástica lineal de un sistema equivalente de un solo grado de libertad (SDOF) a través de la aplicación de diversos coeficientes que caracterizan el comportamiento inelástico de la estructura (FEMA 440, 2005).

El procedimiento del método de los Coeficientes del FEMA 356, al igual que el método de Espectro de Capacidad descrito en el ATC-40, ha sido optimizado en el FEMA 440 tras una evaluación de los procedimientos estáticos no lineales actuales y hallazgos de investigaciones recientes. Estas mejoras proponen cambios para los coeficientes  $C_1$  y  $C_2$ , la eliminación del coeficiente  $C_3$  y su reemplazo por un límite de resistencia mínima (valor máximo  $\mu_{strength}$ ) necesario para evitar la inestabilidad dinámica.



Por su parte, la norma ASCE/SEI 41-17 establece este procedimiento mejorado como el estándar para la evaluación del desempeño sísmico de las estructuras.

**Curva Idealizada Fuerza-Desplazamiento.** Esta ha sido modificada conforme a las recomendaciones presentadas en el FEMA 440, las cuales se describen a continuación.

En un Análisis Estático No Lineal, la relación obtenida entre la fuerza cortante en la base y el desplazamiento de un nodo de control (ubicado en la azotea) debe sustituirse por una curva fuerza-desplazamiento idealizada. Esta curva permite determinar parámetros fundamentales como la rigidez lateral efectiva  $K_e$ , la resistencia cedente efectiva  $V_y$  y las pendientes post-cedencia positiva  $\alpha_1$  y negativa  $\alpha_2$ , según corresponda. La curva idealizada se inicia en el origen, con una pendiente inicial igual a  $K_e$ , la cual se define como la rigidez secante correspondiente a un valor de fuerza cortante basal equivalente al 60% de  $V_y$ . Un segundo segmento de la curva, representado por una pendiente positiva post-cedencia  $\alpha_1 K_e$ , se traza desde la intersección con el primer segmento hasta el punto  $(V_d, \Delta_d)$ , asegurando que las áreas sobre y bajo la curva real y la idealizada sean aproximadamente iguales. El punto  $(V_d, \Delta_d)$  se selecciona como el menor entre el desplazamiento objetivo estimado y aquel asociado al valor máximo de cortante en la base. En casos donde la estructura presenta un comportamiento con rigidez negativa tras la cedencia, representada por  $\alpha_2 K_e$ , se incorpora un tercer segmento en la curva idealizada. Este se extiende desde el punto  $(V_d, \Delta_d)$  hasta el punto donde la cortante en la base ha disminuido al 60% de  $V_y$ , con el fin de simular los efectos de la degradación cíclica y la pérdida de resistencia dentro del mismo ciclo (FEMA 440, 2005).

Según FEMA 440 (2005), los métodos estáticos no lineales no logran diferenciar con precisión entre la degradación de resistencia cíclica y la que ocurre dentro de un mismo ciclo. No obstante, al aislar los efectos  $P - \Delta$  dentro del ciclo representado por  $\alpha_2$ , es posible extraer información útil. En consecuencia, se puede calcular una rigidez postelástica efectiva utilizando la siguiente expresión:

$$\alpha_e = \alpha_{P-\Delta} + \lambda(\alpha_2 - \alpha_{P-\Delta}) \quad (43)$$

Donde  $0 \leq \lambda \leq 1.0$

**Procedimiento de solución.** El método de los Coeficientes proporciona una forma directa para determinar el desplazamiento objetivo.

1. Generar una curva de capacidad para la estructura empleando Análisis Estático No Lineal.
2. Desarrollar una representación bilineal de la curva de capacidad de acuerdo al procedimiento propuesto por el FEMA 440, donde se defina la resistencia cedente efectiva  $V_y$  y el desplazamiento cedente  $d_y$ . Véase la Figura 42.
3. Calcular el periodo fundamental efectivo  $T_e$ .

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (44)$$

Donde,

$T_i$  : Periodo fundamental elástico, en segundos.

$K_i$  : Rigidez lateral elástica del edificio.

$K_e$  : Rigidez lateral efectiva del edificio.

4. Determinar el Desplazamiento Objetivo  $\delta_t$ .

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad (45)$$

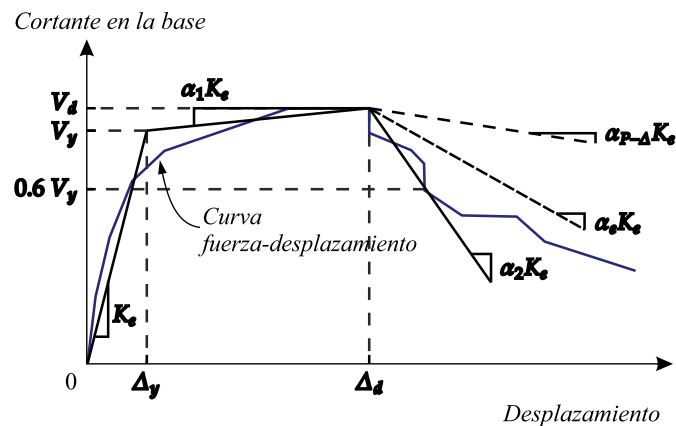
Donde,

$C_0$  : Coeficiente de modificación para relacionar el desplazamiento espectral y el probable desplazamiento del techo del edificio.

- $C_1$  : Corresponde al factor de modificación que relaciona los máximos desplazamientos inelásticos esperados con los desplazamientos calculados para la respuesta lineal elástica.
- $C_2$  : Corresponde al factor de modificación que representa el efecto de estrangulamiento en la curva de histéresis, la degradación de la rigidez cíclica y el deterioro de resistencia en la respuesta máxima en términos de desplazamiento.
- $T_e$  : Periodo fundamental efectivo, en segundos.
- $S_a$  : Aceleración espectral.
- $g$  : Gravedad.

Figura 42

Curva idealizada fuerza-desplazamiento



Nota. Adaptada de FEMA 440, 2005.

#### 2.2.4.4 Criterios de Aceptación

Para evaluar si una edificación satisface los objetivos de desempeño seleccionados, es necesario contrastar los resultados obtenidos del análisis con los criterios de aceptación definidos para cada nivel de desempeño. Estos criterios, que establecen los límites permisibles de respuesta estructural, se clasifican en dos categorías principales:

- Límites de aceptabilidad global de la edificación.** Son los requisitos que abarcan la capacidad de la estructura para resistir cargas gravitacionales, cargas laterales y limitar las deformaciones laterales.



- b. **Límites de aceptabilidad local o del elemento.** Cada elemento debe ser verificado para asegurar que cumple con los requisitos de aceptabilidad en términos de fuerzas y desplazamientos, considerando el punto de desempeño obtenido.

Según ATC-40 (1996), cuando la respuesta calculada ante un movimiento sísmico particular supera cualquiera de los límites de aceptabilidad establecidos para el nivel de desempeño correspondiente, la edificación no alcanza el objetivo de desempeño previsto. En tales situaciones, resulta imprescindible redefinir los objetivos de desempeño o rehabilitar la estructura.

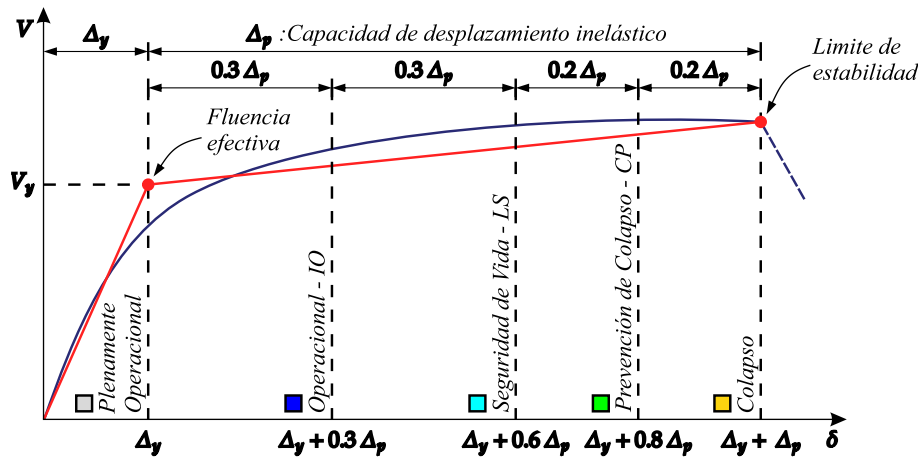
### ***Límites de Aceptabilidad Global de la Edificación***

- **Cargas por gravedad.** La preservación de la capacidad gravitacional constituye un requisito fundamental para el desempeño estructural en cualquier nivel. La pérdida de esta en un elemento exige mecanismos de redistribución de cargas hacia otros componentes del sistema estructural (ATC-40, 1996).
- **Cargas laterales.** La resistencia a la carga lateral del sistema estructural no debe degradarse en más del 20% de la resistencia máxima de la estructura (ATC-40, 1996).
- **Deformaciones laterales.** Las deformaciones laterales correspondientes al desplazamiento del punto de desempeño deben ser verificadas en función de los límites de deformación (distorsiones de entrepiso) establecidos para los niveles de desempeño que correspondan.

Por su parte, el Comité VISION 2000 establece límites específicos para cada uno de los niveles de desempeño.

Figura 43

Sectorización de la curva de capacidad según los niveles de desempeño de VISION 2000



### Límites de Aceptabilidad Local o del Elemento

Cada elemento estructural debe ser revisado individualmente para asegurar que sus componentes individuales satisfagan los requisitos de aceptabilidad en términos de fuerzas y deformaciones específicas en el punto de desempeño.

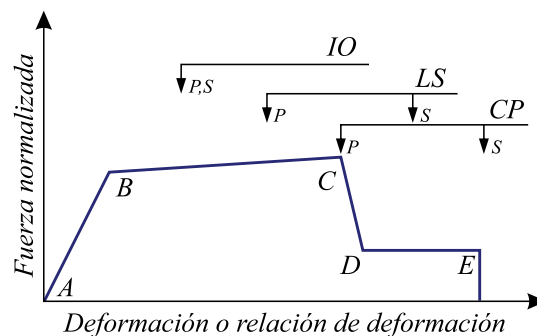
- **Resistencia de componentes.** Las solicitaciones en el punto de desempeño deben permanecer inferiores a las capacidades resistentes. En elementos dúctiles, cuyo comportamiento está controlado por deformaciones, se permite una respuesta inelástica mientras no se excedan los límites de deformación establecidos. Para componentes frágiles, controlados por fuerza, debe considerarse una degradación de rigidez tras alcanzar su capacidad de cedencia (ATC-40, 1996).
- **Capacidad de deformación de componentes.** Para los niveles de desempeño especificados, las deformaciones obtenidas en los

elementos estructurales deben mantenerse dentro de los límites admisibles establecidos para cada caso.

Por su parte, ASCE/SEI 41 (2017) establece que los criterios de aceptación relacionados con la deformación de los elementos estructurales, así como los niveles de desempeño del edificio, se clasifican en tres categorías: Ocupación Inmediata (IO), Seguridad de Vida (LS) y Prevención de Colapso (CP), como se observa en la Figura 44.

**Figura 44**

*Criterios de aceptación para la deformación de los elementos*



*Nota.* Los criterios de aceptación para cada tipo de elemento, según su modo de falla, se encuentran definidos en el ASCE/SEI 41-17. Adaptada de ASCE/SEI 41, 2017.

### 2.3 Definición de Términos Básicos

- **Calibración:** Procedimiento por el cual se replica un ensayo de laboratorio de estructuras, a fin de enmarcar los alcances y las limitaciones de los modelos constitutivos de los materiales en la librería de un software (Gálvez, 2024).
- **Capacidad:** La resistencia última esperada (en flexión, cortante o compresión axial) de un elemento estructural, excluyendo los factores de reducción ( $\phi$ ). Esta capacidad suele asociarse con el valor



- correspondiente a la cedencia del elemento o la curva de capacidad de la estructura (ATC-40, 1996).
- **Criterios de aceptación:** Umbrales máximos para parámetros estructurales, como la deriva, la demanda de resistencia y la deformación inelástica, con el objetivo de evaluar si un componente cumple con los requisitos en un nivel de desempeño específico (ASCE/SEI 41, 2017).
  - **Daño estructural:** Se refiere a cualquier alteración repentina, falla o deterioro que ocurra en los componentes o elementos de una estructura. Este daño puede surgir debido a diversos factores, como las condiciones ambientales, la sobrecarga, mala praxis constructiva o los desastres naturales (Safina, 2002).
  - **Defecto estructural:** Son los efectos que se manifiestan en una edificación como resultado de un diseño deficiente, una configuración estructural incorrecta, mala praxis constructiva o el uso de materiales inapropiados o de baja calidad para la obra (Astorga y Rivero, 2009).
  - **Degradación estructural:** Se refiere a la reducción de resistencia que puede experimentar un elemento o estructura cuando es sometido a múltiples ciclos de deformación que superan su límite elástico. Los elementos que presentan este tipo de degradación suelen clasificarse como controlados por fuerza, frágiles o de comportamiento no dúctil (ATC-40, 1996).
  - **Demanda sísmica:** Es la representación del movimiento sísmico del suelo al que está sometido una edificación. Puede expresarse mediante



un conjunto de registros sísmicos, un espectro de respuesta o un espectro de diseño (FEMA 273, 1997).

- **Desplazamiento objetivo:** Estimación del desplazamiento máximo esperado en la azotea de la edificación, correspondiente a un sismo de diseño (ASCE/SEI 41, 2017).
- **Ductilidad:** “Capacidad de un componente, elemento o sistema estructural para sufrir grandes deformaciones y/o varios ciclos de deformaciones más allá de su punto de cedencia o límite elástico y mantener la resistencia sin una degradación significativa o una falla abrupta” (ATC-40, 1996, p. xii).
- **Evaluación sísmica:** Se entiende como un procedimiento o metodología orientado a evaluar si una edificación satisface los objetivos de desempeño previamente establecidos. Este proceso conlleva la estimación de los daños probables provocados por la acción sísmica (Safina, 2002).
- **Punto de desempeño:** Punto de intersección entre el espectro de capacidad y el espectro de demanda, según el método de Espectro de Capacidad (ATC-40, 1996).
- **Vulnerabilidad estructural:** Es la susceptibilidad que muestra la estructura ante eventuales daños en los elementos o componentes que integran el sistema estructural (Fernández, 2011).



## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1 Diseño de la Investigación

La presente investigación se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo o estructurado, puesto que busca medir la magnitud de los fenómenos y alcanzar resultados estadísticos que se interpreten objetivamente. Según Hernández-Sampieri et al. (2014) este enfoque emplea la recopilación de datos cuantificables y el análisis estadístico para comprobar hipótesis, identificar patrones de comportamiento y validar teorías.

Según el propósito del estudio se define del tipo aplicada puesto que implica la consideración y profundización de todo el conocimiento existente con el fin de proporcionar una solución inmediata a problemas específicos (OECD, 2018). De acuerdo con Tamayo (2003), esta investigación se enfoca en estudiar y aplicar el conocimiento para satisfacer una necesidad específica, considerando circunstancias y características particulares. Son investigaciones que tienen un fin práctico y utilitario.

Asimismo, presenta el diseño del tipo experimental, debido a que pretende verificar cuantitativamente la causalidad de una variable sobre otra, mediante el control o manipulación de la variable independiente. Según Hernández et al. (2014),



los diseños experimentales se emplean cuando el investigador busca determinar el posible efecto de una causa que es manipulada intencionalmente para observar sus consecuencias.

Una investigación se considera de tipo experimental cuando el investigador interviene deliberadamente en una o más variables independientes, con el propósito de evaluar su impacto sobre una o varias variables dependientes. Esto se realiza en un entorno controlado, donde se minimizan las influencias externas, lo que permite establecer inferencias causales (Hernández et al., 2014).

### **3.2 Nivel de Investigación**

En función a los objetivos y el nivel de conocimiento que se desea alcanzar, corresponde al tipo explicativo. Este nivel de investigación busca identificar causas y relaciones de causalidad entre fenómenos, respondiendo al “por qué” y “cómo” ocurren, con un mayor grado de profundidad científica.

Según Reyes (2020), la investigación explicativa busca comprender el comportamiento de una variable en función de otras. Al centrarse en la identificación de relaciones de causa y efecto, este tipo de estudios exige un adecuado control y la aplicación de criterios de causalidad, siendo el experimento uno de los principales medios para demostrarla.

### **3.3 Población y Muestra**

#### **3.3.1 Población**

La población considerada es finita y comprende todas las edificaciones educativas de la Institución Educativa Emblemática “Daniel Becerra Ocampo” que cuentan con un sistema estructural mixto.



**Tabla 13**

*Población finita de la investigación*

Edificaciones educativas	Descripción	
	Características técnicas	Características funcionales
Pabellón "A" – Nivel educativo secundario.	Primer nivel: 04 aulas, 03 servicios higiénicos, 01 depósito de limpieza. Segundo nivel: 04 aulas, 03 servicios higiénicos, 01 depósito de limpieza. Tercer nivel: 04 aulas, 01 taller técnico. Área en planta: 452.60 m <sup>2</sup> .	Actividades pedagógicas y servicios generales.
Pabellón "B" – Nivel educativo secundario.	Primer nivel: 08 ambientes de gestión administrativa, 01 tópico de salud, 01 departamento de educación física, 04 servicios higiénicos. Segundo nivel: 04 aulas. Tercer nivel: 01 taller de cómputo, 01 aula de innovación pedagógica. Área en planta: 335.73 m <sup>2</sup> .	Actividades pedagógicas, bienestar, administrativas y servicios generales.
Pabellón "C" – Nivel educativo secundario.	Primer nivel: 03 aulas, 01 tópico de salud. Segundo nivel: 03 aulas. Área en planta: 244.29 m <sup>2</sup> .	Actividades pedagógicas y bienestar.
Pabellón "D" – Nivel educativo primario y secundario.	02 talleres técnicos, 01 taller de música, 02 servicios higiénicos. Área en planta: 218.75 m <sup>2</sup> .	Actividades pedagógicas, de expresión musical y de experimentación con materiales.
Pabellón "E" – Nivel educativo primario.	Primer nivel: 02 ambientes de comercio, 01 escalera (02 tramos). Segundo nivel: 02 aulas. Área en planta: 165.50 m <sup>2</sup> .	Actividades pedagógicas y servicios generales.
Pabellón "F" – Nivel educativo primario.	Primer nivel: 01 laboratorio, 02 aulas, 02 depósitos, 02 servicios higiénicos, 01 escalera (02 tramos). Segundo nivel: 01 biblioteca, 02 depósitos, 02 aulas, 02 ambientes de gestión administrativa. Área en planta: 414.83 m <sup>2</sup> .	Actividades pedagógicas, desarrollo cognitivo y lectura, experimentación científica, administrativas y servicios generales.

Edificaciones educativas	Descripción	
	Características técnicas	Características funcionales
Pabellón "Primaria" – Nivel educativo primario.	Primer nivel: 01 ambiente de gestión administrativa, 01 comedor, 01 cocina, 03 servicios higiénicos, 01 departamento de educación física. Segundo nivel: 01 taller multiusos, 01 aula. Tercer nivel: 02 aulas. Área en planta: 238.74 m <sup>2</sup> .	Actividades pedagógicas, administrativas, bienestar y servicios generales.
Salón de usos múltiples.	01 ambiente multiusos, 01 cocina, 01 dispensa, 01 depósito, 03 servicios higiénicos. Área en planta: 350.73 m <sup>2</sup> .	Actividades relacionadas a la expresión corporal, música y bienestar.

### 3.3.2 Muestra

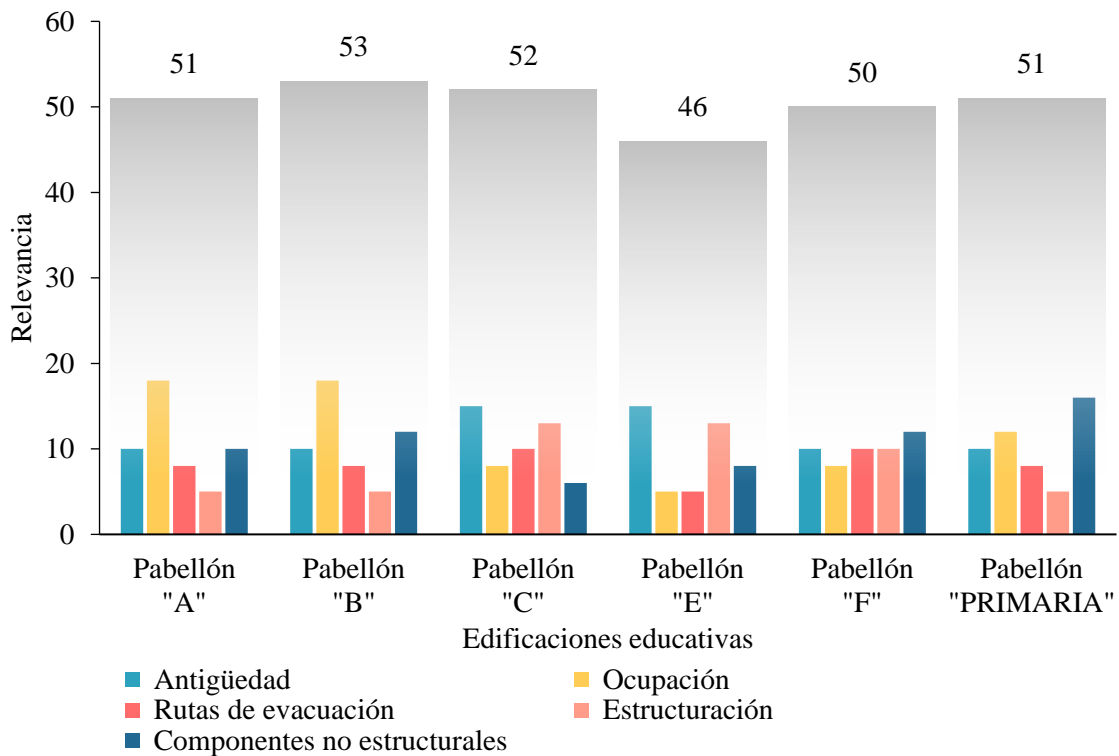
Se utilizó el muestreo no probabilístico o dirigido, en el cual no es posible determinar con precisión el error estándar, ni el nivel de confianza con el que hacemos la estimación. Hernández et al. (2014) indica que la selección de los elementos no se basa en la probabilidad, sino en el juicio del investigador, ya que el objetivo no es representar a la población en su totalidad, sino seleccionar de manera estratégica y controlada aquellos casos que posean características particulares.

En la presente investigación, se emplea un muestro intencional, en el cual el investigador selecciona los elementos que considera representativos o relevantes, lo que requiere un conocimiento previo de la población objeto de estudio (Tamayo, 2003).

Se realizó un análisis detallado de toda la población utilizando cinco criterios de selección para determinar la muestra. La Figura 45 presenta gráficamente los resultados del análisis en función a una escala valorativa adoptada por el investigador.

### Figura 45

*Muestreo intensional de la población finita*



*Nota.* En el análisis se excluyó el pabellón "D" y el salón de usos múltiples por considerarse irrelevantes, puesto que ambos solo tienen un nivel y una ocupación de densidad moderada durante periodos cortos.

De acuerdo al análisis, se concluyó que los pabellones "A", "B", "C" y "Primaria" son los más relevantes para los propósitos del estudio y, por lo tanto, seleccionados como la muestra en la presente investigación.

### 3.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Las técnicas de recolección de datos son procedimientos sistemáticos y prácticos utilizados para obtener información relevante y específica en una investigación, mientras que un instrumento es un elemento, recurso o formato que permite de manera directa extraer o registrar información relacionada a los fenómenos investigados. En los siguientes párrafos se describen las técnicas e instrumentos empleados en la presente investigación.



### 3.4.1 Técnicas

La observación estructurada consiste en una observación metódica para recopilar información de manera controlada, clasificada y sistemática sobre eventos o fenómenos específicos. Esta técnica se empleó durante la inspección visual a las edificaciones educativas, apoyada en una guía de observación y un formulario especializado, para identificar los factores que contribuyen al incremento de la vulnerabilidad estructural.

El análisis de documentos comprende una serie de procedimientos destinados a representar de manera sistemática y concisa la información contenida en un documento, con el propósito de comprender mejor un fenómeno. Esta técnica también es altamente efectiva para la recopilación de datos a gran escala. Su implementación resultó fundamental para recopilar la información necesaria para realizar el Análisis de Peligro Sísmico Probabilístico.

### 3.4.2 Instrumentos

El formulario de Evaluación Visual Rápida de edificaciones escolares es un instrumento de diagnóstico diseñado para mitigar el riesgo sísmico. Su implementación permitió recopilar información específica de un conjunto de edificaciones educativas, con la finalidad de identificar los factores que incrementan la vulnerabilidad estructural y determinar su condición estructural. El formulario se muestra en la Figura 15.

*Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards* (FEMA P-154), es una guía que proporciona directrices para realizar la evaluación visual rápida de edificaciones potencialmente vulnerables a fenómenos sísmicos. El empleo de esta guía permitió realizar una inspección visual minuciosa de las edificaciones educativas que fueron objeto de estudio.

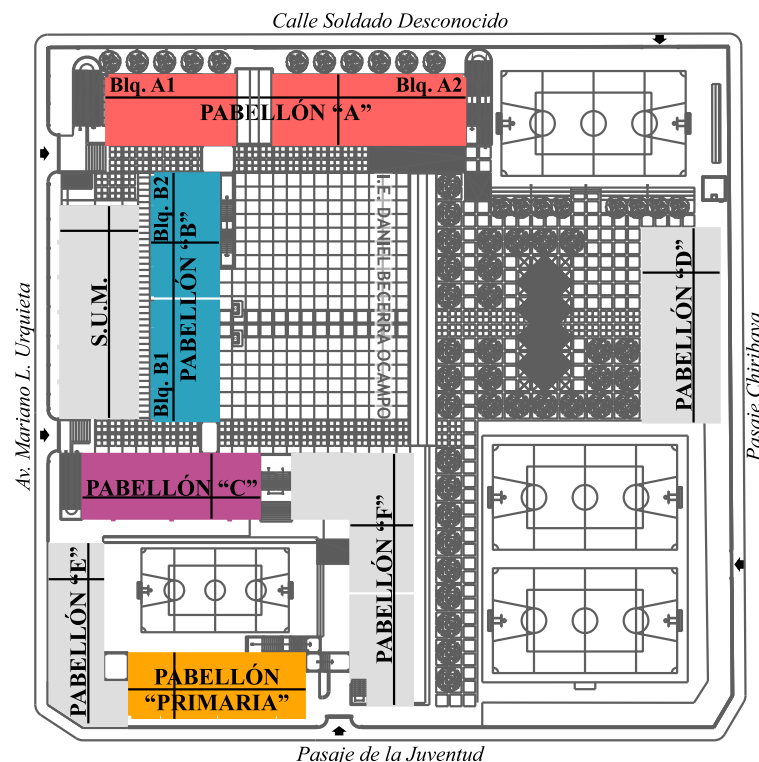
### 3.5 Análisis y Procesamiento de la Información

#### 3.5.1 Descripción de los Edificios de Estudio

La institución educativa emblemática “Daniel Becerra Ocampo” se encuentra ubicada en la Av. Mariano Lino Urquieta N°588, entre el Pasaje de la Juventud y la calle Soldado Desconocido, en el distrito de Ilo, provincia de Ilo, departamento de Moquegua. Fue fundada el 7 de mayo de 1960 como colegio municipal mixto, llevando el nombre de ese entonces como “Mariscal Domingo Nieto”, prestando servicio educativo en los niveles de educación primaria y secundaria. En febrero de 1971 se le da carácter de Colegio Nacional y recibe el nombre de “Daniel Becerra Ocampo”, posteriormente en el 2011 mediante Resolución Ministerial N° 0154-2011-ED es incorporado al Programa Nacional de Recuperación de las Instituciones Educativas Públicas Emblemáticas y Centenarias.

**Figura 46**

*Emplazamiento de las edificaciones educativas objeto de estudio*





*Nota.* La institución tiene un área aproximada de 9,910.20 m<sup>2</sup>, ubicado sobre un terreno con pendiente moderada, plataformas en diferentes niveles y proximidad al litoral. El suelo está compuesto por una terraza de roca intrusiva cubierta superficialmente por arena compacta.

A continuación, se describen las edificaciones educativas que son objeto de estudio.

### ***Pabellón "A"***

El pabellón "A" es una edificación de tres niveles que fue reconstruido en el 2012 por el Gobierno Regional de Moquegua, tras la catástrofe sísmica del 2001. Se subdivide en los bloques A1 y A2, emplazados en el margen izquierdo del ingreso principal. La distribución arquitectónica de los dos primeros niveles es similar y su uso principal es de actividades pedagógicas. Los bloques de este pabellón cuentan con un sistema estructural mixto, que combina un sistema de muros estructurales de concreto armado en la dirección longitudinal y un sistema de albañilería confinada en la dirección transversal, además de entrepisos de losa aligerada.

**Tabla 14**

#### *Características técnicas del pabellón "A"*

<b>Edificación escolar</b>	<b>Características técnicas</b>	
Bloque A1	Tipo	780 post NDSR-1997.
	N° de pisos	3.
	Área en planta	181.84 m <sup>2</sup> .
	Altura	9.85 m.
	Altura de entrepiso	3.00 m.
	Sistema estructural	Mixto.
	Junta sísmica	2 plg.
	Distribución	1er nivel: 02 aulas. 2do nivel: 02 aulas. 3er nivel: 02 aulas.
Bloque A2	Tipo	780 post NDSR-1997.
	N° de pisos	3.
	Área en planta	270.76 m <sup>2</sup> .
	Altura	9.85 m.

Edificación escolar	Características técnicas
Altura de entrepiso	3.00 m.
Sistema estructural	Mixto.
Junta sísmica	2 plg.
Distribución	1er nivel: 02 aulas, 03 servicios higiénicos, 01 depósito de limpieza. 2do nivel: 02 aulas, 03 servicios higiénicos, 01 depósito de limpieza. 3er nivel: 02 aulas. 01 taller técnico.

**Figura 47**

*Vista frontal del pabellón "A" – Nivel educativo secundario*

**Pabellón "B"**

El pabellón "B" es una edificación de tres niveles que también fue reconstruido en el 2012 por el Gobierno Regional de Moquegua. Está conectado a los pabellones "A" y "C" a través de puentes y se subdivide en los bloques B1 y B2, emplazados frente al patio de honor. El primer nivel es de uso administrativo, mientras que los niveles superiores son utilizados para actividades pedagógicas y de bienestar. Este pabellón cuenta con un sistema estructural mixto, que combina un sistema de muros estructurales de concreto armado en la dirección longitudinal y un sistema de albañilería confinada en la dirección transversal, además de entrepisos de losa aligerada.

**Tabla 15**

*Características técnicas del pabellón "B"*

Edificación escolar	Características técnicas	
Bloque B1	Tipo	780 post NDSR-1997.
	N° de pisos	3.
	Área en planta	165.54 m <sup>2</sup> .
	Altura	9.85 m.
	Altura de entrepiso	3.00 m.
	Sistema estructural	Mixto.
	Junta sísmica	2 plg.
	Distribución	1er nivel: 01 sala de profesores, 01 departamento de educación física, 03 servicios higiénicos. 2do nivel: 02 aulas. 3er nivel: 01 taller de cómputo.
Bloque B2	Tipo	780 post NDSR-1997.
	N° de pisos	3.
	Área en planta	170.19 m <sup>2</sup> .
	Altura	9.85 m.
	Altura de entrepiso	3.00 m.
	Sistema estructural	Mixto.
	Junta sísmica	2 plg.
	Distribución	1er nivel: 07 departamentos de gestión administrativa, 01 tópico de salud, 01 servicio higiénico. 2do nivel: 02 aulas. 3er nivel: 01 aula de innovación pedagógica.

**Figura 48**

*Vista frontal del pabellón "B" – Nivel educativo secundario*



### **Pabellón "C"**

El pabellón "C" es una edificación de dos niveles con más de 40 años de antigüedad. Está conectado al pabellón "B" a través de un puente. La distribución arquitectónica es típica en sus dos niveles y su uso es de actividades pedagógicas. Cuenta con un sistema estructural mixto, que combina un sistema de pórticos de concreto armado en la dirección longitudinal y un sistema de albañilería confinada en la dirección transversal, con entrepiso de losa aligerada y cubierta ligera de acero aluminizado en el último nivel.

**Tabla 16**

#### *Características técnicas del pabellón "C"*

Edificación escolar	Características técnicas	
Pabellón C	Tipo	780 Pre NDSR-1997.
	Nº de pisos	2.
	Área en planta	244.29 m <sup>2</sup> .
	Altura	6.50 m.
	Altura de entrepiso	3.00 m.
	Sistema estructural	Mixto.
	Junta sísmica	2 plg.
	Distribución	1er nivel: 03 aulas, 01 tópicos de salud. 2do nivel: 03 aulas.

**Figura 49**

*Vista posterior del pabellón "C" – Nivel educativo secundario*





**Pabellón "Primaria"**

El pabellón "Primaria" es una edificación de tres niveles que fue construido en el 2012 por el Gobierno Regional de Moquegua, emplazado frente al Pasaje de la Juventud. El uso del primer nivel corresponde a actividades administrativas y los subsiguientes a actividades pedagógicas y de bienestar. Este pabellón cuenta con un sistema estructural mixto, que combina un sistema de muros estructurales de concreto armado en la dirección longitudinal y un sistema de albañilería confinada en la dirección transversal, además de entrepisos de losa aligerada.

**Tabla 17**

*Características técnicas del pabellón "Primaria"*

Edificación escolar		Características técnicas
Pabellón Primaria	Tipo	780 post NDSR-1997.
	N° de pisos	3.
	Área en planta	238.74 m <sup>2</sup> .
	Altura	9.85 m.
	Altura de entrepiso	3.00 m.
	Sistema estructural	Mixto.
	Junta sísmica	2 plg.
	Distribución	1er nivel: 01 departamento de gestión administrativa, 01 departamento de educación física, 01 comedor, 01 cocina, 03 servicios higiénicos. 2do nivel: 01 aula, 01 taller multiusos. 3er nivel: 03 aulas.

## Figura 50

Vista frontal del pabellón "Primaria" – Nivel educativo primario



Asimismo, se verificó que los pabellones A, B, C y "Primaria", no presentan ningún tipo de irregularidad estructural.

### 3.5.2 Evaluación de las Condiciones Existentes

El proceso de evaluación de las condiciones existentes comprendió dos etapas. En la primera etapa, se analizó la documentación disponible sobre las edificaciones, extrayendo información relevante sobre las características estructurales, los materiales utilizados, los riesgos externos y la gestión del activo. Esto permitió obtener una visión más completa respecto a la condición actual de las edificaciones.

En la segunda etapa, se realizó una comparación entre la información obtenida en la revisión documental y las condiciones observadas *in situ*, lo que implicó realizar una inspección visual de los edificios. Para este propósito, se utilizó el formulario de Evaluación Visual Rápida y la guía del FEMA P-154, con el objetivo de recopilar información sobre la integridad estructural, identificar los factores que incrementan la vulnerabilidad y determinar su condición estructural.



### 3.5.3 Modelamiento Estructural

Para evaluar el comportamiento inelástico de los pabellones escolares A, B, C y Primaria bajo solicitaciones sísmicas, se desarrollaron modelos matemáticos tridimensionales mediante el programa ETABS v19.1.0. Estos modelos incorporan la geometría y configuración estructural de cada bloque, las propiedades constitutivas de los materiales y la idealización de los elementos estructurales según su función mecánica.

Las vigas, columnas y muros de albañilería confinada se modelaron como elementos unidimensionales (*frame*), capaces de capturar la flexión, cortante y carga axial. Por su parte, los muros estructurales se representaron como elementos bidimensionales (*shell*), considerando su capacidad para resistir esfuerzos en su plano. Las losas de entrepiso se modelaron como elementos tipo *membrane*, ya que estos permiten asumir una rigidez infinita en su plano para transferir cargas a los elementos de apoyo. Esta simplificación es válida para sistemas con diafragmas rígidos.

Posteriormente, se asignaron cargas gravitacionales para replicar las condiciones reales a las que las estructuras están expuestas.

#### 3.5.3.1 Propiedades Geométricas

Las propiedades geométricas de los elementos estructurales utilizados en los modelos matemáticos se obtuvieron a partir de los planos post construcción incluidos en el informe final del residente de obra presentado por Caso (2012), así como de la inspección visual realizada a los edificios.

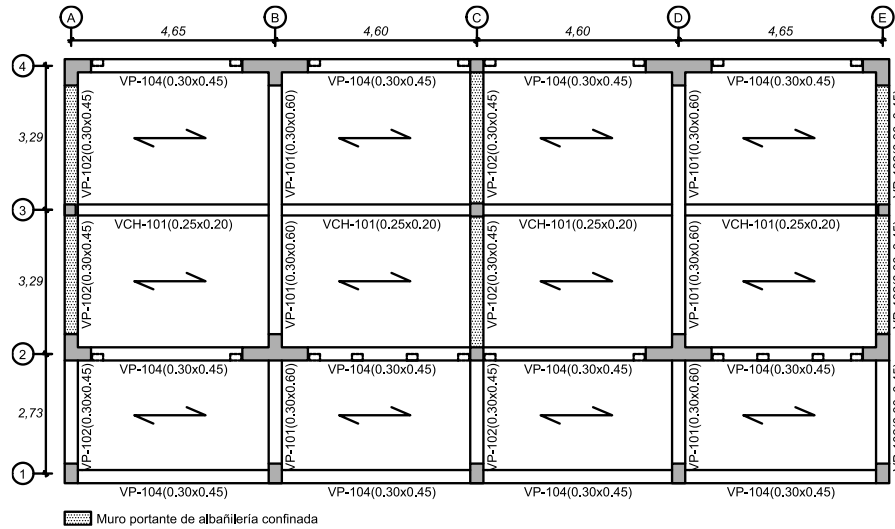
#### ***Bloque A1***

La Figura 51 muestra la vista en planta de los elementos estructurales correspondientes al primer y segundo nivel, mientras que la Figura 52 presenta

las secciones y el detallado del acero refuerzo en las columnas y el muro estructural.

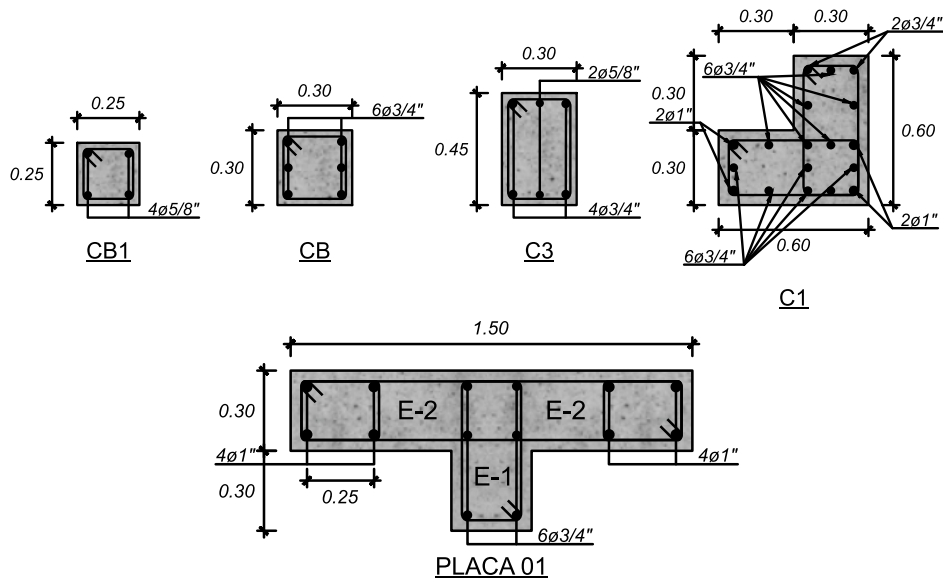
**Figura 51**

*Vista en planta del primer y segundo nivel del bloque A1*



**Figura 52**

*Sección transversal de las columnas y muro estructural del bloque A1*



**Tabla 18**

*Propiedades de las columnas y muro estructural del bloque A1*

Nivel	Ubicación	Sección (cm)	Refuerzo	Estribo
1er y 2do	3A, 3E	CB1 (25x25)	4Ø5/8"	3/8": 2@0.05,
	4C, 3C, 2C	CB (30x30)	6Ø3/4"	5@0.10, 4@0.15, rto @25 cm
	1A, 1B, 1C, 1D, 1E	C3 (30x45)	4Ø3/4" + 2Ø5/8"	
	2A, 4A, 2E, 4E	C1 (60x30x30)	4Ø1" + 14Ø3/4"	
3er	3A, 3E	CB1 (25x25)	4Ø5/8"	3/8": 2@0.05,
	4C, 3C, 2C	CB (30x30)	4Ø3/4"	5@0.10, 4@0.15, rto @25 cm
	1A, 1B, 1C, 1D, 1E	C3 (30x45)	4Ø3/4" + 2Ø5/8"	
	2A, 4A, 2E, 4E	C1 (60x30x30)	4Ø1" + 4Ø3/4"	
1er, 2do y 3er	4B, 2B, 4D, 2E	PLACA 01 (150x30x30)	8Ø1" + 6Ø3/4"	[E1]3/8": 2@0.05, 6@0.10, 3@0.15, rto @25 cm [E2]3/8": 2@0.05, 8@0.10, 4@0.15, rto @20 cm

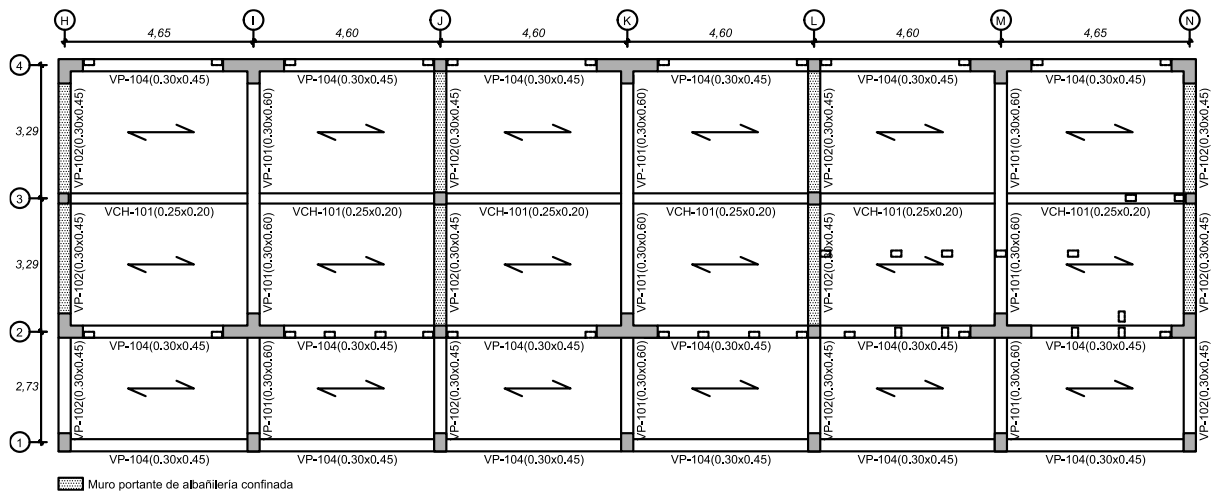
El sistema de entrepiso del edificio está compuesto por losas aligeradas de concreto armado unidireccional con un espesor de 20 cm en el primer y segundo nivel, y de 15 cm en el tercer nivel. Respecto al sistema de albañilería confinada, los muros portantes presentan un aparejo de cabeza y cuentan con endentados y mechas de anclaje cada tres hiladas. En la Figura 51, se muestra la disposición de los muros portantes.

### **Bloque A2**

La Figura 53 muestra la vista en planta de los elementos estructurales correspondientes al primer y segundo nivel, mientras que la Figura 54 presenta las secciones y el detallado del acero refuerzo en las columnas y el muro estructural.

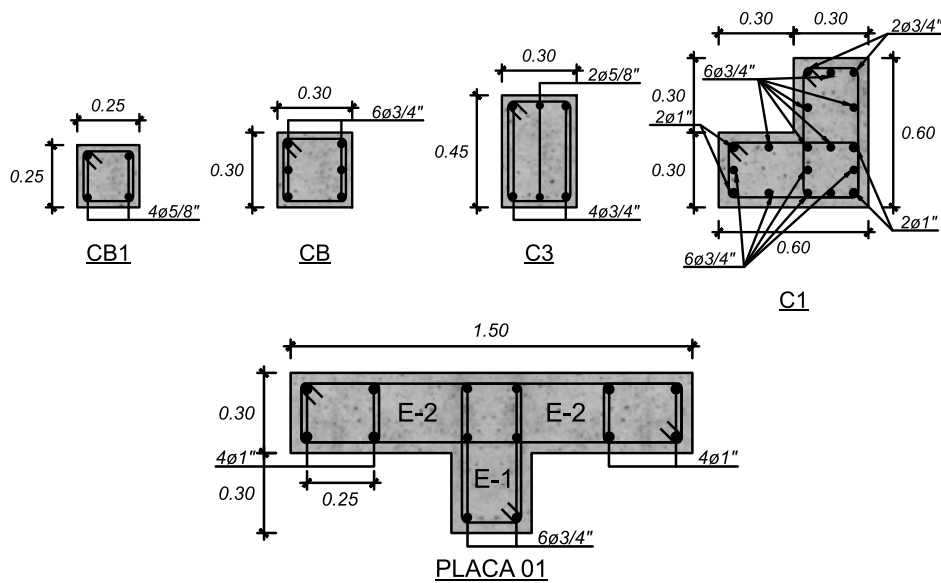
**Figura 53**

*Vista en planta del primer y segundo nivel del bloque A2*



**Figura 54**

*Sección transversal de las columnas y muro estructural del bloque A2*



**Tabla 19**

*Propiedades de las columnas y muro estructural del bloque A2*

Nivel	Ubicación	Sección (cm)	Refuerzo	Estribo
1er y 2do	3H, 3N	CB1 (25x25)	4Ø5/8"	3/8": 2@0.05,
	4J, 3J, 2J, 4L, 3L, 2L,	CB (30x30)	6Ø3/4"	5@0.10, 4@0.15, rto @25 cm



Nivel	Ubicación	Sección (cm)	Refuerzo	Estribo
3er	1H, 1I, 1J, 1K, 1L, 1M, 1N	C3 (30x45)	4Ø3/4" + 2Ø5/8"	
	2H, 4H, 2N, 4N	C1 (60x30x30)	4Ø1" + 14Ø3/4"	
	3H, 3N 4J, 3J, 2J, 4L, 3L, 2L,	CB1 (25x25) CB (30x30)	4Ø5/8" 4Ø3/4"	3/8": 2@0.05, 5@0.10, 4@0.15, rto @25 cm
	1H, 1I, 1J, 1K, 1L, 1M, 1N	C3 (30x45)	4Ø3/4" + 2Ø5/8"	
1er, 2do y 3er	2H, 4H, 2N, 4N	C1 (60x30x30)	4Ø1" + 4Ø3/4"	
	2I, 4I, 2K, 4K, 2M, 4M	PLACA 01 (150x30x30)	8Ø1" + 6Ø3/4"	[E1]3/8": 2@0.05, 6@0.10, 3@0.15, rto @25 cm [E2]3/8": 2@0.05, 8@0.10, 4@0.15, rto @20 cm

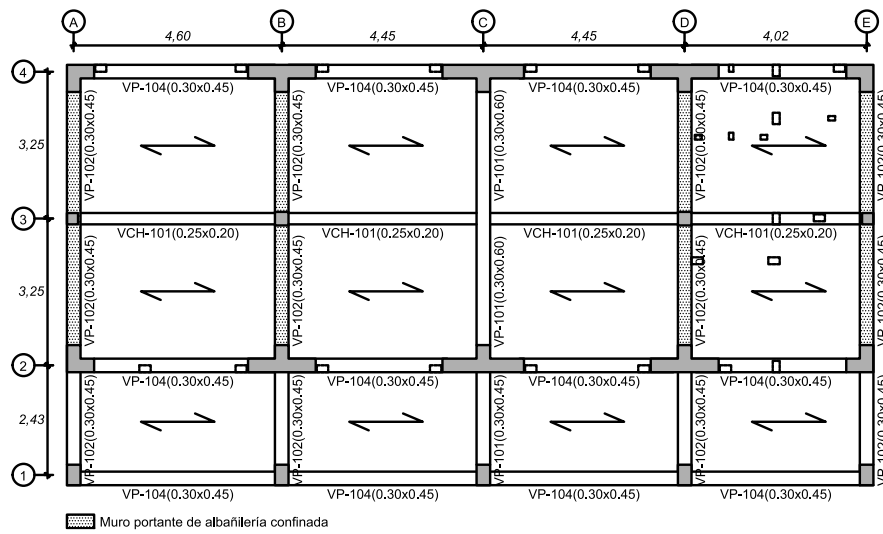
Al igual que el bloque A1, el sistema de entrepiso del edificio está compuesto por losas aligeradas de concreto armado unidireccional con un espesor de 20 cm en el primer y segundo nivel, y de 15 cm en el tercer nivel. Respecto al sistema de albañilería confinada, los muros portantes presentan un aparejo de cabeza y cuentan con endentados y mechas de anclaje cada tres hiladas. En la Figura 53, se muestra la disposición de los muros portantes.

### **Bloque B1**

La Figura 55 muestra la vista en planta de los elementos estructurales correspondientes al primer nivel, mientras que la Figura 56 presenta las secciones y el detallado del acero refuerzo en las columnas y muros estructurales.

**Figura 55**

*Vista en planta del primer nivel del bloque B1*



**Figura 56**

*Sección transversal de las columnas y muros estructurales del bloque B1*

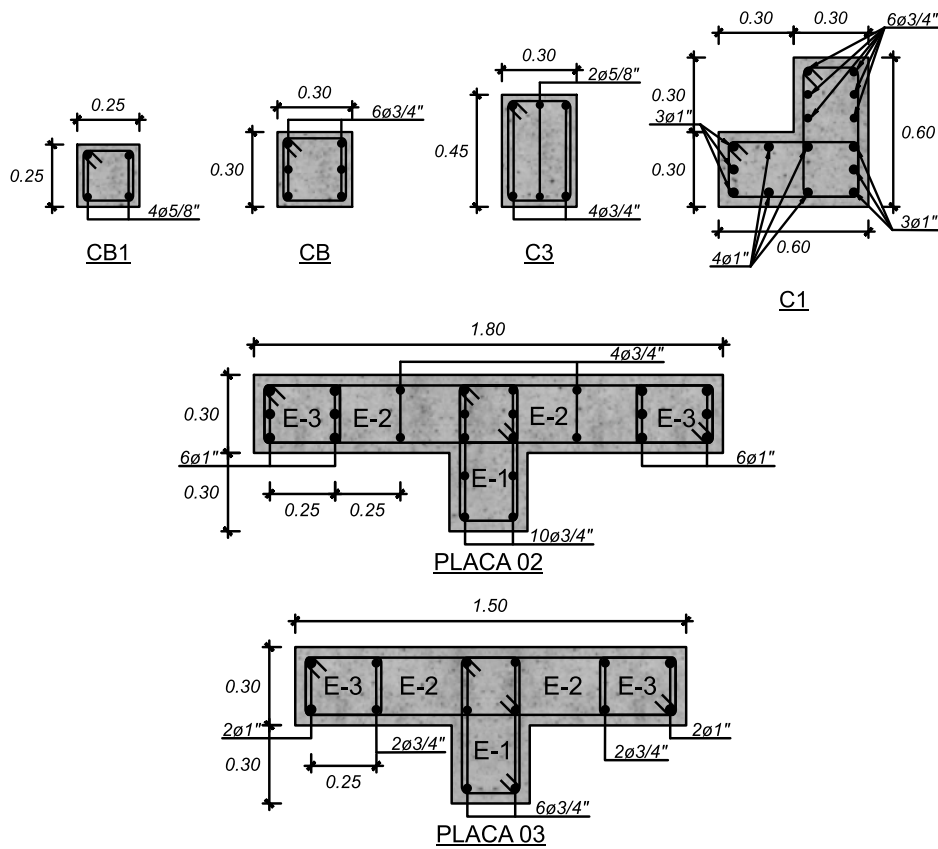


Tabla 20

*Propiedades de las columnas y muros estructurales del bloque B1*

Nivel	Ubicación	Sección (cm)	Refuerzo	Estribo
1er	3A, 3E	CB1 (25x25)	4Ø5/8"	3/8": 2@0.05, 5@0.10, 4@0.15, rto @25 cm
	3B, 3D	CB (30x30)	6Ø3/4"	
	1A, 1B,	C3 (30x45)	4Ø3/4" + 2Ø5/8"	
	1C, 1D,			
	1E			
	4A, 2A,			
	4E, 2E	C1 (60x30x30)	10Ø1" + 6Ø3/4"	
2do y	3A, 3E	CB1 (25x25)	4Ø5/8"	3/8": 2@0.05, 5@0.10, 4@0.15, rto @25 cm
	3er	1A, 1B,	4Ø3/4" + 2Ø5/8"	
	1C, 1D,			
	1E			
	4A, 2A,	C1 (60x30x30)	10Ø1" + 6Ø3/4"	
	4E, 2E			
1er,	4C, 2C	PLACA 02	12Ø1" + 10Ø3/4"	[E1]3/8": 2@0.05, 6@0.10, 3@0.15, rto @25 cm
2do y		(180x30x30)		
3er	4B, 2B,	PLACA 03	4Ø1" + 10Ø3/4"	[E2][E3] 3/8": 2@0.05, 8@0.10, 4@0.15, rto @20 cm
	4D, 2D	(150x30x30)		

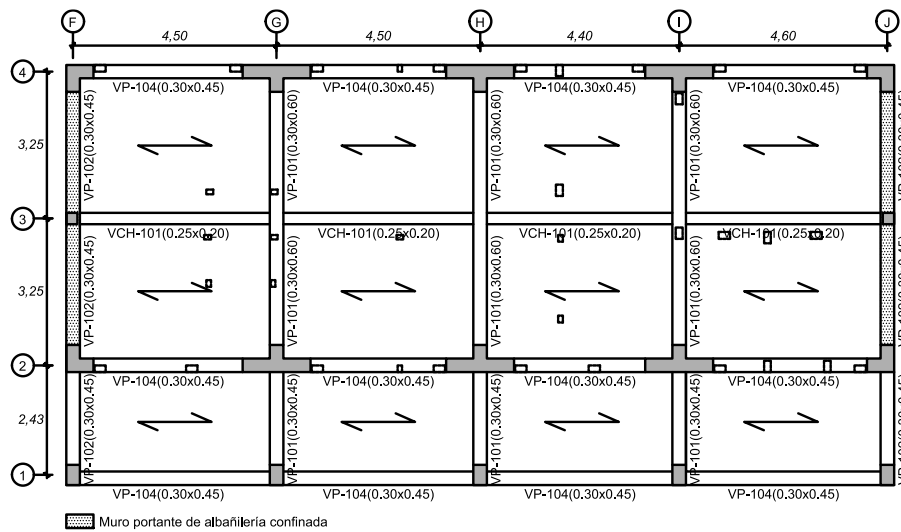
El sistema de entrepiso del edificio está compuesto por losas aligeradas de concreto armado unidireccional con un espesor de 20 cm en el primer y segundo nivel, y de 15 cm en el tercer nivel. Respecto al sistema de albañilería confinada, los muros portantes presentan un aparejo de cabeza y cuentan con endentados y mechas de anclaje cada tres hiladas. En la Figura 55, se muestra la disposición de los muros portantes.

### **Bloque B2**

La Figura 57 muestra la vista en planta de los elementos estructurales correspondientes al primer y segundo nivel, mientras que la Figura 58 presenta las secciones y el detallado del acero refuerzo en las columnas y el muro estructural.

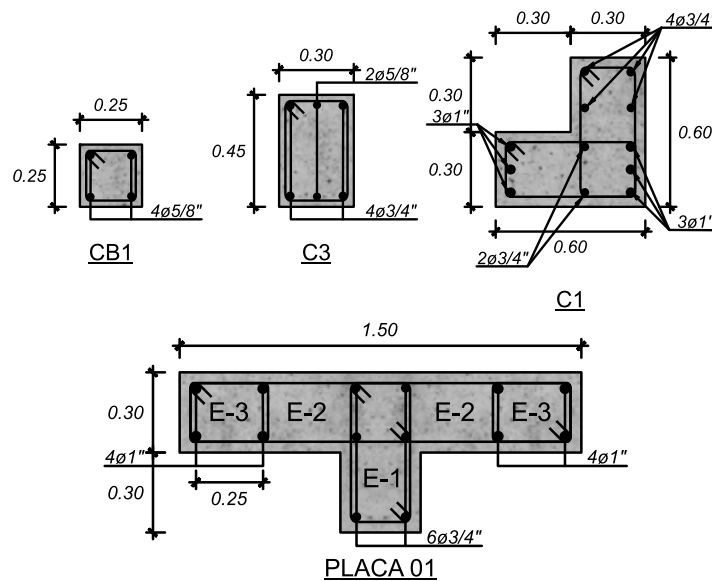
**Figura 57**

Vista en planta del primer y segundo nivel del bloque B2



**Figura 58**

Sección transversal de las columnas y muro estructural del bloque B2



**Tabla 21**

Propiedades de las columnas y muro estructural del bloque B2

Nivel	Ubicación	Sección (cm)	Refuerzo	Estribo
1er,	3F, 3J	CB1 (25x25)	4Ø5/8"	3/8": 2@0.05,
2do y	1F, 1G,	C3 (30x45)	4Ø3/4" + 2Ø5/8"	5@0.10, 4@0.15,
3er	1H, 1I, 1J	C1 (60x30x30)	6Ø1" + 6Ø3/4"	rto @25 cm
	4F, 2F,			
	4J, 2J			

Nivel	Ubicación	Sección (cm)	Refuerzo	Estribo
1er, 2do y 3er	4G, 2G, 4H, 2H, 4I, 2I	PLACA 01 (150x30x30)	8Ø1" + 6Ø3/4"	[E1]3/8": 2@0.05, 6@0.10, 3@0.15, rto @25 cm [E2][E3] 3/8": 2@0.05, 8@0.10, 4@0.15, rto @20 cm

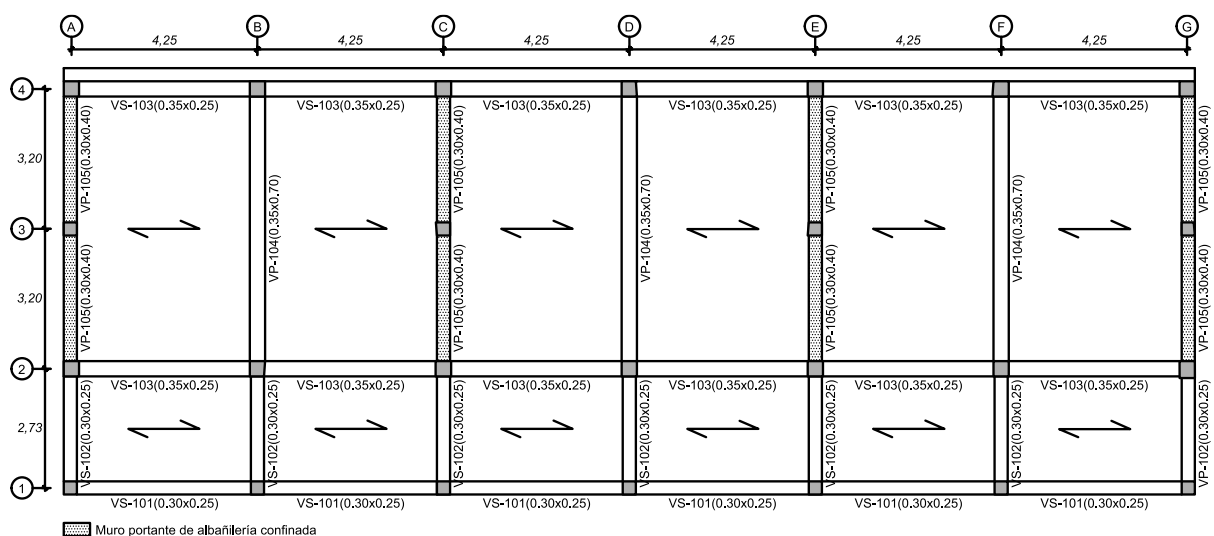
Al igual que el bloque B1, el sistema de entrepiso del edificio está compuesto por losas aligeradas de concreto armado unidireccional con un espesor de 20 cm en el primer y segundo nivel, y de 15 cm en el tercer nivel. Respecto al sistema de albañilería confinada, los muros portantes presentan un aparejo de cabeza y cuentan con endentados y mechas de anclaje cada tres hiladas. En la Figura 57, se muestra la disposición de los muros portantes.

### Pabellón C

La Figura 59 muestra la vista en planta de los elementos estructurales correspondientes al primer nivel, y la Figura 60 presenta las secciones y el detallado del acero refuerzo en las columnas.

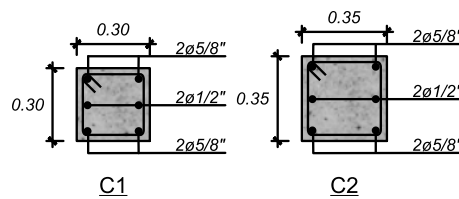
**Figura 59**

*Vista en planta del primer nivel del pabellón C*



**Figura 60**

*Sección transversal de las columnas del pabellón C*



**Tabla 22**

*Propiedades de las columnas pabellón C*

Nivel	Ubicación	Sección (cm)	Refuerzo	Estribo
1er y 2do	3A, 1A, 1B, 3C, 1C, 1D, 3E, 1E, 1F, 3G, 1G	C1 (30x30)	4Ø5/8" + 2Ø1/2"	3/8": 2@0.05, 5@0.10, 4@0.15, rto @25 cm
	4A, 2A, 4B, 2B, 4C, 2C, 4D, 2D, 4E, 2E, 4F, 2F, 4G, 2G	C2 (35x35)	4Ø5/8" + 2Ø1/2"	

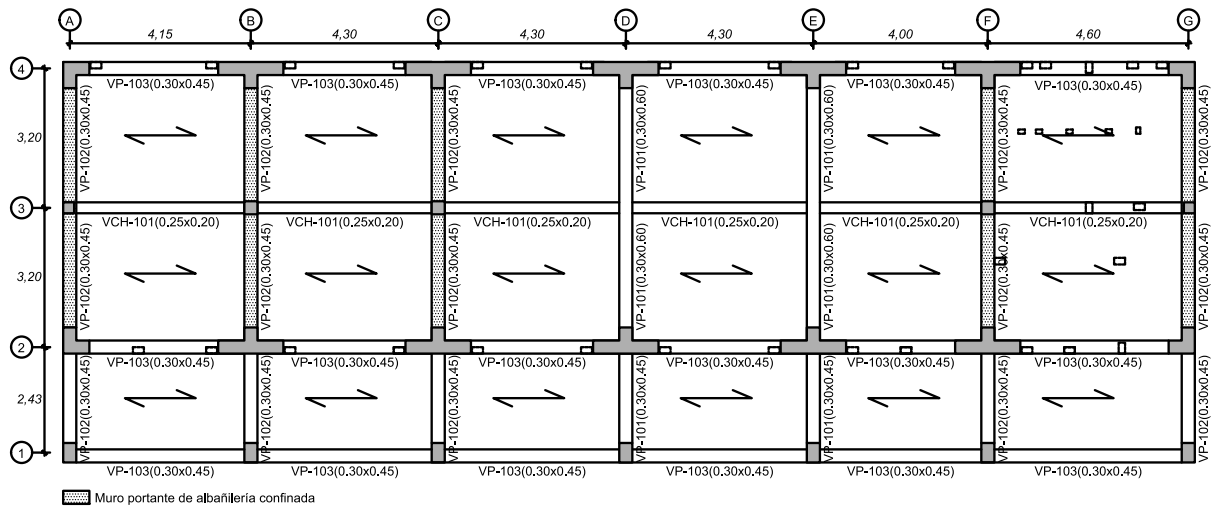
El sistema de entrepiso del edificio está compuesto por una losa aligerada de concreto armado unidireccional con un espesor de 25 cm en el primer nivel y una cobertura metálica ligera en el último nivel. Respecto al sistema de albañilería confinada, los muros portantes presentan un aparejo de cabeza y cuentan con endentados. En la Figura 59, se muestra la disposición de los muros portantes.

***Pabellón Primaria***

La Figura 61 muestra la vista en planta de los elementos estructurales correspondientes al primer nivel, mientras que la Figura 62 presenta las secciones y el detallado del acero refuerzo en las columnas y el muro estructural.

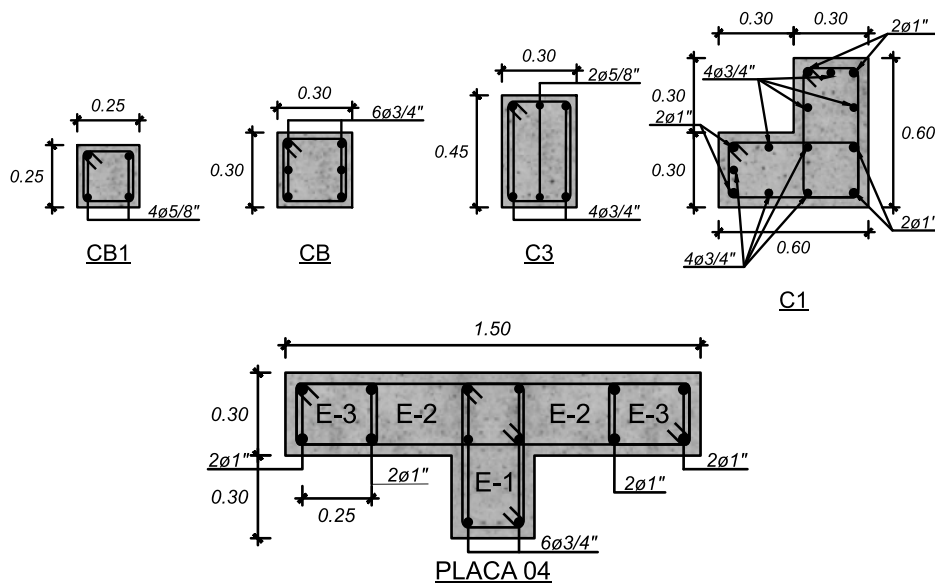
**Figura 61**

*Vista en planta del primer nivel del pabellón Primaria*



**Figura 62**

*Sección transversal de las columnas y muro estructural del pabellón Primaria*



**Tabla 23**

*Propiedades de las columnas y muro estructural del pabellón Primaria*

Nivel	Ubicación	Sección (cm)	Refuerzo	Estribo
1er	3A, 3G	CB1 (25x25)	4Ø5/8"	3/8": 2@0.05, 5@0.10, 4@0.15, rto @25 cm
	3B, 3C, 3F	CB (30x30)	6Ø3/4"	
	1A, 1B, 1C, 1D,	C3 (30x45)	4Ø3/4" + 2Ø5/8"	

Nivel	Ubicación	Sección (cm)	Refuerzo	Estribo
	1E, 1F, 1G 4A, 2A, 4G, 2G	C1 (60x30x30)	6Ø1" + 4Ø3/4"	
2do y 3er	3A, 3G 1A, 1B, 1C, 1D, 1E, 1F, 1G 4A, 2A, 4G, 2G	CB1 (25x25) C3 (30x45)	4Ø5/8" 4Ø3/4" + 2Ø5/8"	3/8": 2@0.05, 5@0.10, 4@0.15, rto @25 cm
1er, 2do y 3er	4B, 2B, 4C, 2C, 4D, 2D, 4E, 2E, 4F, 2F	PLACA 04 (150x30x30)	8Ø1" + 6Ø3/4"	[E1]3/8": 2@0.05, 6@0.10, 3@0.15, rto @25 cm [E2][E3] 3/8": 2@0.05, 8@0.10, 4@0.15, rto @20 cm

El sistema de entrepiso del edificio está compuesto por losas aligeradas de concreto armado unidireccional con un espesor de 20 cm en el primer y segundo nivel, y de 15 cm en el tercer nivel. Respecto al sistema de albañilería confinada, los muros portantes presentan un aparejo de cabeza y cuentan con endentados y mechas de anclaje cada tres hiladas. En la Figura 61, se muestra la disposición de los muros portantes.

### 3.5.3.2 Propiedades de los Materiales

Las propiedades mecánicas de los materiales utilizados en los modelos matemáticos se obtuvieron a partir de los controles de calidad del concreto realizados en obra y de las especificaciones técnicas de los materiales adjuntos en el informe final del residente de obra. Para los bloques A1, A2, B1, B2 y el pabellón Primaria, se consideró un concreto tipo I, mientras que para el pabellón C se asignó un concreto tipo II. En cuanto a la albañilería, debido a que se especificó el uso de ladrillo tipo King Kong clase IV, se adoptó una resistencia a la compresión axial  $f'm$  de 65 kg/cm<sup>2</sup>, conforme a los valores mostrados en la

Tabla 9 de la Norma E.070 Albañilería. Las propiedades mecánicas de los materiales empleados se resumen en la Tabla 24.

Adicionalmente, la LATBSDC (2023) señala que los modelos deben incorporar estimaciones que permitan aproximarse a la rigidez y resistencia de la estructura. Es así que, propone usar la resistencia esperada de los materiales en lugar de las propiedades nominales.

Para el concreto, se utilizó la expresión de la Ecuación (46), mientras que para el acero de refuerzo A615 Grado 60, se adoptaron valores de 70 ksi para el esfuerzo de fluencia esperada  $f_{ye}$  y de 106 ksi para la resistencia máxima esperada  $f_{ue}$ .

$$f'_{ce} = 1.3f'_c \quad (46)$$

Donde,

$f'_{ce}$ : Resistencia a la compresión esperada entre 90 y 365 días.

**Tabla 24**

*Propiedades mecánicas de los materiales considerados en los modelos*

Material	Propiedades mecánicas	
Concreto tipo I	Resistencia a la compresión ( $f'_c$ )	210.00 kg/cm <sup>2</sup>
	Resistencia a la compresión esperada ( $f'_{ce}$ )	273.00 kg/cm <sup>2</sup>
	Módulo de elasticidad ( $E_c$ )	247840.67 kg/cm <sup>2</sup>
	Módulo de corte ( $G_c$ )	103266.95 kg/cm <sup>2</sup>
	Módulo de Poisson ( $\mu_c$ )	0.15
	Peso específico ( $\gamma_c$ )	2400.00 kg/m <sup>3</sup>
Concreto tipo II	Resistencia a la compresión ( $f'_c$ )	175.00 kg/cm <sup>2</sup>
	Módulo de elasticidad ( $E_c$ )	198431.35 kg/cm <sup>2</sup>
	Módulo de corte ( $G_c$ )	86274.50 kg/cm <sup>2</sup>
	Módulo de Poisson ( $\mu_c$ )	0.15
	Peso específico ( $\gamma_c$ )	2400.00 kg/m <sup>3</sup>
Acero de refuerzo (ASTM A615 G-60)	Esfuerzo de fluencia ( $f_y$ )	4200.00 kg/cm <sup>2</sup>
	Esfuerzo de fluencia esperada ( $f_{ye}$ )	4921.49 kg/cm <sup>2</sup>
	Módulo de elasticidad ( $E_s$ )	2000000.00 kg/cm <sup>2</sup>
	Resistencia a la tracción ( $f_u$ )	6320.00 kg/cm <sup>2</sup>
	Resistencia máxima esperada ( $f_{ue}$ )	7452.54 kg/cm <sup>2</sup>



Material	Propiedades mecánicas	
Albañilería confinada (NTP. 331.017)	Peso específico ( $\gamma_s$ )	7850.00 kg/m <sup>3</sup>
	Resistencia a la compresión ( $f'_m$ )	65.00 kg/cm <sup>2</sup>
	Módulo de elasticidad ( $E_m$ )	32500.00 kg/cm <sup>2</sup>
	Módulo de corte ( $G_m$ )	13000.00 kg/cm <sup>2</sup>
	Módulo de Poisson ( $\mu_m$ )	0.25
	Resistencia al corte ( $v'_m$ )	8.06 kg/cm <sup>2</sup>
	Peso por unidad de volumen	1974.00 kg/m <sup>3</sup>

Nota. Para el pabellón C, se adoptó una resistencia a la compresión axial  $f'_m$  de 35 kg/cm<sup>2</sup> para muros portantes y 13 kg/cm<sup>2</sup> para tabiquería. Adaptada de Caso, 2012.

### 3.5.3.3 Definición de Cargas

Las cargas gravitacionales a las que está sometida la estructura se clasificaron en dos categorías: cargas muertas y vivas. Las cargas muertas comprenden el peso propio de la estructura, así como el peso de los tabiques y acabados que la componen. En cuanto a las cargas vivas, estas se determinaron en función de la ocupación o uso del edificio, conforme a lo dispuesto en la Norma E.020 Cargas.

La Tabla 25 presenta un resumen de las cargas gravitacionales consideradas en los modelos.

**Tabla 25**

#### *Cargas gravitacionales*

Tipo de carga	Descripción	Cargas distribuidas
Carga muerta (CM)	Peso propio de la estructura	Variable
	Peso de acabados	0.12 tn/m <sup>2</sup>
	Peso de ladrillo de techo hueco	0.09 tn/m <sup>2</sup>
	Peso de tabiquería* (tarrajeo, arriostre vertical y horizontal)	Variable
Carga viva (CV)	Aulas	0.25 tn/m <sup>2</sup>
	Corredores	0.40 tn/m <sup>2</sup>
	Baños	0.30 tn/m <sup>2</sup>
	Talleres	0.35 tn/m <sup>2</sup>



Tipo de carga	Descripción	Cargas distribuidas
Carga viva del techo (Roof)	Techos con una inclinación hasta de 3° con respecto a la horizontal	0.10 tn/m <sup>2</sup>
	Techos con cobertura liviana	0.03 tn/m <sup>2</sup>

*Nota.* \*Peso de tabiquería distribuida por metro (tn/m).

Para la estimación del peso sísmico de los edificios se consideró lo dispuesto en el artículo 26 de la Norma E.030 Diseño Sismorresistente, el cual indica que se debe tomar el total de la carga muerta más un porcentaje de la carga viva de acuerdo a la categoría de la edificación.

$$P_{sismico} = CM + 0.50CV + 0.25Roof \quad (47)$$

### 3.5.4 Análisis Estático No Lineal

El Análisis Estático No Lineal (*Pushover*) se realizó utilizando el programa ETABS v19.1.0, conforme al procedimiento descrito en la sección 2.2.4.2.

#### 3.5.4.1 No Linealidad de los Materiales

Para caracterizar el comportamiento no lineal del concreto en sus estados confinado y no confinado, se adoptó el modelo constitutivo propuesto por Mander et al. (1988). Este modelo unificado permite representar con precisión el comportamiento del material bajo compresión uniaxial, considerando el efecto de confinamiento generado por el refuerzo transversal en elementos estructurales de sección circular o rectangular.

En cuanto al comportamiento no lineal del acero de refuerzo, se representó mediante el modelo elastoplástico con endurecimiento por deformación propuesto por Park y Paulay (1975).

#### 3.5.4.2 Rigidez Efectiva

La rigidez efectiva se empleó únicamente en las vigas, debido a que las columnas y muros estructurales se representaron mediante un modelo de fibras



distribuidas, el cual considera directamente los efectos del agrietamiento del concreto y la fluencia del acero de refuerzo.

### 3.5.4.3 No Linealidad de Elementos Estructurales

La calibración de los modelos computacionales es un proceso sistemático mediante el cual los parámetros de un modelo numérico se ajustan con el objetivo de minimizar las discrepancias con los resultados experimentales, logrando un nivel aceptable de concordancia. Este proceso es fundamental para garantizar que los modelos representen con precisión el comportamiento real de los elementos estructurales.

A continuación, se describe los modelos inelásticos utilizados para analizar la respuesta no lineal de las estructuras.

#### ***Vigas***

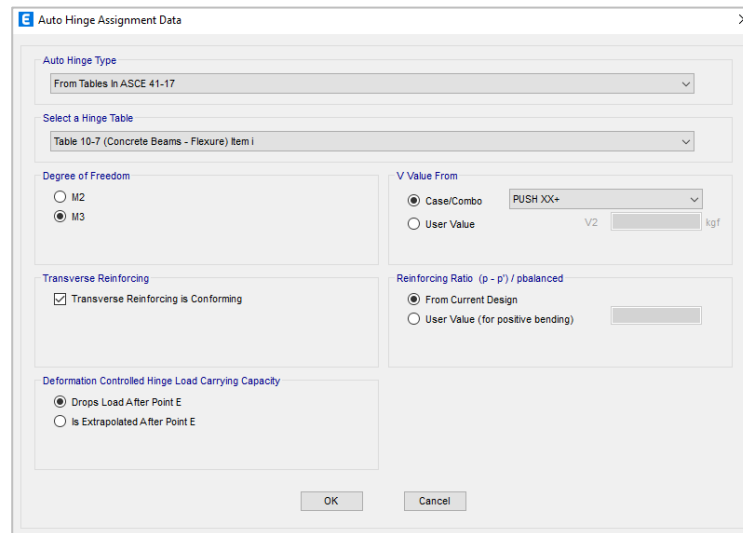
Para representar el comportamiento no lineal de las vigas en flexión se empleó un modelo de plasticidad concentrada tipo rótula plástica, el cual se asignó en los extremos adyacentes a los nudos de las vigas. Esto debido a que, bajo la acción de cargas laterales, los momentos flectores alcanzan su valor máximo en estas regiones.

La definición de las propiedades de las rótulas plásticas se realizó utilizando las relaciones generalizadas fuerza-deformación, de acuerdo con los parámetros de modelado y los criterios de aceptación especificados en la Tabla 10-7 del ASCE/SEI 41-17. Con el fin de mejorar la convergencia de los resultados, se adoptaron las siguientes consideraciones: el momento último (punto C) fue considerado como 1.13 veces el momento de fluencia (punto B), y la pendiente de degradación de la resistencia hasta el punto D se definió como el 90% de la

rotación correspondiente al punto E. Estos ajustes en el diagrama de Momento-Rotación se ilustran en la Figura 64.

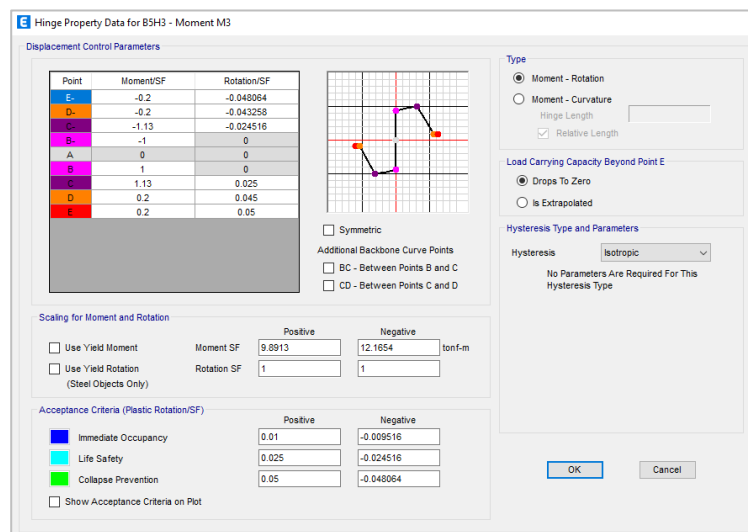
**Figura 63**

*Formulación de una rótula plástica controlada por flexión en una viga*



**Figura 64**

*Parámetros de modelado y criterios de aceptación en una rótula plástica por flexión*



*Nota.* Los diagramas de Momento-Rotación para las vigas fueron elaborados utilizando un concreto no confinado.



## ***Columnas y Muros Estructurales***

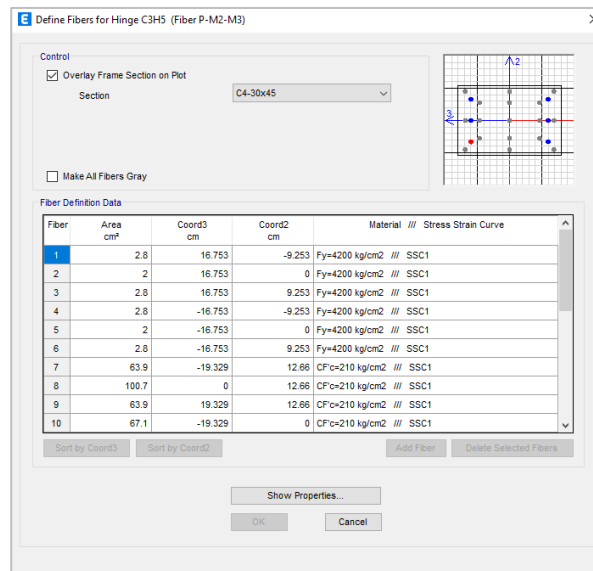
Para representar el comportamiento no lineal de las columnas y muros estructurales se empleó un modelo de plasticidad distribuida tipo fibra. Este modelo permitió capturar con precisión la iniciación de los efectos inelásticos, como la fluencia del acero y el agrietamiento del concreto, así como la propagación de la cedencia a través de las deformaciones de las fibras de concreto y acero en la sección transversal. Su aplicación permitió la definición implícita de los modelos constitutivos de los materiales en el elemento, prescindiendo la necesidad de realizar diagramas Momento-Curvatura.

A continuación, se describe el procedimiento para definir un modelo tipo fibra en una columna, cuyo comportamiento está controlado por la deformación.

1. Formular un modelo de tipo fibra P-M2-M3 (flexo-compresión biaxial).
2. Definir la longitud de plastificación como el 10% de la longitud relativa.
3. Asignar el modelo de tipo fibra en las regiones críticas de la columna, a una distancia adecuada.
4. Verificar que la definición de las fibras en la sección transversal corresponda al armado y material del elemento.

**Figura 65**

*Disposición de las fibras de concreto y acero en la sección transversal de una columna*



A diferencia de las columnas, los muros estructurales fueron representados mediante elementos tipo *shell*, utilizando un modelo de tipo fibra P-M3 que incorpora tanto el refuerzo longitudinal como transversal del elemento. Con el fin de obtener resultados más precisos, se discretizaron los muros estructurales en las regiones donde se espera su plastificación.

**Figura 66***Refuerzo longitudinal y transversal en un modelo tipo fibra*

Start X (cm)	Start Y (cm)	End X (cm)	End Y (cm)	Length (cm)	Thickness (cm)	Start Zone Size (cm)	End Zone Size (cm)
390	273	540	273	150	30	30	30

Station	Bar Size	Bar Spacing (cm)	Number of Bars
Start	#8		2
Center	#5	40	2
End	#8		2

Station	Bar Size	Bar Spacing (cm)	Confined
Start	#3	10	Yes
Center	#3	15	No
End	#3	10	Yes

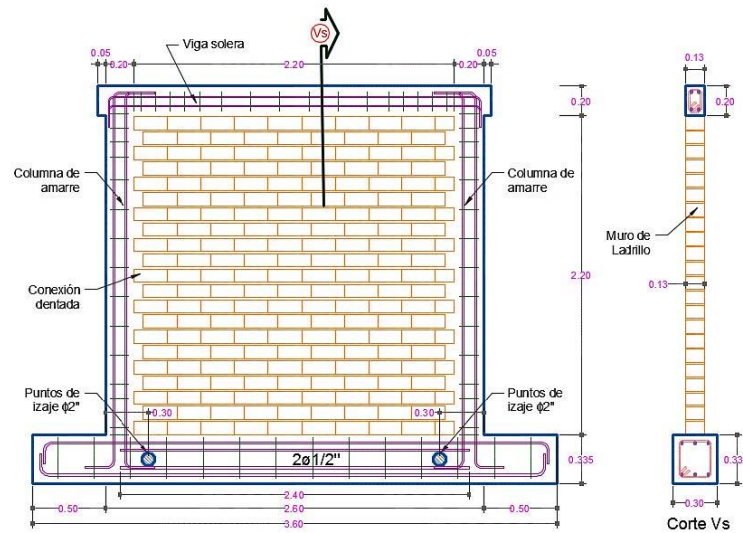
### ***Muros Portantes de Albañilería Confinada***

El comportamiento inelástico de los muros portantes de albañilería confinada fue representado mediante un modelo modificado de columna ancha, que idealiza los muros como columnas equivalentes con una rótula plástica ubicada en su eje centroidal, considerando las propiedades a corte.

Para representar adecuadamente el comportamiento no lineal de la albañilería se ha calibrado el modelo analítico utilizando la envolvente de capacidad obtenida de los ensayos cíclicos de muros de albañilería confinada realizados por Coral (2018), y se validó con los resultados del ensayo realizado por Bernardo y Peña (2009). Además, se adoptaron tres estados de daños para muros de albañilería confinada propuestos por Coral (2018).

### Figura 67

Geometría de los muros de albañilería confinada ensayados

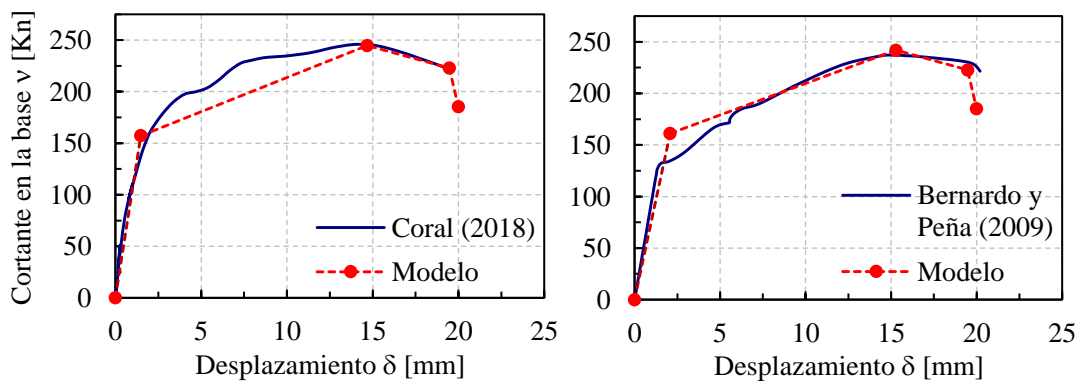


Nota. Tomada de Coral (2018, p. 43).

La Figura 68 muestra la buena convergencia entre la curva de capacidad obtenida a partir del modelo y las curvas de capacidad derivadas de los ensayos experimentales realizados por Coral (2018) y Bernardo y Peña (2009).

### Figura 68

Calibración del modelo analítico



A continuación, se describe el proceso adoptado para definir un modelo modificado de columna ancha.

1. Generar un elemento tipo *frame* que considere las propiedades mecánicas y geométricas del elemento estructural, así como el efecto de confinamiento.
2. Formular una rótula plástica por corte V3.
3. Asignar la rótula plástica en el centroide del elemento tipo *frame* y definir los *End Length Offsets* infinitamente rígidos para la viga solera, así como establecer *End Releases* según corresponda.
4. Definir las propiedades de la rótula plástica de acuerdo con la calibración realizada, considerando los parámetros de control y los criterios de aceptación especificados en la Tabla 26 y Tabla 27. Véase la Figura 69.

$$V_m = 0.5v'_m\alpha tL + 0.23P_g \quad (48)$$

Donde,

$V_m$  : Resistencia al corte en el entrepiso "i" de uno de los muros.

$v'_m$  : Resistencia características de la albañilería al corte.

$\alpha$  : Factor de reducción de resistencia al corte debido a los efectos de esbeltez.

$t$  : Espesor efectivo del muro.

$L$  : Longitud total del muro.

$P_g$  : Carga gravitacional de servicio con sobrecarga reducida.

$$\frac{1}{3} \leq \alpha = \frac{V_e L}{M_e} \leq 1 \quad (49)$$

$V_e$  : Fuerza cortante del muro obtenida del análisis elástico.

$M_e$  : Momento flector del muro obtenido del análisis elástico.

**Tabla 26**

*Parámetros de control de desplazamiento*

Puntos	Fuerza (F.E.)	Desplazamiento (F.E.)
A	0.00	0.00
B	$0.93V_{cr}$	0.00
C	$V_{max}/V_{cr}$	$\left(\frac{1}{200}h\right) + 0.50$

Puntos	Fuerza (F.E.)	Desplazamiento (F.E.)
D	$V_u/V_{cr}$	$\frac{20}{2300} h$
E	1.10	$1.05D_u$

Nota. Factor de escala (F.E.)

Donde,

$V_{cr}$ : Resistencia al corte por agrietamiento.

$V_{max}$ : Resistencia al corte máximo.

$V_u$ : Resistencia al corte último.

### Tabla 27

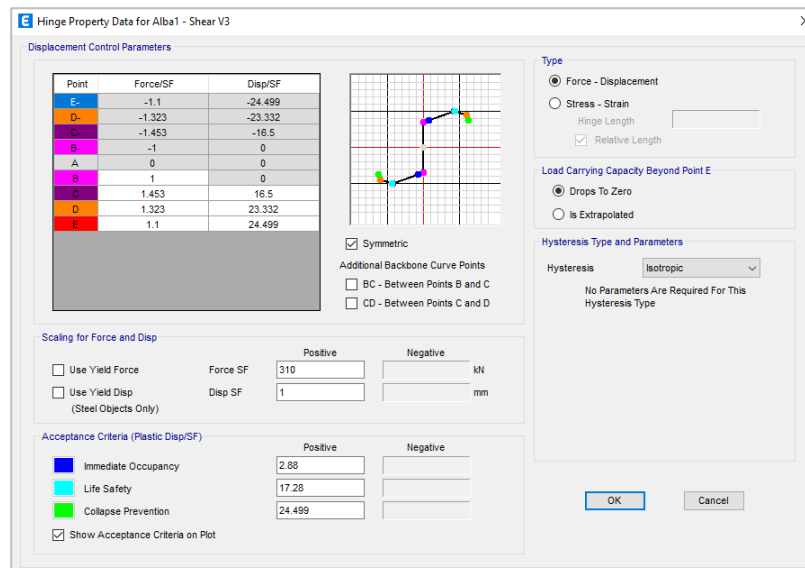
Clasificación de daño para muros de albañilería confinada

Criterio de aceptación	Drift (‰)
Ocupación Inmediata	0.9
Seguridad de Vida	5.4
Prevención de Colapso	7

Nota. Adaptada de Coral, 2018.

### Figura 69

Parámetros y criterios de aceptación de una rótula plástica por corte



### **Tabiques de Albañilería**

Para representar el comportamiento de la tabiquería a cargas laterales, se utilizó un modelo de puntal diagonal equivalente. Este modelo simplificado simula la resistencia al corte y la rigidez del muro.

A continuación, se describe el proceso adoptado para definir un modelo de puntal diagonal equivalente.

1. Generar un elemento tipo *frame* que considere las propiedades mecánicas y geométricas del elemento estructural. Diversos estudios indican que el ancho del puntal se encuentra en un rango que va del 10% al 25% de la longitud de la diagonal; sin embargo, este valor puede ser calculado mediante diferentes expresiones empíricas. Rankawat et al. (2021) definen el ancho del puntal  $W_e$  mediante la siguiente expresión.

$$W_e = \frac{l_s^3 K_L}{tL^2 E} \quad (50)$$

$$K_L = \frac{1}{\frac{h^3}{\beta EI} + \frac{h}{AvG}} \quad (51)$$

Donde,

$l_s$  : Longitud diagonal del puntal.

$K_L$ : Rigidez lateral elástica del muro.

$t$  : Espesor del muro.

$L$  : Longitud del muro.

$E$  : Módulo de elasticidad.

$h$  : Altura del muro.

$\beta$  : Efecto de las condiciones de contorno.

$I$  : Inercia del muro.

$Av$ : 80% del área de corte.

$G$  : Módulo de corte.

2. Dibujar el elemento en la dirección de la diagonal, conectando los puntos extremos del muro.

3. Definir los límites en tensión y *End Releases* según corresponda.

#### 3.5.4.4 Carga Gravitacional No Lineal

A diferencia de los análisis convencionales, los análisis no lineales dependen de los efectos combinados de la carga gravitacional y lateral. Por ello, se consideraron los efectos de la carga de gravedad esperada en el modelo matemático como una condición inicial, de acuerdo a lo dispuesto en la sección 7.2.2 del ASCE/SEI 41-17.

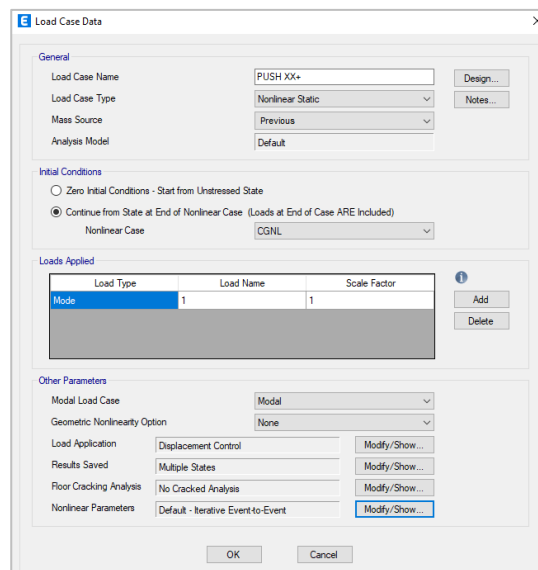
$$CGNL = 1.0CM + 0.50CV + 0.25Roof \quad (52)$$

#### 3.5.4.5 Patrón de Carga Lateral

La carga lateral se distribuyó verticalmente en proporción a la forma del modo fundamental en la dirección analizada. Esta distribución es aplicable únicamente cuando más del 75% de la masa total esté involucrada en dicho modo.

### Figura 70

*Patrón de carga lateral en el sentido longitudinal*





### 3.5.5 Cuantificación del Peligro Sísmico

El Análisis de Peligro Sísmico Probabilístico se realizó utilizando el programa R-CRISIS v20.2, conforme al procedimiento descrito en la sección 2.2.3.1.

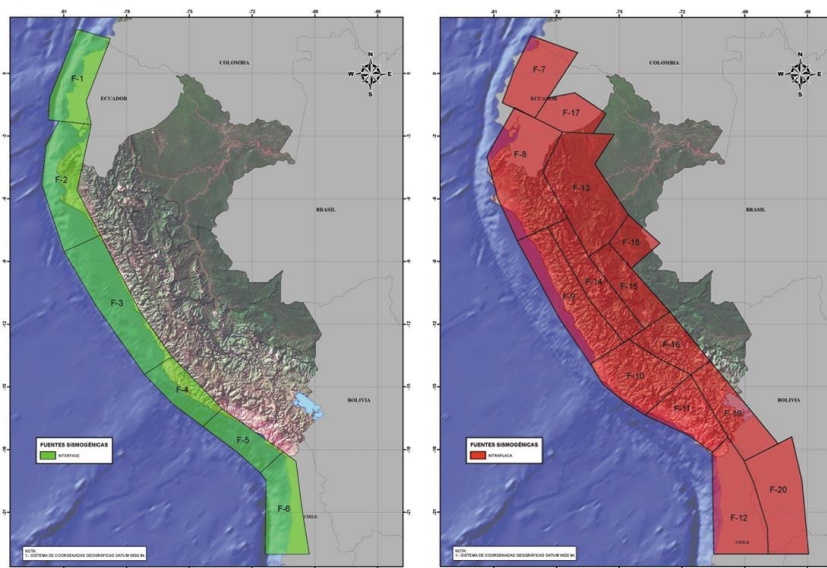
#### 3.5.5.1 Geometría de las Fuentes Sismogénicas

Para realizar el estudio de Peligro Sísmico se adoptó la geometría más representativa de las fuentes sismogénicas de subducción y continentales propuestas por Roncal (2017). Este autor analizó la distribución de los sismos en función de la profundidad de sus focos y evaluó los principales rasgos sismotectónicos que inciden en el territorio nacional. A partir de dicho análisis, definió veinte fuentes sismogénicas de subducción y nueve fuentes sismogénicas continentales, las cuales coinciden con el modelo de subducción de Cahill e Isacks (1992).

Las fuentes sismogénicas de subducción se clasificaron en tres tipos, según su mecanismo focal: fuentes de interfase, intraplaca superficial e intraplaca intermedia.

### Figura 71

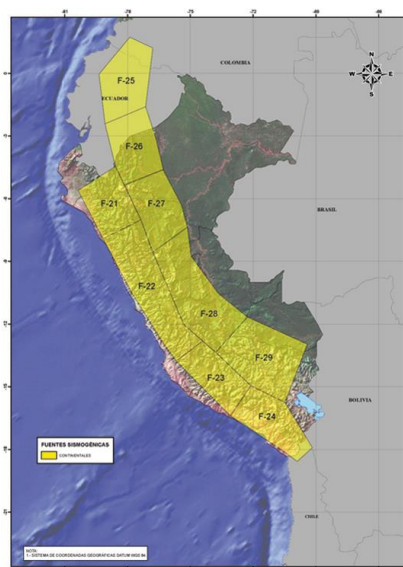
*Fuentes sismogénicas de subducción: interfase e intraplaca*



*Nota.* Tomada de Roncal (2017, pp. 77-78).

### Figura 72

*Fuentes sismogénicas continentales*



*Nota.* Tomada de Roncal (2017, p. 79).

Las coordenadas geográficas y las profundidades de las fuentes sismogénicas utilizadas se especifican en el Anexo 2.

### 3.5.5.2 Parámetros Sismológicos y Atenuación de Ondas Sísmicas

Los parámetros sismológicos de recurrencia empleados corresponden a los obtenidos por Roncal (2017), ya que están directamente relacionados con las características propias de cada fuente sismogénica.

En la Tabla 28 se muestran los parámetros sismológicos de recurrencia empleados en esta investigación.

**Tabla 28**

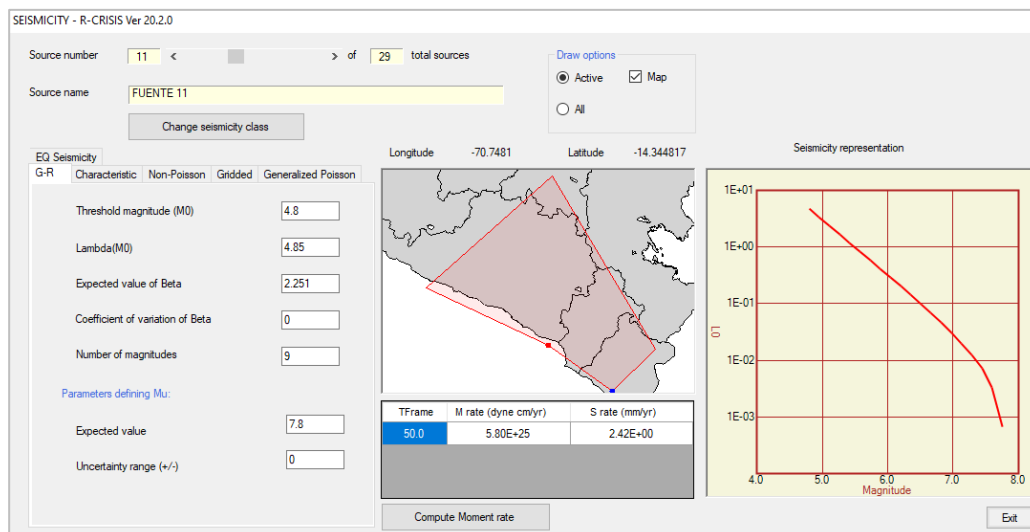
*Parámetros sismológicos de las fuentes sismogénicas de la zona de estudio*

Fuente	Parámetros sismológicos			
	$M_{mín}$	$M_{máx}$	$\beta$	Tasa
F5	4.8	8.4	1.473	2.580
F6	4.5	8.4	1.344	3.530
F11	4.8	7.8	2.251	4.850
F12	4.8	7.6	2.580	19.00
F24	4.4	7.4	1.314	1.280

Nota. Tomada de Roncal (2017, p. 83).

**Figura 73**

*Parámetros sismológicos*



Para evaluar los efectos de los eventos sísmicos, se utilizaron las ecuaciones de predicción de movimiento del suelo propuestas por Young et al.

(1997) para fuentes de subducción de interfase e intraplaca, y la ecuación de Sadigh et al. (1997) para fuentes continentales. Ambos modelos utilizaron los valores de atenuación y recurrencia sísmica en función de las magnitudes de momento  $M_w$ .

Una vez definidas las fuentes sismogénicas y los parámetros sismológicos asociados a cada una de ellas, se procedió a cuantificar el peligro sísmico para probabilidades de excedencia del 10%, 5% y 2% en cincuenta años de exposición.

### 3.5.6 Cuantificación del Desempeño Sísmico

El desempeño sísmico de las edificaciones objeto de estudio se cuantificó siguiendo el procedimiento descrito en la sección 2.2.4.1.

#### 3.5.6.1 Objetivos de Desempeño

Con el fin de evaluar el desempeño sísmico de las edificaciones, se formuló una matriz de objetivos de desempeño esperados, basándose en las directrices proporcionadas por el ATC-40, ASCE/SEI 41-17 y la filosofía de diseño de la Norma E.030. Esta matriz permitió establecer un nivel de daño tolerable para cada escenario de amenaza sísmica previsto.

**Tabla 29**

*Matriz de objetivos de desempeño adoptado*

Nivel de Amenaza Sísmica	Nivel de Desempeño de la Estructura			
	Operacional	Ocupación Inmediata	Seguridad de Vida	Prevención de Colapso
Sismo Raro $Tr = 475$ años		✓		
Sismo Muy Raro $Tr = 975$ años			✓	
Sismo Máximo Considerado $Tr = 2475$ años				✓



*Nota.* El Sismo Máximo Considerado se incluyó en el análisis debido a la ubicación de las edificaciones en un área de máximo acoplamiento sísmico.

### **3.5.6.2 Método de Linealización Equivalente**

Tras obtener las curvas de capacidad de las estructuras derivadas del análisis *Pushover* y las curvas de peligro sísmico correspondientes a cada nivel de amenaza sísmica, se determinó el punto de desempeño en las direcciones longitudinal y transversal de los edificios, utilizando el procedimiento iterativo B propuesto por el FEMA 440. Este procedimiento de solución fue descrito detalladamente en la sección 2.2.4.3.

### **3.5.6.3 Método de los Coeficientes**

Este método permitió determinar de manera directa el desplazamiento objetivo de las edificaciones educativas, conforme a las directrices establecidas en el ASCE/SEI 41-17. El procedimiento de solución fue descrito detalladamente en la sección 2.2.4.3.

### **3.5.6.4 Criterios de Aceptación**

Para evaluar el desempeño sísmico de las edificaciones educativas, se establecieron límites de aceptación global y local. Los límites de aceptación global fueron definidos mediante umbrales de daño asociados a los niveles de desempeño propuestos por VISION 2000, mientras que los límites de aceptación local se definieron en función de la capacidad de deformación de los elementos.

La evaluación de los componentes consideró distintos límites de aceptación. Las vigas se evaluaron en función de sus rotaciones plásticas, utilizando los criterios especificados en el ASCE/SEI 41-17. Las columnas y muros estructurales, se evaluaron según los límites de aceptación definidos para



cada tipo de material. En cuanto a los muros portantes de albañilería, se evaluaron según los criterios de aceptación propuestos por Coral (2018).

## CAPÍTULO IV


### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

#### 4.1 Vulnerabilidad Estructural

Con el fin de identificar los factores que incrementan la vulnerabilidad estructural, se realizó una inspección visual de las edificaciones objeto de estudio. Durante la inspección, se observó que los bloques A1 y A2 no presentan daños estructurales ni afectaciones por sismos previos. Sin embargo, se detectó la presencia de parapetos adosados a las columnas en el corredor del segundo y tercer nivel, lo que podría comprometer su comportamiento sísmico. Además, se observó eflorescencia en la parte inferior de los muros estructurales del primer nivel y en algunos tabiques del segundo nivel, como se presenta en la Tabla 30 y Tabla 31.

**Tabla 30**



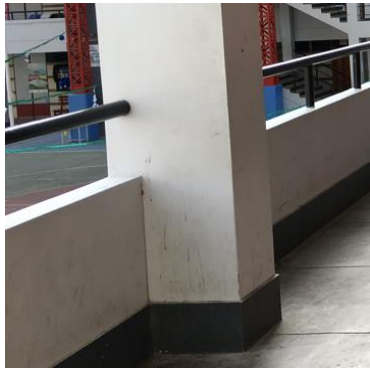
*Deterioros, daños y defectos estructurales en el bloque A1*

Cód.	Elemento estructural	Observación	Riesgo
C1	 Columna (C3)	Desprendimiento del recubrimiento de concreto en la zona inferior de una columna del primer nivel.	Corrosión del acero de refuerzo longitudinal y transversal, lo que podría generar agrietamiento en el elemento con el tiempo.

Cód.	Elemento estructural	Observación	Riesgo
PL1	 Muro estructural (PL)	No compromete su capacidad estructural.  Presencia de eflorescencia en la zona inferior de un muro estructural en el primer nivel. No compromete su capacidad estructural.	Deterioro del recubrimiento de concreto, lo que podría generar su desprendimiento progresivo con el tiempo.
C2	 Columna (C3)	Presencia de grietas verticales superficiales en la zona intermedia de una columna en el segundo nivel. No compromete su capacidad estructural.	Desprendimiento del recubrimiento de concreto.
C23	 Columna (C3)	Parapetos adosados a columnas en el corredor del segundo y tercer nivel.	Agrietamiento y pérdida subsecuente de rigidez en la columna debido a la interacción con el parapeto durante un movimiento sísmico severo.

**Tabla 31**



*Deterioros, daños y defectos estructurales en el bloque A2*

Cód.	Elemento estructural	Observación	Riesgo
PL2	 Muro estructural (PL)	Pérdida parcial del recubrimiento de concreto debido a un impacto en la zona inferior de un muro estructural en el segundo nivel. No compromete su capacidad estructural.	Corrosión del acero de refuerzo longitudinal y transversal, lo que podría generar agrietamiento en el elemento con el tiempo.
PL1	 Muro estructural (PL)	Presencia de eflorescencia en la zona inferior del muro estructural en el primer nivel. No compromete su capacidad estructural.	Deterioro del recubrimiento de concreto, lo que podría generar su desprendimiento progresivo con el tiempo.
C23	 Columna (C3)	Parapetos adosados a columnas en el corredor del segundo y tercer nivel.	Agrietamiento y pérdida subsecuente de rigidez en la columna debido a la interacción con el parapeto durante un movimiento sísmico severo.

En el pabellón "B", se observó que el bloque B1 presenta daño estructural ligero en una columna del primer nivel, posiblemente causado por un impacto, mientras que el bloque B2 se encuentra en buen estado estructural. En ambas edificaciones, se ha identificado la presencia de parapetos adosados a las columnas en el corredor del segundo y tercer nivel, lo que podría comprometer su comportamiento sísmico.


**Tabla 32**

*Deterioros, daños y defectos estructurales en el bloque B1*

Cód.	Elemento estructural	Observación	Riesgo
C1	 Columna (C3)	Pérdida del recubrimiento de concreto debido a un impacto en la zona intermedia de una columna en el primer nivel. No compromete su capacidad estructural.	Corrosión del acero de refuerzo longitudinal y transversal, lo que podría generar agrietamiento en el elemento con el tiempo.
C23	 Columna (C3)	Parapetos adosados a columnas en el corredor del segundo y tercer nivel.	Agrietamiento y pérdida subsecuente de rigidez en la columna debido a la interacción con el parapeto durante un movimiento sísmico severo.

**Tabla 33**

*Deterioros, daños y defectos estructurales en el bloque B2*




Cód.	Elemento estructural	Observación	Riesgo
C23	 Columna (C3)	Parapetos adosados a columnas en el corredor del segundo y tercer nivel.	Agrietamiento y pérdida subsecuente de rigidez en la columna debido a la interacción con el parapeto durante un movimiento sísmico severo.

El pabellón "C", debido a su antigüedad y falta de mantenimiento, presenta un notable deterioro estructural. Se ha observado la pérdida parcial de la sección

transversal de una columna en el primer nivel, lo que ha dejado expuesto el acero de refuerzo longitudinal y transversal. Además, su configuración estructural propicia el efecto de columna corta en los pórticos de concreto armado del primer y segundo nivel. En cuanto al sistema de entrepiso, se detectaron grietas horizontales con un ancho superior a los 5 mm en sus contornos, así como la ausencia de un diafragma rígido en la azotea, que garantice una adecuada distribución de las fuerzas sísmicas hacia los elementos verticales.

**Tabla 34**

*Deterioros, daños y defectos estructurales en el pabellón "C"*

Cód.	Elemento estructural	Observación	Riesgo
C1	 Columna (C2)	Pérdida parcial de la sección transversal de una columna en la zona intermedia, con exposición del acero de refuerzo longitudinal y transversal.	Corrosión del acero de refuerzo longitudinal y transversal. Degradación significativa de la resistencia del elemento durante un movimiento sísmico severo.
SLB1	 Losa aligerada (ALG1)	Agrietamiento horizontal moderado en el contorno de la losa aligerada del entrepiso en el primer nivel.	Corrosión del acero de refuerzo longitudinal de las viguetas, lo que podría generar agrietamiento en el elemento con el tiempo.
SLB1	 Losa aligerada (ALG1)	Presencia de eflorescencia en la superficie inferior de la losa aligerada del entrepiso en el primer nivel. No compromete su capacidad estructural.	Deterioro del recubrimiento de concreto, lo que podría ocasionar su desprendimiento progresivo con el tiempo.


Cód.	Elemento estructural	Observación	Riesgo
C1	 Columna (C1)	<p>Desprendimiento del recubrimiento de concreto en la zona inferior de una columna en el primer nivel. No compromete su capacidad estructural.</p>	<p>Corrosión del acero de refuerzo longitudinal de las viguetas, lo que podría generar agrietamiento en el elemento con el tiempo.</p>
C12	 Columna (C2)	<p>Interacción tabique-pórtico. Columna corta en los pórticos de concreto armado del primer y segundo nivel.</p>	<p>Agrietamiento diagonal severo y aplastamiento del concreto en la porción libre de la columna durante un movimiento sísmico severo.</p>
RT2	 Cubierta de acero	<p>Ausencia de un diafragma rígido que permita una adecuada distribución de las cargas sísmicas hacia los elementos verticales.</p>	<p>Mayores esfuerzos en los elementos, lo que podría generar deformaciones excesivas o daño estructural.</p>
C2	 Columna (C1)	<p>Parapetos adosados a las columnas en el corredor del segundo nivel.</p>	<p>Agrietamiento y pérdida subsecuente de rigidez en la columna debido a la interacción con el parapeto durante un movimiento sísmico severo.</p>

El pabellón Primaria no presentó daños estructurales ni afectaciones por sismos previos. Sin embargo, al igual que en los pabellones "A" y "B", se han

observado parapetos adosados a las columnas en el corredor del segundo y tercer nivel, lo que podría comprometer su comportamiento sísmico.

**Tabla 35**

*Deterioros, daños y defectos estructurales en el pabellón "Primaria"*

Cód.	Elemento estructural	Observación	Riesgo
C23		Parapetos adosados a las columnas en el corredor del segundo y tercer nivel.	Agrietamiento y pérdida subsecuente de rigidez en la columna debido a la interacción con el parapeto durante un movimiento sísmico severo.

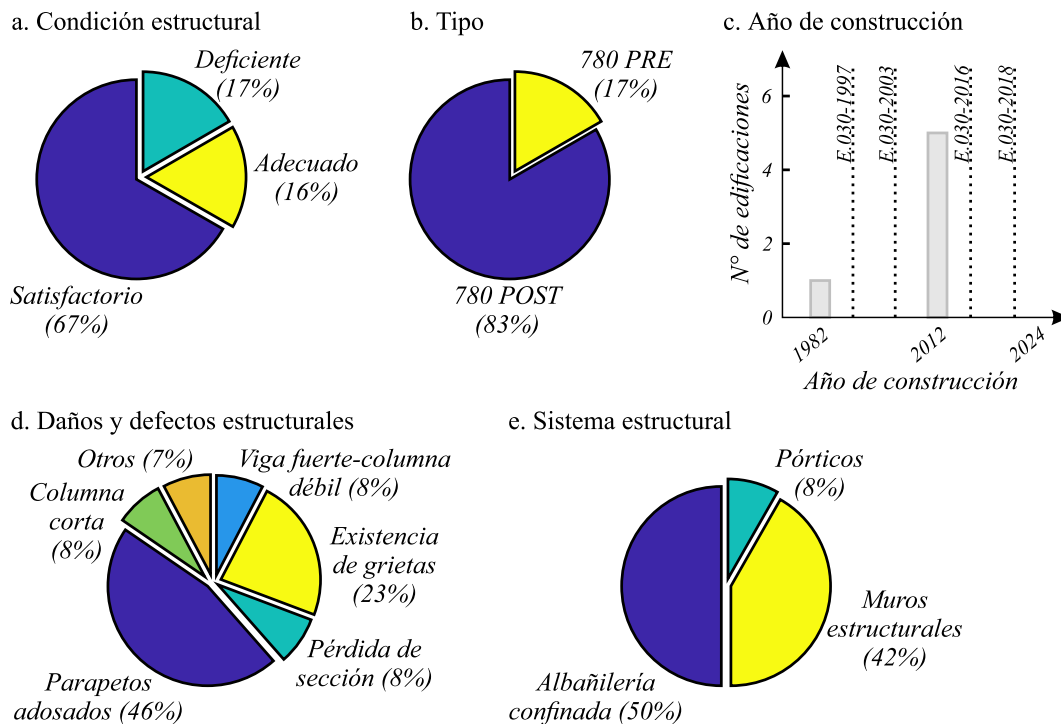
Columna (C3)

Los resultados obtenidos de la Evaluación Visual Rápida evidencian que, si bien el 83% de las edificaciones educativas analizadas presentaron una condición estructural favorable, la mayoría de ellas exhiben diversos factores de vulnerabilidad. En particular, se destacó que el 46% de los daños y defectos estructurales corresponden a parapetos adosados a columnas, el 23% están relacionados a grietas en elementos estructurales y el 31% restante involucra factores como columna corta, pérdida de sección transversal, la combinación de viga fuerte-columna débil, entre otros, los cuales son críticos.

Por otra parte, se observó que el 83% de las edificaciones educativas corresponden al tipo 780 post, mientras que el 17% restante son del tipo 780 pre. Esta distribución refleja una marcada predominancia de edificaciones construidas conforme a normativas más recientes.

### Figura 74

Estadísticas derivadas de los datos recopilados



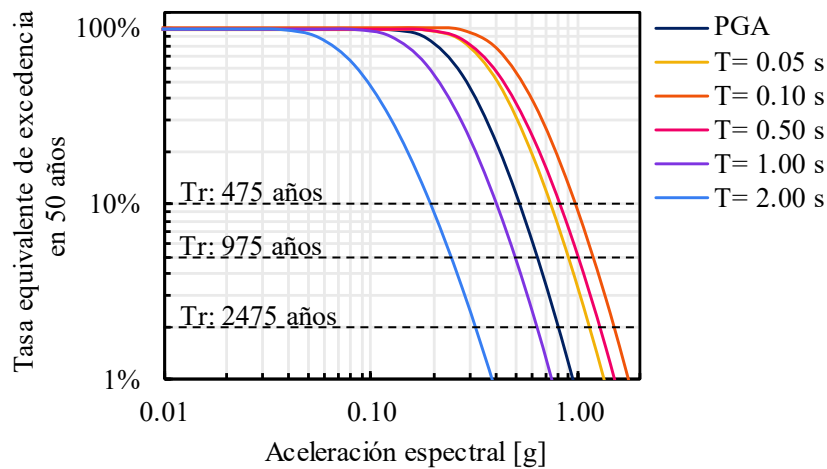
En el Anexo 3 se adjuntan los formularios utilizados para la Evaluación Visual Rápida de las edificaciones escolares consideradas en la presente investigación.

## 4.2 Demanda Sísmica

Los resultados de la cuantificación del peligro sísmico, obtenidos mediante la aplicación del método probabilístico basado en la metodología propuesta por Cornell (1968), mostraron aceleraciones espectrales superiores a los valores comúnmente utilizados en el diseño sismorresistente de estructuras. La Figura 75 muestra las curvas de peligro sísmico, expresadas en términos de tasa equivalente de excedencia en 50 años para el área de estudio, mientras que la Tabla 36 resume las aceleraciones máximas horizontales esperadas para distintos periodos de retorno.

**Figura 75**

*Curvas de peligro sísmico para un amortiguamiento del 5%*



**Tabla 36**

*Aceleraciones máximas horizontales esperadas para un suelo tipo S<sub>1</sub>*

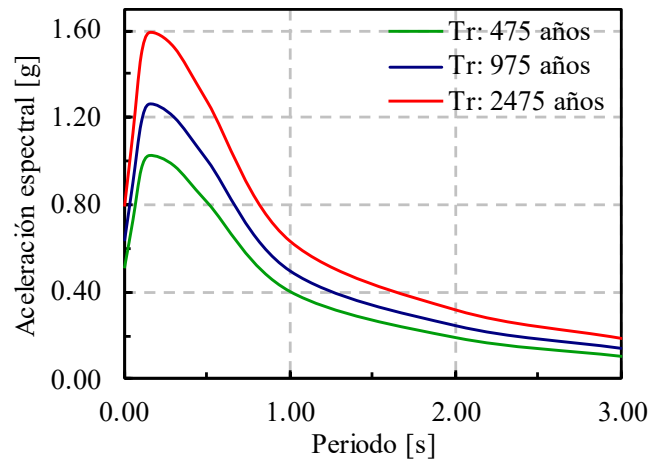
Coordenadas UTM (WGS 84)	Periodo (s)	Periodo de retorno (Tr) / Aceleración (g)		
		475 años	975 años	2475 años
I.E.E. Daniel	PGA	0.519	0.636	0.800
Becerra	0.05	0.734	0.900	1.131
Ocampo	0.10	0.967	1.173	1.489
-17.63975N;	0.50	0.814	1.000	1.274
-71.33939E	1.00	0.405	0.493	0.633
	2.00	0.194	0.243	0.318

*Nota.* Estos valores deben interpretarse como promedios esperados, sin considerar los efectos derivados de la interacción suelo-estructura ni las variaciones debidas a las condiciones locales del terreno.

Por otra parte, la Figura 76 muestra los espectros de peligro uniforme generados a partir de las curvas de peligro sísmico, considerando probabilidades de excedencia del 10%, 5% y 2% en un periodo de 50 años, para una relación de amortiguamiento del 5% con respecto al crítico.

Figura 76

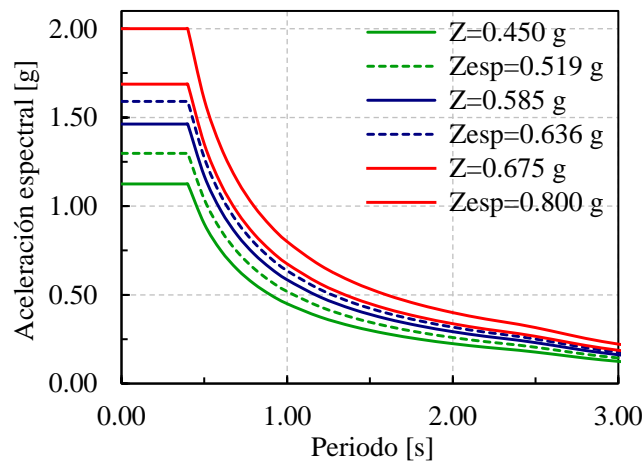
*Espectros de peligro uniforme para diferentes periodos de retorno*



La comparación entre los espectros de diseño obtenidos con un factor de zona específico ( $Z_{esp}$ ) y los propuestos por la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente (2018) reveló que las aceleraciones obtenidas excedían las indicadas por la norma. Para un sismo de diseño o raro ( $Tr = 475$  años), se observó un incremento de hasta un 15% en la demanda sísmica en la zona de la plataforma, mientras que para un Sismo Muy Raro ( $Tr = 975$  años) y un Sismo Máximo Considerado ( $Tr = 2475$  años), los incrementos registrados fueron aproximadamente del 9% y 19%, respectivamente.

**Figura 77**

Comparación entre espectros de sitio y espectros de la Norma E.030



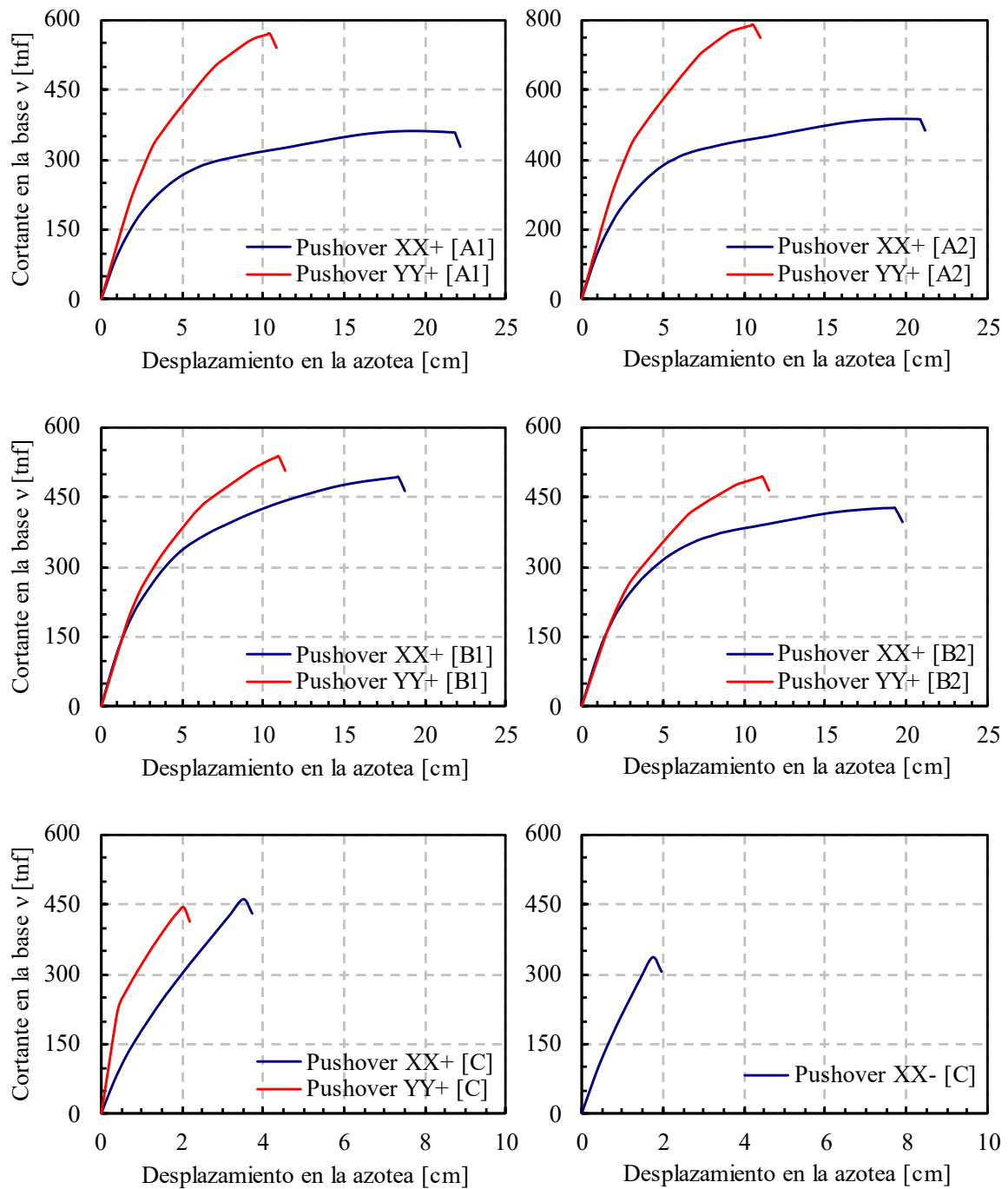
### 4.3 Evaluación del Nivel de Desempeño

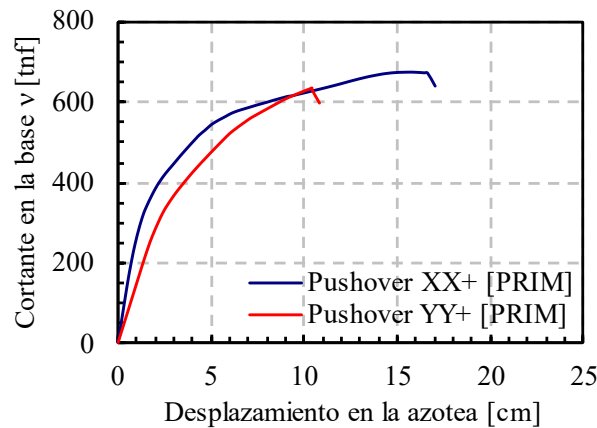
#### 4.3.1 Curva de Capacidad

Las curvas de capacidad obtenidas a partir del Análisis Estático No Lineal en ambas direcciones de las edificaciones educativas proporcionaron una representación detallada de la respuesta sísmica de los edificios frente a cargas laterales incrementales y los modos de falla potenciales. La Figura 78 muestra las curvas fuerza-deformación de los edificios analizados, mientras que la Tabla 37 resume los valores máximos de desplazamiento y resistencia en cada dirección de análisis.

### Figura 78

Curvas de capacidad de los edificios emblemáticos





**Tabla 37**

*Rigideces laterales elásticas, desplazamientos máximos y cortantes en la base*

Bloque	Dirección longitudinal - XX			Dirección transversal - YY		
	Rigidez lateral (tnf/m)	Desplaz. máximo (cm)	Cortante en la base (tnf)	Rigidez lateral (tnf/m)	Desplaz. máximo (cm)	Cortante en la base (tnf)
A1	9,773.65	21.87	357.64	12,008.99	10.39	571.31
A2	14,129.36	20.85	518.62	16,603.69	10.54	786.00
B1	12,209.41	18.35	495.08	11,361.99	10.94	536.62
B2	11,396.78	19.26	428.32	10,294.06	11.13	493.86
C	21,229.41	3.50	461.77	55,931.79	2.03	444.47
	21,511.05	1.73	336.90			
PRIM	28,995.29	16.64	673.33	14,894.13	10.39	633.10

*Nota.* El desplazamiento máximo o punto de colapso de las estructuras se definió cuando más de un elemento alcanzó su resistencia máxima.

La comparación de las curvas de capacidad de los edificios en cada dirección evidenció variaciones en los valores máximos de desplazamiento y resistencia. En el bloque A1, el desplazamiento máximo en la dirección longitudinal superó en un 110% al registrado en la dirección transversal, mientras que la resistencia máxima en la misma dirección fue un 37% inferior en comparación con la dirección transversal. En el caso del bloque A2, el desplazamiento máximo en la dirección longitudinal fue un 98% superior al registrado en la dirección transversal, y la resistencia máxima en la misma dirección fue un 34% inferior respecto a la dirección transversal.



Esta tendencia se mantuvo en el pabellón "B", donde el desplazamiento máximo en la dirección longitudinal fue un 68% superior en el bloque B1 y un 73% superior en el bloque B2 en comparación con la dirección transversal. En cuanto a la resistencia máxima, se observó que, en el bloque B1, la resistencia en la dirección longitudinal fue un 8% inferior en comparación con la dirección transversal, y en el bloque B2, fue un 13% inferior.

En el pabellón "C", el desplazamiento máximo en la dirección longitudinal, en el sentido más crítico, fue un 15% inferior al registrado en la dirección transversal, mientras que en el sentido más conservador fue un 72% superior. En cuanto a la resistencia máxima, la dirección longitudinal, en el sentido conservador, fue un 4% superior en comparación con la dirección transversal.

Por su parte, en el pabellón "Primaria", los valores máximos de desplazamiento y resistencia en la dirección longitudinal fueron un 60% y un 6% superiores, respectivamente, a los registrados en dirección transversal.

#### **4.3.2 Punto de Desempeño**

La Tabla 38 y Tabla 39 resumen los valores de desplazamiento lateral y cortante basal correspondientes a los puntos de desempeño y los desplazamientos objetivo obtenidos en cada dirección de análisis, para cada nivel de peligro sísmico.

**Tabla 38**

*Puntos de desempeño en la dirección longitudinal*

Bloque	Nivel de amenaza sísmica	Punto de desempeño (FEMA 440)		Desplazamiento objetivo (ASCE/SEI 41-17)	
		Desplaz. (cm)	Cortante en la base (tnf)	Desplaz. (cm)	Cortante en la base (tnf)
A1	Raro	6.73	292.58	6.90	294.15
	Muy raro	8.61	307.75	8.97	310.22
	Máximo considerado	11.71	326.85	12.16	329.88
A2	Raro	6.90	425.62	7.08	427.97
	Muy raro	8.81	446.89	9.24	451.03
	Máximo considerado	12.00	473.53	12.53	478.30
B1	Raro	4.08	306.04	4.50	321.78
	Muy Raro	5.73	355.50	5.75	355.92
	Máximo Considerado	7.98	396.83	7.69	391.99
B2	Raro	4.09	288.69	4.85	312.07
	Muy Raro	6.13	341.75	6.24	343.75
	Máximo Considerado	8.19	370.51	8.36	372.44
C	Raro	2.05	308.17		
	Muy Raro	3.17	427.33		
PRIM	Raro	2.55	422.47	3.49	474.42
	Muy Raro	4.69	531.27	4.64	529.59
	Máximo Considerado	5.58	560.53	6.33	577.27

**Tabla 39**

*Puntos de desempeño en la dirección transversal*

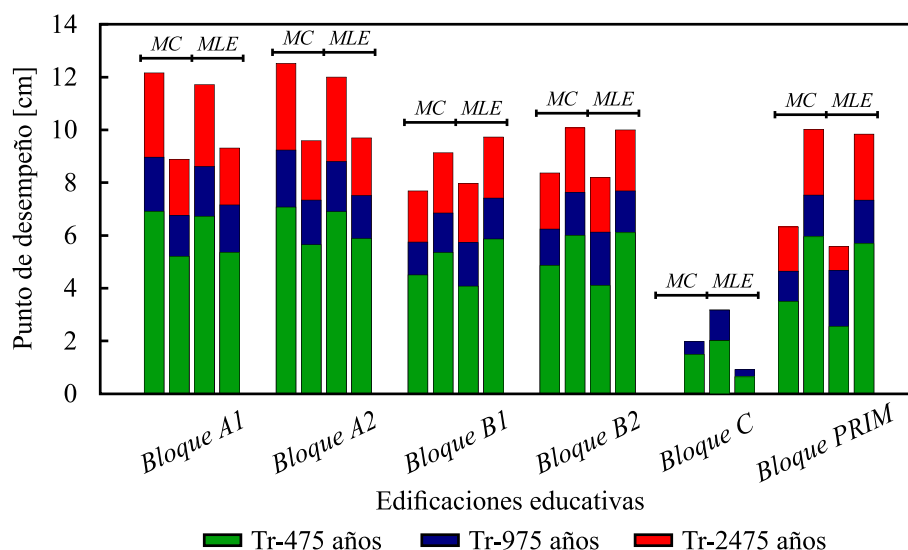
Bloque	Nivel de amenaza sísmica	Punto de desempeño (FEMA 440)		Desplazamiento objetivo (ASCE/SEI 41-17)	
		Desplaz. (cm)	Cortante en la base (tnf)	Desplaz. (cm)	Cortante en la base (tnf)
A1	Raro	5.36	433.43	5.21	426.69
	Muy Raro	7.17	506.86	6.75	491.94
	Máximo Considerado	9.32	559.25	8.88	550.24
A2	Raro	5.92	627.39	5.65	611.00
	Muy Raro	7.55	712.76	7.34	704.51
	Máximo Considerado	9.72	775.43	9.58	773.53

Bloque	Nivel de amenaza sísmica	Punto de desempeño (FEMA 440)		Desplazamiento objetivo (ASCE/SEI 41-17)	
		Desplaz. (cm)	Cortante en la base (tnf)	Desplaz. (cm)	Cortante en la base (tnf)
B1	Raro	5.69	413.00	5.36	398.20
	Muy Raro	7.20	457.49	6.85	448.90
	Máximo	9.44	511.36	9.13	504.37
B2	Considerado				
	Raro	6.10	395.46	6.00	391.52
	Muy Raro	7.68	439.15	7.63	438.04
	Máximo	10.00	481.93	10.07	482.58
C	Considerado				
	Raro	0.63	266.44	1.50	389.12
	Muy Raro	0.89	306.86	1.98	440.70
PRIM	Raro	5.80	515.36	5.96	523.26
	Muy Raro	7.45	571.57	7.53	573.71
	Máximo	9.95	629.70	10.02	630.92
	Considerado				

La Figura 79 muestra la comparación gráfica entre los puntos de desempeño y los desplazamientos objetivo obtenidos para cada dirección de análisis.

**Figura 79**

*Puntos de desempeño para cada nivel de intensidad sísmica*



*Nota.* Los puntos de desempeño se muestran primero en la dirección longitudinal y luego en la dirección transversal, para cada uno de los métodos empleados.



Los puntos de desempeño obtenidos a partir de los métodos de Linealización Equivalente y Coeficientes varían según la dirección de análisis y, en general, tienden a incrementarse conforme aumenta la intensidad sísmica. En comparación con los otros bloques, el pabellón "C" registró los puntos de desempeño más bajos, lo que sugiere una mayor vulnerabilidad.

En el Anexo 4 se adjunta el procedimiento de cálculo utilizado para determinar los puntos de desempeño y los desplazamientos objetivo correspondientes a las edificaciones educativas.

### **4.3.3 Nivel de Desempeño Global**

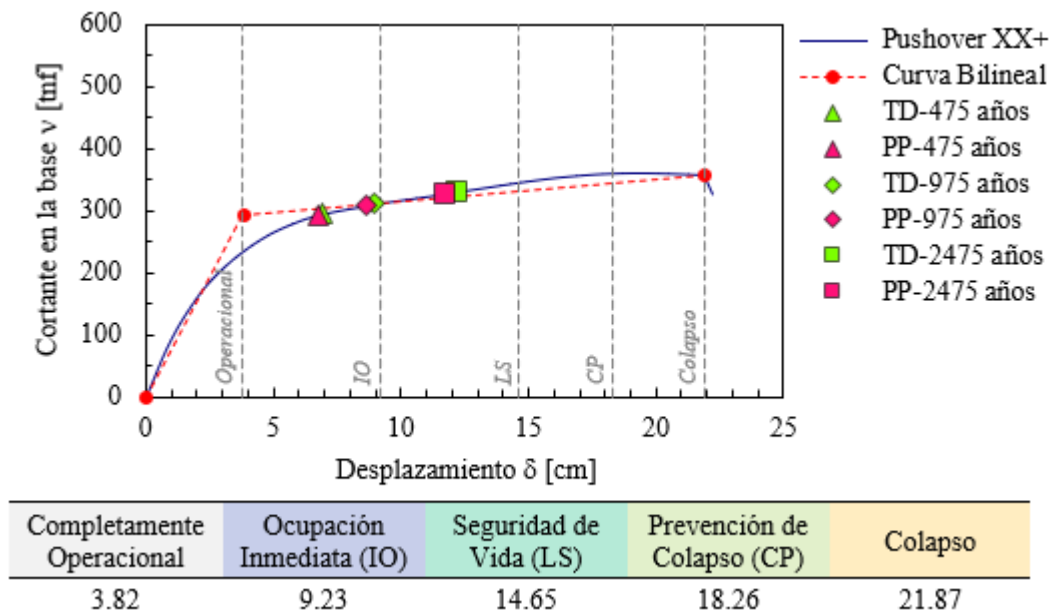
La evaluación del nivel de desempeño sísmico se realizó en función de los niveles de desempeño propuestos por VISION 2000, tal como se muestra en la Figura 43.

#### ***Bloque A1***

La Figura 80 muestra la evaluación del nivel de desempeño en la dirección longitudinal del bloque A1, empleando los métodos definidos por el FEMA 440 y el ASCE/SEI 41-17. Por su parte, la Tabla 40 muestra los valores de desplazamiento en la azotea y cortante en la base correspondientes a los puntos de interés de la curva bilineal.

**Figura 80**

*Evaluación del nivel de desempeño en la dirección longitudinal del bloque A1*



**Tabla 40**

*Puntos de interés de la curva bilineal en la dirección longitudinal del bloque A1*

Puntos de interés	Desplazamiento en la azotea (cm)	Cortante en la base (tnf)
Diseño	1.35	119.92
Primera rótula	1.54	132.32
Cedencia efectiva	3.82	293.88
Colapso	21.87	357.64

Se observó que, para ambos métodos, el edificio alcanzó los niveles de desempeño de Ocupación Inmediata (IO) para un Sismo Raro y un Sismo Muy Raro. Sin embargo, ante un Sismo Máximo Considerado alcanzó un nivel de Seguridad de Vida (LS).

En cuanto a la cortante de diseño, los resultados mostraron que se encuentra en el rango elástico, siendo un 59% inferior que la cortante de cedencia efectiva y un 66% inferior a la cortante última. Además, el sistema presentó una ductilidad estructural de 5.73 y una sobrerresistencia de 2.45.

**Tabla 41**

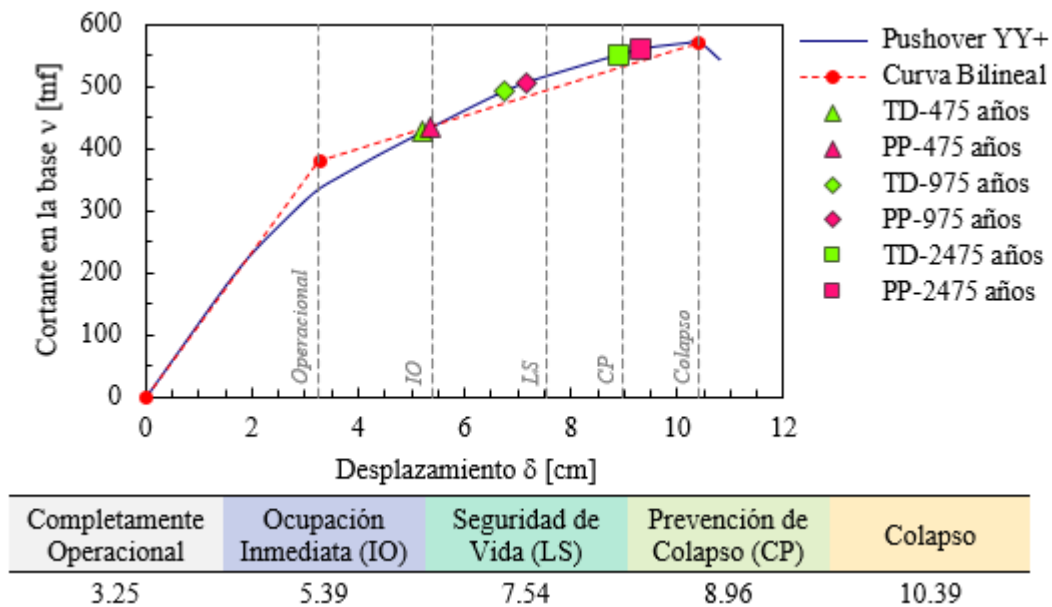
*Variación de la ductilidad en la dirección longitudinal del bloque A1*

Nivel de amenaza sísmica	Punto de desempeño (FEMA 440)		Desplazamiento objetivo (ASCE/SEI 41-17)	
	$\mu d$	$\mu d/\mu$ (%)	$\mu d$	$\mu d/\mu$ (%)
Raro	3.06	53.40	3.07	53.58
Muy raro	3.29	57.42	3.35	58.46
Máximo considerado	3.92	68.41	4.04	70.51

En la dirección transversal, la Figura 81 muestra la evaluación del nivel de desempeño del bloque A1, empleando los métodos definidos por el FEMA 440 y el ASCE/SEI 41-17. La Tabla 42 muestra los valores de desplazamiento en la azotea y cortante en la base correspondientes a los puntos de interés de la curva bilineal.

**Figura 81**

*Evaluación del nivel de desempeño en la dirección transversal del bloque A1*



**Tabla 42**

*Puntos de interés de la curva bilineal en la dirección transversal del bloque A1*

Puntos de interés	Desplazamiento en la azotea (cm)	Cortante en la base (tnf)
Diseño	1.08	130.02
Primera rótula	1.52	181.95
Cedencia efectiva	3.25	380.60
Colapso	10.39	571.31

Se observó que, para ambos métodos, el edificio alcanzó los niveles de desempeño de Ocupación Inmediata (IO) para un Sismo Raro y de Seguridad de Vida (LS) para un Sismo Muy Raro. No obstante, ante un Sismo Máximo Considerado, alcanzó un nivel de Prevención de Colapso (CP) con el método de los Coeficientes y de Colapso con el método de Linealización Equivalente.

En cuanto a la cortante de diseño, los resultados mostraron que se encuentra en el rango elástico, siendo un 66% inferior que la cortante de cedencia efectiva y un 77% inferior a la cortante última. Además, el sistema presentó una ductilidad estructural de 3.20 y una sobrerresistencia de 2.93.

**Tabla 43**

*Variación de la ductilidad en la dirección transversal del bloque A1*

Nivel de amenaza sísmica	Punto de desempeño (FEMA 440)		Desplazamiento objetivo (ASCE/SEI 41-17)	
	$\mu_d$	$\mu_d/\mu$ (%)	$\mu_d$	$\mu_d/\mu$ (%)
Raro	2.28	71.25	2.23	69.69
Muy raro	2.85	89.06	2.74	85.63
Máximo considerado	3.14	98.13	3.08	96.25

La matriz de desempeño se definió considerando los valores más desfavorables en cada caso. En la dirección longitudinal, se utilizaron los valores obtenidos del método de Coeficientes, mientras que en la dirección transversal, se optó por los valores derivados del método de Linealización Equivalente. La

Tabla 44 contrasta los niveles de desempeño alcanzados en ambas direcciones con los objetivos de desempeño esperados.

**Tabla 44**

*Matriz de desempeño del bloque A1*

Nivel de amenaza sísmica	Nivel de desempeño del edificio			
	Operacional	Ocupación Inmediata	Seguridad de Vida	Prevención de Colapso
Sismo Raro		X-Y		
Sismo Muy Raro		X	Y	
Sismo Máximo Considerado			X	Y

*Nota.* El nivel de desempeño de Colapso se interpretó como Prevención de Colapso, al considerarse que el desplazamiento último corresponde a un estado en el que aún no se ha alcanzado el colapso estructural.

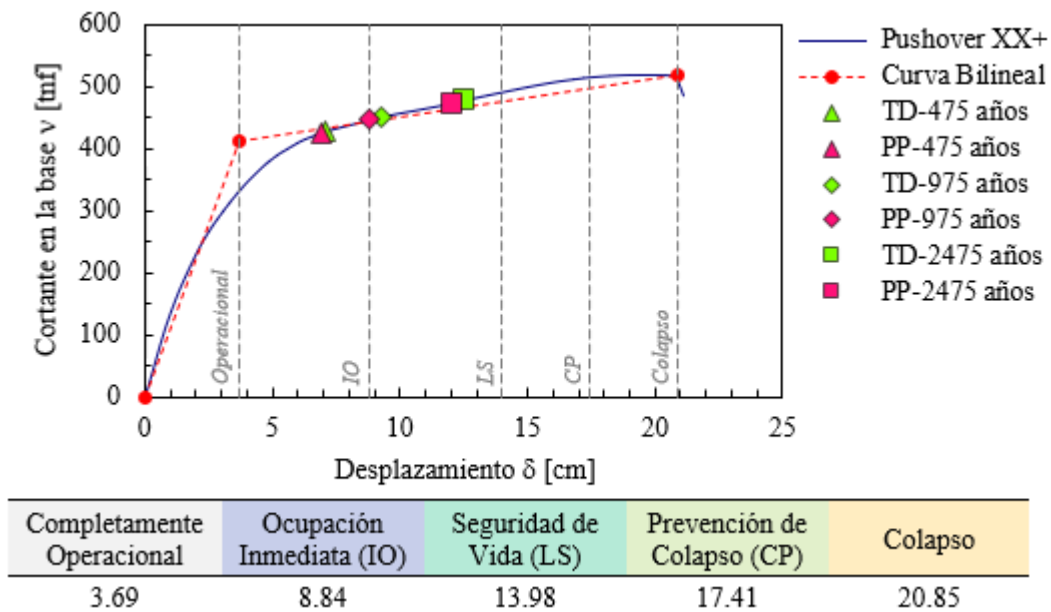
Los resultados muestran que, para un Sismo Raro, los niveles de desempeño del bloque A1 corresponden a los objetivos de desempeño esperados en ambas direcciones. Sin embargo, en un Sismo Muy Raro y un Sismos Máximo Considerado, la dirección longitudinal supera el nivel de desempeño esperado, mientras que la dirección transversal alcanza el objetivo previsto.

### **Bloque A2**

La Figura 82 muestra la evaluación del nivel de desempeño en la dirección longitudinal del bloque A2, empleando los métodos definidos por el FEMA 440 y el ASCE/SEI 41-17. Por su parte, la Tabla 45 muestra los valores de desplazamiento en la azotea y cortante en la base correspondientes a los puntos de interés de la curva bilineal.

**Figura 82**

*Evaluación del nivel de desempeño en la dirección longitudinal del bloque A2*



**Tabla 45**

*Puntos de interés de la curva bilineal en la dirección longitudinal del bloque A2*

Puntos de interés	Desplazamiento en la azotea (cm)	Cortante en la base (tnf)
Diseño	1.41	179.10
Primera rótula	1.58	193.88
Cedencia efectiva	3.69	413.26
Colapso	20.85	518.62

Se observó que, para ambos métodos, el edificio alcanzó un nivel de desempeño de Ocupación Inmediata (IO) frente a un Sismo Raro. No obstante, ante un Sismo Muy Raro, alcanzó el nivel de Ocupación Inmediata (IO) con el método de Linealización Equivalente y de Seguridad de Vida (LS) con el método de Coeficientes. En cuanto a un Sismo Máximo Considerado, ambos métodos presentaron un nivel de Seguridad de Vida (LS).

Respecto a la cortante de diseño, los resultados mostraron que se encuentra en el rango elástico, siendo un 57% inferior que la cortante de cedencia

efectiva y un 65% inferior a la cortante última. Además, el sistema presentó una ductilidad estructural de 5.65 y una sobrerresistencia de 2.31.

**Tabla 46**

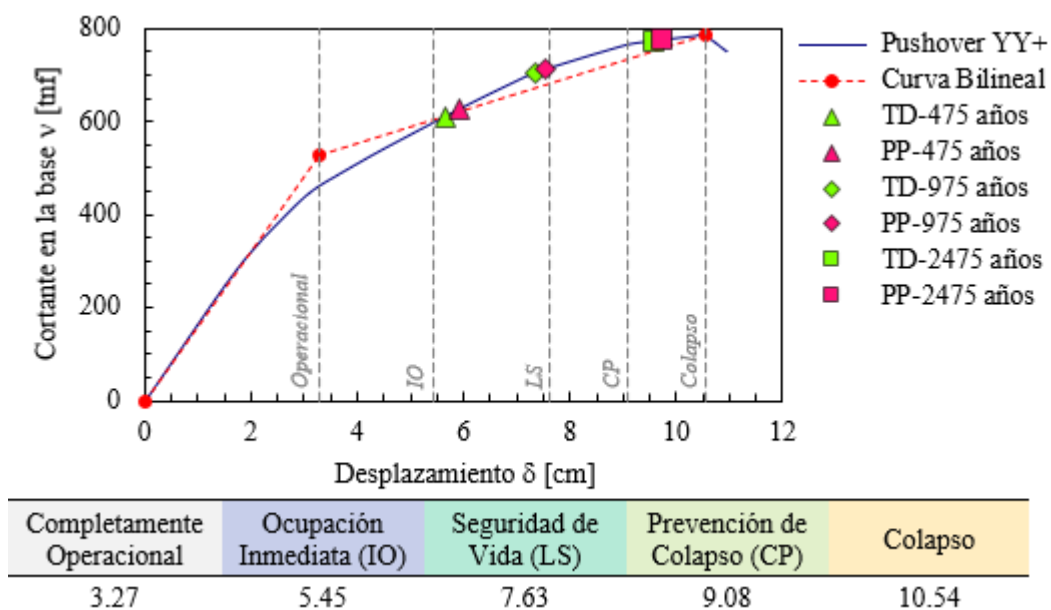
*Variación de la ductilidad en la dirección longitudinal del bloque A2*

Nivel de amenaza sísmica	Punto de desempeño (FEMA 440)		Desplazamiento objetivo (ASCE/SEI 41-17)	
	$\mu d$	$\mu d/\mu$ (%)	$\mu d$	$\mu d/\mu$ (%)
Raro	3.09	54.69	3.11	55.04
Muy raro	3.30	58.41	3.37	59.65
Máximo considerado	3.94	69.73	4.07	72.04

En la dirección transversal, la Figura 83 muestra la evaluación del nivel de desempeño del bloque A2, empleando los métodos definidos por el FEMA 440 y el ASCE/SEI 41-17. La Tabla 47 muestra los valores de desplazamiento en la azotea y cortante en la base correspondientes a los puntos de interés de la curva bilineal.

**Figura 83**

*Evaluación del nivel de desempeño en la dirección transversal del bloque A2*



**Tabla 47**

*Puntos de interés de la curva bilineal en la dirección transversal del bloque A2*

<b>Puntos de interés</b>	<b>Desplazamiento en la azotea (cm)</b>	<b>Cortante en la base (tnf)</b>
Diseño	1.16	193.08
Primera rótula	1.40	231.77
Cedencia efectiva	3.27	527.79
Colapso	10.54	786.00

Se observa que, para ambos métodos, el edificio alcanzó los niveles de desempeño de Seguridad de Vida (LS) para un Sismo Raro y un Sismo Muy Raro. Sin embargo, ante un Sismo Máximo Considerado alcanzó el nivel de Colapso.

En cuanto a la cortante de diseño, los resultados mostraron que se encuentra en el rango elástico, siendo un 63% inferior que la cortante de cedencia efectiva y un 75% inferior a la cortante última. Además, el sistema presentó una ductilidad estructural de 3.23 y una sobrerresistencia de 2.73.

**Tabla 48**

*Variación de la ductilidad en la dirección transversal del bloque A2*

<b>Nivel de amenaza sísmica</b>	<b>Punto de desempeño (FEMA 440)</b>		<b>Desplazamiento objetivo (ASCE/SEI 41-17)</b>	
	$\mu_d$	$\mu_d/\mu$ (%)	$\mu_d$	$\mu_d/\mu$ (%)
Raro	2.49	77.09	2.39	73.99
Muy raro	2.98	92.26	2.94	91.02
Máximo considerado	3.18	98.45	3.18	98.45

La matriz de desempeño se definió considerando los valores más desfavorables en cada caso. En la dirección longitudinal, se utilizaron los valores obtenidos del método de Coeficientes, mientras que en la dirección transversal, se optó por los valores derivados del método de Linealización Equivalente. La Tabla 49 contrasta los niveles de desempeño alcanzados en ambas direcciones con los objetivos de desempeño esperados.

**Tabla 49***Matriz de desempeño del bloque A2*

Nivel de amenaza sísmica	Nivel de desempeño del edificio			
	Operacional	Ocupación Inmediata	Seguridad de Vida	Prevención de Colapso
Sismo Raro		X	Y	
Sismo Muy Raro			X-Y	
Sismo Máximo Considerado			X	Y

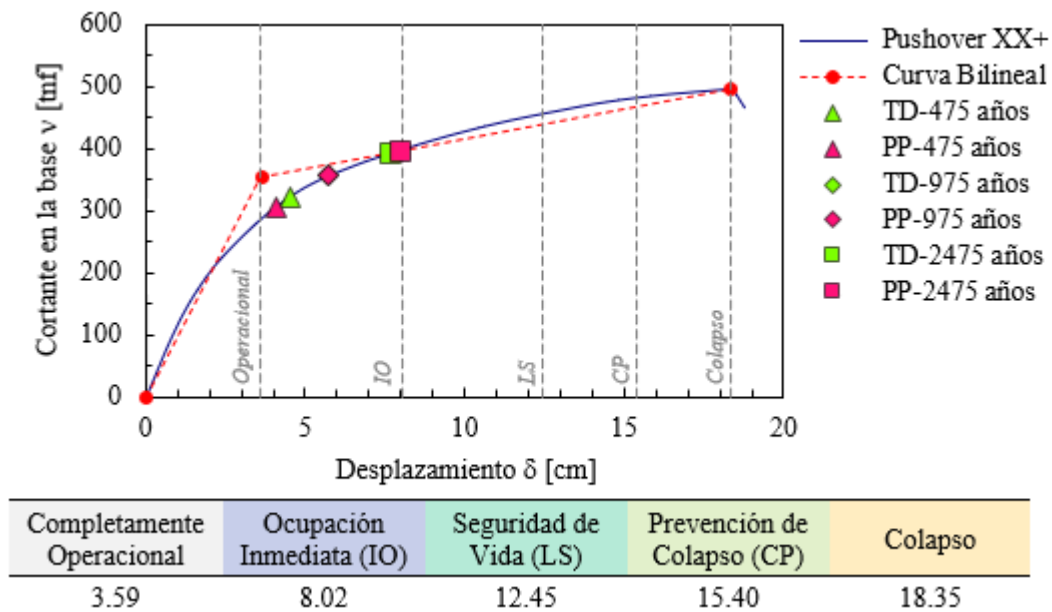
Los resultados muestran que, el nivel de desempeño del bloque A2 frente a un Sismo Raro en la dirección longitudinal corresponde al objetivo de desempeño esperado, mientras que la dirección transversal alcanza un nivel inferior. Sin embargo, en un Sismo Muy Raro, los niveles en ambas direcciones corresponden al objetivo de desempeño esperado. En cuanto a un Sismos Máximo Considerado, la dirección longitudinal supera el nivel esperado, mientras que la dirección transversal alcanza el objetivo previsto.

**Bloque B1**

La Figura 84 muestra la evaluación del nivel de desempeño en la dirección longitudinal del bloque B1, empleando los métodos definidos por el FEMA 440 y el ASCE/SEI 41-17. Por su parte, la Tabla 50 muestra los valores de desplazamiento en la azotea y cortante en la base correspondientes a los puntos de interés de la curva bilineal.

**Figura 84**

*Evaluación del nivel de desempeño en la dirección longitudinal del bloque B1*



**Tabla 50**

*Puntos de interés de la curva bilineal en la dirección longitudinal del bloque B1*

Puntos de interés	Desplazamiento en la azotea (cm)	Cortante en la base (tnf)
Diseño	0.98	115.78
Primera rótula	1.11	129.46
Cedencia efectiva	3.59	353.82
Colapso	18.35	495.08

Se observó que, para ambos métodos, el edificio alcanzó los niveles de desempeño de Ocupación Inmediata (IO) para un Sismo Raro, un Sismo Muy Raro y un Sismo Máximo Considerado.

En cuanto a la cortante de diseño, los resultados mostraron que se encuentra en el rango elástico, siendo un 67% inferior que la cortante de cedencia efectiva y un 77% inferior a la cortante última. Además, el sistema presentó una ductilidad estructural de 5.11 y una sobrerresistencia de 3.06.

**Tabla 51**

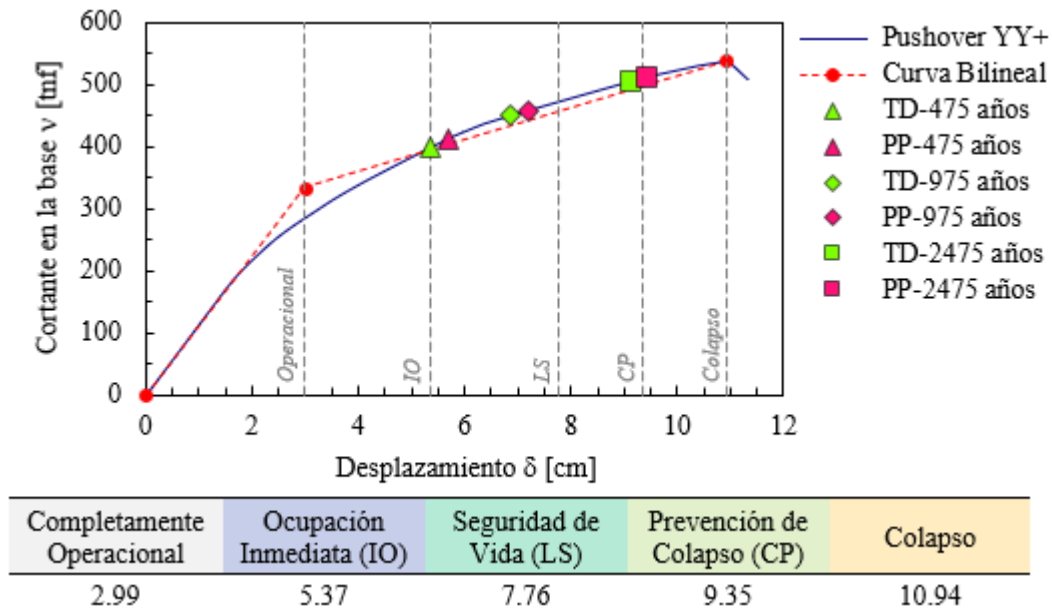
*Variación de la ductilidad en la dirección longitudinal del bloque B1*

Nivel de amenaza sísmica	Punto de desempeño (FEMA 440)		Desplazamiento objetivo (ASCE/SEI 41-17)	
	$\mu d$	$\mu d/\mu$ (%)	$\mu d$	$\mu d/\mu$ (%)
Raro	2.78	54.40	2.88	56.36
Muy raro	3.11	60.86	3.11	60.86
Máximo considerado	3.42	66.93	3.35	65.56

En la dirección transversal, la Figura 85 muestra la evaluación del nivel de desempeño del bloque B1, empleando los métodos definidos por el FEMA 440 y el ASCE/SEI 41-17. La Tabla 52 muestra los valores de desplazamiento en la azotea y cortante en la base correspondientes a los puntos de interés de la curva bilineal.

**Figura 85**

*Evaluación del nivel de desempeño en la dirección transversal del bloque B1*



**Tabla 52**

*Puntos de interés de la curva bilineal en la dirección transversal del bloque B1*

<b>Puntos de interés</b>	<b>Desplazamiento en la azotea (cm)</b>	<b>Cortante en la base (tnf)</b>
Diseño	1.03	117.48
Primera rótula	1.51	171.73
Cedencia efectiva	2.99	333.72
Colapso	10.94	536.62

Se observó que, ante un Sismo Raro, el edificio alcanzó un nivel de desempeño de Ocupación Inmediata (IO) empleando el método de Coeficientes y de Seguridad de Vida (LS) con el método de Linealización Equivalente. En un Sismo Muy Raro, ambos métodos presentaron un nivel de Seguridad de Vida (LS). En un Sismo Máximo Considerado, el método de Coeficientes alcanzó el nivel de Prevención de Colapso (CP), mientras que el método de Linealización Equivalente logró un nivel de Colapso.

Respecto a la cortante de diseño, los resultados mostraron que se encuentra en el rango elástico, siendo un 65% inferior que la cortante de cedencia efectiva y un 78% inferior a la cortante última. Además, el sistema presentó una ductilidad estructural de 3.66 y una sobrerresistencia de 2.84.

**Tabla 53**

*Variación de la ductilidad en la dirección transversal del bloque B1*

<b>Nivel de amenaza sísmica</b>	<b>Punto de desempeño (FEMA 440)</b>		<b>Desplazamiento objetivo (ASCE/SEI 41-17)</b>	
	$\mu d$	$\mu d/\mu$ (%)	$\mu d$	$\mu d/\mu$ (%)
Raro	2.64	72.13	2.50	68.31
Muy raro	2.96	80.87	2.89	78.96
Máximo considerado	3.49	95.36	3.42	93.44

La matriz de desempeño se definió considerando los valores más desfavorables en cada caso. En la dirección longitudinal, se utilizaron los valores

obtenidos del método de Coeficientes, mientras que en la dirección transversal se optó por los valores derivados del método de Linealización Equivalente. La Tabla 54 contrasta los niveles de desempeño alcanzados en ambas direcciones con los objetivos de desempeño esperados.

**Tabla 54***Matriz de desempeño del bloque B1*

Nivel de amenaza sísmica	Nivel de desempeño del edificio			
	Operacional	Ocupación Inmediata	Seguridad de Vida	Prevención de Colapso
Sismo Raro		X	Y	
Sismo Muy Raro		X	Y	
Sismo Máximo Considerado		X		Y

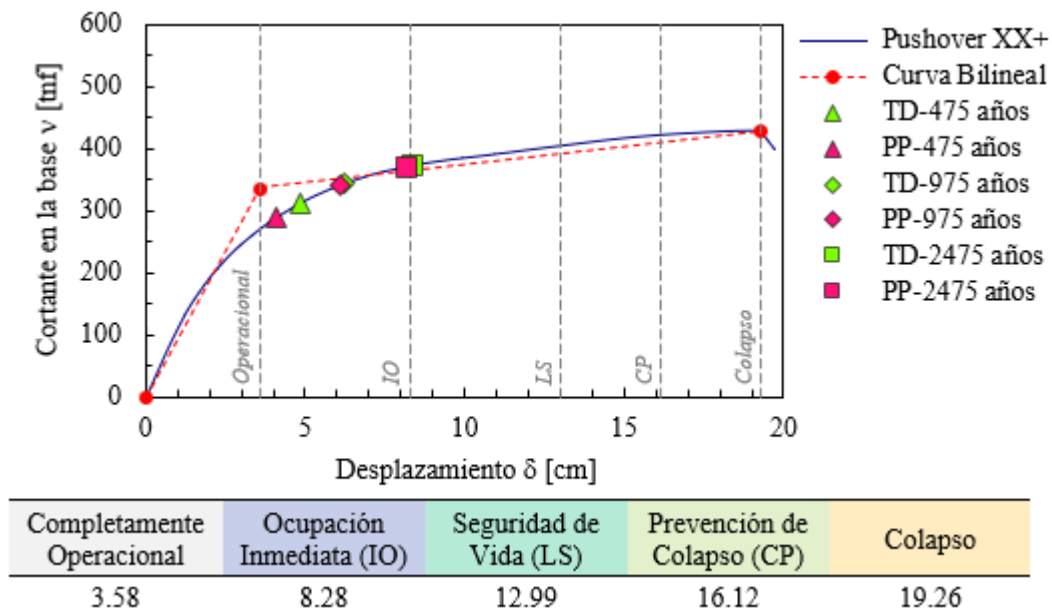
Los resultados muestran que, frente a un Sismo Raro, el nivel de desempeño del bloque B1 en la dirección longitudinal corresponde al objetivo de desempeño esperado, mientras que la dirección transversal alcanza un nivel inferior. En un Sismo Muy Raro, la dirección longitudinal supera el nivel esperado y la dirección transversal alcanza el nivel previsto. En cuanto a un Sismos Máximo Considerado, la dirección longitudinal supera notablemente el nivel de desempeño esperado y la dirección transversal alcanza el objetivo previsto.

**Bloque B2**

La Figura 86 muestra la evaluación del nivel de desempeño en la dirección longitudinal del bloque B2, empleando los métodos definidos por el FEMA 440 y el ASCE/SEI 41-17. Por su parte, la Tabla 55 muestra los valores de desplazamiento en la azotea y cortante en la base correspondientes a los puntos de interés de la curva bilineal.

**Figura 86**

*Evaluación del nivel de desempeño en la dirección longitudinal del bloque B2*



**Tabla 55**

*Puntos de interés de la curva bilineal en la dirección longitudinal del bloque B2*

Puntos de interés	Desplazamiento en la azotea (cm)	Cortante en la base (tnf)
Diseño	1.05	116.45
Primera rótula	1.22	133.40
Cedencia efectiva	3.58	337.25
Colapso	19.26	428.32

Se observó que, para ambos métodos, el edificio alcanzó los niveles de desempeño de Ocupación Inmediata (IO) para un Sismo Raro y un Sismo Muy Raro. Sin embargo, ante un Sismo Máximo Considerado alcanzó un nivel de Ocupación Inmediata (IO) con el método de Linealización Equivalente y de Seguridad de Vida (LS) con el método de los Coeficientes.

En cuanto a la cortante de diseño, los resultados mostraron que se encuentra en el rango elástico, siendo un 65% inferior que la cortante de cedencia efectiva y un 73% inferior a la cortante última. Además, el sistema presentó una ductilidad estructural de 5.38 y una sobrerresistencia de 2.90.

**Tabla 56**

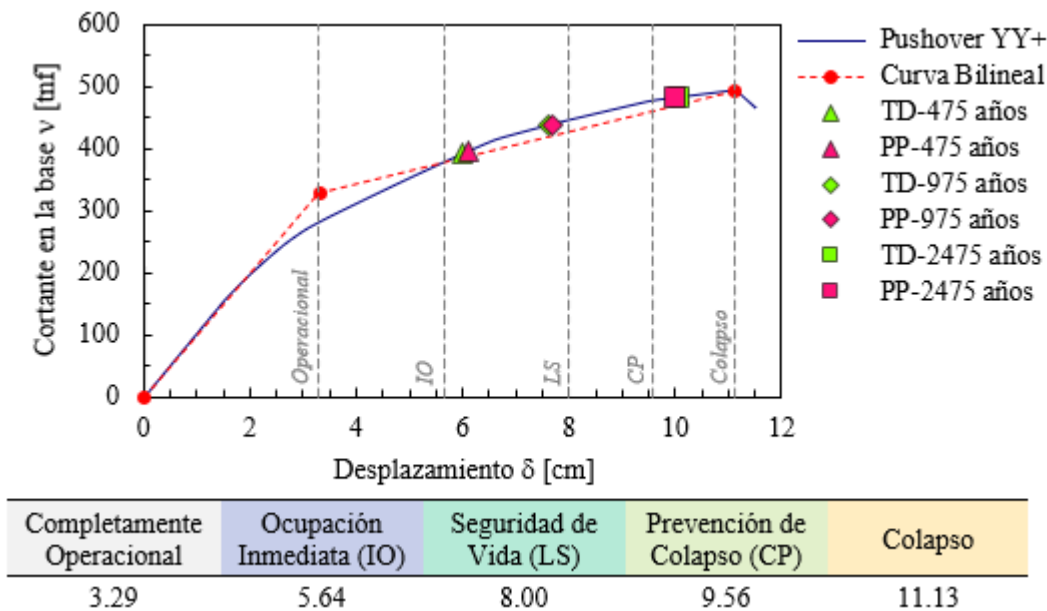
*Variación de la ductilidad en la dirección longitudinal del bloque B2*

Nivel de amenaza sísmica	Punto de desempeño (FEMA 440)		Desplazamiento objetivo (ASCE/SEI 41-17)	
	$\mu d$	$\mu d/\mu$ (%)	$\mu d$	$\mu d/\mu$ (%)
Raro	2.56	47.58	2.79	51.86
Muy raro	3.12	57.99	3.14	58.36
Máximo considerado	3.43	63.75	3.45	64.13

En la dirección transversal, la Figura 87 muestra la evaluación del nivel de desempeño del bloque B2, empleando los métodos definidos por el FEMA 440 y el ASCE/SEI 41-17. La Tabla 57 muestra los valores de desplazamiento en la azotea y cortante en la base correspondientes a los puntos de interés de la curva bilineal.

**Figura 87**

*Evaluación del nivel de desempeño en la dirección transversal del bloque B2*



**Tabla 57**

*Puntos de interés de la curva bilineal en la dirección transversal del bloque B2*

Puntos de interés	Desplazamiento en la azotea (cm)	Cortante en la base (tnf)
Diseño	1.21	124.75
Primera rótula	1.55	159.21
Cedencia efectiva	3.29	328.05
Colapso	11.13	493.86

Se observó que, para ambos métodos, el edificio alcanzó los niveles de desempeño de Seguridad de Vida (LS) para un Sismo Raro y un Sismo Muy Raro. Sin embargo, ante un Sismo Máximo Considerado alcanzó el nivel de Colapso.

En cuanto a la cortante de diseño, los resultados mostraron que se encuentra en el rango elástico, siendo un 62% inferior que la cortante de cedencia efectiva y un 75% inferior a la cortante última. Además, el sistema presentó una ductilidad estructural de 3.38 y una sobrerresistencia de 2.63.

**Tabla 58**

*Variación de la ductilidad en la dirección transversal del bloque B2*

Nivel de amenaza sísmica	Punto de desempeño (FEMA 440)		Desplazamiento objetivo (ASCE/SEI 41-17)	
	$\mu_d$	$\mu_d/\mu$ (%)	$\mu_d$	$\mu_d/\mu$ (%)
Raro	2.65	78.40	2.62	77.51
Muy raro	2.96	87.57	2.99	88.46
Máximo considerado	3.29	97.34	3.29	97.34

La matriz de desempeño se definió considerando los valores más desfavorables en cada caso. En la dirección longitudinal, se utilizaron los valores obtenidos del método de Coeficientes, mientras que en la dirección transversal se optó por los valores derivados del método de Linealización Equivalente. La Tabla 59 contrasta los niveles de desempeño alcanzados en ambas direcciones con los objetivos de desempeño esperados.

**Tabla 59***Matriz de desempeño del bloque B2*

Nivel de amenaza sísmica	Nivel de desempeño del edificio			
	Operacional	Ocupación Inmediata	Seguridad de Vida	Prevención de Colapso
Sismo Raro		X	Y	
Sismo Muy Raro		X	Y	
Sismo Máximo Considerado			X	Y

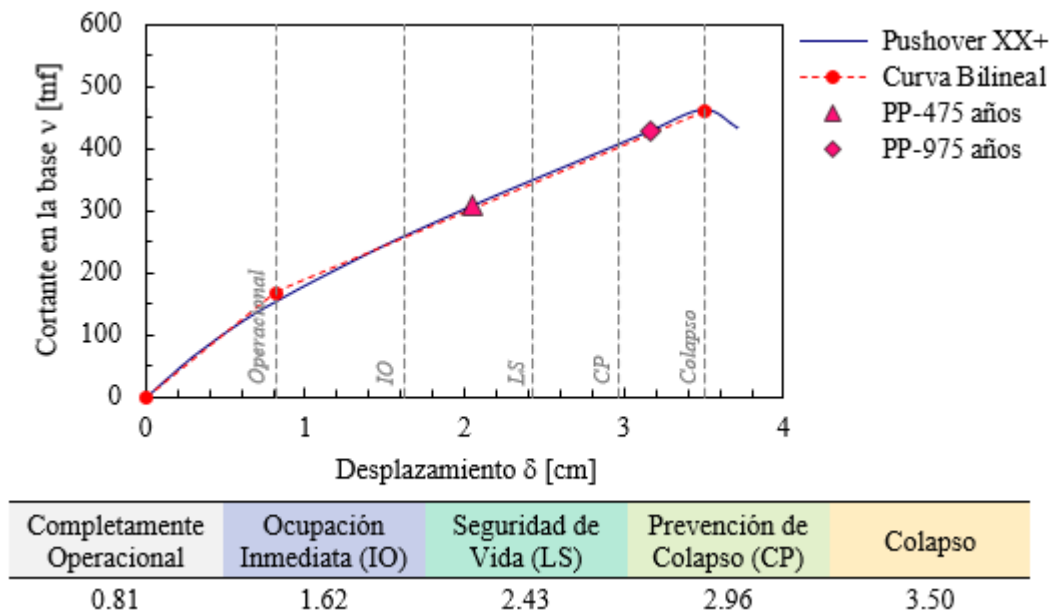
Los resultados muestran que, frente a un Sismo Raro, el nivel de desempeño del bloque B2 en la dirección longitudinal corresponde al objetivo de desempeño esperado, mientras que la dirección transversal alcanza un nivel inferior. Sin embargo, en un Sismo Muy Raro y un Sismos Máximo Considerado, la dirección longitudinal supera el nivel esperado y la dirección transversal alcanza el objetivo previsto.

**Bloque C**

La Figura 88 muestra la evaluación del nivel de desempeño en la dirección longitudinal del bloque C, empleando el método definido por el FEMA 440. Por su parte, la Tabla 60 muestra los valores de desplazamiento en la azotea y cortante en la base correspondientes a los puntos de interés de la curva bilineal.

**Figura 88**

*Evaluación del nivel de desempeño en la dirección longitudinal del bloque C*



**Tabla 60**

*Puntos de interés de la curva bilineal en la dirección longitudinal del bloque C*

Puntos de interés	Desplazamiento en la azotea (cm)	Cortante en la base (tnf)
Diseño	0.30	65.54
Primera rótula	0.32	75.07
Cedencia efectiva	0.81	168.94
Colapso	3.50	461.77

Se observó que el edificio alcanzó un nivel de desempeño de Seguridad de Vida (LS) frente a un Sismo Raro y de Colapso ante un Sismo Muy Raro.

Respecto a la cortante de diseño, los resultados mostraron que se encuentra en el rango elástico, siendo un 61% inferior que la cortante de cedencia efectiva y un 86% inferior a la cortante última. Además, el sistema presentó una ductilidad estructural de 4.30 y una sobrerresistencia de 2.58.

**Tabla 61**

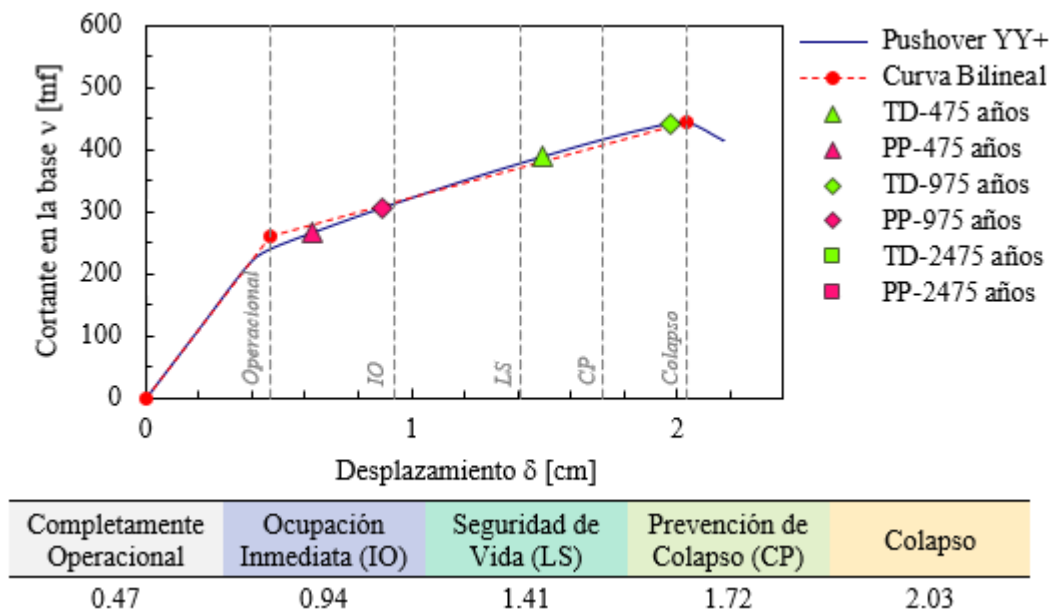
*Variación de la ductilidad en la dirección longitudinal del bloque C*

Nivel de amenaza sísmica	Punto de desempeño (FEMA 440)	
	$\mu d$	$\mu d/\mu$ (%)
Raro	3.18	73.95
Muy raro	4.00	93.02

En la dirección transversal, la Figura 89 muestra la evaluación del nivel de desempeño del bloque C, empleando los métodos definidos por el FEMA 440 y el ASCE/SEI 41-17. La Tabla 62 muestra los valores de desplazamiento en la azotea y cortante en la base correspondientes a los puntos de interés de la curva bilineal.

**Figura 89**

*Evaluación del nivel de desempeño en la dirección transversal del bloque C*



**Tabla 62**

*Puntos de interés de la curva bilineal en la dirección transversal del bloque C*

<b>Puntos de interés</b>	<b>Desplazamiento en la azotea (cm)</b>	<b>Cortante en la base (tnf)</b>
Diseño	0.13	72.18
Primera rótula	0.38	210.05
Cedencia efectiva	0.47	260.56
Colapso	2.03	444.47

Se observó que, empleando el método de Linealización Equivalente, el edificio alcanzó el nivel de desempeño de Ocupación Inmediata (IO) para un Sismo Raro y un Sismo Muy Raro, mientras que el método de los Coeficientes alcanzó el nivel de desempeño de Prevención de Colapso (CP) para un Sismo Raro y el nivel de Colapso para un Sismo Muy Raro.

Respecto a la cortante de diseño, los resultados mostraron que se encuentra en el rango elástico, siendo un 72% inferior que la cortante de cedencia efectiva y un 84% inferior a la cortante última. Además, el sistema presentó una ductilidad estructural de 4.37 y una sobrerresistencia de 3.61.

**Tabla 63**

*Variación de la ductilidad en la dirección transversal del bloque C*

<b>Nivel de amenaza sísmica</b>	<b>Punto de desempeño (FEMA 440)</b>		<b>Desplazamiento objetivo (ASCE/SEI 41-17)</b>	
	<b><math>\mu_d</math></b>	<b><math>\mu_d/\mu</math> (%)</b>	<b><math>\mu_d</math></b>	<b><math>\mu_d/\mu</math> (%)</b>
Raro	1.55	35.47	3.47	79.41
Muy raro	2.15	49.20	4.31	98.63

La matriz de desempeño se definió considerando los valores más desfavorables en cada caso. En la dirección longitudinal, se utilizaron los valores obtenidos del método de Linealización Equivalente, mientras que en la dirección transversal se optó por los valores derivados del método de Coeficientes. La

Tabla 64 contrasta los niveles de desempeño alcanzados en ambas direcciones con los objetivos de desempeño esperados.

#### Tabla 64

*Matriz de desempeño del bloque C*

Nivel de amenaza sísmica	Nivel de desempeño del edificio			
	Operacional	Ocupación Inmediata	Seguridad de Vida	Prevención de Colapso
Sismo Raro			X	Y
Sismo Muy Raro				X-Y

Los resultados muestran que, en ambas direcciones, los niveles de desempeño del bloque C ante un Sismo Raro y un Sismo Muy Raro fueron inferiores al objetivo esperado.

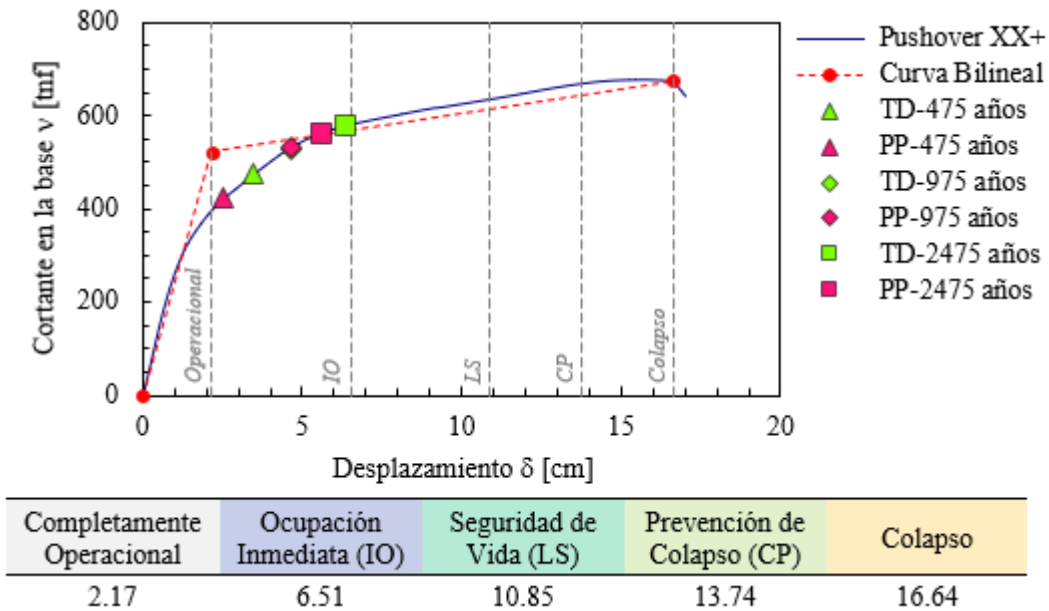
#### ***Bloque Primaria***

La Figura 90 muestra la evaluación del nivel de desempeño en la dirección longitudinal del bloque Primaria, empleando los métodos definidos por el FEMA 440 y el ASCE/SEI 41-17. Por su parte, la Tabla 65 muestra los valores de desplazamiento en la azotea y cortante en la base correspondientes a los puntos de interés de la curva bilineal.

**Figura 90**

*Evaluación del nivel de desempeño en la dirección longitudinal del bloque*

*Primaria*



**Tabla 65**

*Puntos de interés de la curva bilineal en la dirección longitudinal del bloque*

*Primaria*

Puntos de interés	Desplazamiento en la azotea (cm)	Cortante en la base (tnf)
Diseño	0.57	164.36
Primera rótula	0.83	229.10
Cedencia efectiva	2.17	522.02
Colapso	16.64	673.33

Se observó que, para ambos métodos, el edificio alcanzó el nivel de desempeño de Ocupación Inmediata (IO) para un Sismo Raro, un Sismo Muy Raro y un Sismo Máximo Considerado.

En cuanto a la cortante de diseño, los resultados mostraron que se encuentra en el rango elástico, siendo un 69% inferior que la cortante de cedencia efectiva y un 76% inferior a la cortante última. Además, el sistema presentó una ductilidad estructural de 7.66 y una sobrerresistencia de 3.18.

**Tabla 66**

*Variación de la ductilidad en la dirección longitudinal del bloque Primaria*

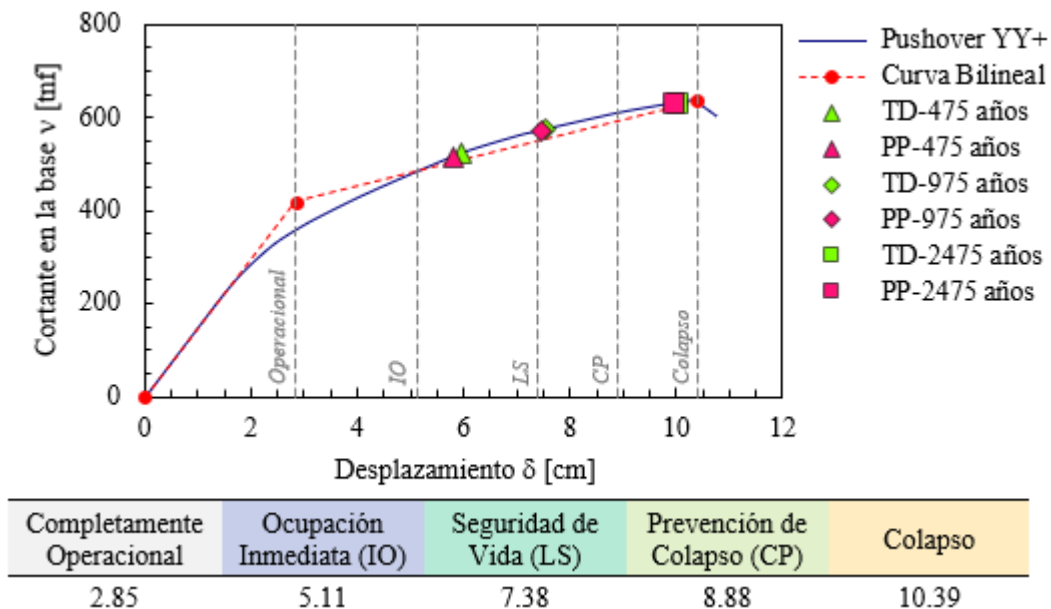
Nivel de amenaza sísmica	Punto de desempeño (FEMA 440)		Desplazamiento objetivo (ASCE/SEI 41-17)	
	$\mu d$	$\mu d/\mu$ (%)	$\mu d$	$\mu d/\mu$ (%)
Raro	2.59	33.81	3.14	40.99
Muy raro	3.89	50.78	3.87	50.52
Máximo considerado	4.31	56.27	4.59	59.92

En la dirección transversal, la Figura 91 muestra la evaluación del nivel de desempeño del bloque Primaria, empleando los métodos definidos por el FEMA 440 y el ASCE/SEI 41-17. La Tabla 67 muestra los valores de desplazamiento en la azotea y cortante en la base correspondientes a los puntos de interés de la curva bilineal.

**Figura 91**

*Evaluación del nivel de desempeño en la dirección transversal del bloque*

*Primaria*



**Tabla 67**

*Puntos de interés de la curva bilineal en la dirección transversal del bloque*

*Primaria*

Puntos de interés	Desplazamiento en la azotea (cm)	Cortante en la base (tnf)
Diseño	1.09	163.10
Primera rótula	1.35	201.51
Cedencia efectiva	2.85	418.45
Colapso	10.39	633.10

Se observó que, para ambos métodos, el edificio alcanzó los niveles de desempeño de Seguridad de Vida (LS) para un Sismo Raro, de Prevención de Colapso (CP) para un Sismo Muy Raro y de Colapso para un Sismo Máximo Considerado.

En cuanto a la cortante de diseño, los resultados mostraron que se encuentra en el rango elástico, siendo un 61% inferior que la cortante de cedencia efectiva y un 74% inferior a la cortante última. Además, el sistema presentó una ductilidad estructural de 3.65 y una sobrerresistencia de 2.57.

**Tabla 68**

*Variación de la ductilidad en la dirección transversal del bloque Primaria*

Nivel de amenaza sísmica	Punto de desempeño (FEMA 440)		Desplazamiento objetivo (ASCE/SEI 41-17)	
	$\mu_d$	$\mu_d/\mu$ (%)	$\mu_d$	$\mu_d/\mu$ (%)
Raro	2.72	74.52	2.66	72.88
Muy raro	3.12	85.48	3.10	84.93
Máximo considerado	3.65	100.00	3.65	100.00

La matriz de desempeño se definió considerando los valores más desfavorables en cada caso. En la dirección longitudinal, se utilizaron los valores obtenidos del método de Coeficientes, mientras que en la dirección transversal se optó por los valores derivados del método de Linealización Equivalente. La Tabla

69 contrasta los niveles de desempeño alcanzados en ambas direcciones con los objetivos de desempeño esperados.

**Tabla 69**

*Matriz de desempeño del bloque Primaria*

Nivel de amenaza sísmica	Nivel de desempeño del edificio			
	Operacional	Ocupación Inmediata	Seguridad de Vida	Prevención de Colapso
Sismo Raro		X	Y	
Sismo Muy Raro		X		Y
Sismo Máximo Considerado			X	Y

Los resultados muestran que, ante un Sismo Raro, el nivel de desempeño del bloque Primaria en la dirección longitudinal corresponde al objetivo de desempeño esperado, mientras que en la dirección transversal alcanza un nivel inferior. En un Sismo Muy Raro, la dirección longitudinal supera el nivel esperado y la dirección transversal alcanza un nivel inferior. En cuanto a un Sismos Máximo Considerado, la dirección longitudinal supera el nivel esperado, y la dirección transversal logra el objetivo previsto.

#### 4.3.4 Nivel de Desempeño Local

Para el análisis de formación de rótulas plásticas en los puntos de desempeño, se emplearon los valores obtenidos del método de Coeficientes para la dirección longitudinal y el método de Linealización Equivalente para la dirección transversal, de forma similar a lo realizado en la evaluación del desempeño global.

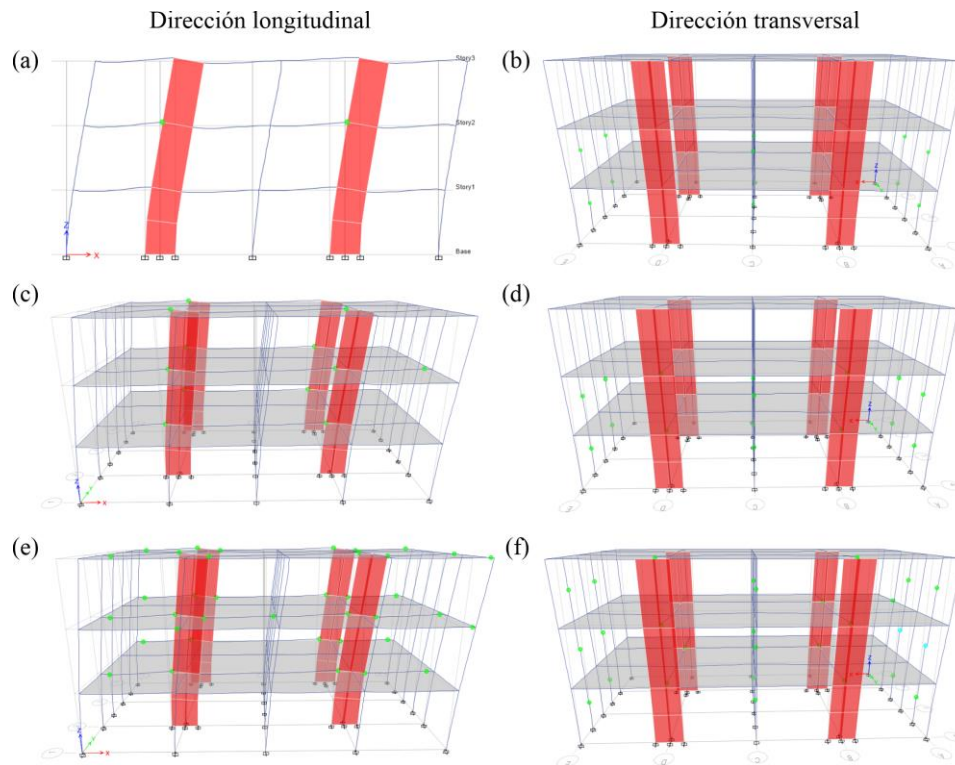
#### ***Bloque A1***

La Figura 92 muestra la formación de rótulas plásticas en los puntos de desempeño para cada uno de los niveles de peligro sísmico considerados. Las rótulas de color verde indican la transición de un estado de Ocupación Inmediata

(IO) a un estado de Seguridad de Vida (LS), mientras que las rótulas de color celeste representan aquellas que han superado el estado de Seguridad de Vida (LS) e incursionan hacia un estado de Prevención de Colapso (CP).

## Figura 92

### Formación de rótulas plásticas en el bloque A1



Nota. a) TD-475 años. b) PP-475 años. c) TD-975 años. d) PP-975 años. e) TD-2475 años. f) PP-2475 años.

La primera incursión en el rango inelástico en la dirección longitudinal se produce en el extremo derecho de la viga en el eje 2 del segundo nivel, con un desplazamiento de 1.54 cm. A medida que la carga aumenta, un mayor número de vigas en el segundo nivel presentan deformaciones inelásticas, generando rótulas y redistribuyendo las fuerzas internas hacia las columnas y muros. Esto provoca un incremento en las deformaciones de las bases de las columnas en los ejes 2 y 4 del primer nivel. Los muros estructurales, por su parte, sufren un mayor

daño en el primer nivel, con la formación de rótulas ocurriendo antes que en las columnas.

En la dirección transversal, la Figura 92 muestra que la primera incursión en el rango inelástico se produce en una viga en el eje B del tercer nivel, con un desplazamiento de 1.52 cm. A medida que la carga aumenta, un mayor número de vigas en el segundo nivel presentan deformaciones inelásticas, mientras que las columnas apenas sufren daño en los tres niveles. Los muros de albañilería confinada, por su parte, experimentan un daño significativo en el segundo nivel, iniciando el proceso de colapso.

La Tabla 70 y Tabla 71 resumen la formación de rótulas plásticas por nivel de desempeño para cada elemento estructural.

**Tabla 70**

*Nivel de desempeño por componentes en la dirección longitudinal del bloque A1*

Nivel de amenaza sísmica	Desplaz. objetivo (cm)	Elemento estructural	Rótulas plásticas por niveles de desempeño				Número total de rótulas
			B	IO	LS	CP	
Sismo Raro	6.90	Vigas	53	2	-	-	65
		Columnas	8	-	-	-	
		Muros	4	-	-	-	
Sismo Muy Raro	8.97	Vigas	64	12	-	-	85
		Columnas	17	-	-	-	
		Muros	4	-	-	-	
Sismo Máximo Considerado	12.16	Vigas	70	38	-	-	99
		Columnas	25	-	-	-	
		Muros	4	-	-	-	

*Nota.* Los elementos tipo fibra se clasificaron como rótulas cuando alguna de sus fibras superó la deformación por fluencia.

**Tabla 71***Nivel de desempeño por componentes en la dirección transversal del bloque A1*

Nivel de amenaza sísmica	Desplaz. objetivo (cm)	Elemento estructural	Rótulas plásticas por niveles de desempeño				Número total de rótulas
			B	IO	LS	CP	
Sismo Raro	5.36	Vigas	36	-	-	-	52
		Columnas	4	-	-	-	
		Muros de albañilería	12	12	-	-	
Sismo Muy Raro	7.17	Vigas	42	4	-	-	67
		Columnas	9	-	-	-	
		Muros de albañilería	16	12	-	-	
Sismo Máximo Considerado	9.32	Vigas	42	9	1	-	74
		Columnas	14	-	-	-	
		Muros de albañilería	18	16	2	-	

El análisis en la dirección longitudinal revela que los elementos más comprometidos son las vigas, puesto que éstas alcanzaron un nivel de Ocupación Inmediata (IO), mientras que los muros estructurales y columnas apenas incursionaron en el rango inelástico.

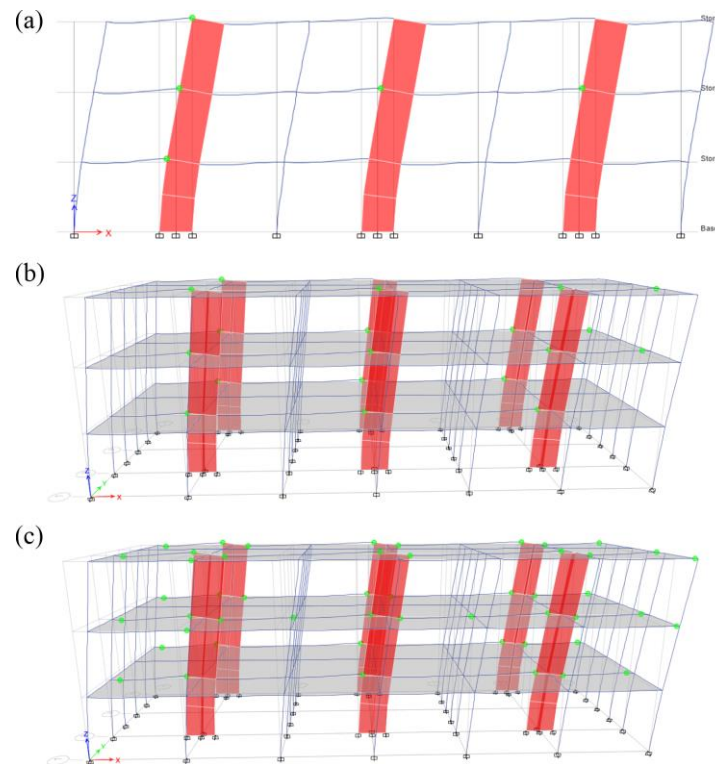
En la dirección transversal, el análisis reveló que los elementos más comprometidos son los muros portantes y las vigas, ya que alcanzaron el nivel de Seguridad de Vida (LS), mientras que las columnas apenas incursionaron en el rango inelástico.

### **Bloque A2**

La Figura 93 muestra la formación de rótulas plásticas en los puntos de desempeño en la dirección longitudinal para cada uno de los niveles de peligro sísmico considerados.

**Figura 93**

*Formación de rótulas plásticas en la dirección longitudinal del bloque A2*

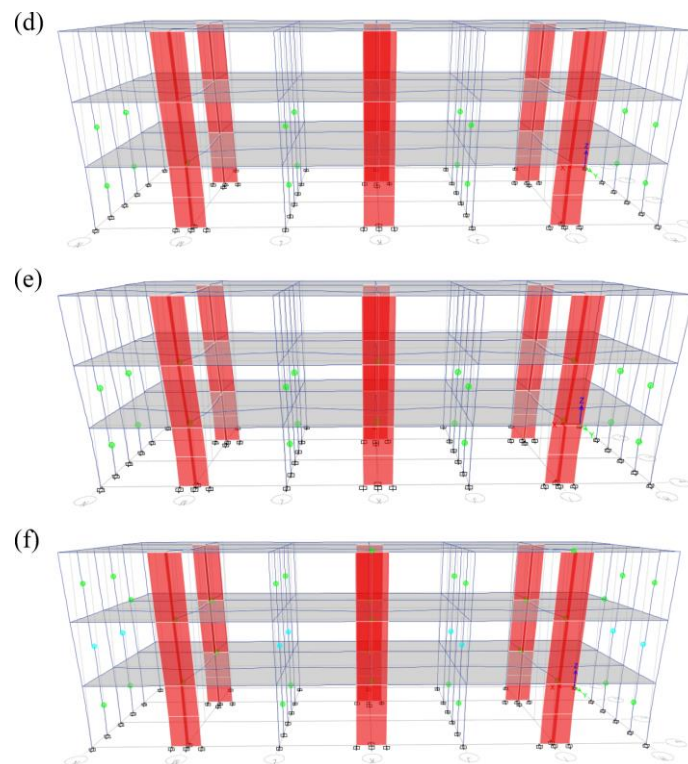


*Nota.* a) TD-475 años. b) TD-975 años. c) TD-2475 años.

La primera incursión en el rango inelástico en la dirección longitudinal se produce con la formación de una rótula plástica en el eje 2 del segundo nivel, con un desplazamiento de 1.58 cm. A medida que la carga aumenta, un mayor número de vigas en el segundo nivel presentan deformaciones inelásticas, generando rótulas y redistribuyendo las fuerzas internas hacia las columnas y muros. Esto provoca un incremento en las deformaciones de las bases de las columnas en los ejes 2 y 4 del primer nivel. Los muros estructurales, por su parte, experimentan un mayor daño en el primer nivel.

**Figura 94**

*Formación de rótulas plásticas en la dirección transversal del bloque A2*



*Nota.* d) PP-475 años. e) PP-975 años. f) PP-2475 años.

En la dirección transversal, la primera incursión en el rango inelástico se produce con la formación de una rótula plástica en una viga en el eje M del primer nivel, con un desplazamiento de 1.40 cm. A medida que la carga aumenta, un mayor número de vigas en el segundo nivel presentan deformaciones inelásticas, mientras que las columnas apenas sufren daño en los tres niveles. En cuanto a los muros de albañilería confinada, se observó que estos presentan un daño significativo en el segundo nivel, lo que da inicio al proceso de colapso.

La Tabla 72 y Tabla 73 resumen la formación de rótulas plásticas por nivel de desempeño para cada elemento estructural.

**Tabla 72***Nivel de desempeño por componentes en la dirección longitudinal del bloque A2*

Nivel de amenaza sísmica	Desplaz. objetivo (cm)	Elemento estructural	Rótulas plásticas por niveles de desempeño				Número total de rótulas
			B	IO	LS	CP	
Sismo Raro	7.08	Vigas	80	5	-	-	102
		Columnas	16	-	-		
		Muros	6	-	-		
Sismo Muy Raro	9.24	Vigas	94	19	-	-	128
		Columnas	28	-	-		
		Muros	6	-	-		
Sismo Máximo Considerado	12.53	Vigas	102	50	-	-	146
		Columnas	38	-	-		
		Muros	6	-	-		

**Tabla 73***Nivel de desempeño por componentes en la dirección transversal del bloque A2*

Nivel de amenaza sísmica	Desplaz. objetivo (cm)	Elemento estructural	Rótulas plásticas por niveles de desempeño				Número total de rótulas
			B	IO	LS	CP	
Sismo Raro	5.92	Vigas	47	1	-	-	72
		Columnas	9	-	-		
		Muros de albañilería	16	16	-	-	
Sismo Muy Raro	7.55	Vigas	58	6	-	-	97
		Columnas	15	-	-		
		Muros de albañilería	24	16	-	-	
Sismo Máximo Considerado	9.72	Vigas	60	16	-	-	104
		Columnas	20	-	-		
		Muros de albañilería	24	16	8	-	

El análisis en la dirección longitudinal revela que los elementos más comprometidos son las vigas, puesto que éstas alcanzaron un nivel de Ocupación Inmediata (IO), mientras que los muros estructurales y columnas apenas incursionaron en el rango inelástico. Por otro lado, en la dirección transversal, el análisis reveló que los elementos más comprometidos son los muros portantes y las vigas, ya que alcanzaron el nivel de Seguridad de Vida (LS) y Ocupación

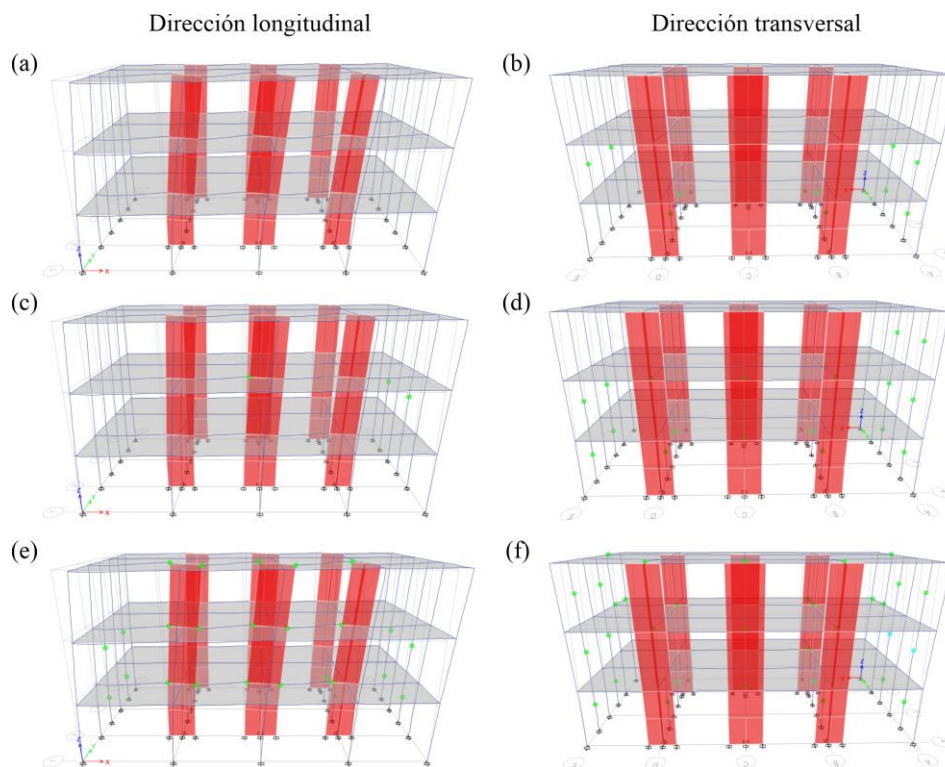
Inmediata (IO), respectivamente. Las columnas apenas incursionaron en el rango inelástico.

## **Bloque B1**

La Figura 95 muestra la formación de rótulas plásticas en los puntos de desempeño para cada uno de los niveles de peligro sísmico considerados.

### **Figura 95**

#### *Formación de rótulas plásticas en el bloque B1*



*Nota.* a) TD-475 años. b) PP-475 años. c) TD-975 años. d) PP-975 años. e) TD-2475 años. f) PP-2475 años.

La primera incursión en el rango inelástico en la dirección longitudinal se produce con la formación de una rótula plástica en el eje 2 del segundo nivel, con un desplazamiento de 1.11 cm. A medida que la carga aumenta, un mayor número de vigas en el segundo y tercer nivel presentan deformaciones inelásticas, generando rótulas y redistribuyendo las fuerzas internas hacia las

columnas y muros. Las columnas y muros estructurales, por su parte, experimentaron un mayor daño en el primer nivel.

En cuanto a la dirección transversal, se observó que la primera incursión en el rango inelástico se produce con la formación de una rótula plástica en una viga en el eje B del segundo nivel, con un desplazamiento de 1.51 cm. A medida que la carga aumenta, un mayor número de vigas en el segundo y tercer nivel presentaron deformaciones inelásticas, mientras que las columnas apenas sufrieron daño en los dos primeros niveles. Respecto a los muros de albañilería confinada, se observó que estos presentaron daño significativo en los tres niveles, siendo el segundo el más crítico.

La Tabla 74 y Tabla 75 resumen la formación de rótulas plásticas por nivel de desempeño para cada elemento estructural.

**Tabla 74**

*Nivel de desempeño por componentes en la dirección longitudinal del bloque B1*

Nivel de amenaza sísmica	Desplaz. objetivo (cm)	Elemento estructural	Rótulas plásticas por niveles de desempeño				Número total de rótulas
			B	IO	LS	CP	
Sismo Raro	4.50	Vigas	40	-	-	-	45
		Columnas	5	-	-	-	
		Muros	-	-	-	-	
Sismo Muy Raro	5.75	Vigas	57	1	-	-	70
		Columnas	10	-	-	-	
		Muros	3	-	-	-	
Sismo Máximo Considerado	7.69	Vigas	68	15	-	-	92
		Columnas	21	-	-	-	
		Muros	3	-	-	-	

Tabla 75

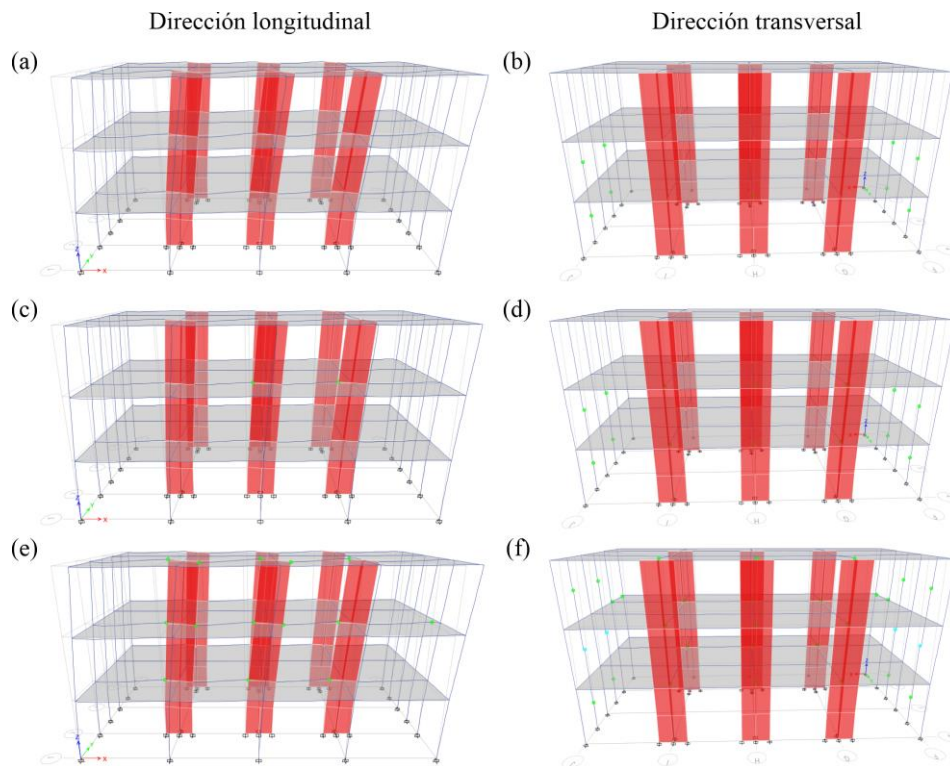
*Nivel de desempeño por componentes en la dirección transversal del bloque B1*

Nivel de amenaza sísmica	Desplaz. objetivo (cm)	Elemento estructural	Rótulas plásticas por niveles de desempeño				Número total de rótulas
			B	IO	LS	CP	
Sismo Raro	5.69	Vigas	37	-	-	-	53
		Columnas	2	-	-	-	
		Muros de albañilería	14	10	-	-	
Sismo Muy Raro	7.20	Vigas	42	4	-	-	67
		Columnas	9	-	-	-	
		Muros de albañilería	16	14	-	-	
Sismo Máximo Considerado	9.44	Vigas	44	17	-	-	72
		Columnas	12	-	-	-	
		Muros de albañilería	16	14	2	-	

El análisis en la dirección longitudinal revela que los elementos más comprometidos son las vigas, puesto que éstas alcanzaron un nivel de Ocupación Inmediata (IO), mientras que los muros estructurales y columnas apenas incursionaron en el rango inelástico. Por otro lado, en la dirección transversal, el análisis indica que los elementos más comprometidos son los muros portantes y las vigas, ya que alcanzaron los niveles de Seguridad de Vida (LS) y Ocupación Inmediata (IO), respectivamente. Las columnas apenas incursionaron en el rango inelástico.

### **Bloque B2**

La Figura 96 muestra la formación de rótulas plásticas en los puntos de desempeño para cada uno de los niveles de peligro sísmico considerados.

**Figura 96***Formación de rótulas plásticas en el bloque B2*

*Nota.* a) TD-475 años. b) PP-475 años. c) TD-975 años. d) PP-975 años. e) TD-2475 años. f) PP-2475 años.

La primera incursión en el rango inelástico en la dirección longitudinal se produce con la formación de una rótula plástica en el eje 2 del segundo nivel, con un desplazamiento de 1.22 cm. A medida que la carga aumenta, un mayor número de vigas en los tres niveles presentan deformaciones inelásticas, generando rótulas y redistribuyendo las fuerzas internas hacia las columnas y muros. En cuanto a las columnas y muros estructurales, se observaron mayor daño en la base de estos elementos en el primer nivel.

En la dirección transversal, se observó que la primera incursión en el rango inelástico se produce con la formación de una rótula plástica en una viga del eje H del primer nivel, con un desplazamiento de 1.55 cm. A medida que la carga aumenta, un mayor número de vigas en el segundo nivel presentaron

deformaciones inelásticas, mientras que las columnas apenas sufrieron daño en los dos primeros niveles. Respecto a los muros de albañilería confinada, se observó que estos presentaron daño significativo en los tres niveles, siendo el segundo y el tercero los más críticos.

La Tabla 76 y Tabla 77 resumen la formación de rótulas plásticas por nivel de desempeño para cada elemento estructural.

**Tabla 76**

*Nivel de desempeño por componentes en la dirección longitudinal del bloque B2*

Nivel de amenaza sísmica	Desplaz. objetivo (cm)	Elemento estructural	Rótulas plásticas por niveles de desempeño				Número total de rótulas
			B	IO	LS	CP	
Sismo Raro	4.85	Vigas	51	-	-	-	52
		Columnas	1	-	-	-	
		Muros	-	-	-	-	
Sismo Muy Raro	6.24	Vigas	61	2	-	-	72
		Columnas	8	-	-	-	
		Muros	3	-	-	-	
Sismo Máximo Considerado	8.36	Vigas	68	14	-	-	93
		Columnas	19	-	-	-	
		Muros	6	-	-	-	

**Tabla 77**

*Nivel de desempeño por componentes en la dirección transversal del bloque B2*

Nivel de amenaza sísmica	Desplaz. objetivo (cm)	Elemento estructural	Rótulas plásticas por niveles de desempeño				Número total de rótulas
			B	IO	LS	CP	
Sismo Raro	6.10	Vigas	36	1	-	-	51
		Columnas	7	-	-	-	
		Muros de albañilería	8	8	-	-	
Sismo Muy Raro	7.68	Vigas	45	6	-	-	69
		Columnas	12	-	-	-	
		Muros de albañilería	12	8	-	-	
Sismo Máximo Considerado	10.00	Vigas	48	19	-	-	74
		Columnas	14	-	-	-	
		Muros de albañilería	12	8	4	-	

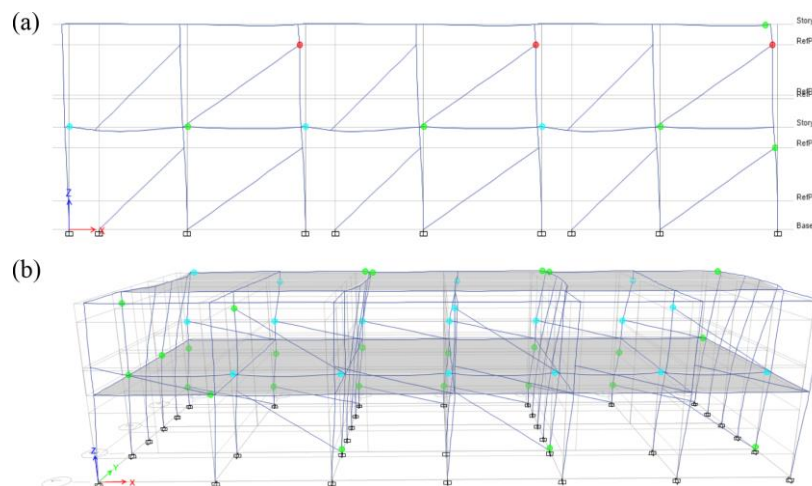
El análisis en la dirección longitudinal revela que los elementos más comprometidos son las vigas, puesto que éstas alcanzaron un nivel de Ocupación Inmediata (IO), mientras que los muros estructurales y columnas apenas incursionaron en el rango inelástico. Por otro lado, en la dirección transversal, el análisis muestra que los elementos más afectados son los muros portantes y las vigas, ya que alcanzaron los niveles de Seguridad de Vida (LS) y Ocupación Inmediata (IO), respectivamente. Las columnas apenas incursionaron en el rango inelástico.

### **Bloque C**

La Figura 97 muestra la formación de rótulas plásticas en los puntos de desempeño en la dirección longitudinal para cada uno de los niveles de peligro sísmico considerados.

### **Figura 97**

#### *Formación de rótulas plásticas en la dirección longitudinal del bloque C*



*Nota.* a) Desplazamiento máximo en el sentido XX-. b) Desplazamiento máximo en el sentido XX+.

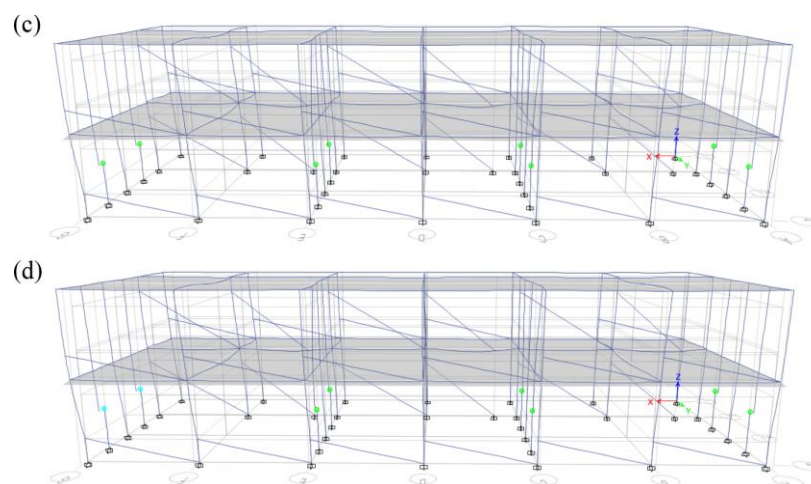
La primera incursión en el rango inelástico en la dirección longitudinal positivo se produce con la formación de rótulas plásticas en el eje 2 del primer

nivel, con un desplazamiento de 0.32 cm. A medida que la carga aumenta, un mayor número de vigas en el primer nivel presentaron deformaciones inelásticas, mientras que las columnas del primer y segundo nivel en el eje 4 comenzaron a interactuar con los parapetos adyacentes. El efecto de columna corta ocurre primero en las columnas del eje 2 en el segundo nivel y posteriormente en el primer nivel, con un desplazamiento de 3.50 cm, iniciando el colapso.

En el sentido opuesto o negativo, el efecto de columna corta se presenta primero en las columnas del eje 2 del segundo nivel, con un desplazamiento de 1.73 cm, lo que provoca el inicio del colapso.

## Figura 98

*Formación de rótulas plásticas en la dirección transversal del bloque C*



*Nota.* c) TD-475 años. d) TD-975 años.

En cuanto a la dirección transversal, se observó que la primera incursión en el rango inelástico se produce con la formación de rótulas plásticas en los muros portantes de albañilería del eje G en el primer nivel, con un desplazamiento de 0.38 cm. A medida que la carga aumenta, un mayor número de vigas en el primer nivel experimentaron deformaciones inelásticas, mientras que las

columnas apenas sufrieron daño en ambos niveles. El proceso de colapso se desencadena por el daño excesivo en los muros portantes del primer nivel.

La Tabla 78 y Tabla 79 resumen de la formación de rótulas plásticas por nivel de desempeño para cada elemento estructural.

**Tabla 78**

*Nivel de desempeño por componentes en la dirección longitudinal del bloque C*

Nivel de amenaza sísmica	Desplaz. objetivo (cm)	Elemento estructural	Rótulas plásticas por niveles de desempeño				Número total de rótulas
			B	IO	LS	CP	
Sismo Raro	2.05	Vigas	24	6	-	-	79
		Columnas	55	-	-	-	
Sismo Muy Raro	3.17	Vigas	30	27	3	-	93
		Columnas	63	20	2	-	

**Tabla 79**

*Nivel de desempeño por componentes en la dirección transversal del bloque C*

Nivel de amenaza sísmica	Desplaz. objetivo (cm)	Elemento estructural	Rótulas plásticas por niveles de desempeño				Número total de rótulas
			B	IO	LS	CP	
Sismo Raro	1.50	Vigas	15	-	-	-	24
		Columnas	1	-	-	-	
		Muros de albañilería	8	8	-	-	
Sismo Muy Raro	1.98	Vigas	22	-	-	-	53
		Columnas	23	-	-	-	
		Muros de albañilería	8	6	2	-	

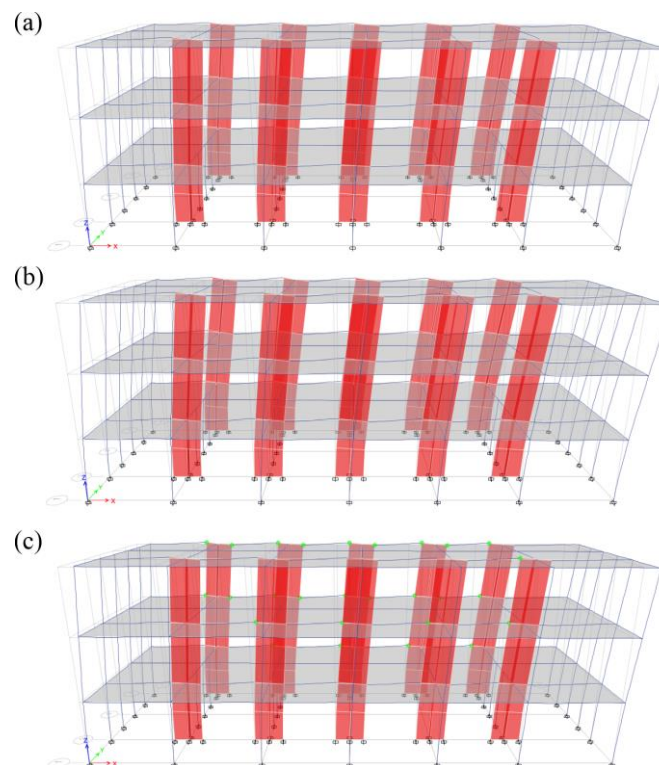
El análisis muestra que, en la dirección longitudinal, las vigas y columnas se ven seriamente comprometidas, alcanzando un nivel de Seguridad de Vida (LS), mientras que en la dirección transversal, los muros portantes y las vigas son los elementos más afectados, alcanzando los niveles de Seguridad de Vida (LS) y Ocupación Inmediata (IO), respectivamente. Las columnas apenas incursionan en el rango inelástico.

### ***Bloque Primaria***

La Figura 99 muestra la formación de rótulas plásticas en los puntos de desempeño en la dirección longitudinal para cada uno de los niveles de peligro sísmico considerados.

### **Figura 99**

*Formación de rótulas plásticas en la dirección longitudinal del bloque Primaria*

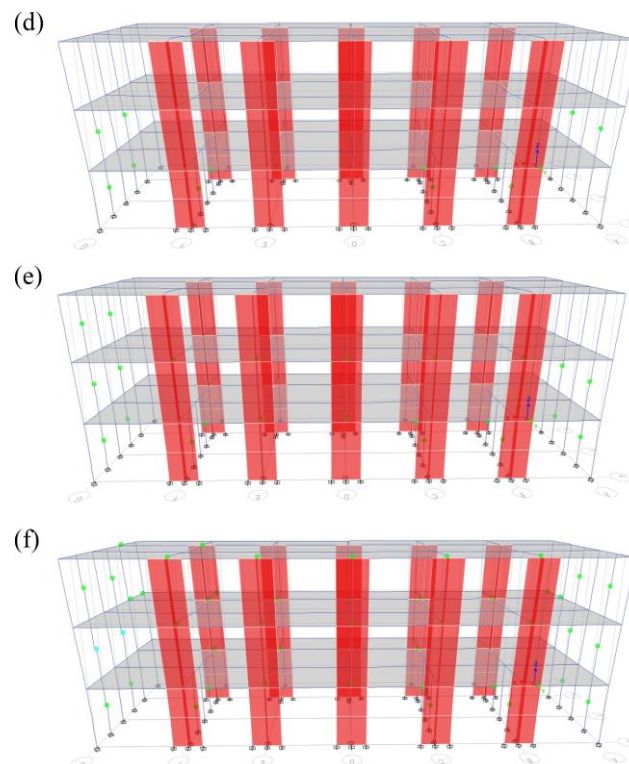


*Nota.* a) TD-475 años. b) TD-975 años. c) TD-2475 años.

La primera incursión en el rango inelástico en la dirección longitudinal se produce con la formación de una rótula plástica en el eje 4 del segundo nivel, con un desplazamiento de 0.83 cm. A medida que la carga aumenta, un mayor número de vigas en el segundo y tercer nivel presentan deformaciones inelásticas, mientras que las columnas del primer nivel sufren un mayor daño en sus bases. En cuanto a los muros estructurales, se observó que experimentan un mayor daño en el primer nivel.

**Figura 100**

*Formación de rótulas plásticas en la dirección transversal del bloque Primaria*



*Nota. d) PP-475 años. e) PP-975 años. f) PP-2475 años.*

En la dirección transversal, se observó que la primera incursión en el rango inelástico se produce con la formación de una rótula plástica en una viga en el eje E del segundo nivel, con un desplazamiento de 1.35 cm. A medida que la carga aumenta, un mayor número de vigas en el segundo nivel presentan deformaciones inelásticas, mientras que las columnas en el primer nivel presentan un daño mínimo. En cuanto a los muros de albañilería confinada, se observó que estos experimentan un daño significativo en el segundo y tercer nivel, lo que da inicio al proceso de colapso.

La Tabla 80 y Tabla 81 resumen la formación de rótulas plásticas por nivel de desempeño para cada elemento estructural.

**Tabla 80***Nivel de desempeño por componentes en la dirección longitudinal del bloque**Primaria*

Nivel de amenaza sísmica	Desplaz. objetivo (cm)	Elemento estructural	Rótulas plásticas por niveles de desempeño				Número total de rótulas
			B	IO	LS	CP	
Sismo Raro	3.49	Vigas	68	-	-	-	68
		Columnas	-	-	-		
		Muros	-	-	-		
Sismo Muy Raro	4.64	Vigas	73	-	-	-	78
		Columnas	-	-	-		
		Muros	5	-	-	-	
Sismo Máximo Considerado	6.33	Vigas	80	27	-	-	95
		Columnas	5	-	-	-	
		Muros	10	-	-	-	

**Tabla 81***Nivel de desempeño por componentes en la dirección transversal del bloque**Primaria*

Nivel de amenaza sísmica	Desplaz. objetivo (cm)	Elemento estructural	Rótulas plásticas por niveles de desempeño				Número total de rótulas
			B	IO	LS	CP	
Sismo Raro	5.80	Vigas	55	-	-	-	71
		Columnas	2	-	-	-	
		Muros de albañilería	14	12	-	-	
Sismo Muy Raro	7.45	Vigas	65	7	-	-	98
		Columnas	15	-	-	-	
		Muros de albañilería	18	16	-	-	
Sismo Máximo Considerado	9.95	Vigas	66	27	-	-	102
		Columnas	18	-	-	-	
		Muros de albañilería	18	16	2	-	

El análisis en la dirección longitudinal revela que las vigas son los elementos más comprometidos, alcanzando un nivel de Ocupación Inmediata (IO), mientras que los muros estructurales y las columnas apenas incursionaron en el rango inelástico. Por otro lado, en la dirección transversal, los muros



portantes y las vigas son los elementos más afectados, alcanzando los niveles de Seguridad de Vida (LS) y Ocupación Inmediata (IO), respectivamente. Las columnas apenas incursionaron en el rango inelástico.

#### 4.4 Discusión de Resultados

##### Respecto a los factores de vulnerabilidad estructural

La evaluación visual rápida de las edificaciones escolares revela que múltiples factores contribuyen al incremento de la vulnerabilidad estructural, siendo las patologías estructurales las que tienen mayor repercusión. Los resultados destacan, que el 50% de las edificaciones presentan eflorescencia como único tipo de deterioro, consecuencia de la exposición al medio ambiente, mientras que el 67% muestran daños estructurales, como grietas y pérdidas parciales de sección en algunos elementos debido a impactos mecánicos. En cuanto a los defectos estructurales, se ha observado que todos los edificios presentan al menos uno. Los defectos que incrementan la vulnerabilidad estructural son la columna corta, la combinación de viga fuerte-columna débil, parapetos adosados y la falta de diafragma rígido, ya que afectan las propiedades dinámicas de la edificación, generando concentraciones de esfuerzos, torsiones o mecanismos de colapso frágil. Con frecuencia, este tipo de patologías, originadas durante la etapa de diseño están relacionadas con la antigüedad de las construcciones, que no se ajustan a los estándares de diseño actuales, o con la inexperiencia de los diseñadores.

Estos hallazgos coinciden con investigaciones realizadas en otras regiones con alta actividad sísmica, donde defectos estructurales análogos han sido vinculados a daños catastróficos en escuelas durante terremotos (Alcocer et al., 2020). En el contexto nacional, investigaciones previas, como el realizado por el Banco Mundial (2017), respaldan estos resultados al señalar que el 51% de las edificaciones



educativas, debido a su tipología constructiva, presentan un alto potencial de colapso, mientras que el 21% tienen una alta probabilidad de experimentar daños significativos. Esta postura concuerda con lo expuesto por Giese (2022), quien sostiene que el 76% de los colegios en el Perú requieren ser reforzados estructuralmente o demolidos.

Las graves consecuencias sociales del colapso de edificios escolares hacen que sea crucial identificar los factores que perpetúan las vulnerabilidades en estas estructuras (Rodgers, 2012). En este sentido, se destaca la necesidad de implementar estrategias que prioricen la mitigación de la vulnerabilidad, incorporando acciones correctivas para las patologías recurrentes.

### **Respecto a la cuantificación del daño global y local de los edificios**

Los resultados muestran que, para un Sismo Raro, todos los edificios 780 post en la dirección longitudinal cumplen con el objetivo esperado de Ocupación Inmediata (IO), mientras que solo el 20% lo logra en la dirección transversal. En el escenario de un Sismo Muy Raro, el nivel de desempeño en la dirección longitudinal es heterogéneo: el 20% de los edificios alcanza el objetivo esperado de Seguridad de Vida (LS), mientras que el 80% restante supera este nivel, logrando un nivel de Ocupación Inmediata (IO). En contraste, en la dirección transversal, el 80% de los edificios cumplen con el objetivo esperado de Seguridad de Vida (LS). En el escenario de un Sismo Máximo Considerado, los resultados revelan que todos los edificios en la dirección longitudinal superan el objetivo esperado, alcanzando al menos el nivel de Seguridad de Vida (LS), mientras que en la dirección transversal, todos los edificios cumplen plenamente con el objetivo de Prevención de Colapso (CP).

En el caso del edificio 780 pre, los resultados muestran que, tanto para un Sismo Raro como para un Sismo Muy Raro, en ambas direcciones, ninguno de los

objetivos de desempeño esperados se cumple. Esto debido a deficiencias inherentes a la configuración estructural y a las patologías existentes en el edificio.

La marcada disparidad en el cumplimiento de los objetivos de desempeño entre las dos direcciones pone en evidencia la importancia de analizar las interacciones entre los sistemas estructurales. En particular, la asimetría de rigideces generada por el sistema transversal de albañilería confinada, el cual limita la capacidad de respuesta del sistema longitudinal de muros de concreto armado.

**Tabla 82**

*Resumen comparativo de los niveles de desempeño por edificación*

Nivel de Peligro Sísmico	Dirección de análisis	Nivel de Desempeño Sísmico / Edificación					
		Bloq. A1	Bloq. A2	Bloq. B1	Bloq. B2	Bloq. C	Bloq. PRIM
Sismo Raro	Long.	IO	IO	IO	IO	LS	IO
	Transv.	IO	LS	LS	LS	CP	LS
	Global	IO	IO	IO	IO	LS	IO
Sismo Muy Raro	Long.	IO	LS	IO	IO	CP	IO
	Transv.	LS	LS	LS	LS	CP	CP
	Global	LS	LS	LS	IO	CP	LS
Sismo Máximo Considerado	Long.	LS	LS	IO	LS	-	IO
	Transv.	CP	CP	CP	CP	-	CP
	Global	CP	CP	LS	LS	-	LS

*Nota.* El nivel de desempeño global se determina a partir de un análisis bidireccional y la evaluación de los modos de falla. Los recuadros de color verde corresponden a los objetivos de desempeño cumplidos.

En cuanto al nivel de desempeño local, los resultados obtenidos de los edificios 780 post evidencian que, en la dirección longitudinal, las vigas fueron los elementos estructurales que experimentaron una mayor incursión en el rango inelástico, alcanzando el nivel de Ocupación Inmediata (IO) en todos los escenarios sísmicos evaluados. Los porcentajes de rótulas plásticas que alcanzaron este nivel fueron del 2.40% para un Sismo Raro, 9.74% para un Sismo Muy Raro y 37.11% para un Sismo Máximo Considerado. Este patrón de comportamiento es consistente con el principio



de diseño sismorresistente, que asigna a las vigas la función de disipadores de energía primarios o “elementos fusibles”, al concentrar daños localizados y, de este modo, preservar la integridad de los elementos estructurales críticos.

En la dirección transversal, las vigas y los muros de albañilería confinada fueron los elementos estructurales más comprometidos. En el escenario de un Sismo Raro, las vigas mostraron un porcentaje mínimo de rótulas plásticas en el nivel de Ocupación Inmediata (IO), inferior al 1%, mientras que los muros de albañilería confinada registraron un porcentaje considerablemente más alto, alcanzando un 90.63% de rótulas plásticas en ese mismo nivel. Para un Sismo Muy Raro, las vigas presentaron un mayor daño, alcanzando un 10.71% de rótulas en el nivel de Ocupación Inmediata (IO), mientras que los muros de albañilería registraron un 76.74% de rótulas en ese mismo nivel. En el escenario de un Sismo Máximo Considerado, el porcentaje de rótulas en las vigas en el nivel de Ocupación Inmediata (IO) fue de 33.85%, mientras que en los muros de albañilería, este porcentaje aumentó a un 79.55% de rótulas en ese mismo nivel, y un 20.45% alcanzaron el nivel de Seguridad de Vida (LS).

Por otro lado, los resultados obtenidos de la evaluación del edificio 780 pre indicaron un comportamiento desfavorable, especialmente en eventos sísmicos de gran magnitud. En la dirección longitudinal, se observó que, ante un Sismo Raro, el 25% de las rótulas plásticas en las vigas alcanzaron el nivel de Ocupación Inmediata (IO). Este porcentaje aumentó considerablemente en el escenario de un Sismo Muy Raro, donde el 90% de las rótulas alcanzaron dicho nivel, mientras que un 10% alcanzó el nivel de Seguridad de Vida (LS). En cuanto a las columnas, en este mismo escenario, se registró un 31.75% de rótulas en el nivel de Ocupación Inmediata (IO) y un 3.17% en el nivel de Seguridad de Vida (LS).



En la dirección transversal, se observó que, ante un Sismo Raro, todas las rótulas plásticas de los muros de albañilería confinada alcanzaron el nivel de Ocupación Inmediata (IO). En cambio, frente a un Sismo Muy Raro, el 75% de las rótulas alcanzaron este mismo nivel, mientras que el 25% restante alcanzó el nivel de Seguridad de Vida (LS). Por otro lado, las vigas en ambos niveles de peligro sísmico, apenas incursionaron en el rango inelástico.

Los resultados obtenidos son consistentes con investigaciones previas, como la realizada por Muñoz et al. (2004), quienes sostuvieron que los edificios 780 post exhiben un desempeño acorde con estándares modernos, superando el nivel de Operativo durante sismos frecuentes, manteniendo el nivel de Ocupación Inmediata ante sismos raros y garantizando el nivel de Seguridad de Vida en escenarios de sismo máximos. Esta jerarquía de desempeño coincide con las investigaciones de Asmat (2016) y Chacón y Paz (2016), quienes atribuyen la resiliencia de los módulos 780 post al cumplimiento de la norma sismorresistente vigente, que incorpora requisitos para la reducción del daño y el resguardo de la vida.

En cuanto al edificio 780 pre, los resultados obtenidos difieren de los reportados por Loa (2017), quien indicó que, en la dirección longitudinal, el edificio presenta un nivel de desempeño de Colapso frente a un Sismo Raro, principalmente debido al fenómeno de columna corta. Esta discrepancia se atribuye a que en la investigación, se adoptó el sentido más conservador en la dirección longitudinal para evaluar el nivel de desempeño del edificio por lo que se obtiene un nivel de desempeño superior. En contraste, en la dirección transversal, los valores obtenidos son consistentes con los de Loa (2017) bajo la misma intensidad de sismo.

Este patrón de comportamiento de los edificios 780 pre coincide con las anomalías detectadas en terremotos recientes, como el de Pisco 2007, donde los



edificios educativos con columnas cortas sufrieron colapsos parciales (Muñoz et al., 2007).

En este contexto, se destaca que la Ingeniería Sísmica Basada en el Desempeño no solo emerge como una metodología confiable para la evaluación de edificaciones, sino como un marco indispensable para priorizar la seguridad y funcionalidad post-sísmica. Los resultados obtenidos de los módulos 780 post y 780 pre evidencian cómo el PBEE permite cuantificar de manera objetiva la capacidad de una estructura para cumplir con los niveles de desempeño predefinidos. Además, su implementación no solo asegura edificios más resilientes, sino que también promueve un enfoque más sofisticado en la protección de infraestructura esencial, como la educativa, donde los costos humanos y sociales de un colapso son inaceptables.

Para una correcta interpretación de los resultados de esta investigación, es importante tener en cuenta un sesgo significativo relacionado con la incertidumbre de los umbrales de daño establecidos por VISION 2000. Esto debido a que la metodología se basa en valores determinísticos, ignorando las interacciones complejas entre los elementos estructurales y no estructurales, y la carencia de validación experimental, lo que limita la precisión en la estimación del daño estructural.



## CONCLUSIONES

- El presente estudio concluye que la evaluación del desempeño sísmico constituye una metodología fundamental para cuantificar de manera efectiva la severidad de los daños estructurales en la institución educativa emblemática Daniel Becerra Ocampo. Su aplicación en los módulos 780 post y 780 pre evidencian cómo este proceso permite estimar de manera objetiva la capacidad real de las estructuras frente a diferentes niveles de intensidad sísmica, cuantificar los daños potenciales e identificar los mecanismos de falla presentes en la estructura.
- Se concluye que las patologías estructurales que inciden de manera significativa en la vulnerabilidad estructural de los edificios educativos tipo 780 están relacionadas principalmente a deficiencias en la etapa de diseño. En el caso de los pabellones A, B y Primaria (tipo 780 post), la mayor incidencia corresponde a parapetos adosados a columnas en corredores de niveles superiores (56%), seguidos por daños en muros de concreto armado (22%) y la presencia de eflorescencia en los muros del primer nivel (22%). Por su parte, en el pabellón C (tipo 780 pre), las patologías más críticas se asocian a configuraciones estructurales inadecuadas, tales como la columna corta, la interacción viga fuerte-columna débil, la disposición de parapetos adosados y la ausencia de diafragma rígido en el último nivel, condiciones que en conjunto incrementan de manera considerable la susceptibilidad de la edificación frente a la acción sísmica.
- En cuanto a la evaluación del desempeño sísmico, se concluye que esta metodología mejora significativamente la cuantificación del daño global en los



edificios educativos, al proporcionar una estimación objetiva del alcance del daño frente a distintos niveles de sismo. Los resultados muestran que, en el caso de un Sismo Raro, el 83% de los bloques satisface el nivel de desempeño de Ocupación Inmediata, preservando su integridad estructural y permitiendo la operatividad continua. En el escenario de un Sismo Muy Raro, el 67% de los bloques presenta un nivel de desempeño de Seguridad de Vida, lo que indica que las edificaciones requieren reparaciones dentro de un plazo y costo razonable, sin comprometer la seguridad de sus ocupantes. Sin embargo, en el caso de un Sismo Máximo Considerado, la situación se agrava, puesto que el 33% de los bloques exhibe un nivel de desempeño de Prevención del Colapso, y uno de los edificios colapsa. En este nivel de desempeño, las edificaciones sufren daños severos en sus elementos estructurales, lo que implicaría reparaciones tan costosas y extensas que podrían resultar económicamente inviables.

- Se concluye que la evaluación del desempeño sísmico constituye un recurso eficaz para cuantificar el daño local y reconocer los mecanismos de falla que comprometen la seguridad estructural de las edificaciones. En los edificios tipo 780 post, los resultados muestran un comportamiento predominantemente dúctil en la dirección longitudinal, asociado a la capacidad de las vigas para redistribuir cargas mediante deformaciones plásticas antes de que los muros alcancen su límite de resistencia; mientras que, en la dirección transversal, los muros de albañilería confinada se identifican como los más comprometidos, al registrar elevados porcentajes de rótulas plásticas incluso en niveles de desempeño de Ocupación Inmediata. Por su parte, en el edificio 780 pre, los resultados exhiben una condición



crítica de falla frágil inducida por el fenómeno de columna corta en la dirección longitudinal, con elevados porcentajes de daño en las vigas; mientras que, en la dirección transversal, los muros de albañilería resultaron los más afectados, alcanzando un nivel de Seguridad de Vida.

215



## RECOMENDACIONES

- Se recomienda a futuros investigadores implementar la metodología del FEMA P-58 en la evaluación del desempeño sísmico de edificaciones educativas, con el objetivo de integrar los impactos socioeconómicos derivados de un evento sísmico, tales como los costos de reparación, los tiempos de inoperatividad, las víctimas potenciales, entre otras variables relevantes.
- Se recomienda a futuros investigadores incorporar ensayos no destructivos en la etapa de inspección de los edificios educativos, con el propósito de obtener información confiable sobre las propiedades mecánicas de los materiales, elementos y estructuras, lo que permitirá una simulación más precisa del comportamiento sísmico de las estructuras.
- Se recomienda a futuros investigadores calibrar los modelos matemáticos de los elementos estructurales a partir de ensayos experimentales, con el fin de garantizar un nivel de confianza adecuado y reducir la incertidumbre asociada al comportamiento inelástico de la estructura.
- Se recomienda a futuros investigadores actualizar los modelos de peligro sísmico con nueva información sismotectónica de la zona de estudio, con el propósito de mejorar la precisión en la estimación de la intensidad de los movimientos sísmicos.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar, R. (2002). *Sistema de Computación CEINCl3 para Evaluar Daño Sísmico en los Países Bolivarianos*. Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército. <https://researchgate.net/publication/281380706>
- Aguiar, R. (2003). *Análisis Sísmico por Desempeño*. (1ª ed.). Editorial EDIESPE.
- Aguiar, R., Rivas, A. (2018). *Microzonificación Sísmica de Ambato*. Instituto Panamericano de Geografía e Historia. <https://researchgate.net/publication/327079440>
- Alcocer, S. M. (Ed.). (2021). *Evaluación Postsísmica de la Infraestructura Física Educativa de México. Volumen 2: Introducción al Comportamiento Sísmico de Estructuras para Fines de Evaluación*. Instituto Nacional de Infraestructura Física Educativa, en Liquidación.
- Alcocer, S. M., Murià-Vila, D., Fernández-Sola, L. R., Ordaz, M., Arce, J. C. (2020). Observed Damage in Public School Buildings During the 2017 Mexico Earthquakes. *Earthquake Spectra*, 36(2\_suppl), 110-129. doi:10.1177/8755293020926183
- American Society of Civil Engineers 41 (2017). *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*. ASCE/SEI 41-17.
- Anwar, N., Najam, F. A. (2017). *Structural Cross Sections: Analysis and Design*. Elsevier Inc. doi: 10.1016/C2015-0-01588-X
- Applied Technology Council 40 (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings Volume 1*. ATC-40.
- Asmat, C. A. (2016). *Disposiciones Sísmicas de Diseño y Análisis en Base a Desempeño Aplicables a Edificaciones de Concreto Armado* [Tesis de



maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio de Tesis PUCP.

<https://hdl.handle.net/20.500.12404/7297>

Astorga, A., Rivero, P. (2009). *Diplomado en Gestión de Riesgos Dirigido a Docentes*.

CIGIR.

Bairán J. M., Moreno, R. (2014). *Calibración de Umbrales de Daño Sísmico para el*

*Análisis de Fragilidad Sísmica de Estructuras de Hormigón Armado mediante*

*Análisis Estático no Lineal ("Push-Over")* [Tesis de maestría, Universidad

Politécnica de Cataluña]. Repositorio UPCommons.

<https://hdl.handle.net/2099.1/21138>

Banco Mundial (2017). *Informe Técnico: Estrategia de Reducción del Riesgo Sísmico*

*de Edificaciones Escolares Públicas del Perú.*

<https://documents.worldbank.org/curated/en/951161507186722512/Estrategia>

[-de-reducción-del-riesgo-sísmico-de-edificaciones-escolares-públicas-del-](https://documents.worldbank.org/curated/en/951161507186722512/Estrategia-de-reduccion-del-riesgo-sismico-de-edificaciones-escolares-publicas-del)

[Perú-informe-técnico](https://documents.worldbank.org/curated/en/951161507186722512/Estrategia-de-reduccion-del-riesgo-sismico-de-edificaciones-escolares-publicas-del-Peru-informe-tecnico)

Bastidas, P. (2011). *School Safety Baseline Study*. UNISDR: Thematic Platform on

Knowledge and Education.

[https://preventionweb.net/files/23587\\_doc18766contenido.pdf](https://preventionweb.net/files/23587_doc18766contenido.pdf)

Baytiyeh, H. (2018). Online Learning During Post-Earthquake School Closures.

*Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 27(2), 215-

227. doi:10.1108/dpm-07-2017-0173

Benito, M. B., Jiménez, E. (1999). Peligrosidad Sísmica. *Física de la Tierra*, 11, 13–

47. <https://revistas.ucm.es/index.php/FITE/issue/view/FITE999911>

Bernardo, J. D., Peña, M. F. (2009). *Efectos del Peralte de las Columnas en el*

*Comportamiento Sísmico de los Muros de Albañilería Confinada* [Tesis de



- grado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio de Tesis PUCP.  
<https://hdl.handle.net/20.500.12404/149>
- Bertero, V. V. (1992). *Lecciones Aprendidas de Terremotos Catastróficos Recientes y otras Investigaciones*. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja; Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Bertero, V. V. (1997). Performance-Based Seismic Engineering: A Critical Review of Proposed Guidelines, P. Fajfar y H. Krawinkler (Ed.), *Seismic Design Methodologies for the Next Generation of Codes* (pp. 1-32). Taylor & Francis.
- Blanco, J. A. (2005). *Las Estructuras de los Centros Educativos (Colegios) en el Siglo XX en el Perú. Diversos Proyectos de Reforzamiento y Ejemplos de Estructuración de Edificaciones de la Universidad Católica del Perú* [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio de Tesis PUCP.  
<https://hdl.handle.net/20.500.12404/7628>
- Bolaños, A. M., Monroy, O. M. (2004). *Espectros de Peligro Uniforme* [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio de Tesis PUCP.  
<https://hdl.handle.net/20.500.12404/1331>
- Bonett, R. L. (2003). *Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de Edificios. Aplicación a Entornos Urbanos en Zonas de Amenaza Alta y Moderada* [Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Cataluña]. Repositorio UPCommons.  
<https://hdl.handle.net/2117/93542>
- Bozzo, L. M., Barbat, A. H. (2000). *Diseño Sismorresistente de Edificios. Técnicas Convencionales y Avanzadas*. Reverté S. A.
- Caso, E. (2012). *Informe final (pre liquidación) de la obra: "Mejoramiento y equipamiento de la infraestructura educativa primaria y secundaria Daniel*



*Becerra Ocampo, distrito de Ilo - provincia de Ilo - Moquegua*". Gobierno Regional Moquegua.

Chacón, R., Paz, I. A. (2016). *Análisis de Desempeño Sísmico de los Edificios Escolares Típicos 780 post 97 de la Costa Peruana* [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio de Tesis PUCP. <https://hdl.handle.net/20.500.12404/6891>

Coral, M. O. (2018). *Ensayos Cíclicos en Muros de Albañilería Confinada Construidos con Ladrillos King Kong de Fabricación Industrial* [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio de Tesis PUCP. <https://hdl.handle.net/20.500.12404/13133>

Deierlein, G. G., Reinhorn, A. M., Willford, M. R. (2010). *Nonlinear Structural Analysis for Seismic Design. A Guide for Practicing Engineers*. NIST GCR 10-917-5. <https://nehrp.gov/pdf/nistgcr10-917-5.pdf>

Escamilla, M. A. (2010). *Estudio Comparativo de las Tendencias Actuales del Método del Empujón para la Evaluación de Estructuras Reticulares* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio Digital de la Facultad de Ingeniería. <https://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/3793>

Federal Emergency Management Agency 273 (1997). *NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings*. FEMA 273. <https://scinc.co.jp/nanken/pdf/fema273.pdf>

Federal Emergency Management Agency 356 (2000). *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*. FEMA 356. <https://nehrp.gov/pdf/fema356.pdf>



- Federal Emergency Management Agency 440 (2005). *Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures*. FEMA 440. <https://mitigation.eeri.org/wp-content/uploads/fema-440.pdf>
- Federal Emergency Management Agency 445 (2006). *Next-Generation Performance-Based Seismic Design Guidelines. Program Plan for New and Existing Buildings*. FEMA 445. <https://nehrp.gov/pdf/fema445.pdf>
- Fernández, O. (2011). *Evaluación de la Vulnerabilidad Estructural en Edificaciones* [Diapositiva de PowerPoint]. <https://ciepsat.com>
- Gálvez, A. (2024). *Calibración Simulación Numérica No Lineal* [Diapositiva de PowerPoint]. Charla Técnica Civil, Structural and Architectural.
- Giese, R. (24 de marzo de 2022). Infraestructura Educativa, la otra Pandemia del Perú. *El Peruano*. <https://elperuano.pe/noticia/141955>
- Golesorkhi, R., Joseph, L., Klemencic, R., Shook, D., Viise, J. (2017). *Performance-Based Seismic Design for Tall Buildings: An output of the CTBUH Performance-Based Seismic Design Working Group*. Council on Tall Buildings and Urban Habitat.
- Handiana, R., Sangadji, S., Alfisa, H. (2020, 25-27 de setiembre). *Fragility Curve of Low-to-Mid-Rise Concrete Frame Retrofitted with FRP*. 4th International Conference on Earthquake Engineering & Disaster Mitigation, Padang, Indonesia. doi: 10.1051/e3sconf/202015603006
- Hernández, R., Fernández, C., Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación* (6ª ed.). McGraw-Hill.
- Hognestad, E. (1951). *A Study of Combined Bending and Axial Load in Reinforced Concrete Members*. Bulletin Series N° 399, University of Illinois.



- Instituto Nacional de Defensa Civil. (2011). *Evaluación del Impacto Socioeconómico y Ambiental del Sismo Ocurrido el 15 de Agosto de 2007*. INDECI. <https://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc1742/doc1742-contenido.pdf>
- Loa, G. J. F. (2017). *Evaluación del Desempeño Sísmico de Tres Opciones de Reforzamiento Incremental en Edificaciones Educativas Típicas Construidas Antes de 1997* [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio de Tesis PUCP. <https://hdl.handle.net/20.500.12404/8618>
- Los Angeles Tall Buildings Structural Design Council (2023). *An Alternative Procedure for Seismic Analysis and Design of Tall Buildings*, Los Angeles, CA.
- Mander, J.B., Priestley, M. J. N., Park, R. (1988). Theoretical stress-strain model for confined concrete. *Journal of Structural Engineering*, 114(8), 1804-1826. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9445(1988)114:8(1804)
- Ministerio de Educación. (2017). *Plan Nacional de Infraestructura Educativa al 2025*. <https://hdl.handle.net/20.500.12799/5952>
- Muñoz, A., Blondet, M. (2007). *Reducción de la Vulnerabilidad Sísmica de Edificaciones Escolares Peruanas en Alto Riesgo*. Informe Dirección Académica de Investigación PUCP.
- Muñoz, A., Blondet, M., Quintana, U., Leon, H. (2004, 1-6 de agosto). *Earthquake-resistant Performance of Peruvian School Buildings*. [Presentación de paper] 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, Canada. [https://iitk.ac.in/nicee/wcee/article/13\\_2447.pdf](https://iitk.ac.in/nicee/wcee/article/13_2447.pdf)
- Muñoz, A., Navarro, L., Jurado, C. (2007). *Técnicas de Reforzamiento de Bajo Costo para Edificios Escolares Peruanos*. [Congreso] XVI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, Ixtapa-Zihuatanejo, México.



- Mwafy, A. M., Elnashai, A. S. (2001). Static Pushover Versus Dynamic Collapse Analysis of RC Buildings. *Engineering Structures*, 23(5), 407-424. doi: 10.1016/S0141-0296(00)00068-7
- Najam, F. A. (2017). *Evaluation of Nonlinear Seismic Demands of High-rise RC Shear Wall Buildings Using Simplified Analysis Procedures* [Tesis de doctorado, Asian Institute of Technology]. Repositorio AIT. <https://203.159.12.58/ait-thesis/detail.php?id=B05559>
- OECD. (2018). *Manual de Frascati 2015: Guía para la Recopilación y Presentación de Información sobre la Investigación y el Desarrollo Experimental*. OECD Publishing. Madrid. doi: 10.1787/9789264310681
- Ottazzi, G. (2004). *Material de Apoyo para la Enseñanza de los Cursos de Diseño y Comportamiento del Concreto Armado* [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio de Tesis PUCP. <https://hdl.handle.net/20.500.12404/1055>
- Padalu, P.K.V.R., Surana, M. (2023). An Overview of Performance-Based Seismic Design Framework for Reinforced Concrete Frame Buildings. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 48, 635–667. doi: 10.1007/s40996-023-01217-4
- Park, R., Paulay, T. (1983). *Estructuras de Concreto Reforzado*. Editorial Limusa S.A.
- Porter, K. A. (2003, 6-9 de julio). *An Overview of PEER's Performance-Based Earthquake Engineering Methodology*. [Conferencia] 9th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering (ICASP9), San Francisco, The United States of America.



- Rankawat, N., Brzev, S., Jain, S., Pérez, J. J. (2021). Nonlinear Seismic Evaluation of Confined Masonry Structures Using Equivalent Truss Model. *Engineering Structures*, 248, 113114. doi: 10.1016/j.engstruct.2021.113114
- Reyes, K. (2020). *Investigación en Ingeniería* [Dossier académico]. <https://researchgate.net/publication/338800600>
- Rodgers, J. E. (2012, 24-28 de setiembre). *Why Schools are Vulnerable to Earthquakes*. [Presentación de paper] 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisboa, Portugal. [https://iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012\\_1189.pdf](https://iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012_1189.pdf)
- Roncal, M. A. (2017). *Determinación del Peligro Sísmico en el Territorio Nacional y Elaboración de Aplicativo Web* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio de Tesis UNI. <https://hdl.handle.net/20.500.14076/12214>
- Safina, S. (2002). *Vulnerabilidad Sísmica de Edificaciones Esenciales. Análisis de su Contribución al Riesgo* [Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Cataluña]. Repositorio UPCommons. <https://hdl.handle.net/2117/93538>
- San Bartolomé, A., Quiun, D., Silva, W. (2011). Comentarios Relativos al Tipo de Falla en los Muros de Concreto de Edificios Chilenos en el Sismo del 27 de febrero de 2010. *Concreto y cemento. Investigación y desarrollo*, 3, 36-48.
- Santa Cruz, S. C. (2013). *Evaluación Probabilística del Riesgo Sísmico de Escuelas y Hospitales de la Ciudad de Lima. Componente 2: Evaluación Probabilista del Riesgo Sísmico de Locales Escolares en la Ciudad de Lima*. Informe Vicerrectorado de Investigación PUCP. <https://investigacion.pucp.edu.pe/grupos/gerdis/proyecto/evaluacion-probabilistica-del-riesgo-sismico-escuelas-hospitales-la-ciudad-lima>



Spence, S. M. J., Arunachalam, S. (2022). Performance-Based Wind Engineering: Background and State of the Art. *Frontiers in Built Environment* 8(830207), 1-11. doi: 10.3389/fbuil.2022.830207

Tamayo, M. (2003). *El Proceso de la Investigación Científica* (4ª ed.). Limusa S.A.

Zúñiga, O. (2005). *Evaluación Analítica de la Respuesta Sísmica de las Edificaciones de Mampostería* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma Metropolitana].

Repositorio Institucional Zaloamati. <https://hdl.handle.net/11191/5728>



ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

TÍTULO: Evaluación del Desempeño Sísmico para Mejorar el Control de Daños Estructurales de Edificaciones Educativas Emblemáticas en la ciudad de Ilo.					
PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	METODOLOGÍA
<p><b>Problema general.</b> ¿En qué medida la evaluación del desempeño sísmico permite cuantificar la severidad de los daños estructurales en la institución educativa emblemática Daniel Becerra Ocampo de la ciudad de Ilo?</p> <p><b>Problemas específicos.</b> 1. ¿Cuáles son las patologías estructurales que inciden en la vulnerabilidad estructural de la institución educativa emblemática Daniel Becerra Ocampo en la ciudad de Ilo? 2. ¿En qué medida la evaluación del desempeño sísmico contribuye a cuantificar el daño global en la institución educativa emblemática Daniel Becerra Ocampo de la ciudad de Ilo? 3. ¿En qué medida la evaluación del desempeño sísmico contribuye a cuantificar el daño local en la institución educativa emblemática Daniel Becerra Ocampo de la ciudad de Ilo?</p>	<p><b>Objetivo general.</b> Explicar en qué medida la evaluación del desempeño sísmico permite cuantificar la severidad de los daños estructurales en la institución educativa emblemática Daniel Becerra Ocampo de la ciudad de Ilo.</p> <p><b>Objetivos específicos.</b> 1. Identificar las patologías estructurales que inciden en la vulnerabilidad estructural de la institución educativa emblemática Daniel Becerra Ocampo en la ciudad de Ilo. 2. Determinar en qué medida la evaluación del desempeño sísmico contribuye a cuantificar el daño global en la institución educativa emblemática Daniel Becerra Ocampo de la ciudad de Ilo. 3. Determinar en qué medida la evaluación del desempeño sísmico contribuye a cuantificar el daño local en la institución educativa emblemática Daniel Becerra Ocampo de la ciudad de Ilo.</p>	<p><b>Hipótesis general.</b> La evaluación del desempeño sísmico empleando procedimientos estáticos no lineales permitirá cuantificar con mayor precisión la severidad de los daños estructurales, tanto a nivel local como global, en la institución educativa emblemática Daniel Becerra Ocampo de la ciudad de Ilo.</p> <p><b>Hipótesis específicas.</b> 1. Las patologías estructurales asociadas a mecanismo de falla por cortante incidirán de manera significativa en la vulnerabilidad estructural de la I.E.E. Daniel Becerra Ocampo en la ciudad de Ilo. 2. La evaluación del desempeño sísmico empleando los métodos de linealización equivalente y coeficientes contribuirá de manera significativa a la cuantificación del daño global en la I.E.E. Daniel Becerra Ocampo de la ciudad de Ilo. 3. La evaluación del desempeño sísmico empleando límites de rotación plástica contribuirá de manera significativa a la cuantificación del daño local en la I.E.E. Daniel Becerra Ocampo de la ciudad de Ilo.</p>	<p><b>Variable independiente.</b> Desempeño sísmico.</p> <p><b>Variable dependiente.</b> Daño estructural.</p>	<p>- Peligro sísmico.</p> <p>- Capacidad estructural.</p> <p>- Punto de desempeño.</p> <p>- Patología estructural.</p> <p>- Daño global.</p> <p>- Daño local.</p>	<p><b>Tipo de investigación.</b> - Aplicada.</p> <p><b>Nivel de investigación.</b> - Explicativo.</p> <p><b>Diseño.</b> - Experimental.</p> <p><b>Población.</b> - Edificaciones educativas de la I.E. E. "Daniel Becerra Ocampo".</p> <p><b>Muestra.</b> - Pabellón "A", pabellón "B", pabellón "C" y pabellón Primaria.</p> <p><b>Técnicas e instrumentos de recolección de datos.</b> Técnica: Observación estructurada, análisis de documentos. Instrumentos: Formulario de Evaluación Visual Rápida, FEMA P-154.</p> <p><b>Técnicas de análisis y procesamiento de datos.</b> Técnica: Análisis de Peligro Sísmico Probabilístico, Análisis Estático No Lineal, Linealización Equivalente, Coeficientes. Instrumentos: FEMA 440, ASCE/SEI 41-17, VISION 2000; Softwares ETABS v.19.1.0, R-CRISIS v20.2, M.S. Excel.</p>



## Anexo 2. Fuentes sismogénicas

**Tabla 2.1**

*Coordenadas geográficas y profundidades de las fuentes de interfase*

Fuente	Coordenadas geográficas		Profundidad (km)
	Longitud (°W)	Latitud (°S)	
F5	-73.430	-16.039	70
F5	-74.360	-16.880	30
F5	-72.727	-18.100	30
F5	-71.602	-19.101	30
F5	-70.517	-18.082	75
F6	-71.602	-19.101	30
F6	-71.334	-19.475	30
F6	-71.377	-22.999	50
F6	-69.266	-22.999	85
F6	-69.623	-20.786	75
F6	-69.900	-18.564	70
F6	-70.517	-18.082	70

**Tabla 2.2**

*Coordenadas geográficas y profundidades de las fuentes de intraplaca*

Fuente	Coordenadas geográficas		Profundidad (km)
	Longitud (°W)	Latitud (°S)	
F11	-71.660	-17.328	65
F11	-70.558	-18.134	65
F11	-69.800	-17.400	110
F11	-71.584	-14.405	120
F11	-73.778	-16.347	63
F12	-70.480	-22.999	70
F12	-69.275	-22.999	100
F12	-67.872	-22.999	150
F12	-67.911	-21.766	150
F12	-68.560	-19.610	155
F12	-69.020	-18.550	150
F12	-69.800	-17.400	140
F12	-70.558	-18.143	100



**Tabla 2.3**

*Coordenadas geográficas y profundidades de las fuentes continentales*

Fuente	Coordenadas geográficas		Profundidad (km)
	Longitud (°W)	Latitud (°S)	
F24	-73.090	-16.383	30
F24	-70.517	-18.096	30
F24	-69.900	-18.564	30
F24	-69.174	-17.909	30
F24	-70.484	-15.743	30
F24	-72.106	-14.949	30

*Nota.* Tomada de Roncal (2017, pp. 72-75).



Anexo 3. Formato de Evaluación Visual Rápida

FORMATO DE EVALUACIÓN VISUAL RÁPIDA EDIFICACIONES ESCOLARES

1. DATOS GENERALES
Institución educativa: DANIEL DECEBEA OCAMPO
Dirección: AV. PARADISO LINDO URQUIETA N° 306
Coordenadas UTM: 251 773 77 E, 8 046 167 60 N
Tipo de evaluación: Interior
Año de construcción: 2012
Reglamento: Después de 1997
Zona sísmica: 24
Planos: Arq, Estr
Peligros externos y de origen geotécnico
Posición en la manzana

2. DESCRIPCIÓN DE LA EDIFICACIÓN
Bosquejo en planta y elevación
Tipo: 780 POST
No. de pisos: 3
Área en planta: 129.19 m²
Altura: 9.85 m
Altura entrepiso: 3.00 m
Irregularidad: Irregularidad estr. horizontal, Irregularidad estr. vertical
Arquitectura: Parapeto, Otro: PASADIZO
Tipo de techo: Plano, Un agua
Junta sísmica: Si
Distribución: Aula, Taller, Administrativo, Biblioteca, Servicio, Laboratorio, Usos mult., Comedor, Otro:
Máx. dimensión de abertura en muro: 3.70 x 1.55 m VENTANA
Abertura total en muros: 121.80 m²
Dimensión de aula típica: 9.03 x 6.57 m
No. de vanos: 30
No. de puertas: 6

3. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA
Material predominante: Concreto armado, Albañilería
Sistema estructural: Pórticos, Dual, MDL, Albañilería confinada
Tipo de cimentación: Cimiento corrido, Zapata conectada, Losa de cimentación
Estructura de techo: Losa aligerada, Losa maciza, Tijeral de madera, Estructura metálica
Ampliación/Remodelación: No
Reforzamiento: No
Problemas de configuración estructural: Columna corta, Piso blando, Proximidad entre edificaciones, Columna débil, Riesgo torsional, Concentración de masa, Discontinuidad de elementos estr.

NIVEL DE DAÑO ESTRUCTURAL
Ligero Moderado Severo
Elem. estructural: Columna, Viga, Muro estructural, Muro portante, Losa, Sistema de techo
Elem. no estructural: Tabiquería agrietada, Cielo raso deteriorado, Denso mobiliario y equipamiento, Vidrios rotos, Anclaje de luminarias deteriorado, Escalera agrietada, Tanque elevado inestable
Sección de elementos estructurales (cm): Columnas: DEC. 30x45, 30x30, 25x25, L60x30x30; Vigas: DEC. 30x45, 30x40, Vch 20x25; Muros estr.: T 150x30x30; Losa (esp.): 20, 15
CONDICIÓN ESTRUCTURAL: Satisfactorio

Elaborado por: Bach. Gary Ivan Niels Limachi Paco (2024)

FORMATO DE EVALUACIÓN VISUAL RÁPIDA EDIFICACIONES ESCOLARES

COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES
EL BLOQUE A1 NO PRESENTA DAÑOS ESTRUCTURALES Y TAMPOCO SE HAN REGISTRADO AFECTACIONES DE SISTEMAS ANEXOS SE HA IDENTIFICADO PARAPETOS ANEXOS A LAS COLUMNAS EN EL CORREDO DEL SEGUNDO Y TERCER NIVEL QUE PODRAN PRODUCIR INTEGRACIÓN CON LAS COLUMNAS TAMBIEN SE HA OBSERVADO PRESENCIA DE EFRAJES EN UN TUBO ESTRUCTURAL DEL PRIMER NIVEL. NO PRESENTA IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES, VA SERA HORIZONTAL O VERTICAL. ESTE BLOQUE CUENTA CON UN SISTEMA ESTRUCTURAL MIXTO, QUE COMBINA UN SISTEMA DUAL DE PÓRTICOS DE CONCRETO ARMADO Y MURAS ESTRUCTURALES EN LA DIRECCIÓN LONGITUDINAL Y UN SISTEMA DE PÓRTICOS DE CONCRETO ARMADO Y MURAS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA EN LA DIRECCIÓN TRANSVERSAL. POSEE JUNTA SISMICA DE DOS PULGADAS. RESPECTO A LOS ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES SUSCEPTIBLES A DAÑO, SE OBSERVAN LOS SIGUIENTES: CONEXIONES ELECTRICAS EXPUESTAS, REFLECTOR CON UN ANCLAJE DETERIORADO, DENSO MOBILIARIO Y EQUIPAMIENTO, CASERA PREFABRICADA INESTABLE, CUBIERTA DE ESCALERAS EN MAL ESTADO.

PANEL FOTOGRÁFICO

Grid of 9 photographs with captions:
Fotografía N°01. VISTA POSTERIOR DEL BLOQUE A1. SE PUEDE OBSERVAR EL ANCLAJE DE LOS TUBOS Y LA PRESENCIA DE EFRAJES EN LA PARTE INFERIOR DEL EDIFICIO.
Fotografía N°02. VISTA LATERAL REGULAR DEL BLOQUE A1. SE PUEDE APRECIAR EL ESTADO DEL EDIFICIO.
Fotografía N°03. PRESENCIA DE EFRAJES EN LA ZONA INFERIOR DE UN TUBO ESTRUCTURAL EN EL PRIMER NIVEL.
Fotografía N°04. SE APRECIAN LA JUNTA SISMICA DEL BLOQUE A1 Y EL CORREDO DEL TERCER NIVEL.
Fotografía N°05. SE OBSERVA AL EVALUADOR CORROBORANDO LA DISTANCIA ENTRE LOS ETES DE LA EDIFICACIÓN.
Fotografía N°06. SE OBSERVA AL EVALUADOR REALIZANDO LA INSPECCIÓN VISUAL TÉCNICA DE LA EDIFICACIÓN.
Fotografía N°07. DENSO MOBILIARIO Y EQUIPAMIENTO QUE PODRÁ OSTRUMLIR LA ALTA DE EVACUACIÓN DURANTE UN SISMO.
Fotografía N°08. SE APRECIAN EL MAL ESTADO DE LA CUBIERTA DE ESCALERAS.
Fotografía N°09. SE OBSERVA UN REFLECTOR CON UN ANCLAJE DETERIORADO DEBIDO A LAS CONDICIONES AMBIENTALES.

Elaborado por: Bach. Gary Ivan Niels Limachi Paco (2024)



DBO-EVR-002

### FORMATO DE EVALUACIÓN VISUAL RÁPIDA EDIFICACIONES ESCOLARES

**1. DATOS GENERALES**

Institución educativa: DANIEL BECERRA OCAÑO Nivel: SECUNDARIO Evaluador: G. LIMACHI  
 Dirección: AV. MARIANO LINO URQUETA N° 888 Edificación: BLOQUE A2 Fecha/Hora: \_\_\_\_\_  
 Coordenadas UTM: 251802 30 E ; 8 046178 56 N Director/Propietario: JUAN ENRIQUEZ CASTROENA  
 Tipo de evaluación:  Desde la calle  Exterior  Parcialmente interior  Interior  Otro: \_\_\_\_\_  
 Año de construcción: 2012  Desconocido Reglamento:  Antes de 1997  Después de 1997  
 Cerco perimétrico:  Parcial  Completo Zona sísmica: 24 Planos:  Arq.  Estr.  
**Peligros externos y de origen geotécnico** Posición en la manzana  
 A. Falla geológica:  Si/No/Desc. D. Tsunami:  Si/No/Desc.  Frente a la calle  Esquina  Medio  Aislado  
 B. Desliz. de tierra:  Si/No/Desc. E. Socavación:  Si/No/Desc.  
 C. Licuefacción:  Si/No/Desc. Otro: \_\_\_\_\_  
Todos los ítems en blanco serán considerados como "Ninguno".  
 (\*) Si la edificación no tuvo dirección técnica tachar Reglamento.

**2. DESCRIPCIÓN DE LA EDIFICACIÓN**

Bosquejo en planta y elevación

Tipo:  780 PRE  780 POST  Adobe  
 Gran Unidad  Otro: \_\_\_\_\_  
 No. de pisos: 3 Área en planta: 192.36 m<sup>2</sup>  
 Altura: 9.85 m Altura entrepiso: 3.00 m  
 Irregularidad:  Irregularidad estr. horizontal  
 Irregularidad estr. vertical  
 Arquitectura:  Voladizo  Ornamento  
 Tragaluz  Balcón  
 Parapeto  Otro: PARASOL  
 Tipo de techo:  Plano  Un agua  
 Dos aguas  Cuatro aguas  
 Otro: \_\_\_\_\_  
 Junta sísmica:  Si  No  
 Distribución  
 Aula  Taller  Administrativo  
 Biblioteca  Servicio  Laboratorio  
 Usos mult.  Comedor  Otro: DEPÓSITO  
 Máx. dimensión de abertura en muro: 3.70 x 1.55 m VENTANA  
 Abertura total en muros: 175.99 m<sup>2</sup>  
 Dimensión de aula típica: 9.03 x 6.57 m  
 No. de vanos: 45 No. de puertas: 15

Comentarios, recomendaciones y fotografías adjuntas.

**3. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA**

Material predominante:  Concreto armado  Albañilería  Acero  Madera  Tierra  
 Sistema estructural:  Pórticos  Dual  MDL  Albañilería confinada  
 Mixto  Tierra reforzada  Otro: \_\_\_\_\_  
 Tipo de cimentación:  Cimiento corrido  Zapata conectada  Losa de cimentación  
 Zapata aislada  Zapata combinada  Otro: \_\_\_\_\_  
 Estructura de techo:  Losa aligerada  Losa maciza  Tijeral de madera  Estructura metálica  
 Ampliación/Remodelación:  No  Si (Tipo/Fecha) \_\_\_\_\_  
 Reforzamiento:  No  Si (Tipo/Fecha) \_\_\_\_\_  
 Problemas de configuración estructural:  Columna corta  Piso blando  Proximidad entre edificaciones  
 Columna débil  Riesgo torsional  Concentración de masa  
 Discontinuidad de elementos estr.  Otro: \_\_\_\_\_

NIVEL DE DAÑO ESTRUCTURAL				
	Ligero	Moderado	Severo	
Elem. estructural	Columna	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Viga	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Muro estructural	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Muro portante	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Losa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sistema de techo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Elem. no estructural	Tabiquería agrietada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Cielo raso deteriorado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Denso mobiliario y equipamiento	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Vidrios rotos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Anclaje de luminarias deteriorado	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Escalera agrietada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Tanque elevado inestable	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Sección de elementos estructurales (cm):  
 Columnas: EEC 30x45  
30x30, 25x25, L 60x30x30  
 Vigas: EEC 30x45, 30x60;  
UCH 20x25  
 Muros estr.: T 130x30x30  
 Losa (esp.): 20, 15

CONDICIÓN ESTRUCTURAL:  Inaceptable  Deficiente  Adecuado  Satisfactorio

Elaborado por: Bach. Gary Ivan Niels Limachi Paco (2024)



DBO-EVR-002

### FORMATO DE EVALUACIÓN VISUAL RÁPIDA EDIFICACIONES ESCOLARES

**COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES**

EL BLOQUE A2 SE ENCUENTRA EN BUENAS CONDICIONES ESTRUCTURALES Y NO PRESENTA DAÑOS SIGNIFICATIVOS, AL IGUAL QUE EL BLOQUE A1, SE HA IDENTIFICADO PARAPETOS PASADOS A LAS COLUMNAS EN EL CORREDOR DEL SEGUNDO Y TERCER NIVEL QUE PODRÍAN PROVOCAR INTERFERENCIA EN LAS COLUMNAS. TAMBIÉN SE HA OBSERVADO EFLORESCENCIA EN LA PARTE INFERIOR DE LAS MUROS ESTRUCTURALES DEL PRIMER NIVEL Y EN ALGUNOS TRAGALUZES DEL SEGUNDO NIVEL. ESTE BLOQUE CUENTA CON UN SISTEMA ESTRUCTURAL MIXTO, QUE CONSIENE UN SISTEMA DUAL DE PÓRTICOS DE CONCRETO ARMADO Y MUROS ESTRUCTURALES EN LA DIRECCIÓN LONGITUDINAL Y UN SISTEMA DE PÓRTICOS DE CONCRETO ARMADO Y MUROS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA EN LA DIRECCIÓN TRANSVERSA. NO PRESENTA NINGÚN TIPO DE IRREGULARIDAD ESTRUCTURAL Y CUENTA CON UNA JUNTA SÍSMICA DE DOS PULGADAS. RESPECTO A LOS ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES SUSCEPTIBLES A DAÑOS, SE OBSERVAN LOS SIGUIENTES: LUMINARIAS INADECUADAMENTE INSTALADAS, DENSO MOBILIARIO Y EQUIPAMIENTO, CASITA PREFABRICADA INESTABLE.

### PANEL FOTOGRÁFICO


Elaborado por: Bach. Gary Ivan Niels Limachi Paco (2024)



### FORMATO DE EVALUACIÓN VISUAL RÁPIDA EDIFICACIONES ESCOLARES

**1. DATOS GENERALES**

Institución educativa: DANIEL DECERRA OCAÑO Nivel: SECUNDARIO Evaluador: G. LIMACHI  
 Dirección: AV. MARIANO LINO DEGUETA N° 588 Edificación: BLOQUE B1 Fecha/Hora:  
 Coordenadas UTM: 25176.78E, 6.048.15N Director/Propietario: JUAN ENRIQUEZ CAERREÑA  
 Tipo de evaluación:  Desde la calle  Exterior  Parcialmente interior  Interior  Otro:  
 Año de construcción: 2012  Desconocido Reglamento\*:  Antes de 1997  Después de 1997  
 Cerco perimétrico:  Parcial  Completo  Ninguno Zona sísmica: 24 Planos:  Arq.  Estr.  
**Peligros externos y de origen geotécnico** Posición en la manzana  
 A. Falla geológica:  Si/No/Desc. D. Tsunami:  Si/No/Desc.  Frente a la calle  Esquina  Medio  Aislado  
 B. Desliz. de tierra:  Si/No/Desc. E. Socavación:  Si/No/Desc.  
 C. Licuefacción:  Si/No/Desc. Otro:  
Todos los ítems en blanco serán considerados como "Ninguno".  
 (\*) Si la edificación no tuvo dirección técnica tachar Reglamento.

**2. DESCRIPCIÓN DE LA EDIFICACIÓN**

**Bosquejo en planta y elevación**

Tipo:  780 PRE  780 POST  Adobe  
 Gran Unidad  Otro:  
 No. de pisos: 3 Área en planta: 121.04 m<sup>2</sup>  
 Altura: 9.65 m Altura entrepiso: 3.00 m  
 Irregularidad:  Irregularidad estr. horizontal  Irregularidad estr. vertical  
 Arquitectura:  Voladizo  Ornamento  Tragaluz  Balcón  Parapeto  Otro: PARASOL  
 Tipo de techo:  Plano  Un agua  Dos aguas  Cuatro aguas  
 Otro:  
 Junta sísmica:  Si  No  
 Distribución:  Aula  Taller  Administrativo  Biblioteca  Servicio  Laboratorio  Usos mult.  Comedor  Otro: DEP. EDUC. P.  
 Comentarios, recomendaciones y fotografías adjuntos.  
 Máx. dimensión de abertura en muro: 3.40 x 1.55 VENTANA  
 Abertura total en muros: 119.00 m<sup>2</sup>  
 Dimensión de aula típica: 8.80 x 6.50 m  
 No. de vanos: 27 No. de puertas: 8

**3. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA**

Material predominante:  Concreto armado  Albañilería  Acero  Madera  Tierra  
 Sistema estructural:  Pórticos  Dual  MDL  Albañilería confinada  
 Mixto  Tierra reforzada  Otro:  
 Tipo de cimentación:  Cimiento corrido  Zapata conectada  Losa de cimentación  
 Zapata aislada  Zapata combinada  Otro:  
 Estructura de techo:  Losa aligerada  Losa maciza  Tijeral de madera  Estructura metálica  
 Ampliación/Remodelación:  No  Si (Tipo/Fecha)  
 Reforzamiento:  No  Si (Tipo/Fecha)  
 Problemas de configuración estructural:  Columna corta  Piso blando  Proximidad entre edificaciones  Columna débil  Riesgo torsional  Concentración de masa  Discontinuidad de elementos estr.  Otro:  
**NIVEL DE DAÑO ESTRUCTURAL**  

	Ligero	Moderado	Severo
Columna	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Viga	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Muro estructural	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Muro portante	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Losa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sistema de techo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

	Elementos no estructurales
Tabiquería agrietada	<input type="checkbox"/>
Cielo raso deteriorado	<input type="checkbox"/>
Denso mobiliario y equipamiento	<input checked="" type="checkbox"/>
Vidrios rotos	<input type="checkbox"/>
Anclaje de luminarias deteriorado	<input type="checkbox"/>
Escalera agrietada	<input type="checkbox"/>
Tanque elevado inestable	<input type="checkbox"/>

Sección de elementos estructurales (cm):  
 Columnas: REC. 30x45, 30x30, 25x25, L. 60x30x30  
 Vigas: REC. 30x45, 30x60, UCV 25x20  
 Muros estr.: T 180x30x30  
 Losa (esp.): 20, 15  
**CONDICIÓN ESTRUCTURAL:**  Inaceptable  Deficiente  Adecuado  Satisfactorio

Elaborado por: Bach. Gary Ivan Niels Limachi Paco (2024)



### FORMATO DE EVALUACIÓN VISUAL RÁPIDA EDIFICACIONES ESCOLARES

**COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES**

EL BLOQUE B1 PRESENTA DAÑO ESTRUCTURAL MODERADO EN UNA COLUMNA DEL PRIMER NIVEL PROBABLEMENTE CAUSADO POR ALGÚN IMPACTO. SE HA IDENTIFICADO PARAPETOS ADOSADOS A LAS COLUMNAS EN EL CORREDOR DEL SEGUNDO Y TERCER NIVEL QUE PODRÍAN PROVOCAR INTEGRACIÓN CON LAS COLUMNAS. ESTE BLOQUE CUENTA CON UN SISTEMA ESTRUCTURAL MIXTO, QUE COMBINA UN SISTEMA DUAL DE PÓRTICOS DE CONCRETO ARMADO Y MUROS ESTRUCTURALES EN LA DIRECCIÓN LONGITUDINAL Y UN SISTEMA DE PÓRTICOS DE CONCRETO ARMADO Y MUROS DE ALBAÑILERÍA CONF. NADA EN LA DIRECCIÓN TRANSVERSAL. NO PRESENTA NINGÚN TIPO DE IRREGULARIDAD ESTRUCTURAL. PUEDE SUMAR SÍSMICA DE DOS PALGANS. RESPECTO A LOS ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES SUSCEPTIBLES A DAÑOS SE OBSERVAN LOS SIGUIENTES: DENSO MOBILIARIO Y EQUIPAMIENTO INFORMÁTICO SIN NINGÚN TIPO DE PROTECCIÓN.

### PANEL FOTOGRÁFICO


Elaborado por: Bach. Gary Ivan Niels Limachi Paco (2024)



080-EVR-001

### FORMATO DE EVALUACIÓN VISUAL RÁPIDA EDIFICACIONES ESCOLARES

**1. DATOS GENERALES**

Institución educativa: DANIEL BECERRA OCAÑO Nivel: SECUNDARIO Evaluador: G. LIMACHI  
 Dirección: AV. MARIANO LINO DEBILLOTA N° 882 Edificación: BLOQUE 02 Fecha/Hora: \_\_\_\_\_  
 Coordenadas UTM: 251 772.01 E ; 8 048 68.74 N Director/Propietario: JUAN ENRIQUET CARTAGENA  
 Tipo de evaluación:  Desde la calle  Exterior  Parcialmente interior  Interior  Otro: \_\_\_\_\_  
 Año de construcción: 2012  Desconocido Reglamento\*:  Antes de 1997  Después de 1997  
 Cerco perimétrico:  Parcial  Completo  Ninguno Zona sísmica: 24 Planos:  Arq.  Estr.  
**Peligros externos y de origen geotécnico**  
 A. Falla geológica:  Si/No/Desc. D. Tsunami:  Si/No/Desc.  Frente a la calle  Esquina  Medio  Aislado  
 B. Desliz. de tierra:  Si/No/Desc. E. Socavación:  Si/No/Desc.  
 C. Licuefacción:  Si/No/Desc. Otro: \_\_\_\_\_  
 Posición en la manzana  
 Todos los ítems en blanco serán considerados como "Ninguno".  
 (\*Si la edificación no tuvo dirección técnica tachar Reglamento.)

**2. DESCRIPCIÓN DE LA EDIFICACIÓN**

**Bosquejo en planta y elevación**

Tipo:  780 PRE  780 POST  Adobe  
 Gran Unidad  Otro: \_\_\_\_\_  
 No. de pisos: 3 Área en planta: 124.94 m<sup>2</sup>  
 Altura: 9.85 m Altura entrepiso: 3.00 m  
 Irregularidad:  Irregularidad estr. horizontal  Irregularidad estr. vertical  
 Arquitectura:  Voladizo  Ornamento  Tragaluz  Balcón  
 Parapeto  Otro: PARASOL  
 Tipo de techo:  Plano  Un agua  Dos aguas  Cuatro aguas  
 Otro: \_\_\_\_\_  
 Junta sísmica:  Si  No  
 Distribución  
 Aula  Taller  Administrativo  
 Biblioteca  Servicio  Laboratorio  
 Usos mult.  Comedor  Otro: TOPICO SAÑO  
 Máx. dimensión de abertura en muro: 3.40 x 1.55 m VENTANA Dimensión de aula típica: 8.83 x 6.50 m  
 Abertura total en muros: 96.97 m<sup>2</sup> No. de vanos: 27 No. de puertas: 6

Comentarios, recomendaciones y fotografías adjuntos.

**3. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA**

Material predominante:  Concreto armado  Albañilería  Acero  Madera  Tierra  
 Sistema estructural:  Pórticos  Dual  MDL  Albañilería confinada  
 Mixto  Tierra reforzada  Otro: \_\_\_\_\_  
 Tipo de cimentación:  Cimiento corrido  Zapata conectada  Losa de cimentación  
 Zapata aislada  Zapata combinada  Otro: \_\_\_\_\_  
 Estructura de techo:  Losa aligerada  Losa maciza  Tijeral de madera  Estructura metálica  
 Ampliación/Remodelación:  No  Si (Tipo/Fecha) \_\_\_\_\_  
 Reforzamiento:  No  Si (Tipo/Fecha) \_\_\_\_\_  
 Problemas de configuración estructural:  Columna corta  Piso blando  Proximidad entre edificaciones  
 Columna débil  Riesgo torsional  Concentración de masa  
 Discontinuidad de elementos estr.  Otro: \_\_\_\_\_

**NIVEL DE DAÑO ESTRUCTURAL**

	Ligero	Moderado	Severo
<b>Elem. estructural</b>			
Columna	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Viga	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Muro estructural	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Muro portante	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Losa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sistema de techo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Elem. no estructural</b>			
Tabiquería agrietada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cielo raso deteriorado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Denso mobiliario y equipamiento	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Vidrios rotos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Anclaje de luminarias deteriorado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Escalera agrietada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tanque elevado inestable	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Sección de elementos estructurales (cm):**  
 Columnas: rec. 30x45  
30x30, 25x25, L. 60x30x30  
 Vigas: rec. 30x45, 30x60,  
VH 25x20  
 Muros estr.: T 180x30x30  
 Losa (esp.): 20, 15

CONDICIÓN ESTRUCTURAL:  Inaceptable  Deficiente  Adecuado  Satisfactorio

Elaborado por: Bach. Gary Ivan Niels Limachi Paco (2024)



080-EVR-001

### FORMATO DE EVALUACIÓN VISUAL RÁPIDA EDIFICACIONES ESCOLARES

**COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES**

EL BLOQUE 02 NO PRESENTA DAÑOS ESTRUCTURALES Y TAMPOCO SE HAN REGISTRADO AFECTACIONES POR SISMOS ANTERIORES AL NIVEL QUE EL BLOQUE 01. SE HA IDENTIFICADO POMPITOS ADOSADOS A LAS COLUMNAS EN EL CORREDO DEL SEGUNDO Y TERCER NIVEL QUE PODRAN PROVOCAR INTERFERENCIA CON LAS COLUMNAS. ESTE DAÑO CUENTA CON UN SISTEMA ESTRUCTURAL MIXTO, QUE CONSIDERA UN SISTEMA DUAL DE PÁNTICOS DE CONCRETO ARMADO Y VIGAS ESTRUCTURALES EN LA DIRECCIÓN LONGITUDINAL Y UN SISTEMA DE PÁNTICOS DE CONCRETO ARMADO Y VIGAS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA EN LA DIRECCIÓN TRANSVERSAL. NO PRESENTA NINGÚN TIPO DE IRREGULARIDAD ESTRUCTURAL Y CUENTA CON UNA JUNTA SÍSMICA DE DOS PULGADAS. RESPECTO A LOS ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES SUSCEPTIBLES A DAÑOS, SE OBSERVAN LOS SIGUIENTES: DIVISIONES DE TABICERIA SECA EN EL PRIMER NIVEL, DENSO MOBILIARIO Y EQUIPAMIENTO.

### PANEL FOTOGRAFICO


Elaborado por: Bach. Gary Ivan Niels Limachi Paco (2024)



DBO-EVR4008

### FORMATO DE EVALUACIÓN VISUAL RÁPIDA EDIFICACIONES ESCOLARES

**1. DATOS GENERALES**

Institución educativa: DANIEL BECERRA OCAÑO Nivel: SECUNDARIO Evaluador: G. LITANA  
 Dirección: AV. MARIANO LIMO URB. UETA N° 588 Edificación: PASADIZO C Fecha/Hora:  
 Coordenadas UTM: 251150 25 E, 8040132 01 N Director/Propietario: JUAN ENRIQUET CORTAGENA  
 Tipo de evaluación:  Desde la calle  Exterior  Parcialmente interior  Interior  Otro:  
 Año de construcción:  Desconocido Reglamento\*:  Antes de 1997  Después de 1997  
 Cerco perimétrico:  Parcial  Completo  Ninguno Zona sísmica: 2.4 Planos:  Arq.  Estr.  
**Peligros externos y de origen geotécnico** Posición en la manzana  
 A. Falla geológica:  Si/No/Desc. D. Tsunami:  Si/No/Desc.  Frente a la calle  Esquina  Medio  Aislado  
 B. Desliz. de tierra:  Si/No/Desc. E. Socavación:  Si/No/Desc.  
 C. Licuefacción:  Si/No/Desc. Otro:  
 Todos los ítems en blanco serán considerados como "Ninguno".  
 (\*Si la edificación no tuvo dirección técnica tachar Reglamento.

**2. DESCRIPCIÓN DE LA EDIFICACIÓN**

Bosquejo en planta y elevación

Tipo:  780 PRE  780 POST  Adobe  
 Gran Unidad  Otro:  
 No. de pisos: 2 Área en planta: 186.86 m<sup>2</sup>  
 Altura: 6.45 m Altura entrepiso: 3.00 m  
 Irregularidad:  Irregularidad estr. horizontal  Irregularidad estr. vertical  
 Arquitectura:  Voladizo  Ornamento  
 Tragaluz  Balcón  
 Parapeto  Otro:  
 Tipo de techo:  Plano  Un agua  
 Dos aguas  Cuatro aguas  
 Otro:  
 Junta sísmica:  Si  No  
 Distribución  
 Aula  Taller  Administrativo  
 Biblioteca  Servicio  Laboratorio  
 Usos mult.  Comedor  Otro: TENDIDO DE SANO  
 Comentarios, recomendaciones y fotografías adjuntas.  
 Máx. dimensión de abertura en muro: 3.08 x 2.00 m VENTANA  
 Abertura total en muros: 102.79 m<sup>2</sup>  
 Dimensión de aula típica: 8.30 x 6.35 m  
 No. de vanos: 23 No. de puertas: 6

**3. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA**

Material predominante:  Concreto armado  Albañilería  Acero  Madera  Tierra  
 Sistema estructural:  Pórticos  Dual  MDL  Albañilería confinada  
 Mixto  Tierra reforzada  Otro:  
 Tipo de cimentación:  Cimiento corrido  Zapata conectada  Losa de cimentación  
 Zapata aislada  Zapata combinada  Otro:  
 Estructura de techo:  Losa aligerada  Losa maciza  Tijeral de madera  Estructura metálica  
 Ampliación/Remodelación:  No  Si (Tipo/Fecha)  
 Reforzamiento:  No  Si (Tipo/Fecha)  
 Problemas de configuración estructural:  Columna corta  Piso blando  Proximidad entre edificaciones  
 Columna débil  Riesgo torsional  Concentración de masa  
 Discontinuidad de elementos estr.  Otro: CARECE DE DIAFRAGMA RÍGIDO EN EL TECHO

NIVEL DE DAÑO ESTRUCTURAL				
	Ligero	Moderado	Severo	
Elem. estructural	Columna	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Viga	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Muro estructural	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Muro portante	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Elem. no estructural	Losa	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Sistema de techo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Sección de elementos estructurales (cm):  
 Columnas: rec. 35x35, 30x30, 30x45  
 Vigas: rec. 30x30, 30x45, 30x60, 25x20  
 Muros estr.: rec. 50x30, 100x30  
 Losa (esp.): 80

CONDICIÓN ESTRUCTURAL:  Inaceptable  Deficiente  Adecuado  Satisfactorio

Elaborado por: Bach. Gary Ivan Niels Limachi Paco (2024)



DBO-EVR4008

### FORMATO DE EVALUACIÓN VISUAL RÁPIDA EDIFICACIONES ESCOLARES

**COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES**

EL PASADIZO C DEDIDO A SU ANTIGÜEDAD Y LA AUSENCIA DE MANTENIMIENTO PRESENTA DETRIEJO AVANZADO EN SU ESTRUCTURA. SE HA OBSERVADO QUE UNA COLUMNA EN EL PRIMER NIVEL HA PERDIDO PARTE DE SU SECCIÓN TRANSVERSAL DESARROLLANDO EL ACCORD DE REFUERZO LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL LA LOSA DE ENTREPISO MUESTRA GRIETAS HORIZONTALES EN SUS BORDES CON UN ANCHO MAYOR A 5MM. ADEMÁS SE EVIDENCIA LA POSIBILIDAD DE QUE SE DESARROLLE EL EFECTO DE COLUMNA COSTA EN LOS PÓRTICOS DE CONCRETO ARMADO. ESTE PASADIZO CUENTA CON UN SISTEMA ESTRUCTURAL MIXTO, QUE CAMBIA UN SISTEMA ÚNICO DE PÓRTICOS DE CONCRETO ARMADO Y MUROS ESTRUCTURALES EN LA DIRECCIÓN LONGITUDINAL Y UN SISTEMA DE PÓRTICOS Y MUROS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA EN LA DIRECCIÓN TRANSVERSAL. RESPECTO A LOS ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES SUSCEPTIBLES A DAÑOS, SE OBSERVA: DEMO PÓDLIHO, VENTANAS CON CARPINTERÍA METÁLICA Y VÍTRIO COUDO, Y LUMINARIAS INADECUADAMENTE INSTALADAS.

### PANEL FOTOGRÁFICO

<p>Fotografía N°01. VISTA NOTURNA DEL PASADIZO C, SE PUEDE OBSERVAR LA DISTRIBUCIÓN MANIFIESTA Y LA AUSENCIA DE UN DIAFRAGMA RÍGIDO EN EL TECHO.</p>	<p>Fotografía N°02. VISTA LATERAL DEL PASADIZO C, SE PUEDE OBSERVAR LA PRESENCIA DE EFLORESCENCIA EN LA LOSA ALIGERADA DE ENTREPISO DEL PRIMER NIVEL.</p>	<p>Fotografía N°03. VISTA FRONTAL DEL PASADIZO F, LA CASA DE ESCALERAS, EL PASADIZO C.</p>
<p>Fotografía N°04. SE PUEDE OBSERVAR EL AGRIETAMIENTO EN EL CORTEJO DE LA LOSA ALIGERADA DE ENTREPISO DEL PRIMER NIVEL Y LAS VENTANAS CON CARPINTERÍA METÁLICA Y VÍTRIO COUDO.</p>	<p>Fotografía N°05. PRESENCIA DE EFLORESCENCIA EN LA ZONA INFERIOR DE UN PISO PARTIENDO DE ALBAÑILERÍA EN EL PRIMER NIVEL.</p>	<p>Fotografía N°06. DEMO PÓDLIHO QUE PUEDE OBSERVARSE LA RUTA DE ENRIQUECIMIENTO DURANTE UN SISMO.</p>
<p>Fotografía N°07. PRESENCIA DE EFLORESCENCIA EN LA SUPERFICIE INFERIOR DE LA LOSA ALIGERADA DE ENTREPISO DEL PRIMER NIVEL.</p>	<p>Fotografía N°08. SE OBSERVA LA PERDIDA DE LA SECCIÓN DE UNA COLUMNA EN LA ZONA INTERMEDIA Y EL EFECTO DE COLUMNA COSTA.</p>	<p>Fotografía N°09. SE OBSERVA EL PUNTO QUE CONECTA CON EL PASADIZO B Y LOS PARAPETOS ADOSADOS A LAS COLUMNAS EN EL CORREDOR DEL SEGUNDO NIVEL.</p>

Elaborado por: Bach. Gary Ivan Niels Limachi Paco (2024)



DBO-EVR-008

### FORMATO DE EVALUACIÓN VISUAL RÁPIDA EDIFICACIONES ESCOLARES

**1. DATOS GENERALES**

Institución educativa: DANIEL OCEGUA OCAÑO Nivel: PRIMARIO Evaluador: G. LIMACHI  
 Dirección: AV. MARINO LINO URBETA N° 588 Edificación: PAPELÓN PRIMARIA Fecha/Hora: \_\_\_\_\_  
 Coordenadas UTM: 251 757.71 E, 8 046.03 76 N Director/Propietario: JUAN ENRIQUEZ CANTACENA  
 Tipo de evaluación:  Desde la calle  Exterior  Parcialmente interior  Interior  Otro: \_\_\_\_\_  
 Año de construcción: 2012  Desconocido Reglamento\*:  Antes de 1997  Después de 1997  
 Cerco perimétrico:  Parcial  Completo  Ninguno Zona sísmica: 24 Planos:  Arq.  Estr.  
**Peligros externos y de origen geotéctico** Posición en la manzana  
 A. Falla geológica:  Si/No/Desc. D. Tsunami:  Si/No/Desc.  Frente a la calle  Esquina  Medio  Aislado  
 B. Desliz. de tierra:  Si/No/Desc. E. Socavación:  Si/No/Desc.  
 C. Licuefacción:  Si/No/Desc. Otro: \_\_\_\_\_  
Todos los ítems en blanco serán considerados como "Ninguno".  
 (\*) Si la edificación no tuvo dirección técnica tachar Reglamento.

**2. DESCRIPCIÓN DE LA EDIFICACIÓN**

**Bosquejo en planta y elevación**

Tipo:  780 PRE  780 POST  Adobe  
 Gran Unidad  Otro: \_\_\_\_\_  
 No. de pisos: 3 Área en planta: 173.89 m<sup>2</sup>  
 Altura: 9.85 m Altura entrepiso: 3.00 m  
 Irregularidad:  Irregularidad estr. horizontal  Irregularidad estr. vertical  
 Arquitectura:  Voladizo  Ornamento  
 Tragaluz  Balcón  
 Parapeto  Otro: PARASOL  
 Tipo de techo:  Plano  Un agua  Dos aguas  Cuatro aguas  
 Otro: \_\_\_\_\_  
 Junta sísmica:  Si  No  
 Distribución  
 Aula  Taller  Administrativo  
 Biblioteca  Servicio  Laboratorio  
 Usos mult.  Comedor  Otro: COCINA  
 Comentarios, recomendaciones y fotografías adjuntas.  
 Máx. dimensión de abertura en muro: 4.00 x 1.55 m VENTANA Dimensión de aula típica: 6.40 x 12.83 m  
 Abertura total en muros: 187.66 m<sup>2</sup> No. de vanos: 37 No. de puertas: 14

**3. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA**

Material predominante:  Concreto armado  Albañilería  Acero  Madera  Tierra  
 Sistema estructural:  Pórticos  Dual  MDL  Albañilería confinada  
 Mixto  Tierra reforzada  Otro: \_\_\_\_\_  
 Tipo de cimentación:  Cimiento corrido  Zapata conectada  Losa de cimentación  
 Zapata aislada  Zapata combinada  Otro: \_\_\_\_\_  
 Estructura de techo:  Losa aligerada  Losa maciza  Tijeral de madera  Estructura metálica  
 Ampliación/Remodelación:  No  Si (Tipo/Fecha) \_\_\_\_\_  
 Reforzamiento:  No  Si (Tipo/Fecha) \_\_\_\_\_  
 Problemas de configuración estructural:  Columna corta  Piso blando  Proximidad entre edificaciones  
 Columna débil  Riesgo torsional  Concentración de masa  
 Discontinuidad de elementos estr.  Otro: \_\_\_\_\_

NIVEL DE DAÑO ESTRUCTURAL				
	Ligero	Moderado	Severo	
Elem. estructural	Columna	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Viga	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Muro estructural	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Muro portante	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Elem. no estructural	Losa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Sistema de techo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Sección de elementos estructurales (cm):  
 Columnas: DEC 25x25  
30x30 30x45 1.60x30x30  
 Vigas: DEC 30x45 30x60  
NCH 25x20  
 Muros estr.: DEC 100x30  
 Losa (esp.): 20, 15

CONDICIÓN ESTRUCTURAL:  Inaceptable  Deficiente  Adecuado  Satisfactorio

Elaborado por: Bach. Gary Ivan Niels Limachi Paco (2024)



DBO-EVR-008

### FORMATO DE EVALUACIÓN VISUAL RÁPIDA EDIFICACIONES ESCOLARES

**COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES**

EL PAPELÓN PRIMARIA NO PRESENTA DAÑOS ESTRUCTURALES Y TAMPOCO SE HAN REGISTRADO AFECTACIONES POR SISMOS ANTERIORES. SE HA IDENTIFICADO PARAPETOS ALCANZADOS A LAS COLUMNAS EN EL CORREDOR DEL SEGUNDO Y TERCER NIVEL QUE PODRÍAN PROVOCAR INTERACCIÓN CON LAS COLUMNAS. ESTE PAPELÓN CUENTA CON UN SISTEMA ESTRUCTURAL MIXTO, QUE CONTIENE UN SISTEMA DUAL DE PÓRTICOS DE CONCRETO ARMADO Y MUROS ESTRUCTURALES EN LA DIRECCIÓN LONGITUDINAL Y UN SISTEMA DE PÓRTICOS DE CONCRETO ARMADO Y MUROS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA EN LA DIRECCIÓN TRANSVERSALE. NO PRESENTA NINGÚN TIPO DE IRREGULARIDAD ESTRUCTURAL. PUEDE SUMAR SÍSMICA DE DOS PULGADAS. RESPECTO A LOS ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES SUSCEPTIBLES A DAÑOS, SE OBSERVÓ LOS SIGUIENTES: DENSO MOBILIARIO, EQUIPAMIENTO SIN NINGÚN TIPO DE PROTECCIÓN, TITANES INDUSTRIAL CON UN SISTEMA DE ANCLAJE INADECUADO.

### PANEL FOTOGRÁFICO


Elaborado por: Bach. Gary Ivan Niels Limachi Paco (2024)

## Anexo 4. Cálculo de los puntos de desempeño y desplazamientos objetivos

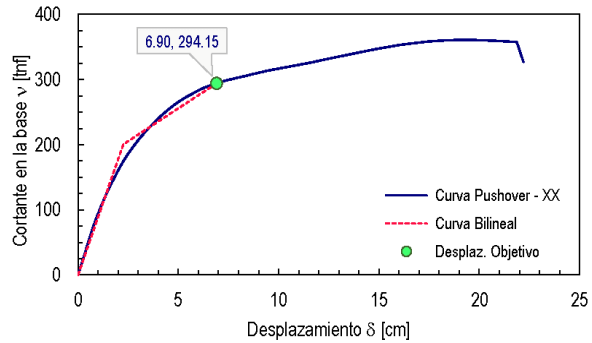
Enlace de descarga: <https://bit.ly/41SZtEU>

Arch\_MC-XX-475\_ASCE/SEI 41-17\_GINLP\_Report.xls

### DETERMINACIÓN DEL DESPLAZAMIENTO OBJETIVO

Tabla Resumen	
Coefficiente $C_0$	1.41
Coefficiente $C_1$	1.15
Coefficiente $C_2$	1.03
Aceleración espectral $S_a$	1.30 g
Periodo efectivo fundamental $T_e$	0.36 s
Gravedad $g$	981 $cm/s^2$
Target displacement $\delta_t$	6.90 cm
Cortante en la base $V$	294.1 $tnf$
Ductilidad $\mu$	3.07

Gráfico:



### PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

Tabla 1: Curva Pushover				
Cortante en la base $V$ (tnf)	Desplaz. en el nodo $\delta$ (cm)	Resistencia a la cedencia $V_y$ (tnf)	$D_y$ (cm)	
0.00	0.00	200.63	2.25	
19.55	0.20	$V_{pi}$ (tnf)	$D_{pi}$	
39.45	0.40	294.15	6.90	
59.34	0.60			
77.84	0.80			
94.27	1.00			
109.55	1.20			
123.44	1.40			
132.32	1.54			
144.79	1.74			
165.92	2.09			
179.97	2.37			
191.14	2.61			
202.91	2.90			
212.41	3.15			
222.03	3.42			
230.29	3.67			
238.25	3.93			
245.05	4.16			

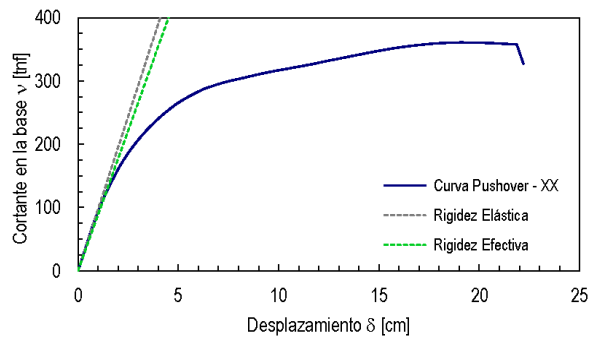


Tabla 2: Periodo Fundamental Efectivo			
Periodo fundamental elástico $T_i$ (s)	Rigidez lateral elástica $K_i$ (tn/m)	Rigidez lateral efectiva $K_e$ (tn/m)	Periodo fundamental efectivo $T_e$ (s)
0.34	9773.65	8877.99	0.36

Tabla 3: $\mu$ Strength y $\mu$ máx				
Aceleración espectral del periodo efectivo $S_a$ (g)	Peso sísmico del edificio $W$ (tnf)	Factor de masa efectiva $C_m$	$\mu_{strength}$	$\mu_{máx}$
1.30	532.42	0.8	2.75	3.07

Tabla 4: Coeficiente $C_0$					
Piso	Masa sísmica $m$ (tn)	$\phi_{i1}$	$m_i \phi_{i1}$	$m_i \phi_{i1}^2$	Factor de participación
3	12.55	1.00	12.55	12.55	1.41
2	20.90	0.58	12.17	7.08	
1	20.85	0.20	4.09	0.80	
		$\Sigma=$	28.81	20.43	

Tabla 5: Coeficiente $C_1$			
$\mu_{strength}$	Factor de tipo de suelo $\alpha$	Periodo fundamental efectivo $T_e$ (s)	$C_1$
2.75	90	0.36	1.15

Tabla 6: Coeficiente $C_2$		
$\mu_{strength}$	Periodo fundamental efectivo $T_e$ (s)	$C_2$
2.75	0.36	1.03

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g$$

$$K_e^t = \frac{0.6 V_y^t}{D_{0.6}}$$

$$C_0 = \frac{\sum_{i=1}^N m_i \phi_{i1}}{\sum_{i=1}^N m_i \phi_{i1}^2}$$

$$D_y^t = \frac{V_y^t}{K_e^t}$$

$$C_1 = 1 + \frac{\mu_{strength} - 1}{\alpha T_e^2}$$

$$\mu_{strength} = \frac{S_a}{V_y/W} C_m$$

$$C_2 = 1 + \frac{1}{800} \left( \frac{\mu_{strength} - 1}{T_e} \right)^2$$

$$S_a = Z e s p C S$$

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}}$$

### BIBLIOGRAFÍA:

American Society of Civil Engineers (2017). *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*. ASCE/SEI 41-17.

Elaborado por: Bach. Gary Ivan Niels Limachi Paco (2024)

## Anexo 5. Normatividad utilizada

FEMA P-154

### Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook



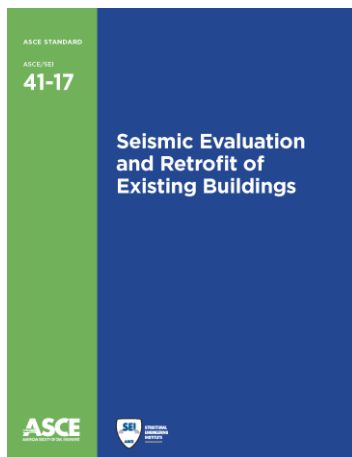
Rapid Visual Screening  
of Buildings for Potential  
Seismic Hazards: A Handbook  
Third Edition

FEMA P-154 / January 2015



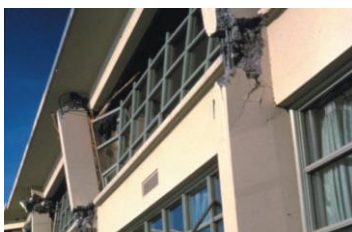
ASCE/SEI 41-17

### Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings



FEMA 440

### Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures



Improvement of  
Nonlinear Static Seismic  
Analysis Procedures  
FEMA 440

June 2005



### Anexo 6. Panel fotográfico



**FOTOGRAFÍA N° 01**

**DESCRIPCIÓN:** Evidencia del proceso de inspección visual en el bloque A1. Se aprecia la junta sísmica entre el bloque A1 y la caja de escalera que conecta los pabellones A y B.



**FOTOGRAFÍA N° 02**

**DESCRIPCIÓN:** Evidencia del proceso de recolección de datos mediante la aplicación de un formulario de Evaluación Visual Rápida de edificaciones escolares en el bloque Primaria.



ANEXO 1  
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS  
TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN  
EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital

Fecha de entrega: 03/10/2025

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: Gary Ivan Niels Limachi Paco

Dirección: Jr. Coronel Ponce N° 174 - Puno

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 70301375

Teléfono: 990137280 email: garylp102@gmail.com

Nombres y Apellidos: \_\_\_\_\_

Dirección: \_\_\_\_\_

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: \_\_\_\_\_

Teléfono: \_\_\_\_\_ email: \_\_\_\_\_

Facultad y/o Escuela de Posgrado: Ingenierías y Ciencias Puras

Escuela Profesional o Mención: Ingeniería Civil

Título o Grado Académico a optar: Ingeniero Civil

Asesor: Dr. Arnaldo Yana Torres

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación  Tesis  Trabajo de Suficiencia Profesional  Trabajo Académico

Título: EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO PARA MEJORAR EL CONTROL DE DAÑOS  
ESTRUCTURALES DE EDIFICACIONES EDUCATIVAS EMBLEMÁTICAS EN LA CIUDAD DE ILO

Palabras claves, (3 a 5 términos): Daño estructural, desempeño sísmico, infraestructura educativa

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV <sup>1, 2</sup>?

2

<sup>1</sup> Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entré otros relacionados.

<sup>2</sup> Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.



2. Referencia de tesis:

Bachiller  Titulo  2da Especialidad  Maestría  Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

**Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.**

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

**Autorizo su publicación (marque con una X)**

Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.  
 Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): \_\_\_\_\_  
 No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

**¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?**

**Sí:** significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

**No:** significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

Sí autorizo  
 No autorizo



**Jurisdicción de su Licencia**

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción "internacional" o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción "internacional" emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, **la opción "internacional" goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral.** Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

Internacional

Nacional

Línea de investigación: Tecnología de la construcción - P17

Firma de Autor



huella digital

03/10/2025

Fecha