

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

ESCUELA DE POSTGRADO

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN ESTRUCTURAS



**EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA USANDO
CURVAS DE FRAGILIDAD DE UNA COBERTURA METÁLICA EN LA
SEDE CENTRAL DEL GOBIERNO REGIONAL DE TACNA, 2025**

TESIS

Presentada por:

Bach. Jean Michel Sarmiento Chucuya

ORCID: 0009-0005-9234-8577

Asesor:

Dr. Dennys Geovanni Calderón Paniagua

ORCID: 0000-0002-6569-0634

Para Obtener el Grado Académico de:

MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN ESTRUCTURAS

TACNA - PERÚ

2026

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
ESCUELA DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN
ESTRUCTURAS

Tesis

**EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA USANDO CURVAS
DE FRAGILIDAD DE UNA COBERTURA METÁLICA EN LA SEDE
CENTRAL DEL GOBIERNO REGIONAL DE TACNA, 2025**

Presentada por:

Bach. Jean Michel Sarmiento Chucuya

**Tesis sustentada y aprobada el 23 de junio de 2026; ante el siguiente jurado
examinador:**

PRESIDENTE: **Dr. Pedro Valerio Maquera Cruz**

SECRETARIO: **Mtro. Alfonso Oswaldo Flores Mello**

VOCAL: **Dr. Genner Alvarito Villarreal Castro**

ASESOR: **Dr. Dennys Geovanni Calderón Paniagua**

Declaración jurada de originalidad

Yo, **Jean Michel Sarmiento Chucuya**, en calidad de **egresado** de la **Maestría en Ingeniería Civil con mención en Estructuras**, de la Escuela de Postgrado de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI N° 74092188.

Soy autor de la tesis titulada:

EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA USANDO CURVAS DE FRAGILIDAD DE UNA COBERTURA METÁLICA EN LA SEDE CENTRAL DEL GOBIERNO REGIONAL DE TACNA, 2025, con asesor: Dr. Dennys Geovanni Calderón Paniagua.

DECLARO BAJO JURAMENTO

Ser el único autor del texto entregado para obtener el grado académico de **MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN ESTRUCTURAS**, y que tal texto no ha sido entregado ni total ni parcialmente para obtención de un grado académico en ninguna otra universidad o instituto, ni ha sido publicado anteriormente para cualquier otro fin.

Así mismo, declaro no haber transgredido ninguna norma universitaria con respecto al plagio ni a las leyes establecidas que protegen la propiedad intelectual.

Declaro, que después de la revisión de la tesis con el software Turnitin se declara 07% de similitud, además que el archivo entregado en formato PDF corresponde exactamente al texto original que presento junto al mismo.

Por último, declaro que para la recopilación de datos se ha solicitado la autorización respectiva a la empresa u organización, evidenciándose que la información presentada es real y soy conocedor de las sanciones penales en caso de infringir las leyes del plagio y de falsa declaración, y firmo la presente con pleno uso de mis facultades y asumiendo todas las responsabilidades de ella derivada.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a LA UNIVERSIDAD cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra o invención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a LA UNIVERSIDAD y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran

derivarse de ello en favor de tercero con motivos de acciones, reclamaciones o conflicto derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis, libro o invento.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Lugar y fecha: Tacna, 23 de junio de 2026.



Jean Michel Sarmiento Chucuya

DNI N° 74092188

Dedicatoria

La investigación está dedicada a Dios por la oportunidad que me ha dado de concluir de forma satisfactoria este proceso de aprendizaje.

Asimismo, dedicado a mi familia y amigos cercanos que me apoyaron durante este proceso, y ven realizada conjuntamente conmigo este logro profesional.

Jean Sarmiento

Agradecimientos

Le doy gracias a Dios por darme la confianza y sabiduría para concluir esta investigación.

Agradezco a la Universidad Privada de Tacna por permitirme seguir creciendo profesionalmente.

Del mismo modo, agradezco a mi docente asesor por apoyarme durante todo el desarrollo de esta investigación.

Jean Sarmiento

Índice de contenidos

	Pág.
Declaración jurada de autenticidad	iv
Dedicatoria	vi
Agradecimientos	vii
Índice de contenidos	viii
Índice de tablas	xi
Índice de figuras	xii
Índice de apéndices	xiii
Resumen	xiv
Abstract	xv
Introducción	01
 CAPÍTULO I: EL PROBLEMA	 03
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	03
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	06
1.2.1 <i>Problema principal</i>	06
1.2.2 <i>Problemas secundarios</i>	06
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	07
1.4 OBJETIVOS	08

1.4.1	<i>Objetivo general</i>	08
1.4.2	<i>Objetivos específicos</i>	08
CAPÍTULO II: MARCO REFERENCIAL		09
2.1	ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	09
2.2	NORMATIVA VIGENTE	14
2.3	DEFINICIÓN DE CONCEPTOS BÁSICOS	23
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA Y DISEÑO DEL PROYECTO		
3.1	DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN APLICADA	26
3.1.1	<i>Tipo de investigación</i>	26
3.1.2	<i>Nivel de investigación</i>	26
3.1.3	<i>Justificación del enfoque aplicado</i>	27
3.2	DISEÑO DEL PROYECTO	29
3.2.1	<i>Etapas del proyecto</i>	29
3.2.2	<i>Herramientas y/o software utilizados</i>	30
3.3	EVALUACIÓN TÉCNICA Y FACTIBILIDAD	31
3.3.1	<i>Modelado estructural</i>	31
3.3.2	<i>Recolección de acelerogramas</i>	32
3.3.2	<i>Obtención de curvas de fragilidad</i>	32

3.4	PLANIFICACIÓN Y EJECUCIÓN	33
3.4.1	<i>Cronograma de actividades</i>	33
3.4.2	<i>Asignación de recursos</i>	34
3.4.3	<i>Costos y financiamiento</i>	34
	CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
4.1	DESARROLLO DEL PROYECTO Y VALIDACIÓN DEL DISEÑO	36
4.2	ANÁLISIS DE IMPACTO, BENEFICIOS Y COMPARACIÓN CON CASOS SIMILARES	57
4.3	LIMITACIONES DEL ESTUDIO Y MEJORAS IDENTIFICADAS	60
4.4	DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA Y SU IMPLEMENTACIÓN	61
4.5	EVALUACIÓN DE COSTOS, SOSTENIBILIDAD Y VIABILIDAD A LARGO PLAZO	62
	CONCLUSIONES	65
	RECOMENDACIONES	67
	REFERENCIAS	69
	APÉNDICE	78

Índice de tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Plan de ejecución</i>	33
Tabla 2. <i>Costo estimado para la investigación</i>	35
Tabla 3. <i>Datos de velocidad del viento</i>	39
Tabla 4. <i>Resultados de masas participativa y periodos de la cobertura metálica</i>	42
Tabla 5. <i>Verificación de control de derivas en la dirección X</i>	43
Tabla 6. <i>Verificación de control de derivas en la dirección Y</i>	43
Tabla 7. <i>Parámetros de fragilidad – medianas (μ) y dispersión (β)</i>	45
Tabla 8. <i>Probabilidad de excedencia para los registros sísmicos escalados</i>	56

Índice de figuras

	Pág.
Figura 01. <i>Espectro inelástico de pseudo-aceleraciones X-X</i>	37
Figura 02. <i>Espectro inelástico de pseudo-aceleraciones Y-Y</i>	37
Figura 03. <i>Ubicación de la cobertura metálica</i>	38
Figura 04. <i>Cobertura metálica</i>	38
Figura 05. <i>Curva de fragilidad para daño Leve</i>	46
Figura 06. <i>Curva de fragilidad para daño Moderado</i>	46
Figura 07. <i>Curva de fragilidad para daño Extenso</i>	47
Figura 08. <i>Curva de fragilidad para daño Completo</i>	47
Figura 09. <i>Curva de fragilidad juntas</i>	48
Figura 10. <i>Dato sismo 2005</i>	49
Figura 11. <i>Registro de aceleraciones sismo 2005</i>	49
Figura 12. <i>Dato sismo 2010</i>	50
Figura 13. <i>Registro de aceleraciones sismo 2010</i>	50
Figura 14. <i>Dato sismo 2014</i>	51
Figura 15. <i>Registro de aceleraciones sismo 2014</i>	51
Figura 16. <i>Registro SRSS sismo 2005</i>	52
Figura 17. <i>Registro SRSS sismo 2010</i>	52
Figura 18. <i>Registro SRSS sismo 2014</i>	53
Figura 19. <i>Espectro de Pseudoaceleraciones</i>	53
Figura 20. <i>Escalamiento de registros al Espectro de Pseudoaceleraciones</i>	54

Figura 21. <i>Cálculo de probabilidad de excedencia para cada estado de daño</i>	56
Figura 22. <i>Diseño de acuerdo con el código AISC 360-10</i>	58

Índice de apéndices

	Pág.
Apéndice 01. <i>Matriz de consistencia</i>	75
Apéndice 02. Resultado de Tabla Lognormal para cada Estado de Daño	76
Apéndice 03. Escalamiento de Registros	80

Resumen

La investigación tuvo como objetivo principal evaluar la vulnerabilidad sísmica utilizando curvas de fragilidad de una cobertura metálica ubicada en la sede central del Gobierno Regional de Tacna, 2025. La investigación fue de tipo aplicada y presentó un enfoque cuantitativo orientado al análisis del comportamiento estructural frente a acciones sísmicas. El estudio se desarrolló con un nivel explicativo, bajo un diseño cuasi experimental y de corte transversal. La población estuvo conformada por las estructuras metálicas del departamento de Tacna, mientras que la muestra correspondió a una cobertura metálica ubicada en la sede central del Gobierno Regional de Tacna. Los resultados muestran que, para un PGA equivalente de 0.614 g, la probabilidad de daño leve, moderado, extenso y completo fue de 96 %, 91 %, 67.4 % y 31.2 %, respectivamente, mientras que el registro sísmico de 2010 escalado (1.164 g) alcanzó una probabilidad de 69.5% de daño completo. Se concluyó que, aun cumpliendo con los requisitos normativos, la cobertura metálica presenta vulnerabilidad significativa ante sismos severos, evidenciándose la utilidad de las curvas de fragilidad para caracterizar el desempeño sísmico estructural y orientar futuras medidas de reforzamiento.

Palabras claves: Curvas de fragilidad; vulnerabilidad sísmica; cobertura metálica; acelerogramas; SAP2000; HAZUS; AISC 360-10; NTE E.030.

Abstract

The research aimed to evaluate the seismic vulnerability using fragility curves of a metallic roof structure located at the headquarters of the Regional Government of Tacna in 2025. The study was applied in nature and adopted a quantitative approach focused on analyzing structural behavior under seismic actions. The research was conducted at an explanatory level, using a quasi-experimental design with a cross-sectional approach. The population consisted of metallic structures in the department of Tacna, while the sample corresponded to a metallic roof structure located at the headquarters of the Regional Government of Tacna. The results show that, for an equivalent PGA of 0.614 g, the probability of slight, moderate, extensive, and complete damage was 96%, 91%, 67.4%, and 31.2%, respectively, while the scaled 2010 seismic record (1.164 g) reached a probability of 69.5% of complete damage. It was concluded that, even though the structure complies with regulatory requirements, the metallic roof presents significant vulnerability under severe earthquakes, demonstrating the usefulness of fragility curves to characterize structural seismic performance and guide future strengthening measures.

Keywords: Fragility curves; seismic vulnerability; steel roof structure; earthquake records; SAP2000; HAZUS methodology; AISC 360-10; NTE E.030.

Introducción

La presente investigación tuvo por finalidad evaluar la vulnerabilidad sísmica de una cobertura metálica ubicada en la sede central del Gobierno Regional de Tacna, durante el año 2025, mediante la aplicación de curvas de fragilidad sísmica, debido a que la región de Tacna se encuentra en una zona de alta peligrosidad sísmica y muchas estructuras metálicas existentes han sido diseñadas considerando únicamente criterios normativos de resistencia y control de derivas, sin una evaluación explícita de su comportamiento probabilístico frente a eventos sísmicos severos. En este contexto, resulta pertinente incorporar metodologías basadas en desempeño que permitan estimar la probabilidad de daño estructural para distintos niveles de intensidad sísmica, a fin de contribuir a una mejor gestión del riesgo y toma de decisiones en edificaciones públicas estratégicas.

Al respecto, el desarrollo de esta investigación considera, en su capítulo uno, el planteamiento de la problemática de estudio, las preguntas del problema, la justificación y los objetivos de la investigación. En el capítulo dos, se abordan los antecedentes internacionales y nacionales relacionados con la evaluación de vulnerabilidad sísmica mediante curvas de fragilidad, así como la normativa vigente y los conceptos fundamentales que sustentan el análisis estructural y probabilístico desarrollado.

Posteriormente, el capítulo tres describe la metodología empleada en la investigación, que comprende el modelamiento estructural tridimensional, la selección y escalamiento de registros sísmicos reales, y la aplicación de los lineamientos del manual técnico HAZUS para la obtención de curvas de fragilidad. Finalmente, en el capítulo cuatro se presentan y discuten los resultados obtenidos, evaluando el desempeño sísmico de la cobertura metálica, para culminar con las conclusiones y recomendaciones orientadas a la mejora del diseño y evaluación de estructuras metálicas frente a eventos sísmicos.

De otra parte, el cuarto capítulo desarrolla el análisis de los resultados obtenidos a partir del modelamiento estructural, la verificación normativa según la NTE E.030 y la AISC 360-10, así como la construcción de las curvas de fragilidad basadas en los registros sísmicos seleccionados. En este capítulo se presentan y discuten los desplazamientos, derivas, ratios de diseño, parámetros de fragilidad y probabilidades de daño.

El quinto capítulo contiene la discusión de resultados, donde se contrastan los hallazgos obtenidos con estudios similares y con la literatura técnica existente en vulnerabilidad sísmica de estructuras metálicas. Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones del estudio, sustentadas en los resultados estructurales y probabilísticos obtenidos.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A nivel internacional, según Crisci et al., (2024) manifestaron que los sismos de gran magnitud generan daños y derrumbes, por lo que era esencial cuantificar la vulnerabilidad de las estructuras para planificar estrategias de mitigación y mejorar su resiliencia. Sin embargo, se había investigado poco sobre la fragilidad y vulnerabilidad sísmica en estructuras, a pesar de las variaciones en los daños causados por diferentes movimientos del terreno en una misma zona sísmica (Li et al., 2024), por lo que Wang et al., (2014) indicaron que era necesario estimar la vulnerabilidad sísmica frente a terremotos y comparar las probabilidades de superar la aceleración máxima del terreno mediante el análisis dinámico incremental, para ello, las medidas de intensidad sísmica y los parámetros de demanda estructural eran clave en modelos de fragilidad sísmica (Si-Qi, 2024).

Las incertidumbres asociadas a los terremotos, la respuesta sísmica de las estructuras, los daños causados por los sismos y los costes de reparación (Shahrokh et al., 2024), eran tales que las estructuras debían evaluarse en respuesta a estos, por tanto Li & Chen, (2024), indicaron que la vulnerabilidad sísmica y la evaluación del riesgo de las estructuras en zonas urbanas y rurales eran componentes críticos de las estrategias de predicción rápida de la resistencia sísmica y las pérdidas económicas en zonas de desarrollo, para lo cual Baziar & Alavi (2024) indicaron que para reducir las incertidumbres relativas a los escenarios de carga sísmica y las limitaciones de los modelos numéricos, se debían desarrollar las curvas de fragilidad utilizando los resultados de análisis sísmicos, considerando las deformaciones y generando curvas de fragilidad basadas en intensidad, incluyendo la aceleración del terreno.

A nivel nacional, la tecnología de estructuras metálicas para cubiertas había avanzado significativamente en los países desarrollados, con diversas técnicas de construcción que consideraban parámetros de diseño como materiales, anclajes y uniones Carranza & Taco (2011). Teniendo en cuenta este escenario, Alva & Cornejo (2021) mencionaron que en los últimos años la demanda de coberturas metálicas aumentó en el Perú debido a que este sistema constructivo era relativamente nuevo y su investigación aún era limitada.

Teniendo en cuenta que el Perú se ubica en el cinturón de fuego del Pacífico, según el Instituto Geofísico del Perú (IGP), desde el año 2000 al año 2020 se habían

registrado más de 1800 sismos de moderada y alta magnitud (Instituto Geofísico del Perú, 2025), los cuales impulsaron el desarrollo de las normativas peruanas como la Norma Técnica Peruana E.030 “Diseño Sismorresistente” y la E.090 “Estructuras Metálicas”, que tenían por objetivo garantizar la seguridad estructural frente a eventos sísmicos.

A nivel local, en el departamento de Tacna que se encuentra ubicado al sur de Perú, caracterizado por ser una zona de alta actividad sísmica, destacándose que el terremoto de 2001 reveló la fragilidad de muchas construcciones, lo que llevó a un mayor enfoque en la gestión del riesgo sísmico Colque & Oquendo (2017), por tal motivo Cotrado (2017) indicó que las curvas de fragilidad estiman la probabilidad de que un componente excediera un nivel de daño específico y pueden desarrollarse mediante métodos empíricos, analíticos o basados en la opinión de expertos, en contraste con Montalvo (2014) mencionó que para entender el riesgo sísmico se combina el peligro sísmico, que es la amenaza que enfrentan las estructuras, con la vulnerabilidad sísmica, que es su capacidad para resistirla, esto permitía estimar las posibles pérdidas en caso de un sismo.

Es en este escenario, que la presente investigación tenía como objetivo analizar cómo el uso de curvas de fragilidad sísmica contribuía a mejorar el diseño y evaluación de estructuras metálicas, de esta forma al incorporar esta metodología en el proceso de diseño y valuación, se buscaba generar una mejora continua del

cálculo estructural, promoviendo mejores soluciones y seguras frente a eventos sísmicos.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema principal

¿Cómo las curvas de fragilidad sísmica permiten efectuar la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de una cobertura metálica en la sede central del Gobierno Regional de Tacna, 2025?

1.2.2 Problemas secundarios

- a) ¿Cómo los acelerogramas tomados de sismos reales permiten obtener las curvas de fragilidad para evaluar una cobertura metálica en la sede central del Gobierno Regional de Tacna, 2025?
- b) ¿De qué manera realizar un modelamiento estructura que cumpla con las disposiciones indicadas en la norma técnica E.030 y la AISC permitirán evaluar una cobertura metálica en la sede central del Gobierno Regional de Tacna, 2025?
- c) ¿Qué beneficio se obtendrá al graficar las curvas de fragilidad sísmica para determinar la vulnerabilidad de una cobertura metálica en la sede central del Gobierno Regional de Tacna?

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La justificación social de este trabajo de investigación se fundamentó en la necesidad de comprender con mayor detalle cómo los eventos sísmicos afectaban a las estructuras metálicas, en especial a aquellas que forman parte de edificaciones públicas estratégicas. Al identificar los aspectos críticos que requerían mejoras en su diseño estructural, se contribuía directamente a la seguridad de los usuarios, ya que eran los mayores beneficiarios de proyectos que cumplían con estándares de resistencia sísmica.

La justificación práctica de esta investigación se basó en la importancia de la evaluación de daños estructurales en una estructura tras la ocurrencia de un sismo. Este tipo de análisis era esencial para planificar la respuesta ante emergencias, identificar zonas críticas de daños estructurales y calcular pérdidas económicas asociadas. Las curvas de fragilidad se empleaban para estimar riesgos sísmicos, ofreciendo probabilidades de distintos niveles de daño según la intensidad del sismo y el movimiento del suelo (Ntaliakouraas & Pnevmatikos, 2017).

Finalmente, la justificación metodológica para el trabajo de investigación encontró sustento en el hecho de que se lograría elaborar curvas de fragilidad sísmica, las cuales permitirían conocer con mayor precisión la capacidad de una

cobertura metálica para resistir esfuerzos inducidos por eventos sísmicos. Esta metodología se podría implementar en otras estructuras metálicas similares a fin de realizar análisis particulares de cada tipo de estructura tal como se había planteado y analizado en la investigación.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Evaluar la vulnerabilidad sísmica utilizando curvas de fragilidad sísmica de una cobertura metálica en la sede central del Gobierno Regional de Tacna, 2025.

1.4.2 Objetivos específicos

- a) Obtener las curvas de fragilidad, para diversos estados de daño, con la ayuda de los acelerogramas, tomados de sismos reales para evaluar una cobertura metálica en la sede central del Gobierno Regional de Tacna, 2025.
- b) Realizar el modelamiento estructural cumpliendo las disposiciones indicadas en la norma técnica E.030 y la AISC para una cobertura metálica en la sede central del Gobierno Regional de Tacna, 2025.
- c) Analizar el beneficio de las curvas de fragilidad para la determinación de la vulnerabilidad sísmica de una cobertura metálica en la sede Central del Gobierno Regional de Tacna y su propuesta de mejora.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

En relación con el desarrollo de este capítulo se procederá a detallar los antecedentes de proyectos análogos, las disposiciones normativas aplicables y, finalmente, los conceptos fundamentales asociados a las variables de estudio:

2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

A continuación, se detallan los antecedentes del estudio, seleccionados por su importancia y aporte a las variables de estudio.

2.1.1 Antecedentes internacionales

a) Revista científica

En la investigación titulada “Fragilidad sísmica de un edificio de concreto reforzado usando medidas de intensidad sísmica vectorial basadas en la forma espectral”, de Zavala-Gutiérrez et al. (2022), publicada en la Revista de Ciencias Tecnológicas (RECIT), se tuvo como objetivo evaluar la eficiencia

de ocho medidas de intensidad sísmica vectorial (MISV) —todas con $Sa(T_1)$ como primera componente y, como segunda, AMS, VMS, T_D , I_D , $R_{(T_1, T_2)}$, $Np_{(Sa)}$, $Np_{(V)}$ y $Np_{(Sv)}$ — para estimar fragilidad sísmica en un edificio de concreto reforzado de 10 niveles. Para ello, se desarrolló un análisis dinámico incremental (IDA) con 30 registros de banda angosta representativos de suelo blando de la Ciudad de México, se consideró la distorsión máxima de entrepiso (DME) como parámetro de demanda y se construyeron superficies de fragilidad mediante regresión logística multinomial fijando un límite de DME = 0.03 según normativa local.

Entre sus hallazgos clave, el estudio mostró que las MISV basadas en forma espectral fueron notablemente más eficientes para relacionar intensidad con probabilidad de falla que las basadas en respuestas máximas o duración (AMS, VMS, T_D , I_D). En particular, la pareja $\langle Sa(T_1), Np_{(Sa)} \rangle$ presentó la mejor correlación con la probabilidad de falla, superando a $Sa(T_1)$ por sí sola (usualmente empleada en reglamentos), mientras que $R_{(T_1, T_2)}$ también mejoró de forma consistente el ajuste de las superficies de fragilidad; por el contrario, AMS y VMS mostraron poca o nula influencia sobre la fragilidad estimada. Concluyeron que es deseable que futuros reglamentos de construcción incorporen medidas de intensidad más apropiadas, especialmente MISV que capturen la forma espectral, por su mayor capacidad para reflejar la respuesta no lineal y la influencia de modos superiores, y así reducir la incertidumbre en la evaluación de vulnerabilidad.

b) Tesis

En la tesis denominada “Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las viviendas de adobe del centro histórico de Chachapoyas mediante el análisis estático no lineal y curvas de fragilidad”, presentada por García Chávez (2024) para optar el título profesional de Ingeniero Civil en la Universidad San Ignacio de Loyola, se tuvo como objetivo evaluar la vulnerabilidad sísmica de viviendas de adobe mediante la aplicación del análisis estático no lineal (AENL) y la generación de curvas de fragilidad. Para ello, el autor desarrolló un modelo numérico por elementos finitos, calibrado con resultados experimentales de muros ensayados en laboratorio, y posteriormente generó 300 edificaciones sintéticas mediante simulación Montecarlo, las cuales fueron sometidas a 244 registros sísmicos para estimar la probabilidad de excedencia en cuatro estados de daño.

Entre los resultados más relevantes, se encontró que para un PGA de 0.20g, correspondiente a un sismo ocasional, el 49 % de las viviendas evaluadas colapsaría (DS4), evidenciando una alta vulnerabilidad sísmica en las edificaciones tradicionales de adobe del centro histórico de Chachapoyas. Finalmente, se concluye que las curvas de fragilidad constituyen una herramienta fundamental para estimar el daño potencial y apoyar la toma de decisiones orientadas a la mitigación del riesgo sísmico, demostrando además la necesidad de incorporar metodologías de evaluación analítica y reforzamiento estructural que incrementen la resiliencia de las viviendas

patrimoniales. Lo antes expuesto evidencia la importancia de implementar modelos de evaluación de vulnerabilidad sísmica basados en curvas de fragilidad, dado que permiten mejorar el diseño estructural, orientar intervenciones de conservación y reducir significativamente el riesgo de colapso en edificaciones ubicadas en zonas históricas.

2.1.2 Antecedentes nacionales

En la investigación titulada “Determinación de las curvas de fragilidad analítica mediante el análisis incremental dinámico en el centro de salud de Conchopata en Ayacucho,2019”, de Valenzuela (2021) publicado en la revista Ciencia Latina Revista Multidisciplinar, tuvo como objetivo determinar la reducción de vulnerabilidad sísmica en edificaciones esenciales mediante la generación de curvas de fragilidad analítica aplicando el análisis incremental dinámico. Para ello, emplearon un enfoque probabilístico con el método de simulación de Montecarlo, análisis dinámico tiempo-historia y modelado estructural en ETABS y Matlab. Llegando a los resultados donde identificó una alta probabilidad de daño extensivo en edificaciones esenciales, lo que refleja la necesidad de considerar variaciones en geometría y cargas adicionales para mejorar la precisión del análisis. Concluyendo que es indispensable verificar el cumplimiento de la Norma Técnica Peruana E.030 en estructuras metálicas, dado que muchas fueron estructuradas y diseñadas sin criterios sismorresistentes o se ubican en zonas recientemente reclasificadas como de

alto riesgo, evidenciando la importancia de aplicar modelos de evaluación de vulnerabilidad mediante curvas de fragilidad para garantizar la seguridad estructural y reducir el riesgo de colapso. Lo antes mencionado resalta la relevancia de incorporar estas herramientas en el diseño y supervisión técnica, asegurando edificaciones estratégicas más resilientes frente a eventos sísmicos.

En la tesis denominada “Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de una nave industrial de acero en el distrito de moche mediante curvas de fragilidad sísmica, Trujillo 2022” presentado por Robles (2023), para optar el grado de Magister en Ingeniería Civil en la Universidad Privada de Tacna, tuvo como objetivo evaluar la vulnerabilidad sísmica de una nave industrial mediante la generación de curvas de fragilidad sísmica. Para ello, realizó el modelamiento estructural, recopilación de datos de acelerogramas reales y la aplicación de la metodología HAZUS para obtener las curvas asociadas a los diferentes estados de daño. Obteniendo resultados que indicaron que, ante sismos con magnitud superior a 6.0 Mw, existe una probabilidad mayor al 33% de alcanzar un daño extenso, evidenciando la alta vulnerabilidad de una estructura en suelos blandos. Concluyendo que las curvas de fragilidad son instrumentos robustos para una estimación del desempeño estructural y la predicción de escenarios de daño, aportando estrategias notables para la planificación de reforzamiento y mitigación del riesgo sísmico. Lo expuesto evidencia la necesidad de integrar metodologías en los procesos del diseño de estructuras y control técnico, para garantizar niveles óptimos de seguridad y funcionalidad de edificaciones.

2.2 NORMATIVA VIGENTE

2.2.1 *Norma Técnica Peruana E.030 Diseño Sismorresistente*

2.2.1.1 Definición de la Norma Técnica E.030

Según la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente (2018), perteneciente al Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), esta norma establece los lineamientos y criterios técnicos mínimos que deben cumplir las edificaciones para garantizar un desempeño adecuado frente a la acción sísmica, con el fin de preservar vidas humanas, mitigar daños estructurales y asegurar la funcionalidad posterior a un evento sísmico.

Lo expuesto refleja un cambio continuo en la ingeniería estructural peruana, que integra conocimientos avanzados de dinámica estructural y geotecnia para mejorar la seguridad sísmica de las edificaciones. En este sentido, la norma enfatiza la necesidad de un diseño conceptual adecuado, la regularidad estructural y la selección correcta del sistema resistente, reconociendo que una correcta configuración estructural reduce significativamente la probabilidad de colapso o daño severo.

2.2.1.2 Marco normativo de la Norma Técnica E.030

La Norma Técnica E.030 forma parte del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), aprobado inicialmente mediante Decreto Supremo N.º 011-2006-VIVIENDA, y actualizado periódicamente por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS). Las ediciones recientes —como la actualización digital publicada por SENCICO en 2020— consolidan los criterios vigentes del diseño sismorresistente conforme a los avances técnicos y científicos.

El alcance de la norma es de cumplimiento obligatorio para todas las edificaciones construidas en el territorio peruano, incluyendo obras públicas y privadas. Asimismo, se aplica a los profesionales responsables del diseño, revisión, ejecución y supervisión de proyectos estructurales, asegurando la uniformidad y consistencia técnica en los desarrollos constructivos a nivel nacional.

2.2.1.3 Dimensión de la Norma Técnica E.030

En concordancia con los lineamientos establecidos, la Norma Técnica E.030 puede analizarse mediante tres dimensiones principales:

a) Parámetros de sitio

Según la estructura de la norma, los parámetros de sitio constituyen la base para definir la acción sísmica que actuará sobre la edificación. Estos incluyen la

zonificación sísmica nacional, las condiciones locales del terreno, la microzonificación y el factor de amplificación sísmica del suelo (S), así como los períodos característicos del terreno (T_p y T_1). Dichos parámetros son determinados conforme a las tablas oficiales de la norma.

b) Procedimientos de análisis estructural

La norma establece procedimientos específicos para el análisis de edificaciones sujetas a cargas sísmicas. Entre ellos se encuentran:

- Análisis estático equivalente, aplicable a estructuras regulares de baja y mediana altura.
- Análisis dinámico modal espectral, requerido para edificios altos o con irregularidades.
- Análisis tiempo-historia, aplicable a estructuras especiales o cuando se requiera un estudio avanzado del comportamiento dinámico.

Asimismo, se regulan aspectos como:

- La estimación del peso sísmico.
- Los desplazamientos laterales y sus límites admisibles.
- Las combinaciones de carga.
- Las condiciones de rigidez, ductilidad y resistencia mínima.

c) Sistemas estructurales y criterios de desempeño

La norma clasifica las edificaciones según su categoría y define los sistemas estructurales permitidos, tales como: pórticos resistentes a momentos, muros estructurales, sistemas duales y sistemas con aislamiento sísmico o disipación de energía.

Cada sistema estructural está asociado a un coeficiente de reducción sísmica (R), que depende del nivel de ductilidad que puede desarrollar la estructura bajo solicitaciones sísmicas severas. La norma también especifica restricciones para edificaciones irregulares, así como la necesidad de garantizar redundancia estructural para mejorar el desempeño durante eventos extremos.

Finalmente, se abordan requisitos para elementos no estructurales, cimentaciones y criterios de separación entre edificaciones para evitar impactos durante un sismo, reforzando así la integridad total del sistema estructural.

2.2.2 AISC 360-16 – Especificaciones para Edificios de Acero

2.2.2.1 Definición de AISC 360-16

La AISC 360-16 – Specification for Structural Steel Buildings es una norma técnica estadounidense aprobada como estándar nacional (ANSI), que establece los requisitos generales para el diseño y construcción de edificaciones de acero

estructural. Esta especificación integra criterios aplicables tanto al método LRFD (Load and Resistance Factor Design) como al método ASD (Allowable Strength Design), lo que permite su uso flexible en el diseño moderno de estructuras metálicas.

2.2.2.2 Marco normativo de AISC 360-16

La AISC 360-16 forma parte del conjunto de estándares publicados por el American Institute of Steel Construction (AISC), reconocido por desarrollar normas para la industria del acero en Estados Unidos, siendo aprobada conforme a los procedimientos de consenso del American National Standards Institute (ANSI). Este proceso asegura que la norma cumpla criterios de rigurosidad técnica, transparencia y participación de especialistas en ingeniería estructural.

2.2.2.3 Dimensiones de la AISC 360-16

En base a la estructura que presenta la especificación y sus elementos técnicos, se pueden distinguir las siguientes tres dimensiones principales:

a) Requisitos generales de diseño

La norma establece disposiciones generales que regulan el diseño de miembros estructurales, conexiones, sistemas resistentes a carga lateral y detalles estructurales. Dentro de esta dimensión se incluyen los criterios de resistencia bajo LRFD y ASD, la definición de propiedades de materiales y los principios de análisis

estructural aplicables. Estas exigencias buscan garantizar que los miembros de acero exhiban un comportamiento seguro ante cargas nominales y de diseño.

b) Provisiones para el análisis y resistencia estructural

La AISC 360-16 contiene capítulos dedicados al análisis estructural, la determinación de cargas y la evaluación de la resistencia de elementos sometidos a:

- Flexión,
- Compresión,
- Tracción,
- Cargas combinadas,
- Inestabilidad global y local.

De acuerdo con el análisis de la versión 2016, la norma incluye actualizaciones importantes en las formulaciones de resistencia, ampliación de criterios de integridad estructural, y ajustes en los requerimientos de uniones y pernos pretensados, con el fin de mejorar la precisión del diseño y la confiabilidad ante solicitaciones extremas.

c) Sistemas estructurales, uniones y practicas constructivas

Otro componente fundamental de la AISC 360-16 es el detalle de los requisitos aplicables a sistemas estructurales de acero, incluyendo pórticos rígidos, arriostramientos, miembros compuestos y sistemas especiales utilizados en

edificaciones. La especificación define criterios de diseño para conexiones soldadas y empernadas, procedimientos de fabricación, montaje y control de calidad. Estos elementos son esenciales para garantizar la continuidad y resistencia del sistema estructural.

Asimismo, el texto normativo resalta la importancia del juicio profesional del ingeniero estructural al aplicar la norma, reconociendo que cada proyecto puede presentar particularidades que requieren adaptaciones dentro del marco permitido por la especificación. Este aspecto se enfatiza especialmente en los comentarios oficiales incluidos en la publicación completa.

2.2.3 *Manual Técnico HAZUS*

2.2.3.1 Definición del Manual Técnico HAZUS

El Manual Técnico HAZUS constituye una guía metodológica que establece procedimientos estandarizados para la estimación de pérdidas y el análisis de vulnerabilidad estructural frente a amenazas naturales. En el marco de esta investigación, se emplean los lineamientos del manual orientados a la generación de curvas de fragilidad, las cuales permiten relacionar el nivel de demanda sísmica con la probabilidad de alcanzar distintos estados de daño en la estructura.

El enfoque propuesto por HAZUS aporta una estructura conceptual sólida para caracterizar la respuesta sísmica mediante la definición de tipologías

estructurales, la asignación de estados de daño basados en derivas específicas y la evaluación probabilística del desempeño ante diversos escenarios de peligro sísmico. De esta manera, se integra un procedimiento sistemático que facilita la cuantificación del riesgo asociado a una edificación o tipología particular.

2.2.3.2 Lineamientos metodológicos aplicados al estudio

En concordancia con los requerimientos de esta investigación, se consideran los siguientes lineamientos del manual HAZUS para la construcción de curvas de fragilidad:

a) Definición de tipología y estados de daño

El procedimiento inicia con la clasificación de la estructura según su sistema resistente, lo cual permite asignarla a una tipología específica dentro del marco conceptual de HAZUS. A partir de ello, se establecen estados de daño definidos por umbrales de deriva o deformación representativos de distintos niveles de afectación estructural (leve, moderado, extenso o colapso).

Estos estados de daño constituyen los puntos de referencia para relacionar la respuesta estructural con la severidad del evento sísmico, permitiendo parametrizar la vulnerabilidad de la edificación en función de su comportamiento mecánico.

b) Provisiones para el análisis y resistencia estructural

Para estimar la respuesta estructural frente a un sismo, se emplean acelerogramas representativos o espectros de diseño, los cuales constituyen la demanda sísmica a la que será sometido el modelo estructural. Esta demanda se vincula luego con los estados de daño previamente definidos, generando un conjunto de respuestas que posibilitan construir la probabilidad de excedencia para cada nivel de daño.

El uso de registros sísmicos o espectros garantiza que la estimación de daño se base en condiciones dinámicas realistas y compatibles con el entorno sismotectónico considerado.

c) Aplicación en evaluación de riesgo

Finalmente, las curvas de fragilidad obtenidas permiten calcular la probabilidad de daño bajo diferentes escenarios sísmicos. Estas curvas se constituyen como insumo principal para la evaluación del riesgo estructural, ofreciendo una representación probabilística del desempeño de la edificación y contribuyendo a la identificación de vulnerabilidades críticas.

Este enfoque facilita la integración del análisis estructural con procedimientos de gestión del riesgo, permitiendo cuantificar pérdidas potenciales y orientar la toma de decisiones en materia de mitigación y diseño sismorresistente.

2.3 DEFINICIÓN DE CONCEPTOS BÁSICOS

Seguidamente, se precisan definiciones necesarias para comprender el desarrollo de la investigación como parte de los conceptos básicos alineados a las variables de estudio.

- **Comportamiento estructural:** Se refiere a la manera en que una estructura responde ante la acción de cargas sísmicas, considerando factores como rigidez, ductilidad, resistencia y capacidad de disipación de energía. Este comportamiento depende de las propiedades de los materiales, el sistema estructural y las condiciones de diseño (Jiménez, 2014).
- **Curva de fragilidad sísmica:** Conlleva a una representación que muestra una probabilidad respecto al daño que puede sufrir una estructura en función a los parámetros de intensidad, y se constituye en una herramienta esencial dentro del proceso de evaluación del riesgo sísmico (HAZUS, 2020).
- **Demanda de la estructura:** La demanda de la estructura se refiere a la respuesta estructural inducida por la acción sísmica, expresada en términos de desplazamientos, derivas de entrepiso, aceleraciones internas o fuerzas internas. Este parámetro es clave para evaluar si la estructura supera un estado límite de daño (Escobar, 2017).

- **Deriva de entrepiso:** Se define como la relación que existe entre el desplazamiento lateral relativo de dos niveles seguidos con respecto a la altura correspondiente del piso, y constituye uno de los principales indicadores sobre el daño estructural en edificaciones sometidas a cargas sísmicas (Norma Técnica E.030, 2018).
- **Estado límite de daño:** El estado límite de daño se define como el nivel de deterioro que experimenta una estructura cuando su respuesta sísmica alcanza un umbral específico, el cual puede ser expresado en términos de deformaciones, derivas, fisuración o pérdida de rigidez. Estos estados se clasifican comúnmente en categorías como leve, moderado, severo y colapso, y son fundamentales para la construcción de curvas de fragilidad (Islas, 2016).
- **Nivel de desempeño estructural:** El nivel de desempeño estructural indica el grado de funcionalidad y seguridad que mantiene la estructura después de un sismo, evaluado mediante estados límite que van desde Operacional, Ocupación Inmediata, Seguridad de Vida, hasta Prevención del Colapso. Este concepto es clave en el diseño basado en desempeño, donde se busca garantizar que la estructura cumpla con objetivos específicos frente a diferentes niveles de amenaza sísmica (Quispe, 2019).

- **Parámetro de intensidad sísmica:** El parámetro de intensidad sísmica es una medida cuantitativa que describe el potencial destructivo de un movimiento sísmico, utilizada para relacionar la demanda sísmica con la probabilidad de daño en las curvas de fragilidad. Entre los más comunes se encuentran la aceleración máxima del suelo (PGA), el espectro de respuesta y parámetros derivados como el Índice de Intensidad Sísmica [PIS] (Ruiz, 2018).

- **Vulnerabilidad sísmica:** Se define como el grado de susceptibilidad que tiene una estructura al momento de sufrir un daño, ante la ocurrencia de un evento sísmico, donde intervienen factores como la calidad de los materiales, la configuración geométrica, así como el cumplimiento de las normas vigentes (Montalvo, 2014).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y DISEÑO DEL PROYECTO

3.1 DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN APLICADA

3.1.1. Tipo de investigación

La investigación se desarrolló en el marco del tipo aplicado (Moreno, 2018), ya que tuvo como finalidad la aplicación práctica de los conocimientos sobre las variables en estudio para que fueran incorporadas en la manipulación y mejoramiento de una unidad de estudio.

Además, cabe destacar que tuvo un enfoque cuantitativo (Gallardo, 2021), pues intentó explicar el comportamiento de las variables en estudio y sugirió mejoras a través del análisis de información estadística.

3.1.2. Nivel de investigación

Este estudio fue de nivel explicativo, ya que brindó un análisis en profundidad del comportamiento de las variables consideradas para el estudio

(Gallardo, 2017) ya que la investigación persiguió objetivos prácticos claramente definidos, orientados a diseñar e implementar acciones específicas que contribuyan a modificar o mejorar aspectos específicos de la realidad estructural en estructuras vulnerables.

Además, el estudio se realizó considerando un corte transversal (Manterola et. Al., 2023) porque la información fue recolectada en un momento específico, el cual fue el último trimestre de 2025.

3.1.3. Justificación del enfoque aplicado

Por otro lado, en cuanto al diseño de investigación, el estudio se realizó dentro de un diseño cuasi experimental (Hernández et al., 2014), dado que se consideró una manipulación parcial de las variables del objeto de estudio.

El propósito fue desarrollar un modelo que permitiera caracterizar el comportamiento estructural bajo las condiciones establecidas y, a partir de dicho análisis, formular alternativas orientadas a optimizar la situación problemática identificada.

3.1.3.1 Población

La población estuvo conformada por el total de elementos que cumplen con ciertos criterios establecidos Hernández et al., (2014), en este caso estuvo conformada por las estructuras metálicas del departamento de Tacna.

3.1.3.2 Muestra

La muestra será la cobertura metálica ubicada en la sede central del Gobierno Regional de Tacna, la cual fue seleccionada mediante el muestreo no probabilístico por conveniencia, debido a la disponibilidad de acceso a la información técnica y facilidad para el levantamiento de datos.

3.1.3.3 Procedimiento, técnicas e instrumentos

3.1.3.3.1 Procedimiento

Los procedimientos a seguir para lograr los objetivos de esta investigación fue primeramente la elección de la cobertura donde se realizó el trabajo de campo y a su vez la recopilación de los datos, dimensiones y propiedades. Por consiguiente, se realizó el modelamiento estructural de la cobertura metálica, se obtuvo registros de acelerogramas reales y se obtuvo las curvas de fragilidad, para diversos estados de daño.

3.1.3.3.2 Técnicas

La presente investigación se basó en un análisis documental, utilizando un sustento bibliográfico compuesto por libros y artículos científicos. El marco normativo se rigió por el AISC 360-10 dirigida para estructuras metálicas, y la norma E.030 para el diseño sismorresistente; asimismo, la generación de las curvas de fragilidad se fundamentó en los lineamientos técnicos del manual HAZUS.

3.1.3.3.3 Instrumentos

Ficha de recolección de datos

Se tomaron datos como la altura, luz entre elementos, tipo de perfiles, cobertura y tipos de conexión.

Registros sísmicos

Se tomaron datos de registros sísmicos reales para poder ser implementados en el software de modelamientos estructural.

3.2 DISEÑO DEL PROYECTO

Por otro lado, en cuanto al diseño de investigación, el estudio se realizó dentro de un diseño cuasi experimental Hernández Sampieri et. al (2014) dado que se contempla una manipulación parcial de las variables del objeto de estudio. El propósito es desarrollar un modelo que permita caracterizar el comportamiento estructural bajo las condiciones establecidas y, a partir de dicho análisis, formular alternativas orientadas a optimizar la situación problemática identificada.

3.2.3 Etapas del proyecto

Para efectuar el desarrollo del presente proyecto, fue abordado empleando las siguientes etapas:

a) Primero:

Se recopiló los datos como ubicación, uso de la estructura, tipo de suelo, dimensiones y propiedades de la cobertura metálica de estudio.

b) Segundo:

Se efectuó 3 subfases: (1) modelamiento estructural, (2) recolección de registros de acelerogramas y (3) obtención de las curvas de fragilidad para diversos estados de daño.

c) Tercero:

Una vez terminadas estas etapas de procedimientos, se continuó con la aplicación del manual técnico HAZUS, para poder realizar el análisis y la interpretación de los resultados e identificar los diferentes estados de daños.

3.2.4 Herramientas y/o softwares utilizados

Sap2000

SAP2000 es un programa basado en el método de elementos finitos que permite modelar, analizar y diseñar estructuras de todo tipo, para la presente investigación se empleará la versión académica.

Microsoft Excel

Microsoft Excel es una aplicación de hoja de cálculo que es ampliamente utilizada en diversos campos como la contabilidad, ingeniería, administración, estadística y educación, gracias a su capacidad para organizar, analizar y visualizar datos para la presente investigación se empleará la versión académica estudiantil.

Mathcad Prime

Mathcad es un entorno de trabajo tipo cuaderno interactivo que permite escribir ecuaciones en notación matemática natural, realizar cálculos numéricos y simbólicos, y presentar resultados junto con texto, gráficos e imágenes en un solo

documento profesional, para la presente investigación se empleará la versión académica.

SeismoSignal

SeismoSignal es un software desarrollado por Seismosoft, diseñado específicamente para el procesamiento de señales de movimiento fuerte (strong-motion data) en el ámbito de la ingeniería sísmica y la sismología, para la presente investigación se empleará la versión académica.

3.3 EVALUACIÓN TÉCNICA Y FACTIBILIDAD

En relación con la evaluación técnica, como ya se precisó líneas arriba se abordó considerando la realización de tres fases, sobre las cuales se procede a mencionar lo siguiente:

3.3.1 Modelamiento estructural

En lo relacionado a la evaluación técnica estructural se desarrolló un modelo tridimensional. Este modelo permitió analizar la respuesta dinámica de la estructura mediante la determinación de sus modos de vibración y periodos fundamentales. El análisis consideró la acción combinada de cargas sísmicas, cargas de viento, cargas permanentes (peso propio) y cargas de servicio o mantenimiento, aplicando criterios de diseño basados en normativa vigente y métodos de análisis modal y espectral.

3.3.2 Recolección de acelerogramas

En lo relacionado a la evaluación técnica estructural, se obtuvo valores de registros sísmicos históricos ocurridos en la región de Tacna, seleccionando al menos tres movimientos sísmicos significativos dentro de los últimos 25 años. Estos registros se emplearon para definir escenarios de carga dinámica representativos, considerando parámetros como aceleración máxima, espectros de respuesta y duración efectiva del movimiento. Con base en esta información, se establecieron las condiciones de análisis para estimar la respuesta estructural y caracterizar su vulnerabilidad frente a acciones sísmicas reales.

3.3.3 Obtención de curvas de fragilidad

Con base en los modelos estructurales desarrollados y los registros sísmicos seleccionados, se procedió a la generación de curvas de fragilidad siguiendo la metodología establecida en el manual HAZUS. Este procedimiento consiste en realizar análisis dinámicos no lineales para determinar la probabilidad de alcanzar diferentes estados de daño en función de la intensidad sísmica, expresada generalmente mediante la aceleración espectral o el desplazamiento máximo. Las curvas se obtuvieron a partir de la relación entre los parámetros de respuesta estructural (modos de vibración, periodos fundamentales y deformaciones) y los niveles de desempeño definidos, permitiendo cuantificar la vulnerabilidad sísmica de la estructura bajo escenarios representativos.

- Observaciones de jurado calificador al informe final de tesis
- Levantamiento de observaciones de jurado calificador
- Entrega del informe final de tesis mediante sistema para programar fecha y hora de sustentación.

Nota: Elaboración Propia

3.4.2 Asignación de recursos

En cuanto a la asignación de recursos, a continuación, se especifica la cantidad de recursos humanos y materiales necesarios para el desarrollo de la investigación:

Recursos humanos:

- 01 tesista, a cargo de la investigación.
- 01 asesor de tesis.

Recursos materiales:

- 01 laptop i9.
- Útiles de escritorio.
- 01 dispositivo de almacenamiento digital.
- 01 impresora multifuncional.
- Software SAP2000 – versión académica
- Software MS EXCEL – versión académica
- Software MATHCAD PRIME – versión académica
- Software SeismoSignal – versión académica

3.4.3 Costos y financiamientos

Con respecto a los costos de esta investigación, estos se encuentran detallados en la siguiente tabla:

Tabla 02*Costo estimado para la investigación*

Item	Actividad	Costo
1	Recopilación de datos para la investigación	s/. 300.00
2	Procedimiento para la obtención del grado académico	s/. 1 500.00
3	Generación de instrumentos para ser aplicados a la muestra de estudio	s/. 500.00
4	Proceso de validación de instrumentos	s/. 450.00
5	Aplicación de instrumentos a la muestra seleccionada de la investigación	s/. 600.00
6	Desarrollo de la discusión de la investigación	s/. 600.00
7	Elaboración y formato del informe final	s/. 450.00
8	Revisión de Estilos	s/. 1000.00
Presupuesto total		s/. 5 400.00

Nota: Elaboración Propia

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 DESARROLLO DEL PROYECTO Y VALIDACIÓN DEL DISEÑO

La investigación de campo fue realizada el último trimestre del 2025, la selección de los perfiles de acero se realizó utilizando los datos obtenidos del proyecto ejecutado, como son su memoria de cálculo y planos. La cobertura metálica proyectada está conformada por 8 pórticos de acero separados entre si a una distancia de 4.50 metros. La luz libre entre columnas de cada pórtico es de 23.10 metros. Los perfiles usados serán los especificados en planos.

Por los datos mostrados en la memoria de cálculo en concordancia con la Noma E.030, la cobertura metálica se encuentra ubicado en la Zona 4, por lo tanto, corresponde a un valor de $Z=0.45$.

El tipo de suelo que se obtiene es un suelo intermedio tipo S2.

La categoría de la edificación es Edificación Importante, teniendo un valor de $U=1.30$.

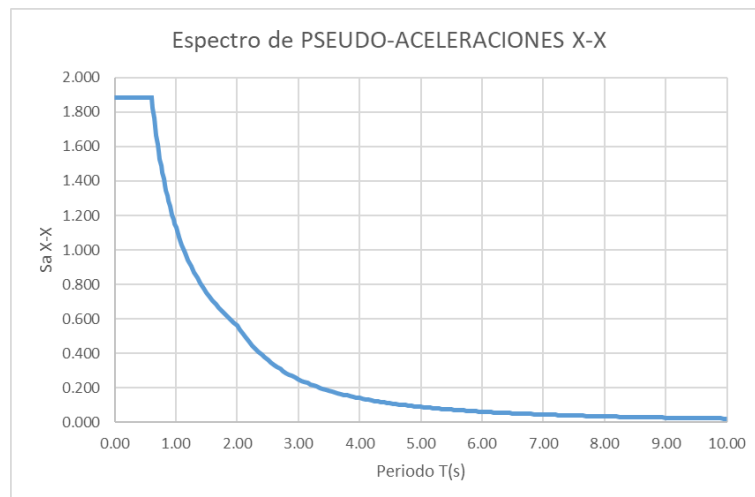
El sistema estructural tendrá un valor de $R_0=8$.

El valor de la gravedad es de $g=9.81\text{m/s}^2$.

Se observan las gráficas de los espectros inelásticos de pseudo-aceleraciones generados por los datos obtenidos.

Figura 01

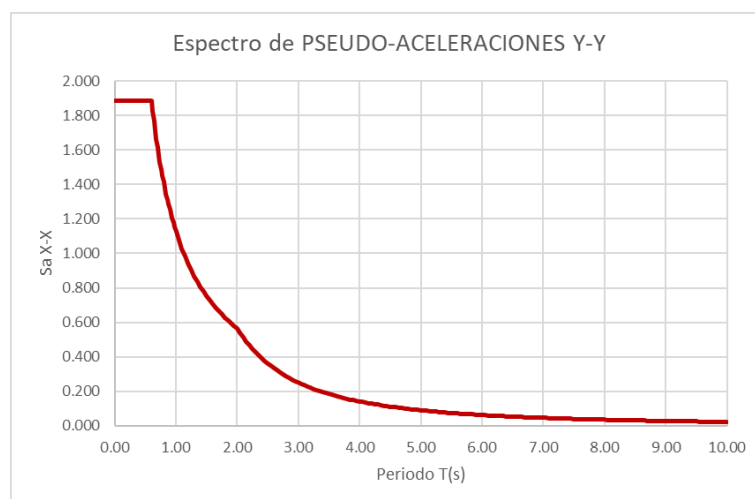
Espectro inelástico de pseudo-aceleraciones X-X



Nota: Elaboración Propia

Figura 02

Espectro inelástico de pseudo-aceleraciones Y-Y



Nota: Elaboración Propia

4.1.1 Ubicación de la cobertura metálica

La cobertura metálica se ubica en la región de Tacna, provincia Tacna, distrito de Tacna, Av. Manuel A. Odría N° 1245 (Ver figura 2).

Figura 03

Ubicación de la cobertura metálica



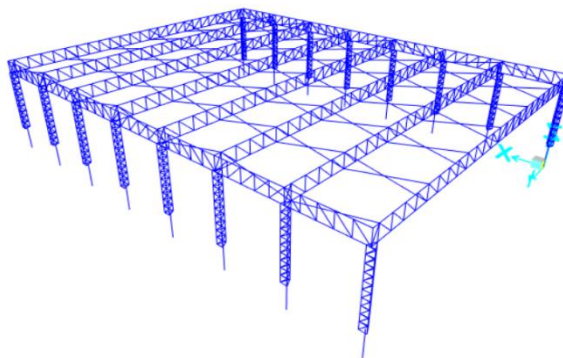
Nota: Elaboración Propia

4.1.2 Modelamiento estructural

Con los datos recopilados de la cobertura metálica se realizó su modelado estructural en el programa SAP2000.

Figura 04

Cobertura metálica



Nota: Elaboración Propia

CARGAS VIVAS

Cargas que provienen de los pesos no permanentes en la estructura, que incluyen a los ocupantes, materiales, equipos muebles y otros elementos móviles estimados en la estructura.

- Sobrecarga mínima en coberturas livianas : 30 kg/m²

CARGAS DE VIENTO

El análisis de viento se realizó en cumplimiento de la norma NTE E.020 “Cargas” donde se especifica los procedimientos de análisis de viento. (Artículo N°12 y el Anexo 02).

TABLA 4
FACTORES DE FORMA (C) *

CONSTRUCCIÓN	BARLOVENTO	SOTAVENTO
Superficies verticales de edificios	+0,8	-0,6
Anuncios, muros aislados, elementos con una dimensión corta en la dirección del viento	+1,5	
Tanques de agua, chimeneas y otros de sección circular o elíptica	+0,7	
Tanques de agua, chimeneas, y otros de sección cuadrada o rectangular	+2,0	
Arcos y cubiertas cilíndricas con un ángulo de inclinación que no exceda 45°	±0,8	-0,5
Superficies inclinadas a 15° o menos	+0,3-0,7	-0,6
Superficies inclinadas entre 15° y 60°	+0,7-0,3	-0,6
Superficies inclinadas entre 60° y la vertical	+0,8	-0,6
Superficies verticales ó inclinadas (planas ó curvas) paralelas a la dirección del viento	-0,7	-0,7

* El signo positivo indica presión y el negativo succión.

Tabla 03

Datos de velocidad de viento

ITEM	DESCRIPCION	DATOS	OBSERVACION
1	Ubicación	Tacna-Tacna-Tacna	-
2	Velocidad de viento mínimo	75.00 Km/h	Según NTE.020
3	Velocidad de viento zona	35.00 Km/h	Según mapa eólico del Perú

Nota: De acuerdo con los lineamientos de la norma NTE E.020 Cargas

De acuerdo a los lineamientos de la norma antes mencionada, se tiene los siguientes cálculos de la determinación de cargas de viento en base a velocidad de viento.

$$V_h = V \left(\frac{h}{10} \right)^{0.22}$$

Donde V_h : Velocidad de diseño, V : Velocidad de viento y h : altura máxima de cobertura.

$$P_h = 0.005 C V_h^2$$

Donde: P_h es la presión del viento sobre la superficie en kg/m^2 , C es factor de forma y V_h es la velocidad de diseño.

Se realizó el cálculo de presiones de viento para la estructura planteada, tomando la altura máxima de la cobertura.

Factor De Forma Barlovento

$$C_{b1} := 0.3 \quad C_{b2} := -0.7$$

Factor De Forma Sotavento

$$C_s := -0.6 \quad C_{s2} := -0.6$$

Combinaciones para barlovento

$$P_h := 0.005 \cdot V_{\text{diseño}}^2 = 28.125 \frac{\text{km}^2}{\text{hr}^2}$$

$$P_{b-1} := 0.005 \cdot C_{b1} \cdot \left(\frac{V_{\text{diseño}}}{\frac{\text{km}}{\text{hr}}} \right)^2 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} = 8.438 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$P_{b_2} := 0.005 \cdot C_{b2} \cdot \left(\frac{V_{diseño}}{\frac{km}{hr}} \right)^2 \cdot \frac{kgf}{m^2} = -19.688 \frac{kgf}{m^2}$$

Combinaciones para sotavento

$$P_s := 0.005 \cdot C_s \cdot \left(\frac{V_{diseño}}{\frac{km}{hr}} \right)^2 \cdot \frac{kgf}{m^2} = -16.875 \frac{kgf}{m^2}$$

El ancho tributario es de

$$A_t := 4.5 \text{ m}$$

El ancho tributario por cada nodo es de

$$A_{tn} := 1 \text{ m}$$

Carga Puntual a aplicar

barlovento 1

$$P_{b_1} \cdot A_t \cdot A_{tn} = 37.969 \text{ kgf} \quad \text{Presión}$$

barlovento 2

$$P_{b_2} \cdot A_t \cdot A_{tn} = -88.594 \text{ kgf} \quad \text{Succión}$$

sotavento 1

$$P_s \cdot A_t \cdot A_{tn} = -75.938 \text{ kgf} \quad \text{Succión}$$

Carga de malla raschell (90% de opacidad)

$$Cm := 0.120 \frac{kgf}{m^2}$$

Carga muerta por nodo

$$Dp := Cm \cdot A_t \cdot A_{tn} = 0.54 \text{ kgf}$$

4.1.3 Análisis dinámico modal espectral

Se realizó con el uso de la norma técnica peruana E.030.

Tabla 04

Resultados de masas participativa y periodos de la cobertura metálica

CASO	MODO	PERIODO	UX	UY	UZ	SUM X	SUM Y	RZ
Modal	1.00	0.16	0.15	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00
Modal	2.00	0.10	0.00	0.00	0.12	0.15	0.00	0.00
Modal	3.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00
Modal	4.00	0.10	0.00	0.00	0.01	0.15	0.00	0.00
Modal	5.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00
Modal	6.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00
Modal	7.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.03
Modal	8.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00
Modal	9.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00
Modal	10.00	0.05	0.04	0.00	0.00	0.19	0.00	0.00
Modal	11.00	0.05	0.00	0.26	0.00	0.19	0.26	0.00
Modal	12.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.19	0.26	0.09
Modal	13.00	0.05	0.00	0.03	0.00	0.19	0.29	0.00
Modal	14.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.19	0.29	0.02
Modal	15.00	0.05	0.00	0.01	0.00	0.19	0.30	0.00
Modal	16.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.19	0.30	0.01
Modal	17.00	0.04	0.00	0.02	0.00	0.19	0.32	0.00
Modal	18.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.19	0.32	0.00
Modal	19.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.19	0.33	0.00
Modal	20.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.19	0.33	0.00
Modal	370	0.01	0.00	0.00	0.00	0.90	0.84	0.00
Modal	371	0.01	0.00	0.00	0.00	0.90	0.84	0.00
Modal	372	0.01	0.00	0.01	0.00	0.90	0.84	0.00
Modal	373	0.01	0.00	0.00	0.00	0.90	0.85	0.00
Modal	374	0.01	0.00	0.01	0.00	0.90	0.85	0.00
Modal	375	0.01	0.00	0.00	0.00	0.90	0.86	0.00

Modal	376	0.01	0.00	0.05	0.00	0.90	0.90	0.06
Modal	377	0.01	0.00	0.00	0.00	0.90	0.91	0.00
Modal	378	0.01	0.00	0.00	0.00	0.90	0.91	0.00
Modal	379	0.01	0.00	0.00	0.00	0.90	0.91	0.00
Modal	380	0.01	0.00	0.00	0.00	0.90	0.91	0.00

Nota: Cumple con el requisito de que la suma de masas debe ser por lo menos 90%.

4.1.4 Desplazamientos laterales relativos admisibles

Se realizo con el uso de la norma técnica peruana E.030.

Tabla 05

Verificación de control de derivas en la dirección X

Dirección de análisis en X					
Columna	Δi (cm)	R	$\Delta i \times R \times 0.75$	h(cm)	$\Delta i/h$
1	0.0845	8	0.507	800	0.0006
2	0.0904	8	0.5424	800	0.0007
3	0.0809	8	0.4854	800	0.0006
4	0.0895	8	0.537	800	0.0007
5	0.0809	8	0.4854	800	0.0006
6	0.0896	8	0.5376	800	0.0007
7	0.0809	8	0.4854	800	0.0006
8	0.0908	8	0.5448	800	0.0007

Nota: Cumple con el 0.01 de límite de distorsión.

Tabla 06

Verificación de control de derivas en la dirección Y

Dirección de análisis en Y					
Columna	Δi (cm)	R	$\Delta i \times R \times 0.75$	h(cm)	$\Delta i/h$
1	0.0788	8	0.4728	800	0.0006
2	0.1139	8	0.6834	800	0.0009
3	0.1124	8	0.6744	800	0.0008
4	0.1083	8	0.6498	800	0.0008
5	0.1085	8	0.651	800	0.0008
6	0.1122	8	0.6732	800	0.0008
7	0.1140	8	0.684	800	0.0009
8	0.0779	8	0.4674	800	0.0006

Nota: Cumple con el 0.01 de límite de distorsión.

4.1.5 *Curvas de fragilidad*

Las curvas de fragilidad fueron realizadas bajo las indicaciones del manual técnico HAZUS. A continuación, se muestran los resultados asociados a las curvas de fragilidad según los estados de daño.

Método de evaluación estructural en HAZUS

HAZUS emplea el Capacity Spectrum Method (CSM) para obtener la respuesta no lineal de los edificios ante la demanda sísmica. Este método convierte la capacidad estructural y el espectro de demanda en representaciones equivalentes de desplazamiento espectral, permitiendo identificar el punto de desempeño y las deformaciones asociadas al daño.

Funciones de fragilidad: formulación lognormal

HAZUS define las funciones de fragilidad estructural usando una distribución lognormal que relaciona la intensidad sísmica IM (en este caso, PGA equivalente) con la probabilidad de exceder un estado de daño. La función general es:

$$P(DS \geq ds | IM) = \Phi \left(\frac{\ln(IM) - \ln(\mu_{ds})}{\beta_{ds}} \right)$$

donde:

- μ_{ds} = mediana del IM asociado al estado de daño
- β_{ds} = desviación logarítmica (dispersión)
- DS = Slight, Moderate, Extensive o Complete
- IM = PGA equivalente (g)

Parámetros de fragilidad

Los parámetros de fragilidad estructural se obtienen directamente de la Tabla 5.16b: Equivalent-PGA Structural Fragility – Moderate-Code Seismic Design Level, donde se presentan las medianas (μ) y dispersión (β) para cada estado de daño según el tipo estructural.

Para la estructura en análisis, se definió como un tipo S2L (Steel Braced Frame, Low-Rise) y Moderate-Code, los valores son:

Tabla 07

Parámetros de fragilidad – medianas (μ) y dispersión (β)

Estado de Daño	μ (g)	β
Slight (DS1)	0.20	0.64
Moderate (DS2)	0.26	0.64
Extensive (DS3)	0.46	0.64
Complete (DS4)	0.84	0.64

Construcción de las curvas de fragilidad estructural

Las curvas se generan evaluando la función lognormal para un rango continuo de PGA entre 0 g y 1.5 g:

$$P(DS \geq ds | PGA) = \Phi \left(\frac{\ln(PGA) - \ln(\mu_{ds})}{\beta_{ds}} \right)$$

Cada curva representa el incremento de la probabilidad de daño a medida que aumenta la demanda sísmica, manteniendo constante la dispersión $\beta=0.64$, característica del tipo S2L en Moderate-Code.

Las curvas generadas para esta investigación corresponden exactamente a estos parámetros y representan:

- DS1: Daños leves (pandeo o deformación inicial de arriostres)
- DS2: Daño moderado (fluencia limitada en miembros)
- DS3: Daño extenso (pérdida de rigidez y formación de rótulas)
- DS4: Daño completo (fallo parcial o colapso del sistema resistente)

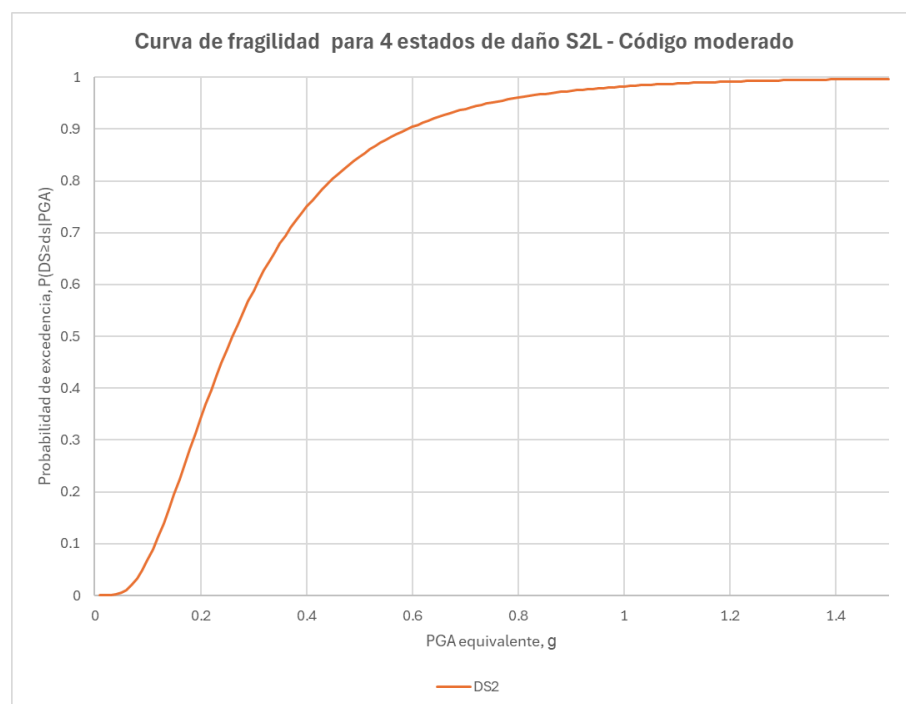
Figura 05*Curva de fragilidad para daño Leve***Figura 06***Curva de fragilidad para daño Moderado*

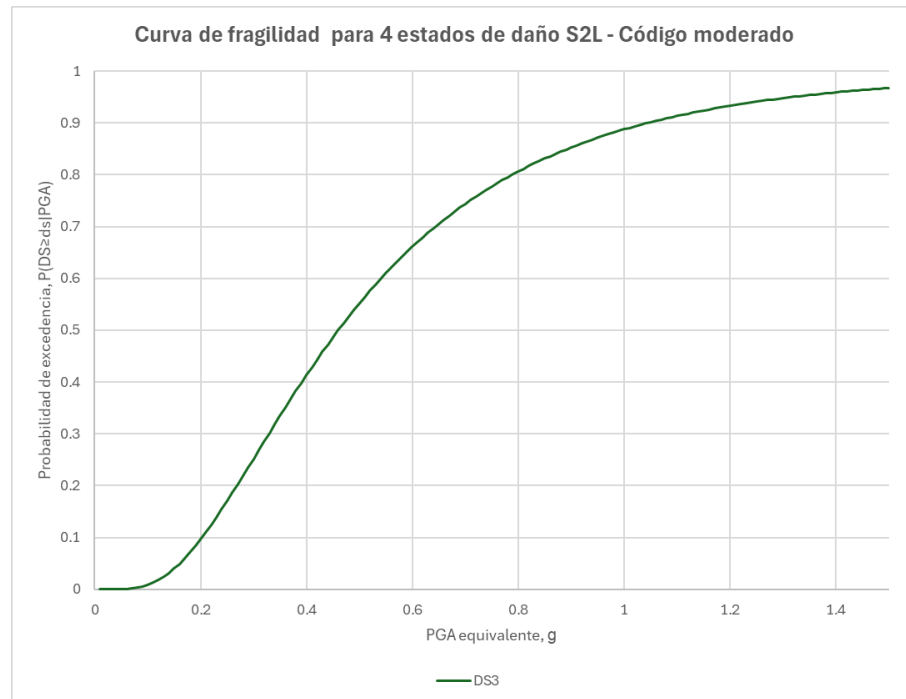
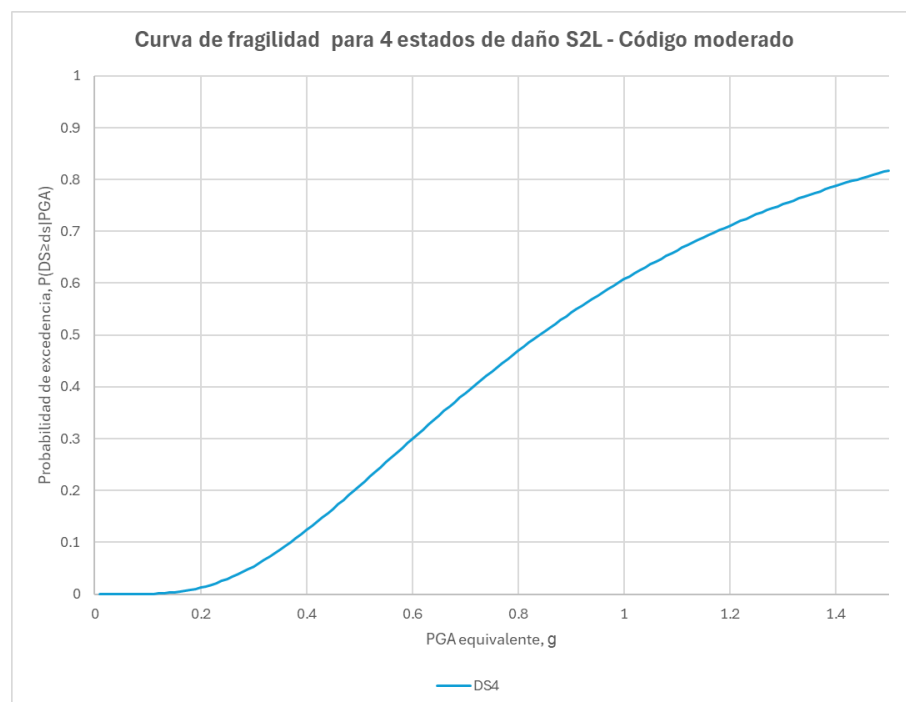
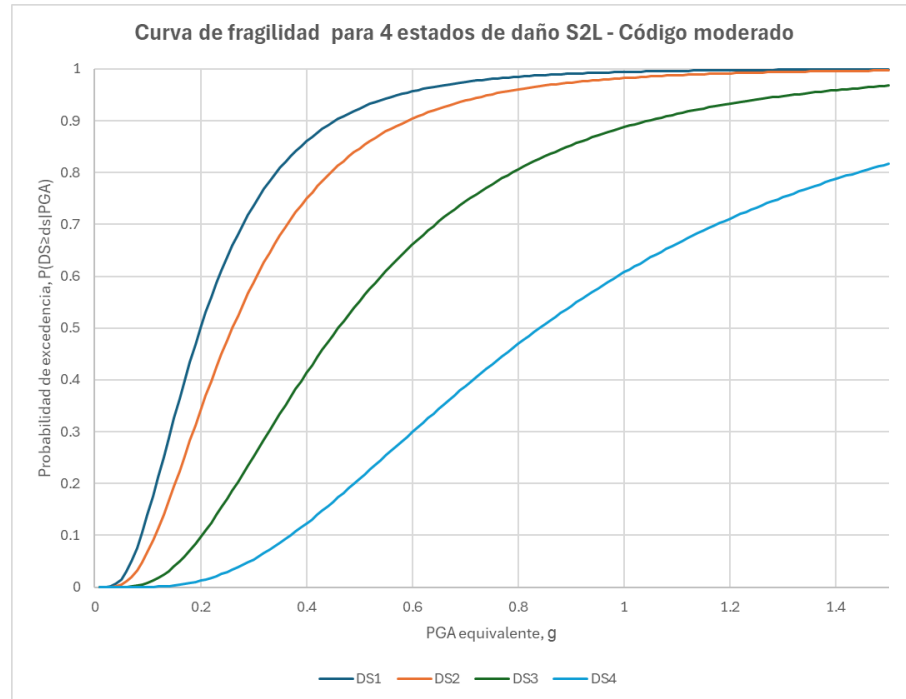
Figura 07*Curva de fragilidad para daño Extenso***Figura 08***Curva de fragilidad para daño Completo*

Figura 09*Curva de fragilidad juntas***Selección de registros sísmicos:**

Se seleccionó 3 registros sísmicos ocurridos en los años 2005, 2010 y 2014 respectivamente, los cuales fueron tomados por la estación de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann y se encuentran en la web del CISMID.

A continuación, se muestra la información base de cada uno y la gráfica por defecto de todos los datos registrados:

Figura 10*Dato sismo 2005*

Datos generales: **13/06/2005 Tacna**

SAMPLING FREQUENCY 200 Hertz

dt=1/f 0.005 s

datos 36400

t evento 182 s

Parameters for reading data

Data structure style Row-column style (data at the same time are in a row) ▾

Number of channels 3 Number of data steps 36400

Sampling frequency (Hz) 200 Conversion factor to cm/s/s 1

Number of file header lines 36

☒ Ignore first column

☒ First row contains channel labels

Preview

OK Cancel

```

018:2. INFORMATION ABOUT THE EARTHQUAKE
019:DATE           : June 13, 2005
020:ORIGIN TIME (Local)   : 17:44:33
021:LATITUDE        : -19.61
022:LONGITUDE       : -69.97
023:DEPTH (km)      : 146.00
024:MAGNITUDE       : 7.2 ML
025:INFORMATION SOURCE : IGP
026:
027:3. INFORMATION ABOUT THE RECORD
028:RECORD TIME (Local)   : 17:44:54
029:NUMBER OF SAMPLES    : 36400
030:MAXIMUM ACCELERATION  : 85.54   -94.18   -76.20
031:DATA UNITS           : cm/s2
032:
033:4. COMMENTS
034:BASELINE CORRECTED. TRAPEZOIDAL BANDPASS (0.05/0.10-20/50) FILTERED.
035:

```

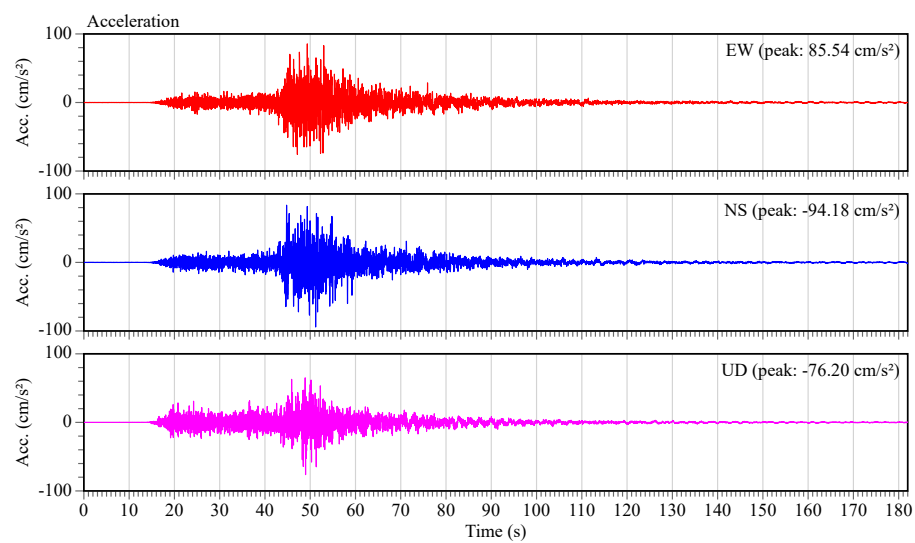
Figura 11*Registro de aceleraciones sismo 2005*

Figura 12*Dato sismo 2010*

Datos generales: **05/05/2010 Tacna**

SAMPLING FREQUENCY 200 Hertz

dt=1/f 0.005 s

datos 23600

t evento 118 s

Parameters for reading data

Data structure style Row-column style (data at the same time are in a row) ▾

Number of channels 3 Number of data steps 23600

Sampling frequency (Hz) 200 Conversion factor to cm/s/s 1

Number of file header lines 36

☒ Ignore first column

☒ First row contains channel labels

Preview

017:

018:2. INFORMATION ABOUT THE EARTHQUAKE

019:DATE : May 05, 2010

020:ORIGIN TIME (Local) : 21:42:00

021:LATITUDE : -18.34

022:LONGITUDE : -71.17

023:DEPTH (km) : 36.00

024:MAGNITUDE : 6.5 ML

025:INFORMATION SOURCE : IGP

026:

027:3. INFORMATION ABOUT THE RECORD

028:RECORD TIME (Local) : 21:42:46

029:NUMBER OF SAMPLES : 23600

030:MAXIMUM ACCELERATION : -154.00 -190.00 -108.00

031:DATA UNITS : cm/s²

OK Cancel

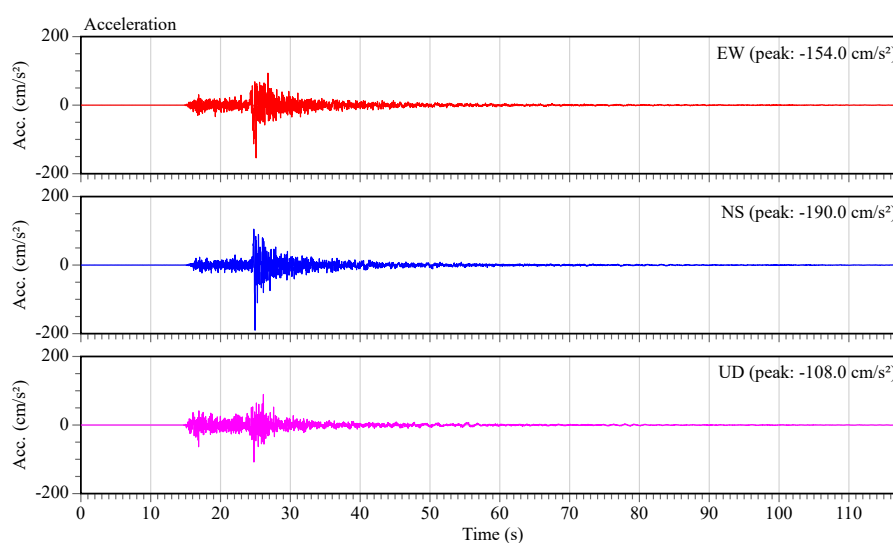
Figura 13*Registro de aceleraciones sismo 2010*

Figura 14*Dato sismo 2014*

Datos generales: **01/04/2014 Tacna**

SAMPLING FREQUENCY	200 Hertz
dt=1/f	0.005 s
# datos	30442
t evento	152.21 s

Parameters for reading data

Data structure style: Row-column style (data at the same time are in a row) ▾

Number of channels: 3 Number of data steps: 30442

Sampling frequency (Hz): 200 Conversion factor to cm/s/s: 1

Number of file header lines: 36

☒ Ignore first column

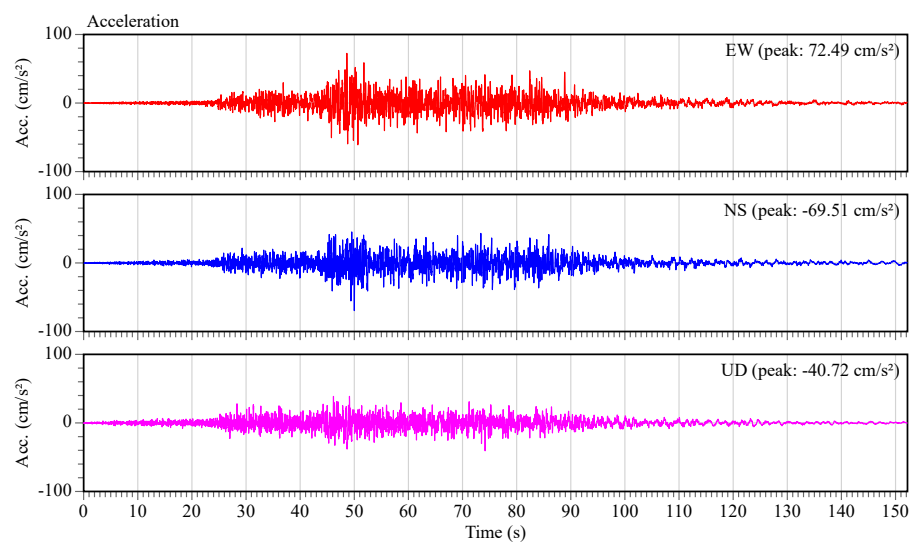
☒ First row contains channel labels

Preview

OK Cancel

```

018:2. INFORMATION ABOUT THE EARTHQUAKE
019:DATE           : April 01, 2014
020:ORIGIN TIME (Local) : 18:46:45
021:LATITUDE       : -19.57
022:LONGITUDE      : -70.91
023:DEPTH (km)     : 38.90
024:MAGNITUDE      : 8.2 Mw
025:INFORMATION SOURCE : CSMUCH
026:
027:3. INFORMATION ABOUT THE RECORD
028:RECORD TIME (Local) : 18:47:17
029:NUMBER OF SAMPLES  : 30442
030:MAXIMUM ACCELERATION : 72.49      -69.51      -40.72
031:DATA UNITS         : cm/s2
032:
033:4. COMMENTS
034:BASELINE CORRECTED
  
```

Figura 15*Registro de aceleraciones sismo 2014*

Método SRSS:

El método SRSS (Square Root of the Sum of the Squares) es una técnica ampliamente utilizada en ingeniería sísmica para la combinación de respuestas modales en análisis estructural. Se emplea principalmente cuando se usa el análisis modal espectral para estimar la respuesta de estructuras sometidas a movimientos sísmicos. A continuación, se muestra los diagramas obtenidos a partir del SRSS y los datos de aceleraciones EW y NS para los 3 pares de registros seleccionados:

Figura 16

Registro SRSS sismo 2005

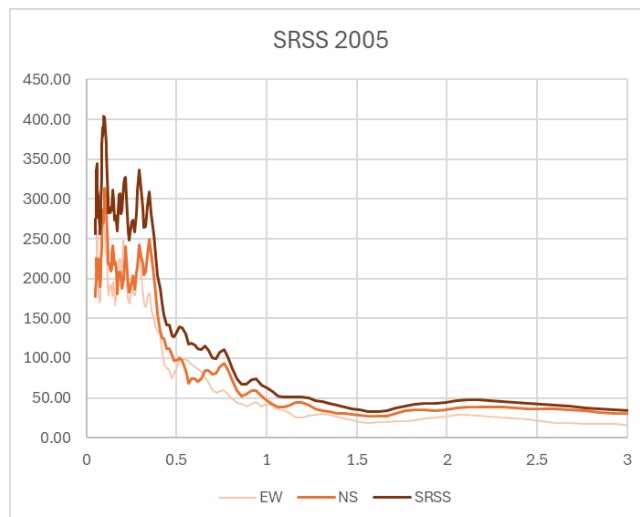


Figura 17

Registro SRSS sismo 2010

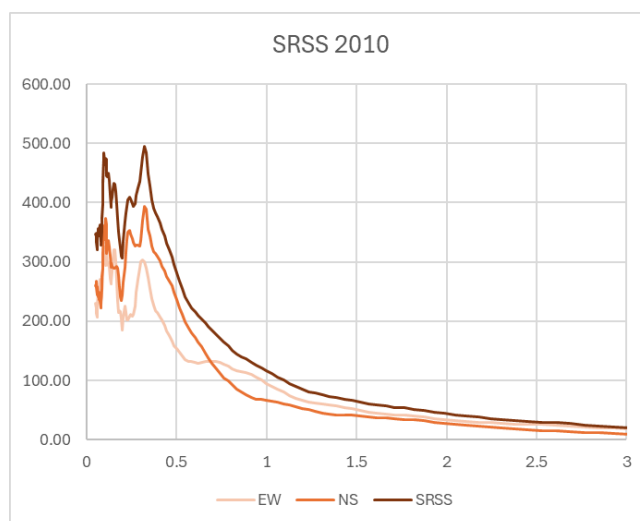
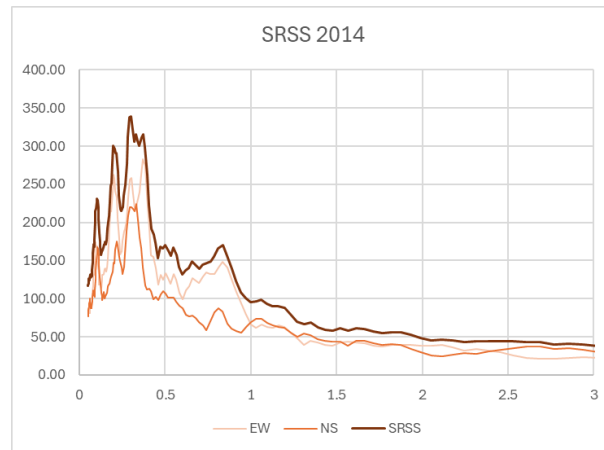
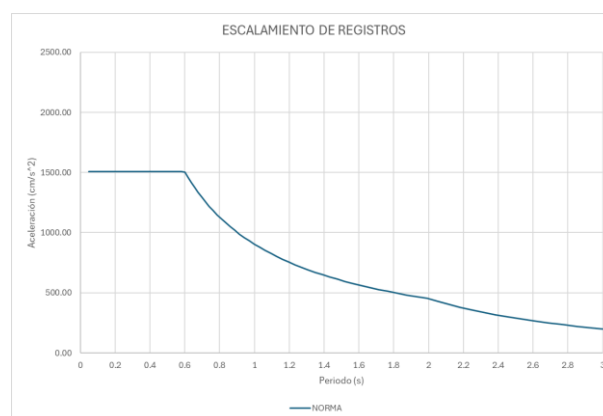


Figura 18*Registro SRSS sismo 2014***Espectro de pseudo aceleraciones:**

Conforme a los parámetros sísmicos señalados anteriormente, se determinó el espectro de pseudo aceleraciones establecido en la normativa E.030 (2016) para diferentes periodos y considerando la aceleración de la gravedad como 981 cm/s².

ESPECTRO E030

Z=	0.45	
U=	1.3	
S=	1.05	
Tp=	0.6	
Tl=	2	
R=	1	
g=	981	cm/s ²
ZUSg/R=	602.58	

Figura 19*Espectro de Pseudoaceleraciones*

Escalamiento de registros:

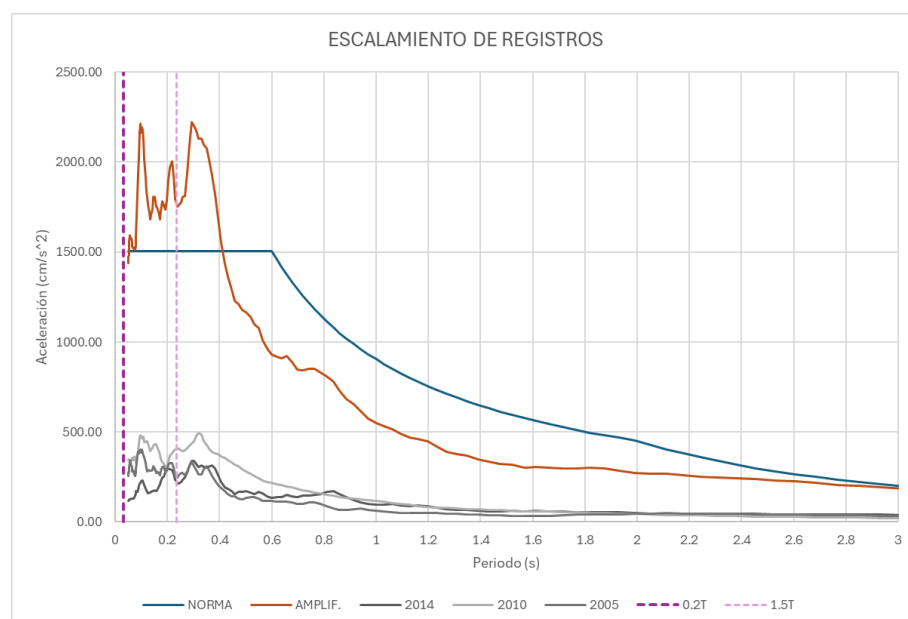
Obtenido el período de edificación para los sentidos X e Y, se dispone de la información necesaria para el escalamiento de los registros sísmicos previamente seleccionados. En este caso, se ha determinado un factor de amplificación de 6 para ambos sentidos, lo que se debe a la simetría de la planta en los ejes principales, garantizando una respuesta estructural equilibrada. Este factor permite ajustar los registros sísmicos a las condiciones específicas del diseño, asegurando que la demanda sísmica considerada en el análisis sea representativa de la normativa vigente. A continuación, se presenta el gráfico correspondiente, donde se observa que los valores en ambos extremos del rango de interés (0.2T y 1.5T) superan las ordenadas del espectro de pseudoaceleraciones establecido en la normativa E.030 (2016), lo que confirma que el escalamiento ha sido realizado adecuadamente y que la estructura está siendo evaluada bajo condiciones de carga sísmica conservadoras y realistas.

PERIODO DE LA ESTRUCTURA:

TX1=	0.16	s
0.2*T1=	0.0312672	
1.5*T1=	0.234504	

Figura 20

Escalamiento de registros al Espectro de Pseudoaceleraciones



Intensidad de cada registro (PGA real):

Cada registro tiene una aceleración maxima;

$$PGA_{registro} = \max(|a(t)|)$$

En unidades de g

- Registro 2014:

$$a = 72.49 \text{ cm/s}^2$$

$$PGA_{registro} = \max\left(\left|\frac{72.49 \text{ cm/s}^2}{981 \text{ cm/s}^2}\right|\right) = 0.074g$$

$$PGA_{equiv} = k * PGA_{registro} = 6 * 0.074g = 0.444g$$

- Registro 2010:

$$a = -190.00 \text{ cm/s}^2$$

$$PGA_{registro} = \max\left(\left|\frac{-190.00 \text{ cm/s}^2}{981 \text{ cm/s}^2}\right|\right) = 0.194g$$

$$PGA_{equiv} = k * PGA_{registro} = 6 * 0.194g = 1.164g$$

- Registro 2005:

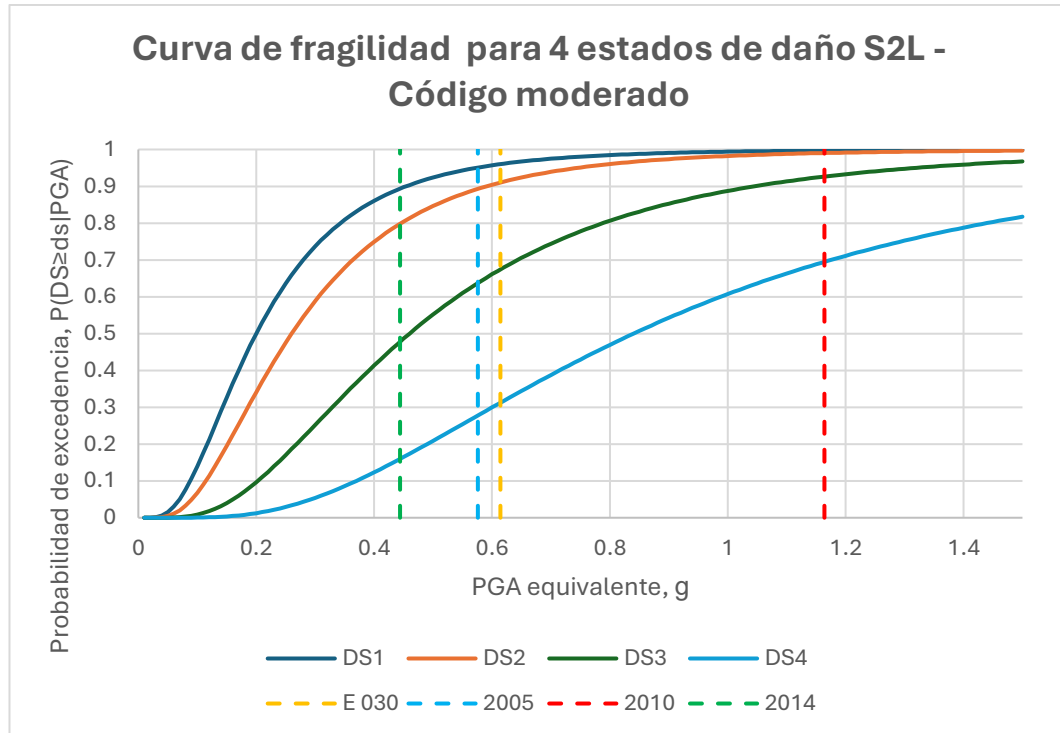
$$a = -94.18 \text{ cm/s}^2$$

$$PGA_{registro} = \max\left(\left|\frac{-94.18 \text{ cm/s}^2}{981 \text{ cm/s}^2}\right|\right) = 0.096g$$

$$PGA_{equiv} = k * PGA_{registro} = 6 * 0.096g = 0.576g$$

Figura 21

Cálculo de probabilidad de excedencia para cada estado de daño

**Tabla 08**

Probabilidad de excedencia para los registros sísmicos escalados

Evento	PGA (g)	PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA PARA CADA ESTADO DE DAÑO (%)			
		LEVE	MODERADO	EXTENSO	COMPLETO
E-030	0.614	96.0	91.0	67.4	31.2
2005	0.576	95.1	89.3	63.7	27.8
2010	1.164	99.7	99.0	92.7	69.5
2014	0.444	89.4	79.8	47.8	16.0

4.2 ANÁLISIS DE IMPACTO, BENEFICIOS Y COMPARACIÓN CON CASOS SIMILARES

4.2.1 Evaluación de la estructura

La verificación de la capacidad de los elementos de acero se basó en el procedimiento de cargas factoradas conforme al numeral 9.2 – “Resistencia Requerida” de la norma E.090 de Estructuras metálicas. Las combinaciones de carga analizadas fueron las siguientes:

$$U = 1.4 D$$

$$U = 1.2D + 1.6L + 0.5(L_r \text{ o } S \text{ o } R)$$

$$U = 1.2D + 1.6(L_r \text{ o } S \text{ o } R) + (0.5L \text{ o } 0.8W)$$

$$U = 1.2D + 1.3W + 0.5L + 0.5(L_r \text{ o } S \text{ o } R)$$

$$U = 1.2D + 1.0E + 0.5L + 0.2S$$

$$U = 0.9D + 1.3W + 1.0E$$

Donde:

D: Cargas Muertas.

L: Cargas Vivas.

L_r: Carga viva de montaje.

W: Carga de viento.

S: Carga de nieve.

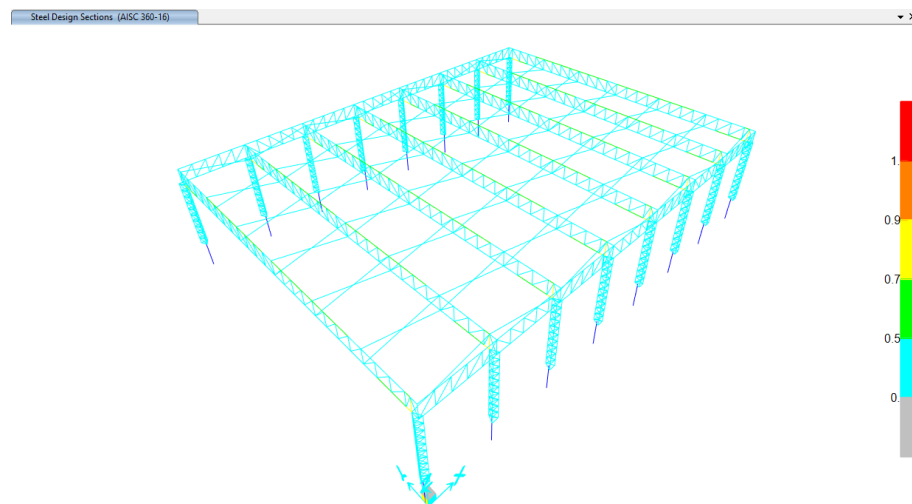
R: Carga por lluvia o granizo.

S_x, S_y: Cargas Sísmicas en las direcciones X e Y

Estas combinaciones se encuentran especificadas en la N.T.E. E.090 y de esta manera se está analizando la estructura en su etapa última. La resistencia de diseño proporcionada por un elemento deberá tomarse como la resistencia nominal (resistencia proporcionada considerando el refuerzo realmente colocado) multiplicada por un factor ϕ de reducción de resistencia, según el tipo de sollicitación a la que esté sometido el elemento.

Figura 22

Diseño de acuerdo con el código AISC 360-10



Nota: Algunos elementos cumplen con los ratios del código AISC-LRFD-360-10.

4.2.2 Comparación con estudios similares

La metodología probabilística empleada en este estudio para derivar curvas de fragilidad es análoga a la utilizada por Robles-Bejarano (2023) en fragilidad sísmica de estructuras metálicas ligeras con HAZUS, donde la probabilidad de excedencia de estados límite se modela mediante funciones lognormales parametrizadas por demanda (p. ej., desplazamiento espectral) y su dispersión. En ese trabajo, para tipologías ligeras (S3) y nivel de diseño sísmico alto, la media del estado de daño extenso se ubica en torno a $S_d \approx 8.23$ cm con $\beta \approx 0.91$, y se reportan probabilidades de daño extenso $> 33\%$ cuando $S_d \approx 7$ cm (registros $M_w > 6$), evidenciando una transición no lineal de vulnerabilidad a medida que crece la demanda.

4.2.3 Beneficios del diseño adoptado

El diseño estructural propuesto para la cobertura metálica de la sede del Gobierno Regional de Tacna cumple simultáneamente con los límites de deriva establecidos por la NTE E.030 y con los ratios de demanda–capacidad (unity checks ≤ 1.00) exigidos por la AISC 360-10 en todos los miembros y verificaciones de resistencia y estabilidad. Este desempeño normativo se traduce en los siguientes beneficios:

Desempeño sísmico controlado y mayor confiabilidad.

La reducción de la masa tributaria y la optimización de la distribución de rigideces disminuyen las fuerzas inerciales y mantienen derivas dentro de límite, sin comprometer la resistencia última de los elementos principales.

Capacidad y estabilidad suficientes en los estados límite gobernantes.

La selección de perfiles y longitudes de arriostramiento garantiza márgenes adecuados frente a flexo-compresión, corte, pandeo local y lateral-torsional, con ratios AISC ≤ 1.00 en todas las combinaciones de carga verificadas.

Fragilidad reducida para intensidades sísmicas equivalentes.

El incremento de capacidad efectiva desplaza hacia mayores intensidades los umbrales de daño en las curvas de fragilidad, disminuyendo la probabilidad de alcanzar estados moderado y extenso en el rango de interés.

4.3 LIMITACIONES DEL ESTUDIO Y MEJORAS IDENTIFICADAS

El alcance del presente trabajo presenta limitaciones metodológicas y de información que deben considerarse al interpretar los resultados, aun cuando el modelo cumple simultáneamente con derivas E.030 y ratios AISC 360-10 en resistencia y estabilidad:

4.3.1 Idealizaciones del modelo

El análisis se efectuó con un modelo predominantemente lineal-elástico y supuestos de rigidez efectiva para miembros y diafragmas. No se incluyeron explícitamente plasticidad cíclica, degradación por acumulación de daño, ni pos-pandeo local, por lo que la respuesta ante sismos severos podría diferir de la estimada.

4.3.2 Selección y escalamiento de registros

La derivación de curvas de fragilidad depende del conjunto de acelerogramas y del procedimiento de escalamiento / spectral matching. A pesar de utilizar registros compatibles con el sitio y con el espectro objetivo, la variabilidad del contenido frecuencial y duración de futuros sismos no puede representarse por completo.

4.3.3 Interacción suelo-estructura (ISE) y condiciones de apoyo

No se modelaron efectos de ISE ni posibles no linealidades de apoyo/cimentación (aflojamiento, asiento diferencial). En estructuras ligeras, estas condiciones pueden modificar derivas, fuerzas internas y demanda en conexiones.

4.3.4 Incertidumbre estadística en parámetros de fragilidad (μ , β)

Los parámetros de cada estado de daño se estiman con un número finito de simulaciones; aumentar la muestra o aplicar IDA y Monte Carlo podría reducir la dispersión y mejorar la robustez de las curvas.

4.4 DESCRIPCIÓN DE SOLUCIÓN PROPUESTA Y SU IMPLEMENTACIÓN

A partir de la evaluación sísmica, se adoptó un diseño optimizado para la cobertura metálica que mantiene derivas dentro de la E.030 y asegura ratios $AISC\ 360-10 \leq 1.00$ en todos los miembros y verificaciones gobernantes. La solución no se plantea como corrección de incumplimientos (pues ya no existen), sino como optimización integral de capacidad, estabilidad y mantenibilidad para reducir vulnerabilidad y mejorar recuperación funcional. Los componentes principales son:

4.4.1 Optimización de miembros principales y secundarios

Selección final de perfiles con módulos adecuados y límites de esbeltez dentro de rango, de modo que las verificaciones por flexo-compresión, corte y pandeo lateral-torsional cumplan holgadamente LRFD/ASD (unity checks objetivo 0.75–0.95), preservando rigidez global para control de derivas.

4.4.2 Arriostramiento y estabilidad lateral

Ajuste de la disposición de arriostres y longitudes no arriostradas para elevar M_n efectivo frente a pandeo lateral-torsional y limitar deformaciones locales en correas y vigas secundarias; esto incrementa el margen de seguridad sin penalizar masa.

4.4.3 *Conexiones y transferencia de cargas*

Detallado de placas, rigidizadores, pernos/soldaduras con capacidades de diseño acordes a combinaciones sísmicas, evitando concentraciones de demanda y mejorando la ductilidad local. El esquema privilegia detalles reemplazables/modulares en puntos no críticos para facilitar reparaciones.

4.4.4 *Continuidad diafragma-colectores*

Verificación de la compatibilidad de diafragmas ligeros con colectores y elementos verticales, minimizando torsión accidental y heterogeneidad de demandas; esto reduce la dispersión en la respuesta y favorece umbrales de daño más altos en las curvas de fragilidad.

4.4.5 *Mantenibilidad y protección anticorrosiva*

Especificación de sistemas de recubrimiento compatibles con la categoría de corrosividad del entorno y accesibilidad a uniones críticas, con el fin de disminuir la frecuencia de mantenimiento y optimizar el costo del ciclo de vida (LCC).

4.5 *Evaluación de costos, sostenibilidad y viabilidad a largo plazo*

4.5.1 *Costos: inversión inicial vs. costo del ciclo de vida*

El diseño adoptado implica un costo inicial asociado principalmente a la selección de perfiles adecuados, detalles de conexión y disposición de

arriostramientos. No obstante, este costo se mantiene dentro de rangos razonables debido a que la geometría principal no requiere cambios mayores y todos los elementos cumplen actualmente con los ratios de resistencia y estabilidad.

El costo operativo se relaciona con el mantenimiento periódico propio de estructuras metálicas. Al seleccionar recubrimientos y especificaciones conformes a estándares internacionales como ISO 12944, se incrementa la durabilidad del sistema de protección contra corrosión y se reduce la frecuencia de mantenimiento, lo cual disminuye el costo anual de operación a lo largo de la vida útil.

4.5.2 Viabilidad técnica y cumplimiento normativo

La solución es técnicamente viable debido a que:

Cumple con los límites de deriva de la NTE E.030, asegurando desempeño sísmico adecuado.

Cumple con los ratios de diseño AISC 360-10, lo que garantiza capacidad resistente y estabilidad en todos los estados límite.

Mejora el desempeño sísmico probabilístico, desplazando hacia mayores intensidades los umbrales de daño en las curvas de fragilidad.

Favorece la recuperación funcional posterior a un sismo al facilitar inspección y reparación rápida.

4.5.3 *Sostenibilidad y resiliencia*

Recuperación funcional post-sismo. El refuerzo de miembros y conexiones reemplazables/modulares reduce daños residuales y tiempo de inoperatividad, alineándose con enfoques de recuperación funcional.

Reparabilidad y sustitución selectiva. Soluciones con segmentos disipativos reemplazables y detalles de unión mejorados concentran la plasticidad en componentes cambiables, favoreciendo reparabilidad y disminuyendo el costo de recuperación tras eventos moderados.

CONCLUSIONES

Primera

Las curvas de fragilidad permitieron cuantificar probabilísticamente la vulnerabilidad de la cobertura frente a distintas intensidades sísmicas, constituyéndose en un instrumento válido y sensible al nivel de demanda. Para el nivel espectral E.030 escalado ($PGA \approx 0.614 \text{ g}$), la probabilidad de exceder cada estado de daño fue: DS1 96%, DS2 91%, DS3 67.4% y DS4 31.2%; esto evidencia vulnerabilidad no despreciable a daño extenso y completo a intensidades de diseño.

Aun cumpliendo normativa (derivadas E.030 y ratios AISC 360-10 ≤ 1.00), la cobertura presenta probabilidad significativa de daño bajo ciertos escenarios sísmicos de alta intensidad. En el registro 2010 escalado ($PGA \approx 1.164 \text{ g}$), la probabilidad de DS4 alcanzó $\approx 69.5\%$; en un escenario más moderado (2014, 0.444 g), DS3 = 47.8% y DS4 = 16.0%. Esto confirma que cumplir código no equivale a “cero daño” y justifica el uso de fragilidad para decisiones de desempeño y resiliencia.

Segunda

Sobre los acelerogramas reales y la obtención de fragilidades, la selección de 3 registros reales (2005, 2010, 2014) y su escalamiento (factor 6) permitió construir curvas de fragilidad lognormales (HAZUS) y calcular probabilidades de

excedencia por estado de daño con base en PGA equivalente. El procedimiento demostró ser metodológicamente consistente y reproducible para la tipología S2L – Moderate Code que adoptaste (μ : 0.20/0.26/0.46/0.84 g; β = 0.64 para DS1–DS4).

Tercera

El modelo 3D (SAP2000) y la verificación de desplazamientos laterales relativos cumplieron con E.030: en X e Y, Δ_i/h varió aprox. entre 0.0006–0.0009, menor al límite 0.01. Asimismo, con el diseño optimizado y los detalles adoptados, los ratios de demanda–capacidad (unity checks) resultaron ≤ 1.00 en las verificaciones gobernantes de flexo-compresión, corte y estabilidad (AISC 360-10). Por tanto, la cobertura cumple simultáneamente criterios de rigidez (derivadas) y resistencia/estabilidad.

Cuarta

Las curvas DS1–DS4 aportaron umbrales probabilísticos claros para la gestión del riesgo, se identificó rangos de PGA donde DS3 y DS4 crecen con rapidez, lo que prioriza medidas de estabilidad lateral, detalle de conexiones y plan de mantenimiento para disminuir la probabilidad de daño severo y favorecer la recuperación funcional.

RECOMENDACIONES

Primera

Se recomienda mantener un sistema adecuado de arriostramiento y estabilidad lateral, asegurando que las longitudes no arriostradas se mantengan dentro de límites que disminuyan la probabilidad de daños moderados o extensos en la cobertura metálica ante sismos de alta intensidad.

Segunda

Se recomienda estandarizar y reforzar los detalles de conexiones (placas, pernos, rigidizadores y soldaduras), priorizando configuraciones que permitan reparaciones rápidas o reemplazo de componentes, contribuyendo así a una mejor recuperación funcional posterior a un sismo.

Tercera

Se sugiere verificar de forma periódica la compatibilidad entre diafragmas y colectores, a fin de asegurar una adecuada distribución de fuerzas y evitar

torsiones accidentales que puedan incrementar la demanda sísmica sobre los elementos estructurales.

Cuarta

Se recomienda implementar un plan de mantenimiento preventivo acorde a la corrosividad del entorno y establecer un protocolo de inspección post-sismo, enfocándose en arriostres, uniones y elementos no estructurales que podrían presentar daños incluso cuando el sistema principal se mantenga dentro de niveles aceptables.

BIBLIOGRAFÍA

- Alva, A., & Cornejo, D. (2021). *Campus Universitario para la Universidad Privada Juan Mejía Baca*. Tesis de Pregrado, Universidad Privada Juan Mejía Baca. <https://hdl.handle.net/20.500.12759/8692>
- Arone, J. (2019). *Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica Estructural de la I.E. N°1199 Mariscal Ramón Castilla, UGEL N°6 del Distrito de Chacabuco*. Tesis Pregrado, Universidad Peruana Unión, Lima. <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/1770>
- Baziar, M. & Alavi, S. (2024). Seismic Assessment of Clayey-Core Earth Fill Dams Using Performance-Based Fragility Curves and Finite Difference Analyses. *Geotechnical and Geological Engineering*, 42(6), 4581 - 4608. <https://doi.org/10.1007/s10706-024-02800-w>
- Baziar, M., & Alavi, S. (2024). Seismic Assessment of Clayey-Core Earth Fill Dams Using Performance-Based Fragility Curves and Finite Difference Analyses. *Geotechnical and Geological Engineering*, 42(6), 4581 - 4608. <https://doi.org/10.1007/s10706-024-02800-w>
- Bohlander, G., Snell, S., & Sherman, A. (1999). *Administración de recursos humanos*. México, México: Thompson Learning.
- Carranza, F., & Taco, J. (2011). *"Cálculo y diseño estructural para la cubierta del Mercado Central de la Parroquia de Píntag en base a Tenso-Estructura con el uso de bambú gigante (Dendrocálamus Asper)"*. Tesis Pregrado, Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí. https://tesiunamdocumentos.dgb.unam.mx/ptd2024/abr_jun/0855673/0855673.pdf
- Carrasco, S. (2013). *Metodología de la Investigación Científica*. Lima, Perú: San Marcos.
- Chiavenato, I. (2009). *Gestión del talento humano*. México: McGraw-Hill.

- Colque, K. & Oquendo, A. (2017). *“Elaboración de Curvas de Fragilidad y Consecuencia de Muros de Albañilería Confinada Construidos con Blocker II”*. Tesis Pregrado, Universidad Privada de Tacna, Tacna. <http://hdl.handle.net/20.500.12969/337>
- Conde, C. (2010). *Aprendizaje organizacional, una capacidad de los grupos de investigación en la universidad pública. Cuadernos de Administración*. Universidad del Valle, Cali. <https://www.redalyc.org/pdf/2250/225017586002.pdf>
- Cotrado, D. (2017). *Elaboración de Curvas de Fragilidad de Muros de Ductilidad Limitada de 10 cm de Espesor, Basados en Ensayos Experimentales, Período 2011-2015*. Tesis Posgrado, Universidad Privada de Tacna, Tacna. <http://hdl.handle.net/20.500.12969/413>
- Crisci, G., Gentile, R., Ceroni, F., Galasso, C., & Lignola, G. (2024). Seismic vulnerability assessment of RC deck-stiffened arch bridges. *Engineering Structures*, 317. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2024.118595>
- Formisano, A., Di Lorenzo, G., Iannuzzi, I., & Landolfo, R. (2017). Seismic Vulnerability and Fragility of Existing Italian Industrial Steel Buildings. *The Open Civil Engineering Journal*, 11, 1122-1137. <https://doi.org/10.2174/1874149501711011122>
- Gallardo, E. (2017). *Metodología de la Investigación: Manual autoformativo interactivo*. Universidad Continental, Huancayo.
- García, C. (2024). *Evaluación De La Vulnerabilidad Sísmica De Las Viviendas De Adobe Del Centro Histórico De Chachapoyas Mediante El Análisis Estático No Lineal Y Curvas De Fragilidad*. Tesis Pregrado, Universidad San Ignacio de Loyola, Lima.
- Gobierno Regional de Tacna (2025). Mejoramiento del servicio educativo del nivel primario en la I.E. Los Ángeles distrito de Tacna - Provincia de Tacna- Departamento de Tacna. Tacna, Tacna, Perú.
- Instituto Geofísico del Perú. (2025). <https://ultimosismo.igp.gob.pe/>. <https://ultimosismo.igp.gob.pe/>. <https://ultimosismo.igp.gob.pe/ultimosismo/sismos-reportados>

- Kitcher, C., et. al. (2006). HAZUS Earthquake Loss Estimation Methods. *TECHNICAL PAPERS*, 7. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1527-6988\(2006\)7:2\(45\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1527-6988(2006)7:2(45))
- Li, S., et. al. (2024). Assessment of the seismic failure of reinforced concrete structures considering the directional effects of ground motions. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 185(108871). <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2024.108871>
- Li, S.-Q., Du, K., Chen, Y.-S., Qin, P.-F., Milani, G., Formisano, A., Chen, P.-C., Zhen, L.-L., & Zhang, C. (2024). Assessment of the seismic failure of reinforced concrete structures considering the directional effects of ground motions. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 185(108871). <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2024.108871>
- Lynch, H. (1992). *Manuales de recursos humanos*. Madrid: Gaceta.
- Marte, C. (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 Posgrado, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona. <https://hdl.handle.net/2099.1/21138>
- Montalvo, O. (2014). *Estimación de pérdida por sismo mediante curvas de fragilidad aplicado a la Biblioteca Central de la UNSCH*. Tesis Pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/2411>
- Ntaliakouraas, I., & Pnevmatikos, N. (2017). Seismic fragility curves for industrial steel buildings. *9th Hellenic Conference of Steel Structures*. https://www.researchgate.net/publication/320452178_Seismic_Fragility_Curves_For_Industrial_Steel_Buildings
- Oliva, J. (2017). *Curvas de capacidad y fragilidad estructural de tipologías comúnmente usadas en el Salvador*. Tesis Posgrado, Universidad de el Salvador. <https://hdl.handle.net/20.500.14492/18348>
- Orizaga, C. (2011). Gestión del talento humano en la universidad pública. *El Buzón de Pacioli*, 24. www.itson.mx/pacioli

- Ramos, C. (2014). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones comunes en la ciudad de Pimentel*. Tesis Pregrado, Universidad San Martín de Porres, Chiclayo <https://hdl.handle.net/20.500.12727/4014>
- Roldan, J. (2016). *Metodología para la determinación de curvas de fragilidad analíticas y matrices de probabilidad de daño*. Tesis Posgrado, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, México. <https://hdl.handle.net/11191/6193>
- Ruiz, J. (2018). *Estimación de pérdidas por sismos mediante funciones de fragilidad analíticas: caso de dos pabellones universitarios del Cusco*. Tesis Posgrado, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/12064>
- Saldarriaga, J. (2008). *La Gestión humana a nivel mundial, tendencias y perspectivas*. Ascort. Cali http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-9232008000200006
- Shahrokh, T., Pooria, R., Mehdi, A., & Seyed, H. (2024). Analyzing the dependency of earthquake insurance premium on the intensity measure used in probabilistic seismic hazard analysis and fragility curves. *Ain Shams Engineering Journal*. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2024.102989>
- Si-Qi, L. (2024). Seismic risk model for regional buildings that considers the influence of temperature and intensity measures. *Expert Systems with Applications*, 250. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.123962>
- Tacna, G. (2025). *Mejoramiento del servicio educativo del nivel primario en la I.E. Los Ángeles distrito de Tacna - Provincia de Tacna- Departamento de Tacna*. Tacna, Tacna, Perú.
- Valenzuela, H. (2021). *Determinación de las curvas de fragilidad analítica mediante el análisis incremental dinámico en el centro de salud de Conchopata en Ayacucho, 2019*. *Ciencia Latina Revista Multidisciplinar*, 5(6). https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i6.1372
- Velásquez, J., & Blondet, M. (2005). *Estimación de pérdidas sísmicas mediante curvas de fragilidad analíticas*. Tesis Posgrado, Pontificia Universidad

Católica del Perú.

https://www.researchgate.net/publication/237642191_ESTIMACION_DE_PERDIDAS_SISMICAS_MEDIANTE_CURVAS_DE_FRAGILIDAD_ANALITICAS

Wang, L., Ning, C., & Hang, L. (2014). Seismic fragility analysis of hill buildings sited on slopes. *Applied Mechanics and Materials*, 578-579, 1551 - 1555.

<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.578-579.1551>

Werther, W., & Davis, K. (2014). *Administración de recursos humanos. Gestión del capital humano* (Séptima ed.). México: McGraw-Hill.

Werther, W., & Keith, D. (1996). *Administracion de recursos humanos*. México .

Zavala, N., et. al. (2022). *Fragilidad sísmica de un edificio de concreto reforzado usando medidas de intensidad sísmica vectorial basadas en la forma espectral*. Revista de Ciencias Tecnológicas (RECIT), <https://doi.org/10.37636/recit.v5n2e220>

APÉNDICE

APÉNDICE 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título: EVALUACION DE LA VULNERABILIDAD SISMICA USANDO CURVAS DE FRAGILIDAD DE UNA COBERTURA METALICA EN LA SEDE CENTRAL DEL GOBIERNO REGIONAL DE TACNA, 2025 Autor: Jean Michel Sarmiento Chucuya			
PROBLEMA	OBJETIVOS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
Interrogante Principal ¿ Cómo las curvas de fragilidad sísmica permiten efectuar la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de una cobertura metálica en la sede central del Gobierno Regional de Tacna, 2025?	Objetivo General Evaluar la vulnerabilidad sísmica utilizando curvas de fragilidad sísmica de una cobertura metálica en la sede central del Gobierno Regional de Tacna, 2025.	Variable uno (X) Cuaderno de obra digital Dimensiones e Indicadores: - Habilitación y creación de usuarios: Esta dimensión conlleva la utilización de los indicadores de contrato de obra, perfiles de usuarios y monitoreo de obra. - Registro de información: Esta dimensión conlleva la utilización de ocurrencias de hechos relevantes, las ordenes, las consultas y consecuentemente la respuesta a dichas consultas, así como el contenido de los asientos. - Accesibilidad y funcionabilidad: Esta dimensión conlleva la utilización de notificaciones electrónicas, reportes, seguridad, responsabilidad y la transparencia de información.	Tipo de Investigación La investigación fue básica, con método cuantitativo y alcance explicativo.
Interrogantes Secundaria a) ¿ Cómo los acelerogramas tomados de sismos reales permiten obtener las curvas de fragilidad para evaluar una cobertura metálica en la sede central del Gobierno Regional de Tacna, 2025? b) ¿ De qué manera realizar un modelamiento estructura que cumpla con las disposiciones indicadas en la norma técnica E.030 y la AISC permitirán evaluar una cobertura metálica en la sede central del Gobierno Regional de Tacna, 2025? c) ¿ Qué beneficio se obtendrá al graficar las curvas de fragilidad sísmica para determinar la vulnerabilidad de una cobertura metálica en la sede central del Gobierno Regional de Tacna?	Objetivos Específicos a) Obtener las curvas de fragilidad, para diversos estados de daño, con la ayuda de los acelerogramas, tomados de sismos reales para evaluar una cobertura metálica en la sede central del Gobierno Regional de Tacna, 2025. b) Realizar el modelamiento estructural cumpliendo las disposiciones indicadas en la norma técnica E.030 y la AISC para una cobertura metálica en la sede central del Gobierno Regional de Tacna, 2025. c) Analizar el beneficio de las curvas de fragilidad para la determinación de la vulnerabilidad sísmica de una cobertura metálica en la sede Central del Gobierno Regional de Tacna y su propuesta de mejora.	Variable dos (Y) Gestión de obras por contrata Dimensiones e Indicadores: - Inicio de obra: Esta dimensión conlleva la utilización de los indicadores de cumplimiento de condiciones para inicio de obra, cumplimiento de perfiles de profesionales y técnicos, así como materiales, equipos y herramientas para la obra. - Ejecución de obra: Esta dimensión conlleva la utilización de los indicadores de procesos constructivos, control de calidad, metrados, especificaciones técnicas, adicionales, paralizaciones, ampliaciones y actualización de cuaderno de obra. - Entrega de obra: Esta dimensión conlleva la utilización los indicadores de recepción y liquidación de obra, así como registro en el INFObras.	Diseño de la Investigación El estudio fue de diseño no experimental de corte transversal.
			Ámbito de Estudio La región Tacna
			Población La población estuvo compuesta por 563 ingenieros civiles del Consejo departamental Tacna de Colegio de Ingenieros del Perú.
			Muestra Está compuesta por 229 ingenieros civiles.
			Técnicas de Recolección de datos Encuesta
			Instrumentos para la recolección de los datos Cuestionario
RELEVANCIA DE LA INVESTIGACIÓN: La investigación se encuentra alienada a fortalecer el objetivo 9 “Industria, innovación e infraestructura” de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.			

APÉNDICE 02: RESULTADO DE TABLA LOGNORMAL PARA CADA ESTADO DE DAÑO

PGA		DS1		DS2		DS3		DS4
0.01	-4.6808317	0.0000014	-5.0907758	0.0000002	-5.9822522	0.0000000	-6.9231512	0.0000000
0.02	-3.5977892	0.0001605	-4.0077334	0.0000307	-4.8992097	0.0000005	-5.8401088	0.0000000
0.03	-2.9642500	0.0015171	-3.3741941	0.0003702	-4.2656705	0.0000100	-5.2065695	0.0000001
0.04	-2.5147467	0.0059559	-2.9246909	0.0017240	-3.8161672	0.0000678	-4.7570663	0.0000010
0.05	-2.1660849	0.0151523	-2.5760291	0.0049971	-3.4675054	0.0002627	-4.4084045	0.0000052
0.06	-1.8812075	0.0299718	-2.2911517	0.0109773	-3.1826280	0.0007297	-4.1235271	0.0000187
0.07	-1.6403471	0.0504665	-2.0502912	0.0201680	-2.9417676	0.0016317	-3.8826666	0.0000517
0.08	-1.4317043	0.0761142	-1.8416484	0.0327633	-2.7331248	0.0031368	-3.6740238	0.0001194
0.09	-1.2476683	0.1060763	-1.6576124	0.0486979	-2.5490888	0.0054002	-3.4899878	0.0002415
0.1	-1.0830425	0.1393948	-1.4929866	0.0677203	-2.3844630	0.0085520	-3.3253620	0.0004415
0.11	-0.9341203	0.1751209	-1.3440645	0.0894638	-2.2355408	0.0126909	-3.1764399	0.0007455
0.12	-0.7981650	0.2123874	-1.2081092	0.1135026	-2.0995855	0.0178827	-3.0404846	0.0011810
0.13	-0.6730983	0.2504424	-1.0830425	0.1393948	-1.9745188	0.0241614	-2.9154179	0.0017761
0.14	-0.5573046	0.2886597	-0.9672488	0.1667098	-1.8587251	0.0315331	-2.7996242	0.0025581
0.15	-0.4495032	0.3265343	-0.8594474	0.1950469	-1.7509237	0.0399795	-2.6918228	0.0035531
0.16	-0.3486618	0.3636716	-0.7586060	0.2240442	-1.6500823	0.0494631	-2.5909814	0.0047851
0.17	-0.2539358	0.3997726	-0.6638800	0.2533836	-1.5553563	0.0599306	-2.4962554	0.0062756
0.18	-0.1646258	0.4346193	-0.5745700	0.2827911	-1.4660463	0.0713178	-2.4069454	0.0080433
0.19	-0.0801458	0.4680607	-0.4900899	0.3120351	-1.3815663	0.0835525	-2.3224653	0.0101039
0.2	0.0000000	0.5000000	-0.4099442	0.3409235	-1.3014205	0.0965573	-2.2423196	0.0124704
0.21	0.0762346	0.5303838	-0.3337095	0.3692994	-1.2251859	0.1102526	-2.1660849	0.0151523
0.22	0.1489222	0.5591925	-0.2610220	0.3970378	-1.1524983	0.1245582	-2.0933974	0.0181568
0.23	0.2183780	0.5864327	-0.1915661	0.4240410	-1.0830425	0.1393948	-2.0239415	0.0214881
0.24	0.2848774	0.6121310	-0.1250667	0.4502354	-1.0165431	0.1546854	-1.9574421	0.0251478
0.25	0.3486618	0.6363284	-0.0612824	0.4755672	-0.9527587	0.1703562	-1.8936578	0.0291352
0.26	0.4099442	0.6590765	0.0000000	0.5000000	-0.8914763	0.1863368	-1.8323754	0.0334478
0.27	0.4689134	0.6804342	0.0589693	0.5235117	-0.8325071	0.2025614	-1.7734061	0.0380807
0.28	0.5257379	0.7004648	0.1157937	0.5460920	-0.7756826	0.2189682	-1.7165817	0.0430278
0.29	0.5805681	0.7192342	0.1706239	0.5677402	-0.7208524	0.2355002	-1.6617515	0.0482813
0.3	0.6335392	0.7368092	0.2235951	0.5884638	-0.6678813	0.2521047	-1.6087803	0.0538322
0.31	0.6847733	0.7532565	0.2748292	0.6082763	-0.6166472	0.2687337	-1.5575462	0.0596704
0.32	0.7343807	0.7686416	0.3244365	0.6271962	-0.5670398	0.2853436	-1.5079389	0.0657851
0.33	0.7824614	0.7830283	0.3725172	0.6452461	-0.5189591	0.3018946	-1.4598582	0.0721645
0.34	0.8291066	0.7964780	0.4191625	0.6624513	-0.4723139	0.3183514	-1.4132129	0.0787966
0.35	0.8743997	0.8090497	0.4644555	0.6788393	-0.4270208	0.3346821	-1.3679199	0.0856686
0.36	0.9184167	0.8207996	0.5084725	0.6944390	-0.3830038	0.3508585	-1.3239029	0.0927676
0.37	0.9612276	0.8317811	0.5512834	0.7092803	-0.3401929	0.3668556	-1.2810920	0.1000807
0.38	1.0028967	0.8420446	0.5929525	0.7233935	-0.2985238	0.3826517	-1.2394229	0.1075945
0.39	1.0434834	0.8516378	0.6335392	0.7368092	-0.2579371	0.3982277	-1.1988362	0.1152958

0.4	1.0830425	0.8606052	0.6730983	0.7495576	-0.2183780	0.4135673	-1.1592771	0.1231716
0.41	1.1216247	0.8689890	0.7116805	0.7616687	-0.1797958	0.4286564	-1.1206949	0.1312089
0.42	1.1592771	0.8768284	0.7493329	0.7731717	-0.1421434	0.4434834	-1.0830425	0.1393948
0.43	1.1960435	0.8841602	0.7860993	0.7840954	-0.1053770	0.4580383	-1.0462761	0.1477168
0.44	1.2319646	0.8910189	0.8220205	0.7944674	-0.0694559	0.4723134	-1.0103549	0.1561626
0.45	1.2670785	0.8974364	0.8571343	0.8043147	-0.0343420	0.4863022	-0.9752411	0.1647203
0.46	1.3014205	0.9034427	0.8914763	0.8136632	0.0000000	0.5000000	-0.9408991	0.1733783
0.47	1.3350240	0.9090657	0.9250798	0.8225378	0.0336034	0.5134033	-0.9072956	0.1821252
0.48	1.3679199	0.9143314	0.9579757	0.8309625	0.0664994	0.5265099	-0.8743997	0.1909503
0.49	1.4001375	0.9192639	0.9901934	0.8389602	0.0987170	0.5393185	-0.8421820	0.1998430
0.5	1.4317043	0.9238858	1.0217601	0.8465528	0.1302838	0.5518290	-0.8106153	0.2087933
0.51	1.4626459	0.9282178	1.0527017	0.8537611	0.1612254	0.5640420	-0.7796737	0.2177915
0.52	1.4929866	0.9322797	1.0830425	0.8606052	0.1915661	0.5759590	-0.7493329	0.2268283
0.53	1.5227494	0.9360893	1.1128053	0.8671040	0.2213289	0.5875818	-0.7195701	0.2358949
0.54	1.5519559	0.9396636	1.1420117	0.8732754	0.2505354	0.5989133	-0.6903637	0.2449828
0.55	1.5806264	0.9430183	1.1706823	0.8791367	0.2792059	0.6099566	-0.6616931	0.2540839
0.56	1.6087803	0.9461678	1.1988362	0.8847042	0.3073598	0.6207153	-0.6335392	0.2631908
0.57	1.6364359	0.9491258	1.2264918	0.8899932	0.3350154	0.6311933	-0.6058836	0.2722960
0.58	1.6636105	0.9519049	1.2536664	0.8950184	0.3621900	0.6413950	-0.5787090	0.2813928
0.59	1.6903206	0.9545167	1.2803764	0.8997936	0.3889001	0.6513250	-0.5519990	0.2904745
0.6	1.7165817	0.9569722	1.3066375	0.9043321	0.4151612	0.6609880	-0.5257379	0.2995352
0.61	1.7424087	0.9592815	1.3324646	0.9086462	0.4409882	0.6703892	-0.4999108	0.3085689
0.62	1.7678158	0.9614541	1.3578716	0.9127478	0.4663953	0.6795337	-0.4745038	0.3175704
0.63	1.7928163	0.9634989	1.3828722	0.9166480	0.4913958	0.6884267	-0.4495032	0.3265343
0.64	1.8174231	0.9654238	1.4074790	0.9203573	0.5160026	0.6970737	-0.4248964	0.3354561
0.65	1.8416484	0.9672367	1.4317043	0.9238858	0.5402279	0.7054801	-0.4006711	0.3443311
0.66	1.8655039	0.9689446	1.4555597	0.9272428	0.5640834	0.7136513	-0.3768157	0.3531553
0.67	1.8890005	0.9705541	1.4790564	0.9304374	0.5875800	0.7215929	-0.3533190	0.3619246
0.68	1.9121491	0.9720715	1.5022049	0.9334779	0.6107286	0.7293104	-0.3301705	0.3706356
0.69	1.9349597	0.9735024	1.5250156	0.9363724	0.6335392	0.7368092	-0.3073598	0.3792847
0.7	1.9574421	0.9748522	1.5474980	0.9391284	0.6560216	0.7440949	-0.2848774	0.3878690
0.71	1.9796056	0.9761261	1.5696615	0.9417531	0.6781851	0.7511728	-0.2627139	0.3963855
0.72	2.0014591	0.9773285	1.5915150	0.9442531	0.7000386	0.7580484	-0.2408604	0.4048316
0.73	2.0230112	0.9784640	1.6130670	0.9466350	0.7215907	0.7647269	-0.2193084	0.4132049
0.74	2.0442700	0.9795366	1.6343259	0.9489048	0.7428495	0.7712136	-0.1980495	0.4215032
0.75	2.0652435	0.9805500	1.6552993	0.9510681	0.7638230	0.7775136	-0.1770761	0.4297243
0.76	2.0859392	0.9815079	1.6759950	0.9531304	0.7845187	0.7836321	-0.1563804	0.4378666
0.77	2.1063643	0.9824136	1.6964201	0.9550968	0.8049438	0.7895739	-0.1359553	0.4459283
0.78	2.1265259	0.9832703	1.7165817	0.9569722	0.8251054	0.7953441	-0.1157937	0.4539080
0.79	2.1464306	0.9840807	1.7364864	0.9587611	0.8450101	0.8009474	-0.0958890	0.4618044
0.8	2.1660849	0.9848477	1.7561408	0.9604678	0.8646644	0.8063885	-0.0762346	0.4696162
0.81	2.1854951	0.9855737	1.7755510	0.9620965	0.8840746	0.8116720	-0.0568244	0.4773425
0.82	2.2046671	0.9862613	1.7947230	0.9636511	0.9032466	0.8168025	-0.0376524	0.4849824

0.83	2.2236068	0.9869125	1.8136626	0.9651352	0.9221863	0.8217843	-0.0187128	0.4925351
0.84	2.2423196	0.9875296	1.8323754	0.9665522	0.9408991	0.8266217	0.0000000	0.5000000
0.85	2.2608109	0.9881145	1.8508667	0.9679056	0.9593904	0.8313189	0.0184913	0.5073766
0.86	2.2790860	0.9886690	1.8691418	0.9691985	0.9776655	0.8358801	0.0367664	0.5146644
0.87	2.2971498	0.9891949	1.8872056	0.9704337	0.9957293	0.8403091	0.0548302	0.5218631
0.88	2.3150071	0.9896937	1.9050629	0.9716141	1.0135866	0.8446100	0.0726875	0.5289726
0.89	2.3326627	0.9901671	1.9227185	0.9727423	1.0312421	0.8487864	0.0903431	0.5359927
0.9	2.3501209	0.9906163	1.9401768	0.9738209	1.0487004	0.8528420	0.1078014	0.5429234
0.91	2.3673863	0.9910429	1.9574421	0.9748522	1.0659658	0.8567804	0.1250667	0.5497646
0.92	2.3844630	0.9914480	1.9745188	0.9758386	1.0830425	0.8606052	0.1421434	0.5565166
0.93	2.4013550	0.9918328	1.9914109	0.9767821	1.0999345	0.8643197	0.1590355	0.5631795
0.94	2.4180664	0.9921984	2.0081223	0.9776848	1.1166459	0.8679271	0.1757468	0.5697536
0.95	2.4346010	0.9925459	2.0246568	0.9785487	1.1331805	0.8714308	0.1922814	0.5762391
0.96	2.4509624	0.9928763	2.0410182	0.9793755	1.1495419	0.8748337	0.2086428	0.5826365
0.97	2.4671542	0.9931904	2.0572101	0.9801670	1.1657337	0.8781389	0.2248347	0.5889460
0.98	2.4831800	0.9934892	2.0732358	0.9809248	1.1817595	0.8813494	0.2408604	0.5951684
0.99	2.4990431	0.9937735	2.0890989	0.9816506	1.1976226	0.8844680	0.2567235	0.6013039
1	2.5147467	0.9940441	2.1048026	0.9823458	1.2133262	0.8874974	0.2724272	0.6073532
1.01	2.5302941	0.9943017	2.1203500	0.9830117	1.2288736	0.8904404	0.2879746	0.6133169
1.02	2.5456883	0.9945469	2.1357442	0.9836499	1.2442678	0.8932995	0.3033688	0.6191956
1.03	2.5609324	0.9947804	2.1509882	0.9842614	1.2595119	0.8960772	0.3186128	0.6249899
1.04	2.5760291	0.9950029	2.1660849	0.9848477	1.2746086	0.8987761	0.3337095	0.6307006
1.05	2.5909814	0.9952149	2.1810372	0.9854097	1.2895609	0.9013984	0.3486618	0.6363284
1.06	2.6057919	0.9954169	2.1958477	0.9859486	1.3043714	0.9039465	0.3634723	0.6418740
1.07	2.6204634	0.9956095	2.2105192	0.9864654	1.3190429	0.9064226	0.3781438	0.6473381
1.08	2.6349984	0.9957931	2.2250542	0.9869612	1.3335779	0.9088289	0.3926788	0.6527216
1.09	2.6493994	0.9959683	2.2394552	0.9874368	1.3479789	0.9111674	0.4070798	0.6580253
1.1	2.6636689	0.9961353	2.2537247	0.9878933	1.3622484	0.9134402	0.4213493	0.6632500
1.11	2.6778093	0.9962947	2.2678651	0.9883313	1.3763888	0.9156493	0.4354897	0.6683965
1.12	2.6918228	0.9964469	2.2818786	0.9887517	1.3904023	0.9177966	0.4495032	0.6734657
1.13	2.7057118	0.9965921	2.2957676	0.9891554	1.4042913	0.9198839	0.4633922	0.6784584
1.14	2.7194784	0.9967308	2.3095342	0.9895430	1.4180579	0.9219131	0.4771588	0.6833755
1.15	2.7331248	0.9968632	2.3231806	0.9899153	1.4317043	0.9238858	0.4908052	0.6882179
1.16	2.7466530	0.9969897	2.3367088	0.9902728	1.4452325	0.9258037	0.5043334	0.6929865
1.17	2.7600651	0.9971105	2.3501209	0.9906163	1.4586446	0.9276685	0.5177455	0.6976821
1.18	2.7733630	0.9972260	2.3634189	0.9909464	1.4719425	0.9294818	0.5310435	0.7023057
1.19	2.7865488	0.9973364	2.3766046	0.9912636	1.4851283	0.9312451	0.5442292	0.7068581
1.2	2.7996242	0.9974419	2.3896800	0.9915685	1.4982037	0.9329598	0.5573046	0.7113403
1.21	2.8125911	0.9975428	2.4026469	0.9918616	1.5111705	0.9346275	0.5702715	0.7157532
1.22	2.8254512	0.9976393	2.4155070	0.9921433	1.5240307	0.9362495	0.5831316	0.7200977
1.23	2.8382064	0.9977316	2.4282622	0.9924143	1.5367859	0.9378271	0.5958868	0.7243746
1.24	2.8508583	0.9978199	2.4409141	0.9926749	1.5494378	0.9393617	0.6085387	0.7285849
1.25	2.8634085	0.9979045	2.4534644	0.9929256	1.5619880	0.9408546	0.6210890	0.7327295

1.26	2.8758588	0.9979854	2.4659146	0.9931668	1.5744383	0.9423069	0.6335392	0.7368092
1.27	2.8882106	0.9980628	2.4782665	0.9933989	1.5867901	0.9437199	0.6458911	0.7408250
1.28	2.9004656	0.9981370	2.4905214	0.9936222	1.5990451	0.9450947	0.6581460	0.7447779
1.29	2.9126252	0.9982080	2.5026810	0.9938372	1.6112047	0.9464324	0.6703056	0.7486685
1.3	2.9246909	0.9982760	2.5147467	0.9940441	1.6232704	0.9477342	0.6823713	0.7524979
1.31	2.9366641	0.9983412	2.5267200	0.9942433	1.6352436	0.9490010	0.6943446	0.7562669
1.32	2.9485463	0.9984036	2.5386022	0.9944352	1.6471258	0.9502339	0.7062268	0.7599764
1.33	2.9603388	0.9984635	2.5503947	0.9946199	1.6589183	0.9514339	0.7180193	0.7636273
1.34	2.9720430	0.9985209	2.5620988	0.9947979	1.6706225	0.9526019	0.7297234	0.7672204
1.35	2.9836602	0.9985759	2.5737160	0.9949694	1.6822397	0.9537388	0.7413406	0.7707565
1.36	2.9951916	0.9986286	2.5852474	0.9951345	1.6937711	0.9548456	0.7528720	0.7742366
1.37	3.0066385	0.9986792	2.5966944	0.9952937	1.7052180	0.9559231	0.7643189	0.7776614
1.38	3.0180022	0.9987278	2.6080580	0.9954471	1.7165817	0.9569722	0.7756826	0.7810318
1.39	3.0292838	0.9987743	2.6193397	0.9955950	1.7278633	0.9579936	0.7869643	0.7843486
1.4	3.0404846	0.9988190	2.6305404	0.9957375	1.7390641	0.9589883	0.7981650	0.7876126
1.41	3.0516057	0.9988619	2.6416615	0.9958750	1.7501851	0.9599568	0.8092861	0.7908247
1.42	3.0626481	0.9989031	2.6527039	0.9960075	1.7612276	0.9609001	0.8203285	0.7939856
1.43	3.0736131	0.9989426	2.6636689	0.9961353	1.7721926	0.9618187	0.8312935	0.7970961
1.44	3.0845016	0.9989805	2.6745574	0.9962586	1.7830811	0.9627134	0.8421820	0.8001570
1.45	3.0953148	0.9990170	2.6853706	0.9963775	1.7938943	0.9635850	0.8529952	0.8031690
1.46	3.1060537	0.9990520	2.6961095	0.9964923	1.8046332	0.9644339	0.8637341	0.8061330
1.47	3.1167192	0.9990856	2.7067751	0.9966030	1.8152987	0.9652610	0.8743997	0.8090497
1.48	3.1273125	0.9991179	2.7173683	0.9967098	1.8258920	0.9660667	0.8849929	0.8119198
1.49	3.1378344	0.9991490	2.7278903	0.9968130	1.8364139	0.9668518	0.8955149	0.8147440
1.5	3.1482860	0.9991788	2.7383418	0.9969125	1.8468655	0.9676167	0.9059664	0.8175232

APÉNDICE 03: ESCALAMIENTO DE REGISTROS

ESPECTRO E030

Z=	0.45	
U=	1.3	
S=	1.05	
Tp=	0.6	
Tl=	2	
R=	1	
g=	981	cm/s ²
ZUSg/R=	602.58	
FA=	6	

PERIODO DE LA ESTRUCTURA:

TX1=	0.16	s
0.2*T1=	0.0312672	
1.5*T1=	0.234504	

Period(s)	SRSS			PROM	AMPLIF.	NORMA
	2005	2010	2014			
0.05	255.91	346.44	116.38	239.58	1437.45	1506.45
0.0515	275.11	344.00	117.76	245.63	1473.75	1506.45
0.0531	276.49	346.79	119.61	247.63	1485.79	1506.45
0.0547	306.45	349.24	125.22	260.30	1561.83	1506.45
0.0564	336.56	333.44	126.84	265.61	1593.69	1506.45
0.0581	344.21	320.01	123.95	262.73	1576.37	1506.45
0.0598	327.08	333.10	126.65	262.27	1573.64	1506.45
0.0617	312.45	345.43	131.34	263.07	1578.43	1506.45
0.0635	303.59	344.20	130.08	259.29	1555.74	1506.45
0.0655	280.89	357.08	127.78	255.25	1531.51	1506.45
0.0675	283.90	350.02	128.27	254.06	1524.39	1506.45
0.0695	286.39	343.21	128.32	252.64	1515.83	1506.45
0.0716	277.40	354.50	130.02	253.98	1523.86	1506.45
0.0738	262.54	363.08	138.40	254.67	1528.04	1506.45
0.0761	256.53	351.22	147.99	251.91	1511.48	1506.45
0.0784	275.91	332.45	159.99	256.12	1536.71	1506.45
0.0807	296.75	328.34	170.47	265.19	1591.11	1506.45
0.0832	328.08	352.76	170.88	283.91	1703.46	1506.45
0.0857	367.98	373.69	167.79	303.15	1818.93	1506.45
0.0883	390.38	399.12	178.53	322.68	1936.06	1506.45
0.091	379.35	434.82	200.79	338.32	2029.92	1506.45
0.0938	394.53	474.35	215.11	361.33	2167.98	1506.45
0.0966	403.85	483.82	218.49	368.72	2212.33	1506.45
0.0996	386.64	468.13	226.88	360.55	2163.32	1506.45
0.1026	402.48	463.29	231.12	365.63	2193.78	1506.45
0.1057	385.78	475.31	228.55	363.21	2179.29	1506.45

0.109	368.08	473.83	219.30	353.74	2122.42	1506.45
0.1123	359.54	445.10	204.24	336.29	2017.75	1506.45
0.1157	326.09	443.61	185.86	318.52	1911.11	1506.45
0.1192	296.41	446.86	174.72	306.00	1835.98	1506.45
0.1228	282.39	449.31	168.90	300.20	1801.20	1506.45
0.1266	289.73	436.68	157.12	294.51	1767.05	1506.45
0.1304	282.82	412.51	161.91	285.75	1714.48	1506.45
0.1344	284.96	392.42	164.26	280.55	1683.30	1506.45
0.1385	286.20	400.88	166.90	284.66	1707.96	1506.45
0.1427	290.78	409.01	171.13	290.31	1741.85	1506.45
0.147	310.79	422.67	170.80	301.42	1808.52	1506.45
0.1515	297.15	431.99	174.23	301.12	1806.72	1506.45
0.1561	273.19	431.69	171.25	292.05	1752.28	1506.45
0.1608	278.90	418.88	177.01	291.59	1749.56	1506.45
0.1657	271.52	397.36	192.39	287.09	1722.54	1506.45
0.1708	259.93	372.17	208.92	280.34	1682.05	1506.45
0.176	285.90	349.82	227.36	287.70	1726.17	1506.45
0.1813	305.74	336.50	247.92	296.72	1780.33	1506.45
0.1868	306.09	323.75	250.87	293.57	1761.42	1506.45
0.1925	281.48	310.13	276.52	289.37	1736.24	1506.45
0.1984	286.15	306.58	300.88	297.87	1787.23	1506.45
0.2044	318.40	336.16	296.40	316.99	1901.93	1506.45
0.2106	326.21	368.66	291.42	328.76	1972.58	1506.45
0.217	327.23	383.29	290.81	333.78	2002.67	1506.45
0.2236	301.73	393.67	266.81	320.74	1924.41	1506.45
0.2304	258.08	404.12	235.36	299.19	1795.13	1506.45
0.2374	248.78	409.63	217.40	291.93	1751.60	1506.45
0.2446	258.97	406.60	214.82	293.47	1760.79	1506.45
0.2521	271.59	397.89	220.37	296.62	1779.70	1506.45
0.2597	273.01	393.74	235.82	300.86	1805.13	1506.45
0.2676	258.72	398.01	249.09	301.94	1811.63	1506.45
0.2758	282.13	412.29	276.78	323.73	1942.39	1506.45
0.2842	309.81	425.35	312.44	349.20	2095.20	1506.45
0.2928	336.97	435.78	337.53	370.09	2220.56	1506.45
0.3017	311.89	450.50	339.17	367.19	2203.14	1506.45
0.3109	288.01	478.40	321.70	362.70	2176.22	1506.45
0.3203	264.38	494.33	305.99	354.90	2129.38	1506.45
0.3301	265.06	484.33	315.48	354.96	2129.75	1506.45
0.3401	291.71	448.96	307.09	349.26	2095.53	1506.45
0.3505	308.77	427.62	300.95	345.78	2074.70	1506.45
0.3611	281.07	404.36	311.06	332.17	1992.99	1506.45
0.3721	254.83	390.53	315.84	320.40	1922.42	1506.45
0.3834	229.20	382.89	298.54	303.54	1821.24	1506.45

0.3951	204.00	376.67	261.56	280.74	1684.45	1506.45
0.4071	187.53	366.12	222.78	258.81	1552.87	1506.45
0.4195	169.62	355.41	191.04	238.69	1432.15	1506.45
0.4322	153.99	343.47	183.91	227.12	1362.73	1506.45
0.4454	141.83	331.44	173.08	215.45	1292.71	1506.45
0.4589	141.37	320.44	153.26	205.02	1230.12	1506.45
0.4729	127.88	308.45	168.42	201.58	1209.51	1506.45
0.4873	126.88	295.24	166.37	196.16	1176.98	1506.45
0.5021	132.19	281.07	170.32	194.53	1167.17	1506.45
0.5173	139.83	267.40	162.55	189.93	1139.58	1506.45
0.5331	138.05	254.49	156.30	182.95	1097.69	1506.45
0.5493	130.03	241.38	167.11	179.51	1077.04	1506.45
0.566	117.98	230.09	157.68	168.58	1011.51	1506.45
0.5832	118.39	222.79	140.94	160.71	964.24	1506.45
0.6009	116.01	216.69	132.10	154.94	929.62	1504.19
0.6192	111.72	210.14	136.63	152.83	916.98	1459.74
0.638	111.29	203.27	139.77	151.45	908.67	1416.72
0.6574	114.85	197.12	148.97	153.64	921.87	1374.91
0.6774	109.56	191.04	144.24	148.28	889.66	1334.32
0.698	100.50	184.28	138.80	141.19	847.16	1294.94
0.7193	98.79	177.38	144.72	140.30	841.79	1256.60
0.7411	107.18	171.10	147.08	141.79	850.72	1219.63
0.7637	110.81	164.98	149.33	141.71	850.23	1183.54
0.7869	101.36	158.27	155.61	138.41	830.48	1148.65
0.8108	86.64	151.26	166.08	134.66	807.96	1114.79
0.8355	74.18	145.02	169.73	129.64	777.86	1081.83
0.8609	67.67	140.20	156.15	121.34	728.06	1049.91
0.8871	67.03	135.95	139.61	114.20	685.19	1018.90
0.914	72.97	131.05	123.19	109.07	654.41	988.92
0.9418	73.63	125.34	108.68	102.55	615.31	959.72
0.9705	65.81	120.95	100.85	95.87	575.22	931.34
1	63.08	116.22	95.34	91.55	549.28	903.87
1.0304	58.38	111.19	96.37	88.65	531.88	877.20
1.0617	52.58	105.89	98.51	85.66	513.96	851.34
1.094	51.27	100.45	93.25	81.66	489.93	826.21
1.1273	50.76	95.00	89.85	78.54	471.23	801.80
1.1616	51.43	89.70	90.23	77.12	462.71	778.12
1.1969	50.91	84.69	87.97	74.52	447.13	755.17
1.2333	49.83	81.28	78.61	69.91	419.45	732.89
1.2708	46.62	78.43	69.30	64.78	388.68	711.26
1.3095	45.69	75.55	66.60	62.62	375.71	690.24
1.3493	43.75	72.79	68.47	61.67	370.02	669.88
1.3903	40.78	70.74	62.66	58.06	348.36	650.13

1.4326	38.64	68.71	59.48	55.61	333.65	630.93
1.4762	36.80	66.07	58.06	53.64	321.84	612.29
1.5211	34.94	63.04	60.91	52.96	317.77	594.22
1.5673	33.38	60.19	57.80	50.46	302.73	576.70
1.615	33.27	58.37	61.48	51.04	306.24	559.67
1.6641	33.97	56.45	60.42	50.28	301.67	543.16
1.7147	37.17	54.55	56.58	49.43	296.60	527.13
1.7668	39.75	53.47	54.77	49.33	295.99	511.59
1.8206	42.07	51.68	56.21	49.98	299.91	496.47
1.8759	42.81	49.32	55.77	49.30	295.80	481.83
1.933	42.98	46.50	52.23	47.24	283.42	467.60
1.9918	44.43	43.96	48.44	45.61	273.67	453.79
2.0523	46.72	41.58	45.42	44.57	267.44	429.19
2.1147	48.21	39.54	46.55	44.77	268.59	404.24
2.1791	47.92	37.72	44.98	43.54	261.24	380.70
2.2453	46.85	35.95	43.23	42.01	252.05	358.58
2.3136	45.84	34.05	43.76	41.22	247.31	337.72
2.384	44.38	32.33	44.46	40.39	242.35	318.07
2.4565	43.12	30.90	44.66	39.56	237.36	299.57
2.5312	42.18	29.79	43.65	38.54	231.24	282.15
2.6081	40.60	28.44	43.24	37.43	224.56	265.76
2.6874	39.43	26.79	42.74	36.32	217.90	250.31
2.7692	37.76	25.08	40.25	34.36	206.17	235.74
2.8534	36.53	23.38	41.38	33.76	202.58	222.03
2.9402	35.03	21.72	40.34	32.37	194.19	209.11
3.0296	34.34	20.18	37.29	30.60	183.61	196.95
3.1217	32.28	18.56	33.90	28.25	169.49	185.50
3.2166	30.34	17.40	31.45	26.40	158.38	174.72
3.3145	28.80	16.19	28.94	24.65	147.88	164.55
3.4152	26.94	15.05	29.11	23.70	142.20	154.99
3.5191	24.96	14.30	26.30	21.85	131.11	145.97
3.6261	23.15	13.46	25.59	20.73	124.39	137.49
3.7364	21.35	12.69	25.33	19.79	118.73	129.49
3.85	21.88	11.78	23.74	19.13	114.80	121.96
3.9671	25.07	10.89	22.72	19.56	117.34	114.87
4.0877	26.13	10.02	20.50	18.88	113.30	108.19
4.2121	25.88	9.31	19.22	18.14	108.82	101.89
4.3401	25.00	8.53	17.49	17.01	102.06	95.97
4.4721	22.96	7.71	15.09	15.26	91.53	90.39
4.6081	20.56	7.13	13.70	13.80	82.78	85.13
4.7483	19.08	6.62	13.69	13.13	78.79	80.18
4.8927	17.32	6.14	14.33	12.60	75.59	75.52
5.0415	16.31	5.71	14.23	12.08	72.50	71.12

5.1948	15.33	5.30	14.13	11.59	69.53	66.99
5.3527	14.41	4.94	13.37	10.91	65.44	63.09
5.5155	13.36	4.61	12.46	10.14	60.85	59.42
5.6833	12.20	4.33	12.55	9.69	58.17	55.97
5.8561	11.26	4.08	12.27	9.20	55.21	52.71
6.0342	10.26	3.83	11.02	8.37	50.23	49.65
6.2177	9.44	3.61	9.80	7.62	45.70	46.76
6.4068	8.94	3.40	8.45	6.93	41.58	44.04
6.6016	8.65	3.20	7.65	6.50	38.99	41.48
6.8024	8.34	3.01	6.92	6.09	36.54	39.07
7.0092	8.04	2.85	6.47	5.78	34.71	36.80
7.2224	7.80	2.70	6.27	5.59	33.53	34.66
7.442	7.45	2.56	6.19	5.40	32.39	32.64
7.6683	7.00	2.43	5.96	5.13	30.78	30.74
7.9015	6.53	2.30	5.39	4.74	28.46	28.95
8.1418	6.05	2.19	4.87	4.37	26.21	27.27
8.3894	5.62	2.07	4.62	4.11	24.65	25.68
8.6445	5.27	1.97	4.68	3.97	23.85	24.19
8.9074	5.01	1.87	5.06	3.98	23.88	22.78
9.1783	4.85	1.77	5.61	4.08	24.47	21.46
9.4574	4.61	1.68	6.00	4.09	24.56	20.21
9.745	4.30	1.60	6.16	4.02	24.14	19.04
10.0414	4.04	1.53	5.86	3.81	22.86	17.93
10.3467	3.82	1.47	5.33	3.54	21.23	16.89
10.6614	3.70	1.41	4.86	3.32	19.93	15.90
10.9856	3.46	1.35	4.88	3.23	19.38	14.98
11.3197	3.15	1.30	4.78	3.08	18.45	14.11
11.6639	2.80	1.25	4.56	2.87	17.20	13.29
12.0186	2.55	1.20	4.26	2.67	16.03	12.51
12.3841	2.36	1.15	3.94	2.48	14.89	11.79
12.7607	2.18	1.11	3.67	2.32	13.92	11.10
13.1488	2.00	1.07	3.49	2.19	13.13	10.46
13.5487	1.84	1.02	3.33	2.06	12.38	9.85
13.9607	1.68	0.99	3.10	1.92	11.53	9.28
14.3852	1.56	0.95	2.92	1.81	10.86	8.74
14.8227	1.51	0.91	2.87	1.76	10.57	8.23
15.2735	1.45	0.88	2.77	1.70	10.19	7.75
15.7379	1.40	0.85	2.62	1.62	9.73	7.30
16.2165	1.34	0.82	2.49	1.55	9.30	6.87
16.7097	1.29	0.79	2.40	1.49	8.95	6.47
17.2178	1.24	0.76	2.29	1.43	8.58	6.10
17.7414	1.19	0.73	2.30	1.41	8.44	5.74
18.281	1.14	0.70	2.21	1.35	8.10	5.41

18.8369	1.09	0.68	2.17	1.32	7.89	5.09
19.4097	1.05	0.65	2.24	1.31	7.88	4.80
20	1.00	0.63	2.23	1.29	7.72	4.52