

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



EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE UNA NAVE
INDUSTRIAL DE ACERO EN EL DISTRITO DE MOCHE MEDIANTE
CURVAS DE FRAGILIDAD SÍSMICA, TRUJILLO 2022

TESIS

Presentada por:

Bach. Francesco André Robles Bejarano
ORCID: 0000-0001-7123-3790

Asesor:

Mag. Henry Antonio Aguilar Chuquimia
ORCID: 0000-0003-1373-2027

Para obtener el grado académico de:

MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN
ESTRUCTURAS

TACNA – PERU

2023

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



EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE UNA NAVE
INDUSTRIAL DE ACERO EN EL DISTRITO DE MOCHE MEDIANTE
CURVAS DE FRAGILIDAD SÍSMICA, TRUJILLO 2022

TESIS

Presentada por:

Bach. Francesco André Robles Bejarano
ORCID: 0000-0001-7123-3790

Asesor:

Mag. Henry Antonio Aguilar Chuquimia
ORCID: 0000-0003-1373-2027

Para obtener el grado académico de:

MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN
ESTRUCTURAS

TACNA – PERU

2023

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

Tesis

“EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE UNA NAVE INDUSTRIAL DE ACERO EN EL DISTRITO DE MOCHE MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD SÍSMICA, TRUJILLO 2022”

Presentada por:

Bach. Robles Bejarano Francesco André

Tesis sustentada y aprobada el 05 de Mayo de 2023; ante el siguiente jurado examinador:

PRESIDENTE: Mag. Juan Carlos ROMAINA FLORES

SECRETARIO: Mtra. Dina Marlene COTRADO FLORES

VOCAL: Mtro. Edgar Hipólito CHAPARRO QUISPE

ASESOR: Mag. Henry Antonio AGUILAR CHUQUIMIA

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Yo Robles Bejarano Francesco André, 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 75727890.

Soy autor de la tesis titulada: **EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE UNA NAVE INDUSTRIAL DE ACERO EN EL DISTRITO DE MOCHE MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD SÍSMICA, TRUJILLO 2022.**

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 de 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.

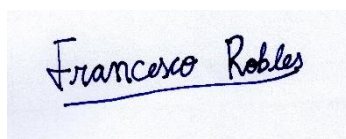
Declaro, que después de la revisión de la tesis con el software Turnitin se declara 18% de similitud, además que el archivo entregado en formato PDF corresponde exactamente al texto digital que presento junto al mismo.

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 que 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 intervención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a LA UNIVERSIDAD y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por 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 terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos 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.

Tacna, 05 de mayo del 2023

A rectangular box containing a handwritten signature in black ink that reads "Francesco Robles". The signature is written in a cursive style and is underlined.

Francesco André Robles Bejarano

DNI: 75727890

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a Dios, quien es mi guía, mi fortaleza y siempre siento su compañía en mi vida, permitiendo lograr alcanzar mis metas trazadas.

A mis padres por ser quienes, con su ejemplo, valores, dedicación y paciencia, me motivan a superarme cada día y me siento orgulloso de ser su hijo y a mis hermanas que junto a mis padres me enseñaron a valorar lo que tengo y a esforzarme y superar los obstáculos que se presentan en el camino de mi vida.

A mis docentes de la Escuela de Postgrado de la Universidad Privada de Tacna y a todos los que de alguna manera se han involucrado en mis estudios, por su apoyo incondicional para lograr alcanzar mis metas.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por guiarme por el camino correcto, Él siempre está conmigo. Al Magister Ingeniero Henry Antonio Aguilar Chuquimia, asesor de la presente tesis y mi profesor en la Maestría en Ingeniería Civil con mención en Estructuras de la Universidad Privada de Tacna, sin cuya guía, generosidad y apoyo no hubiera sido posible la realización de este trabajo de investigación.

Desarrollar esta maestría con profesionales en la Universidad Privada de Tacna fue una experiencia agradable y gratificante. Agradezco a todos los profesores que me han brindado conocimientos, directa o indirectamente, a lo largo de la maestría.

Gracias a todas las personas que han ayudado al desarrollo y conclusión de esta tesis para optar por el grado de maestro en ingeniería civil con mención en estructuras. En especial a mi familia y a todas las personas que forman parte de mi vida, por su apoyo en el desarrollo del presente trabajo de investigación y sobre todo por el apoyo moral sin el cual no hubiera podido terminar con esta tesis.

Agradeciendo a la Escuela de Postgrado, por el apoyo durante todo este procedimiento para obtener el grado de maestro bajo la modalidad de tesis.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	VII
AGRADECIMIENTOS	VIII
ÍNDICE DE CONTENIDOS	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
RESUMEN	XIV
ABSTRACT	XV
INTRODUCCIÓN	16
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA	17
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	20
1.2.1. Interrogante Principal.....	20
1.2.2. Interrogantes Secundarias	20
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	20
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	21
1.4.1. Objetivo general	21
1.4.2. Objetivos específicos	22
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	23
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	23
2.2. BASES TEÓRICAS	26
2.2.1. Tectónica de Placas	26
2.2.2. Peligro Sísmico en el Perú	27

2.2.3.	Vulnerabilidad sísmica.....	28
2.2.4.	Riesgo sísmico	30
2.2.5.	Curvas de Fragilidad	30
2.2.6.	Métodos para el desarrollo de Curvas de Fragilidad.....	31
2.2.7.	Metodología Hazus	34
2.3.	DEFINICIÓN DE CONCEPTOS	42
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO		44
3.1.	HIPÓTESIS	44
3.1.1.	Hipótesis general.....	44
3.1.2.	Hipótesis específicas	44
3.2.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	44
3.2.1.	Identificación de la variable independiente.....	44
3.2.2.	Identificación de la variable dependiente.....	45
3.2.3.	Variable Interviniente.....	45
3.3.	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	45
3.4.	NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	46
3.5.	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	46
3.6.	ÁMBITO Y TIEMPO SOCIAL DE LA INVESTIGACIÓN	46
3.6.1.	Ámbito social	46
3.6.2.	Tiempo social	46
3.7.	POBLACIÓN Y MUESTRA	46
3.7.1.	Unidad de estudio.....	46
3.7.2.	Población.....	46
3.7.3.	Muestra.....	46
3.8.	PROCEDIMIENTO, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	47

3.8.1. Procedimiento	47
3.8.2. Técnicas.....	47
3.8.3. Instrumentos.....	47
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	48
4.1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO	48
4.2. DISEÑO DE LA PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	51
4.3. RESULTADOS	59
4.3.1. Análisis del modelamiento estructural.....	59
4.3.2. Registros sísmicos.....	61
4.3.3. Curvas de fragilidad	62
4.3.4. Vulnerabilidad sísmica de una nave industrial.....	65
4.4. COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS	67
4.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	68
CONCLUSIONES.....	71
RECOMENDACIONES.....	73
REFERENCIAS	74
ANEXO 1: Matriz de consistencia del informe final de tesis.....	78
ANEXO 2: Parámetros de la curva de fragilidad estructural: nivel de diseño sísmico alto.....	81
ANEXO 3: Tabla de función de distribución normal.....	82
ANEXO 4: Análisis documental – artículos científicos	84
ANEXO 5: Instrumento – Ficha de registro de datos.....	85
ANEXO 6: Instrumento – Cuadro de registros sísmicos.....	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de Variables	45
Tabla 2. Registros sísmicos.....	53
Tabla 3. Zona sísmica y fecha de construcción	54
Tabla 4. Resultados de masa participativa y periodos de la nave industrial.	59
Tabla 5. Verificación de control de derivas en la dirección X	60
Tabla 6. Verificación de control de derivas en la dirección Y	60
Tabla 7. Escalamiento de registros sísmicos	61
Tabla 8. Probabilidad de excedencia para cada estado de daño de los registros sísmicos.....	65
Tabla 9. Probabilidad de excedencia para los registros sísmicos escalados $S_a=$ $2g$.....	66
Tabla 10. Probabilidad de excedencia para los registros sísmicos escalados $S_a= 3g$	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Pórtico de Momento de Acero	35
Figura 2. Pórtico Reforzado de Acero.....	35
Figura 3. Pórtico Ligerero de Acero	36
Figura 4. Estructura de acero con muros de corte de concreto vaciado in situ	37
Figura 5. Estructura de acero con paredes de relleno de albañilería no reforzada	38
Figura 6. Nave industrial.....	49
Figura 7. Ubicación de la nave industrial	49
Figura 8. Área de la nave industrial	50
Figura 9. Espectro inelástico de pseudo - aceleraciones X-X.....	52
Figura 10. Espectro inelástico de pseudo - aceleraciones Y-Y	52
Figura 11. Registro sísmico Whittier Narrows-01 con sus dos componentes horizontales.....	54
Figura 12. Registro sísmico Niigata, Japan corregido por línea base y filtrado de ruido	57
Figura 13. Escalamiento de los registros sísmicos E.030.	58
Figura 14. Escalamiento de los registros sísmicos para Sa= 2g	58
Figura 15. Escalamiento de los registros sísmicos para Sa= 3g	59
Figura 16. Diseño de acuerdo al código AISC 360-10.....	61
Figura 17. Curva de fragilidad para daño Leve.....	62
Figura 18. Curva de fragilidad para daño Moderado	63
Figura 19. Curva de fragilidad para daño Extenso	63
Figura 20. Curva de fragilidad para daño Completo	64
Figura 21. Curvas de fragilidad juntas	64
Figura 22. Cálculo de probabilidad de excedencia para cada estado de daño	66

RESUMEN

El presente estudio de investigación, tuvo como objetivo general evaluación de la vulnerabilidad sísmica de una nave industrial de acero en el distrito de Moche mediante curvas de fragilidad sísmica, Trujillo 2022. El tipo de investigación fue aplicada, el nivel de investigación fue explicativo y el diseño de la investigación fue no experimental. La investigación se llevó a cabo realizando el modelamiento estructural de la nave industrial, luego se recopiló registros de acelerogramas reales y posteriormente se obtuvieron las curvas de fragilidad, utilizando el manual técnico HAZUS, para diversos estados de daño. Se obtuvieron como resultados, que la nave industrial es vulnerable después de un evento sísmico de gran magnitud, siendo los registros sísmicos con una intensidad mayor a 6.00 Mw (magnitud de momento) los más perjudiciales, debido a que presentaron una probabilidad mayor al 33% de alcanzar el estado de daño extenso. Con los resultados obtenidos, se propone verificar los componentes estructurales, una vez ocurrido un sismo de gran magnitud, debido que el registro sísmico más perjudicial, produce un desplazamiento espectral de $S_d = 7.301$ centímetros, que corresponde al sismo de Morgan Hill del año 1984, de magnitud 6.19 Mw en la escala de magnitud de momento.

Palabras Claves: curvas de fragilidad, vulnerabilidad sísmica, riesgo sísmico.

ABSTRACT

The present research study had as its general objective the evaluation of the seismic vulnerability of a steel industrial warehouse in the Moche district through seismic fragility curves, Trujillo 2022. The type of research was applied, the level of research was explanatory and the research design was non-experimental. The investigation was carried out by performing the structural modeling of the industrial building, then real accelerogram records were collected and later the fragility curves were obtained, using the HAZUS technical manual, for various states of damage. The results obtained were that the industrial building is vulnerable after a large-magnitude seismic event, with seismic records with an intensity greater than 6.00 Mw (moment magnitude) being the most harmful, because they presented a probability greater than 33%. to reach the state of extensive damage. With the results obtained, it is proposed to verify the structural components, once a large-magnitude earthquake has occurred, since the most damaging seismic record produces a spectral displacement of $S_d = 7.301$ centimeters, which corresponds to the Morgan Hill earthquake of 1984, of magnitude 6.19 Mw on the moment magnitude scale.

Keywords: fragility curves, seismic vulnerability, seismic risk.

INTRODUCCIÓN

La zona de estudio, por encontrarse ubicada en la costa norte del Perú, y en la zona 4 del mapa de zonificación sísmica, donde es posible la ocurrencia de sismos de gran intensidad, ocasionado por la subducción de la placa oceánica, bajo la placa continental sudamericana, ocasionando un desplazamiento del orden de diez centímetros por año, ocasionando fricciones de la corteza, con la consiguiente liberación de energía mediante sismos, los cuales, son en general, más violentos cuando menos profundos son en su origen.

Las naves industriales tienen un gran impacto en la prosperidad financiera de una región, las mismas que están clasificadas como estructuras importantes y pueden servir como refugio para personas durante y después de eventos sísmicos; por lo tanto, amerita realizar la estimación de riesgo sísmico.

El presente estudio de investigación realiza el proceso de evaluación del riesgo sísmico, de una nave industrial, utilizando curvas de fragilidad, que brinda probabilidades de fallas múltiples basadas en el movimiento del suelo; teniendo en cuenta el diseño actual, para adoptar medidas de mitigación necesarias para el refuerzo estructural y evitar el colapso por efectos sísmicos.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la historia de Perú, los conquistadores españoles, han dejado información desde el siglo XVI, referente a la ocurrencia de varios sismos importantes. El 9 de julio de 1586, un gran sismo asoló la ciudad de Lima, desplomándose importantes edificios. La destrucción se extendió desde Lima hasta cerca de Ica, las ondas sísmicas se sintieron por el norte hasta la ciudad de Trujillo y por el sur hasta la ciudad de Caravelí en el departamento de Arequipa.

El 20 de octubre de 1687 dos sismos sacudieron Lima, el primero a las 4:15 pm y el segundo aproximadamente a las 5:30 pm., el último evento fue el más intenso y de mayor duración. El 28 de octubre de 1746, a las 22:30 horas, un gran terremoto asoló las ciudades de Lima y Callao. En Lima, unas 3.000 viviendas y edificios fueron destruidos, quedando solo 25 intactos. Los temblores se sintieron por el norte desde Guayaquil-Ecuador hasta Tacna-Perú por el sur. La magnitud de este mega sismo de empuje se estima en Mw 9,0.

Luego del sismo de Mw 9.0 que destruyó la ciudad de Lima e inundó el puerto del Callao, hubo un período de silencio sísmico de unos 200 años hasta el evento sísmico de Lima de 1940 (Mw 8.0) que inició la secuencia sísmica en el centro del Perú, seguido por el de 1966; el terremoto de Huacho en 1974 (Mw 8,1); Lima en 1974 (Mw 8,1) y Pisco en 2007 (Mw 8,1).

El 24 de mayo de 1940 a las 11:35 se produce un sismo en Lima y pueblos aledaños, de VIII MM (escala de intensidad de Mercalli), sintiéndose con mayor fuerza en Huacho Los movimientos sísmicos se sintieron desde Guayaquil-Ecuador por el norte hasta Arica-Chile por el sur; ocasionando daños a numerosas instalaciones en Lima, Callao, Chorrillos, Barranco, Chancay y Lurín. Fallecieron 179 personas y quedaron 3.500 personas heridas (C. Jiménez & Moggiano, 2020).

Las relaciones empíricas para las estimaciones de fatalidades en Perú, indican que por cada 245 personas afectadas por un sismo de magnitud IX, hay una fatalidad, y por cada 7604 personas afectadas por un terremoto de magnitud VII, hay una fatalidad. Dado el riesgo sísmico muy alto y la alta vulnerabilidad de la infraestructura construida. Esto convierte a Perú en el país con el mayor promedio anual de muertes esperadas por terremotos en América del Sur (Petersen et al., 2018).

Los terremotos son uno de los desastres naturales más devastadores. El 17 de agosto de 1999, a las 03:02 de la mañana, un terremoto de 7,4 en la escala de Richter sacudió el noroeste de Turquía. Después del terremoto de Marmara, el sistema eléctrico turco colapsó. Fue el apagón más grande en Turquía en las últimas dos décadas, y el impacto del terremoto fue la causa del apagón. El impacto de los terremotos debe ser considerado en los diseños de las estructuras industriales, según su ubicación, por dos razones principales:

- 1) Daño potencial durante terremotos y pérdida de capital subsiguiente, daño ambiental y riesgos para la salud pública.
- 2) Confiabilidad en la generación de energía; la energía confiable es crítica en caso de un desastre. Además, los edificios industriales de acero exhiben un alto nivel de confiabilidad en caso de un terremoto; aunque no están diseñados para resistir terremotos, quedan ilesos o solo levemente dañados (Arjuna et al., 2020).

En las últimas dos décadas, las víctimas y las pérdidas económicas causadas por los desastres naturales se han incrementado dramáticamente. Entre estos desastres naturales, los terremotos son el fenómeno más catastrófico. El número estimado de muertos por el terremoto de Haití de 2010 fue entre 46.000 y 316.000, según la base de datos de terremotos destructivos de CATDAT. En Japón 12 meses después se originó el terremoto de Tohoku de 2011 donde fallecieron 20.475 personas y dejó a 1.108 millones sin hogar. Asimismo, la pérdida de bienes de la población de Tohoku de 2011 y la pérdida económica estatal asciende a \$ 140 mil

millones. Además, en el frente económico, el daño económico a Turquía después del terremoto de Van de 2011 fue de \$ 2,2 mil millones, en comparación con un estimado de \$ 1,7 mil millones del terremoto de Sikkim de 2011 que azotó el país de la India (Kassem et al., 2020).

Los terremotos son una gran preocupación en las zonas urbanas, debido a sus consecuencias potencialmente devastadoras que conducen al colapso parcial o total de estructuras, causando víctimas y pérdidas económicas, como en Zagreb y Petrinja (Croacia) en 2020, Mamurras (Albania) en 2019, Manabí (Ecuador) en 2016, Biobío (Chile) en 2010, Italia central en 2016, el norte de Italia en 2012 y L'Aquila en 2009. Después de años de estos eventos sísmicos, estos centros urbanos no han recuperado sus funciones originales debido a su baja resiliencia sísmica (B. Jiménez et al., 2021).

En el último terremoto de Italia, en Abruzzo y Emilia-Romagna (2012), la mayoría de los edificios industriales sufrieron colapso y daños severos, en el peor de los casos se destruyó toda la estructura, además de la pérdida de muchos productos como alimentos, que se encontraban allí almacenados. Por lo tanto, el tema de naves industriales es muy importante en términos de seguridad social y económica. De hecho, en el caso de las naves industriales, las preocupaciones de seguridad de vida están relacionadas con el mantenimiento del valor expuesto al riesgo (alimentos), especialmente con la continuidad de las actividades comerciales después de un terremoto (Formisano et al., 2018)

Las estructuras de gran luz, son comunes en los edificios industriales, porque requieren grandes aberturas, que no pueden proporcionarse con marcos de soporte de acero. Los pórticos resistentes a momento de acero, si bien brindan espacio abierto, se vuelven muy flexibles cuando se usan luces grandes y requieren secciones grandes para controlar su deflexión (Jiansinlapadamrong et al., 2019).

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Interrogante Principal

¿Cuál es la vulnerabilidad sísmica de una nave industrial de acero, en el distrito de Moche, utilizando curvas de fragilidad sísmica?

1.2.2. Interrogantes Secundarias

- ¿Cómo obtener las curvas de fragilidad, para diversos estados de daño, usando los datos de acelerogramas, tomados de sismos reales?
- ¿La nave industrial cumple con las disposiciones, establecidas en la norma técnica E.030 y la AISC?
- ¿Cuál es el beneficio que se obtendrá al graficar, las curvas de fragilidad sísmica, en la determinación de la vulnerabilidad de una nave industrial de acero ubicada en el distrito de Moche?

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La evaluación de daños a la estructura de una edificación, después de un sismo, es fundamental para diseñar la respuesta de emergencia, determinar los daños estructurales y estimar las pérdidas económicas. Las curvas de fragilidad, se utilizan para el proceso de estimación de riesgos sísmicos. Brindan probabilidades sobre múltiples estados de daño en función de las mediciones de intensidad, así como del movimiento del suelo. Las naves industriales tienen un gran impacto en la prosperidad financiera de una región. Las curvas de fragilidad de estas estructuras de acero no son comunes en la literatura de ingeniería civil (Ntaliakouras & Pnevmatikos, 2017).

En la economía actual, las estimaciones de daños ocasionados por terremotos, son muy importantes para planificar estrategias de defensa civil y para predecir el costo de restauración o renovación, de edificios industriales que han sufrido daños después de un terremoto. Las curvas de fragilidad, son herramientas fundamentales para evaluar el riesgo sísmico;

estas curvas relacionan la probabilidad de superar un cierto nivel de daño con la intensidad del movimiento del suelo (Buratti et al., 2017).

El estudio de curvas de fragilidad sísmica en edificaciones importantes, de gran periodo de servicio, como una nave industrial, es de trascendental importancia, ya que dichas construcciones al estar clasificadas como estructuras importantes, tienen un gran impacto en la prosperidad financiera de una región. Estas edificaciones sirven como refugio para personas durante y después de los eventos sísmicos, por lo que es necesario entender la situación actual de su diseño para que se puedan tomar las precauciones necesarias para brindar soluciones como el refuerzo estructural, para el espectro de diseño que ya utiliza la norma E 0.30 estándar. La norma que se utiliza para el diseño de estructuras.

Asimismo, es importante señalar que, en el distrito de Moche, no se han realizado investigaciones a naves industriales respecto a la vulnerabilidad sísmica, a pesar que el área de estudio se encuentra ubicada en la zona 4 del mapa sísmico de la norma peruana E.030, que considera una zona de alta actividad sísmica, motivo por el cual se realiza esta investigación como un aporte que sirva para la prevención y mitigación de daños sísmicos a las edificaciones con estructuras metálicas.

Finalmente, este proyecto de investigación, es muy importante porque con la utilización de una curva de fragilidad sísmica, se determina la vulnerabilidad sísmica de las naves industriales existentes; y, también se puede utilizar para la etapa del diseño de éstas.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo general

Determinar la vulnerabilidad sísmica de una nave industrial de acero en el distrito de Moche mediante el uso de curvas de fragilidad sísmica.

1.4.2. Objetivos específicos

Obtener las curvas de fragilidad, para diversos estados de daño, con la ayuda de los acelerogramas, tomados de sismos reales.

Realizar el modelamiento estructural de una nave industrial de acero, cumpliendo las disposiciones indicadas en la norma técnica E.030 y la AISC.

Analizar el beneficio de las curvas de fragilidad, en la determinación de la vulnerabilidad sísmica, de una nave industrial de acero ubicada en el distrito de Moche.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Algunas de las investigaciones encontradas relacionadas con las curvas de fragilidad:

Suzuki & Iervolino (2021) en el artículo titulado “Seismic Fragility of Code-conforming Italian Buildings Based on SDoF Approximation” realizado en Italia, tuvo como objetivo evaluar la confiabilidad sísmica de edificios, de nuevo diseño, que cumplen con el código de construcción italiano. El diseño se refiere a una variedad de tipologías estructurales (mampostería no reforzada, concreto armado, acero y concreto prefabricado) y configuraciones (número de pisos, planta y presencia de rellenos), así como a sitios con diferentes niveles de peligro y las condiciones locales del sitio. Además de proporcionar curvas de fragilidad para los edificios ubicados en sitios de bajo, medio y alto riesgo. Dentro de los resultados obtenidos, encontró que, la relación de la aceleración espectral media que causa la falla estructural, la aceleración espectral elástica horizontal con el período de retorno utilizado para el diseño, tiende a disminuir con el aumento del riesgo de diseño (lugar donde la estructura está ubicada).

Formisano et al. (2018), en el artículo titulado “Seismic Vulnerability and Fragility of Existing Italian Industrial Steel Buildings”, realizado en Italia, tuvo como objetivo realizar un estudio paramétrico de varios edificios industriales de acero con diferentes tipología, dimensiones geométricas y zonas sísmicas; mediante curvas de fragilidad sísmica y curvas de vulnerabilidad discretizadas. Dentro de los resultados obtenidos encontraron que las estructuras alcanzan el colapso para un valor de aceleración superior a 0,35g.

Mansouri et al. (2017), en el artículo titulado “Assessment of Seismic Vulnerability of Steel and RC Moment Buildings Using HAZUS and Statistical Methodologies”, realizado en Estados Unidos, el objetivo fue

presentar la fragilidad sísmica de pórticos a flexión de acero y concreto armado (RC) utilizando curvas de fragilidad obtenidas por HAZUS, un método estadístico de estimación de pérdidas definido en 5 estados de daño. Los edificios de acero y concreto de 5, 8 y 12 pisos tienen la misma vista en planta. Siendo diseñados en base a los códigos AISC 360-10, ACI 318 y ASCE 7-10. Dentro de los resultados obtenidos encontró que, un aumento del PGA (aceleración máxima del suelo), conduce a un aumento de fragilidad, tanto para pórticos de acero como de RC, el aumento en el número de pisos conduce a una mayor fragilidad (especialmente en pórticos de RC). La fragilidad de los pórticos de RC, es mayor en comparación con los pórticos de acero.

Algunas de las investigaciones encontradas relacionadas con registros de aceleraciones de suelos sintéticos o artificiales:

Mai et al. (2017), en el artículo titulado “Seismic fragility curves for structures using non-parametric representations”, realizado en Estados Unidos, tuvo como objetivo, presentar dos enfoques no paramétricos, la simulación de Monte Carlo binned y la estimación de la densidad del kernel, para establecer las curvas de fragilidad, sin emplear la suposición clásica que se basa en asumir una forma lognormal. Dentro de los resultados obtenidos, encontró que las curvas logarítmicas normales, tienden a desviarse más de las no paramétricas para límites de deriva mayores.

Van Thuat et al. (2020), en el artículo titulado “Relationship of strength reduction factor and maximum ductility factor for seismic design of one-storey industrial steel frames”, realizado en Vietnam, tuvo como objetivo, la evaluación de una relación del factor de resistencia, R , y el factor de ductilidad máxima, D , para estructuras de acero irregulares. Dentro de los resultados obtenidos, encontraron que, se puede predecir el nivel de demanda de deformación inelástica de una estructura de diseño, bajo fuertes sismos, expresándolo en términos del factor de ductilidad, correspondiente al factor de resistencia, inicialmente asignado en el diseño preliminar de la

estructura. Observando que, esta relación puede ser conveniente, para el diseño sísmico de estructuras, en numerosas regiones sin registros sísmicos.

Tajammolian et al. (2018), en el artículo titulado “Seismic Fragility Assessment of Asymmetric Structures Supported on TCFP Bearings Subjected to Near-field Earthquakes”, realizado en Irán, tuvo como objetivo, estudiar las curvas de fragilidad sísmicas, de estructuras de acero asimétricas aisladas, con apoyos de péndulo de fricción cóncavo triple. Dentro de los resultados obtenidos, encontraron que, en las estructuras simétricas, al aumentar el periodo de aislamiento, la aceleración del suelo disminuye en todos los estados de daño.

Algunas de las investigaciones encontradas relacionadas con el escalamiento de registros de aceleraciones de suelos:

Nazri et al. (2017), en el artículo titulado “Seismic Fragility Curves of Industrial Buildings by Using Nonlinear Analysis”, realizado en Malasia, tuvo como objetivo presentar las curvas de fragilidad y las curvas de rendimiento de naves industriales. Las curvas de fragilidad, se obtuvieron para naves industriales de diferentes geometrías y las curvas de rendimiento se desarrollaron en función de la carga lateral, que se ve afectada por la geometría de cada nave industrial. Dentro de los resultados obtenidos encontró que, la estructura con una masa mayor puede resistir fuerzas de base más altas. Sin embargo, la deriva de la estructura también depende del diseño de la nave industrial, aunque el Modelo 3, tiene un área de superficie mayor que el Modelo 2, el Modelo 3 colapsa un 21 % más rápido que el Modelo 2. Aunque el Modelo 3 es más grande. Siendo el modelo 1 el de menor rendimiento.

Saadi et al. (2021), en el artículo titulado “Seismic Fragility Curves for Performance of Semi-rigid Connections of Steel Frames”, realizado en Argelia, tuvo como objetivo evaluar el comportamiento sísmico de pórticos de acero con juntas semirrígidas con capacidades de 50, 70 y 100% de momento plástico de la viga. El comportamiento sísmico de estos pórticos se determina mediante un análisis pushover estático no lineal y el método

IDA (análisis dinámico incremental), para luego crear las curvas de fragilidad. Dentro de los resultados obtenidos encontró que una disminución en la capacidad de conexión aumenta la probabilidad de superar un determinado estado límite de daño.

Nazri & Saruddin (2015), en el artículo titulado “Seismic Fragility Curves for Steel and Reinforced Concrete Frames Based on Near-Field and Far-Field Ground Motion Records”, realizado en Malasia, tuvo como objetivo encontrar las curvas de fragilidad para pórticos de acero y concreto, con base en registros de movimiento del suelo de campo cercano (NF) y campo lejano (FF). La curva de fragilidad, se calculó con el análisis dinámico incremental. Dentro de los resultados obtenidos encontró que bajo los registros de NF y FF un marco de acero de tres pisos, es más rígido que un marco de concreto.

Investigación relacionada con el desempeño sísmico:

Palanci et al. (2017), en el artículo titulado “Assessment of one story existing precast industrial buildings in Turkey based on fragility curves” realizado en Turquía, tuvo como objetivo la evaluación sísmica de 98 edificios industriales prefabricados de un piso. Dentro de la investigación realizaron una evaluación del desempeño sísmico mediante el método momento curvatura, también encontraron las curvas de fragilidad (seleccionando la velocidad máxima del suelo como parámetro de intensidad sísmica). Dentro de los resultados obtenidos, encontraron que los edificios industriales diseñados con los códigos más actuales, tienen mejores capacidades de rigidez, resistencia y ductilidad en comparación a los edificios diseñados con los códigos más antiguos.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Tectónica de Placas

Según la teoría de tectónica de placas, la Tierra está formada por una capa sólida exterior, denominada litosfera, de unos 100

kilómetros de espesor, cuya superficie exterior corresponde al lecho marino y la superficie de los continentes. La litosfera se encuentra sobre la capa de astenosfera, que se encuentra en estado de semifusión por las altas temperaturas en el interior de la tierra.

Debido a los gradientes de temperatura en el interior de la Tierra, partes del material en la astenosfera se expanden y ascienden hasta llegar a la litosfera, donde luego se dispersan horizontalmente, creando la llamada convección en la astenosfera. Estas corrientes oceánicas arrastran la mayor parte de la litosfera, llamadas placas tectónicas, a un ritmo de 1 a 6 centímetros por año. Como resultado de este movimiento, las placas interactúan permanentemente en sus bordes, que son responsables de casi todos los terremotos del mundo (Muñoz Peláez, 2002).

2.2.2. Peligro Sísmico en el Perú

La relación empírica para la estimación de fatalidad para Perú, indica una tasa de 1 muerte por cada 245 personas expuestas, al sismo de intensidad IX y 1 muerte por cada 7604 personas expuestas a la intensidad VII. Dado el riesgo sísmico, por un sismo muy alto y la alta vulnerabilidad de su infraestructura construida. Perú tiene el mayor riesgo sísmico en términos de mortalidad; con el riesgo de mortalidad estimado promedio anual, más alto por millón de personas expuestas a terremotos en toda Sudamérica.

Tomando en cuenta que el terremoto de magnitud 8.8 en Chile, ocurrido en febrero del 2010, causó un impacto económico de aproximadamente 30 mil millones de dólares de pérdidas, con la mayor parte (alrededor de 21 mil millones) en destrucción de las infraestructuras. Perú experimenta altas pérdidas anuales, relacionadas con terremotos siendo un aproximado de una pérdida anual de mil millones de dólares (Petersen et al., 2018).

2.2.3. Vulnerabilidad sísmica

Se define como un proceso o metodología, aprobados para evaluar las deficiencias en un edificio, que impide que el edificio logre un objetivo de desempeño seleccionado, también se puede describir como la susceptibilidad al daño, por sacudidas del suelo, y esto incluye cimientos, columnas, vigas y losas de cimentación.

La vulnerabilidad de una edificación, cuando es sometida a un sismo, depende de la deficiencia sísmica de esa edificación. La deficiencia sísmica, se define como una condición que impedirá, que una edificación cumpla con el objetivo de desempeño requerido. Por lo tanto, una edificación evaluada, para proporcionar una ocupación completa, inmediatamente después de un evento, puede tener significativamente, más deficiencias que la misma edificación evaluada para la seguridad de la vida.

Algunas de las categorías de deficiencias sísmicas más comunes son:

- Discontinuidad en la trayectoria de carga, que transfirió las fuerzas de inercia de la masa a la cimentación.
- Baja resistencia para los elementos del sistema de carga lateral, como pisos débiles.
- Baja rigidez de los elementos del sistema de cargas laterales, como la condición de piso blando.
- Baja ductilidad de los elementos del sistema de carga lateral.
- Falta de Redundancia. Redundancia significa proporcionar múltiples rutas de carga continuas en el sistema estructural.
- Irregularidades de Configuración: Las irregularidades verticales que pueden afectar el desempeño sísmico, son la irregularidad de la rigidez, la irregularidad del peso (masa), la irregularidad geométrica vertical, como los

contratiempos y la discontinuidad vertical en la trayectoria de la carga o los elementos resistentes a la fuerza lateral. Las irregularidades horizontales que pueden afectar el desempeño sísmico son Irregularidad torsional, Irregularidad de esquina reentrante e Irregularidad de discontinuidad de diafragma.

- Deterioro de los materiales estructurales.
- La acción de golpeo que se produce cuando el espacio entre edificios es insuficiente.
- Deficiencias de cimentación.

Algunos métodos para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica:

- Fema 154: Se realiza mediante una encuesta en la que se clasifica la estructura como: edificios aceptables como riesgo para la seguridad de la vida o edificios que pueden ser sísmicamente peligrosos, donde se requiere una evaluación detallada
- Fema 310: Es un procedimiento de tres niveles de detalle creciente y reducción de margen de seguridad para la evaluación sísmica de edificios existentes.
- Euro código 8: Es un proceso de evaluación que tiene en cuenta las acciones sísmicas y no sísmicas de un edificio existente, durante el período de su vida útil prevista
- Directrices de Nueva Zelanda: Comienza con un procedimiento de evaluación rápida basado en un procedimiento de selección visual. El puntaje estructural de esta evaluación se basa en aproximadamente catorce criterios estructurales que son indicadores de posibles daños a la construcción.

- Método turco modificado: Clasifica la vulnerabilidad en tres niveles. El primer nivel no requiere ningún análisis y determina los edificios que necesitan una intervención inmediata. El segundo nivel requiere datos sobre las dimensiones de elementos estructurales y no estructurales. El tercer nivel aplica análisis lineales o no lineales (El-Betar, 2018).

2.2.4. Riesgo sísmico

El riesgo sísmico, en cualquier lugar, depende de la amenaza sísmica, así como de la vulnerabilidad de sus estructuras. La evaluación del peligro sísmico considera la probabilidad de que un terremoto de una magnitud o intensidad particular afecte un sitio. El “riesgo” significa pérdida esperada (como vidas, lesiones, daños a la propiedad) debido a un peligro particular para un área y un período de referencia determinados. Basado en cálculos matemáticos, el riesgo es el producto de la amenaza y la vulnerabilidad (El-Betar, 2018).

2.2.5. Curvas de Fragilidad

Las curvas de fragilidad, se utilizan analíticamente, para evaluar el riesgo del efecto del terremoto, en las estructuras de los edificios. Se considera, como una herramienta valiosa, para predecir las posibilidades de daño que pueden influir en las estructuras. Además, se puede utilizar como un indicador en la planificación de rehabilitación y modernización. El sismo y su movimiento del suelo tienen un gran efecto catastrófico, en el comportamiento estructural, por lo que, implementar el análisis de fragilidad además del análisis no lineal, es la herramienta más beneficiosa, para estimar las respuestas estructurales y las pérdidas financieras.

Las curvas de fragilidad, se desarrollan con la ayuda de análisis no lineales como IDA y POA. Con base en investigaciones anteriores, la mayoría de los estudios utilizaron el análisis dinámico incremental (IDA), como primera etapa en el desarrollo de las curvas de fragilidad más que el análisis pushover (POA) (Kassem et al., 2020).

2.2.6. Métodos para el desarrollo de Curvas de Fragilidad

2.2.6.1. Método Empírico

Está basado en la información y datos de daños sísmicos, observados en campo, luego de un terremoto.

Procedimiento:

- Seleccionar la estructura.
- Obtener datos de daños reales de la estructura.
- Clasificar según el daño que se observa.
- Crear la matriz de daño.
- Seleccionar la función de distribución de daños.
- Desarrollo de la curva de fragilidad del sistema (Kassem et al., 2020; Muntasir Billah & Shahria Alam, 2015).

2.2.6.2. Método basado en Expertos

Se pregunta a un panel de expertos, con experiencia en la especialidad.

Procedimiento:

- Selección de panel de expertos.
- Creación de un cuestionario.
- Realizar las encuestas y compilar los resultados.
- Crear la matriz de probabilidad de daño.
- Seleccionar la función de distribución de daños.

- Desarrollo de la curva de fragilidad del sistema (Kassem et al., 2020; Muntasir Billah & Shahria Alam, 2015).

2.2.6.3. Método Analítico

Las funciones de fragilidad, se pueden desarrollar utilizando una variedad de métodos analíticos, como análisis espectral elástico, modelo de demanda sísmica probabilística (PSDM) utilizando un enfoque bayesiano, utilizando un análisis estático no lineal (push over) o análisis de tiempo - historia lineal/no lineal (NLTHA) y análisis dinámico incremental (IDA).

Procedimiento:

- Generar modelo estructural.
- Determinar el peligro sísmico.
- Se puede realizar de dos maneras por medio del movimiento del suelo o la respuesta espectral.
- Realizar análisis no lineales.
- Se puede realizar de dos maneras por análisis estático no lineal (push over) o análisis dinámico no lineal (tiempo-historia).
- Respuesta del componente elegido (push over o tiempo-historia).
- Establecer modelo probabilístico de demanda sísmica se puede realizar mediante un análisis de regresión lineal o el método de máxima verosimilitud.
- Desarrollo de la curva de fragilidad del sistema (Kassem et al., 2020; Muntasir Billah & Shahria Alam, 2015).

2.2.6.4. Método Híbrido

Basado en una agrupación de los métodos anteriores. Intenta reducir el esfuerzo computacional del modelado analítico y compensa el sesgo subjetivo del método de juicio de expertos. Algunas maneras son:

- Se realiza juntando los datos obtenidos por la matriz de probabilidad daño del método empírico y la matriz de probabilidad de daño del método basado en expertos.
- Incorporar datos de daños disponibles que se asemejan al área de estudio y la tipología estructural y luego se combinan con estadísticas analíticas de daños obtenidas mediante análisis no lineal de estructuras típicas (Kassem et al., 2020; Muntasir Billah & Shahria Alam, 2015).

2.2.6.5. Método Experimental

Es un método donde se necesita un modelo a escala, para observar el comportamiento de la estructura.

Procedimiento:

- Selección de movimientos del suelo.
- Se puede realizar de dos maneras.
- La primera manera es una recopilación de movimiento de suelo reales.
- La segunda manera es una recopilación de movimiento de suelo sintéticos o también llamados artificiales.
- Escalamiento del movimiento de suelo elegido (real o sintético).
- Selección del IM (medida de la intensidad del movimiento de suelo).
- Experimento de mesa vibratoria.

- Relación entre el daño observado y la IM.
- Desarrollo de la curva de fragilidad del sistema (Kassem et al., 2020; Muntasir Billah & Shahria Alam, 2015).

2.2.7. Metodología Hazus

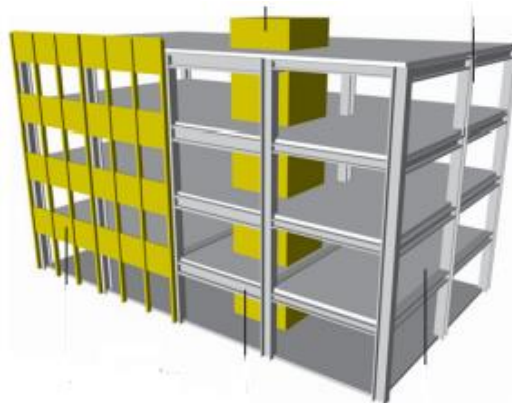
Esta metodología ha sido desarrollada, mejorada y mantenida por la Agencia Federal, para el Manejo de Emergencias (FEMA), para proporcionar herramientas, que permiten desarrollar estimaciones de pérdidas por sismos que involucra:

- Predecir la probable naturaleza y el alcance de las respuestas de emergencia requeridas para responder a los diferentes peligros relacionados con sismos.
- Desarrollar planes de reconstrucción y recuperación ante desastres.
- Mitigar las posibles consecuencias de los sismos (FEMA, 2020).

2.2.7.1. Sistemas Estructurales de Acero

- Pórticos de Momento de Acero (S1): Estas estructuras tienen un pórtico de columnas y vigas de acero. En algunos casos, las conexiones viga-columna, tienen una capacidad de resistencia a momento muy pequeña, pero, en otros casos, están desarrolladas como pórticos resistentes a momento, para resistir fuerzas laterales. Por lo general, la estructura está oculta en el exterior por paredes exteriores no estructurales, que pueden ser de casi cualquier material. Los diafragmas transfieren cargas laterales a pórticos resistentes a momentos. Los pórticos desarrollan su rigidez por conexiones de momento total o parcial.

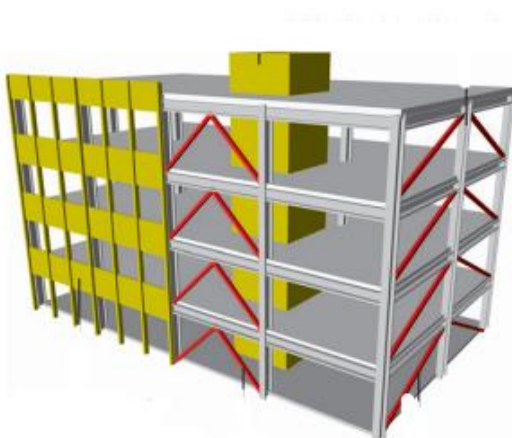
Figura 1.
Pórtico de Momento de Acero



Nota. Adaptado de *Sistemas estructurales*, por FEMA, 2006, National Institute of Building for the Federal Emergency Management Agency.

- Pórticos Reforzado de Acero (S2): Estas estructuras son similares a los pórticos resistentes a momento de acero, con la diferencia que los componentes verticales del sistema resistente a fuerzas laterales son pórticos arriostrados en lugar de pórticos resistentes a momento.

Figura 2.
Pórtico Reforzado de Acero

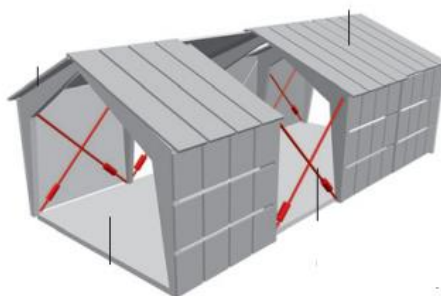


Nota. Adaptado de *Sistemas estructurales*, por FEMA, 2006, National Institute of Building for the Federal Emergency Management Agency.

- Pórticos Ligero de Acero (S3): Estas estructuras, están prediseñadas y prefabricadas, con pórticos rígidos transversales. El techo y las paredes, consisten en paneles livianos. Son en su mayoría estructuras de un solo piso, que combinan pórticos arriostrados en una dirección y pórticos de momento en la otra. Los pórticos se construyen en segmentos y se ensamblan en el campo con uniones atornillada.

Figura 3.

Pórtico Ligero de Acero

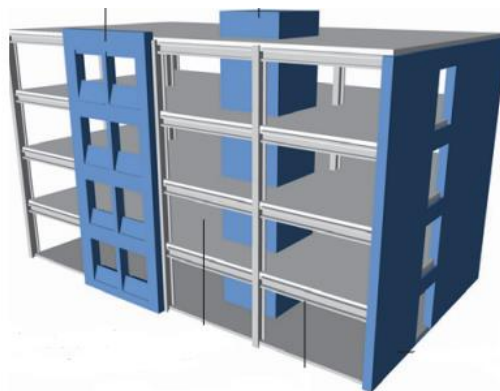


Nota. Adaptado de *Sistemas estructurales*, por FEMA, 2006, National Institute of Building for the Federal Emergency Management Agency.

- Estructura de acero con muros de corte de concreto vaciado in situ (S4): Los muros de corte en estos edificios son de concreto vaciados in situ y pueden ser muros de carga. El pórtico de acero está diseñado solo para cargas verticales. Este es un sistema estructural dual en el que los muros de corte de concreto son el principal sistema resistente a las fuerzas laterales.

Figura 4.

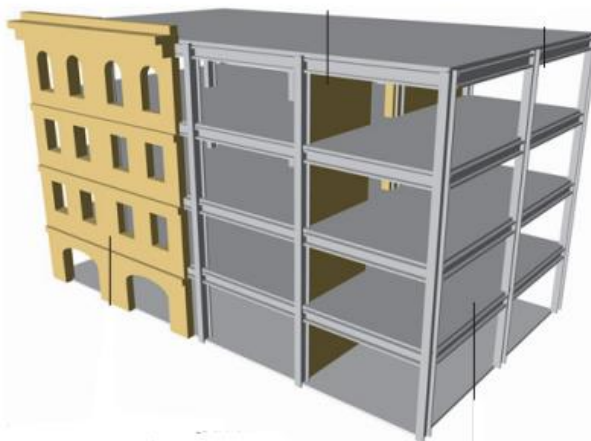
Estructura de acero con muros de corte de concreto vaciado in situ



Nota. Adaptado de *Sistemas estructurales*, por FEMA, 2006, National Institute of Building for the Federal Emergency Management Agency.

- Estructura de acero con paredes de relleno de albañilería no reforzada (S5): Los muros de relleno, por lo general están desplazados de los miembros del pórtico exterior, los envuelven y presentan un exterior de albañilería lisa, sin indicación del pórtico. Los paneles de mampostería con relleno sólido, cuando se acoplan por completo a los miembros del pórtico circundantes se encuentran en el mismo plano y pueden proporcionar rigidez y resistencia a la carga lateral a la estructura (FEMA, 2020).

Figura 5.
Estructura de acero con paredes de relleno de albañilería no reforzada



Nota. Adaptado de *Sistemas estructurales*, por FEMA, 2006, National Institute of Building for the Federal Emergency Management Agency.

2.2.7.2. Descripción de los diferentes estados de daño estructural de acero

a) Pórticos de Momento de Acero (S1):

- Daño Leve: Deformaciones menores en las conexiones o grietas finas en algunas soldaduras.
- Daño Moderado: Algunos miembros de acero han cedido, se puede observar rotaciones permanentes en las conexiones. Algunas conexiones pueden presentar: grietas importantes a través de las soldaduras, pernos rotos u orificios de pernos agrandados.
- Daño Extenso: La mayoría de los miembros de acero presentan una significativa deformación lateral permanente en la estructura. Se pueden observar rotaciones importantes de miembros permanentes en las conexiones: bridas pandeadas y conexiones fallidas.

Es posible el colapso parcial de partes de la estructura debido a elementos críticos y conexiones fallidas.

- Daño Completo: Algunas conexiones han fallado, resultando peligroso un desplazamiento lateral permanente, colapso parcial o colapso de la estructura. Se espera que se derrumbe aproximadamente el 8% (en una estructura de poca altura), el 5% (en una estructura de mediana altura) o el 3% (en una estructura de gran altura) del área total de la estructura.

b) Pórticos Reforzado de Acero (S2):

- Daño Leve: Pandeo de miembros delgados de la riostra; grietas menores en conexiones soldadas; deformaciones menores en conexiones de riostras atornilladas.
- Daño Moderado: Pandeo observable de las riostras; algunos arriostramientos, se muestran arriostramientos torcidos, soldaduras agrietadas o conexiones atornilladas fallidas.
- Daño Extenso: Deformación lateral permanente. Riostras torcidas o rotas, pandeo de alas, soldaduras rotas o conexiones atornilladas fallidas. Los pernos de anclaje en las columnas pueden estirarse. Es posible el colapso parcial de partes de la estructura debido a la falla de elementos críticos o conexiones.
- Daño Completo: Algunos miembros críticos o conexiones han fallado, lo que resulta en una peligrosa deflexión lateral permanente, colapso parcial o colapso de la estructura. Se espera que se derrumbe aproximadamente el 8% (en una estructura de poca altura), el 5% (en una estructura de mediana altura) o

el 3% (en una estructura de gran altura) del área total de la estructura.

c) Pórticos Ligero de Acero (S3):

- Daño Leve: Algunas riostras de varillas de acero han cedido. Se pueden observar fisuras menores en las conexiones soldadas o deformaciones menores en las conexiones atornilladas de los pórticos resistentes a momento.
- Daño Moderado: La mayoría de las riostras de varillas de acero han cedido. Adicionalmente algunas conexiones de refuerzo pueden estar rotas. Se pueden observar algunas grietas en la soldadura, de las conexiones de los pórticos resistente a momento.
- Daño Extenso: Deformación lateral permanente de la estructura debido a varillas de refuerzo rotas, pernos de anclaje estirados. Algunas uniones atornilladas o soldadas del revestimiento del techo y de la pared a la estructura de acero pueden estar rotas. Algunas conexiones de vigas y correas pueden estar rotas.
- Daño Completo: La estructura está colapsada o en peligro inminente de colapso, debido a varillas de arriostramiento rotas, pernos de anclaje fallados o conexiones o miembros estructurales fallados. Se espera que se derrumbe aproximadamente el 3% del área total de la estructura.

d) Estructura de acero con muros de corte de concreto vaciado in situ (S4):

- Daño Leve: Grietas finas diagonales en la mayoría de las superficies de muros de corte de concreto.
- Daño Moderado: La mayoría de las superficies de los muros de corte exhiben grietas diagonales.

- Daño Extenso: Grandes grietas diagonales a través del muro y el refuerzo del muro se puede ver que sea pandeado. Se pueden observar daños en las conexiones de los pórticos de acero. Puede ocurrir un colapso parcial debido a conexiones fallidas de la estructura de acero a las paredes de concreto.
 - Daño Completo: La estructura puede colapsar o estar en peligro de colapsar, debido a la falla total de los muros de corte y la pérdida de estabilidad de los pórticos de acero. Se espera que se derrumbe aproximadamente el 8% (en una estructura de baja altura), el 5% (en una estructura de media altura) o el 3% (en una estructura de gran altura) del área total de la estructura.
- e) Estructura de acero con paredes de relleno de albañilería no reforzada (S5):
- Daño Leve: Grietas finas diagonales en la mayoría de las paredes de relleno; grietas en las interfaces pórtico-relleno.
 - Daño Moderado: La mayoría de las superficies de las paredes de relleno exhiben grietas diagonales u horizontales más grandes; algunos muros exhiben aplastamiento de ladrillos alrededor de las conexiones viga-columna.
 - Daño Extenso: La mayoría de las paredes de relleno exhiben grietas grandes. Algunas paredes de relleno pueden sobresalir del plano; algunas paredes pueden caerse parcial o totalmente; algunas conexiones del pórtico de acero pueden haber fallado.
 - Daño Completo: La estructura está colapsada o en peligro de colapso inminente debido a la falla total de

muchas paredes de relleno y la pérdida de estabilidad de los pórticos de acero. Se espera que se derrumbe, aproximadamente el 8 % (en una estructura de poca altura), el 5 % (en una estructura de mediana altura) o el 3 % (en una estructura de gran altura) del área total de la estructura (FEMA, 2020).

2.3. DEFINICIÓN DE CONCEPTOS

- **Análisis Dinámico Incremental (IDA):** Es un enfoque prometedor que escala los registros sísmicos, desde el rango elástico hasta el punto de colapso, para forzar la respuesta de la estructura para pasar de nivel elástico, a nivel de colapso o inestabilidad dinámica global. Por lo tanto, revela el comportamiento de una estructura, bajo una amplia gama de demandas y evalúa la vulnerabilidad sísmica de la estructura dada (Shahbazi et al., 2022).
- **Curvas de Fragilidad:** Es una herramienta estadística, que representa la probabilidad de exceder un estado de daño dado (o desempeño), como una función de un parámetro de demanda de ingeniería, que representa el movimiento del suelo o una gráfica de la probabilidad calculada (desviación) vs. parámetro de movimiento del suelo. Se ha demostrado que las curvas de fragilidad ayudan a predecir la gravedad del daño probable (P & Stephen, 2022).
- **Análisis Tiempo – Historia:** Es una herramienta poderosa para evaluar el comportamiento dinámico de las estructuras, sujetas a movimientos sísmicos.
- **IM:** Medida de la intensidad del movimiento del suelo, generalmente se expresa mediante valores probabilísticos, de fuertes movimientos del suelo, con varios periodos de retorno o probabilidad de excedencia. Parámetros para el IM (aceleración espectral (S_a), desplazamiento espectral (S_d), aceleración máxima del suelo (PGA) y velocidad

máxima del suelo (PGV)) (Kassem et al., 2020; Muntasir Billah & Shahria Alam, 2015).

- Vulnerabilidad sísmica: Se define como la probabilidad de un estado de daño particular debido a un evento sísmico durante un período de retorno específico (Biglari & Formisano, 2021).
- Análisis No Lineal: Incluye geometría no lineal y material no lineal (Patil et al., 2017).
- Análisis estático no lineal Push Over: Es un análisis estático incremental, utilizado para determinar la relación fuerza-desplazamiento, o la curva de capacidad, para una estructura o elemento estructural. Se aplica muy comúnmente para determinar la capacidad inelástica de una estructura hasta su colapso (Patil et al., 2017).
- PEER: Es una base de datos virtual del Centro de Investigación de Ingeniería de Terremotos del Pacífico que tiene registros de movimientos de suelo, cuenta con más de 100 registros de movimientos de suelo (Kiani & Khanmohammadi, 2015).
- Factor de escala: Es un valor que se obtiene multiplicando un registro sísmico para obtener un movimiento de suelo más fuerte o más débil del registrado (American Society of Civil Engineers, 2016).
- Pórticos arriostrados de acero: Se denomina a las estructuras donde los pórticos, hechos de vigas y columnas son conectadas entre sí con juntas articuladas, están diseñados para soportar cargas verticales, mientras que los arriostramientos concéntricos y excéntricos soportan y transfieren todas las cargas horizontales (terremotos y viento) a la base (Biglari et al., 2021).
- Pórticos resistentes a momento: Están hechos de vigas y columnas con juntas totalmente rígidas que están diseñadas para soportar cargas horizontales y verticales (Biglari et al., 2021).

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. HIPÓTESIS

3.1.1. Hipótesis general

Utilizando las curvas de fragilidad sísmica, se determina la vulnerabilidad sísmica, de una nave industrial de acero ubicada en el distrito de Moche.

3.1.2. Hipótesis específicas

Obteniendo las curvas de fragilidad, se conoce los diferentes estados de daños, utilizando los datos de acelerogramas tomados de sismos reales.

Aplicando la norma E.030 y la AISC, la nave industrial cumple con las disposiciones establecidas en la norma E.030 y las especificaciones técnicas.

Graficando la curva de fragilidad sísmica, se beneficia significativamente, en el análisis de vulnerabilidad sísmica, de una nave industrial de acero ubicada en el distrito de Moche.

3.2. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.2.1. Identificación de la variable independiente

Curvas de Fragilidad Sísmica.

3.2.1.1. Indicadores

Daños de la estructura

Efectos del sismo

Distribución de probabilidad lognormal

3.2.1.2. Escala para la medición de la variable

Registros de los acelerogramas de sismos reales.

Desplazamiento espectral, niveles de daños.

3.2.2. Identificación de la variable dependiente

Vulnerabilidad Sísmica.

3.2.2.1. Indicadores

Ubicación de la nave industrial.

Sistema Estructural de la nave industrial.

Uso de la nave industrial.

Tipo de Suelo.

3.2.2.2. Escala para la medición de la variable

Los parámetros de la norma técnica E.030 y la AISC.

Tabla 1.

Operacionalización de Variables

Variable	Definición Conceptual	Dimensión	Indicador	Escala
Curvas de Fragilidad Sísmica	Es una herramienta estadística que representa la probabilidad de exceder un estado de daño representado como una gráfica de distribución lognormal que calcula la probabilidad de alcanzar un Estado de daño vs. Parámetro de intensidad sísmica.	Demanda de la estructura	Efectos del sismo Distribución de probabilidad lognormal Daños de la estructura	Registros de los acelerogramas de sismos reales. Desplazamiento espectral Niveles de daños
Vulnerabilidad Sísmica	Es la probabilidad de un estado de daño particular debido a un evento sísmico durante un período de retorno específico. Siendo un método las curvas de fragilidad sísmica.	Comportamiento estructural	Ubicación de la nave industrial Sistema estructural de la nave industrial Uso de la nave industrial Tipo de Suelo	Los parámetros de la norma técnica E.030 y la AISC.

3.2.3. Variable Interviniente

Sismo.

3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación será del tipo aplicada.

3.4. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El nivel de esta investigación es explicativo, porque trata de explicar el daño estructural causado por la acción del sismo.

3.5. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de esta investigación es no experimental.

3.6. ÁMBITO Y TIEMPO SOCIAL DE LA INVESTIGACIÓN

3.6.1. Ámbito social

Se diseñará una nave industrial en el distrito de Moche

3.6.2. Tiempo social

Se realizará en 6 meses, desde junio hasta noviembre.

3.7. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.7.1. Unidad de estudio

Nave industrial de acero de la empresa agrícola Comositán Alto.

3.7.2. Población

La población de esta investigación son las naves industriales de acero, con características similares diseñadas en la provincia de Trujillo.

3.7.3. Muestra

En el tipo de muestra intencionada el o los elementos son elegidos bajo un criterio preestablecido por el autor y se procura que la muestra sea representativa con lo que se desea estudiar (Arias Odón, 2012; Carrasco Díaz, 2005). Por lo tanto, el tipo de muestra será intencionada y estará constituida por una nave industrial representativa de la industria agrícola del distrito de Moche.

3.8. PROCEDIMIENTO, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

3.8.1. Procedimiento

Los procedimientos a seguir para lograr los objetivos de esta investigación se dividieron en dos etapas. La primera fue la elección de la empresa donde se realizará el trabajo de campo, Compositan Alto, y a su vez recopilar los datos, dimensiones y propiedades de las naves industriales de la zona. La segunda etapa se dividió en 3 subfases: (1) modelamiento estructural de una nave industrial de acero, (2) recopilar registros de acelerogramas reales y (3) obtener las curvas de fragilidad, para diversos estados de daño. Una vez realizados estas etapas del procedimiento, se continuo con la aplicación del manual técnico HAZUS. Para realizar el análisis e interpretación de los resultados se hará uso del manual técnico HAZUS con el cual se podrá identificar las probables consecuencias para los diferentes estados de daños.

3.8.2. Técnicas

En esta investigación se empleó el análisis documental. Por lo que se empleó fuentes información bibliográficas como libros, artículos científicos (ANEXO 4), la norma de diseño estructural del AISC 360-10 dirigida a las construcciones de acero y los lineamientos de diseño sísmico establecido en la norma E030, además, para la obtención de las curvas de fragilidad se siguieron los criterios del manual técnico HAZUS.

3.8.3. Instrumentos

Para este estudio, se utilizarán: Se realizó dos tipos de registros de datos:

- La primera fue la ficha de recolección de datos, diseñada para las diferentes naves industriales que incluyen datos sobre la

altura, la luz entre columnas, tipo de perfiles usados, tipo de tijeral, cobertura y tipo de conexión (ANEXO 5).

- El segundo fue el cuadro de registros sísmicos y permitió la clasificación según sus velocidades de propagación de ondas de corte (ANEXO 6).

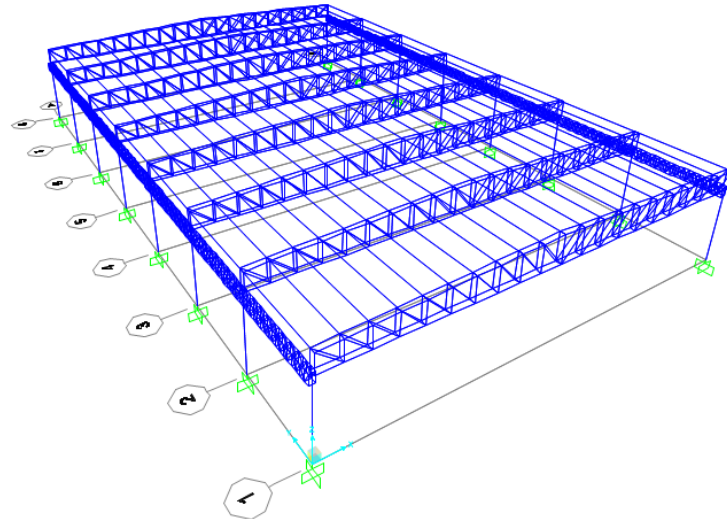
CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO

- La elección de los perfiles de acero se determinó mediante el instrumento de ficha de recolección de datos para con ello saber que perfiles y sistemas estructurales predominan en las naves industriales existentes de la zona. El tiempo que conllevó obtener esa información fue de un aproximado de 30 días, puesto que se tuvieron que hacer las coordinaciones pertinentes con cada empresa para que se me permita el ingreso y obtener los datos de los perfiles de acero que han usado en sus naves industriales. La nave industrial estará compuesta por 8 pórticos de acero con una distancia de 5.50 metros entre ellos. La luz entre columnas de los pórticos fue de 25 metros (Ver Figura 6). Los perfiles que fueron seleccionados son de acuerdo a las dimensiones y propiedades que indica el AISC:

- ✓ Columnas: HSS 20.000x0.500.
- ✓ Vigas: L6x6x1/2.
- ✓ Tijeral: L6x6x1/2.
- ✓ Correas: C6x10.5.
- ✓ Los materiales que se utilizaron son: ASTM A572, ASTM A500 y la cobertura fue de planchas de Aluzinc TR-4.

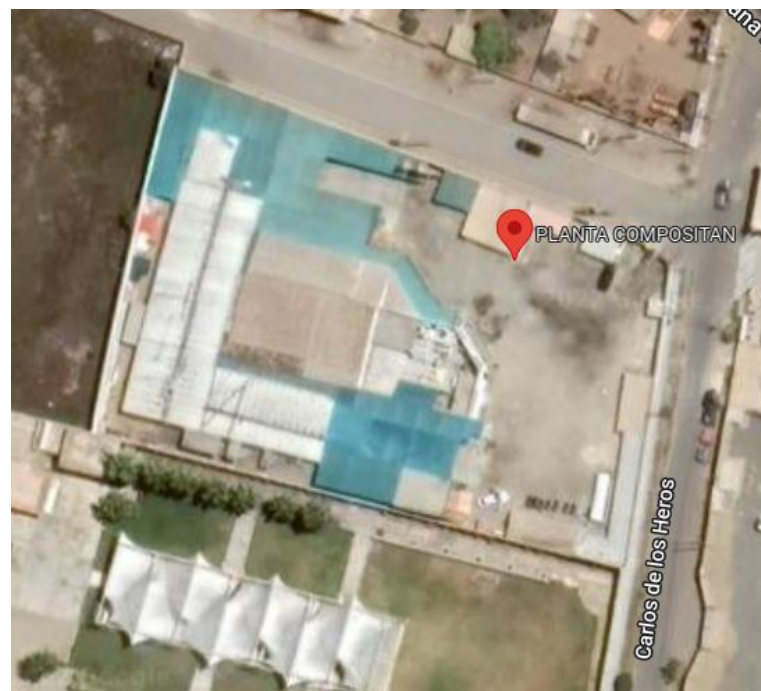
Figura 6.
Nave industrial



➤ **Ubicación de la nave industrial**

La nave industrial está ubicada en la región La Libertad, provincia Trujillo, distrito de Moche, calle Carlos de los Heros 312 (Ver figura 7).

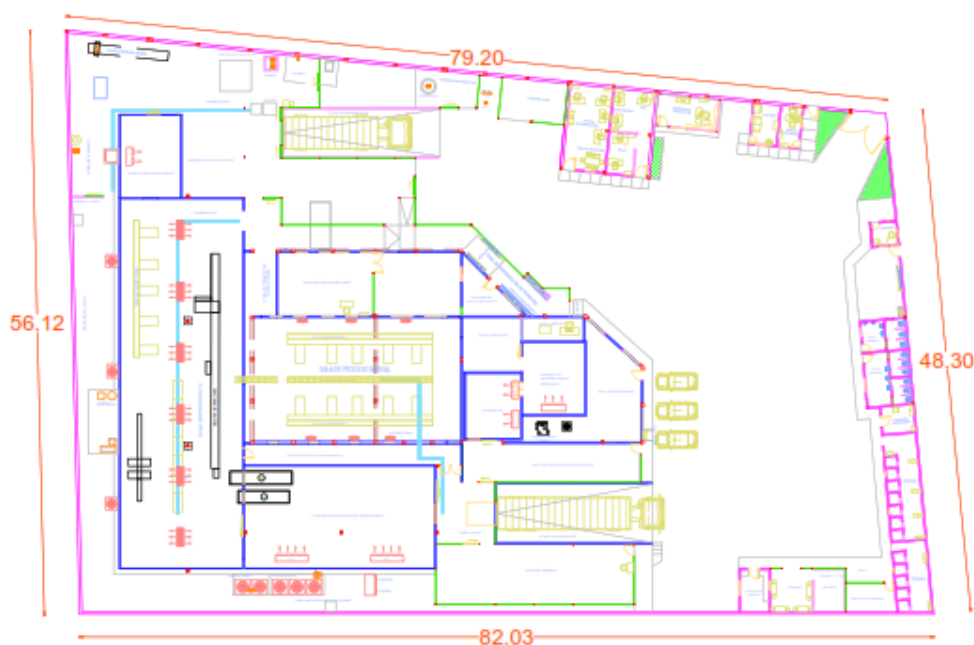
Figura 7.
Ubicación de la nave industrial



➤ **Descripción y linderos de la edificación**

La empresa Compositan Alto se formó el 24 de febrero del 2004, tiene un área de terreno de 4176.65 m². Sus dimensiones de los lados son: por el frente con 48.30 m., por el lado izquierdo con 82.03 m, por el lado derecho con 79.20 m, por el fondo con 56.12 m, y cuenta con un portón de acceso vehicular de 4.00 m de ancho, como se muestra en la Figura 8.

Figura 8.
Área de la nave industrial



➤ **Descripción arquitectónica**

La empresa Compositan Alto, es una edificación construida sobre un suelo tipo blando; conformada por diez naves industriales, construidas con estructuras metálicas, nominadas: recepción de materias primas, lavado de materia prima, cámara fría de materia prima 1, sala de procesos manual I, sala de procesos manual II, cámara de productos terminados, cámara fría de materia prima orgánica, almacén de materiales, almacén general y sala de máquinas; y módulos

administrativos, batería de baños, vestidores, comedor, lactario y vigilancia, construidos con muros de albañilería.

4.2. DISEÑO DE LA PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

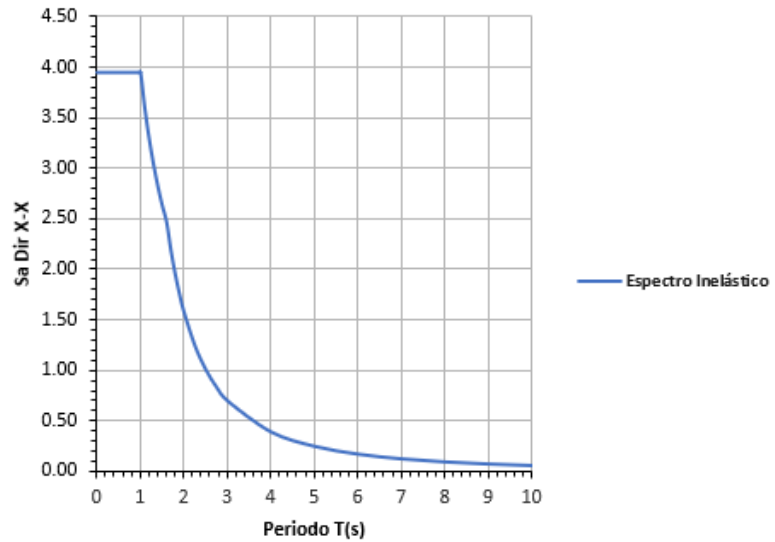
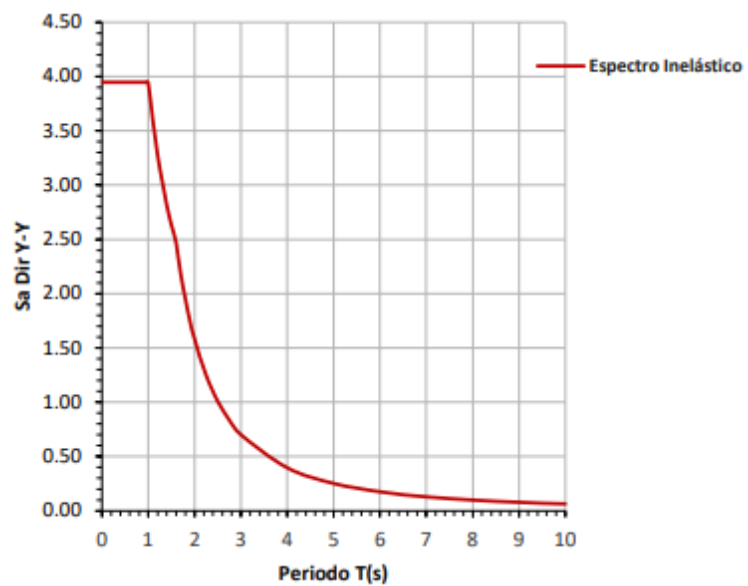
Etapa 1: Modelamiento estructural

En esta fase se realizó el modelamiento estructura, la carga muerta se calculó utilizando el programa SAP2000, mientras que la carga viva fue asignada manualmente teniendo un valor de 30 kgf/m^2 para techos con coberturas livianas como indica la norma E.020 del reglamento nacional de edificaciones.

En el caso de la carga por sismo se aplicó lo indicado en la norma E0.30 siendo sus valores los siguientes:

- ✓ La nave industrial está ubicada en el distrito de moche, provincia de Trujillo, departamento La Libertad. Siendo ubicado en la Zona 4 de dicha norma. Por lo tanto, corresponde un valor de $Z=0.45$
- ✓ El tipo de suelo que se obtuvo mediante un estudio de mecánica de suelos fue suelo blando, Perfil tipo S3.
- ✓ La categoría de la edificación es Edificación Importante ya que se considera como almacén importante para el abastecimiento. Teniendo un valor de $U=1.30$.
- ✓ El sistema estructural tendrá un valor de $R_0= 4$.
- ✓ El valor de la gravedad es: $g=9.81 \text{ m/s}^2$.

Por último, se puede observar en las gráficas los dos espectros inelásticos de pseudo – aceleraciones (Ver Figura 9 y Figura 10).

Figura 9.*Espectro inelástico de pseudo - aceleraciones X-X***Figura 10.***Espectro inelástico de pseudo - aceleraciones Y-Y****Etapas 2: Recopilar registros de acelerogramas reales***

Los registros de acelerogramas reales fueron extraídos de la base de datos PEER. Teniendo en cuenta que la búsqueda se realizó bajo el criterio: velocidad de propagación de ondas de corte, debido que, con ese criterio podemos elegir un registro sísmico que tenga el tipo de suelo parecido al del proyecto.

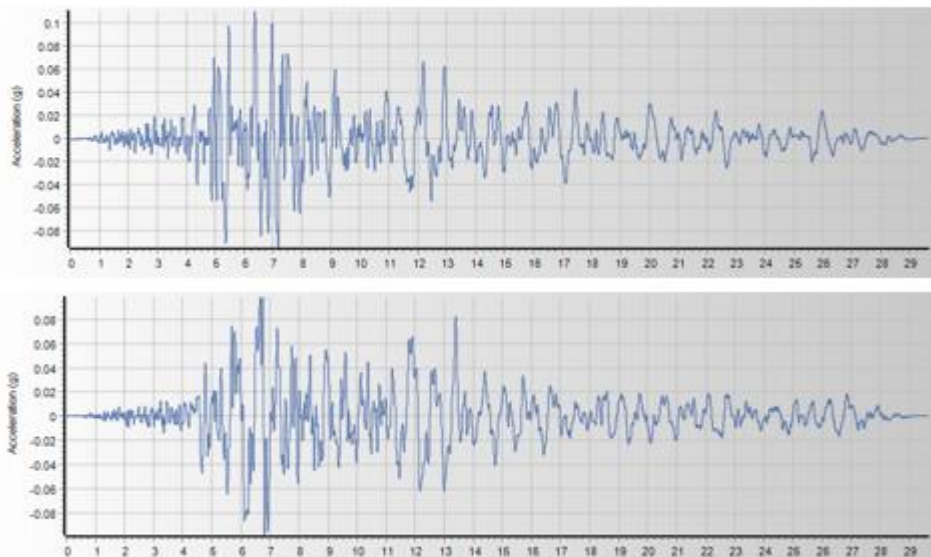
En la Tabla 2 se muestran los registros de los catorce sismos seleccionados, los cuales fueron extraídos de la base de datos Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER).

Tabla 2.
Registros sísmicos

No.	Evento	Estación	Año	Magnitud (Mw)	Velocidad de propagación de onda de corte V_{s30} (m/s)	Duración (s)
1	Whittier Narrows-01	Carson - Water St Parkfield - Fault	1987	5.99	160.58	29.66
2	Coalinga-01	Zone 1 Larkspur Ferry	1983	6.36	178.27	59.98
3	Yountville	Terminal (FF)	2000	5.00	169.72	51.00
4	Tottori, Japan	SMN002	2000	6.61	138.76	240.23
5	Kocaeli, Turkey	Ambarli Imperial Valley	1999	7.51	175.00	150.40
6	Superstition Hills-02	Wildlife Liquefaction Array	1987	6.54	179.00	59.99
7	Chuetsu-oki, Japan	ISK014	2007	6.80	111.33	116.99
8	Niigata, Japan	NIG014	2004	6.63	128.12	299.79
9	Imperial Valley-06	El Centro Array #3	1979	6.53	162.94	39.63
10	Northridge-01	Carson - Water St Foster City -	1994	6.69	160.58	39.98
11	Loma Prieta	APEEL 1 Foster City -	1989	6.93	116.35	59.99
12	Morgan Hill	APEEL 1	1984	6.19	116.35	59.98

Figura 11.

Registro sísmico Whittier Narrows-01 con sus dos componentes horizontales



Etapa 3: Curvas de fragilidad

Para el cálculo de las curvas de fragilidad sísmica, se utilizó el manual técnico HAZUS.

HAZUS proporciona una serie de tablas para calcular las curvas de fragilidad en las que proporciona la media y desviación estándar.

Estas tablas ilustran información básica para calcular las curvas de fragilidad sísmica para 36 tipos de estructuras en niveles de diseño sísmico alto, medio, bajo y previo al código.

➤ **Niveles de diseño sísmico según Hazus**

En la Tabla 5-35 descrita en el manual técnico Hazus, nos da una guía para seleccionar las funciones apropiadas de daños en edificios según la ubicación del edificio (es decir, la región sísmica) y la edad de construcción del edificio (Ver Tabla 3).

Tabla 3.

Zona sísmica y fecha de construcción

Zona Sísmica	Después de 1975	1941-1975	Antes de 1941
Zona 4 (0.45g)	Alto	Moderado	Pre-Diseño
Zona 3 (0.35g)	Moderado	Moderado	Pre-Diseño

Zona 2 (0.25g)	Moderado	Bajo	Pre-Diseño
Zona 1 (0.10g)	Bajo	Bajo	Pre-Diseño

Nota: Adaptado de Hazus Earthquake Model Technical Manual, por FEMA, 2020, National Institute of Building for the Federal Emergency Management Agency.

➤ **Desplazamiento medio espectral y Desviación estándar**

Las tablas elegidas, son para un nivel de diseño sísmico alto, puesto que la nave industrial está ubicada en el distrito de Moche. El sistema estructural elegido es de Pórticos Ligero de Acero (S3).

Para ilustrar cómo obtener las curvas de fragilidad, utilizando el manual técnico HAZUS, se describe a continuación el cálculo de esta curva para un sistema estructural de acero (S3), con un nivel de Diseño Sísmico Alto y para el caso de Daño Extenso.

$$P[ds|S_d] = \Phi \left[\frac{1}{\beta_{ds}} \ln \left(\frac{S_d}{\overline{S_{d,s}}} \right) \right]$$

$P[ds|S_d]$ = La probabilidad de estar en o exceder un estado de daño.

$\overline{S_{d,s}}$ = Es el valor medio del desplazamiento espectral en el que el edificio alcanza el umbral del estado de daño, ds.

β_{ds} = Es la desviación estándar del logaritmo natural del desplazamiento espectral para el estado de daño, ds.

Φ = Es la función de distribución acumulativa normal estándar

- **Valores Hazus (ver anexo 2):**

$$\overline{S_d} = 3.24 \text{ pulgadas} = 8.2296 \text{ centímetros.}$$

$$\beta = 0.91.$$

- **El desplazamiento espectral es:**

$$S_{d1} = \overline{S_d} * e^{-\beta} = 3.31 \text{ cm}$$

$$S_{d2} = \overline{S_d} * e^0 = 8.23 \text{ cm}$$

$$S_{d3} = \overline{S_d} * e^{+\beta} = 20.45 \text{ cm}$$

- **La función de probabilidad es:**

$$P_1[ds|S_d] = \Phi \left[\frac{1}{\beta} * \ln \left(\frac{S_{d1}}{S_d} \right) \right]$$

$$P_1[ds|S_d] = \Phi[-1.00]$$

$$P_2[ds|S_d] = \Phi \left[\frac{1}{\beta} * \ln \left(\frac{S_{d2}}{S_d} \right) \right]$$

$$P_2[ds|S_d] = \Phi[0]$$

$$P_3[ds|S_d] = \Phi \left[\frac{1}{\beta} * \ln \left(\frac{S_{d3}}{S_d} \right) \right]$$

$$P_3[ds|S_d] = \Phi[1.00]$$

Usando la tabla de función de distribución normal (ver anexo 3). Resulta la probabilidad asociada al desplazamiento espectral:

$$P_1[ds|S_d] = 0.159$$

$$P_2[ds|S_d] = 0.50$$

$$P_3[ds|S_d] = 0.841$$

Los registros sísmicos, se utilizaron para evaluar la vulnerabilidad sísmica de la estructura. Los valores de desplazamiento espectral deben ser los más cercanos a los producidos en sus correspondientes eventos sísmicos. Esto se realiza procesando los registros sísmicos de acelerogramas reales.

➤ **Corrección por línea base y por filtrado de ruido**

Ocasionalmente puede ocurrir que la posición del acelerómetro no sea perfectamente horizontal o que el registro sísmico cambie en la toma de datos, pudiendo ocurrir un desplazamiento de los datos registrados con respecto a su línea base de aceleración cero.

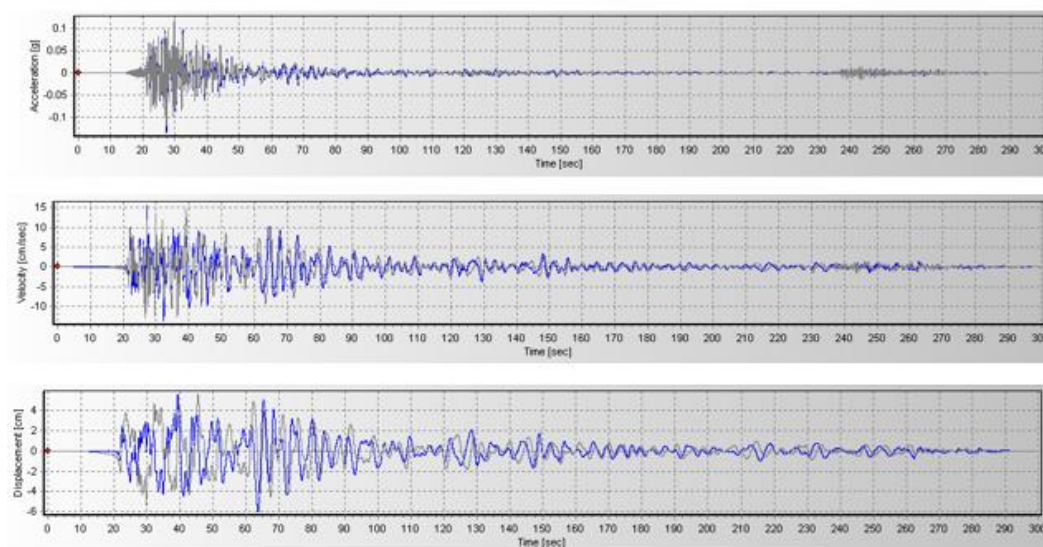
Asimismo, se debe considerar el efecto del ruido sobre el acelerograma. Este ruido puede ser causado por fenómenos naturales y procesamiento de datos. Por tanto, consideramos en el acelerograma como la suma de la señal sísmica más el ruido.

Por lo tanto, la corrección de la línea de base y la corrección del filtro de ruido, se realizará utilizando el software SeismoSignal (Ver figura 12).

Este proceso se realizó para los 12 registros sísmicos.

Figura 12.

Registro sísmico Niigata, Japan corregido por línea base y filtrado de ruido



Nota: Línea color azul es el registro original. Línea de color gris es el registro corregido por línea base y filtrado de ruido.

➤ Escalamiento de los registros sísmicos

Los registros sísmicos se escalarán para que su espectro de respuesta de pseudoaceleración, coincida con el espectro de respuesta del objetivo.

El espectro de respuesta será el espectro de diseño obtenido para la estructura de acuerdo con la Norma E.030.

Adicionalmente se realizará el escalamiento para un $S_a = 2g$ y $S_a = 3g$.

El escalado de los registros sísmicos se realizará con el software SeismoMatch.

Este proceso se realizó para los 12 registros sísmicos.

Figura 13.

Escalamiento de los registros sísmicos E.030.

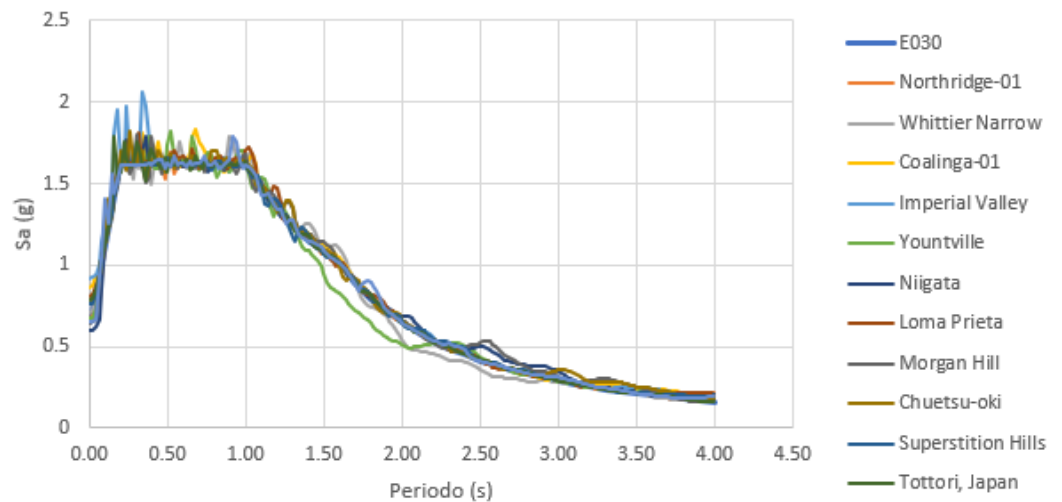


Figura 14.

Escalamiento de los registros sísmicos para $S_a = 2g$

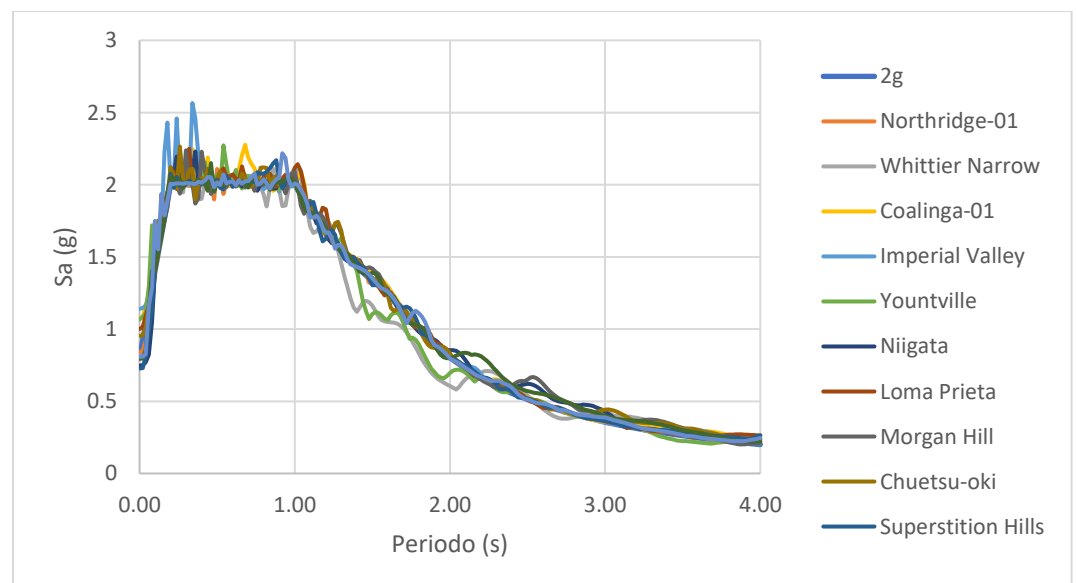
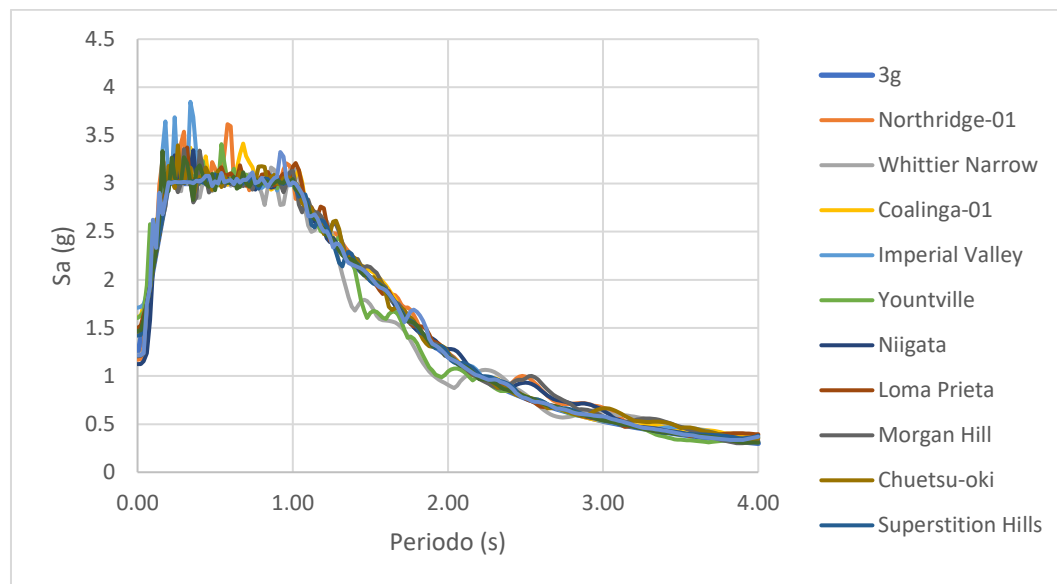


Figura 15.

Escalamiento de los registros sísmicos para $S_a = 3g$



4.3. RESULTADOS

Se han desarrollado tablas y figuras para analizar el procedimiento que se ha realizado de acuerdo a los objetivos planteados en la presente investigación.

4.3.1. Análisis del modelamiento estructural

- ✓ **Análisis dinámico modal espectral:** Se realizó con el uso de la norma técnica peruana E.030.

Tabla 4.

Resultados de masa participativa y periodos de la nave industrial

Caso	Modo	Periodo	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	RZ
MODAL	1	0.415	0.000	0.981	0.000	0.000	0.981	0.000
MODAL	2	0.357	0.996	0.000	0.000	0.996	0.981	0.000
MODAL	3	0.307	0.000	0.000	0.000	0.997	0.981	0.985
MODAL	4	0.251	0.000	0.000	0.461	0.997	0.981	0.000
MODAL	5	0.248	0.000	0.000	0.000	0.997	0.981	0.000
MODAL	6	0.241	0.000	0.000	0.071	0.997	0.981	0.000
MODAL	7	0.232	0.000	0.000	0.000	0.997	0.981	0.000
MODAL	8	0.226	0.000	0.000	0.092	0.997	0.981	0.000
MODAL	9	0.219	0.000	0.000	0.000	0.997	0.981	0.000
MODAL	10	0.207	0.000	0.000	0.003	0.997	0.981	0.000

MODAL	11	0.196	0.000	0.000	0.000	0.997	0.981	0.000
MODAL	12	0.100	0.000	0.000	0.000	0.997	0.981	0.000

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

✓ **Verificación de los desplazamientos laterales relativos admisibles**

Tabla 5.

Verificación de control de derivas en la dirección X

Dirección de análisis en X								
Columna	Δ_i	0.75*R	Δ_i *R	Δ_i rel	h	Δ_i/h	Verificación	OBS
1	0.0126	3	0.0378	0.0378	4.5	0.0084	0.01	Cumple
2	0.0129	3	0.0386	0.0386	4.5	0.0086	0.01	Cumple
3	0.0129	3	0.0386	0.0386	4.5	0.0086	0.01	Cumple
4	0.0129	3	0.0386	0.0386	4.5	0.0086	0.01	Cumple
5	0.0128	3	0.0385	0.0385	4.5	0.0086	0.01	Cumple
6	0.0128	3	0.0384	0.0384	4.5	0.0085	0.01	Cumple
7	0.0128	3	0.0383	0.0383	4.5	0.0085	0.01	Cumple
8	0.0127	3	0.0381	0.0381	4.5	0.0085	0.01	Cumple

Nota: Cumple con los 0.01 de límite de la distorsión (deriva).

Tabla 6.

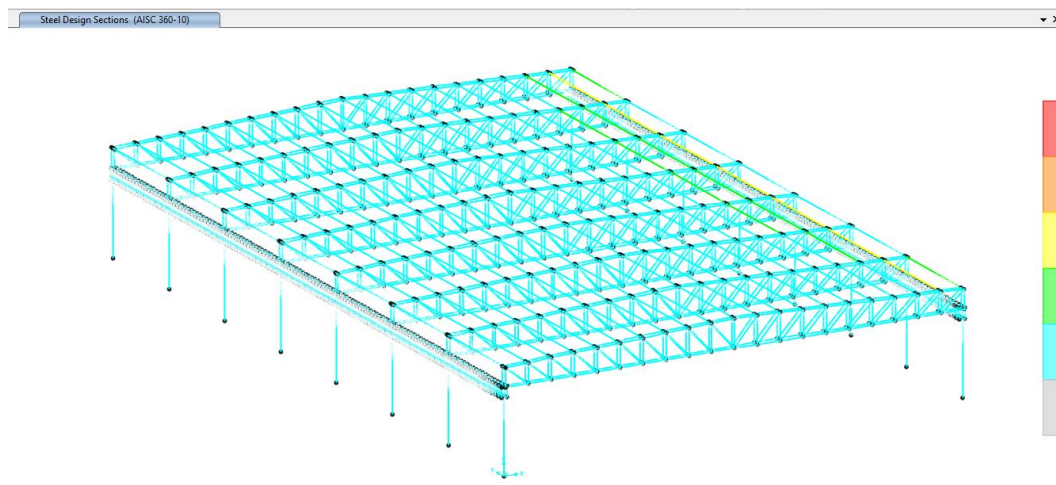
Verificación de control de derivas en la dirección Y

Dirección de análisis en Y								
Columna	Δ_i	0.75*R	Δ_i *R	Δ_i rel	h	Δ_i/h	Verificación	OBS
1	0.0126	3	0.0379	0.0379	4.5	0.0084	0.01	Cumple
2	0.0126	3	0.0379	0.0379	4.5	0.0084	0.01	Cumple
3	0.0127	3	0.0380	0.0380	4.5	0.0084	0.01	Cumple
4	0.0127	3	0.0380	0.0380	4.5	0.0084	0.01	Cumple
5	0.0127	3	0.0380	0.0380	4.5	0.0084	0.01	Cumple
6	0.0127	3	0.0380	0.0380	4.5	0.0084	0.01	Cumple
7	0.0127	3	0.0380	0.0380	4.5	0.0084	0.01	Cumple
8	0.0127	3	0.0380	0.0380	4.5	0.0084	0.01	Cumple

Nota: Cumple con los 0.01 de límite de la distorsión (deriva).

✓ Verificación de ratios de diseño

Figura 16.
Diseño de acuerdo al código AISC 360-10.



Nota: Cumple con las ratios del código AISC-LRFD-360-10

4.3.2. Registros sísmicos

Tabla 7.
Escalamiento de registros sísmicos

Número	Evento	Año	Magnitud (Mw)	PGA (g)	Desplazamiento espectral (cm)	Distancia cercana al plano de ruptura (Km)	Velocidad de propagación de onda de corte Vs30 (m/s)	Duración (s)
1	Whittier Narrows-01	1987	5.99	0.920	6.795	30.03	160.58	29.66
2	Coalinga-01	1983	6.36	0.879	6.843	41.99	178.27	59.98
3	Yountville	2000	5.00	0.801	6.862	48.28	169.72	51.00
4	Tottori, Japan	2000	6.61	0.894	6.873	16.61	138.76	240.23
5	Kocaeli, Turkey	1999	7.51	0.827	6.885	69.62	175.00	150.40
6	Superstition Hills-02	1987	6.54	0.768	6.892	23.85	179.00	59.99
7	Chuetsu-oki, Japan	2007	6.80	0.898	6.920	219.62	111.33	116.99
8	Niigata, Japan	2004	6.63	0.723	6.927	28.42	128.12	299.79
9	Imperial Valley-06	1979	6.53	0.943	7.000	12.85	162.94	39.63
10	Northridge-01	1994	6.69	0.873	7.053	49.81	160.58	39.98
11	Loma Prieta	1989	6.93	0.881	7.167	43.94	116.35	59.99
12	Morgan Hill	1984	6.19	0.847	7.301	53.89	116.35	59.98

4.3.3. Curvas de fragilidad

Las curvas de fragilidad se ejecutaron según el manual técnico HAZUS. A continuación, se muestran las curvas de fragilidad de la nave industrial estudiada, y se puede observar que la variabilidad es mayor a medida que aumenta el desplazamiento espectral asociado a cada estado de daño.

Las Figuras 17, 18, 19, 20 y 21 muestra las curvas de fragilidad asociadas a los estados de daño (leve, moderado, extenso y completo) según el manual técnico HAZUS correspondiente para naves industriales.

Figura 17.
Curva de fragilidad para daño Leve

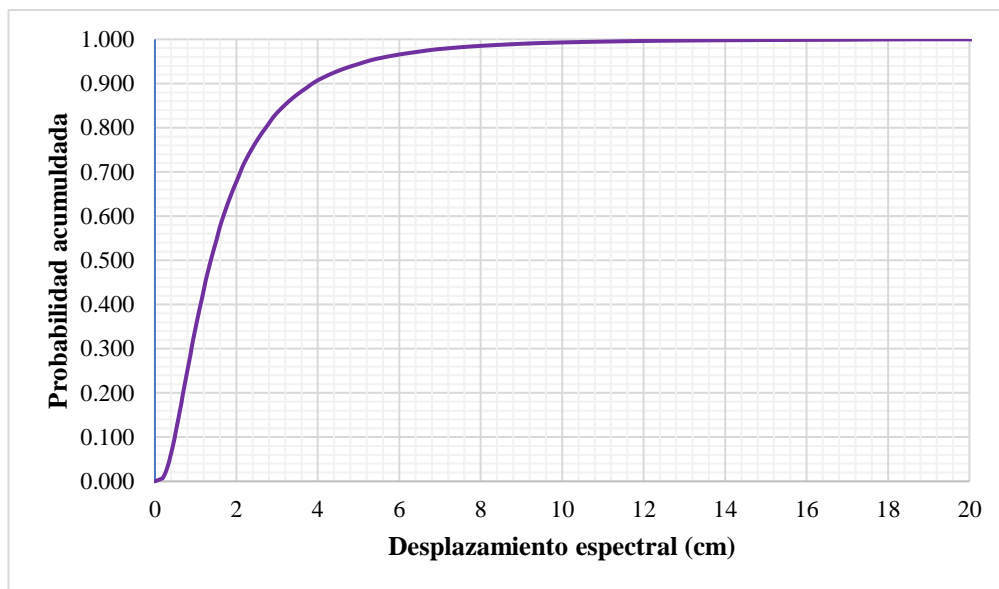


Figura 18.
Curva de fragilidad para daño Moderado

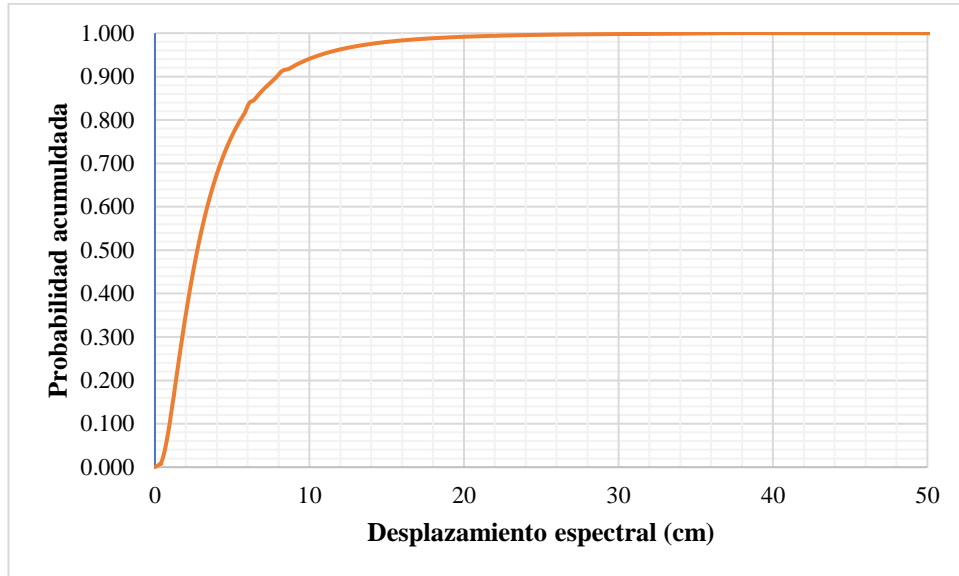


Figura 19.
Curva de fragilidad para daño Extenso

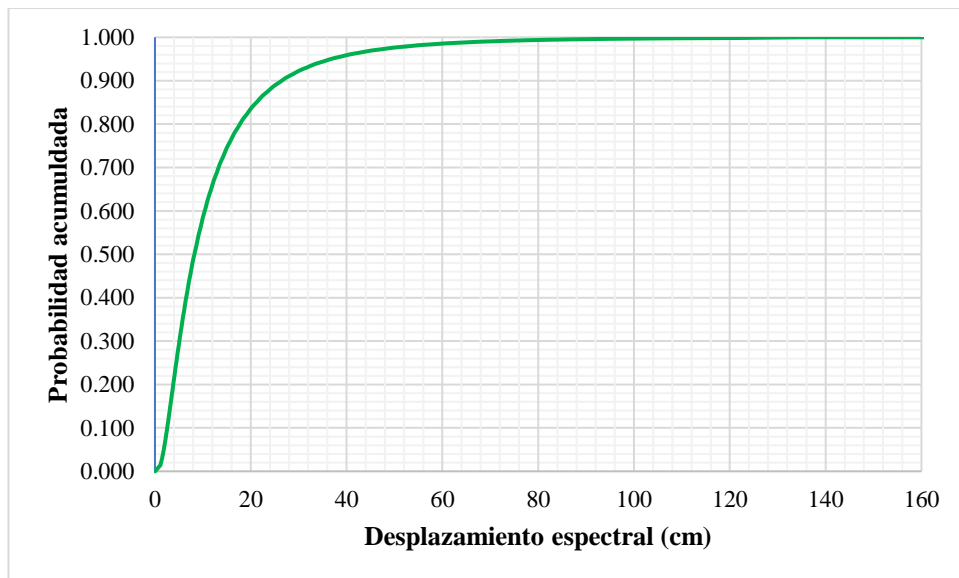


Figura 20.
Curva de fragilidad para daño Completo

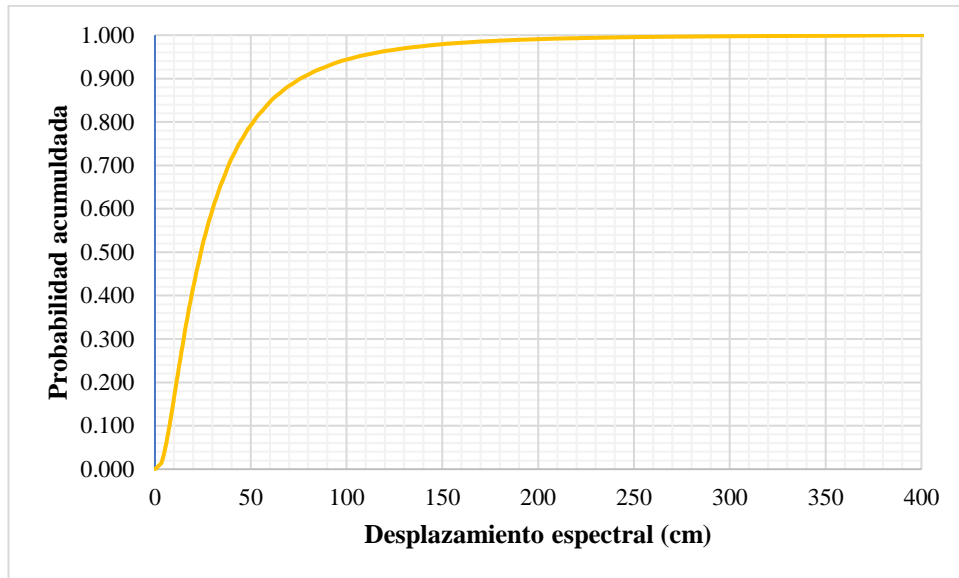
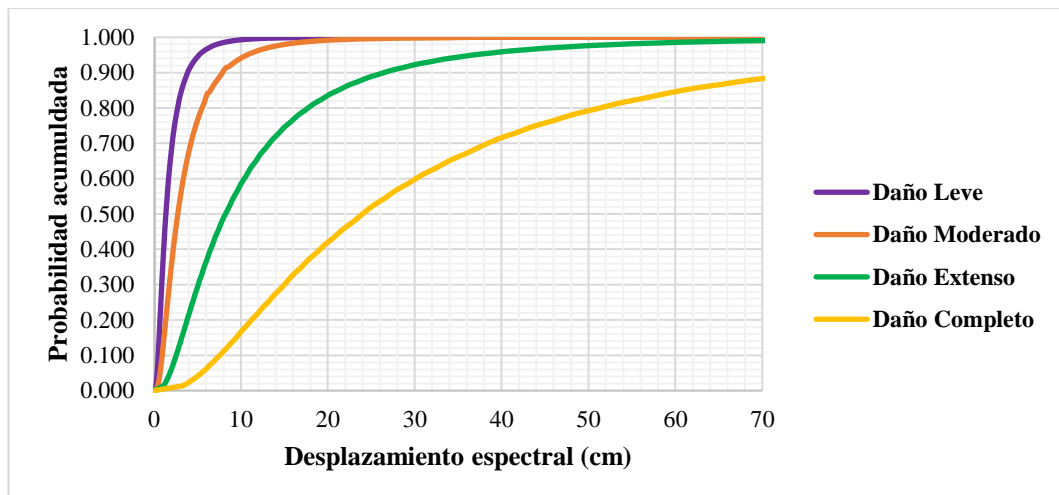


Figura 21.
Curvas de fragilidad juntas



Nota: Curvas de fragilidad para daño leve, moderado, extenso y completo utilizando el desplazamiento espectral como parámetro indicador de la intensidad sísmica.

4.3.4. Vulnerabilidad sísmica de una nave industrial

Una vez obtenidas las curvas de fragilidad de una nave industrial, podemos evaluar el grado de vulnerabilidad sísmica de la estructura, ante diferentes sismos ocurridos en diferentes épocas del tiempo, permitiéndonos comprobar si la estructura en estudio, posee un adecuado comportamiento sísmico.

Tabla 8.

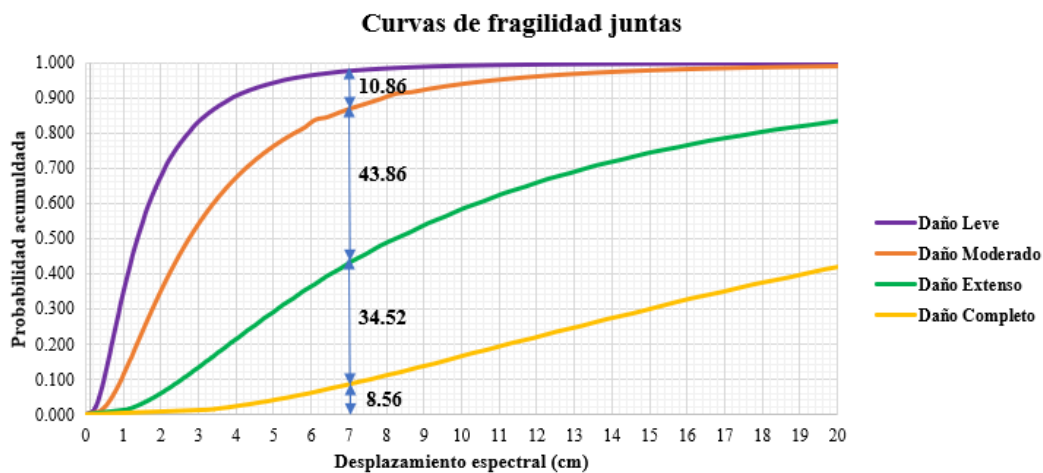
Probabilidad de excedencia para cada estado de daño de los registros sísmicos

Número	Evento	Desplazamiento espectral (cm)	Probabilidad de excedencia para cada estado de daño (%)			
			Leve	Moderado	Extenso	Completo
1	Whittier Narrows-01	6.795	11.44	44.49	33.63	8.05
2	Coalinga-01	6.843	11.31	44.35	33.85	8.15
3	Yountville	6.862	11.25	44.29	33.94	8.19
4	Tottori, Japan	6.873	11.22	44.25	33.99	8.22
5	Kocaeli, Turkey	6.885	11.19	44.22	34.05	8.25
6	Superstition Hills-02	6.892	11.17	44.20	34.07	8.27
7	Chuetsu-oki, Japan	6.920	11.09	44.11	34.19	8.34
8	Niigata, Japan	6.927	11.07	44.09	34.22	8.36
9	Imperial Valley-06	7.000	10.86	43.86	34.52	8.56
10	Northridge-01	7.053	10.71	43.70	34.73	8.70
11	Loma Prieta	7.167	10.42	43.44	35.07	9.03
12	Morgan Hill	7.301	10.08	43.15	35.49	9.34

Nota: La probabilidad de que ocurra un daño extenso ante un registro sísmico mayor a 6.1 Mw (magnitud de momento) es mayor al 34%.

Figura 22.

Cálculo de probabilidad de excedencia para cada estado de daño



Nota: Ilustración del cálculo de la probabilidad de daño para el registro sísmico Imperial Valley-06.

Tabla 9.

Probabilidad de excedencia para los registros sísmicos escalados $S_a = 2g$

Número	Evento	PGA (g)	Desplazamiento espectral (cm)	Probabilidad de excedencia para cada estado de daño (%)			
				Leve	Moderado	Extenso	Completo
1	Whittier Narrows-01	0.88	8.459	7.20	40.47	38.81	12.27
2	Northridge-01	0.84	8.549	7.14	40.14	38.97	12.53
3	Tottori, Japan	0.98	8.552	7.14	40.13	38.98	12.54
4	Superstition Hills-02	0.95	8.578	7.12	40.04	39.03	12.62
5	Loma Prieta	1.00	8.581	7.12	40.02	39.03	12.63
6	Chuetsu-oki, Japan	0.95	8.633	7.09	39.84	39.13	12.78
7	Kocaeli, Turkey	0.81	8.640	7.08	39.81	39.14	12.80
8	Niigata, Japan	0.75	8.658	7.07	39.74	39.18	12.85
9	Imperial Valley-06	1.14	8.705	7.00	39.58	39.29	12.99
10	Coalinga-01	1.08	8.776	6.89	39.33	39.47	13.19
11	Yountville	0.84	9.032	6.50	38.46	40.19	13.84
12	Morgan Hill	0.80	9.059	6.46	38.37	40.27	13.91

Nota: La probabilidad de que ocurra un daño extenso ante un registro sísmico escalado de $S_a = 2g$ es mayor al 38%.

Tabla 10.

Probabilidad de excedencia para los registros sísmicos escalados $S_a = 3g$

Número	Evento	PGA (g)	Desplazamiento espectral (cm)	Probabilidad de excedencia para cada estado de daño (%)			
				Leve	Moderado	Extenso	Completo
1	Whittier Narrows-01	1.32	12.689	2.94	28.59	44.21	23.96
2	Loma Prieta	1.50	12.872	2.82	28.20	44.28	24.41
3	Superstition Hills-02	1.42	12.877	2.82	28.19	44.29	24.42
4	Northridge-01	1.17	12.944	2.78	28.03	44.33	24.58
5	Chuetsu-oki, Japan	1.43	12.949	2.78	28.02	44.33	24.60
6	Kocaeli, Turkey	1.21	12.959	2.77	27.99	44.34	24.62
7	Niigata, Japan	1.12	12.987	2.76	27.92	44.36	24.69
8	Imperial Valley-06	1.71	13.058	2.72	27.74	44.41	24.86
9	Coalinga-01	1.62	13.164	2.67	27.46	44.48	25.12
10	Tottori, Japan	1.47	13.259	2.62	27.22	44.51	25.39
11	Yountville	1.25	13.548	2.47	26.48	44.59	26.22
12	Morgan Hill	1.20	13.588	2.45	26.39	44.59	26.34

Nota: La probabilidad de que ocurra un daño extenso ante un registro sísmico escalado de $S_a = 3g$ es mayor al 44%.

4.4. COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS

Hipótesis general: Utilizando las curvas de fragilidad sísmica, se determina la vulnerabilidad sísmica, de una nave industrial de acero ubicada en el distrito de Moche.

Con la aplicación de la metodología del manual técnico HAZUS y los registros sísmicos se ha logrado determinar la vulnerabilidad sísmica que se tendría para la nave industrial en estudio, como se puede observar en la tabla 8, donde se indica la probabilidad de alcanzar o superar un estado de daño y con la determinación indicada en dicho manual, podemos observar cuales son las posibles consecuencias de alcanzar cierto daño.

Hipótesis específica: Obteniendo las curvas de fragilidad, se conoce los diferentes estados de daños, utilizando los datos de acelerogramas tomados de sismos reales.

Se realizó el cálculo y el gráfico de las curvas de fragilidad con lo establecido en el manual técnico HAZUS. Los registros de acelerogramas reales fueron extraídos de la base de datos PEER, luego se realizó la corrección por línea base y filtrado de ruido, adicionalmente se realizó el escalamiento de dichos registros sísmicos, como se puede apreciar en la tabla 7.

Hipótesis específica: Aplicando la norma E.030 y la AISC, la nave industrial cumple con las disposiciones establecidas en la norma E.030 y las especificaciones técnicas.

Se puede observar en la figura 16 que se cumplió con las ratios de diseño de elementos como indica el código del AISC, se verificó las derivas, observando que cumplen en ambas direcciones de análisis como se puede observar en la tabla 5 y 6.

Hipótesis específica: Graficando la curva de fragilidad sísmica, se beneficia significativamente, en el análisis de vulnerabilidad sísmica, de una nave industrial de acero ubicada en el distrito de Moche.

La aplicación de las curvas de fragilidad sísmica, es significativa, debido a que permite predecir los posibles daños que puede sufrir la nave industrial al percibir un sismo de gran magnitud como los mencionados en la tabla 7. Y así reforzar la estructura donde indica el manual que se puede observar más afectada.

4.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- ✓ La intención de conocer la vulnerabilidad sísmica de una nave industrial de acero, ubicada en el distrito de Moche, mediante el uso de curvas de fragilidad sísmica motivo del presente trabajo de investigación, el cual demuestra que, ante un evento sísmico de gran intensidad, tendrá una probabilidad mayor al 8% de alcanzar un nivel de daño completo (peligro inminente de colapso). Estos hallazgos guardan relación con lo hallado por (Arjuna et al., 2020) quienes al estudiar la vulnerabilidad sísmica y el comportamiento del acero sometidas a eventos sísmicos de

gran intensidad concluyen que, la vulnerabilidad estructural es altamente dependiente de la intensidad del evento sísmico, observando que ante un sismo de 1g (aceleración del suelo) la probabilidad de tener un daño de colapso es del 10%.

- ✓ El propósito de conocer las curvas de fragilidad, para diversos estados de daño con la ayuda de los acelerogramas tomados de sismos reales, motivo del presente trabajo de investigación, el cual demuestra que para para ese tipo de suelo, el desplazamiento espectral tiene valores de hasta 7.00 centímetros y corresponde una probabilidad de daño extenso del 34.52%. Estos hallazgos guardan relación con lo hallado por (Sáenz Azorsa, 2019) que al estudiar las curvas de fragilidad sísmica logro observar que para un desplazamiento espectral de 7.00 centímetros corresponde una probabilidad del 29% de exceder un estado de daño severo.
- ✓ El objetivo de la investigación es dar a conocer el modelamiento estructural de una nave industrial de acero, cuyos resultados demuestran el cumplimiento de las disposiciones indicadas en la norma técnica E.030 teniendo un valor máximo de distorsión de entrepiso (deriva) de 8.60 (1/1000) en la dirección X, siendo el periodo de la estructura 0.415 segundos y un valor máximo de ratio (relación demanda – capacidad) de 0.75 ubicado en un eje de las correas y un valor máximo de 0.27 en las columnas cumpliendo con el código del AISC. Estos hallazgos guardan relación con lo hallado por (Orihuela Dávila & Dávila Ríos, 2016) quienes al estudiar el cálculo y diseño estructural de una nave industrial aplicando el código del AISC en la ciudad de Juliaca, provincia de San Román hallaron que el valor máximo de distorsión de entrepiso (deriva) fue en la dirección X teniendo un valor de 7.00 (1/1000), siendo el periodo de la estructura 0.375 segundos y teniendo un ratio máximo de 0.80 y un valor promedio de 0.50 en las columnas cumpliendo con el código del AISC.

- ✓ Asimismo, la investigación tiene como objeto dar a conocer el beneficio de las curvas de fragilidad, en la determinación de la vulnerabilidad sísmica de una nave industrial de acero, ubicada en el distrito de Moche, cuyos resultados demostraron que, se puede utilizar las curvas como una herramienta para proporcionar los posibles daños que puede sufrir la estructura para diferentes geometrías. Estos hallazgos guardan relación con lo hallado por (Nazri et al., 2017) quienes calcularon las curvas de fragilidad sísmica para conocer la vulnerabilidad sísmica para 3 diferentes geometrías de naves industriales y hallaron que de los 3 modelos realizados el Modelo 2 tiene la mayor probabilidad de alcanzar los estados de fase operativa y prevención de colapso.
- ✓ En los resultados de la investigación se pudo apreciar que para una aceleración espectral de 2g se obtiene un PGA máximo de 1.14 y corresponde una probabilidad del 39.29% de exceder un estado de daño extenso. Estos hallazgos guardan relación con lo hallado por (Mansouri et al., 2017) quienes al calcular de las curvas de fragilidad mediante metodologías estadísticas (análisis no lineal y con el uso del programa Perform 3D v4.0.3), hallaron que para un PGA de 1.1 corresponde una probabilidad del 40% de exceder un estado de daño extenso.
- ✓ Además, en los resultados de la investigación se pudo apreciar que para una aceleración espectral de 3g se obtiene un PGA máximo de 1.71 y corresponde una probabilidad del 44.41% de exceder un estado de daño extenso. Estos hallazgos guardan relación con lo hallado por (Pavel et al., 2018) quienes al calcular las curvas de fragilidad mediante el análisis pushover (POA) y el análisis no lineal tiempo – historia, hallaron que para un PGA de 1.7 corresponde una probabilidad del 38% de exceder un estado de daño extenso.

CONCLUSIONES

1. La estructura analizada presenta un comportamiento inadecuado, ya que tiene una probabilidad de excedencia de más del 30% para el estado de daño extenso para un evento sísmico como se puede observar en la tabla 8. Esto se debe al tipo de suelo, ya que al conocer los grandes desplazamientos espectrales que ocurren en un tipo de suelo blando, es necesario diseñar este tipo de estructuras importantes en un tipo de suelo más resistente.
2. El valor de las derivas ha sido calculado por medio del análisis dinámico modal espectral, presentando la mayor deriva en la dirección X teniendo un valor de 8.60 (1/1000). Se puede observar en la tabla 5 y 6 que todas las derivas no superan los 10 (1/1000) que indica la norma, cumpliendo así con la normativa E030. El diseño de los elementos se realizó mediante el programa SAP2000 donde se puede observar en la Figura 16 que cada elemento cumplió con las ratios que indica el código AISC 360-10. Siendo un eje de las correas las que poseen la ratio más alto (0.75).
3. Las curvas de fragilidad obtenidas proporcionan información sobre el probable estado operativo de la estructura después de un sismo. Para estas estructuras en particular, en caso de un sismo con un M_w (magnitud de momento) mayor a 6.5, es conveniente verificar los elementos estructurales, ya que tiene el potencial de dañarse extensamente.
4. Los registros sísmicos (acelerogramas) reales descargados de la base de datos PEER permitieron conocer los desplazamientos espectrales para diferentes tipos de suelos, debido a que uno de los filtros es la Velocidad de propagación de onda de corte V_{s30} . Por lo tanto, representa el efecto de la estructura frente a la acción sísmica de un registro sísmico con la característica del mismo tipo de suelo de donde se realizará el diseño de una estructura.
5. Las curvas de fragilidad obtenidas para los estados de daños leve, moderado, extenso y completo muestran que la nave industrial es vulnerable después de un evento sísmico como los que se puede observar en la tabla 8. Es conveniente verificar los componentes estructurales, una vez ocurrido un sismo de la magnitud de los sismos registrados en la tabla 8 ya que el registro sísmico más

perjudicial produce un desplazamiento espectral de $Sd = 7.301$ centímetros que corresponde al sismo de Morgan Hill del año 1984, de magnitud 6.19 Mw en la escala de magnitud de momento. Ese mismo evento sísmico para un $Sa = 2g$ tiene un desplazamiento espectral de 9.059 centímetros y para un $Sa = 3g$ tiene un desplazamiento espectral de 13.588 centímetros, como se puede observar en las tablas 9 y 10.

6. El riesgo sísmico es, muy alto, ya que existen muchas estructuras de esta tipología en el distrito de Moche que, o bien no han sido diseñadas adecuadamente con el uso de la normativa sismorresistente E030, o también están ubicadas en áreas donde el tipo de suelo presenta una baja velocidad promedio de propagación de las ondas de corte. Además, en el caso de las naves industriales el problema de salvaguardar la vida humana está relacionado al de salvaguardar los valores expuestos a riesgo (equipos, productos manufacturados, depósitos de granos y otros almacenes importantes para el abastecimiento).
7. Se concluye que las curvas de fragilidad son herramientas que permiten estimar razonablemente la vulnerabilidad sísmica de las estructuras, ya que permiten tener en cuenta las incertidumbres que existen en la acción sísmica y los daños que pueden producir.

RECOMENDACIONES

1. La metodología propuesta está basada en el manual técnico HAZUS se recomienda realizar con otras metodologías como: El comportamiento no lineal de la estructura mediante el análisis estático incremental y el análisis dinámico no lineal, la aleatoriedad de las propiedades de los materiales y la incertidumbre asociada a una solicitación sísmica en función de procesos estadísticos. En este sentido, se recomienda la simulación de Montecarlo porque tiene la mejor representación de la variabilidad de las variables utilizadas, por lo tanto, este método se utiliza en diversas investigaciones de ingeniería, por lo tanto, se recomienda implementar este método en el futuro con proyectos relacionados con la ingeniería civil.
2. Realizar una investigación acerca de la vulnerabilidad sísmica de naves industriales con diferentes tipologías estructurales y distintos tipos de suelos.
3. Comparar las curvas de fragilidad sísmica, mediante la utilización de otro parámetro indicador de daño, como las pseudo-aceleraciones, PGA, PGV o derivas.
4. Reforzar las naves industriales que presentan una alta probabilidad de daño, con el fin, de reducir la vulnerabilidad sísmica. Y realizar un análisis de daños y pérdidas económicas (costos de reparación), luego de un evento sísmico de gran intensidad como los que se pueden observar en el cuadro de registros sísmicos de esta investigación. Adicionalmente, se debe proponer soluciones económicas, de fácil implementación.
5. Se recomienda el uso de la metodología HAZUS para una revisión rápida de los posibles daños que puede sufrir una estructura.
6. Realizar estudios de vulnerabilidad sísmica mediante curvas de fragilidad donde se incorporen a los elementos no estructurales como paredes divisorias, paneles de pared exterior, tuberías, equipos eléctrico-mecánicos.

REFERENCIAS

- American Society of Civil Engineers, A. (2016). *ASCE STANDARD ASCE/SEI 7-16 Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*. American Society of Civil Engineers.
- Arias Odón, F. G. (2012). *El Proyecto de Investigación. Introducción a la Metodología Científica*. Episteme.
- Arjuna, N., Adnan, A., Ramli, M. Z., Aizon, N. H., Alel, N., Muhammad Yuzir, M. A., & Bakar, N. A. (2020). Seismic fragility curves of steel structure industrial building using IDA method. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 479(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/479/1/012012>
- Biglari, M., & Formisano, A. (2021). *Urban Seismic Risk Analysis Using Empirical Fragility Curves for Kerend-e-Gharb After Mw 7.3, 2017 Iran Earthquake*. 0–28.
- Biglari, M., Formisano, A., & Hashemi, B. H. (2021). Empirical fragility curves of engineered steel and RC residential buildings after Mw 7.3 2017 Sarpol-e-zahab earthquake. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 19(6), 2671–2689. <https://doi.org/10.1007/s10518-021-01090-4>
- Buratti, N., Minghini, F., Ongaretto, E., Savoia, M., & Tullini, N. (2017). Empirical seismic fragility for the precast RC industrial buildings damaged by the 2012 Emilia (Italy) earthquakes. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 46(14), 2317–2335. <https://doi.org/10.1002/eqe.2906>
- Carrasco Díaz, S. (2005). *Metolodogía de la Investigación Científica*. San Marcos.
- El-Betar, S. A. (2018). Seismic vulnerability evaluation of existing R.C. buildings. *HBRC Journal*, 14(2), 189–197. <https://doi.org/10.1016/j.hbrj.2016.09.002>
- FEMA. (2006). *Designing for earthquakes*. National Institute of Building for the Federal Emergency Management Agency.
- FEMA. (2020). *Hazus Earthquake Model Technical Manual*. National Institute of Building for the Federal Emergency Management Agency.
- Formisano, A., Di Lorenzo, G., Iannuzzi, I., & Landolfo, R. (2018). Seismic Vulnerability and Fragility of Existing Italian Industrial Steel Buildings. *The*

- Open Civil Engineering Journal*, 11(1), 1122–1137.
<https://doi.org/10.2174/1874149501711011122>
- Jiansinlapadamrong, C., Park, K., Hooper, J., & Chao, S.-H. (2019). Seismic Design and Performance Evaluation of Long-Span Special Truss Moment Frames. *Journal of Structural Engineering*, 145(7), 04019053.
[https://doi.org/10.1061/\(asce\)st.1943-541x.0002340](https://doi.org/10.1061/(asce)st.1943-541x.0002340)
- Jiménez, B., Saloustros, S., & Pelà, L. (2021). Seismic vulnerability index method for hybrid timber–masonry structures. Numerical calibration and application to the city of Valparaíso, Chile. *Journal of Building Engineering*, 44(August).
<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103185>
- Jiménez, C., & Moggiano, N. (2020). Numerical simulation of the 1940 Lima-Peru earthquake and tsunami (Mw 8.0). *Journal of Seismology*, 24(1), 89–99.
<https://doi.org/10.1007/s10950-019-09887-2>
- Kassem, M. M., Mohamed Nazri, F., & Noroozinejad Farsangi, E. (2020). The seismic vulnerability assessment methodologies: A state-of-the-art review. *Ain Shams Engineering Journal*, 11(4), 849–864.
<https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.04.001>
- Kiani, J., & Khanmohammadi, M. (2015). New approach for selection of real input ground motion records for incremental dynamic analysis (IDA). *Journal of Earthquake Engineering*, 19(4), 592–623.
<https://doi.org/10.1080/13632469.2014.997901>
- Mai, C., Konakli, K., & Sudret, B. (2017). Seismic fragility curves for structures using non-parametric representations. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, 11(2), 169–186. <https://doi.org/10.1007/s11709-017-0385-y>
- Mansouri, I., Hu, J. W., Shakeri, K., Shahbazi, S., & Nouri, B. (2017). Assessment of Seismic Vulnerability of Steel and RC Moment Buildings Using HAZUS and Statistical Methodologies. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/2698932>
- Muñoz Peláez, J. A. (2002). *Ingeniería Sismorresistente*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Muntasir Billah, A. H. M., & Shahria Alam, M. (2015). Seismic fragility

- assessment of highway bridges: a state-of-the-art review. *Structure and Infrastructure Engineering*, 11(6), 804–832. <https://doi.org/10.1080/15732479.2014.912243>
- Nazri, F. M., & Saruddin, S. N. A. (2015). Seismic Fragility Curves for Steel and Reinforced Concrete Frames Based on Near-Field and Far-Field Ground Motion Records. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 40(8), 2301–2307. <https://doi.org/10.1007/s13369-015-1758-y>
- Nazri, F. M., Tahar, S., Saruddin, S. N. A., & Shahidan, S. (2017). Seismic Fragility Curves of Industrial Buildings by Using Nonlinear Analysis. *MATEC Web of Conferences*, 103. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710302017>
- Ntaliakouras, I., & Pnevmatikos, N. (2017). *Seismic Fragility Curves For Industrial Steel Buildings*. April.
- Orihuela Dávila, J. D., & Dávila Ríos, R. F. (2016). *Cálculo y diseño estructural de una nave industrial aplicando la normativa AISC en la ciudad de Juliaca, provincia de San Román* [Tesis de título profesional, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. <http://hdl.handle.net/10757/621640>
- P, A., & Stephen, S. (2022). Seismic Fragility Analysis of Structures Containing Supplemental Damping System. *International Journal of Scientific and Research Publications (IJSRP)*, 12(1), 417–425. <https://doi.org/10.29322/ijsrp.12.01.2022.p12156>
- Palanci, M., Senel, S. M., & Kalkan, A. (2017). Assessment of one story existing precast industrial buildings in Turkey based on fragility curves. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 15(1), 271–289. <https://doi.org/10.1007/s10518-016-9956-x>
- Patil, S. S., Shah, C. R., Patil, R. A., & Bedege, S. D. (2017). Push Over Analysis of Multi-Storied Building. *International Journal of Modern Trends in Engineering and Science*, 04(03), 47–50.
- Pavel, F., Calotescu, I., Stanescu, D., & Badiu, A. (2018). Life-Cycle and Seismic Fragility Assessment of Code-Conforming Reinforced Concrete and Steel Structures in Bucharest, Romania. *International Journal of Disaster Risk Science*, 9(2), 263–274. <https://doi.org/10.1007/s13753-018-0169-6>

- Petersen, M. D., Harmsen, S. C., Jaiswal, K. S., Rukstales, K. S., Luco, N., Haller, K. M., Mueller, C. S., & Shumway, A. M. (2018). Seismic hazard, risk, and design for south america. *Bulletin of the Seismological Society of America*, *108*(2), 781–800. <https://doi.org/10.1785/0120170002>
- Saadi, M., Yahiaoui, D., Lahbari, N., & Tayeb, B. (2021). Seismic fragility curves for performance of semi-rigid connections of steel frames. *Civil Engineering Journal (Iran)*, *7*(7), 1112–1124. <https://doi.org/10.28991/cej-2021-03091714>
- Sáenz Azorsa, U. H. (2019). *Vulnerabilidad sísmica en edificaciones esenciales mediante curvas de fragilidad analíticas – edificio administrativo de la Universidad Nacional del Centro del Perú* [Tesis de título profesional, Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/5268>
- Shahbazi, M., Cerato, A. B., Hassan, E. M., & Mahmoud, H. (2022). Seismic risk assessment of a steel building supported on helical pile groups. *Acta Geotechnica*, *17*(1), 289–301. <https://doi.org/10.1007/s11440-021-01207-8>
- Suzuki, A., & Iervolino, I. (2021). Seismic Fragility of Code-conforming Italian Buildings Based on SDoF Approximation. *Journal of Earthquake Engineering*, *25*(14), 2873–2907. <https://doi.org/10.1080/13632469.2019.1657989>
- Tajammolian, H., Khoshnoudian, F., Rezaei Rad, A., & Loghman, V. (2018). Seismic Fragility Assessment of Asymmetric Structures Supported on TCFP Bearings Subjected to Near-field Earthquakes. *Structures*, *13*, 66–78. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2017.11.004>
- Van Thuat, D., Viet Chuong, H., & Duong, B. (2020). Relationship of strength reduction factor and maximum ductility factor for seismic design of one-storey industrial steel frames. *Asian Journal of Civil Engineering*, *21*(5), 841–856. <https://doi.org/10.1007/s42107-020-00244-0>

ANEXO 1: Matriz de consistencia del informe final de tesis

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA	RECOMENDACIONES
<p>1. Interrogante Principal</p> <p>¿Cuál es la vulnerabilidad sísmica de una nave industrial de acero, en el distrito de Moche, utilizando curvas de fragilidad sísmica?</p> <p>2. Interrogantes Específicas</p> <p>a. ¿Cómo obtener las curvas de fragilidad, para diversos estados de daño, usando los datos de</p>	<p>1. Objetivo General</p> <p>Determinar la vulnerabilidad sísmica de una nave industrial de acero en el distrito de Moche mediante el uso de curvas de fragilidad sísmica.</p> <p>2. Objetivos Específicos</p> <p>a. Obtener las curvas de fragilidad, para diversos estados de daño, con la ayuda de los</p>	<p>1. Hipótesis General</p> <p>Utilizando las curvas de fragilidad sísmica, se determina la vulnerabilidad sísmica, de una nave industrial de acero ubicada en el distrito de Moche.</p> <p>2. Hipótesis Específicas</p> <p>a. Obteniendo las curvas de fragilidad, se conoce los diferentes estados de daños, utilizando los datos de acelerogramas</p>	<p>1. Variable Independiente (X)</p> <p>XI: Curvas de Fragilidad Sísmica.</p> <p>Indicadores:</p> <p>a. Daños de la estructura.</p> <p>b. Efecto del sismo.</p> <p>c. Distribución de la probabilidad lognormal.</p> <p>2. Variable Dependiente (Y)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de Investigación: Aplicada • Diseño de Investigación: No experimental • Ámbito de estudio: Se diseñará una nave industrial en el distrito de Moche. • Población: La población de esta investigación son las naves industriales de acero, con características similares 	<p>1. Realizar una investigación acerca de la vulnerabilidad sísmica de naves industriales con diferentes tipologías estructurales y distintos tipos de suelos.</p> <p>2. Comparar las curvas de fragilidad sísmica, mediante la utilización de otro parámetro indicador de daño, como las pseudo-aceleraciones, PGA, PGV o derivas.</p> <p>3. Reforzar las naves industriales que presentan una alta probabilidad de daño, con el fin, de reducir la vulnerabilidad sísmica. Y realizar un análisis de daños y pérdidas económicas (costos de reparación), luego de un evento sísmico de gran intensidad como los que se pueden observar en el cuadro de registros</p>

<p>acelerogramas, tomados de sismos reales?</p> <p>b. ¿La nave industrial cumple con las disposiciones, establecidas en la norma técnica E.030 y el AISC?</p> <p>c. ¿Cuál es el beneficio que se tendrá al graficar, las curvas de fragilidad sísmica, en la determinación de la vulnerabilidad de una nave industrial de acero ubicada en el distrito de Moche?</p>	<p>acelerogramas, tomados de sismos reales.</p> <p>b. Realizar el modelamiento estructural de una nave industrial de acero, cumpliendo las disposiciones indicadas en la norma técnica E.030 y la AISC.</p> <p>c. Analizar el beneficio de las curvas de fragilidad, en la determinación de la vulnerabilidad sísmica, de una nave industrial</p>	<p>tomados de sismos reales.</p> <p>b. Aplicando la norma técnica E.030 y la AISC, la nave industrial cumple con las disposiciones establecidas en la norma E.030 y las especificaciones técnicas.</p> <p>c. Graficando la curva de fragilidad sísmica, se beneficia significativamente, en el análisis de vulnerabilidad sísmica, de una nave industrial de acero ubicada en el distrito de Moche.</p>	<p>YI: Vulnerabilidad Sísmica.</p> <p>Indicadores:</p> <p>a. Ubicación de la nave industrial.</p> <p>b. Sistema estructural de la nave industrial.</p> <p>c. Uso de la nave industrial.</p> <p>d. Tipo de suelo.</p>	<p>diseñadas en la provincia de Trujillo.</p> <p>• Muestra:</p> <p>El tipo de muestra será intencionada y estará constituida por una nave industrial representativa de la industria agrícola del distrito de Moche.</p> <p>• Técnica de Recolección de datos:</p> <p>Análisis documental.</p> <p>• Instrumento de Recolección de datos:</p> <p>✓ Ficha de recolección de datos</p> <p>✓ Cuadro de registros sísmicos.</p>	<p>sísmicos de esta investigación. Adicionalmente, se debe proponer soluciones económicas, de fácil implementación.</p> <p>4. Realizar estudios de vulnerabilidad sísmica mediante curvas de fragilidad donde se incorporen a los elementos no estructurales como paredes divisorias, paneles de pared exterior, tuberías, equipos eléctrico-mecánicos.</p>
--	---	---	--	--	--

	de acero ubicada en el distrito de Moche.				
--	---	--	--	--	--

ANEXO 2: Parámetros de la curva de fragilidad estructural: nivel de diseño sísmico alto

Edificio Tipo	Desplazamiento espectral en Pulgadas							
	Leve		Moderado		Extenso		Complejo	
	Media	Beta	Media	Beta	Media	Beta	Media	Beta
W1	0.50	0.80	1.51	0.81	5.04	0.85	12.60	0.97
W2	0.86	0.81	2.59	0.88	8.64	0.90	21.60	0.83
S1L	1.30	0.80	2.59	0.76	6.48	0.69	17.28	0.72
S1M	2.16	0.65	4.32	0.66	10.80	0.67	28.80	0.74
S1H	3.37	0.64	6.74	0.64	16.85	0.85	44.93	0.67
S2L	1.08	0.81	2.16	0.89	6.48	0.94	17.28	0.83
S2M	1.80	0.67	3.60	0.67	10.80	0.68	28.80	0.79
S2H	2.81	0.63	5.62	0.63	16.85	0.64	44.93	0.71
S3	0.54	0.81	1.08	0.82	3.24	0.91	9.45	0.90
S4L	0.86	0.89	1.73	0.89	5.18	0.98	15.12	0.87
S4M	1.44	0.77	2.88	0.72	8.64	0.70	25.20	0.89
S4H	2.55	0.64	4.49	0.66	13.48	0.69	39.31	0.77
S5L								
S5M								
S5H								
C1L	0.90	0.81	1.80	0.84	5.40	0.86	14.40	0.81
C1M	1.50	0.68	3.00	0.67	9.00	0.68	24.00	0.81
C1H	2.16	0.66	4.32	0.64	12.96	0.67	34.56	0.78
C2L	0.72	0.81	1.80	0.84	5.40	0.93	14.40	0.92
C2M	1.20	0.74	3.00	0.77	9.00	0.68	24.00	0.77
C2H	1.73	0.68	4.32	0.65	12.96	0.66	34.56	0.75
C3L								
C3M								
C3H								
PC1	0.54	0.76	1.08	0.86	3.24	0.88	9.45	0.99
PC2L	0.72	0.84	1.44	0.88	4.32	0.98	12.60	0.94
PC2M	1.20	0.77	2.40	0.81	7.20	0.70	21.00	0.82
PC2H	1.73	0.64	3.46	0.66	10.37	0.68	30.24	0.81
RM1L	0.72	0.84	1.44	0.86	4.32	0.92	12.60	1.01
RM1M	1.20	0.71	2.40	0.81	7.20	0.76	21.00	0.75
RM2L	0.72	0.80	1.44	0.81	4.32	0.91	12.60	0.98
RM2M	1.20	0.71	2.40	0.79	7.20	0.70	21.00	0.73
RM2H	1.73	0.66	3.46	0.65	10.37	0.66	30.24	0.72
URML								
URMM								
MH	0.48	0.91	0.96	1.00	2.88	1.03	8.40	0.92

ANEXO 3: Tabla de función de distribución normal

Z	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
-3.00	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
-2.90	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001
-2.80	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
-2.70	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
-2.60	0.005	0.005	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
-2.50	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
-2.40	0.008	0.008	0.008	0.008	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.006
-2.30	0.011	0.010	0.010	0.010	0.010	0.009	0.009	0.009	0.009	0.008
-2.20	0.014	0.014	0.013	0.013	0.013	0.012	0.012	0.012	0.011	0.011
-2.10	0.018	0.017	0.017	0.017	0.016	0.016	0.015	0.015	0.015	0.014
-2.00	0.023	0.022	0.022	0.021	0.021	0.020	0.020	0.019	0.019	0.018
-1.90	0.029	0.028	0.027	0.027	0.026	0.026	0.025	0.024	0.024	0.023
-1.80	0.036	0.035	0.034	0.034	0.033	0.032	0.031	0.031	0.030	0.029
-1.70	0.045	0.044	0.043	0.042	0.041	0.040	0.039	0.038	0.038	0.037
-1.60	0.055	0.054	0.053	0.052	0.051	0.049	0.048	0.047	0.046	0.046
-1.50	0.067	0.066	0.064	0.063	0.062	0.061	0.059	0.058	0.057	0.056
-1.40	0.081	0.079	0.078	0.076	0.075	0.074	0.072	0.071	0.069	0.068
-1.30	0.097	0.095	0.093	0.092	0.090	0.089	0.087	0.085	0.084	0.082
-1.20	0.115	0.113	0.111	0.109	0.107	0.106	0.104	0.102	0.100	0.099
-1.10	0.136	0.133	0.131	0.129	0.127	0.125	0.123	0.121	0.119	0.117
-1.00	0.159	0.156	0.154	0.152	0.149	0.147	0.145	0.142	0.140	0.138
-0.90	0.184	0.181	0.179	0.176	0.174	0.171	0.169	0.166	0.164	0.161
-0.80	0.212	0.209	0.206	0.203	0.200	0.198	0.195	0.192	0.189	0.187
-0.70	0.242	0.239	0.236	0.233	0.230	0.227	0.224	0.221	0.218	0.215
-0.60	0.274	0.271	0.268	0.264	0.261	0.258	0.255	0.251	0.248	0.245
-0.50	0.309	0.305	0.302	0.298	0.295	0.291	0.288	0.284	0.281	0.278
-0.40	0.345	0.341	0.337	0.334	0.330	0.326	0.323	0.319	0.316	0.312
-0.30	0.382	0.378	0.374	0.371	0.367	0.363	0.359	0.356	0.352	0.348
-0.20	0.421	0.417	0.413	0.409	0.405	0.401	0.397	0.394	0.390	0.386
-0.10	0.460	0.456	0.452	0.448	0.444	0.440	0.436	0.433	0.429	0.425
-0.00	0.500	0.496	0.492	0.488	0.484	0.480	0.476	0.472	0.468	0.464
+0.00	0.500	0.504	0.508	0.512	0.516	0.520	0.524	0.528	0.532	0.536
0.10	0.540	0.544	0.548	0.552	0.556	0.560	0.564	0.567	0.571	0.575
0.20	0.579	0.583	0.587	0.591	0.595	0.599	0.603	0.606	0.610	0.614
0.30	0.618	0.622	0.626	0.629	0.633	0.637	0.641	0.644	0.648	0.652
0.40	0.655	0.659	0.663	0.666	0.670	0.674	0.677	0.681	0.684	0.688

