

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



---

**Análisis de vulnerabilidad sísmica estructural mediante curvas de fragilidad  
del hospital La Caleta de la ciudad de Chimbote-2022**

---

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
CIVIL**

**Autores:**

Bach. Custodio Torres, Pedro Arturo  
Bach. Dominguez Delgado, Daniel German

**Asesor:**

Mag. León Malo, Iván Eliseo  
DNI N.º 41293198  
Código ORCID: 0000-0003-4609-405x

**Nuevo Chimbote – Perú  
2024**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

---

**Análisis de vulnerabilidad sísmica estructural mediante curvas de fragilidad del hospital La Caleta de la ciudad de Chimbote-2022**

---

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**Revisado y Aprobado por:**



---

**Mag. León Malo, Iván Eliseo**

**Asesor**

**DNI: 41293198**

**Código ORCID: 0000-0003-4609-405x**

**Nuevo Chimbote – Perú**

**2024**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

---

**Análisis de vulnerabilidad sísmica estructural mediante curvas de fragilidad del hospital La Caleta de la ciudad de Chimbote-2022**

---

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**Revisado y Aprobado por:**

  
Ms. Villavicencio Gonzáles, Felipe Eleuterio  
PRESIDENTE  
DNI: 26673663  
Código ORCID: 0000-0002-3500-2378

  
Ms. Saavedra Vera, Janet Verónica  
SECRETARIA  
DNI: 32964440  
Código ORCID: 0000-0002-4195-982X

  
Mag. León Malo, Iván Eliseo  
INTEGRANTE  
DNI: 41293198  
Código ORCID:  
0000-0003-4609-405X



**ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS**

A los 01 días del mes de agosto del año dos mil veinticuatro, siendo las 11: 00 horas, en el aula A 10 del POOL DE AULAS, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante T. Resolución N° 392-2024-UNS-CFI, con fecha 05.07.2024, integrado por los siguientes docentes: **Ms. Felipe Eleuterio Villavicencio González** (Presidente), **Ms. Janet Verónica Saavedra Vera** (Secretaria), **Mg. Iván Eliseo León Malo** (Integrante), **Dra. Jenisse del Rocío Fernández Mantilla** (Accesitario) en base a la Resolución Decanal N° 471-2024-UNS-FI se da inicio la sustentación de la Tesis titulada: "ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE - 2022", presentado por los Bachilleres: **DOMINGUEZ DELGADO DANIEL GERMAN** con cód. N° 0201513013 y **CUSTODIO TORRES PEDRO ARTURO** con cód. 0201513051, quienes fueron asesorados por el docente **Mg. Iván Eliseo León Malo** según lo establece la T. Resolución Decanal N° 124 -2022-UNS-FI, de fecha 02.03.2022.

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa, declaran:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
CUSTODIO TORRES PEDRO ARTURO	18	BUENO

Siendo las 12.00 horas del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, 01 agosto de 2024.

Ms. Felipe Eleuterio Villavicencio González  
Presidente

Ms. Janet Verónica Saavedra Vera  
Secretaria

Mg. Iván Eliseo León Malo  
Integrante

ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

A los 01 días del mes de agosto del año dos mil veinticuatro, siendo las 11: 00 horas, en el aula A 10 del POOL DE AULAS, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante T. Resolución N° 392-2024-UNS-CFI, con fecha 05.07.2024, integrado por los siguientes docentes: Ms. Felipe Eleuterio Villavicencio González (Presidente), Ms. Janet Verónica Saavedra Vera (Secretaria), Mg. Iván Eliseo León Malo (Integrante), Dra. Jenisse del Rocío Fernández Mantilla (Accesitario) en base a la Resolución Decanal N° 471-2024-UNS-FI se da inicio la sustentación de la Tesis titulada: "ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE - 2022", presentado por los Bachilleres: DOMINGUEZ DELGADO DANIEL GERMAN con cód. N° 0201513013 y CUSTODIO TORRES PEDRO ARTURO con cód. 0201513051, quienes fueron asesorados por el docente Mg. Iván Eliseo León Malo según lo establece la T. Resolución Decanal N° 124 -2022-UNS-FI, de fecha 02.03.2022.

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa, declaran:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
DOMINGUEZ DELGADO DANIEL GERMAN	17	BUENO

Siendo las 12.00 horas del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, 01 agosto de 2024.



Ms. Felipe Eleuterio Villavicencio González  
Presidente



Ms. Janet Verónica Saavedra Vera  
Secretaria



Mg. Iván Eliseo León Malo  
Integrante



## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: PEDRO ARTURO CUSTODIO TORRES  
Título del ejercicio: Análisis de vulnerabilidad sísmica estructural mediante cur...  
Título de la entrega: Análisis de vulnerabilidad sísmica estructural mediante cur...  
Nombre del archivo: TESIS.pdf  
Tamaño del archivo: 10.53M  
Total páginas: 271  
Total de palabras: 44,228  
Total de caracteres: 223,894  
Fecha de entrega: 12-ago.-2024 10:51p. m. (UTC-0500)  
Identificador de la entre... 2431361020

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



Análisis de vulnerabilidad sísmica estructural mediante curvas de fragilidad  
del hospital La Caleta de la ciudad de Chimbote-2022

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
CIVIL

**Autores:**

Bach. Custodio Torres, Pedro Arturo  
Bach. Domínguez Delgado, Daniel German

**Asesor:**

Mag. León Malo, Iván Eliseo  
DNI N.º 41293198  
Código ORCID: 0000-0003-4609-405x

Nuevo Chimbote - Perú  
2024

# Análisis de vulnerabilidad sísmica estructural mediante curvas de fragilidad del hospital La Caleta de la ciudad de Chimbote-2022

## INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

20%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	11%
2	<a href="https://repositorio.uns.edu.pe">repositorio.uns.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
3	<a href="https://zaloamati.azc.uam.mx">zaloamati.azc.uam.mx</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="https://upc.aws.openrepository.com">upc.aws.openrepository.com</a> Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Pontificia Universidad Católica del Perú Trabajo del estudiante	<1%
6	<a href="https://dspace.unitru.edu.pe">dspace.unitru.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
7	<a href="https://www.slideshare.net">www.slideshare.net</a> Fuente de Internet	<1%
8	<a href="https://bibdigital.epn.edu.ec">bibdigital.epn.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1%

## DEDICATORIA

A Dios, por proveerme de sabiduría  
para lograr mis propósitos.

A mi madre, María Elena Torres Rubio, eres un ángel  
de amor y bondad que nunca morirá, tu recuerdo  
está conmigo cada día de mi vida.

A mi padre, Pedro Custodio Laines, por sus enseñanzas  
y por mostrarme el camino hacia la superación.

A Zarela Chávez Melo, por concederme descubrir  
más sobre la vida a su lado.

A mis hermanos, pueden no siempre estar a mi lado,  
pero siempre están en mi corazón.

**Custodio Torres, Pedro Arturo**

## DEDICATORIA

Primeramente, quiero agradecer a Dios por siempre iluminarme y ayudar a los míos a no estar desamparados y así lograr nuestros objetivos gozando siempre de salud.

Dedico con todo mi corazón mi tesis a mi madre, pues sin ella lograrlo se me hubiera complicado mucho más; Tu bendición a diario a lo largo de mi vida me protege y me lleva por el camino del bien.

A mi hijo, que viene en camino pues todo logro que obtenga será por y para esta bendición que viene a acompañarme a este mundo y que de ahora en adelante se convertirá en mi mayor inspiración para salir adelante.

A mis hermanos, por todas las vivencias que hemos pasado desde que éramos pequeños y por haberme acompañado siempre, esperando que me tomen como ejemplo para su futuro como profesionales.

Gracias a mi Papá por todo lo bueno que he copiado de él, por haberme inculcado buenas enseñanzas y costumbres cuando era niño que ahora se ven reflejadas en mi personalidad.

A mis dos madres (mami Flor y mi tía Madaleyne), por haberme ayudado siempre y no permitir que yo me quede sin estudios; gracias infinitas porque a pesar de no ser su hijo ellas siempre se preocuparon por mí y mis hermanos.

Por ultimo y no menos importante gracias a la madre de mi hijo; por haberme acompañado en este proceso y siempre haber estado para mí incondicionalmente, apoyándome siempre en lo que podía.

Gracias por todo y este primer logro es por y para ustedes...

**Dominguez Delgado, Daniel German**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a Dios desde lo más profundo de nuestros corazones por permitirnos dar un paso importante en nuestra vida profesional.

Agradecemos al Mag. Iván Eliseo León Malo, por su orientación y soporte durante todo el proceso de realización de nuestro proyecto de tesis.

A nuestros docentes universitarios por otorgarnos los conocimientos necesarios, y sus experiencias propias que nos serán muy útiles en nuestra vida profesional.

**Los autores.**

## Índice General

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTOS .....	iv
Resumen.....	x
Abstract.....	xi
I. Introducción.....	13
1.1. Descripción del Problema .....	13
1.2. Formulación del Problema .....	15
1.3. Objetivos .....	17
1.4. Formulación de la Hipótesis.....	18
1.5. Justificación e Importancia.....	18
1.6. Limitaciones del Trabajo.....	19
II. Marco Teórico .....	21
2.1. Antecedentes .....	21
2.2. Marco Conceptual .....	24
2.2.1. Establecimientos de Salud .....	25
2.2.2. Vulnerabilidad Sísmica.....	26
2.2.3. Caracterización de la Vulnerabilidad Sísmica .....	27
2.2.4. Clasificación de Grados de Daño.....	29
2.2.4.1. Clasificación EMS-98.....	29
2.2.4.2. Clasificación ATC-13.....	32
2.2.4.3. Clasificación EERI. ....	32
2.2.4.4. Clasificación HAZUS.....	33
2.2.4.5. Clasificación RISK-UE. ....	34
2.2.5. Cuantificación de la Vulnerabilidad Sísmica.....	35
2.2.5.1. Curvas de Fragilidad.....	35
2.2.5.2. Matrices de Probabilidad de Daño.....	35
2.2.6. Metodologías y Técnicas de Evaluación de Vulnerabilidad Sísmica .....	36
2.2.6.1. Métodos Empíricos.....	37
2.2.6.2. Métodos Experimentales. ....	37
2.2.6.3. Métodos Analíticos.....	37

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD  
DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

---

2.2.7.	Métodos para Generar Curvas de Fragilidad .....	43
2.2.7.1.	Métodos Basados en Observaciones de Campo. ....	45
2.2.7.2.	Métodos Experimentales. ....	45
2.2.7.3.	Métodos a Partir de la Opinión de Expertos.....	45
2.2.7.4.	Métodos Analíticos.....	46
2.2.8.	Definición de Términos .....	47
III.	Metodología.....	50
3.1.	Método de Investigación .....	50
3.2.	Unidad de Análisis .....	51
3.3.	Población y Muestra.....	51
3.3.1.	Población.....	51
3.3.2.	Muestra .....	52
3.4.	Variables de Estudio.....	52
3.4.1.	Variable Independiente .....	52
3.4.2.	Variable Dependiente.....	52
3.4.3.	Matriz de Consistencia.....	53
3.4.4.	Operacionalización de Variables .....	54
3.5.	Diseño de Contrastación de Hipótesis.....	55
3.6.	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos .....	55
3.7.	Procedimiento de Recolección de Datos .....	56
3.8.	Técnicas de Análisis de Resultados .....	58
IV.	Resultados y Discusión.....	60
4.1.	Análisis e Interpretación de Resultados .....	60
4.2.	Discusión.....	89
V.	Conclusiones y Recomendaciones .....	93
5.1.	Conclusiones .....	93
5.2.	Recomendaciones.....	97
VI.	Referencias Bibliográficas.....	99
	Apéndices .....	107
	Anexos .....	240

**Índice de Tablas**

Tabla 1. Clasificación de grados de daño según EMS-98 .....	29
Tabla 2. Clasificación de estados de daño según ATC-13.....	32
Tabla 3. Clasificación de estados de daño según EERI .....	33
Tabla 4. Clasificación de estados de daño según HAZUS.....	34
Tabla 5. Clasificación de grados de daño según RISK-UE .....	34
Tabla 6. Estados de daño para los elementos estructurales .....	42
Tabla 7. Población de estudio .....	51
Tabla 8. Muestra de estudio .....	52
Tabla 9. Matriz de consistencia .....	53
Tabla 10. Operacionalización de variables .....	54
Tabla 11. Resultados del desempeño sísmico, módulo de emergencia .....	60
Tabla 12. Objetivo de desempeño sísmico para el módulo de emergencia .....	62
Tabla 13. Resultados del desempeño sísmico, módulo de anestesiología .....	62
Tabla 14. Objetivo de desempeño sísmico para el módulo de anestesiología .....	64
Tabla 15. Resultados del desempeño sísmico, módulo de cirugía.....	64
Tabla 16. Objetivo de desempeño sísmico para el módulo de cirugía.....	66
Tabla 17. Resultados del desempeño sísmico, módulo de medicina general .....	66
Tabla 18. Objetivo de desempeño sísmico para el módulo de medicina general .....	68
Tabla 19. Parámetros clave para elaborar curvas de fragilidad, módulo de emergencia.....	69
Tabla 20. Parámetros clave para elaborar curvas de fragilidad, módulo de anestesiología.....	72
Tabla 21. Parámetros clave para elaborar curvas de fragilidad, módulo de cirugía .....	75
Tabla 22. Parámetros clave para elaborar curvas de fragilidad, módulo de M. general .....	79
Tabla 23. Probabilidad de que ocurra un “ds” y daño global esperado, módulo de emergencia...83	
Tabla 24. Probabilidad de que ocurra un “ds” y daño global esperado, módulo de anestesiología .....	84
Tabla 25. Probabilidad de que ocurra un “ds” y daño global esperado, módulo de cirugía .....	85
Tabla 26. Probabilidad de que ocurra un “ds” y daño global esperado, módulo de M. general....87	

### Índice de Figuras

Figura 1. Descripción del daño para edificios de albañilería.....	30
Figura 2. Descripción del daño para edificios de concreto armado.....	31
Figura 3. Técnicas de vulnerabilidad sísmica en edificios .....	36
Figura 4. Procedimiento de estimación del daño RISK-UE .....	40
Figura 5. Procedimiento de estimación de daños.....	43
Figura 6. Curvas de fragilidad para 4 estados de daño .....	44
Figura 7. Guía de recolección de datos .....	56
Figura 8. Esquema de procedimiento para procesamiento de datos .....	57
Figura 9. Desempeño según Zavala et al. (2019) en la orientación “X”, módulo de emergencia .	61
Figura 10. Desempeño según SEAOC VISION 2000 en la orientación “Y”, módulo de emergencia .....	61
Figura 11. Desempeño según Zavala et al. (2019) en la orientación “X”, módulo de anestesiología.....	63
Figura 12. Desempeño según Zavala et al. (2019) en la orientación “Y”, módulo de anestesiología.....	63
Figura 13. Desempeño según Zavala et al. (2019) en la orientación “X”, módulo de cirugía .....	65
Figura 14. Desempeño según Zavala et al. (2019) en la orientación “Y”, módulo de cirugía .....	65
Figura 15. Desempeño según SEAOC VISION 2000 en la orientación “X”, módulo de medicina general.....	67
Figura 16. Desempeño según Zavala et al. (2019) en la orientación “Y”, módulo de medicina general.....	67
Figura 17. Curvas de fragilidad, orientación “X” módulo de emergencia.....	69
Figura 18. Histograma de probabilidad de daño, orientación “X” módulo de emergencia .....	70
Figura 19. Curvas de fragilidad, orientación “Y” módulo de emergencia.....	71
Figura 20. Histograma de probabilidad de daño, orientación “Y” módulo de emergencia .....	71
Figura 21. Curvas de fragilidad, orientación “X” módulo de anestesiología .....	72
Figura 22. Histograma de probabilidad de daño, orientación “X” módulo de anestesiología.....	73
Figura 23. Curvas de fragilidad, orientación “Y” módulo de anestesiología .....	74
Figura 24. Histograma de probabilidad de daño, orientación “Y” módulo de anestesiología.....	74
Figura 25. Curvas de fragilidad, orientación “X” módulo de cirugía.....	75

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD  
DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

---

Figura 26. Histograma de probabilidad de daño, orientación "X" módulo de cirugía .....	76
Figura 27. Curvas de fragilidad, orientación "Y" módulo de cirugía .....	77
Figura 28. Histograma de probabilidad de daño, orientación "Y" módulo de cirugía .....	78
Figura 29. Curvas de fragilidad, orientación "X" módulo de M. general.....	79
Figura 30. Histograma de probabilidad de daño, orientación "X" módulo de M. general .....	80
Figura 31. Curvas de fragilidad, orientación "Y" módulo de M. general.....	81
Figura 32. Histograma de probabilidad de daño, orientación "Y" módulo de M. general .....	82
Figura 33. Representación gráfica del daño global esperado, módulo de emergencia .....	83
Figura 34. Representación gráfica del daño global esperado, módulo de anestesiología.....	85
Figura 35. Representación gráfica del daño global esperado, módulo de cirugía .....	86
Figura 36. Representación gráfica del daño global esperado, módulo de M. general .....	87

### **Resumen**

En el presente trabajo de investigación se desarrollaron curvas de fragilidad para evaluar la vulnerabilidad sísmica estructural del hospital “La Caleta” ubicado en el distrito de Chimbote, en el cual se buscó ser claro, coherente, organizado y completo. Estas curvas de fragilidad propuestas están basadas en la descripción de datos recolectados por los módulos de los departamentos de emergencia, de anestesiología y centro quirúrgico, de internados de cirugía, y de pediatría y medicina general. Estos datos clasificaron a estos módulos de acuerdo a su tipología estructural, zonificación, categoría y tipo de suelo.

En la investigación se aplicó la metodología desarrollada por el Proyecto RISK-UE. Esta metodología se centra esencialmente en la elaboración del análisis estático no lineal “PUSHOVER”. Una vez desarrollado el análisis, se obtiene la curva de capacidad, la cual se transforma en un espectro de capacidad y se definen en ella los umbrales de daño, para posteriormente generar estas curvas de fragilidad y obtener la probabilidad de excedencia de un determinado estado de daño.

Por último, de los resultados se determinó que al emplear curvas de fragilidad mediante la propuesta RISK-UE, los módulos evaluados del hospital “La Caleta” presentan un grado de vulnerabilidad sísmica estructural de daños “extensivos y completos” frente a un movimiento sísmico raro (10% en 50 años).

**Palabras clave:** vulnerabilidad sísmica, curvas de fragilidad, análisis pushover, curva de capacidad, umbrales de daño.

### **Abstract**

In the present research work, fragility curves were developed to evaluate the structural seismic vulnerability of the “La Caleta” hospital located in the district of Chimbote, in which it sought to be clear, coherent, organized and complete. These proposed frailty curves are based on the description of data collected by the modules of the emergency departments, anesthesiology and surgical center, surgical internships, and pediatrics and general medicine. These data classified these modules according to their structural typology, zoning, category and soil type.

The methodology developed by the RISK-UE Project was applied in the research. This methodology essentially focuses on the development of non-linear static analysis “PUSHOVER”. Once the analysis has been developed, the capacity curve is obtained, which is transformed into a capacity spectrum and the damage thresholds are defined in it, to subsequently generate these fragility curves and obtain the probability of exceeding a certain state of damage.

Finally, from the results it was determined that when using fragility curves through the RISK-UE proposal, the evaluated modules of the “La Caleta” hospital present a degree of structural seismic vulnerability of “extensive and complete” damage in the face of a rare seismic movement (10% in 50 years).

**Keywords:** seismic vulnerability, fragility curves, pushover analysis, capacity curve, damage thresholds.

# Capítulo I: Introducción

## **I. Introducción**

### **1.1. Descripción del Problema**

En el mundo entero, las pérdidas a causa de los terremotos en los siglos XX y XXI generaron aproximadamente 1.8 trillones de dólares en daños generales, esto se debe a un deficiente comportamiento de las estructuras, las cuales sufren daños e incluso llegan hasta colapsar. Estos daños registrados ponen en evidencia la vulnerabilidad sísmica que presentan estas construcciones comunes en las ciudades (Vielma, 2014).

La comunidad científica, allá por los años 70 buscaba la manera de conocer el origen de los grandes sismos, uno de los primeros objetivos alcanzados fue el Mapa de Sismicidad Mundial, con lo cual, se pudo identificar qué áreas o zonas presentan una mayor actividad sísmica. En este mapa se puede ubicar el borde occidental de América del Sur, en donde la tierra libera más del 80% de su energía acumulada en su interior, ocasionando así grandes sismos. Esta región hoy es conocida como el “Cinturón de Fuego del Pacífico” (Tavera, 2014).

El Consejo de Tecnología Aplicada (ATC) en su reporte ATC-13 (1985), reflejó sus primeros resultados para determinar la vulnerabilidad sísmica, esto se basó en la opinión de expertos, en donde se determina la probabilidad de daño sísmico para distintas tipologías de edificaciones. En reportes posteriores determinan la vulnerabilidad sísmica empleando curvas de fragilidad (Alas & Grijalva, 2018).

Ruiz & Vasquez (2020) nos comentan que el terremoto registrado en el País de Guatemala en el año 1976, es considerado como uno de los terremotos más devastadores, dejando así un saldo alrededor de 23,000 personas muertas, 77,000 personas heridas y casi un 20 % de la población guatemalteca con viviendas dañadas. Este desastre natural generó que el pueblo guatemalteco ponga en marcha su Política Nacional para la Reducción de Riesgo a Desastres – PNRRD, que

tiene como propósito principal el aumento de la resiliencia y reducir la vulnerabilidad en la comunidad guatemalteca.

Los sismos de Valdivia (1960) y Antofagasta (1995) registrados en el país vecino, Chile, dejaron como enseñanza a su población el procedimiento para reducir la vulnerabilidad sísmica de sus edificaciones sobre la base de una normativa adecuada de diseño, un proceso de educación a la comunidad chilena y la capacitación de sus autoridades. Los sismos de Concepción (2010) e Iquique (2014) evidenciaron resultados positivos de estas acciones durante dichos eventos sísmicos (Tavera, 2014).

En el Perú, según Sánchez (2017), precisamente el terremoto de Nazca de 1996, causó grandes pérdidas en el sur del país, dejando un saldo de más de 90,000 personas damnificadas, alrededor de 5,000 viviendas no habitables y más de 10,000 viviendas que presentaron algún tipo de daño. Mientras que, el terremoto de Arequipa del 2001 al sur del Perú ocasionó la muerte de 83 personas, alrededor de 220,000 personas damnificadas, más de 37,000 viviendas dañadas y cerca de 22,000 viviendas colapsadas. De igual manera en Pisco, el terremoto de agosto del 2007 originó grandes pérdidas, como resultado dejó más de 431,000 personas damnificadas.

Así mismo, Sánchez (2017) nos comenta que el terremoto de Chimbote de 1970 considerado uno de los más destructivos en nuestro país, tuvo como consecuencia la extinción total del pueblo de Yungay y dejó un saldo de casi 70,000 personas muertas.

Es así que, Chavez & Lingan (2019) consideran que las edificaciones en el Perú ante un evento sísmico, presentarían daños y podrían llegar hasta colapsar, debido a que muchas de estas edificaciones no están construidas bajo una normativa sismorresistente y presentan varios años de antigüedad. Por lo cual, es importante realizar estudios para determinar la vulnerabilidad tanto estructural como no estructural de estas nuestras edificaciones. Ruiz & Vasquez (2020) nos

mencionan que, en el Perú distintas entidades y organismos del estado peruano, un claro ejemplo es el MINAM, ha ejecutado estudios de vulnerabilidad sísmica, entre los cuales propuso ejecutar el mapa de vulnerabilidad física del Perú, este mapa sirve para prevenir y mitigar de manera integral los desastres.

Por otro lado, cabe señalar que, los establecimientos de salud están considerados como edificaciones esenciales de acuerdo a la Norma Técnica Peruana E-030, para lo cual es vital elaborar estudios de vulnerabilidad sísmica a este tipo de edificaciones, debido a que el Perú se encuentra ubicado en una zona de alta sismicidad. Así mismo, esta normativa peruana nos exige que estas edificaciones no deberán verse interrumpidas después de que ocurra un sismo severo, ya que estas servirán como refugio (Cartagena & Del Aguila, 2018).

## **1.2. Formulación del Problema**

En el mundo entero diversos estudios e investigaciones demuestran que no se puede predecir con certeza el momento, lugar o la magnitud con la que pueda ocurrir un sismo de gran importancia. Para lo cual, nace la necesidad de elaborar una buena planificación de las ciudades, y entender cómo la vulnerabilidad de las estructuras influye ante una amenaza sísmica produciendo grandes pérdidas humanas como materiales (Ruiz & Vásquez, 2020).

En América Latina y el Caribe a causa de terremotos registrados entre los años 1981 y 1996, un total de 93 hospitales salieron de operación al igual que 538 unidades de salud, a pesar de que existía un consenso generalizado respecto a la importancia que los hospitales tienen en la vida de las personas (Cartagena & Del Águila, 2018). De la misma manera Safina (2003) nos comenta que, durante las dos últimas décadas solo en América Latina, a casusa de terremotos, más de 100 hospitales han sido perjudicados con diferentes grados de daño, que van desde daños que

redujeron su funcionalidad, hasta daños extremos que provocaron su colapso total registrando grandes pérdidas humanas.

En los países de México y Chile, se ejecutaron estudios y se aplicaron técnicas de mitigación necesarios para abordar la vulnerabilidad de las estructuras físicas de los centros de salud, debido a que los terremotos registrados en el año 1985 mostraron a ambos países como bastaba solo de un minuto de agitación de la tierra para lograr hacer colapsar costosas inversiones hospitalarias (Cartagena & Del Águila 2018).

En el Perú, las zonas más afectadas son las costeras, debido a las condiciones de sitio que se presentan, lo cual ha ocasionado a lo largo de la historia eventos sísmicos de gran magnitud, originando considerables pérdidas humanas como económicas. Esta zona experimenta el fenómeno de subducción de la placa de Nazca y la placa de Sur América, zona que es conocida como el Cinturón de Fuego del Pacífico (INDECI, 2018).

Salas (1997) nos comenta que es vital evaluar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones existentes de los hospitales y en general todos los establecimientos de salud, dado que están expuestos a sufrir daños importantes a consecuencia de eventos sísmicos de gran magnitud. Esta intervención tiene como finalidad identificar debilidades que puedan presentarse en la estructura y poder intervenirlas o reestructurarlas de ser necesarias.

Las pérdidas económicas y sociales a causa de los terremotos se deben en gran parte al mal comportamiento sísmico de las edificaciones existentes, de las cuales muchas de estas han sido ejecutadas sin ninguna normativa, a otras se le modificaron su destino de uso sin considerar una evaluación previa y otras muchas sufrieron daños ocasionados por terremotos pasados. Por todo lo antes mencionado, resulta más difícil elaborar una evaluación detallada del comportamiento de estas edificaciones existentes frente a futuros eventos sísmicos, el cual requiere de estudios más

complejos y ser tratados por especialistas, para poder obtener resultados más fiables (Caicedo et al., 1994).

Actualmente en el hospital “La Caleta”, categorizado con nivel II-2 y ubicado en el distrito de Chimbote, hay una gran cantidad de módulos de albañilería confinada de baja altura, las cuales fueron construyéndose a partir del año 1945 (Hospital La Caleta, s.f.). Estos módulos generan inquietudes y cuestionamientos sobre su desempeño estructural ante un evento sísmico, los cuales pueden verse afectados con daños severos o llegar a colapsar, y es en este punto donde se encuentra la relevancia de realizar una evaluación de vulnerabilidad sísmica estructural del hospital “La Caleta”.

Por ello nos planteamos la siguiente interrogante: ¿Cuál es el grado de vulnerabilidad sísmica estructural mediante curvas de fragilidad de los módulos de emergencia, anestesiología, cirugía y medicina general del hospital “La Caleta” de la ciudad de Chimbote – 2022?

### **1.3. Objetivos**

#### ***1.3.1. Objetivo General***

Determinar el grado de vulnerabilidad sísmica estructural mediante curvas de fragilidad de los módulos de emergencia, anestesiología, cirugía y medicina general del hospital “La Caleta” de la ciudad de Chimbote – 2022.

#### ***1.3.2. Objetivos Específicos***

Verificar si los módulos de emergencia, anestesiología, cirugía y medicina general del hospital “La Caleta” cumplen con el nivel de desempeño sísmico requerido para una edificación esencial, Chimbote – 2022.

Estimar los estados de daño límite específicos de los módulos de emergencia, anestesiología, cirugía y medicina general calculadas mediante curvas de fragilidad del hospital “La Caleta” de la ciudad de Chimbote – 2022.

Calcular el daño global esperado de los módulos de emergencia, anestesiología, cirugía y medicina general del hospital “La Caleta” de la ciudad de Chimbote – 2022.

#### **1.4. Formulación de la Hipótesis**

Al realizar el análisis de vulnerabilidad sísmica estructural mediante curvas de fragilidad de los módulos de emergencia, anestesiología, cirugía y medicina general del hospital “La Caleta” de la ciudad de Chimbote – 2022, el grado de daño esperado será el de daños extensivos.

#### **1.5. Justificación e Importancia**

La justificación e importancia del trabajo se fundamenta en la necesidad de evaluar la vulnerabilidad sísmica estructural del hospital “La Caleta” del distrito de Chimbote a través de curvas de fragilidad. A continuación, se explican los argumentos que respaldan el relieve del presente trabajo:

El distrito de Chimbote se encuentra situado en una zona sísmica activa, la cual conlleva a presentar una alta probabilidad de acontecimientos sísmicos.

La vulnerabilidad sísmica estructural del hospital “La Caleta” puede tener consecuencias importantes, las cuales pueden afectar la capacidad de respuesta del establecimiento ante un evento sísmico, poniendo en peligro la vida de sus ocupantes.

Las curvas de fragilidad representan un procedimiento detallado para evaluar la vulnerabilidad sísmica estructural del hospital “La Caleta”, este método permite comprender de manera minuciosa la respuesta estructural, bajo diferentes niveles de movimiento sísmico.

El trabajo contribuyó directamente a identificar las áreas más vulnerables del hospital “La Caleta”, lo cual ayudará a investigadores, autoridades, entre otros a implementar medidas de mitigación adecuadas para la continuidad operativa del hospital frente a un evento sísmico.

La salud del pueblo chimbotano se ve directamente afectada por la capacidad de respuesta del hospital “La Caleta” para funcionar durante y después de un evento sísmico importante, con lo cual esta investigación tiene un efecto directo en la seguridad de la salud del pueblo chimbotano, debido a que se buscó determinar la funcionalidad o no funcionalidad del establecimiento bajo condiciones de emergencia.

Finalmente, el análisis de vulnerabilidad sísmica estructural del hospital “La Caleta” a través de curvas de fragilidad no solo es decisivo para la seguridad de la infraestructura del establecimiento, sino que también protegerá la salud y bienestar de la población chimbotana.

#### **1.6. Limitaciones del Trabajo**

Debido a la poca información existente en nuestro país sobre el desarrollo de curvas de fragilidad, el presente trabajo de investigación se basó en documentos internacionales.

Por la complejidad del proyecto y la disponibilidad de tiempo, se delimitó a no realizar un análisis de interacción suelo-estructura.

Por otro lado, el costo y la complejidad de realizar un estudio de licuefacción de suelos, quedó limitado a ser considerado para el presente trabajo de investigación.



# Capítulo II: Marco Teórico

## **II. Marco Teórico**

### **2.1. Antecedentes**

#### **2.1.1. Internacionales**

**Baylon et al. (2022)** en su artículo titulado “Desarrollo de curvas de fragilidad para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica: el caso del edificio de la columna vertebral del Hospital General de Filipinas”, tuvieron como objetivo de estudio evaluar la sensibilidad del edificio de la columna vertebral del PGH a la actividad sísmica. Los autores emplearon técnicas analíticas como el análisis “pushover” y el método del espectro de capacidad. A partir de los resultados, los autores concluyeron que el edificio de la columna vertebral del PGH sufriría “daños leves” si se enfrentara a un terremoto de 0,258 g de la PGA; no obstante, un “daño moderado” en el edificio resultaría en un terremoto PGA de 0,536 g; entretanto, el edificio sufriría “daños severos” en caso de un terremoto con un PGA de no más de 0,566 g; finalmente, el edificio sufriría “daños por colapso” durante un PGA de no más de 0,583 g. Como último punto, los autores recomiendan a los futuros investigadores implementar estos estudios sobre otras estructuras como es el caso de escuelas, edificios residenciales e industriales, puentes, entre otros; con la finalidad de comparar las curvas de fragilidad de estas estructuras, ya que tienen un uso distinto.

**Lara & Martínez (2020)** en su tesis titulada “Análisis de vulnerabilidad sísmica y propuesta de reforzamiento estructural del Hospital San Luis de Otavalo”, desarrollada en Ecuador y presentada en la Universidad de las Fuerzas Armadas, tuvieron como objetivo determinar la vulnerabilidad sísmica del “Hospital San Luis de Otavalo”. Los autores emplearon la metodología de investigación del tipo cuantitativo; con nivel descriptivo y diseño no experimental, dado que las variables no son manipuladas. A partir de los resultados, los autores concluyeron que el hospital San Luis de Otavalo presenta “vulnerabilidad alta” frente a la presencia de acciones sísmicas,

mediante el análisis desarrollado por la metodología FEMA P-154 y la metodología “Benedetti y Petrini”. Como último punto, los autores recomiendan aplicar este tipo de metodologías en las estructuras hospitalarias existentes, con la finalidad de evaluar su nivel de vulnerabilidad, así pues, esto servirá para el diseño de programas de mitigación de riesgo sísmico.

**Castillo (2019)** en su master tesis titulada “Vulnerabilidad sísmica del edificio principal del Hospital Eugenio Espejo” presentada en la Escuela Politécnica Nacional, en Quito – Ecuador, tuvo como principal objetivo realizar una revisión del diseño estructural del edificio principal del hospital de Especialidades Eugenio Espejo, utilizando la norma CPE INEN 5. Código Ecuatoriano de la Construcción (C.E.C), Ecuador, Quito, 2011, con el fin de identificar si existe o no vulnerabilidad estructural. El autor empleó la metodología de investigación del tipo cuantitativo; con un nivel descriptivo, ya que se describieron de forma detallada y objetiva las características actuales del hospital Eugenio Espejo. A partir de los resultados, el autor concluyó que las conexiones de la estructura del hospital no cumplen con los requerimientos del código ACI 352RS-02 y las recomendaciones para el diseño de conexiones (viga-columna); como consecuencia la estructura actual del hospital Eugenio Espejo es altamente vulnerable. Como último punto, el autor recomienda que, para el diseño de nuevas estructuras hospitalarias, se limite el uso de pórticos de concreto armado como una estructura resistente ante cargas laterales, para lo cual una mejor opción sería utilizar sistemas duales o muros de corte, así mismo, recomienda continuar con este tipo de estudios de vulnerabilidad estructural en hospitales, puesto que cumplen una función vital antes, durante y después de un evento sísmico importante.

### **2.1.2. Nacionales**

**Aguilar & Gonzales (2020)** en su tesis titulada “Funciones de fragilidad analíticas mediante análisis dinámico incremental para estimar la vulnerabilidad sísmica del pabellón frontal

del Hospital Casimiro Ulloa” presentada en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, tuvieron como principal objetivo desarrollar funciones de fragilidad para estimar la vulnerabilidad sísmica del Pabellón Frontal del hospital Casimiro Ulloa. Los autores emplearon la metodología de investigación del nivel exploratorio; con un diseño cuantitativo analítico, debido a que les permitió recopilar información del edificio esencial y una vez modelado procesar los resultados obtenidos del análisis dinámico incremental. A partir de los resultados, los autores concluyeron que; para la componente E-W, con un PGA de 0.45g (sismo de diseño), las curvas de fragilidad reportadas para el primer entre piso presentan una probabilidad de 49.61% de colapso, 4.68% de prevención a colapso, 8.64 % de seguridad de vida, 26.67% de ocupación inmediata y 10% de operacional; de la misma manera, para la componente N-S, se obtuvo un 74.75% de colapso, 9.49% de prevención a colapso, 5.32% de seguridad de vida, 10.22% de ocupación inmediata y 0.23% de operacional. Como último punto, los autores recomiendan realizar estudios semejantes, para estructuras hospitalarias construidas antes de 1970, del mismo modo, ampliar estos estudios tomando como soporte las funciones de fragilidad para estimar pérdidas económicas y humanas ante un posible colapso total de estas estructuras hospitalarias.

**Díaz & Díaz (2020)** en su tesis titulada “Evaluación de desempeño sísmico del hospital Regional de Lambayeque, ubicado en la provincia de Chiclayo, departamento Lambayeque” presentada en la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, tuvieron como principal objetivo verificar si el bloque C del hospital Regional de Lambayeque cumple con el nivel de desempeño sísmico requerido para una edificación esencial. Los autores emplearon la metodología de investigación del tipo descriptivo y explicativo; con un diseño no experimental transectorial o transversal, debido a que su propósito fue describir las variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado. A partir de los resultados, los autores concluyeron que el

Bloque C del hospital Regional de Lambayeque no cumple con los niveles de desempeño sísmico requeridos para una edificación esencial. Como último punto, los autores recomiendan realizar la validación de sus resultados mediante un análisis dinámico no lineal, el cual generará un mayor nivel de detalle y a su vez otorgará una visión más amplia de los resultados.

**Pérez (2020)** en su tesis titulada “Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica del Hospital de la Provincia de Tarma con Fines de Reforzamiento” presentada en la Universidad Católica Sedes Sapientiae, tuvo como objetivo determinar cuánto influye la vulnerabilidad sísmica en la estructura del hospital de la provincia de Tarma. El autor empleó la metodología de investigación del tipo cuantitativo y explicativo; con un nivel descriptivo y un diseño no experimental, dado que las variables no son manipuladas. A partir de los resultados, el autor concluyó que a través de la comparación entre los resultados obtenidos por el método de Hirosawa y el análisis con el software Robot, el hospital Félix Mayorca Soto de la provincia de Tarma presenta vulnerabilidad sísmica media. Como último punto, el autor recomienda que los hospitales con una elevada vida de servicio, como es el caso del hospital Félix Mayorca Soto inaugurado en octubre de 1956, deben de contar con un estudio de vulnerabilidad sísmica, con el propósito de conocer su nivel de vulnerabilidad en su estado actual, lo cual permitirá tomar medidas de precaución ante un evento sísmico.

## **2.2. Marco Conceptual**

Para el desarrollo del marco conceptual se proporcionó una estructura teórica sólida, la cual inició con el entendimiento sobre lo referido a establecimientos de salud. Luego, se contextualiza el problema de la investigación dando a conocer los aspectos más importantes relacionados con las variables de estudio, las cuales son “vulnerabilidad sísmica estructural” y “curvas de fragilidad”. Finalmente, se orienta metodologías para cuantificar la vulnerabilidad sísmica estructural del

hospital “La Caleta”, facilitando el análisis de los resultados, lo cual nos permitió poder alcanzar nuestros objetivos planteados en el presente trabajo de investigación.

### ***2.2.1. Establecimientos de Salud***

Según la Norma Técnica Peruana E-030, los establecimientos de salud “hospitales”, pertenecen a la categoría de edificaciones esenciales “A1”, lo cual nos indica que estas edificaciones deberán permanecer operativas, dado que estas servirán de refugio después de ocurrido un desastre (MVCS, 2018).

Considerando a Campos (2022), nos comenta que los establecimientos de salud tienen como propósito fundamental proporcionar atención de salud a las ciudades, así mismo nos menciona que un establecimiento de salud luego de un desastre natural, para que sea seguro y siga operando, se deben examinar ciertas características que puedan hacerlo notablemente vulnerable, entre las cuales tenemos:

- Operan las 24 horas del día de manera constante.
- Hospedan un público variado.
- Contiene materiales peligrosos.
- Dependen de servicios básicos para funcionar.
- Disponen de equipamientos muy costosos que resultan fundamentales para salvar la vida de las personas.

En pocas palabras, evaluar la vulnerabilidad sísmica estructural del hospital “La Caleta” del distrito de Chimbote es fundamental para garantizar la seguridad de la población chimbotana dentro de sus instalaciones, así como mantener la continuidad de la atención médica y proteger los recursos médicos críticos.

### **2.2.2. Vulnerabilidad Sísmica**

Según Salazar (2018), la vulnerabilidad sísmica es la falta de resistencia de los edificios frente a los sismos, como resultado estos sufren daños, así pues, nos comenta que esta vulnerabilidad está muy ligada a las características físicas del diseño, calidad de los materiales y la mano de obra en la ejecución del proceso constructivo.

Por otro lado, Barbat (1998) nos explica que, la vulnerabilidad sísmica de un edificio, conjunto de edificios o de una localidad completa, es su predisposición intrínseca a sufrir daños frente a los eventos sísmicos importantes, así mismo, nos resalta que esta vulnerabilidad está muy asociada a las características físicas y estructurales del diseño de los edificios.

Desde el punto de vista de Safina (2003), nos diferencia tres tipos de vulnerabilidad frente a un evento sísmico, las cuales van a depender de las características de uso del edificio. Por lo tanto, estos tipos de vulnerabilidad sísmica tendrán una mayor y menor importancia y son definidas en términos de: vulnerabilidad estructural, no estructural y funcional.

**2.2.2.1. Vulnerabilidad Estructural.** Para Safina (2003), la vulnerabilidad estructural es el debilitamiento físico de los elementos que integran el núcleo resistente de un edificio. Además, nos explica que el nivel de daño de un edificio obedece al comportamiento estructural, tanto como un todo “global”, como en sus partes individuales “local”. Lo cual está relacionado directamente con el diseño del edificio, características de los elementos estructurales, cargas actuantes y calidad de los materiales.

**2.2.2.2. Vulnerabilidad no Estructural.** Para De Anda (2020), la vulnerabilidad no estructural es la susceptibilidad de sufrir daños durante un evento sísmico de los elementos o componentes que no forman parte esencial del núcleo resistente del edificio, a la cual denominó como daño sísmico no estructural. Así estos elementos o componentes pueden ser detalles

arquitectónicos, equipos, mobiliarios e instalaciones; las cuales pueden sufrir daños o deterioros físicos frente a los sismos.

Así mismo, para De Anda (2020) la vulnerabilidad no estructural desempeña un papel primordial en edificios de categoría esencial, debido a que, los elementos que no forman parte del edificio, pueden ser de vital importancia para el propósito y funcionamiento de la instalación. Así pues, la presencia de daños relevantes en estos elementos no estructurales, logran interrumpir el funcionamiento de un edificio esencial, por más que este pueda presentar un comportamiento aceptable durante un evento sísmico.

**2.2.2.3. Vulnerabilidad Funcional.** De acuerdo con Safina (2003), define a la vulnerabilidad funcional, como el aumento de la demanda en servicios de un edificio esencial, lo cual afectará notablemente el funcionamiento de la instalación. Así mismo, el crecimiento de la vulnerabilidad funcional se debe a varios factores, entre los cuales resaltan:

- Distribución inadecuada de las zonas de servicios
- Carencia de un plan de emergencia
- Dotación inapropiada del edificio
- Inadecuada distribución de espacios
- Sistemas de comunicación y señalización inadecuados

### **2.2.3. Caracterización de la Vulnerabilidad Sísmica**

En cuanto a la caracterización de la vulnerabilidad sísmica para Barbat (1998), se vincula con los posibles daños provocados por los terremotos, así mismo, estos dependen principalmente de tres factores:

- La intensidad del movimiento en el lugar
- Las características del edificio

– Vulnerabilidad sísmica.

Es así que el objetivo final de una evaluación de vulnerabilidad sísmica, para un edificio específico, es proporcionar una visión global del nivel de daño que podría experimentar dicho edificio frente a un terremoto.

Por otra parte, Safina (2003) relaciona la demanda sísmica y el daño sísmico a través de matrices o funciones de fragilidad, las cuales pueden derivarse analíticamente “vulnerabilidad calculada” o mediante un análisis estadístico basado en datos empíricos y subjetivos “vulnerabilidad observada”. Además, estos estudios de vulnerabilidad comúnmente relacionan la resistencia de un edificio con la demanda sísmica a la que está comprometida, por ende, tanto la demanda sísmica como el daño sísmico son elementos primordiales para la caracterización de la vulnerabilidad sísmica.

**2.2.3.1. Demanda Sísmica.** Para De Anda (2020), la demanda sísmica es un componente clave para caracterizar la vulnerabilidad sísmica, la cual debe describir de manera apropiada el movimiento esperado del suelo, con la intención de proporcionar una respuesta crítica del edificio y sus posibles daños. Para determinar esta demanda sísmica, se pueden emplear parámetros como la aceleración máxima del suelo (PGA), espectros de respuesta, entre otros.

**2.2.3.2. Daño Sísmico.** Para Safina (2003), el daño sísmico representa el nivel de degradación o destrucción provocado por un terremoto sobre los edificios, las personas, las propiedades, entre otros. Estos daños pueden categorizarse como daños “estructurales y no estructurales”. Con respecto a los daños estructurales, estos dependen del comportamiento de los elementos que conforman el edificio ante cargas laterales y verticales. Asimismo, los daños no estructurales están asociados con los niveles de deformación y distorsión que experimenta el edificio.

#### 2.2.4. Clasificación de Grados de Daño

Con respecto a los grados de daño, estos representan una manera discreta de evaluar el nivel de deterioro que un edificio puede experimentar, utilizando definiciones cualitativas que describen de cierta manera los diversos efectos producidos por un terremoto. Se sabe que hoy en día existen diferentes escalas de estado de daño elaborados por distintos autores, así como estrategias que pretenden caracterizar de manera óptima la naturaleza del daño sufrido por los edificios (De Anda, 2020).

**2.2.4.1. Clasificación EMS-98.** Según la Escala Macrosísmica Europea EMS-98, está comprendida por 5 grados de daño global asociados a patrones de daños predefinidos, tanto para edificios de albañilería como para edificios de concreto armado (Grünthal, 2009). En la Tabla 1 se presenta la clasificación según EMS-98, donde se describen de manera abreviada los grados de daño.

**Tabla 1**

*Clasificación de grados de daño según EMS-98*

<b>Grado de daño</b>	<b>Descripción</b>	<b>Estructural</b>	<b>No estructural</b>
GD1	Sin daños a daños leves	Sin daño	Leve
GD2	Daños moderados	Leve	Moderado
GD3	Daños sustanciales a severos	Moderado	Severo
GD4	Daños muy severos	Severo	Muy Severo
GD5	Destrucción	Muy Severo	----

*Nota.* Tomado de “Escala Macrosísmica Europea 1998”, por Grünthal, 2009.

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

A continuación, en la Figura 1 y Figura 2 se describen de manera detallada los grados de daño para edificios de albañilería y de concreto armado respectivamente según la clasificación EMS-98.

**Figura 1**

*Descripción del daño para edificios de albañilería*

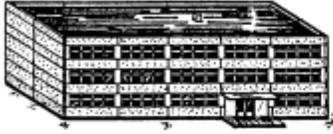
	<p><b>Grado 1: Sin daños a daños leves</b> (Sin daño estructural, daño no estructural leve) Grietas muy delgadas en muy pocos muros. Caída de pequeños pedazos de enlucido o enfoscado. Caída de rocas sueltas desde la parte alta de edificios en muy pocos casos.</p>
	<p><b>Grado 2: Daños moderados</b> (daño estructural leve, daño no estructural moderado) Grietas en muchos muros. Caída de pedazos grandes de guarnecido. Colapso parcial de chimeneas.</p>
	<p><b>Grado 3: Daños sustanciales a severos</b> (daño estructural moderado, daño no estructural severo) Grietas largas y extensas en casi todos los muros. Caída de tejas. Fractura de las chimeneas en la línea del techo; fallo de los elementos individuales no estructurales (particiones, frontones).</p>
	<p><b>Grado 4: Daños muy severos</b> (daño estructural severo, daño no estructural muy severo) Fallo serio de los muros; fallo estructural parcial de techos y pisos.</p>
	<p><b>Grado 5: Destrucción</b> (daño estructural muy severo) Colapso total o casi total.</p>

*Nota.* Tomado de “Escala Macrosísmica Europea 1998” (p.15), por Grünthal, 2009.

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

**Figura 2**

*Descripción del daño para edificios de concreto armado*

	<p><b>Grado 1: Sin daños a daños leve</b> (Sin daño estructural, daño no estructural leve) Grietas delgadas en el guarnecido sobre elementos de la estructura o en la base de los muros. Grietas delgadas en particiones y tabiques.</p>
	<p><b>Grado 2: Daños moderados</b> (daño estructural leve, daño no estructural moderado) Grietas en columnas y vigas y en muros estructurales. Grietas en particiones y tabiques; caída de revestimiento frágil y guarnecido. Caída de mortero en las uniones de paneles de muros.</p>
	<p><b>Grado 3: Daños sustanciales a severos</b> (daño estructural moderado, daño no estructural severo) Grietas en columnas y uniones entre columnas y vigas de la estructura en la base y en las uniones de muros acoplados. Desconchamiento del revestimiento de hormigón, torcedura de varillas de refuerzo. Grandes grietas en muros de particiones y en tabiques, fallo de tabiques individuales.</p>
	<p><b>Grado 4: Daños muy severos</b> (daño estructural severo, daño no estructural muy severo) Grandes grietas en elementos estructurales con fallo por compresión de hormigón y fractura de barras corrugadas; Fallos en la juntura de vigas reforzadas; inclinación de columnas. Colapso de algunas columnas o de un único piso superior.</p>
	<p><b>Grado 5: Destrucción</b> (daño estructural muy severo) Colapso de la planta baja o de partes de edificios (por ejemplo alas).</p>

*Nota.* Tomado de “Escala Macrosísmica Europea 1998” (p.16), por Grünthal, 2009.

**2.2.4.2. Clasificación ATC-13.** Según el Consejo de Tecnología Aplicada (1985), en su propuesta ATC-13 permite calcular el porcentaje del daño físico ocasionado por un terremoto para la gran mayoría de estructuras, expresadas en términos de factor de daño (%) frente a una demanda sísmica distinguida a través de la escala de Mercalli Modificada. En la Tabla 2 se presenta la clasificación según ATC-13, donde se proyectan 7 estados de daño con sus correspondientes factores de daño.

**Tabla 2**

*Clasificación de estados de daño según ATC-13*

<b>Estado de daño</b>	<b>Rango de daño (%)</b>	<b>Factor central de daño (%)</b>
Sin daño	0	0
Mínimo	0 - 1	0.5
Ligero	1 - 10	5
Moderado	10 - 30	20
Pesado	30 - 60	45
Mayor	60 - 100	80
Destrucción	100	100

*Nota.* Tomado de "Earthquake damage evaluation data for California", por ATC-13, 1985.

**2.2.4.3. Clasificación EERI.** Según el Instituto de Investigación en Ingeniería Sísmica (1994), propuso una guía, la cual evalúa los efectos del sismo en diferentes clases de edificios. Además, propone realizar un levantamiento en donde se abarque los edificios afectados por daños, así como aquellos que no lo están. Por otro lado, en esta guía se propuso una escala de 5 estados de daño, donde se tuvieron en cuenta los daños no estructurales, la duración de la inoperatividad

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD  
DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

del edificio y el riesgo para los ocupantes (EERI, 1994). A continuación, en la Tabla 3 se presenta la clasificación según EERI, donde se definen las descripciones de los estados de daño.

**Tabla 3**

*Clasificación de estados de daño según EERI*

<b>Estado de daño</b>	<b>Rango de daño (%)</b>	<b>Descripción</b>
Ninguno	0	Sin daños estructurales ni no estructurales.
Ligero	0 – 5	Daños leves en los elementos no estructurales. La estructura recupera su funcionamiento normal en menos de una semana.
Moderado	5 – 25	Se observan daños considerables en elementos no estructurales y daño leve en la estructura, con pequeños daños en elementos estructurales. Es posible que la estructura deba cerrarse por hasta 3 meses. El riesgo de pérdidas humanas es mínimo.
Severo	25 – 50	Se observa un aumento en los daños estructurales y un daño no estructural excesivo. Es probable que la estructura deba permanecer cerrada durante un largo periodo. Existe un riesgo elevado de pérdidas humanas.
Total	50 – 100	Resulta más rentable la demolición que la reparación.
Colapso	>100	La estructura se ha derrumbado por completo.

*Nota.* Tomado de “Expected seismic performance of buildings. Technical Report”, por EERI, 1994.

**2.2.4.4. Clasificación HAZUS.** Según HAZUS (1999), clasifica los niveles de daño en 4 estados: Ligero, Moderado, Severo y Completo. Así mismo, estos estados de daño son parecidos a lo sugerido por la EERI en 1994, pero difiere de las descripciones, las cuales dependen del tipo de edificio según el sistema estructural y material que presenten. A continuación, en la Tabla 4 se presenta la clasificación según HAZUS, donde se definen las descripciones de los estados de daño.

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

**Tabla 4**

*Clasificación de estados de daño según HAZUS*

<b>Estado de daño</b>	<b>Descripción</b>	<b>Factor de daño (%)</b>
Ligero	Se observan pocas y diminutas grietas en los extremos de los elementos estructurales, mientras que los elementos no estructurales presentan grietas evidentes.	2
Moderado	Se observan grietas notables en los elementos estructurales, en algunos casos con pérdida de recubrimiento. La mayoría de los muros de albañilería presenta grandes grietas diagonales y horizontales.	10
Severo	Algunos elementos estructurales o sus conexiones han fallado, lo que ha provocado una deformación lateral permanente en la estructura.	50
Completo	Un desplazamiento lateral excesivo indica un colapso parcial o total del edificio.	100

*Nota.* Tomado de “Multi-hazard Loss Estimation Methodology. Earthquake Model”, por FEMA, 2003.

**2.2.4.5. Clasificación RISK-UE.** De acuerdo con Milutinovic & Trendafiloski (2003), en el proyecto RISK-UE propusieron 5 grados de daño, los cuales se definen de acuerdo con el índice de daño presentado en la Tabla 5. En donde este índice de daño “económico” se determina como una relación entre el costo de reparación y el costo de reemplazo de un edificio.

**Tabla 5**

*Clasificación de grados de daño según RISK-UE*

<b>Grado de daño</b>	<b>Definición</b>	<b>Rango de índice de daño</b>
0	Sin daño	0
1	Daño ligero	0-5
2	Daño moderado	5-20
3	Daño extensivo	20-50
4	Daño completo	50-100

*Nota.* Tomado de “An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European towns” (p.65), por Milutinovic & Trendafiloski, 2003.

### **2.2.5. Cuantificación de la Vulnerabilidad Sísmica**

Según Safina (2003), la vulnerabilidad sísmica puede ser cuantificada tanto de forma relativa como absoluta. La primera se realiza mediante la definición de clases de vulnerabilidad o índices de vulnerabilidad, las cuales evalúan de manera relativa la predisposición de un edificio a sufrir daños en relación con su capacidad resistente. Así pues, para el segundo caso se cuantifica mediante curvas de fragilidad y matrices de probabilidad de daño, las cuales permiten estimar de forma directa los daños físicos presentados por los distintos grados de demanda sísmica.

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se cuantificó de forma absoluta, por lo cual se definieron los términos de curvas de fragilidad y matrices de probabilidad de daño.

**2.2.5.1. Curvas de Fragilidad.** De Anda (2020) define a las curvas de fragilidad, como instrumentos que determinan la probabilidad de que un edificio exceda un determinado estado de daño en relación con un parámetro que describa la demanda sísmica o la intensidad del movimiento sísmico. De la misma manera, FEMA (1999) lo define como gráficos que visualizan la probabilidad acumulada de alcanzar o exceder un estado de daño límite específico, considerando la respuesta estructural frente a una demanda sísmica determinada. Además, Alas & Grijalva (2018) nos comentan que las curvas de fragilidad son representaciones visuales que correlacionan la probabilidad de daño con una medida de intensidad relacionada con la demanda sísmica.

**2.2.5.2. Matrices de Probabilidad de Daño.** De anda (2020) define a las matrices de probabilidad de daño, como la relación discreta entre la intensidad sísmica con los estados de daño. Así pues, estas matrices expresan la posibilidad de experimentar cierto nivel de daño, para cada tipo de edificio sujeto ante una demanda sísmica. Además, mediante la adaptación de las funciones de distribución para representar curvas de fragilidad se pueden generar matrices de probabilidad

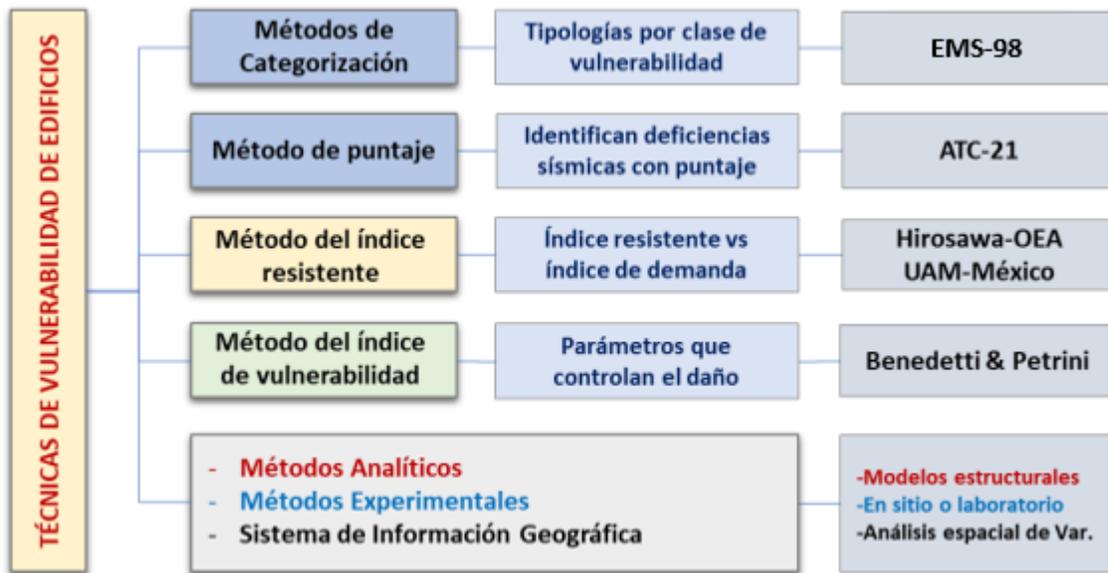
de daño, con la finalidad de determinar las posibilidades asociadas a un específico nivel de daño para un edificio sujeto a un sismo de determinada intensidad.

**2.2.6. Metodologías y Técnicas de Evaluación de Vulnerabilidad Sísmica**

Distintos autores han propuesto diversas metodologías y técnicas para evaluar la “vulnerabilidad sísmica”, las cuales suelen ser descritas en función de los datos disponibles para llevar a cabo dicha evaluación. El presente trabajo de investigación se centró esencialmente en los métodos analíticos, los cuales se representan mediante el proyecto RISK-UE y la metodología HAZUS con la finalidad primordial de determinar el nivel de daño que enfrentan las estructuras del hospital “La Caleta” de la ciudad de Chimbote frente a una demanda sísmica calculada. En la Figura 3 se clasifican las técnicas de evaluación para la vulnerabilidad sísmica en edificios.

**Figura 3**

*Técnicas de vulnerabilidad sísmica en edificios*



*Nota.* Tomado de “Vulnerabilidad sísmica de edificios construidos antes de 1985 en la ciudad de México a raíz del sismo del 19 de septiembre de 2017” (p.38), por De Anda,2020.

**2.2.6.1. Métodos Empíricos.** Según De Anda (2020), los métodos empíricos son instrumentos diseñados para desarrollar una evaluación rápida y fácil de un conjunto de edificios, logrando así poder identificar aquellos que necesiten un análisis más completo. Además, estos métodos son prácticos cuando la información disponible es limitada, cuando se requiera poder llevar a cabo una evaluación preliminar o en el caso de efectuar un estudio a gran escala con la finalidad de calcular el riesgo sísmico por zonas específicas.

**2.2.6.2. Métodos Experimentales.** De acuerdo con Bonett (2003), para los métodos experimentales se apelan a pruebas de laboratorio o de campo, con lo cual se identifican las propiedades dinámicas de las estructuras. Estos se pueden generar a través de la creación de modelos a escala de la estructura en estudio, con el fin de simular escenarios sísmicos y evaluar sus respuestas de mayor interés. Así mismo, Bonnett nos comenta que estos métodos nos posibilitan asociar las características del sismo con la interacción suelo-estructura, presenciando daños tanto en elementos estructurales como no estructurales y su desempeño ante diferentes configuraciones generadas.

Por otro parte, Bonett resalta que estos métodos tienen un papel sumamente influyente dentro del campo de la investigación, dado que, gracias a ellos es factible poder calibrar el comportamiento de estos modelos experimentales y relacionarlos con los métodos analíticos.

**2.2.6.3. Métodos Analíticos.** Bonett (2003), menciona que los métodos analíticos se amparan en modelos mecánicos, es así que de esta manera se puede conocer el daño de una estructura a través de un parámetro que permita plasmar su respuesta frente a un movimiento sísmico; este puede ser: la distorsión máxima, la ductilidad o un índice de daño. Lo cual permite evaluar la capacidad estimada de la estructura para resistir dicho movimiento sísmico, tomando en cuenta datos como la resistencia y rigidez.

Además, estos métodos analíticos son sumamente empleados para la evaluación de la “vulnerabilidad sísmica”, dado que, permiten estimar los posibles daños presentados en una estructura bajo un nivel de movimiento sísmico determinado, así mismo, es posible definir diversos escenarios sísmicos para examinar el comportamiento de distintos tipos de estructuras.

Por otro parte, entre los análisis más comunes para emplear los métodos analíticos tenemos: el análisis “PUSHOVER” y el análisis “IDA”; a partir de estos análisis se pueden generar curvas de fragilidad. Sin embargo, estos métodos analíticos suelen tener un enfoque altamente completo y a su vez son muy exigentes y costosos, debido a que, suelen ser bastante complejos y dependen en gran medida del nivel de sofisticación empleada para la evaluación, calidad de la información y la representación de los modelos numéricos utilizados.

**2.2.6.3.1. Proyecto RISK-UE.** Para Martínez (2014), el objetivo principal del proyecto RISK-UE es proponer metodologías avanzadas sobre el análisis del riesgo sísmico, las cuales permiten incorporar las características de las edificaciones, tanto de zonas urbanas típicas de Europa como de su patrimonio cultural. Además, este proyecto elabora y aplica procedimientos equilibrados y sofisticados para el estudio de la vulnerabilidad sísmica y el riesgo sísmico.

Así mismo, el proyecto RISK-UE contempla 7 módulos de trabajo los cuales se presentan a continuación:

- WP1: Características distintivas europeas. Sistema de información geográfica, inventario, base de datos y tipologías de los edificios.
- WP2: Peligrosidad sísmica.
- WP3: Análisis de la exposición del sistema urbano.
- WP4: Vulnerabilidad de los edificios actuales.

- WP5: Vulnerabilidad del casco antiguo de las ciudades, de los monumentos y edificios históricos.
- WP6: Vulnerabilidad de las líneas vitales y las estructuras esenciales.
- WP7: Escenarios de riesgo sísmico.

Para el desarrollo del trabajo de investigación se tuvo en cuenta el módulo WP4: Vulnerabilidad de los edificios actuales elaborado por (Milutinovic & Trendafiloski, 2003). Los cuales proponen 2 métodos para evaluar la vulnerabilidad sísmica y la fragilidad de las edificaciones de una localidad. El primer método “LM1” se centró en el índice de vulnerabilidad, mientras que el segundo método “LM2” se basó en espectros de capacidad y curvas de fragilidad, siendo así este segundo caso clasificado como un método analítico.

Para Milutinovic & Trendafiloski (2003), el método “LM2” en RISK-UE, necesita de la obtención del espectro de capacidad y las curvas de fragilidad, para evaluar las edificaciones seleccionadas, así mismo, la demanda sísmica se considera en términos de espectros de demanda. El procedimiento para la evaluación del daño se muestra de manera abreviada en la Figura 4, así mismo, se detallan de manera general los pasos a seguir:

Paso-1: Selección del modelo de construcción del RISK-UE BTM que describe adecuadamente las características de los edificios, tenemos: material de construcción, sistema estructural, clasificación según su altura, diseño identificado/esperado y nivel de desempeño, etc.

Paso-2: Para el edificio seleccionado, se obtiene la curva de capacidad mediante un análisis estático no lineal “PUSHOVER”, la cual será transformada a un espectro de capacidad.

Paso-3: Determinar y construir el espectro de demanda, acorde a la ubicación del edificio.

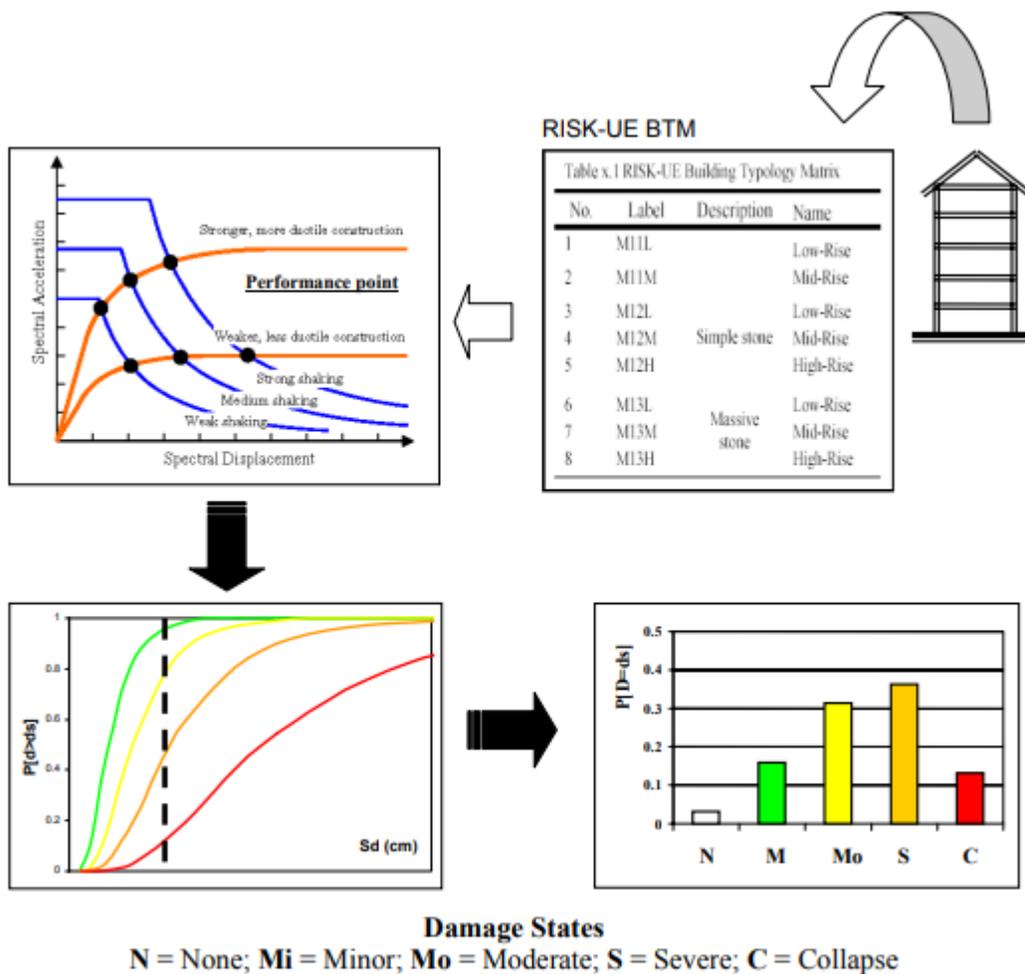
**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

Paso-4: Calcular y obtener la respuesta esperada del edificio, mediante la intersección del espectro de capacidad y el espectro de demanda. Obteniendo así el punto de desempeño de la estructura.

Paso-5: A partir de las funciones de fragilidad, se estiman las probabilidades condicionales de que, para cierto punto de desempeño, el edificio presente un determinado estado de daño.

**Figura 4**

*Procedimiento de estimación del daño RISK-UE*



*Nota.* Tomado de “An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European towns” (p.36), por Milutinovic & Trendafiloski, 2003.

**2.2.6.3.2. Metodología HAZUS.** FEMA (2003), Agencia Federal para el Manejo de Emergencias, desarrollo el programa HAZUS – MH MR4 Technical Manual, el cual evalúa la vulnerabilidad sísmica de las localidades mediante el método del espectro de capacidad. Hoy en día esta metodología es la más conocida y empleada para el análisis de la vulnerabilidad sísmica, así pues, emplea aceleraciones y desplazamientos espectrales como medición de la demanda sísmica. Además, en este manual se elaboró una clasificación de 36 tipologías de edificaciones acorde a su altura y su estructura. Por otro lado, consideró cuatro códigos de diseño sísmico: código alto, código moderado, código bajo y pre-código.

Así mismo, FEMA (2003) consideró para cada modelo cuatro estados de daño estructurales (leve, moderado, extensivo y completo), así en la Tabla 6 se presentan estos estados de daño para los elementos estructurales. De la misma manera para cada tipo de construcción y código de diseño sísmico, se otorgan los parámetros que permiten determinar la capacidad de la estructura, derivas máximas de entrepiso y los desplazamientos espectrales en los umbrales para los diferentes estados de daño.

Además, este método emplea el análisis estático no lineal “PUSHOVER”, el cual consiste en someter al modelo estructural frente a un patrón de cargas laterales que se incrementa de manera monótonica hasta que alcance su capacidad estructural; de esta manera es posible identificar la secuencia del agrietamiento, fluencia, así como el fallo de los elementos estructurales. También se identifica los estados límite de servicio y la historia de cortantes y desplazamientos en la estructura, las cuales se ven reflejadas en la curva de capacidad mediante la relación de fuerzas cortantes vs desplazamientos, determinando de esta manera el comportamiento total de la estructura. Posteriormente se construyen las curvas de fragilidad, definiendo los umbrales de daño.

**Tabla 6**

*Estados de daño para los elementos estructurales*

<b>Estado de daño</b>	<b>Descripción</b>
Ligero 	Se han detectado pequeñas fisuras en los extremos de los elementos, causadas por la flexión y el corte en columnas y vigas. Las fisuras por flexión son verticales, mientras que las causadas por corte son inclinadas a unos 45 grados. Según el diagrama momento-curvatura, los elementos han superado el punto de agrietamiento, pero aún están lejos del punto de fluencia.
Moderado 	Se observan fisuras en la mayoría de los extremos de vigas y columnas. Además, en los marcos dúctiles, algunos elementos han llegado al punto de fluencia, alcanzando su límite elástico máximo, lo que ha resultado en grietas pronunciadas.
Extensivo 	Algunos elementos estructurales alcanzan el punto donde el concreto llega a su máxima deformación útil bajo compresión. En los elementos no dúctiles, se han producido fallos por cortante y se ha observado una considerable deformación o incluso fractura del refuerzo en algunos elementos. En estas condiciones, la estructura está gravemente dañada y presenta deformación lateral permanente.
Completo 	La estructura ha colapsado o corre un riesgo inminente de colapso. Si permanece en pie tras el sismo, debe ser demolida debido al extenso daño que ha sufrido, con un desplazamiento lateral excesivo.

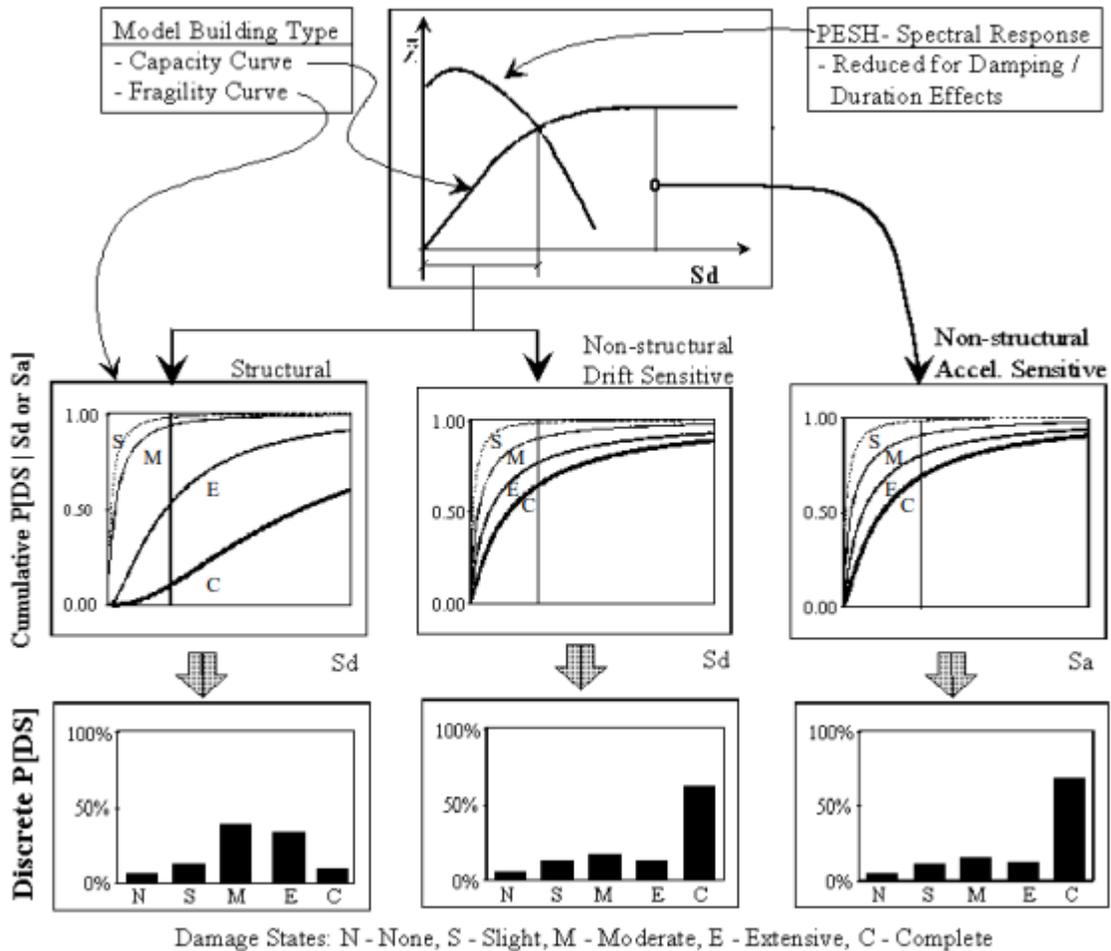
*Nota.* Tomado de “Multi-hazard Loss Estimation Methodology. Earthquake Model”, por FEMA, 2003.

Por otra parte, en la Figura 5 se visualiza el procedimiento de estimación de daños para llevar a cabo la metodología HAZUS – MH MR4. Esto inicia con la obtención de la curva de capacidad de una edificación, a la cual se le intercepta el espectro de demanda, obteniendo así con esta intersección el punto de desempeño.

Por último, en la Figura 5 también se visualiza la construcción de las curvas de fragilidad, transportando el punto de desempeño de la edificación a estas curvas graficadas y así obtener a través de los umbrales definidos, la probabilidad para cada estado de daño.

**Figura 5**

*Procedimiento de estimación de daños*



*Nota.* Tomado de “HAZUS – MH MR4 Technical Manual” (p.242), por FEMA, 2003.

### **2.2.7. Métodos para Generar Curvas de Fragilidad**

En este apartado se definen de manera global algunos de los métodos existentes para generar curvas de fragilidad o vulnerabilidad de las edificaciones. En la actualidad existen dos procedimientos que permiten describir la “vulnerabilidad sísmica”, la primera es a través de una evaluación visual y rápida, por el contrario, la segunda exige de un análisis más detallado.

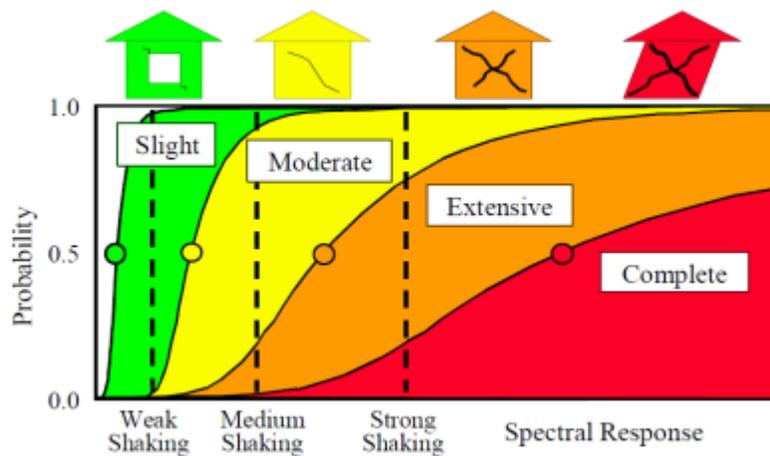
Para el presente trabajo de investigación, se hace énfasis al método analítico, el cual se utilizó más adelante, mediante su aplicación en los módulos típicos que forman parte del hospital

“La Caleta” en la ciudad de Chimbote. Para lo cual se definieron distintas ideas relacionadas con las curvas de fragilidad y su influencia dentro de la estimación de la vulnerabilidad sísmica.

De acuerdo con Bonett (2003), define a las curvas de fragilidad llamadas también “funciones de vulnerabilidad”, como la posibilidad de que una edificación alcance o exceda un específico estado de daño, en relación con un parámetro que describa el movimiento sísmico. Estas curvas nos ayudan a estimar el daño sísmico presente en las edificaciones con características estructurales similares. Asimismo, estas curvas se pueden generar de varias formas, entre las cuales tenemos: observaciones de campo, opinión de expertos o métodos analíticos.

### Figura 6

*Curvas de fragilidad para 4 estados de daño*



*Nota.* Tomado de “HAZUS, Earthquake Loss Estimation Methodology”, por FEMA, 1999.

En la Figura 6 se presentan curvas de fragilidad para 4 estados de daño, las cuales son de gran utilidad, dado que, nos permiten evaluar la vulnerabilidad sísmica tanto para la parte estructural como para la no estructural; identificar diseños óptimos y a su vez estrategias de rehabilitación; así mismo, es posible estimar las posibilidades de los márgenes de seguridad de las edificaciones para distintas intensidades sísmicas, las cuales nos ayudan a la toma de decisiones y a la elaboración de nuevas normativas (Bonett, 2003).

Los principales métodos empleados para generar curvas de fragilidad son:

- Métodos basados en observaciones de campo
- Métodos experimentales
- Métodos basados en la opinión de expertos
- Métodos analíticos

Por lo general todos ellos se ajustan a una función de distribución lognormal a los resultados alcanzados, de tal forma que es factible estimar las posibilidades de alcanzar o exceder un específico estado de daño para un cierto valor del parámetro indicador del movimiento sísmico.

**2.2.7.1. Métodos Basados en Observaciones de Campo.** Para Bonett (2003), los métodos basados en observación de campo requieren primordialmente de la intervención de expertos en diseño, análisis y patología de las estructuras, así de esta manera se puedan elaborar formatos de inspección que permitan detallar los daños observados después de ocurrido un terremoto, con lo cual se puedan generar curvas de fragilidad para cierto grupo de sistemas estructurales previamente clasificados.

**2.2.7.2. Métodos Experimentales.** Según Bonett (2003), este tipo de métodos resultan ser muy costosos y a su vez la cantidad de observaciones de daño, se encuentran limitadas por el número de pruebas que se efectúen. Así mismo, estos necesitan de una serie de simplificaciones implantadas por el modelo a escala, la cual se construye para representar el comportamiento de la estructura y a su vez por los patrones de carga empleadas para modelar la demanda sísmica.

**2.2.7.3. Métodos a Partir de la Opinión de Expertos.** Para Bonett (2003), el porcentaje de daño esperado que puede sufrir una edificación frente a un movimiento sísmico dado, queda terminado a partir de la opinión de expertos, ante una serie de preguntas vinculadas sobre el comportamiento de la estructura. Con esta información obtenida se puede calcular un factor para

cuantificar el daño, el cual estará en función del movimiento sísmico; de esta manera se determinan las estadísticas de los resultados obtenidos y se adecuan a una función de probabilidad. Después, se definen los estados de daño y a su vez un intervalo de variación del factor cuantificador del daño de cada uno de estos estados, así mismo, estas posibilidades de daño se pueden estimar integrando la distribución elegida entre los límites de los respectivos intervalos. Por último, las curvas de fragilidad se alcanzan graficando estas posibilidades para cada valor de movimiento sísmico.

**2.2.7.4. Métodos Analíticos.** De acuerdo con Bonett (2003), nos comenta que, una de las ventajas más relevantes de los métodos analíticos, es que son instrumentos esenciales dentro del estudio de prevención y atención a desastres, dado que, suelen ser utilizados para mitigar la vulnerabilidad de las estructuras. Así pues, de esta manera intervenir y reducir el riesgo al que están expuestas determinadas estructuras, sin la necesidad de la ocurrencia de un terremoto.

Además, existen fundamentalmente dos tipos de métodos analíticos, los cuales contribuyen a la construcción de las curvas de fragilidad: métodos deterministas y los métodos probabilistas.

**2.2.7.4.1. Métodos Deterministas.** Según De Anda (2020), los métodos deterministas son una alternativa indicada cuando no se cuenta con la información suficiente, tanto de la acción sísmica como de las estructuras existentes, debido a que, involucran procedimientos de análisis sencillos que no necesitan de numerosos cálculos. Por tal motivo estos métodos deterministas habitualmente se respaldan del análisis estático no lineal "PUSHOVER".

**2.2.7.4.2. Métodos Probabilistas.** Para De Anda (2020), los métodos probabilistas comúnmente emplean procedimientos de simulación; por ejemplo, el método de Montecarlo, en donde los parámetros sísmicos y estructurales se describen como variables aleatorias que se originan a partir de funciones de distribución de probabilidad. Por otro lado, luego de definir los indicadores de acción sísmica y respuesta estructural, se determina la relación entre los dos

parámetros desde un enfoque probabilístico. Lo cual se obtiene generando una sucesión de análisis dinámicos no lineales, que permitan calcular el efecto del conjunto de acelerogramas sintéticos sobre el modelo estructural.

### **2.2.8. Definición de Términos**

**2.2.8.1. Análisis Pushover.** Para Campos & Leandro (2022), el análisis "PUSHOVER" es un procedimiento donde se emplea un modelo de cargas laterales, dichas cargas aumentan con las intervenciones, logrando que la capacidad elástica del modelo exceda sus rangos admisibles para posteriormente colapsar.

**2.2.8.2. Centro de Masa.** Según Martínez (2011), define al centro de masa como el punto de simetría de una planta estructural.

**2.2.8.3. Centro de Rigidez.** Así mismo, Martínez (2011) nos comenta que, el centro de rigidez es el punto de simetría de los elementos verticales de una estructura.

**2.2.8.4. Cortante Basal.** Por otro lado, Martínez (2011) nos recuerda que, la cortante basal es la fuerza al nivel de la base de la estructura, la cual es causada por las fuerzas sísmicas.

**2.2.8.5. Curva de Capacidad.** Para Oblitas & Villar (2023), la curva de capacidad es una representación gráfica, la cual muestra la relación entre la capacidad de la estructura (para resistir cargas) y su desplazamiento correspondiente.

**2.2.8.6. Desempeño Sísmico.** Según Ramos (2021), define al desempeño sísmico como el comportamiento de una estructura frente a una demanda sísmica.

**2.2.8.7. Ductilidad.** Para Campos & Leandro (2022), la ductilidad es una propiedad que detalla la capacidad que tiene una edificación, la cual le permite deformarse superando sus límites elásticos, sin que se vean reducidos significativamente su resistencia o rigidez.

**2.2.8.8. Evaluación Sísmica.** Según Miyamoto (2021), define a la evaluación sísmica como el nivel de daño o la susceptibilidad que sufriría un edificio frente a un movimiento sísmico.

**2.2.8.9. Fisuras.** Según Quispe (2018), define a las fisuras como la rotura longitudinal superficial de un elemento, la cual afectará únicamente al recubrimiento de una sección o parte.

**2.2.8.10. Periodo de Retorno.** Para Oblitas & Villar (2023), el periodo de retorno es un intervalo de tiempo promedio entre eventos sísmicos, el cual está asociado con la posibilidad de que ocurran cada año.

**2.2.8.11. Punto de Desempeño.** Así mismo, Oblitas & Villar (2023) nos comentan que, el punto de desempeño es la intersección entre la curva de capacidad y el espectro de demanda.

**2.2.8.12. Rótula Plástica.** Según Martínez & Narváez (2019), definen a una rótula plástica como un dispositivo de amortiguación de energía, la cual permite la rotación de la deformación plástica de una conexión de manera rígida.

**2.2.8.13. Sismo.** Así mismo, Martínez & Narváez (2019) nos mencionan que, el sismo es el movimiento de placas en el interior de la corteza terrestre, el cual produce cargas laterales y movimientos de tierras sobre la superficie.

# **Capítulo III:** **Metodología**

### **III. Metodología**

#### **3.1. Método de Investigación**

##### **3.1.1. Tipo de Investigación**

Investigación ANALÍTICA, ya que se buscó analizar e interpretar los resultados obtenidos, empleando modelos numéricos y simulaciones, lo cual nos permitió generar curvas de fragilidad y evaluar la probabilidad de daño que sufriría el hospital “La Caleta” ante distintos niveles de movimiento sísmico.

##### **3.1.2. Enfoque de Investigación.**

Investigación CUANTITATIVA, ya que se recopilaron datos relacionados con la vulnerabilidad sísmica estructural del hospital “La Caleta”, debido a que, las curvas de fragilidad generadas en el presente trabajo de investigación se justificaron en datos cuantitativos. Para lo cual se determinó la respuesta estructural del hospital ante diferentes niveles de demanda sísmica, mediante modelos computacionales y utilizando métodos analíticos deterministas. Finalmente, a través de la metodología propuesta por el proyecto RISK-UE se construyeron las curvas de fragilidad, lo cual proporcionó resultados numéricos que pueden ser fácilmente interpretados.

##### **3.1.3. Nivel de Investigación**

Investigación DESCRIPTIVA, ya que tiene por objetivo describir de manera detallada las características estructurales del hospital “La Caleta”, los materiales empleados en la construcción y las condiciones actuales del hospital que afecten su comportamiento sísmico. Así mismo, tiene por método la recolección y análisis de datos existentes.

##### **3.1.4. Diseño de Investigación**

Investigación NO EXPERIMENTAL, ya que es adecuado para el presente trabajo de investigación, dado que, no se puede alterar las condiciones estructurales del hospital “La Caleta”

para evaluar su vulnerabilidad sísmica estructural.

Investigación TRANVERSAL, ya que se recolectó datos en un momento específico en el tiempo, para realizar un análisis detallado de la vulnerabilidad sísmica estructural de hospital “La Caleta” mediante curvas de fragilidad y evaluar su situación actual.

### **3.2. Unidad de Análisis**

Está representada por los elementos estructurales del hospital “La Caleta”.

### **3.3. Población y Muestra**

#### **3.3.1. Población**

La población quedó definida por los 14 módulos que conforman el hospital “La Caleta”, por lo cual se consideró una población finita.

**Tabla 7**

*Población de estudio*

<b>N.º</b>	<b>Módulos</b>
1	Consultorios de Ginecobstetricia
2	Anestesiología y Centro Quirúrgico
3	Área del Niño
4	Consultorios Externos
5	Emergencia
6	Pediatría y Medicina General
7	Laboratorio
8	Internados de Cirugía
9	Servicios Generales
10	Control TBC
11	Medicina Física
12	Seguro Integral de Salud
13	Almacén de Insumos de Farmacia
14	Residencia Medica

### 3.3.2. *Muestra*

La muestra quedo definida por los siguientes módulos:

**Tabla 8**

*Muestra de estudio*

N.º	Módulos
1	Emergencia
2	Anestesiología y Centro Quirúrgico
3	Internados de Cirugía
4	Pediatría y Medicina General

Se empleó una técnica de muestreo no probabilística o dirigida, debido a que la investigación estuvo enfocada a un caso en específico “por conveniencia” sin pretender que este sea estadísticamente representativo de la población. A estos módulos seleccionados los hemos denominado áreas críticas, es decir áreas donde los servicios hospitalarios luego de ocurrir un “sismo severo” deberán permanecer operativos para poder cubrir la demanda de atención que será solicitada.

### 3.4. Variables de Estudio

#### 3.4.1. *Variable Independiente*

Hospital “La Caleta”.

#### 3.4.2. *Variable Dependiente*

Vulnerabilidad sísmica estructural.

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD  
DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

---

**3.4.3. Matriz de Consistencia**

**Tabla 9**

*Matriz de consistencia*

<b>Pregunta de investigación</b>	<b>Objetivos de la investigación</b>	<b>Hipótesis de la investigación</b>
<b>Problema general:</b>	<b>Objetivo general:</b>	
¿Cuál es el grado de vulnerabilidad sísmica estructural mediante curvas de fragilidad de los módulos de emergencia, anestesiología, cirugía y medicina general del hospital “La Caleta” de la ciudad de Chimbote – 2022?	Determinar el grado de vulnerabilidad sísmica estructural mediante curvas de fragilidad de los módulos de emergencia, anestesiología, cirugía y medicina general del hospital “La Caleta” de la ciudad de Chimbote – 2022.	
<b>Problemas específicos:</b>	<b>Objetivos específicos:</b>	
¿Los módulos de emergencia, anestesiología, cirugía y medicina general del hospital “La Caleta” cumplen con el nivel de desempeño sísmico requerido para una edificación esencial Chimbote – 2022?	Verificar si los módulos de emergencia, anestesiología, cirugía y medicina general del hospital “La Caleta” cumplen con el nivel de desempeño sísmico requerido para una edificación esencial, Chimbote – 2022.	Al realizar el análisis de vulnerabilidad sísmica estructural mediante curvas de fragilidad de los módulos de emergencia, anestesiología, cirugía y medicina general del hospital “La Caleta” de la ciudad de Chimbote – 2022, el grado de daño esperado será el de daños extensivos.
¿Cuáles serán los estados de daño límite específicos de los módulos de emergencia, anestesiología, cirugía y medicina general calculadas mediante curvas de fragilidad del hospital “La Caleta” de la ciudad de Chimbote – 2022?	Estimar los estados de daño límite específicos de los módulos de emergencia, anestesiología, cirugía y medicina general calculadas mediante curvas de fragilidad del hospital “La Caleta” de la ciudad de Chimbote – 2022.	
¿Cuál será el daño global esperado de los módulos de emergencia, anestesiología, cirugía y medicina general del hospital “La Caleta” de la ciudad de Chimbote – 2022?	Calcular el daño global esperado de los módulos de emergencia, anestesiología, cirugía y medicina general del hospital “La Caleta” de la ciudad de Chimbote – 2022.	

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD  
DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

**3.4.4. Operacionalización de Variables**

**Tabla 10**

*Operacionalización de variables*

Variable	Nombre de variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Herramientas	Método
<b>INDEPENDIENTE</b>	Hospital "La Caleta"	Presenta una gran cantidad de módulos de albañilería confinada de baja altura, las cuales fueron construyéndose a partir del año 1945, que tiene como finalidad la atención de salud a la persona humana en todos sus ciclos de vida (Hospital La Caleta, s.f.).	Elaboración de los modelos matemáticos de los departamentos de emergencia, de anestesiología y centro quirúrgico, internados de cirugía, y pediatría y medicina general del hospital "La Caleta", con la aplicación del análisis dinámico modal espectral y el análisis no lineal "PUSHOVER" se evaluarán los resultados según la NTP E.030 y el ASCE/CEI 41-17.	Características físicas	N.º de pisos Tipo de estructuración Presencia de patologías Irregularidades	NTP E.030	Observación
				Análisis estructural	Elaboración de planos Resistencia del concreto	Wincha, AutoCAD Perforadora de núcleos	Levantamiento topográfico Prueba de diamantina
					Tipo y cantidad de acero en los elementos estructurales Periodo de vibración Aceleración espectral Derivas de entepiso	Scanner	Ensayo de detección de aceros
				Desempeño estructural	Muros de albañilería confinada Modelo no lineal de materiales Asignación de plasticidad para columnas y vigas Carga gravitacional no lineal Caso Pushover no lineal Curva de capacidad Evaluación del desempeño	NTP E.030 Ensayos del CISMID y la PUCP ASCE/CEI 41-17, CISMID, SEAOC VISION 2000, software de análisis estructural	Análisis dinámico modal espectral Calibración Análisis estático no lineal "PUSHOVER"
<b>DEPENDIENTE</b>	Vulnerabilidad sísmica estructural	Falta de resistencia de los edificios frente a los sismos, como resultado sufren daños, esta vulnerabilidad de los edificios está muy ligada a las características de diseño, calidad de materiales y la mano de obra en el proceso constructivo (Salazar, 2018).	Al obtener las curvas de fragilidad e índice de daño esperado mediante la metodología desarrollada por RISK-UE, podemos calcular de manera bastante precisa la vulnerabilidad sísmica estructural. Esto nos permite considerar la incertidumbre presente en las acciones sísmicas y la variabilidad aleatoria de las propiedades mecánicas de los materiales.	Probabilidad de estado de daño	Daño ligero Daño moderado Daño extensivo Daño completo Daño global esperado	RISK-UE Curvas de fragilidad	Curvas de fragilidad Índice de daño esperado

### **3.5. Diseño de Contrastación de Hipótesis**

Hipótesis nula (H0): Los módulos de emergencia, anestesiología, cirugía y medicina general del hospital “La Caleta” no presentarán un grado de vulnerabilidad sísmica estructural de “daños extensivos” mediante curvas de fragilidad.

Hipótesis alternativa (H1): Los módulos de emergencia, anestesiología, cirugía y medicina general del hospital “La Caleta” presentarán un grado de vulnerabilidad sísmica estructural de “daños extensivos” mediante curvas de fragilidad.

### **3.6. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos**

#### **3.6.1. Técnicas**

**3.6.1.1. Ensayos de Laboratorio.** Se realizaron ensayos de extracción de núcleos diamantinos (Normas ASTM C42 y AASHTO T24) y ensayos de rotura a la compresión de los núcleos extraídos (Normas NTP 339.059 y ASTM C670).

#### **3.6.2. Instrumentos**

**3.6.2.1. Guía de Recolección de Datos.** Se empleó una guía de recolección de datos que se muestra en la Figura 7 con el propósito de reunir la información obtenida del ensayo de extracción de núcleos de concreto con máquina diamantina, en el cual se registró información detallada de la resistencia a compresión de los elementos estructurales del hospital “La Caleta” los cuales se adjuntan en el Anexo 2.

Finalmente, con estas técnicas e instrumentos de recolección de datos, se pudo obtener un entendimiento certero sobre la resistencia a la compresión de los elementos estructurales como columnas y vigas del hospital “La Caleta”.

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

**Figura 7**

*Guía de recolección de datos*

**ENSAYO DE ROTURA DE NÚCLEOS DIAMANTINOS**

<b>TESIS:</b>	"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"
<b>SOLICITA:</b>	CUSTODIO TORRES PEDRO - DOMINGUEZ DELGADO DANIEL
<b>UBICACIÓN:</b>	HOSPITAL LA CALETA - CHIMBOTE
<b>EDIFICIO:</b>	
<b>FECHA:</b>	

N°	DESCRIPCIÓN	Fecha de Extracción	Fecha de Rotura	LONGITUD DE ESPECIMEN	DIAMETRO DE ESPECIMEN	Relación L/D	FACTOR DE CORRECCIÓN	Área de sección transversal	Carga Máxima (Kg)	Resistencia Kg/cm2	Resistencia corregida kg/cm2
1											
2											
3											

**3.7. Procedimiento de Recolección de Datos**

En el presente trabajo de investigación se estudiaron y analizaron cuatro módulos del hospital “La Caleta” de la ciudad de Chimbote, el cual se llevó a cabo según los objetivos de esta investigación. Primeramente se realizó el análisis sísmico lineal (Apéndice A) de los módulos de estudio del hospital según la NTP.E030, así mismo, se calibraron cuatro especímenes de muros de albañilería confinada, desarrollados por los laboratorios del CISMID y la PUCP (Apéndice B), con la finalidad de conocer y comprender el comportamiento de estos muros cuando incursionan en su rango no lineal, para posteriormente realizar el análisis Estático no lineal “PUSHOVER” (Apéndice C) según los lineamientos del ASCE/SEI 41-17 y de esta manera verificar si los módulos de estudio cumplen con el nivel de desempeño sísmico requerido para una edificación esencial según el SEAOC VISION 2000. Eventualmente, una vez obtenida la capacidad de cada uno de los cuatro módulos de estudio, se procedió a realizar la construcción de las curvas de fragilidad mediante la metodología de RISK-UE (Apéndice D), con la finalidad de estimar la probabilidad de alcanzar o exceder un estado de daño límite específico. Por último, se determinó

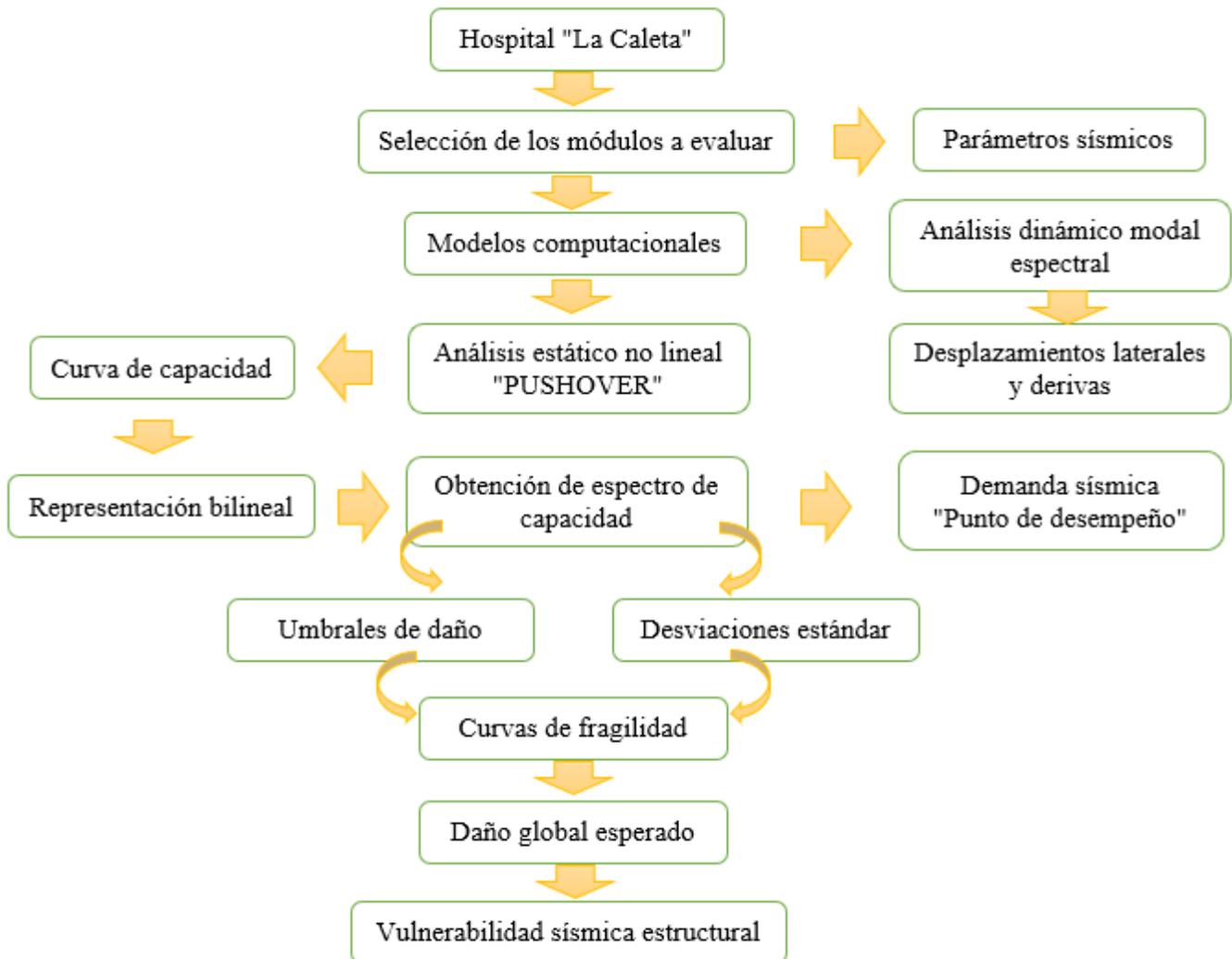
**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD  
DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

---

el daño global esperado para los cuatro módulos seleccionados del hospital “La Caleta” mediante el índice de daño esperado “ID”, la cual se obtuvo a partir de las probabilidades acumuladas de ocurrencia de cada estado de daño. Este procedimiento para procesamiento de datos se detalla de manera general en la Figura 8, donde se inició con la identificación y selección de los módulos a analizar, en este caso se seleccionaron cuatro módulos correspondientes a una tipología estructural que es usual dentro del hospital “La Caleta” de la ciudad de Chimbote.

**Figura 8**

*Esquema de procedimiento para procesamiento de datos*



*Nota.* Adaptado de “An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European towns”, por Milutinovic & Trendafiloski, 2003.

### **3.8. Técnicas de Análisis de Resultados**

A continuación, se detalla cómo se llevaron a cabo las técnicas de análisis de resultados para nuestro trabajo de investigación.

#### **3.8.1. *Análisis Descriptivo***

El objetivo fue resumir y describir las características principales de los resultados, el método empleado fue el de visualización (histogramas, gráficos de dispersión y gráficos de líneas), para lo cual nos apoyamos de la herramienta Excel.

#### **3.8.2. *Simulaciones Computacionales***

El objetivo fue modelar la respuesta estructural del hospital “La Caleta” bajo diferentes niveles de movimiento sísmico, el método empleado fue el análisis estático “PUSHOVER” para evaluar el comportamiento no lineal de los módulos de estudio, para lo cual nos apoyamos de un software de análisis estructural (ETABS/SAP2000/OpenSees).

#### **3.8.3. *Generación y Análisis de Curvas de Fragilidad***

El objetivo fue determinar la probabilidad de daño estructural del hospital “La Caleta” bajo diferentes niveles de movimiento sísmico, los métodos empleados fueron el ajuste de datos (usar distribuciones estadísticas “log-normal” para ajustar las curvas de fragilidad) y la estimación de parámetros (calcular los parámetros estadísticos “media y desviación estándar” de las curvas de fragilidad), para lo cual nos apoyamos de la herramienta Excel.

Finalmente, estas técnicas cuantitativas de análisis de resultados, empleadas en nuestro trabajo de investigación, nos permitieron realizar un análisis detallado de la vulnerabilidad sísmica estructural del hospital “La Caleta” de la ciudad de Chimbote, las cuales nos proporcionaron resultados precisos y confiables para nuestra tesis.

# **Capítulo IV:** **Resultados y** **Discusión**

## IV. Resultados y Discusión

### 4.1. Análisis e Interpretación de Resultados

#### 4.1.1. Resultados del Desempeño Sísmico (Situación Actual) de los Módulos de Emergencia, Anestesiología, Cirugía y Medicina General del Hospital “La Caleta”

A continuación, se muestran los resultados frente a las demandas sísmicas descritas en la Tabla C7 en relación con el desplazamiento del techo, la fuerza cortante y la deriva. Además, se calculó para los cuatro módulos seleccionados del hospital “La Caleta” su desempeño sísmico, mediante la sectorización propuesta por el SEAOC VISION 2000 según la Figura C39, y mediante los rangos de la región inelástica para muros de albañilería en Perú propuesto por Zabala et al., en 2019 los cuales se detallan en la Tabla C12. Finalmente, se verificó mediante la Tabla C13 si cada uno de los cuatro módulos evaluados cumplen con el objetivo de desempeño sísmico.

##### 4.1.1.1. Departamento de Emergencia.

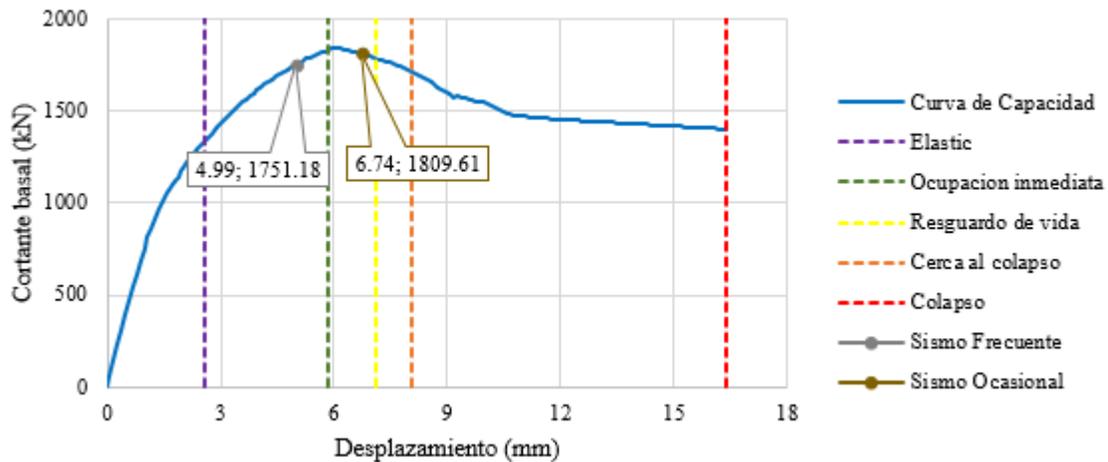
**Tabla 11**

*Resultados del desempeño sísmico, módulo de emergencia*

<b>Orientación</b>	<b>Movimiento Sísmico</b>	<b>Desplazamiento (mm)</b>	<b>Cortante basal (kN)</b>	<b>Deriva (‰)</b>
“X”	S. Frecuente	4.99	1751.18	2.65
	S. Ocasional	6.74	1809.61	3.84
	S. Raro	-	-	-
“Y”	S. Frecuente	41.30	933.82	12.47
	S. Ocasional	56.63	848.15	17.33
	S. Raro	-	-	-

**Figura 9**

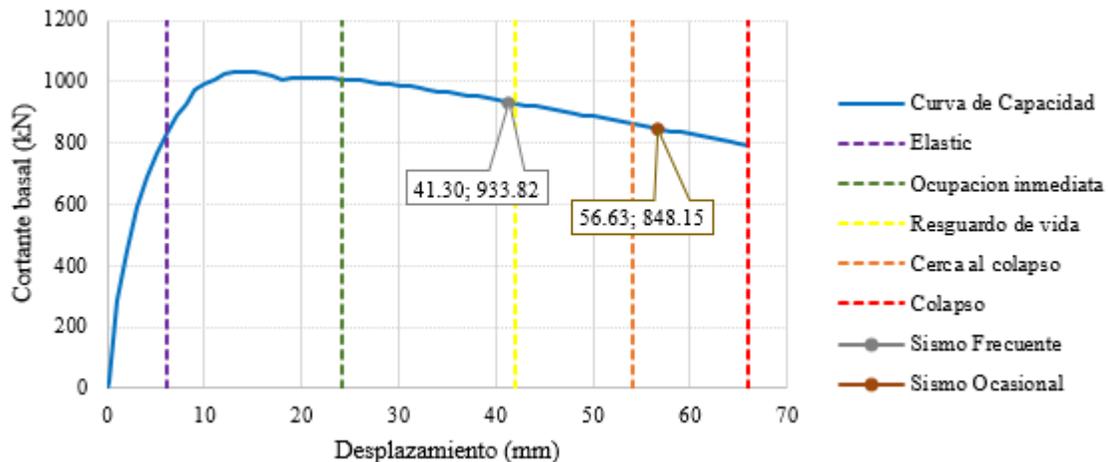
*Desempeño según Zavala et al. (2019) en la orientación "X", módulo de emergencia*



De la Figura 9 para un SISMO FRECUENTE se alcanzó un desempeño de “Ocupación inmediata” que según la Tabla C14 se esperan daños de leves a moderados en componentes arquitectónicos, además un agrietamiento en componentes estructurales, mientras que los mecanismos de protección operan con normalidad. Así mismo, para un SISMO OCASIONAL se alcanzó un desempeño de “Resguardo de vida”, pero próximo a de cerca al colapso, en el cual se espera una reducción de la resistencia y rigidez del sistema de soporte de cargas laterales, lo que podría requerir el cierre temporal del módulo de emergencia.

**Figura 10**

*Desempeño según SEAOC VISION 2000 en la orientación "Y", módulo de emergencia*



**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

De la Figura 10 para un SISMO FRECUENTE se alcanzó un desempeño de “Resguardo de vida”, pero próximo a de cerca al colapso, que según la Tabla C14 se espera una reducción de la resistencia y rigidez del sistema de soporte de cargas laterales, lo que podría requerir el cierre temporal del módulo de emergencia. Así mismo, para un SISMO OCASIONAL se alcanzó un desempeño de “Colapso”, en el cual se espera un colapso parcial o total del módulo de emergencia, no son posibles las reparaciones.

**Tabla 12**

*Objetivo de desempeño sísmico para el módulo de emergencia*

Orientación	Movimiento Sísmico	Nivel de Desempeño				¿Cumple?
		“IO”	“LS”	“CP”	“C”	
“X”	S. Frecuente					No
	S. Ocasional					No
	S. Raro					No
“Y”	S. Frecuente					No
	S. Ocasional					No
	S. Raro					No

*Nota.* IO: Ocupación inmediata; LS: Resguardo de vida; CP: Cercano al colapso; y C: Colapso.

**4.1.1.2. Departamento de Anestesiología - Centro Quirúrgico.**

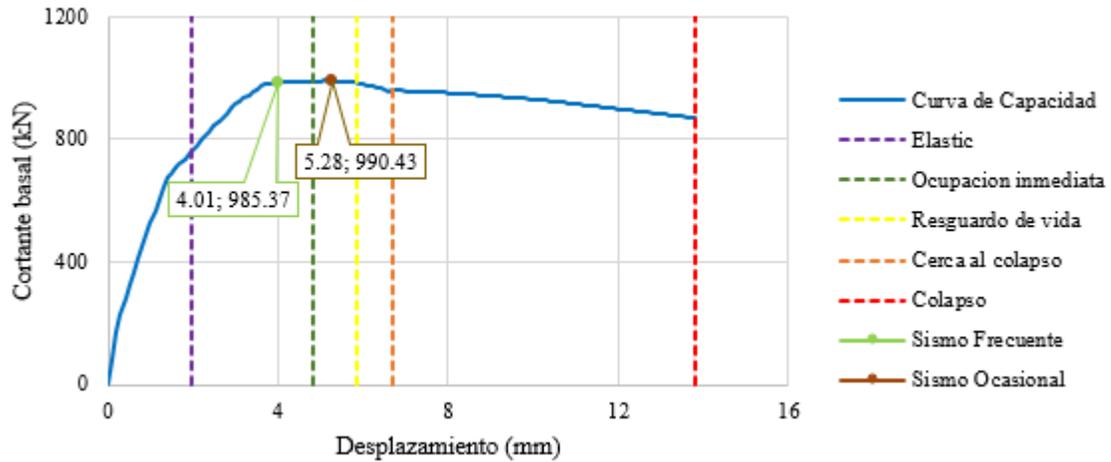
**Tabla 13**

*Resultados del desempeño sísmico, módulo de anestesiología*

Orientación	Movimiento Sísmico	Desplazamiento (mm)	Cortante basal (kN)	Deriva (‰)
“X”	S. Frecuente	4.01	985.37	2.43
	S. Ocasional	5.28	990.43	3.43
	S. Raro	-	-	-
“Y”	S. Frecuente	5.57	647.51	3.10
	S. Ocasional	6.19	641.02	3.42
	S. Raro	-	-	-

**Figura 11**

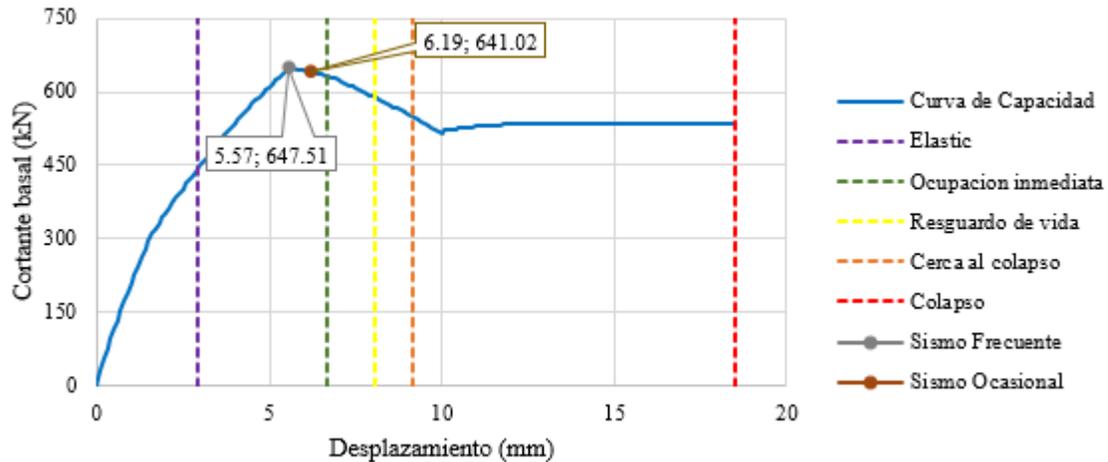
*Desempeño según Zavala et al. (2019) en la orientación "X", módulo de anestesiología*



De la Figura 11 para un SISMO FRECUENTE se alcanzó un desempeño de “Ocupación inmediata” que según la Tabla C14 se esperan daños de leves a moderados en componentes arquitectónicos, además un agrietamiento en componentes estructurales, mientras que los mecanismos de protección operan con normalidad. Así mismo, para un SISMO OCASIONAL se alcanzó un desempeño de “Resguardo de vida”, en el cual se espera una reducción de la resistencia y rigidez del sistema de soporte de cargas laterales, lo que podría requerir el cierre temporal del módulo de anestesiología.

**Figura 12**

*Desempeño según Zavala et al. (2019) en la orientación "Y", módulo de anestesiología*



**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

De la Figura 12 para un SISMO FRECUENTE se alcanzó un desempeño de “Ocupación inmediata” y para un SISMO OCASIONAL también se alcanzó un desempeño de “Ocupación inmediata”, pero próximo a de resguardo de vida, que según la Tabla C14 se esperan daños de leves a moderados en componentes arquitectónicos, además un agrietamiento en componentes estructurales, mientras que los mecanismos de protección operan con normalidad.

**Tabla 14**

*Objetivo de desempeño sísmico para el módulo de anestesiología*

Orientación	Movimiento Sísmico	Nivel de Desempeño				¿Cumple?
		“IO”	“LS”	“CP”	“C”	
“X”	S. Frecuente					No
	S. Ocasional					No
	S. Raro					No
“Y”	S. Frecuente					No
	S. Ocasional					No
	S. Raro					No

*Nota.* IO: Ocupación inmediata; LS: Resguardo de vida; CP: Cercano al colapso; y C: Colapso.

**4.1.1.3. Internados de Cirugía.**

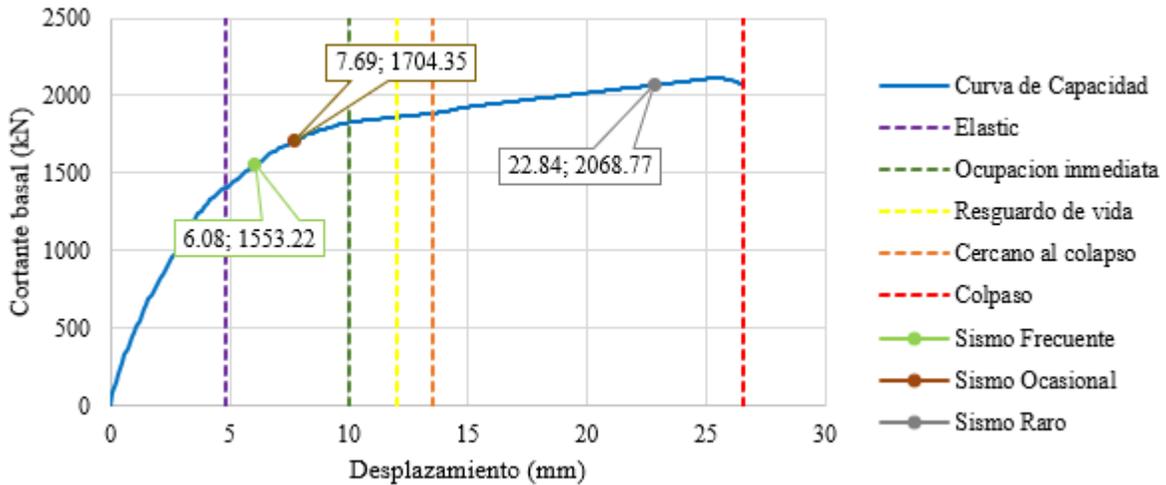
**Tabla 15**

*Resultados del desempeño sísmico, módulo de cirugía*

Orientación	Movimiento Sísmico	Desplazamiento (mm)	Cortante basal (kN)	Deriva (‰)
“X”	S. Frecuente	6.08	1553.22	2.09
	S. Ocasional	7.69	1704.35	2.61
	S. Raro	22.84	2068.77	7.48
“Y”	S. Frecuente	3.14	1322.38	1.99
	S. Ocasional	4.37	1500.17	2.73
	S. Raro	13.84	1426.40	8.47

**Figura 13**

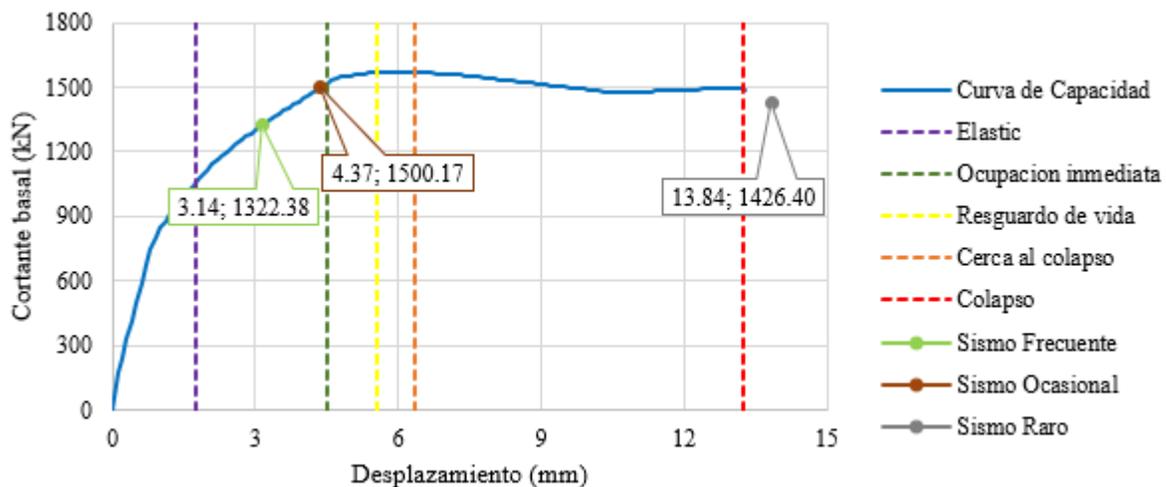
*Desempeño según Zavala et al. (2019) en la orientación "X", módulo de cirugía*



De la Figura 13 para un SISMO FRECUENTE y OCASIONAL se alcanzó un desempeño de "Ocupación inmediata" que según la Tabla C14 se esperan daños de leves a moderados en componentes arquitectónicos, además un agrietamiento en componentes estructurales, mientras que los mecanismos de protección operan con normalidad. Finalmente, para un SISMO RARO se alcanzó un desempeño de "Colapso", en el cual se espera un colapso parcial o total del módulo de cirugía, no son posibles las reparaciones.

**Figura 14**

*Desempeño según Zavala et al. (2019) en la orientación "Y", módulo de cirugía*



**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

De la Figura 14 para un SISMO FRECUENTE se alcanzó un desempeño de “Ocupación inmediata” y para un SISMO OCASIONAL también se alcanzó un desempeño de “Ocupación inmediata”, pero próximo a de resguardo de vida, que según la Tabla C14 se esperan daños de leves a moderados en componentes arquitectónicos, además un agrietamiento en componentes estructurales, mientras que los mecanismos de protección operan con normalidad. Finalmente, para un SISMO RARO se alcanzó un desempeño de “Colapso”, en el cual se espera un colapso parcial o total del módulo de cirugía, no son posibles las reparaciones.

**Tabla 16**

*Objetivo de desempeño sísmico para el módulo de cirugía*

Orientación	Movimiento Sísmico	Nivel de Desempeño				¿Cumple?
		“IO”	“LS”	“CP”	“C”	
“X”	S. Frecuente					No
	S. Ocasional					No
	S. Raro					No
“Y”	S. Frecuente					No
	S. Ocasional					No
	S. Raro					No

*Nota.* IO: Ocupación inmediata; LS: Resguardo de vida; CP: Cercano al colapso; y C: Colapso.

**4.1.1.4. Pediatría y Medicina General.**

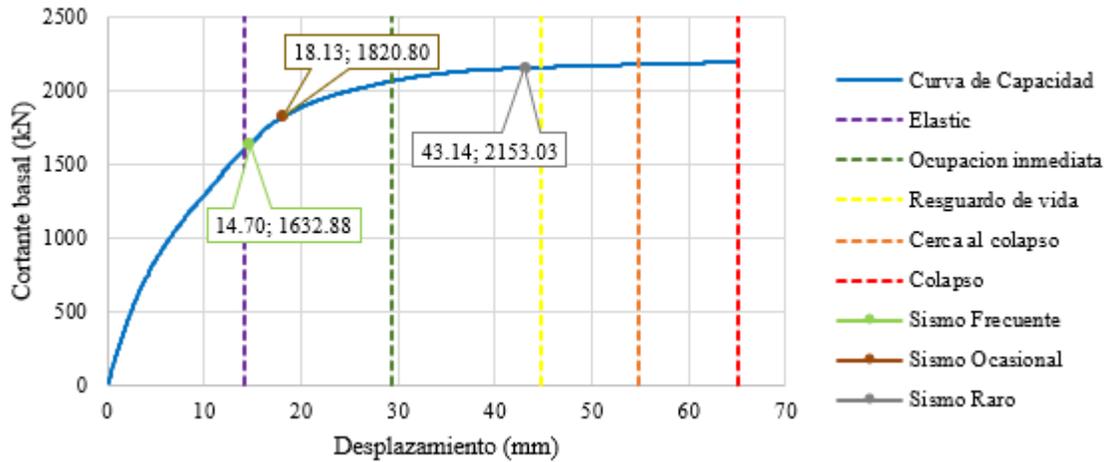
**Tabla 17**

*Resultados del desempeño sísmico, módulo de medicina general*

Orientación	Movimiento Sísmico	Desplazamiento (mm)	Cortante basal (kN)	Deriva (‰)
“X”	S. Frecuente	14.70	1632.88	4.53
	S. Ocasional	18.13	1820.80	5.59
	S. Raro	43.14	2153.03	13.35
“Y”	S. Frecuente	1.35	2011.88	0.95
	S. Ocasional	1.76	2189.04	1.23
	S. Raro	6.17	3199.23	4.20

**Figura 15**

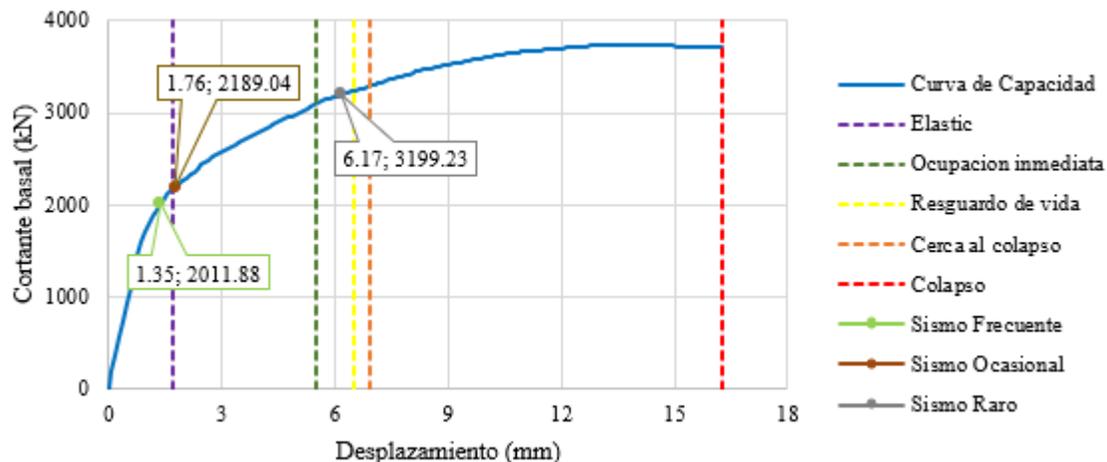
*Desempeño según SEAOC VISION 2000 en la orientación "X", módulo de medicina general*



De la Figura 15 para un SISMO FRECUENTE y OCASIONAL se alcanzó un desempeño de "Ocupación inmediata" que según la Tabla C14 se esperan daños de leves a moderados en componentes arquitectónicos, además un agrietamiento en componentes estructurales, mientras que los mecanismos de protección operan con normalidad. Finalmente, para un SISMO RARO se alcanzó un desempeño de "Resguardo de vida", pero próximo a de cerca al colapso, en el cual se espera una reducción de la resistencia y rigidez del sistema de soporte de cargas laterales, lo que podría requerir el cierre temporal del módulo de medicina general.

**Figura 16**

*Desempeño según Zavala et al. (2019) en la orientación "Y", módulo de medicina general*



**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

De la Figura 16 para un SISMO FRECUENTE se alcanzó un desempeño “Elástico” que según la Tabla C14 no se observan daños (estructurales y no estructurales) significativos, además todas las instalaciones continúan funcionando normalmente. Así mismo, para un SISMO OCASIONAL se alcanzó un desempeño de “Ocupación inmediata”, en el cual se esperan daños de leves a moderados en componentes arquitectónicos, además un agrietamiento en componentes estructurales, mientras que los mecanismos de protección operan con normalidad. Finalmente, para un SISMO RARO se alcanzó un desempeño de “Resguardo de vida”, en el cual se espera una reducción de la resistencia y rigidez del sistema de soporte de cargas laterales, lo que podría requerir el cierre temporal del módulo de medicina general.

**Tabla 18**

*Objetivo de desempeño sísmico para el módulo de medicina general*

Orientación	Movimiento Sísmico	Nivel de Desempeño				¿Cumple?
		“IO”	“LS”	“CP”	“C”	
“X”	S. Frecuente					No
	S. Ocasional					No
	S. Raro					No
“Y”	S. Frecuente					Si
	S. Ocasional					No
	S. Raro					No

*Nota.* IO: Ocupación inmediata; LS: Resguardo de vida; CP: Cercano al colapso; y C: Colapso.

**4.1.2. Resultados de los Estados de Daño para los Módulos de Emergencia, Anestesiología, Cirugía y Medicina General del Hospital “La Caleta” Según el Proyecto RISK-UE**

A continuación, se presentan los parámetros clave para elaborar curvas de fragilidad. Así mismo, estos estados de daño son secuenciales, ya que el “Daño ligero” debe ocurrir antes de que cualquiera de los otros estados de daño pueda ocurrir, mientras que la probabilidad de que la estructura se encuentre “Sin daño” es igual a la probabilidad de que ni el daño ligero, daño moderado, daño extensivo y daño completo se iniciarán. Por último, la probabilidad de que el daño esté en cualquier estado de daño es igual a la diferencia entre las probabilidades asociadas con un estado daño dado y el consecutivo estado de daño superior.

**4.1.2.1. Departamento de Emergencia.**

**Tabla 19**

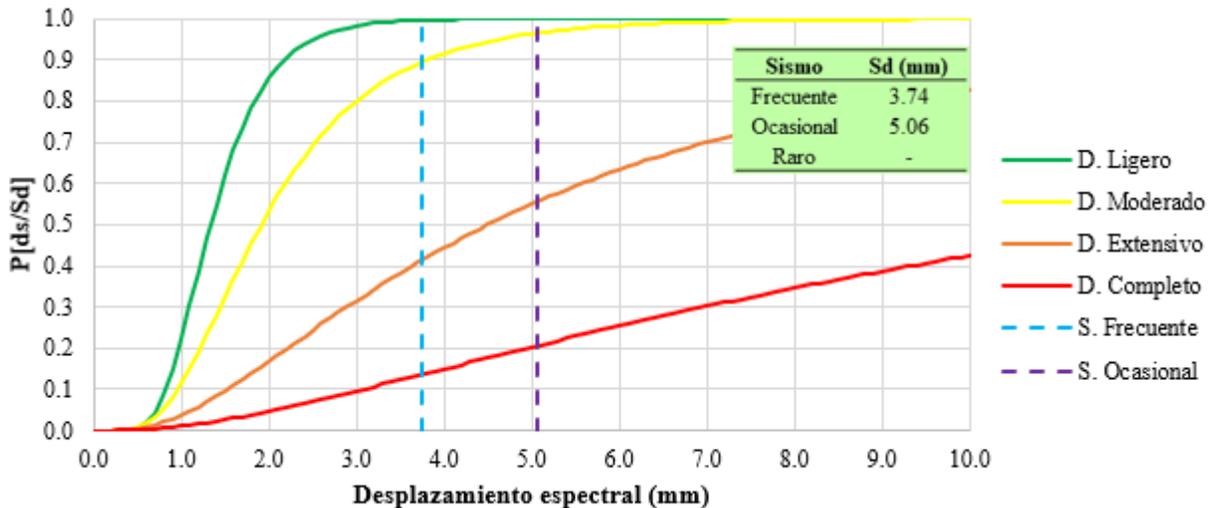
*Parámetros clave para elaborar curvas de fragilidad, módulo de emergencia*

Orientación	Ligero		Moderado		Extensivo		Completo	
	Sd1	$\beta_{ds1}$	Sd2	$\beta_{ds2}$	Sd3	$\beta_{ds3}$	Sd4	$\beta_{ds4}$
“X”	1.340	0.380	1.915	0.534	4.505	0.843	12.274	1.079
“Y”	3.189	0.417	4.556	0.629	15.792	1.054	49.500	1.343

*Nota.* Sd: Mediana;  $\beta_{ds}$ : Desviación estándar lognormal.

**Figura 17**

*Curvas de fragilidad, orientación “X” módulo de emergencia*



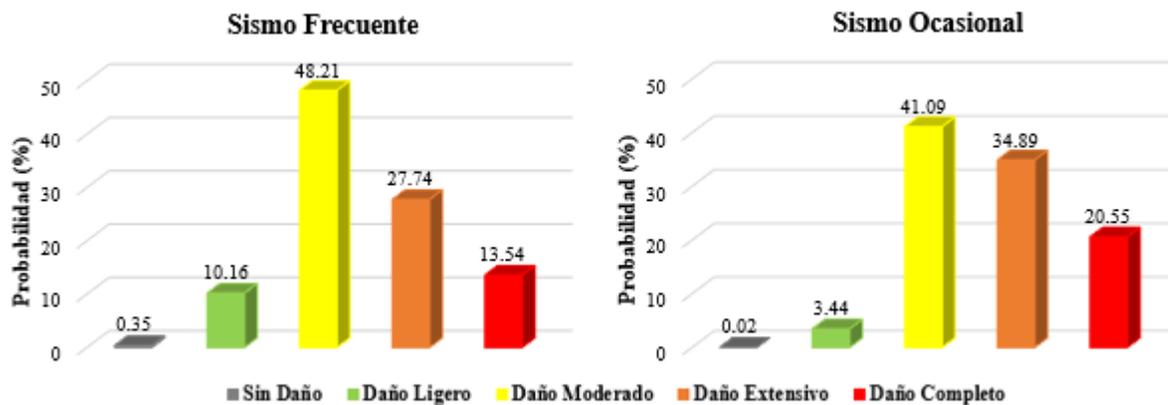
**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD  
DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

---

De la Figura 17 para un SISMO FRECUENTE con un desplazamiento espectral de 3.74 mm la probabilidad de que el módulo de emergencia se presente “Sin daño” es  $100\% - 99.65\% = 0.35\%$ . Así mismo, para un “daño ligero” esto es  $99.65\% - 89.49\% = 10.16\%$ ; para un “daño moderado” esto es  $89.49\% - 41.28\% = 48.21\%$ ; para un “daño extensivo” esto es  $41.28\% - 13.54\% = 27.74\%$  y para un “daño completo” esto es  $13.54\% - 0\% = 13.54\%$ . De la misma manera se estimó los estados de daño para un sismo ocasional, en la Figura 18 se visualizan los histogramas de probabilidad de daño del módulo de emergencia.

**Figura 18**

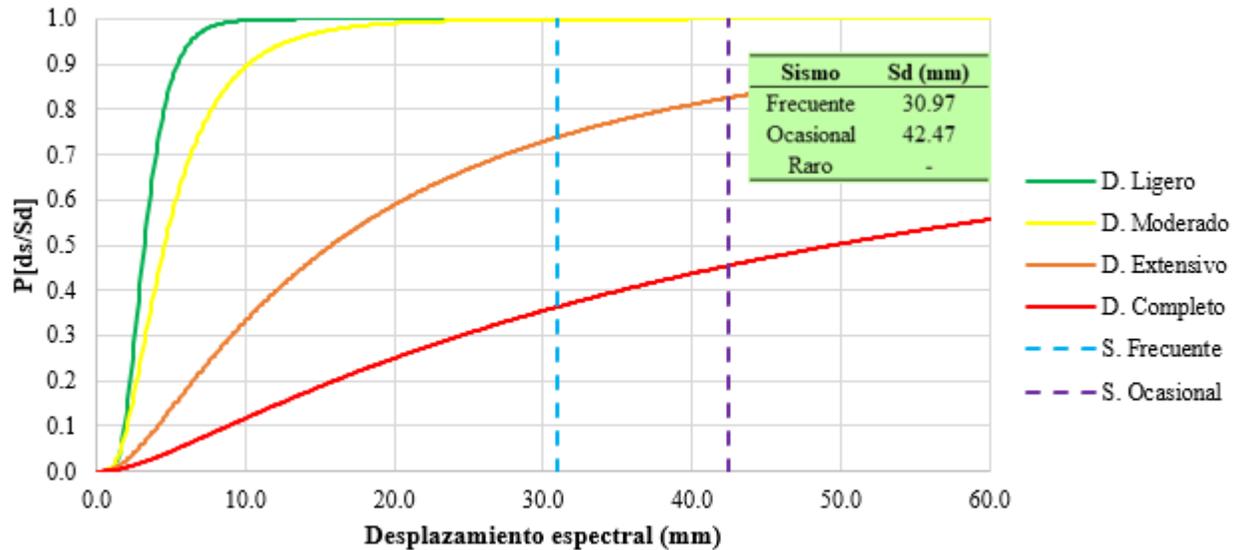
*Histograma de probabilidad de daño, orientación “X” módulo de emergencia*



De la Figura 18 el daño para un SISMO FRECUENTE se localizó esencialmente entre MODERADO (48.21%) y EXTENSIVO (27.74%), con el daño moderado como el más predominante, esto quiere decir que según la Tabla 5 para un daño moderado la probabilidad de que el costo de reparación se encuentre entre un 5% y 20% es de un 48.21%. Así mismo, el daño para un SISMO OCASIONAL también se localizó esencialmente entre MODERADO (41.09%) y EXTENSIVO (34.89%), esto quiere decir que para un daño extensivo la probabilidad de que el costo de reparación se encuentre entre un 20% y 50% es de un 34.89%.

**Figura 19**

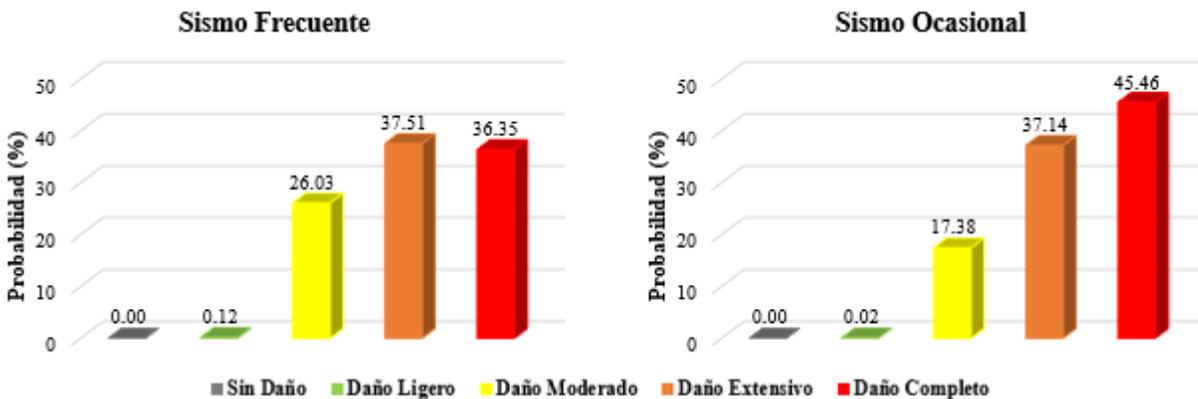
*Curvas de fragilidad, orientación "Y" módulo de emergencia*



De la Figura 19 para un SISMO FRECUENTE con un desplazamiento espectral de 30.97 mm la probabilidad de que el módulo de emergencia se presente "Sin daño" es  $100\% - 100\% = 0.00\%$ . Así mismo, para un "daño ligero" esto es  $100\% - 99.88\% = 0.12\%$ ; para un "daño moderado" esto es  $99.88\% - 73.86\% = 26.03\%$ ; para un "daño extensivo" esto es  $73.86\% - 36.35\% = 37.51\%$  y para un "daño completo" esto es  $36.35\% - 0\% = 36.35\%$ . De la misma manera se estimó los estados de daño para un sismo ocasional, en la Figura 20 se visualizan los histogramas de probabilidad de daño del módulo de emergencia.

**Figura 20**

*Histograma de probabilidad de daño, orientación "Y" módulo de emergencia*



**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

De la Figura 20 el daño para un SISMO FRECUENTE se localizó esencialmente entre EXTENSIVO (37.51%) y COMPLETO (36.35%), esto quiero decir que según la Tabla 5 para un daño extensivo la probabilidad de que el costo de reparación se encuentre entre un 20% y 50% es de un 37.51%. Así mismo, el daño para un SISMO OCASIONAL se localizó esencialmente entre EXTENSIVO (37.14%) y COMPLETO (45.46%), con el daño completo como el más predominante, esto quiere decir que para un daño completo la probabilidad de que el costo de reparación se encuentre entre un 50% y 100% es de un 45.46%.

**4.1.2.2. Departamento de Anestesiología - Centro Quirúrgico.**

**Tabla 20**

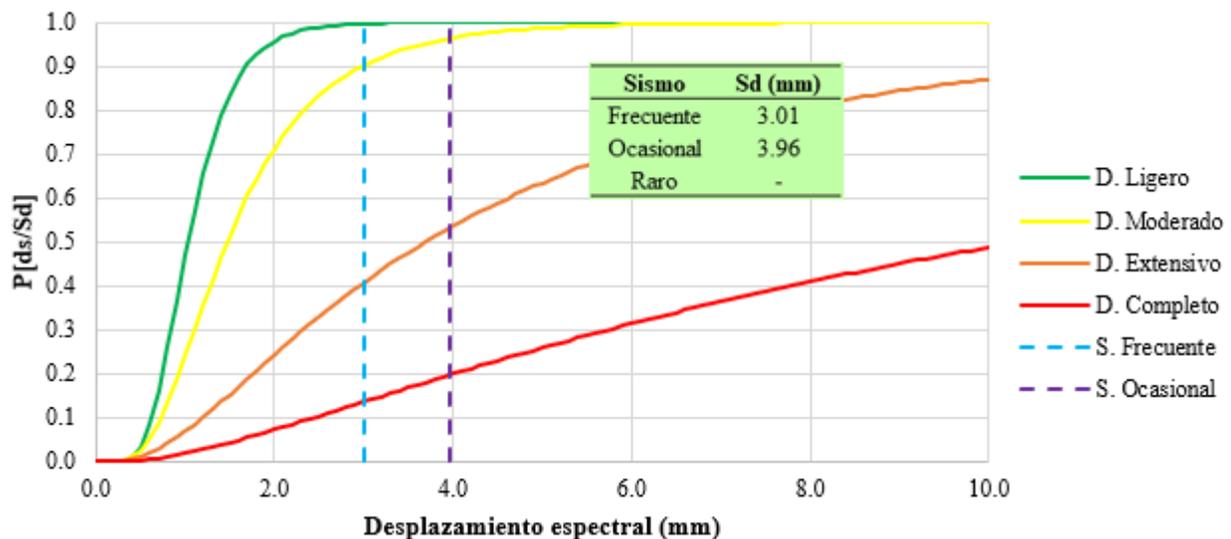
*Parámetros clave para elaborar curvas de fragilidad, módulo de anestesiología*

Orientación	Ligero		Moderado		Extensivo		Completo	
	Sd1	$\beta_{ds1}$	Sd2	$\beta_{ds2}$	Sd3	$\beta_{ds3}$	Sd4	$\beta_{ds4}$
“X”	1.028	0.387	1.469	0.552	3.690	0.881	10.354	1.127
“Y”	1.531	0.379	2.188	0.533	5.109	0.839	13.875	1.074

*Nota.* Sd: Mediana;  $\beta_{ds}$ : Desviación estándar lognormal.

**Figura 21**

*Curvas de fragilidad, orientación “X” módulo de anestesiología*



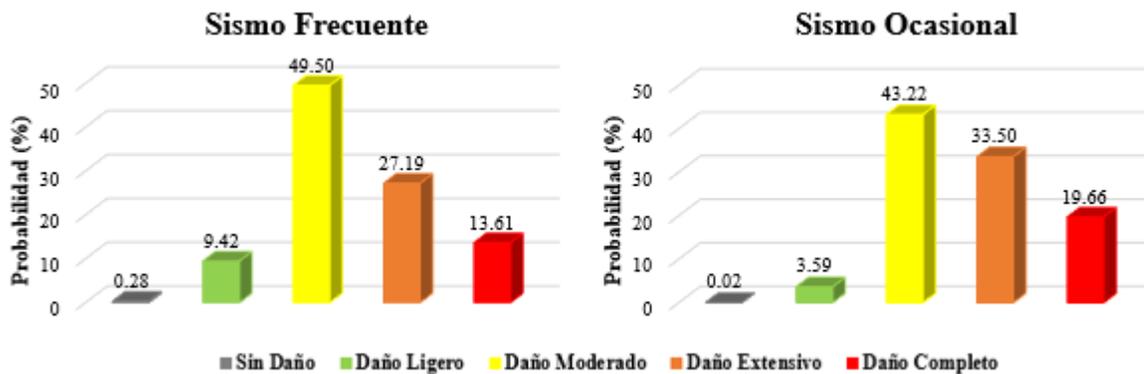
**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD  
DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

---

De la Figura 21 para un SISMO FRECUENTE con un desplazamiento espectral de 3.01 mm la probabilidad de que el módulo de anestesiología se presente “Sin daño” es 100% - 99.72% = 0.28%. Así mismo, para un “daño ligero” esto es 99.72% - 90.30% = 9.42%; para un “daño moderado” esto es 90.30% - 40.80% = 49.50%; para un “daño extensivo” esto es 40.80% - 13.61% = 27.19% y para un “daño completo” esto es 13.61% - 0% = 13.61%. De la misma manera se estimó los estados de daño para un sismo ocasional, en la Figura 22 se visualizan los histogramas de probabilidad de daño del módulo de anestesiología.

**Figura 22**

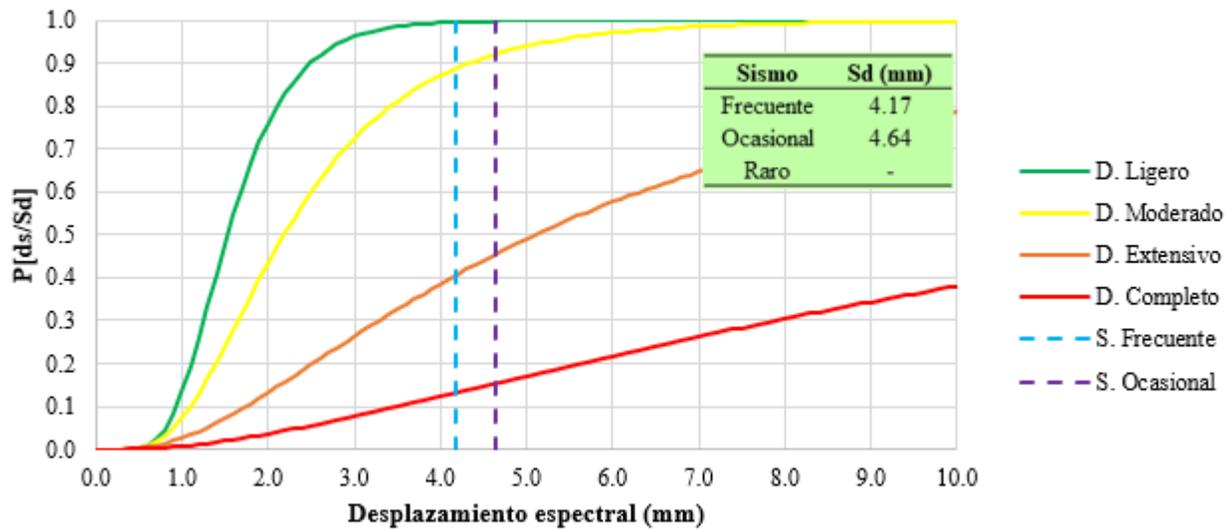
*Histograma de probabilidad de daño, orientación “X” módulo de anestesiología*



De la Figura 22 el daño para un SISMO FRECUENTE se localizó esencialmente entre MODERADO (49.50%) y EXTENSIVO (27.19%), con el daño moderado como el más predominante, esto quiere decir que según la Tabla 5 para un daño moderado la probabilidad de que el costo de reparación se encuentre entre un 5% y 20% es de un 49.50%. Así mismo, el daño para un SISMO OCASIONAL también se localizó esencialmente entre MODERADO (43.22%) y EXTENSIVO (33.50%), esto quiere decir que para un daño extensivo la probabilidad de que el costo de reparación se encuentre entre un 20% y 50% es de un 33.50%.

**Figura 23**

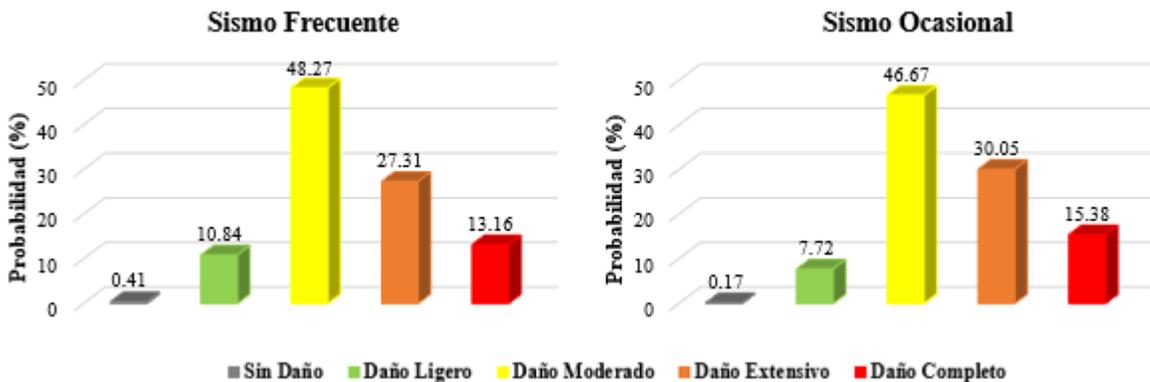
*Curvas de fragilidad, orientación "Y" módulo de anestesiología*



De la Figura 23 para un SISMO FRECUENTE con un desplazamiento espectral de 4.17 mm la probabilidad de que el módulo de anestesiología se presente "Sin daño" es  $100\% - 99.59\% = 0.41\%$ . Así mismo, para un "daño ligero" esto es  $99.59\% - 88.75\% = 10.84\%$ ; para un "daño moderado" esto es  $88.75\% - 40.47\% = 48.27\%$ ; para un "daño extensivo" esto es  $40.47\% - 13.16\% = 27.31\%$  y para un "daño completo" esto es  $13.16\% - 0\% = 13.16\%$ . De la misma manera se estimó los estados de daño para un sismo ocasional, en la Figura 24 se visualizan los histogramas de probabilidad de daño del módulo de anestesiología.

**Figura 24**

*Histograma de probabilidad de daño, orientación "Y" módulo de anestesiología*



**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

De la Figura 24 el daño para un SISMO FRECUENTE se localizó esencialmente entre MODERADO (48.27%) y EXTENSIVO (27.31%), con el daño moderado como el más predominante, esto quiero decir que según la Tabla 5 para un daño moderado la probabilidad de que el costo de reparación se encuentre entre un 5% y 20% es de un 48.27%. Así mismo, el daño para un SISMO OCASIONAL también se localizó esencialmente entre MODERADO (46.67%) y EXTENSIVO (30.05%), con el daño moderado como el más predominante, esto quiere decir que para un daño moderado la probabilidad de que el costo de reparación se encuentre entre un 5% y 20% es de un 46.67%.

**4.1.2.3. Internados de Cirugía.**

**Tabla 21**

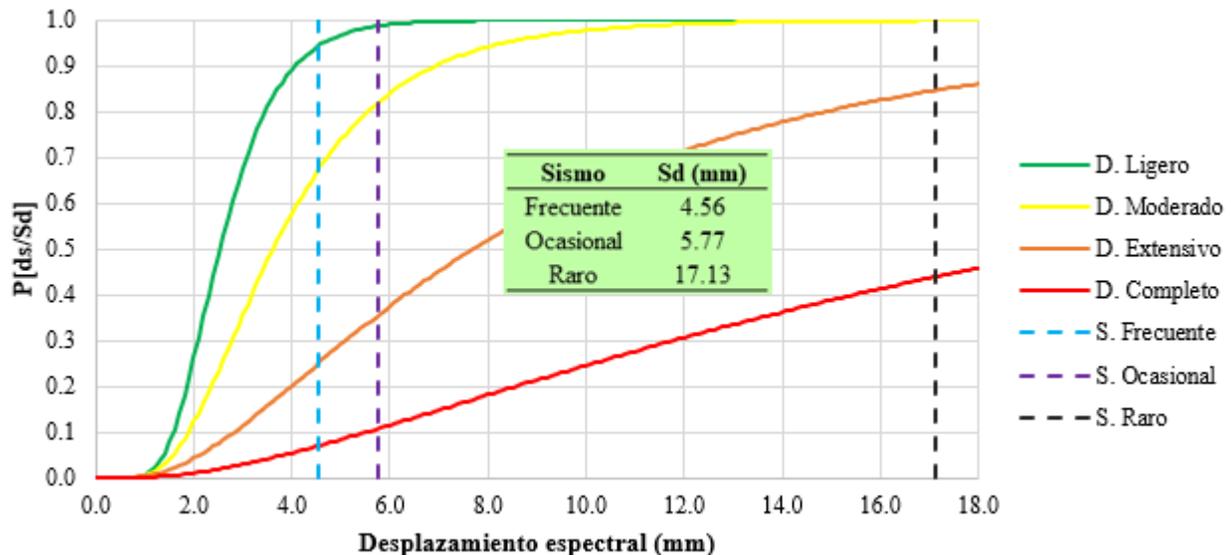
*Parámetros clave para elaborar curvas de fragilidad, módulo de cirugía*

Orientación	Ligero		Moderado		Extensivo		Completo	
	Sd1	$\beta_{ds1}$	Sd2	$\beta_{ds2}$	Sd3	$\beta_{ds3}$	Sd4	$\beta_{ds4}$
“X”	2.534	0.369	3.620	0.507	7.702	0.783	19.950	1.003
“Y”	0.926	0.391	1.322	0.563	3.476	0.907	9.937	1.158

*Nota.* Sd: Mediana;  $\beta_{ds}$ : Desviación estándar lognormal.

**Figura 25**

*Curvas de fragilidad, orientación “X” módulo de cirugía*

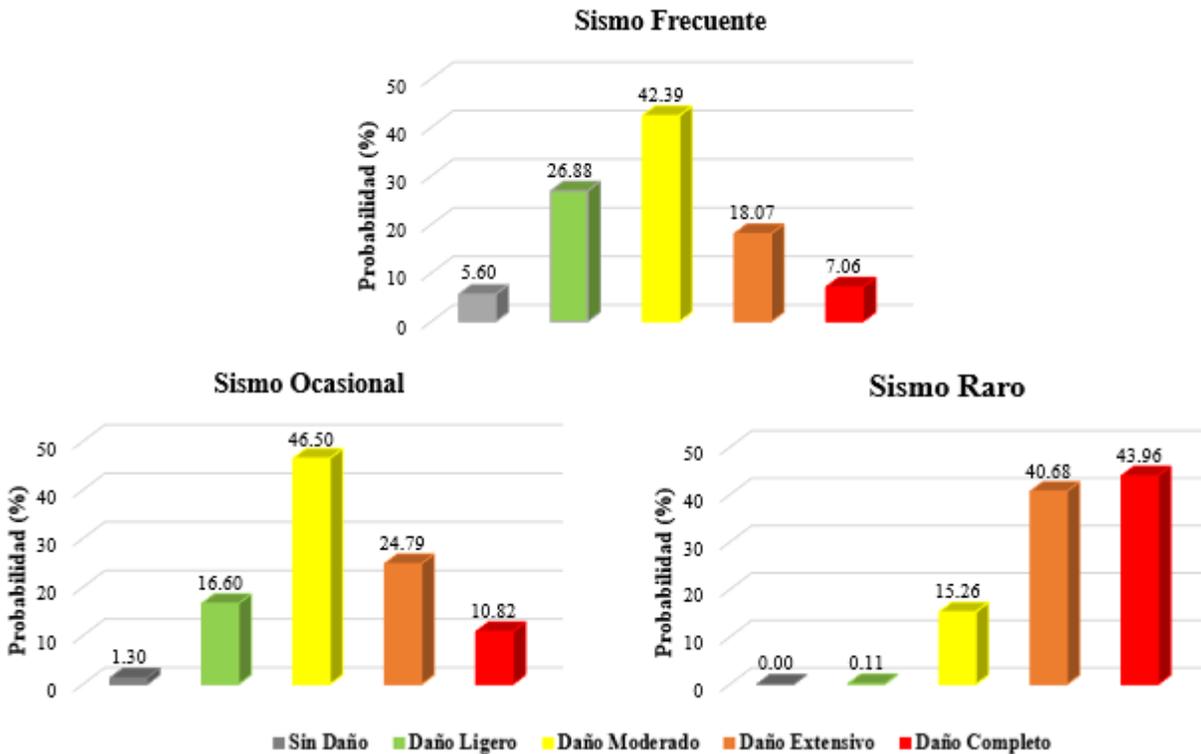


**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

De la Figura 25 para un SISMO FRECUENTE con un desplazamiento espectral de 4.56 mm la probabilidad de que el módulo de cirugía se presente “Sin daño” es  $100\% - 94.40\% = 5.60\%$ . Así mismo, para un “daño ligero” esto es  $94.40\% - 67.52\% = 26.88\%$ ; para un “daño moderado” esto es  $67.52\% - 25.13\% = 42.39\%$ ; para un “daño extensivo” esto es  $25.13\% - 7.06\% = 18.07\%$  y para un “daño completo” esto es  $7.06\% - 0\% = 7.06\%$ . De la misma manera se estimó los estados de daño para un sismo ocasional y raro, en la Figura 26 se visualizan los histogramas de probabilidad de daño para el módulo de cirugía.

**Figura 26**

*Histograma de probabilidad de daño, orientación “X” módulo de cirugía*



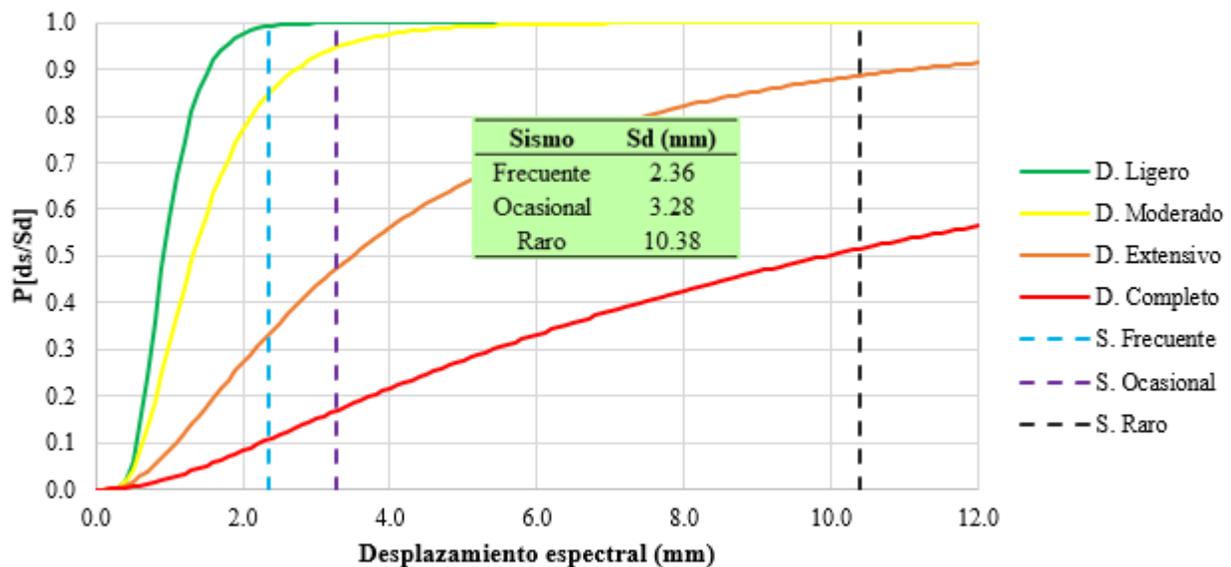
De la Figura 26 el daño para un SISMO FRECUENTE se localizó esencialmente entre LIGERO (26.88%) y MODERADO (42.39%), con el daño moderado como el más predominante, esto quiero decir que según la Tabla 5 para un daño moderado la probabilidad de que el costo de reparación se encuentre entre un 5% y 20% es de un 42.39%. Así mismo, el daño para un SISMO

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

OCASIONAL se localizó esencialmente entre MODERADO (46.50%) y EXTENSIVO (24.79%), con el daño moderado como el más predominante, esto quiere decir que para un daño moderado la probabilidad de que el costo de reparación se encuentre entre un 5% y 20% es de un 46.50%. Por último, el daño para un SISMO RARO se localizó esencialmente entre EXTENSIVO (40.68%) y COMPLETO (43.96%), esto quiere decir que para un daño completo la probabilidad de que el costo de reparación se encuentre entre un 50% y 100% es de un 43.96%.

**Figura 27**

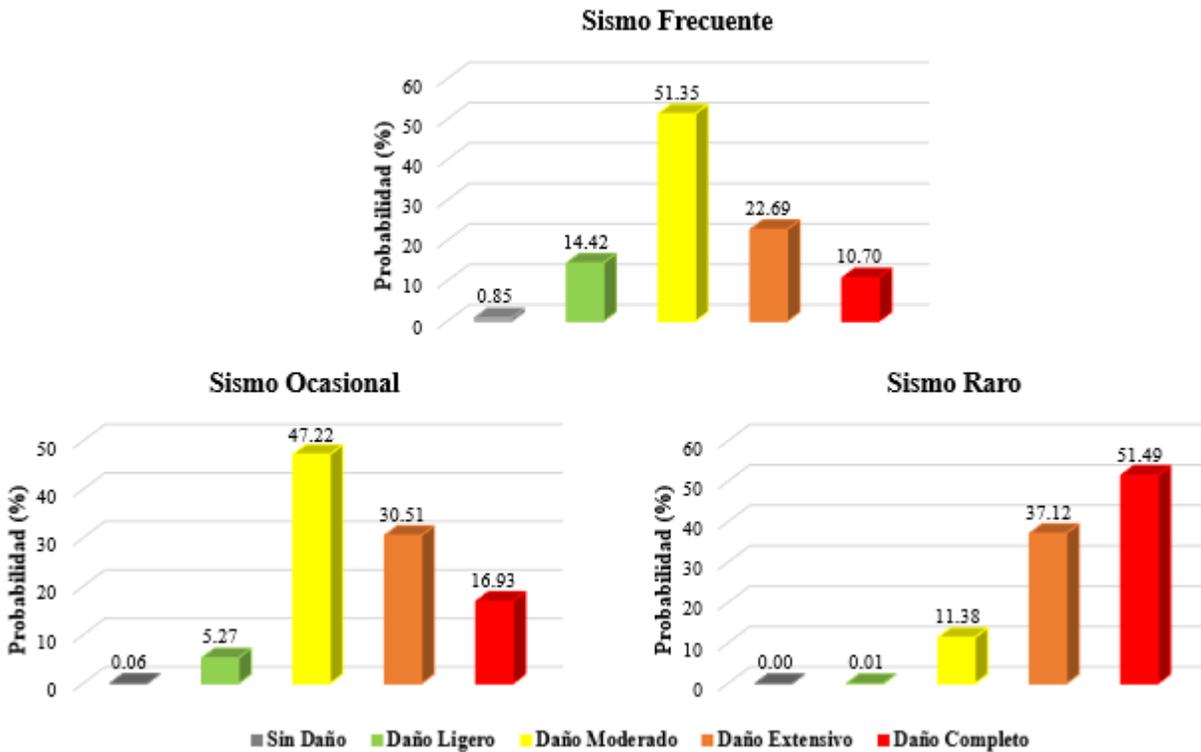
*Curvas de fragilidad, orientación "Y" módulo de cirugía*



De la Figura 27 para un SISMO FRECUENTE con un desplazamiento espectral de 2.36 mm la probabilidad de que el módulo de cirugía se presente “Sin daño” es  $100\% - 99.15\% = 0.85\%$ . Así mismo, para un “daño ligero” esto es  $99.15\% - 84.74\% = 14.42\%$ ; para un “daño moderado” esto es  $84.74\% - 33.38\% = 51.35\%$ ; para un “daño extensivo” esto es  $33.38\% - 10.70\% = 22.69\%$  y para un “daño completo” esto es  $10.70\% - 0\% = 10.70\%$ . De la misma manera se estimó los estados de daño para un sismo ocasional y raro, en la Figura 28 se visualizan los histogramas de probabilidad de daño del módulo de cirugía.

**Figura 28**

*Histograma de probabilidad de daño, orientación "Y" módulo de cirugía*



De la Figura 28 el daño para un SISMO FRECUENTE se localizó esencialmente entre MODERADO (51.35%) y EXTENSIVO (22.69%), con el daño moderado como el más predominante, esto quiere decir que según la Tabla 5 para un daño moderado la probabilidad de que el costo de reparación se encuentre entre un 5% y 20% es de un 51.35%. Así mismo, el daño para un SISMO OCASIONAL también se localizó esencialmente entre MODERADO (47.22%) y EXTENSIVO (30.51%); con el daño moderado como el más predominante, esto quiere decir que para un daño moderado la probabilidad de que el costo de reparación se encuentre entre un 5% y 20% es de un 47.22%. Por último, el daño para un SISMO RARO se localizó esencialmente entre EXTENSIVO (37.12%) y COMPLETO (51.49%), con el daño completo como el más predominante, esto quiere decir que para un daño completo la probabilidad de que el costo de reparación se encuentre entre un 50% y 100% es de un 51.49%.

**4.1.2.4. Pediatría y Medicina General.**

**Tabla 22**

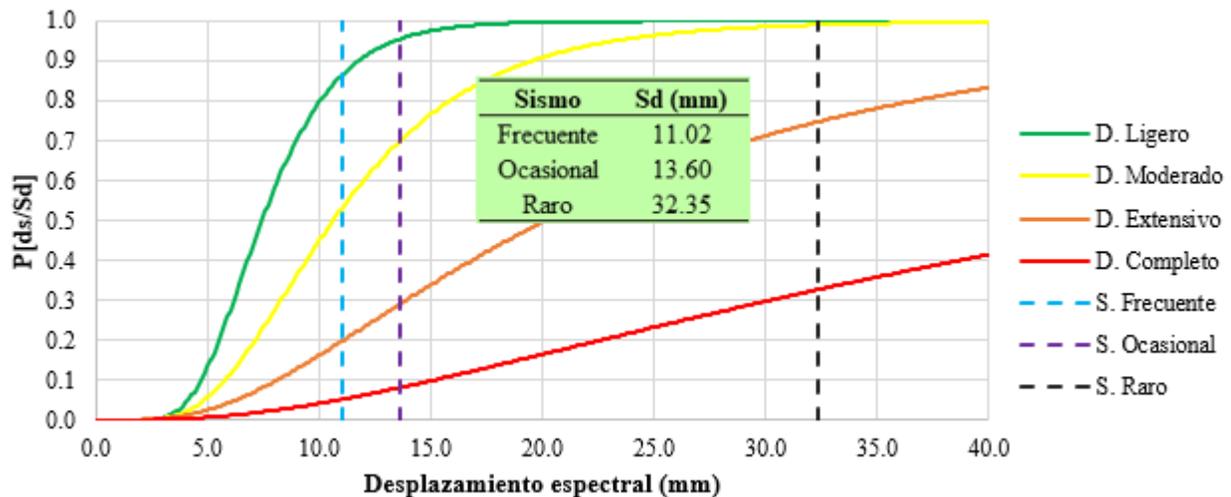
*Parámetros clave para elaborar curvas de fragilidad, módulo de M. general*

Orientación	Ligero		Moderado		Extensivo		Completo	
	Sd1	$\beta_{ds1}$	Sd2	$\beta_{ds2}$	Sd3	$\beta_{ds3}$	Sd4	$\beta_{ds4}$
“X”	7.443	0.357	10.634	0.474	20.163	0.709	48.750	0.911
“Y”	0.896	0.408	1.280	0.606	4.007	1.002	12.188	1.277

*Nota.* Sd: Mediana;  $\beta_{ds}$ : Desviación estándar lognormal.

**Figura 29**

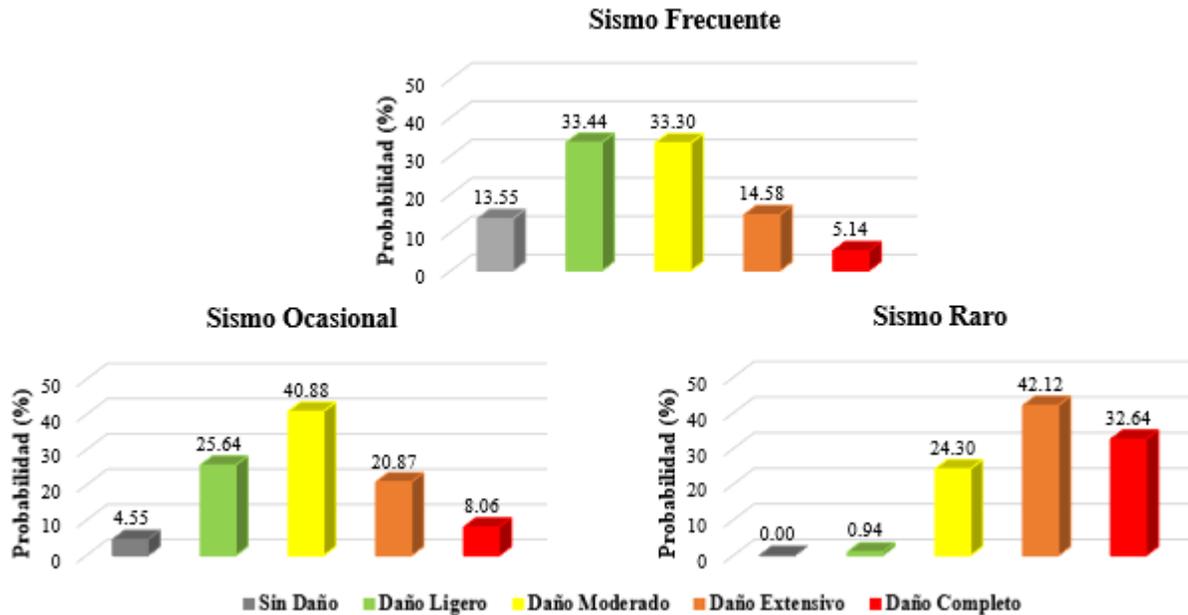
*Curvas de fragilidad, orientación “X” módulo de M. general*



De la Figura 29 para un SISMO FRECUENTE con un desplazamiento espectral de 11.02 mm la probabilidad de que el módulo de medicina general se presente “Sin daño” es 100% - 86.45% = 13.55%. Así mismo, para un “daño ligero” esto es 86.45% - 53.01% = 33.44%; para un “daño moderado” esto es 53.01% - 19.72% = 33.30%; para un “daño extensivo” esto es 19.72% - 5.14% = 14.58% y para un “daño completo” esto es 5.14% - 0% = 5.14%. De la misma manera se estimó los estados de daño para un sismo ocasional y raro, en la Figura 30 se visualizan los histogramas de probabilidad de daño del módulo de medicina general.

**Figura 30**

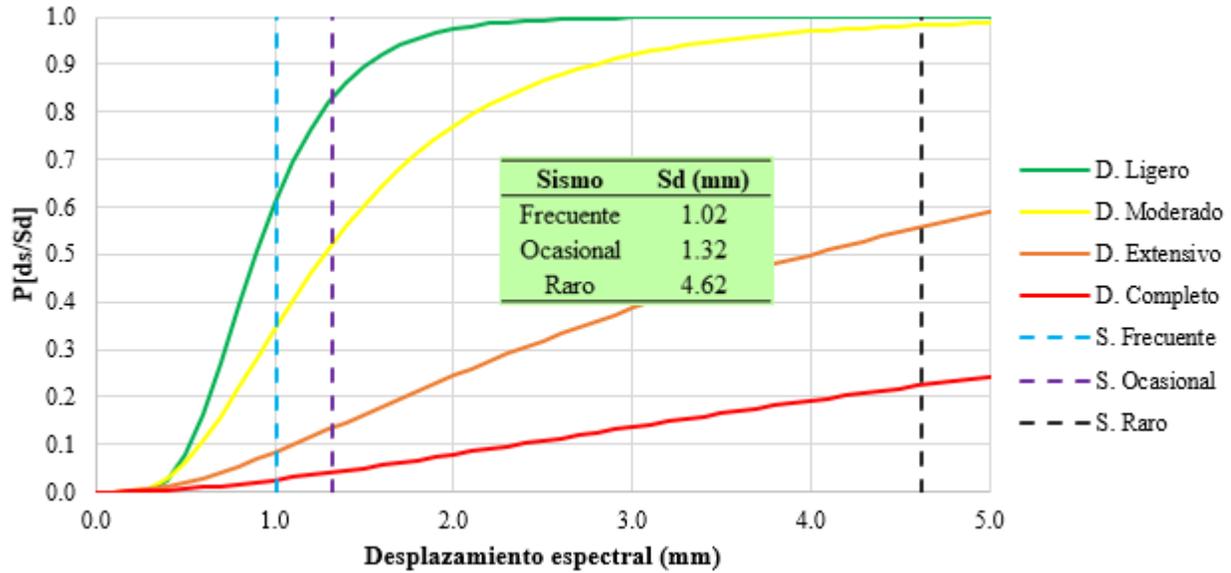
*Histograma de probabilidad de daño, orientación "X" módulo de M. general*



De la Figura 30 el daño para un SISMO FRECUENTE se localizó esencialmente entre LIGERO (33.44%) y MODERADO (33.30%), esto quiere decir que según la Tabla 5 para un daño ligero la probabilidad de que el costo de reparación se encuentre entre un 0% y 5% es de un 33.44%. Así mismo, el daño para un SISMO OCASIONAL también se localizó esencialmente entre LIGERO (25.64%) y MODERADO (40.88%), con el daño moderado como el más predominante, esto quiere decir que para un daño moderado la probabilidad de que el costo de reparación se encuentre entre un 5% y 20% es de un 40.88%. Por último, el daño para un SISMO RARO se localizó esencialmente entre EXTENSIVO (42.12%) y COMPLETO (32.64%), con el daño extensivo como el más predominante, esto quiere decir que para un daño extensivo la probabilidad de que el costo de reparación se encuentre entre un 20% y 50% es de un 42.12%.

**Figura 31**

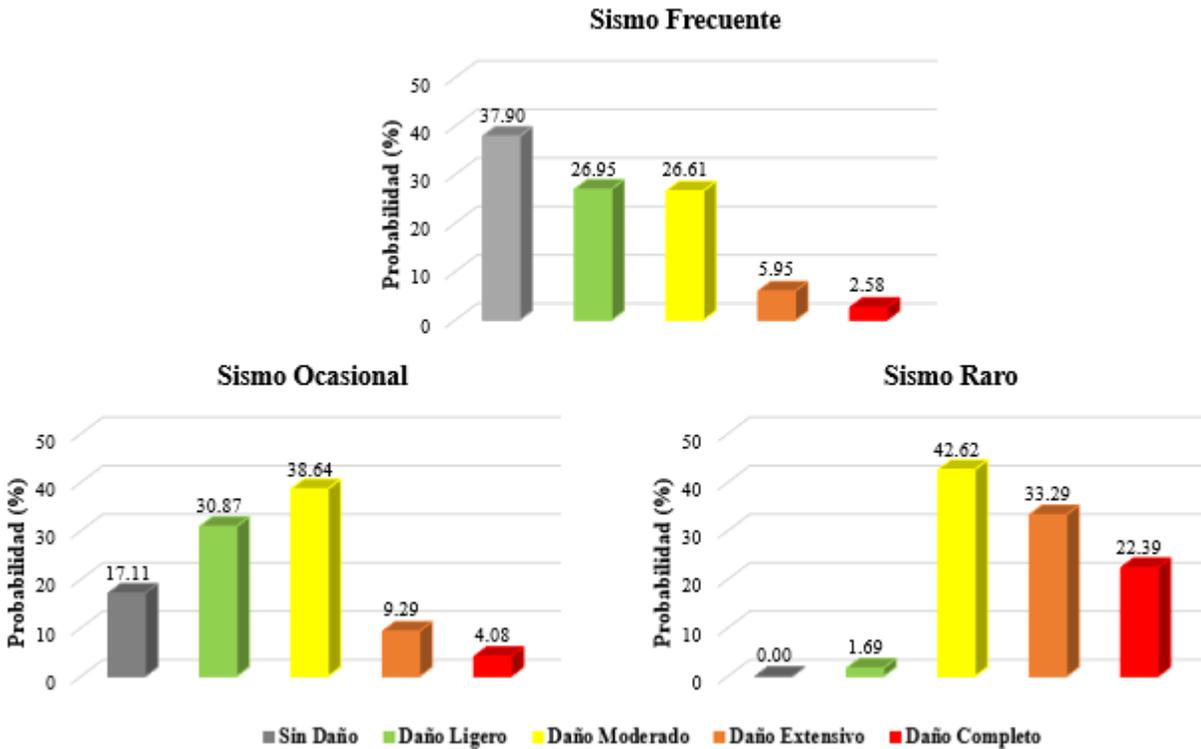
*Curvas de fragilidad, orientación "Y" módulo de M. general*



De la Figura 31 para un SISMO FRECUENTE con un desplazamiento espectral de 1.02 mm la probabilidad de que el módulo de medicina general se presente "Sin daño" es  $100\% - 62.10\% = 37.90\%$ . Así mismo, para un "daño ligero" esto es  $62.10\% - 35.14\% = 26.95\%$ ; para un "daño moderado" esto es  $35.14\% - 8.53\% = 26.61\%$ ; para un "daño extensivo" esto es  $8.53\% - 2.58\% = 5.95\%$  y para un "daño completo" esto es  $2.58\% - 0\% = 2.58\%$ . De la misma manera se estimó los estados de daño para un sismo ocasional y raro, en la Figura 32 se visualizan los histogramas de probabilidad de daño del módulo de medicina general.

**Figura 32**

*Histograma de probabilidad de daño, orientación "Y" módulo de M. general*



De la Figura 32 el daño para un SISMO FRECUENTE se localizó esencialmente entre SIN DAÑO (37.90%), LIGERO (26.95%) y MODERADO (26.61%); esto quiere decir que según la Tabla 5 para un estado sin daño la probabilidad de que el costo de reparación se encuentre en un 0% es de un 37.90%. Así mismo, el daño para un SISMO OCASIONAL también se localizó esencialmente entre LIGERO (30.87%) y MODERADO (38.64%), con el daño moderado como el más predominante, esto quiere decir que para un daño moderado la probabilidad de que el costo de reparación se encuentre entre un 5% y 20% es de un 38.64%. Por último, el daño para un SISMO RARO se localizó esencialmente entre MODERADO (42.62%) y EXTENSIVO (33.29%), con el daño moderado como el más predominante, esto quiere decir que para un daño moderado la probabilidad de que el costo de reparación se encuentre entre un 5% y 20% es de un 42.62%.

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

**4.1.3. Resultados del Daño Global Esperado de los Módulos de Emergencia, Anestesiología, Cirugía y Medicina General del Hospital “La Caleta”**

A continuación, se presentan las probabilidades acumuladas para cada estado de daño; así mismo, se calculó el daño global esperado de los cuatro módulos seleccionados del hospital “La Caleta”. Finalmente, se clasificó estos daños globales esperados mediante la Tabla D19.

**4.1.3.1. Departamento de Emergencia.**

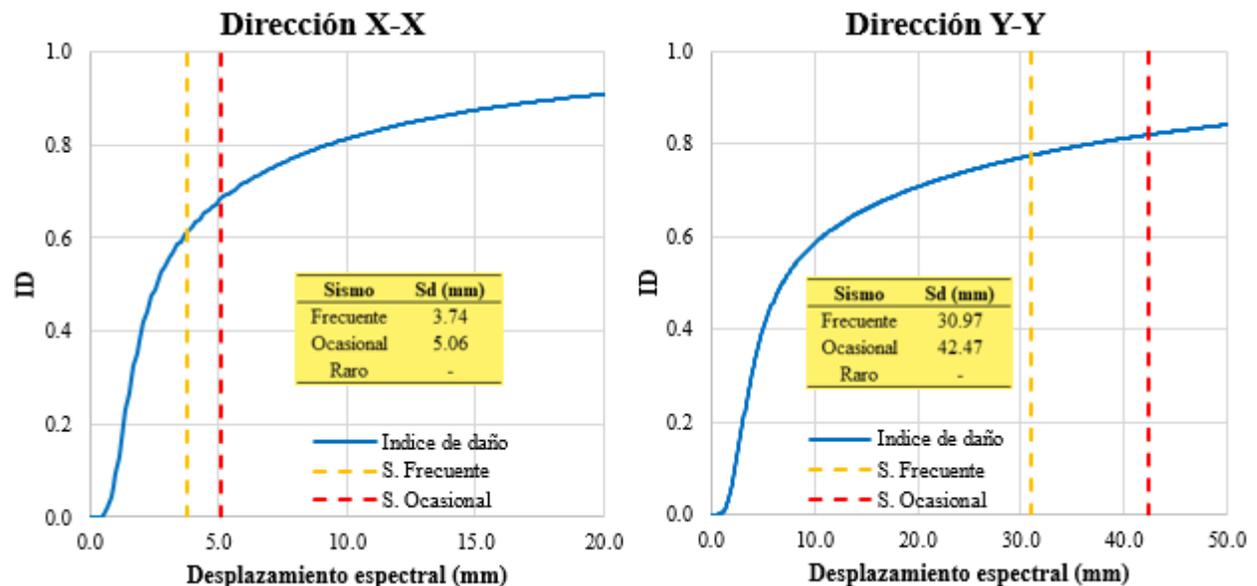
**Tabla 23**

*Probabilidad de que ocurra un “ds” y daño global esperado, módulo de emergencia*

Orientación	Movimiento Sísmico	Estado de daño RISK-UE				# Estados de daño n	Daño Global Esperado ID(%)
		Ligero ds1(%)	Moderado ds2(%)	Extensivo ds3(%)	Completo ds4(%)		
“X”	S. Frecuente	99.65	89.49	41.28	13.54	4	60.99
	S. Ocasional	99.98	96.54	55.45	20.55	4	68.13
	S. Raro	100.00	100.00	100.00	100.00	4	100.00
“Y”	S. Frecuente	100.00	99.88	73.86	36.35	4	77.52
	S. Ocasional	100.00	99.98	82.60	45.46	4	82.01
	S. Raro	100.00	100.00	100.00	100.00	4	100.00

**Figura 33**

*Representación gráfica del daño global esperado, módulo de emergencia*



**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

De la Tabla 23 para un SISMO FRECUENTE y OCASIONAL en la orientación “X” los daños globales esperados según la Tabla D19 se clasificaron con un grado de daño extensivo “GD4”, en el cual se espera un fallo serio en los muros de albañilería y para un SISMO RARO en la orientación “X” el daño global esperado se clasificó con un grado de daño completo “GD5”, en el cual se espera un colapso total o casi total del módulo de emergencia. Así mismo, para un SISMO FRECUENTE y OCASIONAL en la orientación “Y” los daños globales esperados según la Tabla D19 se clasificaron con un grado de daño extensivo “GD4”, en el cual se esperan amplias grietas en los componentes estructurales con fallos de compresión en el concreto y rotura de las barras de refuerzo, colapso de algunas columnas; y para un SISMO RARO en la orientación “Y” el daño global esperado se clasificó con un grado de daño completo “GD5”, en el cual se espera un colapso total o de partes del módulo de emergencia.

**4.1.3.2. Departamento de Anestesiología - Centro Quirúrgico.**

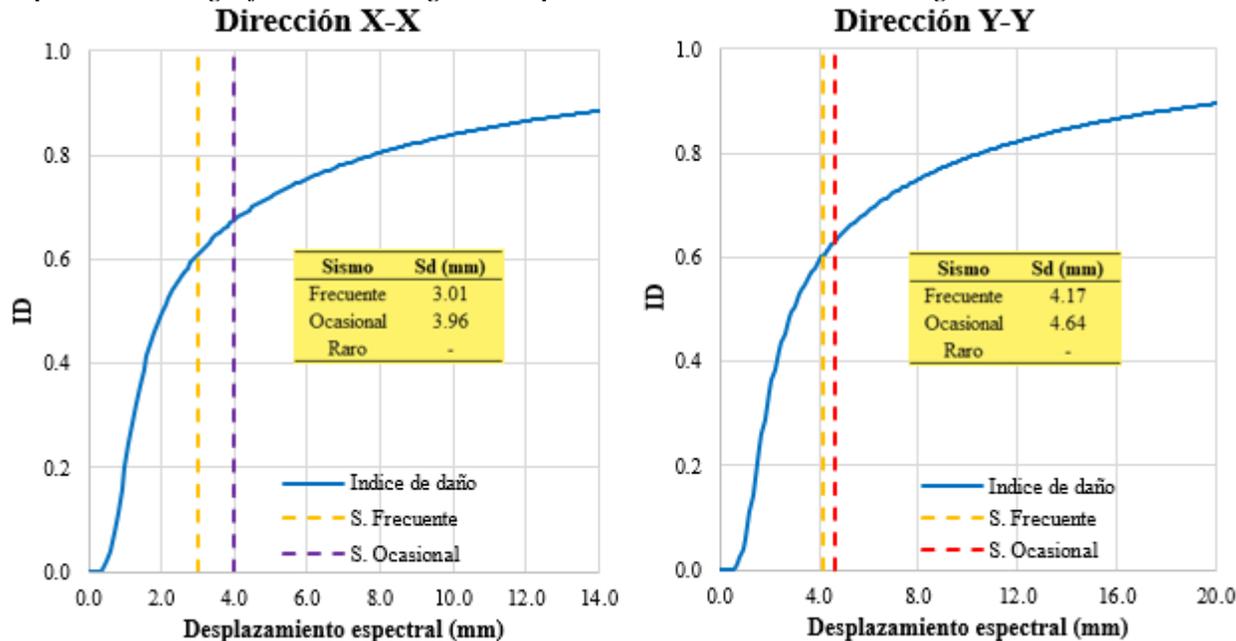
**Tabla 24**

*Probabilidad de que ocurra un “ds” y daño global esperado, módulo de anestesiología*

Orientación	Movimiento Sísmico	Estado de daño RISK-UE				# Estados de daño n	Daño Global Esperado ID(%)
		Ligero ds1(%)	Moderado ds2(%)	Extensivo ds3(%)	Completo ds4(%)		
“X”	S. Frecuente	99.72	90.30	40.80	13.61	4	61.11
	S. Ocasional	99.98	96.38	53.16	19.66	4	67.30
	S. Raro	100.00	100.00	100.00	100.00	4	100.00
“Y”	S. Frecuente	99.59	88.75	40.47	13.16	4	60.49
	S. Ocasional	99.83	92.11	45.43	15.38	4	63.19
	S. Raro	100.00	100.00	100.00	100.00	4	100.00

**Figura 34**

*Representación gráfica del daño global esperado, módulo de anestesiología*



De la Tabla 24 para un SISMO FRECUENTE y OCASIONAL en ambas orientaciones los daños globales esperados según la Tabla D19 se clasificaron con un grado de daño extensivo “GD4”, en el cual se espera un fallo serio en los muros de albañilería y para un SISMO RARO en ambas orientaciones se clasificó con un grado de daño completo “GD5”, en el cual se espera un colapso total o casi total del módulo de anestesiología.

#### 4.1.3.3. Internados de Cirugía.

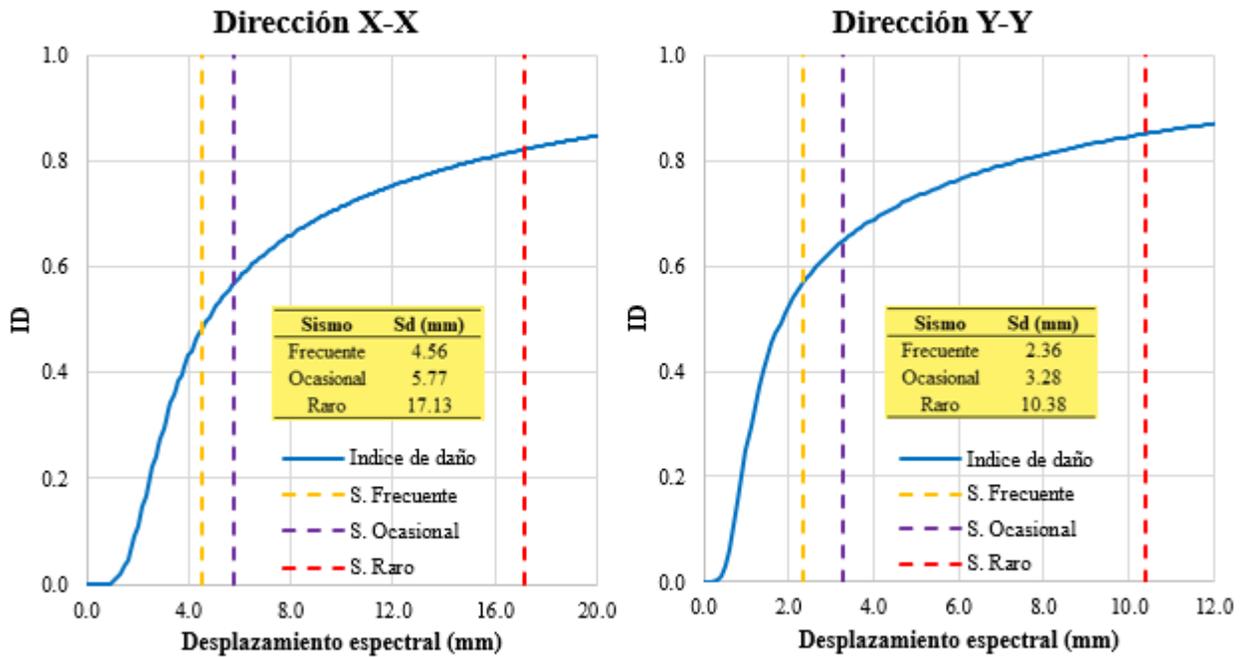
**Tabla 25**

*Probabilidad de que ocurra un “ds” y daño global esperado, módulo de cirugía*

Orientación	Movimiento Sísmico	Estado de daño RISK-UE				# Estados de daño n	Daño Global Esperado ID(%)
		Ligero ds1(%)	Moderado ds2(%)	Extensivo ds3(%)	Completo ds4(%)		
“X”	S. Frecuente	94.40	67.52	25.13	7.06	4	48.53
	S. Ocasional	98.70	82.11	35.61	10.82	4	56.81
	S. Raro	100.00	99.89	84.63	43.96	4	82.12
“Y”	S. Frecuente	99.15	84.74	33.38	10.70	4	56.99
	S. Ocasional	99.94	94.67	47.45	16.93	4	64.75
	S. Raro	100.00	99.99	88.61	51.49	4	85.02

**Figura 35**

*Representación gráfica del daño global esperado, módulo de cirugía*



De la Tabla 25 para un SISMO FRECUENTE en ambas orientaciones y para un sismo OCASIONAL en la orientación “X” los daños globales esperados según la Tabla D19 se clasificaron con un grado de daño moderado “GD3”, en el cual se esperan grietas prolongadas y generalizadas en la mayoría de las paredes de albañilería; así mismo, para un SISMO OCASIONAL en la orientación “Y” y para un SISMO RARO en ambas orientaciones los daños globales esperados se clasificaron con un grado de daño extensivo “GD4”, en el cual se espera un fallo serio en los muros de albañilería.

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

**4.1.3.4. Pediatría y Medicina General.**

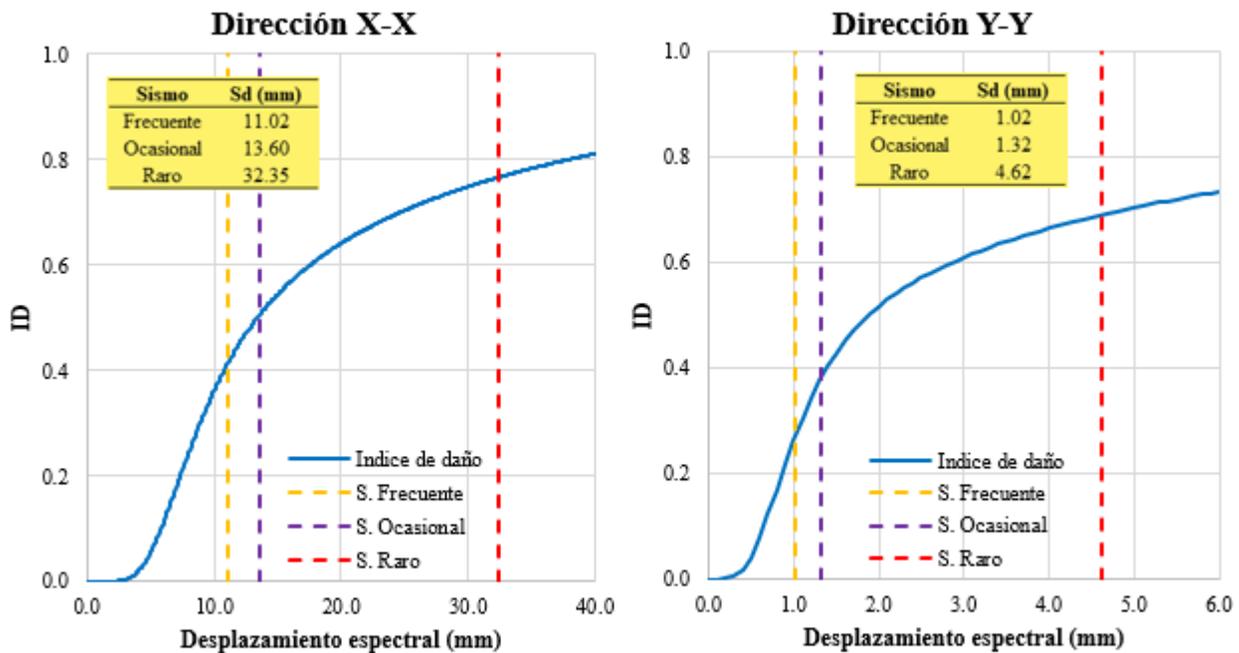
**Tabla 26**

*Probabilidad de que ocurra un “ds” y daño global esperado, módulo de M. general*

Orientación	Movimiento Sísmico	Estado de daño RISK-UE				# Estados de daño n	Daño Global Esperado ID(%)
		Ligero ds1(%)	Moderado ds2(%)	Extensivo ds3(%)	Completo ds4(%)		
“X”	S. Frecuente	86.45	53.01	19.72	5.14	4	41.08
	S. Ocasional	95.45	69.82	28.94	8.06	4	50.57
	S. Raro	100.00	99.05	74.76	32.64	4	76.61
“Y”	S. Frecuente	62.10	35.14	8.53	2.58	4	27.09
	S. Ocasional	82.89	52.01	13.37	4.08	4	38.09
	S. Raro	100.00	98.30	55.69	22.39	4	69.10

**Figura 36**

*Representación gráfica del daño global esperado, módulo de M. general*



De la Tabla 26 para un SISMO FRECUENTE y OCASIONAL en la orientación “X” los daños globales esperados según la Tabla D19 se clasificaron con un grado de daño moderado “GD3”, en el cual se esperan grietas en las columnas y en las conexiones entre columnas y vigas

en la base de la estructura, pérdida de recubrimiento; y para un SISMO RARO en la orientación “X” el daño global esperado se clasificó con un grado de daño extensivo “GD4”, en el cual se esperan amplias grietas en los componentes estructurales con fallos de compresión en el concreto y rotura de las barras de refuerzo, colapso de algunas columnas. Así mismo, para un SISMO FRECUENTE en la orientación “Y” el daño global esperado según la Tabla D19 se clasificó con un grado de daño ligero “GD2”, en el cual se esperan grietas en muchos muros de albañilería; para un SISMO OCASIONAL en la orientación “Y” el daño global esperado se clasificó con un grado de daño moderado “GD3”, en el cual se esperan grietas prolongadas y generalizadas en la mayoría de las paredes de albañilería; y para un SISMO RARO en la orientación “Y” el daño global esperado se clasificó con un grado de daño extensivo “GD4”, en el cual se espera un fallo serio en los muros de albañilería.

#### ***4.1.4. Contrastación de la Hipótesis***

Los resultados obtenidos en la Tabla 23, Tabla 24, Tabla 25 y Tabla 26 confirman la hipótesis planteada, mostrando que el grado de daño esperado de los módulos de los departamentos de **Emergencia**, de **Anestesiología y Centro Quirúrgico**, de **Internados de Cirugía**, y de **Pediatría y Medicina General** del hospital “La Caleta” en el caso de un movimiento sísmico raro (10% en 50 años), el cual es igual a un sismo severo según la NTP. E-030 serán de daños “Extensivos y Completos”. Esto resalta la necesidad de medidas preventivas y de preparación para minimizar los riesgos y garantizar la resiliencia del hospital “La Caleta” ante eventos sísmicos.

Como resultado se acepta la hipótesis alternativa (H1) la cual indica que los módulos evaluados del hospital “La Caleta” presentarán un grado de vulnerabilidad sísmica estructural de “daños extensivos” mediante curvas de fragilidad.

#### **4.2. Discusión**

- En el presente trabajo con el objetivo general de determinar el grado de vulnerabilidad sísmica estructural mediante curvas de fragilidad de los módulos de emergencia, anestesiología, cirugía y medicina general del hospital “La Caleta” del distrito de Chimbote, los resultados obtenidos respaldan la validación de la hipótesis general propuesta, dado que, al emplear curvas de fragilidad mediante la propuesta RISK-UE se determinó que el módulo de “Emergencia” en la orientación “Y” resultó ser más vulnerable ante un movimiento sísmico frecuente, ocasional y raro con un grado de daño del 77.52% (daño extensivo “GD4”), 82.01% (daño extensivo “GD4”) y 100% (daño completo “GD5”) respectivamente; por otro lado, el módulo de “Pediatría y Medicina general” en la orientación “Y” resultó ser menos vulnerable ante un movimiento sísmico frecuente, ocasional y raro con un grado de daño del 27.09% (daño ligero “GD2”), 38.09% (daño moderado “GD3”) y 69.10% (daño extensivo “GD4”) respectivamente. Resultados semejantes fueron obtenidos por Baylon et al. (2022), quienes en su investigación emplearon técnicas analíticas como el análisis pushover y el método del espectro de capacidad, con lo cual concluyeron que el edificio de la columna vertebral del Hospital General de Filipinas sufriría ante un terremoto con un PGA de 0.258g (daños leves), 0.536g (daños moderados), 0.566g (daños severos) y 0.583g (daños por colapso). En tal sentido, bajo lo expuesto anteriormente, es importante mejorar la resistencia sísmica de las infraestructuras hospitalarias, ya que no solo protegen vidas humanas, sino que también ayudará a fortalecer la capacidad de respuesta de un sistema de salud ante emergencias.
- En el presente trabajo con el objetivo de verificar si los módulos de emergencia, anestesiología, cirugía y medicina general del hospital “La Caleta” cumplen con el nivel de desempeño sísmico requerido para una edificación esencial, los resultados reflejaron que los módulos evaluados no cumplieron con los niveles requeridos en ambas orientaciones “X” e “Y” frente a los niveles de

movimiento sísmico frecuente, ocasional y raro de acuerdo con el desempeño esperado según SEAOC VISION 2000. Resultados similares fueron obtenidos por Diaz & Díaz en 2020, quienes en su investigación llegaron a concluir que El Bloque C del Hospital Regional de Lambayeque según las metodologías FEMA 440 y ASCE/SEI 41-13, no cumplen con los niveles de desempeño sísmico requerido en ambas orientaciones para una edificación esencial. En tal sentido, bajo lo expuesto anteriormente, es vital conocer el desempeño estructural de los hospitales para garantizar la seguridad del personal médico como de los pacientes, dado que, un buen desempeño estructural tiene una mayor probabilidad de mantener su funcionalidad durante y después de un evento sísmico.

– El presente trabajo con el objetivo de estimar los estados de daño límite específicos de los módulos de emergencia, anestesiología, cirugía y medicina general calculadas mediante curvas de fragilidad del hospital “La Caleta”, se obtuvieron como resultados que el módulo de “Emergencia” en la orientación “Y” se encuentra más comprometido, puesto que, para un “sismo frecuente” los estados de daño fueron de 0.00% (sin daño), 0.12% (daño ligero), 26.03% (daño moderado), 37.51% (daño extensivo) y 36.35% (daño completo), sin embargo, para un “sismo ocasional” los estados de daño fueron de 0.00% (sin daño), 0.02% (daño ligero), 17.38% (daño moderado), 37.14% (daño extensivo) y 45.46% (daño completo), mientras tanto, para un “sismo raro” se presentó un estado de daño completo del 100%; por otra parte, el módulo de “Pediatria y Medicina general” en la orientación “Y” se encuentra menos comprometido, puesto que, para un “sismo frecuente” los estados de daño fueron de 37.90% (sin daño), 26.95% (daño ligero), 26.61% (daño moderado), 5.95% (daño extensivo) y 2.58% (daño completo), sin embargo, para un “sismo ocasional” los estados de daño fueron de 17.11% (sin daño), 30.87% (daño ligero), 38.64% (daño moderado), 9.29% (daño extensivo) y 4.08% (daño completo), mientras tanto, para un “sismo raro”

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD  
DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

---

los estados de daño fueron de 0.00% (sin daño), 1.69% (daño ligero), 42.62% (daño moderado), 33.29% (daño extensivo) y 22.39% (daño completo). Resultados semejantes fueron obtenidos por Aguilar & Gonzales en 2020, quienes desarrollaron funciones de fragilidad para estimar la vulnerabilidad sísmica del Pabellón Frontal del Hospital Casimiro Ulloa, los autores concluyeron que para la componente E-W, con un PGA de 0.45g (sismo de diseño), las curvas de fragilidad reportadas para el primer entre piso presenta una probabilidad de 49.61% de colapso, 4.68% de prevención a colapso, 8.64% de seguridad de vida, 26.67% de ocupación inmediata y 10% de operacional; de la misma manera, para la componente N-S, se obtuvo un 74.75% de colapso, 9.49% de prevención a colapso, 5.32% de seguridad de vida, 10.22% de ocupación inmediata y 0.23% de operacional. En tal sentido, bajo lo expuesto anteriormente, generar curvas de fragilidad es esencial para estimar y gestionar la vulnerabilidad sísmica de una manera eficaz, estas curvas nos proporcionan información valiosa, la cual influye en la toma de decisiones en todos los niveles.

– En el presente trabajo con el objetivo de calcular el daño global esperado de los módulos de emergencia, anestesiología, cirugía y medicina general del hospital “La Caleta”, se obtuvieron como resultados que el módulo de “Emergencia” en la orientación “Y” resultó ser más crítico ante un movimiento sísmico frecuente, ocasional y raro con un daño global esperado del 77.52%, 82.01% y 100% respectivamente; por otra parte, el módulo de “Pediatria y Medicina general” en la orientación “Y” resultó ser menos crítico ante un movimiento sísmico frecuente, ocasional y raro con un daño global esperado del 27.09%, 38.09% y 69.10% respectivamente. En tal sentido, conocer el daño global esperado de las estructuras hospitalarias frente a movimientos sísmicos es de vital importancia para la preparación, seguridad y la capacidad de respuesta durante un estado de emergencia, lo cual permitirá a los hospitales ser más resilientes en situaciones críticas.

# **Capítulo V:** **Conclusiones y** **Recomendaciones**

## **V. Conclusiones y Recomendaciones**

### **5.1. Conclusiones**

- En base a los resultados obtenidos, se concluye que la hipótesis inicial ha sido respaldada por los datos del análisis de vulnerabilidad sísmica estructural. Por lo tanto, de los casos estudiados anteriormente, se determinó que el módulo de **“Emergencia”** del hospital “La Caleta” resultó ser más vulnerable ante un movimiento sísmico, siendo clasificado con un grado de daño extensivo “GD4” en ambas orientaciones para un SISMO FRECUENTE y OCASIONAL; así mismo, se clasificó con un grado de daño completo “GD5” en ambas orientaciones para un SISMO RARO. Además, el módulo de **“Anestesiología y Centro Quirúrgico”** se clasificó con un grado de daño extensivo “GD4” en ambas orientaciones para un SISMO FRECUENTE y OCASIONAL; así mismo, se clasificó con un grado de daño completo “GD5” en ambas orientaciones para un SISMO RARO. Así pues, el módulo de **“Internados de Cirugía”** se clasificó con un grado de daño moderado “GD3” en ambas orientaciones para un SISMO FRECUENTE como para un SISMO OCASIONAL en la orientación “X”; así mismo, se clasificó con un grado de daño extensivo “GD4” en la orientación “Y” para un SISMO OCASIONAL como para un SISMO RARO en ambas orientaciones. Finalmente, el módulo de **“Pediatria y Medicina General”** resultó ser menos vulnerable ante un movimiento sísmico, siendo clasificado con un grado de daño moderado “GD3” en la orientación “X” y un grado de daño ligero “GD2” en la orientación “Y” para un SISMO FRECUENTE; así mismo, se clasificó con un grado de daño moderado “GD3” en ambas orientaciones para un SISMO OCASIONAL; por último, se clasificó con un grado de daño extensivo “GD4” en ambas orientaciones para un SISMO RARO.
- De los casos estudiados anteriormente, se verificó que los módulos de los departamentos de **Emergencia**, de **Anestesiología y Centro Quirúrgico**, de **Internados de Cirugía**, y de **Pediatria**

y **Medicina General** del hospital “La Caleta” no cumplieron con los niveles de desempeño sísmico solicitados para un edificio esencial en ambas orientaciones “X” e “Y” frente a los niveles de movimiento sísmico FRECUENTE, OCASIONAL y RARO de acuerdo con el desempeño esperado según SEAOC VISION 2000.

– De los casos estudiados anteriormente, se estimó que para el módulo de **“Emergencia”** del hospital “La Caleta” los estados de daño para un SISMO FRECUENTE en la orientación “X” fueron de 0.35% (sin daño), 10.16% (daño ligero), 48.21% (daño moderado), 27.74% (daño extensivo) y 13.54% (daño completo) y para la orientación “Y” fueron de 0.00% (sin daño), 0.12% (daño ligero), 26.03% (daño moderado), 37.51% (daño extensivo) y 36.35% (daño completo); así mismo, para un SISMO OCASIONAL en la orientación “X” fueron de 0.02% (sin daño), 3.44% (daño ligero), 41.09% (daño moderado), 34.89% (daño extensivo) y 20.55% (daño completo) y para la orientación “Y” fueron de 0.00% (sin daño), 0.02% (daño ligero), 17.38% (daño moderado), 37.14% (daño extensivo) y 45.46% (daño completo); por último, para un SISMO RARO en ambas orientaciones se obtuvo un 100% (daño completo). Además, para el módulo de **“Anestesiología y Centro Quirúrgico”** los estados de daño para un SISMO FRECUENTE en la orientación “X” fueron de 0.28% (sin daño), 9.42% (daño ligero), 49.50% (daño moderado), 27.19% (daño extensivo) y 13.61% (daño completo) y para la orientación “Y” fueron de 0.41% (sin daño), 10.84% (daño ligero), 48.27% (daño moderado), 27.31% (daño extensivo) y 13.16% (daño completo); así mismo, para un SISMO OCASIONAL en la orientación “X” fueron de 0.02% (sin daño), 3.59% (daño ligero), 43.22% (daño moderado), 33.50% (daño extensivo) y 19.66% (daño completo) y la para orientación “Y” fueron de 0.17% (sin daño), 7.72% (daño ligero), 46.67% (daño moderado), 30.05% (daño extensivo) y 15.38% (daño completo); por último, para un SISMO RARO en ambas orientaciones se obtuvo un 100% (daño completo). Así pues, para el

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD  
DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

---

módulo de **“Internados de Cirugía”** los estados de daño para un SISMO FRECUENTE en la orientación “X” fueron de 5.60% (sin daño), 26.88% (daño ligero), 42.39% (daño moderado), 18.07% (daño extensivo) y 7.06% (daño completo) y para la orientación “Y” fueron de 0.85% (sin daño), 14.42% (daño ligero), 51.35% (daño moderado), 22.69% (daño extensivo) y 10.70% (daño completo); así mismo, para un SISMO OCASIONAL en la orientación “X” fueron de 1.30% (sin daño), 16.60% (daño ligero), 46.50% (daño moderado), 24.79% (daño extensivo) y 10.82% (daño completo) y la para orientación “Y” fueron de 0.06% (sin daño), 5.27% (daño ligero), 47.22% (daño moderado), 30.51% (daño extensivo) y 16.93% (daño completo); por último, para un SISMO RARO en la orientación “X” fueron de 0.00% (sin daño), 0.11% (daño ligero), 15.26% (daño moderado), 40.68% (daño extensivo) y 43.96% (daño completo) y para la orientación “Y” fueron de 0.00% (sin daño), 0.01% (daño ligero), 11.38% (daño moderado), 37.12% (daño extensivo) y 51.49% (daño completo). Finalmente, para el módulo de **“Pediatría y Medicina General”** los estados de daño para un SISMO FRECUENTE en la orientación “X” fueron de 13.55% (sin daño), 33.44% (daño ligero), 33.30% (daño moderado), 14.58% (daño extensivo) y 5.14% (daño completo) y para la orientación “Y” fueron de 37.90% (sin daño), 26.95% (daño ligero), 26.61% (daño moderado), 5.95% (daño extensivo) y 2.58% (daño completo); así mismo, para un SISMO OCASIONAL en la orientación “X” fueron de 4.55% (sin daño), 25.64% (daño ligero), 40.88% (daño moderado), 20.87% (daño extensivo) y 8.06% (daño completo) y la para orientación “Y” fueron de 17.11% (sin daño), 30.87% (daño ligero), 38.64% (daño moderado), 9.29% (daño extensivo) y 4.08% (daño completo); por último, para un SISMO RARO en la orientación “X” fueron de 0.00% (sin daño), 0.94% (daño ligero), 24.30% (daño moderado), 42.12% (daño extensivo) y 32.64% (daño completo) y para la orientación “Y” fueron de 0.00% (sin daño), 1.69% (daño ligero), 42.62% (daño moderado), 33.29% (daño extensivo) y 22.39% (daño completo).

– De los casos estudiados anteriormente, se calculó que para el módulo de **“Emergencia”** del hospital “La Caleta” el daño global esperado que la estructura estaría comprometida para un SISMO FRECUENTE en la orientación “X” es de un 60.99% y para la orientación “Y” es de un 77.52%; así mismo, para un SISMO OCASIONAL en la orientación “X” la estructura estaría comprometida con un 68.13% y para la orientación “Y” con un 82.01%; por último, para un SISMO RARO en ambas orientaciones la estructura estaría comprometida con un 100%. Además, para el módulo de **“Anestesiología y Centro Quirúrgico”** el daño global esperado que la estructura estaría comprometida para un SISMO FRECUENTE en la orientación “X” es de un 61.11% y para la orientación “Y” es de un 60.49%; así mismo, para un SISMO OCASIONAL en la orientación “X” la estructura estaría comprometida con un 67.30% y para la orientación “Y” con un 63.19%; por último, para un SISMO RARO en ambas orientaciones la estructura estaría comprometida con un 100%. Así pues, para el módulo de **“Internados de Cirugía”** el daño global esperado que la estructura estaría comprometida para un SISMO FRECUENTE en la orientación “X” es de un 48.53% y para la orientación “Y” es de un 56.99%; así mismo, para un SISMO OCASIONAL en la orientación “X” la estructura estaría comprometida con un 56.81% y para la orientación “Y” con un 64.75%; por último, para un SISMO RARO en la orientación “X” la estructura estaría comprometida con un 82.12% y para la orientación “Y” con un 85.02%. Finalmente, para el módulo de **“Pediatria y Medicina General”** el daño global esperado que la estructura estaría comprometida para un SISMO FRECUENTE en la orientación “X” es de un 41.08% y para la orientación “Y” es de un 27.09%; así mismo, para un SISMO OCASIONAL en la orientación “X” la estructura estaría comprometida con un 50.57% y para la orientación “Y” con un 38.09%; por último, para un SISMO RARO en la orientación “X” la estructura estaría comprometida con un 76.61% y para la orientación “Y” con un 69.10%.

## **5.2. Recomendaciones**

- Demoler la infraestructura actual de los módulos de emergencia, de anestesiología y centro quirúrgico, de internados de cirugía, y de pediatría y medicina general del hospital “La Caleta” del distrito de Chimbote, debido a que estos módulos evaluados presentarán un grado de vulnerabilidad sísmica estructural de daños “extensivos y completos” frente a un movimiento sísmico raro (10% en 50 años), por lo cual no garantizan ninguna seguridad para el personal, ni para los usuarios.
- Validar los resultados del comportamiento sísmico de los módulos evaluados del hospital “La Caleta” del distrito de Chimbote, a través del uso de un análisis dinámico no lineal; lo cual producirá una información más detallada de la mostrada.
- Realizar un análisis de interacción suelo-estructura, el cual permitirá comprender como estas variaciones en el suelo, podrían afectar el comportamiento actual de los módulos evaluados del hospital “La Caleta” del distrito de Chimbote.
- Finalmente, se recomienda a la Municipalidad Provincial del Santa Chimbote y al Ministerio de Salud a la intervención de estos módulos evaluados del hospital “La Caleta” y gestionar la construcción de nuevas infraestructuras.

**Capítulo VI:**  
**Referencias**  
**Bibliográficas**

## **VI. Referencias Bibliográficas**

- Aguilar Gonzales, A. G., & Gonzales Mejia, G. H. (2020). *Funciones de fragilidad analíticas mediante análisis dinámico incremental para estimar la vulnerabilidad sísmica del pabellón frontal del Hospital Casimiro Ulloa* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. <http://hdl.handle.net/10757/653675>
- Alas Fernández, R. E., & Grijalva Portal, S. O. (2018). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica, por medio de curvas de fragilidad, utilizando el análisis dinámico no lineal incremental* [Tesis Maestría, Universidad de El Salvador]. <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/17633>
- American Society of Civil Engineers - ASCE (2017). *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings, ASCE/SEI 41-17*, Reston, Virginia. <https://doi.org/10.1061/9780784414859>
- ATC-13. (1985). *"Earthquake damage evaluation data for California"*. Technical report, ATC-10. Applied Technology Council. Redwood City, California. USA.
- Barbat, A. (1998). *El riesgo sísmico en el diseño de edificios*. Madrid, España: Madrid : Calidad siderúrgica.
- Baylon, M.B., Sevilla, M.E.P., Cutora, M., Villa, R.M.S., Reynes, P.M.P., & Montemayor, J.M.V. (2022). *Development of fragility curves for seismic vulnerability assessment: The case of Philippine General Hospital spine building*. International Research Journal of Science, Technology, Education, and Management, 2(4), 1-11. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7559408>
- Bernardo Acuña, J. D., & Peña de la Cuba, M. F. (2009). *Efectos del peralte de las columnas en el comportamiento sísmico de los muros de albañilería confinada* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/149>

- Bonett Díaz, R. L. (2003). *Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada* [Tesis Doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya]. <http://hdl.handle.net/10803/6230>
- Caicedo, C., Barbat, A. H., Canas, J. A., & Aguiar, R. (1994). *Vulnerabilidad sísmica de edificios*. Barcelona: Centre Internacional de Mètodes Numèrics en Enginyeria (CIMNE). <http://hdl.handle.net/2117/27020>
- Calcina Peña, R. M. (2017). *Evaluación del Desempeño Sísmico de un Edificio de Once Pisos Utilizando Análisis Estático y Dinámico No-Lineal* [Tesis de Maestría, Universidad Privada de Tacna]. <http://hdl.handle.net/20.500.12969/499>
- Campos Masís, E. J. (2022). *Guía para la asignación de curvas de fragilidad típicas para la caracterización de la vulnerabilidad sísmica en establecimientos de salud de la Caja Costarricense del Seguro Social*. [Licenciatura en Ingeniería en Construcción, Instituto Tecnológico de Costa Rica]. <https://hdl.handle.net/2238/13913>
- Campos Miguel, C., & Leandro Gabriel, D. (2022). *Evaluación del desempeño sísmico utilizando el análisis no lineal estático según la metodología ASCE 41-13 de un módulo de la Institución Educativa Andrés Avelino Cáceres, distrito de San Juan de Miraflores, provincia de Lima, Departamento de Lima* [Tesis de Pregrado, Universidad Continental]. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/12123>
- Cartagena Pinedo, R. I., & Del Aguila Vasquez, I. A. (2018). *Análisis y evaluación de la vulnerabilidad sísmica del Hospital II De Pucallpa – ESSALUD* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ucayali]. <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/4045>

- Castillo Sarango, D. J. (2019). *Vulnerabilidad sísmica del edificio principal del hospital Eugenio Espejo* [master Thesis, Escuela Politécnica Nacional]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19968>
- Chavez Santos, J. A., & Lingan Pereda, W. E. (2019). *Análisis de la vulnerabilidad sísmica estructural de los edificios principales de la Facultad de Derecho y Ciencias Políticas y la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional de Trujillo mediante curvas de fragilidad, 2018* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Trujillo]. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/14754>
- CISMID. (2013). *Monitoreo de Construcción y técnicas de mejoramiento para viviendas de albañilería*. Revisado en <https://www.cismid.uni.edu.pe/base-de-datos-del-laboratorio-de-estructuras-satreps-project-jica-gobierno-del-peru-ppr-068/>
- De Anda, J. (2020). *Vulnerabilidad sísmica de edificios construidos antes de 1985 en la Ciudad de México a raíz del sismo del 19 de septiembre de 2017* [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma Metropolitana]. <http://hdl.handle.net/11191/9442>
- Deierlein, G. G., Reinhorn, A. M., & Willford, M. R. (2010). *Nonlinear structural analysis for seismic design*. NEHRP seismic design technical brief, 4, 1-36.
- Diaz Lazo, J. J., & Díaz Rivera, C. L. (2020). *Evaluación de desempeño sísmico del hospital Regional de Lambayeque, ubicado en la provincia de Chiclayo, departamento Lambayeque* [Tesis Pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12893/8411>
- Díaz, M., Toledo, C. A. Z., Terreros, E. N. F., & Cárdenas, L. (2019). *Desarrollo de modelos analíticos para muros de mampostería confinada basados en resultados experimentales en la ciudad de Lima*. TECNIA, 29(2), 23-29.

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD  
DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

---

- EERI. (1994). *Expected seismic performance of buildings. Technical Report*. Publication Number SP-10, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland CA.
- Federal Emergency Management Agency FEMA. (1999). *HAZUS, Earthquake Loss Estimation Methodology*. Federal Emergency Management Agency and National Institute of Building Sciences, Washington, D.C., United States.
- Federal Emergency Management Agency FEMA. (2003). *Multi-hazard Loss Estimation Methodology. Earthquake Model*. Federal Emergency Management Agency FEMA and National Institute of Building Sciences NIBS. Washington, D.C.
- Gilmore, A. T., & Ruiz, J. (2011). *Evaluación estructural basada en desplazamientos para edificaciones de mampostería confinada, el desarrollo mexicano*.
- Grünthal, G. (2009). *Escala Macrosísmica Europea 1998 (EMS-98)*. Cahiers Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, volume 27, Luxemburgo.
- Hospital La Caleta. (s.f.). Recuperado de <https://www.hcaleta.gob.pe/>
- Huaco Cárdenas, G. D. (2005). *Comportamiento de una edificación de albañilería construido con ladrillo artesanal frente a cargas laterales* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/3120>
- INDECI. (2018). *Movimientos Sísmicos en el Perú*. <https://www.indeci.gob.pe/wpcontent/uploads/2018/09/movimientos-sismicos.pdf>
- Lara Almeida, A. M., & Martínez Lara, K. R. (2020). *Análisis de vulnerabilidad sísmica y propuesta de reforzamiento estructural del "Hospital San Luis de Otavalo* [Tesis de Pregrado, Universidad de las Fuerzas Armadas]. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/22372>

- Lazo Rios, C. M. (2018). *Variación de la resistencia a compresión de pilas fabricadas de ladrillos de arcilla industrial, artesanal y de concreto utilizando mortero con y sin cal* [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. <https://hdl.handle.net/11537/14097>
- Martínez Cuevas, S. (2014). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica urbana basada en tipologías constructivas y disposición urbana de la edificación. Aplicación en la ciudad de Lorca, región de Murcia* [Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]. <https://oa.upm.es/30447/>
- Martínez Mendoza, J. E. (2011). *Análisis, cálculo y comparación de cargas sísmicas aplicando los Códigos agies nr- 3:2000, IBC2009/ASCE-05 Y EUROCODE 8 ENV 1998-1-1, Para una estructura de concreto reforzado* [Tesis de Pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_3312\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3312_C.pdf)
- Martínez Vintimilla, J. F., & Narváez Cordero, J. J. (2019). *Análisis dinámico no lineal en 2D de la estructura del "Hospital Misereor" del cantón Gualaquiza, provincia de Morona Santiago, aplicando el método de rótulas plásticas* [Tesis de Pregrado, Universidad del Azuay]. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/9251>
- Milutinovic, Z., y Trendafiloski, G. (2003). *"An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European towns"*. RISK-UE. WP4: Vulnerability of current buildings.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2018). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Editorial Megabyte.
- Miyamoto International. (2021). *Evaluación Sísmica Simplificada de Estructuras Existentes Pre-Evento*. Quito: USAID/BHA EBRPII. [https://pdf.usaid.gov/pdf\\_docs/PA00XJX7.pdf](https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00XJX7.pdf)

- Muñoz, A. (2020a). Apuntes de Ingeniería Antisísmica. En CIV227: Ingeniería Antisísmica. Facultad de Ciencias e Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú
- Oblitas Santa María, J. M., & Villar Gallardo, E. A. (2023). *Análisis dinámico no lineal con acelerogramas sintéticos para determinar el nivel de desempeño sísmico según la Norma ATC40 de una edificación de 6 niveles del Hospital Regional ubicado en la Provincia de Chiclayo - Departamento de Lambayeque* [Tesis de Pregrado, Universidad San Martín de Porres]. <https://hdl.handle.net/20.500.12727/12494>
- Pérez Lino, G. (2020). *Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica del Hospital de la Provincia de Tarma con Fines de Reforzamiento* [Tesis de Pregrado, Universidad Católica Sedes Sapientiae]. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14095/998>
- Quispe, K. (2018). *Aplicación de técnicas sostenibles de reparación de la fisuración del concreto armado en edificaciones* [Tesis de Pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. [https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/10195/QUISPE\\_NA\\_PANGA\\_APLICACION\\_TECNICAS\\_SOSTENIBLES\\_TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/10195/QUISPE_NA_PANGA_APLICACION_TECNICAS_SOSTENIBLES_TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ramos Cahuapaza, J. M. (2021). *Evaluación del desempeño sísmico de edificaciones multifamiliares mediante métodos convencionales, edificio multifamiliar Benjamín Del Solar, Sachaca, Arequipa 2021* [Tesis de Pregrado, Universidad Continental]. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/10465>
- Ruiz Mendoza, N. J., & Vasquez Diaz, A. L. (2020). *Estimación de la vulnerabilidad sísmica aplicando curvas de fragilidad integradas en el software ERN vulnerability para edificaciones comunes del sector I del distrito El Porvenir, provincia de Trujillo - 2020*

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD  
DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

---

- [Tesis de licenciatura, Repositorio de la Universidad Privada del Norte].  
<https://hdl.handle.net/11537/24324>
- Safina Melone, S. (2003). *Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Análisis de su contribución al riesgo sísmico* [Tesis doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya].  
<http://hdl.handle.net/2117/93538>
- Salas Ferro, M. M. (1997). *Evaluación de la vulnerabilidad estructural del hospital Guillermo Almenara Irigoyen* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Ingeniería].  
<http://hdl.handle.net/20.500.14076/19374>
- Salazar Huamán, E. G. (2018). *Vulnerabilidad Sísmica De Las Viviendas De Albañilería Confinada En La Ciudad De Jesús* [Tesis Maestro en ciencias, Universidad Nacional de Cajamarca]. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/2474>
- Sánchez Ortiz, L. A. (2017). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones aporricados de concreto armado mediante curvas de fragilidad en la Ciudad de Huaraz - 2017* [Tesis de grado, Universidad Alas Peruanas]. <https://hdl.handle.net/20.500.12990/2791>
- Silva Rivera, P. V. (2019). *Resistencia a la compresión de pilas de ladrillo artesanal e industrial con mortero cemento-arena 1:4 mejorado con vidrio molido* [Tesis de Pregrado, Universidad Privada del Norte]. <https://hdl.handle.net/11537/27341>
- Structural Engineers Association of California – SEAOC (1995). *Vision 2000: Performance based seismic design of buildings*, Sacramento, California.
- Tavera, H. (2014). *Evaluación del peligro asociado a los sismos y efectos secundarios en Perú*. Lima: Instituto Geofísico del Perú.

- Tavera, H. R. (2014). Zonificación sísmica-geotécnica de la ciudad de Chimbote: Provincia de Santa-Departamento de Ancash (comportamiento dinámico del suelo). <https://repositorio.igp.gob.pe/items/500166f8-cbf4-424c-9f6b-016c5f91a220>
- Vargas, Y. F., Pujades, L. G., Barbat, A. H., & Hurtado, J. E. (2013). *Evaluación probabilista de la capacidad, fragilidad y daño sísmico de edificios de hormigón armado*. Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería, 29(2), 63-78
- Vielma, J. (2014). *Contribuciones a la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificios*. Barcelona: Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería.
- Zavala, C., Díaz, M., Flores, E., & Cárdenas, L. (2019). *Estados límite de daño para muros de mampostería confinada basados en ensayos experimentales*. TECNIA, 29(2), 135-141.
- Zavala, C., Gibu, P., Homma, C., Chang, L., & Huaco, G. (2003). *Comportamiento frente a cargas laterales de una vivienda de albañilería de dos pisos mediante ensayo en línea*. In Proceedings of the XIV Congreso Nacional de Ingeniería Civil–Iquitos, Perú.

# Apéndices

**Índice de Apéndices**

Apéndice A. Análisis Lineal .....	110
Apéndice B. Calibraciones.....	141
Apéndice C. Análisis No Lineal Estático “PUSHOVER” .....	174
Apéndice D. Curvas de Fragilidad.....	211
Apéndice E. Costos de Reparación.....	226

# **Apéndice A: Análisis Lineal**

## **Apéndice A. Análisis Lineal**

### **1.1. Información General del Establecimiento**

#### ***1.1.1. Nombre del Establecimiento***

La Caleta.

#### ***1.1.2. Categoría***

Nivel II-2.

#### ***1.1.3. Dirección***

Malecón Grau S/N. Urbanización “La Caleta”, del distrito de Chimbote, de la provincia del Santa, del departamento de Áncash.

#### ***1.1.4. Descripción del Establecimiento***

El hospital “La Caleta” localizado en la ciudad de Chimbote, inició sus funciones el 15 de mayo de 1945 con una restringida cartelera de servicios, así mismo, con el correr de los años la demanda se incrementó a causa del crecimiento del pueblo chimbotano. Como resultado generó que el hospital “La Caleta” creciera institucionalmente, no de manera organizada, sino todo lo contrario; siendo más específicos, sin ninguna proyección que respalde la seguridad del personal médico como de los pacientes desde el punto de vista de gestión de riesgos, la cual hoy en día cobra mucha importancia en el ámbito de establecimientos de salud seguros. Por otra parte, el primer módulo construido del hospital “La Caleta” fue el de “Maternidad y consultorio de ginecobstetricia” el cual presenta 78 años de antigüedad y está compuesto por un sistema estructural de muros portantes de albañilería no reforzada, así mismo, cabe señalar que la construcción de los demás módulos fue dándose cronológicamente y presentan alrededor de 35 a 65 años de antigüedad. Otro rasgo del hospital es que presenta un área de terreno regular de



**Tabla A1**

*Capacidad hospitalaria del hospital "La Caleta"*

<b>Departamento o servicio</b>	<b>N.º de camas</b>
Medicina	22
Cirugía	24
Gineco obstetricia	29
Emergencia	14
Trauma shock	2
Pediatría	14
Neonatología	13
Total	108

*Nota.* Tomado de ASIS, 2018.

### ***1.1.6. Amenazas***

Una amenaza latente para el hospital "La Caleta" es que se encuentra localizado en una zona que presenta una elevada actividad sísmica, que de acuerdo con el mapa de zonificación del Perú según la NTP E.030 está ubicado en la zona 4 de mayor riesgo. Por otro lado, otra amenaza para el hospital son las épocas de lluvias, donde se presentan inundaciones en diferentes ambientes, en consecuencia, estas lluvias generan daños a los materiales y elementos estructurales.

El hospital "La Caleta" por su ubicación geográfica, se encuentra situada en una zona sensible frente a un tsunami, dado que, se encuentra muy cercano del mar. Además, el área donde trabaja actualmente el hospital no es adecuado desde el punto de vista de defensa civil.

### ***1.1.7. Planos y Propiedades Geotécnicas del Suelo***

El hospital "La Caleta" no cuenta con ningún plano arquitectónico, estructural y geotécnico de los distintos módulos existentes, lo cual dificultó a los tesisistas poder examinar el tipo de material y el dimensionamiento de cada uno de sus elementos estructurales. Por otro lado, las condiciones del suelo según la información obtenida por la visita de campo, presenta un suelo de baja a muy baja resistividad puesto que el nivel freático se encuentra a una profundidad de 1.00 m

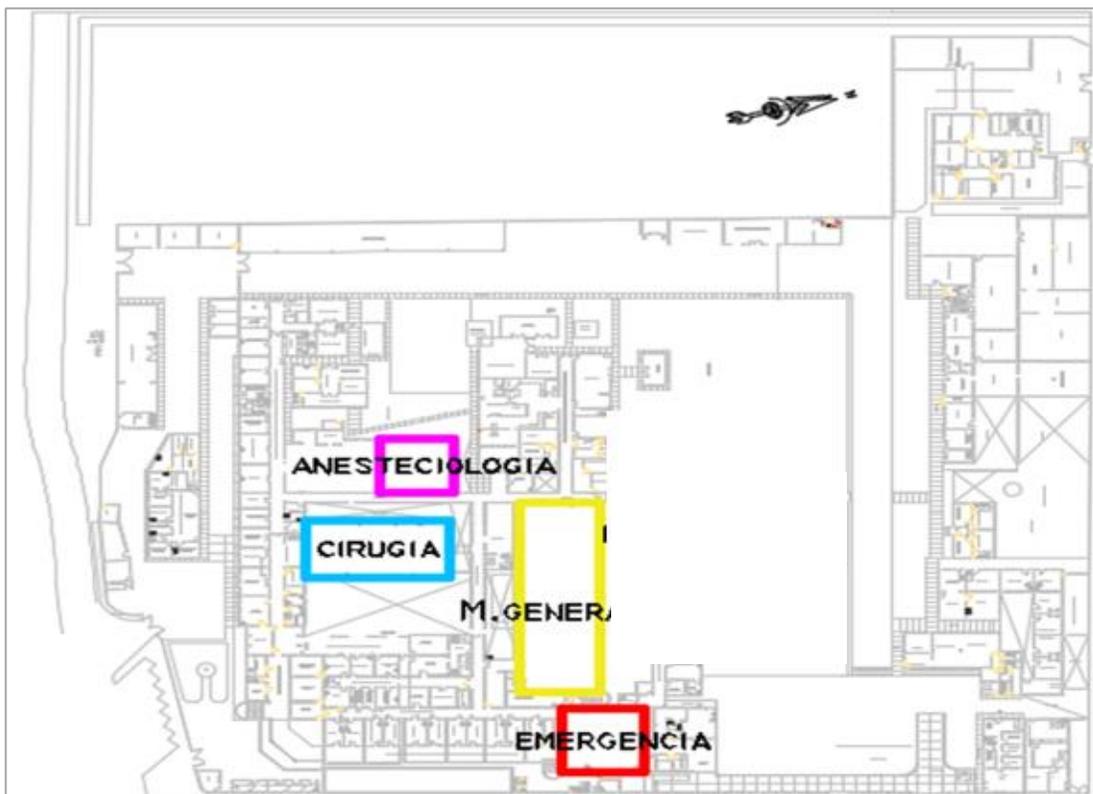
aproximadamente, así mismo, la presencia de arenas finas sueltas a distintas profundidades, lo determina como un suelo con alto potencial a proceso de licuefacción (Tavera, 2014).

## **1.2. Selección de los Módulos de Estudio**

Con respecto a la información recaudada del hospital “La Caleta”, se procedió a seleccionar cuatro módulos para ser estudiados y evaluados de manera detallada, para lo cual se reunió información necesaria como la geometría de los módulos, inspección visual de fallas, propiedades mecánicas de los materiales, entre otros. Esta información nos permitió poder elaborar los planos arquitectónicos y el análisis sísmico como tal. Además, se determinó que estos módulos son sistemas estructurales característicos actualmente existentes en el hospital “La Caleta”, estructurados a base de muros de albañilería, columnas de concreto armado y losas aligeradas. A continuación, en la Figura A2 se visualiza la ubicación de los cuatro módulos que serán estudiados.

### **Figura A2**

*Ubicación de los módulos de estudio*



### **1.3. Descripción y Geometría de los Módulos de Estudio**

#### **1.3.1. Departamento de Emergencia**

Se trata de un módulo construido entre los años 1964 y 1974 de uso esencial de categoría A1, el cual consta de 2 niveles; el primer nivel tiene una altura de 3.4 m de entrepiso y una altura total del módulo de 6.4 m. Su sistema estructural en la orientación longitudinal “X” es de muros de albañilería confinada, mientras que su sistema estructural en la orientación transversal “Y”, debido a las modificaciones por ampliaciones sin criterio del hospital, se consideró como pórticos de concreto armado. En la Figura A3 se visualiza la fachada y vista de planta del módulo de emergencia.

En la inspección visual se encontraron hallazgos relevantes que se detallan a continuación:

- Fisuras verticales en el encuentro muro-columna en el consultorio de nebulizaciones.
- Exposición del acero de refuerzo de sus viguetas por desprendimiento del tarrajeo del cielo raso en los servicios higiénicos.
- Presencia de humedad a la altura de tomacorrientes en la sala de traumashok.
- Presencia de humedad en los techos de las salas de reposo (niños y mujeres).

**Tabla A2**

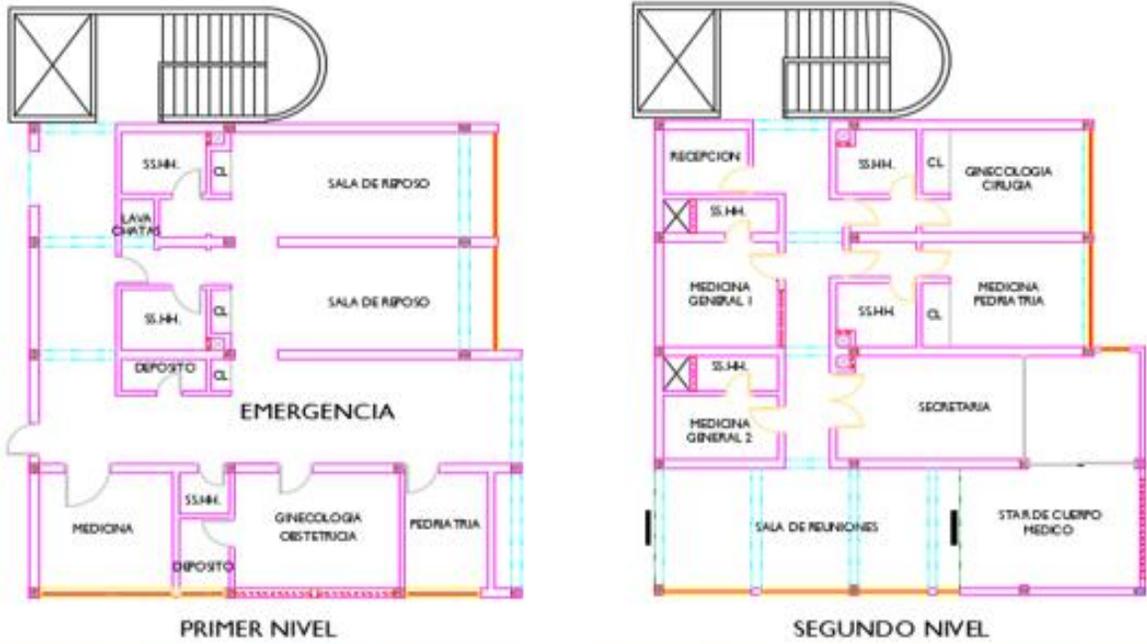
*Características generales del módulo de emergencia*

<b>Edificio</b>	<b>Año de construcción</b>	<b>Niveles</b>	<b>Altura (m)</b>	<b>Ancho (m)</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Uso</b>	<b>Categoría</b>
Emergencia	1964-1974	2	6.40	12.85	13.60	Esencial	A1

"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"

Figura A3

Fachada y vista de planta del módulo de emergencia



### **1.3.2. Departamento de Anestesiología y Centro Quirúrgico**

Se trata de un módulo construido entre los años 1954 y 1964, de uso esencial de categoría A1, el cual consta de un solo nivel, el módulo tiene una altura total de 3.2 m medida desde el nivel de piso terminado de vereda. Su sistema estructural en ambas orientaciones es de muros de albañilería confinada. En la Figura A4 se visualiza la fachada y vista de planta del módulo de anestesiología y centro quirúrgico.

En la inspección visual se encontraron hallazgos relevantes que se detallan a continuación:

- Presencia de humedad y fisuras en los techos (salas de operaciones).
- Tanques de agua ubicados excéntricamente sobre la losa aligerada.
- Presencia de salitre en la parte exterior de los muros (salas de operaciones) y equipos de aire acondicionado con anclajes oxidados.

**Tabla A3**

*Características generales del módulo de anestesiología*

<b>Edificio</b>	<b>Año de construcción</b>	<b>Niveles</b>	<b>Altura (m)</b>	<b>Ancho (m)</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Uso</b>	<b>Categoría</b>
Anestesiología	1954-1964	1	3.20	11.20	11.50	Esencial	A1

**Figura A4**

*Fachada y vista de planta del módulo de anestesiología y centro quirúrgico*



**1.3.3. Internados de Cirugía**

Se trata de un módulo construido entre los años 1954 y 1964, de uso esencial de categoría A1, el cual consta de un solo nivel, el módulo tiene una altura total de 3.2 m medida desde el nivel de piso terminado de vereda. Su sistema estructural en ambas orientaciones es de muros de albañilería confinada. En la Figura A5 se visualiza la fachada y vista de planta del módulo de internados de cirugía.

En la inspección visual se encontraron hallazgos relevantes que se detallan a continuación:

- No cuenta con veredas de concreto en la zona perimetral del módulo, de manera que sus muros exteriores se ven afectados por la presencia de humedad.
- Presencia de salitre en muros interiores del módulo.

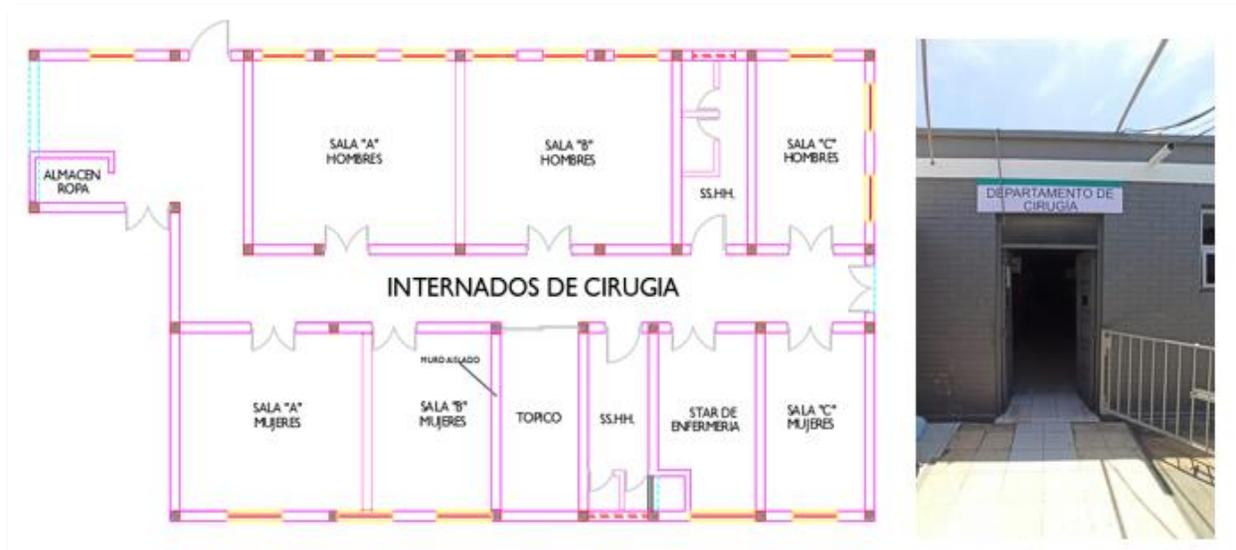
**Tabla A4**

*Características generales del módulo de cirugía*

Edificio	Año de construcción	Niveles	Altura (m)	Ancho (m)	Longitud (m)	Uso	Categoría
Cirugía	1954-1964	1	3.20	12.10	23.15	Esencial	A1

**Figura A5**

*Fachada y vista de planta del módulo de internados de cirugía*



**1.3.4. Pediatría y Medicina General**

Se trata de un módulo construido entre los años 1984 y 1994, de uso esencial de categoría A1, el cual consta de un solo nivel, el módulo tiene una altura total de 3.25 m medida desde el nivel de piso terminado de vereda. Su sistema estructural en la orientación longitudinal “X” es de pórticos de concreto armado, mientras que, su sistema estructural en la orientación transversal “Y” es de muros de albañilería confinada. En la Figura A6 se visualiza la fachada y vista de planta del módulo de pediatría y medicina general.

En la inspección visual se encontraron hallazgos relevantes que se detallan a continuación:

- Presencia de humedad y fisuras en el techo (sala de aislados).
- Presencia de humedad en los muros del tóxico.
- Fisura en muros, parte baja de los SS.HH.

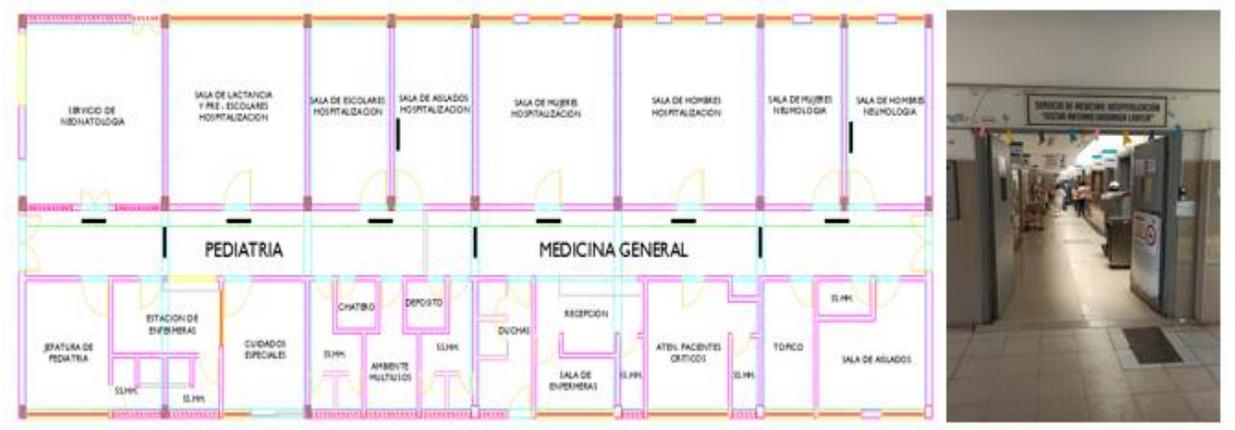
**Tabla A5**

*Características generales del módulo de medicina general*

Edificio	Año de construcción	Niveles	Altura (m)	Ancho (m)	Longitud (m)	Uso	Categoría
Medicina General	1984-1994	1	3.25	12.80	38.10	Esencial	A1

**Figura A6**

*Fachada y vista de planta del módulo de pediatría y medicina general*



#### 1.4. Propiedades Mecánicas de los Materiales

En cuanto al acero de refuerzo, se determinó la cantidad de barras longitudinales mediante un scanner que permite la detección de aceros y las propiedades del material quedaron definidas según la Tabla 10-3 del capítulo 10 del ASCE/SEI 41-17. Así mismo, para determinar la resistencia a la comprensión del concreto de los elementos estructurales se empleó el ensayo de extracción de núcleos de concreto diamantinos – NTP 229.059 (Anexo 2). Por otra parte, las propiedades mecánicas de la albañilería se presentan en la Tabla A8, las cuales fueron extraídas de Silva (2019, p. 60) para las pilas de ladrillo artesanal, y de Lazo (2018, p. 77) para las pilas de ladrillo industrial.

**Tabla A6**

*Propiedades de los materiales: concreto*

Módulo	Material	Densidad (kgf/m <sup>3</sup> )	F'c (kgf/cm <sup>2</sup> )	Módulo de elasticidad (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente Poisson
D. Emergencia	Concreto	2400	185.67	204391.17	0.20
D. Anestesiología	Concreto	2400	151.10	184384.11	0.20
I. Cirugía	Concreto	2400	156.15	187439.99	0.20
M. General	Concreto	2400	183.61	203254.15	0.20

**Tabla A7**

*Propiedades de los materiales: acero*

Módulo	Material	Densidad (kgf/m <sup>3</sup> )	F'y (kgf/cm <sup>2</sup> )	Módulo de elasticidad (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente Poisson
D. Emergencia	Acero	7850	2800	2000000	0.27
D. Anestesiología	Acero	7850	2800	2000000	0.27
I. Cirugía	Acero	7850	2800	2000000	0.27
M. General	Acero	7850	4200	2000000	0.27

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD  
DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

**Tabla A8**

*Propiedades de los materiales: albañilería*

<b>Módulo</b>	<b>Tipo</b>	<b>F'm (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Módulo de elasticidad (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Coefficiente Poisson</b>
D. Emergencia	Artisanal	16.53	8265	0.25
D. Anestesiología	Artisanal	16.53	8265	0.25
I. Cirugía	Artisanal	16.53	8265	0.25
M. General	Industrial	42.13	21065	0.25

**1.5. Secciones de Elementos Estructurales**

A continuación, en la Tabla A9 y Tabla A10 se presentan las secciones y la cantidad de refuerzo en columnas y vigas; además en la Tabla A11 se especifica el espesor de los muros.

**Tabla A9**

*Secciones de columnas*

<b>Módulo</b>	<b>Código</b>	<b>b(cm)</b>	<b>h(cm)</b>	<b>Refuerzo</b>
D. Emergencia	C-1	25	25	4@5/8"
D. Anestesiología	C-1	25	25	4@1/2"
I. Cirugía	C-1	25	25	4@1/2"
M. General	C-1	30	40	8@3/4"

**Tabla A10**

*Secciones de vigas*

<b>Módulo</b>	<b>Código</b>	<b>b(cm)</b>	<b>h(cm)</b>	<b>Refuerzo</b>	
				<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>
D. Emergencia	V-1	25	70	3@1/2"	3@1/2"
	V-2	15	40	3@1/2"	3@1/2"
D. Anestesiología	V-1	25	40	3@1/2"	3@1/2"
	V-chata	25	20	2@1/2"	2@1/2"
I. Cirugía	V-1	25	45	3@1/2"	3@1/2"
	V-2	25	55	3@1/2"	3@1/2"
M. General	V-1	30	65	4@5/8"	3@5/8"
	V-2	15	65	4@1/2"	3@1/2"

**Tabla A11**

*Espesor de los muros de albañilería*

<b>Módulo</b>	<b>Código</b>	<b>e (cm)</b>	<b>Tipo</b>
D. Emergencia	M-1	23	Sólido artesanal
	M-2	13	Sólido artesanal
D. Anestesiología	M-1	20.5	Sólido artesanal
I. Cirugía	M-1	20.5	Sólido artesanal
M. General	M-1	23	Sólido industrial
	M-2	13	Sólido industrial

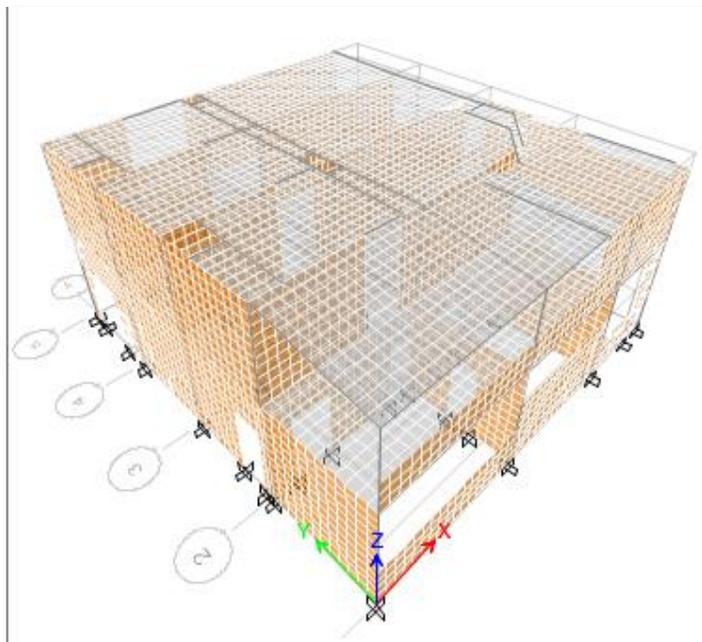
## **1.6. Análisis Sísmico Lineal del Hospital “La Caleta”**

### **1.6.1. Modelos Lineales**

Para el modelamiento de los módulos de estudio del hospital “La Caleta”, se utilizó un software de análisis estructural, empleándose elementos pórtico (frame) tanto para columnas y vigas; además, se emplearon elementos de cascara (shell) para muros. Así mismo, las losas se modelaron como elementos membrana (membrane), las cuales no aportan rigidez lateral y tienen como función esencial repartir las cargas verticales. Por otro lado, se consideró la hipótesis del diafragma rígido. A continuación, En la Figura A7, Figura A8, Figura A9 y Figura A10 se muestran los modelamientos de los módulos seleccionados del hospital “La Caleta”, tanto en planta como en tres dimensiones.

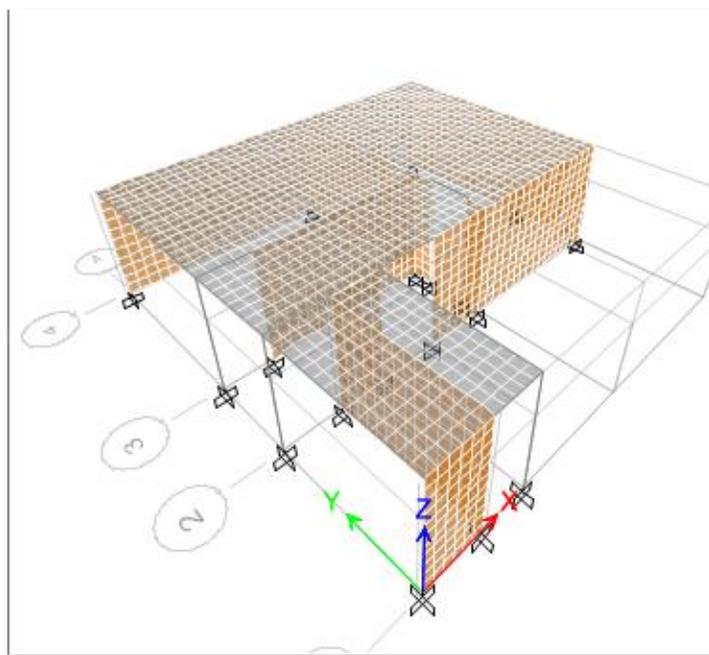
**Figura A7**

*Modelado 3D de emergencia*



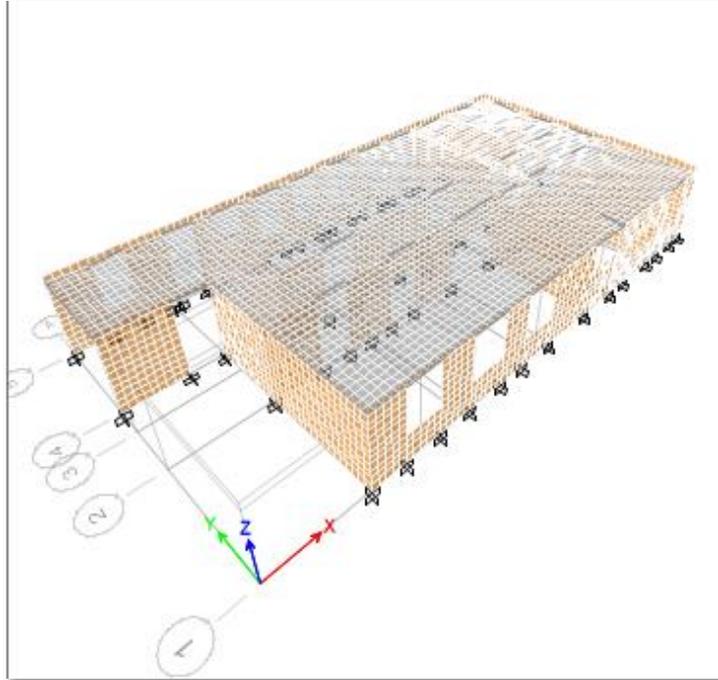
**Figura A8**

*Modelado 3D de anestesiología y centro quirúrgico*



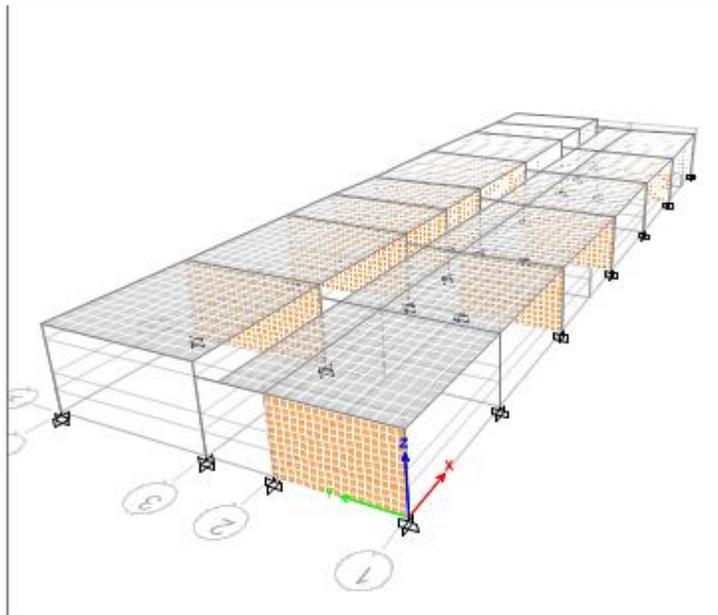
**Figura A9**

*Modelado 3D de internados de cirugía*



**Figura A10**

*Modelado 3D de pediatría y medicina general*



**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD  
DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

---

**1.6.2. Cargas de Gravedad**

Acerca de las cargas de gravedad, en la Tabla A12 se consideraron los pesos unitarios de los elementos estructurales; mientras que, para las cargas vivas mínimas repartidas sobre las losas de entrepiso en la Tabla A14 se consideraron lo indicado para hospitales de acuerdo a la NTP E.020.

**Tabla A12**

*Pesos unitarios*

<b>Material</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Concreto armado	2400	Kgf/m <sup>3</sup>
Albañilería (unidades solidas)	1800	Kgf/m <sup>3</sup>
Albañilería (unidades huecas)	1350	Kgf/m <sup>3</sup>
Acero	7850	Kgf/m <sup>3</sup>

**Tabla A13**

*Cargas muertas*

<b>Carga</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Tabiquería fija	150	Kgf/m <sup>2</sup>
Acabados	100	Kgf/m <sup>2</sup>
Ladrillo de techo	90	Kgf/m <sup>2</sup>

**Tabla A14**

*Cargas vivas*

<b>Carga</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Salas de operación, laboratorios, y zonas de servicio	300	Kgf/m <sup>2</sup>
Cuartos	200	Kgf/m <sup>2</sup>
Techo - Azotea	100	Kgf/m <sup>2</sup>
Corredores y escaleras	400	Kgf/m <sup>2</sup>

### **1.6.3. Estimación del Peso**

Con respecto a la estimación del peso de los módulos estudiados, se calculó según lo indicado en el Artículo 26 de la NTP E.030 para edificaciones de categoría A, de modo que se tomó el 100% de la carga muerta, el 50% de la carga viva y 25% de la carga viva en azotea. En la Tabla A15 se resume el peso de los módulos de estudio del hospital “La Caleta”.

#### **Tabla A15**

*Pesos de los módulos estudiados*

<b>Módulo</b>	<b>Peso</b>
D. Emergencia	419.53 Tonf
D. Anestesiología	126.37 Tonf
I. Cirugía	302.02 Tonf
M. General	450.40 Tonf

### **1.6.4. Espectro Inelástico de Pseudo Aceleraciones**

Otro punto muy importante a mencionar, es que para realizar un análisis estático lineal o un análisis dinámico modal espectral es necesario establecer los valores de los parámetros sísmicos que la NTP E.030 expone sobre la base de las características de la zona y de la edificación. Para nuestra investigación se determinó que el hospital “La Caleta”, según el mapa de zonificación sísmica, se encuentra en la zona 4, debido a que está ubicado en el distrito de Chimbote, provincia del Santa, departamento de Áncash. Con respecto a la categoría, por tratarse de un hospital, está catalogado como una edificación esencial “A1”, en vista de que ante cualquier desastre natural estas edificaciones deberán servir como refugio. Otro rasgo muy importante es el tipo de suelo, el cual presenta un suelo blando “S3” (Tavera, 2014, p.111); así mismo, para el factor de reducción sísmica se empleó un valor de 3 para sistemas de albañilería confinada y 8 para sistemas de pórticos de concreto armado. Cabe señalar que en el caso de existir más de una irregularidad en altura “Ia” o irregularidad en planta “Ip” en la dirección de análisis se toma el menor valor de cada

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD  
DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

irregularidad. A continuación, en la Tabla A16 se resumen los parámetros sísmicos de los módulos de estudio y en la Tabla A17 y Tabla A18 se resumen los factores de reducción sísmica para ambas direcciones.

**Tabla A16**

*Parámetros sísmicos de los módulos de estudio*

<b>Parámetros Sísmicos</b>		
Zonificación	Zona	4
	Z	0.45
Sitio	Suelo	S3
	S	1.1
	TP (seg)	1
	TL (seg)	1.6
Uso	Categoría	A
	U	1.5

**Tabla A17**

*Factores de reducción sísmica de los módulos de estudio, dirección "X"*

<b>Módulo</b>	<b>Factor de Reducción Sísmica</b>			
	<b>Rox</b>	<b>Iax</b>	<b>Ipx</b>	<b>Rx</b>
D. Emergencia	3.00	0.75	0.75	1.69
D. Anestesiología	3.00	0.90	0.60	1.62
I. Cirugía	3.00	1.00	0.75	2.25
M. General	8.00	1.00	1.00	8.00

**Tabla A18**

*Factores de reducción sísmica de los módulos de estudio, dirección "Y"*

<b>Módulo</b>	<b>Factor de Reducción Sísmica</b>			
	<b>Roy</b>	<b>Iay</b>	<b>Ipy</b>	<b>Ry</b>
D. Emergencia	8.00	0.75	0.75	4.50
D. Anestesiología	3.00	0.90	0.60	1.62
I. Cirugía	3.00	1.00	0.75	2.25
M. General	3.00	1.00	1.00	3.00

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD  
DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

Es así que, con los parámetros determinados anteriormente, se procedió a definir el espectro inelástico mediante la fórmula presentada en el artículo 29.2.1 de la NTP E.030.

$$S_a = \frac{ZUCS}{R} \times g$$

**Tabla A19**

*Espectro de pseudo aceleraciones (g)*

T	D. Emergencia			D. Anestesiología			I. Cirugía			M. General		
	C	Sax (g)	Say (g)	C	Sax (g)	Say (g)	C	Sax (g)	Say (g)	C	Sax (g)	Say (g)
0.0	2.50	10.79	4.05	2.50	11.24	11.24	2.50	8.09	8.09	2.50	2.28	6.07
0.1	2.50	10.79	4.05	2.50	11.24	11.24	2.50	8.09	8.09	2.50	2.28	6.07
0.2	2.50	10.79	4.05	2.50	11.24	11.24	2.50	8.09	8.09	2.50	2.28	6.07
0.3	2.50	10.79	4.05	2.50	11.24	11.24	2.50	8.09	8.09	2.50	2.28	6.07
0.4	2.50	10.79	4.05	2.50	11.24	11.24	2.50	8.09	8.09	2.50	2.28	6.07
0.5	2.50	10.79	4.05	2.50	11.24	11.24	2.50	8.09	8.09	2.50	2.28	6.07
0.6	2.50	10.79	4.05	2.50	11.24	11.24	2.50	8.09	8.09	2.50	2.28	6.07
0.7	2.50	10.79	4.05	2.50	11.24	11.24	2.50	8.09	8.09	2.50	2.28	6.07
0.8	2.50	10.79	4.05	2.50	11.24	11.24	2.50	8.09	8.09	2.50	2.28	6.07
0.9	2.50	10.79	4.05	2.50	11.24	11.24	2.50	8.09	8.09	2.50	2.28	6.07
1.0	2.50	10.79	4.05	2.50	11.24	11.24	2.50	8.09	8.09	2.50	2.28	6.07
1.1	2.27	9.81	3.68	2.27	10.22	10.22	2.27	7.36	7.36	2.27	2.07	5.52
1.2	2.08	8.99	3.37	2.08	9.37	9.37	2.08	6.74	6.74	2.08	1.90	5.06
1.3	1.92	8.30	3.11	1.92	8.65	8.65	1.92	6.23	6.23	1.92	1.75	4.67
1.4	1.79	7.71	2.89	1.79	8.03	8.03	1.79	5.78	5.78	1.79	1.63	4.34
1.5	1.67	7.19	2.70	1.67	7.49	7.49	1.67	5.40	5.40	1.67	1.52	4.05
1.6	1.56	6.74	2.53	1.56	7.03	7.03	1.56	5.06	5.06	1.56	1.42	3.79
1.7	1.38	5.97	2.24	1.38	6.22	6.22	1.38	4.48	4.48	1.38	1.26	3.36
1.8	1.23	5.33	2.00	1.23	5.55	5.55	1.23	4.00	4.00	1.23	1.12	3.00
1.9	1.11	4.78	1.79	1.11	4.98	4.98	1.11	3.59	3.59	1.11	1.01	2.69
2.0	1.00	4.32	1.62	1.00	4.50	4.50	1.00	3.24	3.24	1.00	0.91	2.43
2.1	0.91	3.92	1.47	0.91	4.08	4.08	0.91	2.94	2.94	0.91	0.83	2.20
2.2	0.83	3.57	1.34	0.83	3.72	3.72	0.83	2.68	2.68	0.83	0.75	2.01
2.3	0.76	3.26	1.22	0.76	3.40	3.40	0.76	2.45	2.45	0.76	0.69	1.84
2.4	0.69	3.00	1.12	0.69	3.12	3.12	0.69	2.25	2.25	0.69	0.63	1.69
2.5	0.64	2.76	1.04	0.64	2.88	2.88	0.64	2.07	2.07	0.64	0.58	1.55
2.6	0.59	2.55	0.96	0.59	2.66	2.66	0.59	1.92	1.92	0.59	0.54	1.44
2.7	0.55	2.37	0.89	0.55	2.47	2.47	0.55	1.78	1.78	0.55	0.50	1.33

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD  
DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

T	D. Emergencia			D. Anestesiología			I. Cirugía			M. General		
	C	Sax (g)	Say (g)	C	Sax (g)	Say (g)	C	Sax (g)	Say (g)	C	Sax (g)	Say (g)
2.8	0.51	2.20	0.83	0.51	2.29	2.29	0.51	1.65	1.65	0.51	0.46	1.24
2.9	0.48	2.05	0.77	0.48	2.14	2.14	0.48	1.54	1.54	0.48	0.43	1.15
3.0	0.44	1.92	0.72	0.44	2.00	2.00	0.44	1.44	1.44	0.44	0.40	1.08
3.1	0.42	1.80	0.67	0.42	1.87	1.87	0.42	1.35	1.35	0.42	0.38	1.01
3.2	0.39	1.69	0.63	0.39	1.76	1.76	0.39	1.26	1.26	0.39	0.36	0.95
3.3	0.37	1.59	0.59	0.37	1.65	1.65	0.37	1.19	1.19	0.37	0.33	0.89
3.4	0.35	1.49	0.56	0.35	1.56	1.56	0.35	1.12	1.12	0.35	0.32	0.84
3.5	0.33	1.41	0.53	0.33	1.47	1.47	0.33	1.06	1.06	0.33	0.30	0.79
3.6	0.31	1.33	0.50	0.31	1.39	1.39	0.31	1.00	1.00	0.31	0.28	0.75
3.7	0.29	1.26	0.47	0.29	1.31	1.31	0.29	0.95	0.95	0.29	0.27	0.71
3.8	0.28	1.20	0.45	0.28	1.25	1.25	0.28	0.90	0.90	0.28	0.25	0.67
3.9	0.26	1.14	0.43	0.26	1.18	1.18	0.26	0.85	0.85	0.26	0.24	0.64
4.0	0.25	1.08	0.40	0.25	1.12	1.12	0.25	0.81	0.81	0.25	0.23	0.61
4.2	0.23	0.98	0.37	0.23	1.02	1.02	0.23	0.73	0.73	0.23	0.21	0.55
4.4	0.21	0.89	0.33	0.21	0.93	0.93	0.21	0.67	0.67	0.21	0.19	0.50
4.6	0.19	0.82	0.31	0.19	0.85	0.85	0.19	0.61	0.61	0.19	0.17	0.46
4.8	0.17	0.75	0.28	0.17	0.78	0.78	0.17	0.56	0.56	0.17	0.16	0.42
5.0	0.16	0.69	0.26	0.16	0.72	0.72	0.16	0.52	0.52	0.16	0.15	0.39
5.2	0.15	0.64	0.24	0.15	0.67	0.67	0.15	0.48	0.48	0.15	0.13	0.36
5.4	0.14	0.59	0.22	0.14	0.62	0.62	0.14	0.44	0.44	0.14	0.12	0.33
5.6	0.13	0.55	0.21	0.13	0.57	0.57	0.13	0.41	0.41	0.13	0.12	0.31
5.8	0.12	0.51	0.19	0.12	0.53	0.53	0.12	0.38	0.38	0.12	0.11	0.29
6.0	0.11	0.48	0.18	0.11	0.50	0.50	0.11	0.36	0.36	0.11	0.10	0.27
6.2	0.10	0.45	0.17	0.10	0.47	0.47	0.10	0.34	0.34	0.10	0.09	0.25
6.4	0.10	0.42	0.16	0.10	0.44	0.44	0.10	0.32	0.32	0.10	0.09	0.24
6.6	0.09	0.40	0.15	0.09	0.41	0.41	0.09	0.30	0.30	0.09	0.08	0.22
6.8	0.09	0.37	0.14	0.09	0.39	0.39	0.09	0.28	0.28	0.09	0.08	0.21
7.0	0.08	0.35	0.13	0.08	0.37	0.37	0.08	0.26	0.26	0.08	0.07	0.20
7.5	0.07	0.31	0.12	0.07	0.32	0.32	0.07	0.23	0.23	0.07	0.06	0.17
8.0	0.06	0.27	0.10	0.06	0.28	0.28	0.06	0.20	0.20	0.06	0.06	0.15

A continuación, en la Figura A11, Figura A12, Figura A13 y Figura A14 se presentan las gráficas de los espectros inelásticos para los cuatro módulos de estudio del hospital “La Caleta”.

Figura A11

*Espectro de aceleraciones, emergencia*

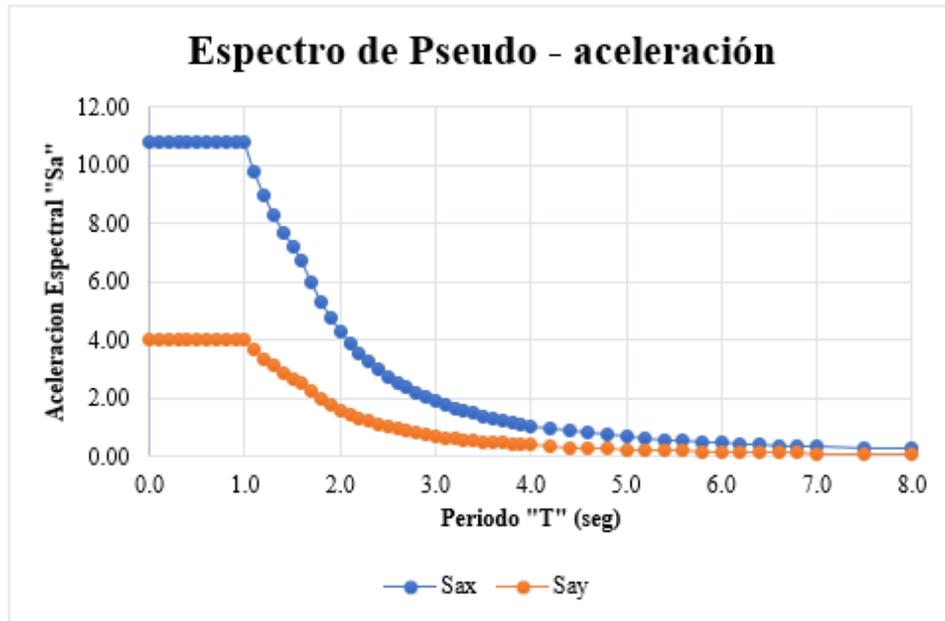


Figura A12

*Espectro de aceleraciones, anestesiología y centro quirúrgico*

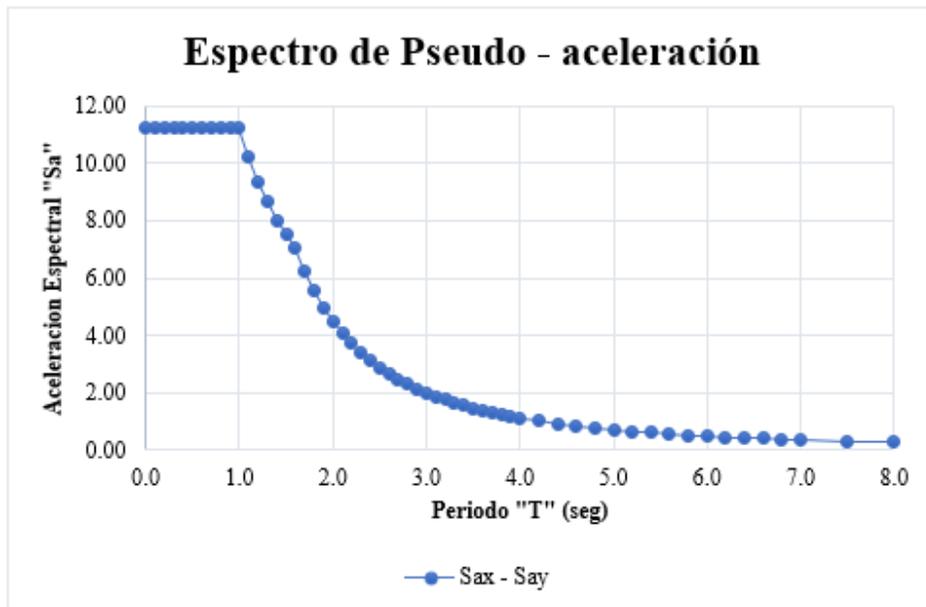


Figura A13

*Espectro de aceleraciones, internados de cirugía*

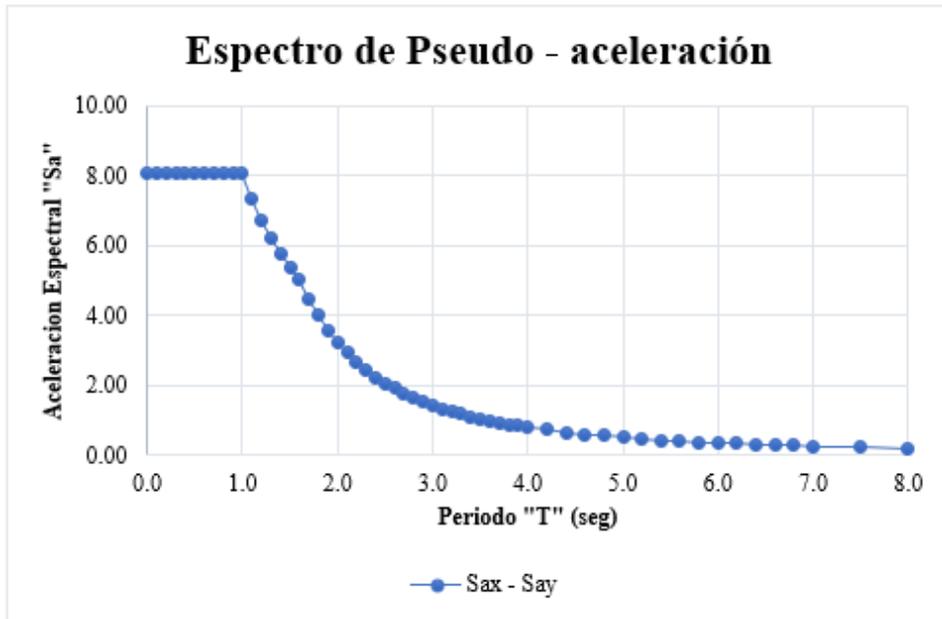
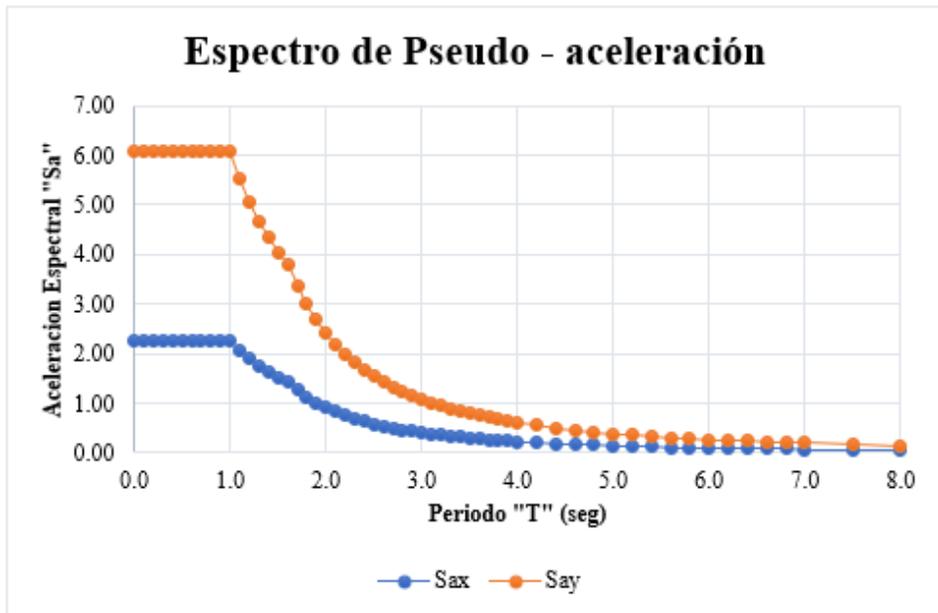


Figura A14

*Espectro de aceleraciones, pediatría y medicina general*



**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD  
DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

**1.6.5. Análisis Modal, Periodos y Masa Participativa**

Como resultado en la Tabla A20, Tabla A21, Tabla A22 y Tabla A23 se muestran los modos, periodos y masa participativa de los cuatro módulos de estudio del hospital “La Caleta”, cabe señalar que se tuvo en cuenta que la masa participativa acumulada sea mayor al 90% en los 3 primeros modos dominantes, conforme a lo indicado en el Artículo 29.1.2 de la NTP E.030.

**Tabla A20**

*Modos, periodos y masa participativa; emergencia*

<b>Caso</b>	<b>Modo</b>	<b>Período (seg)</b>	<b>UX</b>	<b>UY</b>	<b>RZ</b>
Modal	TY=	0.282	0.017	0.801	0.164
Modal	TX=	0.168	0.627	0.104	0.228
Modal	TZ=	0.139	0.332	0.056	0.583
Modal	4	0.105	0.00	0.037	0.011
Modal	5	0.064	0.021	2.70E-05	0.0007
Modal	6	0.056	0.003	0.002	0.0136

*Nota.* Se observa que el modo más flexible es en la orientación “Y” con un período de 0.282 segundos y una masa participativa del 80.1%; así mismo, el segundo modo más flexible es en la orientación “X” con un período de 0.168 segundos y una masa participativa del 62.7%; con lo cual la orientación de análisis “X” presentará una mayor rigidez.

**Tabla A21**

*Modos, periodos y masa participativa; anestesiología y centro quirúrgico*

<b>Caso</b>	<b>Modo</b>	<b>Período (seg)</b>	<b>UX</b>	<b>UY</b>	<b>RZ</b>
Modal	TY=	0.143	0.089	0.687	0.257
Modal	TX=	0.100	0.807	0.169	0.02
Modal	TZ=	0.077	0.104	0.143	0.722

*Nota.* Se observa que el modo más flexible es en la orientación “Y” con un período de 0.143 segundos y una masa participativa del 68.7%; así mismo, el segundo modo más flexible es en la orientación “X” con un período de 0.100 segundos y una masa participativa del 80.7%; con lo cual la orientación de análisis “X” presentará una mayor rigidez.

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

**Tabla A22**

*Modos, periodos y masa participativa; internados de cirugía*

<b>Caso</b>	<b>Modo</b>	<b>Período (seg)</b>	<b>UX</b>	<b>UY</b>	<b>RZ</b>
Modal	TX=	0.159	0.970	0.005	0.0275
Modal	TY=	0.124	0.022	0.676	0.322
Modal	TZ=	0.099	0.008	0.318	0.6501

*Nota:* Se observa que el modo más flexible es en la orientación “X” con un período de 0.159 segundos y una masa participativa del 97%; así mismo, el segundo modo más flexible es en la orientación “Y” con un período de 0.124 segundos y una masa participativa del 67.6%; con lo cual la orientación de análisis “Y” presentará una mayor rigidez.

**Tabla A23**

*Modos, periodos y masa participativa; pediatría y medicina general*

<b>Caso</b>	<b>Modo</b>	<b>Período (seg)</b>	<b>UX</b>	<b>UY</b>	<b>RZ</b>
Modal	TX=	0.251	0.9999	8.59E-06	0.0029
Modal	TY=	0.075	0.0001	0.730	0.2894
Modal	TZ=	0.058	0.0001	0.270	0.7077

*Nota:* Se observa que el modo más flexible es en la orientación “X” con un período de 0.251 segundos y una masa participativa del 99.9%; así mismo, el segundo modo más flexible es en la orientación “Y” con un período de 0.075 segundos y una masa participativa del 73%; con lo cual la orientación de análisis “Y” presentará una mayor rigidez.

**1.6.6. Cortante en la Base**

Brevemente, puede explicarse que la cortante dinámica debe escalarse al 80% de la cortante estática (estructuras regulares), de la misma forma al 90% (estructuras irregulares) conforme a lo indicado en el Artículo 29.4 de la NTP E.030. Por otra parte, este valor de escala debe aplicarse como un factor proporcional a los resultados, sin embargo, no se aplica a los desplazamientos. En la Tabla A24, Tabla A25, Tabla A26 y Tabla A27 se presentan los factores de escala para los cuatro módulos de estudio del hospital “La Caleta”.

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

**Tabla A24**

*Cortante estática, dinámica y factor de escala; emergencia*

<b>Orientación de análisis</b>	<b>V estático (tonf)</b>	<b>V dinámico (tonf)</b>	<b>Estructura</b>	<b>Caso</b>	<b>Comprobación</b>	<b>Escala</b>
“X”	400.24	308.63	Irregular	0.77	No cumple	1.167
“Y”	150.09	122.65	Irregular	0.82	No cumple	1.101

*Nota.* Se observa que las fuerzas cortantes dinámicas en la base son menores al 90% del valor de la cortante estática.

**Tabla A25**

*Cortante estática, dinámica y factor de escala; anestesiología y centro quirúrgico*

<b>Orientación de análisis</b>	<b>V estático (tonf)</b>	<b>V dinámico (tonf)</b>	<b>Estructura</b>	<b>Caso</b>	<b>Comprobación</b>	<b>Escala</b>
“X”	108.25	90.75	Irregular	0.84	No cumple	1.074
“Y”	108.25	80.22	Irregular	0.74	No cumple	1.215

*Nota.* Se observa que las fuerzas cortantes dinámicas en la base son menores al 90% del valor de la cortante estática.

**Tabla A26**

*Cortante estática, dinámica y factor de escala; internados de cirugía*

<b>Orientación de análisis</b>	<b>V estático (tonf)</b>	<b>V dinámico (tonf)</b>	<b>Estructura</b>	<b>Caso</b>	<b>Comprobación</b>	<b>Escala</b>
“X”	185.85	180.85	Irregular	0.97	Cumple	-----
“Y”	185.85	147.64	Irregular	0.79	No cumple	1.133

*Nota.* Se observa que la fuerza cortante dinámica en la base de la orientación de análisis “X” es mayor al 90% del valor de la cortante estática, asimismo en la orientación de análisis “Y” es menor al 90%.

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

**Tabla A27**

*Cortante estática, dinámica y factor de escala; pediatría y medicina general*

<b>Orientación de análisis</b>	<b>V estático (tonf)</b>	<b>V dinámico (tonf)</b>	<b>Estructura</b>	<b>Caso</b>	<b>Comprobación</b>	<b>Escala</b>
“X”	86.38	86.38	Regular	1.00	Cumple	-----
“Y”	230.39	186.72	Regular	0.81	Cumple	-----

*Nota.* Se observa que las fuerzas cortantes dinámicas en la base son mayores al 80% del valor de la cortante estática.

**1.6.7. Desplazamientos Laterales y Derivas**

A continuación, en la Tabla A28, Tabla A29, Tabla A30 y Tabla A31 se presentan los desplazamientos laterales y derivas en ambas orientaciones de análisis para los cuatro módulos de estudio del hospital “La Caleta”, conforme a lo indicado en los Artículos 31 y 32 de la NTP E.030.

**Tabla A28**

*Desplazamientos laterales y derivas, módulo emergencia*

<b>Piso</b>	<b>Desplazamiento “X” (mm)</b>	<b>Desplazamiento “Y” (mm)</b>	<b>Deriva “X” (‰)</b>	<b>Deriva “Y” (‰)</b>
Piso 2	14.486	44.121	0.79	2.71
Piso 1	12.123	36.001	3.57	10.59

*Nota.* Por tratarse de una estructura irregular los desplazamientos laterales se calcularon multiplicando por 0.85R los resultados obtenidos del análisis lineal elástico.

De la Tabla A28, se observa que en la orientación transversal “Y” las distorsiones del piso 1 no cumplen con el límite de deriva, puesto que se obtuvo un valor de 10.59‰, siendo este superior a 7‰ permitido para estructuras de concreto armado. Asimismo, en la orientación longitudinal “X” para el piso 1 se obtuvo una deriva de 3.57‰, menor a 5‰ permitida para estructuras de albañilería confinada; no obstante, puede que exista una probabilidad de que este módulo de emergencia falle y colapse en esta orientación de análisis “X”, debido a que los muros de albañilería trabajan a fuerzas.

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD  
DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

**Tabla A29**

*Desplazamientos laterales y derivas, módulo anestesiología*

<b>Piso</b>	<b>Desplazamiento "X" (mm)</b>	<b>Desplazamiento "Y" (mm)</b>	<b>Deriva "X" (‰)</b>	<b>Deriva "Y" (‰)</b>
Piso 1	4.773	9.068	1.49	2.83

*Nota.* Por tratarse de una estructura irregular los desplazamientos laterales se calcularon multiplicando por 0.85R los resultados obtenidos del análisis lineal elástico.

De la Tabla A29, se observa que en la orientación longitudinal "X" y transversal "Y" se obtuvieron derivas menores a 5‰ permitidas para estructuras de albañilería confinada, no obstante, puede que exista una probabilidad de que este módulo de anestesiología falle y colapse, debido a que los muros de albañilería trabajan a fuerzas.

**Tabla A30**

*Desplazamientos laterales y derivas, módulo cirugía*

<b>Piso</b>	<b>Desplazamiento "X" (mm)</b>	<b>Desplazamiento "Y" (mm)</b>	<b>Deriva "X" (‰)</b>	<b>Deriva "Y" (‰)</b>
Piso 1	10.846	8.853	3.39	2.77

*Nota.* Por tratarse de una estructura irregular los desplazamientos laterales se calcularon multiplicando por 0.85R los resultados obtenidos del análisis lineal elástico.

De la Tabla A30, se observa que en la orientación longitudinal "X" y transversal "Y" se obtuvieron derivas menores a 5‰ permitidas para estructuras de albañilería confinada, no obstante, puede que exista una probabilidad de que este módulo de cirugía falle y colapse, debido a que los muros de albañilería trabajan a fuerzas.

**Tabla A31**

*Desplazamientos laterales y derivas, módulo medicina general*

Piso	Desplazamiento "X" (mm)	Desplazamiento "Y" (mm)	Deriva "X" (‰)	Deriva "Y" (‰)
Piso 1	21.912	3.186	6.74	0.98

*Nota.* Por tratarse de una estructura regular los desplazamientos laterales se calcularon multiplicando por 0.75R los resultados obtenidos del análisis lineal elástico.

De la Tabla A31, se observa que en la orientación longitudinal "X" se obtuvo una deriva de 6.74‰, menor a 7‰ permitida para estructuras de concreto armado. Asimismo, en la orientación transversal "Y" se obtuvo una deriva de 0.98‰, menor a 5‰ permitida para estructuras de albañilería confinada.

#### ***1.6.8. Verificación por Corte de los Muros de Albañilería***

A lo expuesto anteriormente se procedió a verificar por corte los muros de albañilería, mediante los resultados obtenidos del análisis lineal y la ecuación que propone la NTP E.070 de albañilería en el Artículo 28.2.

$$Vm = 0.50v'm. \alpha. t. L + 0.23Pg$$

$\alpha$  es el factor de reducción de resistencia al corte por efectos de esbeltez, calculado como:

$$1/3 \leq \alpha = L/(0.8H) \leq 1$$

Donde:

$v'm$  = Resistencia característica a corte de la albañilería

$Pg$  = Carga permanente y total de la edificación más un porcentaje de la carga viva

$t$  = Espesor efectivo del muro

$L$  = Longitud total del muro

$H$  = Altura de entrepiso del muro

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD  
DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

En la Tabla A32, Tabla A33, Tabla A34 y Tabla A35 se muestran las verificaciones por corte de los muros de albañilería para los cuatro módulos de estudio del hospital “La Caleta”.

**Tabla A32**

*Verificación por corte en muros, piso 1 emergencia*

<b>Muro albañilería</b>	<b>Cortante de demanda (tonf)</b>	<b>Vm (tonf)</b>	<b>Condición</b>
Muro 1X	29.11	17.85	No cumple
Muro 2X	70.91	37.13	No cumple
Muro 3X	16.67	11.30	No cumple
Muro 4X	47.18	33.26	No cumple
Muro 5X	32.95	19.95	No cumple
Muro 6X	57.18	32.37	No cumple
Muro 7X	19.25	5.62	No cumple
Muro 8X	27.32	13.31	No cumple
Muro 9X	15.99	5.37	No cumple
Muro 10X	33.27	13.11	No cumple
Muro 11X	26.02	10.49	No cumple

*Nota.* Se observa que los muros fallan por corte, debido a que el valor de la cortante de demanda es mayor que el Vm obtenida por la NTP E.070 de albañilería.

**Tabla A33**

*Verificación por corte en muros, anestesiología y centro quirúrgico*

<b>Muro albañilería</b>	<b>Cortante de demanda (tonf)</b>	<b>Vm (tonf)</b>	<b>Condición</b>
Muro 1X	22.92	30.04	Cumple
Muro 2X	19.10	22.08	Cumple
Muro 3X	19.86	24.83	Cumple
Muro 4X	1.94	3.48	Cumple
Muro 5X	6.71	6.29	No cumple

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD  
DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

<b>Muro albañilería</b>	<b>Cortante de demanda (tonf)</b>	<b>Vm (tonf)</b>	<b>Condición</b>
Muro 6X	26.52	22.13	No cumple
Muro 7X	3.07	4.77	Cumple
Muro 1Y	36.27	23.88	No cumple
Muro 2Y	18.15	23.43	Cumple
Muro 3Y	7.39	10.34	Cumple
Muro 4Y	37.51	19.06	No cumple

*Nota.* Se observa que los muros 5X, 6X, 1Y y 4Y fallan por corte, debido a que el valor de la cortante de demanda es mayor que el Vm obtenida por la NTP E.070 de albañilería.

**Tabla A34**

*Verificación por corte en muros, internados de cirugía*

<b>Muro albañilería</b>	<b>Cortante de demanda (tonf)</b>	<b>Vm (tonf)</b>	<b>Condición</b>
Muro 1Y	32.04	23.72	No cumple
Muro 2Y	18.07	23.53	Cumple
Muro 3Y	17.82	23.58	Cumple
Muro 4Y	19.73	14.92	No cumple
Muro 5Y	39.22	22.60	No cumple
Muro 6Y	17.31	23.09	Cumple
Muro 7Y	9.82	18.32	Cumple
Muro 8Y	16.93	22.98	Cumple
Muro 9Y	16.89	22.80	Cumple

*Nota.* Se observa que los muros 1Y, 4Y y 5Y fallan por corte, debido a que el valor de la cortante de demanda es mayor que el Vm obtenida por la NTP E.070 de albañilería.

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD  
DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

**Tabla A35**

*Verificación por corte en muros, pediatría y medicina general*

<b>Muro albañilería</b>	<b>Cortante de demanda (tonf)</b>	<b>V<sub>m</sub> (tonf)</b>	<b>Condición</b>
Muro 1Y	37.54	47.75	Cumple
Muro 2Y	12.80	29.03	Cumple
Muro 3Y	22.31	31.30	Cumple
Muro 4Y	21.75	34.14	Cumple
Muro 5Y	29.90	31.37	Cumple
Muro 6Y	18.58	28.39	Cumple
Muro 7Y	43.47	31.30	No cumple
Muro 8Y	53.89	34.81	No cumple
Muro 9Y	17.71	36.07	Cumple
Muro 10Y	9.49	24.95	Cumple
Muro 11Y	12.26	23.93	Cumple
Muro 12Y	16.49	23.78	Cumple
Muro 13Y	39.52	35.75	No cumple

*Nota:* Se observa que los muros 7Y, 8Y y 13Y fallan por corte, debido a que el valor de la cortante de demanda es mayor que el V<sub>m</sub> obtenida por la NTP E.070 de albañilería.

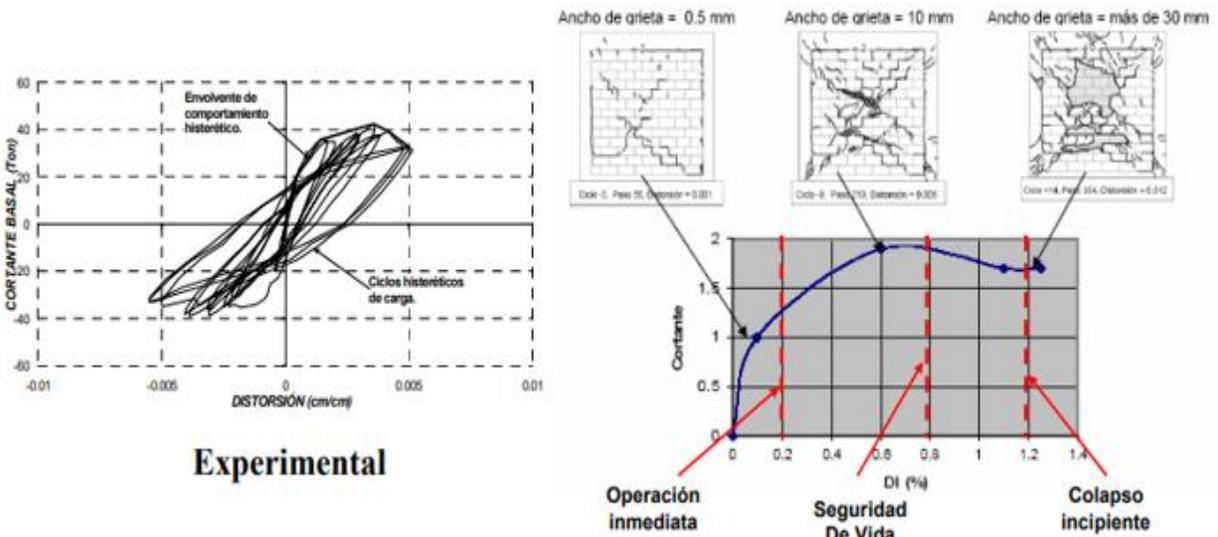
# **Apéndice B: Calibraciones**

## Apéndice B. Calibraciones

Para empezar, debemos entender que el comportamiento de las edificaciones de albañilería confinada, no se obtienen de modelos estructurales, ni de simulaciones numéricas, estos se obtienen a partir de ensayos. Por lo tanto, en un ensayo de un elemento “muro” de albañilería confinada, se aplican cargas laterales y empiezan a aparecer ciertas curvas como se observa en la parte izquierda de la Figura B1, las cuales nos describen que la envolvente de comportamiento hysterético permite caracterizar el comportamiento de los elementos de albañilería. Así pues, la finalidad de estos ensayos es conocer el daño del elemento, de modo que, cuando se aplica una fuerza representativa, se puede saber en qué instante o con qué parámetro podríamos definir el daño, muchos de estos son en base al desplazamiento. El desplazamiento lateral está muy orientado a la condición de daño de una estructura, en este caso al de un muro de albañilería confinada.

**Figura B1**

*Comportamiento de muros de albañilería confinada*

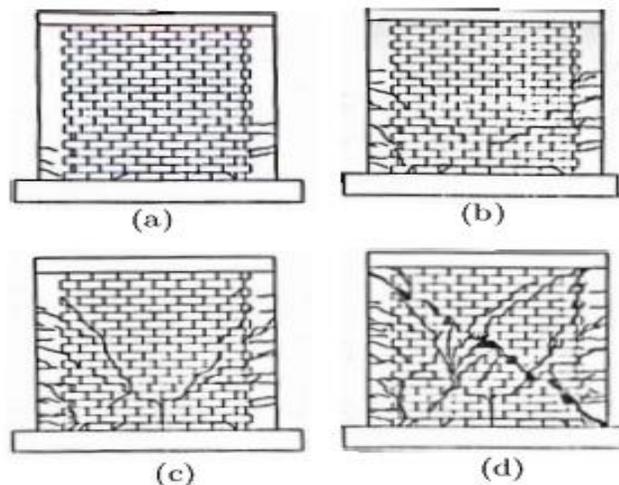


*Nota.* Adaptado de “Evaluación estructural basada en desplazamientos para edificaciones de mampostería confinada, el desarrollo mexicano”, por Gilmore & Ruiz, 2011.

Según Díaz et al. (2019), nos comentan que el mecanismo de falla bajo carga lateral de un muro de albañilería se representa mediante la Figura B2. En el caso (a) estado elástico, pueden aparecer algunas grietas horizontales leves en la albañilería y en los extremos de las columnas de confinamiento, el límite de este estado se llama “punto de fisura”. Después de este estado, se da el caso (b) estado post-elástico, en el cual aparecen ligeras grietas diagonales en la albañilería y en la mitad de los extremos de las columnas de confinamiento, el límite de este estado se llama “punto de fluencia”, en el cual se aprecia un pequeño cambio de la rigidez. Más allá de este estado, tenemos el caso (c) estado de rendimiento, en donde a medida que aumenta la carga lateral, los patrones de grietas en la albañilería y en las columnas de confinamiento aumentan hasta que el muro alcanza la resistencia máxima, el límite de este estado se llama “punto máximo”, en el cual se aprecia un cambio significativo de la rigidez. Más allá de este estado, tenemos el caso (d) estado final, donde la albañilería se daña drásticamente y las columnas de confinamiento soportan casi toda la carga lateral, el límite de este estado se llama “punto último”, en el cual se apreciará una pendiente negativa en la curva de capacidad.

### **Figura B2**

*Estados de daño en muros de albañilería confinada*

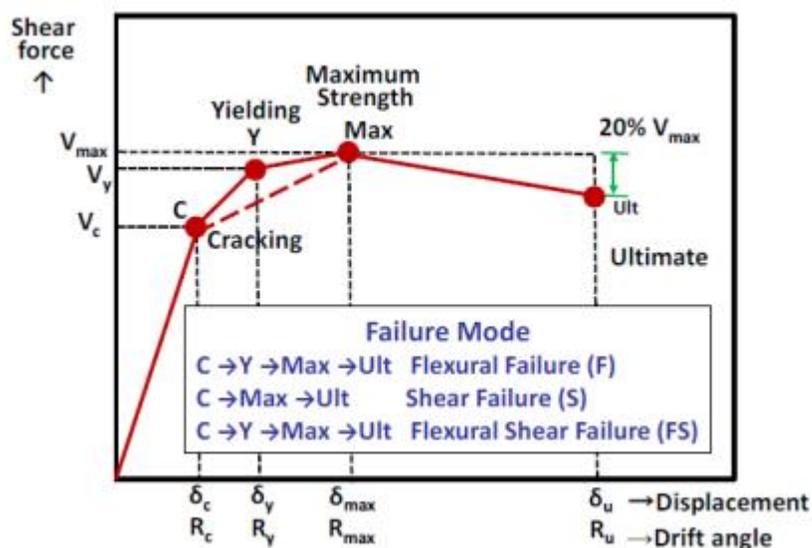


*Nota.* Tomado de “Desarrollo de modelos analíticos para muros de mampostería confinada basados en resultados experimentales en la ciudad de Lima”, por Díaz et al., 2019.

Asimismo, Díaz et al. (2019) consideraron para la elaboración de la curva de capacidad un modelo tetralineal, el cual se basa en cuatro puntos importantes como se observa en la Figura B3, estos son: punto de fisuración, punto de fluencia, punto máximo y punto último.

**Figura B3**

*Comportamiento de muros de albañilería frente a cargas laterales*



*Nota.* Tomado de “Desarrollo de modelos analíticos para muros de mampostería confinada basados en resultados experimentales en la ciudad de Lima”, por Díaz et al., 2019.

Es así que, Díaz et al. (2019) nos mencionan sobre las deformaciones representativas expresadas en derivas agrupadas según ensayos experimentales, tanto para muros de albañilería del tipo industrial, artesanal y tubular como se presenta en la Tabla B1.

**Tabla B1**

*Deriva representativa (×10-3)*

<b>Ladrillo</b>	<b>Fisuración</b>	<b>Fluencia</b>	<b>Máximo</b>	<b>Último</b>
Industrial	0.60	1.90	7.60	11.70
Artesanal	0.40	1.30	3.50	8.00
Tubular	0.40	0.60	1.90	3.70

*Nota.* Tomado de “Desarrollo de modelos analíticos para muros de mampostería confinada basados en resultados experimentales en la ciudad de Lima”, por Díaz et al., 2019.

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD  
DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

---

Por otro lado, Zavala et al. (2003) en su reporte “Comportamiento frente a cargas laterales de una vivienda de albañilería de dos pisos mediante ensayo en línea”, describieron el comportamiento esperado para los muros de albañilería en función de la distorsión máxima, la cual se presenta en la Tabla B2.

**Tabla B2**

*Valores de deriva máxima y descripción del comportamiento esperado*

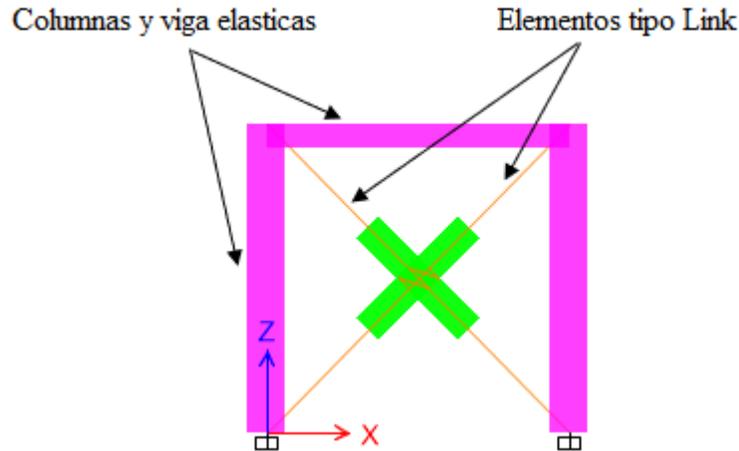
<b>Deriva (<math>\times 10^{-3}</math>)</b>	<b>Descripción del comportamiento esperado</b>
0.31	Grietas imperceptibles.
0.63	Inicio de grietas en los extremos inferiores del muro.
1.25	Inicio de agrietamiento en diagonal.
2.50	Inicio de agrietamiento en las columnas de confinamiento y apertura de la grieta en diagonal.
5.00	Se observan grietas horizontales a lo largo de las columnas de confinamiento, con propagación generalizada de grietas en dirección diagonal y una apertura significativa, lo que podría resultar en rotura de vidrios.
10.00	Se observan grietas que atraviesan el muro horizontalmente, lo que ocasiona una pérdida de verticalidad y riesgo de colapso. Las puertas, ventanas y ascensores no pueden funcionar, y las particiones están colapsando.

*Nota.* Tomado de “Comportamiento frente a cargas laterales de una vivienda de albañilería de dos pisos mediante ensayo en línea” (p.6), por Zavala et al.,2003.

Con respecto al desarrollo de las calibraciones del presente trabajo de investigación, esencialmente lo que se elaboró, es que un elemento de albañilería confinada, se aproximó mediante unas columnas de confinamiento (elásticas) y una viga solera (elástica), a las cuales se les colocó unos elementos tipo link en diagonal tal como se muestra en la Figura B4, con la finalidad de obtener una respuesta similar al de un ensayo real. Este elemento tipo link es básicamente un resorte en no lineal que va a trabajar con varias rectas.

#### Figura B4

Modelo empleado para la calibración de un muro de albañilería



Primeramente, para iniciar estas calibraciones se partió de ensayos y documentos desarrollados por el CISMID y la PUCP, lo cual nos ayudó a entender y describir cual es el comportamiento de un muro de albañilería confinada. Cabe señalar que estos documentos nos plantean un desempeño y nos hablan en función de derivas.

Por lo que se refiere a los elementos tipo link, se les colocaron cuáles fueron las fuerzas y desplazamientos que van a contener, es decir, cuál es la rigidez que presentará el muro, además esto inicia desde la parte elástica y también contiene a la parte plástica. Estos elementos tipo link presentarán un sentido U1 (disposición en diagonal), tal como se observa en la Figura B4, que al aplicarle una carga lateral que comprima o traccione al elemento “muro” estos links van a generar fuerzas. Asimismo, como el principal actor es el muro, dado que las columnas y viga solera están acompañando, se buscó que el muro de albañilería tome toda la cortante basal, que según la NTP E-070 “albañilería” se puede calcular mediante la ecuación presentada en el Artículo 28.2.

$$Vm = 0.50v'm. \alpha. t. L + 0.23Pg$$

Este  $V_m$  vendría a ser la capacidad del muro de albañilería, el cual se buscó que se tome como la resultante, en otras palabras, que el link horizontalmente dé este valor del  $V_m$ .

### 1.1. Calibración del Muro A2-3 (Artesanal)

Para esta calibración se tuvo en consideración el documento de Huaco (2005). En la Tabla B3 se presentan las propiedades geométricas y mecánicas, así pues, en la Figura B5 se muestran las vistas en elevación y planta, y en la Figura B6 se muestra la curva de histéresis y curva de capacidad del Muro A2-3.

**Tabla B3**

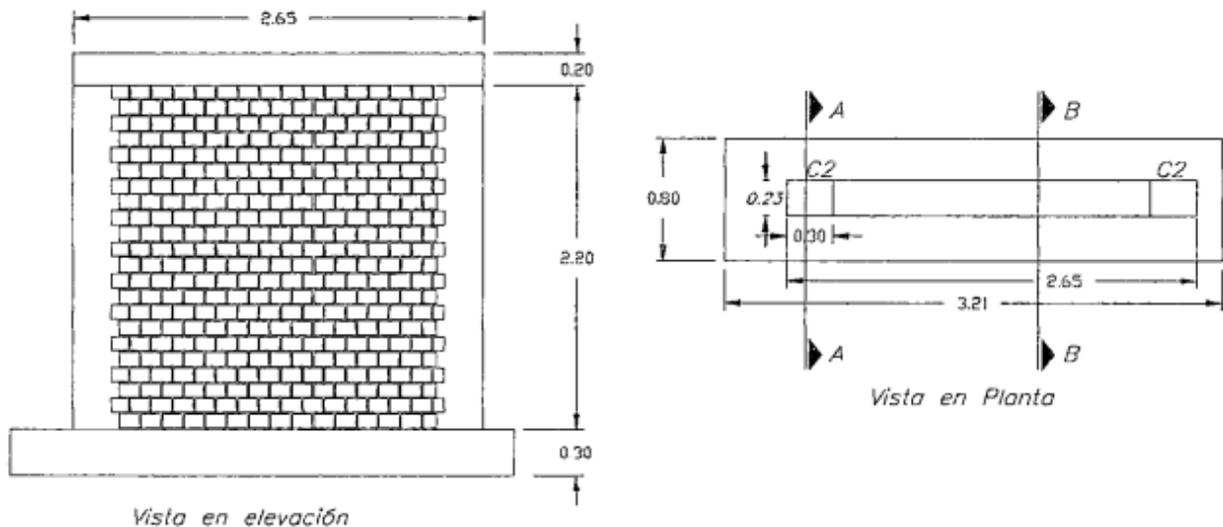
*Propiedades geométricas y mecánicas Muro A2-3*

Wall	Muro					Columna		Viga		
	L (cm)	e (cm)	H (cm)	f'm (kg/cm <sup>2</sup> )	Acero	f'm (kg/cm <sup>2</sup> )	f'y (kg/cm <sup>2</sup> )	Hvl (cm)	v (cm)	Acero
<b>A2-3</b>	265	20.5	220	47.41	4@3/8"	210	4200	20	30	4@3/8"

*Nota.* Adaptado de “Comportamiento de una edificación de albañilería construido con ladrillo artesanal frente a cargas laterales”, por Huaco, 2005.

**Figura B5**

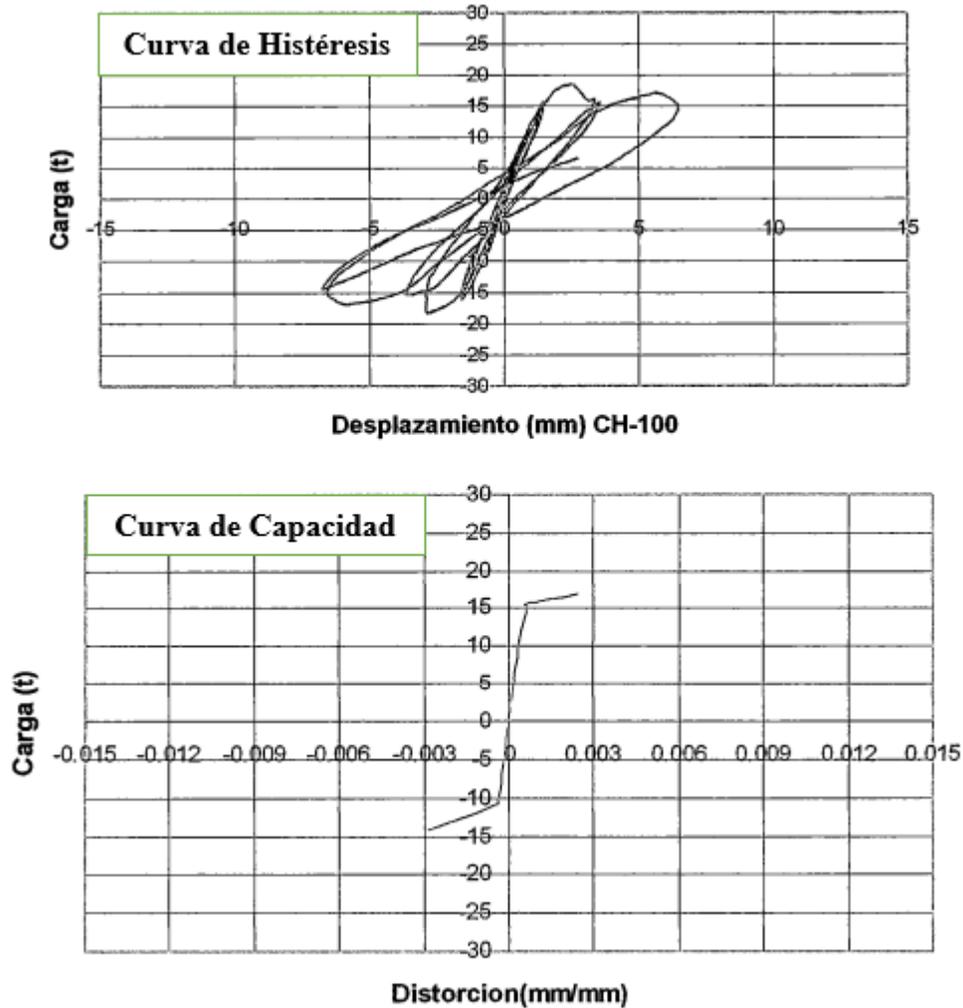
*Vistas en elevación y planta, Muro A2-3*



*Nota.* Tomado de “Comportamiento de una edificación de albañilería construido con ladrillo artesanal frente a cargas laterales” (p.11), por Huaco, 2005.

Figura B6

Curva de histéresis y curva de capacidad, Muro A2-3



Nota. Adaptado de “Comportamiento de una edificación de albañilería construido con ladrillo artesanal frente a cargas laterales”, por Huaco, 2005.

Con respecto al procedimiento de la calibración del Muro A2-3, en la Tabla B4 se obtuvo el cálculo del  $V_m$ , además en la Figura B7 se visualiza el modelo numérico utilizado.

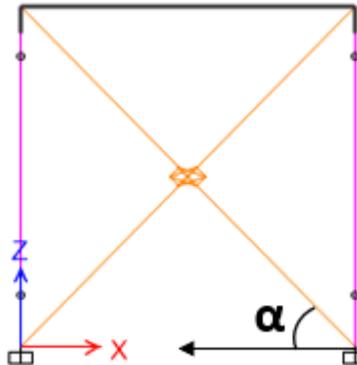
**Tabla B4**

*Cálculo del  $V_m$ , Muro A2-3*

<b>Muro de albañilería confinada - Muro A2-3</b>			
L (cm)	265.00	H (cm)	240.00
D (cm)	357.53	$\alpha$ (°)	42.17
$f'_m$ (kg/cm <sup>2</sup> )	47.41	t (cm)	20.5
$\alpha$	1	$v'_m$	6.89
$V_m$ (tonf)	19.24	$P_g$ (tonf)	2.35

**Figura B7**

*Modelo numérico, Muro A2-3*



*Nota.* Para el análisis no se consideraron las deformaciones verticales y rotacionales en la viga, debido a que se encuentra unida al muro de albañilería; mientras que, para las columnas se consideró la deformación axial, pero no su interacción con el momento flector.

Para el cálculo de las fuerzas Axiales de la Tabla B6, los factores de fuerza ( $V$ ) de la Tabla B5 son multiplicados por el  $V_m$  obtenido en la Tabla B4 y dividido por el coseno del ángulo que forman los links. Así pues, para el cálculo de las deformaciones de la Tabla B6, los factores de deriva de la Tabla B5 son multiplicados por  $H/1000$  y por el coseno del ángulo que forman los links. Asimismo, en la Figura B8 se presenta la gráfica de fuerza axial-deformación del link que representa al Muro A2-3.

**Tabla B5**

*Factores de fuerza-deriva, Muro A2-3*

	<b>B</b>	<b>BC</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
<b>Fuerza (V)</b>	0.62	0.80	0.89	0.71	0.35
<b>Deriva (×10-3)</b>	0.46	1.25	2.70	8.0	8.5

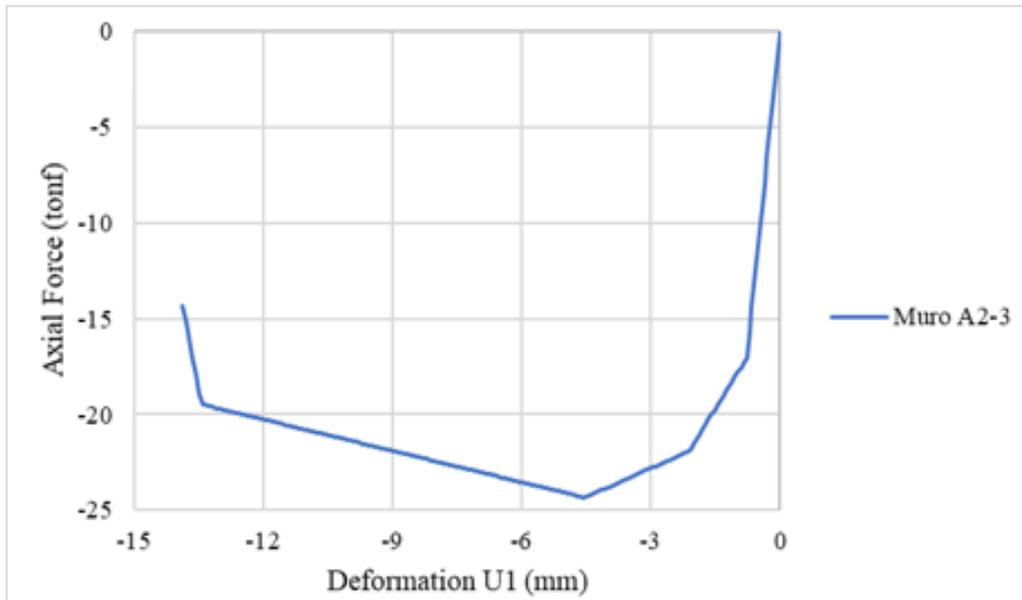
**Tabla B6**

*Valores de fuerza axial-deformación, Muro A2-3*

<b>Link</b>	
<b>Deformación (mm)</b>	<b>Fuerza axial (tonf)</b>
-14.272	-9.737
-13.433	-19.474
-4.534	-24.342
-2.106	-21.908
-0.772	-17.039
0.000	0.000
5.000	0.0001

**Figura B8**

*Fuerza axial-deformación del link que representa al Muro A2-3*

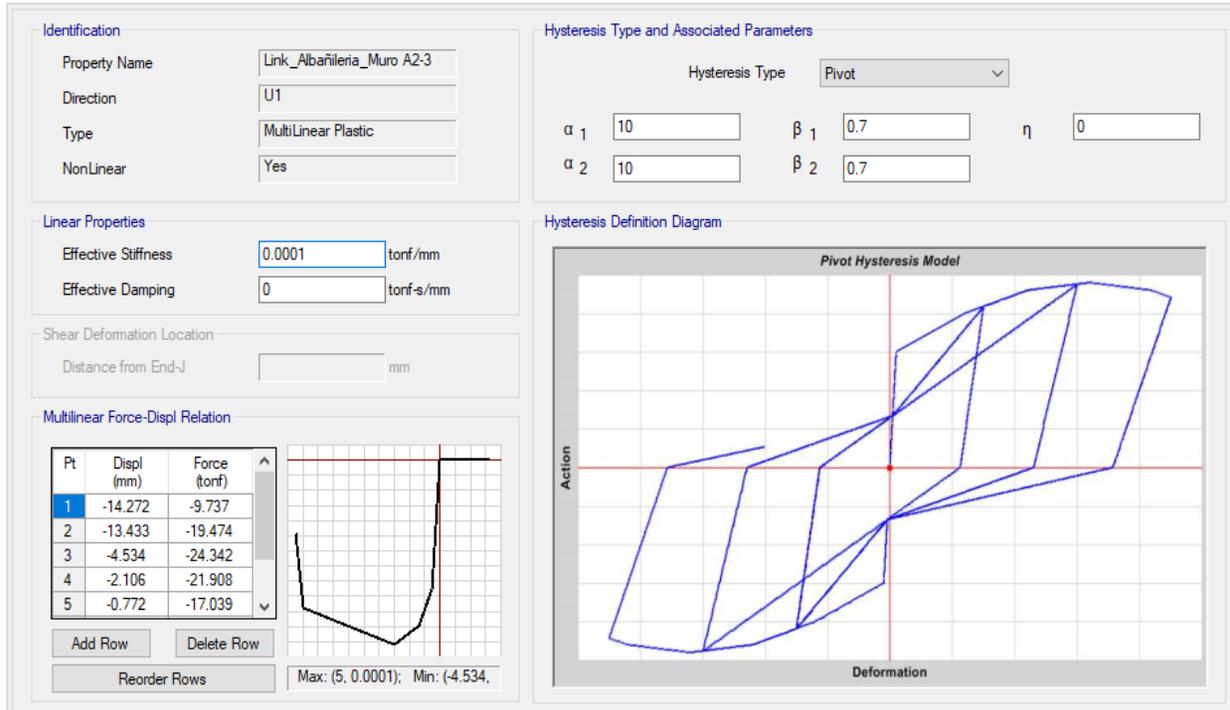


**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD  
DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

En la Figura B9 se muestra la creación del link en un software de análisis estructural, empleando la dirección U1 como un tipo MultiLinear Plastic, en el cual se ingresaron los valores de fuerza axial-deformación.

**Figura B9**

*Creación del link en la dirección U1 del Muro A2-3*

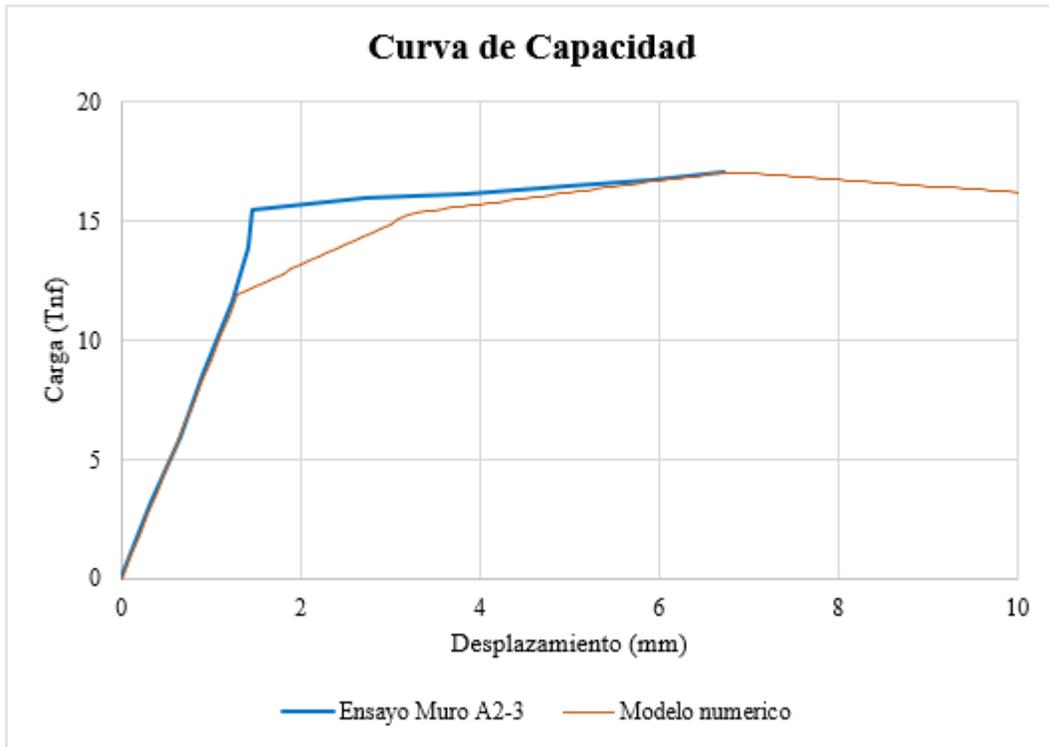


*Nota.* Una de las hipótesis que se planteó es que no se generan fuerzas a tracción y que a compresión sí.

Finalmente, en la Figura B10 se muestra el resultado entre el Muro A2-3 ensayado en el documento de Huaco (2005) y el modelo numérico realizado en un software de análisis estructural.

**Figura B10**

*Comparación entre el Muro A2-3 y el modelo numérico*



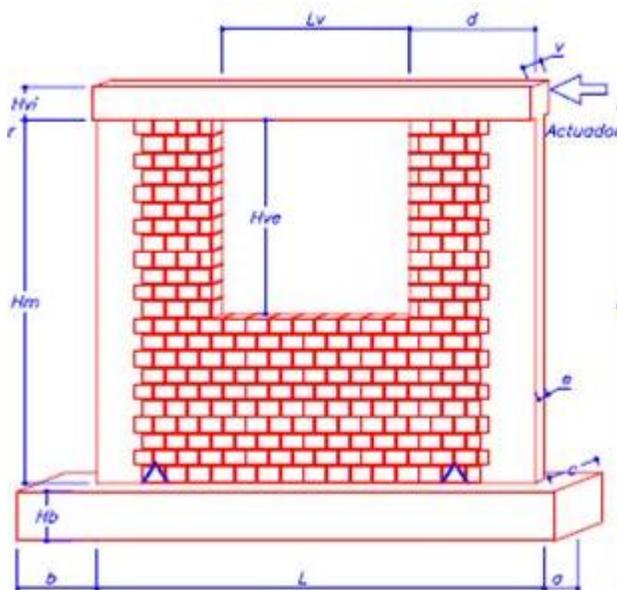
*Nota.* Se observa que el modelo numérico se acomoda bien a la curva de capacidad del ensayo Muro A2-3 y simula bien los desplazamientos y fuerzas máximas.

## 1.2. Calibración de Muros con Vanos (Artesanal)

Para estas calibraciones de muros con vanos, se tuvo en consideración los ensayos realizados por el CISMID. En la Tabla B7, se presentan las propiedades geométricas y mecánicas, y en la Tabla B8 se muestra la resistencia a compresión de las pilas de albañilería. Así pues, en la Figura B11 se muestra la vista en elevación de los muros B2-W y B2-WS.

**Figura B11**

*Vista en elevación de los Muros B2-W y B2-WS*



*Nota.* Adaptado de “Monitoreo de Construcción y técnicas de mejoramiento para viviendas de albañilería”, por CISMID, 2003.

**Tabla B7**

*Propiedades geométricas y mecánicas, Muros B2-W y B2-WS*

	Muro			Columna	Ventana			Viga		
	L (cm)	e (cm)	H (cm)	Refuerzo	Lv (cm)	d (cm)	Hve (cm)	Hvl (cm)	v (cm)	Refuerzo
B2-W	270	11.5	220	4@1/2"	120	75	115	20	30	4@3/8"
B2-WS	270	11.5	220	4@1/2"	120	75	115	20	30	4@3/8"

*Nota.* Adaptado de “Monitoreo de Construcción y técnicas de mejoramiento para viviendas de albañilería”, por CISMID, 2003.

**Tabla B8**

*Resistencia a la compresión de las pilas de albañilería*

Wall	Tipo de unidad	f'm (kg/cm <sup>2</sup> )
Wall B2-W	Artesanal	47.41
Wall B2-WS	Artesanal	47.41

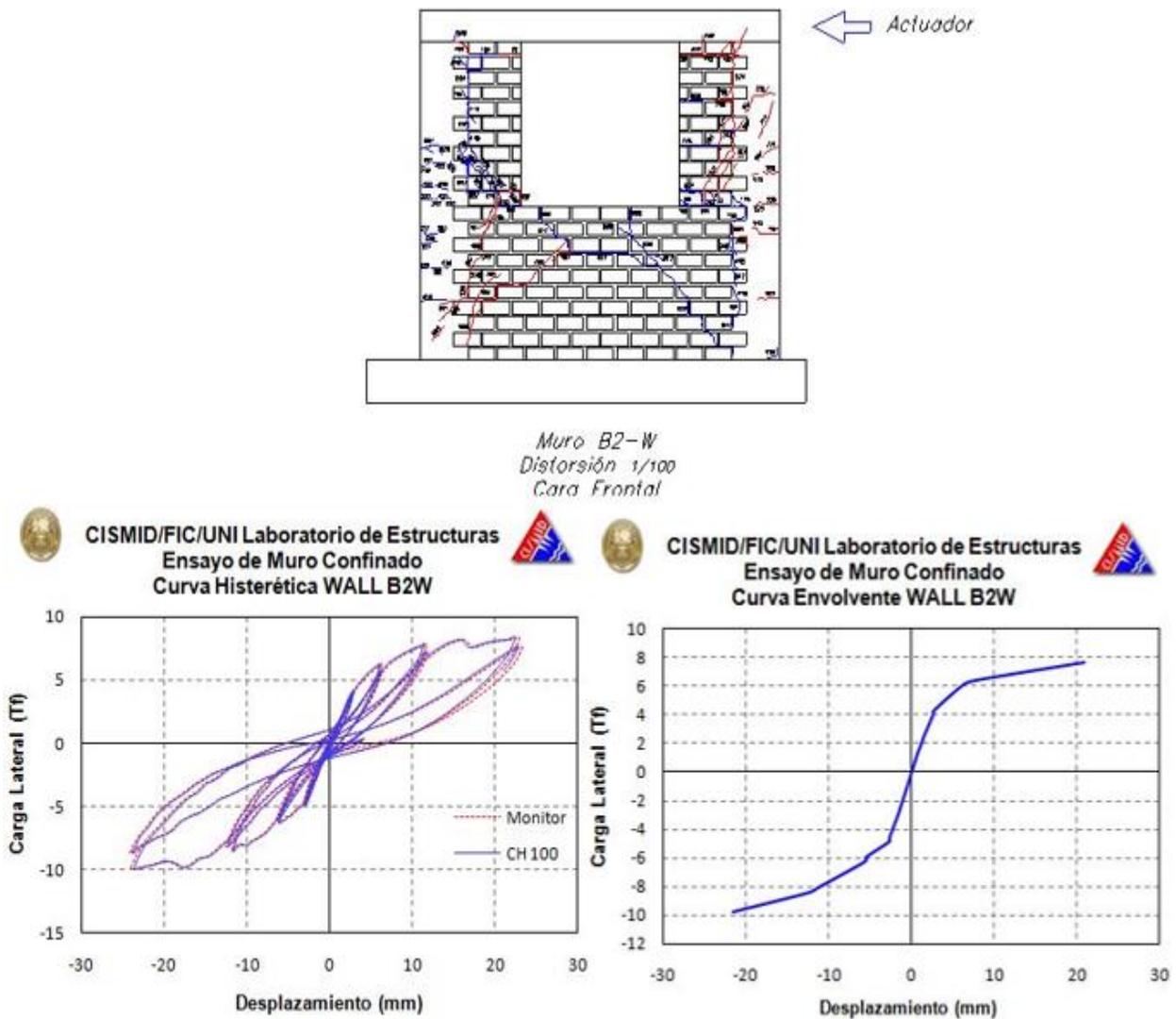
*Nota.* Adaptado de “Monitoreo de Construcción y técnicas de mejoramiento para viviendas de albañilería”, por CISMID, 2003.

### 1.2.1. Muro B2-W

Muro con vano (ventana) ensayado por el laboratorio de estructuras del CISMID en el año 2003, como resultado en la Figura B12 se muestra el agrietamiento, curva de histéresis y curva de capacidad del Muro B2-W.

#### Figura B12

Agrietamiento, curva de histéresis y curva de capacidad, Muro B2-W



Nota. Adaptado de "Monitoreo de Construcción y técnicas de mejoramiento para viviendas de albañilería", por CISMID, 2003.

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD  
DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

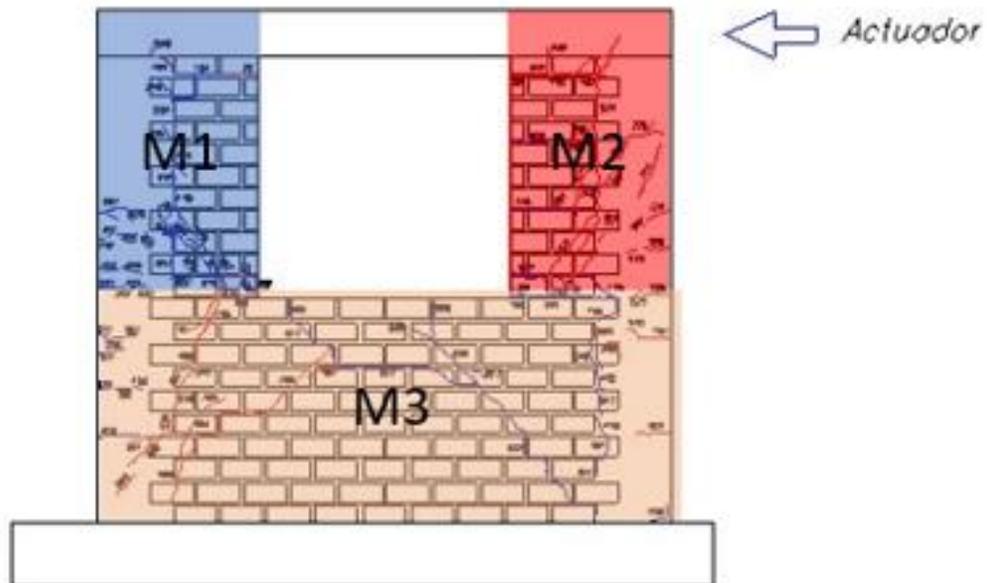
---

Con respecto al procedimiento de la calibración del Muro B2-W, se consideró calcular una rigidez equivalente compuesta por las partes o trozos del muro, tal como se visualiza en la Figura B13. Esta división del muro, se dio con el objetivo de seguir su forma de falla, comportándose las dos partes o trozos laterales como pequeños muros que trabajan como puntales, de igual manera trabajará la parte inferior del muro. Asimismo, con respecto al cálculo del corte de falla para cada parte o trozo del muro fue independiente, el cual se determinó mediante los parámetros de la NTP E.070 "Albañilería" Artículo 28.2. En resumen, para el desarrollo del modelo numérico del Muro B2-W, el corte del sistema equivalente se tomó como el menor corte de falla de cada parte o trozo del muro, dado que se asumió que el muro falla a corte en la primera aparición de parte o trozo de muro agrietado.

$$V_m \text{ equivalente} = \text{menor}(V_{mM1}, V_{mM2}, V_{mM3})$$

**Figura B13**

*División del Muro B2-W*



**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD  
DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

A continuación, en la Tabla B9, Tabla B10 y Tabla B11 se determinó el cálculo del  $V_m$  para cada parte o trozo del Muro B2-W.

**Tabla B9**

*Cálculo del  $V_m$ , Muro M1*

<b>MURO - M1</b>			
L (cm)	75.00	H (cm)	135.00
D (cm)	154.43	$\alpha$ (°)	60.95
f'm	47.41	t (cm)	11.5
$\alpha$	0.69	v'm	6.89
$V_m$ (tonf)	2.12	Pg (tonf)	0.23

**Tabla B10**

*Cálculo del  $V_m$ , Muro M2*

<b>MURO - M2</b>			
L (cm)	75.00	H (cm)	135.00
D (cm)	154.43	$\alpha$ (°)	60.95
f'm	47.41	t (cm)	11.5
$\alpha$	0.69	v'm	6.89
$V_m$ (tonf)	2.12	Pg (tonf)	0.23

**Tabla B11**

*Cálculo del  $V_m$ , Muro M3*

<b>MURO - M3</b>			
L (cm)	270.00	H (cm)	105.00
D (cm)	289.70	$\alpha$ (°)	21.25
f'm	47.41	t (cm)	11.5
$\alpha$	1	v'm	6.89
$V_m$ (tonf)	10.95	Pg (tonf)	1.12

Con respecto al cálculo del  $V_m$  equivalente se determinó en la Tabla B12 como el menor  $V_m$  calculado de cada parte o trozo del Muro B2-W, además en la Figura B14 se visualiza el modelo numérico equivalente utilizado.

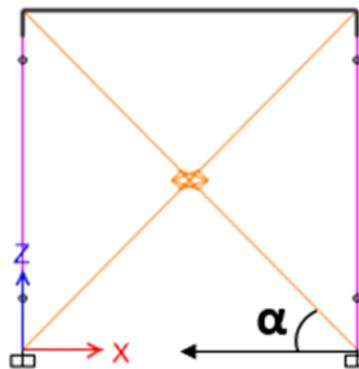
**Tabla B12**

*Cálculo del  $V_m$  equivalente, Muro B2-W*

<b>MURO B2-W</b>			
L (cm)	250.00	H (cm)	240.00
D (cm)	-----	$\alpha$ (°)	-----
$f'_m$	-----	t (cm)	-----
$\alpha$	-----	$v'_m$	-----
$V_m$ equiv (tonf)	2.12	$P_g$ (tonf)	-----

**Figura B14**

*Modelo numérico, Muro B2-W equivalente*



*Nota.* Para el análisis no se consideraron las deformaciones verticales y rotacionales en la viga, debido a que se encuentra unida al muro de albañilería; mientras que, para las columnas se consideró la deformación axial, pero no su interacción con el momento flector.

Para el cálculo de las fuerzas Axiales equivalentes de la Tabla B14, los factores de fuerza (V) de la Tabla B13 son multiplicados por el  $V_m$  equivalente obtenido en la Tabla B12 y dividido por el coseno del ángulo que forman los links. Así pues, para el cálculo de las deformaciones equivalentes de la Tabla B14, los factores de deriva de la Tabla B13 son multiplicados por  $H/1000$  y por el coseno del ángulo que forman los links. Asimismo, en la Figura B15 se presenta la gráfica de fuerza axial-deformación del link equivalente que representa al Muro B2-W.

**Tabla B13**

*Factores de fuerza-deriva equivalentes, Muro B2-W*

	<b>B</b>	<b>BC</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
<b>Fuerza (V)</b>	1.885	2.954	3.625	1.450
<b>Deriva (<math>\times 10^{-3}</math>)</b>	1.150	2.810	8.670	9.500

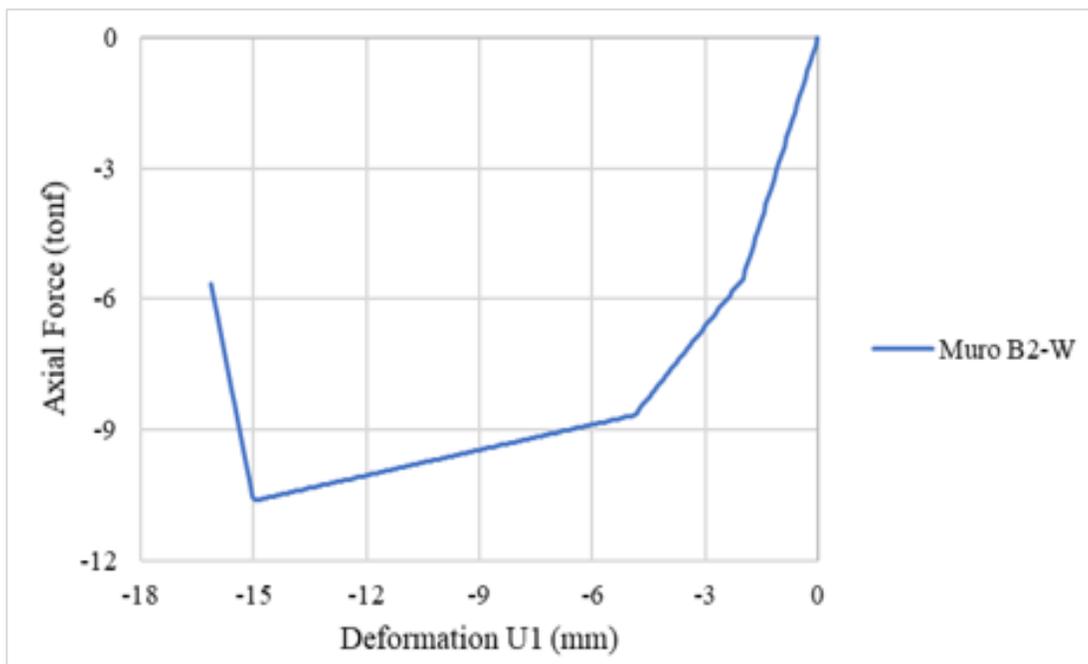
**Tabla B14**

*Valores de fuerza axial-deformación equivalentes, Muro B2-W*

<b>Link</b>	
<b>Deformación (mm)</b>	<b>Fuerza axial (tonf)</b>
-16.448	-4.252
-15.011	-10.631
-4.865	-8.664
-1.991	-5.528
0.000	0.000
5.000	0.0001

**Figura B15**

*Fuerza axial-deformación del link equivalente, Muro B2-W*

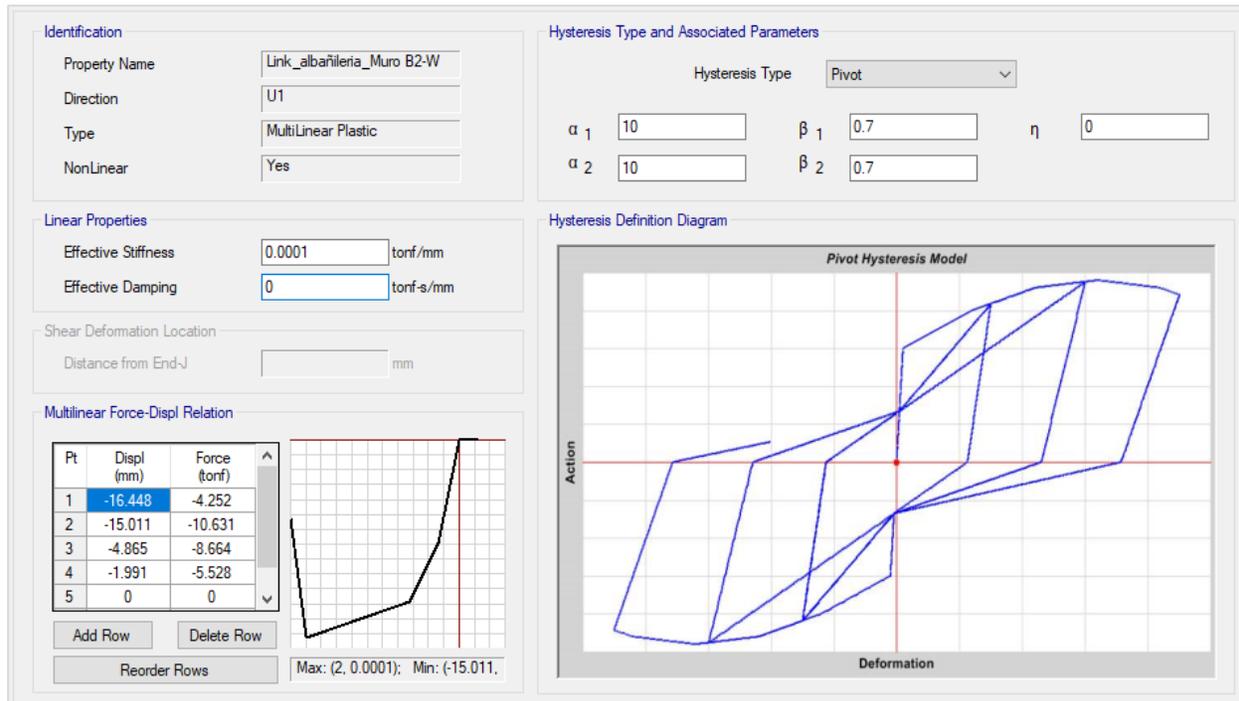


**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD  
DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

En la Figura B16 se muestra la creación del link equivalente en un software de análisis estructural, empleando la dirección U1 como un tipo MultiLinear Plastic, en el cual se ingresaron los valores de fuerza axial-deformación equivalentes.

**Figura B16**

*Creación del link equivalente en la dirección U1 del Muro B2-W*

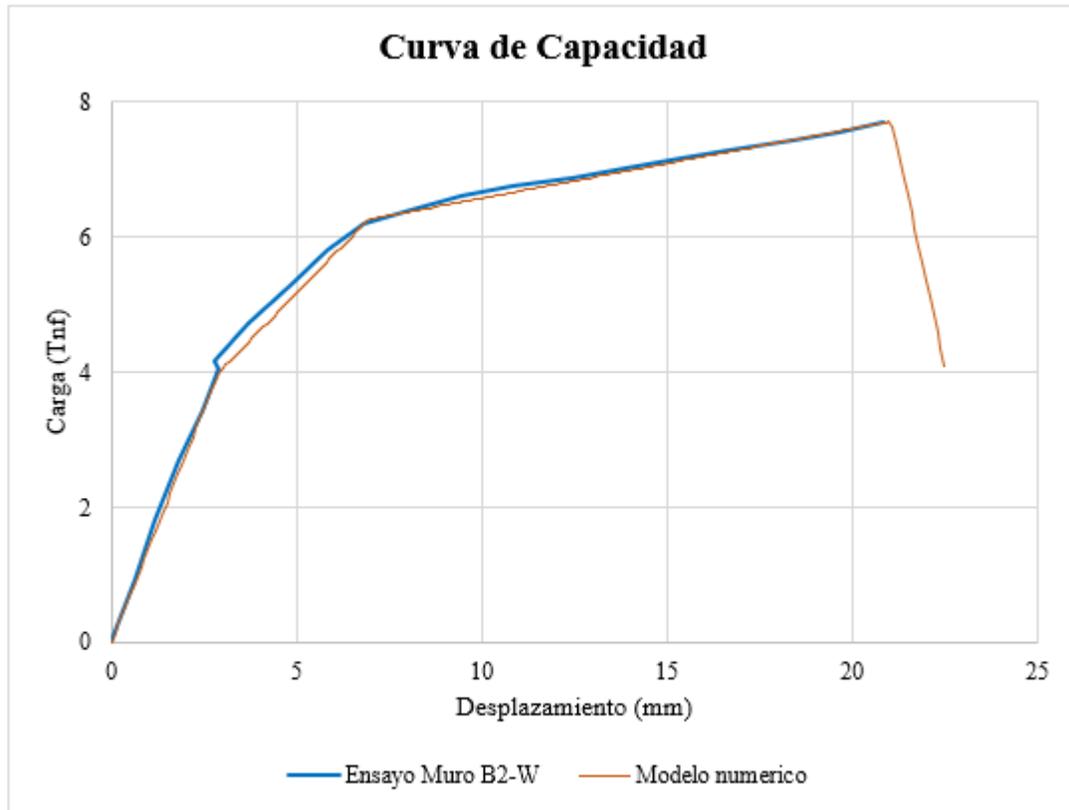


*Nota.* Una de las hipótesis que se planteó es que no se generan fuerzas a tracción y que a compresión sí.

Finalmente, en la Figura B17 se muestra el resultado entre el Muro B2-W ensayado por el CISMID y el modelo numérico realizado en un software de análisis estructural.

**Figura B17**

*Comparación entre el Muro B2-W y el modelo numérico*



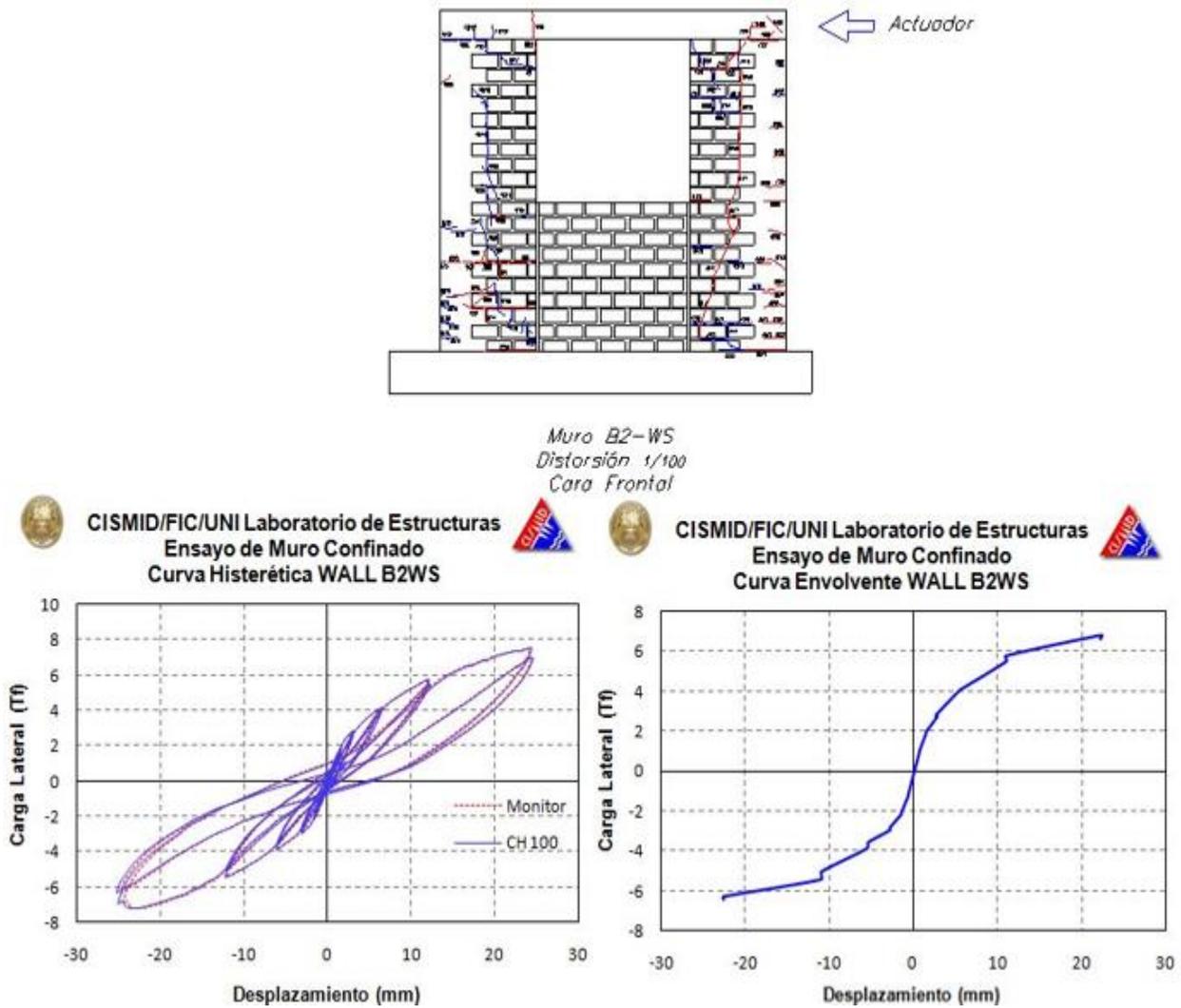
*Nota.* Se observa que el modelo numérico se acomoda bien a la curva de capacidad del ensayo Muro B2-W y simula bien los desplazamientos y fuerzas máximas.

**1.2.2. Muro B2-WS**

Muro con vano (hueco) ensayado por el laboratorio de estructuras del CISMID en el año 2003, como resultado en la Figura B18 se muestra el agrietamiento, curva de histéresis y curva de capacidad del Muro B2-WS.

**Figura B18**

*Agrietamiento, curva de histéresis y curva de capacidad, Muro B2-WS*



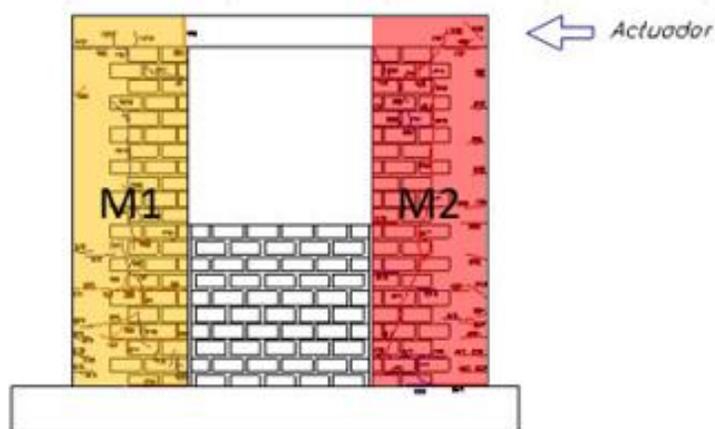
*Nota.* Adaptado de “Monitoreo de Construcción y técnicas de mejoramiento para viviendas de albañilería”, por CISMID, 2003.

Con respecto al procedimiento de la calibración del Muro B2-WS, se empleó el mismo procedimiento utilizado para la calibración del Muro B2-W.

$$V_m \text{ equivalente} = \text{menor}(V_{mM1}, V_{mM2})$$

**Figura B19**

*Fraccionamiento del Muro B2-WS*



A continuación, en la Tabla B15 y Tabla B16 se determinó el cálculo del  $V_m$  para cada parte o trozo del Muro B2-WS.

**Tabla B15**

*Cálculo del  $V_m$ , Muro M1*

<b>MURO - M1</b>			
L (cm)	75.00	H (cm)	240.00
D (cm)	251.45	$\alpha$ (°)	72.65
$f'_m$	47.41	t (cm)	11.5
$\alpha$	0.39	$v'_m$	6.89
$V_m$ (tonf)	1.26	$P_g$ (tonf)	0.41

**Tabla B16**

*Cálculo del  $V_m$ , Muro M2*

<b>MURO - M2</b>			
L (cm)	75.00	H (cm)	240.00
D (cm)	251.45	$\alpha$ (°)	72.65
$f'_m$	47.41	t (cm)	11.5
$\alpha$	0.39	$v'_m$	6.89
$V_m$ (tonf)	1.26	$P_g$ (tonf)	0.41

Con respecto al cálculo del  $V_m$  equivalente se determinó en la Tabla B17 como el menor  $V_m$  calculado de cada parte o trozo del Muro B2-WS, además en la Figura B20 se visualiza el modelo numérico equivalente utilizado.

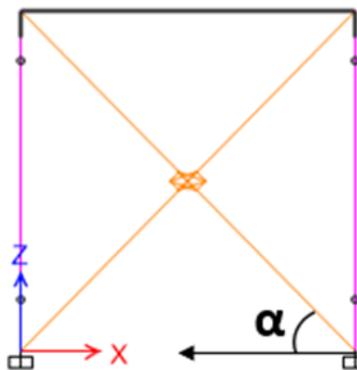
**Tabla B17**

*Cálculo del  $V_m$ , Muro B2-WS*

<b>MURO B2-WS</b>			
L (cm)	250.00	H (cm)	240.00
D (cm)	----	$\alpha$ (°)	----
$f_m$	----	t (cm)	----
$\alpha$	----	$v_m$	----
$V_m$ equiv (tonf)	1.26	$P_g$ (tonf)	----

**Figura B20**

*Modelo numérico equivalente, Muro B2-WS*



*Nota.* Para el análisis no se consideraron las deformaciones verticales y rotacionales en la viga, debido a que se encuentra unida al muro de albañilería; mientras que, para las columnas se consideró la deformación axial, pero no su interacción con el momento flector.

Para el cálculo de las fuerzas Axiales equivalentes de la Tabla B19, los factores de fuerza (V) de la Tabla B18 son multiplicados por el  $V_m$  equivalente obtenido en la Tabla B17 y dividido por el coseno del ángulo que forman los links. Así pues, para el cálculo de las deformaciones equivalentes de la Tabla B19, los factores de deriva de la Tabla B18 son multiplicados por  $H/1000$  y por el coseno del ángulo que forman los links. Asimismo, en la Figura B21 se presenta la gráfica de fuerza axial-deformación del link equivalente que representa al Muro B2-WS.

**Tabla B18**

*Factores de fuerza-deriva equivalentes, Muro B2-WS*

	<b>B</b>	<b>BC</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
<b>Fuerza (V)</b>	2.144	4.342	5.360	2.144
<b>Deriva (×10-3)</b>	1.20	4.63	9.260	10.000

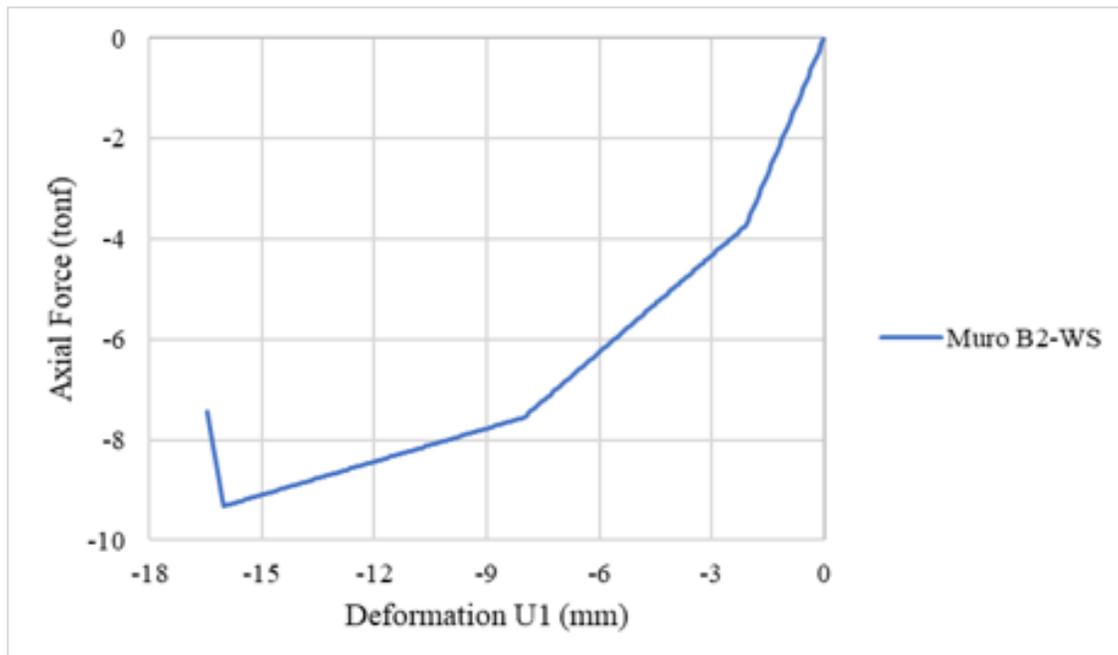
**Tabla B19**

*Valores de fuerza axial-deformación equivalentes, Muro B2-WS*

<b>Link</b>	
<b>Deformación (mm)</b>	<b>Fuerza axial (tonf)</b>
-17.313	-3.730
-16.032	-9.326
-8.016	-7.554
-2.078	-3.730
0.000	0.000
5.000	0.0001

**Figura B21**

*Fuerza axial-deformación del link equivalente, Muro B2-WS*

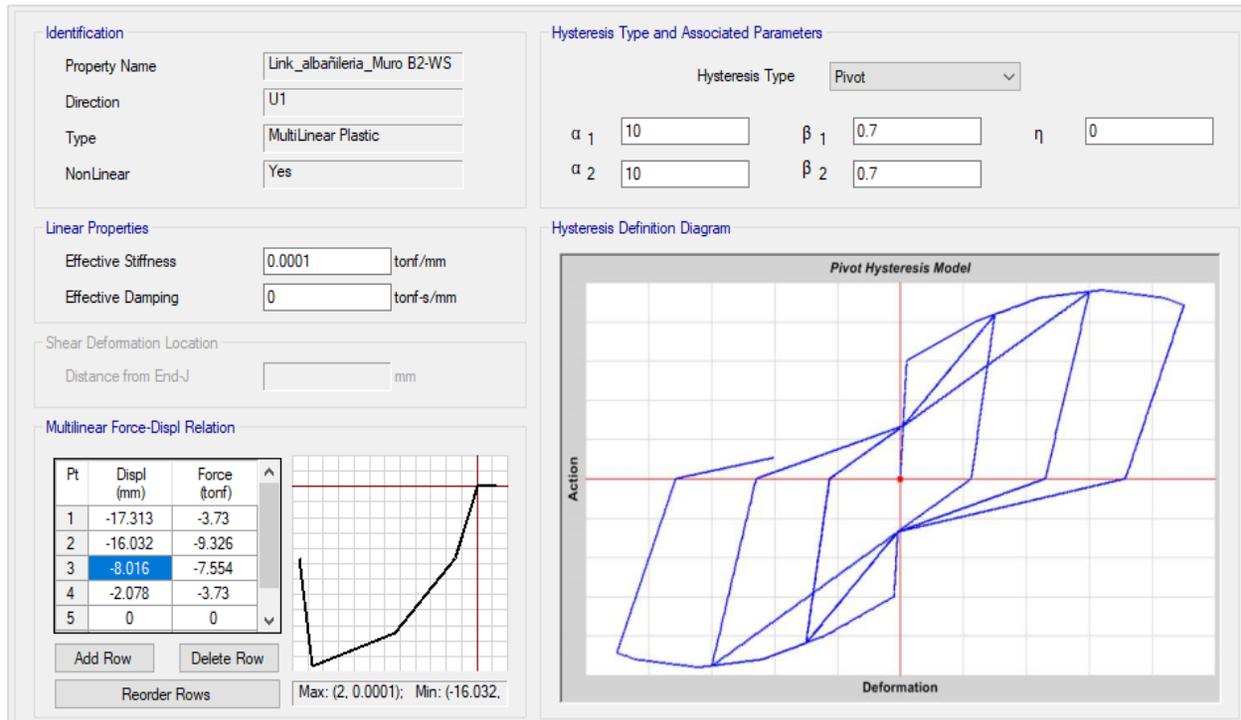


**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD  
DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

En la Figura B22 se muestra la creación del link equivalente en un software de análisis estructural, empleando la dirección U1 como un tipo MultiLinear Plastic, en el cual se ingresaron los valores de fuerza axial-deformación equivalentes.

**Figura B22**

*Creación del link equivalente en la dirección U1 del Muro B2-WS*

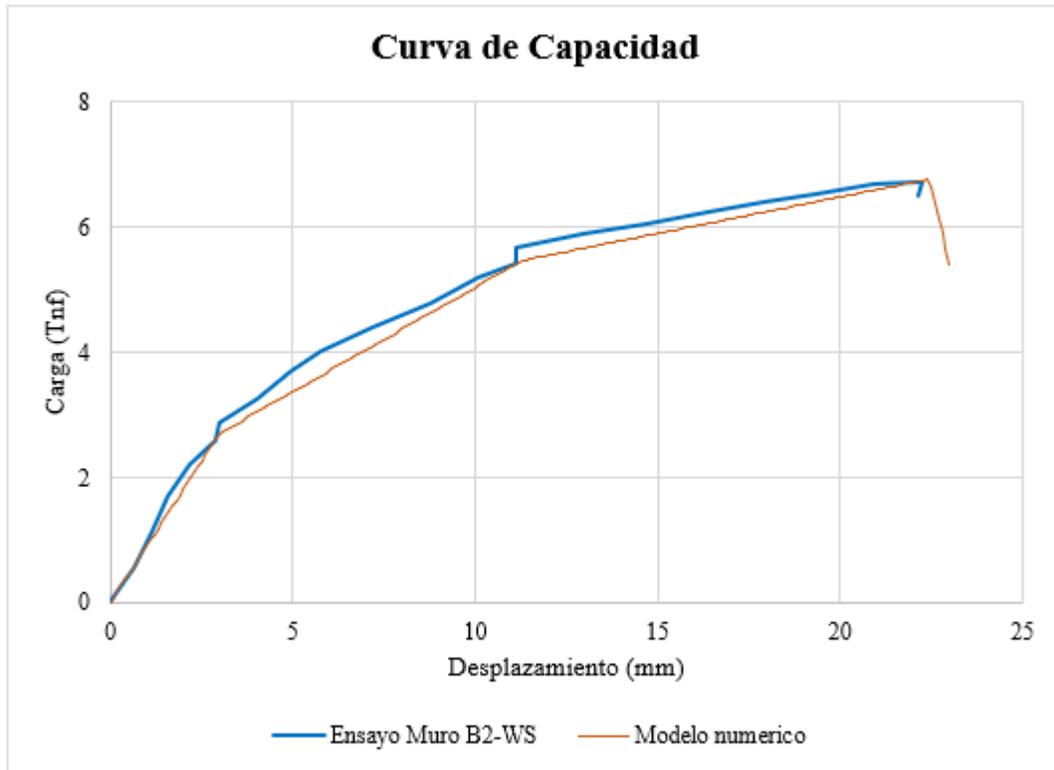


*Nota.* Una de las hipótesis que se planteó es que no se generan fuerzas a tracción y que a compresión sí.

Finalmente, en la Figura B23 se muestra el resultado entre el Muro B2-WS ensayado por el CISMID y el modelo numérico realizado en un software de análisis estructural.

**Figura B23**

*Comparación entre el Muro B2-WS y el modelo numérico*



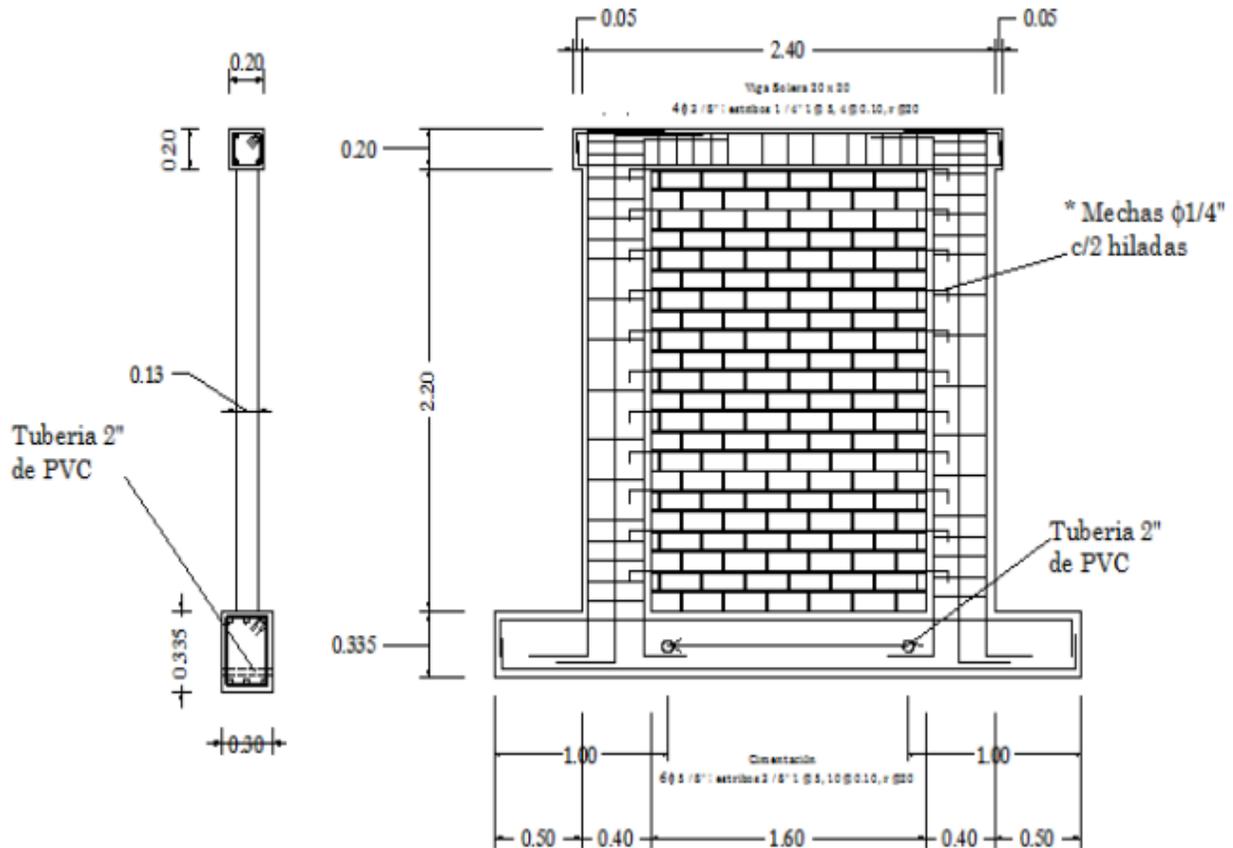
*Nota.* Se observa que el modelo numérico se acomoda bien a la curva de capacidad del ensayo Muro B2-WS y simula bien los desplazamientos y fuerzas máximas.

### **1.3. Calibración del Muro M2 (Industrial)**

Para esta calibración se tuvo en consideración el documento de Bernardo & Peña (2009). En la Tabla B20 se presentan las propiedades geométricas y mecánicas, así pues, en la Figura B24 se muestran las dimensiones del Muro M2.

**Figura B24**

*Dimensiones del Muro M2, peralte de columnas de 40 cm*



*Nota.* Tomado de “Efectos del peralte de las columnas en el comportamiento sísmico de los muros de albañilería confinada” (p.30), por Bernardo & Peña, 2009.

**Tabla B20**

*Propiedades geométricas y mecánicas Muro M2*

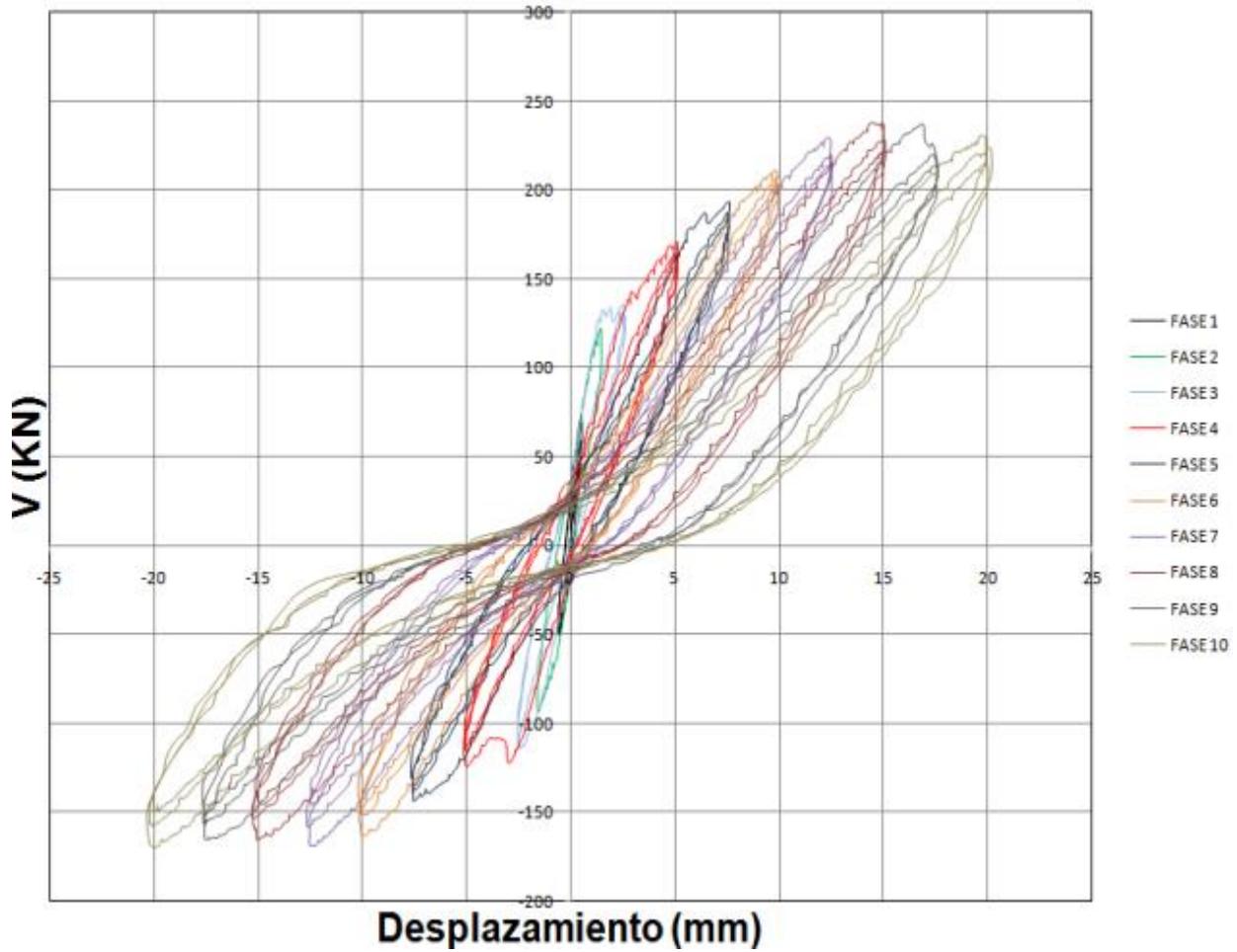
Muro				Columnas y viga			
Wall	L (cm)	e (cm)	H (cm)	$f'_m$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Refuerzo Col.	Refuerzo Vig.	$f'_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )
Muro M2	240	13	240	101.74	2@1/2"+4@3/8"	4@3/8"	175

*Nota.* Adaptado de “Efectos del peralte de las columnas en el comportamiento sísmico de los muros de albañilería confinada”, por Bernardo & Peña, 2009.

A continuación, en la Figura B25 y Figura B26 se muestra la curva de histéresis y curva de capacidad del Muro M2 respectivamente.

### Figura B25

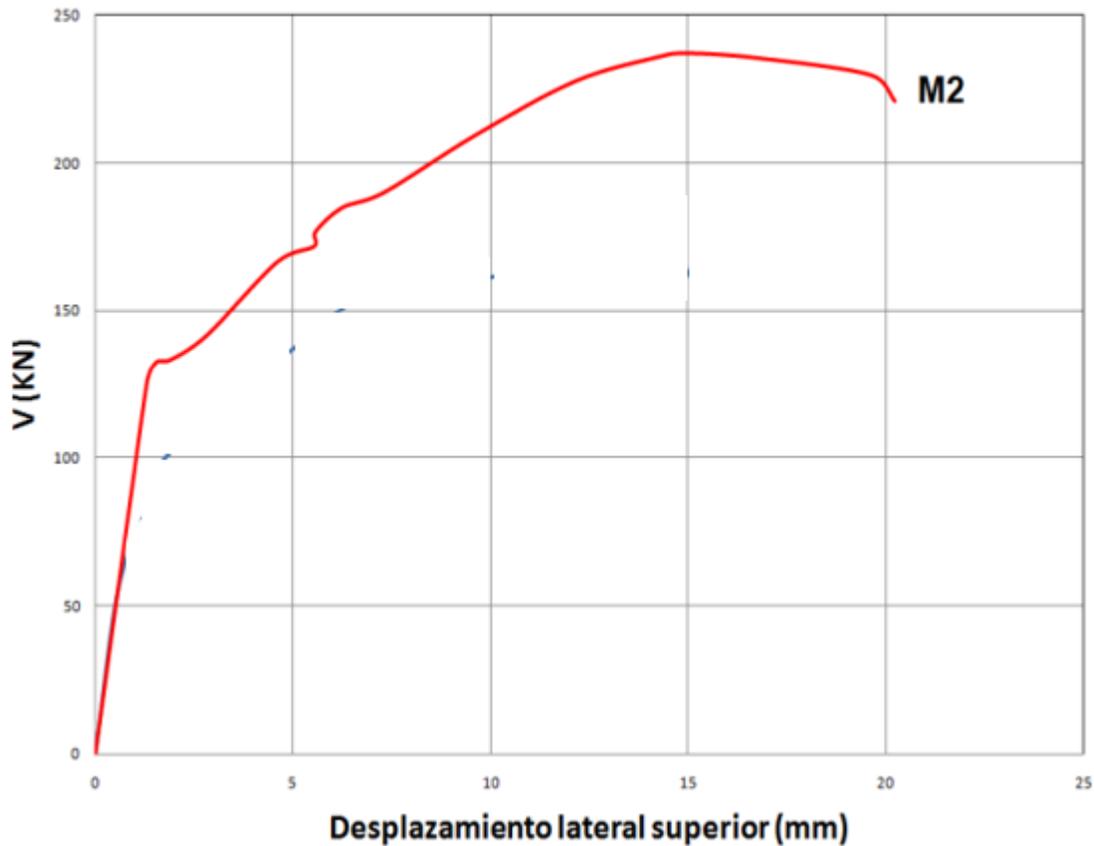
*Curva de histéresis, Muro M2*



*Nota.* Tomado de “Efectos del peralte de las columnas en el comportamiento sísmico de los muros de albañilería confinada” (p.72), por Bernardo & Peña, 2009.

**Figura B26**

*Curva de capacidad, Muro M2*



*Nota.* Tomado de “Efectos del peralte de las columnas en el comportamiento sísmico de los muros de albañilería confinada” (p.73), por Bernardo & Peña, 2009.

Con respecto al procedimiento de la calibración del Muro M2, en la Tabla B21 se obtuvo el cálculo del  $V_m$ , además en la Figura B27 se visualiza el modelo numérico utilizado.

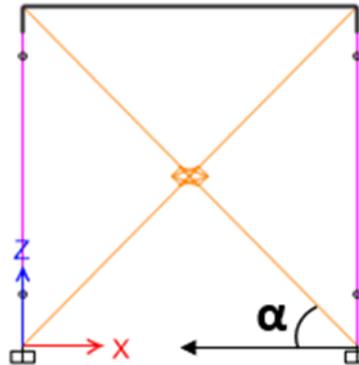
**Tabla B21**

*Cálculo del  $V_m$ , Muro M2*

<b>Muro de albañilería confinada - Muro M2</b>			
L (cm)	240.00	H (cm)	240.00
D (cm)	339.41	$\alpha$ (°)	45.00
$f'_m$ (kg/cm <sup>2</sup> )	101.74	t (cm)	13
$\alpha$	1	$v'_m$	10.09
$V_m$ (tonf)	16.10	$P_g$ (tonf)	1.60

**Figura B27**

*Modelo numérico, Muro M2*



*Nota.* Para el análisis no se consideraron las deformaciones verticales y rotacionales en la viga, debido a que se encuentra unida al muro de albañilería; mientras que, para las columnas se consideró la deformación axial, pero no su interacción con el momento flector.

Para el cálculo de las fuerzas Axiales de la Tabla B23, los factores de fuerza (V) de la Tabla B22 son multiplicados por el Vm obtenido en la Tabla B21 y dividido por el coseno del ángulo que forman los links. Así pues, para el cálculo de las deformaciones de la Tabla B23, los factores de deriva de la Tabla B22 son multiplicados por H/1000 y por el coseno del ángulo que forman los links. Asimismo, en la Figura B28 se presenta la gráfica de fuerza axial-deformación del link que representa al Muro M2.

**Tabla B22**

*Factores de fuerza-deriva, Muro M2*

	<b>B</b>	<b>BC</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
<b>Fuerza (V)</b>	0.84	1.10	1.50	1.20	0.60
<b>Deriva (×10-3)</b>	0.50	1.90	5.90	11.7	14.8

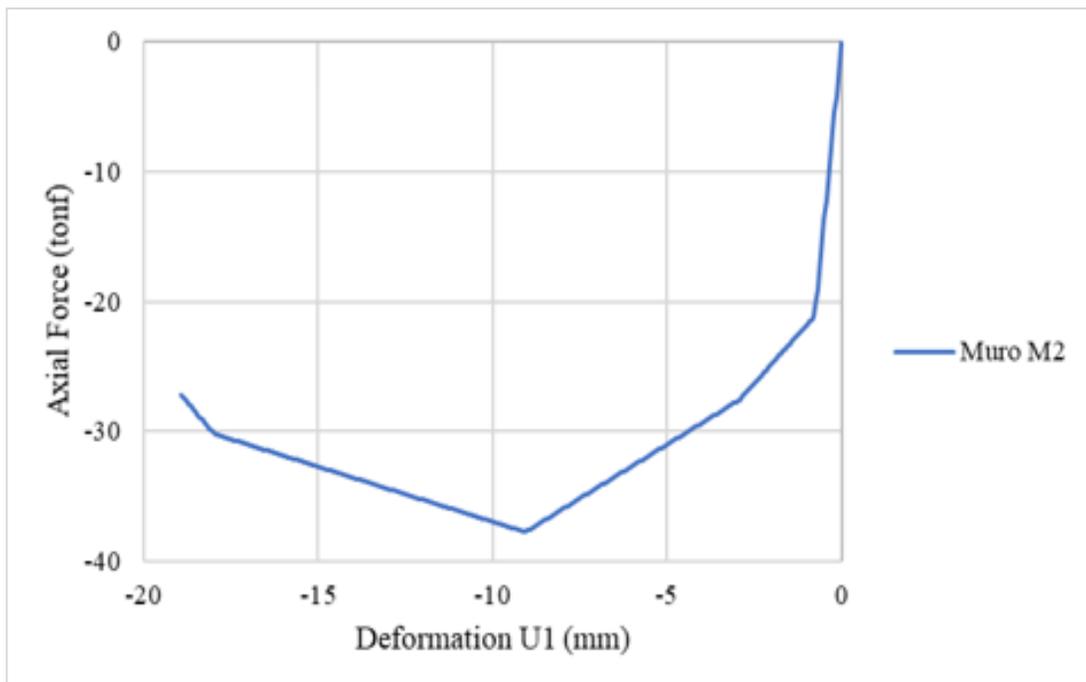
**Tabla B23**

*Valores de fuerza axial-deformación, Muro M2*

<b>Link</b>	
<b>Deformación (mm)</b>	<b>Fuerza axial (tonf)</b>
-22.739	-15.093
-17.976	-30.186
-9.065	-37.733
-2.919	-27.545
-0.768	-21.130
0.000	0.000
5.000	0.0001

**Figura B28**

*Fuerza axial-deformación del link que representa al Muro M2*

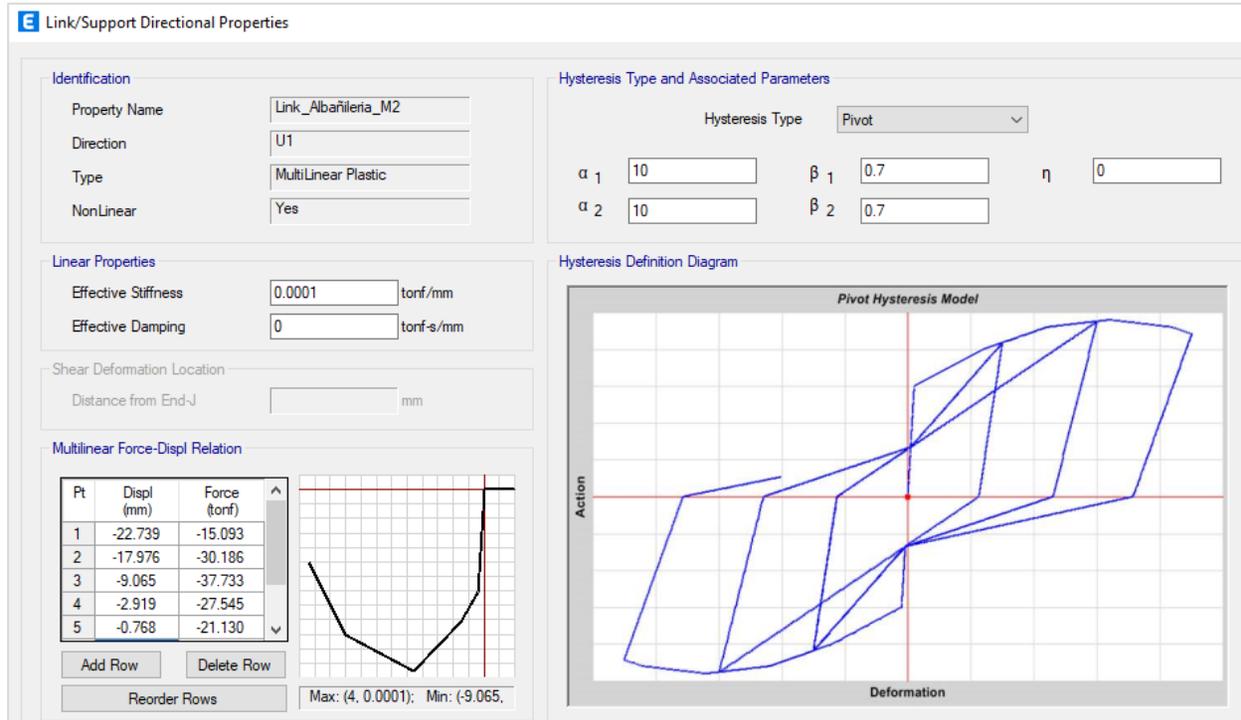


**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD  
DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

En la Figura B29 se muestra la creación del link en un software de análisis estructural, empleando la dirección U1 como un tipo MultiLinear Plastic, en el cual se ingresaron los valores de fuerza axial-deformación.

**Figura B29**

*Creación del link en la dirección U1, Muro M2*

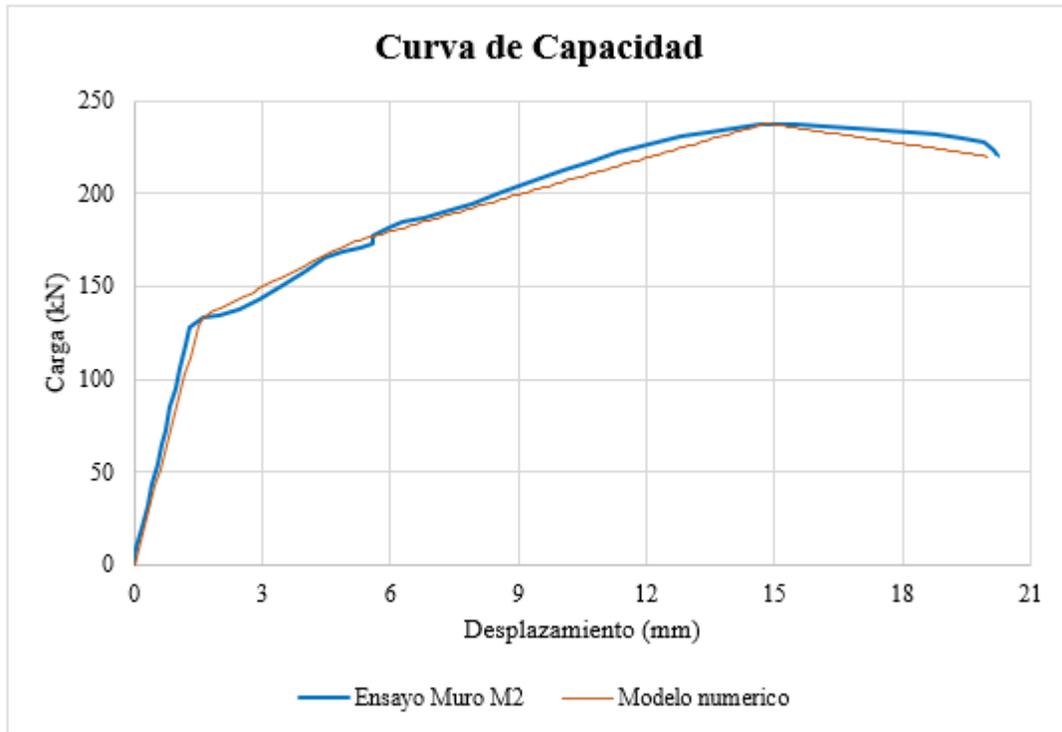


*Nota.* Una de las hipótesis que se planteó es que no se generan fuerzas a tracción y que a compresión sí.

Finalmente, en la Figura B30 se muestra el resultado entre el Muro M2 ensayado en el documento de Bernardo & Peña (2009) y el modelo numérico realizado en un software de análisis.

**Figura B30**

*Comparación entre el Muro M2 y el modelo numérico*



*Nota.* Se observa que el modelo numérico se acomoda bien a la curva de capacidad del ensayo Muro M2 y simula bien los desplazamientos y fuerzas máximas.

# **Apéndice C: Análisis No Lineal Estático "Pushover"**

### **Apéndice C. Análisis No Lineal Estático "PUSHOVER"**

En el presente trabajo, el análisis no lineal estático "PUSHOVER" de los cuatro módulos de estudio del hospital La Caleta, se desarrolló acorde al capítulo 7 del ASCE/SEI 41-17, donde el patrón de cargas fue acorde al modo fundamental y el desplazamiento se midió en función del punto del centro de masa del último nivel, con lo cual se obtuvieron las "curvas de capacidad" para cada módulo estudiado. Asimismo, con la ubicación y el tipo de suelo de los cuatro módulos de estudio del hospital La Caleta se definieron los espectros, con la finalidad de que con esta demanda se obtenga la respuesta ante un sismo en específico. Así pues, estas respuestas obtenidas por cada módulo estudiado son llamadas "punto de desempeño", respuesta que al estar al inicio de la curva de capacidad significará que no habrá daño, del mismo modo si esta se encuentra al final significará que está en el colapso.

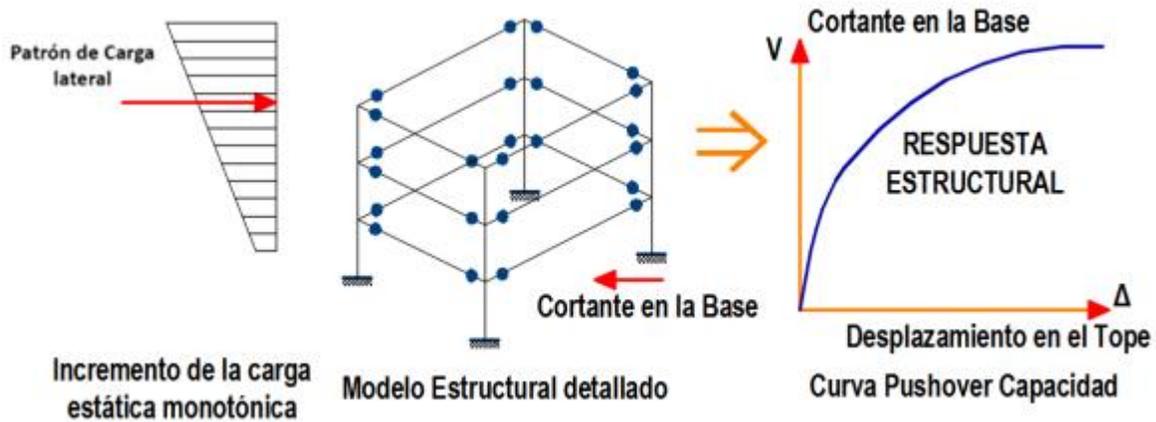
Una vez defina las respuestas, se puede calcular el desempeño de los módulos de 3 formas:

- Acorde al límite de deriva, se puede obtener el estado de daño en el que se encuentra.
- En función de qué tanto rota el elemento estructural, se puede definir un desempeño.
- Se puede sectorizar la curva de capacidad al dividir el desplazamiento plástico en cuatro sectores y en función en dónde caiga el punto de desempeño, tendremos un estado sin daño, ocupación inmediata, resguardo de vida, cercano al colapso y colapso.

A continuación, en la Figura C1 se visualiza la secuencia para determinar la curva de capacidad en el análisis "PUSHOVER".

**Figura C1**

*Secuencia para determinar la curva de capacidad*



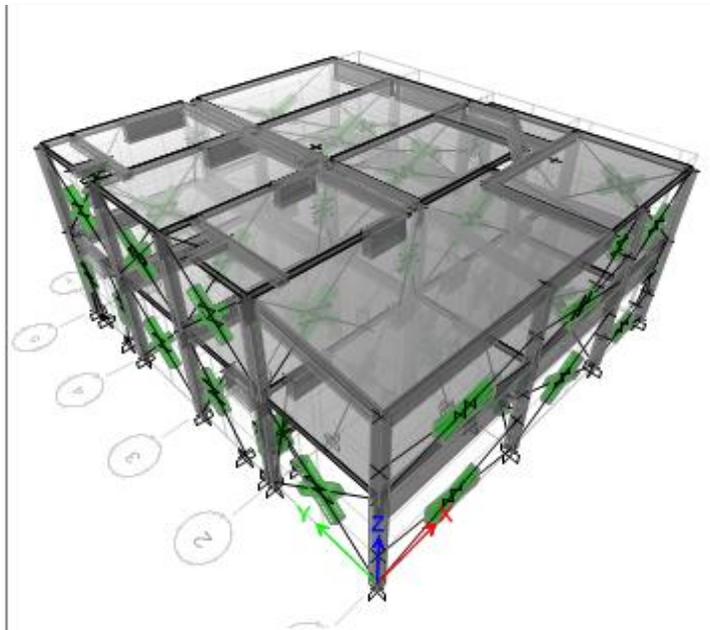
*Nota.* Tomado de "Evaluación del Desempeño Sísmico de un Edificio de Once Pisos Utilizando Análisis Estático y Dinámico No-Lineal" (p.34), por Calcina, 2017.

### 1.1. Modelos no Lineales

En cuanto a los modelos no lineales, se consideraron elementos pórticos (frame) tanto para columnas como vigas, asimismo, su no linealidad se representa mediante una plasticidad tipo fibra. En el caso de los muros de albañilería se representaron mediante elementos tipo link, el cual es básicamente un resorte, estos links contendrán tanto la parte elástica como la parte plástica del muro. Por otro lado, las losas se consideraron como diafragmas rígidos, además estas fueron modeladas como elementos tipo membrana. En la Figura C2, Figura C3, Figura C4 y Figura C5 se muestran las imágenes tridimensionales de los modelos no lineales para cada módulo de estudio.

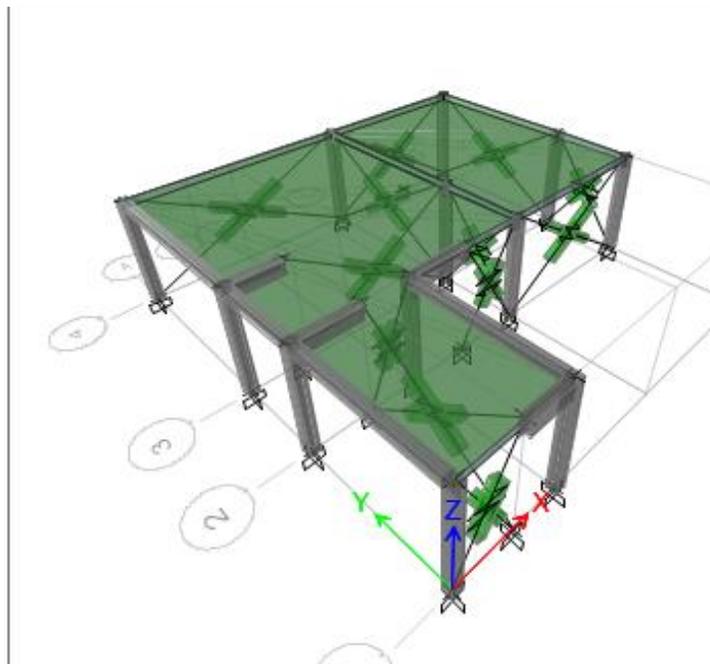
**Figura C2**

*Modelado no lineal 3D del departamento de emergencia*



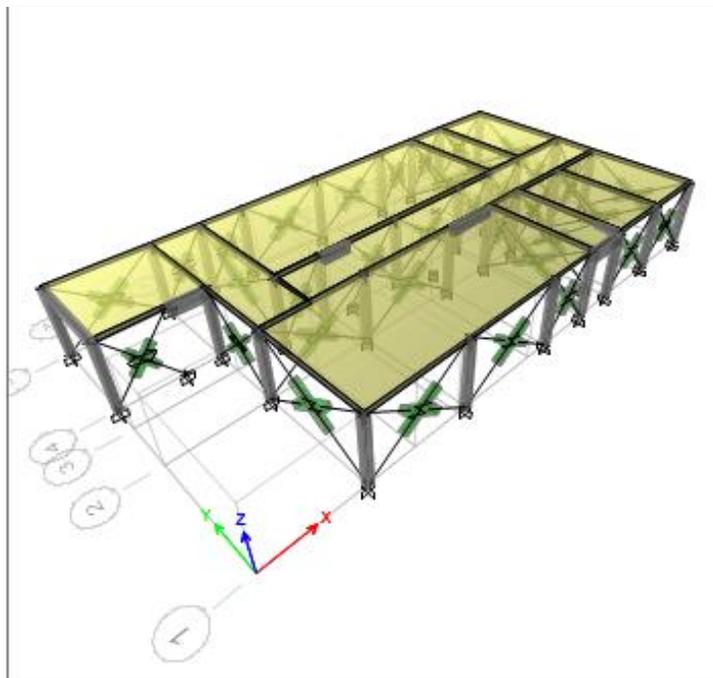
**Figura C3**

*Modelado no lineal 3D del departamento de anestesiología y centro quirúrgico*



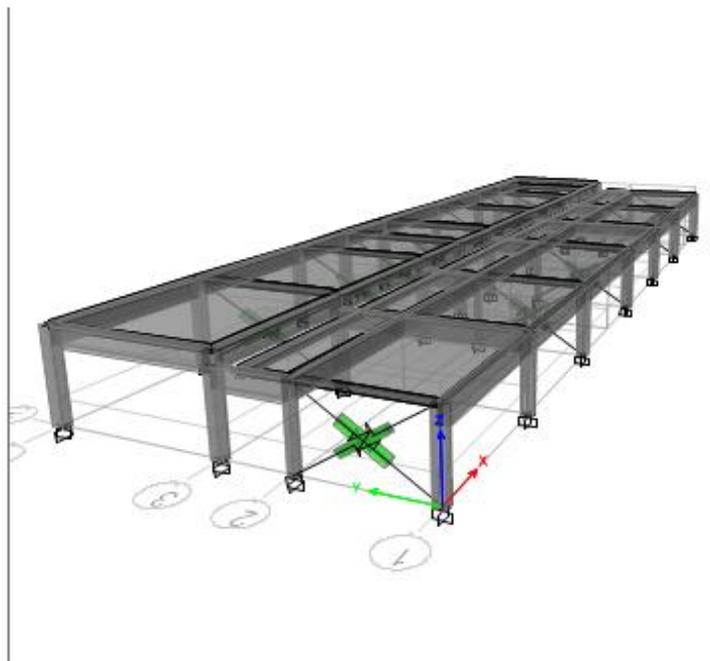
**Figura C4**

*Modelado no lineal 3D de internados de cirugía*



**Figura C5**

*Modelado no lineal 3D de pediatría y medicina general*



## 1.2. Comportamiento de los Materiales

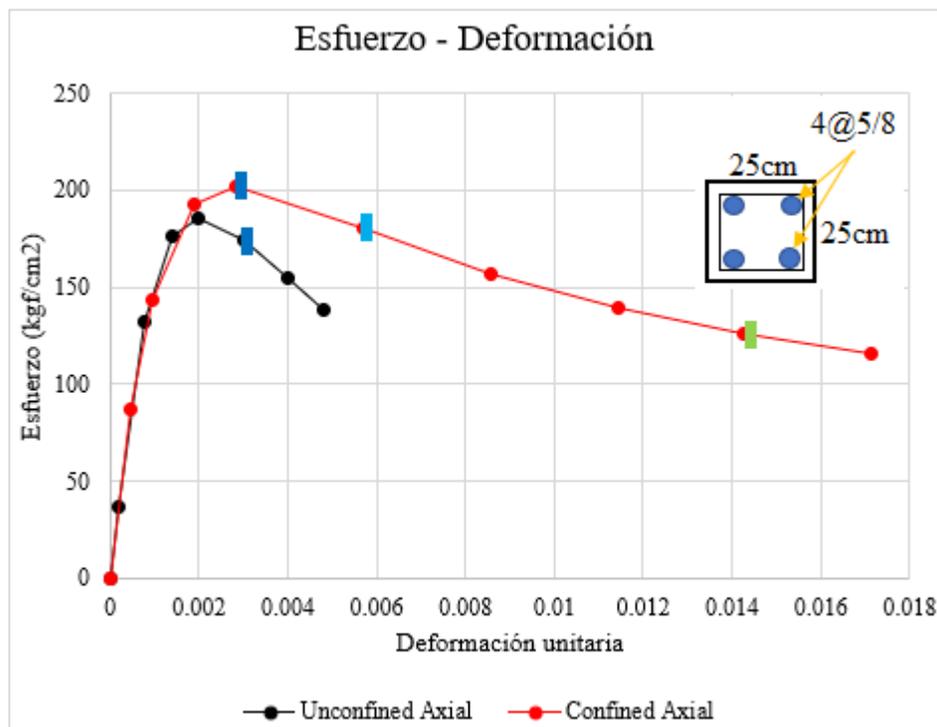
Con respecto al comportamiento no lineal de los materiales utilizados para la evaluación de los cuatro módulos de estudio del hospital La Caleta se tuvo en consideración lo siguiente:

### 1.2.1. Modelo no Lineal del Concreto

Para los elementos estructurales verticales (columnas) la curva de esfuerzo-deformación del concreto se construye a partir del modelo de Mander confinado, el cual nos recomienda de forma general que la deformación última debe de ser de 4‰ en adelante y la deformación en el punto que está la máxima cantidad de esfuerzo es de aproximadamente 2‰. En la Figura C6 se presenta la curva de esfuerzo-deformación para un concreto confinado  $f'_c=185.67 \text{ kgf/cm}^2$  del departamento de emergencia.

**Figura C6**

*Diagrama esfuerzo-deformación unitaria de Mander confinado, emergencia*



**Tabla C1**

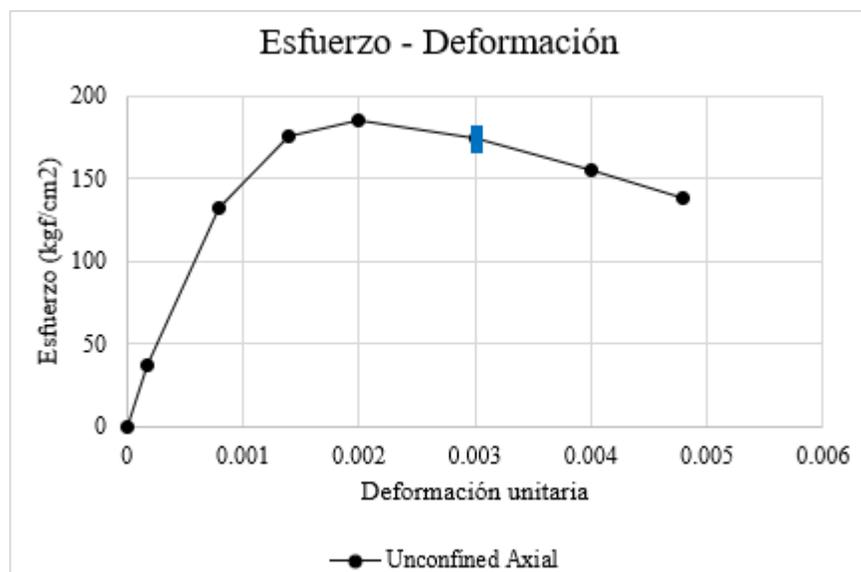
*Valores esfuerzo-deformación unitaria de Mander confinado, emergencia*

Concreto confinado			Concreto sin confinar		
Puntos	Esfuerzo Kg/cm <sup>2</sup>	Deformación	Puntos	Esfuerzo Kg/cm <sup>2</sup>	Deformación
A	86.66	0.00048	1	37.13	0.00018
B	143.71	0.00095	2	132.20	0.00079
C	192.60	0.00190	3	175.85	0.00139
D	201.57	0.00286	4	185.67	0.00200
E	180.57	0.00571	5	173.91	0.00300
F	157.02	0.00857	6	154.88	0.00400
G	139.36	0.01143	7	138.53	0.00480
H	126.07	0.01428			
I	115.72	0.01714			

Para los elementos estructurales horizontales (vigas y losas) la curva de esfuerzo-deformación del concreto se construye a partir del modelo de Mander no confinado. En la Figura C7 se presenta la curva de esfuerzo-deformación para un concreto sin confinar  $f_c=185.67 \text{ kgf/cm}^2$  del departamento de emergencia.

**Figura C7**

*Diagrama esfuerzo-deformación unitaria de Mander sin confinar, emergencia*



**Tabla C2**

*Valores esfuerzo-deformación unitaria de Mander sin confinar, emergencia*

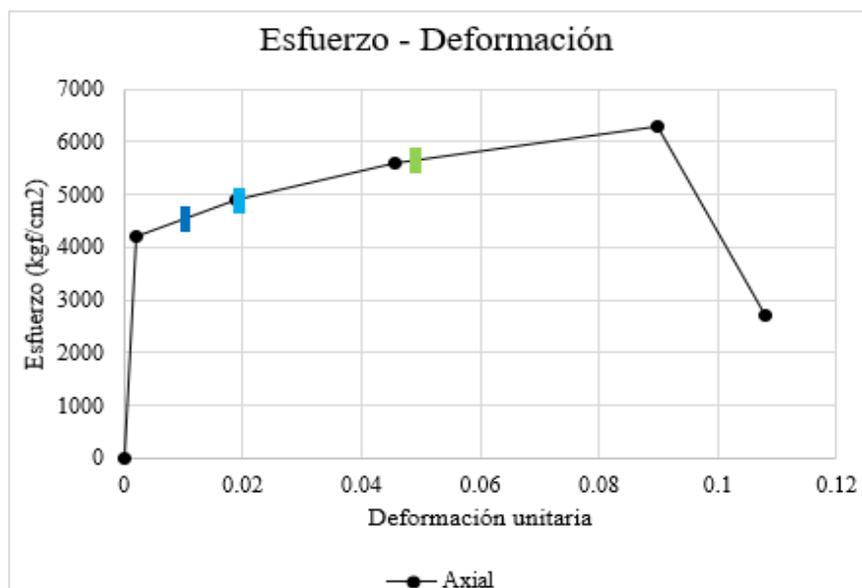
<b>Concreto sin confinar</b>		
<i>Puntos</i>	<i>Esfuerzo Kg/cm2</i>	<i>Deformación</i>
1	37.13	0.00018
2	132.20	0.00079
3	175.85	0.00139
4	185.67	0.00200
5	173.91	0.00300
6	154.88	0.00400
7	138.53	0.00480

**1.2.2. Modelo no Lineal del Acero**

La curva de esfuerzo-deformación del acero de refuerzo se construyó a partir del modelo simple, la deformación última del fierro irá entorno al 8% o 9% para las barras de grado 60 ( $f_y=4200\text{kgf/cm}^2$ ), así mismo, para las barras de grado 40 ( $f_y=2800\text{kgf/cm}^2$ ) la deformación última del fierro irá entorno al 11% o 12%. En la Figura C8 se presenta la curva esfuerzo-deformación unitaria del acero de refuerzo de grado 60.

**Figura C8**

*Curva esfuerzo-deformación unitaria del acero de Grado 60, Modelo Simple*



**Tabla C3**

*Valores esfuerzo-deformación unitaria del acero de Grado 60, Modelo simple*

Puntos	Esfuerzo Kg/cm <sup>2</sup>	Deformación
A	0.00	0.00
B	4200	0.0021
C	4900	0.0189
D	5600	0.0456
E	6300	0.0900
F	2700	0.1080

### 1.2.3. Modelo no Lineal de Muros de Albañilería confinada

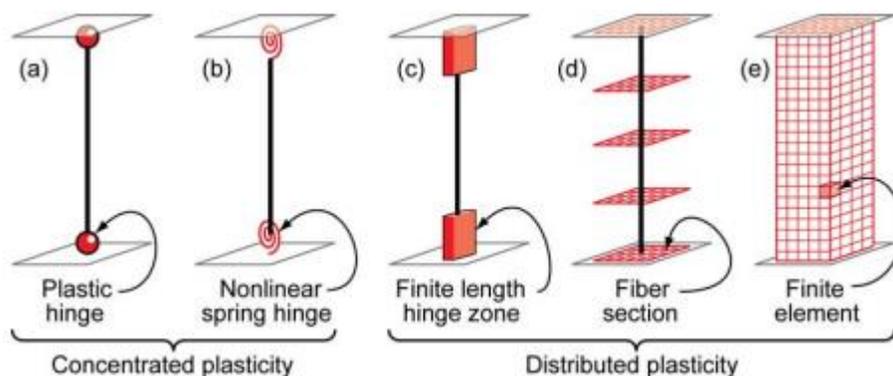
En cuanto a los modelos inelásticos de los muros de albañilería confinada, estos quedaron definidos a partir de las calibraciones a ensayos realizados en los laboratorios de estructuras del CISMID y la PUCP, los cuales fueron desarrollados en el Apéndice B. Calibraciones.

### 1.3. Definición no Lineal de los Elementos Estructurales

Con respecto a los modelos inelásticos de los elementos estructurales (columnas y vigas), pueden ser diferenciados según la forma en que la plasticidad está distribuida a través de la sección transversal y la longitud de los elementos. En la Figura C9 se muestran los diferentes modelos inelásticos, la elección del tipo de modelo depende de varios factores, los cuales pueden ser el tipo de elemento estructural, las fuerzas internas que actúan, al igual que la interacción entre ellas.

**Figura C9**

*Modelos idealizados de elementos viga-columna*



*Nota.* Tomado de “Nonlinear Structural Analysis For Seismic Design” (p.4), por Deierlein et al. 2010.

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD  
DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

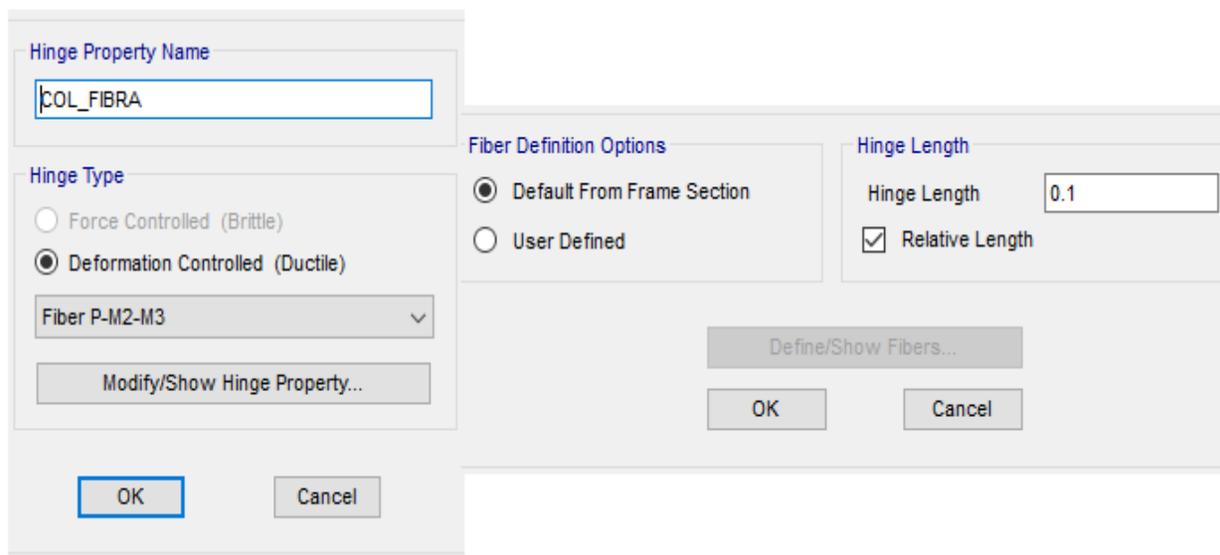
---

Para el presente trabajo de investigación se consideró el modelo de plasticidad distribuida (tipo fibra) que discretizan los elementos estructurales en segmentos longitudinales y porciones finitas de la sección transversal. En otras palabras, tal discretización incluye fibras de concreto y acero del elemento estructural, asimismo, cada una de dichas fibras agrupa porciones de material adyacentes a su posición y su respuesta no lineal queda definida por las curvas uniaxiales del esfuerzo-deformación del material. Del mismo modo este tipo de modelo inelástico toma en cuenta la degradación de rigidez de forma explícita y además es capaz de capturar la interacción de fuerza axial y momento flector en una o ambas direcciones.

En la Figura C10 se consideró como rango de longitud plástica el 10% de la longitud de las columnas, la cual se estimó mediante calibraciones, esto nos permitió pasar de un diagrama de momento curvatura a uno de rotación plástica. Así mismo, en la Figura C11 se visualiza la asignación de rótulas tipo fibra en columnas.

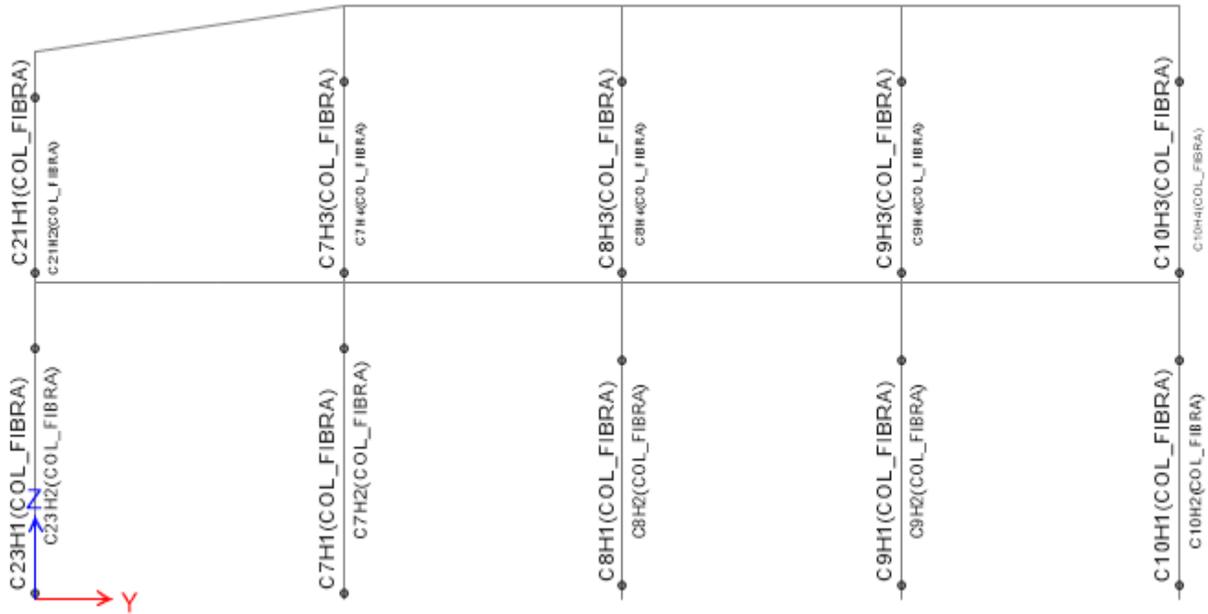
**Figura C10**

*Definición de hinge tipo fibra*



**Figura C11**

*Asignación de rotulas tipo fibra en columnas, módulo de emergencia*



## 1.4. Definición de los Casos de Carga no Lineales

### 1.4.1. Carga Gravitacional No-Lineal

Con respecto a la carga gravitacional, esta se creó como un caso no lineal estático, desde una posición sin deformar, mediante la fórmula propuesta por el ASCE/SEI 41-17 en su capítulo 7.

$$QG = 1.1(QD + QL + QS)$$

Donde:

QG = Carga total de gravedad

QD = Cargas muertas

QL = Cargas vivas efectivas

QS = Cargas de nieve

En la Figura C12 se presenta la definición de la carga gravitacional no lineal para el departamento de emergencia, del mismo modo se elaboró para todos los módulos de estudio seleccionados.

### Figura C12

*Definición de la carga gravitacional no lineal*

The screenshot shows the following configuration:

- General:** Load Case Name: GRAVEDAD; Load Case Type: Nonlinear Static; Mass Source: Peso Sismico; Analysis Model: Default.
- Initial Conditions:**  Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State;  Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included).
- Loads Applied:** A table with 3 columns: Load Type, Load Name, and Scale Factor.

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	Peso Propio	1.1
Load Pattern	CM	1.1
Load Pattern	Live	0.55
Load Pattern	Live Up	0.275
- Other Parameters:** Modal Load Case: Modal; Geometric Nonlinearity Option: None; Load Application: Full Load; Results Saved: Final State Only; Floor Cracking Analysis: No Cracked Analysis; Nonlinear Parameters: Default - Iterative Event-to-Event.

#### 1.4.2. Pushover No-Lineal

Con respecto al caso pushover, este se creó como un caso no lineal estático, el cual inicia desde una carga de GRAVEDAD, asimismo, el patrón de cargas fue acorde al modo fundamental para cada módulo de estudio y el desplazamiento se midió en función del nodo de control ubicado en el centro de masa del último nivel. A continuación, en la Figura C13 se presenta la definición del caso de carga ANLE X-X (+) para el departamento de emergencia. De la misma manera se elaboró el caso para la dirección Y-Y y para todos los módulos de estudio seleccionados.

**Figura C13**

*Definición del caso de carga ANLE X-X (+)*

**General**

Load Case Name: ANLE X-X (+) [Design...]

Load Case Type: Nonlinear Static [Notes...]

Mass Source: Peso Sismico

Analysis Model: Default

**Initial Conditions**

Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included)

Nonlinear Case: GRAVEDAD

**Loads Applied**

Load Type	Load Name	Scale Factor
Mode	2	-1

[Add] [Delete]

**Other Parameters**

Modal Load Case: Modal

Geometric Nonlinearity Option: None

Load Application: Displacement Control [Modify/Show...]

Results Saved: Multiple States [Modify/Show...]

Floor Cracking Analysis: No Cracked Analysis [Modify/Show...]

Nonlinear Parameters: User Defined - Event-to-Event Only [Modify/Show...]

### 1.5. Demanda Sísmica

Para obtener un desempeño estructural completo de los cuatro módulos de estudio del hospital La Caleta, se sometió a dichos módulos ante diferentes niveles de demanda sísmica. Asimismo, mediante la siguiente expresión se puede determinar la probabilidad de excedencia para los niveles de movimiento sísmico mencionados por el SEAOC VISION 2000.

$$T = -\frac{t}{\ln(1 - p)}$$

T = Periodo medio de retorno, en años

p = Probabilidad de excedencia

t = Tiempo de exposición, en años

A continuación, en la Tabla C4 se definen cuatro niveles de amenaza sísmica, propuesto por el comité VISION 2000 (SEAOC, 1995).

**Tabla C4**

*Niveles de movimiento sísmico*

<b>Nivel del movimiento sísmico</b>	<b>Periodo medio de retorno T (años)</b>	<b>Probabilidad de excedencia (p, t)</b>
Sismo frecuente	43 años	50% en 30 años
Sismo ocasional	72 años	50% en 50 años
Sismo raro	475 años	10% en 50 años
Sismo muy raro	970 años	10% en 100 años

*Nota.* Tomado de “Vision 2000: Performance based seismic design of buildings”, por SEAOC, 1995.

De la Tabla C4 se puede apreciar que el Sismo Raro del SEAOC (1995), es similar al sismo de diseño de la NTP E-030 con una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años. Asimismo, se debe tener en cuenta que los espectros a utilizar deben ser elásticos por lo que se considera el valor de  $R=1$ .

Para elaborar los espectros sísmicos de los cuatro módulos seleccionados es necesario que escalemos el espectro de la NTP E.030 mediante un factor de escala.

$$Fe = \frac{a2}{a1} = \left(\frac{T2}{T1}\right)^K$$

Donde:

Fe = Relación entre aceleraciones del suelo y periodos de retorno

T1 = Período de retorno medio del sismo de diseño

T2 = Período de retorno medio del sismo objetivo

K = varía entre 0,3 y 0,4

La fórmula pertenece al anexo A del Eurocódigo 8, en el cual k puede tener valores oscilantes entre 0.3 y 0.4, en este contexto, utilizaremos el valor intermedio de 0.35.

A continuación, se determinó el sismo raro como un sismo base, necesario para poder encontrar el factor de escala, no obstante, no se le aplicará el factor de reducción R, que se considera para un sistema lineal y elástico, empleando así un valor de R=1

#### **1.5.1. Sismo Frecuente**

Reemplazando en la fórmula del factor escala, obtenemos:

$$Fe = \left( \frac{T \text{ frecuente}}{T \text{ raro}} \right)^K$$

$$Fe = \left( \frac{43}{475} \right)^{0.35}$$

$$Fe = 0.43$$

#### **1.5.2. Sismo Ocasional**

Reemplazando en la fórmula del factor escala, obtenemos:

$$Fe = \left( \frac{T \text{ ocasional}}{T \text{ raro}} \right)^K$$

$$Fe = \left( \frac{72}{475} \right)^{0.35}$$

$$Fe = 0.51$$

#### **1.5.3. Sismo Raro**

Reemplazando en la fórmula del factor escala, obtenemos:

$$Fe = \left( \frac{T \text{ raro}}{T \text{ raro}} \right)^K$$

$$Fe = \left( \frac{475}{475} \right)^{0.35}$$

$$Fe = 1$$

#### **1.5.4. Sismo Muy Raro**

Reemplazando en la fórmula del factor escala, obtenemos:

$$Fe = \left( \frac{T \text{ muy raro}}{T \text{ raro}} \right)^K$$

$$Fe = \left( \frac{970}{475} \right)^{0.35}$$

$$Fe = 1.28$$

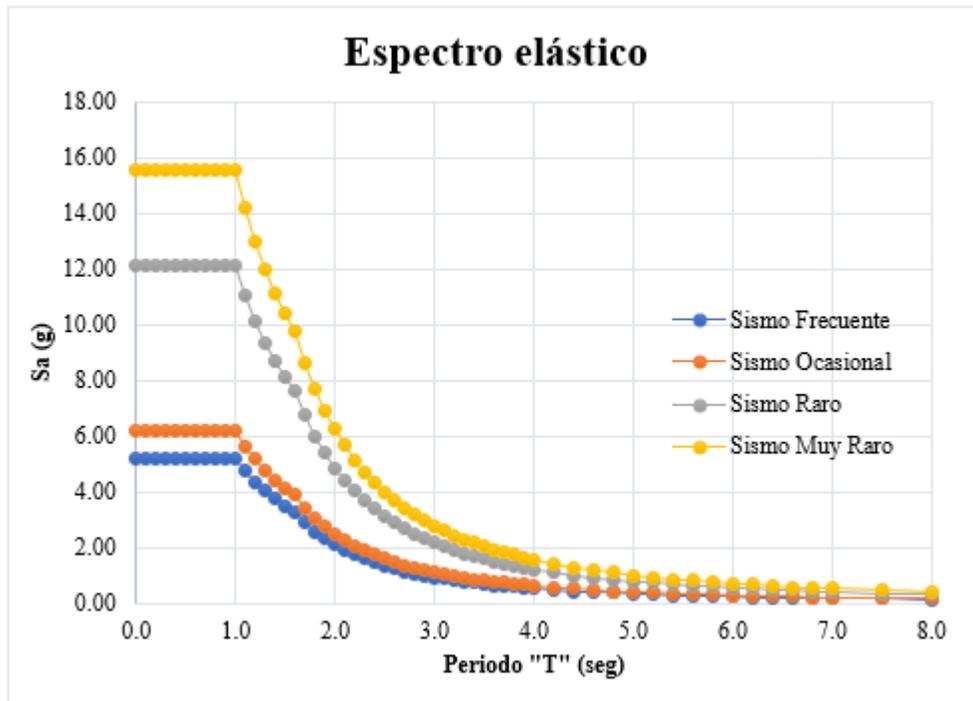
Por otro lado, como el coeficiente de reducción sísmica R divide al espectro sísmico y el objetivo es modificar de manera directa el espectro base, se dividió el valor de R con el factor de escala “Fe”, de esta forma este factor de escala multiplicará al espectro.

$$R = \frac{1}{Fe}$$

A continuación, en la Figura C14 se muestran los espectros elásticos según los niveles de movimiento sísmico SEAOC VISION 2000, para el módulo de pediatría y medicina general. Asimismo, se elaboraron los espectros elásticos para los diferentes módulos de estudio.

**Figura C14**

*Espectros elásticos según los niveles de movimiento sísmico SEAOC VISION 2000*

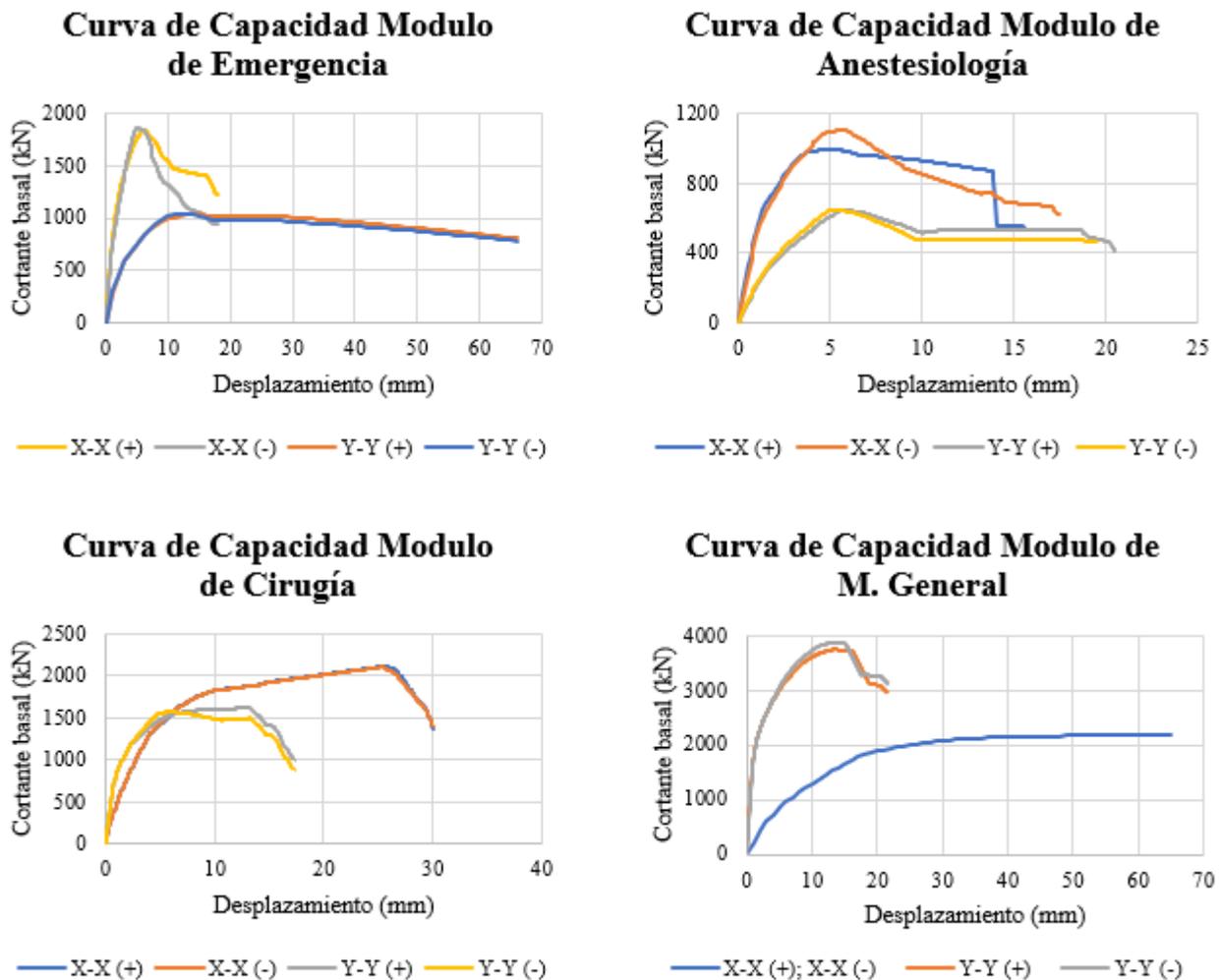


### 1.6. Curva de Capacidad

Luego de haber culminado el análisis estático no lineal "PUSHOVER", se obtuvieron las curvas de capacidad para los cuatro módulos de estudio descritos anteriormente; asimismo, estas curvas relacionan la cortante basal con el desplazamiento del último nivel, cabe señalar que el análisis se elaboró para ambas direcciones. A continuación, en la Figura C15 se muestran las curvas de capacidad para los cuatro módulos estudiados, según los lineamientos del ASCE/SEI 41-17.

**Figura C15**

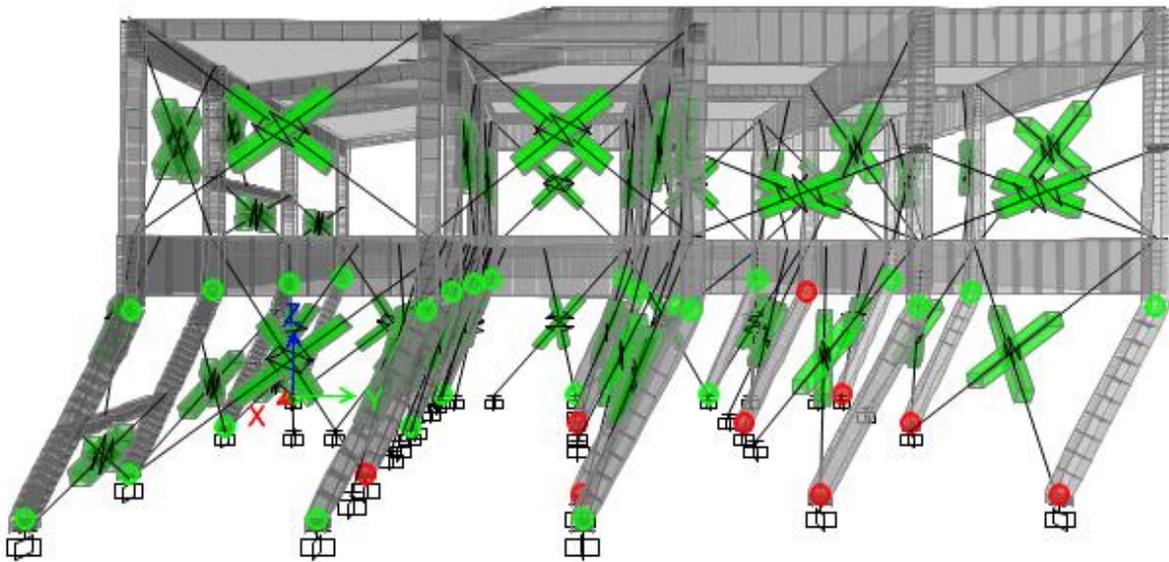
*Curvas de capacidad de los cuatro módulos de estudio*



De la Figura C15 se observa que los muros de albañilería de los módulos de emergencia (orientación "X"), medicina general (orientación "Y"), anestesiología y cirugía fallan por corte y empiezan a perder cortante, lo cual se puede evidenciar al observar una caída en las curvas de capacidad, esto se debe a la pérdida de resistencia de los muros de albañilería. Asimismo, en los módulos de emergencia (orientación "Y") y medicina general (orientación "X") se presenta para ambos casos una falla en las columnas, esto se puede observar de forma ilustrada mediante puntos de color rojo en la Figura C16 y Figura C17 respectivamente.

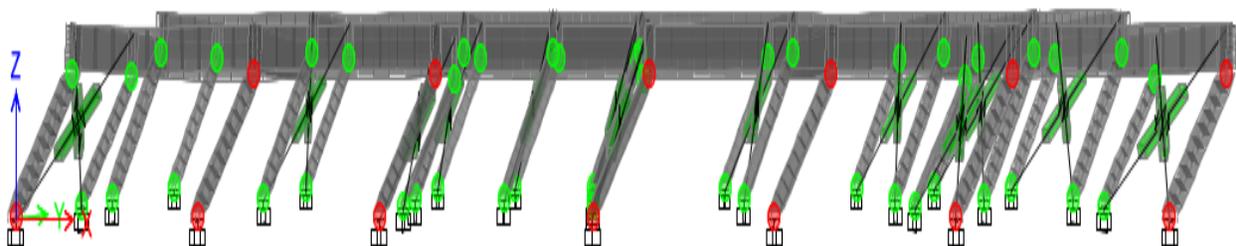
**Figura C16**

*Estado de daño para el colapso en la orientación Y-Y, emergencia*



**Figura C17**

*Estado de daño para el colapso en la orientación X-X, medicina general*



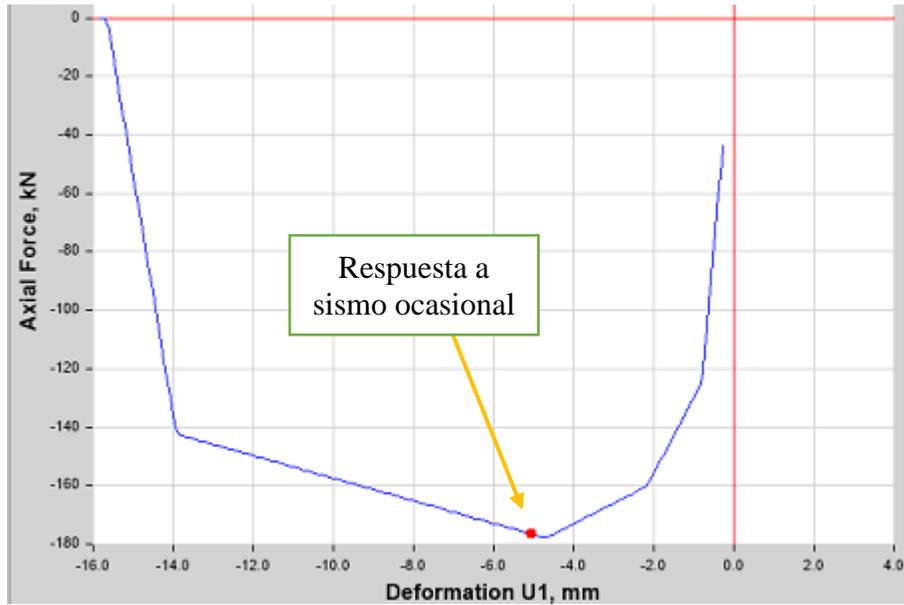
## 1.7. Estado de Daño de los Elementos Estructurales

### 1.7.1. Departamento de Emergencia

En la Figura C18 se presenta el daño para el muro 10X. Asimismo, para la orientación "Y" en la Figura C19 se presenta el diagrama de rotación para la columna C9.

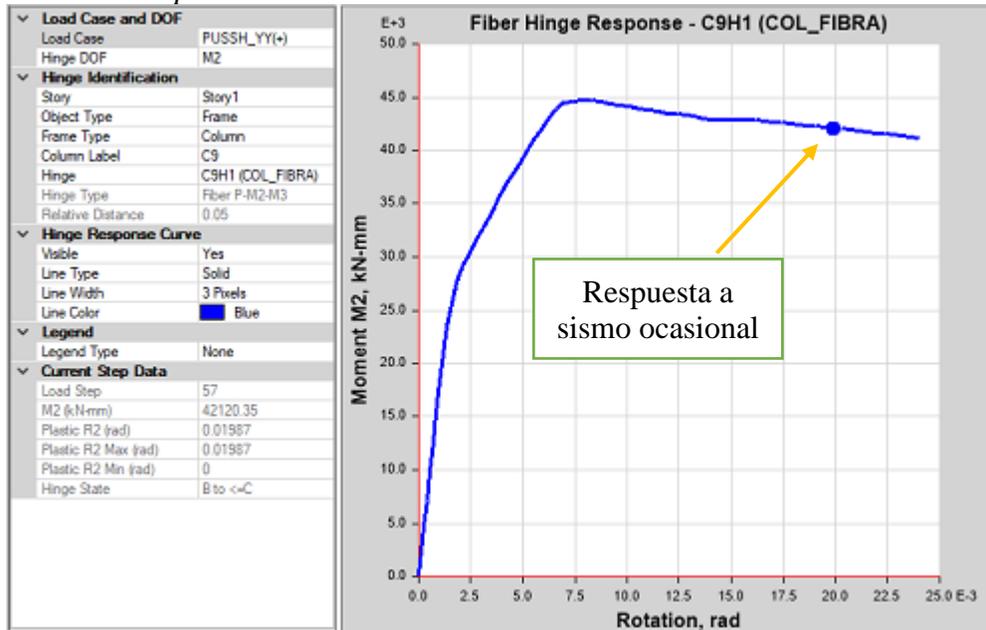
**Figura C18**

*Daño para el muro 10X*



**Figura C19**

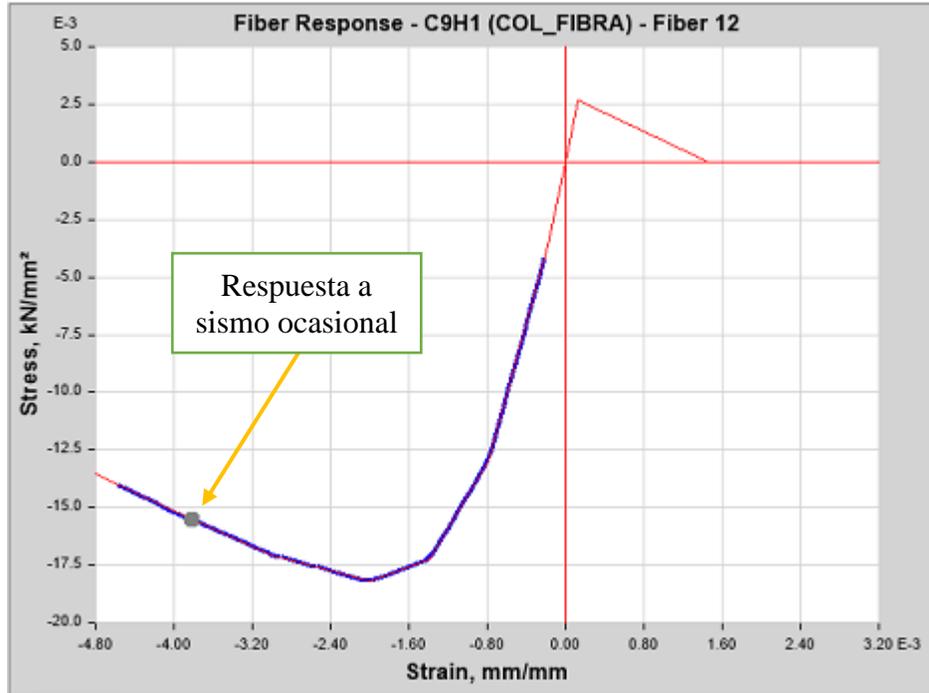
*Diagrama de rotación para la columna C9*



En la Figura C20 y Figura C21 se presentan las fibras más esforzadas para la columna C9.

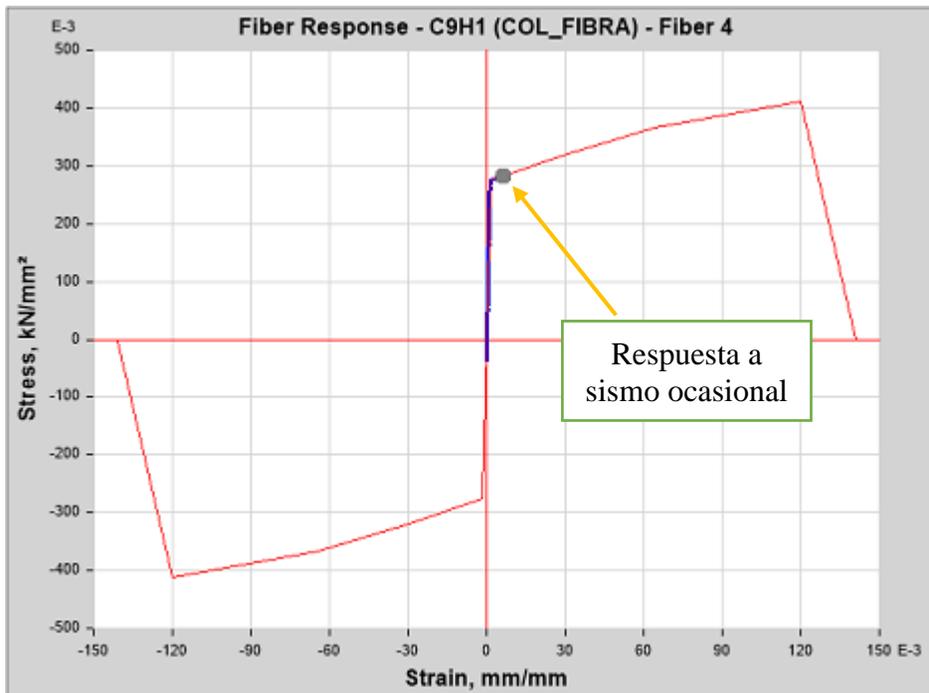
**Figura C20**

*Daño en fibra a mayor compresión en columna de concreto armado C9*



**Figura C21**

*Daño en fibra más traccionada en columna de concreto armado C9*

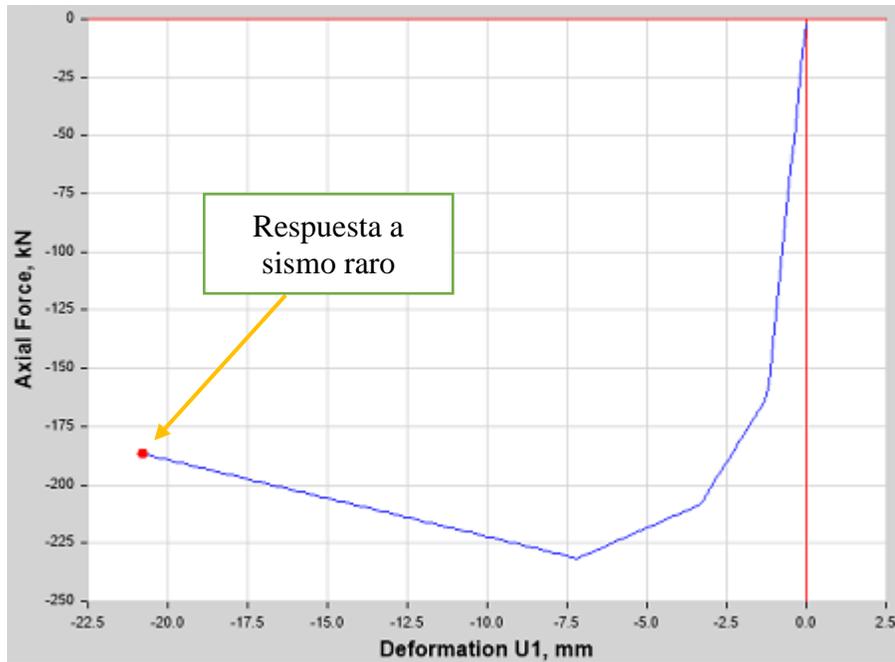


1.7.2. Departamento de Anestesiología y Centro Quirúrgico

Con respecto a la orientación "X" en la Figura C22 se presenta el daño para el Muro 6X, asimismo, para la orientación "Y" en la Figura C23 se presenta el daño para el Muro 1Y.

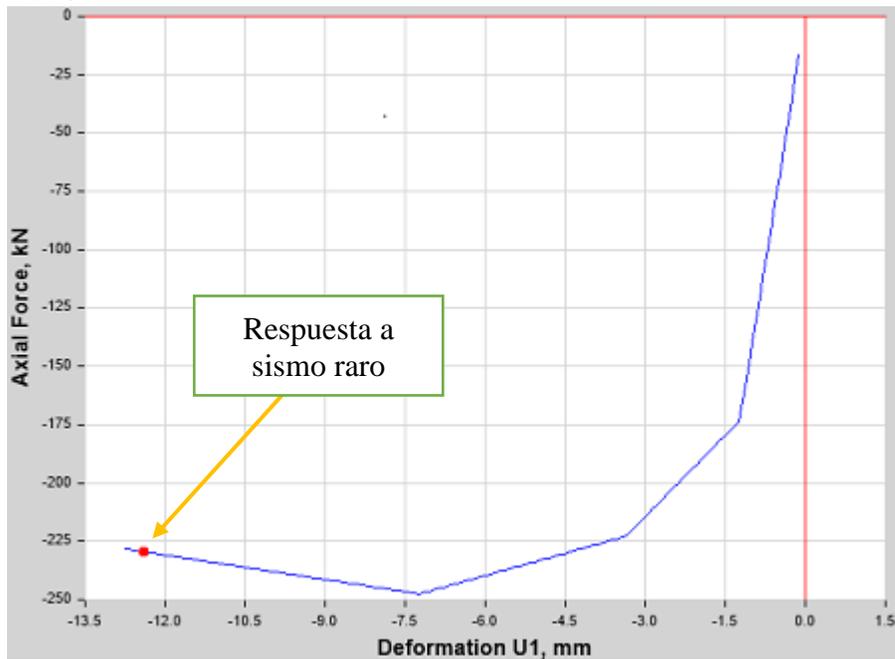
**Figura C22**

*Daño para el muro 6X*



**Figura C23**

*Daño para el muro 1Y*

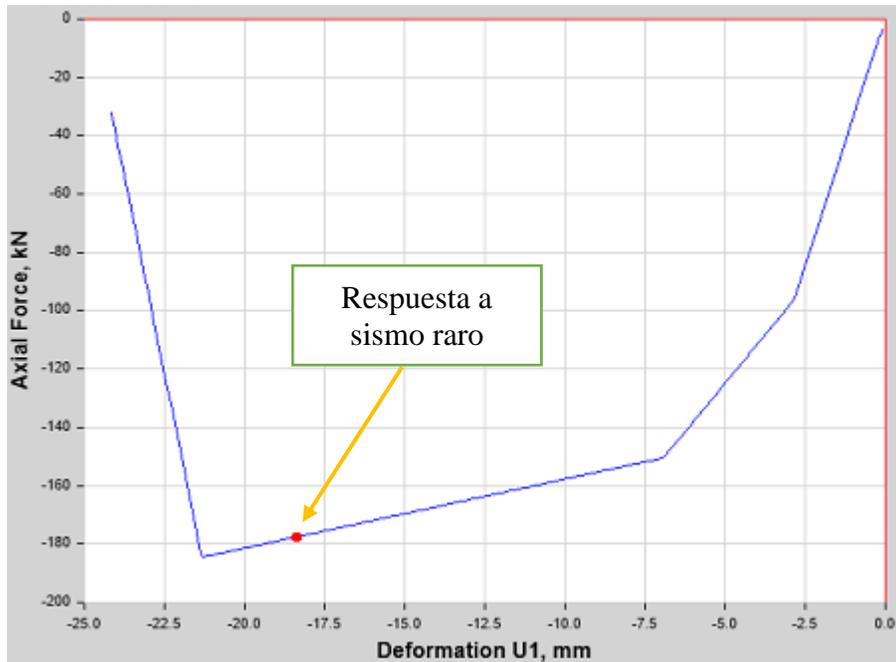


### 1.7.3. Internados de Cirugía

Con respecto a la orientación "X" en la Figura C24 se presenta el daño para el Muro 1X, además, para la orientación "Y" en la Figura C25 se presenta el daño para el Muro 9Y.

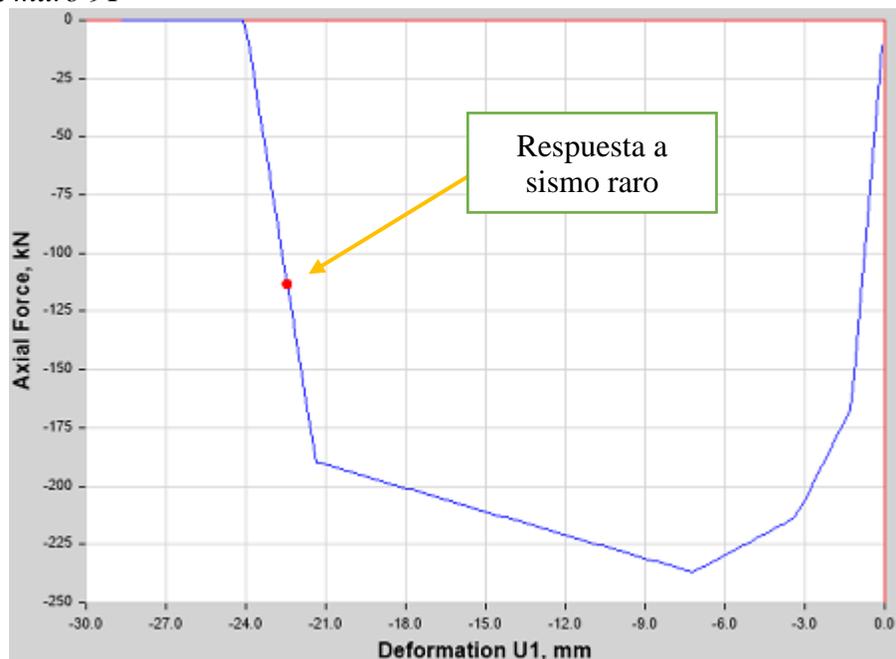
**Figura C24**

*Daño para el muro con vano 1X*



**Figura C25**

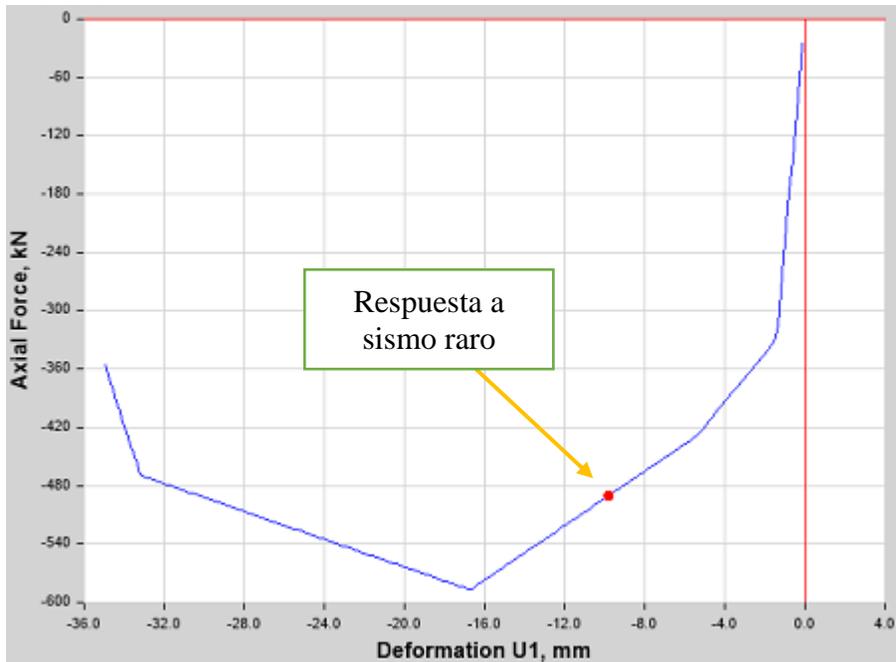
*Daño para el muro 9Y*



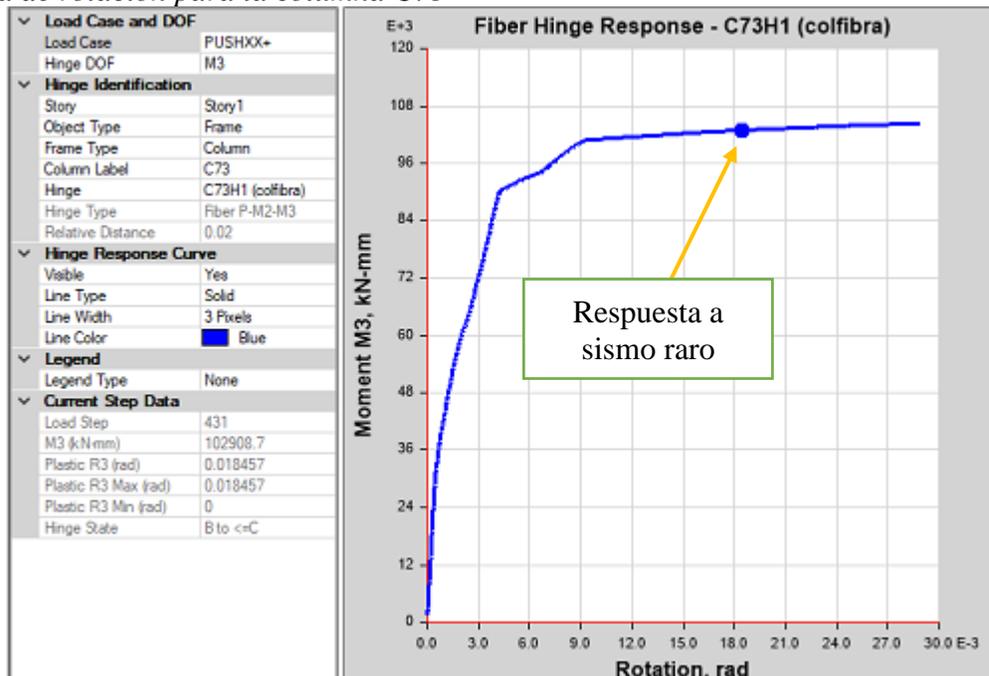
**1.7.4. Pediatría y Medicina General**

En la Figura C26 se presenta el daño para el muro 8Y. Asimismo, para la orientación "X" en la Figura C27 se presenta el diagrama de rotación para la columna C73.

**Figura C26**  
*Daño para el muro 8Y*



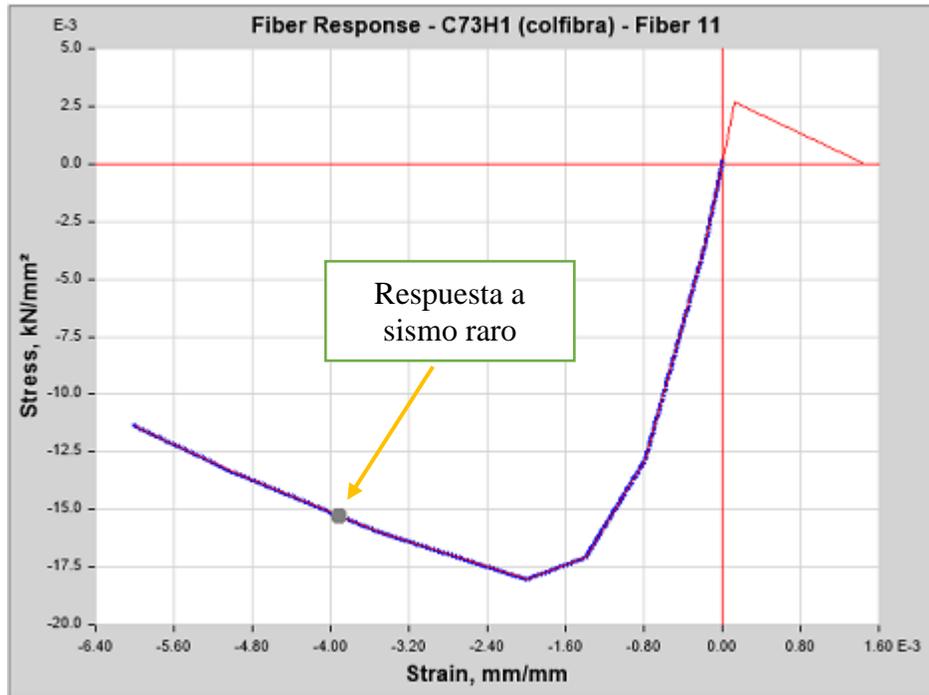
**Figura C27**  
*Diagrama de rotación para la columna C73*



En la Figura C28 y Figura C29 se presentan las fibras más esforzadas para la columna C73.

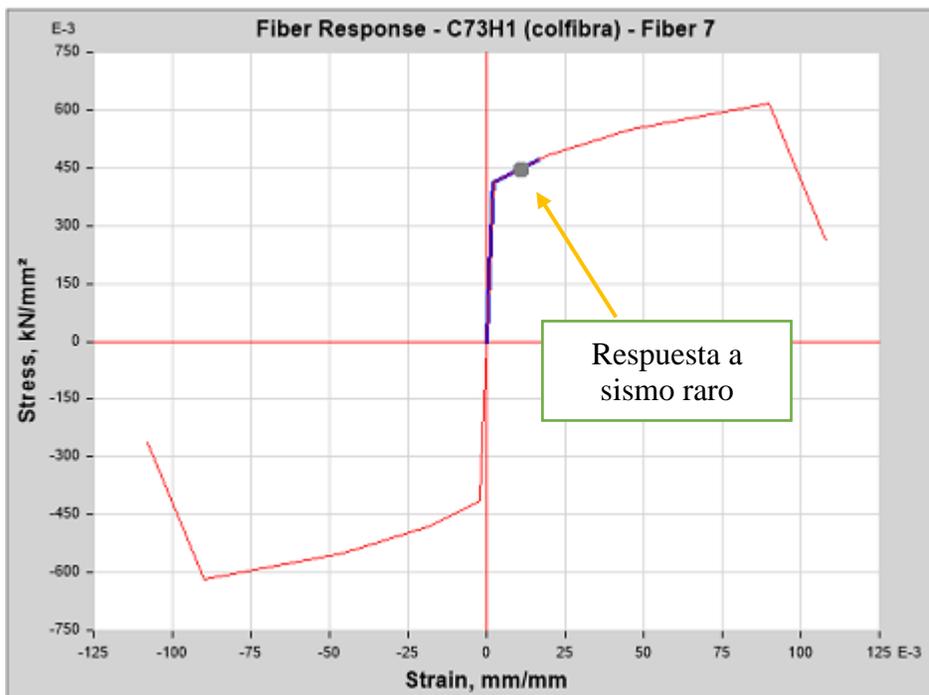
**Figura C28**

*Daño en fibra a mayor compresión en columna de concreto armado C73*



**Figura C29**

*Daño en fibra más traccionada en columna de concreto armado C73*

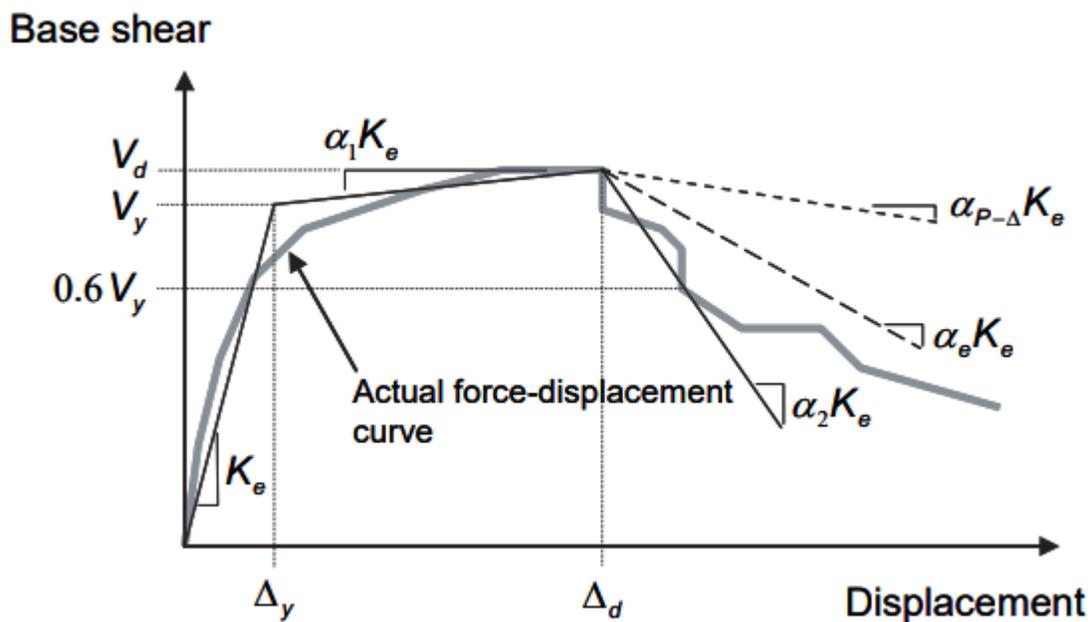


### 1.8. Cálculo del Punto de Desempeño

En cuanto al cálculo del punto de desempeño para los cuatro módulos de estudio del hospital La Caleta, se empleó el “método de los coeficientes” con la finalidad de evaluar en que parte de la curva de capacidad se encuentran estos módulos como respuesta frente a una demanda sísmica, este método se encuentra ubicado dentro de los lineamientos del ASCE/SEI 41-17. Para efectuar este procedimiento, iniciamos idealizando la curva esfuerzo-desplazamiento como se visualiza en la Figura C30.

**Figura C30**

*Idealización de la curva de capacidad*



*Nota.* Tomado de “Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings” por ASCE, 2017.

De la Figura C30 la rigidez lateral efectiva “ $K_e$ ”, se calcula como una fuerza equivalente al 60% de la fuerza de fluencia “ $V_y$ ”. En el caso de la segunda línea, se calcula como una línea que junta el punto de fluencia  $(I_y, V_y)$  con el punto final de pendiente positiva  $(I_d, V_d)$ . Así mismo, la última línea comienza en el punto final de pendiente positiva y finaliza en la intersección con la línea de  $0.6V_y$  (ASCE, 2017).

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

Para construcciones con diafragma rígido, el punto de desempeño se puede calcular mediante la siguiente expresión.

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

Donde:

$S_a$  = Aceleración del espectro de respuesta en el período fundamental efectivo de la edificación en la dirección en consideración.

$g$  = Aceleración de la gravedad

$C_0$  = Factor de modificación, el cual relaciona el desplazamiento espectral de un “SDOF” al desplazamiento del techo de un “MDOF” calculado mediante la Tabla C5.

**Tabla C5**

*Valores para el factor de modificación  $C_0$*

Número de pisos	Edificio de corte	Edificio de corte	Otro edificio
	<i>Patrón de carga triangular</i>	<i>Patrón de carga uniforme</i>	<i>Otro patrón de cargas</i>
1	1.00	1.00	1.00
2	1.20	1.15	1.20
3	1.20	1.20	1.30
5	1.30	1.20	1.40
10+	1.30	1.20	1.50

*Nota.* Adaptado de “Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings” por ASCE, 2017.

$C_1$  = Factor que relaciona el máximo desplazamiento inelástico con la respuesta elástica lineal. En el caso de periodos menores a 0.2seg no puede ser tomado menor al valor de  $T = 0.2\text{seg}$ . Asimismo, para periodos mayores a 1.0seg,  $C_1 = 1$ .

$$C_1 = 1 + \frac{\mu_{\text{strength}} - 1}{a T_e^2}$$

$$\mu_{\text{strength}} = \frac{S_a}{V_y/W} C_m$$

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}}$$

$a$  = Factor de clase de sitio, 130 para clase A y B, 90 para clase C y 60 para clase D, E y F.

$T_i$  = Periodo fundamental elástico (en seg.) en la dirección en consideración calculado en un análisis dinámico lineal.

$K_i$  = Rigidez elástica lateral del edificio en la dirección en consideración.

$K_e$  = Rigidez lateral efectivo del edificio en la dirección en consideración.

$V_y$  = Cortante de fluencia en la dirección en consideración de la curva idealizada fuerza-desplazamiento.

$W$  = Peso sísmico efectivo (carga muerta más una porción de carga viva).

$C_m$  = Factor de masa efectiva calculada mediante la Tabla C6.  $C_m$  tomará el valor de 1.0 si el periodo fundamental “ $T$ ” es mayor a 1.0seg.

**Tabla C6**

*Valores del factor de masa efectiva  $C_m$*

Número de pisos	Pórtico de concreto	Muro de corte de concreto	Otros
1 – 2	1.00	1.00	1.00
3 o mas	0.90	0.80	1.00

*Nota.* Adaptado de “Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings” por ASCE, 2017

$C_2$  = Factor de modificación para representar el efecto de histéresis, degradación de rigidez cíclica y deterioro de la fuerza en el máximo desplazamiento calculado mediante la siguiente expresión:

$$C_2 = 1 + \frac{1}{800} \left( \frac{\mu_{strength} - 1}{T_e} \right)^2$$

Además, para periodos mayores de 0,7 seg,  $C_2 = 1$ .

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

Una vez determinado los parámetros, se puede estimar el punto de desempeño y formar la bilinealización de la curva de capacidad. A continuación, se calcularon los puntos de desempeño para los cuatro módulos de estudio del hospital La Caleta, según los niveles de demanda sísmica acorde a la Tabla C7.

**Tabla C7**

*Nivel de demanda sísmica utilizado para el presente trabajo de investigación*

Nivel de demanda	Periodo de retorno (años)	Probabilidad de excedencia
Sismo frecuente	43	50% en 30 años
Sismo ocasional	72	50% en 50 años
Sismo raro	475	10% en 50 años

*Nota.* Tomado de “Vision 2000: Performance based seismic design of buildings”, por SEAOC, 1995.

**1.8.1. Departamento de Emergencia**

En la Tabla C8 se detallan los principales puntos de las curvas bilineales, mientras que en la Figura C31 y Figura C32 se muestran gráficamente los puntos de desempeño obtenidos para el módulo de emergencia.

**Tabla C8**

*Principales puntos de las curvas bilineales, módulo de emergencia*

Orientación	Nivel de Demanda Sísmica	Dy(mm)	Vy(kN)	Du(mm)	Vu(kN)	$\mu=Du/Dy$
“X”	S. Frecuente	1.41	1117.20	4.99	1751.18	3.55
	S. Ocasional	1.83	1381.88	6.74	1809.61	3.68
	S. Raro	-	-	-	-	-
“Y”	S. Frecuente	5.52	1028.14	41.30	933.82	7.48
	S. Ocasional	5.90	1062.71	56.63	848.15	9.60
	S. Raro	-	-	-	-	-

*Nota.* Desplazamiento último: (Du, Vu); Punto de fluencia: (Dy, Vy); Ductilidad: ( $\mu=Du/Dy$ ).

Figura C31

Puntos de desempeño, orientación "X" módulo de emergencia

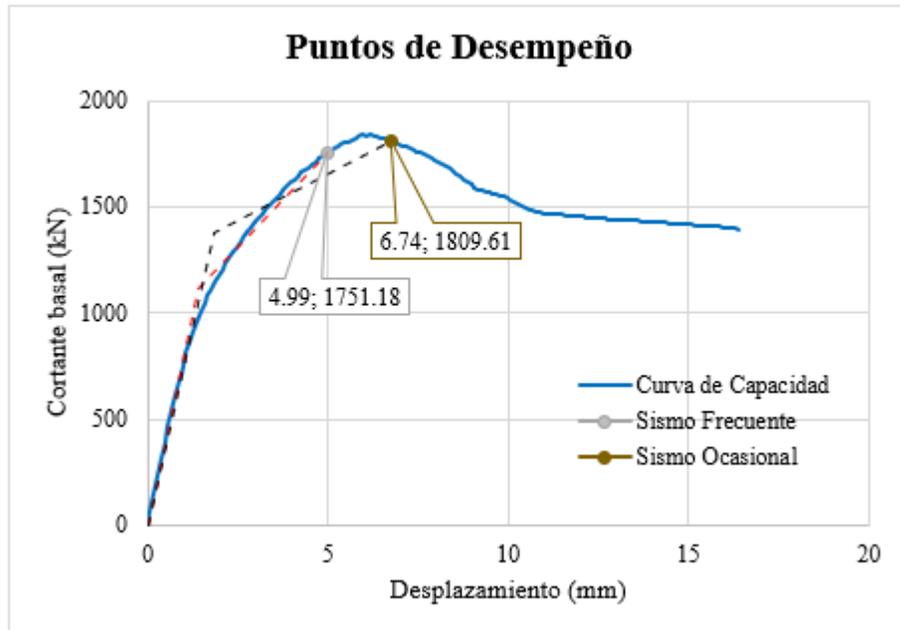
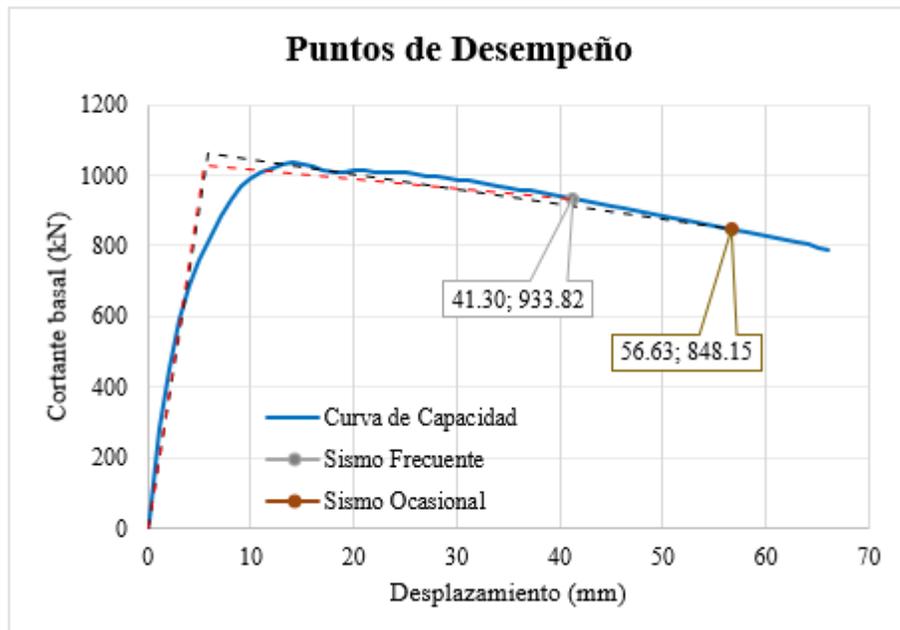


Figura C32

Puntos de desempeño, orientación "Y" módulo de emergencia



**1.8.2. Departamento de Anestesiología y Centro Quirúrgico**

En la Tabla C9 se detallan los principales puntos de las curvas bilineales, mientras que en la Figura C33 y Figura C34 se muestran gráficamente los puntos de desempeño obtenidos para el módulo de anestesiología.

**Tabla C9**

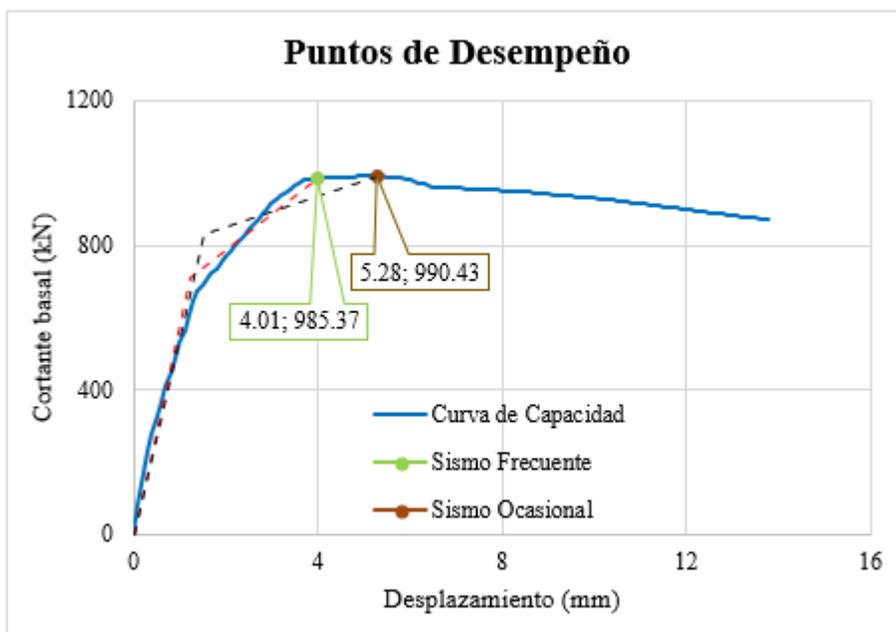
*Principales puntos de las curvas bilineales, módulo de anestesiología*

Orientación	Nivel de Demanda Sísmica	Dy(mm)	Vy(kN)	Du(mm)	Vu(kN)	$\mu=Du/Dy$
"X"	S. Frecuente	1.24	709.88	4.01	985.37	3.24
	S. Ocasional	1.53	827.88	5.28	990.43	3.46
	S. Raro	-	-	-	-	-
"Y"	S. Frecuente	1.58	337.47	5.57	647.51	3.52
	S. Ocasional	2.07	423.60	6.19	641.02	2.99
	S. Raro	-	-	-	-	-

*Nota.* Desplazamiento último: (Du, Vu); Punto de fluencia: (Dy, Vy); Ductilidad: ( $\mu=Du/Dy$ ).

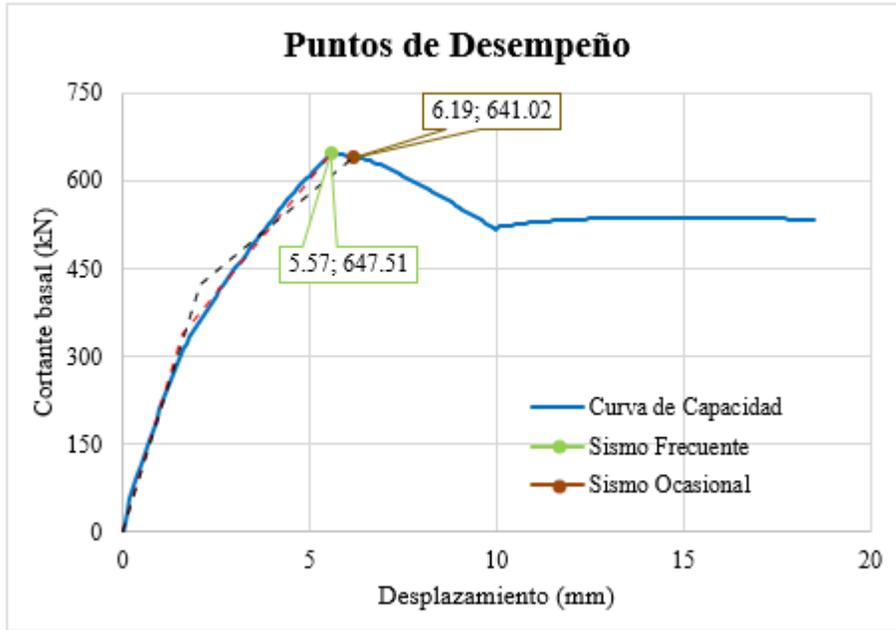
**Figura C33**

*Puntos de desempeño, orientación "X" módulo de anestesiología*



**Figura C34**

*Puntos de desempeño, orientación "Y" módulo de anestesiología*



**1.8.3. Internados de Cirugía**

En la Tabla C10 se detallan los principales puntos de las curvas bilineales, mientras que en la Figura C35 y Figura C36 se muestran gráficamente los puntos de desempeño obtenidos para el módulo de cirugía.

**Tabla C10**

*Principales puntos de las curvas bilineales, módulo de cirugía*

Orientación	Nivel de Demanda Sísmica	Dy(mm)	Vy(kN)	Du(mm)	Vu(kN)	$\mu=Du/Dy$
"X"	S. Frecuente	2.09	959.92	6.08	1553.22	2.90
	S. Ocasional	2.51	1101.30	7.69	1704.35	3.07
	S. Raro	4.49	1645.74	22.84	2068.77	5.09
"Y"	S. Frecuente	0.89	881.47	3.14	1322.38	3.54
	S. Ocasional	0.96	939.18	4.37	1500.17	4.57
	S. Raro	2.02	1524.19	13.84	1426.40	6.85

*Nota.* Desplazamiento último: (Du, Vu); Punto de fluencia: (Dy, Vy); Ductilidad: ( $\mu=Du/Dy$ ).

Figura C35

Puntos de desempeño, orientación "X" módulo de cirugía

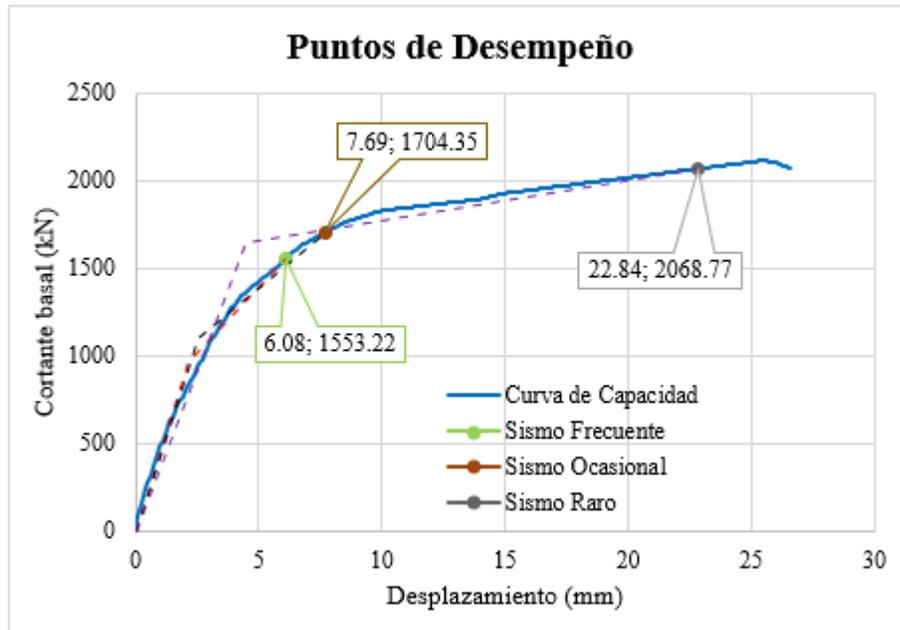
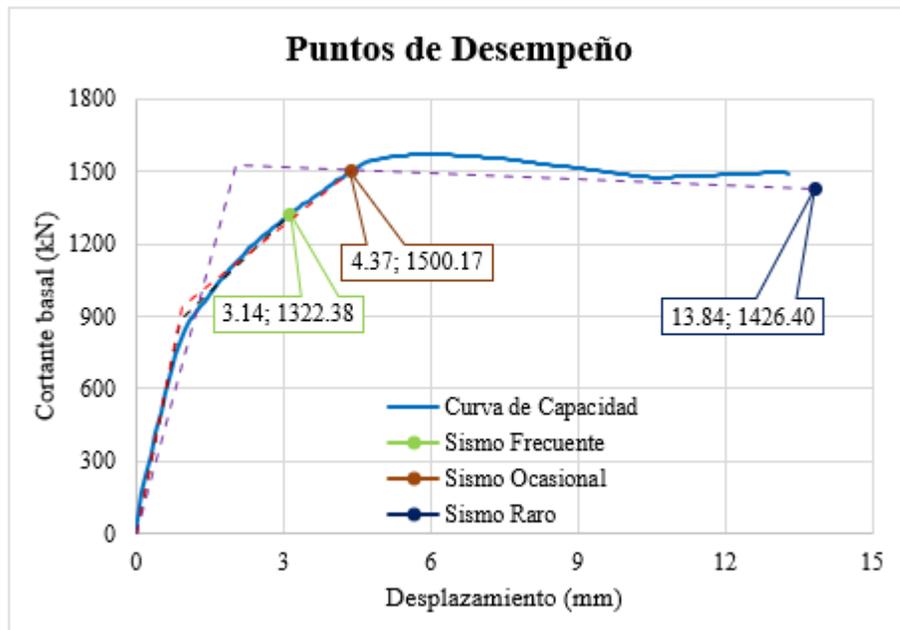


Figura C36

Puntos de desempeño, orientación "Y" módulo de cirugía



**1.8.4. Pediatría y Medicina General**

En la Tabla C11 se detallan los principales puntos de las curvas bilineales, mientras que en la Figura C37 y Figura C38 se muestran gráficamente los puntos de desempeño obtenidos para el módulo de medicina general.

**Tabla C11**

*Principales puntos de las curvas bilineales, módulo de medicina general*

Orientación	Nivel de Demanda Sísmica	Dy(mm)	Vy(kN)	Du(mm)	Vu(kN)	$\mu=Du/Dy$
"X"	S. Frecuente	3.92	797.51	14.70	1632.88	3.75
	S. Ocasional	4.56	912.42	18.13	1820.80	3.98
	S. Raro	11.95	1776.40	43.14	2153.03	3.61
"Y"	S. Frecuente	0.77	1567.24	1.35	2011.88	1.75
	S. Ocasional	0.85	1707.31	1.76	2189.04	2.08
	S. Raro	1.09	2130.59	6.17	3199.23	5.68

*Nota.* Desplazamiento último: (Du, Vu); Punto de fluencia: (Dy, Vy); Ductilidad: ( $\mu=Du/Dy$ ).

**Figura C37**

*Puntos de desempeño, orientación "X" módulo de medicina general*

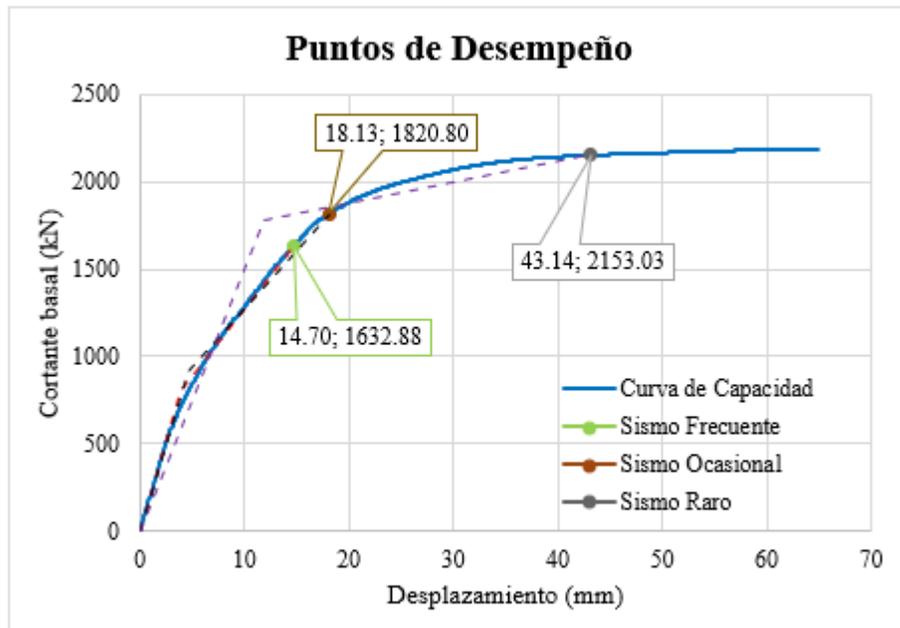
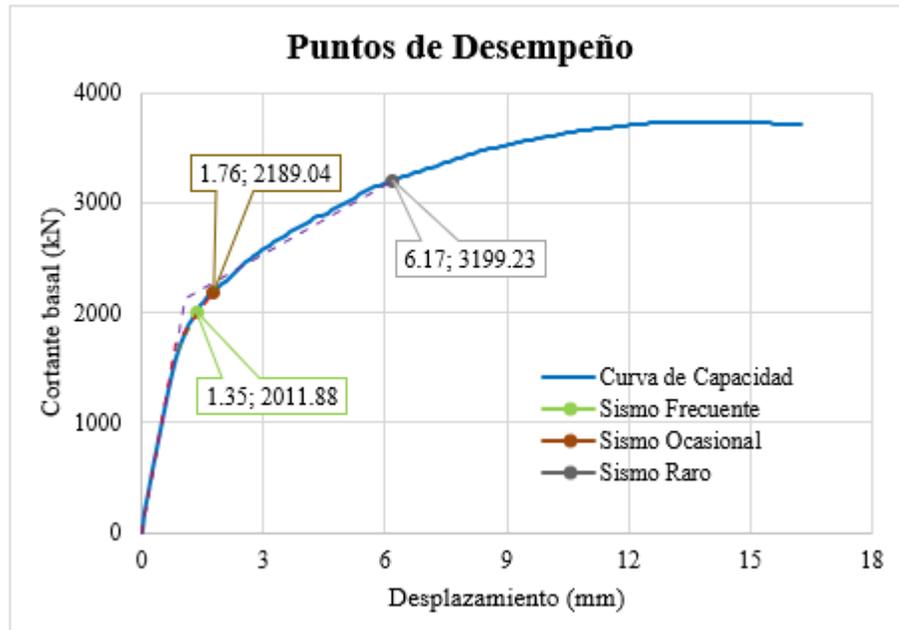


Figura C38

Puntos de desempeño, orientación "Y" módulo de medicina general

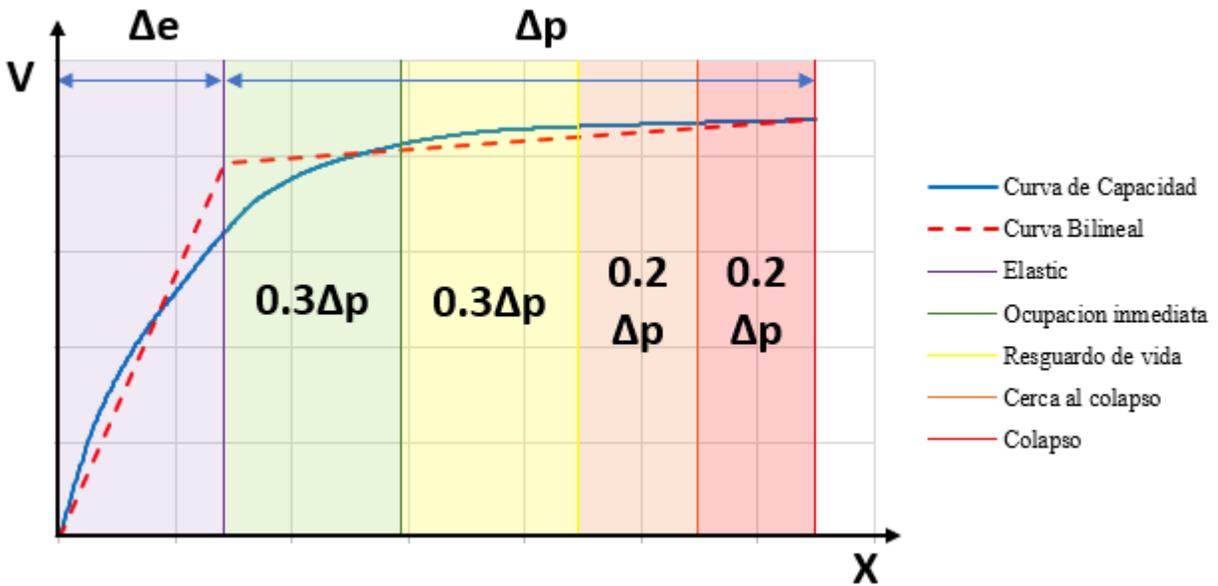


### 1.9. Cálculo del Nivel de Desempeño

En la Figura C39 se visualiza gráficamente dos tipos de desplazamientos, elástico " $\Delta_e$ " y plástico " $\Delta_p$ ", en la cual se divide en sectores el desplazamiento plástico acorde al SEAOC VISION 2000 para determinar el nivel desempeño sísmico de una estructura. Por otro lado, los estados de daño para los muros de albañilería confinada con ladrillo (artesanal e industrial) están basados en ensayos experimentales acorde al documento de Zabala et al. (2019). En este documento se definió el rango de la zona inelástica según el ejemplo de la Figura C40, donde se visualiza una curva de capacidad, en la cual se divide la zona inelástica en sub-rangos con cada uno de los estados de daño, con la finalidad de encontrar el desempeño de una estructura. Así mismo, en la Tabla C12 se muestran los rangos de la zona inelástica para muros de albañilería peruana.

**Figura C39**

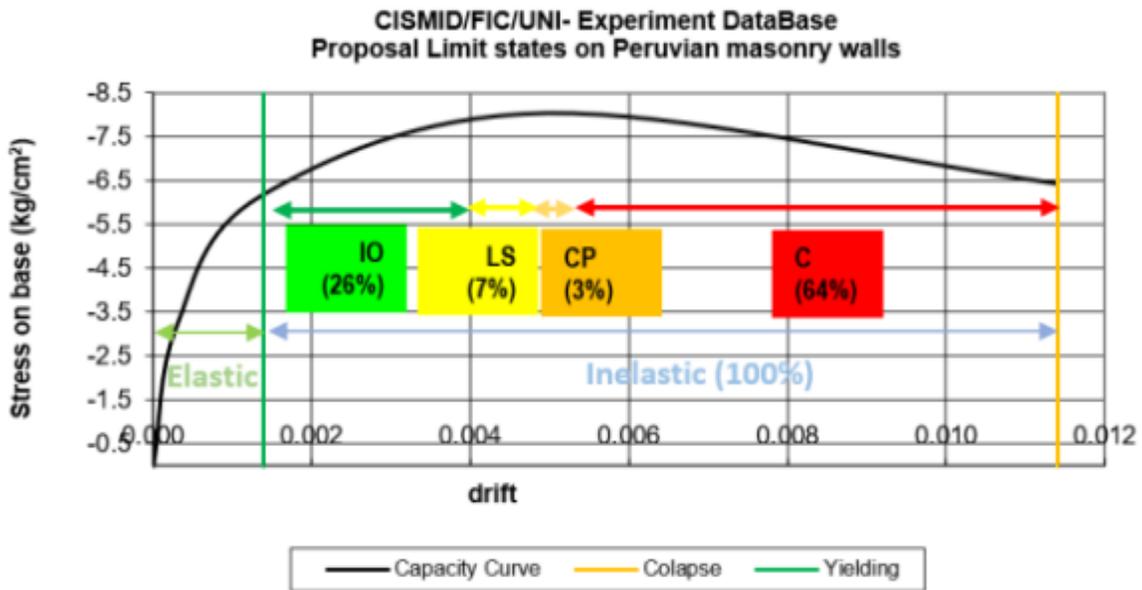
*División en sectores de la curva de capacidad propuesta por el SEAOC*



*Nota.* Adaptado de “VISION 2000: Performance based seismic design of buildings”, por SEAOC, 1995.

**Figura C40**

*Ejemplo de rango de estados de daño*



*Nota.* Tomado de “Estados límite de daño para muros de mampostería confinada basados en ensayos experimentales” por Zabala et al., 2019.

**Tabla C12**

*Rangos de zona inelástica para muros de albañilería peruana*

	Estado de daño	Límites de desplazamiento	
		Industrial	Artesanal
E	Elástico	$\Delta e$	$\Delta e$
OI	Ocupación inmediata	$\Delta e + 26\% \Delta p$	$\Delta e + 24\% \Delta p$
LS	Resguardo de vida	$\Delta e + 33\% \Delta p$	$\Delta e + 33\% \Delta p$
CP	Cerca al colapso	$\Delta e + 36\% \Delta p$	$\Delta e + 40\% \Delta p$
C	Colapso	$\Delta e + 100\% \Delta p$	$\Delta e + 100\% \Delta p$

*Nota.* Adaptado de “Estados límite de daño para muros de mampostería confinada basados en ensayos experimentales” por Zabala et al., 2019.

### 1.10. Desempeño Esperado Acorde a SEAOC VISION 2000

De acuerdo con el SEAOC (1995), clasificaron a las edificaciones en tres tipos (comunes, esenciales y de seguridad crítica), con el fin de obtener el desempeño mínimo que deberían alcanzar según el nivel de peligro sísmico considerado para la evaluación.

En el presente trabajo de investigación, se evaluó el desempeño esperado para los cuatro módulos seleccionados del hospital La Caleta, los cuales se clasificaron como edificaciones esenciales de acuerdo con la NTP E-030.

**Tabla C13**

*Objetivos de desempeño sísmico recomendados para edificaciones esenciales*

Movimiento sísmico	Nivel de desempeño mínimo
Sismo frecuente	Completamente operacional
Sismo ocasional	Completamente operacional
Sismo raro	Ocupación inmediata
Sismo muy raro	Resguardo de vida

*Nota.* Adaptado de “VISION 2000: Performance based seismic design of buildings”, por SEAOC, 1995.

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD  
DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

---

A continuación, en la Tabla C14 se resume las características principales asociadas a estos niveles de desempeño, las cuales se exponen en el informe presentado por el comité VISION 2000.

**Tabla C14**

*Nivel de desempeño y descripción de daños*

<b>Nivel de desempeño</b>	<b>Descripción de daños</b>
Elástico	No se observan daños significativos en la estructura ni en elementos no estructurales. Los sistemas de evacuación y todas las instalaciones siguen funcionando sin problemas.
Ocupación inmediata	Se observa agrietamiento en los elementos estructurales, con daños que van desde leves hasta moderados en los contenidos y elementos arquitectónicos. Los sistemas de seguridad y evacuación están operando normalmente.
Resguardo de vida	Se registran daños moderados en ciertos elementos, con una disminución en la resistencia y rigidez del sistema de carga lateral. A pesar de ello, el sistema sigue siendo funcional. Algunos elementos no estructurales y contenido podrían sufrir daños. Se puede considerar la necesidad de cerrar temporalmente el edificio.
Cerca al colapso	Se observan graves daños en partes estructurales, con fallas en elementos secundarios, no estructurales y en el contenido. Podría ser necesario proceder con la demolición del edificio.
Colapso	Se ha perdido parcial o totalmente el soporte estructural. Se ha producido un colapso parcial o total. No es factible realizar reparaciones.

*Nota.* Adaptado de "VISION 2000: Performance based seismic design of buildings", por SEAOC, 1995.

# **Apéndice D: Curvas de Fragilidad**

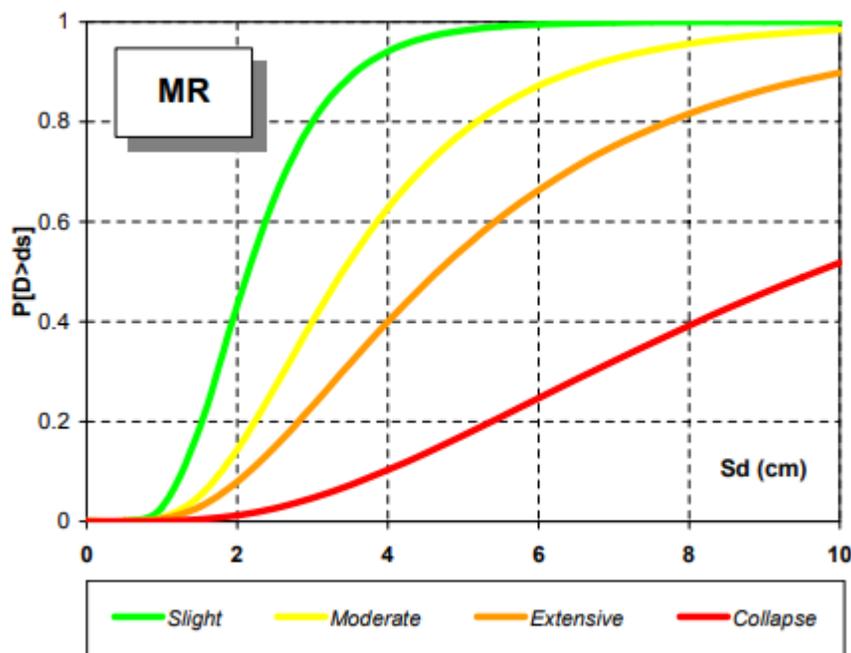
## Apéndice D. Curvas de Fragilidad

### 1.1. Curvas de Fragilidad del Hospital La Caleta

Con respecto a la obtención de las curvas de fragilidad de los cuatro módulos de estudio del hospital La Caleta, los estados de daño empleados en el presente trabajo de investigación, forman parte de la propuesta hecha por Milutinovic & Trendafiloski (2003) en el Proyecto RISK-UE. En la Figura D1 se presenta un ejemplo de modelo de fragilidad con los cuatro estados de daño.

#### Figura D1

*Ejemplo de modelo de fragilidad*



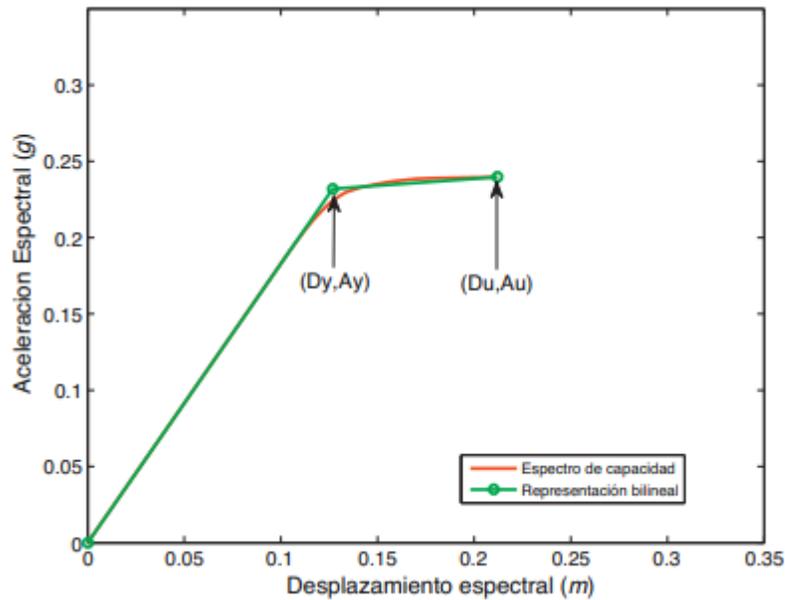
*Nota.* Tomado de “An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European towns” (p.42), por Milutinovic & Trendafiloski, 2003.

Además, Milutinovic & Trendafiloski (2003) en su propuesta nos comentan que estos cuatro estados de daño, se determinan a partir de la curva de capacidad que puede ser transformada en un espectro de capacidad, el cual será impuesto por una recta bilineal. En esta recta bilineal hay

dos puntos que son relevantes, el primero es el punto de fluencia “Dy” y el segundo vendría a ser distinguido por el punto en el que la edificación colapsaría, punto último “Du”. En la Figura D2 se visualiza el espectro de capacidad y la representación bilineal, lo que es útil para definir posteriormente los estados de daño.

### **Figura D2**

*Espectro de capacidad y la representación bilineal*

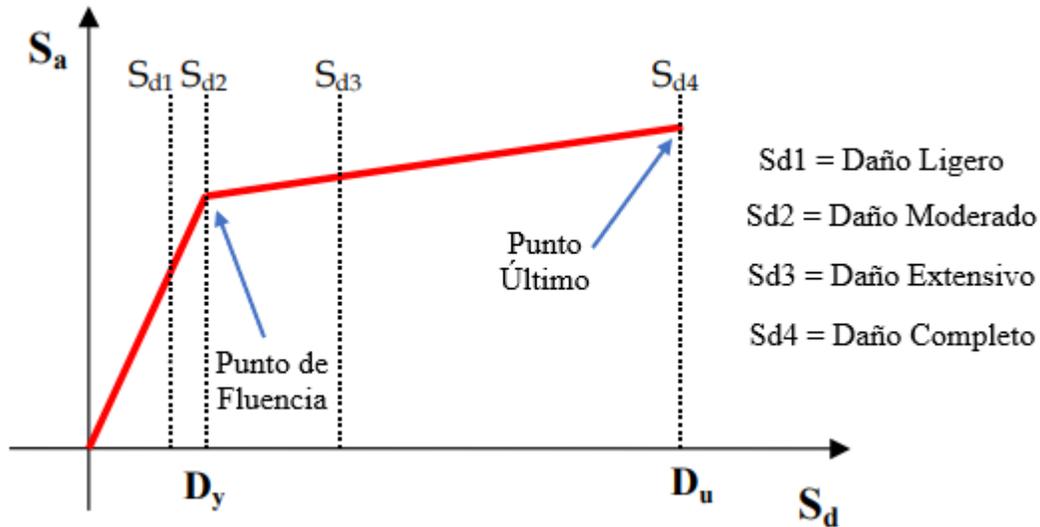


*Nota.* Tomado de “Evaluación probabilista de la capacidad, fragilidad y daño sísmico de edificios de hormigón armado”, por Vargas et al., 2013.

De la misma forma, Milutinovic & Trendafiloski (2003) describen que el primer umbral de daño pertenece al “daño ligero”, el cual se localiza antes de alcanzar el punto de fluencia. El “daño moderado” se define como el punto de fluencia, en tanto que el “daño extensivo” se encuentra posterior de este punto. Finalmente, el “daño completo” se define como el punto último, donde la edificación es no habitable. A continuación, en la Figura D3 se visualizan los niveles de umbral de daño.

**Figura D3**

*Niveles de umbral de daño*



*Nota.* Adaptado de “An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European towns” (p.62), por Milutinovic & Trendafiloski, 2003.

Así mismo, estos umbrales para los cuatro estados de daño quedaron definidos por las ecuaciones presentadas en la Tabla D1.

**Tabla D1**

*Ecuaciones para el cálculo de los niveles de umbral de daño*

<b>Estado de daño</b>	<b>Umbral de daño</b>
Ligero	$\bar{S}_{d1} = 0.70D_y$
Moderado	$\bar{S}_{d2} = D_y$
Extensivo	$\bar{S}_{d3} = D_y + 0.25(D_u - D_y)$
Completo	$\bar{S}_{d4} = D_u$

*Nota.* Adaptado de “An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European towns” (p.62), por Milutinovic & Trendafiloski, 2003.

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

---

Para finalizar, Milutinovic & Trendafiloski (2003) determinaron directamente las desviaciones estándar lognormales “ $\beta ds$ ” en función de la ductilidad última  $\mu u$ . En la Tabla D2 se presentan las ecuaciones para el cálculo del  $\beta ds$ .

**Tabla D2**

*Ecuaciones para el cálculo de las desviaciones estándar lognormales “ $\beta ds$ ”*

<b>Estado de daño</b>	<b>Desviación estándar lognormal</b>
Ligero	$\beta ds1 = 0.25 + 0.07\ln(\mu u)$
Moderado	$\beta ds2 = 0.20 + 0.18\ln(\mu u)$
Extensivo	$\beta ds3 = 0.10 + 0.40\ln(\mu u)$
Completo	$\beta ds4 = 0.15 + 0.50\ln(\mu u)$

*Nota.* Adaptado de “An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European towns” (p.62), por Milutinovic & Trendafiloski, 2003.

Por otro lado, FEMA (2003) nos permite mediante la siguiente expresión convertir el desplazamiento del último techo a un desplazamiento espectral.

$$\bar{S}_d, S_{ds} = \delta R, S_{ds} \cdot \alpha^2 \cdot h$$

Donde:

$\bar{S}_d, S_{ds}$  = Desplazamiento espectral.

$\delta R, S_{ds}$  = Es la relación de deriva en el umbral del estado de daño estructural.

$\alpha^2$  = Es la fracción de la altura del edificio (techo) en la ubicación de desplazamiento en modo pushover.

$h$  = Es la altura típica del edificio.

Dado que la deriva es la relación entre desplazamiento y la altura, entonces la expresión anterior queda definida como:

$$\bar{S}_d, S_{ds} = \Delta t \cdot \alpha^2$$

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

Donde:

$\Delta t$  = Desplazamiento del último techo.

$\alpha_2$  = Tomó los valores de la Tabla D3, los cuales fueron extraídos de la Tabla 5.5 de (FEMA, 2003).

**Tabla D3**

*Modo pushover factores de respuesta ( $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ )*

Tipo de Construcción	Factores Modales	
	Peso, $\alpha_1$	Altura, $\alpha_2$
C1L	0.80	0.75
C1M	0.80	0.75
RM2L	0.75	0.75
RM2M	0.75	0.75
URML	0.50	0.75
URMM	0.75	0.75

*Nota.* Adaptado de “HAZUS – MH MR4 Technical Manual” (p.199), por FEMA, 2003.

Así mismo, los tipos de construcción se describen en la Tabla D4.

**Tabla D4**

*Tipo de construcción*

Etiqueta	Descripción	Altura	
		Nombre	Pisos
C1L	Marcos resistentes a momentos de hormigón armado.	Baja altura	1 - 3
C1M		Mediana altura	4 - 7
RM2L	Muros portantes de mampostería armada con diafragmas de hormigón prefabricado.	Baja altura	1 - 3
RM2M		Mediana altura	4 - 7
URML	Muros portantes de mampostería no reforzada.	Baja altura	1 - 2
URMM		Mediana altura	3+

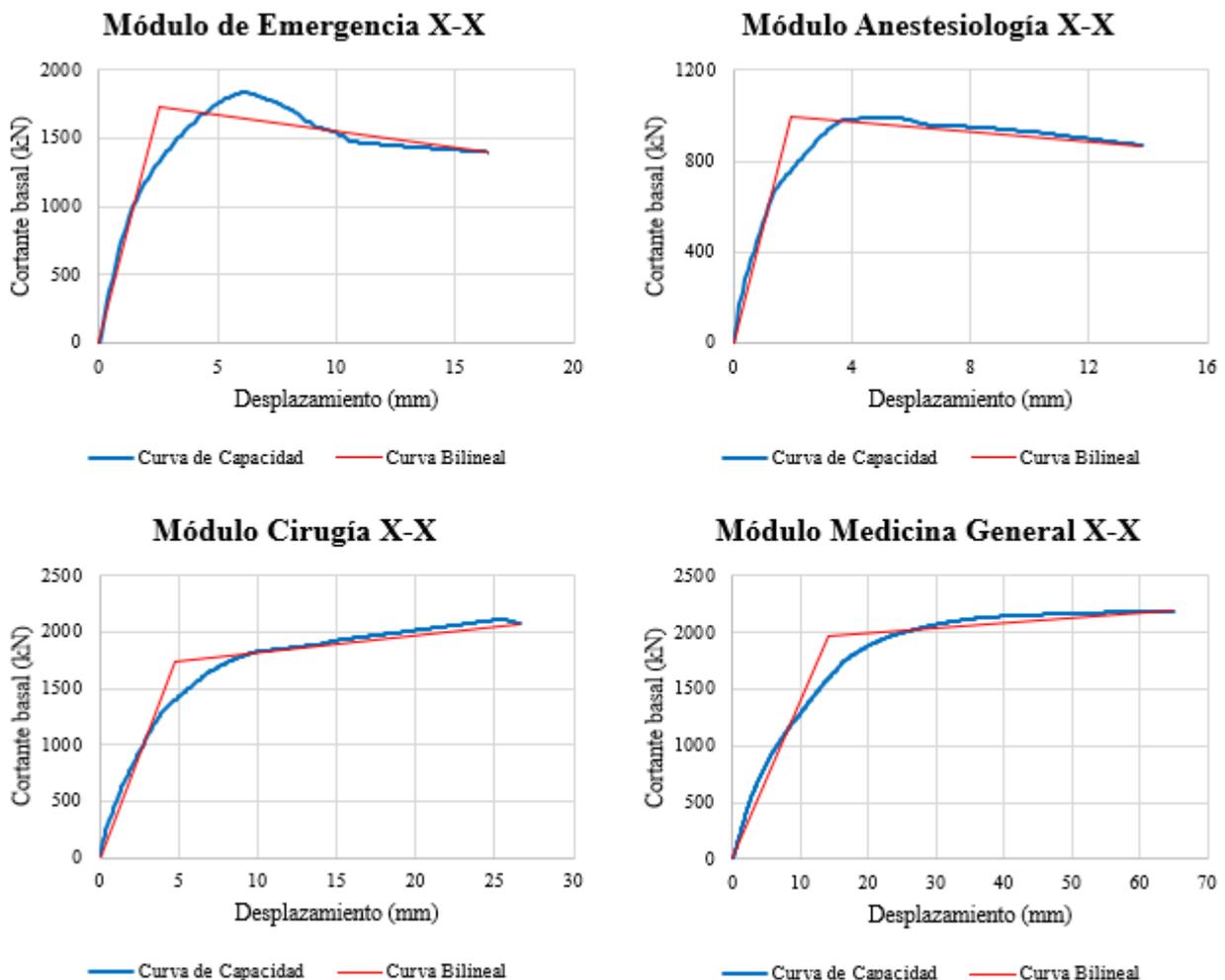
*Nota.* Adaptado de “HAZUS – MH MR4 Technical Manual” (p.175), por FEMA, 2003.

### 1.1.1. Cálculo de los Niveles de Umbral de Daño

En la Figura D4 y Figura D5, se presentan las curvas de capacidad para ambas orientaciones de análisis de los cuatro módulos seleccionados del hospital La Caleta, las cuales han sido impuestas por una recta bilineal. Además, en la Tabla D5 y Tabla D6 se calcularon los valores de la ductilidad última “ $\mu$ ” en función del punto de fluencia “ $D_y$ ” y del punto último “ $D_u$ ”.

#### Figura D4

*Curvas de capacidad impuestas por una recta bilineal, orientación X-X*



*Nota.* De las curvas de capacidad presentadas es posible apreciar que en la orientación “X”; el módulo de Anestesiología aporta menor capacidad resistente, mientras que el módulo más resistente corresponde al de Medicina General.

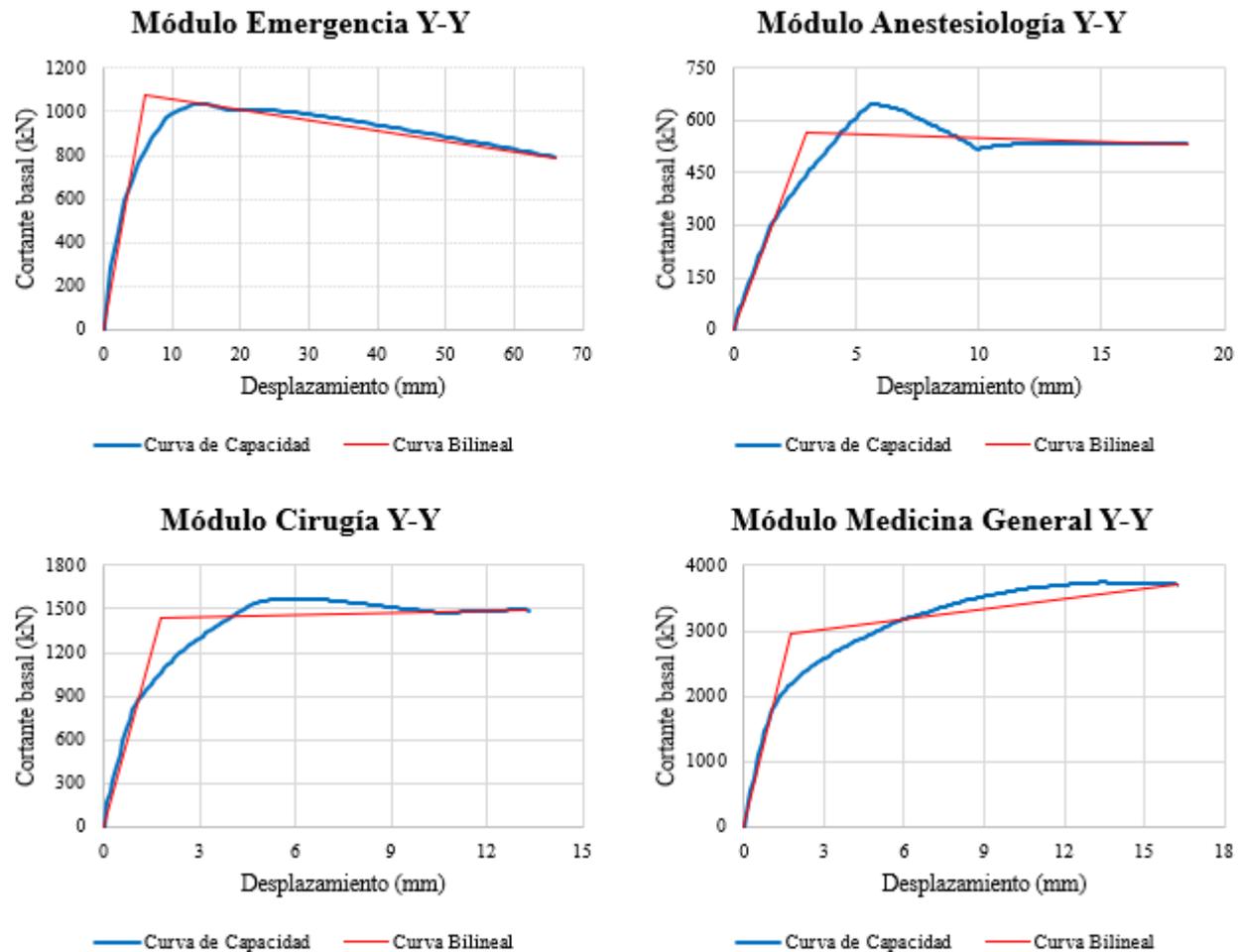
**Tabla D5**

*Ductilidad última “ $\mu$ ”, orientación X-X*

<b>Edificio</b>	<b>Dy(mm)</b>	<b>Vy(kN)</b>	<b>Du(mm)</b>	<b>Vu(kN)</b>	<b><math>\mu</math>=Du/Dy</b>
Emergencia	2.55	1724.61	16.37	1394.76	6.41
Anestesiología	1.96	991.65	13.81	867.73	7.05
Cirugía	4.83	1736.20	26.60	2072.57	5.51
M. General	14.18	1962.93	65.00	2191.40	4.58

**Figura D5**

*Curvas de capacidad impuestas por una recta bilineal, orientación Y-Y*



*Nota.* De las curvas de capacidad presentadas es posible apreciar que en la orientación “Y”; el módulo de Anestesiología aporta menor capacidad resistente, mientras que el módulo más resistente corresponde al de Medicina General.

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD  
DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

**Tabla D6**

*Ductilidad última “ $\mu$ ”, orientación Y-Y*

<b>Edificio</b>	<b>Dy(mm)</b>	<b>Vy(kN)</b>	<b>Du(mm)</b>	<b>Vu(kN)</b>	<b><math>\mu</math>u=D<sub>u</sub>/D<sub>y</sub></b>
Emergencia	6.07	1078.85	66.00	790.44	10.87
Anestesiología	2.92	565.54	18.50	534.48	6.34
Cirugía	1.76	1441.26	13.25	1491.91	7.52
M. General	1.71	2955.74	16.25	3708.59	9.53

A continuación, en la Tabla D7, Tabla D8, Tabla D9 y Tabla D10 se determinaron los desplazamientos para ambas orientaciones de análisis en términos de desplazamientos espectrales.

**Tabla D7**

*Desplazamientos espectrales, módulo de emergencia*

	<b>Desplazamiento X-X (mm)</b>	<b>Desplazamiento espectral X-X (mm)</b>	<b>Desplazamiento Y-Y (mm)</b>	<b>Desplazamiento espectral Y-Y (mm)</b>
Dy	2.55	1.91	6.07	4.56
Du	16.37	12.27	66.00	49.50

**Tabla D8**

*Desplazamientos espectrales, módulo de anestesiología*

	<b>Desplazamiento X-X (mm)</b>	<b>Desplazamiento espectral X-X (mm)</b>	<b>Desplazamiento Y-Y (mm)</b>	<b>Desplazamiento espectral Y-Y (mm)</b>
Dy	1.96	1.47	2.92	2.19
Du	13.81	10.35	18.50	13.88

**Tabla D9**

*Desplazamientos espectrales, módulo de cirugía*

	<b>Desplazamiento X-X (mm)</b>	<b>Desplazamiento espectral X-X (mm)</b>	<b>Desplazamiento Y-Y (mm)</b>	<b>Desplazamiento espectral Y-Y (mm)</b>
Dy	4.83	3.62	1.76	1.32
Du	26.60	19.95	13.25	9.94

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD  
DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

**Tabla D10**

*Desplazamientos espectrales, módulo de medicina general*

	<b>Desplazamiento X-X (mm)</b>	<b>Desplazamiento espectral X-X (mm)</b>	<b>Desplazamiento Y-Y (mm)</b>	<b>Desplazamiento espectral Y-Y (mm)</b>
Dy	14.18	10.63	1.71	1.28
Du	65.00	48.75	16.25	12.19

Finalmente, en la Tabla D11, Tabla D12, Tabla D13 y Tabla D14 se calcularon los umbrales de daño “ $\bar{S}d$ ” en ambas orientaciones de análisis de los cuatro módulos seleccionados del hospital La Caleta según las ecuaciones de la Tabla D1.

**Tabla D11**

*Umbrales de daño, módulo de emergencia*

<b>Estado de daño</b>	<b><math>\bar{S}d</math> (mm) orientación “X”</b>		<b><math>\bar{S}d</math> (mm) orientación “Y”</b>	
Ligero	$\bar{S}d_{1X}$	1.340	$\bar{S}d_{1Y}$	3.189
Moderado	$\bar{S}d_{2X}$	1.915	$\bar{S}d_{2Y}$	4.556
Extensivo	$\bar{S}d_{3X}$	4.505	$\bar{S}d_{3Y}$	15.792
Completo	$\bar{S}d_{4X}$	12.274	$\bar{S}d_{4Y}$	49.500

**Tabla D12**

*Umbrales de daño, módulo de anestesiología*

<b>Estado de daño</b>	<b><math>\bar{S}d</math> (mm) orientación “X”</b>		<b><math>\bar{S}d</math> (mm) orientación “Y”</b>	
Ligero	$\bar{S}d_{1X}$	1.028	$\bar{S}d_{1Y}$	1.531
Moderado	$\bar{S}d_{2X}$	1.469	$\bar{S}d_{2Y}$	2.188
Extensivo	$\bar{S}d_{3X}$	3.690	$\bar{S}d_{3Y}$	5.109
Completo	$\bar{S}d_{4X}$	10.354	$\bar{S}d_{4Y}$	13.875

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD  
DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

**Tabla D13**

*Umbrales de daño, módulo de cirugía*

Estado de daño	$\bar{S}d$ (mm) orientación "X"		$\bar{S}d$ (mm) orientación "Y"	
Ligero	$\bar{S}d_{1X}$	2.534	$\bar{S}d_{1Y}$	0.926
Moderado	$\bar{S}d_{2X}$	3.620	$\bar{S}d_{2Y}$	1.322
Extensivo	$\bar{S}d_{3X}$	7.702	$\bar{S}d_{3Y}$	3.476
Completo	$\bar{S}d_{4X}$	19.950	$\bar{S}d_{4Y}$	9.937

**Tabla D14**

*Umbrales de daño, módulo de medicina general*

Estado de daño	$\bar{S}d$ (mm) orientación "X"		$\bar{S}d$ (mm) orientación "Y"	
Ligero	$\bar{S}d_{1X}$	7.443	$\bar{S}d_{1Y}$	0.896
Moderado	$\bar{S}d_{2X}$	10.634	$\bar{S}d_{2Y}$	1.280
Extensivo	$\bar{S}d_{3X}$	20.163	$\bar{S}d_{3Y}$	4.007
Completo	$\bar{S}d_{4X}$	48.750	$\bar{S}d_{4Y}$	12.188

**1.1.2. Cálculo de las Desviaciones Estándar Lognormales "βds"**

A continuación, en la Tabla D15, Tabla D16, Tabla D17 y Tabla D18 se determinaron las desviaciones estándar lognormales "βds" en ambas orientaciones de análisis de los cuatro módulos seleccionados del hospital La Caleta en función de la ductilidad última "μu" según las ecuaciones de la Tabla D2.

**Tabla D15**

*Desviaciones estándar lognormales, módulo de emergencia*

Estado de daño	Orientación "X"		Orientación "Y"	
Ligero	$\beta ds_{1X}$	0.380	$\beta ds_{1Y}$	0.417
Moderado	$\beta ds_{2X}$	0.534	$\beta ds_{2Y}$	0.629
Extensivo	$\beta ds_{3X}$	0.843	$\beta ds_{3Y}$	1.054
Completo	$\beta ds_{4X}$	1.079	$\beta ds_{4Y}$	1.343

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD  
DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

**Tabla D16**

*Desviaciones estándar lognormales, módulo de anestesiología*

<b>Estado de daño</b>	<b>Orientación "X"</b>		<b>Orientación "Y"</b>	
Ligero	$\beta ds_{1X}$	0.387	$\beta ds_{1Y}$	0.379
Moderado	$\beta ds_{2X}$	0.552	$\beta ds_{2Y}$	0.533
Extensivo	$\beta ds_{3X}$	0.881	$\beta ds_{3Y}$	0.839
Completo	$\beta ds_{4X}$	1.127	$\beta ds_{4Y}$	1.074

**Tabla D17**

*Desviaciones estándar lognormales, módulo de cirugía*

<b>Estado de daño</b>	<b>Orientación "X"</b>		<b>Orientación "Y"</b>	
Ligero	$\beta ds_{1X}$	0.369	$\beta ds_{1Y}$	0.391
Moderado	$\beta ds_{2X}$	0.507	$\beta ds_{2Y}$	0.563
Extensivo	$\beta ds_{3X}$	0.783	$\beta ds_{3Y}$	0.907
Completo	$\beta ds_{4X}$	1.003	$\beta ds_{4Y}$	1.158

**Tabla D18**

*Desviaciones estándar lognormales, módulo de medicina general*

<b>Estado de daño</b>	<b>Orientación "X"</b>		<b>Orientación "Y"</b>	
Ligero	$\beta ds_{1X}$	0.357	$\beta ds_{1Y}$	0.408
Moderado	$\beta ds_{2X}$	0.474	$\beta ds_{2Y}$	0.606
Extensivo	$\beta ds_{3X}$	0.709	$\beta ds_{3Y}$	1.002
Completo	$\beta ds_{4X}$	0.911	$\beta ds_{4Y}$	1.277

## 1.2. Generación de Curvas de Fragilidad

Una vez obtenidas las medianas “ $\bar{S}_d$ ” y las desviaciones estándar lognormales “ $\beta_{ds}$ ” del espectro de desplazamiento para cada estado de daño, se generaron las curvas de fragilidad de los cuatro módulos de estudio del hospital La Caleta mediante la expresión propuesta por FEMA en 2003.

$$P[ds/S_d] = \Phi \left[ \frac{1}{\beta_{ds}} \ln \left( \frac{S_d}{\bar{S}_d, ds} \right) \right]$$

Donde:

$\bar{S}_d, ds$  = Mediana del desplazamiento espectral en el que el edificio alcanza el límite de estado de daño,  $ds$ .

$\beta_{ds}$  = Desviación estándar del logaritmo natural del espectro de desplazamiento por estado de daño,  $ds$ .

$\Phi$  = Función de distribución acumulativa normal estándar.

## 1.3. Daño Global Esperado del Hospital La Caleta

Según Vargas et al. (2013), nos comentan que a partir de las probabilidades de ocurrencia de cada estado de daño  $P(dsi)$  que, al mismo tiempo, se obtienen fácilmente a partir de las curvas de fragilidad, se puede calcular el índice de daño esperado “ID”, que es el estado de daño medio normalizado y puede interpretarse como una medida del daño global esperado en la estructura.

$$ID = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n i P(dsi)$$

Donde:

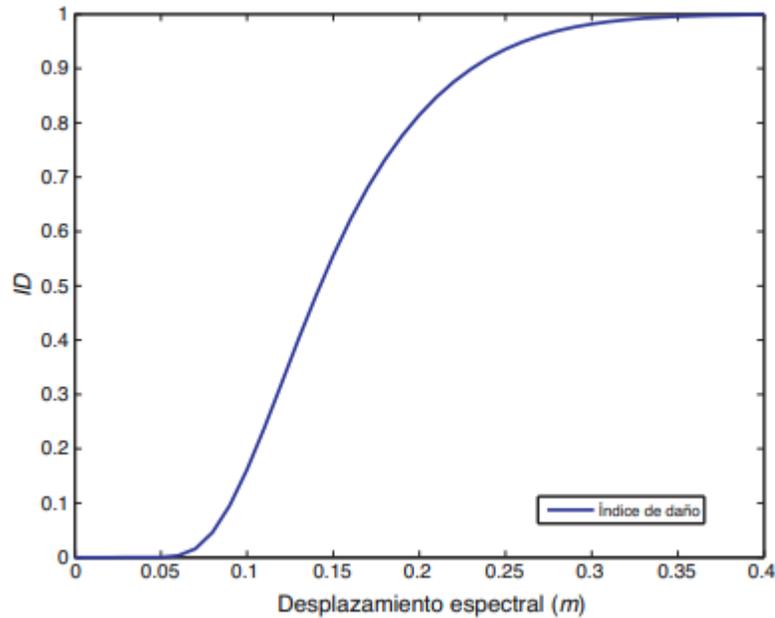
$n$  = Es el número de estados de daño considerados.

$P(dsi)$  = Es la probabilidad de que ocurra un  $ds_i$ .

A continuación, en la Figura D6 se puede apreciar el “ID” calculado con el enfoque determinista, a partir de las curvas de fragilidad y los desplazamientos espectrales. Así mismo, la curva de la Figura D6 puede interpretarse como una curva de vulnerabilidad.

### **Figura D6**

*Índice de daño esperado calculado con el enfoque determinista*



*Nota.* Tomado de “Evaluación probabilista de la capacidad, fragilidad y daño sísmico de edificios de hormigón armado”, por Vargas et al., 2013.

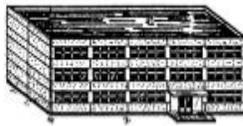
### **1.4. Clasificación del Daño**

Por otra parte, en la Tabla D19 se propuso una relación entre los estados de daño definidos en RISK-UE y la clasificación EMS-98 con los rangos de daño propuestos por el ATC-13, la cual fue adaptada para el presente trabajo de investigación, con la finalidad de poder clasificar de una mejor forma los daños globales esperados de los cuatro módulos de estudio del hospital La Caleta.

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD  
DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

**Tabla D19**

*Relación entre los estados de daño RISK-UE y clasificación EMS-98*

Estados de daño RISK-UE		Clasificación EMS-98		Rango de daño (%) ATC-13
		Albañilería	Concreto	
Sin Daño	GD1			0-10%
Daño Ligero	GD2			10-30%
Daño Moderado	GD3			30-60%
Daño Extensivo	GD4			60-100%
Daño Completo	GD5			100%

*Nota.* Adaptado de “Vulnerabilidad sísmica de edificios construidos antes de 1985 en la ciudad de México a raíz del sismo del 19 de septiembre de 2017”, por De Anda,2020.

# **Apéndice E: Costos de Reparación**

## **Apéndice E. Costos de Reparación**

Se buscó complementar en el presente trabajo de investigación titulado "Análisis de vulnerabilidad sísmica estructural mediante curvas de fragilidad del hospital La Caleta de la ciudad de Chimbote – 2022" con la estimación de los costos de reparación de los módulos de emergencia, anestesiología, cirugía y medicina general bajo diferentes niveles de movimiento sísmico.

### **1.1. Importancia**

La importancia de la estimación de los costos de reparación después de un movimiento sísmico permite a las autoridades y dirigentes del hospital "La Caleta" a tomar decisiones informadas sobre las inversiones necesarias para garantizar la resiliencia de los módulos que forman parte de dicho conjunto estructural. Estos costos estimados en el presente apartado solo incluyen reparaciones estructurales, no se tuvo en cuenta los costos por reparaciones no estructurales y de contenido.

### **1.2. Metodología**

La metodología empleada para la estimación de los costos de reparación en el presente trabajo se basó en las curvas de fragilidad desarrolladas para los cuatro módulos de estudio del hospital "La Caleta" mediante el Proyecto RISK-UE. Estas curvas representaron la probabilidad de que un módulo de estudio alcance o supere un estado de daño específico bajo diferentes niveles de movimiento sísmico. Para lo cual se tuvo en cuenta lo siguiente:

#### ***1.2.1. Análisis Estructural***

Determinar la respuesta estructural de los módulos de estudio bajo diferentes niveles de movimiento sísmico mediante un software de análisis estructural.

### ***1.2.2. Curvas de Fragilidad***

Generar curvas de fragilidad que correlacionen los niveles de movimiento sísmico con las probabilidades para cada estado de daño.

### ***1.2.3. Estimación de Costos***

Asignar costos a cada estado de daño considerando las reparaciones necesarias para restaurar la funcionalidad de los módulos de estudio del hospital “La Caleta”.

## **1.3. Porcentajes de Daño**

Estos porcentajes de daño fueron calculados en base a las curvas de fragilidad generadas para los cuatro módulos de estudio, para lo cual se tuvo en cuenta tres niveles de movimiento sísmico (frecuente, ocasional y raro). Primeramente, se determinó las probabilidades para los diversos estados de daño (sin daño, ligero, moderado, extensivo y completo) y los factores centrales de daño (FCD) según la Tabla D19, el producto de ambos nos permitió calcular el Factor de Daño Medio (FDM). Así mismo, estos FDM representan la cantidad de daño expresada en un porcentaje (%) del costo total de reposición (solo estructural) de una edificación nueva. Por último, estos FDM permitieron estimar el costo de reparación de cada módulo de estudio mediante el producto de dichos factores (FDM) por el área total construida, número de pisos y por el costo unitario de reparación (estructural). Cabe señalar que este costo unitario aproximado para un hospital Categoría Nivel II-2 es de S/15,000.00 por m<sup>2</sup>.

## **1.4. Costos de reparación del hospital “La Caleta”**

A continuación, se calcularon los factores de daño medio (FDM) y los costos de reparación estimados para los cuatro módulos de estudio del hospital “La Caleta” bajo los niveles de movimiento sísmico frecuente, ocasional y raro.

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD  
DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

**1.4.1. Departamento de Emergencia**

**Tabla E1**

*FDM para el módulo de emergencia dirección "X", sismo frecuente*

<b>Daño RISK-UE</b>	<b>Daño EMS-98</b>	<b>Probabilidad (%)</b>	<b>FCD (%) ATC-13</b>	<b>FDM (%)</b>
SIN DAÑO	GD1	0.35	5	0.02
LIGERO	GD2	10.16	20	2.03
MODERADO	GD3	48.21	45	21.70
EXTENSIVO	GD4	27.74	80	22.19
COMPLETO	GD5	13.54	100	13.54
			<b>Σ</b>	<b>59.48</b>

**Tabla E2**

*FDM para el módulo de emergencia dirección "Y", sismo frecuente*

<b>Daño RISK-UE</b>	<b>Daño EMS-98</b>	<b>Probabilidad (%)</b>	<b>FCD (%) ATC-13</b>	<b>FDM (%)</b>
SIN DAÑO	GD1	0.00	5	0.00
LIGERO	GD2	0.12	20	0.02
MODERADO	GD3	26.03	45	11.71
EXTENSIVO	GD4	37.51	80	30.01
COMPLETO	GD5	36.35	100	36.35
			<b>Σ</b>	<b>78.09</b>

De la Tabla E1 y Tabla E2 permiten afirmar que el departamento de “Emergencia” estaría comprometido con un FDM del 59.48% (dirección X) y 78.09% (dirección Y) ante un movimiento sísmico frecuente.

**Tabla E3**

*Costos de reparación estimados para el módulo de emergencia, sismo frecuente*

<b>Módulo</b>	<b>Dir. Análisis</b>	<b>FDM (%)</b>	<b>Área (m2)</b>	<b>Pisos</b>	<b>S/.m2</b>	<b>Costo (S/.)</b>
Emergencia	X	59.48	170.86	2	15,000	S/ 3,048,770.53
Emergencia	Y	78.09	170.86	2	15,000	S/ 4,002,755.65

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD  
DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

**Tabla E4**

*FDM para el módulo de emergencia dirección "X", sismo ocasional*

<b>Daño RISK-UE</b>	<b>Daño EMS-98</b>	<b>Probabilidad (%)</b>	<b>FCD (%) ATC-13</b>	<b>FDM (%)</b>
SIN DAÑO	GD1	0.02	5	0.00
LIGERO	GD2	3.44	20	0.69
MODERADO	GD3	41.09	45	18.49
EXTENSIVO	GD4	34.89	80	27.91
COMPLETO	GD5	20.55	100	20.55
			<b>Σ</b>	<b>67.65</b>

**Tabla E5**

*FDM para el módulo de emergencia dirección "Y", sismo ocasional*

<b>Daño RISK-UE</b>	<b>Daño EMS-98</b>	<b>Probabilidad (%)</b>	<b>FCD (%) ATC-13</b>	<b>FDM (%)</b>
SIN DAÑO	GD1	0.00	5	0.00
LIGERO	GD2	0.02	20	0.00
MODERADO	GD3	17.38	45	7.82
EXTENSIVO	GD4	37.14	80	29.71
COMPLETO	GD5	45.46	100	45.46
			<b>Σ</b>	<b>83.00</b>

De la Tabla E4 y Tabla E5 permiten afirmar que el departamento de “Emergencia” estaría comprometido con un FDM del 67.65% (dirección X) y 83.00% (dirección Y) ante un movimiento sísmico ocasional.

**Tabla E6**

*Costos de reparación estimados para el módulo de emergencia, sismo ocasional*

<b>Módulo</b>	<b>Dir. Análisis</b>	<b>FDM (%)</b>	<b>Área (m2)</b>	<b>Pisos</b>	<b>S/.m2</b>	<b>Costo (S/.)</b>
Emergencia	X	67.65	170.86	2	15,000	S/ 3,467,465.48
Emergencia	Y	83.00	170.86	2	15,000	S/ 4,254,282.04

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD  
DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

**Tabla E7**

*FDM para el módulo de emergencia dirección "X", sismo raro*

<b>Daño RISK-UE</b>	<b>Daño EMS-98</b>	<b>Probabilidad (%)</b>	<b>FCD (%) ATC-13</b>	<b>FDM (%)</b>
SIN DAÑO	GD1	0.00	5	0.00
LIGERO	GD2	0.00	20	0.00
MODERADO	GD3	0.00	45	0.00
EXTENSIVO	GD4	0.00	80	0.00
COMPLETO	GD5	100.00	100	100.00
			<b>Σ</b>	<b>100.00</b>

**Tabla E8**

*FDM para el módulo de emergencia dirección "Y", sismo raro*

<b>Daño RISK-UE</b>	<b>Daño EMS-98</b>	<b>Probabilidad (%)</b>	<b>FCD (%) ATC-13</b>	<b>FDM (%)</b>
SIN DAÑO	GD1	0.00	5	0.00
LIGERO	GD2	0.00	20	0.00
MODERADO	GD3	0.00	45	0.00
EXTENSIVO	GD4	0.00	80	0.00
COMPLETO	GD5	100.00	100	100.00
			<b>Σ</b>	<b>100.00</b>

De la Tabla E7 y Tabla E8 permiten afirmar que el departamento de “Emergencia” estaría comprometido con un FDM del 100.00% (dirección X) y 100.00% (dirección Y) ante un movimiento sísmico raro.

**Tabla E9**

*Costos de reparación estimados para el módulo de emergencia, sismo raro*

<b>Módulo</b>	<b>Dir. Análisis</b>	<b>FDM (%)</b>	<b>Área (m2)</b>	<b>Pisos</b>	<b>S/.m2</b>	<b>Costo (S/.)</b>
Emergencia	X	100.00	170.86	2	15,000	S/ 5,125,800.00
Emergencia	Y	100.00	170.86	2	15,000	S/ 5,125,800.00

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD  
DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

**1.4.2. Departamento de Anestesiología y Centro Quirúrgico**

**Tabla E10**

*FDM para el módulo de anestesiología dirección "X", sismo frecuente*

<b>Daño RISK-UE</b>	<b>Daño EMS-98</b>	<b>Probabilidad (%)</b>	<b>FCD (%) ATC-13</b>	<b>FDM (%)</b>
SIN DAÑO	GD1	0.28	5	0.01
LIGERO	GD2	9.42	20	1.88
MODERADO	GD3	49.50	45	22.27
EXTENSIVO	GD4	27.19	80	21.75
COMPLETO	GD5	13.61	100	13.61
			<b>Σ</b>	<b>59.54</b>

**Tabla E11**

*FDM para el módulo de anestesiología dirección "Y", sismo frecuente*

<b>Daño RISK-UE</b>	<b>Daño EMS-98</b>	<b>Probabilidad (%)</b>	<b>FCD (%) ATC-13</b>	<b>FDM (%)</b>
SIN DAÑO	GD1	0.41	5	0.02
LIGERO	GD2	10.84	20	2.17
MODERADO	GD3	48.27	45	21.72
EXTENSIVO	GD4	27.31	80	21.85
COMPLETO	GD5	13.16	100	13.16
			<b>Σ</b>	<b>58.92</b>

De la Tabla E10 y Tabla E11 permiten afirmar que el departamento de “Anestesiología” estaría comprometido con un FDM del 59.54% (dirección X) y 58.92% (dirección Y) ante un movimiento sísmico frecuente.

**Tabla E12**

*Costos de reparación estimados para el módulo de anestesiología, sismo frecuente*

<b>Módulo</b>	<b>Dir. Análisis</b>	<b>FDM (%)</b>	<b>Área (m2)</b>	<b>Pisos</b>	<b>S/.m2</b>	<b>Costo (S/.)</b>
Anestesiología	X	59.54	96.20	1	15,000	S/ 859,129.97
Anestesiología	Y	58.92	96.20	1	15,000	S/ 850,262.93

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

**Tabla E13**

*FDM para el módulo de anestesiología dirección "X", sismo ocasional*

<b>Daño RISK-UE</b>	<b>Daño EMS-98</b>	<b>Probabilidad (%)</b>	<b>FCD (%) ATC-13</b>	<b>FDM (%)</b>
SIN DAÑO	GD1	0.02	5	0.00
LIGERO	GD2	3.59	20	0.72
MODERADO	GD3	43.22	45	19.45
EXTENSIVO	GD4	33.50	80	26.80
COMPLETO	GD5	19.66	100	19.66
			<b>Σ</b>	<b>66.63</b>

**Tabla E14**

*FDM para el módulo de anestesiología dirección "Y", sismo ocasional*

<b>Daño RISK-UE</b>	<b>Daño EMS-98</b>	<b>Probabilidad (%)</b>	<b>FCD (%) ATC-13</b>	<b>FDM (%)</b>
SIN DAÑO	GD1	0.17	5	0.01
LIGERO	GD2	7.72	20	1.54
MODERADO	GD3	46.67	45	21.00
EXTENSIVO	GD4	30.05	80	24.04
COMPLETO	GD5	15.38	100	15.38
			<b>Σ</b>	<b>61.98</b>

De la Tabla E13 y Tabla E14 permiten afirmar que el departamento de “Anestesiología” estaría comprometido con un FDM del 66.63% (dirección X) y 61.98% (dirección Y) ante un movimiento sísmico ocasional.

**Tabla E15**

*Costos de reparación estimados para el módulo de anestesiología, sismo ocasional*

<b>Módulo</b>	<b>Dir. Análisis</b>	<b>FDM (%)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Pisos</b>	<b>S/.m<sup>2</sup></b>	<b>Costo (S/.)</b>
Anestesiología	X	66.63	96.20	1	15,000	S/ 961,486.83
Anestesiología	Y	61.98	96.20	1	15,000	S/ 894,332.40

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

**Tabla E16**

*FDM para el módulo de anestesiología dirección "X", sismo raro*

<b>Daño RISK-UE</b>	<b>Daño EMS-98</b>	<b>Probabilidad (%)</b>	<b>FCD (%) ATC-13</b>	<b>FDM (%)</b>
SIN DAÑO	GD1	0.00	5	0.00
LIGERO	GD2	0.00	20	0.00
MODERADO	GD3	0.00	45	0.00
EXTENSIVO	GD4	0.00	80	0.00
COMPLETO	GD5	100.00	100	100.00
			<b>Σ</b>	<b>100.00</b>

**Tabla E17**

*FDM para el módulo de anestesiología dirección "Y", sismo raro*

<b>Daño RISK-UE</b>	<b>Daño EMS-98</b>	<b>Probabilidad (%)</b>	<b>FCD (%) ATC-13</b>	<b>FDM (%)</b>
SIN DAÑO	GD1	0.00	5	0.000
LIGERO	GD2	0.00	20	0.000
MODERADO	GD3	0.00	45	0.000
EXTENSIVO	GD4	0.00	80	0.000
COMPLETO	GD5	100.00	100	100.000
			<b>Σ</b>	<b>100.000</b>

De la Tabla E16 y Tabla E17 permiten afirmar que el departamento de “Anestesiología” estaría comprometido con un FDM del 100.00% (dirección X) y 100.00% (dirección Y) ante un movimiento sísmico raro.

**Tabla E18**

*Costos de reparación estimados para el módulo de anestesiología, sismo raro*

<b>Módulo</b>	<b>Dir. Análisis</b>	<b>FDM (%)</b>	<b>Área (m2)</b>	<b>Pisos</b>	<b>S/.m2</b>	<b>Costo (S/.)</b>
Anestesiología	X	100.00	96.20	1	15,000	S/ 1,443,000.00
Anestesiología	Y	100.00	96.20	1	15,000	S/ 1,443,000.00

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD  
DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

**1.4.3. Internados de Cirugía**

**Tabla E19**

*FDM para el módulo de cirugía dirección "X", sismo frecuente*

<b>Daño RISK-UE</b>	<b>Daño EMS-98</b>	<b>Probabilidad (%)</b>	<b>FCD (%) ATC-13</b>	<b>FDM (%)</b>
SIN DAÑO	GD1	5.60	5	0.28
LIGERO	GD2	26.88	20	5.38
MODERADO	GD3	42.39	45	19.08
EXTENSIVO	GD4	18.07	80	14.46
COMPLETO	GD5	7.06	100	7.06
			<b>Σ</b>	<b>46.25</b>

**Tabla E20**

*FDM para el módulo de cirugía dirección "Y", sismo frecuente*

<b>Daño RISK-UE</b>	<b>Daño EMS-98</b>	<b>Probabilidad (%)</b>	<b>FCD (%) ATC-13</b>	<b>FDM (%)</b>
SIN DAÑO	GD1	0.85	5	0.04
LIGERO	GD2	14.42	20	2.88
MODERADO	GD3	51.35	45	23.11
EXTENSIVO	GD4	22.69	80	18.15
COMPLETO	GD5	10.70	100	10.70
			<b>Σ</b>	<b>54.88</b>

De la Tabla E19 y Tabla E20 permiten afirmar que el departamento de “Cirugía” estaría comprometido con un FDM del 46.25% (dirección X) y 54.88% (dirección Y) ante un movimiento sísmico frecuente.

**Tabla E21**

*Costos de reparación estimados para el módulo de anestesiología, sismo frecuente*

<b>Módulo</b>	<b>Dir. Análisis</b>	<b>FDM (%)</b>	<b>Área (m2)</b>	<b>Pisos</b>	<b>S/.m2</b>	<b>Costo (S/.)</b>
Cirugía	X	46.25	248.32	1	15,000	S/ 1,722,667.27
Cirugía	Y	54.88	248.32	1	15,000	S/ 2,044,146.18

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

**Tabla E22**

*FDM para el módulo de cirugía dirección "X", sismo ocasional*

Daño RISK-UE	Daño EMS-98	Probabilidad (%)	FCD (%) ATC-13	FDM (%)
SIN DAÑO	GD1	1.30	5	0.06
LIGERO	GD2	16.60	20	3.32
MODERADO	GD3	46.50	45	20.92
EXTENSIVO	GD4	24.79	80	19.83
COMPLETO	GD5	10.82	100	10.82
			$\Sigma$	54.96

**Tabla E23**

*FDM para el módulo de cirugía dirección "Y", sismo ocasional*

Daño RISK-UE	Daño EMS-98	Probabilidad (%)	FCD (%) ATC-13	FDM (%)
SIN DAÑO	GD1	0.06	5	0.00
LIGERO	GD2	5.27	20	1.05
MODERADO	GD3	47.22	45	21.25
EXTENSIVO	GD4	30.51	80	24.41
COMPLETO	GD5	16.93	100	16.93
			$\Sigma$	63.65

De la Tabla E22 y Tabla E23 permiten afirmar que el departamento de “Cirugía” estaría comprometido con un FDM del 54.96% (dirección X) y 63.65% (dirección Y) ante un movimiento sísmico ocasional.

**Tabla E24**

*Costos de reparación estimados para el módulo de anestesiología, sismo ocasional*

Módulo	Dir. Análisis	FDM (%)	Área (m2)	Pisos	S/.m2	Costo (S/.)
Cirugía	X	54.96	248.32	1	15,000	S/ 2,047,135.71
Cirugía	Y	63.65	248.32	1	15,000	S/ 2,370,801.70

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD  
DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

**Tabla E25**

*FDM para el módulo de cirugía dirección "X", sismo raro*

<b>Daño RISK-UE</b>	<b>Daño EMS-98</b>	<b>Probabilidad (%)</b>	<b>FCD (%) ATC-13</b>	<b>FDM (%)</b>
SIN DAÑO	GD1	0.00	5	0.00
LIGERO	GD2	0.11	20	0.02
MODERADO	GD3	15.26	45	6.87
EXTENSIVO	GD4	40.68	80	32.54
COMPLETO	GD5	43.96	100	43.96
			<b>Σ</b>	<b>83.39</b>

**Tabla E26**

*FDM para el módulo de cirugía dirección "Y", sismo raro*

<b>Daño RISK-UE</b>	<b>Daño EMS-98</b>	<b>Probabilidad (%)</b>	<b>FCD (%) ATC-13</b>	<b>FDM (%)</b>
SIN DAÑO	GD1	0.00	5	0.00
LIGERO	GD2	0.01	20	0.00
MODERADO	GD3	11.38	45	5.12
EXTENSIVO	GD4	37.12	80	29.70
COMPLETO	GD5	51.49	100	51.49
			<b>Σ</b>	<b>86.31</b>

De la Tabla E25 y Tabla E26 permiten afirmar que el departamento de “Cirugía” estaría comprometido con un FDM del 83.39% (dirección X) y 86.31% (dirección Y) ante un movimiento sísmico raro.

**Tabla E27**

*Costos de reparación estimados para el módulo de anestesiología, sismo raro*

<b>Módulo</b>	<b>Dir. Análisis</b>	<b>FDM (%)</b>	<b>Área (m2)</b>	<b>Pisos</b>	<b>S/.m2</b>	<b>Costo (S/.)</b>
Cirugía	X	83.39	248.32	1	15,000	S/ 3,105,901.55
Cirugía	Y	86.31	248.32	1	15,000	S/ 3,214,770.20

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD  
DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

**1.4.4. Pediatría y Medicina General**

**Tabla E28**

*FDM para el módulo de medicina general dirección "X", sismo frecuente*

<b>Daño RISK-UE</b>	<b>Daño EMS-98</b>	<b>Probabilidad (%)</b>	<b>FCD (%) ATC-13</b>	<b>FDM (%)</b>
SIN DAÑO	GD1	13.55	5	0.68
LIGERO	GD2	33.44	20	6.69
MODERADO	GD3	33.30	45	14.98
EXTENSIVO	GD4	14.58	80	11.66
COMPLETO	GD5	5.14	100	5.14
			<b>Σ</b>	<b>39.15</b>

**Tabla E29**

*FDM para el módulo de medicina general dirección "Y", sismo frecuente*

<b>Daño RISK-UE</b>	<b>Daño EMS-98</b>	<b>Probabilidad (%)</b>	<b>FCD (%) ATC-13</b>	<b>FDM (%)</b>
SIN DAÑO	GD1	37.90	5	1.90
LIGERO	GD2	26.95	20	5.39
MODERADO	GD3	26.61	45	11.98
EXTENSIVO	GD4	5.95	80	4.76
COMPLETO	GD5	2.58	100	2.58
			<b>Σ</b>	<b>26.60</b>

De la Tabla E28 y Tabla E29 permiten afirmar que el departamento de “Medicina general” estaría comprometido con un FDM del 39.15% (dirección X) y 26.60% (dirección Y) ante un movimiento sísmico frecuente.

**Tabla E30**

*Costos de reparación estimados para el módulo de medicina general, sismo frecuente*

<b>Módulo</b>	<b>Dir. Análisis</b>	<b>FDM (%)</b>	<b>Área (m2)</b>	<b>Pisos</b>	<b>S/.m2</b>	<b>Costo (S/.)</b>
M. general	X	39.15	488.00	1	15,000	S/ 2,865,657.43
M. general	Y	26.60	488.00	1	15,000	S/ 1,947,192.11

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD  
DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

**Tabla E31**

*FDM para el módulo de medicina general dirección "X", sismo ocasional*

Daño RISK-UE	Daño EMS-98	Probabilidad (%)	FCD (%) ATC-13	FDM (%)
SIN DAÑO	GD1	4.55	5	0.23
LIGERO	GD2	25.64	20	5.13
MODERADO	GD3	40.88	45	18.40
EXTENSIVO	GD4	20.87	80	16.70
COMPLETO	GD5	8.06	100	8.06
			$\Sigma$	48.51

**Tabla E32**

*FDM para el módulo de medicina general dirección "Y", sismo ocasional*

Daño RISK-UE	Daño EMS-98	Probabilidad (%)	FCD (%) ATC-13	FDM (%)
SIN DAÑO	GD1	17.11	5	0.86
LIGERO	GD2	30.87	20	6.17
MODERADO	GD3	38.64	45	17.39
EXTENSIVO	GD4	9.29	80	7.43
COMPLETO	GD5	4.08	100	4.08
			$\Sigma$	35.93

De la Tabla E31 y Tabla E32 permiten afirmar que el departamento de “Medicina general” estaría comprometido con un FDM del 48.51% (dirección X) y 35.93% (dirección Y) ante un movimiento sísmico ocasional.

**Tabla E33**

*Costos de reparación estimados para el módulo de medicina general, sismo ocasional*

Módulo	Dir. Análisis	FDM (%)	Área (m <sup>2</sup> )	Pisos	S/.m <sup>2</sup>	Costo (S/.)
M. general	X	48.51	488.00	1	15,000	S/ 3,551,079.52
M. general	Y	35.93	488.00	1	15,000	S/ 2,630,256.61

**"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD  
DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"**

**Tabla E34**

*FDM para el módulo de medicina general dirección "X", sismo raro*

<b>Daño RISK-UE</b>	<b>Daño EMS-98</b>	<b>Probabilidad (%)</b>	<b>FCD (%) ATC-13</b>	<b>FDM (%)</b>
SIN DAÑO	GD1	0.00	5	0.00
LIGERO	GD2	0.94	20	0.19
MODERADO	GD3	24.30	45	10.93
EXTENSIVO	GD4	42.12	80	33.69
COMPLETO	GD5	32.64	100	32.64
			<b>Σ</b>	<b>77.46</b>

**Tabla E35**

*FDM para el módulo de medicina general dirección "Y", sismo raro*

<b>Daño RISK-UE</b>	<b>Daño EMS-98</b>	<b>Probabilidad (%)</b>	<b>FCD (%) ATC-13</b>	<b>FDM (%)</b>
SIN DAÑO	GD1	0.00	5	0.00
LIGERO	GD2	1.69	20	0.34
MODERADO	GD3	42.62	45	19.18
EXTENSIVO	GD4	33.29	80	26.64
COMPLETO	GD5	22.39	100	22.39
			<b>Σ</b>	<b>68.54</b>

De la Tabla E34 y Tabla E35 permiten afirmar que el departamento de “Medicina general” estaría comprometido con un FDM del 77.46% (dirección X) y 68.54% (dirección Y) ante un movimiento sísmico raro.

**Tabla E36**

*Costos de reparación estimados para el módulo de medicina general, sismo raro*

<b>Módulo</b>	<b>Dir. Análisis</b>	<b>FDM (%)</b>	<b>Área (m2)</b>	<b>Pisos</b>	<b>S/.m2</b>	<b>Costo (S/.)</b>
M. general	X	77.46	488.00	1	15,000	S/ 5,669,750.17
M. general	Y	68.54	488.00	1	15,000	S/ 5,017,492.77

# Anexos

**Índice de Anexos**

Anexo 1. Resumen Fotográfico .....	243
Anexo 2. Resultados de Prismas Diamantinos .....	256
Anexo 3. Planos del hospital "La Caleta" .....	258

**Anexo 1:  
Resumen  
Fotográfico**

Anexo 1. Resumen Fotográfico

Departamento de Emergencia



Foto N° 01: Fachada del departamento de Emergencia



Foto N° 02: Ambientes interiores del primer piso del departamento de Emergencia

"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"



*Foto N° 03:* Ambientes interiores del segundo piso del departamento de Emergencia



*Foto N° 04:* Parte externa del departamento de Emergencia

"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"



*Foto N° 05:* Presencia de fisuras en techos, así mismo, desprendimiento del recubrimiento y exposición del acero tanto en vigas como en viguetas los cuales se encuentran totalmente oxidados



*Foto N° 06:* Medición perimetral del techo y elementos estructurales del departamento de Emergencia, así mismo, se observa el mal estado en el que se encuentra el techo

**Departamento de Anestesiología y Centro Quirúrgico**



*Foto N° 07:* Fachada del departamento de Anestesiología y Centro Quirúrgico



*Foto N° 08:* Ambientes interiores del departamento de Anestesiología y Centro Quirúrgico

"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"



Foto N° 09: Parte externa del departamento de Anestesiología y Centro Quirúrgico



Foto N° 10: Se observa el desprendimiento del recubrimiento y exposición del acero de refuerzo de las columnas de confinamiento los cuales se encuentran totalmente oxidados



*Foto N° 11:* Sobrecarga de pesos puntuales excéntricos sobre el techo del 1er piso, esto genera efectos de torsión en la estructura.

**Departamento de Internados de Cirugía**



*Foto N° 12:* Fachada del departamento de Internados de Cirugía

"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"





*Foto N° 15:* Se aprecia el ambiente de Cirugía totalmente afectado por el salitre



*Foto N° 16:* Se observa el mal estado de los acabados en el techo

Departamento de Pediatría y Medicina General



*Foto N° 17:* Fachada del departamento de Pediatría y Medicina General



*Foto N° 18:* Ambientes interiores del departamento de Pediatría y Medicina General

"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"



*Foto N° 19:* Parte externa del departamento de Pediatría y Medicina General



*Foto N° 20:* Se aprecia el ambiente de Pediatría y Medicina General afectado por el salitre

"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE-2022"

Scanner para Detectar Aceros



Foto N° 21: Ubicación y cantidad de barras de acero presente en los elementos estructurales

Extracción de Diamantina



Foto N° 22: Extracción de testigos de concreto

**Rotura de Núcleos de Concreto**



*Foto N° 23: Rotura de núcleos en laboratorio*

**Calicatas con Brazo Hidráulico**



*Foto N° 24: Calicatas con barreno muestreador*

# **Anexo 2: Resultados de Prismas Diamantinos**



INFORME

**ENSAYO DE ROTURA DE NUCLEOS DIAMANTINOS**

TESIS: "ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SISMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE - 2022"  
SOLICITA: CUSTODIO TORRES PEDRO - DOMINGUEZ DELGADO DANIEL  
UBICACIÓN: HOSPITAL LA CALETA - CHIMBOTE  
EDIFICIO: INTERNADOS DE CIRUGIA  
FECHA: 10/02/2023

CODIGO: NTP 339.09 2017  
TITULO: HORMIGON (CONCRETO) Metodo de ensayo para el esfuerzo a la compresion de muestras cilindricas de concreto  
Titulo: Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

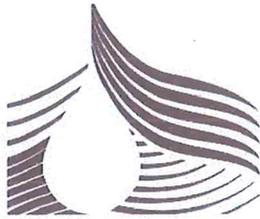
CILINDRO:  
DIAMETRO Variado cm  
LONGITUD Variado cm  
TIPO DE FALLA: COMPRESION AXIAL

N°	DESCRIPCION	Fecha de Extracción	Fecha de Rotura	LONGITUD DE ESPECIMEN	DIAMETRO DE ESPECIMEN	Relación L/D	FACTOR DE CORRECCION	Área de seccion transversal	Carga Máxima (Kg)	Resistencia kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia corregida kg/cm <sup>2</sup>
1	CIR - C1	08/02/2023	10/02/2023	9.052	5.038	1.80	1.0000	19.93	3060	153.50	153.502
2	CIR - C2	08/02/2023	10/02/2023	10.238	5.016	2.04	1.0000	19.76	3480	176.11	176.106
3	CIR - V3	08/02/2023	10/02/2023	9.901	5.031	1.97	1.0000	19.88	2760	138.84	138.838

Nota: Las muestras de núcleos diamantinos fueron extraídas por el personal técnico del laboratorio.



Ing. S. Humberto Eusebio Ramos  
Cip 88150 - C5374  
GEOTECNICA DEL NORTE SAC



INFORME

**ENSAYO DE ROTURA DE NUCLEOS DIAMANTINOS**



TESIS: "ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SISMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE - 2022"  
SOLICITA: CUSTODIO TORRES PEDRO - DOMINGUEZ DELGADO DANIEL  
UBICACIÓN: HOSPITAL LA CALETA - CHIMBOTE  
EDIFICIO: DEPARTAMENTO DE EMERGENCIA PRIMER PISO  
FECHA: 10/02/2023

CODIGO: NTP 339.09 2017  
TITULO: HORMIGON (CONCRETO) Metodo de ensayo para el esfuerzo a la compresion de muestras cilíndricas de concreto  
Titulo: Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

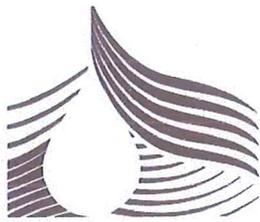
CILINDRO:  
DIAMETRO Variado cm  
LONGITUD Variado cm  
TIPO DE FALLA: COMPRESION AXIAL

N°	DESCRIPCION	Fecha de Extracción	Fecha de Rotura	LONGITUD DE ESPECIMEN	DIAMETRO DE ESPECIMEN	Relación L/D	FACTOR DE CORRECCION	Área de seccion transversal	Carga Máxima (Kg)	Resistencia kg/cm2	Resistencia corregida kg/cm2
1	EM - C1	08/02/2023	10/02/2023	10.070	5.028	2.00	1.0000	19.86	3740	188.36	188.361
2	EM - C2	08/02/2023	10/02/2023	10.490	5.031	2.09	1.0000	19.88	2880	144.87	144.875
3	EM - V3	08/02/2023	10/02/2023	7.741	5.025	1.54	0.9632	19.83	4780	241.03	232.157

Nota: Las muestras de núcleos diamantinos fueron extraídas por el personal técnico del laboratorio.



Ing. S. Humberto Eusebio Ramos  
Cip 88150 - C5374  
GEOTECNICA DEL NORTE SAC



**INFORME**

**ENSAYO DE ROTURA DE NUCLEOS DIAMANTINOS**

TESIS: "ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SISMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE - 2022"  
SOLICITA: CUSTODIO TORRES PEDRO - DOMÍNGUEZ DELGADO DANIEL  
UBICACIÓN: HOSPITAL LA CALETA - CHIMBOTE  
EDIFICIO: DEPARTAMENTO DE ANESTESIOLOGIA Y CENTRO QUIRURGICO  
FECHA: 10/02/2023

CODIGO: NTP 339.09.2017  
TITULO: HORMIGÓN (CONCRETO) Metodo de ensayo para el esfuerzo a la compresion de muestras cilíndricas de concreto  
Titulo: Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

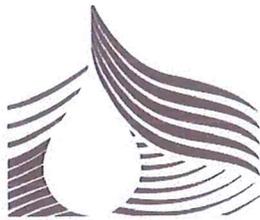
CILINDRO:  
DIAMETRO Variado cm  
LONGITUD Variado cm  
TIPO DE FALLA: COMPRESION AXIAL

N°	DESCRIPCION	Fecha de Extracción	Fecha de Rotura	LONGITUD DE ESPECIMEN	DIAMETRO DE ESPECIMEN	Relación L/D	FACTOR DE CORRECCION	Área de seccion transversal	Carga Máxima (Kg)	Resistencia kg/cm2	Resistencia corregida kg/cm2
1	OP - C1	09/02/2023	10/02/2023	9.633	5.078	1.90	1.0000	20.25	2310	114.06	114.061
2	OP - C2	09/02/2023	10/02/2023	8.921	5.087	1.75	0.9800	20.32	3190	156.96	153.816
3	OP - V3	09/02/2023	10/02/2023	8.312	5.036	1.65	0.9720	19.92	3800	190.77	185.433

Nota: Las muestras de núcleos diamantinos fueron extraídas por el personal técnico del laboratorio.



Ing. S. Humberto Eusebio Ramos  
Cip 88150 - C5374  
GEOTECNICA DEL NORTE SAC



INFORME

ENSAYO DE ROTURA DE NUCLEOS DIAMANTINOS

TESIS: "ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SISMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE - 2022"  
SOLICITA: CUSTODIO TORRES PEDRO - DOMINGUEZ DELGADO DANIEL  
UBICACIÓN: HOSPITAL LA CALETA - CHIMBOTE  
EDIFICIO: MEDICINA GENERAL  
FECHA: 10/02/2023

CODIGO: NTP 339.09 2017  
TITULO: HORMIGON (CONCRETO) Metodo de ensayo para el esfuerzo a la compresion de muestras cilindricas de concreto  
Titulo: Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

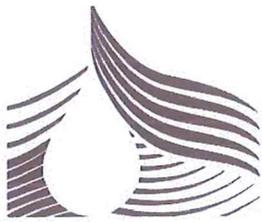
CILINDRO: Variado cm  
DIAMETRO Variado cm  
LONGITUD Variado cm  
TIPO DE FALLA: COMPRESION AXIAL

Nº	DESCRIPCION	Fecha de Extracción	Fecha de Rotura	LONGITUD DE ESPECIMEN	DIAMETRO DE ESPECIMEN	Relación L/D	FACTOR DE CORRECCION	Área de seccion transversal	Carga Máxima (Kg)	Resistencia kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia corregida kg/cm <sup>2</sup>
1	HOP - C1	09/02/2023	10/02/2023	9.121	5.036	1.81	1.0000	19.92	3760	188.77	188.767
2	HOP - C2	09/02/2023	10/02/2023	5.328	5.053	1.05	0.8820	20.05	4433	221.06	194.974
3	HOP - V3	09/02/2023	10/02/2023	10.141	5.045	2.01	1.0000	19.99	3340	167.08	167.083

Nota: Las muestras de núcleos diamantinos fueron extraídas por el personal técnico del laboratorio.



Ing. S. Humberto Eusebio Ramos  
Cip 88150 - C5374  
GEOTECNICA DEL NORTE SAC



**INFORME**

**ENSAYO DE ROTURA DE NUCLEOS DIAMANTINOS**



**TESIS:** "ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SISMICA ESTRUCTURAL MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD DEL HOSPITAL LA CALETA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE - 2022"  
**SOLICITA:** CUSTODIO TORRES PEDRO - DOMINGUEZ DELGADO DANIEL  
**UBICACIÓN:** HOSPITAL LA CALETA - CHIMBOTE  
**EDIFICIO:** DEPARTAMENTO DE EMERGENCIA SEGUNDO PISO  
**FECHA:** 10/02/2023

**CODIGO:** NTP 339.09 2017  
**TITULO:** HORMIGON (CONCRETO) Metodo de ensayo para el esfuerzo a la compresion de muestras cilindricas de concreto  
**Título:** Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

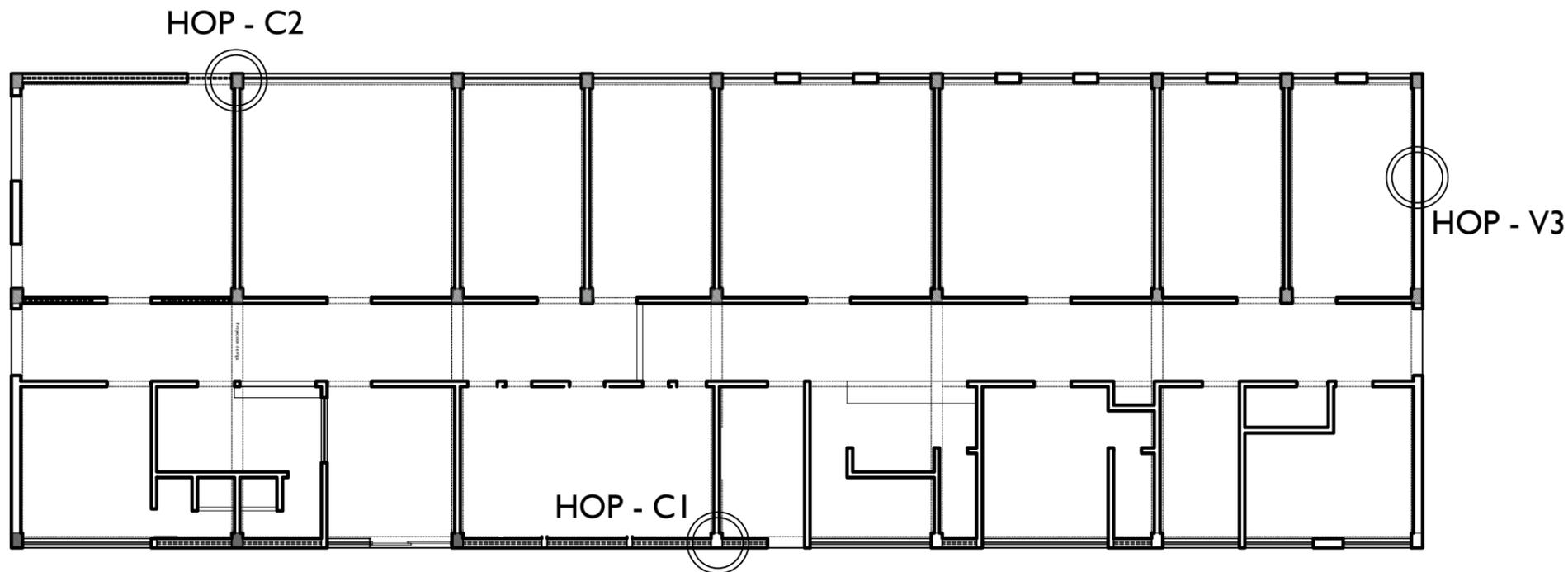
**CILINDRO:**  
**DIAMETRO:** Variado cm  
**LONGITUD:** Variado cm  
**TIPO DE FALLA:** COMPRESION AXIAL

N°	DESCRIPCION	Fecha de Extracción	Fecha de Rotura	LONGITUD DE ESPECIMEN	DIAMETRO DE ESPECIMEN	Relación L/D	FACTOR DE CORRECCION	Área de seccion transversal	Carga Máxima (Kg)	Resistencia kg/cm2	Resistencia corregida kg/cm2
1	EM - C4	09/02/2023	10/02/2023	9.987	5.041	1.98	1.0000	19.96	3488	174.76	174.764
2	EM - C5	09/02/2023	10/02/2023	10.124	5.051	2.00	1.0000	20.04	3148	157.10	157.105
3	EM - V6	09/02/2023	10/02/2023	9.141	5.048	1.81	1.0000	20.01	4338	216.75	216.750

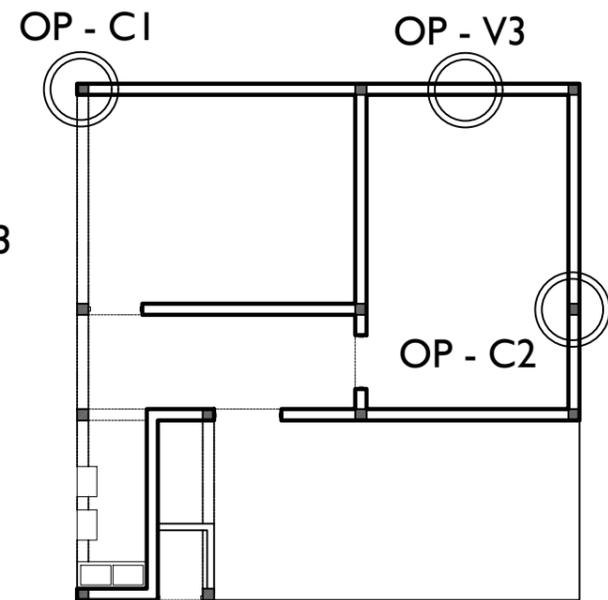
*Nota: Las muestras de núcleos diamantinos fueron extraídas por el personal técnico del laboratorio.*



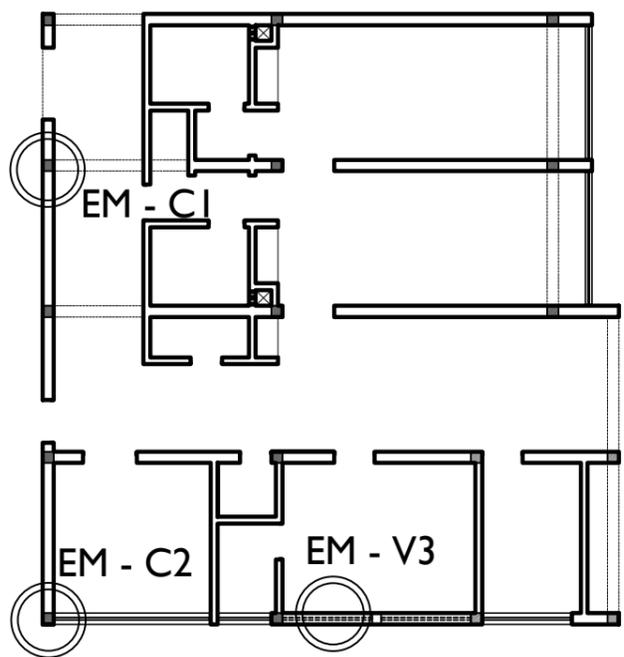
Ing. S. Humberto Eusebio Ramos  
Cip 88150 - C5374  
GEOTECNICA DEL NORTE SAC



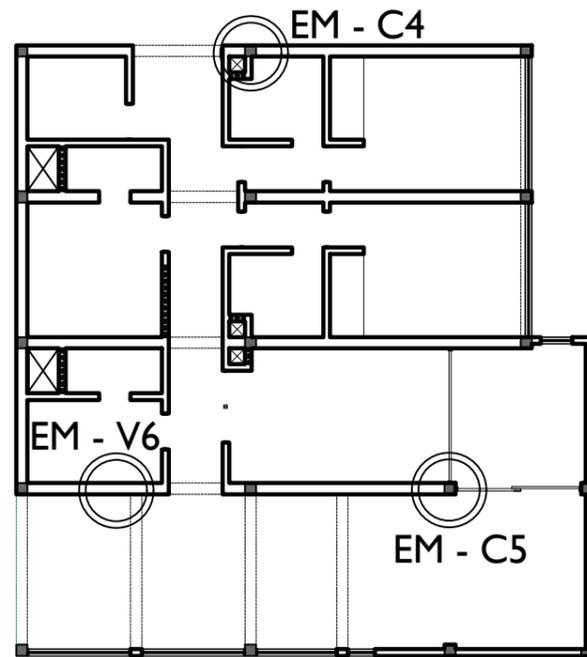
PEDIATRIA Y MEDICINA GENERAL



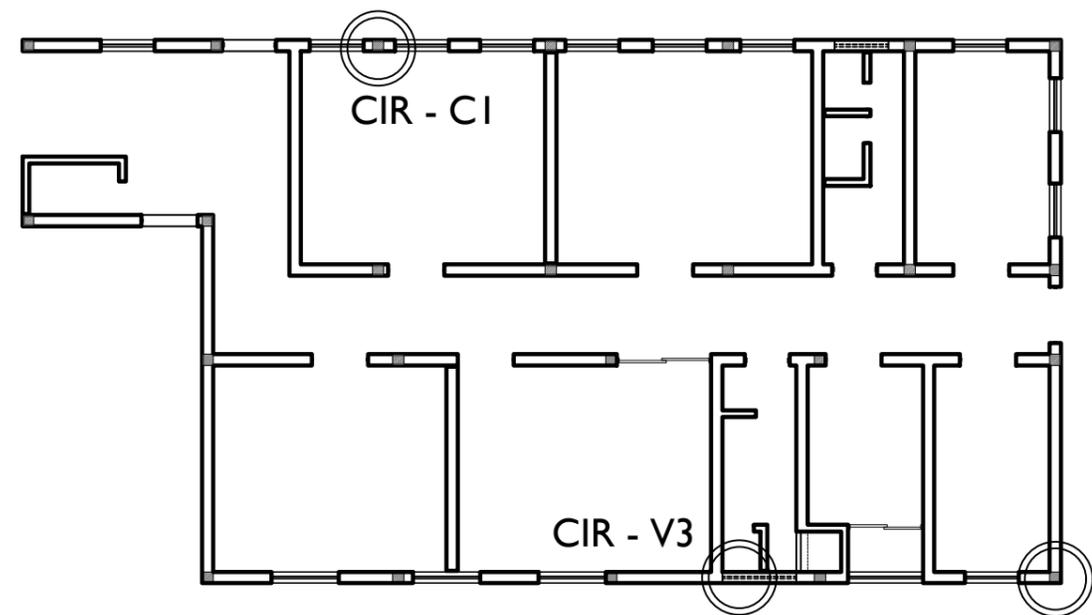
ANESTESIOLOGIA Y CENTRO QUIRURGICO



EMERGENCIA 1ER NIVEL



EMERGENCIA 2DO NIVEL

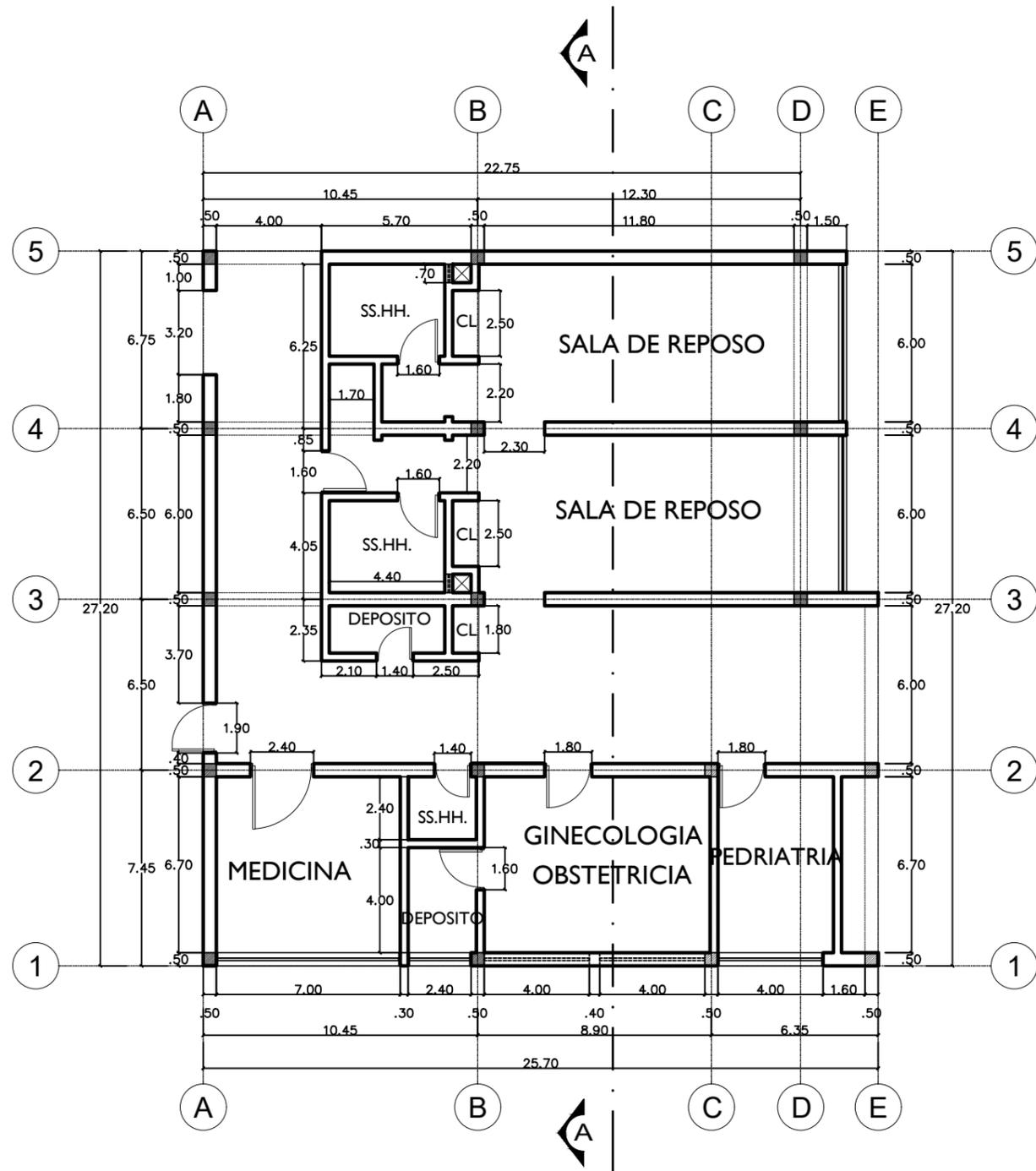


INTERNADOS DE CIRUGIA

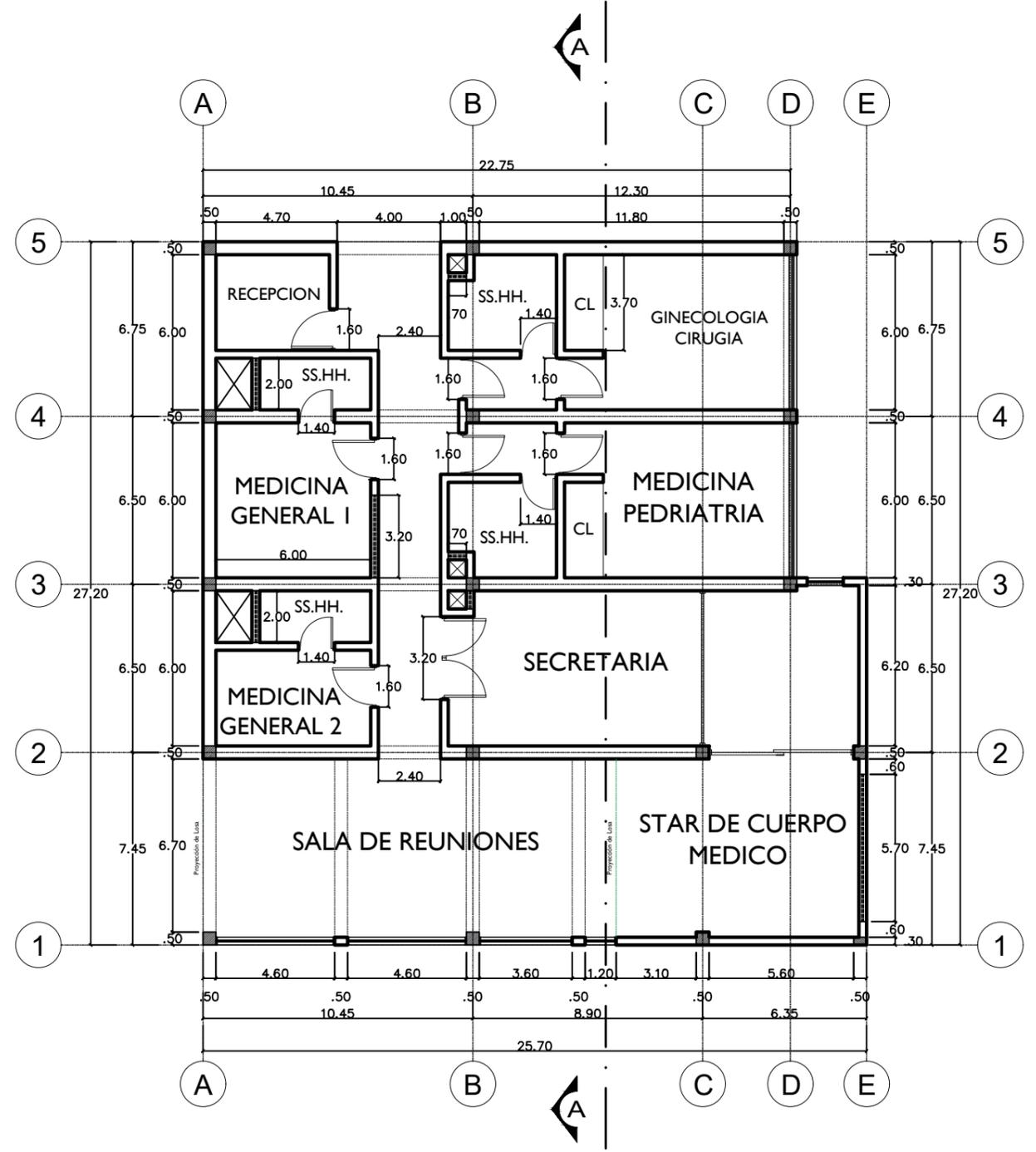
CIR - C2

# **Anexo 3: Planos del hospital "La Caleta"**

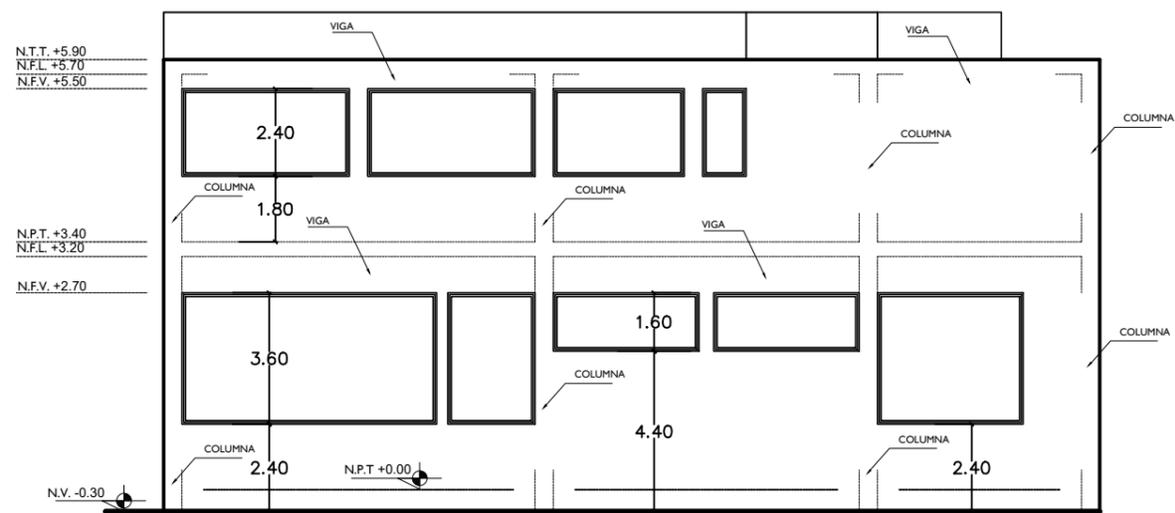




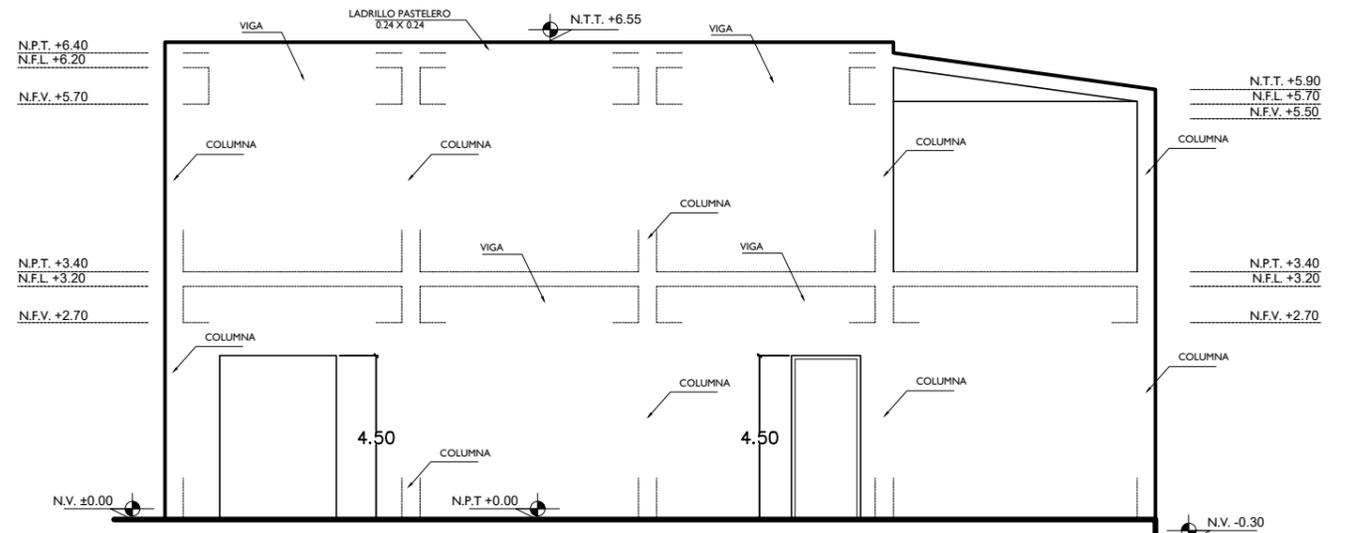
PLANTA DE DISTRIBUCIÓN - 1ER NIVEL  
EMERGENCIA escala: 1/50



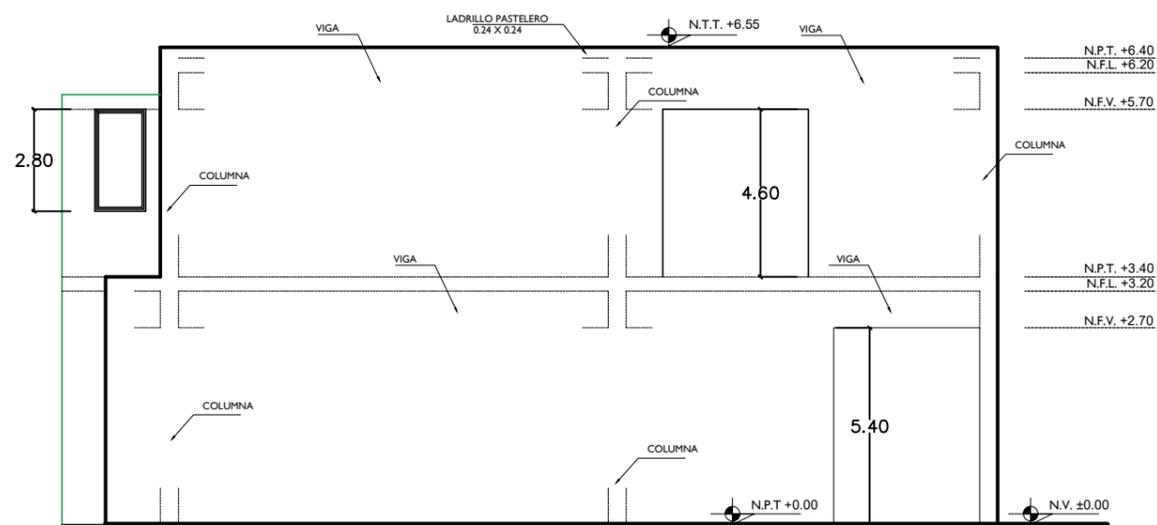
PLANTA DE DISTRIBUCIÓN - 2DO NIVEL  
EMERGENCIA escala: 1/50



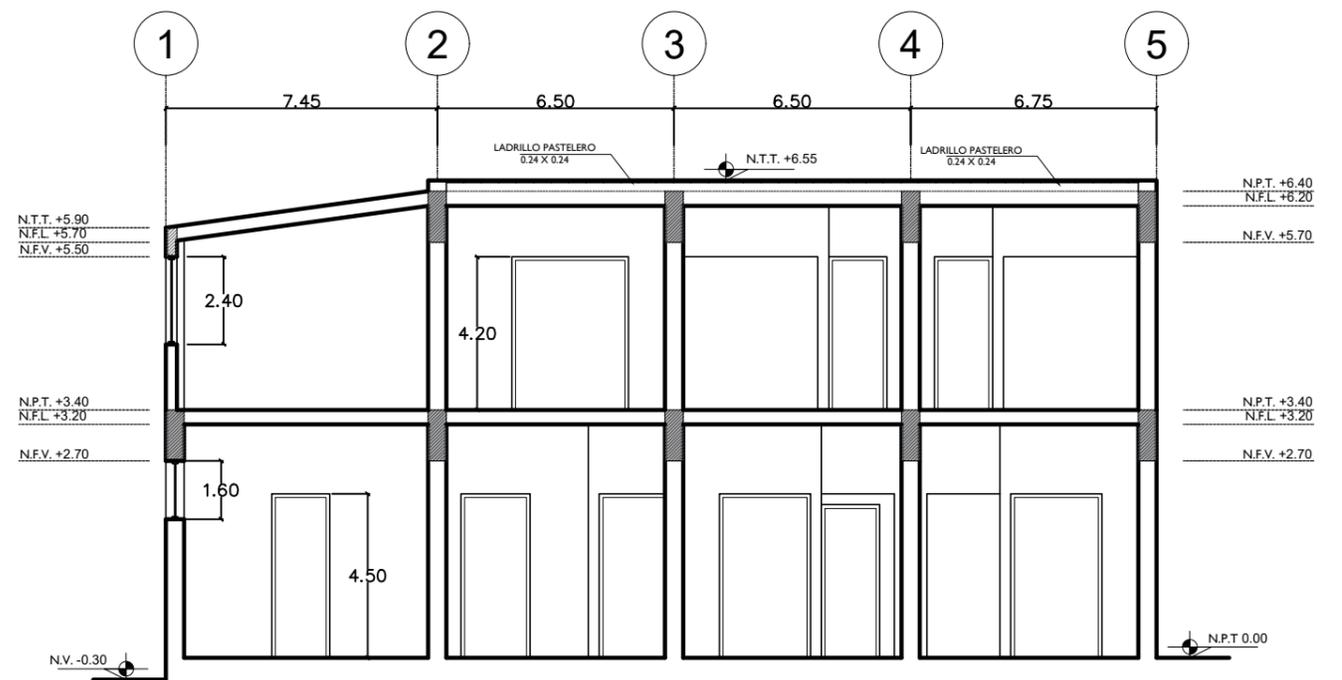
ELEVACION 01 ESCALA: 1/50



ELEVACION 02 ESCALA: 1/50



ELEVACION 03 ESCALA: 1/50

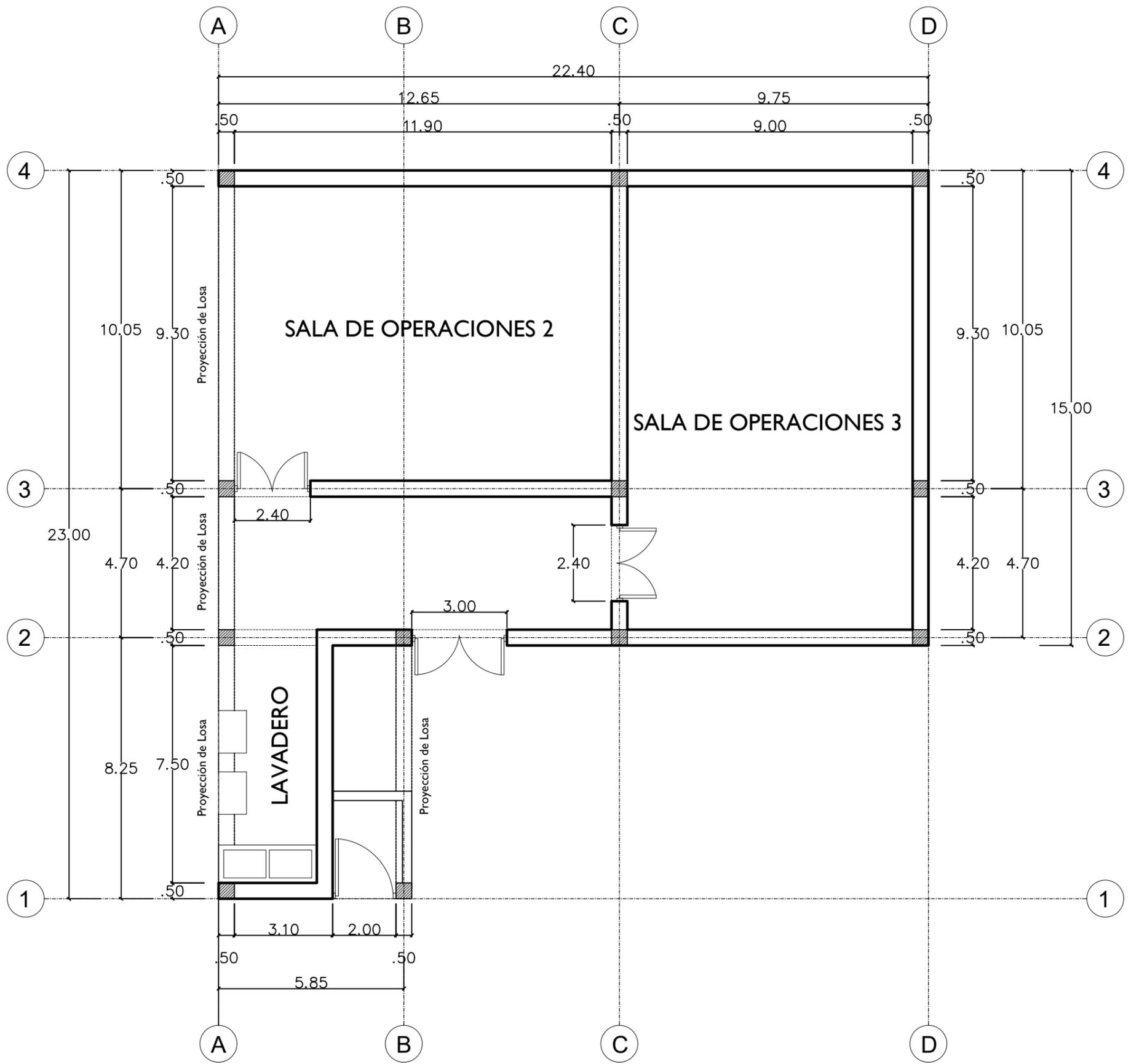


CORTE A - A ESCALA: 1/50

CORTES Y ELEVACIONES

EMERGENCIA

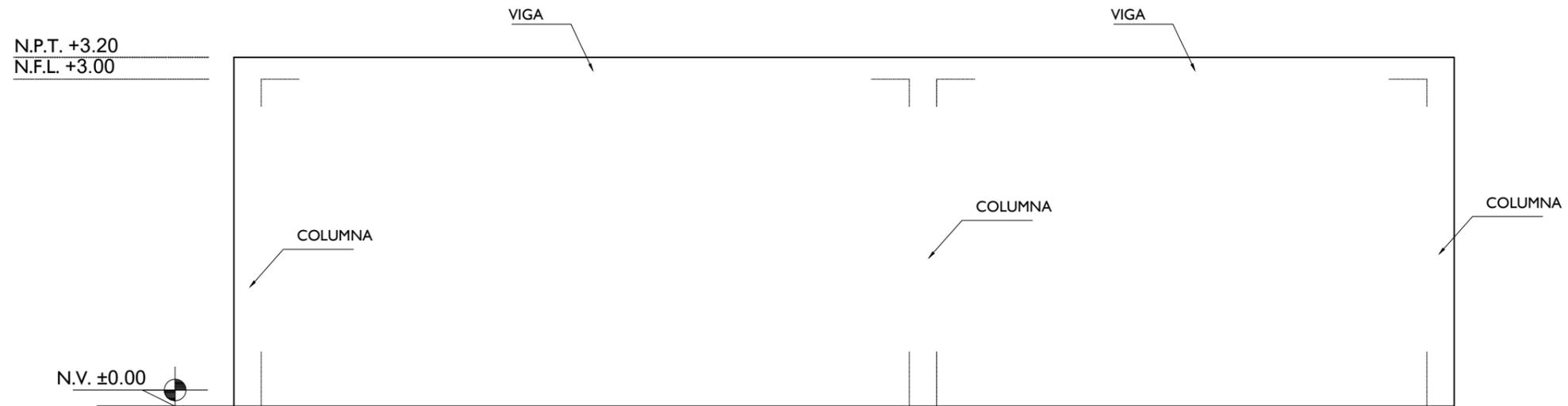
escala: 1/50



**PLANTA DE DISTRIBUCIÓN - IER NIVEL**

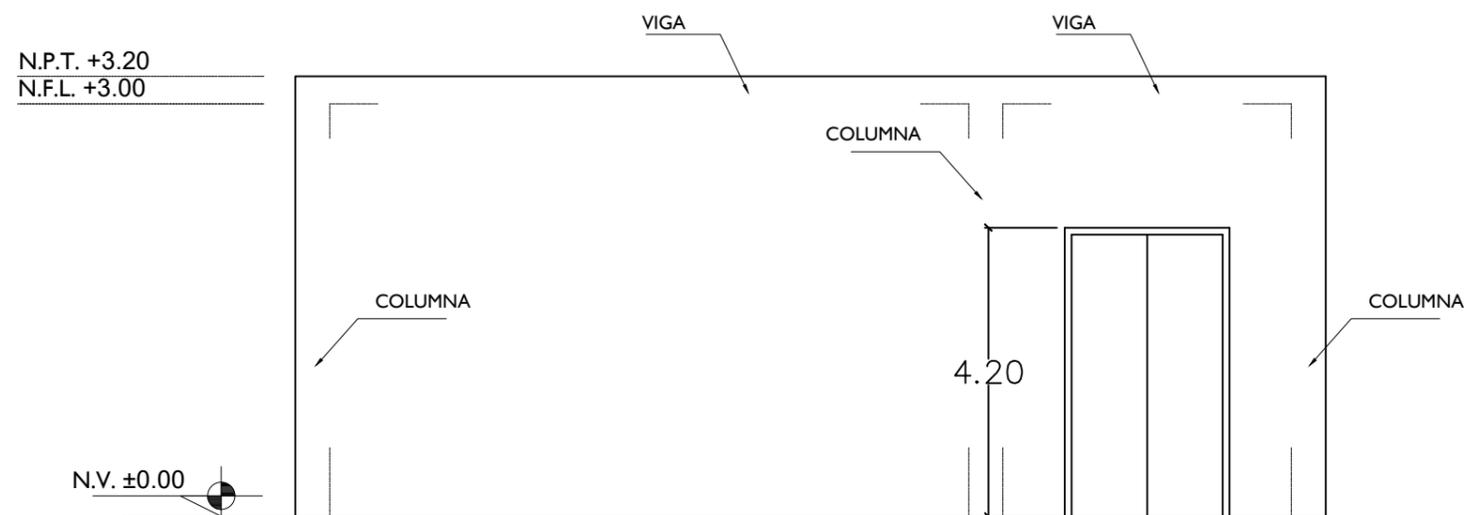
**ANESTECIOLOGIA Y CENTRO QUIRURGICO**

escala: 1/50



E L E V A C I O N 01

ESCALA: 1/50



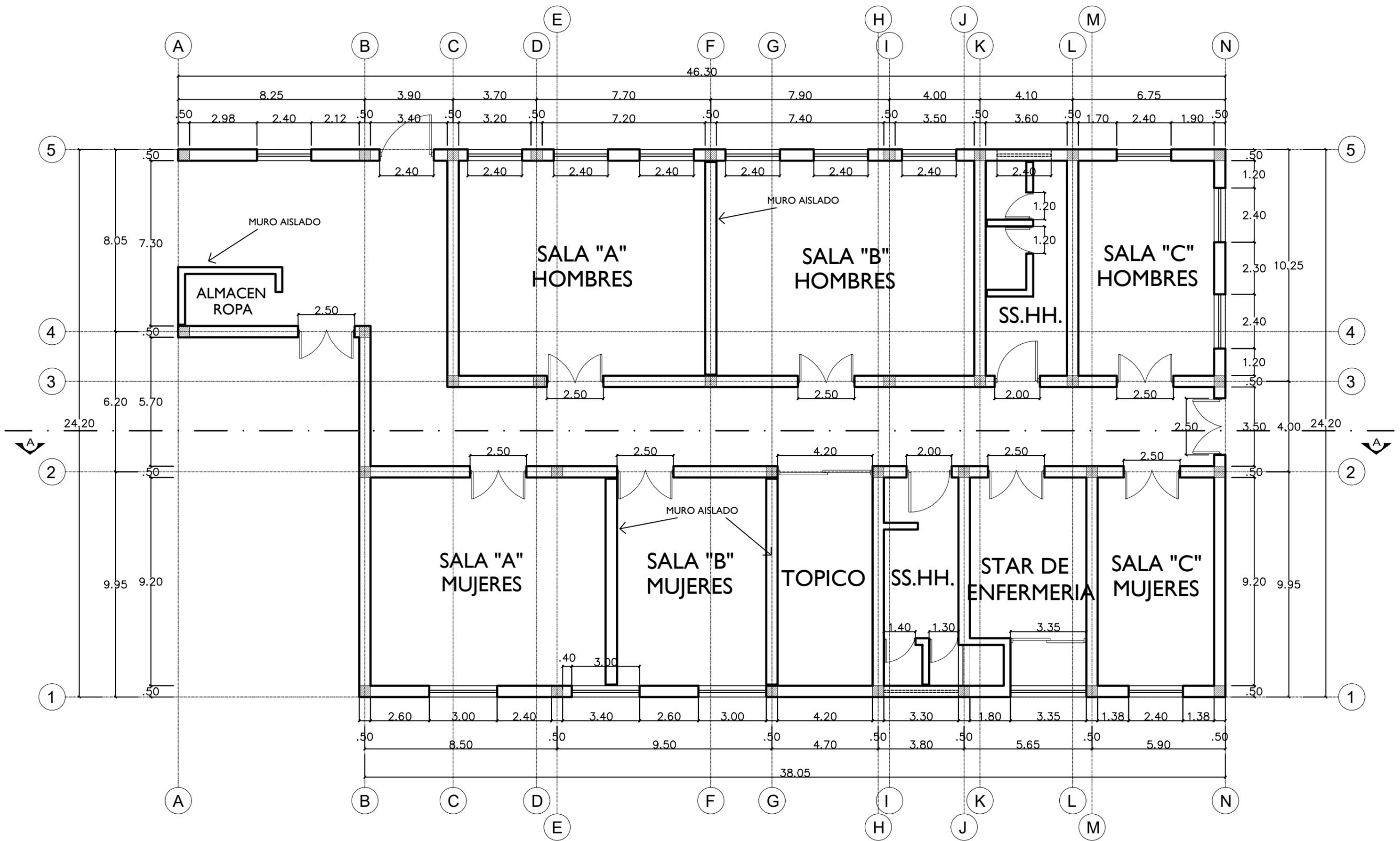
C O R T E A - A

ESCALA: 1/50

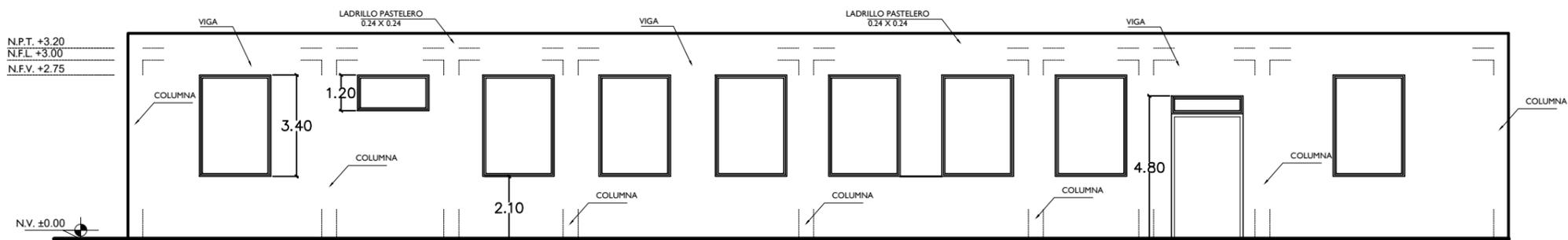
CORTES Y ELEVACIONES

ANESTECIOLOGIA Y CENTRO QUIRURGICO

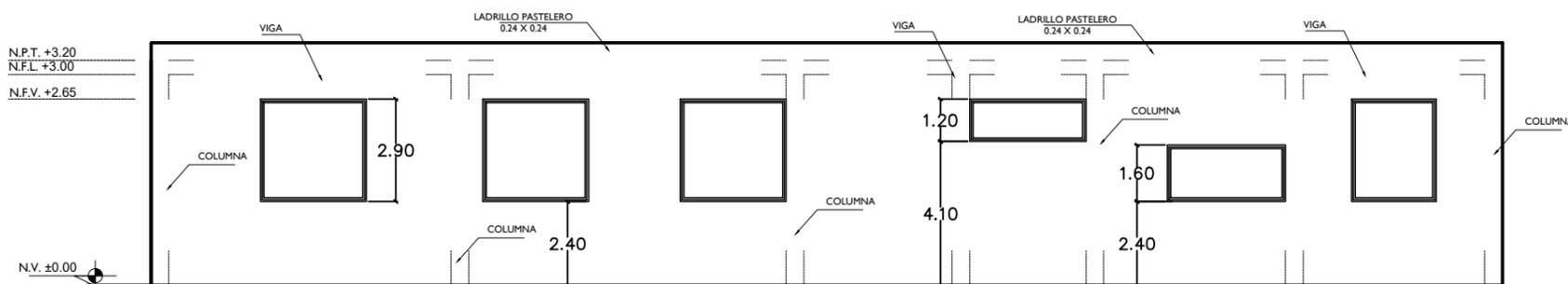
escala: 1/50



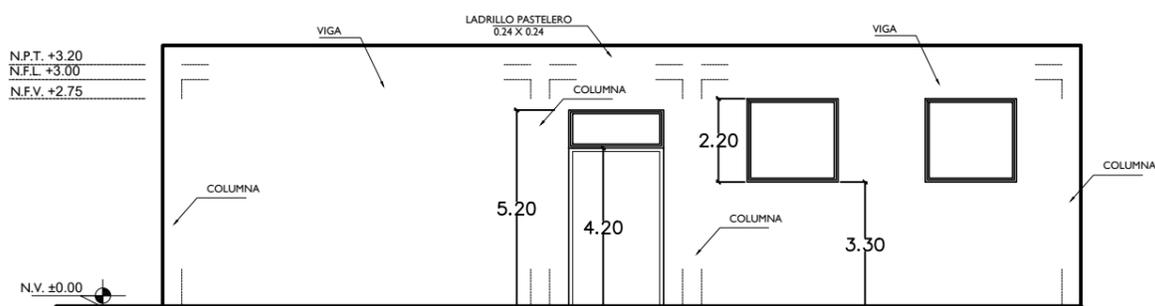
PLANTA DE DISTRIBUCIÓN - 1ER NIVEL  
 INTERNADOS DE CIRUGIA      escala: 1/50



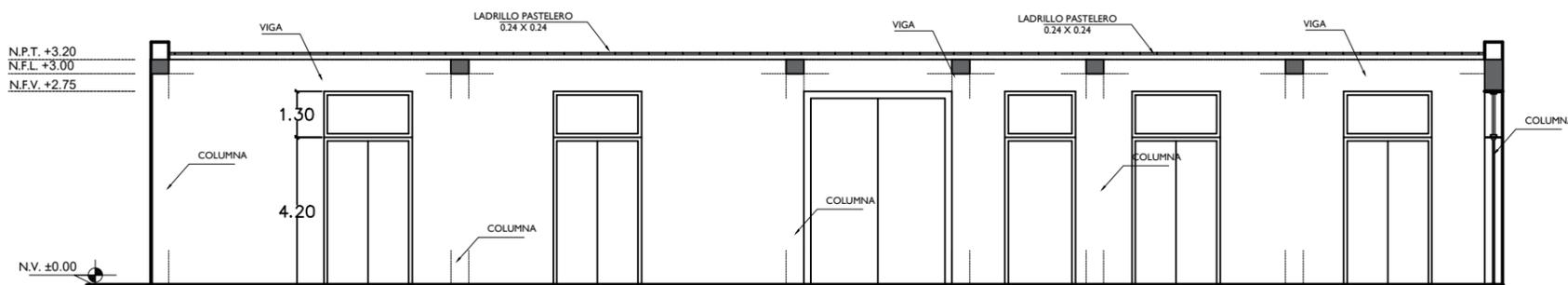
ELEVACION 01 ESCALA: 1/50



ELEVACION 02 ESCALA: 1/50



ELEVACION 03 ESCALA: 1/50

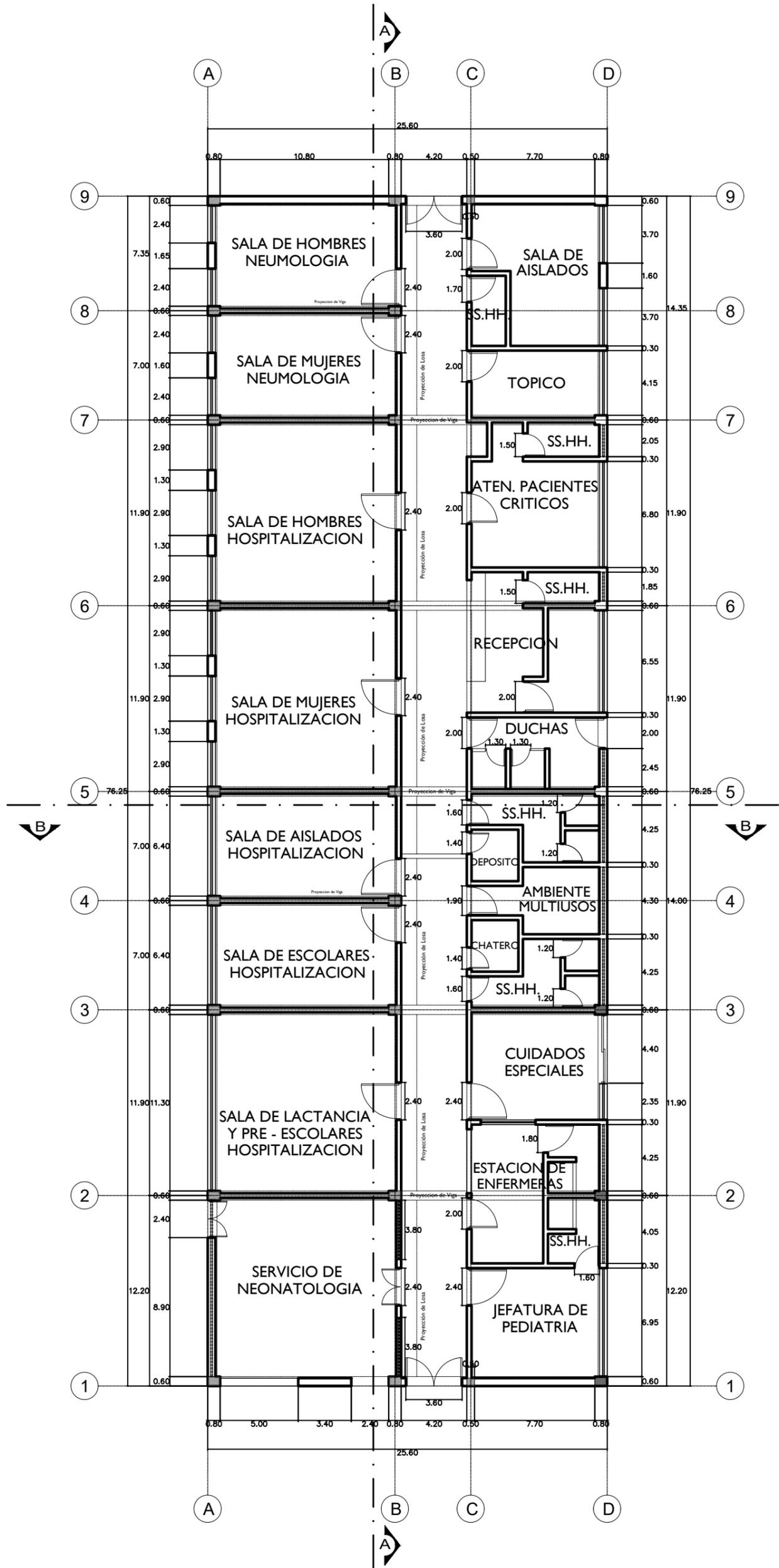


CORTE A - A ESCALA: 1/50

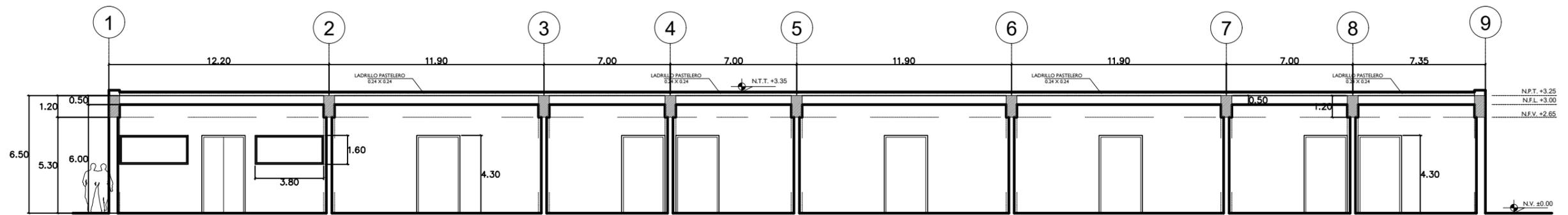
CORTES Y ELEVACIONES

INTERNADOS DE CIRUGIA

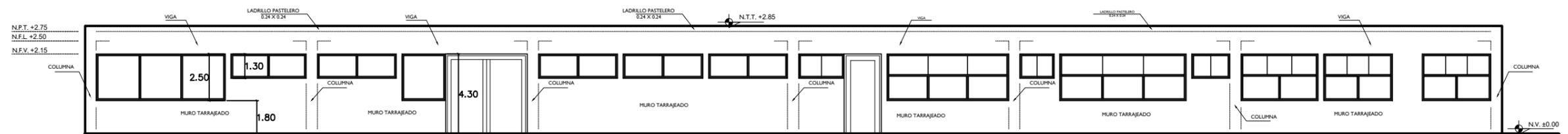
escala: 1/50



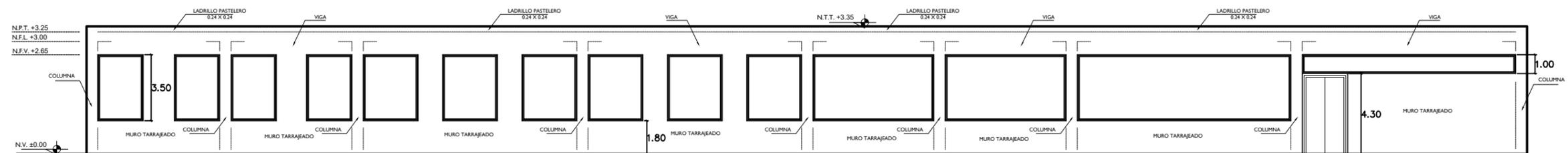
PLANTA DE DISTRIBUCIÓN - 1ER NIVEL  
 PEDIATRIA Y MEDICINA GENERAL escala: 1/50



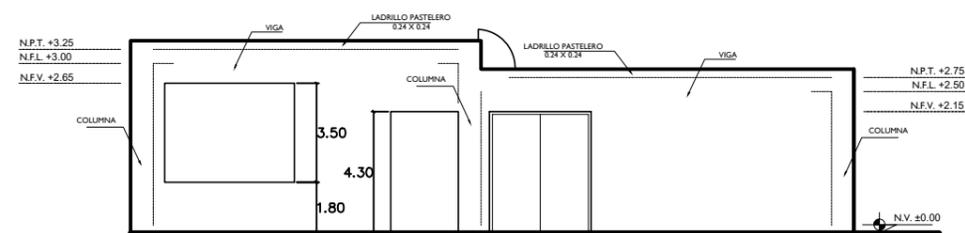
CORTE A - A ESCALA: 1/50



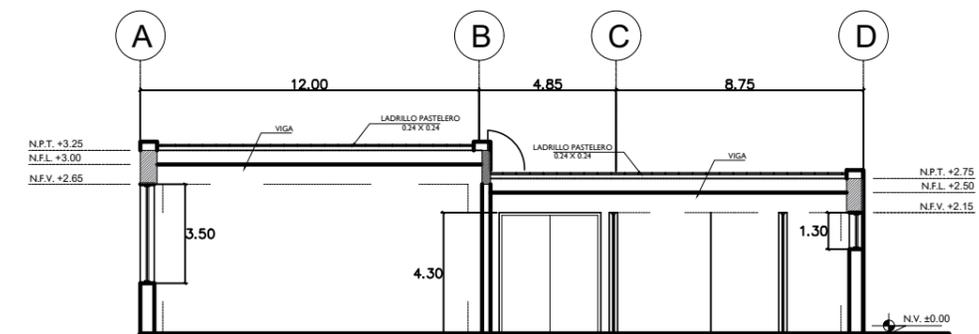
ELEVACION 01 ESCALA: 1/50



ELEVACION 02 ESCALA: 1/50



ELEVACION 03 ESCALA: 1/50



CORTE B - B ESCALA: 1/50

CORTES Y ELEVACIONES  
 PEDIATRIA Y MEDICINA GENERAL escala: 1/50