



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TEMA:

**Desarrollo de Programación en Python para el Cálculo de Curvas de
Fragilidad de Edificaciones Mediante Análisis No Lineal en Tiempo-
Historia**

AUTORES:

**Nimbriotis Pincay, Camila Verónica.
Farfán Luque, Juan Ayrton.**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO CIVIL**

TUTOR:

Ing. Hernández Barredo, Jaime Francisco, M.Sc.

Guayaquil, Ecuador

27 de Febrero del 2026



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Nimbriotis Pincay, Camila Verónica y Farfán Luque, Juan Ayrton**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniería Civil**.

TUTOR

f. 
Ing. Hernández Barredo, Jaime Francisco, M. Sc.

DIRECTORA DE LA CARRERA

f. 
Ing. Alcívar Bastidas, Stefany Esther, Ph. D.

Guayaquil, a los 27 del mes de Febrero del año 2026



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **Nimbriotis Pincay, Camila Verónica y Farfán Luque, Juan Ayrton**

DECLARAMOS QUE:

El Trabajo de Titulación, **Desarrollo de Programación en Python para el Cálculo de Curvas de Fragilidad de Edificaciones Mediante Análisis No Lineal en Tiempo-Historia** previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 27 del mes de Febrero del año 2026

LOS AUTORES:

f. 

Nimbriotis Pincay, Camila Verónica

f. 

Farfán Luque, Juan Ayrton



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Nimbriotis Pincay, Camila Verónica y Farfán Luque, Juan Ayrton**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Desarrollo de Programación en Python para el Cálculo de Curvas de Fragilidad de Edificaciones Mediante Análisis No Lineal en Tiempo-Historia**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 27 del mes de Febrero del año 2026

LOS AUTORES:

f.  _____

Nimbriotis Pincay, Camila Verónica

f.  _____

Farfán Luque, Juan Ayrton



Certificado de análisis

Compilatio Magister+ | UCSG-EC- Universidad Católica de Santiago de Guayaquil

Camila Nimbriotis y Ayrton FARfan

ID : 6e3e562c52f57ad69f427c7d712077c9efeda0b3



6%

Textos sospechosos

Nombre del fichero : Camila Nimbriotis y Ayrton FARfan.txt
Tamaño del archivo original : 11,23 MB
Número de palabras : 33.578
Número de caracteres : 285667

Depositante : Clara Catalina Glas Cevallos
Fecha de depósito : 3 de marzo de 2026
Tipo de carga : interface
fecha de fin de análisis : 3 de marzo de 2026

Resumen (sección 1/2)

Localización de los textos sospechosos en el documento :



Incluido en el porcentaje de textos sospechosos :

Similitudes 2%

Pasajes con similitudes a fuentes encontradas en diferentes colecciones.



Detección de IA 5%

Textos estilísticamente próximos a un texto generado por una IA. Este índice es un indicador y no una prueba. Comprueba con el autor si domina los conocimientos mencionados en el documento.



Idiomas no reconocidos 4%

Pasajes en los que parte del vocabulario utilizado no forma parte del diccionario de la lengua. Puede tratarse de un intento del autor de modificar el texto para evitar ser detectado.



No incluido en el porcentaje de textos sospechosos :

Textos entre comillas 3%

Pasajes entre comillas, a menudo indicativos de una cita.



ANÁLISIS DE SIMILITUDES
JAIRO FRANCISCO
HERNÁNDEZ BARRERO

AGRADECIMIENTO

Inicio por agradecer a Dios, sin la fe que he mantenido y esperanzas en tener su apoyo no hubiese podido continuar o llegar hasta donde estoy, me ha permitido llegar a este punto de mi vida tan importante y poder lograr el objetivo que buscaba conseguir.

Le agradezco a mi familia, por su apoyo incondicional y nunca dudar de mis habilidades y capacidades para la carrera, siempre confiar en que todo tarde o temprano saldría como lo estaba buscando; por los valores enseñados y la fuerza brindada para forjar a la persona que soy hoy en día.

Agradezco a los amigos que hice en el camino de la carrera, amigos que no creí conseguir y que hoy en día considero como mi familia universitaria. Todos los recuerdos y experiencias vividas serán siempre conservadas.

También, quiero agradecer a mi compañero, amigo y colega, Ayrton Farfán, quien me acompañó en este transcurso de tesis, dimos lo mejor juntos y así ha sido durante el mayor tiempo de la carrera, no hubiese conseguido un mejor compañero, éxitos en todos tus nuevos propósitos.

Quiero igual agradecer a mi tutor de tesis, el Ing. Jaime Hernández, por la enseñanza y paciencia, por todos los conocimientos brindados. Aunque no fue fácil todo este camino, se pudo realizar gracias a su ayuda y experiencia en el tema. De no ser por usted, no lo hubiésemos conseguido al nivel que lo hicimos. También quiero agradecerle por permitirme haber pertenecido a “Sismo Ingeniería”, una de mis mejores experiencias y valorare cada aprendizaje obtenido, al igual que todas las personas involucradas que hacen la empresa.

Y, por último, me agradezco a mí, por mantenerme perseverante y no rendirme ante las dificultades de cada reto puesto de la vida, por buscar superarme y seguir adelante.

Camila Verónica Nimbriotis Pincay

DEDICATORIA

Le dedico este logro a Dios, por mantenerme creyente y perseverante ante las dificultades de cada reto. A mi familia para que puedan observar que todo su esfuerzo y apoyo, tienen sus frutos y que este logro sea una muestra de lo mucho que considero cada uno de esos esfuerzos.

Le dedico a mi hermano, que siendo el menor, quiero convertirme en alguien quien pueda el admirar y vea como un ejemplo a seguir para superarse en cada reto y siempre seguir adelante.

Camila Verónica Nimbriotis Pincay

AGRADECIMIENTO

Quiero iniciar agradeciendo a Dios, porque no me imagino haber llegado hasta aquí sin Él. Fue quien me dio la fuerza necesaria para afrontar los momentos difíciles, que fueron muchos, y quien me sostuvo cuando el camino parecía más complicado. Gracias por permitirme culminar esta etapa tan importante de mi vida.

A mis padres, Byron Farfan y Karen Luque, les debo todo. Han sido el pilar fundamental no solo para la obtención de este título, sino para mi formación como persona. Siempre estuvieron para mí sin juzgarme, apoyándome incondicionalmente y dándome todo lo que estuvo en sus manos. Espero que este logro sea un reflejo de la enorme inversión, el esfuerzo y el amor que pusieron en mi educación. Gracias por su paciencia, por sus consejos y por hacerme sentir amado cada día de mi vida.

A mi abuelita Luz Endara, gracias por su amor infinito. A pesar de su enfermedad, siempre logró sacarme una sonrisa y llenarme de alegría. Le agradezco a Dios por permitirme tenerla presente en este momento tan especial y por darme la bendición de que pueda verme culminar esta hermosa etapa.

A mis hermanas, Ester Farfan y Mariana Farfan, y a Alejandra Jayaf, a quien también considero mi hermana, gracias por estar siempre para mí. Les agradezco por su apoyo incondicional y por ayudarme en todo lo que estuvo a su alcance, incluso en detalles que marcaron la diferencia, como la maqueta de hormigón y tantos otros gestos que nunca olvidaré.

A mis amigos, Luis Baño, Javier Chavarría y Jorge Pérez, gracias por estar siempre para mí sin importar las circunstancias. Los considero mis hermanos. No me imagino haber llegado hasta aquí sin ustedes, sin tantos fines de semana compartidos, creando momentos únicos y recuerdos que siempre llevaré en el corazón. Los quiero mucho y sé que se merecen lo mejor del mundo.

A mi novia, Kelly, gracias por ser un pilar fundamental en este logro. Por tu amor, tu apoyo incondicional y por estar a mi lado incluso en los momentos más difíciles. Tu compañía fue clave para que pudiera seguir adelante.

A mis compañeros de carrera, que con el tiempo se convirtieron en amigos y ahora colegas, gracias por cada experiencia compartida. Agradezco a Dios por haberlos puesto en mi camino, porque sin su apoyo y compañerismo no habría llegado hasta

aquí. En especial, a mi compañera de titulación Camila Nimbriotis, con quien compartí este último reto. Hemos vivido muchos momentos a lo largo de la carrera; no todos fueron fáciles, pero siempre prevaleció el respeto y el cariño. Te deseo lo mejor en tu vida profesional y personal, porque lo mereces.

Agradezco a nuestro tutor, el Ing. Jaime Hernández, por su paciencia y dedicación durante el desarrollo de este trabajo. Sabemos que no fue sencillo, pero sus observaciones, su experiencia y su constante motivación para salir de nuestra zona de confort fueron fundamentales para culminar esta investigación con éxito. Gracias por confiar en nosotros y guiarnos en este proceso.

Finalmente, agradezco a mi perrito Toby, que ahora está en el cielo, gracias por tantos recuerdos hermosos. Fuiste mi compañero en muchos momentos importantes; recuerdo cuando me acompañabas mientras estudiaba y cómo siempre me recibías con una felicidad que alegraba cualquier día difícil. Te extraño y pienso en ti todos los días. Siempre vivirás en mi corazón.

Juan Ayrton Farfán Luque

DEDICATORIA

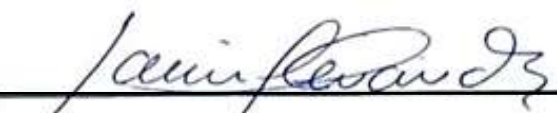
Dedico este logro, en primer lugar, a Dios, por guiarme, darme la fortaleza para superar cada obstáculo y permitirme culminar esta etapa tan importante de mi vida. A mi familia, especialmente a mis padres, por su amor incondicional, su esfuerzo y todos los sacrificios que hicieron para darme la mejor educación y formarme como persona. Este logro es tan suyo como mío, porque sin ustedes nada de esto habría sido posible.

También se lo dedico a mis hermanas y de manera muy especial a mi abuelita, por su amor, su apoyo y por ser una fuente constante de motivación en mi vida. Cada uno de ustedes ha tenido un papel fundamental en este camino, y espero que este logro sea una pequeña muestra de lo agradecido que estoy y de lo mucho que los amo.

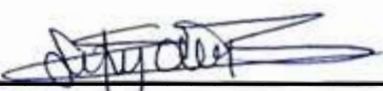
Juan Ayrton Farfán Luque




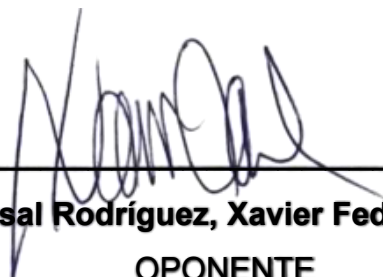
**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

f. 
Ing. Hernández Barredo, Jaime Francisco, M.Sc.
TUTOR

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 
Ing. Alcívar Bastidas, Stefany Esther, Ph. D.
DIRECTORA DE CARRERA

f. 
Ing. Barros Cabezas, José Andrés, Ph. D.
COORDINADOR DEL ÁREA

f. 
Ing. Casal Rodríguez, Xavier Federico, M.Sc
OPONENTE

ÍNDICE

RESUMEN	XXXII
ABSTRACT	XXXIII
INTRODUCCIÓN	2
ANTECEDENTES	2
OBJETIVO GENERAL	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
ALCANCE	4
CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO	6
1.1 ALTO RIESGO SÍSMICO	6
1.2 ANÁLISIS SÍSMICO DE ESTRUCTURAS	6
1.3 ANÁLISIS DINÁMICO LINEAL	7
1.4 ANÁLISIS DINÁMICO NO LINEAL	8
1.5 MÉTODO DE NEWMARK	8
1.6 CURVA BILINEAL	10
1.7 PUNTOS DE DESEMPEÑO	12
1.8 ESTADOS LÍMITES DE DAÑO	13
1.9 MÉTODO ESTADÍSTICO PARA DESEMPEÑO	14
1.9.1 Multiple Stripes Analysis (MSA)	14
1.10 CURVAS DE FRAGILIDAD	15
CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA	17
2.1 REGISTROS SÍSMICOS	17
2.2 CURVA BILINEAL	18

2.3	ANÁLISIS NO LINEAL.....	19
2.3.1	Respuesta Newmark y Newton-Raphson.....	19
2.4	COMPORTAMIENTO HISTERÉTICO	21
2.5	DEFINICIÓN INTENSIDADES IM.....	22
2.6	NUBE DE PUNTOS.....	23
2.6.1	Formación Nube de Puntos.....	23
2.6.2	Umbrales de Daño.	24
2.7	MÉTODO ESTADÍSTICO	25
2.7.1	Condición de Excedencia [IMmin, IMmáx].....	25
2.7.2	Puntos de Anclajes.	27
2.8	CURVAS DE FRAGILIDAD	32
CAPÍTULO 3: DESARROLLO		34
3.1	FORMATO DE REGISTRO SÍSMICO	34
3.2	DEFINICIÓN DE LA CURVA BILINEAL.....	35
3.3	DEFINICIÓN DE LA INTENSIDAD DEL SISMO.....	37
3.4	RESULTADOS DE LA HISTÉRESIS	37
3.5	DATOS DE LA NUBE DE PUNTOS Y UMBRALES DE DAÑO	39
3.5.1	Umbrales de Daño.	39
3.5.2	Número de Registros Usados para la Elaboración de la Curva de Fragilidad.	40
3.6	LÍMITES DE AJUSTE (IMmin, IMmax)	40
CAPÍTULO 4: RESULTADOS		42
4.1	COMPARACIÓN MÉTODO ESPECTRAL VS MÉTODO ANLTH	42
4.1.1	Nube de Puntos Sa-dPD: Diferencias entre Intensidades por Registro. ...	43

4.1.2	Curvas de Fragilidad (Sa): Rango de Datos e Incorporación de Anclajes.	45
4.2	ESQUEMAS DE RESULTADOS POR ESTRUCTURA	47
4.3	CASOS DONDE NO SE OBTUVO CURVAS DE FRAGILIDAD	48
4.3.1	Caso 1: Falta de Resultados.	49
4.3.2	Caso 2: Falta por Variabilidad.	51
4.4	COMPARACIÓN DE UNO Y TRES PUNTOS DE ANCLAJE	44
4.4.1	Interpretación de 3 Puntos de Anclaje (PA3).	45
4.4.2	Interpretación de 1 Punto de Anclaje (PA1).	46
4.4.3	Interpretación de Parámetros θ Y β .	46
4.5	COMPARACIÓN AUMENTO DE REGISTROS SÍSMICOS	47
4.5.1	Nube de Puntos.	48
4.5.2	Curvas de Fragilidad para Sa y Sd.	49
4.5.3	Curvas de Fragilidad para PGA.	50
	CONCLUSIONES	51
	RECOMENDACIONES	52
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
	SIGLAS	57
	ANEXOS	58

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Aceleración en Rango Elástico en Función del Tiempo.	9
Ilustración 2: Ejemplo de Iteraciones por Newton-Raphson.....	10
Ilustración 3: Representación de Curva Bilineal.....	11
Ilustración 4: Modelos de Comportamientos Histerético..	11
Ilustración 5: Histéresis Bilineal en Representación al Punto de Desempeño.....	12
Ilustración 6: Ejemplo de Análisis de MSA Resultados.	15
Ilustración 7: Ejemplo Fracción de Colapso en Función de IM y la Fragilidad en Función de la Ecuación de Baker.....	16
Ilustración 8: Representación de Curva Bilineal en Fuerzas.	18
Ilustración 9: Análisis No Lineal de Newmark.	20
Ilustración 10: Proceso Iterativo para rangos Elásticos e Inelásticos.....	20
Ilustración 11: Análisis Lineal de Newmark.....	21
Ilustración 12: Comportamiento Histerético del Modelo Bilineal.....	22
Ilustración 13: Flujo de Cálculo de la Medida de Intensidad IM: PGA, Sa y Sd.....	23
Ilustración 14: Fórmulas de Desempeño para Eje Y.....	24
Ilustración 15: Fórmulas de Intensidad IM en Eje X.....	24
Ilustración 16: Límites Umbrales de Daño.	24
Ilustración 17: Condiciones limitantes para Clasificación de los Estados de Daño.	25
Ilustración 18: Ejemplo de IM y Respuesta de Desempeño utilizada con Umbrales de Daño de Estructura Cr-D-8-B-9..	25
Ilustración 19: Ejemplo de Estructura Cr-D-10-A-4-Y para Colapso.....	26
Ilustración 20: Ejemplo de Estructura Mc-M-2-S-1 - Caso A.	27
Ilustración 21: Resultados de Estructura MC-M-2-S-1 de 0% y 100% de Excedencias - Caso A.	28
Ilustración 22: Ejemplo de Estructura Cr-Mu-12-G-5 - Caso B.....	28
Ilustración 23: Resultados de Estructura Cr-Mu-12-G-5 de 0% y 100% de Excedencias - Caso B.	29
Ilustración 24: Ejemplo de Estructura Cr-M-5-R-2-X - Caso C.	29
Ilustración 25: Ejemplo de Estructura MC.M-2-S-3 - Caso D.	30
Ilustración 26: Resultados de Estructura MC.M-2-S-3 de 0% y 100% de Excedencias - Caso D.	30

Ilustración 27: Ejemplo de Estructura Cr-D-10-A-4-Y - Caso E.....	31
Ilustración 28: Resultados de Estructura Cr-D-10-A-4-Y de 0% y 100% de Excedencias - Caso E.	31
Ilustración 29: Ejemplo Caso E con valores de θ y β - Estructura Cr-D-10-A-4-Y.....	33
Ilustración 30: Diseño de Curva de Fragilidad en PGA de Estructura Cr-M-2-A-7-Y... ..	33
Ilustración 31: Formato texto de Registros Acelerogramas.....	34
Ilustración 32: Estructura de Carpetas del Proyecto.	34
Ilustración 33: Formato Interno de un Registro.....	35
Ilustración 34: Parámetros Iniciales para Curva Bilineal.	35
Ilustración 35: Ingreso de Masa para Unidades de Fuerzas.	36
Ilustración 36: Unidades de Aceleración.....	36
Ilustración 37: Puntos para Curva Bilineal en Unidades de Fuerzas.....	36
Ilustración 38: Puntos para Curva Bilineal en Unidades de Aceleración.	37
Ilustración 39: Intensidades de Sismo en X.	37
Ilustración 40: Nivel de Desempeño en Y.	37
Ilustración 41: Procesamiento de Histéresis.	38
Ilustración 42: Reporte de Procesamiento de los Registros en Histéresis.	38
Ilustración 43: Ejemplo de Límites Umbrales de Daño.....	39
Ilustración 44: Ejemplo de Registros dentro de Cada Rango [IMmin, IMmax].....	40
Ilustración 45: Rangos por Estado de Daño Valores de Excedencia.	40
Ilustración 46: Reporte Final de Generación de Curva de Fragilidad.	40
Ilustración 47: Parámetros de Ajuste de Baker para Curvas de Fragilidad.	41
Ilustración 48: Curva de Fragilidad.	41
Ilustración 49: Nube de Puntos Sa vs dPD para ambos Métodos.....	43
Ilustración 50: Resultados de Aceleración por el Programa de Prism.....	45
Ilustración 51: Curvas de fragilidad (Sa) Método espectral vs Método ANLTH.	46
Ilustración 52: Nube de Desempeño de PGA vs dPD para la Edificación Cr-Mu-6-G-1.	49
Ilustración 53: Nube de Desempeño de Sd vs dPD para la Edificación Cr-Mu-6-G-1 .	50
Ilustración 54: Nube de Desempeño de Sa vs dPD para la Edificación Cr-Mu-6-G-1..	50
Ilustración 55: Nube de Puntos de Sa vs dPD para Edificación Cr-M-10-H-2.	52

Ilustración 56: Nube de Puntos de Sd vs dPD para Edificación Cr-M-10-H-2.	52
Ilustración 57: Curva de Fragilidad de Extenso y Colapso para PGA de Edificación Cr-M-2-A-7-Y.....	44
Ilustración 58: Curva de Fragilidad de Extenso y Colapso para Sd de Edificación Cr-M-2-A-7-Y.....	45
Ilustración 59: Curva de Fragilidad de Extenso y Colapso para Sa de Edificación Cr-M-2-A-7-Y.....	45
Ilustración 60: Comparación Nube de PD con IM de Sa. Fuente: Elaboración Propia.	48
Ilustración 61: Comparación Curva de Fragilidad con IM de Sd.	49
Ilustración 62: Comparación Curva de Fragilidad con IM de Sa.	49
Ilustración 63: Comparación Curva de Fragilidad con IM de PGA.	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Estados Límites y los Parámetros utilizados en su Caracterización.	14
Tabla 2: Periodo fundamental de la Estructura Cr-M-2-A-7-Y.....	44
Tabla 3: Aceleraciones por Periodo para el Método Espectral.....	44
Tabla 4: Resultados de Metodologías aplicadas con la IM de Aceleración para un Registro Sísmico.	44
Tabla 5: Puntos de Bilineal, Resultados de Parámetros para θ y β por Umbral de Daño de Cada Edificación.....	43
Tabla 6: Comparación de los Parámetros θ y β para PA1 y PA3 de Edificación Cr-M-2-A-7-Y para IM de PGA.....	46
Tabla 7: Propiedades de Edificación Af-M-2-M-3.....	78
Tabla 8: Resultado para Sd de Edificación Af-M-2-M-3.	78
Tabla 9: Resultado para Sa de Edificación Af-M-2-M-3.	79
Tabla 10: Propiedades de Edificación Af-M-2-M-4.....	79
Tabla 11: Resultado para Sd de Edificación Af-M-2-M-4.	80
Tabla 12: Resultado para Sa de Edificación Af-M-2-M-4.	80
Tabla 13: Propiedades de Edificación Af-M-3-M-2.....	81
Tabla 14: Resultado para Sd de Edificación Af-M-3-M-2.	81
Tabla 15: Resultado para Sa de Edificación Af-M-3-M-2.	82
Tabla 16: Propiedades de Edificación A-IMF-4-C-2.....	82
Tabla 17: Resultado para Sd de Edificación A-IMF-4-C-2.	83
Tabla 18: Resultado para Sa de Edificación A-IMF-4-C-2.	83
Tabla 19: Propiedades de Edificación A-OMF-4-C-3.....	84
Tabla 20: Propiedades de Edificación A-SMF-4-C-1.	85
Tabla 21: Resultado para Sd de Edificación A-SMF-4-C-1.	85
Tabla 22: Resultado para Sa de Edificación A-SMF-4-C-1.	86
Tabla 23: Propiedades de Edificación A-IMF-10-F-2.	86
Tabla 24: Resultado para Sd de Edificación A-IMF-10-F-2.....	87
Tabla 25: Resultado para Sa de Edificación A-IMF-10-F-2.....	87
Tabla 26: Propiedades de Edificación A-OMF-10-F-3.	88
Tabla 27: Resultado para Sd de Edificación A-OMF-10-F-3.	88

Tabla 28: Resultado para Sa de Edificación A-OMF-10-F-3.	89
Tabla 29: Propiedades de Edificación A-SMF-10-F-1.	89
Tabla 30: Resultado para Sd de Edificación A-SMF-10-F-1.	90
Tabla 31: Resultado para Sa de Edificación A-SMF-10-F-1.	90
Tabla 32: Propiedades de Edificación Cr-D-5-L-1.	91
Tabla 33: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-5-L-1.	91
Tabla 34: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-5-L-1.	92
Tabla 35: Propiedades de Edificación Cr-D-5-L-2.	92
Tabla 36: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-5-L-2.	93
Tabla 37: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-5-L-2.	93
Tabla 38: Propiedades de Edificación Cr-D-5-L-3.	94
Tabla 39: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-5-L-3.	94
Tabla 40: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-5-L-3.	95
Tabla 41: Propiedades de Edificación Cr-D-5-L-3.	95
Tabla 42: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-5-L-4.	96
Tabla 43: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-5-L-4.	96
Tabla 44: Propiedades de Edificación Cr-D-6-A-3.	97
Tabla 45: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-6-A-3.	97
Tabla 46: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-6-A-3.	98
Tabla 47: Propiedades de Edificación Cr-D-8-B-1.	98
Tabla 48: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-8-B-1.	99
Tabla 49: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-8-B-1.	99
Tabla 50: Propiedades de Edificación Cr-D-8-B-10.	100
Tabla 51: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-8-B-10.	100
Tabla 52: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-8-B-10.	101
Tabla 53: Propiedades de Edificación Cr-D-8-B-11.	101
Tabla 54: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-8-B-11.	102
Tabla 55: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-8-B-11.	102
Tabla 56: Propiedades de Edificación Cr-D-8-B-12.	103
Tabla 57: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-8-B-12.	103

Tabla 58: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-8-B-12.....	104
Tabla 59: Propiedades de Edificación Cr-D-8-B-13.	104
Tabla 60: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-8-B-13.....	105
Tabla 61: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-8-B-13.....	105
Tabla 62: Propiedades de Edificación Cr-D-8-B-14.	106
Tabla 63: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-8-B-14.....	106
Tabla 64: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-8-B-14.....	107
Tabla 65: Propiedades de Edificación Cr-D-8-B-15.	107
Tabla 66: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-8-B-15.....	108
Tabla 67: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-8-B-15.....	108
Tabla 68: Propiedades de Edificación Cr-D-8-B-2.	109
Tabla 69: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-8-B-2.....	109
Tabla 70: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-8-B-2.....	110
Tabla 71: Propiedades de Edificación Cr-D-8-B-3	110
Tabla 72: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-8-B-3.....	111
Tabla 73: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-8-B-3.....	111
Tabla 74: Propiedades de Edificación Cr-D-8-B-4.	112
Tabla 75: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-8-B-4.....	112
Tabla 76: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-8-B-4.....	113
Tabla 77: Propiedades de Edificación Cr-D-8-B-5.	113
Tabla 78: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-8-B-5.....	114
Tabla 79: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-8-B-5.....	114
Tabla 80: Propiedades de Edificación Cr-D-8-B-6.	115
Tabla 81: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-8-B-6.....	115
Tabla 82: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-8-B-6.....	116
Tabla 83: Propiedades de Edificación Cr-D-8-B-7.	116
Tabla 84: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-8-B-7.....	117
Tabla 85: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-8-B-7.....	117
Tabla 86: Propiedades de Edificación Cr-D-8-B-8.	118
Tabla 87: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-8-B-8.....	118

Tabla 88: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-8-B-8.....	119
Tabla 89: Propiedades de Edificación Cr-D-8-B-9.	119
Tabla 90: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-8-B-9.....	120
Tabla 91: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-8-B-9.....	120
Tabla 92: Propiedades de Edificación Cr-D-18-H-2-X.	121
Tabla 93: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-18-H-2-X.....	121
Tabla 94: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-18-H-2-X.....	122
Tabla 95: Propiedades de Edificación Cr-D-18-H-2-Y.	122
Tabla 96: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-18-H-2-Y.....	123
Tabla 97: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-18-H-2-Y.....	123
Tabla 98: Propiedades de Edificación Cr-M-10-H-1.....	124
Tabla 99: Resultado para Sd de Edificación Cr-M-10-H-1.....	124
Tabla 100: Resultado para Sa de Edificación Cr-M-10-H-1.....	125
Tabla 101: Propiedades de Edificación Cr-M-10-H-2.....	125
Tabla 102: Resultado para Sd de Edificación Cr-M-10-H-2.....	126
Tabla 103: Resultado para Sa de Edificación Cr-M-10-H-2.....	126
Tabla 104: Propiedades de Edificación Cr-M-10-H-3.....	127
Tabla 105: Resultado para Sd de Edificación Cr-M-10-H-3.....	127
Tabla 106: Resultado para Sa de Edificación Cr-M-10-H-3.....	128
Tabla 107: Propiedades de Edificación Cr-M-10-H-4.....	128
Tabla 108: Resultado para Sd de Edificación Cr-M-10-H-4.....	129
Tabla 109: Resultado para Sa de Edificación Cr-M-10-H-4.....	129
Tabla 110: Propiedades de Edificación Cr-M-4-U-1.....	130
Tabla 111: Resultado para Sd de Edificación Cr-M-4-U-1.....	130
Tabla 112: Resultado para Sa de Edificación Cr-M-4-U-1.....	131
Tabla 113: Propiedades de Edificación Cr-M-5-R-1-X.	131
Tabla 114: Resultado para Sd de Edificación Cr-M-5-R-1-X.....	132
Tabla 115: Resultado para Sa de Edificación Cr-M-5-R-1-X.....	132
Tabla 116: Propiedades de Edificación Cr-M-5-R-1-Y.....	133
Tabla 117: Resultado para Sd de Edificación Cr-M-5-R-1-Y.....	133

Tabla 118: Resultado para Sa de Edificación Cr-M-5-R-1-Y.....	134
Tabla 119: Propiedades de Edificación Cr-Mu-6-G-1.	134
Tabla 120: Propiedades de Edificación Cr-Mu-7-G-2.	135
Tabla 121: Propiedades de Edificación Cr-Mu-8-G-3.	135
Tabla 122: Propiedades de Edificación Cr-Mu-9-G-4.	136
Tabla 123: Propiedades de Edificación Cr-Mu-12-G-5.....	136
Tabla 124: Propiedades de Edificación Cr-Mu-18-G-6.....	137
Tabla 125: Resultado para Sd de Edificación Cr-Mu-18-G-6.	137
Tabla 126: Resultado para Sa de Edificación Cr-Mu-18-G-6.	138
Tabla 127: Propiedades de Edificación Mc-M-2-S-1.....	138
Tabla 128: Resultado para Sd de Edificación Mc-M-2-S-1.	139
Tabla 129: Resultado para Sa de Edificación Mc-M-2-S-1.	139
Tabla 130: Propiedades de Edificación Mc-M-2-S-3.....	140
Tabla 131: Resultado para Sd de Edificación Mc-M-2-S-3.	140
Tabla 132: Resultado para Sa de Edificación Mc-M-2-S-3	141
Tabla 133: Propiedades de Edificación Mc-M-2-S-2.....	141
Tabla 134: Resultado para Sd de Edificación Mc-M-2-S-2.	142
Tabla 135: Resultado para Sa de Edificación Mc-M-2-S-2.	142
Tabla 136: Propiedades de Edificación Mi-M-2-H-1-X	143
Tabla 137: Propiedades de Edificación Mi-M-2-H-1-Y	143
Tabla 138: Resultado para Sd de Edificación Mi-M-2-H-1-Y.....	144
Tabla 139: Resultado para Sa de Edificación Mi-M-2-H-1-Y.....	144
Tabla 140: Propiedades de Edificación Cr-D-5-A-2-X.....	145
Tabla 141: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-5-A-2-X	145
Tabla 142: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-5-A-2-X	146
Tabla 143: Propiedades de Edificación Cr-D-5-A-2-Y.....	146
Tabla 144: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-5-A-2-Y.	147
Tabla 145: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-5-A-2-Y	147
Tabla 146: Propiedades de Edificación Cr-D-10-A-4-X.....	148
Tabla 147: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-10-A-4-X	148

Tabla 148: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-10-A-4-X	149
Tabla 149: Propiedades de Edificación Cr-D-10-A-4-Y.....	149
Tabla 150: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-10-A-4-Y	150
Tabla 151: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-10-A-4-Y	150
Tabla 152: Propiedades de Edificación Cr-M-2-A-7-X.	151
Tabla 153: Resultado para Sd de Edificación Cr-M-2-A-7-X.....	151
Tabla 154: Resultado para Sa de Edificación Cr-M-2-A-7-X.....	152
Tabla 155: Propiedades de Edificación Cr-M-2-A-7-Y.	152
Tabla 156: Resultado para Sd de Edificación Cr-M-2-A-7-Y.....	153
Tabla 157: Resultado para Sa de Edificación Cr-M-2-A-7-Y.....	153
Tabla 158: Propiedades de Edificación Cr-M-6-P-1	154
Tabla 159: Resultado para Sd de Edificación Cr-M-6-P-1	154
Tabla 160: Resultado para Sa de Edificación Cr-M-6-P-1	155
Tabla 161: Propiedades de Edificación Cr-M-6-P-2-X.	155
Tabla 162: Resultado para Sd de Edificación Cr-M-6-P-2-X.....	156
Tabla 163: Resultado para Sa de Edificación Cr-M-6-P-2-X.....	156
Tabla 164: Propiedades de Edificación Cr-M-6-P-2-Y.	157
Tabla 165: Resultado para Sd de Edificación Cr-M-6-P-2-Y.....	157
Tabla 166: Resultado para Sa de Edificación Cr-M-6-P-2-Y.....	158
Tabla 167: Propiedades de Edificación Cr-M-10-P-4	158
Tabla 168: Resultado para Sd de Edificación Cr-M-10-P-4.	159
Tabla 169: Resultado para Sa de Edificación Cr-M-10-P-4.	159
Tabla 170: Propiedades de Edificación Cr-M-10-P-5-X.	160
Tabla 171: Resultado para Sd de Edificación Cr-M-10-P-5-X.....	160
Tabla 172: Resultado para Sa de Edificación Cr-M-10-P-5-X.....	161
Tabla 173: Propiedades de Edificación Cr-M-10-P-5-Y.	161
Tabla 174: Resultado para Sd de Edificación Cr-M-10-P-5-Y.....	162
Tabla 175: Resultado para Sa de Edificación Cr-M-10-P-5-Y.....	162
Tabla 176: Propiedades de Edificación Cr-M-5-R-2-X	163
Tabla 177: Resultado para Sd de Edificación Cr-M-5-R-2-X.....	163

Tabla 178: Resultado para Sa de Edificación Cr-M-5-R-2-X.....	164
Tabla 179: Propiedades de Edificación Cr-M-5-R-2-Y	164
Tabla 180: Resultado para Sd de Edificación Cr-M-5-R-2-Y.....	165
Tabla 181: Resultado para Sa de Edificación Cr-M-5-R-2-Y.....	165
Tabla 182: Propiedades de Edificación Cr-D-15-A-1.	166
Tabla 183: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-15-A-1.....	166
Tabla 184: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-15-A-1.....	167
Tabla 185: Propiedades de Edificación Cr-D-4-A-5-X.....	167
Tabla 186: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-4-A-5-X	168
Tabla 187: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-4-A-5-X	168
Tabla 188: Propiedades de Edificación Cr-D-4-A-5-Y.....	169
Tabla 189: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-4-A-5-Y	169
Tabla 190: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-4-A-5-Y	170
Tabla 191: Propiedades de Edificación Cr-M-4-A-6-X.	170
Tabla 192: Resultado para Sd de Edificación Cr-M-4-A-6-X.....	171
Tabla 193: Resultado para Sa de Edificación Cr-M-4-A-6-X.....	171
Tabla 194: Propiedades de Edificación Cr-M-4-A-6-Y.	172
Tabla 195: Resultado para Sd de Edificación Cr-M-4-A-6-Y.....	172
Tabla 196: Resultado para Sa de Edificación Cr-M-4-A-6-Y.....	173
Tabla 197: Propiedades de Edificación Af-M-3-M-1.....	173
Tabla 198: Resultado para Sd de Edificación Af-M-3-M-1	174
Tabla 199: Resultado para Sa de Edificación Af-M-3-M-1	174

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Curva de Fragilidad en PGA para Af-M-2-M-3.	78
Anexo 2: Curva de Fragilidad en Sd para Af-M-2-M-3.	78
Anexo 3: Curva de Fragilidad en Sa para Af-M-2-M-3.	79
Anexo 4: Curva de Fragilidad en PGA para Af-M-2-M-4.	79
Anexo 5: Curva de Fragilidad en Sd para Af-M-2-M-4.	80
Anexo 6: Curva de Fragilidad en Sa para Af-M-2-M-4.	80
Anexo 7: Curva de Fragilidad en PGA para Af-M-3-M-2.	81
Anexo 8: Curva de Fragilidad en Sd para Af-M-3-M-2.	81
Anexo 9: Curva de Fragilidad en Sa para Af-M-3-M-2.	82
Anexo 10: Curva de Fragilidad en PGA para A-IMF-4-C-2.	82
Anexo 11: Curva de Fragilidad en Sd para A-IMF-4-C-2.	83
Anexo 12: Curva de Fragilidad en Sa para A-IMF-4-C-2.	83
Anexo 13: Curva de Fragilidad en PGA para A-OMF-4-C-3.	84
Anexo 14: Curva de Fragilidad en PGA para A-SMF-4-C-1.	85
Anexo 15: Curva de Fragilidad en Sd para A-SMF-4-C-1.	85
Anexo 16: Curva de Fragilidad en Sa para A-SMF-4-C-1.	86
Anexo 17: Curva de Fragilidad en PGA para A-IMF-10-F-2.	86
Anexo 18: Curva de Fragilidad en Sd para A-IMF-10-F-2.	87
Anexo 19: Curva de Fragilidad en Sa para A-IMF-10-F-2.	87
Anexo 20: Curva de Fragilidad en PGA para A-OMF-10-F-3.	88
Anexo 21: Curva de Fragilidad en Sd para A-OMF-10-F-3.	88
Anexo 22: Curva de Fragilidad en Sa para A-OMF-10-F-3.	89
Anexo 23: Curva de Fragilidad en PGA para A-SMF-10-F-1.	89
Anexo 24: Curva de Fragilidad en Sd para A-SMF-10-F-1.	90
Anexo 25: Curva de Fragilidad en Sa para A-SMF-10-F-1.	90
Anexo 26: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-5-L-1.	91
Anexo 27: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-5-L-1.	91
Anexo 28: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-5-L-1.	92
Anexo 29: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-5-L-2.	92

Anexo 30: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-5-L-2.	93
Anexo 31: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-5-L-2.	93
Anexo 32: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-5-L-3.	94
Anexo 33: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-5-L-3.	94
Anexo 34: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-5-L-3.	95
Anexo 35: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-5-L-4.	95
Anexo 36: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-5-L-4.	96
Anexo 37: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-5-L-3.	96
Anexo 38: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-6-A-3.	97
Anexo 39: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-6-A-3.	97
Anexo 40: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-6-A-3.	98
Anexo 41: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-8-B-1.	98
Anexo 42: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-8-B-1.	99
Anexo 43: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-8-B-1.	99
Anexo 44: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-8-B-10.	100
Anexo 45: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-8-B-10.	100
Anexo 46: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-8-B-10.	101
Anexo 47: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-8-B-11.	101
Anexo 48: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-8-B-11.	102
Anexo 49: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-8-B-11.	102
Anexo 50: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-8-B-12.	103
Anexo 51: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-8-B-12.	103
Anexo 52: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-8-B-12.	104
Anexo 53: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-8-B-13.	104
Anexo 54: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-8-B-13.	105
Anexo 55: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-8-B-13.	105
Anexo 56: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-8-B-14.	106
Anexo 57: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-8-B-14.	106
Anexo 58: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-8-B-14.	107
Anexo 59: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-8-B-15.	107

Anexo 60: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-8-B-15.	108
Anexo 61: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-8-B-15.	108
Anexo 62: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-8-B-2.	109
Anexo 63: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-8-B-2.	109
Anexo 64: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-8-B-2.	110
Anexo 65: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-8-B-3.	110
Anexo 66: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-8-B-3.	111
Anexo 67: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-8-B-3.	111
Anexo 68: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-8-B-4.	112
Anexo 69: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-8-B-4.	112
Anexo 70: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-8-B-4.	113
Anexo 71: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-8-B-5.	113
Anexo 72: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-8-B-5.	114
Anexo 73: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-8-B-5.	114
Anexo 74: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-8-B-6.	115
Anexo 75: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-8-B-6.	115
Anexo 76: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-8-B-6.	116
Anexo 77: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-8-B-7.	116
Anexo 78: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-8-B-7.	117
Anexo 79: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-8-B-7.	117
Anexo 80: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-8-B-8.	118
Anexo 81: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-8-B-8.	118
Anexo 82: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-8-B-8.	119
Anexo 83: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-8-B-9.	119
Anexo 84: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-8-B-9.	120
Anexo 85: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-8-B-9.	120
Anexo 86: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-18-H-2-X.	121
Anexo 87: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-18-H-2-X.	121
Anexo 88: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-18-H-2-X.	122
Anexo 89: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-18-H-2-Y.	122

Anexo 90: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-18-H-2-Y.	123
Anexo 91: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-18-H-2-Y.	123
Anexo 92: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-M-10-H-1.	124
Anexo 93: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-M-10-H-1.	124
Anexo 94: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-M-10-H-1.	125
Anexo 95: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-M-10-H-2.	125
Anexo 96: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-M-10-H-2.	126
Anexo 97: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-M-10-H-2.	126
Anexo 98: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-M-10-H-3.	127
Anexo 99: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-M-10-H-3.	127
Anexo 100: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-M-10-H-3.	128
Anexo 101: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-M-10-H-4.	128
Anexo 102: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-M-10-H-4.	129
Anexo 103: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-M-10-H-4.	129
Anexo 104: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-M-4-U-1.	130
Anexo 105: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-M-4-U-1.	130
Anexo 106: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-M-4-U-1.	131
Anexo 107: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-M-5-R-1-X.	131
Anexo 108: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-M-5-R-1-X.	132
Anexo 109: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-M-5-R-1-X.	132
Anexo 110: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-M-5-R-1-Y.	133
Anexo 111: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-M-5-R-1-Y.	133
Anexo 112: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-M-5-R-1-Y.	134
Anexo 113: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-Mu-6-G-1.	134
Anexo 114: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-Mu-6-G-2.	135
Anexo 115: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-Mu-8-G-3.	135
Anexo 116: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-Mu-9-G-4.	136
Anexo 117: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-Mu-12-G-5.	136
Anexo 118: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-Mu-18-G-6.	137
Anexo 119: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-Mu-18-G-6.	137

Anexo 120: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-Mu-18-G-6.	138
Anexo 121: Curva de Fragilidad en PGA para Mc-M-2-S-1.	138
Anexo 122: Curva de Fragilidad en Sd para Mc-M-2-S-1.	139
Anexo 123: Curva de Fragilidad en Sa para Mc-M-2-S-1.	139
Anexo 124: Curva de Fragilidad en PGA para Mc-M-2-S-3.	140
Anexo 125: Curva de Fragilidad en Sd para Mc-M-2-S-3.	140
Anexo 126: Curva de Fragilidad en Sa para Mc-M-2-S-3.	141
Anexo 127: Curva de Fragilidad en PGA para Mc-M-2-S-2.	141
Anexo 128: Curva de Fragilidad en Sd para Mc-M-2-S-2.	142
Anexo 129: Curva de Fragilidad en Sa para Mc-M-2-S-2.	142
Anexo 130: Curva de Fragilidad en PGA para Mi-M-2-H-1-X.	143
Anexo 131: Curva de Fragilidad en PGA para Mi-M-2-H-1-Y.	143
Anexo 132: Curva de Fragilidad en Sd para Mi-M-2-H-1-Y.	144
Anexo 133: Curva de Fragilidad en Sa para Mi-M-2-H-1-Y.	144
Anexo 134: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-5-A-2-X.	145
Anexo 135: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-5-A-2-X.	145
Anexo 136: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-5-A-2-X.	146
Anexo 137: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-5-A-2-Y.	146
Anexo 138: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-5-A-2-Y.	147
Anexo 139: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-5-A-2-Y.	147
Anexo 140: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-10-A-4-X.	148
Anexo 141: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-10-A-4-X.	148
Anexo 142: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-10-A-4-X.	149
Anexo 143: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-10-A-4-Y.	149
Anexo 144: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-10-A-4-Y.	150
Anexo 145: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-10-A-4-Y.	150
Anexo 146: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-M-2-A-7-X.	151
Anexo 147: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-M-2-A-7-X.	151
Anexo 148: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-M-2-A-7-X.	152
Anexo 149: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-M-2-A-7-Y.	152

Anexo 150: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-M-2-A-7-Y.	153
Anexo 151: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-M-2-A-7-Y.	153
Anexo 152: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-M-6-P-1.	154
Anexo 153: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-M-6-P-1.	154
Anexo 154: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-M-6-P-1.	155
Anexo 155: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-M-6-P-2-X.	155
Anexo 156: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-M-6-P-2-X.	156
Anexo 157: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-M-6-P-2-X.	156
Anexo 158: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-M-6-P-2-Y.	157
Anexo 159: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-M-6-P-2-Y.	157
Anexo 160: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-M-6-P-2-Y.	158
Anexo 161: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-M-10-P-4.	158
Anexo 162: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-M-10-P-4.	159
Anexo 163: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-M-10-P-4.	159
Anexo 164: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-M-10-P-5-X.	160
Anexo 165: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-M-10-P-5-X.	160
Anexo 166: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-M-10-P-5-X.	161
Anexo 167: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-M-10-P-5-Y.	161
Anexo 168: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-M-10-P-5-Y.	162
Anexo 169: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-M-10-P-5-Y.	162
Anexo 170: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-M-5-R-2-X.	163
Anexo 171: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-M-5-R-2-X.	163
Anexo 172: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-M-5-R-2-X.	164
Anexo 173: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-M-5-R-2-Y.	164
Anexo 174: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-M-5-R-2-Y.	165
Anexo 175: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-M-5-R-2-Y.	165
Anexo 176: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-15-A-1.	166
Anexo 177: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-15-A-1.	166
Anexo 178: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-15-A-1.	167
Anexo 179: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-4-A-5-X.	167

Anexo 180: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-4-A-5-X.	168
Anexo 181: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-4-A-5-X.	168
Anexo 182: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-4-A-5-Y.	169
Anexo 183: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-4-A-5-Y.	169
Anexo 184: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-4-A-5-Y.	170
Anexo 185: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-M-4-A-6-X.	170
Anexo 186: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-M-4-A-6-X.	171
Anexo 187: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-M-4-A-6-X.	171
Anexo 188: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-M-4-A-6-Y.	172
Anexo 189: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-M-4-A-6-Y.	172
Anexo 190: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-M-4-A-6-Y.	173
Anexo 191: Curva de Fragilidad en PGA para Af-M-3-M-1.	173
Anexo 192: Curva de Fragilidad en Sd para Af-M-3-M-1.	174
Anexo 193: Curva de Fragilidad en Sa para Af-M-3-M-1.	174

RESUMEN

Este trabajo desarrolla e implementa una metodología para estimar curvas de fragilidad sísmica mediante el análisis no lineal en tiempo-historia (ANLTH). La estructura se representa como un sistema de un grado de libertad (SDOF) con comportamiento bilineal, definido por parámetros de fluencia y desplazamiento último. La respuesta se obtiene con integración paso a paso usando el método de Newmark, permitiendo construir la relación fuerza vs desplazamiento (histéresis) y extraer, para cada registro sísmico, un punto de desempeño basado en la respuesta máxima absoluta. Con estos resultados se genera la nube de puntos que relaciona una medida de intensidad seleccionada (PGA, Sd elástico o Sa elástico) con el desempeño del sistema. Para cada estado de daño, los puntos se clasifican por excedencia respecto a umbrales definidos y se procesa estadísticamente el rango de intensidades mediante agrupación de registros, calculando intensidades promedio por grupo y fracciones de excedencia k/N . Adicionalmente, se incorporan puntos de anclaje en intensidades menores y mayores al rango, obtenidos a partir de registros disponibles o, cuando no existen suficientes datos, mediante valores generados por porcentajes artificiales de puntos límites; estos anclajes estabilizan el ajuste y aseguran una transición probabilística coherente en los extremos θ y β de las curvas de fragilidad por estado de daño. El procedimiento se automatiza en un código que integra la lectura de registros, el procesamiento estadístico y la exportación de tablas y curvas, proporcionando una herramienta aplicable a evaluaciones de desempeño y fragilidad estructural.

Palabras Claves: *Fragilidad, Bilineal, Newmark, No Lineal, Histéresis, Tiempo-Historia, Punto de Desempeño.*

ABSTRACT

This work develops and implements a methodology to estimate seismic fragility curves using nonlinear time-history analysis. The structure is represented as a single degree of freedom (SDOF) system with bilinear behavior, defined by yield and ultimate displacement parameters. The response is obtained through step-by-step integration using the Newmark method, allowing the construction of the force vs displacement relationship (hysteresis) and the extraction, for each seismic record, of a performance point based on the maximum absolute response. From these results, a cloud of points is generated relating a selected intensity measure (PGA, elastic S_d , or elastic S_a) to the system performance. For each damage state, the point is classified according to exceedance of predefined damage thresholds, and the intensity range is statistically processed by grouping records, computing average intensities per group and exceedance fractions k/N . In addition, anchoring points are incorporated at intensity levels below and above the range, obtained from available records or, when insufficient data exist, from auxiliary values defined relative to the intensity limits; these anchors stabilize the fit and ensure a consistent probabilistic transition at the extremes. Finally, Baker lognormal functions are fitted to estimate the parameters θ and β of the fragility curves for each damage state. The procedure is automated in a computational code that integrates record reading, statistical processing, and the export of tables and curves, providing a tool applicable to structural performance and seismic fragility assessments.

Key Words: *Fragility, Bilinear, Newmark, Nonlinear, Hysteresis, Time-history, Performance Point.*

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

Para el análisis de fragilidad sísmica basado en espectros de capacidad, (Saborio, 2018) aplicó la metodología LM2 del proyecto Risk-UE para obtener curvas de fragilidad a partir de curvas de capacidad bilineales. Definió diferentes tipologías estructurales siendo 73 en total subdivididas en 13 grupos. El estudio definió umbrales de daño en función de los desplazamientos de fluencia y capacidad última, construyó matrices de daño probable y ajustó distribuciones lognormales para la representación probabilística del daño.

A partir de estas bases, (Molina Arias & Ajila Ajila, 2024) desarrollaron código en Python para generación automatizada de curvas de fragilidad, aplicando el método del Espectro de Capacidad (CSM) y utilizando los procedimientos establecidos en el Método de Coeficientes en ASCE 41-17 y FEMA 440, partiendo de curvas pushover y representaciones bilineales de capacidad, con determinación del punto de desempeño mediante enfoques estáticos equivalentes, manteniendo el desarrollo estadístico convencional para el ajuste de las curvas de fragilidad.

Posteriormente, (Zapata López & Robalino González, 2025) ampliaron este desarrollo, adaptando el código para múltiples tipologías estructurales usadas en el trabajo de Saborío (2018) y aplicando el Método C del FEMA 440 (ATC, 1996; FEMA, 2005; ASCE 2017), también amplían una mejor dispersión estadística en las curvas obtenidas, siendo este un aporte adicional al trabajo previo.

En estos estudios, la demanda sísmica se representa mediante espectros de respuesta y el desempeño estructural se define a partir de un punto de desempeño equivalente. Este enfoque no modela de forma explícita la evolución temporal de la respuesta inelástica ni fenómenos asociados a ciclos de carga y descarga, como la disipación de energía por histéresis y la degradación progresiva de rigidez.

En particular, el comportamiento histerético se produce cuando los materiales estructurales experimentan deformaciones inelásticas repetidas durante un

sismo. Parte de la energía inducida por el movimiento no se almacena elásticamente, sino que se disipa como daño interno, reduciendo la rigidez efectiva y modificando la respuesta en ciclos sucesivos. Este proceso genera los bucles característicos en la relación fuerza vs desplazamiento.

Por ello, en este trabajo, la estimación de la fragilidad mediante análisis no línea en tiempo-historia se plantea como una alternativa más representativa, empleando un sistema bilineal con respuesta histerética, al permitir obtener directamente la respuesta inelástica bajo acelerogramas reales. El modelo se formula a partir de los parámetros de fluencia y último desplazamiento, definiendo la relación fuerza vs desplazamiento en función de su rigidez inicial, su degradación y la disipación cíclica de energía.

En términos prácticos, para el procedimiento se utiliza directamente registros sísmicos en el dominio del tiempo para evaluar la evolución de la fuerza y el desplazamiento en sistemas de un grado de libertad (SDOF) para cada acelerograma. La demanda sísmica se evalúa en cada instante del registro, considerando la variación temporal de la excitación, y la capacidad se actualiza en cada paso de cálculo, permitiendo identificar el desempeño dinámico como el estado de equilibrio efectivo entre ambas magnitudes durante el ciclo de carga. Aparte, se continúa con un procedimiento similar para la estadística de los datos de desempeño al estudio realizado de Robalino y Zapata.

Este trabajo amplía los desarrollos previos basados en el Método del Espectro de Capacidad, incorporando un enfoque dinámico orientado a representar de manera directa la respuesta inelástica estructural y los mecanismos de disipación de energía que no son capturados por los procedimientos estáticos equivalentes.

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar y validar un código en Python que, a partir del análisis No Lineal en Tiempo-Historia, obtenga curvas de fragilidad para edificaciones de diferentes características.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a. Modificar los algoritmos en Python desarrollado en estudios previos de la UCSG de tal forma que implemente un análisis no lineal en Tiempo Historia para obtener curvas de fragilidad de edificaciones.
- b. Obtener curvas de fragilidad para diferentes tipologías estructurales y alturas de edificación a partir de la respuesta dinámica no lineal frente a registros sísmicos reales.
- c. Comparar los resultados obtenidos mediante el uso de análisis no lineal en Tiempo-Historia con aquellos obtenidos en estudios previos e identificar sus diferencias.

ALCANCE

El presente trabajo tiene como alcance el desarrollo de un programa en el software de Python para la generación de curvas de fragilidad estructural mediante análisis no lineal en tiempo-historia. La estructura se idealiza como un sistema dinámico equivalente de un grado de libertad con comportamiento bilineal, capaz de reproducir la respuesta elástica e inelástica global del sistema y los efectos de histéresis, asociados al ciclo de carga y descarga inducido por la acción sísmica.

La respuesta dinámica del sistema se obtiene aplicando el método de Newmark en su formulación no lineal, mediante el dominio del tiempo y un proceso iterativo para la actualización de la rigidez y las fuerzas internas en cada incremento temporal por Newton-Raphson. Este procedimiento se implementa mediante un código desarrollado en el lenguaje Python, el cual permite automatizar el análisis de múltiples registros sísmicos reales, caracterizados a partir de su aceleración

máxima del suelo (PGA) como parte de una de las medidas de intensidad a analizar.

El estudio se enfoca en la evaluación del comportamiento global de la estructura, sin considerar la interacción suelo–estructura, como el modelado conjunto del suelo y la cimentación con la estructura durante la acción sísmica, ni modelos estructurales tridimensionales detallados. A partir de la respuesta obtenida, se establecen estados de daño en función de parámetros de la curva bilineal (capacidad), y se construyen las curvas de fragilidad, expresadas como la probabilidad de excedencia de cada estado de daño en función de la intensidad sísmica.

CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO

1.1 ALTO RIESGO SÍSMICO

Un estudio de peligro sísmico busca estimar la intensidad del movimiento del terreno que puede presentarse en un sitio, considerando que los sismos son fenómenos inciertos en cuanto a su magnitud, ubicación, frecuencia de ocurrencia y características de la fuente. Por esta razón, el peligro sísmico suele evaluarse mediante enfoques probabilísticos, donde se determina la probabilidad de que un nivel de intensidad sea excedido dentro de un periodo de tiempo específico. Los resultados se presentan comúnmente mediante curvas de peligro, espectros de peligro uniforme y mapas de peligro sísmico, herramientas que permiten definir parámetros útiles para el diseño y evaluación de estructuras. (Martinez & Angulo, 2016)

1.2 ANÁLISIS SÍSMICO DE ESTRUCTURAS

El análisis sísmico de estructuras corresponde al conjunto de procedimientos empleados para estimar la respuesta de una estructura ante la excitación producida por el movimiento del terreno durante un sismo. En el caso de excitación sísmica, el objetivo del análisis es obtener cantidades de respuesta en el tiempo, como desplazamientos, velocidades y aceleraciones, y a partir de ellas inferir demandas internas relevantes (fuerzas y esfuerzos).

Chopra indica que, dada la masa, rigidez, amortiguamiento y la excitación dinámica, incluyendo la aceleración del terreno $\ddot{u}_g(t)$, el problema fundamental de la dinámica estructural consiste en determinar estas respuestas para el sistema estructural.

Para sistemas sometidos a excitación sísmica, es común trabajar con el desplazamiento relativo $u(t)$ ya que este está directamente asociado a las deformaciones estructurales. De acuerdo con Chopra, los desplazamientos relativos son los más importantes porque las fuerzas internas en la estructura se relacionan directamente con $u(t)$.

En un modelo simplificado de un sistema equivalente de un grado de libertad (1GDL), la ecuación de movimiento bajo aceleración del terreno, en coordenadas relativas, puede expresarse en su forma normalizada como:

$$\ddot{u}(t) + 2\zeta w_n \dot{u}(t) + w_n^2 u(t) = -\ddot{u}_g(t)$$

donde w_n es la frecuencia natural y ζ es la fracción de amortiguamiento. Chopra presenta esta formulación como base para la respuesta sísmica de sistemas lineales de un grado de libertad sometidos a aceleración del terreno. (Chopra, Dinámica de Estructuras 4ta Edición)

En el contexto del desempeño estructural, estas respuestas constituyen la base para evaluar si la estructura excede ciertos niveles de demanda y, posteriormente, para asociar dichos niveles con umbrales o estados de daño, que serán utilizados en la construcción de curvas de fragilidad.

1.3 ANÁLISIS DINÁMICO LINEAL

El análisis dinámico lineal asume un comportamiento elástico, por lo que la rigidez no cambia, se mantiene constante, y el modelo usa matrices iguales de constantes para la masa m , amortiguamiento c y rigidez k . Se resuelve principalmente de dos maneras: tiempo-historia y modal-espectral.

Para el análisis tiempo-historia lineal, se usa un acelerograma real y se integra la ecuación para el sistema de un grado de libertad:

$$m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + fs(u) = -m a_g(t)$$

para obtener $u(t)$, $\dot{u}(t)$ y $\ddot{u}(t)$; se enfatiza que el método calcula la respuesta línea ante cargas dinámicas y aceleraciones en la base (Oasys, 2025). Ramos y Rodríguez mencionan la idea que “el análisis dinámico línea utiliza la rigidez lineal y un acelerograma de un sismo real (Ramos Vintimilla & Rodríguez Cedillo, 2021)”.

En modal-espectral (RSA) no se integra un registro completo, sino que, se estiman máximos a partir de un espectro, y se obtiene la respuesta sísmica máxima probable de una estructura esencialmente elástica (Bridge, 2024)

1.4 ANÁLISIS DINÁMICO NO LINEAL

El análisis no lineal se usa cuando la estructura puede responder más allá del rango elástico, por lo que la rigidez ya no es constante y se consideran efectos en el rango plástico o inelástico e incluso degradación de rigidez (Deierlein, Reinhorn, & Willford, 2010).

Como indican Ramos y Rodríguez para el análisis no lineal: “es un análisis tiempo-historia que permite conocer el estado de la estructura en el tiempo. Este es un análisis complejo que requiere mayor esfuerzo computacional. La diferencia de este tipo de análisis radica en que se usa acelerogramas reales para la aplicación de la carga.” (Ramos Vintimilla & Rodríguez Cedillo, 2021)

El uso de acelerogramas reales simula explícitamente la histéresis y la disipación de energía, siendo el enfoque más completo cuando se dispone de registros.

1.5 MÉTODO DE NEWMARK

El método de Newmark realiza un procedimiento de integración numérica paso a paso para obtener la respuesta dinámica en el tiempo. Chopra lo presenta como una familia de métodos definida por dos ecuaciones de recurrencia, entre i e $i+1$, y toma énfasis en “los parámetros β y γ definen la variación de la aceleración durante un paso de tiempo y determinan las características de estabilidad y precisión del método”, indicando los rangos típicos de uso para el método de aceleración lineal siendo, $\gamma = 1/2$ y $\beta = 1/6$; y para el método de aceleración promedio siendo, $\gamma = 1/2$ y $\beta = 1/4$. (Chopra, Método de Newmark, 2020).

$$\dot{u}_{i+1} = \dot{u}_i + [(1 - \gamma)\Delta t]\ddot{u}_i + (\gamma\Delta t)\ddot{u}_{i+1}$$

$$u_{i+1} = \dot{u}_i + (\Delta t)\ddot{u}_i + \left[\left(\frac{1}{2} - \beta \right) (\Delta t)^2 \ddot{u}_i + \beta (\Delta t)^2 \ddot{u}_{i+1} \right]$$

- **Newmark Lineal:** El sistema se mantiene elástico y la fuerza restauradora es proporcional al desplazamiento con rigidez constante. Chopra señala que: “para los sistemas lineales es posible modificar la formulación original de Newmark a fin de permitir la solución sin iteración.” Quiere decir, que para cada Δt se arma una ecuación efectiva y se resuelve directamente el estado del paso siguiente, sin necesidad de un ciclo iterativo interno.

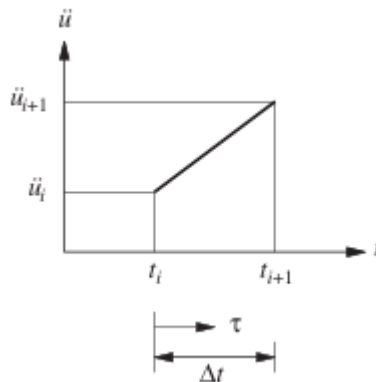


Ilustración 1: Aceleración en Rango Elástico en Función del Tiempo. (Chopra, Método de Newmark, 2020)

- **Newmark No Lineal:** El sistema ya no se mantiene elástico, tendrá una fase transitoria hacia el rango inelástico por la fuerza restauradora al ya no ser con el desplazamiento, por lo que la condición de equilibrio en t_{i+1} queda no lineal. La fuerza restauradora $(fs)_{i+1}$ es una función explícita no lineal de la incógnita u_{i+1} , este método requiere realización de iteraciones. (Chopra, Método de Newmark, 2020).

Para resolver esas iteraciones dentro de cada paso se usa típicamente Newton-Raphson, actualizando la solución a partir de un residuo (desequilibrio) hasta converger, lo cual Chopra menciona como “Iteración de Newton-Raphson” y la interpretación mediante la fuerza residual.

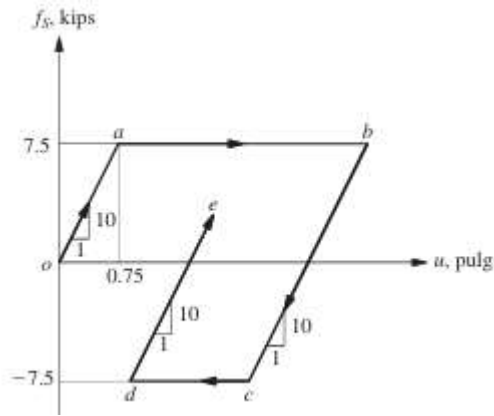


Ilustración 2: Ejemplo de Iteraciones por Newton-Raphson. (Chopra, Método de Newmark, 2020)

1.6 CURVA BILINEAL

El modelo bilineal es una idealización de la curva fuerza vs deformación de una estructura o sistema equivalente, representando dos etapas principales:

1. Zona inicial elástica con rigidez elevada.
2. Zona inelástica posterior a la fluencia, donde la rigidez se reduce y la respuesta se controla por la resistencia alcanzada.

Este tipo de aproximación permite mostrar el cambio de comportamiento estructural de forma sencilla.

Esta representación suele obtenerse como una simplificación de la curva de capacidad (análisis pushover), ya que permite aproximar el comportamiento global de la estructura mediante parámetros clave como la fuerza de fluencia f_y y el desplazamiento de fluencia u_y o d_y , como se muestra en la Ilustración 3

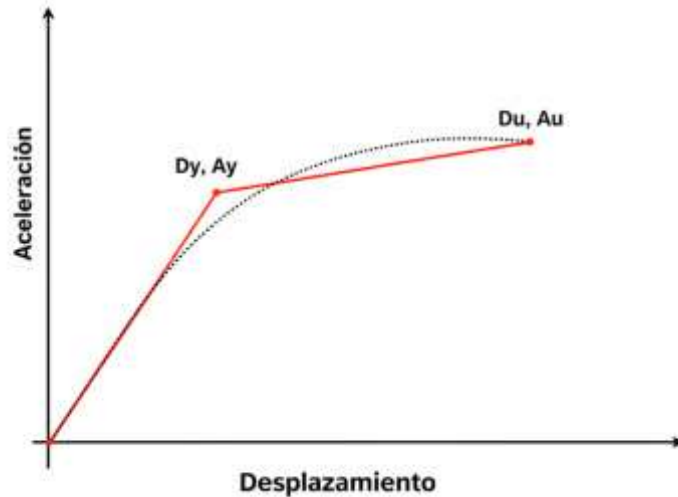


Ilustración 3: Representación de Curva Bilineal. (Moreno & Bairán, 2014)

En la metodología de ANLTH, el modelo bilineal es importante porque ayuda a introducir no linealidad en la respuesta dinámica. Al definir cómo evoluciona la fuerza resistente cuando el sistema supera el rango elástico, se logra mostrar la aparición de deformaciones inelásticas y los ciclos de carga y descarga asociados a la histéresis, lo cual representa la disipación de energía que ocurre durante un sismo, como se muestra en la Ilustración 4.

Además, al contar con una relación resistente clara en función del desplazamiento, el método de integración paso a paso, mencionado anteriormente en el Método de Newmark, calcula la respuesta en cada instante de tiempo. Con ello, se obtiene el desplazamiento máximo alcanzado y es posible compararlo con umbrales de daño, lo que permite establecer excedencias y construir finalmente las curvas de fragilidad.

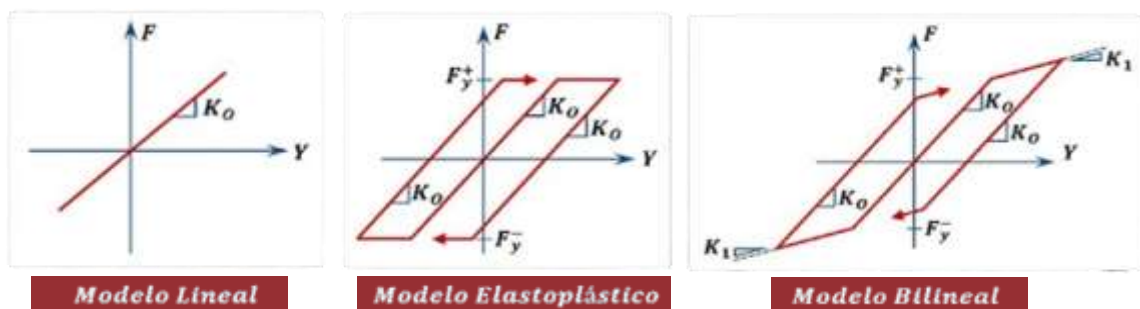


Ilustración 4: Modelos de Comportamientos Histerético. (Fuente: Procivilnet, 2018).

1.7 PUNTOS DE DESEMPEÑO

Para el análisis no lineal en tiempo-historia, FEMA P-58 hace mención que los resultados típicos para el método incluyen valores pico de demandas como derivas de piso y deformaciones no lineales, es decir, se extraen máximos de las historias de respuesta; eso respalda que el indicador principal sea un máximo por registro. (FEMAP-58-1, 2018)

El National Institute of Standards and Technology (NIST) señala que desplazamientos, velocidades y aceleraciones son parámetros de demanda que dan información del desempeño global, y que las deformaciones tipo derivas por piso son una medida representativa de la respuesta.

Para el análisis no lineal se genera la curva histerética de fuerza vs desplazamiento para cada registro y, de la historia $u(t)$, se obtiene el desplazamiento máximo absoluto $u_{max} = \max|u(t)|$. Utilizando u_{max} (o deriva máxima θ_{max}) se adopta como el punto representativo del desempeño del registro, ya que es el pico de demanda que se compara contra umbrales de desempeño; esto es consistente con que el ANLTH produce “valores pico” de demandas (FEMAP-58-1, 2018) y con desplazamientos/derivadas son parámetros directos de demanda para evaluar respuesta y daño.

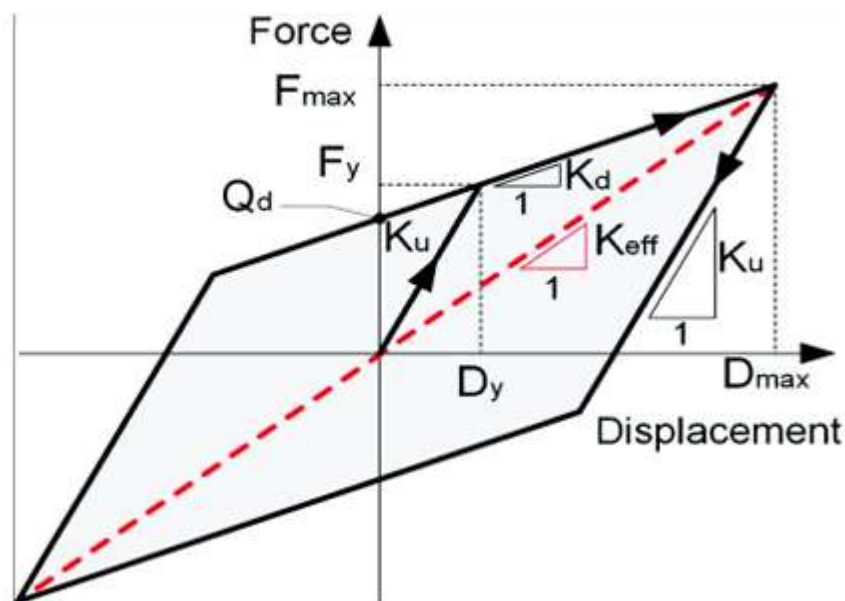


Ilustración 5: Histéresis Bilineal en Representación al Punto de Desempeño. Fuente: (Dai Nguyen & L., 2021)

1.8 ESTADOS LÍMITES DE DAÑO

Según NTC-18, existen los estados de daño en la estructura a través de 4 estados límites:

I. Nivel Operacional (SLO):

Cuando componentes estructurales y no estructurales, no deben sufrir interrupción luego de un terremoto. El nivel apropiado de proyección se alcanza al escoger la acción sísmica con un periodo de retorno de 30 años, correspondiente una probabilidad de excedencia de 81% en 50 años. (NTC-18, 2020)

II. Limitación de Daño (SLD):

Cuando el edificio después de un terremoto, incluyendo los componentes estructurales y no estructurales, sufren daño que no compromete significativamente la resistencia y rigidez ante acciones verticales y horizontales. La estructura permanece funcional. El nivel apropiado de protección se alcanza con un periodo de retorno de 50 años, con una probabilidad de excedencia del 63% en 50 años. (NTC-18, 2020)

III. Seguridad de Vida (SLV):

Cuando el edificio, sufre agrietamiento y se da el colapso de componentes y equipos no estructurales, existe daño significativo en los componentes estructurales, con pérdida significativa de rigidez contra las acciones horizontales (lateral); la construcción aún retiene parte de la rigidez y resistencia ante acciones verticales y existe un margen de seguridad en contra del colapso. El nivel apropiado de protección se alcanza en un periodo de retorno de 475 años, con una probabilidad de excedencia de 10% en 50 años. (NTC-18, 2020)

IV. Prevención del Colapso (SLC):

La estructura sufre agrietamiento severo, el colapso de los componentes no estructurales y existe daño severo en componentes estructurales. El edificio aún retiene rigidez y resistencia ante las

cargas verticales y un pequeño margen de seguridad en contra de las acciones laterales. El nivel apropiado de protección alcanza un periodo de retorno de 975 años, con una probabilidad de excedencia de 5% en 50 años. (NTC-18, 2020)

Para determinar los umbrales de daño es necesario graficar la evolución de las derivas entrepiso respecto al desplazamiento del nivel de cubierta normalizado respecto a la altura total del edificio (SEAOC, 1995). En el caso de un edificio con n niveles se obtienen n curvas de evolución correspondiendo el desplazamiento de un estado límite a la intersección de la primera curva con la deriva de entrepiso que caracteriza a dicho Estado Límite, se tiene de referencia la Tabla 1. (Vielma, Barbar, & Oller, 2008)

Estado Límite	Parametro
Sin daño	$0\% \leq \delta < 0.5\%$
De servicio	$0.5\% \leq \delta < 1.5\%$
Daños irreparables	$1.5\% \leq \delta < 2.5\%$
Daños extensos	$2.5\% \leq \delta < 3.0\%$
Prevención de colapso	$3.0\% \leq \delta; ID < 95\%$

Tabla 1: Estados Límites y los Parámetros utilizados en su Caracterización. (Vielma, Barbar, & Oller, 2008)

1.9 MÉTODO ESTADÍSTICO PARA DESEMPEÑO

1.9.1 Multiple Stripes Analysis (MSA)

En el método MSA, los análisis se ejecutan para varios niveles objetivo de medida de intensidad (IM), y en cada nivel se emplea un conjunto de registros sísmicos dentro del nivel de intensidad, de modo que la respuesta no lineal pueda caracterizarse por “franjas” de intensidad. Baker lo indica como: “En ocasiones, los análisis estructurales se realizan en un conjunto de niveles de IM, y se utilizan diferentes movimientos del suelo en cada nivel de IM.” (Baker, 2015)

Este método define el protocolo de la cantidad de análisis se realizan, en distintos niveles de IM y los conjuntos de registros para cada franja de nivel de IM (Ilustración 6), permitiendo evaluar la variabilidad de la respuesta y obtener la estimación de desempeño.

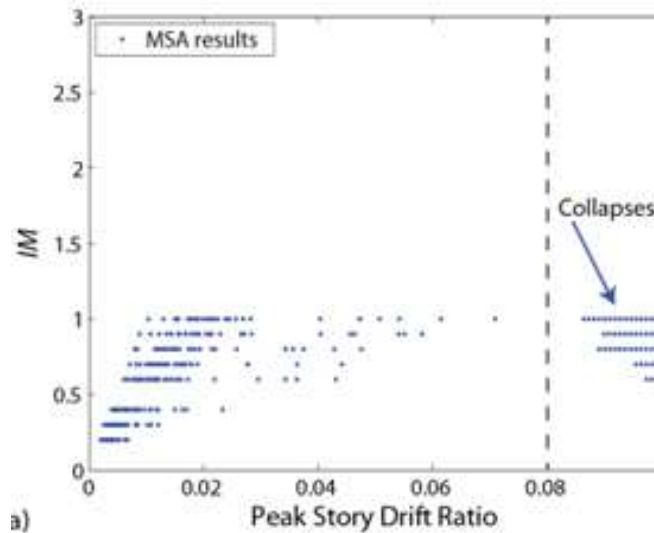


Ilustración 6: Ejemplo de Análisis de MSA Resultados. Fuente: (Baker, 2015)

1.10 CURVAS DE FRAGILIDAD

Una curva de fragilidad expresa la probabilidad de alcanzar o exceder un estado límite en función de una IM. Baker define esto como: “Una función de fragilidad específica la probabilidad de colapso, u otro estado límite de interés como en función de IM.” (Baker, 2015)

También indica que: “A menudo se utiliza una función de distribución acumulada lognormal para definir una función de fragilidad.” (Baker, 2015)

Para construir las curvas de fragilidad, (Vargas, Pujades, Barbat, & Hurtado, 2011) indican lo siguiente:

- I. En los desplazamientos de los umbrales de cada estado de daño, la probabilidad de que se iguale o exceda el estado de daño es del 50%.
- II. Las curvas de fragilidad siguen una función de probabilidad lognormal acumulativa descrita por la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}
 P[ds_i / sd] &= \phi \left[\frac{1}{\beta_{ds_i}} \text{Ln} \left(\frac{sd}{ds_i} \right) \right] \\
 &= \\
 P(\text{exceder } \theta | IM) &= \Phi \left(\frac{\ln(IM) - \ln(\theta)}{\beta} \right)
 \end{aligned}$$

- III. El daño sísmico esperado en los edificios sigue una distribución de probabilidad binomial. Se refiere a que el registro representa dos

resultados posibles al estado límite (excede y no excede), como se ve en la Ilustración 7.

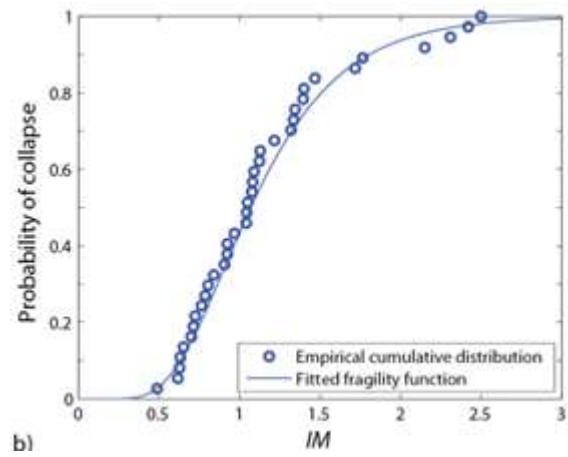


Ilustración 7: Ejemplo Fracción de Colapso en Función de IM y la Fragilidad en Función de la Ecuación de Baker. Fuente: (Baker, 2015)

CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA

El objetivo del este trabajo de titulación es elaborar un algoritmo en Python que calcule curvas de fragilidad de sistemas estructurales a partir del análisis no lineal asumiéndolas de un (1) grado de libertad (SDOF).

Para lograr este objetivo se consideró la siguiente metodología:

- a. Definir un set de registros sísmicos para someter a las estructuras a demandas con diferentes intensidades y características sísmicas.
- b. Definir el comportamiento de las estructuras mediante una curva bilineal que permita capturar su comportamiento elástico e inelástico mediante la idealización de un grado de libertad.
- c. Ejecutar el análisis no lineal de la estructura sometida a los registros sísmicos definidos en el paso anterior.
- d. Obtener las demandas de desplazamiento máximas de las estructuras idealizadas a 1 GDL.
- e. Definir las intensidades (PGA, S_a y S_d) de los sismos en estudio.
- f. Definir niveles de desempeño en términos de desplazamiento para clasificar las respuestas máximas definidas en el paso anterior.
- g. Crear curvas de fragilidad de las estructuras en base a un proceso estadístico que determine la probabilidad que una estructura supere un cierto nivel de desempeño según la intensidad de los sismos aplicados.

2.1 REGISTROS SÍSMICOS

Por ser un proceso estadístico, la obtención de las curvas de fragilidad de una estructura requiere del análisis de la mayor cantidad y variedad de escenarios sísmicos posible, por ello se elaboró un algoritmo capaz de leer múltiples registros sísmicos.

El algoritmo lee los registros sísmicos que el usuario ha incluido en una carpeta específica. Cada archivo de la carpeta corresponde a un (1) registro sísmico, los cuales deben tener una lista de aceleraciones en unidad es de cm/s^2 (Gal), el programa es capaz de convertir las unidades a m/s^2 o “g”, según lo que requiera el usuario. El algoritmo fue construido de tal manera que considera que el paso

(Δt) de los valores de aceleración de los registros de la carpeta sea considerado igual a 0.01, el paso en el tiempo de todos los registros debe ser igual.

2.2 CURVA BILINEAL

El análisis no lineal de la estructura requiere de la definición de las propiedades lineales y no lineales en base a una Curva Bilineal. Para ello el programa requiere la definición de 2 puntos: punto de fluencia y punto de respuesta última.

La curva bilineal puede realizarse en términos de fuerzas (fuerza vs deformación) o en términos de pseudo-aceleraciones (pseudo-aceleración vs deformación). Para el primero se requiere definir los puntos (u_y, f_y) y (u_u, f_u) , ver Ilustración 8, y para el segundo los puntos (u_y, A_y) y (u_u, A_u) , ver Ilustración 3.

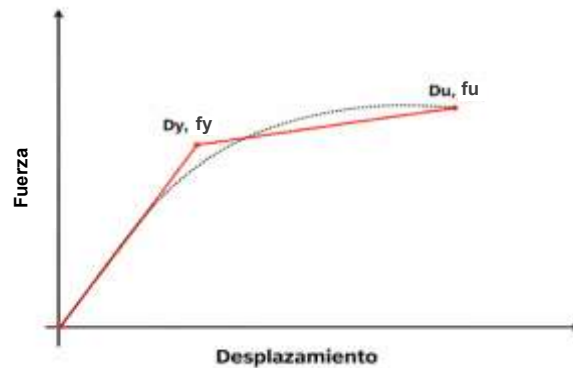


Ilustración 8: Representación de Curva Bilineal en Fuerzas.

Con los 2 puntos definidos por el usuario y el origen de la curva (0,0), el programa establece 2 tramos: tramo elástico y el tramo post-elástico, cada uno con sus propiedades específicas.

Para el tramo elástico, el programa define la rigidez inicial (k_1) en base al punto de fluencia:

$$k_1 = \frac{f_y}{u_y}$$

Para el tramo post-elástico, el programa define la pendiente post-elástico en función al punto de fluencia y al punto de respuesta última:

$$k_2 = (f_u - f_y) / (d_u - d_y)$$

Cuando se analiza la curva bilineal, el programa necesita recibir la información mínima para definir la relación fuerza vs desplazamiento del sistema, ya que esta curva describe cómo responde la estructura durante todo el análisis en tiempo-historia.

2.3 ANALISIS NO LINEAL

El análisis no lineal de la estructura combina las características de la estructura definidas en la Curva Bilineal con la demanda sísmica definida en los registros sísmicos.

El análisis se basa en la ecuación de equilibrio de la dinámica estructural para un SDOF, el cual está definido por masa m , un amortiguamiento c y una fuerza restauradora $f_s(u)$, la cual puede ser lineal o no lineal según el modelo adoptado. La respuesta se describe mediante:

$$m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + f_s(u) = -m a_g(t)$$

donde $u(t)$ es el desplazamiento relativo del sistema y $a_g(t)$ la aceleración del suelo del registro sísmico.

El registro sísmico define las aceleraciones de suelo $a_g(t)$ en función del tiempo.

2.3.1 Respuesta Newmark y Newton-Raphson.

El programa resuelve la ecuación de movimiento del SDOF bajo excitación sísmica, calculando la respuesta relativa y la fuerza interna en cada paso de tiempo.

a) Caso No Lineal:

Para el caso no lineal, se utiliza Newmark con parámetros β (1/4) y γ (1/2), y se aplica un ciclo de Newton–Raphson por paso: el proceso comienza en base a un predictor (estimación inicial de u_{i+1}), se evalúa la fuerza restauradora del modelo bilineal $f_s(u)$, se arma el residuo de equilibrio y se actualiza la solución usando la rigidez tangente kt , se muestra cómo se emplea la formulación de matrices en el programa (Ilustración 9).

```

def newmark_nl_bilinear(acc_mm, dt, m, c, fy, dy, fu, du,
                       beta=1/4, gamma=1/2, tol=1e-5, max_iter=50):
    """Newmark NO lineal."""
    acc_mm = np.asarray(acc_mm)
    n = len(acc_mm)

    k1 = fy / dy
    k2 = (fu - fy) / (du - dy) if du > dy else 0

    u = np.zeros(n)
    v = np.zeros(n)
    a = np.zeros(n)
    fs = np.zeros(n)
    kt = np.zeros(n)
    ep = np.zeros(n)
    alpha = np.zeros(n)
    p = -m * acc_mm

```

Ilustración 9: Análisis No Lineal de Newmark. Fuente: Elaboración Propia.

Este proceso se repite hasta cumplir el criterio de iteraciones máximas. El resultado final incluye valores de $u(t), v(t), a(t),$ fuerza restauradora $fs(t)$ (Ilustración 10) y el historial de estado del rango elástica o inelástico.

```

    u[i+1] = u_ip1
    fs[i+1] = fs_ip1
    kt[i+1] = kt_ip1
    ep[i+1] = ep_try
    alpha[i+1] = alpha_try

    v[i+1] = (gamma/(beta*dt))*(u[i+1]-u[i]) \
             + (1-gamma/beta)*v[i] \
             + dt*(1-gamma/(2*beta))*a[i]

    a[i+1] = (1/(beta*dt**2))*(u[i+1]-u[i]) \
             - (1/(beta*dt))*v[i] \
             - ((1/(2*beta))-1)*a[i]

    return u, v, a, fs, kt, k1, k2

```

Ilustración 10: Proceso Iterativo para rangos Elásticos e Inelásticos. Fuente: Elaboración Propia.

b) Caso Lineal:

Para el caso lineal, el procedimiento es análogo en cuanto a la integración temporal, pero sin necesidad de iteraciones internas. En este caso, la fuerza restauradora se define mediante una rigidez constante, por lo que el sistema permanece siempre en el rango elástico. El método de

Newmark se aplica directamente para actualizar el desplazamiento, la velocidad y la aceleración en cada incremento de tiempo, sin requerir el ciclo de corrección de Newton–Raphson. Como resultado, se obtienen las historias temporales elásticas de $u(t)$, $v(t)$ y $a(t)$, (Ilustración 11), a partir de las cuales el programa extrae los valores máximos de respuesta elástica utilizados en la definición de las intensidades S_a y S_d .

```
def newmark_lineal(acc_mm, dt, m, c, k1, beta=1/4, gamma=1/2):
    """Newmark lineal."""
    acc_mm = np.asarray(acc_mm)
    n = len(acc_mm)

    u = np.zeros(n)
    v = np.zeros(n)
    a = np.zeros(n)

    p = -m * acc_mm

    a0 = 1/(beta*dt**2)
    a1 = gamma/(beta*dt)
    a2 = 1/(beta*dt)
    a3 = 1/(2*beta) - 1
    a4 = gamma/beta - 1
    a5 = dt*(gamma/(2*beta) - 1)

    k_eff = k1 + a1*c + a0*m
```

Ilustración 11: Análisis Lineal de Newmark. Fuente: Elaboración Propia.

2.4 COMPORTAMIENTO HISTERÉTICO

Al programa permite calcular el desplazamiento $u(t)$ en cada incremento de tiempo y, para cada valor de u , determina la fuerza correspondiente f_s según la rama de la bilineal en la que se encuentre el sistema (elástica o inelástica). Con esto se construye, paso a paso, el par ordenado (u, f_s) que alimenta el gráfico fuerza vs desplazamiento.

Durante el análisis, el programa detecta los cambios de sentido del desplazamiento para definir las fases de carga, descarga y recarga. En carga, la fuerza sigue la rama elástica hasta la fluencia; si $u(t)$ supera a u_y , se entra al tramo inelástico y la fuerza se actualiza según la post-fluencia (meseta o pendiente k_2). Al invertirse el movimiento, se genera la trayectoria de descarga y se actualiza el estado para que la recarga no repita la ruta inicial formado los lazos histéreticos mostrados en la Ilustración 12.

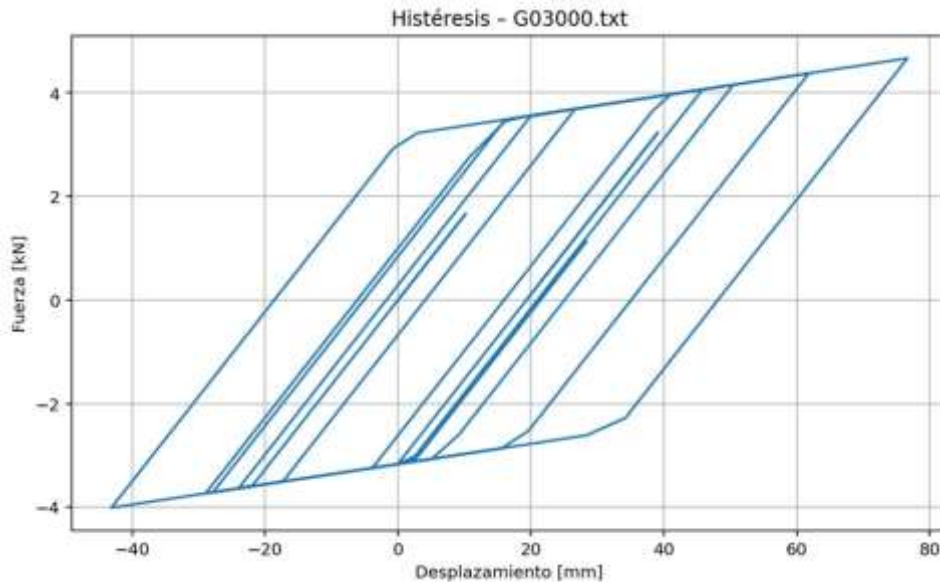


Ilustración 12: Comportamiento Histerético del Modelo Bilineal. Fuente: Elaboración Propia.

Este procedimiento permite representar de forma explícita la respuesta inelástica del sistema bajo acción sísmica, sirviendo como base la evaluación posterior del desempeño estructural.

2.5 DEFINICIÓN INTENSIDADES IM

La medida de intensidad sísmica (IM) tiene como objetivo clasificar o diferenciar a los sismos según su magnitud. En este trabajo se ha escogido 3 formas de clasificar a los sismos: en función del PGA, Sa o Sd.

- Para obtener el PGA del sismo, la intensidad se obtiene directamente del registro como el máximo absoluto de la aceleración del suelo ($PGA = \max(|a_g(t)|)$), y se normaliza a unidades requeridas por el usuario.
- Para obtener el valor de Sd, se ejecuta un análisis dinámico lineal con el registro, y se extrae el máximo desplazamiento elástico del sistema ($Sd = \max(|u(t)|)$); de esta manera, Sd representa una medida de demanda compatible con la dinámica del SDOF y con el propio acelerograma aplicado.
- Para obtener el valor Sa, se parte del valor previamente obtenido de Sd, utilizando su período fundamental T y aplicando la conversión de unidad definida dentro del algoritmo ($Sa = (2\pi / T)^2 \cdot Sd$).

Este procedimiento evita depender de espectros externos o idealizados, ya que las intensidades S_a/S_d se obtienen por integración temporal lineal (Newmark) utilizando el mismo registro sísmico, manteniendo coherencia entre la definición de intensidad y la respuesta estructural evaluada en el análisis posterior.

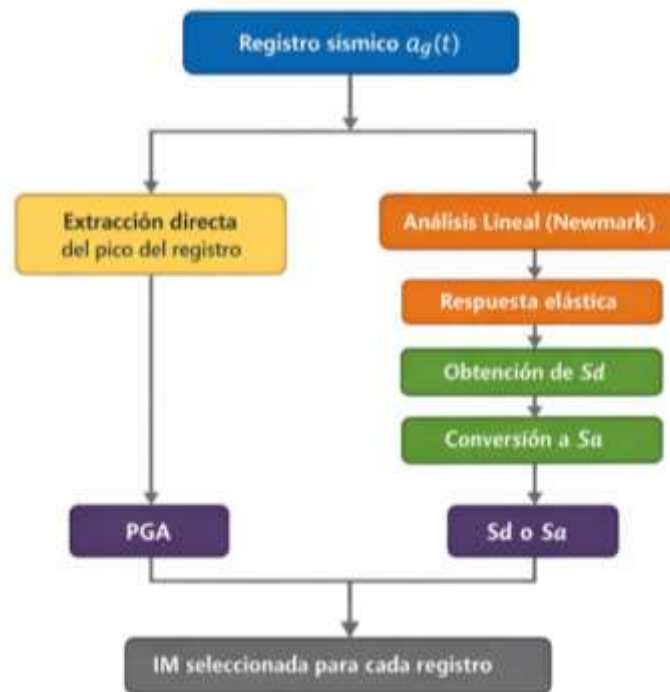


Ilustración 13: Flujo de Cálculo de la Medida de Intensidad IM: PGA, S_a y S_d . Fuente: Elaboración Propia.

2.6 NUBE DE PUNTOS

2.6.1 Formación Nube de Puntos.

El programa obtiene el punto de desempeño de la estructura sometida a cada registro. El punto de desempeño representa la respuesta de desplazamiento máximo del sistema de cada registro. El desplazamiento máximo d_{PD} se obtiene como el máximo absoluto de $u(t)$ obtenido durante el análisis tiempo-historia. Este parámetro se lo interpreta como variable principal, ya que permite relacionar directamente la respuesta estructural con los umbrales de daño.

De forma complementaria, cuando el análisis se realiza en términos de aceleración relacionado al desempeño, se calcula F_{max} como el máximo

absoluto de $f_s(t)$ y se obtiene la aceleración de desempeño como $a_{PD} = F_{max}/m$.

```
dPD = np.max(np.abs(u))
Fmax = np.max(np.abs(fs))
```

Ilustración 14: Fórmulas de Desempeño para Eje Y.

El programa relaciona la intensidad del sismo (IM) con el desempeño obtenido. La Nube de Puntos se genera graficando todos los puntos obtenidos (IM, d_{PD}), como se muestra en la Ilustración 18.

En el programa, la medida de intensidad en el eje X puede ser PGA, Sa o Sd. Con el valor de IM definido para cada registro y el desempeño relacionado, se forma la nube de puntos correspondiente, así como se muestra en la Ilustración 15.

```
Sd_el = np.max(np.abs(u_el))
Sa_el = ((4*np.pi**2 / T**2) * Sd_el) / 9810.0
PGA_g = np.max(np.abs(acc_cm)) / 981.0
```

Ilustración 15: Fórmulas de Intensidad IM en Eje X.

2.6.2 Umbrales de Daño.

Una vez construida la nube, el programa clasifica cada punto según su estado de daño, comparando el valor de d_{PD} con los umbrales definidos a partir de los parámetros de fluencia y desplazamiento último del sistema (d_y y d_u). (Vargas, Pujades, Barbat, & Hurtado, 2011)

```
# =====
# 3. UMBRALES DE DAÑO (trabajando en mm)
# =====

umbral_leve      = 0.7 * dy
umbral_moderado  = dy
umbral_extenso   = dy + 0.25 * (du - dy)
umbral_colapso   = du
```

Ilustración 16: Límites Umbrales de Daño. Fuente: Elaboración Propia.

Con base en esta comparación, a cada punto se le asigna una etiqueta (intacto, leve, moderado, extenso o colapso), la cual se utiliza para la visualización y para los pasos del método estadístico, como se muestra en la Ilustración 17.

```

# =====
# 4. CLASIFICACIÓN DE LOS PUNTOS SEGÚN UMBRAL
# =====

df_nube["Estado"] = ""

for i in df_nube.index:
    d = df_nube.loc[i, col_Y_nube] # Y = dPD en mm

    if d < umbral_leve:
        df_nube.loc[i, "Estado"] = "Intacto"
    elif d < umbral_moderado:
        df_nube.loc[i, "Estado"] = "Leve"
    elif d < umbral_extenso:
        df_nube.loc[i, "Estado"] = "Moderado"
    elif d < umbral_colapso:
        df_nube.loc[i, "Estado"] = "Extenso"
    else:
        df_nube.loc[i, "Estado"] = "Colapso"

```

Ilustración 17: Condiciones limitantes para Clasificación de los Estados de Daño. Fuente: Elaboración Propia.

Finalmente se grafica la nube, dibujando líneas horizontales de umbral y rotulando ejes según la IM seleccionada, mostrado en la Ilustración 18.

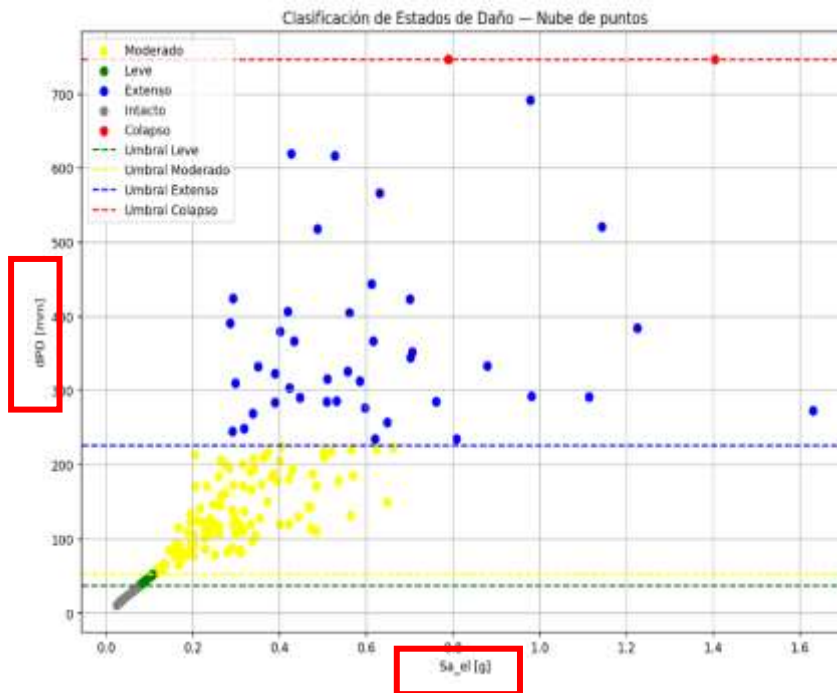


Ilustración 18: Ejemplo de IM y Respuesta de Desempeño utilizada con Umbrales de Daño de Estructura Cr-D-8-B-9. Fuente: Elaboración Propia.

2.7 MÉTODO ESTADÍSTICO

2.7.1 Condición de Excedencia [IMmin, IMmáx].

Una vez realizada la nube de puntos con los límites de umbrales de daño, por cada estado se evalúa la condición de excedencia comparando el desplazamiento de desempeño con el umbral correspondiente, asignando

un valor binario: si $d_{PD} \geq d_{umbral}$, excede (1), caso contrario, no excede (0). Con esta clasificación, se define el rango de intensidades donde trabajan ambos comportamientos.

Se definieron los parámetros IMmin y IMmáx para agrupar únicamente los puntos cuya probabilidad de excedencia es diferente a 0 o 100%. El parámetro IMmin se definió como la intensidad relacionada al primer punto que supera el umbral (excede = 1), y el parámetro IMmáx se definió como la intensidad relacionada al último punto que no supera el umbral (no excede = 0), ver Ilustración 19. De este modo, el intervalo [IMmin, IMmáx] queda delimitado por el punto donde se observa la primera excedencia y por el punto último donde ya no hay excedencia.

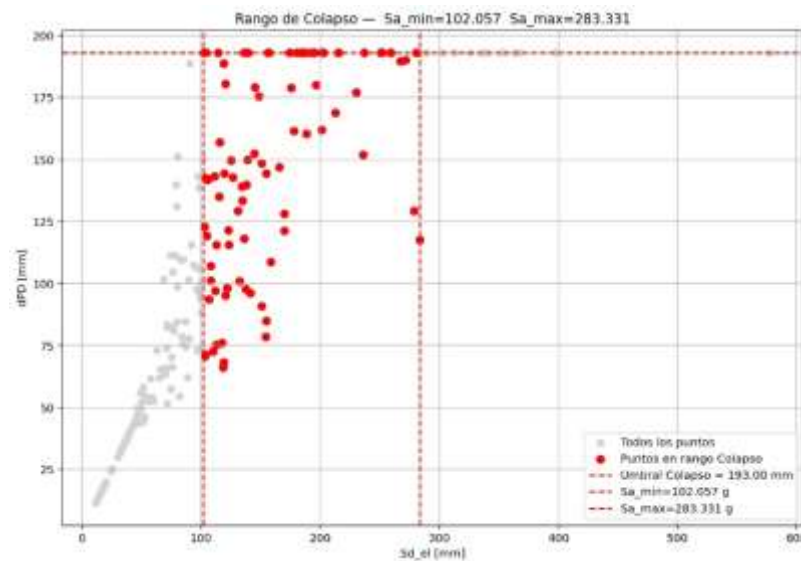


Ilustración 19: Ejemplo de Estructura Cr-D-10-A-4-Y para Colapso. Fuente: Elaboración Propia.

Con los puntos contenidos en este rango, se realiza un proceso de agrupación estadística. El programa ordena los registros por intensidad y una cantidad de grupos igual al entero de la raíz cuadrada del total de datos del rango. Cada grupo se forma con igual cantidad de registros; si la división no es exacta, el último grupo incluye los datos restantes. Para cada grupo se calcula la intensidad promedio y la fracción de excedencia k/N , donde k es el número de registros que superan el umbral dentro del grupo y N el total de registros de este. Al final se saca el promedio de cada grupo IM.

2.7.2 Puntos de Anclajes.

Dado que las curvas de fragilidad se construyen relacionando intensidades sísmicas (IM) con porcentaje de probabilidad de excedencia, todos los puntos con intensidades menores a IM_{min} tienen una probabilidad de excedencia igual a 0% y todos los puntos con intensidades mayores a $IM_{máx}$ tienen una probabilidad de excedencia igual a 100%.

Para definir las intensidades (IM) de estos grupos de puntos, con 0% y 100% de probabilidad de excedencia, se puede tomar el promedio de intensidades de los puntos de cada grupo (1 punto de anclaje) o se puede agrupar estos puntos en X grupos y obtener los promedios de cada grupo (X puntos de anclaje).

I. Caso A: no existen puntos reales.

Cuando no hay puntos de desempeño fuera del rango en un extremo, los tres valores de anclajes se general completamente de forma artificial a partir del límite disponible:

- $IM_{min} > [0.75IM_{min}, 0.50IM_{min} \text{ y } 0.25IM_{min}]$
- $IM_{máx} < [1.25IM_{máx}, 1.50IM_{máx} \text{ y } 1.75IM_{máx}]$

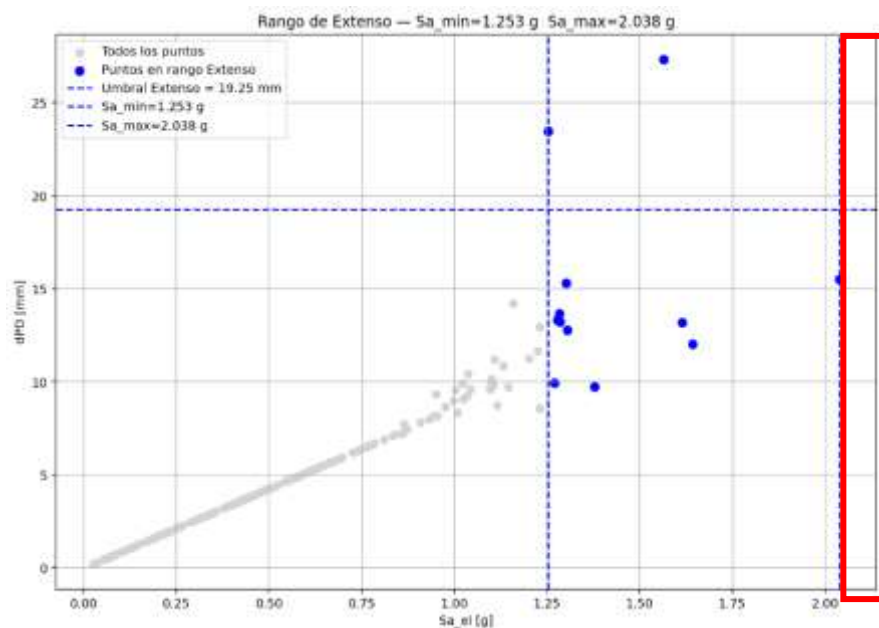


Ilustración 20: Ejemplo de Estructura Mc-M-2-S-1 - Caso A. Fuente: Elaboración Propia.

Sa_promedio	Numero_Analisis	Casos_Excedencia	Fraccion_Excedencia	theta	beta
0.196947099	66	0	0	1.845482	0.245836
0.49263093	65	0	0	1.845482	0.245836
0.874746765	65	0	0	1.845482	0.245836
1.270978063	4	1	0.25	1.845482	0.245836
1.317228121	4	0	0	1.845482	0.245836
1.714774802	4	1	0.25	1.845482	0.245836
2.54786668	1	1	1	1.845482	0.245836
3.057440016	1	1	1	1.845482	0.245836
3.567013352	1	1	1	1.845482	0.245836

Ilustración 21: Resultados de Estructura MC-M-2-S-1 de 0% y 100% de Excedencias - Caso A. Fuente: Elaboración Propia.

II. Caso B: existe solo 1 punto real.

Sí únicamente se dispone de un solo punto de desempeño real, el código completa el conjunto de tres anclajes generando dos puntos artificiales a partir del límite disponible:

- $IM_{min} > [0.75IM_{min} \text{ y } 0.50IM_{min}]$
- $IM_{m\acute{a}x} < [1.25IM_{m\acute{a}x} \text{ y } 1.50IM_{m\acute{a}x}]$

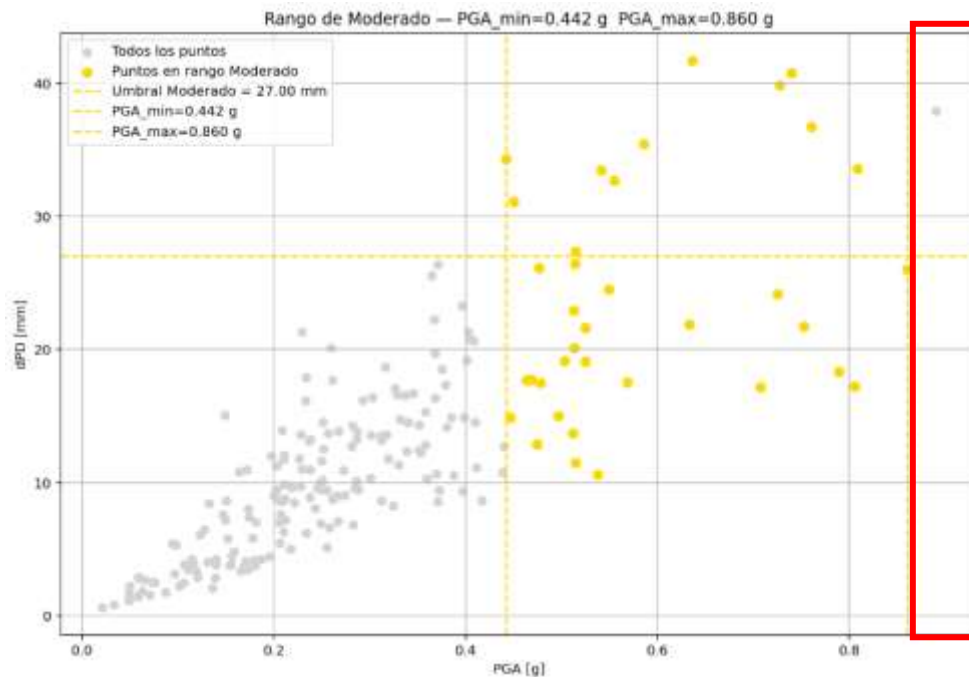


Ilustración 22: Ejemplo de Estructura Cr-Mu-12-G-5 - Caso B. Fuente: Elaboración Propia.

PGA_promedio	Numero_Analisis	Casos_Excedencia	Fraccion_Excedencia	theta	beta
0.120287096	57	0	0	0.708937	0.322788
0.234191844	57	0	0	0.708937	0.322788
0.350777116	57	0	0	0.708937	0.322788
0.457415683	6	2	0.333333333	0.708937	0.322788
0.496328817	6	0	0	0.708937	0.322788
0.517533573	6	1	0.166666667	0.708937	0.322788
0.556117417	6	3	0.5	0.708937	0.322788
0.694786717	6	3	0.5	0.708937	0.322788
0.796067467	6	2	0.333333333	0.708937	0.322788
0.8902151	1	1	1	0.708937	0.322788
1.075147999	1	1	1	0.708937	0.322788
1.290177599	1	1	1	0.708937	0.322788

Ilustración 23: Resultados de Estructura Cr-Mu-12-G-5 de 0% y 100% de Excedencias - Caso B. Fuente: Elaboración Propia.

III. Caso C: existen solo 2 puntos reales.

Si existen solo dos puntos reales, estos se promedian para obtener un único punto representativo, y luego se aplica el mismo criterio del Caso B para la creación de los otros dos

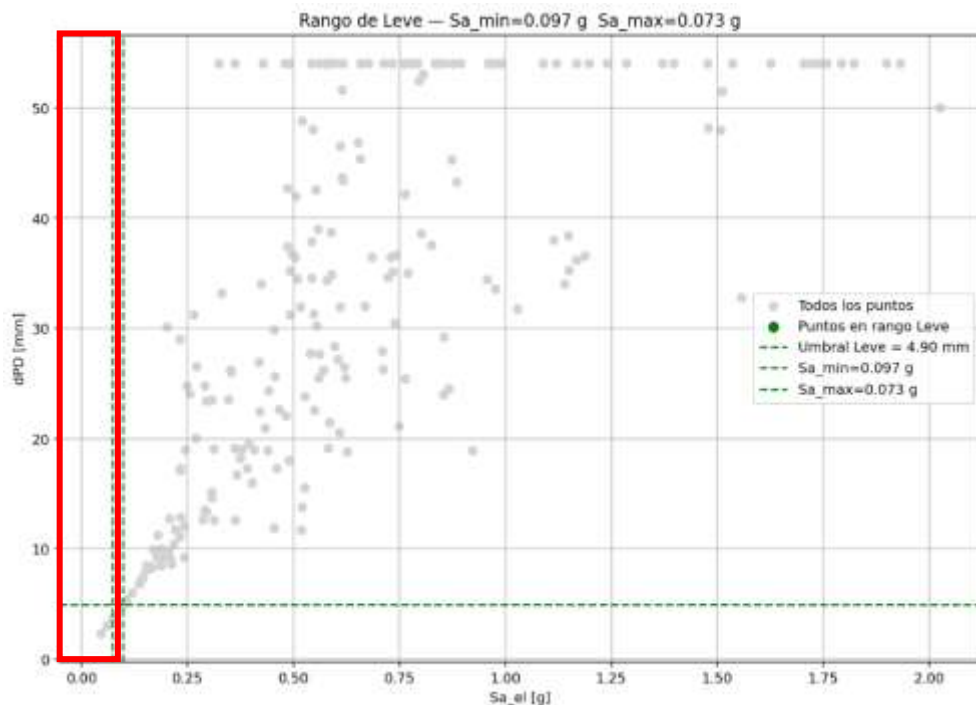


Ilustración 24: Ejemplo de Estructura Cr-M-5-R-2-X - Caso C. Fuente: Elaboración Propia.

IV. Caso D: existen 3 puntos reales.

Si fuera del rango hay solo tres puntos reales, esos tres puntos se utilizan directamente como anclajes, sin agrupación adicional o criterio de promediar para crear puntos artificiales.

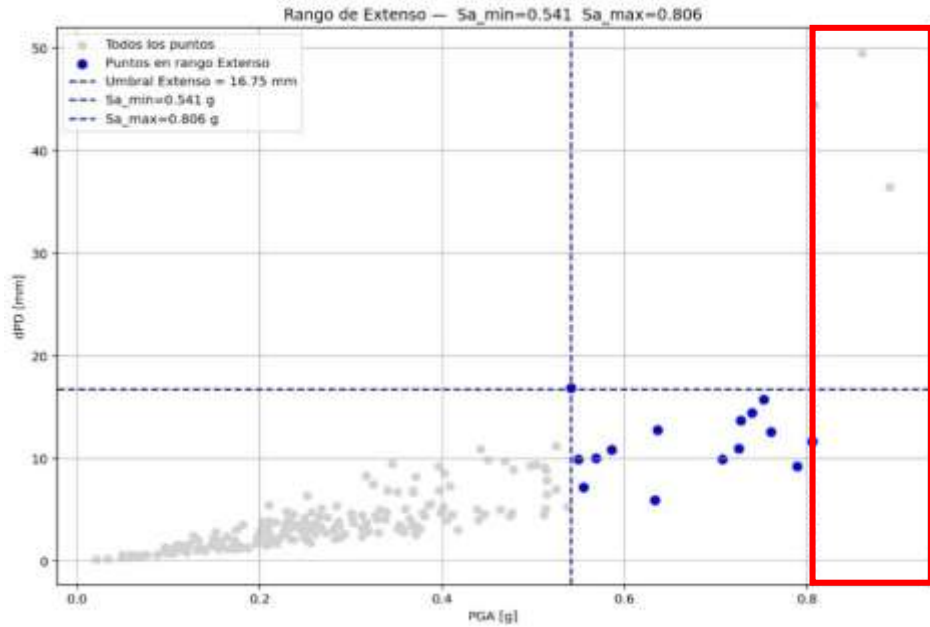


Ilustración 25: Ejemplo de Estructura MC.M-2-S-3 - Caso D. Fuente: Elaboración Propia.

PGA_promedio	Numero_Analisis	Casos_Excedencia	Fraccion_Excedencia	theta	beta
0.129148569	64	0	0	0.868361	0.249232
0.250102887	63	0	0	0.868361	0.249232
0.405446101	63	0	0	0.868361	0.249232
0.5597747	5	1	0.2	0.868361	0.249232
0.68589476	5	0	0	0.868361	0.249232
0.769359	5	0	0	0.868361	0.249232
0.8087379	1	1	1	0.868361	0.249232
0.8601184	1	1	1	0.868361	0.249232
0.8902151	1	1	1	0.868361	0.249232

Ilustración 26: Resultados de Estructura MC.M-2-S-3 de 0% y 100% de Excedencias - Caso D. Fuente: Elaboración Propia.

V. Caso E: existen más de 3 puntos reales.

Si hay más de tres puntos reales en el extremo correspondiente, estos puntos se ordenan por intensidad y se dividen en tres grupos. En cada grupo se calcula el promedio de intensidad IM y el promedio de desplazamiento de desempeño dPD; con estos promedios se generan tres puntos representativos en cada extremo, que actúan como anclajes y evitan que el ajuste quede mal condicionado por la falta de datos en los límites.

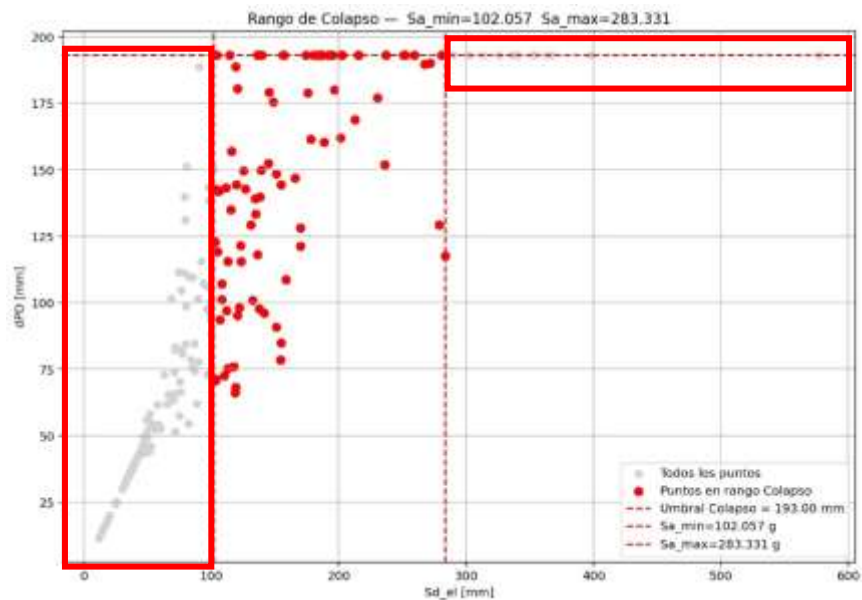


Ilustración 27: Ejemplo de Estructura Cr-D-10-A-4-Y - Caso E. Fuente: Elaboración Propia.

Sd_promedio	Numero_Analisis	Casos_Excedencia	Fraccion_Excedencia	theta	beta
31.20429977	36	0	0	195.538	0.383612
57.08299294	36	0	0	195.538	0.383612
87.96825322	35	0	0	195.538	0.383612
103.889658	9	2	0.222222222	195.538	0.383612
110.6010533	9	1	0.111111111	195.538	0.383612
118.4063794	9	0	0	195.538	0.383612
127.8996534	9	0	0	195.538	0.383612
138.6924445	9	3	0.333333333	195.538	0.383612
152.4097428	9	2	0.222222222	195.538	0.383612
172.9376589	9	3	0.333333333	195.538	0.383612
192.625956	9	6	0.666666667	195.538	0.383612
245.6060253	16	9	0.5625	195.538	0.383612
303.0943075	5	5	1	195.538	0.383612
345.6209849	4	4	1	195.538	0.383612
426.626225	4	4	1	195.538	0.383612

Ilustración 28: Resultados de Estructura Cr-D-10-A-4-Y de 0% y 100% de Excedencias - Caso E. Fuente: Elaboración Propia.

Con estos casos, siempre se obtiene tres anclajes por extremo, ya sea usando información real (cuando existe) o completándola de forma artificial (cuando es insuficiente), con el objetivo de estabilizar el ajuste probabilístico y mejorar la continuidad de la curva de fragilidad.

2.8 CURVAS DE FRAGILIDAD

Al haber obtenido, por cada estado de daño, el conjunto de datos de excedencia (incluyendo los puntos de anclaje), el programa construye la curva de fragilidad, que expresa la probabilidad de exceder ese estado en función de la intensidad sísmica IM. Para ello, ajusta una función lognormal acumulada a los puntos observados de excedencia. En cada grupo de intensidades con la fracción k / N calculada, explicado en la sección 2.7.1; estos pares (IM, k / N) son los que guían el ajuste de la curva.

Se usa la siguiente fórmula fijada por (Baker, 2015):

$$P(\text{exceder} | IM) = \Phi\left(\frac{\ln(IM) - \ln(\theta)}{\beta}\right),$$

donde Φ corresponde a la función de distribución acumulada de la normal estándar. Específicamente, $\Phi(z)$ da la fracción acumulada asociada a “z”: cuando z es muy negativo, $\Phi(z)$ es cercana a 0; cuando $z = 0$, $\Phi(z) = 0.5$; y cuando “z” es positivo y grande, $\Phi(z) \approx 1$. De esta forma, el modelo produce una curva con forma sigmoïdal, consistente con el aumento progresivo de la probabilidad de daño a medida que incrementa la intensidad.

En esta formulación, los parámetros θ y β controlan la forma y la posición de la curva, respectivamente. El parámetro θ representa la intensidad sísmica característica del estado de daño, ya que corresponde al valor para el cual la probabilidad de excedencia es aproximadamente del 50%. Por su parte, el parámetro β describe la variabilidad de la respuesta, controlando qué tan gradual es la transición entre bajas y altas probabilidad de daño.

Para estimar estos parámetros, el código analiza los resultados obtenidos para distintos niveles de intensidad y evalúa, en cada caso, cuántos registros exceden el umbral de daño y cuántos no. Como cada registro solo puede representar una

de estas dos condiciones (exceder o no exceder), el procedimiento se basa en conteos de eventos binarios. Con esta información, el programa ajusta los valores θ y β , como se muestra en la Ilustración 29, buscando que la curva reproduzca de la mejor manera posible el patrón obtenido en los datos.

Sd_promedio	Numero_Analisis	Casos_Excedencia	Fraccion_Excedencia	theta	beta
31.20429977	36	0	0	195.538	0.383612
57.08299294	36	0	0	195.538	0.383612
87.96825322	35	0	0	195.538	0.383612
103.889658	9	2	0.222222222	195.538	0.383612
110.6010533	9	1	0.111111111	195.538	0.383612
118.4063794	9	0	0	195.538	0.383612
127.8996534	9	0	0	195.538	0.383612
138.6924445	9	3	0.333333333	195.538	0.383612
152.4097428	9	2	0.222222222	195.538	0.383612
172.9376589	9	3	0.333333333	195.538	0.383612
192.625956	9	6	0.666666667	195.538	0.383612
245.6060253	16	9	0.5625	195.538	0.383612
303.0943075	5	5	1	195.538	0.383612
345.6209849	4	4	1	195.538	0.383612
426.626225	4	4	1	195.538	0.383612

Ilustración 29: Ejemplo Caso E con valores de θ y β - Estructura Cr-D-10-A-4-Y. Fuente: Elaboración Propia.

Finalmente, una vez determinados los parámetros, la función se evalúa en un rango continuo de intensidad sísmicas, obteniéndose la curva de fragilidad correspondiente al estado de daño analizado. Esta curva resume el comportamiento del sistema de forma compacta: θ indica el nivel de intensidad requerido para alcanzar el daño de forma representativa, mientras que β refleja la variabilidad asociada a la respuesta estructural frente a distintos registros sísmicos.

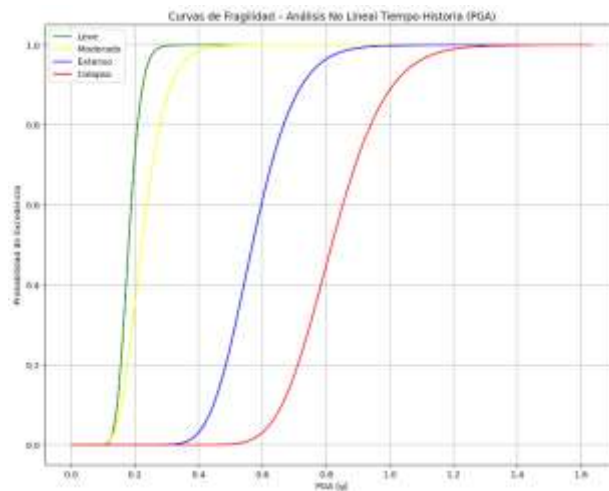


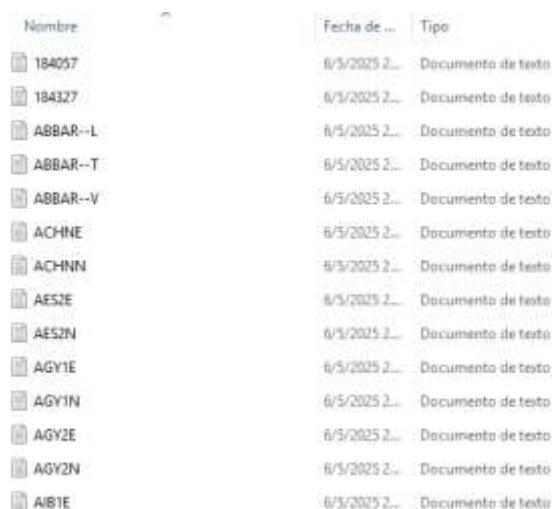
Ilustración 30: Diseño de Curva de Fragilidad en PGA de Estructura Cr-M-2-A-7-Y. Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO 3: DESARROLLO

En este capítulo se presentan guías de uso del programa.

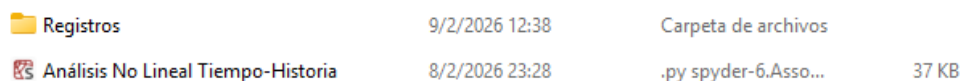
3.1 FORMATO DE REGISTRO SÍSMICO

Los registros sísmicos utilizados en este trabajo se incluyen como entrada del análisis en forma de secuencia de datos en función del tiempo, almacenadas en archivos de texto con extensión **.txt** (Ilustración 31). Para su correcta lectura, el proyecto se organiza en una carpeta principal que contiene el código programado: “*Análisis No Lineal en Tiempo-Historia*”; y una subcarpeta denominada “Registros” (Ilustración 22). En esta última se almacenan los archivos correspondientes a los acelerogramas utilizados en el análisis.



Nombre	Fecha de ...	Tipo
184057	6/5/2025 2...	Documento de texto
184327	6/5/2025 2...	Documento de texto
ABBAR--L	6/5/2025 2...	Documento de texto
ABBAR--T	6/5/2025 2...	Documento de texto
ABBAR--V	6/5/2025 2...	Documento de texto
ACHNE	6/5/2025 2...	Documento de texto
ACHNN	6/5/2025 2...	Documento de texto
AES2E	6/5/2025 2...	Documento de texto
AES2N	6/5/2025 2...	Documento de texto
AGY1E	6/5/2025 2...	Documento de texto
AGY1N	6/5/2025 2...	Documento de texto
AGY2E	6/5/2025 2...	Documento de texto
AGY2N	6/5/2025 2...	Documento de texto
AIB1E	6/5/2025 2...	Documento de texto

Ilustración 31: Formato texto de Registros Acelerogramas. Fuente: Elaboración Propia.



Registros	9/2/2026 12:38	Carpeta de archivos	
Análisis No Lineal Tiempo-Historia	8/2/2026 23:28	.py spyder-6.Asso...	37 KB

Ilustración 32: Estructura de Carpetas del Proyecto. Fuente: Elaboración Propia.

Cada archivo contiene una columna de valores numéricos que representan la historia de aceleración del terreno $a_g(t)$ en una dirección determinada, registrada a intervalos constantes de tiempo Δt . En este formato, cada valor corresponde a una muestra de aceleración asociada a un instante de tiempo, y el orden secuencial de los datos representa la historia completa del sismo.

El programa asume que el registro tiene un Δt fijo, ingresado por el usuario, por lo que todos los datos del registro deben estar definidos con el mismo intervalo de tiempo.

```

-0.0413359065
-0.0295930422
-0.621263376
1.3311385199999999
6.78737223
12.1409541
12.984319800000002
12.0051892
16.8800518
25.3423692
32.818374
35.8406388
36.1467108
35.4164544
33.4196289
31.221698399999998
30.1103235
28.602624600000002
24.9532065
20.342310299999998
16.6658166
13.6325646
10.0721232
Ln: 1, Col: 1 39,486 caracteres

```

Ilustración 33: Formato Interno de un Registro. Fuente: Elaboración Propia.

3.2 DEFINICIÓN DE LA CURVA BILINEAL

Para definir la curva bilineal, el programa requiere que el usuario ingrese dos puntos característicos: el punto de fluencia (u_y, F_y) y el punto último (u_u, F_u). El programa permite que estos puntos se ingresen de dos formas: como fuerzas ($d_y, F_y; u_u, F_u$) o como aceleraciones equivalentes ($u_y, A_y; u_u, A_u$).

```

=== PARÁMETROS GENERALES ===
Ingrese dt (s): 0.01

=== DEFINA LA CURVA BILINEAL ===
1) Ingresar Fy - dy - Fu - du (FUERZAS)
2) Ingresar ay - dy - au - du (ACELERACIONES)
Seleccione opción (1-2): 2

```

Ilustración 34: Parámetros Iniciales para Curva Bilineal. Fuente: Elaboración Propia.

- **Opción 1:** En esta opción la curva bilineal se define en términos de fuerza y el programa solicita, además, definir la masa del sistema. El programa da 3 opciones para poder definir la masa: “Ingresar MASA”, “Ingresar PESO” o “Ingresar PERIODO”. Si se escoge la primera opción, el programa usa directamente la masa ingresada en unidades de toneladas (ton). Para la segunda opción, el programa requiere el ingreso del peso

en toneladas-fuerza (ton-f) y obtiene la masa dividiendo para la gravedad igual a m/s^2 . En la tercera opción, el programa utiliza el periodo fundamental de vibración (T) y la rigidez inicial de la curva bilineal (k1) para obtener la masa de la estructura.

```
=== DEFINICIÓN DE MASA ===  
1) Ingresar MASA en ton  
2) Ingresar PESO en ton-f  
3) Ingresar PERIODO T (s)  
Seleccione opción (1-3): 1  
Ingrese masa (ton): 1000
```

Ilustración 35: Ingreso de Masa para Unidades de Fuerzas. Fuente: Elaboración Propia.

- **Opción 2:** En esta opción, la curva bilineal se define en términos de aceleraciones. En este caso el programa no requiere la definición de la masa de la estructura y para sus cálculos utiliza una “masa unitaria”. El programa permite que el usuario escoja definir las aceleraciones de los puntos Ay y Au en unidades de g o en unidades de m/s^2 .

```
=== BILINEAL POR ACELERACIONES ===  
Unidades de aceleración:  
1) g  
2)  $m/s^2$ 
```

Ilustración 36: Unidades de Aceleración. Fuente: Elaboración Propia.

En cualquiera de las opciones escogidas para la definición de la Curva Bilineal, el usuario debe ingresar los valores según las unidades indicadas en el programa. Ver Ilustración 37 e Ilustración 38.

```
=== BILINEAL POR FUERZAS ===  
Fy (ton-f): 2  
dy (mm): 114  
Fu (ton-f): 10  
du (mm): 125
```

Ilustración 37: Puntos para Curva Bilineal en Unidades de Fuerzas. Fuente: Elaboración Propia.

```

=== BILINEAL POR ACELERACIONES ===
Unidades de aceleración:
1) g
2) m/s²
Seleccione unidad (1-2): 1
ay: 2.2
dy (mm): 0.366
au: 4.1
du (mm): 0.45

```

Ilustración 38: Puntos para Curva Bilineal en Unidades de Aceleración. Fuente: Elaboración Propia.

3.3 DEFINICIÓN DE LA INTENSIDAD DEL SISMO

El usuario debe escoger el formato de Intensidad que desea obtener las curvas de fragilidad. Para ello el programa permite seleccionar una de las siguientes opciones del menú: PGA (g), Sd (cm) o Sa (g). Esta elección es necesaria porque determina qué medida de intensidad se usará para comparar todos los registros en una misma escala; sin esa selección, el programa no puede asignar un valor único de intensidad a cada registro ni construir los puntos (IM, d_{PD}).

```

=== CONFIGURACIÓN DE LA NUBE DE PUNTOS ===
EJE X - INTENSIDAD DEL SISMO:
1) PGA (g)
2) Sd_el (mm)
3) Sa_el (g)
Seleccione eje X: 3

```

Ilustración 39: Intensidades de Sismo en X. Fuente: Elaboración Propia.

```

EJE Y - RESPUESTA DEL SDOF (PUNTO DE DESEMPEÑO):
1) dPD (mm)
2) aPD (g)
Seleccione eje Y: 1

```

Ilustración 40: Nivel de Desempeño en Y. Fuente: Elaboración Propia.

3.4 RESULTADOS DE LA HISTÉRESIS

En el caso que el usuario lo desee, el programa permite obtener los resultados de las histéresis de cada sismo aplicado a la estructura. Para ello, el programa consulta si se desea generar salidas adicionales de histéresis, indicando que estas pueden incrementar el tiempo total de ejecución. Se realiza el proceso independiente de la opción elegida. Se ofrecen 4 alternativas:

```
=== SALIDAS DE HISTÉRESIS (opcional) ===  
Estas salidas pueden hacer el análisis mucho más lento.  
 1) No generar nada (recomendado / modo rápido)  
 2) Guardar Excel de histéresis (u-f) por sismo  
 3) Graficar histéresis (u-f) por sismo  
 4) Guardar Excel + Graficar histéresis  
Seleccione opción (1-4): 4
```

Ilustración 41: Procesamiento de Histéresis. Fuente: Elaboración Propia.

- **Opción 1:** Solo considera el resultado del desplazamiento o aceleración/fuerza máxima absoluta, sin mostrar las histéresis en gráficas ni en tablas de Excel.
- **Opción 2:** Guarda en tablas de Excel los resultados de las histéresis de la estructura sometida a cada uno de los registros sísmicos (1 archivo Excel por Sismo). Estos resultados se guardan en una carpeta llamada “Resultados” y dentro una subcarpeta con el nombre de “Histéresis”.
- **Opción 3:** El programa no guarda los resultados en tablas, pero genera las gráficas de las histéresis por registro sísmico para que sean visualizadas.
- **Opción 4:** El programa guarda los resultados de las histéresis en tablas y graficas en los mismos formatos indicados en las opciones 2 y 3.

Luego de escoger el formato de resultados deseados, el programa inicia el procesamiento de los acelerogramas involucrados. El análisis se realiza de forma secuencial, lee cada archivo y ejecuta el cálculo correspondiente para el registro completo.

```
=== Procesando registro: APR2E.txt ===  
=== Procesando registro: APR2N.txt ===  
=== Procesando registro: ARC000.txt ===  
=== Procesando registro: ARC090.txt ===  
=== Procesando registro: ASD0E.txt ===
```

Ilustración 42: Reporte de Procesamiento de los Registros en Histéresis. Fuente: Elaboración Propia.

El programa genera un reporte, el cual ayuda a confirmar que la carpeta de registros contiene los archivos esperados y que el formato de lectura es compatible, ver Ilustración 42. Cualquier error de lectura que ocurra, suele

evidenciarse en el punto donde el programa se detiene o no avanza al siguiente archivo.

3.5 DATOS DE LA NUBE DE PUNTOS Y UMBRALES DE DAÑO

El programa presenta resultados previos a las curvas de fragilidad que permiten al usuario llevar el control de la idoneidad de la cantidad y variabilidad de los sismos usados, y en algunos casos de las propiedades de las estructuras en estudio. Los resultados previos que presenta el programa son: umbrales de daño, número de registros usados para la elaboración de la curva de fragilidad, y Rango de Intensidades por Estado de Daño.

3.5.1 Umbrales de Daño.

Finalizado el procesamiento de todos los registros, se extrae el desplazamiento máximo absoluto (d_{PD}). Con este valor y con la IM seleccionada para el eje X, se forma el conjunto de pares (IM, d_{PD}) que constituye la nube de puntos.

El programa utiliza los umbrales de daños definidos, en las unidades que indica el programa, y los muestra en pantalla, de manera que se pueda revisar los límites umbrales considerados para cada estado: leve, moderado, extenso y colapso.

```
=== UMBRALES DE DAÑO (mm) ===  
Leve:      4.900  
Moderado:  7.000  
Extenso:   18.750  
Colapso:   54.000
```

Ilustración 43: Ejemplo de Límites Umbrales de Daño. Fuente: Elaboración Propia.

Estos umbrales se emplean posteriormente para clasificar los puntos de desempeño por estado de daño y preparar la información necesaria para el procesamiento estadístico.

3.5.2 Número de Registros Usados para la Elaboración de la Curva de Fragilidad.

Por cada límite de daño, el programa registra el número de registros sísmicos que se encuentran entre los límites IM_{min} y IM_{max} los cuales servirán para elaborar la curva de fragilidad de dicho tipo de daño (ver sección 2.7.1).

```
=== NÚMERO DE PUNTOS DENTRO DE CADA RANGO ===  
Leve:      73  
Moderado: 176  
Extenso:  137  
Colapso:  40
```

Ilustración 44: Ejemplo de Registros dentro de Cada Rango [IM_{min} , IM_{max}]. Fuente: Elaboración Propia.

Además, el programa muestra los límites IM_{min} y IM_{max} para cada estado de daño.

```
=== RANGOS Sa POR ESTADO DE DAÑO (g) ===  
Leve: Sa_min=0.097 Sa_max=0.073  
Moderado: Sa_min=0.138 Sa_max=0.134  
Extenso: Sa_min=0.201 Sa_max=0.527  
Colapso: Sa_min=0.323 Sa_max=2.024
```

Ilustración 45: Rangos por Estado de Daño Valores de Excedencia. Fuente: Elaboración Propia.

3.6 LÍMITES DE AJUSTE (IM_{min} , IM_{max})

Finalmente, en el terminal se muestra la generación de los archivos de salida, incluyendo la base estadística para generación de las curvas de fragilidad. En los estados de daño donde no existen registros suficientes dentro del rango, se indica que la curva se omite, ya que no se cuenta con información adecuada para estimar los parámetros del modelo.

```
Archivo 'Base_Estadistica_Fragilidad.xlsx' generado correctamente.  
  
=== CURVA DE FRAGILIDAD - Leve ===  
No hay registros dentro del rango para Leve. Se omite la curva.  
  
=== CURVA DE FRAGILIDAD - Moderado ===  
No hay registros dentro del rango para Moderado. Se omite la curva.
```

Ilustración 46: Reporte Final de Generación de Curva de Fragilidad. Fuente: Elaboración Propia.

En los estados donde el ajuste sí es posible, se muestra los valores finales estimados de θ y β . Estos parámetros se emplean para construir la curva de fragilidad del estado correspondiente y generar las gráficas de salida. Con esto, el programa completa el flujo desde la configuración inicial, el procesamiento de registros y la construcción de la nube, hasta la obtención de los parámetros finales necesarios para representar probabilísticamente la fragilidad del sistema.

```
=== CURVA DE FRAGILIDAD - Extenso ===  
 $\theta = 0.3020$  g  
 $\beta = 0.3811$   
  
=== CURVA DE FRAGILIDAD - Colapso ===  
 $\theta = 1.0334$  g  
 $\beta = 0.6746$ 
```

Ilustración 47: Parámetros de Ajuste de Baker para Curvas de Fragilidad. Fuente: Elaboración Propia.

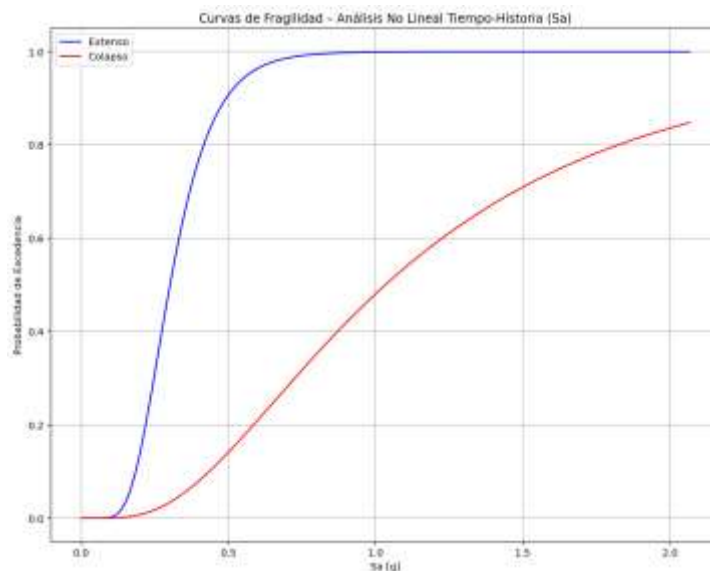


Ilustración 48: Curva de Fragilidad. Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS

El objetivo principal de este trabajo es crear un algoritmo que obtenga curvas de fragilidad de estructuras en base a un análisis no lineal en el TH, como alternativa al método convencional que usa el método Espectro de Capacidad.

Para evaluar los resultados obtenidos con el algoritmo se han obtenido curvas de fragilidad de 71 estructuras idealizadas como SDOF, cuyas tipologías se obtuvieron a partir del trabajo de (Saborío, 2018). Los análisis ejecutados consideraron un total de 208 registros sísmicos reales con un PGA a partir de 0,2g. De los 208 registros sísmicos utilizados, 121 registros sísmicos corresponden a los utilizados en Zapata (2025) más 87 registros adicionales seleccionados en este trabajo.

Adicionalmente, se ejecutaron las 3 opciones que da el programa para la definición de la intensidad de los sismos, los cuales son: en base al PGA, en base a S_a y en base a S_d . En la tabla 2 se presenta un resumen de los resultados obtenidos.

Para cada estructura se determinó la respuesta dinámica máxima, el desplazamiento, para distintos registros sísmicos considerados en este estudio, utilizando un total de 208 acelerogramas reales con un PGA de hasta 0,2g.

Con el desplazamiento máximo absoluto encontrado, se lo representa como punto de desempeño para el análisis de fragilidad, establecido para cada estado de daño.

Nota: El programa asume que el registro tiene un Δt fijo, porque todos los datos del registro deben estar definidos con el mismo intervalo de tiempo.

4.1 COMPARACIÓN MÉTODO ESPECTRAL VS MÉTODO ANLTH

Se comparan los resultados obtenidos en el estudio actual de ANLTH junto a los resultados obtenidos por la tesis previa (Zapata López & Robalino González, 2025) por método espectral, a través de una evaluación directa de la nube de desempeño y de las curvas de fragilidad. La comparación se mantiene en

realizarse para la estructura Cr-M-2-A-7-Y usando S_a , siendo esta la única medida de intensidad implementada en el código de la tesis previa.

4.1.1 Nube de Puntos S_a -dPD: Diferencias entre Intensidades por Registro.

Para la Ilustración 49, se muestra la superposición de las nubes de puntos, donde el ANLTH se representa con puntos vacíos y el método espectral con puntos llenos. Se observa que, aunque ambas nubes mantienen una tendencia similar, los valores para S_a pueden llegar a diferir entre métodos para niveles comparables de dPD.

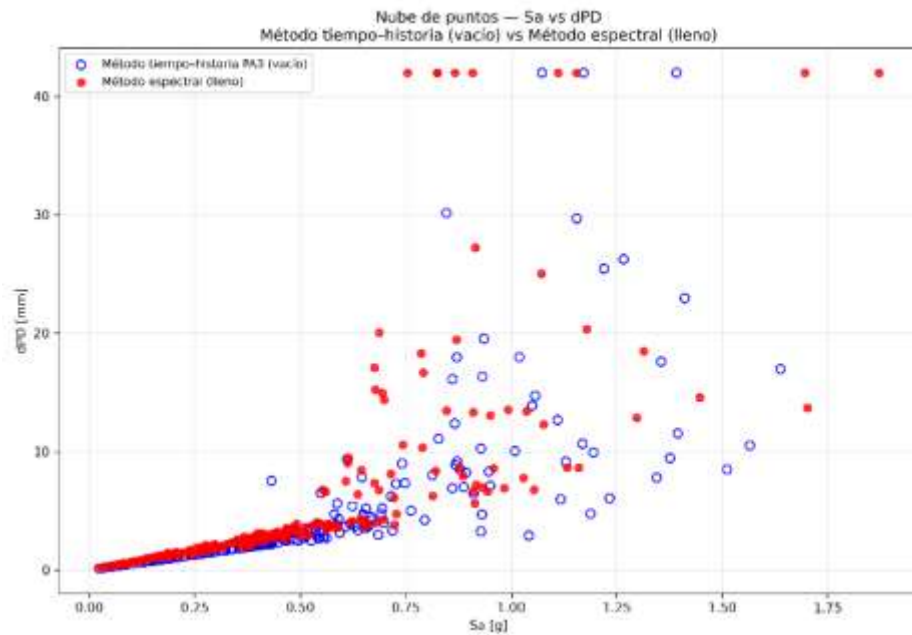


Ilustración 49: Nube de Puntos S_a vs dPD para ambos Métodos. Fuente: Elaboración Propia.

Para el método espectral, S_a se determinó a partir del espectro del sismo, interpolando entre los dos puntos más cercanos al período de la estructura. Se obtiene por la siguiente fórmula:

$$S_a(T_0) = S_{a1} + (S_{a2} - S_{a1}) \frac{T_0 - T_1}{T_2 - T_1}$$

donde T_0 corresponde al período fundamental estructural, y T_1, T_2 son los períodos adyacentes del espectro, con sus valores de S_{a1} y S_{a2} , respectivamente. Por ello, el $S_a(T_0)$ resulta condicionado para la

resolución del espectro y por el intervalo (T_1, T_2) el cual encierra a T_0 , lo que puede introducir variaciones según el espaciado de períodos disponibles.

PERIODO ESTRUCTURAL	
Tn=	0.1436

Tabla 2: Período fundamental de la Estructura Cr-M-2-A-7-Y.

Espectro_RSN1617_DUZCE_375-N_cms2		
Periodo_Tn_s	Sa_g	Sd_cm
0		0
0.04	1.212234022	4.913E-05
0.08	1.631019679	0.000264411
0.12	1.855570313	0.000676831
0.16	1.881881598	0.001220317
0.2	1.43610613	0.00145508
0.24	2.367650461	0.003454461
0.28	2.600664003	0.005164646

Tabla 3: Aceleraciones por Período para el Método Espectral.

Aplicando la fórmula mencionada de interpolación, se obtiene un resultado de **Sa (Tn)= 1.8711g**, para el método espectral.

En cambio, para el ANLTH se obtiene Sa por medio del análisis propio, relacionado al período de la estructura y sin recurrir a la interpolación punto a punto del espectro.

NUBE DE PUNTOS		
Método Espectral		
Registro	Sa (g)	Sd Performance Point (cm)
RSN1617_DUZCE_375-N_cms2.txt	1.871077392	4.2
Método ANLTH		
Registro	Sa_el_g	dPD_mm
RSN1617_DUZCE_375-N_cms2.txt	1.637694346	16.973

Tabla 4: Resultados de Metodologías aplicadas con la IM de Aceleración para un Registro Sísmico.

Por ende, al comparar ambos enfoques, pueden presentarse diferencias en los valores de S_a asignados a ciertos registros, aun cuando los puntos de desempeños (dPD) sean similares.

Se comparó los resultados para el programa de Prism, para conocer el valor real. Coincide en que el resultado hallado por el método de ANLTH es más preciso con el resultado obtenido por el Prism (ver Ilustración 50).

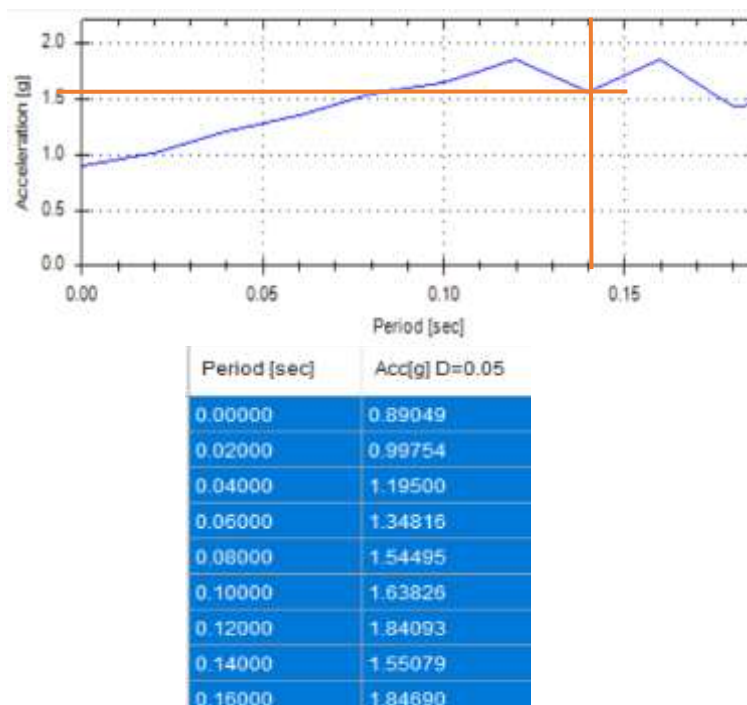


Ilustración 50: Resultados de Aceleración por el Programa de Prism.

4.1.2 Curvas de Fragilidad (S_a): Rango de Datos e Incorporación de Anclajes.

Para la Ilustración 51, se muestra la comparación de curvas de fragilidad en S_a , trazando el método espectral con líneas punteadas y el método ANLTH con líneas continuas. Se puede apreciar que las curvas del método espectral tienden a mostrarse incompleta en el eje de S_a , especialmente en los estados de daño de mayor severidad.

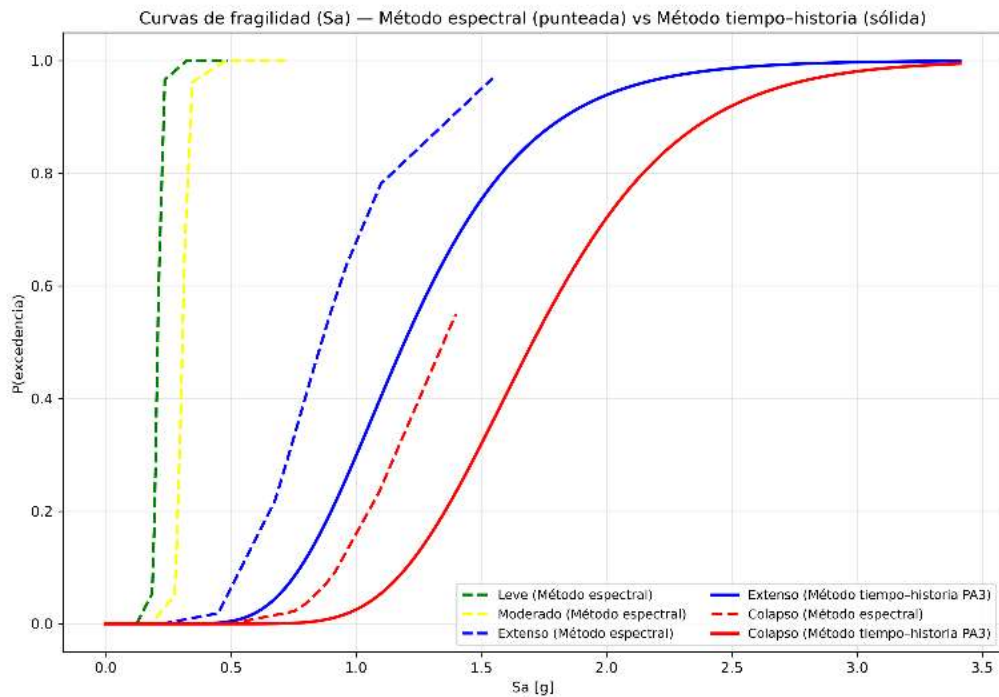


Ilustración 51: Curvas de fragilidad (Sa) Método espectral vs Método ANLTH. Fuente: Elaboración Propia.

Esto se da debido a que el método espectral queda limitado por el máximo Sa disponible en los espectros calculados. Por ello, la curva solo puede analizarse y graficarse hasta ese valor máximo (equivalente a un x_{max}) por lo que no se representa el comportamiento para intensidades mayores, aun cuando el modelo probabilístico podría continuar fuera de ese rango.

Para el método ANLTH, se incorporaron puntos de anclaje: tres puntos (PA3) para $P \approx 0$ y tres para $P \approx 1$. Estos puntos, que no necesariamente corresponden a registros reales, se incluyen para condicionar el ajuste lognormal, estabilizar la estimación y evita resultados numéricamente inestables cuando hay pocos datos en los extremos, produciendo curvas más continuas dentro del rango de análisis.

Finalmente, respecto al desarrollo de curvas (Leve y Moderada) para el método espectral, mientras que en el ANLTH no se generan, se debe al tipo de respuesta y la disponibilidad de datos. En el ANLTH, a intensidades bajas la respuesta

suele permanecer elástica, generando pocas excedencias y poca variación en desempeño, lo que dificulta un ajuste robusto en estados iniciales. En cambio, el método espectral, al trabajar con variables derivadas del espectro y su propio procedimiento de desempeño, puede producir una clasificación con mayor cantidad de datos en esos estados, facilitando el ajuste.

4.2 ESQUEMAS DE RESULTADOS POR ESTRUCTURA

La Tabla 5 se ha dividido en 4 esquemas las cuales se explican a continuación:

I. Esquema 1: Puntos de Bilineal por Estructura.

En esta parte de la Tabla 5 se presentan la nomenclatura de las 71 estructuras estudiadas y los periodos fundamentales de cada estructura T_s , hallados en los trabajos de tesis de cada estructura. Además, se muestran los puntos de fluencia y último que conforman la curva bilineal de acuerdo a (Saborío, 2018).

II. Esquema 2: Parámetros de Fragilidad para PGA.

En esta parte de la Tabla 5, se muestran los resultados de las curvas de fragilidad en términos de θ y β para cada estado de daño (Leve, Moderado, Extenso y Colapso) utilizando PGA como medida de intensidad.

III. Esquema 3: Parámetros de Fragilidad para Sd.

En esta parte de la Tabla 5 se muestran los resultados de las curvas de fragilidad en términos de β y θ para los estados de daño Extenso y Colapso utilizando Sd como medida de intensidad. Para los estados de daño Leve y Moderado no se obtuvo resultados por falta de variabilidad en los resultados (ver sección 4.3.2). Finalmente, para alguna de las estructuras no se pudo obtener las curvas de fragilidad por falta de datos (ver sección 4.3.1), dado que los registros considerados no lograban llevar a la estructura a esos estados de daño.

IV. Esquema 4: Parámetros de Fragilidad para S_a .

En esta parte de la Tabla 5 se muestran los resultados de las curvas de fragilidad en términos de θ y β para los estados de daño Extenso y Colapso utilizando S_a como medida de intensidad. Para los estados de daño Leve y Moderado no se obtuvo resultados por falta de variabilidad en los resultados (ver sección 4.3.2). Finalmente, para alguna de las estructuras no se pudo obtener las curvas de fragilidad por falta de datos (ver sección 4.3.1), dado que los registros considerados no lograban llevar a la estructura a esos estados de daño.

Para PGA, se obtuvieron curvas para una mayor cantidad de estructuras y estados de daño. Sin embargo, en ciertos casos no se obtuvieron resultados de θ y β porque los registros no generaron suficientes puntos de desempeño para superar los umbrales definidos. Esto ocurre sobre todo en estructuras con alto valor de fluencia (D_y o A_y altos), en donde la respuesta se mantiene elástica, la fracción de excedencia disminuye y, por ende, el ajuste lognormal no llega a converger de forma estable (Tabla 5 – Esquema 2).

Para S_d y S_a , no se obtuvieron curvas para los estados de daño: Leve y Moderado. Los umbrales definidos por D_y y D_u , se ubican por debajo de la fluencia en la mayor parte del rango de intensidades. Por ende, la respuesta se mantiene de forma lineal, la probabilidad de excedencia es cercana a 0 y el ajuste lognormal no llega a ser estable y tampoco representativo. En consecuencia, para las intensidades S_d y S_a solo se reportan resultados en Extenso y Colapso, donde los PD sí exceden los umbrales (Tabla 5 – Esquema 3-4).

Nota: En los anexos se encuentran las curvas de fragilidad respectivas de cada estructura.

4.3 CASOS DONDE NO SE OBTUVO CURVAS DE FRAGILIDAD

Luego de analizar las 71 estructuras sometidas a los 208 registros sísmicos, se pudo observar que hubo casos donde no se pudo obtener las curvas de

fragilidad. Estos casos pueden clasificarse en 2 tipos: Debido a la falta de resultados o debido a la falta de variabilidad.

4.3.1 Caso 1: Falta de Resultados.

La falta de resultados para la formación de las curvas para S_a y S_d , es debido a que las estructuras presentan aceleraciones por fluencia entre 12 000 y 25 000 m/s^2 y aceleraciones últimas entre 15 000 y 45 000 m/s^2 , lo que indica una alta capacidad resistente.

En consecuencia, los registros sísmicos no produjeron desplazamientos suficientes para alcanzar estados de Extenso o Colapso; la respuesta se mantuvo principalmente en el rango elástico. Al no existir excedencias en toda la transición probabilística ($P \approx 0$ a $P \approx 1$), no fue posible realizar el ajuste lognormal.

La estructura Cr-Mu-6-G-1 representa el caso más evidente, mostrando una nube concentrada en desplazamientos bajos y sin evidencia de daño severo.

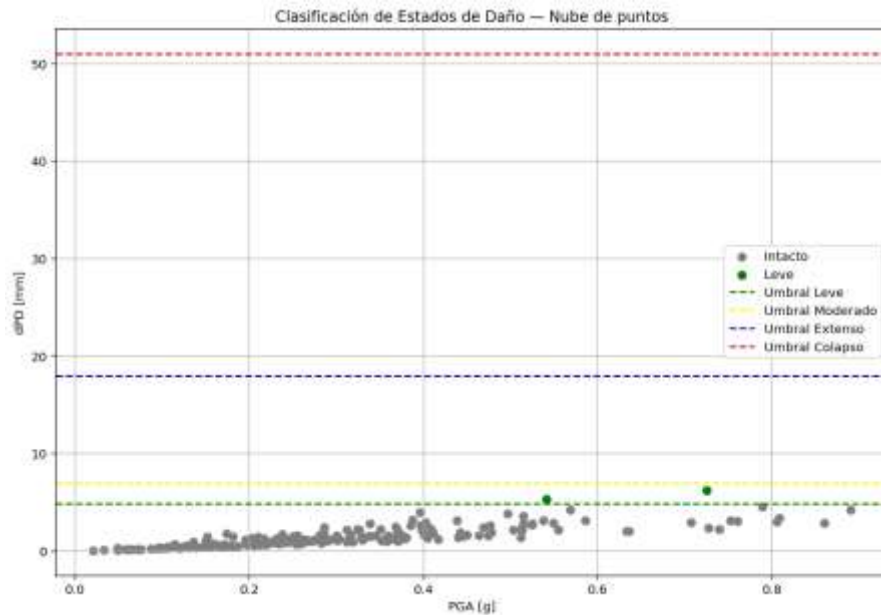


Ilustración 52: Nube de Desempeño de PGA vs dPD para la Edificación Cr-Mu-6-G-1. Fuente: Elaboración Propia.

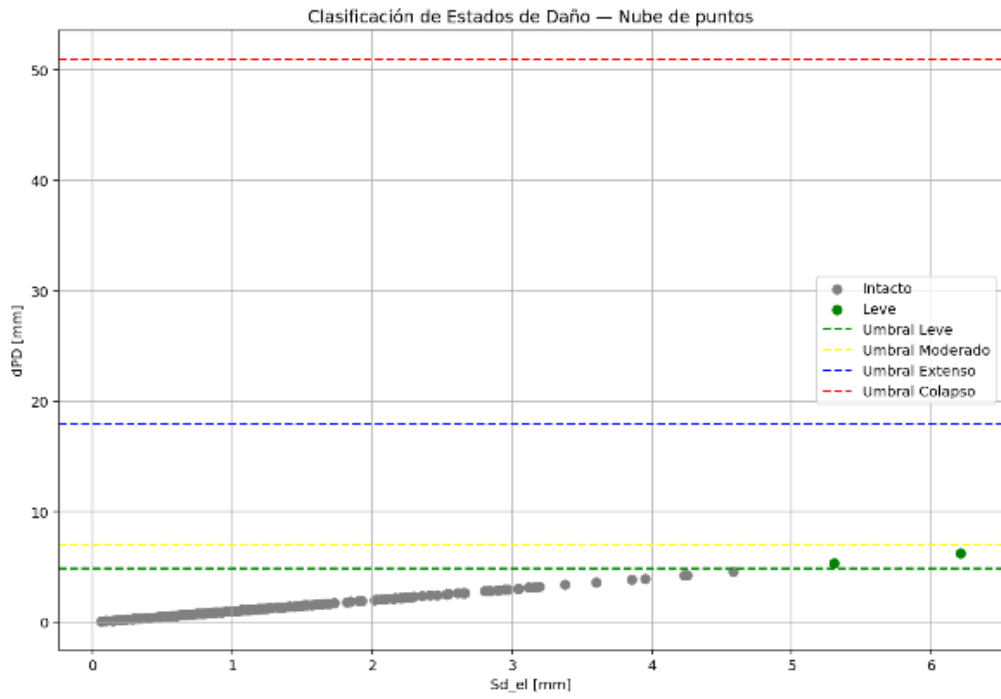


Ilustración 53: Nube de Desempeño de S_d vs dPD para la Edificación Cr-Mu-6-G-1. Fuente: Elaboración Propia.

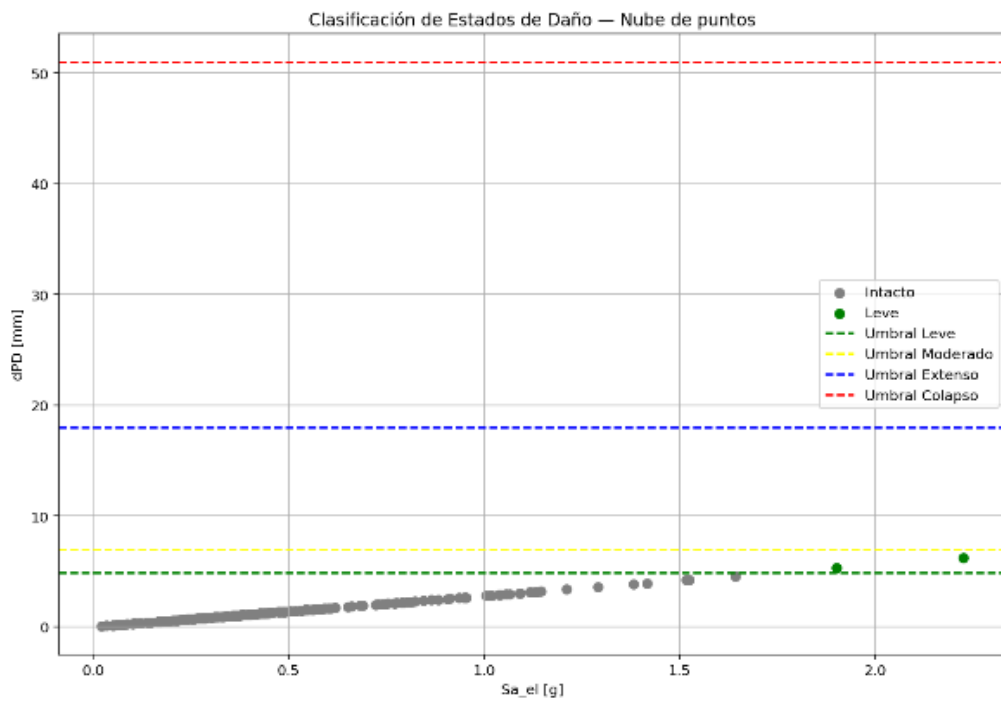


Ilustración 54: Nube de Desempeño de S_a vs dPD para la Edificación Cr-Mu-6-G-1. Fuente: Elaboración Propia.

Como se muestra en la Tabla 5, hay otras 6 estructuras que no generan curvas mostrando el mismo comportamiento: nubes de IM vs dPD principalmente lineales y desplazamientos máximos que, como mucho, alcanzan el estado Moderado. Al no existir excedencias en estados de Extenso y Colapso, no se dispone de un rango de datos adecuado para estimar θ y β .

Este patrón también ocurre en algunos casos para la intensidad de PGA, aunque es posible ajustar Leve, Moderado y Extenso, no se obtiene Colapso porque no hay puntos de desempeño que superen el umbral correspondiente.

4.3.2 Caso 2: Falta por Variabilidad.

Para este caso, se identificaron estructuras que sí alcanzan estados severos, pero no permiten ajustar la curva porque la clasificación de excedencia no presenta variación. Dentro del rango analizado, la fracción de excedencia es constante e igual a 1, por lo que no se forma una transición probabilística entre 0 y 1 necesaria para el ajuste lognormal.

La estructura Cr-M-10-H-2 es el caso representativo para Sa y Sd, algunos registros superan el umbral de Colapso, sin embargo, al realizar la estadística por intervalos, todos los registros dentro de los rangos (IM_{min} , IM_{max}), presentan probabilidad de excedencia igual a 100%, sin grupos con excedencia parcial, lo que imposibilita el ajuste lognormal para dicho estado de daño.

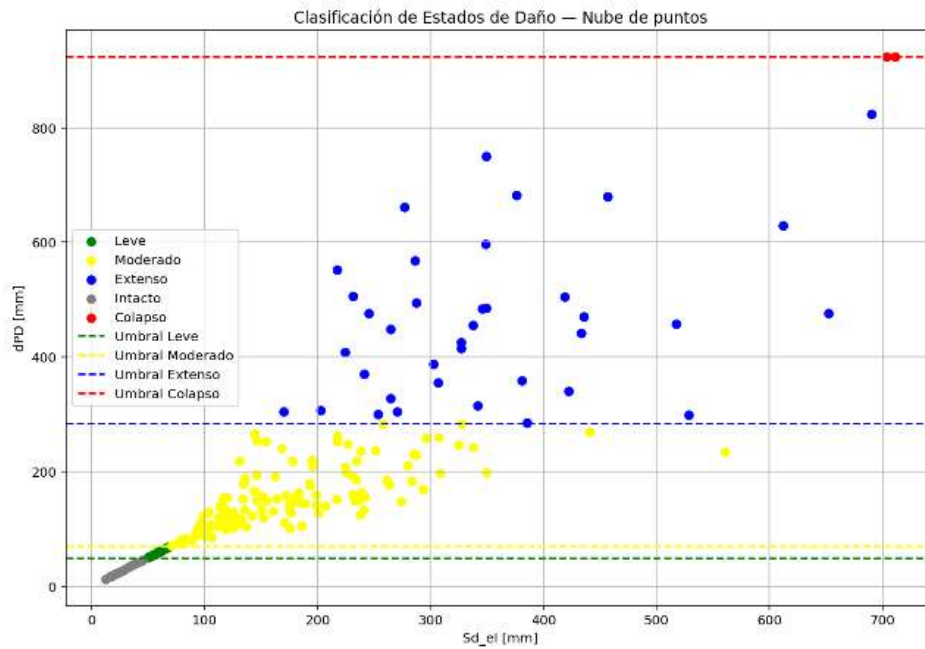


Ilustración 55: Nube de Puntos de S_d vs d_{PD} para Edificación Cr-M-10-H-2. Fuente: Elaboración Propia.

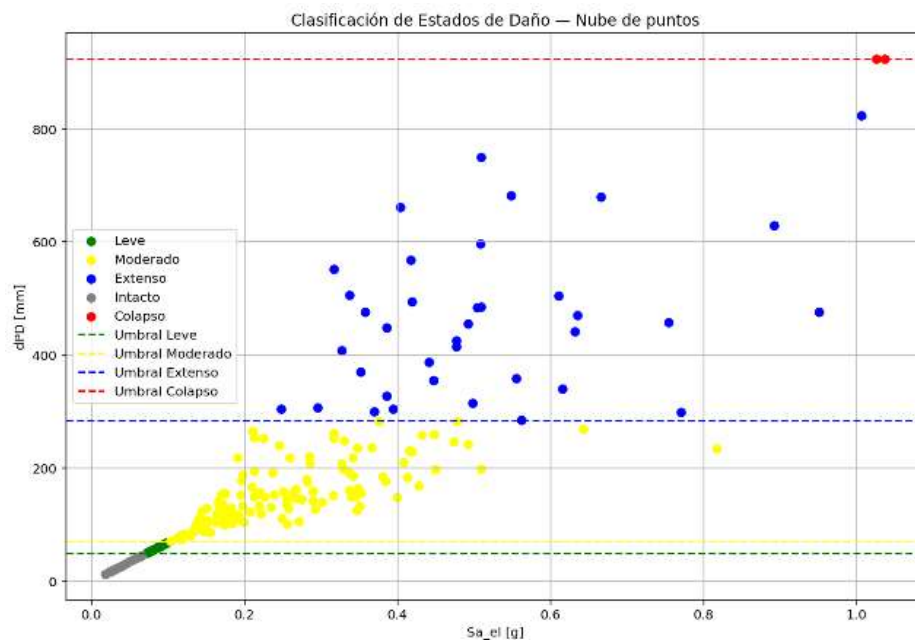


Ilustración 56: Nube de Puntos de S_d vs d_{PD} para Edificación Cr-M-10-H-2. Fuente: Elaboración Propia.

Por ende, para esta estructura únicamente se logró generar la curva correspondiente al estado de daño Extenso, mientras que el estado de Colapso no pudo ajustarse estadísticamente, aunque los puntos lleguen a superar el umbral de daño.

4.4 COMPARACIÓN DE UNO Y TRES PUNTOS DE ANCLAJE

Para lograr evaluar la influencia de la cantidad de puntos de anclaje en el ajuste de las curvas de fragilidad, se compararon dos configuraciones metodológicas:

1) Un punto de anclaje por cada extremo de la curva (PA1).

Saca el promedio de los registros que representan el 0% y el 100% de excedencia en un solo punto, sin importar la cantidad de registros que sean.

2) Tres puntos de anclaje por cada extremo de la curva (PA3).

Para ambos casos se utilizaron la misma cantidad de registros sísmicos, umbrales de daño, la diferencia radica en que para 1 punto y parte estadística, solo llega a modificarse el tratamiento de los extremos de la curva de probabilidad $P \approx 0$ y $P \approx 1$.

A continuación, se muestran las curvas de fragilidad de la estructura Cr-M-2-A-7-Y para las tres medidas de intensidad analizadas: PGA, Sa y Sd; en las Ilustración 57, Ilustración 58 e Ilustración 59, por cada umbral de daño, respectivamente.

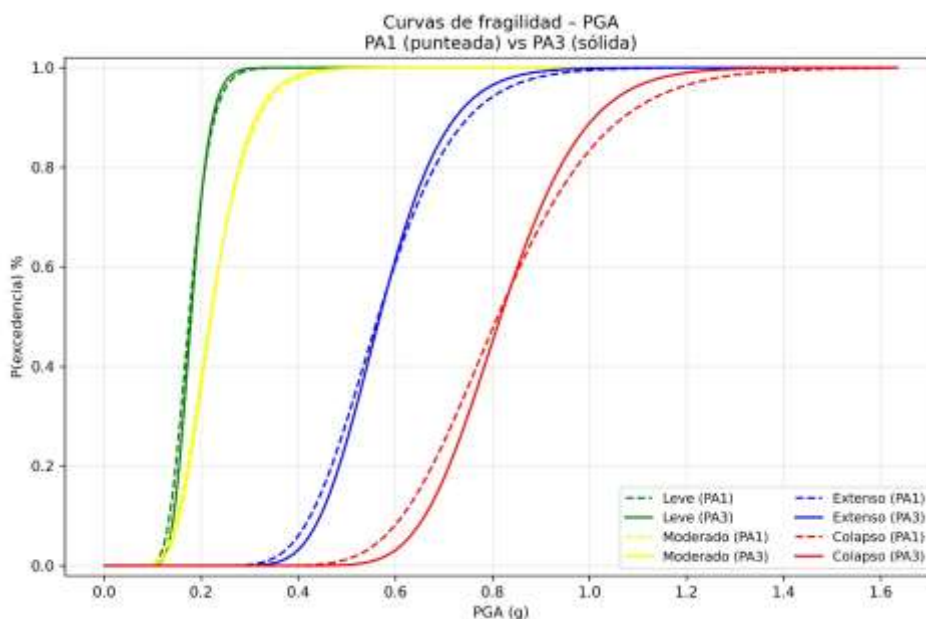


Ilustración 57: Curva de Fragilidad de Extenso y Colapso para PGA de Edificación Cr-M-2-A-7-Y. Fuente: Elaboración Propia.

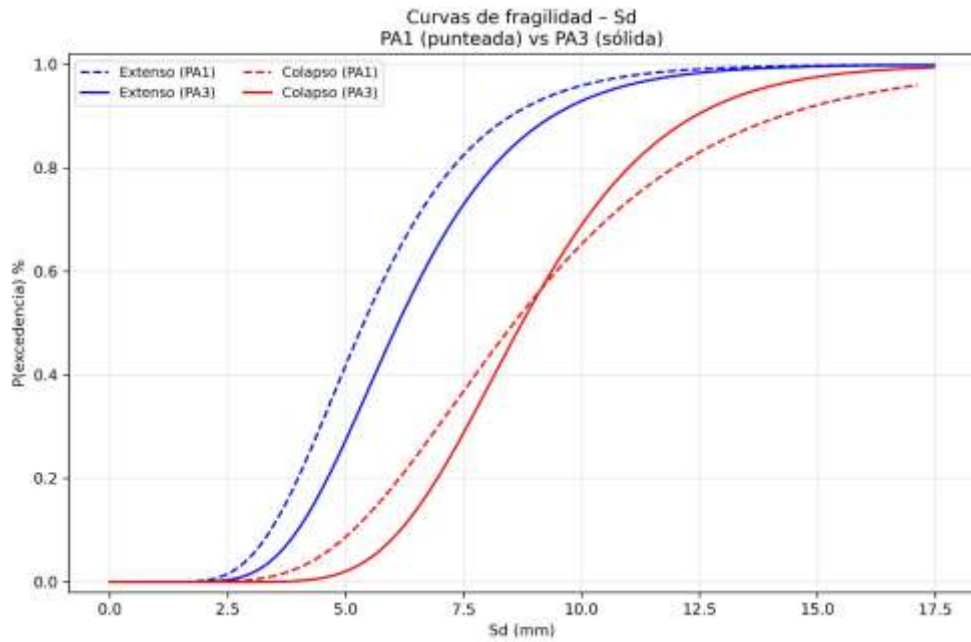


Ilustración 58: Curva de Fragilidad de Extenso y Colapso para Sd de Edificación Cr-M-2-A-7-Y. Fuente: Elaboración Propia.

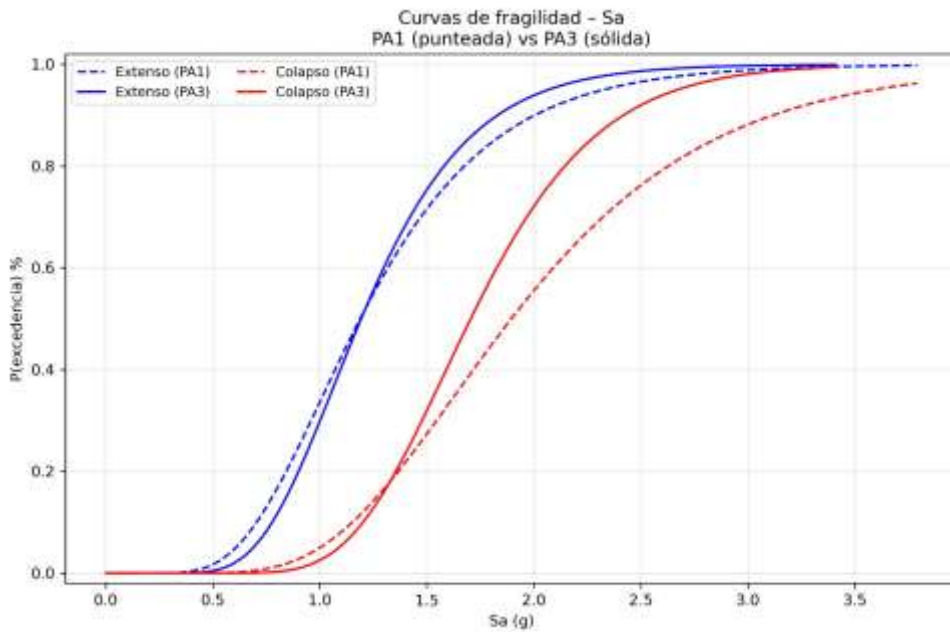


Ilustración 59: Curva de Fragilidad de Extenso y Colapso para Sa de Edificación Cr-M-2-A-7-Y. Fuente: Elaboración Propia.

4.4.1 Interpretación de 3 Puntos de Anclaje (PA3).

Al utilizar PA3 por cada extremo, el ajuste queda mejor restringido en las zonas donde existe menos cantidad de registros con excedencia nula ($P \approx$

0) o total ($P \approx 1$). Esto reduce la sensibilidad del resultado a puntos aislados y evita distorsiones de la curva por falta de datos de intensidades muy bajas o altas. Los parámetros de θ y β representan la curva de forma más coherente la transición probabilística entre la excedencia y no excedencia a lo largo del rango de intensidades siendo más estable el comportamiento estructural.

4.4.2 Interpretación de 1 Punto de Anclaje (PA1).

Para el esquema de PA1, enseña una mayor sensibilidad a la distribución local de la nube de puntos, lo que puede generar transiciones más abruptas cuando la información disponible en los extremos es limitada. Se vuelve evidente para los estados de daño Extenso y Colapso, donde la cantidad de registros con excedencia suele ser menor, y por tanto, el ajuste depende en mayor medida de la definición de los extremos.

Para la medida de intensidad PGA, las diferencias entre PA1 y PA3 resultan menos significativas en los estados Leve y Moderado, debido a que la nube de puntos presenta una mayor concentración de excedencia. Sin embargo, para los estados más severos, el efecto de la cantidad de anclajes se vuelve más relevante, evidenciando que la mejora introducida por PA3 al introducir información artificial en los extremos cuando los datos reales son escasos o poco balanceados.

4.4.3 Interpretación de Parámetros θ Y β .

En la Tabla 6, se presentan los valores de θ y β obtenidos para la estructura Cr-M-2-A-7-Y utilizando PGA como IM, bajo ambos esquemas de anclaje.

IM	Estado	theta_PA1	beta_PA1	theta_PA3	beta_PA3
PGA	Leve	0.175740997	0.203642948	0.179554608	0.174095395
PGA	Moderado	0.219486998	0.293106745	0.221158003	0.271696279
PGA	Extenso	0.565177377	0.221726959	0.568275897	0.189031095
PGA	Colapso	0.811072142	0.216100088	0.817218273	0.165557137

Tabla 6: Comparación de los Parámetros θ y β para PA1 y PA3 de Edificación Cr-M-2-A-7-Y para IM de PGA. Fuente: Elaboración Propia.

- En la mayoría de los estados de daño, PA3 tiende a producir valores de θ ligeramente mayores, lo que desplaza la mediana de la fragilidad hacia intensidades más altas para una misma probabilidad de excedencia.
- Sin embargo, para PA1 suele presentar valores de β más altos, reflejando mayor dispersión y, por ende, mayor sensibilidad del ajuste a los datos en los extremos al no contar con mayor cantidad de PA.

Estas tendencias son consistentes con la comparación visual de las curvas, donde PA3 muestra pendientes más graduales y una transición más controlada entre probabilidades bajas y altas.

Desde un punto metodológico, PA3 resulta más adecuado cuando se busca estabilidad del ajuste y coherencia en la interpretación de los parámetros θ y β , específicamente en estados de daño severos y en medidas de intensidad como S_a y S_d , donde la cantidad de excedencias suele ser limitada.

4.5 COMPARACIÓN AUMENTO DE REGISTROS SÍSMICOS

Se analizó como influye del conjunto de registros sísmicos en las curvas de fragilidad para la estructura Cr-M-2-A-7-Y, comparando el conjunto original de registros como "REG_A" con un conjunto ampliado como "REG_B" (= REG_A + 87 registros con $PGA > 0.2g$). En ambos análisis se mantuvieron iguales la tipología estructural, los umbrales y el ajuste se mantienen constantes, las diferencias son únicamente a la mayor cantidad y severidad de registros incorporados.

4.5.1 Nube de Puntos.

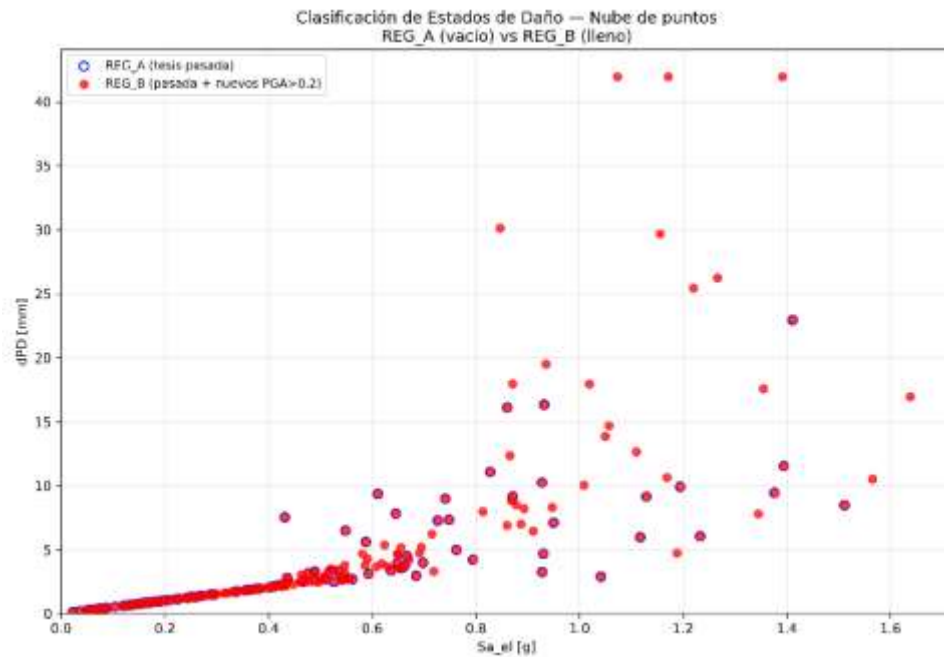


Ilustración 60: Comparación Nube de PD con IM de Sa. Fuente: Elaboración Propia.

Para la Ilustración 60, se muestra la superposición de la nube de desempeño con S_a , donde los puntos vacíos representan REG_A y los llenos REG_B. Se aprecia para REG_A que se concentra en intensidades bajas a medias y no alcanza el umbral de colapso, mientras que REG_B amplía el rango de intensidades y respuesta, incorporando tres registros que sí llegan a valores compatibles con colapso. Eso indica la mejora en la disponibilidad de datos para ajustar curvas en estados de daños severos.

4.5.2 Curvas de Fragilidad para Sa y Sd.

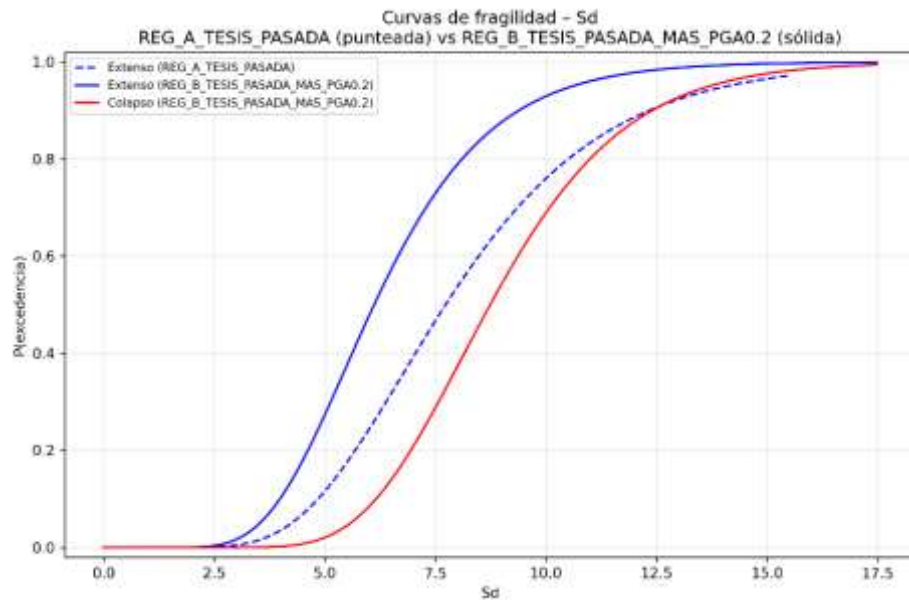


Ilustración 61: Comparación Curva de Fragilidad con IM de Sd. Fuente: Elaboración Propia.

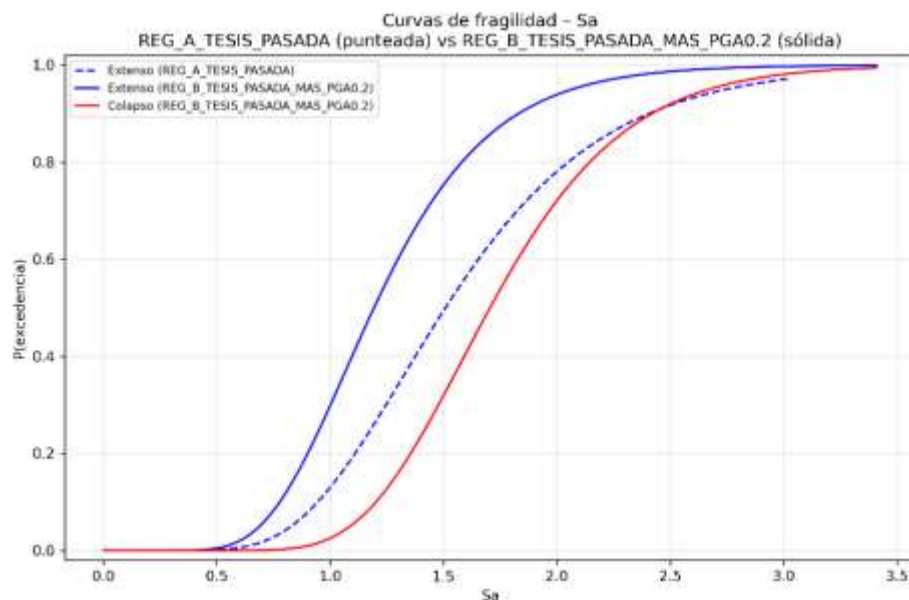


Ilustración 62: Comparación Curva de Fragilidad con IM de Sa. Fuente: Elaboración Propia.

En la Ilustración 61 e Ilustración 62, se muestra como REG_A solo se ajusta una curva para extenso, porque no existe excedencias por umbral de colapso. Al usar REG_B, sí logra obtenerse la curva de colapso para Sa y Sd por los 3 registros adicionales que alcanzan ese umbral. Caso contrario, para Leve y Moderado no se generan curvas en ninguno de los

conjuntos, debido a que en los umbrales mencionados la mayoría de los puntos permanecen en un rango esencialmente elástico y no se obtienen excedencias suficientes para un ajuste estable para cada IM.

4.5.3 Curvas de Fragilidad para PGA.

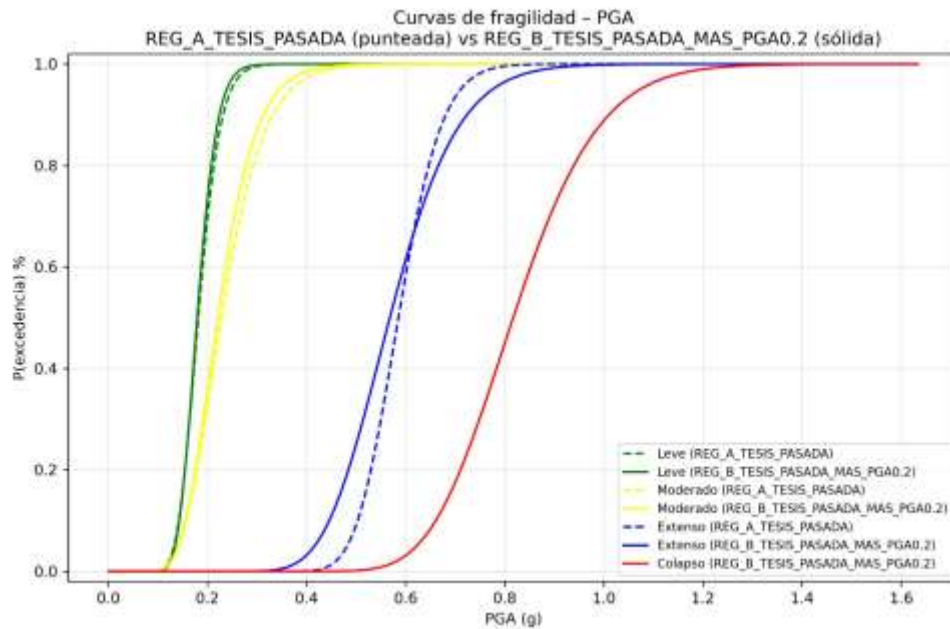


Ilustración 63: Comparación Curva de Fragilidad con IM de PGA. Fuente: Elaboración Propia.

Para la Ilustración 63, se muestra como la respuesta de curva para REG_A se obtienen curvas para Leve, Moderado y Extenso, pero no para Colapso, lo que indica que el conjunto original no contiene intensidades suficientemente altas para desarrollar excedencias del último umbral. Al incorporar los registros adicionales en REG_B, se logra obtener la curva de Colapso más las otras. Lo que confirma que la ampliación del conjunto, especialmente en el rango alto de intensidades, resulta determinante para tener el comportamiento en daño severo.

CONCLUSIONES

- Se desarrolló un código en Python que realiza análisis no lineal TH generando curvas de fragilidad para SDPF bilineal histerética.
- Por definición de S_a , en tesis previa, para el método espectral se interpola la aceleración en función del período, mientras que el análisis no lineal usa el registro directamente.
- Las curvas de fragilidad solo pueden ajustarse cuando existen excedencias suficientes desde $P \approx 0$ hasta $P \approx 1.$; de lo contrario, θ y β no resultan confiables.
- Por falta de respuesta, no se generan curvas ya que la estructura es de mayor resistencia que la demanda inducida por los sismos aplicados, por ende, no existen excedencias suficientes para el ajuste de la curva.
- Los registros sísmicos bajo los índices de θ y β , no dan mayor variabilidad para Leve y Moderado para S_a y S_d , siendo que estos no superan el rango elástico. Este método no ayuda a evaluar la variabilidad esperada por los registros sísmicos.
- El uso de 3 puntos de anclaje produce ajustes más estables y con menor dispersión que un solo punto. La presencia de datos en los extremos (0% y 100% de excedencia) es importante para obtener una curva confiable.
- La ampliación del conjunto sísmico REG_B , permitió ajustar estados severos que no eran posibles con REG_A , evidenciando que la cobertura y severidad de los registros controlan la estimación de fragilidades.

RECOMENDACIONES

1. Se requiere un número considerable de registros y un rango adecuado de intensidades, especialmente en niveles altos, con el fin de obtener suficientes excedencias y definir curvas de fragilidad más precisas.
2. Extender el análisis del modelo a múltiples grados de libertad, de modo que se pueda evaluar de forma más representativa el comportamiento dinámico de edificaciones reales, especialmente aquellas con irregularidades en altura o distribución de rigidez.
3. Para versiones actualizadas del programa, se recomienda que se pueda estimar los parámetros de fluencia y último por criterios basados en áreas bajo la curva. Esto es por si dispone solo de un análisis pushover (utilizado en tesis previa).
4. Evaluar más puntos de anclajes comparando con los utilizados en este trabajo.
5. Evaluar las definiciones de umbrales para que no sea limitada en uso único de los puntos de la bilineal.
6. Incorporar al programa que detecte diferentes tipos de formatos para registros sísmicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ávila, R. (2011). *Calibración del Método Hirose para la Evaluación de Vulnerabilidad Sísmica en Costa Rica*. Escuela de ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica., San José, Costa Rica.
- Baker, J. W. (2015). Efficient Analytical Fragility Function fitting using Dynamic Structural Analysis. *Earthquake Spectra*, págs. 7-10.
- Bravo, A. (2002). *Relación entre Ductilidad Local y Ductilidad Global asignada en Edificios de Concreto Reforzado de Tipo Dual diseñados según la propuesta del Código Sísmico de Costa Rica 2002*. Escuela de ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica., San José, Costa Rica.
- Bridge, C. (26 de Septiembre de 2024). *Response-spectrum analysis*. Technical Knowledge Base
- Chavarría, F. (2007). *Análisis de Desempeño de Marcos de Acero Estructural tipo Especial, Intermedio, Ordinario y Especial Arriostrado concéntrico diseñados según el Código Sísmico de Costa Rica 2002*. Escuela de ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica., San José, Costa Rica.
- Chopra, A. K. (2020). Método de Newmark. En A. K. Chopra, *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering*. California: Pearson.
- Dai Nguyen, X., & L., G. (22 de May de 2021). *Optimal Seismic Isolation Characteristics for Bridges in Moderate and High Seismicity Areas*. Canadian Journal of Civil Engineering, 642-655.
- Deierlein, G., Reinhorn, A., & Willford, M. (Octubre de 2010). *Nonlinear Structural Analysis For Seismic Design*. U.S. Department of Commerce. NEHRP Seismic Design Technical Brief No. 4.
- Fallas, A. (2009). *Desempeño de estructuras de acero tipo marco y tipo marco arriostrado diseñadas por capacidad según el Código Sísmico de Costa Rica*.

Rica 2002. Escuela de ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica., San José, Costa Rica.

FEMAP-58-1. (2018). *Seismic Performance Assessment of Building*.

González, A. (s.f.). *Losas de acople en edificios de tipo mixto de muros de corte con losa plana*. Escuela de ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica., San José, Costa Rica.

Hidalgo, D. (2007). *Comportamiento de estructuras tipo Marco de Concreto Reforzado que han excedido las condiciones de desplazamientos impuestas por el Código de Costa Rica 2002*. Escuela de ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica., San José, Costa Rica.

Hidalgo, D. (2017). *Análisis estructural probabilista orientado a evaluación del daño sísmico con aplicaciones a tipologías constructivas empleadas en Costa Rica*. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, UPC, España.

Labarca, P. (2006). *Evaluación del diseño según el código sísmico de Costa Rica del 2002 para una estructura dual de concreto reforzado por medio de un análisis no lineal estático*. Escuela de ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica., San José, Costa Rica.

Martínez, P. Q., & Angulo, E. R. (2016). *Estudio de peligro sísmico de Ecuador y propuesta de espectros de diseño para la Ciudad de Cuenca*.

Mena, J. (2008). *Desempeño de marcos de acero estructural laminado en frío con diseño alternativo al Código Sísmico de Costa Rica 2002*. Escuela de ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica., San José, Costa Rica.

Molina Arias, C. A., & Ajila Ajila, M. S. (2024). *Cálculo de Curvas de Fragilidad mediante Código de Python, utilizando el Método del Espectro de Capacidad (CSM)*. Guayaquil.

Nassirpour, A., Song, B., & D'Ayala, D. (2017). *IDA and Cloud Method for Fragility Assessment of Bare and Infilled Steel Frame Structures*. Santiago Chile: 16WCEE 2017.

NTC-18. (2020). *Estados Límites de Daños*. SeismoStruct Help

- Oasys. (2025). *Linear time history analysis*.
- Palma, D. (2016). *Evaluación de Diseño Directo Basado en Desplazamientos aplicado a Marcos Regulares de Concreto Reforzado*. Escuela de ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica., San José, Costa Rica.
- Ramos Vintimilla, C. N., & Rodríguez Cedillo, S. I. (2021). *Estudio y aplicación de la metodología de linealización equivalente, propuesta por FEMA 440*. Cuenca, Ecuador. Trabajo de titulación, Universidad del Azuay.
- Rivera, A. (2004). *Vulnerabilidad sísmica de edificaciones existentes de concreto reforzado*. Escuela de ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica., San José, Costa Rica.
- Saborio, E. C. (2018). *Curvas de Fragilidad según el Método del Espectro de Capacidad para Tipologías Estructurales Definidas en el Código Sísmico de Costa Rica*. Costa Rica.
- SEAOC. (1995). Vision 2000: Report on performance based seismic engineering of buildings. En *Structural Engineers Association of California*. Sacramento, California. Structural Engineers Association of California, Vol. I.
- Solorzado, L. (2005). *Vulnerabilidad sísmica de estructuras de viviendas de uno y de dos pisos en una zona piloto del valle central*. Escuela de ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica., San José, Costa Rica.
- Ureaña, D. (2005). *Aplicación y verificación de un método de diseño sismo-resistente basado en desplazamiento de fluencia*. Escuela de ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica., San José, Costa Rica.
- Vargas, Y., Pujades, L., Barbat, A., & Hurtado, J. (27 de Marzo de 2011). 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*.

Vielma, J. C., Barbar, A. H., & Oller, S. (2008). *Umbrales de Daño para Estados Límites de Edificios Porticados de Concreto Armado Diseñados conforme al ACI-318/IMB-2006*.

Zapata López, J. C., & Robalino González, R. S. (2025). *Cálculo de Curvas de Fragilidad de Múltiples Tipologías Estructurales Implementando Algoritmos Lógicos Desarrollados en Python*. Guayaquil.

SIGLAS

ANLTH = Análisis No Lineal en Tiempo-Historia.

SDOF = Sistema de Un Grado de Libertad.

MSA = Multiple Stripes Analysis.

Δt = Paso en el Tiempo.

uy (dy) = Desplazamiento por Fluencia.

Ay = Aceleración por Fluencia.

fy = Fuerza por Fluencia.

k1 = Rigidez Elástica.

Uu (du) = Desplazamiento Último.

Au = Aceleración Última.

fu = Fuerza Última.

k2 = Rigidez inelástica / post-fluencia.

IM = Medida de Intensidad.

dPD = Desplazamiento del Punto de Desempeño.

PGA = Pick Ground Acceleration.

Sa_el = Aceleración Elástica.

Sd_el = Desplazamiento Elástico.

PA = Punto de Anclaje.

REG_A = Registros Originales/Previos.

REG_B = Registros Actuales.

ANEXOS

ANEXO 1: CÓDIGO DE PYTHON

Este código fue realizado con ayuda de inteligencia artificial.

```
import os
import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt

# =====
# 1. FUNCIONES AUXILIARES
# =====
_cache_registros = {}

def leer_registro_cm(nombre_archivo):
    """Lee un registro en cm/s2 (con cache)."""
    if nombre_archivo in _cache_registros:
        return _cache_registros[nombre_archivo]

    arr = np.loadtxt(nombre_archivo, dtype=float)
    _cache_registros[nombre_archivo] = arr
    return arr

def parametros_para_prism(m, fy, dy, fu, du, g_mm_s2=9810):
    """Parámetros equivalentes para PRISM."""
    k1 = fy / dy
    k2 = (fu - fy) / (du - dy) if du > dy else 0
    p = fy
    T = 2 * np.pi * np.sqrt(m / k1)
    SR = fy / (m * g_mm_s2)
    alpha = k2 / k1 if k1 > 0 else 0
    return k1, p, k2, T, SR, alpha

def bilinear_kinematic(u_new, ep_prev, alpha_prev, k1, k2, fy, fu):
    """Modelo bilineal con endurecimiento cinemático (sin tope en Fu)."""

    # módulo de endurecimiento cinemático equivalente
    if k2 == 0:
        H = 0.0
    else:
        H = (k1 * k2) / (k1 - k2)

    # estado trial
    sigma_tr = k1 * (u_new - ep_prev)
    xi_tr = sigma_tr - alpha_prev
    f_tr = abs(xi_tr) - fy

    if f_tr <= 0.0:
        # elástico
        fs = sigma_tr
```

```

    kT          = k1
    ep_new      = ep_prev
    alpha_new   = alpha_prev
else:
    # plástico (endurecimiento cinemático)
    sign       = np.sign(xi_tr)
    denom      = k1 + H
    dgamma     = f_tr / denom

    fs         = sigma_tr - dgamma * k1 * sign
    alpha_new  = alpha_prev + dgamma * H * sign
    ep_new     = ep_prev + dgamma * sign
    kT         = k2

return fs, kT, ep_new, alpha_new

def newmark_nl_bilinear(acc_mm, dt, m, c, fy, dy, fu, du,
                       beta=1/4, gamma=1/2, tol=1e-5, max_iter=50):
    """Newmark NO lineal."""
    acc_mm = np.asarray(acc_mm)
    n = len(acc_mm)

    k1 = fy / dy
    k2 = (fu - fy) / (du - dy) if du > dy else 0

    u = np.zeros(n)
    v = np.zeros(n)
    a = np.zeros(n)
    fs = np.zeros(n)
    kt = np.zeros(n)
    ep = np.zeros(n)
    alpha = np.zeros(n)
    p = -m * acc_mm

    fs[0], kt[0], ep[0], alpha[0] = bilinear_kinematic(u[0], ep[0],
alpha[0], k1, k2, fy, fu)
    a[0] = (p[0] - fs[0] - c*v[0]) / m

    a1 = m/(beta*dt**2) + c*(gamma/(beta*dt))
    a2 = m/(beta*dt) + c*(gamma/beta - 1)
    a3 = m*((1/(2*beta))-1) + c*dt*((gamma/(2*beta))-1)

    for i in range(n-1):

        p_hat = p[i+1] + a1*u[i] + a2*v[i] + a3*a[i]

        u_ip1 = u[i]
        ep_i = ep[i]
        alpha_i = alpha[i]

        for _ in range(max_iter):
            fs_ip1, kt_ip1, ep_try, alpha_try =
bilinear_kinematic(u_ip1, ep_i, alpha_i, k1, k2, fy, fu)
            R_hat = p_hat - fs_ip1 - a1*u_ip1
            if abs(R_hat) < tol:

```

```

        break
        u_ip1 += R_hat / (kt_ip1 + a1)

    u[i+1] = u_ip1
    fs[i+1] = fs_ip1
    kt[i+1] = kt_ip1
    ep[i+1] = ep_try
    alpha[i+1] = alpha_try

    v[i+1] = (gamma/(beta*dt))*(u[i+1]-u[i]) \
            + (1-gamma/beta)*v[i] \
            + dt*(1-gamma/(2*beta))*a[i]

    a[i+1] = (1/(beta*dt**2))*(u[i+1]-u[i]) \
            - (1/(beta*dt))*v[i] \
            - ((1/(2*beta))-1)*a[i]

return u, v, a, fs, kt, k1, k2

def newmark_linear(acc_mm, dt, m, c, k1, beta=1/4, gamma=1/2):
    """Newmark lineal."""
    acc_mm = np.asarray(acc_mm)
    n = len(acc_mm)

    u = np.zeros(n)
    v = np.zeros(n)
    a = np.zeros(n)

    p = -m * acc_mm

    a0 = 1/(beta*dt**2)
    a1 = gamma/(beta*dt)
    a2 = 1/(beta*dt)
    a3 = 1/(2*beta) - 1
    a4 = gamma/beta - 1
    a5 = dt*(gamma/(2*beta) - 1)

    k_eff = k1 + a1*c + a0*m

    for i in range(n-1):
        p_eff = p[i+1] + m*(a0*u[i] + a2*v[i] + a3*a[i]) \
                + c*(a1*u[i] + a4*v[i] + a5*a[i])

        u_ip1 = p_eff / k_eff
        a_ip1 = a0*(u_ip1 - u[i]) - a2*v[i] - a3*a[i]
        v_ip1 = v[i] + dt*((1-gamma)*a[i] + gamma*a_ip1)

        u[i+1] = u_ip1
        v[i+1] = v_ip1
        a[i+1] = a_ip1

    return u, v, a

# =====
# 2. PROGRAMA PRINCIPAL

```

```

# =====

if __name__ == "__main__":

    print("\n=== PARÁMETROS GENERALES ===")
    dt = float(input("Ingrese dt (s): "))

    # =====
    # DEFINICIÓN DE LA CURVA BILINEAL (PRIMERO)
    # =====

    print("\n=== DEFINA LA CURVA BILINEAL ===")
    print("1) Ingresar Fy - dy - Fu - du (FUERZAS)")
    print("2) Ingresar ay - dy - au - du (ACELERACIONES)")
    op_bil = int(input("Seleccione opción (1-2): "))

    xi = 0.05

    if op_bil == 1:
        # =====
        # BILINEAL POR FUERZAS → SÍ SE NECESITA MASA
        # =====
        print("\n=== DEFINICIÓN DE MASA ===")
        print("1) Ingresar MASA en ton")
        print("2) Ingresar PESO en ton-f")
        print("3) Ingresar PERIODO T (s)")

        op = int(input("Seleccione opción (1-3): "))

        if op == 1:
            m = float(input("Ingrese masa (ton): "))
        elif op == 2:
            W_tonf = float(input("Ingrese peso W (ton-f): "))
            # m = W/g; si W está en ton-f, numéricamente m queda en
            "ton"
            m = (W_tonf * 9810) / 9810
        elif op == 3:
            T_target = float(input("Ingrese T (s): "))
            m = None
        else:
            raise ValueError("Opción inválida.")

        print("\n=== BILINEAL POR FUERZAS ===")
        fy_ton = float(input("Fy (ton-f): "))
        dy = float(input("dy (mm): "))
        fu_ton = float(input("Fu (ton-f): "))
        du = float(input("du (mm): "))

        fy = fy_ton * 9810
        fu = fu_ton * 9810

        # Si se ingresó el período objetivo, calcular masa a partir de
        T y k1
        if op == 3:
            k1_tmp = fy / dy
            m = (T_target / (2*np.pi))**2 * k1_tmp

```

```

elif op_bil == 2:
# =====
# BILINEAL POR ACELERACIONES → MASA UNITARIA
# =====
    print("\n==== BILINEAL POR ACELERACIONES ====")
    print("Unidades de aceleración:")
    print("1) g")
    print("2) m/s²")
    op_acc = int(input("Seleccione unidad (1-2): "))

    ay = float(input("ay: "))
    dy = float(input("dy (mm): "))
    au = float(input("au: "))
    du = float(input("du (mm): "))

    m = 1.0 # masa unitaria

    if op_acc == 1:
        # ay y au vienen en g
        ay_mm = ay * 9810
        au_mm = au * 9810
    elif op_acc == 2:
        # ay y au vienen en m/s²
        ay_mm = ay * 1000
        au_mm = au * 1000
    else:
        raise ValueError("Unidad de aceleración inválida.")

    fy = m * ay_mm
    fu = m * au_mm

# =====
# PARÁMETROS PRISM
# =====
k1, p, k2, T, SR, alpha = parametros_para_prism(m, fy, dy, fu, du)
c = 2 * xi * np.sqrt(k1 * m)

print("\n===== PARÁMETROS EQUIVALENTES PARA PRISM =====")
print(f"m = {m:.4f} N·s²/mm")
print(f"k1 = {k1:.4f} N/mm")
print(f"k2 = {k2:.4f} N/mm")
print(f"T = {T:.4f} s")
print(f"SR = {SR:.4f}")
print(f"alpha = {alpha:.4f}")

# =====
# DEFINICIÓN DE LA INTENSIDAD
# =====
print("\n==== DEFINICIÓN DE LA INTENSIDAD ====")
print("Seleccione la medida de intensidad (IM) para el análisis:")
print(" 1) PGA (g)")
print(" 2) Sd_el (mm)")
print(" 3) Sa_el (g)")
op_x = int(input("Seleccione IM (1-3): "))

```

```

# La respuesta (Punto de Desempeño) se trabaja SOLO en
desplazamiento: dPD (mm)
y_label = "dPD [mm]"

if op_x == 1:
    x_label = "PGA [g]"
    titulo_im = "PGA"
    unidad_im = "g"

elif op_x == 2:
    x_label = "Sd_el [mm]"
    titulo_im = "Sd"
    unidad_im = "mm"

else:
    x_label = "Sa_el [g]"
    titulo_im = "Sa"
    unidad_im = "g"

# =====
# PROCESAR REGISTROS
# =====

base_dir = os.path.dirname(os.path.abspath(__file__))
carpeta_registros = os.path.join(base_dir, "Registros")

if not os.path.isdir(carpeta_registros):
    raise FileNotFoundError(f"No existe la carpeta:
{carpeta_registros}")

carpeta_salida = os.path.join(base_dir, "Resultados_TH")
os.makedirs(carpeta_salida, exist_ok=True)

# =====
# OPCIÓN: ¿Generar histéresis? (modo rápido vs completo)
# =====
def elegir_opcion_histeresis():
    print("\n=== SALIDAS DE HISTÉRESIS (opcional) ===")
    print("Estas salidas pueden hacer el análisis mucho más
lento.")
    print(" 1) No generar nada (recomendado / modo rápido)")
    print(" 2) Guardar Excel de histéresis (u-f) por sismo")
    print(" 3) Graficar histéresis (u-f) por sismo")
    print(" 4) Guardar Excel + Graficar histéresis")
    while True:
        try:
            op = int(input("Seleccione opción (1-4): ").strip())
            if op in (1, 2, 3, 4):
                break
        except Exception:
            pass
    print("Entrada inválida. Escriba 1, 2, 3 o 4.")

guardar = op in (2, 4)
graficar = op in (3, 4)
return guardar, graficar

```

```

GUARDAR_HISTERESIS, GRAFICAR_HISTERESIS =
elegir_opcion_histeresis()
print(f"GUARDAR_HISTERESIS = {GUARDAR_HISTERESIS}")
print(f"GRAFICAR_HISTERESIS = {GRAFICAR_HISTERESIS}")

carpeta_fragilidad = os.path.join(carpeta_salida, "Fragilidad")
carpeta_nube_pd = os.path.join(carpeta_salida, "Nube_PD")
os.makedirs(carpeta_fragilidad, exist_ok=True)
os.makedirs(carpeta_nube_pd, exist_ok=True)

carpeta_histeresis = os.path.join(carpeta_salida, "Histeresis")
if GUARDAR_HISTERESIS:
    os.makedirs(carpeta_histeresis, exist_ok=True)

registros = sorted([f for f in os.listdir(carpeta_registros) if
f.lower().endswith(".txt")])
if len(registros) == 0:
    raise FileNotFoundError(f"No se encontraron .txt dentro de:
{carpeta_registros}")

# =====
# NOMBRES DE COLUMNAS SEGÚN SELECCIÓN (para Excel)
# =====
if op_x == 1:
    col_IM_nube = "PGA_g"
elif op_x == 2:
    col_IM_nube = "Sd_el_mm"
else:
    col_IM_nube = "Sa_el_g"

col_Y_nube = "dPD_mm"

resultados_pd = []
resultados_nube = []

for archivo in registros:
    nombre = os.path.splitext(archivo)[0]
    ruta_registro = os.path.join(carpeta_registros, archivo)

    print(f"\n=== Procesando registro: {archivo} ===")

    # Leer registro
    acc_cm = leer_registro_cm(ruta_registro) # cm/s2
    PGA_g = np.max(np.abs(acc_cm)) / 981.0
    acc_mm = acc_cm * 10.0 # mm/s2

    # NO lineal
    u, v, a_rel, fs, kt, k1c, k2c = newmark_nl_bilineal(acc_mm,
dt, m, c, fy, dy, fu, du)

    dPD = np.max(np.abs(u))
    Fmax = np.max(np.abs(fs))

    # límites físicos
    if dPD > du:

```

```

        dPD = du
    if Fmax > fu:
        Fmax = fu

    aPD = (Fmax / m) / 9810.0

    # LINEAL
    u_el, v_el, a_el = newmark_lineal(acc_mm, dt, m, c, k1)
    Sd_el = np.max(np.abs(u_el))
    Sa_el = ((4*np.pi**2 / T**2) * Sd_el) / 9810.0

    # Guardar tabla PD
    resultados_pd.append({"Registro": archivo, "dPD_mm": dPD,
    "aPD_g": aPD, "Fmax_kN": Fmax/1000.0, "PGA_g": PGA_g, "Sd_el_mm":
    Sd_el, "Sa_el_g": Sa_el})

    # Elegir X según op_x
    if op_x == 1:
        IM_val = PGA_g
    elif op_x == 2:
        IM_val = Sd_el
    else:
        IM_val = Sa_el

    # Respuesta (Punto de Desempeño): dPD
    Y_val = dPD

    resultados_nube.append({"Registro": archivo, col_IM_nube:
    IM_val, col_Y_nube: Y_val})

    # Guardar histéresis SOLO si se pide
    if GUARDAR_HISTERESIS:
        dfh = pd.DataFrame({"u_mm": u, "fs_kN": fs/1000.0})
        nombre_h = f"Histeresis_{nombre}.xlsx"
        dfh.to_excel(os.path.join(carpeta_histeresis, nombre_h),
        index=False)

    # Graficar SOLO si se pide
    if GRAFICAR_HISTERESIS:
        plt.figure(figsize=(8,5))
        plt.plot(u, fs/1000.0)
        plt.title(f"Histéresis - {archivo}")
        plt.xlabel("Desplazamiento [mm]")
        plt.ylabel("Fuerza [kN]")
        plt.grid(True)
        plt.tight_layout()
        plt.show()

    # =====
    # EXPORTAR TABLAS
    # =====
    df_pd = pd.DataFrame(resultados_pd)
    df_pd.to_excel(os.path.join(carpeta_nube_pd,
    "Puntos_Desempeno.xlsx"), index=False)

    df_nube = pd.DataFrame(resultados_nube)

```

```

df_nube.to_excel(os.path.join(carpeta_nube_pd,
"Nube_Pd_vs_IM.xlsx"), index=False)

# =====
# 3. UMBRALES DE DAÑO (trabajando en mm)
# =====

umbral_leve      = 0.7 * dy
umbral_moderado  = dy
umbral_extenso   = dy + 0.25 * (du - dy)
umbral_colapso   = du

print("\n=== UMBRALES DE DAÑO (mm) ===")
print(f"Leve:      {umbral_leve:.3f}")
print(f"Moderado:   {umbral_moderado:.3f}")
print(f"Extenso:    {umbral_extenso:.3f}")
print(f"Colapso:    {umbral_colapso:.3f}")

# =====
# 4. CLASIFICACIÓN DE LOS PUNTOS SEGÚN UMBRAL
# =====

df_nube["Estado"] = ""

for i in df_nube.index:
    d = df_nube.loc[i, col_Y_nube] # Y = dPD en mm

    if d < umbral_leve:
        df_nube.loc[i, "Estado"] = "Intacto"
    elif d < umbral_moderado:
        df_nube.loc[i, "Estado"] = "Leve"
    elif d < umbral_extenso:
        df_nube.loc[i, "Estado"] = "Moderado"
    elif d < umbral_colapso:
        df_nube.loc[i, "Estado"] = "Extenso"
    else:
        df_nube.loc[i, "Estado"] = "Colapso"

# =====
# 5. DETERMINAR IM_min y IM_max A PARTIR DEL UMBRAL
#     (primer punto que SUPERA el umbral y último que NO lo supera)
# =====
def rango_por_umbral(df, umbral_y, col_IM, col_Y):
    """
    IM_min = mínimo IM donde Y >= umbral
    IM_max = máximo IM donde Y < umbral
    """
    if col_IM not in df.columns or col_Y not in df.columns:
        raise KeyError(f"df_nube no tiene columnas esperadas:
{col_IM=} {col_Y=}. "
                        f"Columnas disponibles:
{list(df.columns)}")

    mask_sup = df[col_Y] >= umbral_y # superan umbral

```

```

mask_inf = df[col_Y] < umbral_y # no superan

if (not mask_sup.any()) or (not mask_inf.any()):
    return None, None # no hay rango informativo

IM_min = df.loc[mask_sup, col_IM].min()
IM_max = df.loc[mask_inf, col_IM].max()
return IM_min, IM_max

IM_min_leve, IM_max_leve = rango_por_umbral(df_nube, umbral_leve,
col_IM_nube, col_Y_nube)
IM_min_mod, IM_max_mod = rango_por_umbral(df_nube,
umbral_moderado, col_IM_nube, col_Y_nube)
IM_min_ext, IM_max_ext = rango_por_umbral(df_nube, umbral_extenso,
col_IM_nube, col_Y_nube)
IM_min_col, IM_max_col = rango_por_umbral(df_nube, umbral_colapso,
col_IM_nube, col_Y_nube)

rango_leve      = (IM_min_leve, IM_max_leve)
rango_moderado = (IM_min_mod,   IM_max_mod)
rango_extenso  = (IM_min_ext,   IM_max_ext)
rango_colapso  = (IM_min_col,   IM_max_col)
# =====
# 5B. CONTAR PUNTOS DENTRO DE CADA RANGO
# =====

def contar_puntos(df, rango):
    IM_min, IM_max = rango
    if IM_min is None:
        return 0

    mask = (df[col_IM_nube] >= IM_min) & (df[col_IM_nube] <=
IM_max)
    return mask.sum()

n_leve      = contar_puntos(df_nube, rango_leve)
n_mod       = contar_puntos(df_nube, rango_moderado)
n_ext       = contar_puntos(df_nube, rango_extenso)
n_col       = contar_puntos(df_nube, rango_colapso)

print("\n=== NÚMERO DE PUNTOS DENTRO DE CADA RANGO ===")
print(f"Leve:      {n_leve}")
print(f"Moderado: {n_mod}")
print(f"Extenso:  {n_ext}")
print(f"Colapso:  {n_col}")

print(f"\n=== RANGOS {titulo_im} POR ESTADO DE DAÑO ({unidad_im})
===")
def imprime_rango(nombre, rango):
    IM_min, IM_max = rango
    if IM_min is None:
        print(f"{nombre}: sin rango definido")
    else:

```

```

        print(f"{nombre}: {titulo_im}_min={IM_min:.3f}
{titulo_im}_max={IM_max:.3f}")

    imprime_rango("Leve", rango_leve)
    imprime_rango("Moderado", rango_moderado)
    imprime_rango("Extenso", rango_extenso)
    imprime_rango("Colapso", rango_colapso)

plt.figure(figsize=(10,7))

# Colores por estado
colores = {"Intacto": "gray", "Leve": "green", "Moderado":
"yellow", "Extenso": "blue", "Colapso": "red"}

for estado in df_nube["Estado"].unique():
    puntos = df_nube[df_nube["Estado"] == estado]
    plt.scatter(puntos[col_IM_nube], puntos[col_Y_nube],
                label=estado,
                color=colores.get(estado, "black"), s=40)

# Líneas horizontales (umbrales)
plt.axhline(umbral_leve, color="green", linestyle="--",
label="Umbral Leve")
plt.axhline(umbral_moderado, color="yellow", linestyle="--",
label="Umbral Moderado")
plt.axhline(umbral_extenso, color="blue", linestyle="--",
label="Umbral Extenso")
plt.axhline(umbral_colapso, color="red", linestyle="--",
label="Umbral Colapso")

plt.xlabel(x_label)
plt.ylabel(y_label)
plt.title("Clasificación de Estados de Daño - Nube de puntos")
plt.grid(True)
plt.legend()
plt.tight_layout()
plt.show()

# =====
# 6. GRÁFICAS UMBRALES: TODOS LOS PUNTOS + RANGO POR UMBRAL
# =====

def grafica_rango(df, rango, umbral_mm, color, nombre):
    IM_min, IM_max = rango
    if IM_min is None:
        print(f"No hay rango definido para el estado {nombre}.")
        return

    plt.figure(figsize=(10,7))

    # Todos los puntos
    plt.scatter(df[col_IM_nube], df[col_Y_nube],
color="lightgray",
                label="Todos los puntos", s=35)

```

```

# Puntos dentro del rango [IM_min, IM_max]
mask_rango = (df[col_IM_nube] >= IM_min) & (df[col_IM_nube] <=
IM_max)
df_rango = df[mask_rango]
# -----
# LÍNEAS VERTICALES QUE DIVIDEN LOS GRUPOS (MISMA LÓGICA QUE
TU EXCEL)
# -----
df_rango_ord =
df_rango.sort_values(col_IM_nube).reset_index(drop=True)
N = len(df_rango_ord)

if N >= 3:
    n_grupos = int(np.sqrt(N))
    n_grupos = max(3, n_grupos)
    n_grupos = min(n_grupos, N)

    tam_grupo = N // n_grupos

# líneas en los cortes entre grupos (sin añadir a la
leyenda)
for i in range(1, n_grupos):
    idx = i * tam_grupo
    if idx >= N:
        break

    x1 = df_rango_ord.loc[idx - 1, col_IM_nube]
    x2 = df_rango_ord.loc[idx, col_IM_nube]
    xline = (x1 + x2) / 2.0 # línea entre el último del
grupo i y el primero del i+1

    plt.axvline(xline, color="red", linestyle=":",
linewidth=1.2, alpha=1.0, label="_nolegend_")
    plt.scatter(df_rango[col_IM_nube], df_rango[col_Y_nube],
color=color,
label=f"Puntos en rango {nombre}", s=45)

# Umbral horizontal
plt.axhline(umbral_mm, color=color, linestyle="--",
label=f"Umbral {nombre} = {umbral_mm:.2f} mm")

# Líneas verticales IM_min y IM_max
plt.axvline(IM_min, color=color, linestyle="--",
label=f"{titulo_im}_min={IM_min:.3f} {unidad_im}")
plt.axvline(IM_max, color=color, linestyle="--",
label=f"{titulo_im}_max={IM_max:.3f} {unidad_im}")

plt.xlabel(x_label)
plt.ylabel(y_label)
plt.title(
f"Rango de {nombre} - {titulo_im}_min={IM_min:.3f}
{unidad_im} "
f"{titulo_im}_max={IM_max:.3f} {unidad_im}"
)
plt.grid(True)
plt.legend()
plt.tight_layout()

```

```

plt.show()

# Llamar una gráfica por cada estado de daño
grafica_rango(df_nube, rango_leve, umbral_leve, "green",
"Leve")
grafica_rango(df_nube, rango_moderado, umbral_moderado, "gold",
"Moderado")
grafica_rango(df_nube, rango_extenso, umbral_extenso, "blue",
"Extenso")
grafica_rango(df_nube, rango_colapso, umbral_colapso, "red",
"Colapso")

# =====
# 7. PARTE ESTADÍSTICA - BASE PARA CURVAS DE FRAGILIDAD
# =====

df_stat = df_nube.copy()
# Nombre real de la intensidad según lo que eligió el usuario
if op_x == 1:
    nombre_IM = "PGA_g"
elif op_x == 2:
    nombre_IM = "Sd_mm"
else:
    nombre_IM = "Sa_g"

df_stat.rename(columns={col_IM_nube: nombre_IM, col_Y_nube:
"dPD_mm"}, inplace=True)

col_IM = nombre_IM

# =====
# DETECCIÓN AUTOMÁTICA DE MEDIDA DE INTENSIDAD (IM)
# =====

col_IM = nombre_IM

if col_IM == "PGA_g":
    etiqueta_x = "PGA [g]"
    titulo_im = "PGA"
    unidad_im = "g"

elif col_IM == "Sa_g":
    etiqueta_x = "Sa [g]"
    titulo_im = "Sa"
    unidad_im = "g"

elif col_IM == "Sd_mm":
    etiqueta_x = "Sd [mm]"
    titulo_im = "Sd"
    unidad_im = "mm"

else:
    etiqueta_x = col_IM
    titulo_im = col_IM

```

```

col_prom = f"{titulo_im}_promedio"

# Diccionario de umbrales
umbrales = {"Leve": umbral_leve, "Moderado": umbral_moderado,
"Extenso": umbral_extenso, "Colapso": umbral_colapso}

resultados_estadisticos = {}

for estado, umbral in umbrales.items():

    print(f"\n=== ESTADO DE DAÑO: {estado} ===")

    # -----
    # 1. Clasificación binaria (excede / no excede)
    # -----
    df_stat["excede"] = (df_stat["dPD_mm"] >= umbral).astype(int)

    # -----
    # 2. Determinar IM_min y IM_max
    # -----
    if df_stat["excede"].sum() == 0:
        print("No hay excedencias para este estado.")
        continue

    IM_min = df_stat.loc[df_stat["excede"] == 1, col_IM].min()
    IM_max = df_stat.loc[df_stat["excede"] == 0, col_IM].max()

    print(f"{titulo_im}_min = {IM_min:.4f}")
    print(f"{titulo_im}_max = {IM_max:.4f}")

    # -----
    # 3. Filtrar puntos dentro del rango
    # -----

    df_rango = df_stat[
        (df_stat[col_IM] >= IM_min) &
        (df_stat[col_IM] <= IM_max)
    ].copy()

    df_rango = df_rango.sort_values(col_IM).reset_index(drop=True)

    n_total = len(df_rango)
    n_excede = df_rango["excede"].sum()

    print(f"Número total de puntos en el rango: {n_total}")
    print(f"Número de excedencias: {n_excede}")

    # -----
    # 4. Guardar resultados base (sin ajuste aún)
    # -----

    resultados_estadisticos[estado] = {"umbral_mm": umbral,
"IM_min": IM_min, "IM_max": IM_max, "n_total": n_total, "n_excede":
n_excede, "datos": df_rango}

```

```

# =====
# 8. EXPORTAR RESULTADOS ESTADÍSTICOS BASE
# =====

with pd.ExcelWriter(os.path.join(carpeta_fragilidad,
f"Base_Estadistica_Fragilidad_{titulo_im}.xlsx")) as writer:
    for estado, info in resultados_estadisticos.items():
        info["datos"].to_excel(writer, sheet_name=estado,
index=False)

    print("\nArchivo 'Base_Estadistica_Fragilidad.xlsx' generado
correctamente.")

# =====
# 9. AGRUPACIÓN ESTADÍSTICA POR PERCENTILES
# =====

import numpy as np
from scipy.stats import norm, binom

import numpy as np

def estadistica_por_percentiles(df_rango, umbral_mm, col_IM):
    """
    Divide los datos en grupos por percentiles para cálculo
    estadístico.
    """

    N = len(df_rango)

    # =====
    # CASO LÍMITE: pocos datos
    # =====
    if N < 3:
        # Crear una tabla mínima sin agrupar
        resultados = []
        for _, row in df_rango.iterrows():
            resultados.append({col_prom: row[col_IM],
"Numero_Analisis": 1, "Casos_Excedencia": int(row["dPD_mm"] >=
umbral_mm), "Fraccion_Excedencia": int(row["dPD_mm"] >= umbral_mm)})
        return pd.DataFrame(resultados)

    # =====
    # CASO NORMAL
    # =====
    n_grupos = int(np.sqrt(N))
    n_grupos = max(3, n_grupos)
    n_grupos = min(n_grupos, N)

    tam_grupo = N // n_grupos

    resultados = []

    for i in range(n_grupos):
        ini = i * tam_grupo

```

```

    fin = (i + 1) * tam_grupo if i < n_grupos - 1 else N

    grupo = df_rango.iloc[ini:fin]

    IM_prom = grupo[col_IM].mean()
    n = len(grupo)
    k = grupo["excede"].sum()
    frac = k / n

    resultados.append({col_prom : IM_prom, "Numero_Analisis":
n, "Casos_Excedencia": k, "Fraccion_Excedencia": frac})

    return pd.DataFrame(resultados)

# =====
# 10. AJUSTE LOGNORMAL POR MÁXIMA VEROSIMILITUD
# =====

def ajustar_fragilidad_lognormal(df):
    IM = df[col_prom].values
    k = df["Casos_Excedencia"].values
    n = df["Numero_Analisis"].values

    def neg_log_likelihood(params):
        theta, beta = params
        if theta <= 0 or beta <= 0:
            return np.inf

        P = norm.cdf((np.log(IM) - np.log(theta)) / beta)
        P = np.clip(P, 1e-6, 1 - 1e-6)

        return -np.sum(binom.logpmf(k, n, P))

    from scipy.optimize import minimize
    res = minimize(neg_log_likelihood, x0=[np.median(IM), 0.4],
bounds=[(1e-4, None), (1e-3, None)])

    return res.x[0], res.x[1]

def anclar_extremos_fragilidad(df_bins, df_estado, IM_min, IM_max,
col_IM, col_prom, n_grupos=3):

    """
    Anclaje basado en:
    - Registros reales fuera del rango
    - Fallback artificial si no hay suficientes registros
    """

    df_inf = df_estado[df_estado[col_IM] <
IM_min].sort_values(col_IM)
    df_sup = df_estado[df_estado[col_IM] >
IM_max].sort_values(col_IM)

    filas_anclaje = []

```

```

# =====
# ANCLAJE IZQUIERDO (P = 0)  -> SIEMPRE n_grupos
# =====
if len(df_inf) >= n_grupos:
    # 3 reales (en 3 grupos)
    grupos_inf = np.array_split(df_inf, n_grupos)
    for g in grupos_inf:
        filas_anclaje.append({col_prom: g[col_IM].mean(),
"Numero_Analisis": len(g), "Casos_Excedencia": 0,
"Fraccion_Excedencia": 0.0})

    elif len(df_inf) > 0:
        # 1 real + (n_grupos-1) artificiales
        filas_anclaje.append({col_prom: df_inf[col_IM].mean(),
"Numero_Analisis": len(df_inf), "Casos_Excedencia": 0,
"Fraccion_Excedencia": 0.0})

        factores = [0.75, 0.50, 0.25]
        for f in factores[: (n_grupos - 1)]:
            filas_anclaje.append({col_prom: IM_min * f,
"Numero_Analisis": 1, "Casos_Excedencia": 0, "Fraccion_Excedencia":
0.0})

    else:
        # 3 artificiales
        factores = [0.75, 0.50, 0.25]
        for f in factores[:n_grupos]:
            filas_anclaje.append({col_prom: IM_min * f,
"Numero_Analisis": 1, "Casos_Excedencia": 0, "Fraccion_Excedencia":
0.0})

# =====
# ANCLAJE DERECHO (P = 1)  -> SIEMPRE n_grupos
# =====
if len(df_sup) >= n_grupos:
    # 3 reales (en 3 grupos)
    grupos_sup = np.array_split(df_sup, n_grupos)
    for g in grupos_sup:
        filas_anclaje.append({
col_prom: g[col_IM].mean(), "Numero_Analisis":
len(g), "Casos_Excedencia": len(g), "Fraccion_Excedencia": 1.0})

    elif len(df_sup) > 0:
        # 1 real + (n_grupos-1) artificiales
        filas_anclaje.append({
col_prom: df_sup[col_IM].mean(), "Numero_Analisis":
len(df_sup), "Casos_Excedencia": len(df_sup), "Fraccion_Excedencia":
1.0})

        factores = [1.25, 1.50, 1.75]
        for f in factores[: (n_grupos - 1)]:
            filas_anclaje.append({col_prom: IM_max * f,
"Numero_Analisis": 1, "Casos_Excedencia": 1, "Fraccion_Excedencia":
1.0})

```

```

else:
    # 3 artificiales
    factores = [1.25, 1.50, 1.75]
    for f in factores[:n_grupos]:
        filas_anclaje.append({col_prom: IM_max * f,
"Numero_Analisis": 1, "Casos_Excedencia": 1, "Fraccion_Excedencia":
1.0})

# =====
# UNIR ANCLAJES + DATOS REALES
# =====
df_anclaje = pd.DataFrame(filas_anclaje)
df_final = pd.concat([df_anclaje, df_bins], ignore_index=True)
df_final.sort_values(col_prom, inplace=True)
df_final.reset_index(drop=True, inplace=True)

return df_final

# =====
# 11. EJECUTAR ESTADÍSTICA Y CURVAS DE FRAGILIDAD
# =====

curvas_fragilidad = {}

for estado, umbral in umbrales.items():

    print(f"\n=== CURVA DE FRAGILIDAD - {estado} ===")

    if estado not in resultados_estadisticos:
        print("No hay datos suficientes para construir esta curva.
Se omite.")
        continue

    # Datos SOLO del rango (para percentiles)
    df_rango = resultados_estadisticos[estado]["datos"]

    # =====
    # CASO SIN DATOS → NO SE CONSTRUYE CURVA
    # =====
    if df_rango.empty:
        print(f"No hay registros dentro del rango para {estado}.
Se omite la curva.")
        continue

    # Agrupación estadística
    df_bins = estadistica_por_percentiles(df_rango, umbral,
col_IM)

    # Límites del rango
    IM_min = resultados_estadisticos[estado]["IM_min"]
    IM_max = resultados_estadisticos[estado]["IM_max"]

```

```

# ===== AQUÍ SE ANCLAN LOS EXTREMOS (USANDO TODOS LOS
REGISTROS) =====
df_bins = anclar_extremos_fragilidad( df_bins, df_stat,
IM_min,IM_max,col_IM,col_prom,n_grupos=3)

theta, beta = ajustar_fragilidad_lognormal(df_bins)

print(f"θ = {theta:.4f} g")
print(f"β = {beta:.4f}")

curvas_fragilidad[estado] = {"tabla": df_bins,"theta":
theta,"beta": beta}

df_bins["theta"] = theta
df_bins["beta"] = beta

df_bins.to_excel(os.path.join(carpeta_fragilidad,
f"Fragilidad_{titulo_im}_{estado}.xlsx"), index=False)

# =====
# 12. GRÁFICA FINAL DE CURVAS DE FRAGILIDAD
# =====

curvas_TH = []

plt.figure(figsize=(10, 8))

# =====
# DEFINIR RANGO DE IM PARA GRAFICAR (solo estados existentes)
# =====

IM_max_plot = df_stat[col_IM].max()

for estado, info in curvas_fragilidad.items():
    IM_max_plot = max(IM_max_plot, 2.0 * info["theta"])

IM_plot = np.linspace(0.001, IM_max_plot, 500)

colores = {"Leve": "green","Moderado": "yellow","Extenso":
"blue","Colapso": "red"}

for estado, info in curvas_fragilidad.items():
    theta = info["theta"]
    beta = info["beta"]

    P = norm.cdf((np.log(IM_plot) - np.log(theta)) / beta)

# =====
# GUARDAR CURVA DE FRAGILIDAD (TIEMPO-HISTORIA)
# =====

df_curva = pd.DataFrame({"IM_g": IM_plot,"Probabilidad":
P,"Estado": estado})

```

```

curvas_TH.append(df_curva)

plt.plot(IM_plot, P, color=colores[estado], label=f"{estado}")

plt.xlabel(etiqueta_x)
plt.ylabel("Probabilidad de Excedencia")
plt.title(f"Curvas de Fragilidad - Análisis No Lineal Tiempo-
Historia ({titulo_im})")
plt.grid(True)
plt.legend()
plt.tight_layout()
plt.show()

# =====
# EXPORTAR CURVAS DE FRAGILIDAD - TIEMPO HISTORIA
# =====

if len(curvas_TH) > 0:
    df_curvas_TH = pd.concat(curvas_TH, ignore_index=True)
    df_curvas_TH.to_excel(os.path.join(carpeta_fragilidad,
f"Curvas_Fragilidad_TH_{titulo_im}.xlsx"), index=False)

    print("✓ Curvas de fragilidad (TH) exportadas a Excel")
else:
    print("⚠ No se generaron curvas de fragilidad para exportar.")

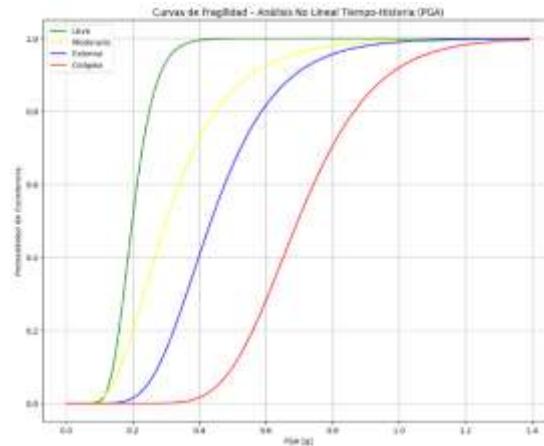
```

ANEXO 2: CURVA DE FRAGILIDAD DE CADA EDIFICACIÓN

Tabla 7: Propiedades de Edificación Af-M-2-M-3. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Af-M-2-M-3	0.022	0.053	5.988	6.420	0.381

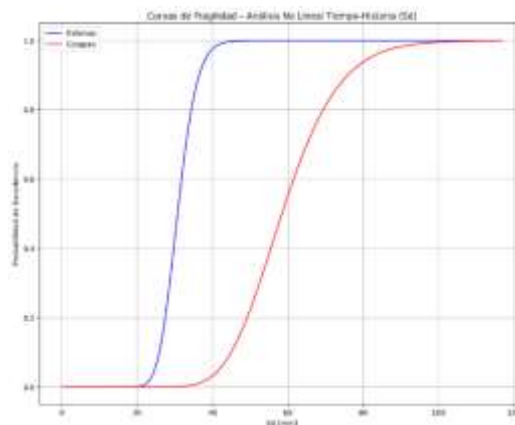
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.199	0.270	0.300	0.480	0.435	0.355	0.696	0.258



Anexo 1: Curva de Fragilidad en PGA para Af-M-2-M-3. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 8: Resultado para Sd de Edificación Af-M-2-M-3. Fuente: Elaboración Propia.

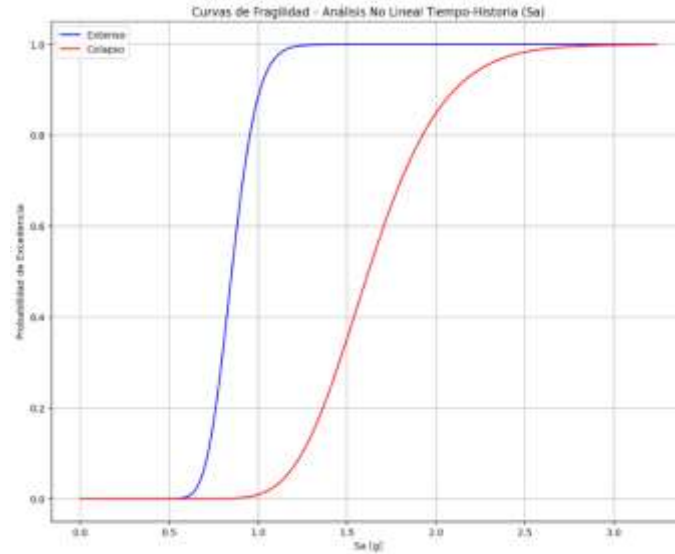
Sd			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
30.701	0.133	58.398	0.204



Anexo 2: Curva de Fragilidad en Sd para Af-M-2-M-3. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 9: Resultado para Sa de Edificación Af-M-2-M-3. Fuente: Elaboración Propia.

Sa			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.852	0.133	1.620	0.204

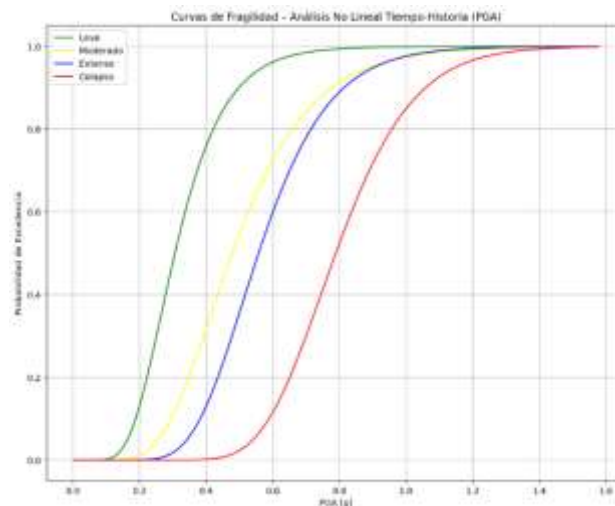


Anexo 3: Curva de Fragilidad en Sa para Af-M-2-M-3. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 10: Propiedades de Edificación Af-M-2-M-4. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Af-M-2-M-4	0.018	0.032	9.057	11.483	0.280

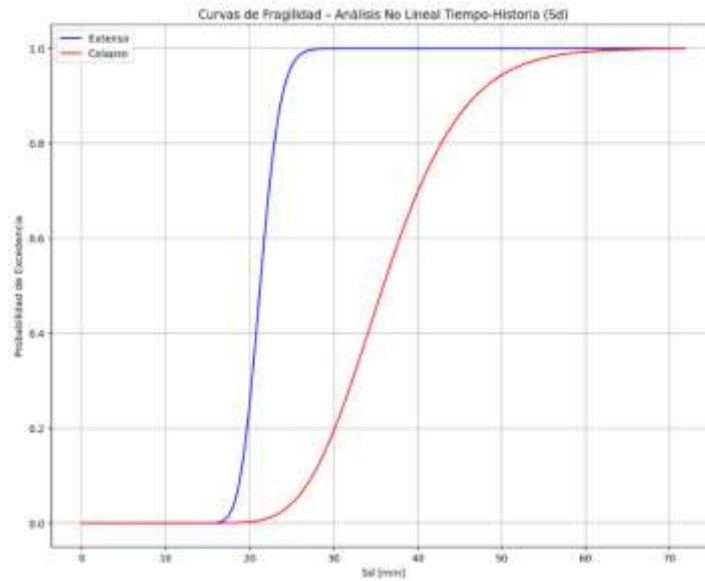
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.306	0.380	0.479	0.379	0.557	0.295	0.789	0.229



Anexo 4: Curva de Fragilidad en PGA para Af-M-2-M-4. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 11: Resultado para Sd de Edificación Af-M-2-M-4. Fuente: Elaboración Propia.

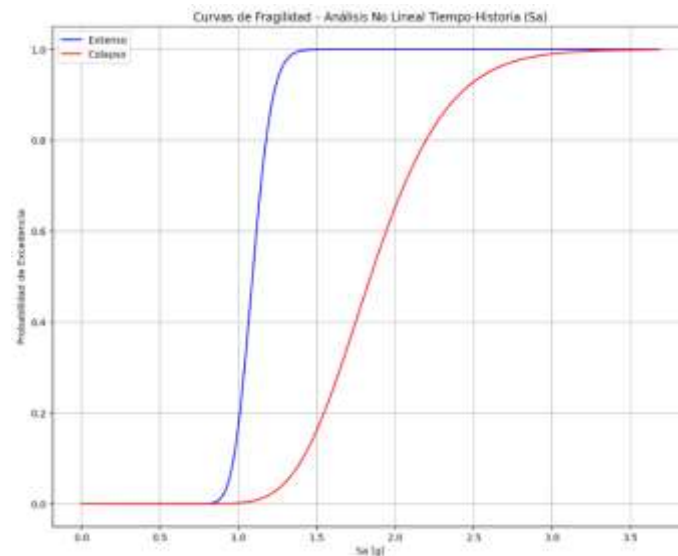
Sd			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
21.246	0.090	35.920	0.208



Anexo 5: Curva de Fragilidad en Sd para Af-M-2-M-4. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 12: Resultado para Sa de Edificación Af-M-2-M-4. Fuente: Elaboración Propia.

Sa			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
1.090	0.090	1.842	0.208

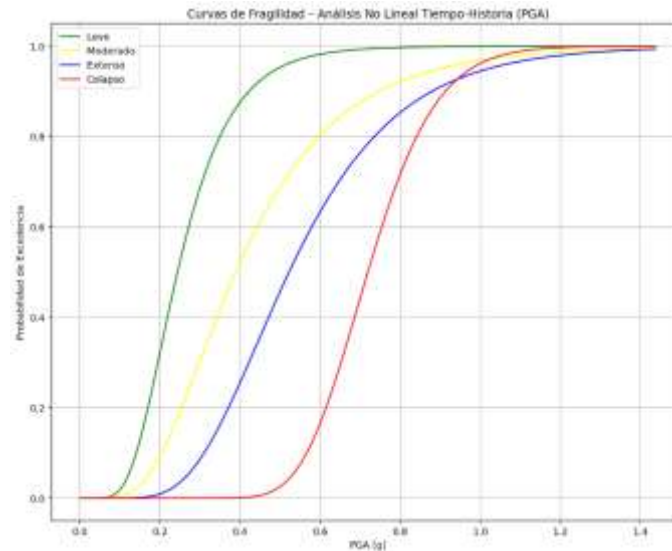


Anexo 6: Curva de Fragilidad en Sa para Af-M-2-M-4. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 13: Propiedades de Edificación Af-M-3-M-2. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Af-M-3-M-2	0.025	0.050	7.367	9.625	0.366

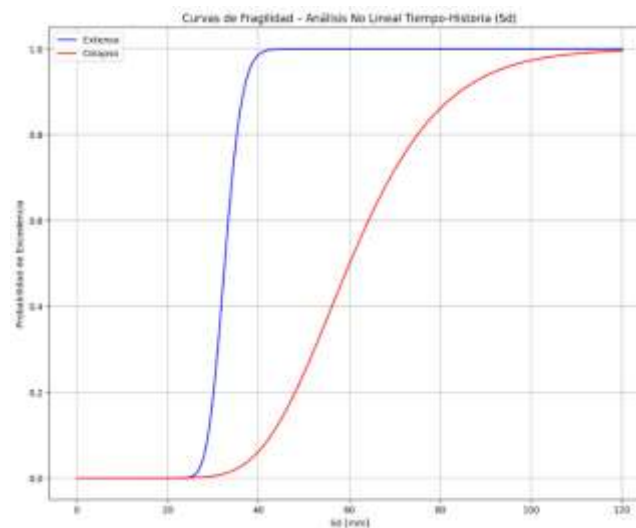
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.243	0.429	0.389	0.508	0.522	0.406	0.719	0.186



Anexo 7: Curva de Fragilidad en PGA para Af-M-3-M-2. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 14: Resultado para Sd de Edificación Af-M-3-M-2. Fuente: Elaboración Propia.

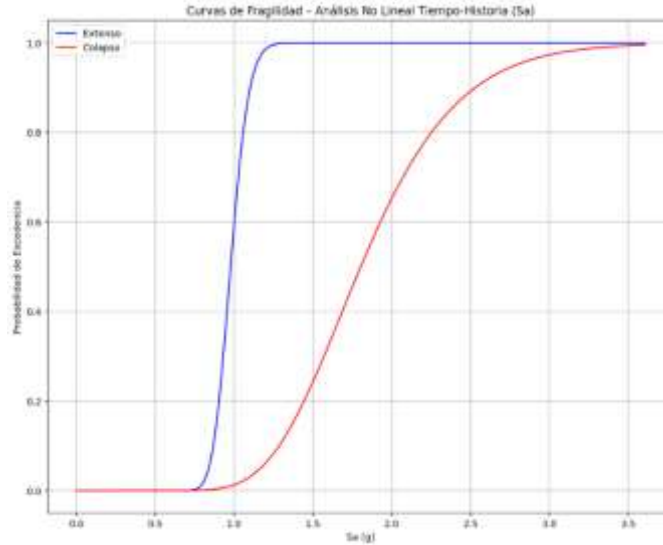
Sd			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
32.561	0.093	60.039	0.264



Anexo 8: Curva de Fragilidad en Sd para Af-M-3-M-2. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 15: Resultado para Sa de Edificación Af-M-3-M-2. Fuente: Elaboración Propia.

Sa			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.978	0.093	1.803	0.264

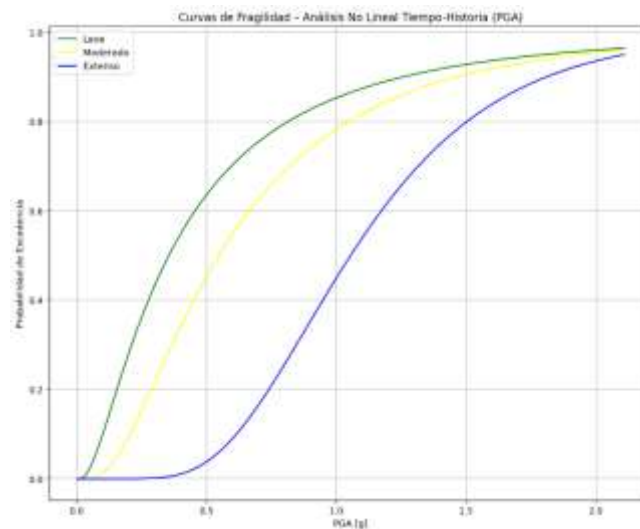


Anexo 9: Curva de Fragilidad en Sa para Af-M-3-M-2. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 16: Propiedades de Edificación A-IMF-4-C-2. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
A-IMF-4-C-2	0.168	0.961	4.822	5.114	1.173

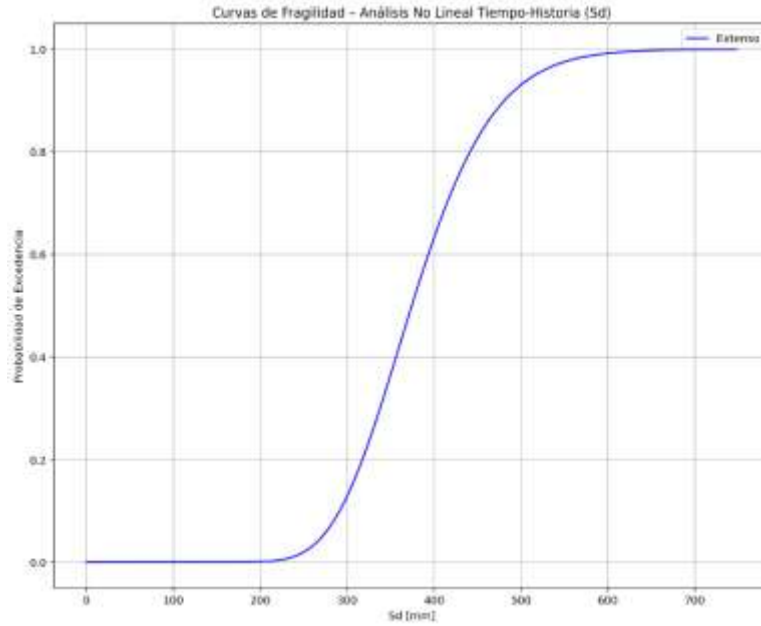
PGA					
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}
0.355	0.987	0.548	0.767	1.055	0.420



Anexo 10: Curva de Fragilidad en PGA para A-IMF-4-C-2. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 17: Resultado para S_d de Edificación A-IMF-4-C-2. Fuente: Elaboración Propia.

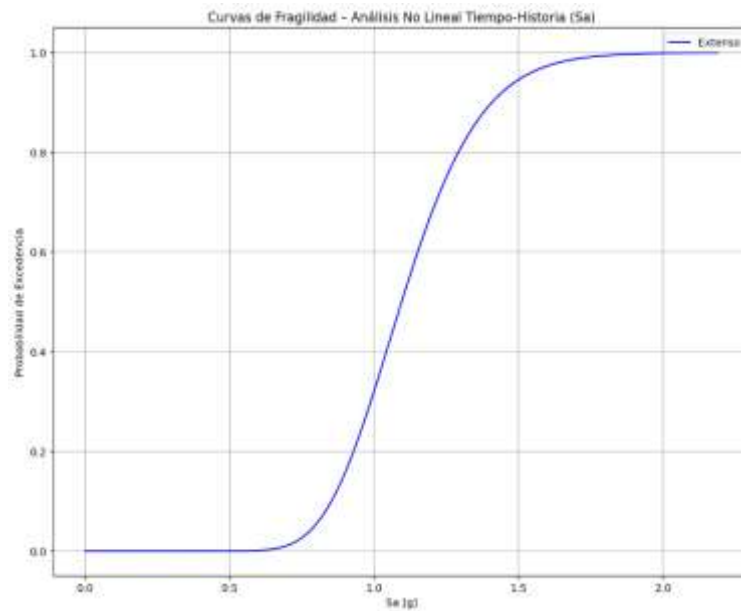
Sd	
θ_{ext}	β_{ext}
374.312	0.196



Anexo 11: Curva de Fragilidad en S_d para A-IMF-4-C-2. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 18: Resultado para S_a de Edificación A-IMF-4-C-2. Fuente: Elaboración Propia.

Sa	
θ_{ext}	β_{ext}
1.095	0.196

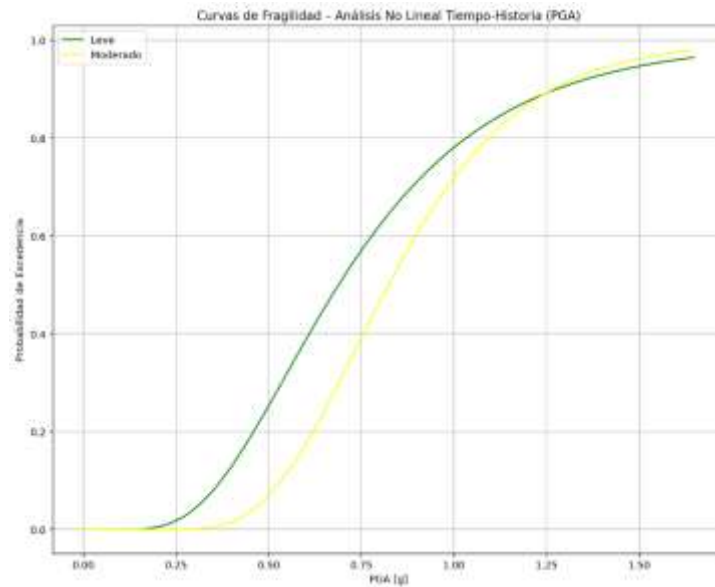


Anexo 12: Curva de Fragilidad en S_a para A-IMF-4-C-2. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 19: Propiedades de Edificación A-OMF-4-C-3. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
A-OMF-4-C-3	0.201	0.729	12.724	15.835	0.790

PGA			
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}
0.689	0.481	0.823	0.336

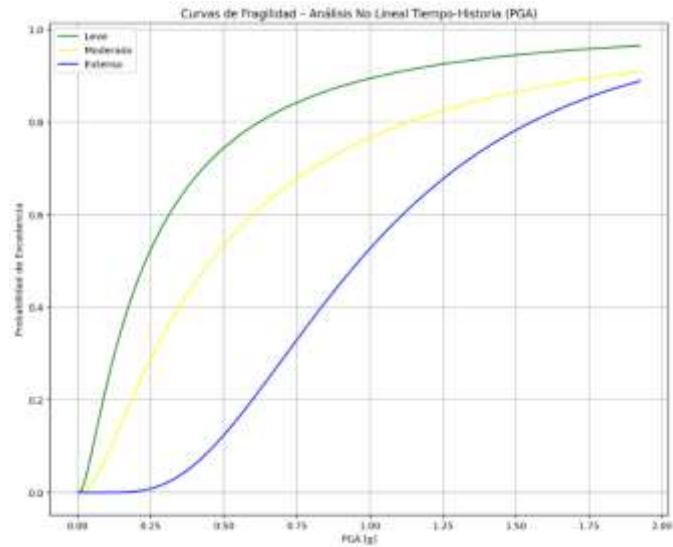


Anexo 13: Curva de Fragilidad en PGA para A-OMF-4-C-3. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 20: Propiedades de Edificación A-SMF-4-C-1. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
A-SMF-4-C-1	0.165	0.886	3.669	3.631	1.332

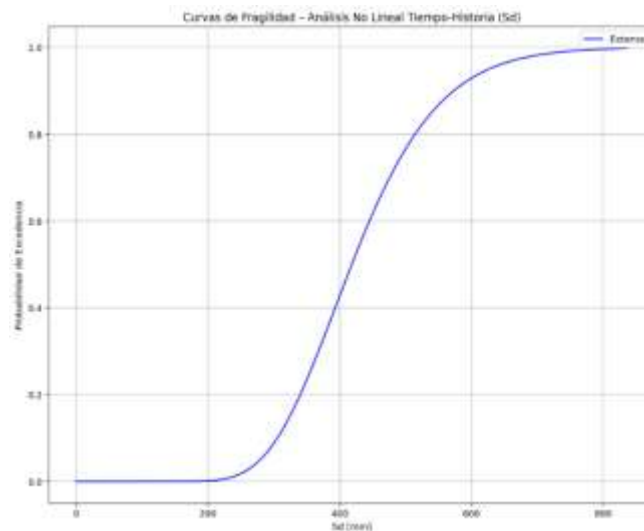
PGA					
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}
0.232	1.169	0.455	1.081	0.963	0.568



Anexo 14: Curva de Fragilidad en PGA para A-SMF-4-C-1. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 21: Resultado para Sd de Edificación A-SMF-4-C-1. Fuente: Elaboración Propia.

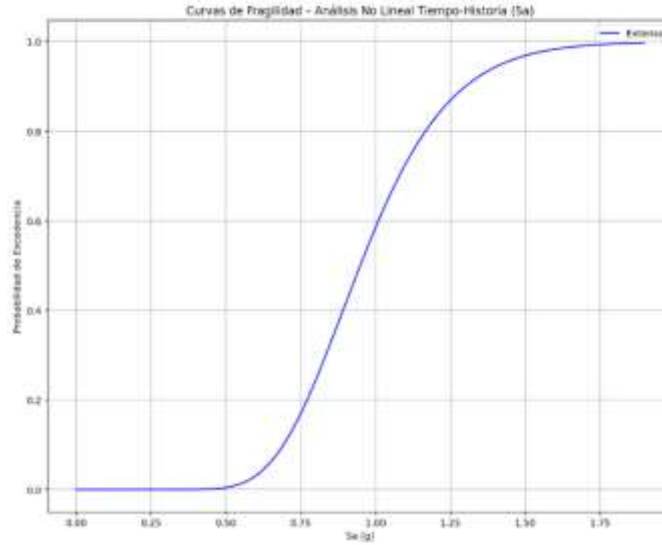
Sd	
θ_{ext}	β_{ext}
418.310	0.246



Anexo 15: Curva de Fragilidad en Sd para A-SMF-4-C-1. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 22: Resultado para Sa de Edificación A-SMF-4-C-1. Fuente: Elaboración Propia.

Sa	
θ_{ext}	β_{ext}
0.948	0.246

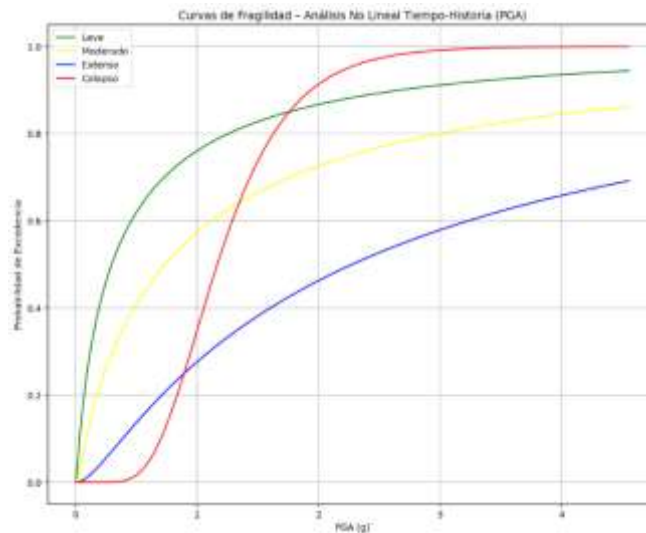


Anexo 16: Curva de Fragilidad en Sa para A-SMF-4-C-1. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 23: Propiedades de Edificación A-IMF-10-F-2. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
A-IMF-10-F-2	0.320	1.146	2.560	3.423	2.221

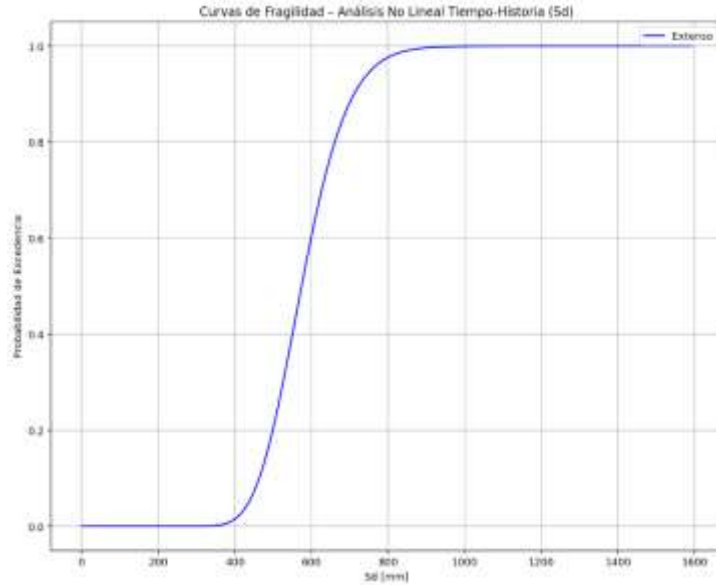
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.297	1.714	0.733	1.673	2.278	1.384	1.167	0.396



Anexo 17: Curva de Fragilidad en PGA para A-IMF-10-F-2. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 24: Resultado para Sd de Edificación A-IMF-10-F-2. Fuente: Elaboración Propia.

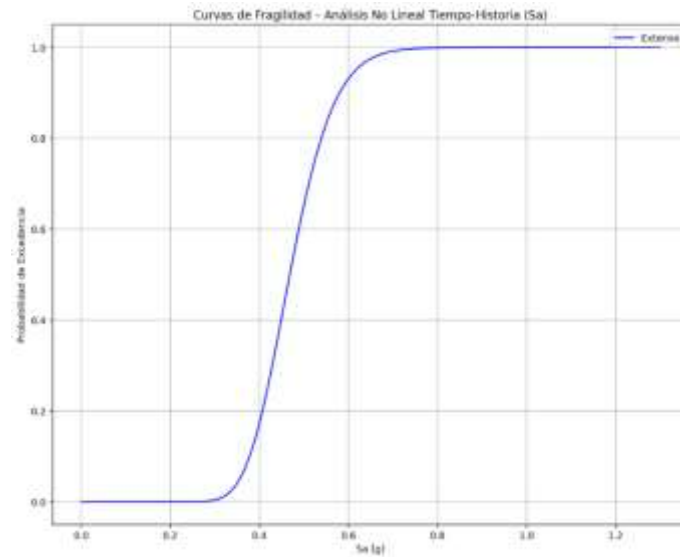
Sd	
θ_{ext}	β_{ext}
574.071	0.167



Anexo 18: Curva de Fragilidad en Sd para A-IMF-10-F-2. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 25: Resultado para Sa de Edificación A-IMF-10-F-2. Fuente: Elaboración Propia.

Sa	
θ_{ext}	β_{ext}
0.468	0.167

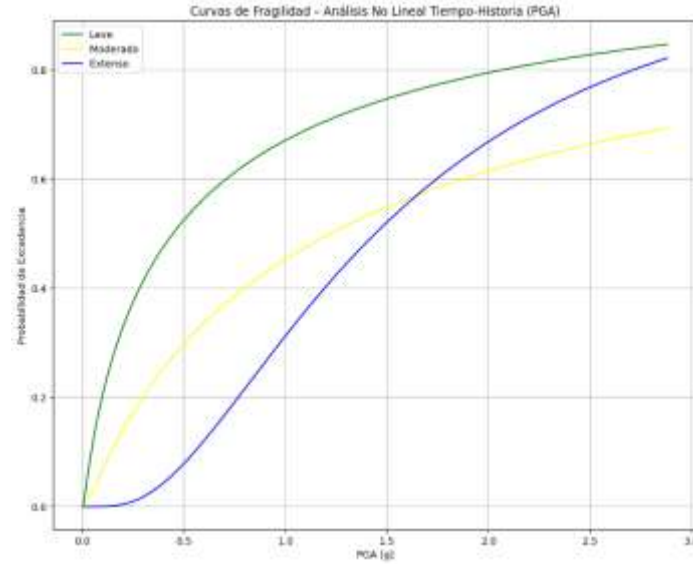


Anexo 19: Curva de Fragilidad en Sa para A-IMF-10-F-2. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 26: Propiedades de Edificación A-OMF-10-F-3. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
A-OMF-10-F-3	0.359	1.482	3.216	4.243	2.099

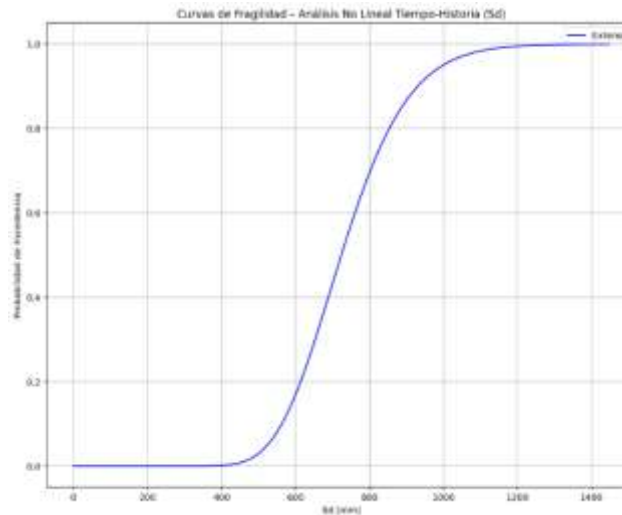
PGA					
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}
0.445	1.824	1.220	1.689	1.441	0.751



Anexo 20: Curva de Fragilidad en PGA para A-OMF-10-F-3. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 27: Resultado para Sd de Edificación A-OMF-10-F-3. Fuente: Elaboración Propia.

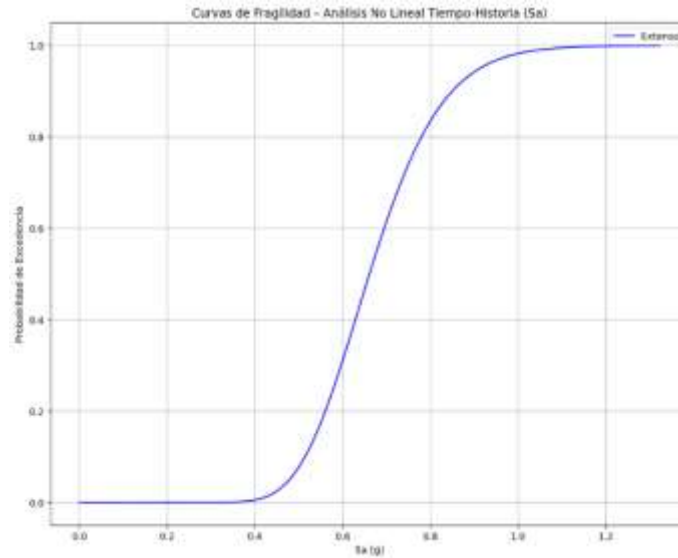
Sd	
θ_{ext}	β_{ext}
723.674	0.196



Anexo 21: Curva de Fragilidad en Sd para A-OMF-10-F-3. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 28: Resultado para Sa de Edificación A-OMF-10-F-3. Fuente: Elaboración Propia.

Sa	
θ_{ext}	β_{ext}
0.661	0.196

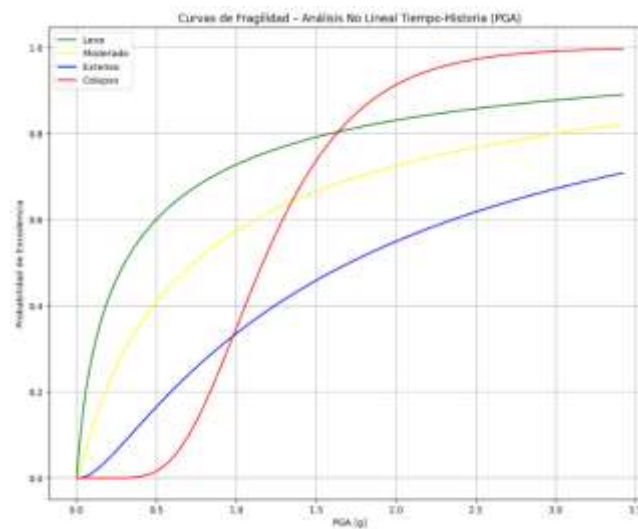


Anexo 22: Curva de Fragilidad en Sa para A-OMF-10-F-3. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 29: Propiedades de Edificación A-SMF-10-F-1. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
A-SMF-10-F-1	0.320	1.053	2.497	3.302	2.249

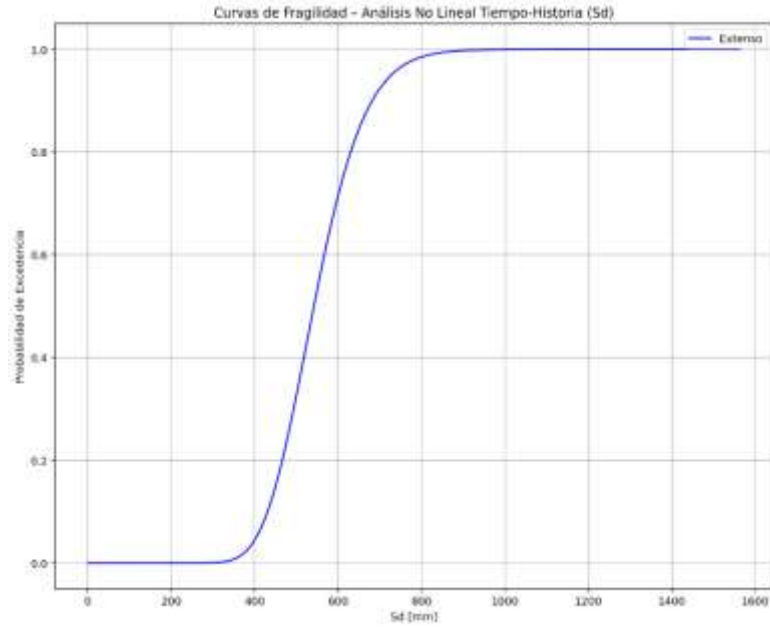
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.302	1.973	0.733	1.673	1.709	1.264	1.167	0.396



Anexo 23: Curva de Fragilidad en PGA para A-SMF-10-F-1. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 30: Resultado para Sd de Edificación A-SMF-10-F-1. Fuente: Elaboración Propia.

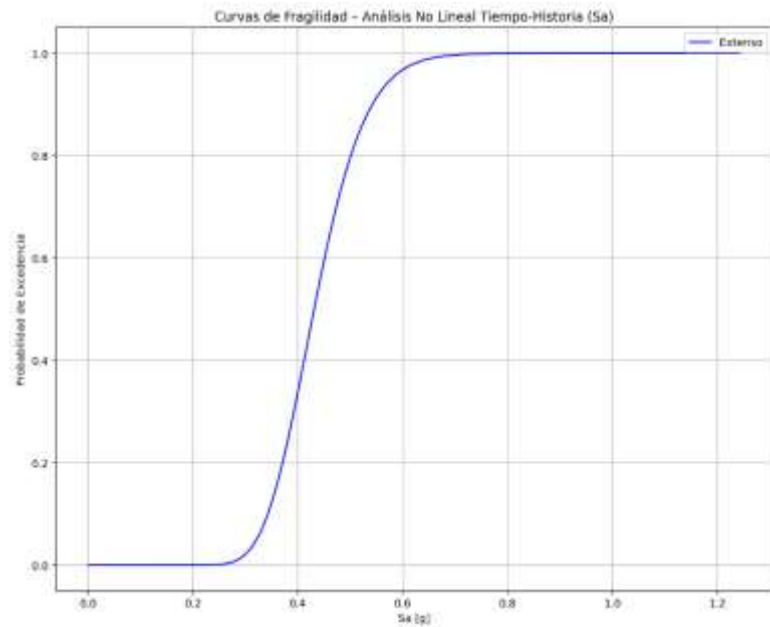
Sd	
θ_{ext}	β_{ext}
541.783	0.179



Anexo 24: Curva de Fragilidad en Sd para A-SMF-10-F-1. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 31: Resultado para Sa de Edificación A-SMF-10-F-1. Fuente: Elaboración Propia.

Sa	
θ_{ext}	β_{ext}
0.431	0.179

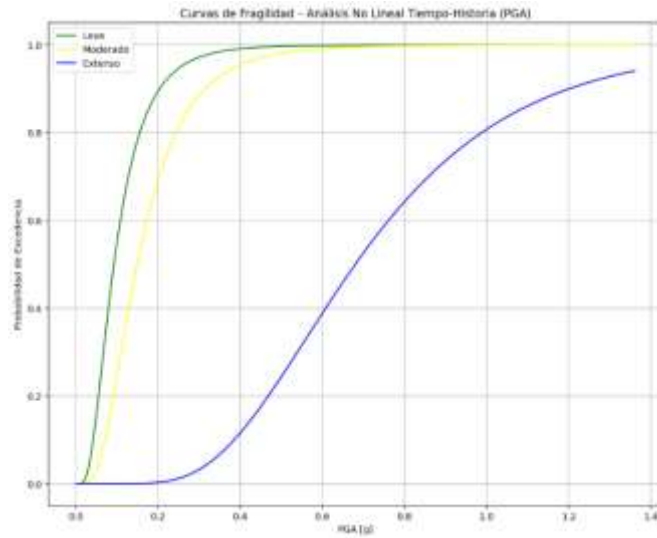


Anexo 25: Curva de Fragilidad en Sa para A-SMF-10-F-1. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 32: Propiedades de Edificación Cr-D-5-L-1. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Cr-D-5-L-1	0.032	0.521	2.768	3.134	0.676

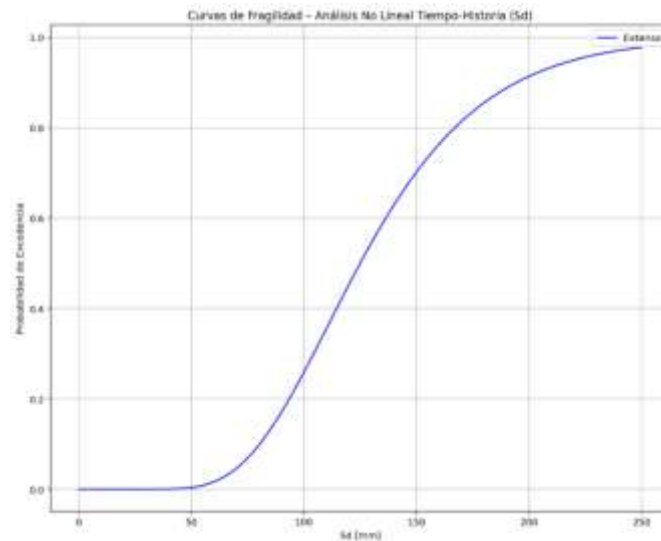
PGA					
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}
0.092	0.616	0.149	0.583	0.680	0.443



Anexo 26: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-5-L-1. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 33: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-5-L-1. Fuente: Elaboración Propia.

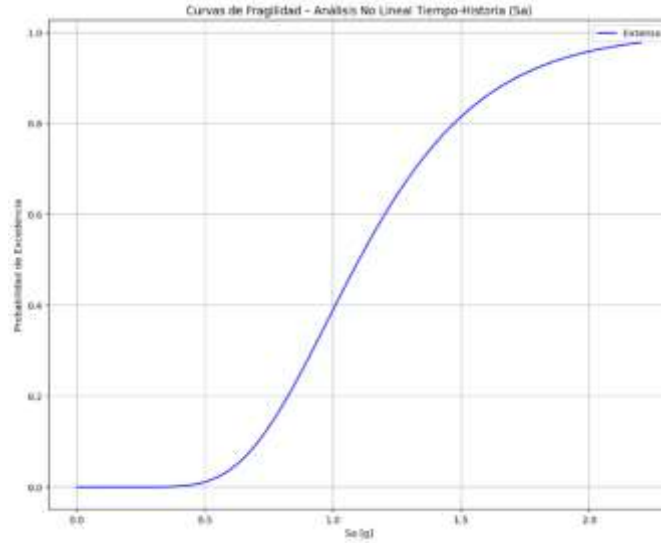
Sd	
θ_{ext}	β_{ext}
124.925	0.345



Anexo 27: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-5-L-1. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 34: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-5-L-1. Fuente: Elaboración Propia.

Sa	
θ_{ext}	β_{ext}
1.101	0.345

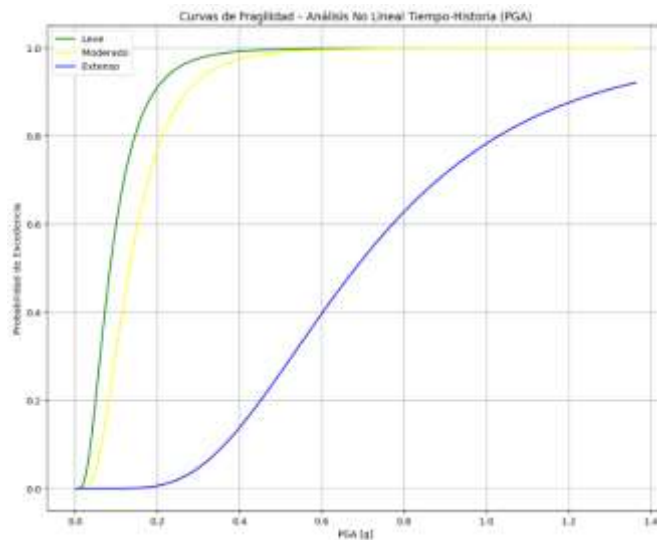


Anexo 28: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-5-L-1. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 35: Propiedades de Edificación Cr-D-5-L-2. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
	Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)
Cr-D-5-L-2	0.028	0.443	2.403	2.696	0.678

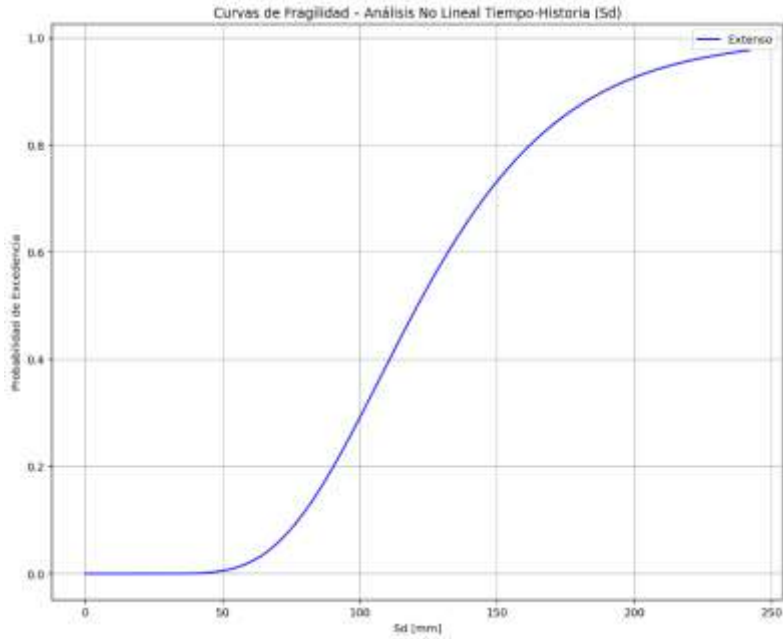
PGA					
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}
0.085	0.636	0.132	0.564	0.681	0.489



Anexo 29: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-5-L-2. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 36: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-5-L-2. Fuente: Elaboración Propia.

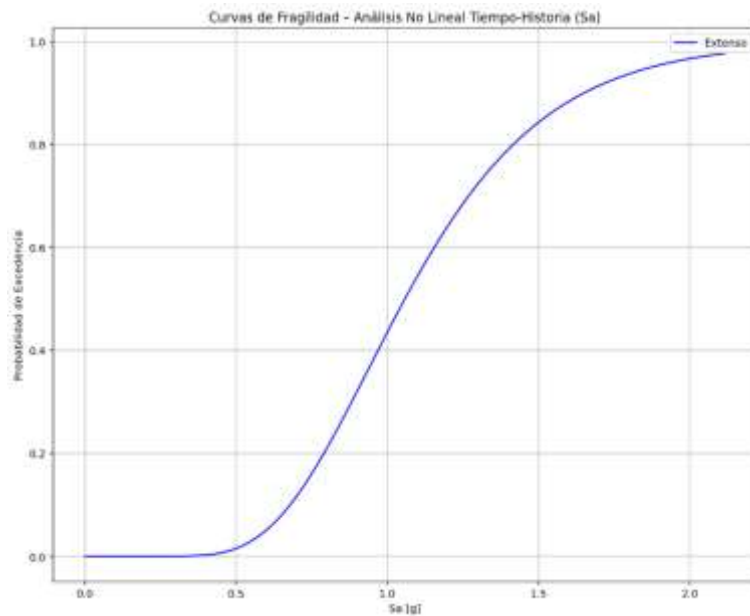
Sd	
θ_{ext}	β_{ext}
120.912	0.346



Anexo 30: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-5-L-2. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 37: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-5-L-2. Fuente: Elaboración Propia.

Sa	
θ_{ext}	β_{ext}
1.058	0.346

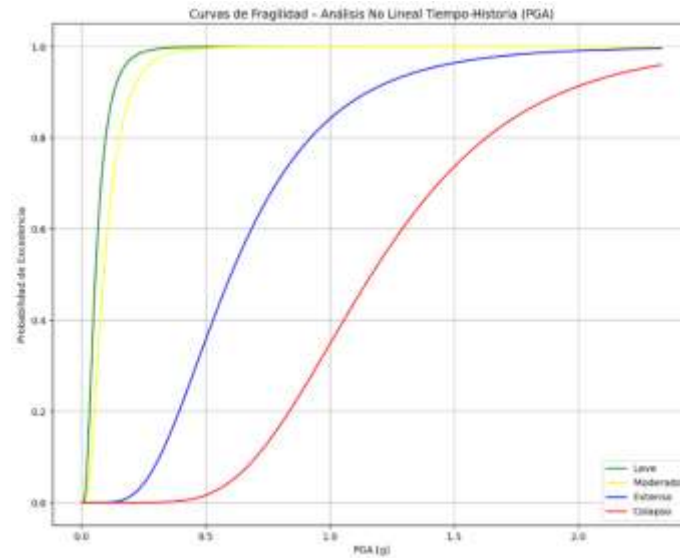


Anexo 31: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-5-L-2. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 38: Propiedades de Edificación Cr-D-5-L-3. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Cr-D-5-L-3	0.023	0.400	1.941	2.209	0.684

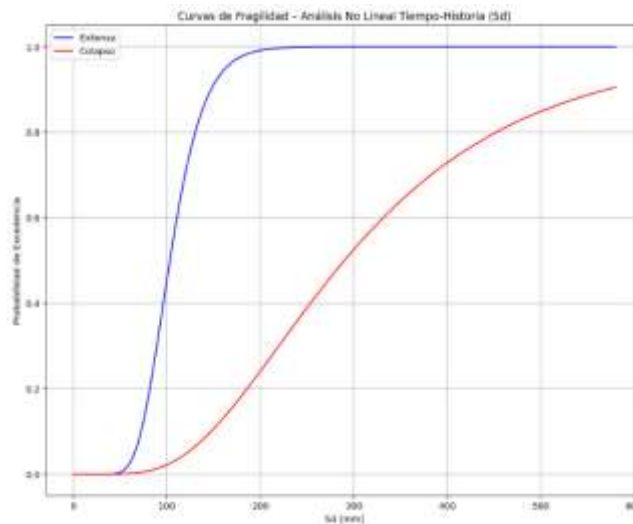
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.055	0.663	0.088	0.642	0.601	0.507	1.170	0.396



Anexo 32: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-5-L-3. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 39: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-5-L-3. Fuente: Elaboración Propia.

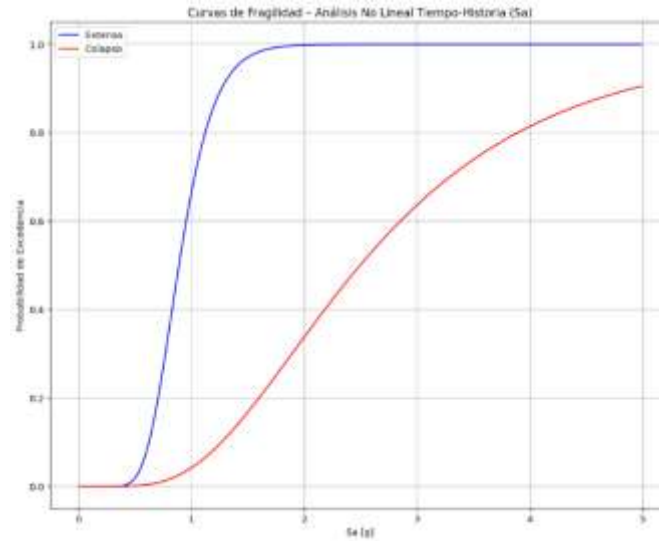
Sd			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
103.221	0.277	289.878	0.528



Anexo 33: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-5-L-3. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 40: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-5-L-3. Fuente: Elaboración Propia.

Sa			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.888	0.277	2.494	0.528

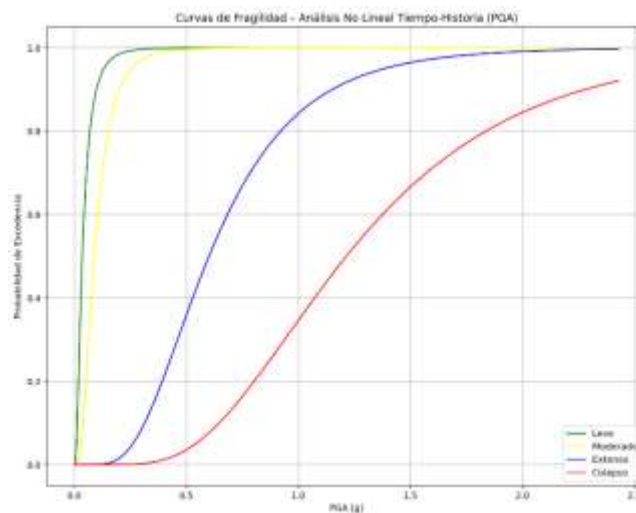


Anexo 34: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-5-L-3. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 41: Propiedades de Edificación Cr-D-5-L-3. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
	Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)
Cr-D-5-L-4	0.020	0.444	1.769	1.997	0.668

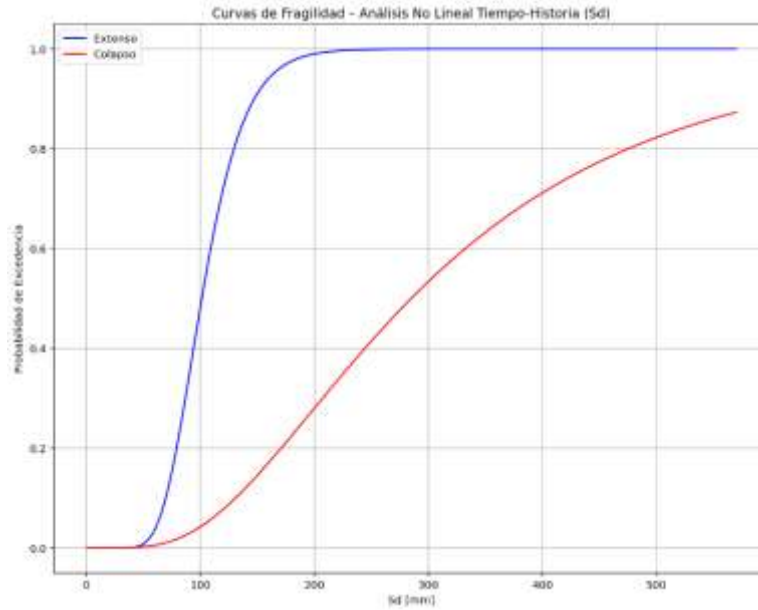
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.035	0.799	0.088	0.642	0.601	0.507	1.214	0.492



Anexo 35: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-5-L-4. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 42: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-5-L-4. Fuente: Elaboración Propia.

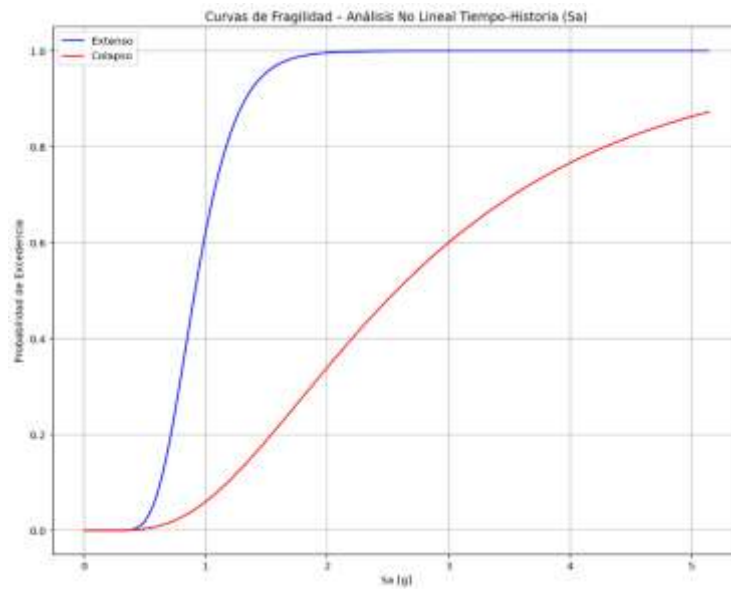
Sd			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
101.192	0.293	285.072	0.608



Anexo 36: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-5-L-4. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 43: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-5-L-4. Fuente: Elaboración Propia.

Sa			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.912	0.293	2.570	0.608

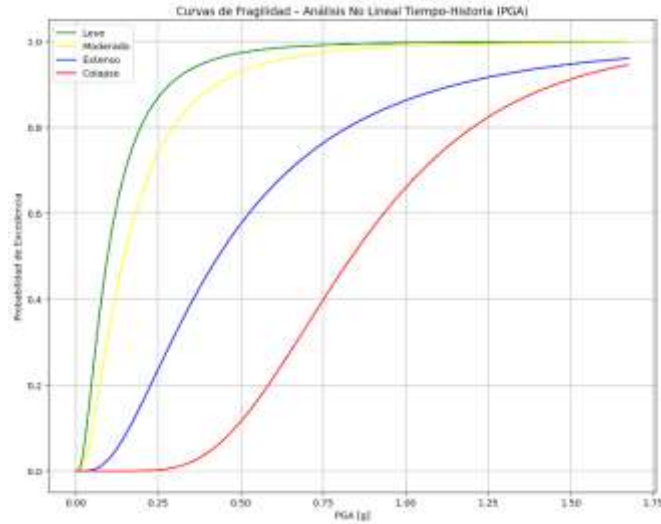


Anexo 37: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-5-L-3. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 44: Propiedades de Edificación Cr-D-6-A-3. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Cr-D-6-A-3	0.047	0.213	2.628	2.655	0.840

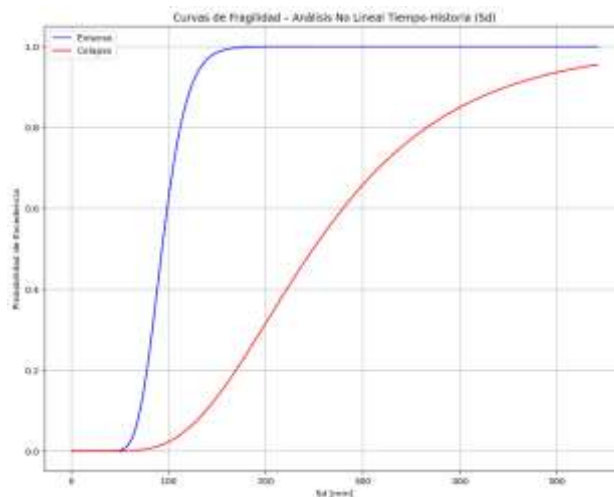
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.096	0.846	0.146	0.832	0.432	0.766	0.837	0.429



Anexo 38: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-6-A-3. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 45: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-6-A-3. Fuente: Elaboración Propia.

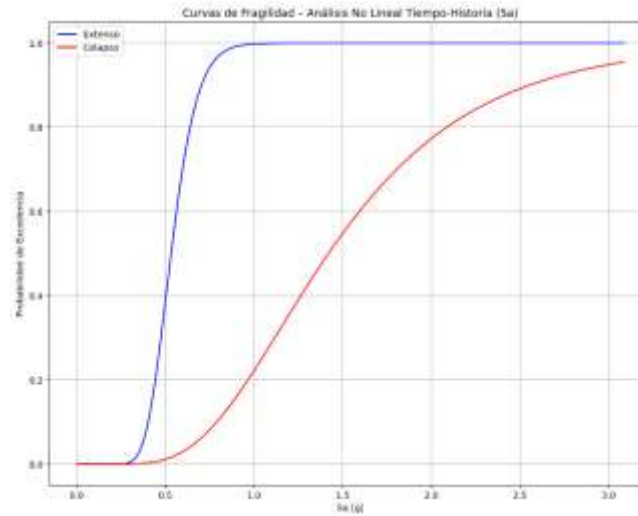
Sd			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
93.331	0.217	249.006	0.457



Anexo 39: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-6-A-3. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 46: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-6-A-3. Fuente: Elaboración Propia.

Sa			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.532	0.217	1.419	0.457

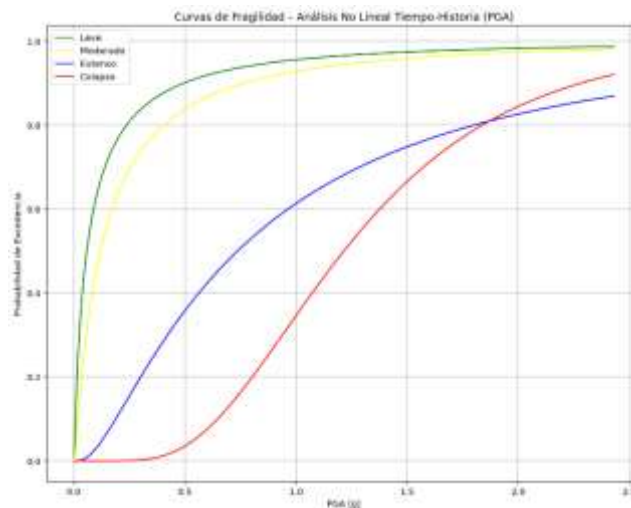


Anexo 40: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-6-A-3. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 47: Propiedades de Edificación Cr-D-8-B-1. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
	Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)
Cr-D-8-B-1	0.080	0.648	1.703	2.026	1.362

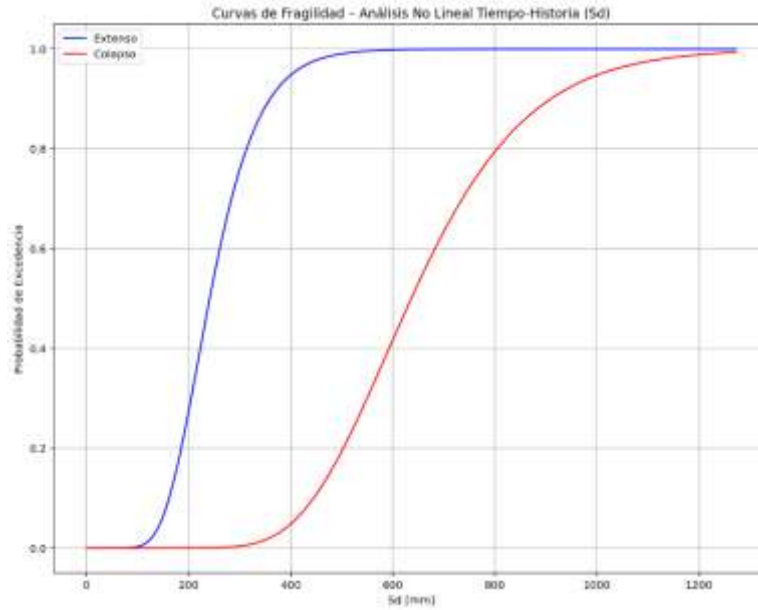
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.058	1.668	0.119	1.456	0.736	1.063	1.214	0.492



Anexo 41: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-8-B-1. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 48: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-8-B-1. Fuente: Elaboración Propia.

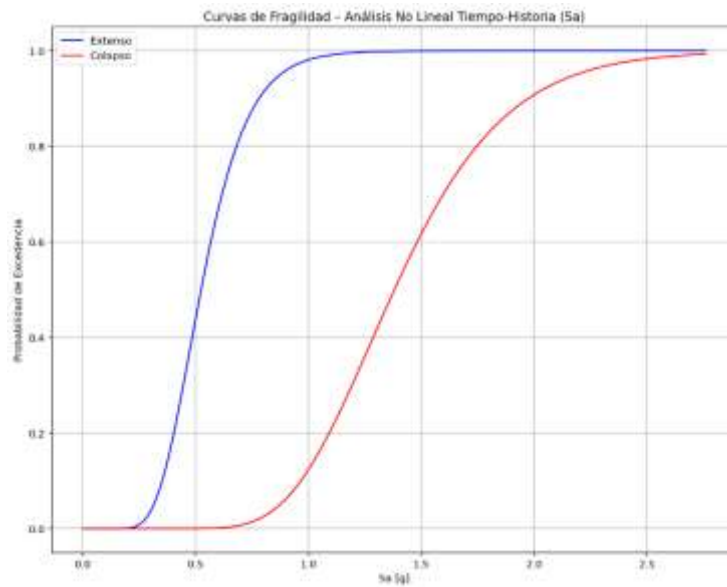
Sd			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
241.266	0.311	636.103	0.279



Anexo 42: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-8-B-1. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 49: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-8-B-1. Fuente: Elaboración Propia.

Sa			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.523	0.311	1.380	0.279

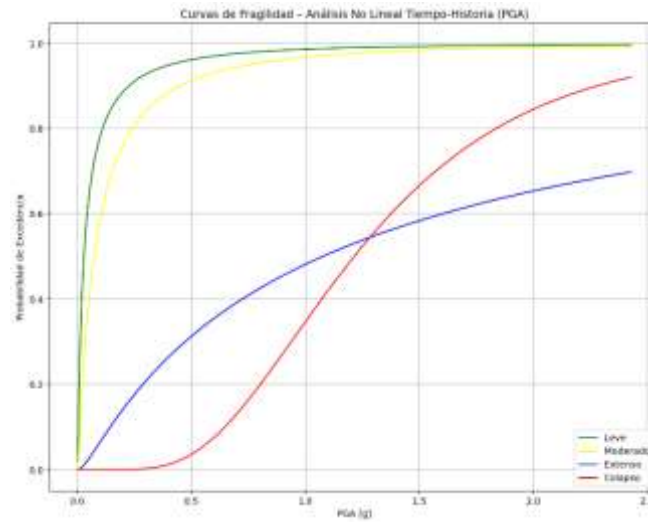


Anexo 43: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-8-B-1. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 50: Propiedades de Edificación Cr-D-8-B-10. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Cr-D-8-B-10	0.057	0.791	1.177	1.327	1.383

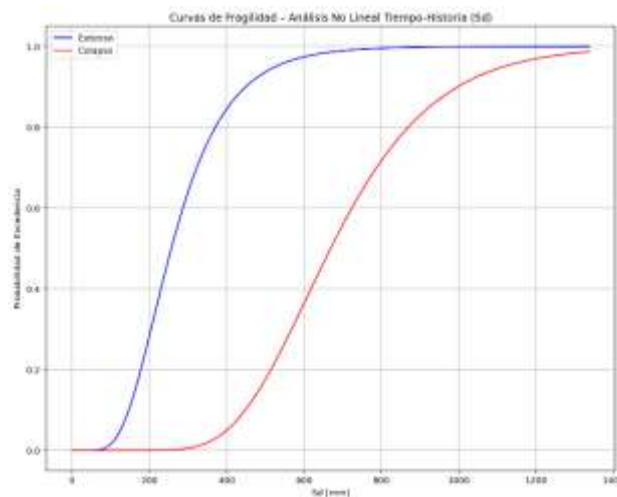
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.028	1.628	0.072	1.424	1.077	1.569	1.214	0.492



Anexo 44: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-8-B-10. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 51: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-8-B-10. Fuente: Elaboración Propia.

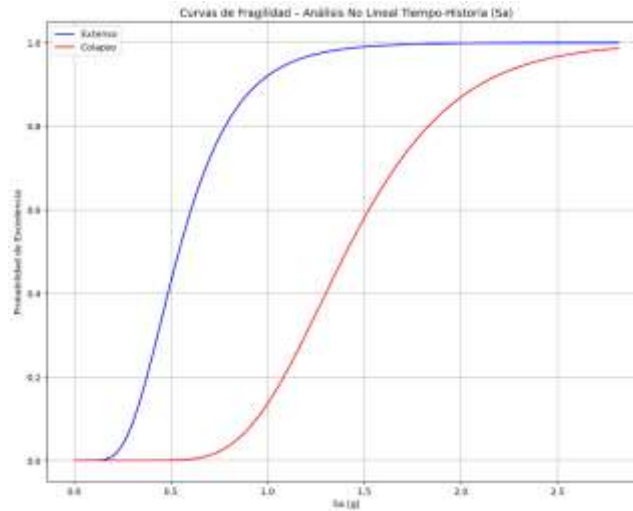
Sd			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
256.915	0.436	668.781	0.312



Anexo 45: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-8-B-10. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 52: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-8-B-10. Fuente: Elaboración Propia.

Sa			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.541	0.436	1.408	0.312

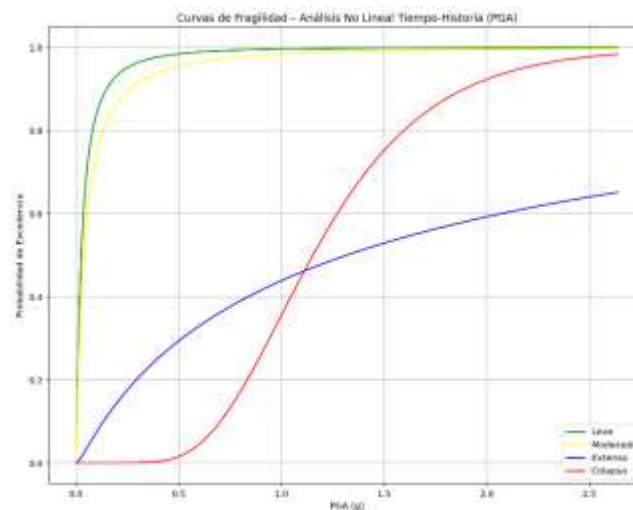


Anexo 46: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-8-B-10. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 53: Propiedades de Edificación Cr-D-8-B-11. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Cr-D-8-B-11	0.044	1.094	0.829	0.883	1.448

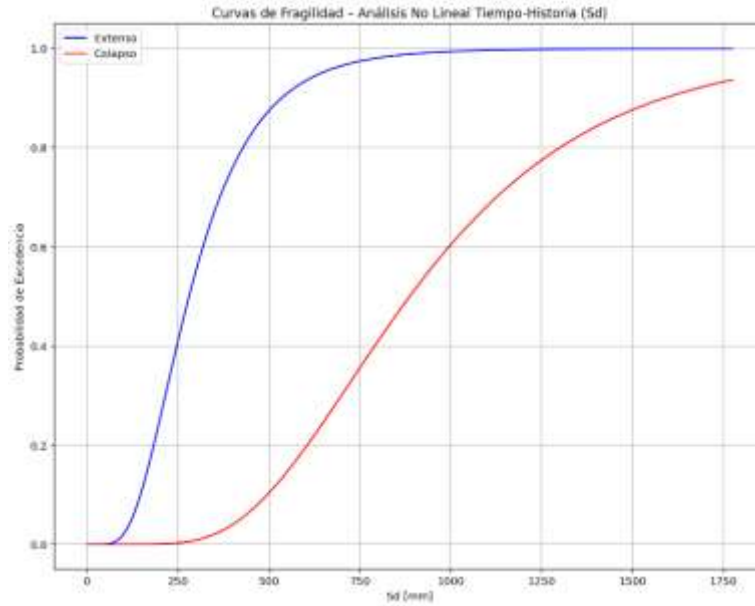
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.025	1.380	0.036	1.556	1.318	1.784	1.153	0.385



Anexo 47: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-8-B-11. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 54: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-8-B-11. Fuente: Elaboración Propia.

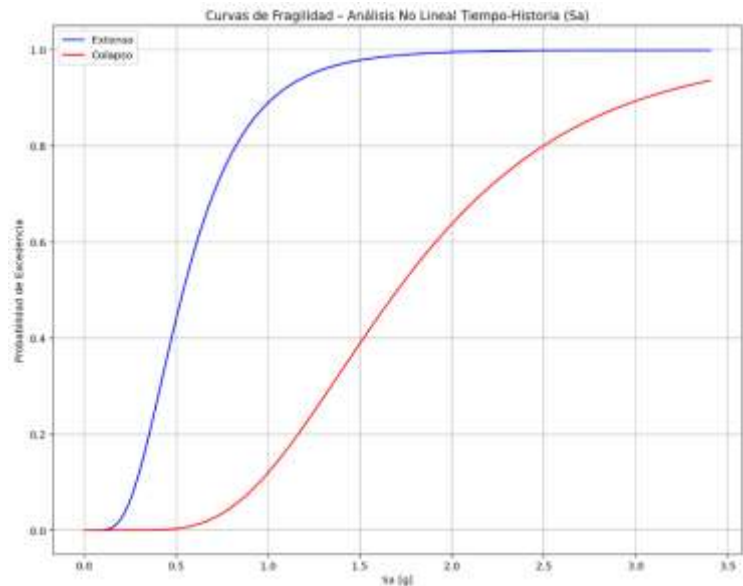
Sd			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
280.479	0.504	887.009	0.454



Anexo 48: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-8-B-11. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 55: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-8-B-11. Fuente: Elaboración Propia.

Sa			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.539	0.504	1.704	0.454

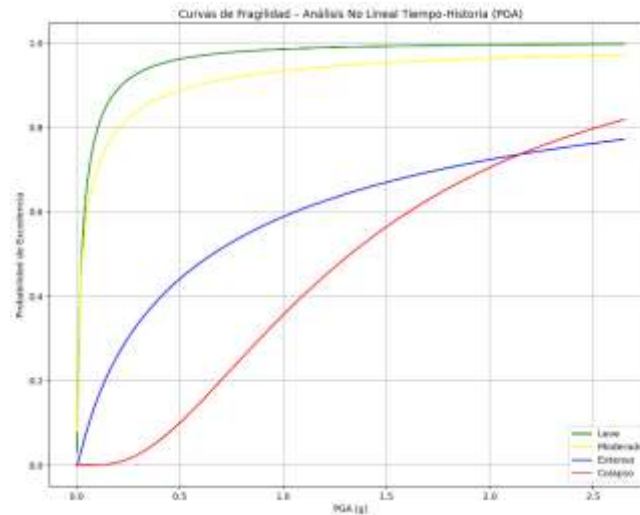


Anexo 49: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-8-B-11. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 56: Propiedades de Edificación Cr-D-8-B-12. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Cr-D-8-B-12	0.067	0.770	0.829	0.882	1.786

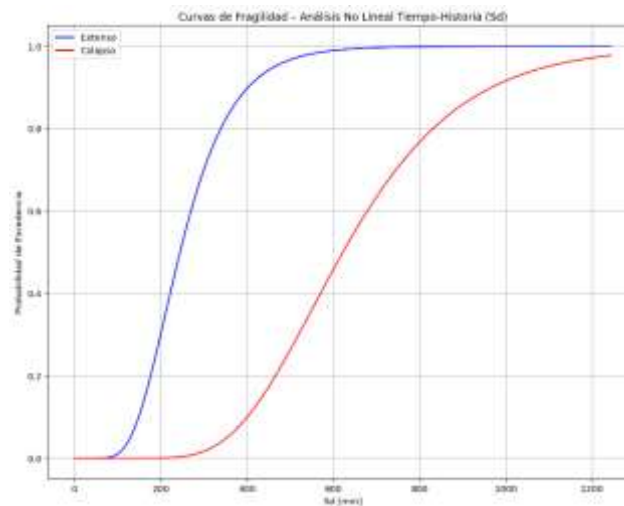
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.024	1.708	0.028	2.378	0.659	1.871	1.326	0.764



Anexo 50: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-8-B-12. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 57: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-8-B-12. Fuente: Elaboración Propia.

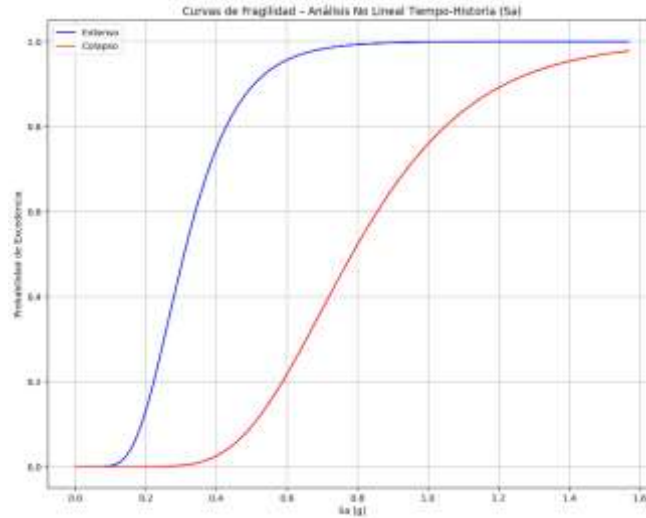
Sd			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
244.444	0.388	622.037	0.344



Anexo 51: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-8-B-12. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 58: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-8-B-12. Fuente: Elaboración Propia.

Sa			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.308	0.388	0.784	0.344

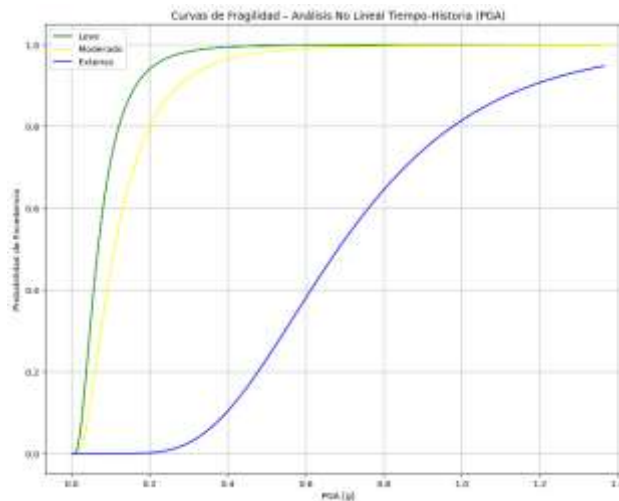


Anexo 52: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-8-B-12. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 59: Propiedades de Edificación Cr-D-8-B-13. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Cr-D-8-B-13	0.030	0.648	2.148	2.525	0.743

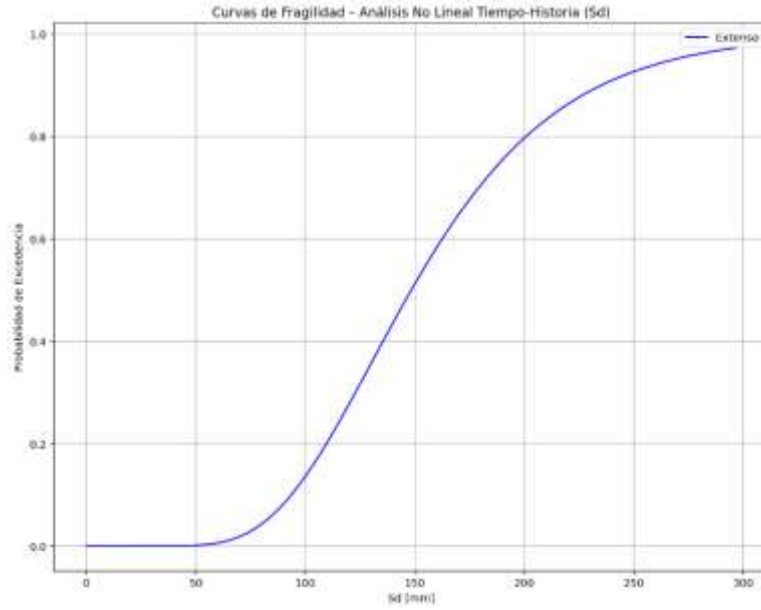
PGA					
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}
0.067	0.699	0.109	0.718	0.682	0.425



Anexo 53: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-8-B-13. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 60: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-8-B-13. Fuente: Elaboración Propia.

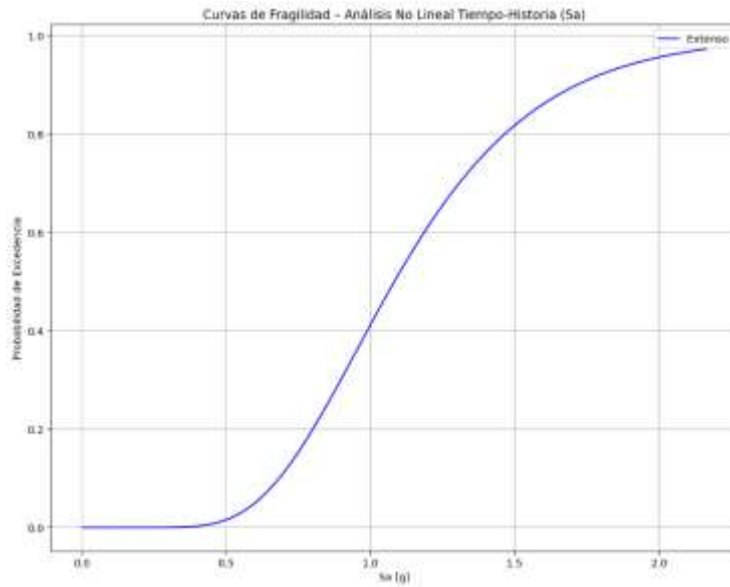
Sd	
θ_{ext}	β_{ext}
148.354	0.359



Anexo 54: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-8-B-13. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 61: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-8-B-13. Fuente: Elaboración Propia.

Sa	
θ_{ext}	β_{ext}
1.083	0.359

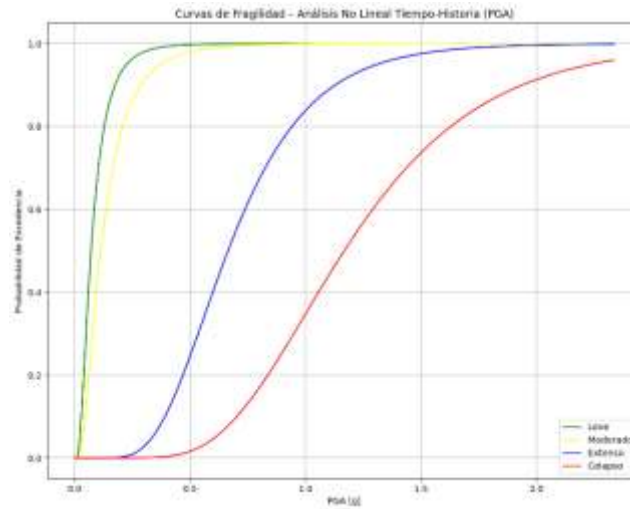


Anexo 55: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-8-B-13. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 62: Propiedades de Edificación Cr-D-8-B-14. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Cr-D-8-B-14	0.033	0.550	2.169	2.522	0.775

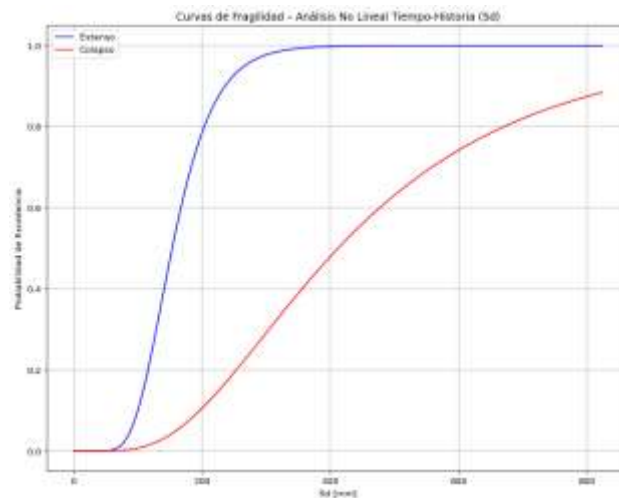
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.070	0.706	0.113	0.728	0.664	0.414	1.167	0.396



Anexo 56: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-8-B-14. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 63: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-8-B-14. Fuente: Elaboración Propia.

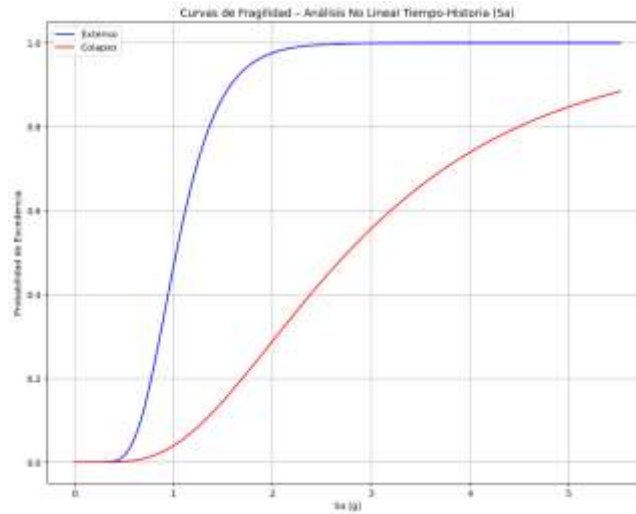
Sd			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
153.465	0.335	412.123	0.578



Anexo 57: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-8-B-14. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 64: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-8-B-14. Fuente: Elaboración Propia.

Sa			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
1.280	0.335	2.740	0.578

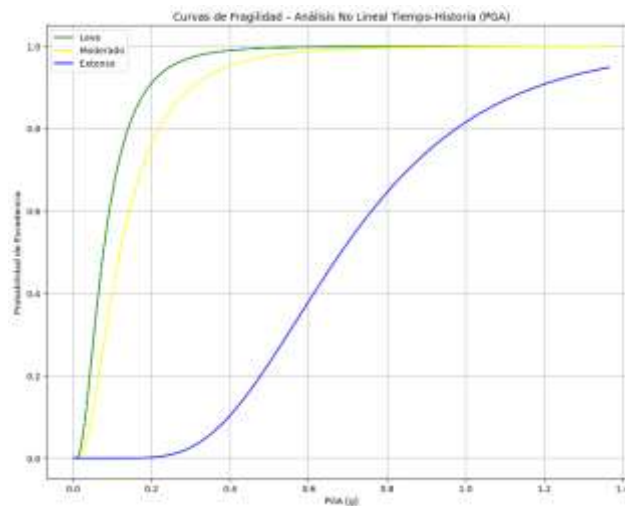


Anexo 58: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-8-B-14. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 65: Propiedades de Edificación Cr-D-8-B-15. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
	Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)
Cr-D-8-B-15	0.033	0.565	2.256	2.595	0.760

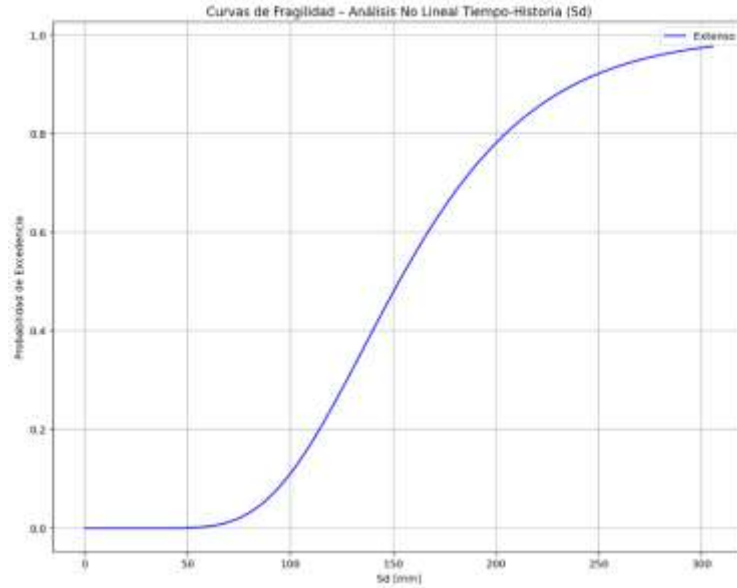
PGA					
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}
0.077	0.710	0.119	0.723	0.682	0.425



Anexo 59: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-8-B-15. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 66: Resultado para S_d de Edificación Cr-D-8-B-15. Fuente: Elaboración Propia.

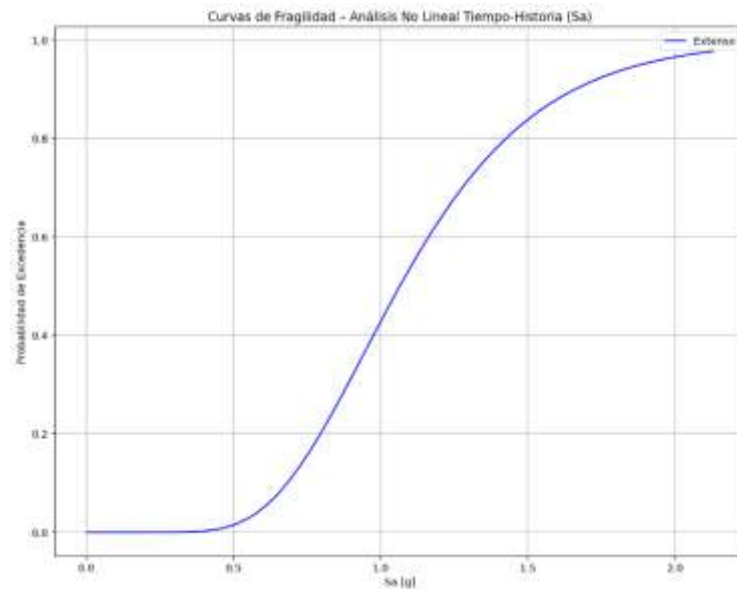
Sd	
θ_{ext}	β_{ext}
152.849	0.347



Anexo 60: Curva de Fragilidad en S_d para Cr-D-8-B-15. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 67: Resultado para S_a de Edificación Cr-D-8-B-15. Fuente: Elaboración Propia.

Sa	
θ_{ext}	β_{ext}
1.065	0.347

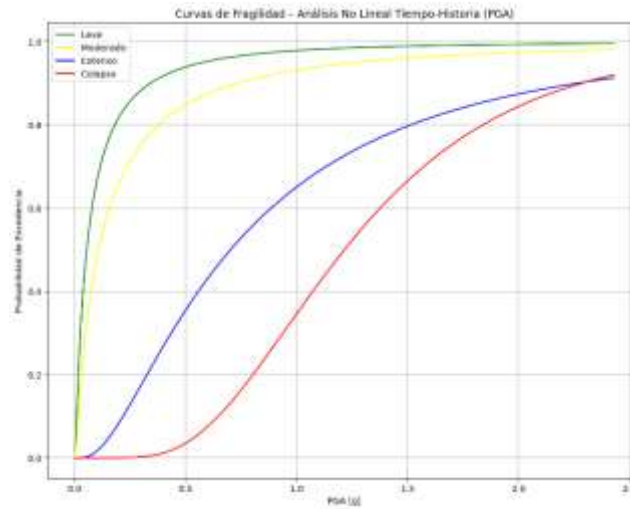


Anexo 61: Curva de Fragilidad en S_a para Cr-D-8-B-15. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 68: Propiedades de Edificación Cr-D-8-B-2. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Cr-D-8-B-2	0.069	0.653	1.651	1.971	1.284

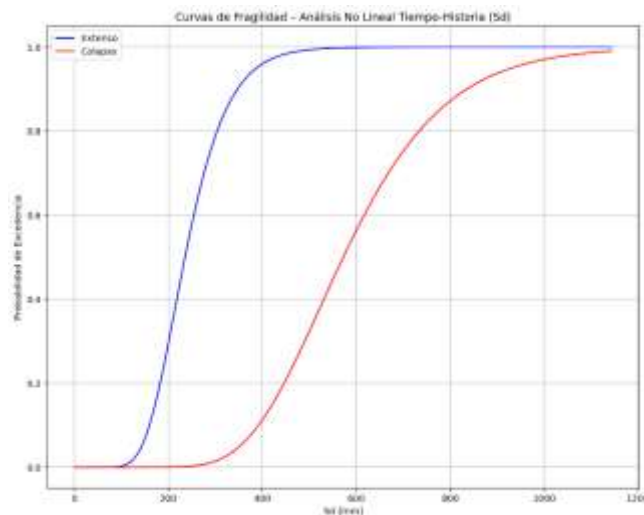
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.054	1.435	0.107	1.499	0.701	0.913	1.214	0.492



Anexo 62: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-8-B-2. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 69: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-8-B-2. Fuente: Elaboración Propia.

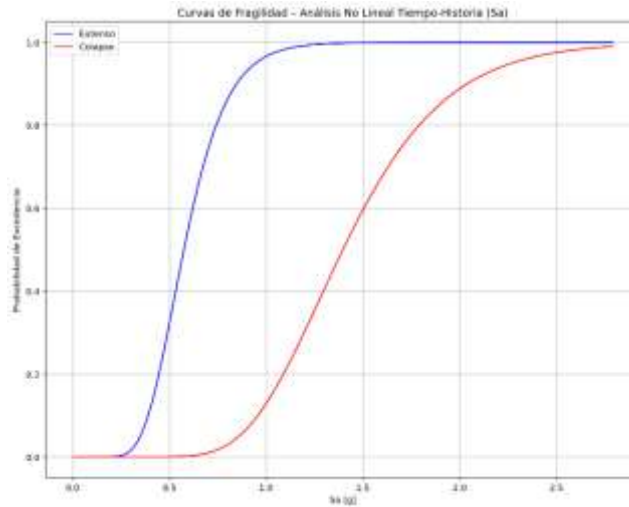
Sd			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
235.404	0.303	572.412	0.295



Anexo 63: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-8-B-2. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 70: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-8-B-2. Fuente: Elaboración Propia.

Sa			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.574	0.303	1.396	0.295

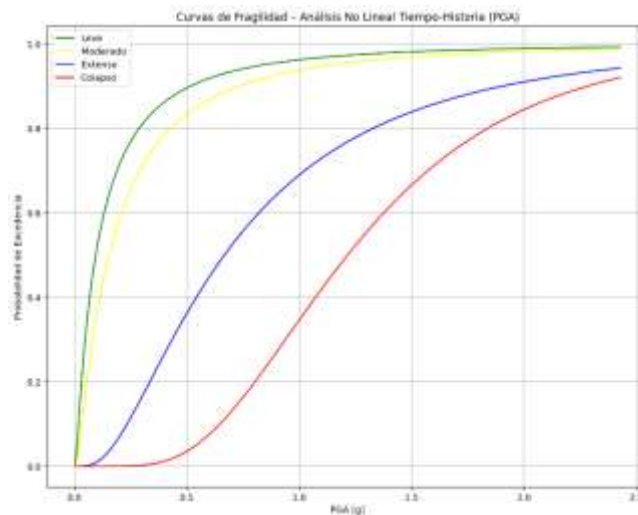


Anexo 64: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-8-B-2. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 71: Propiedades de Edificación Cr-D-8-B-3. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Cr-D-8-B-3	0.086	0.611	1.989	2.286	1.307

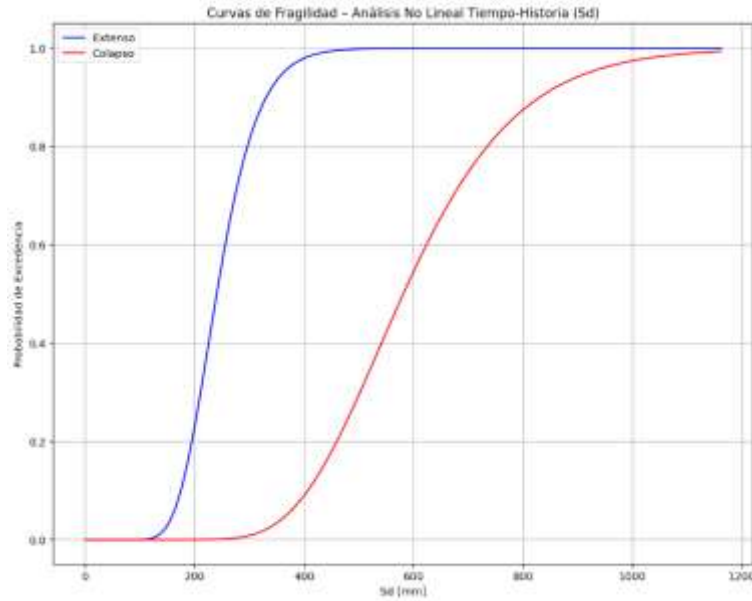
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.094	1.327	0.153	1.220	0.666	0.818	1.214	0.492



Anexo 65: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-8-B-3. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 72: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-8-B-3. Fuente: Elaboración Propia.

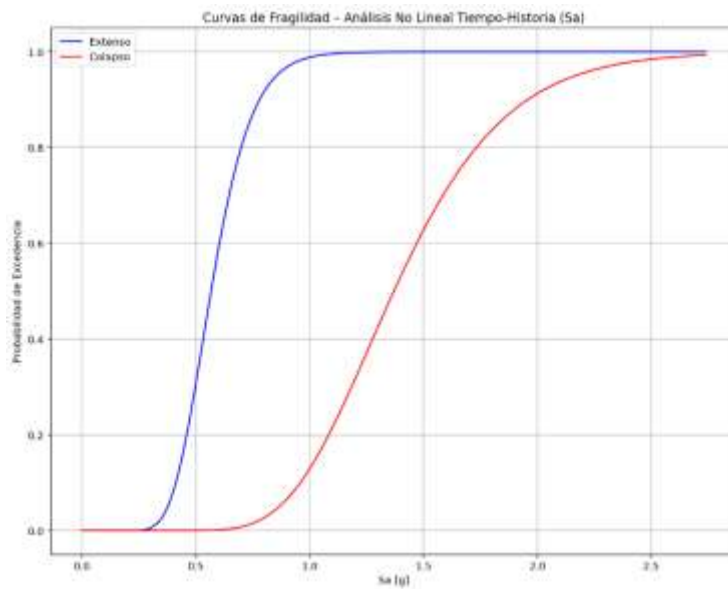
Sd			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
204.357	0.249	580.989	0.278



Anexo 66: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-8-B-3. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 73: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-8-B-3. Fuente: Elaboración Propia.

Sa			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.567	0.249	1.369	0.278

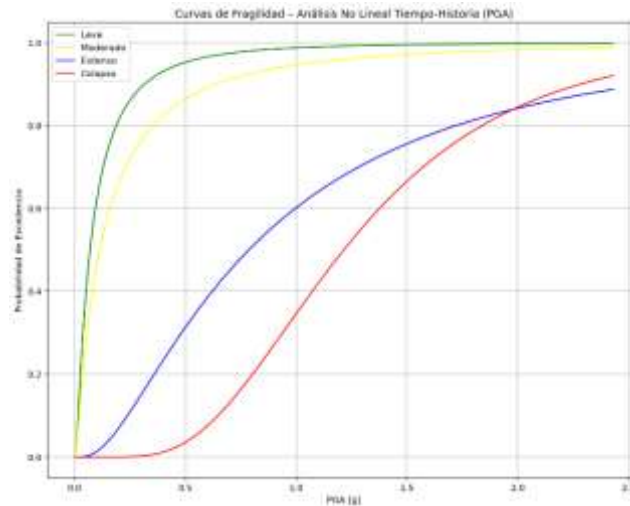


Anexo 67: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-8-B-3. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 74: Propiedades de Edificación Cr-D-8-B-4. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Cr-D-8-B-4	0.067	0.705	1.687	2.107	1.252

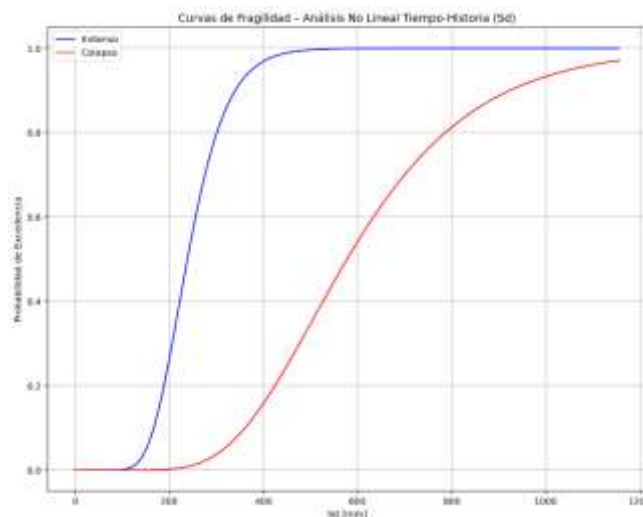
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.069	1.178	0.112	1.351	0.786	0.930	1.214	0.491



Anexo 68: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-8-B-4. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 75: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-8-B-4. Fuente: Elaboración Propia.

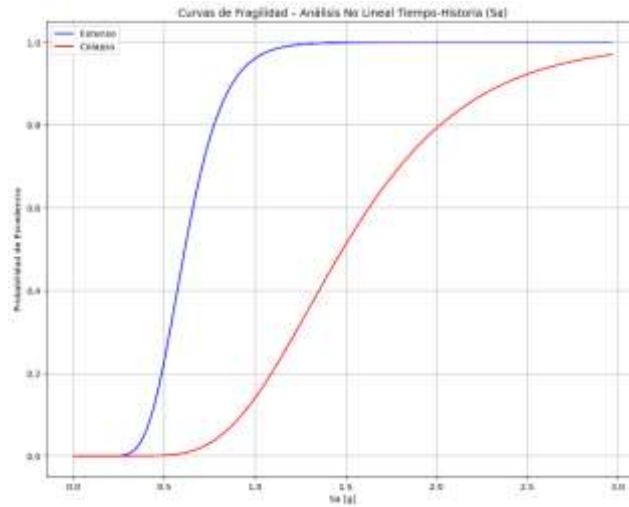
Sd			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
238.716	0.277	577.953	0.366



Anexo 69: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-8-B-4. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 76: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-8-B-4. Fuente: Elaboración Propia.

Sa			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.612	0.277	1.483	0.366

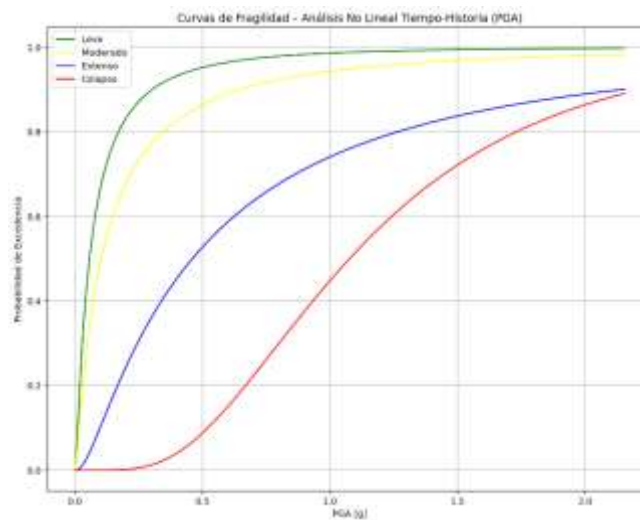


Anexo 70: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-8-B-4. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 77: Propiedades de Edificación Cr-D-8-B-5. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Cr-D-8-B-5	0.064	0.371	1.622	2.103	1.248

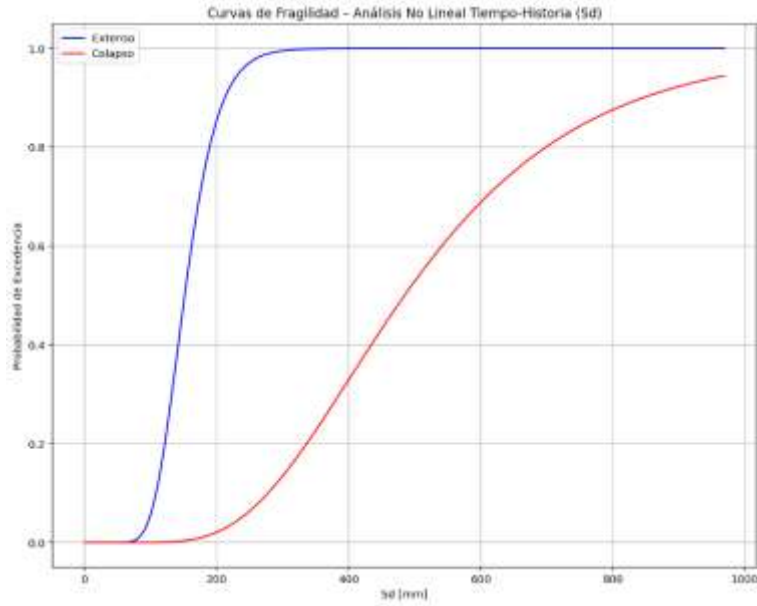
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.057	1.305	0.103	1.441	0.461	1.202	1.077	0.565



Anexo 71: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-8-B-5. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 78: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-8-B-5. Fuente: Elaboración Propia.

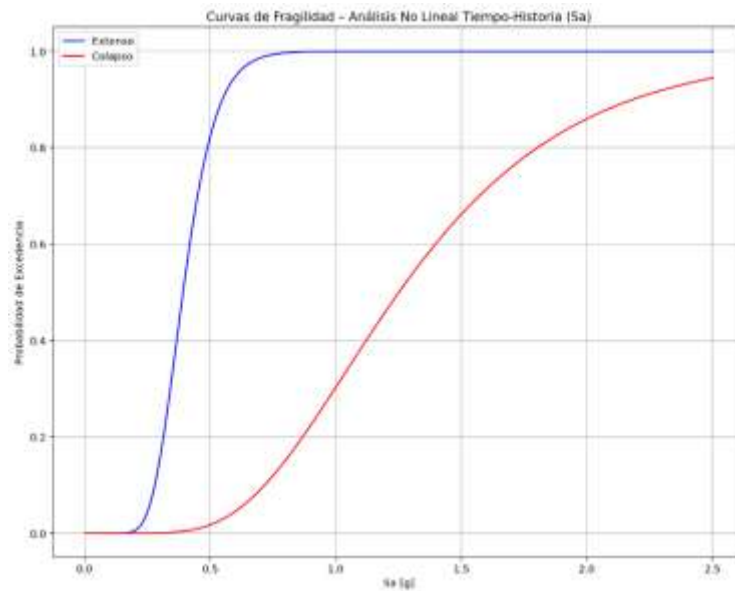
Sd			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
151.649	0.263	484.624	0.434



Anexo 72: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-8-B-5. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 79: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-8-B-5. Fuente: Elaboración Propia.

Sa			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.392	0.263	1.252	0.434

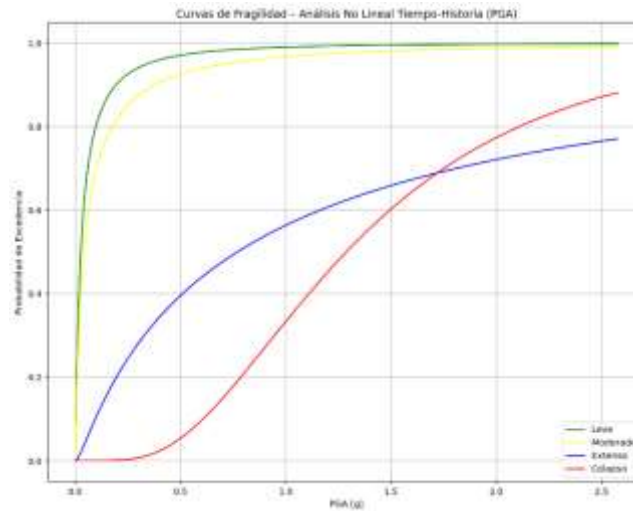


Anexo 73: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-8-B-5. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 80: Propiedades de Edificación Cr-D-8-B-6. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Cr-D-8-B-6	0.052	0.705	1.013	1.127	1.424

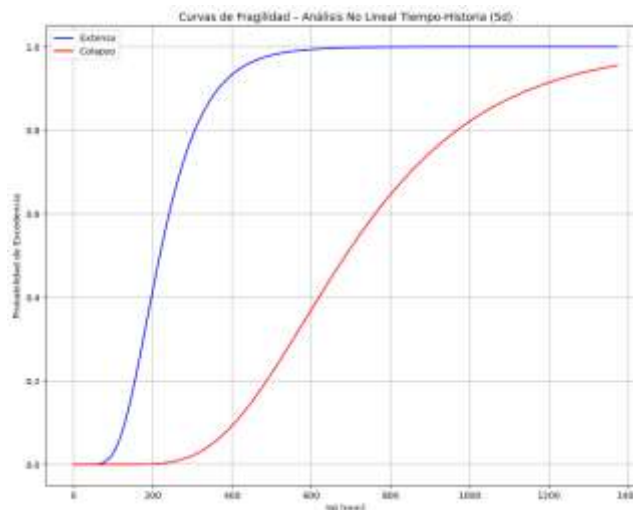
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.026	1.553	0.040	1.739	0.771	1.627	1.288	0.586



Anexo 74: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-8-B-6. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 81: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-8-B-6. Fuente: Elaboración Propia.

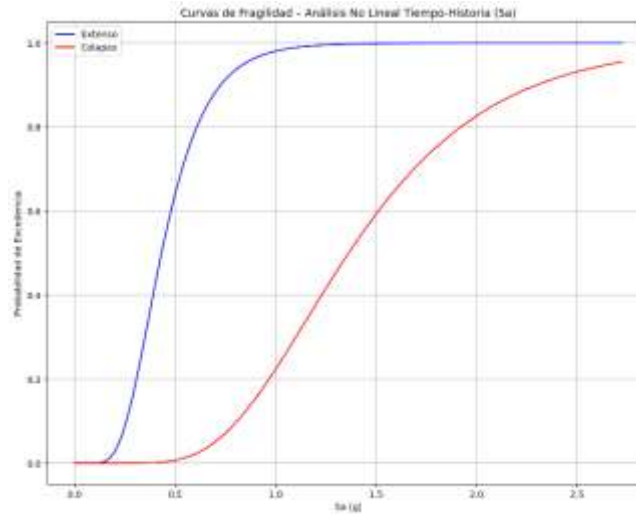
Sd			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
217.562	0.405	686.503	0.407



Anexo 75: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-8-B-6. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 82: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-8-B-6. Fuente: Elaboración Propia.

Sa			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.432	0.405	1.363	0.407

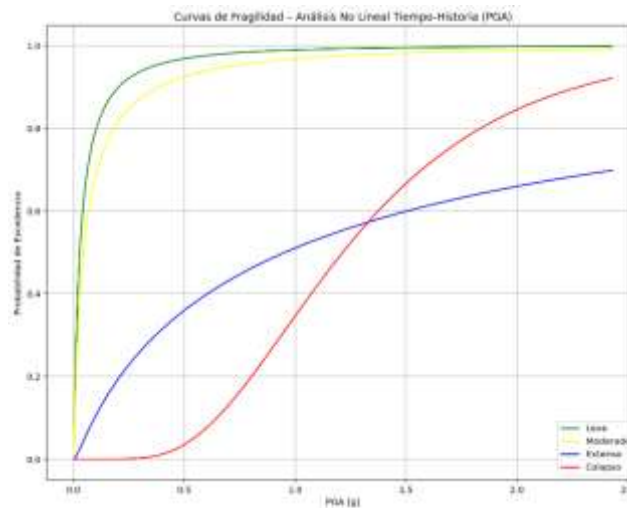


Anexo 76: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-8-B-6. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 83: Propiedades de Edificación Cr-D-8-B-7. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Cr-D-8-B-7	0.053	0.761	1.011	1.125	1.439

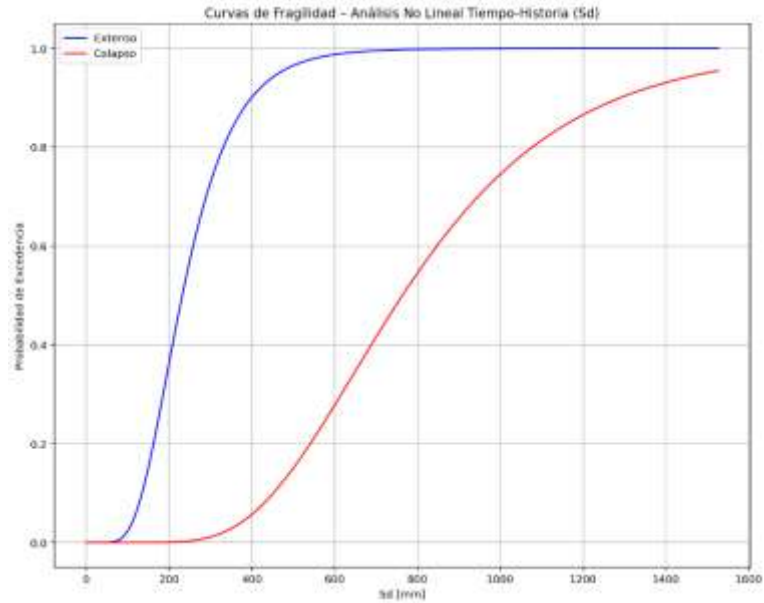
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.027	1.562	0.044	1.691	0.954	1.802	1.214	0.492



Anexo 77: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-8-B-7. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 84: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-8-B-7. Fuente: Elaboración Propia.

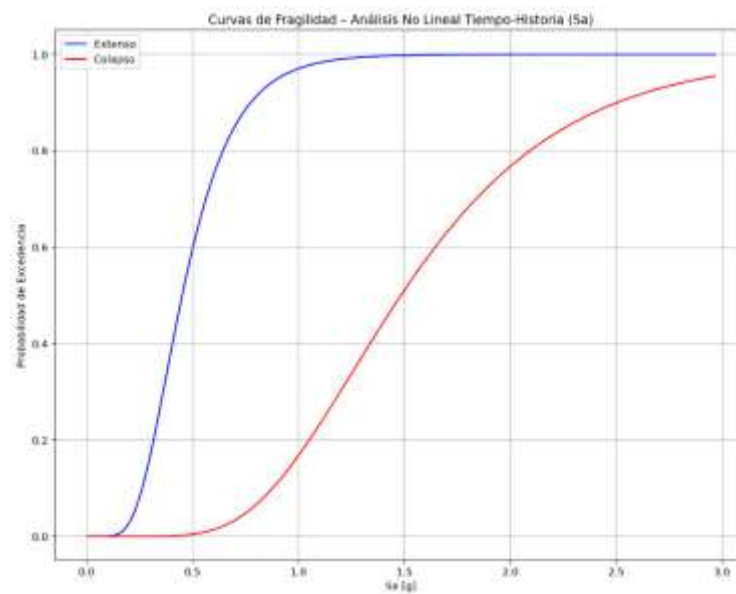
Sd			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
231.946	0.423	763.358	0.409



Anexo 78: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-8-B-7. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 85: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-8-B-7. Fuente: Elaboración Propia.

Sa			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.451	0.423	1.484	0.409

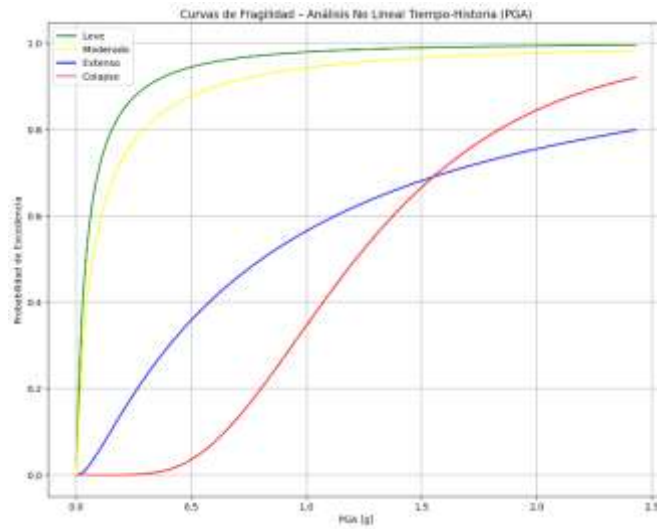


Anexo 79: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-8-B-7. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 86: Propiedades de Edificación Cr-D-8-B-8. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Cr-D-8-B-8	0.069	0.719	1.242	1.423	1.481

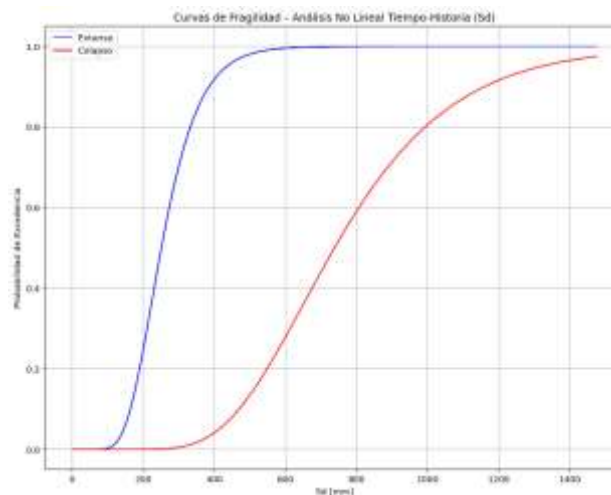
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.042	1.554	0.071	1.673	0.806	1.317	1.214	0.492



Anexo 80: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-8-B-8. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 87: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-8-B-8. Fuente: Elaboración Propia.

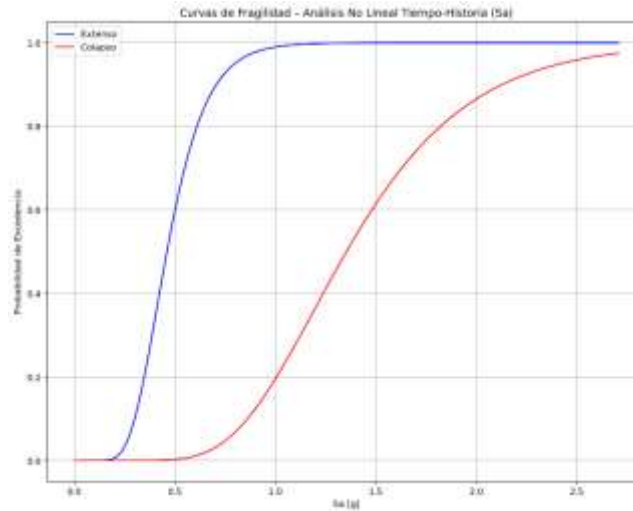
Sd			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
251.004	0.334	737.903	0.353



Anexo 81: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-8-B-8. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 88: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-8-B-8. Fuente: Elaboración Propia.

Sa			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.460	0.334	1.354	0.353

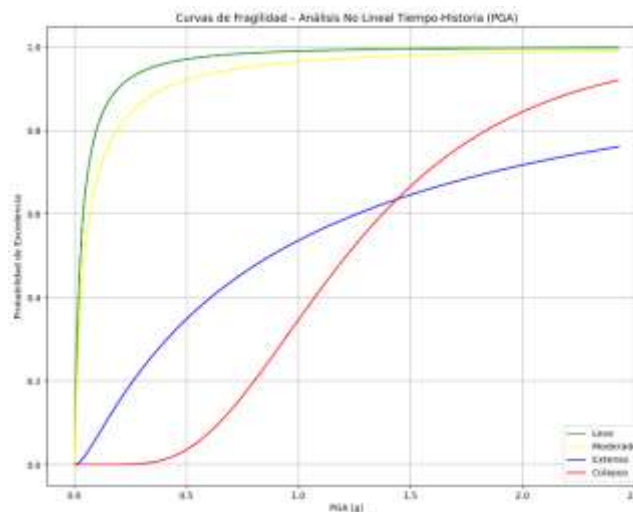


Anexo 82: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-8-B-8. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 89: Propiedades de Edificación Cr-D-8-B-9. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
	Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)
Cr-D-8-B-9	0.053	0.747	1.056	1.243	1.408

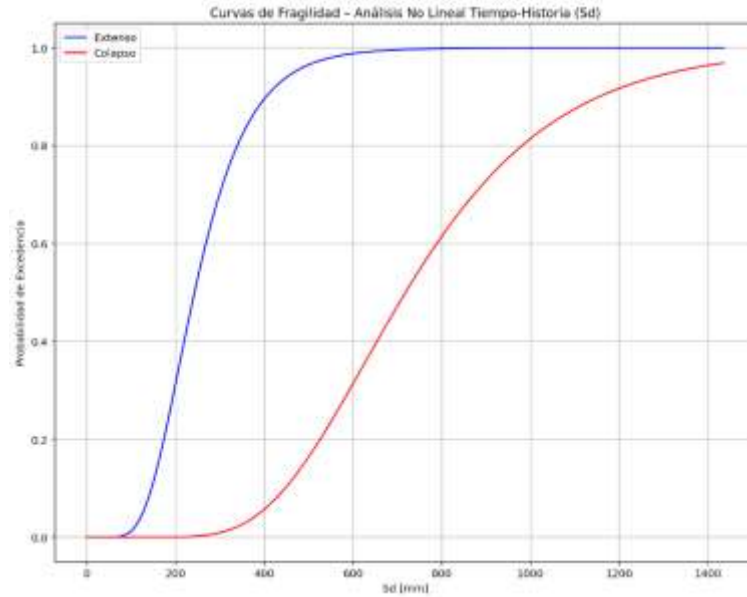
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.026	1.553	0.044	1.720	0.876	1.436	1.214	0.492



Anexo 83: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-8-B-9. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 90: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-8-B-9. Fuente: Elaboración Propia.

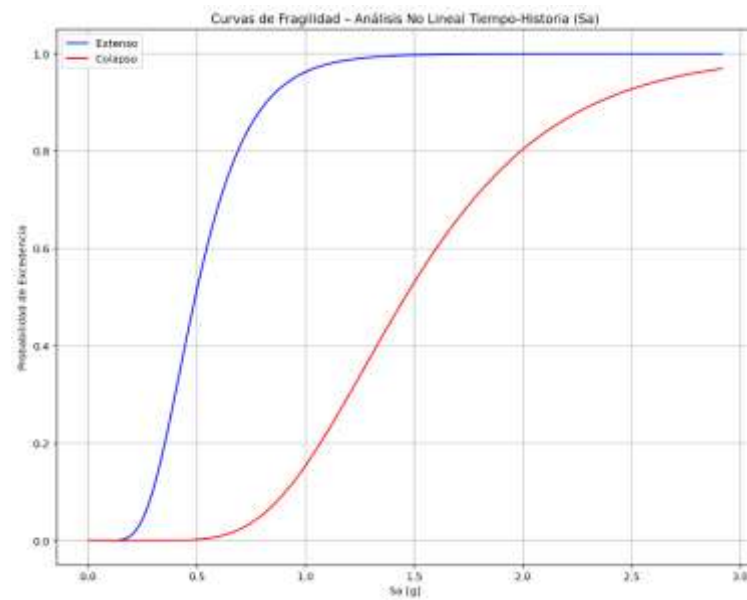
Sd			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
242.379	0.397	717.903	0.370



Anexo 84: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-8-B-9. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 91: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-8-B-9. Fuente: Elaboración Propia.

Sa			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.492	0.397	1.458	0.370

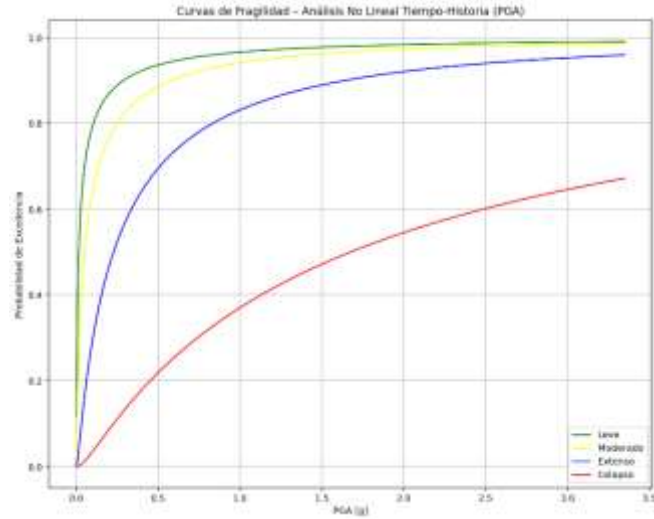


Anexo 85: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-8-B-9. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 92: Propiedades de Edificación Cr-D-18-H-2-X. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Cr-D-18-H-2-X	0.077	0.371	0.849	1.225	1.892

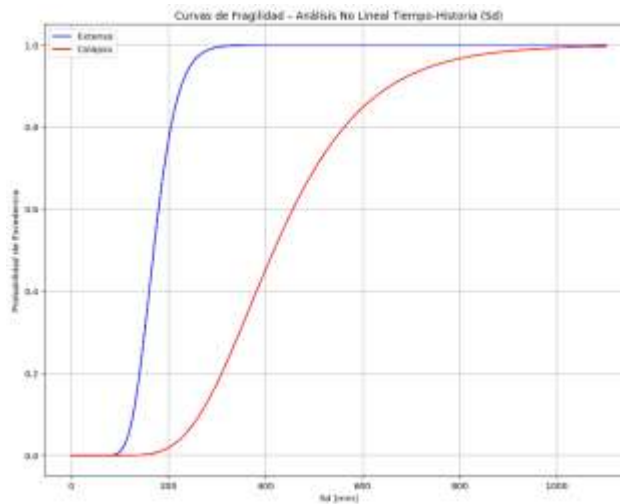
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.015	2.289	0.050	1.917	0.228	1.541	1.675	1.558



Anexo 86: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-18-H-2-X. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 93: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-18-H-2-X. Fuente: Elaboración Propia.

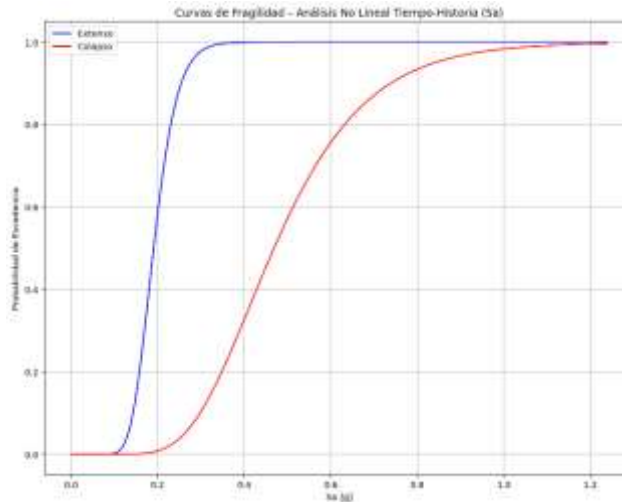
Sd			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
169.617	0.225	417.098	0.354



Anexo 87: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-18-H-2-X. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 94: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-18-H-2-X. Fuente: Elaboración Propia.

Sa			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.191	0.225	0.469	0.354

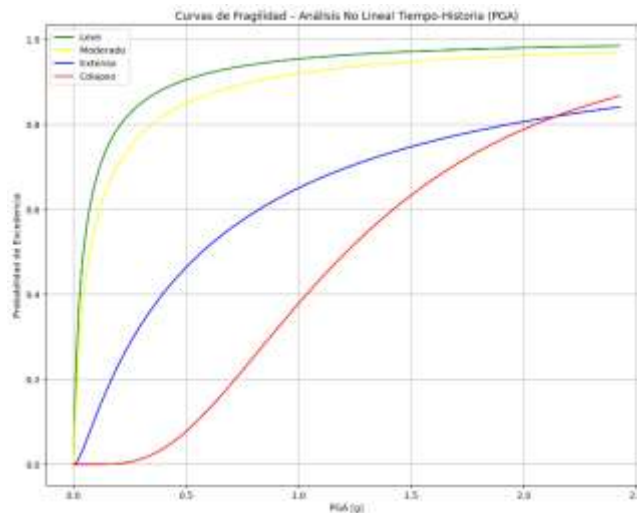


Anexo 88: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-18-H-2-X. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 95: Propiedades de Edificación Cr-D-18-H-2-Y. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Cr-D-18-H-2-Y	0.099	0.657	1.061	1.822	1.919

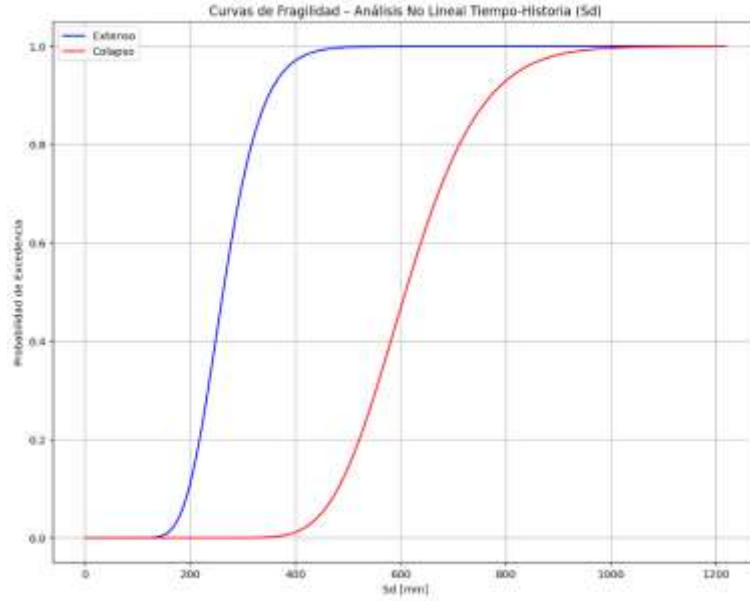
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.044	1.853	0.072	1.870	0.571	1.449	1.212	0.624



Anexo 89: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-18-H-2-Y. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 96: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-18-H-2-Y. Fuente: Elaboración Propia.

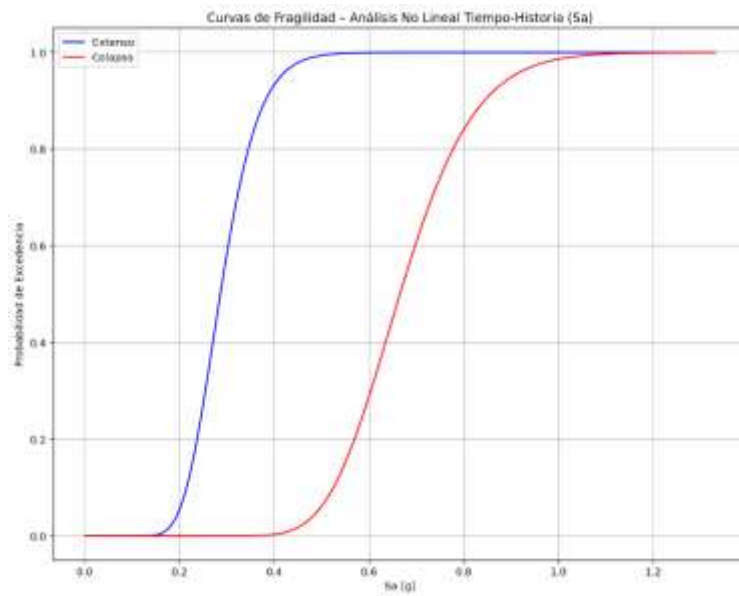
Sd			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
262.058	0.223	609.006	0.185



Anexo 90: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-18-H-2-Y. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 97: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-18-H-2-Y. Fuente: Elaboración Propia.

Sa			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.286	0.223	0.665	0.185

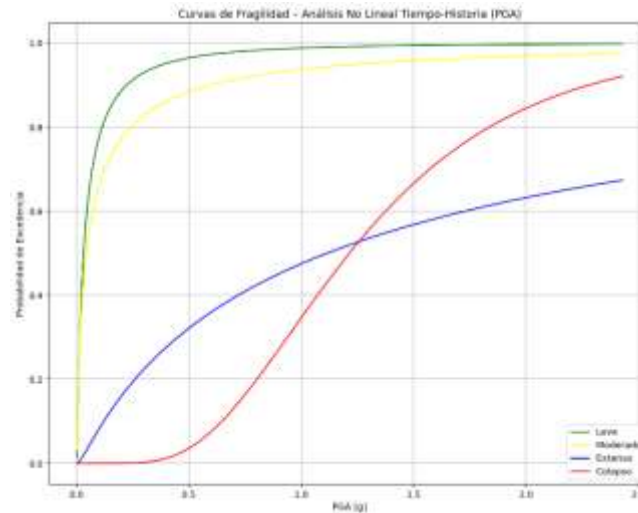


Anexo 91: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-18-H-2-Y. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 98: Propiedades de Edificación Cr-M-10-H-1. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Cr-M-10-H-1	0.066	0.873	0.991	1.083	1.621

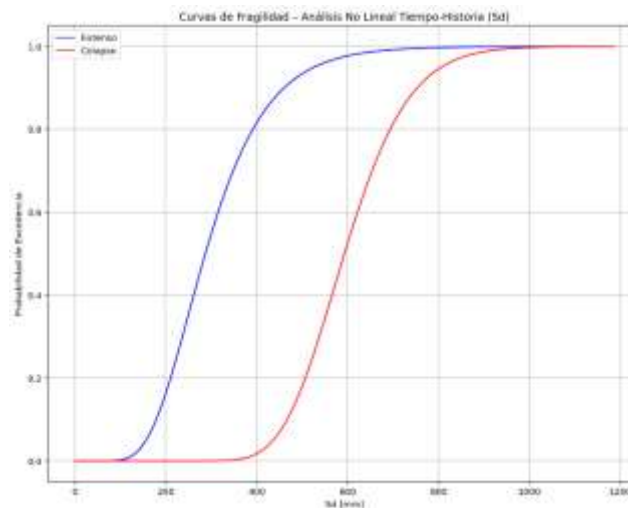
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.031	1.536	0.043	2.048	1.115	1.730	1.214	0.492



Anexo 92: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-M-10-H-1. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 99: Resultado para Sd de Edificación Cr-M-10-H-1. Fuente: Elaboración Propia.

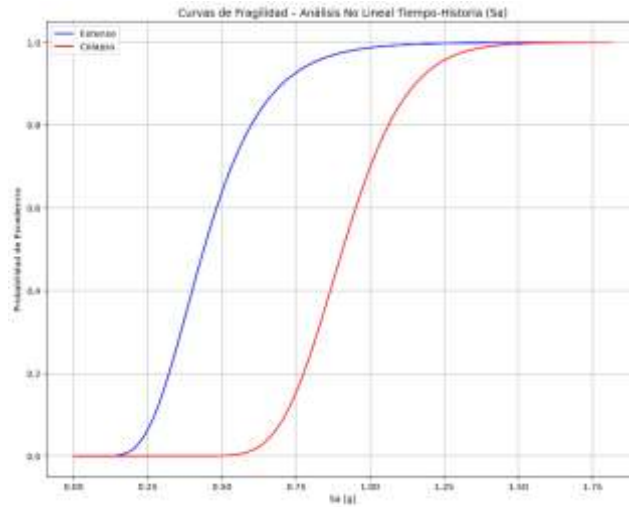
Sd			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
286.867	0.369	592.847	0.186



Anexo 93: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-M-10-H-1. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 100: Resultado para Sa de Edificación Cr-M-10-H-1. Fuente: Elaboración Propia.

Sa			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.439	0.369	0.907	0.186

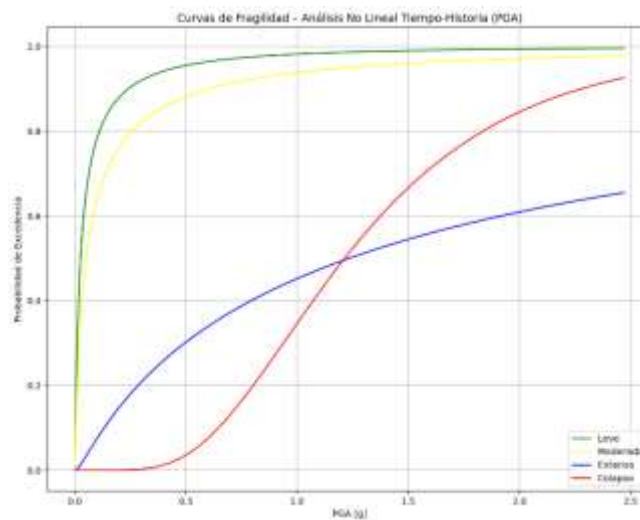


Anexo 94: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-M-10-H-1. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 101: Propiedades de Edificación Cr-M-10-H-2. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
	Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)
Cr-M-10-H-2	0.070	0.924	1.001	1.095	1.662

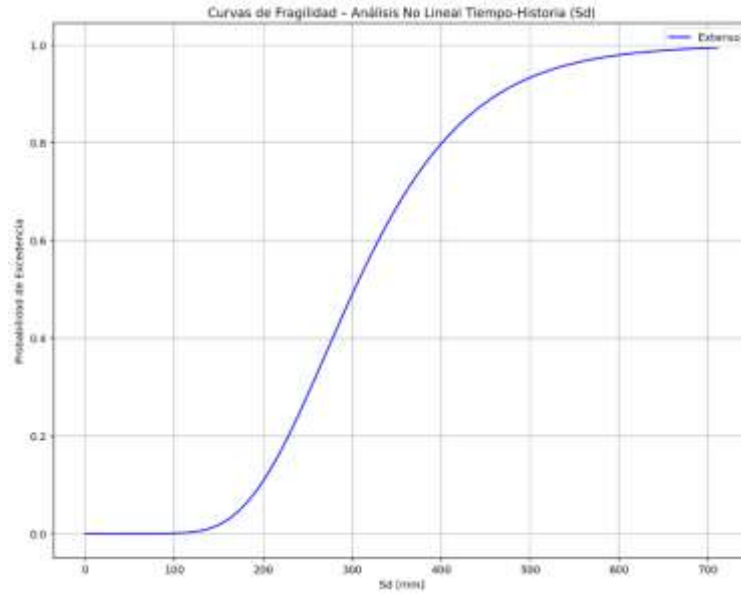
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.025	1.772	0.050	1.944	1.236	1.743	1.214	0.492



Anexo 95: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-M-10-H-2. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 102: Resultado para Sd de Edificación Cr-M-10-H-2. Fuente: Elaboración Propia.

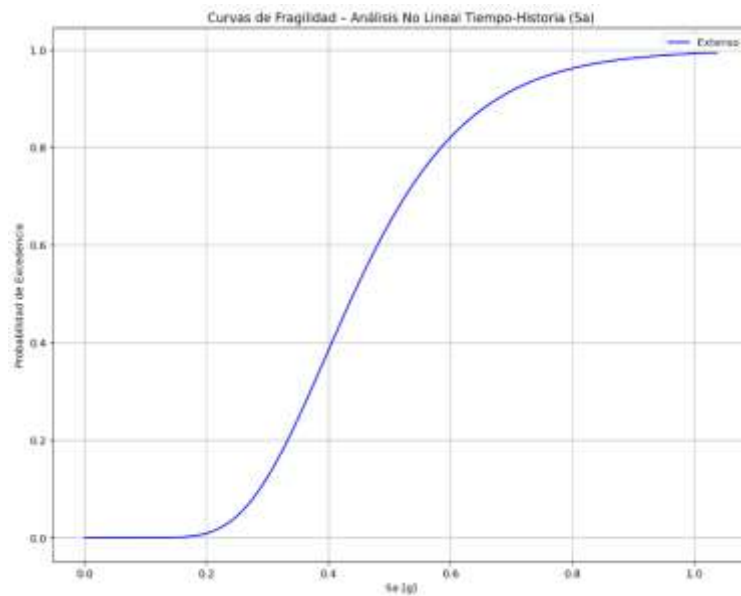
Sd	
θ_{ext}	β_{ext}
302.617	0.335



Anexo 96: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-M-10-H-2. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 103: Resultado para Sa de Edificación Cr-M-10-H-2. Fuente: Elaboración Propia.

Sa	
θ_{ext}	β_{ext}
0.441	0.335

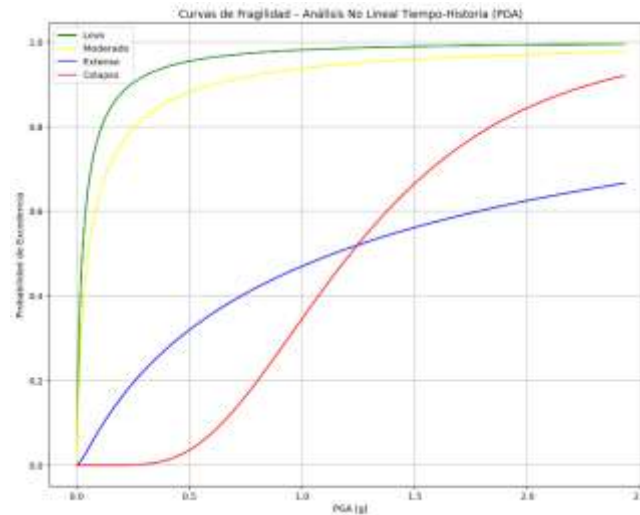


Anexo 97: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-M-10-H-2. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 104: Propiedades de Edificación Cr-M-10-H-3. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Cr-M-10-H-3	0.069	0.855	1.000	1.104	1.650

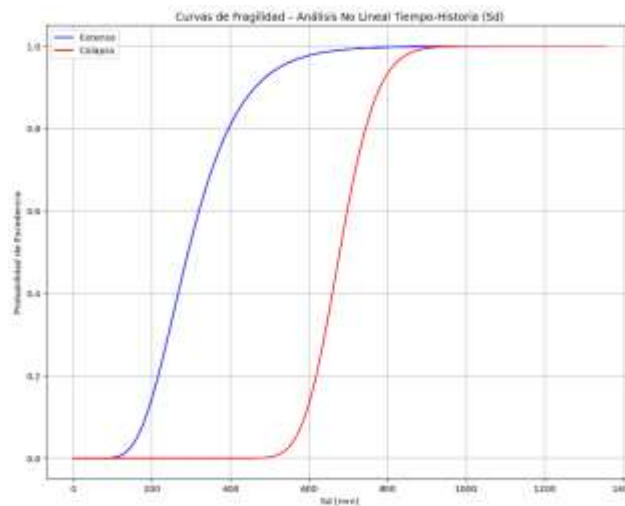
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.025	1.772	0.050	1.944	1.140	1.759	1.214	0.492



Anexo 98: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-M-10-H-3. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 105: Resultado para Sd de Edificación Cr-M-10-H-3. Fuente: Elaboración Propia.

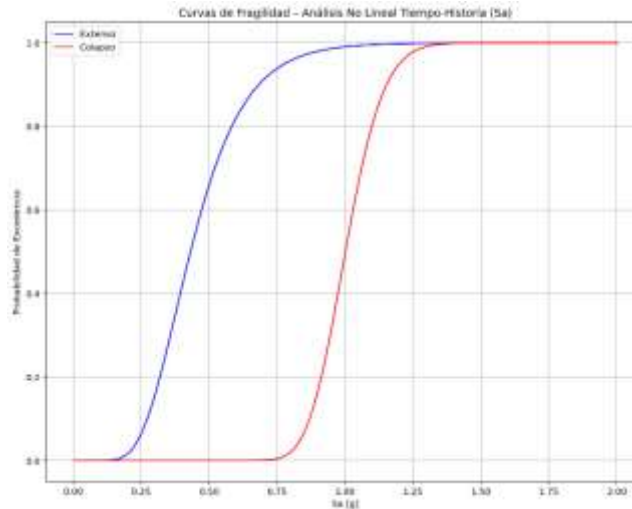
Sd			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
291.941	0.359	677.817	0.110



Anexo 99: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-M-10-H-3. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 106: Resultado para Sa de Edificación Cr-M-10-H-3. Fuente: Elaboración Propia.

Sa			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.431	0.359	1.001	0.110

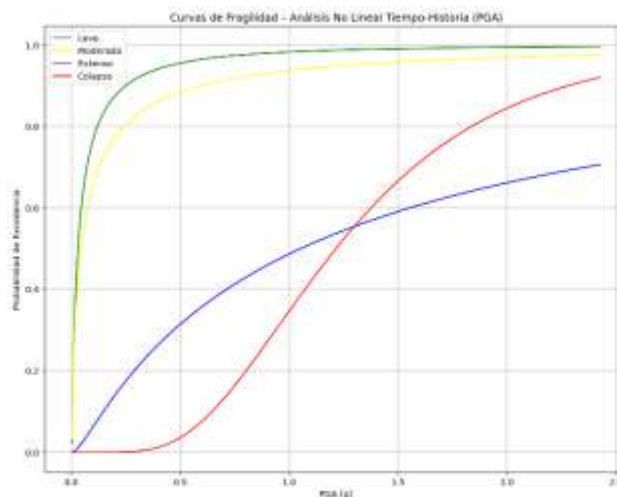


Anexo 100: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-M-10-H-3. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 107: Propiedades de Edificación Cr-M-10-H-4. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Cr-M-10-H-4	0.069	0.888	1.029	1.111	1.627

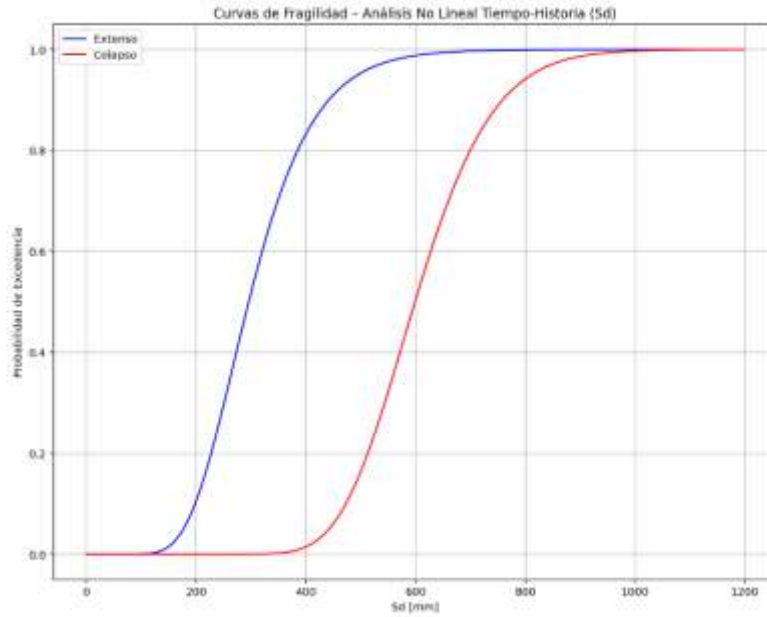
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.029	1.666	0.043	2.048	1.053	1.539	1.214	0.492



Anexo 101: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-M-10-H-4. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 108: Resultado para Sd de Edificación Cr-M-10-H-4. Fuente: Elaboración Propia.

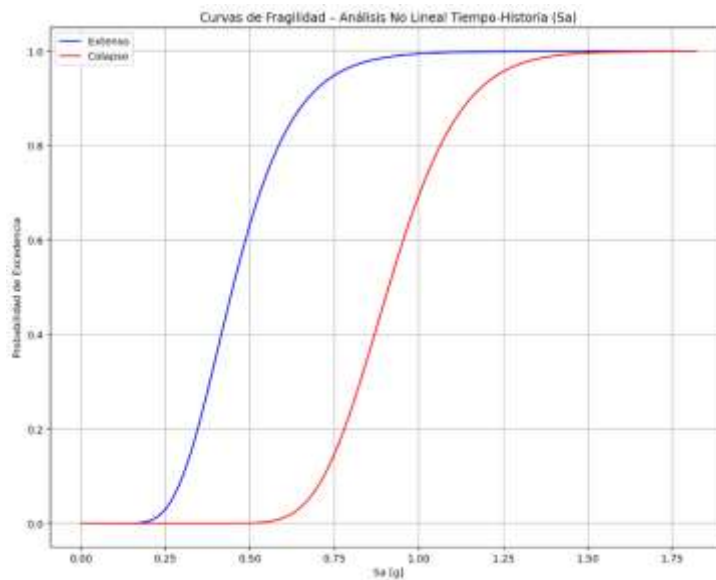
Sd			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
295.739	0.313	598.717	0.184



Anexo 102: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-M-10-H-4. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 109: Resultado para Sa de Edificación Cr-M-10-H-4. Fuente: Elaboración Propia.

Sa			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.449	0.313	0.910	0.184

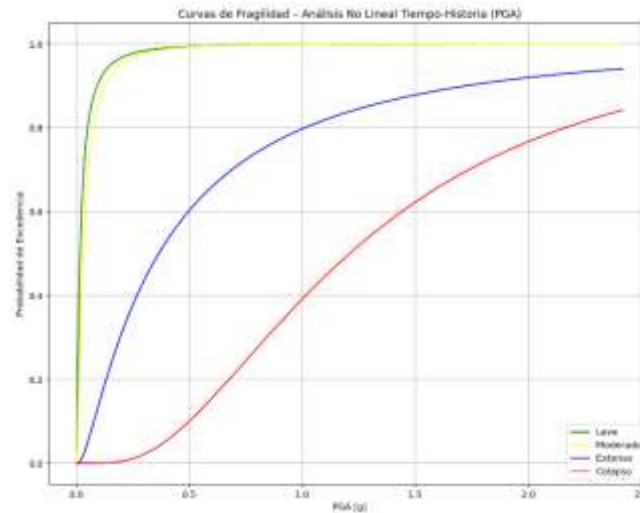


Anexo 103: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-M-10-H-4. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 110: Propiedades de Edificación Cr-M-4-U-1. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Cr-M-4-U-1	0.026	0.401	1.054	1.050	0.987

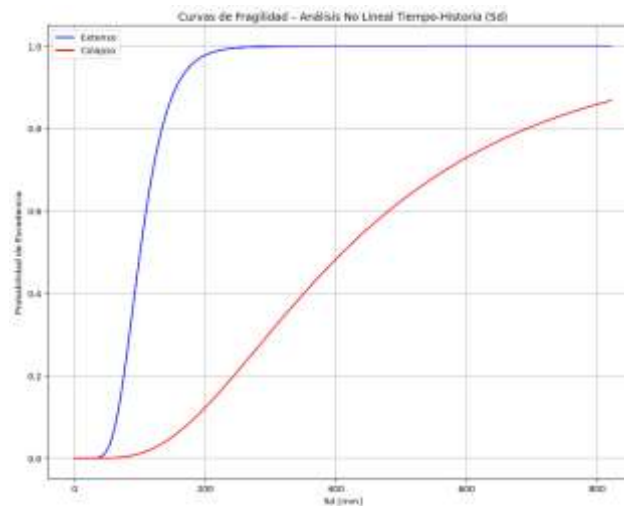
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.015	1.389	0.027	1.195	0.364	1.214	1.209	0.691



Anexo 104: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-M-4-U-1. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 111: Resultado para Sd de Edificación Cr-M-4-U-1. Fuente: Elaboración Propia.

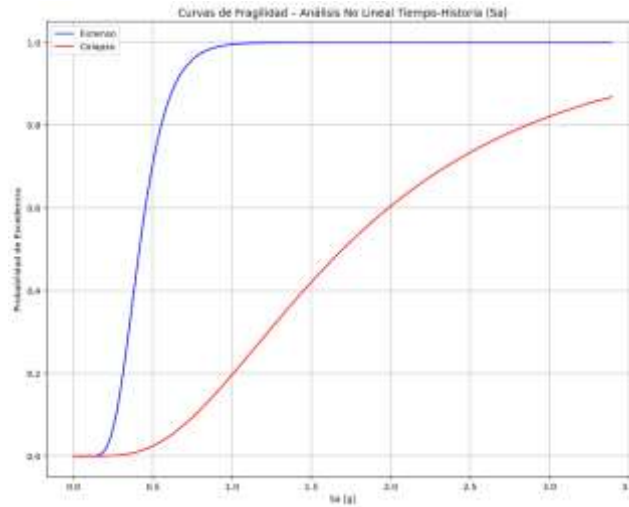
Sd			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
100.304	0.341	410.699	0.620



Anexo 105: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-M-4-U-1. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 112: Resultado para Sa de Edificación Cr-M-4-U-1. Fuente: Elaboración Propia.

Sa			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.414	0.341	1.697	0.620

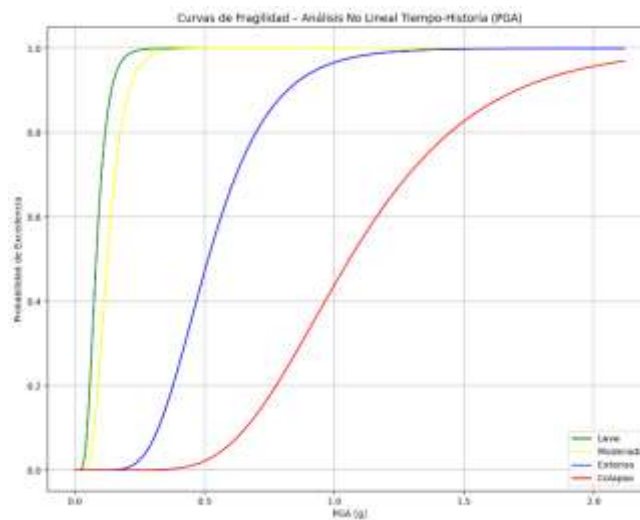


Anexo 106: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-M-4-U-1. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 113: Propiedades de Edificación Cr-M-5-R-1-X. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Cr-M-5-R-1-X	0.014	0.248	2.532	2.572	0.467

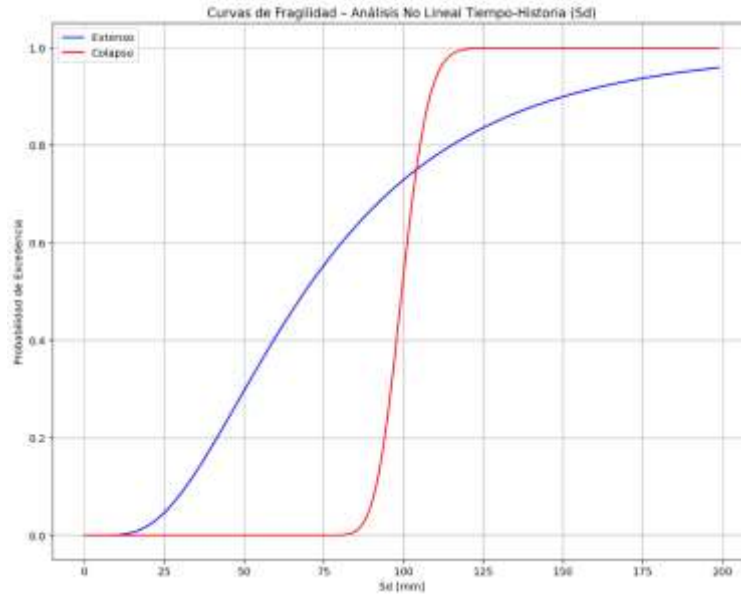
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.082	0.422	0.125	0.401	0.313	0.364	1.059	0.369



Anexo 107: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-M-5-R-1-X. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 114: Resultado para Sd de Edificación Cr-M-5-R-1-X. Fuente: Elaboración Propia.

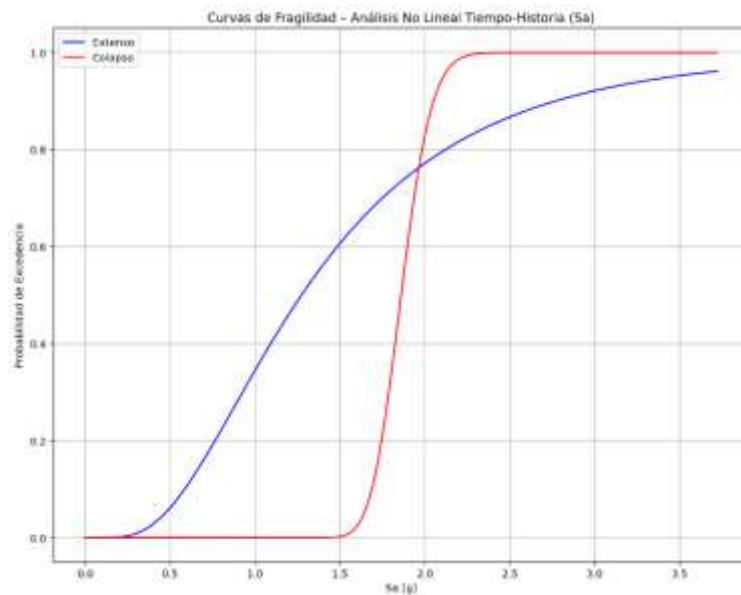
Sd			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
69.079	0.606	99.450	0.066



Anexo 108: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-M-5-R-1-X. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 115: Resultado para Sa de Edificación Cr-M-5-R-1-X. Fuente: Elaboración Propia.

Sa			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
1.273	0.606	1.860	0.066

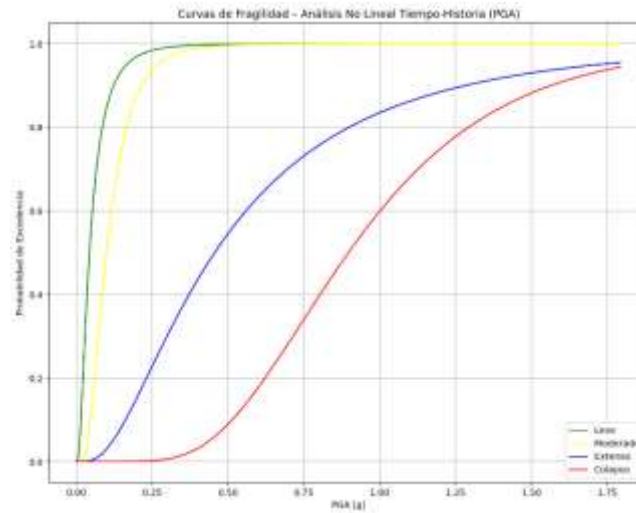


Anexo 109: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-M-5-R-1-X. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 116: Propiedades de Edificación Cr-M-5-R-1-Y. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Cr-M-5-R-1-Y	0.028	0.327	1.772	2.077	0.790

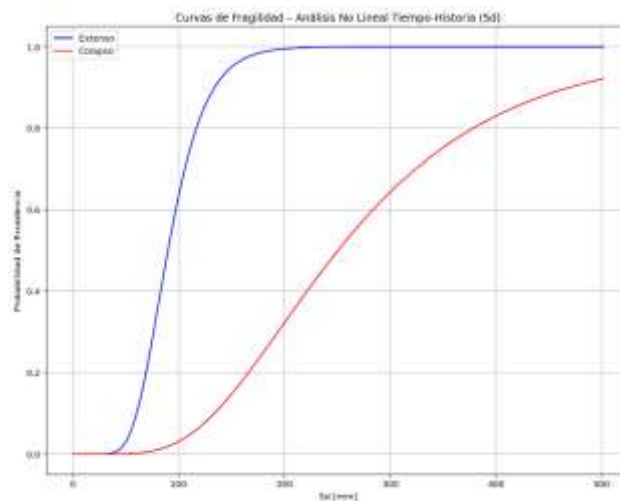
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.043	0.814	0.099	0.604	0.456	0.806	0.897	0.434



Anexo 110: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-M-5-R-1-Y. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 117: Resultado para Sd de Edificación Cr-M-5-R-1-Y. Fuente: Elaboración Propia.

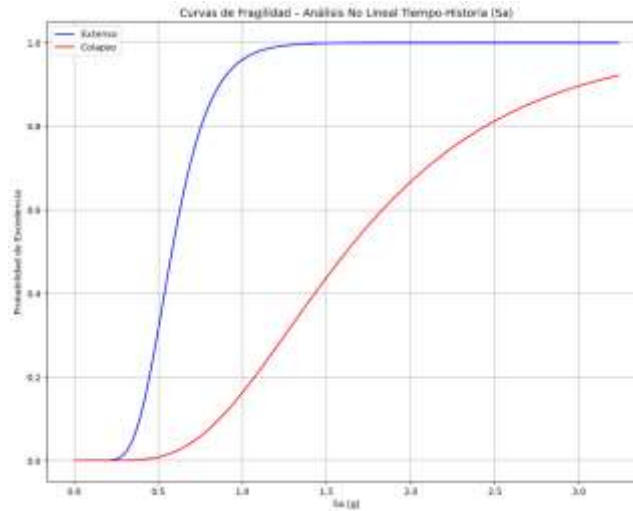
Sd			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
89.880	0.311	250.822	0.489



Anexo 111: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-M-5-R-1-Y. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 118: Resultado para Sa de Edificación Cr-M-5-R-1-Y. Fuente: Elaboración Propia.

Sa			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.579	0.311	1.618	0.489

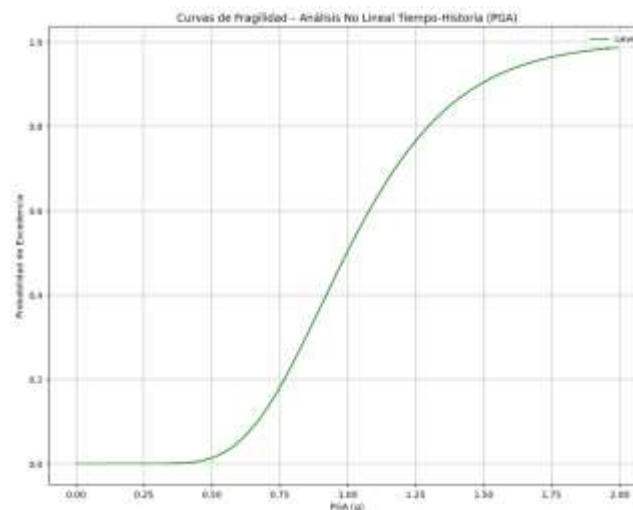


Anexo 112: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-M-5-R-1-Y. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 119: Propiedades de Edificación Cr-Mu-6-G-1. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
	Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)
Cr-Mu-6-G-1	0.007	0.051	24.617	45.290	0.106

PGA	
θ_{leve}	β_{leve}
0.996	0.312

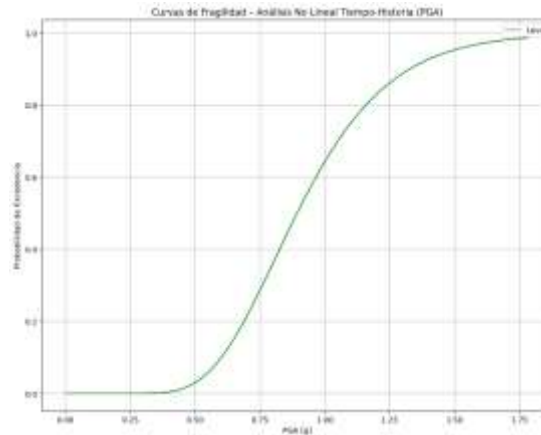


Anexo 113: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-Mu-6-G-1. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 120: Propiedades de Edificación Cr-Mu-7-G-2. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Cr-Mu-7-G-2	0.011	0.086	20.131	24.313	0.147

PGA	
θ_{leve}	β_{leve}
0.892	0.309

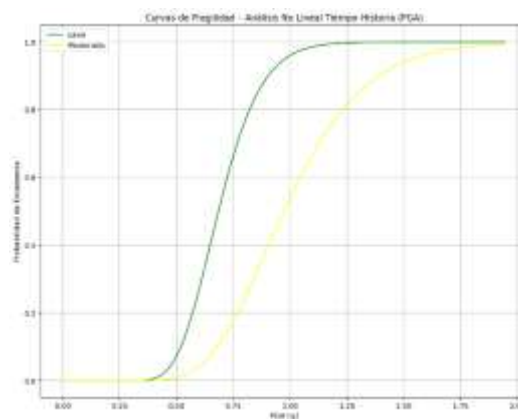


Anexo 114: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-Mu-6-G-2. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 121: Propiedades de Edificación Cr-Mu-8-G-3. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Cr-Mu-8-G-3	0.026	0.142	20.532	36.030	0.224

PGA			
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}
0.684	0.216	0.972	0.280

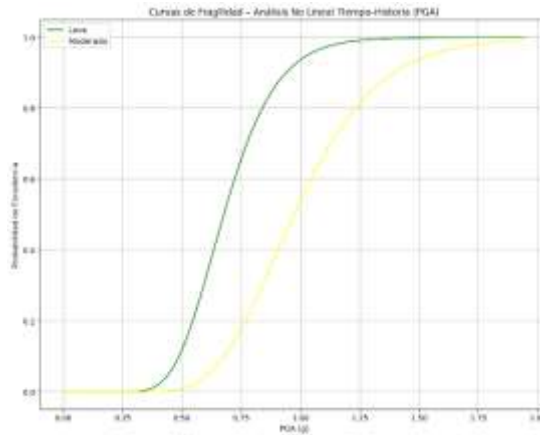


Anexo 115: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-Mu-8-G-3. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 122: Propiedades de Edificación Cr-Mu-9-G-4. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Cr-Mu-9-G-4	0.026	0.135	19.105	24.580	0.232

PGA			
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}
0.676	0.255	0.972	0.280

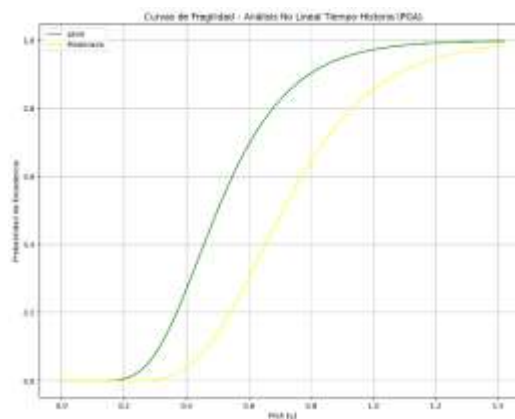


Anexo 116: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-Mu-9-G-4. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 123: Propiedades de Edificación Cr-Mu-12-G-5. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Cr-Mu-12-G-5	0.027	0.114	13.706	25.474	0.279

PGA			
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}
0.499	0.361	0.709	0.323

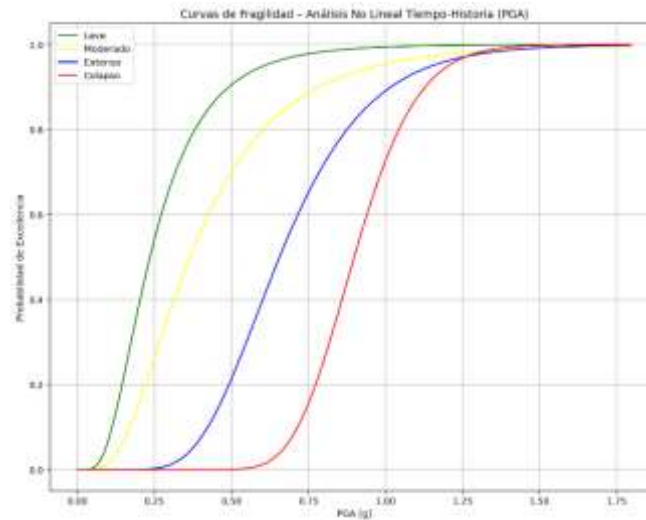


Anexo 117: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-Mu-12-G-5. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 124: Propiedades de Edificación Cr-Mu-18-G-6. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Cr-Mu-18-G-6	0.053	0.168	6.431	8.689	0.570

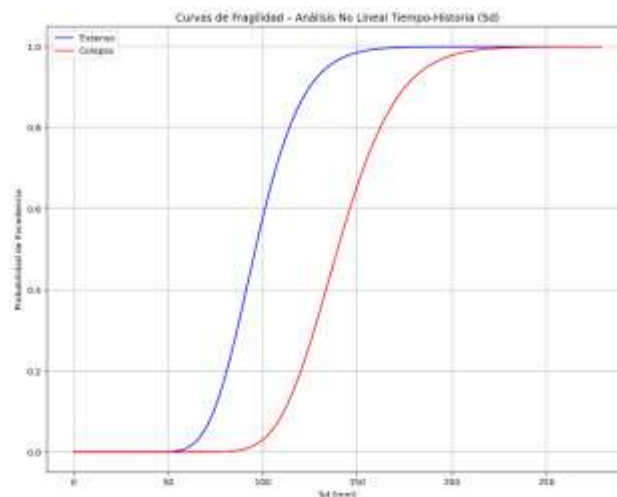
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.235	0.574	0.365	0.596	0.656	0.342	0.898	0.178



Anexo 118: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-Mu-18-G-6. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 125: Resultado para Sd de Edificación Cr-Mu-18-G-6. Fuente: Elaboración Propia.

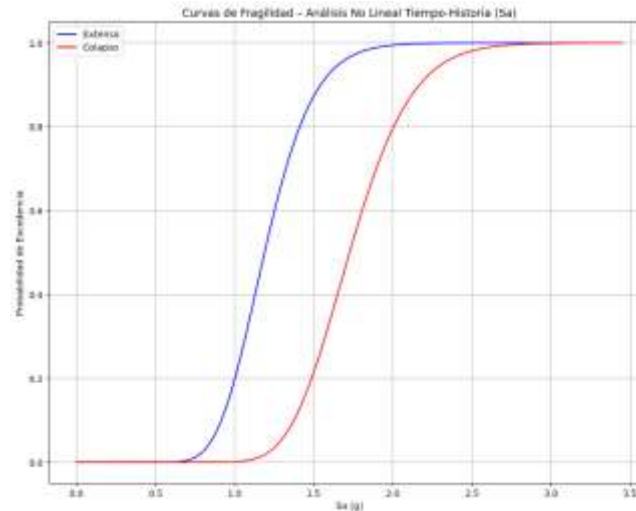
Sd			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
96.091	0.204	139.556	0.178



Anexo 119: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-Mu-18-G-6. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 126: Resultado para Sa de Edificación Cr-Mu-18-G-6. Fuente: Elaboración Propia.

Sa			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
1.188	0.204	1.726	0.178

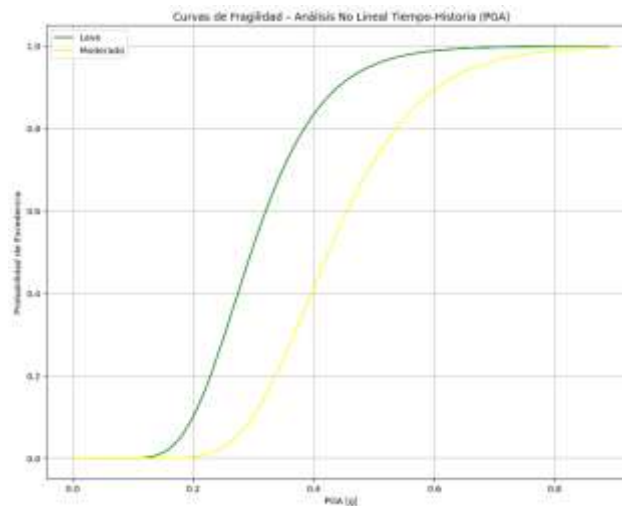


Anexo 120: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-Mu-18-G-6. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 127: Propiedades de Edificación Mc-M-2-S-1. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
	Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)
Mc-M-2-S-1	0.007	0.056	8.055	8.223	0.185

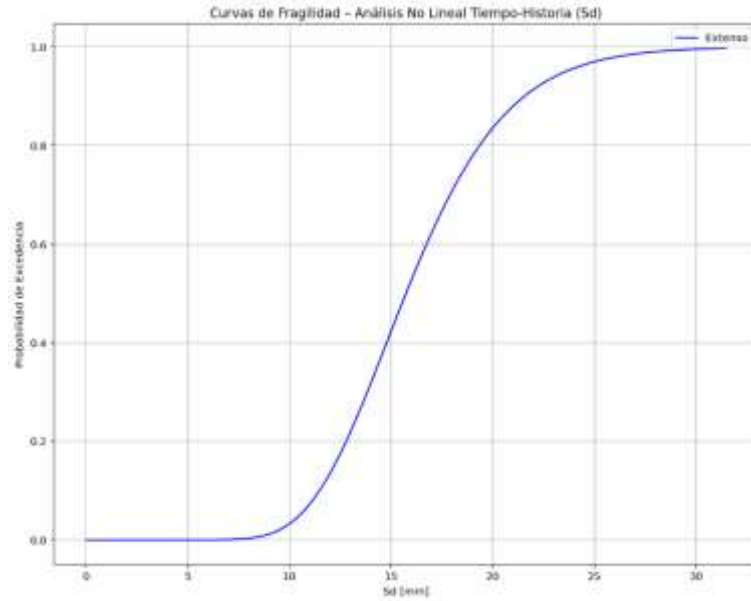
PGA			
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}
0.296	0.309	0.424	0.277



Anexo 121: Curva de Fragilidad en PGA para Mc-M-2-S-1. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 128: Resultado para Sd de Edificación Mc-M-2-S-1. Fuente: Elaboración Propia.

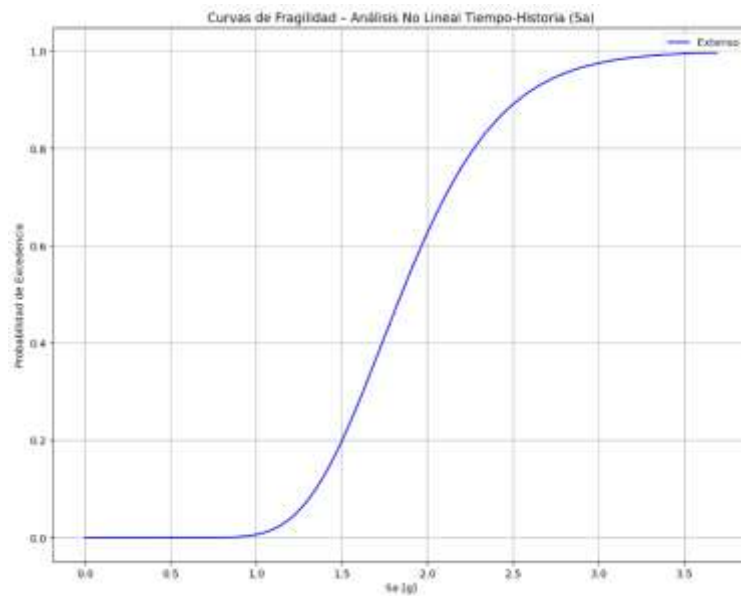
Sd	
θ_{ext}	β_{ext}
15.733	0.246



Anexo 122: Curva de Fragilidad en Sd para Mc-M-2-S-1. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 129: Resultado para Sa de Edificación Mc-M-2-S-1. Fuente: Elaboración Propia.

Sa	
θ_{ext}	β_{ext}
1.845	0.246

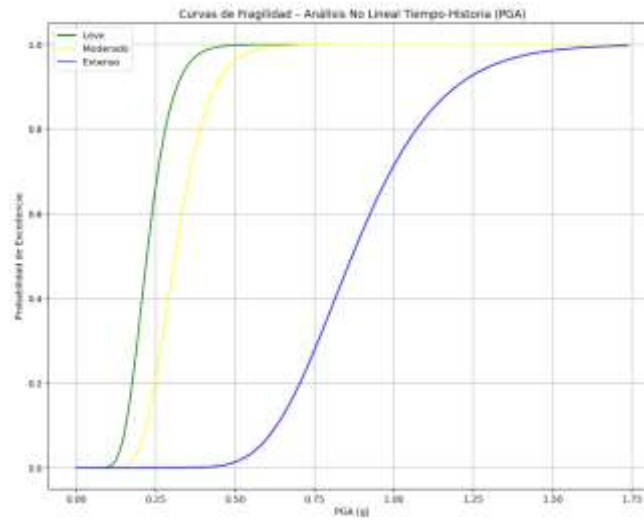


Anexo 123: Curva de Fragilidad en Sa para Mc-M-2-S-1. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 130: Propiedades de Edificación Mc-M-2-S-3. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Mc-M-2-S-3	0.004	0.055	5.806	5.785	0.165

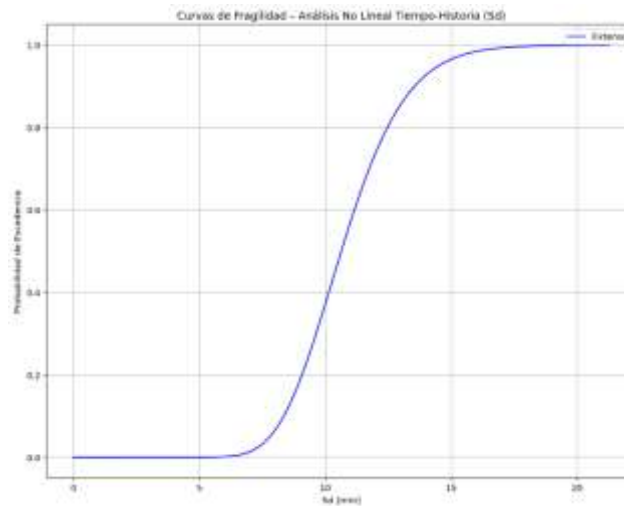
PGA					
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}
0.222	0.276	0.311	0.269	0.868	0.249



Anexo 124: Curva de Fragilidad en PGA para Mc-M-2-S-3. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 131: Resultado para Sd de Edificación Mc-M-2-S-3. Fuente: Elaboración Propia.

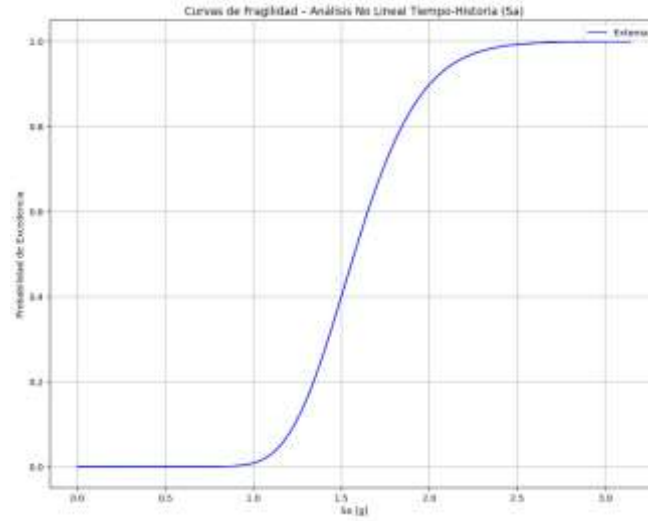
Sd	
θ_{ext}	β_{ext}
10.630	0.188



Anexo 125: Curva de Fragilidad en Sd para Mc-M-2-S-3. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 132: Resultado para Sa de Edificación Mc-M-2-S-3. Fuente: Elaboración Propia.

Sa	
θ_{ext}	β_{ext}
1.573	0.188

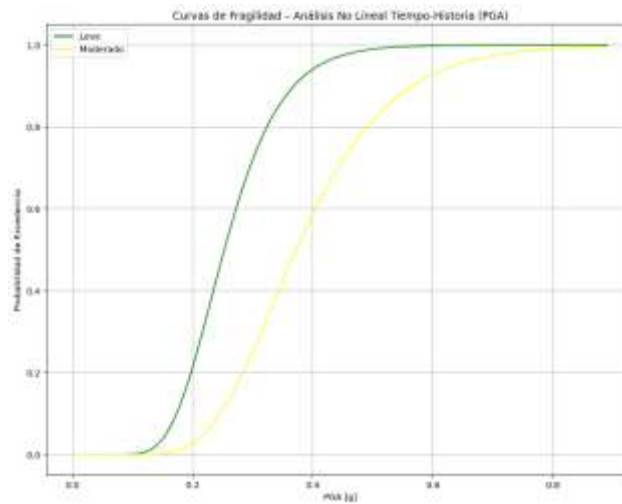


Anexo 126: Curva de Fragilidad en Sa para Mc-M-2-S-3. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 133: Propiedades de Edificación Mc-M-2-S-2. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Mc-M-2-S-2	0.006	0.058	6.708	6.653	0.188

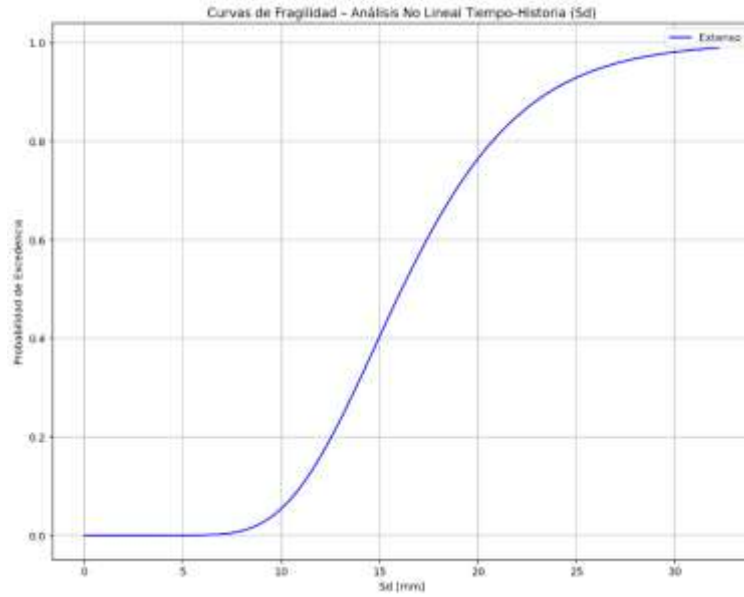
PGA			
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}
0.252	0.295	0.372	0.325



Anexo 127: Curva de Fragilidad en PGA para Mc-M-2-S-2. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 134: Resultado para Sd de Edificación Mc-M-2-S-2. Fuente: Elaboración Propia.

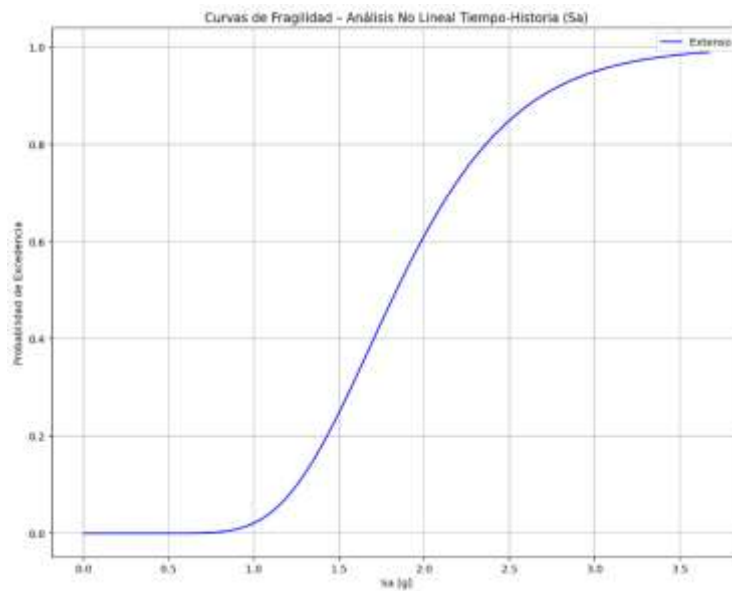
Sd	
θ_{ext}	β_{ext}
16.119	0.298



Anexo 128: Curva de Fragilidad en Sd para Mc-M-2-S-2. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 135: Resultado para Sa de Edificación Mc-M-2-S-2. Fuente: Elaboración Propia.

Sa	
θ_{ext}	β_{ext}
1.837	0.298

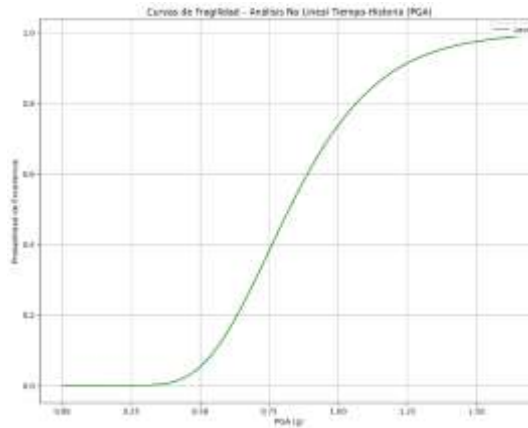


Anexo 129: Curva de Fragilidad en Sa para Mc-M-2-S-2. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 136: Propiedades de Edificación Mi-M-2-H-1-X. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Mi-M-2-H-1-X	0.007	0.027	18.781	15.623	0.121

PGA	
θ_{leve}	β_{leve}
0.822	0.308

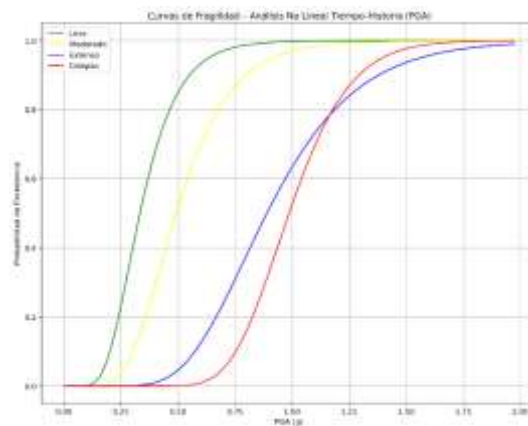


Anexo 130: Curva de Fragilidad en PGA para Mi-M-2-H-1-X. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 137: Propiedades de Edificación Mi-M-2-H-1-Y. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Mi-M-2-H-1-Y	0.018	0.067	9.491	7.658	0.274

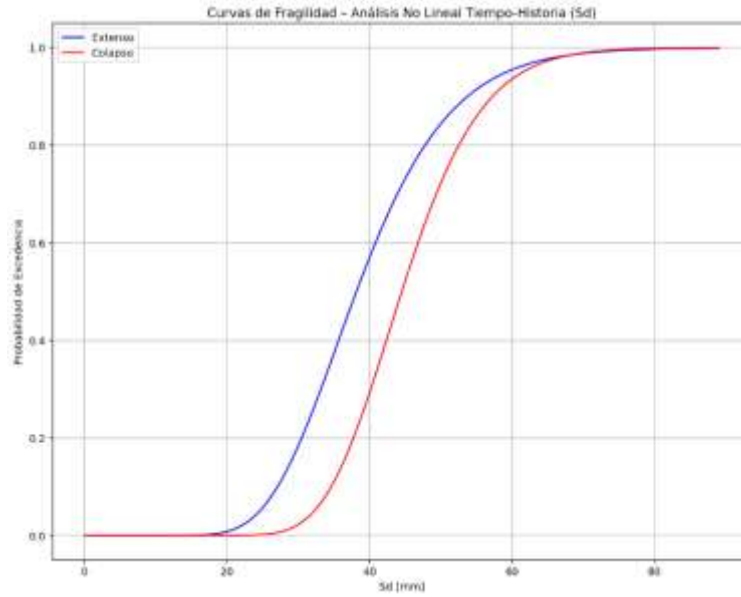
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.333	0.392	0.492	0.378	0.889	0.342	0.987	0.211



Anexo 131: Curva de Fragilidad en PGA para Mi-M-2-H-1-Y. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 138: Resultado para Sd de Edificación Mi-M-2-H-1-Y. Fuente: Elaboración Propia.

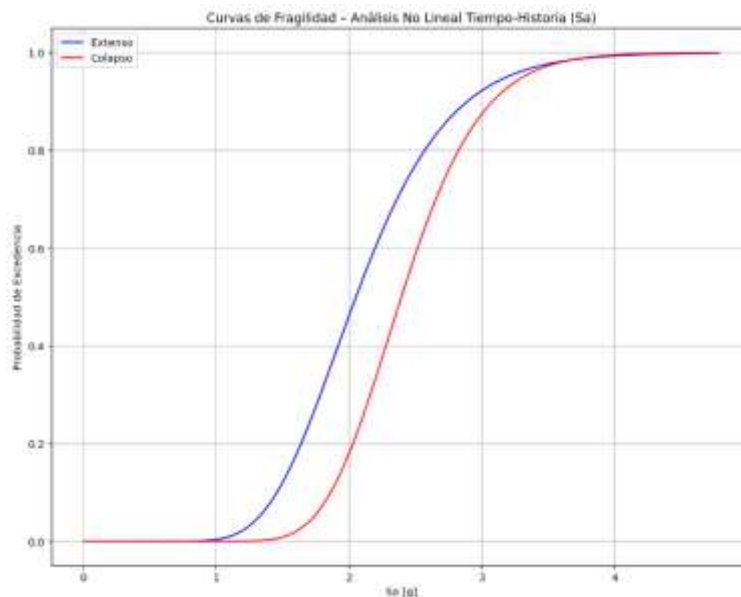
Sd			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
38.165	0.267	44.535	0.196



Anexo 132: Curva de Fragilidad en Sd para Mi-M-2-H-1-Y. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 139: Resultado para Sa de Edificación Mi-M-2-H-1-Y. Fuente: Elaboración Propia.

Sa			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
2.051	0.267	2.394	0.196

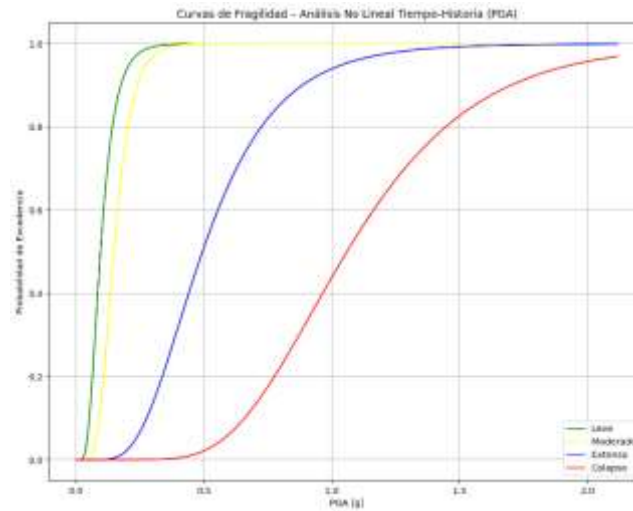


Anexo 133: Curva de Fragilidad en Sa para Mi-M-2-H-1-Y. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 140: Propiedades de Edificación Cr-D-5-A-2-X. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Cr-D-5-A-2-X	0.019	0.206	2.986	2.953	0.501

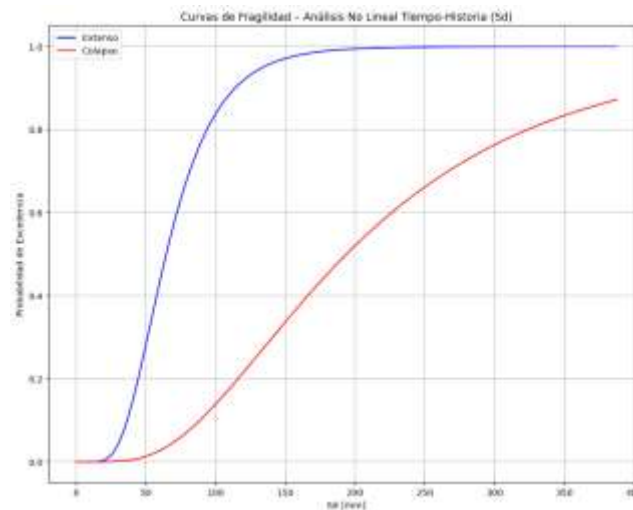
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.096	0.474	0.148	0.374	0.494	0.454	1.059	0.369



Anexo 134: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-5-A-2-X. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 141: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-5-A-2-X. Fuente: Elaboración Propia.

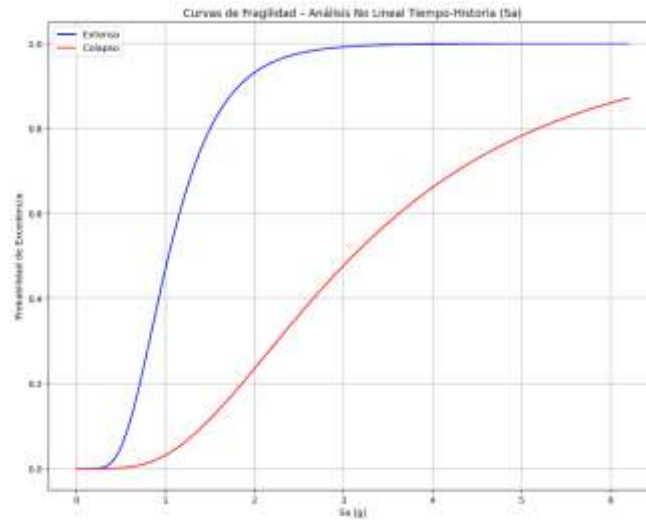
Sd			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
64.535	0.443	193.773	0.609



Anexo 135: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-5-A-2-X. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 142: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-5-A-2-X. Fuente: Elaboración Propia.

Sa			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
1.034	0.443	3.104	0.609

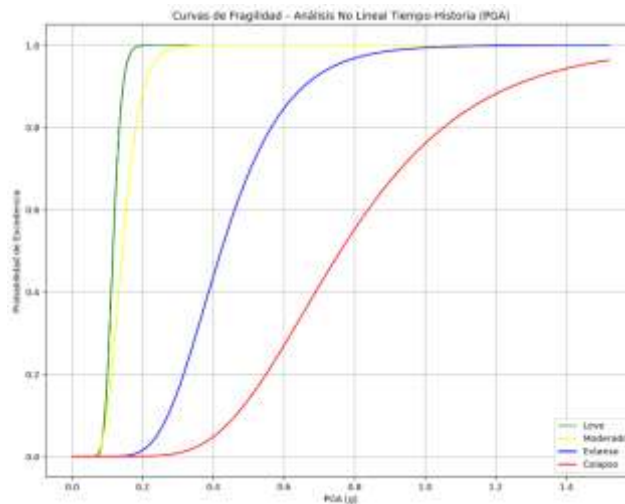


Anexo 136: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-5-A-2-X. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 143: Propiedades de Edificación Cr-D-5-A-2-Y. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Cr-D-5-A-2-Y	0.003	0.086	2.305	2.386	0.227

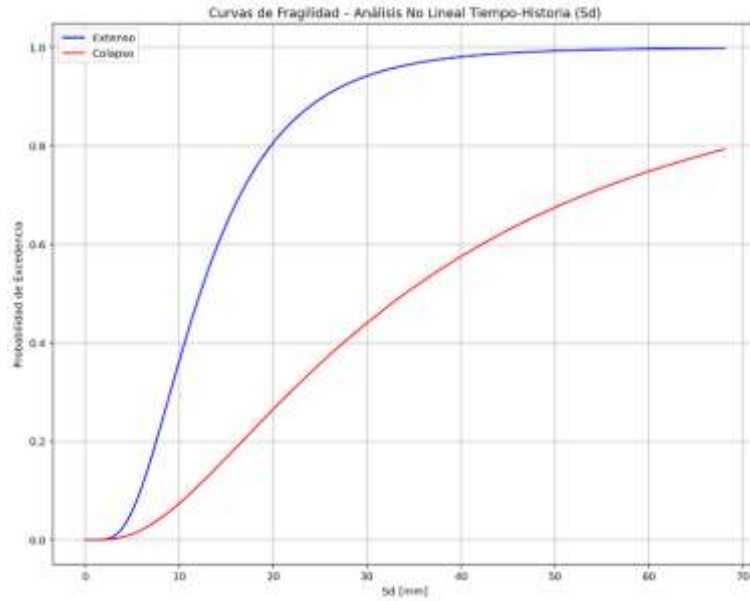
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.115	0.173	0.141	0.287	0.422	0.345	0.760	0.386



Anexo 137: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-5-A-2-Y. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 144: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-5-A-2-Y. Fuente: Elaboración Propia.

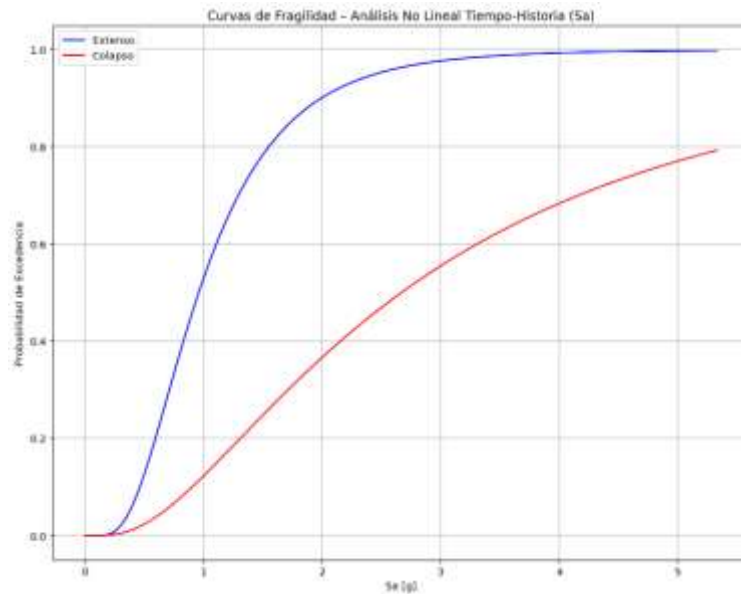
Sd			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
12.220	0.570	34.048	0.847



Anexo 138: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-5-A-2-Y. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 145: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-5-A-2-Y. Fuente: Elaboración Propia.

Sa			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.957	0.570	2.667	0.847

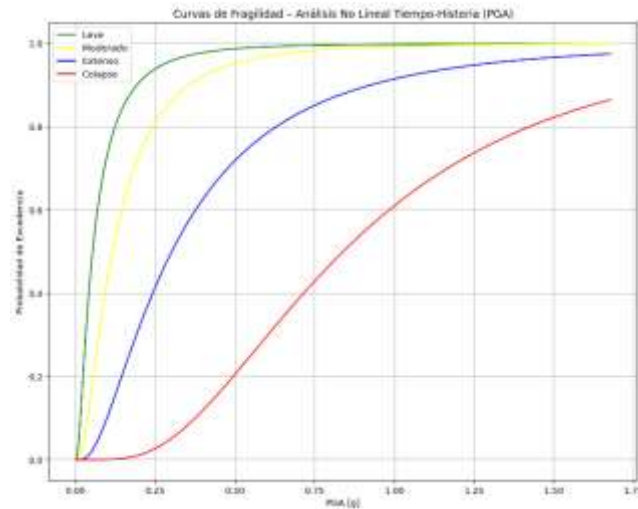


Anexo 139: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-5-A-2-Y. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 146: Propiedades de Edificación Cr-D-10-A-4-X. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T_s
Cr-D-10-A-4-X	0.039	0.167	2.065	2.652	0.863

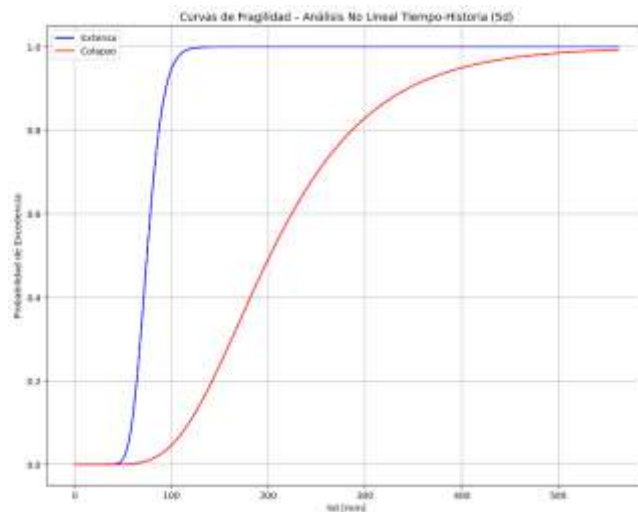
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.053	0.997	0.116	0.887	0.301	0.873	0.839	0.628



Anexo 140: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-10-A-4-X. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 147: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-10-A-4-X. Fuente: Elaboración Propia.

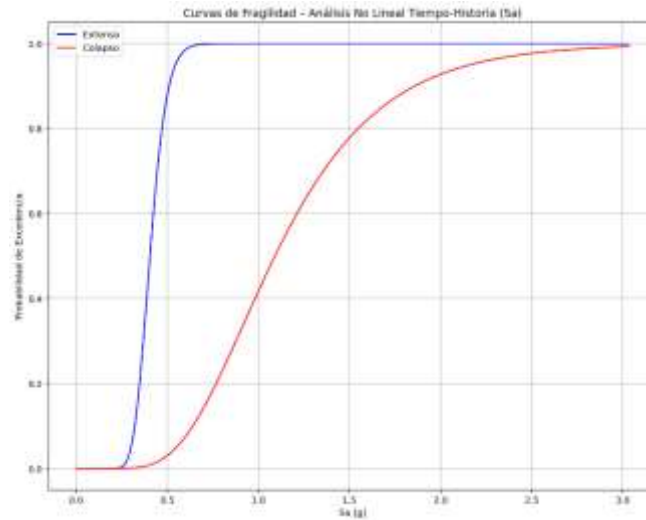
Sd			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
74.805	0.181	201.859	0.416



Anexo 141: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-10-A-4-X. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 148: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-10-A-4-X. Fuente: Elaboración Propia.

Sa			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
1.404	0.181	1.089	0.416

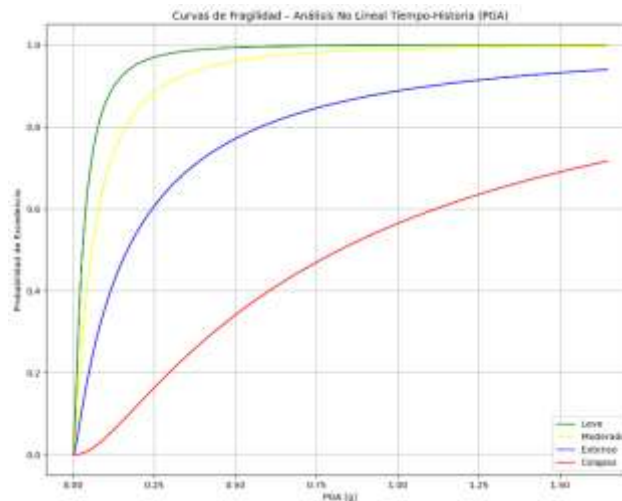


Anexo 142: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-10-A-4-X. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 149: Propiedades de Edificación Cr-D-10-A-4-Y. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Cr-D-10-A-4-Y	0.039	0.193	1.138	1.286	1.163

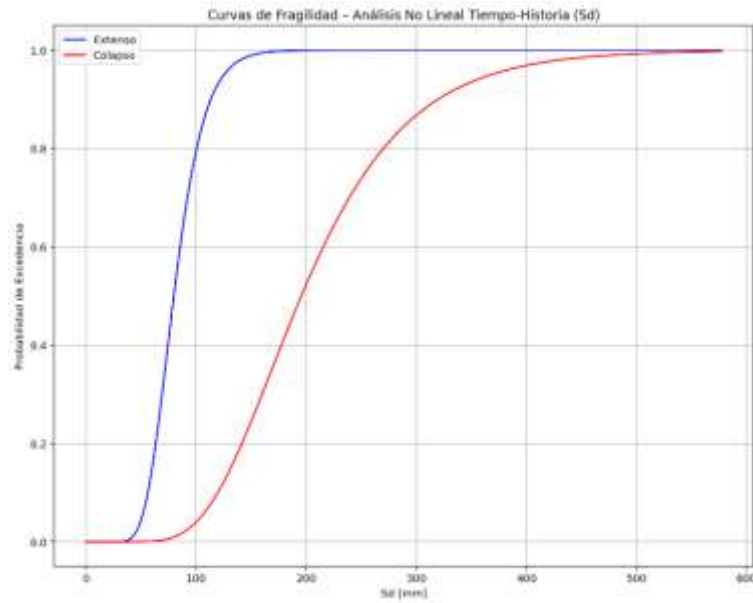
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.029	1.137	0.058	1.226	0.168	1.467	0.822	1.212



Anexo 143: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-10-A-4-Y. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 150: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-10-A-4-Y. Fuente: Elaboración Propia.

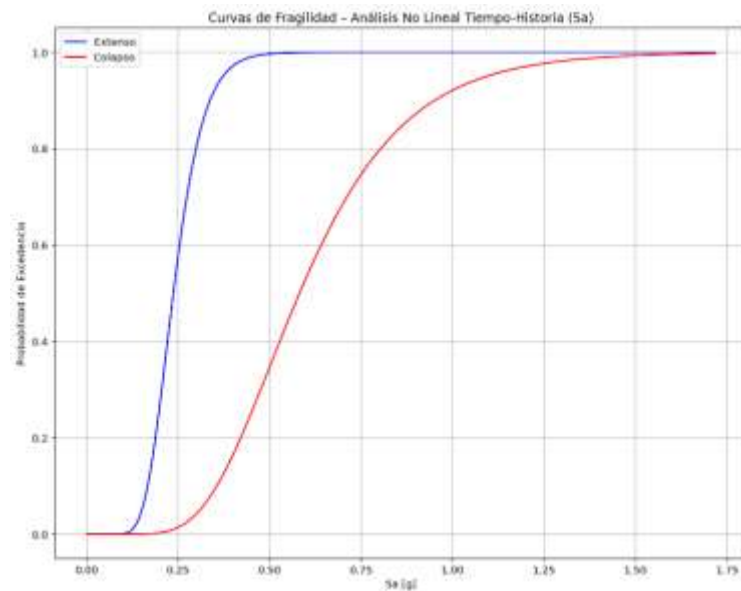
Sd			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
79.737	0.274	195.538	0.384



Anexo 144: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-10-A-4-Y. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 151: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-10-A-4-Y. Fuente: Elaboración Propia.

Sa			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.237	0.274	0.582	0.384

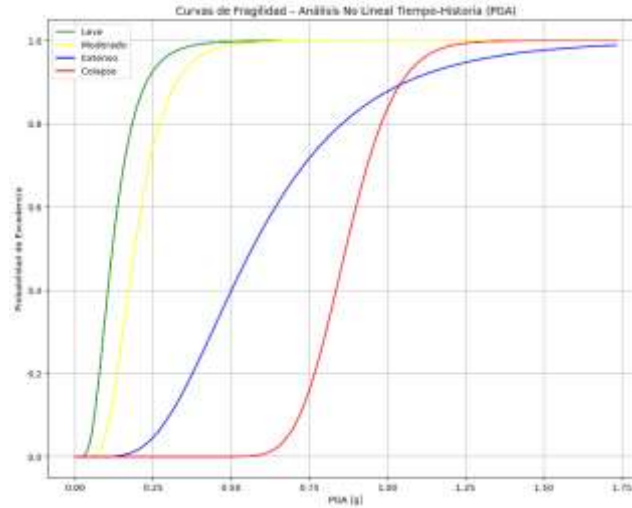


Anexo 145: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-10-A-4-Y. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 152: Propiedades de Edificación Cr-M-2-A-7-X. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Cr-M-2-A-7-X	0.028	0.206	3.845	3.886	0.536

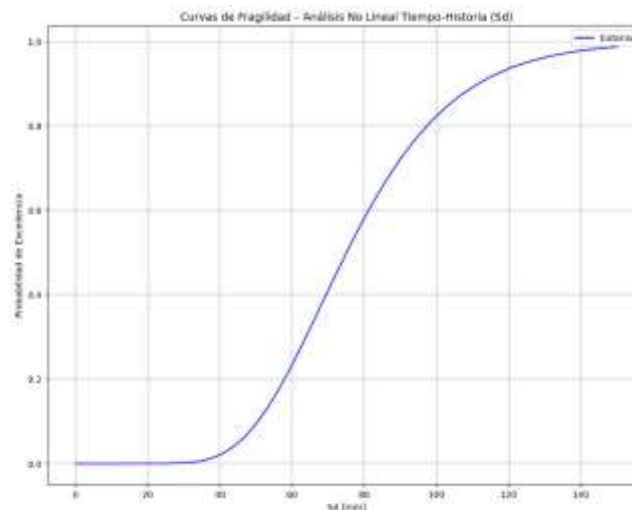
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.119	0.506	0.191	0.414	0.566	0.487	0.866	0.146



Anexo 146: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-M-2-A-7-X. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 153: Resultado para Sd de Edificación Cr-M-2-A-7-X. Fuente: Elaboración Propia.

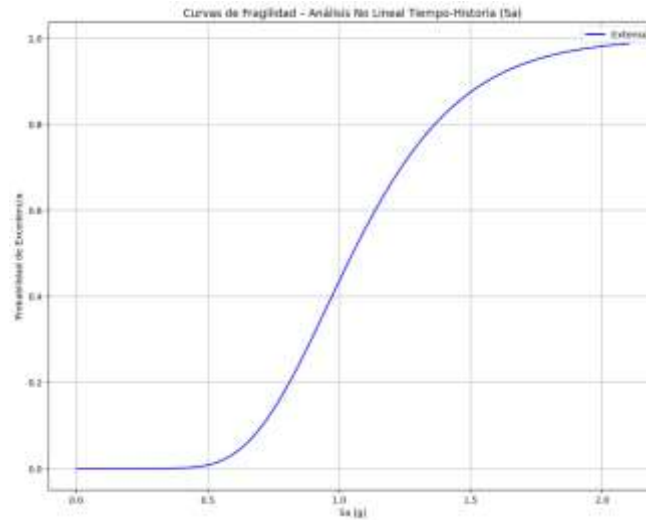
Sd	
θ_{ext}	β_{ext}
75.099	0.309



Anexo 147: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-M-2-A-7-X. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 154: Resultado para Sa de Edificación Cr-M-2-A-7-X. Fuente: Elaboración Propia.

Sa	
θ_{ext}	β_{ext}
1.051	0.309

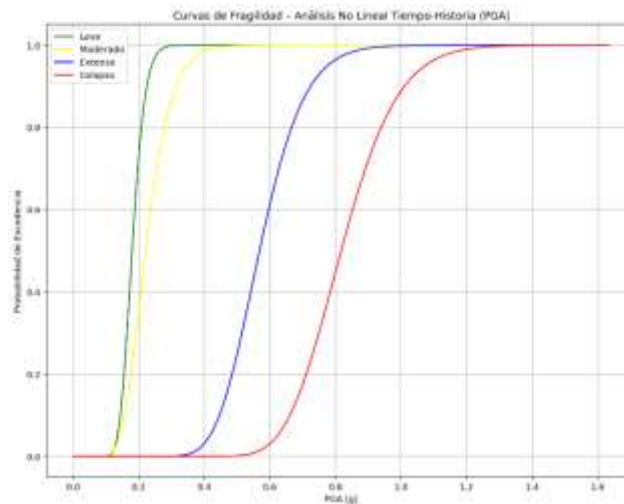


Anexo 148: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-M-2-A-7-X. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 155: Propiedades de Edificación Cr-M-2-A-7-Y. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Cr-M-2-A-7-Y	0.002	0.042	3.829	3.812	0.144

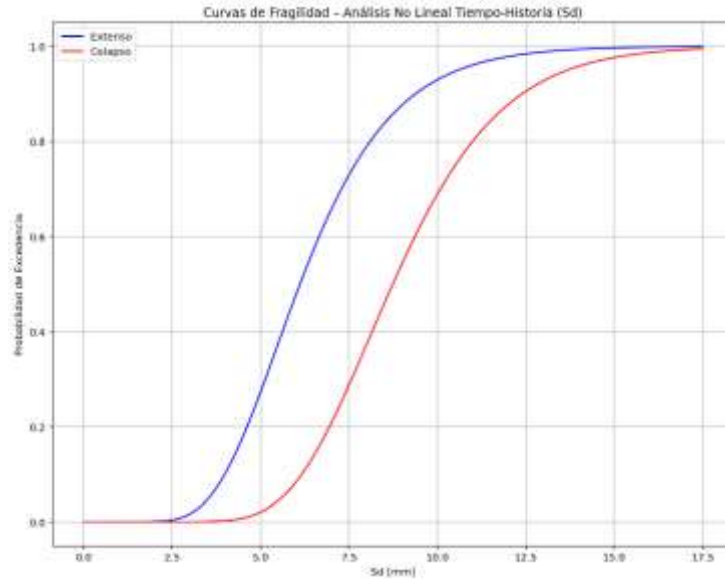
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.179	0.174	0.221	0.272	0.568	0.189	0.817	0.166



Anexo 149: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-M-2-A-7-Y. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 156: Resultado para Sd de Edificación Cr-M-2-A-7-Y. Fuente: Elaboración Propia.

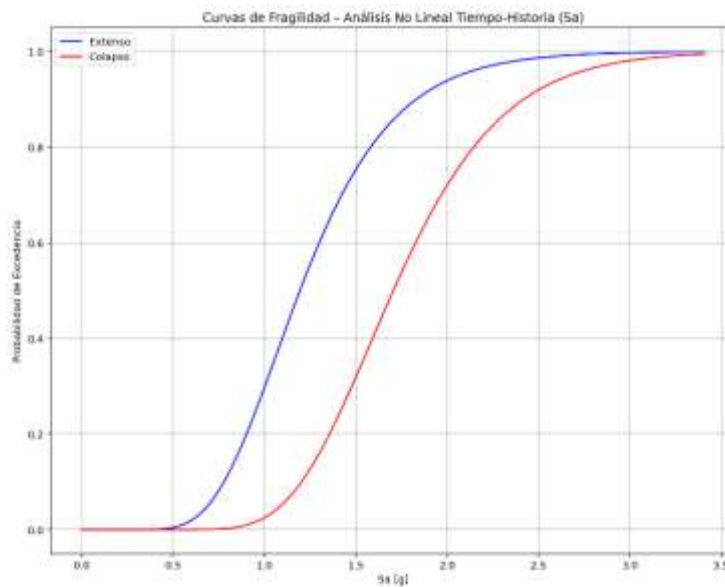
Sd			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
6.116	0.334	8.738	0.273



Anexo 150: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-M-2-A-7-Y. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 157: Resultado para Sa de Edificación Cr-M-2-A-7-Y. Fuente: Elaboración Propia.

Sa			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
1.194	0.334	1.705	0.273

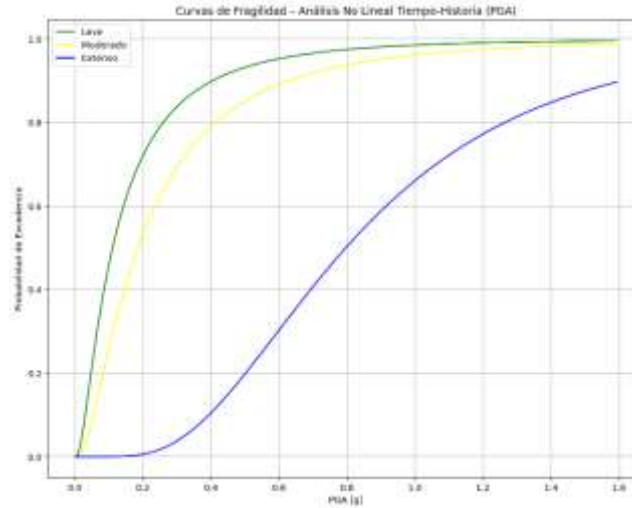


Anexo 151: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-M-2-A-7-Y. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 158: Propiedades de Edificación Cr-M-6-P-1. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T_s
Cr-M-6-P-1	0.062	0.527	2.964	3.638	0.909

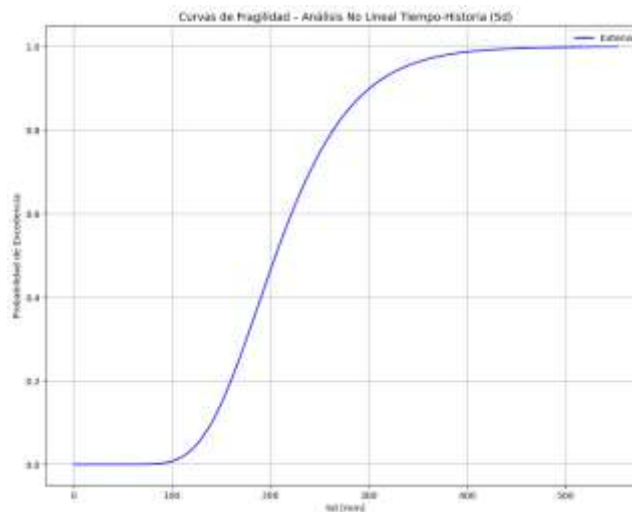
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.111	1.012	0.185	0.952	0.796	0.549	0.111	1.012



Anexo 152: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-M-6-P-1. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 159: Resultado para Sd de Edificación Cr-M-6-P-1. Fuente: Elaboración Propia.

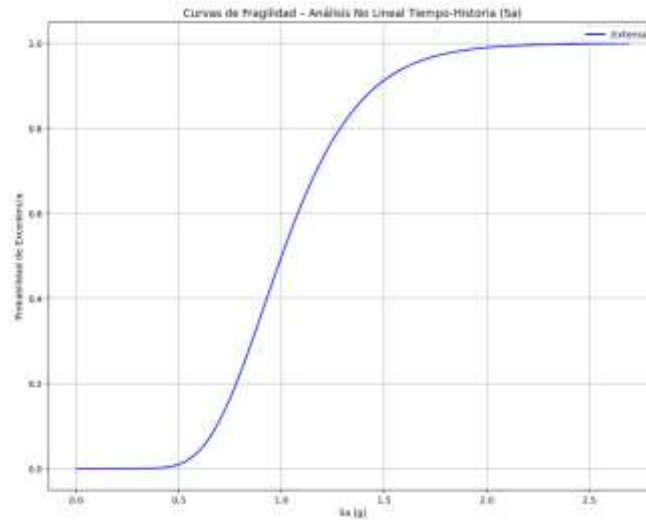
Sd	
θ_{ext}	β_{ext}
205.364	0.297



Anexo 153: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-M-6-P-1. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 160: Resultado para Sa de Edificación Cr-M-6-P-1. Fuente: Elaboración Propia.

Sa	
θ_{ext}	β_{ext}
1.001	0.297

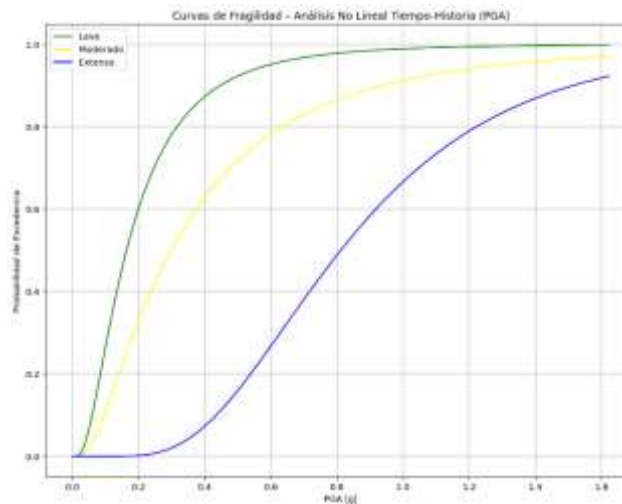


Anexo 154: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-M-6-P-1. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 161: Propiedades de Edificación Cr-M-6-P-2-X. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Cr-M-6-P-2-X	0.077	0.538	3.913	5.248	0.881

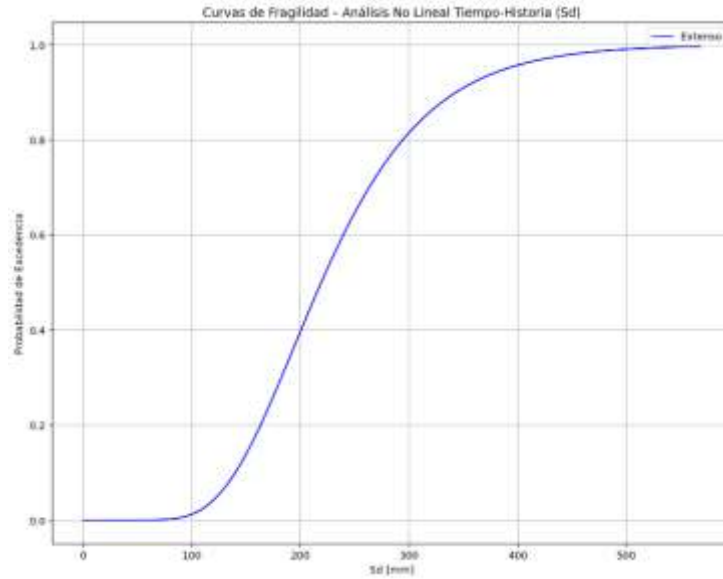
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.164	0.783	0.299	0.891	0.811	0.486	0.164	0.783



Anexo 155: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-M-6-P-2-X. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 162: Resultado para Sd de Edificación Cr-M-6-P-2-X. Fuente: Elaboración Propia.

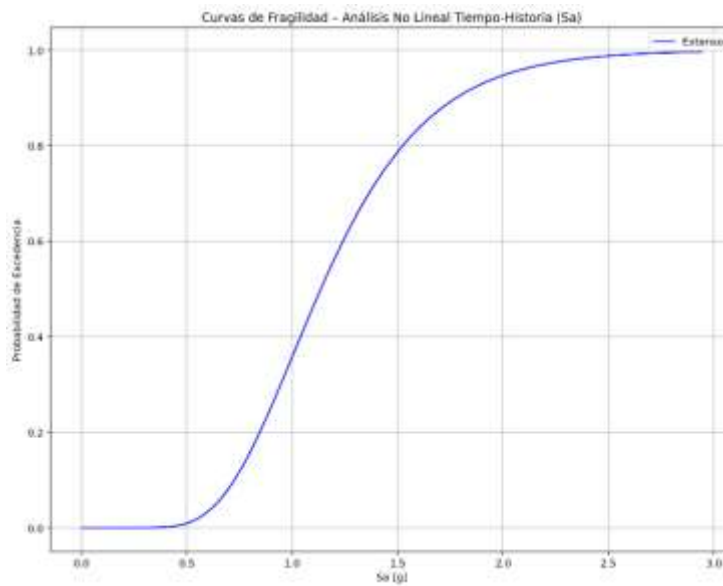
Sd	
θ_{ext}	β_{ext}
219.066	0.350



Anexo 156: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-M-6-P-2-X. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 163: Resultado para Sa de Edificación Cr-M-6-P-2-X. Fuente: Elaboración Propia.

Sa	
θ_{ext}	β_{ext}
1.135	0.350

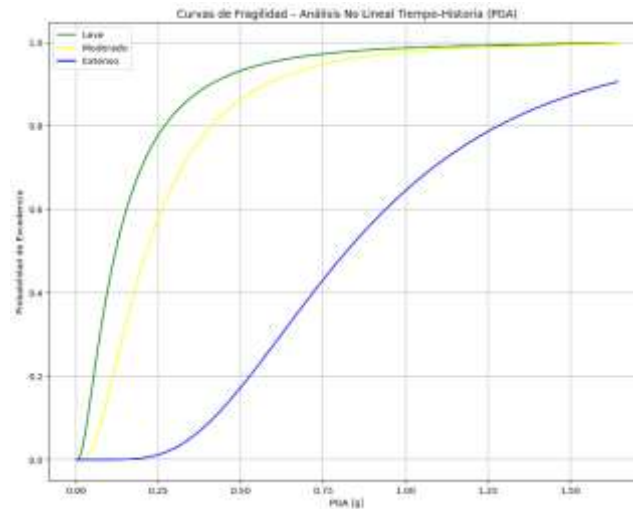


Anexo 157: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-M-6-P-2-X. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 164: Propiedades de Edificación Cr-M-6-P-2-Y. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T_s
Cr-M-6-P-2-Y	0.061	0.557	3.203	4.293	0.867

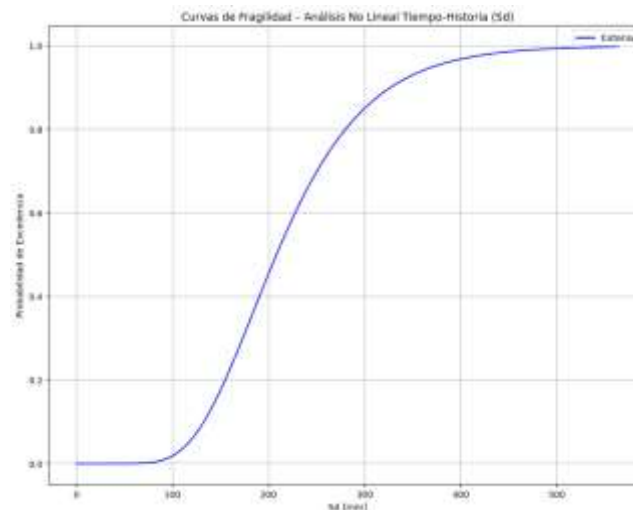
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.120	0.954	0.214	0.774	0.821	0.528	0.120	0.954



Anexo 158: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-M-6-P-2-Y. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 165: Resultado para Sd de Edificación Cr-M-6-P-2-Y. Fuente: Elaboración Propia.

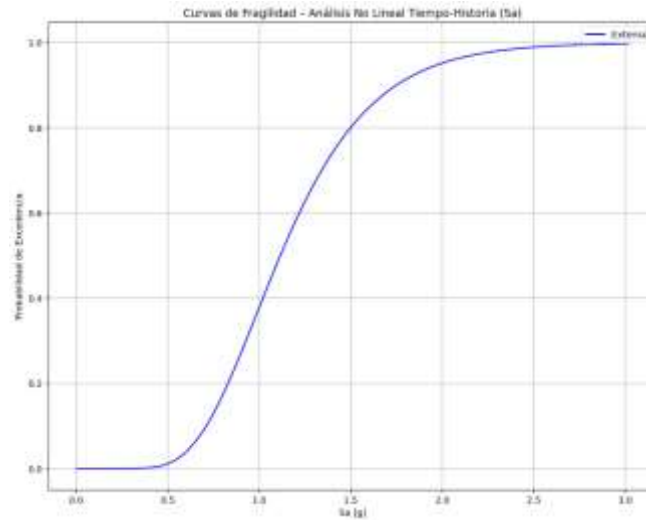
Sd	
θ_{ext}	β_{ext}
208.223	0.352



Anexo 159: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-M-6-P-2-Y. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 166: Resultado para Sa de Edificación Cr-M-6-P-2-Y. Fuente: Elaboración Propia.

Sa	
θ_{ext}	β_{ext}
1.114	0.352

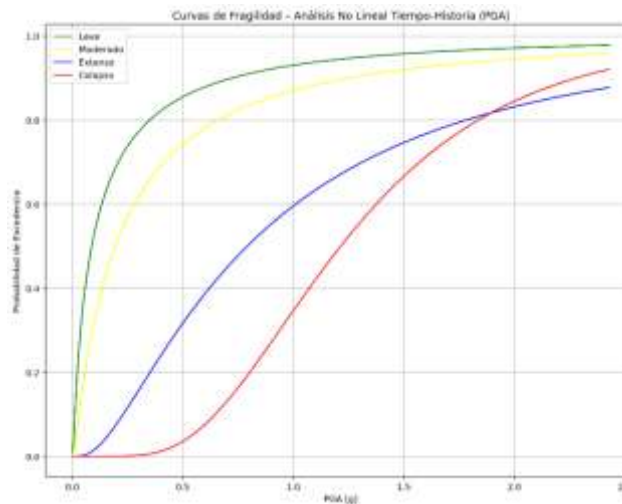


Anexo 160: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-M-6-P-2-Y. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 167: Propiedades de Edificación Cr-M-10-P-4. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Cr-M-10-P-4	0.123	0.700	2.079	2.457	1.528

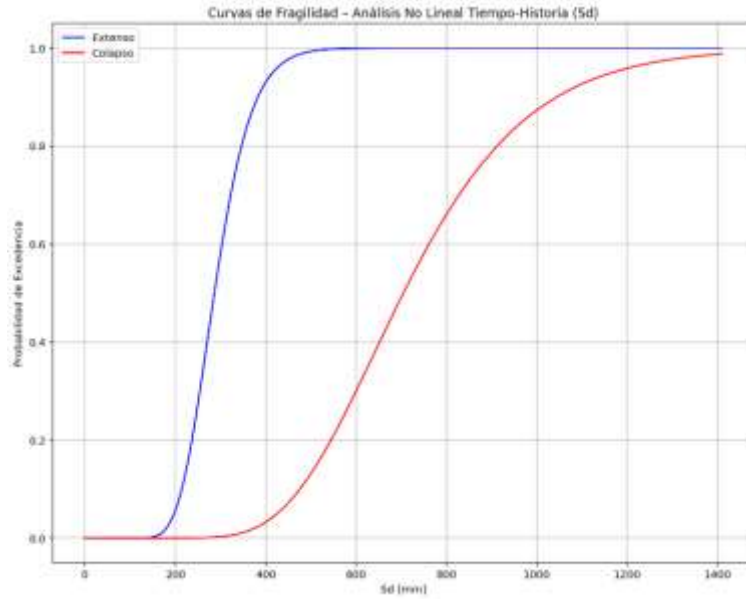
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.087	1.647	0.193	1.458	0.792	0.964	1.214	0.492



Anexo 161: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-M-10-P-4. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 168: Resultado para Sd de Edificación Cr-M-10-P-4. Fuente: Elaboración Propia.

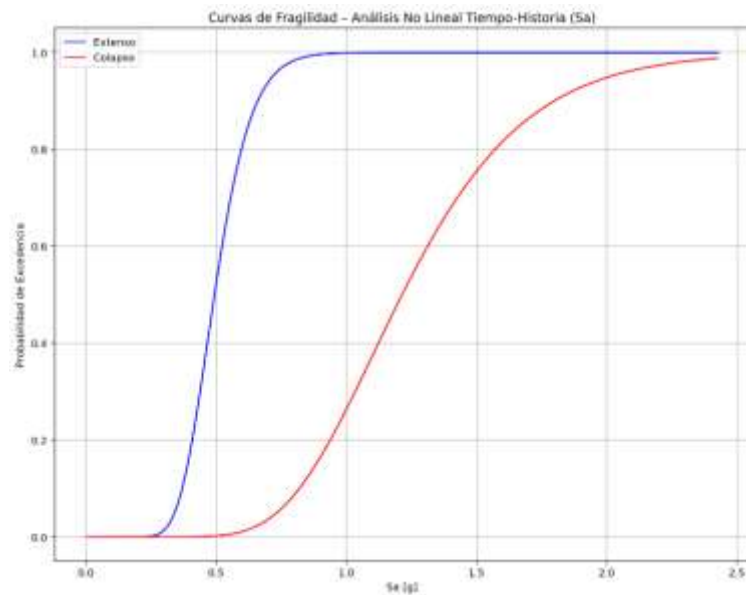
Sd			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
286.379	0.226	704.645	0.306



Anexo 162: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-M-10-P-4. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 169: Resultado para Sa de Edificación Cr-M-10-P-4. Fuente: Elaboración Propia.

Sa			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.493	0.226	1.214	0.306

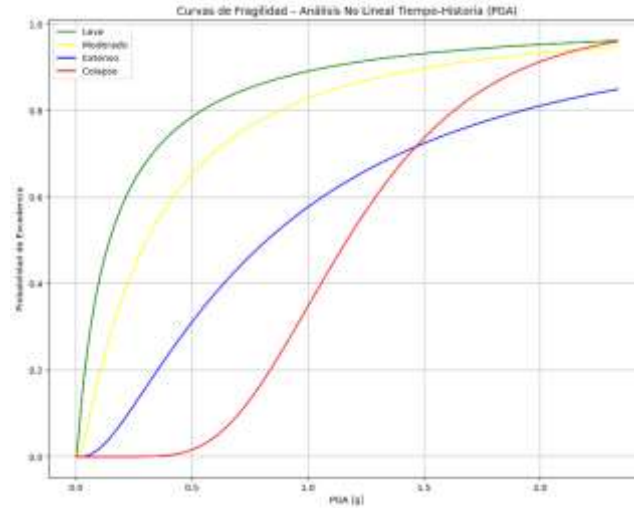


Anexo 163: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-M-10-P-4. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 170: Propiedades de Edificación Cr-M-10-P-5-X. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Cr-M-10-P-5-X	0.150	0.599	2.552	3.167	1.523

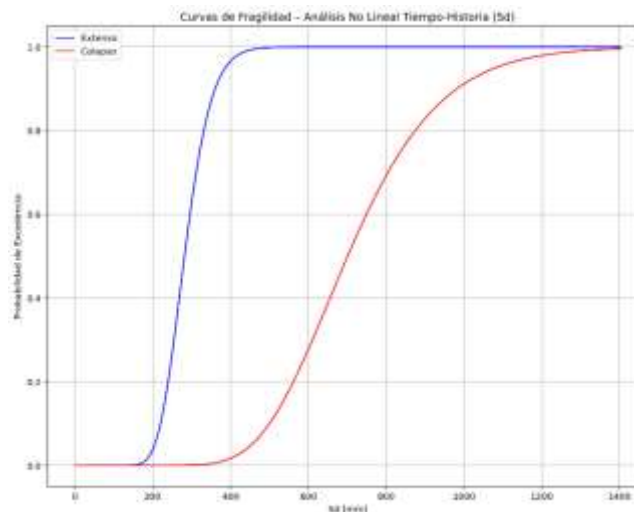
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.144	1.573	0.305	1.252	0.821	1.009	1.167	0.396



Anexo 164: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-M-10-P-5-X. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 171: Resultado para Sd de Edificación Cr-M-10-P-5-X. Fuente: Elaboración Propia.

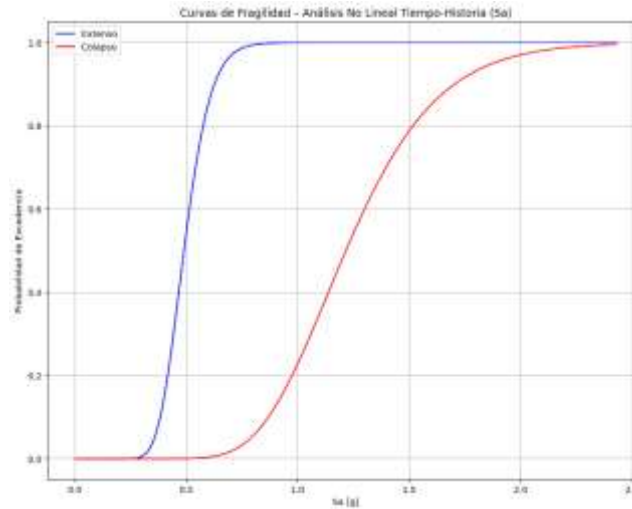
Sd			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
281.939	0.192	701.012	0.263



Anexo 165: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-M-10-P-5-X. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 172: Resultado para Sa de Edificación Cr-M-10-P-5-X. Fuente: Elaboración Propia.

Sa			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.489	0.192	1.216	0.263

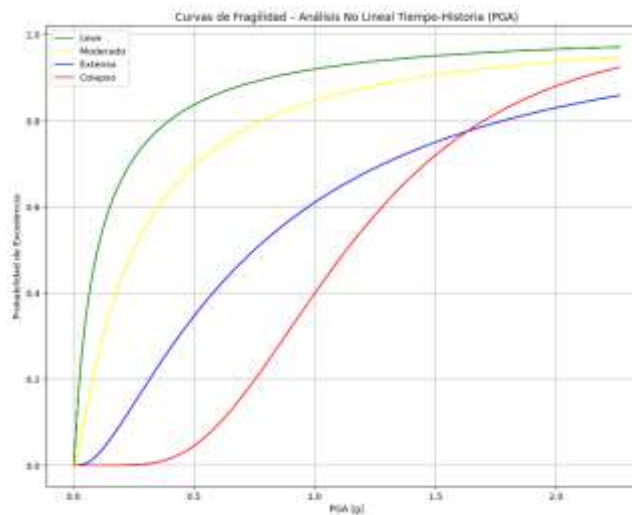


Anexo 166: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-M-10-P-5-X. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 173: Propiedades de Edificación Cr-M-10-P-5-Y. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Cr-M-10-P-5-Y	0.134	0.599	2.226	2.684	1.542

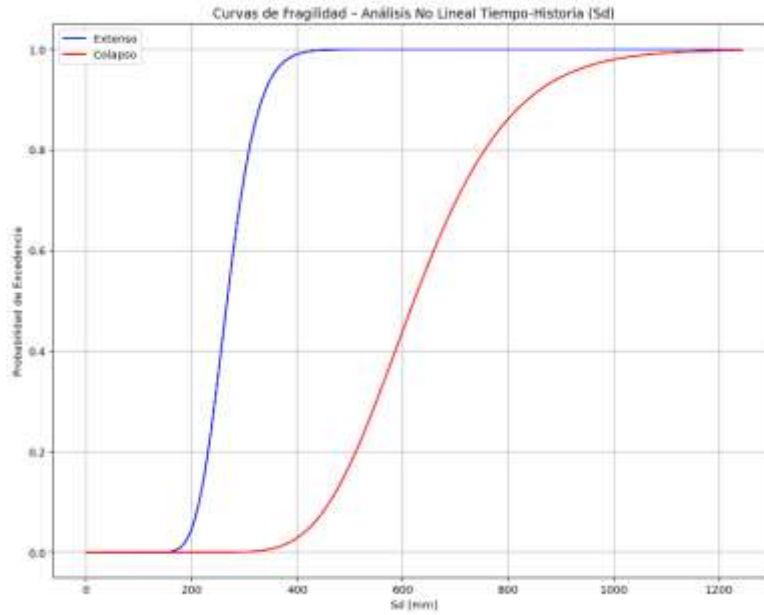
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.099	1.644	0.248	1.361	0.749	1.028	1.131	0.484



Anexo 167: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-M-10-P-5-Y. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 174: Resultado para Sd de Edificación Cr-M-10-P-5-Y. Fuente: Elaboración Propia.

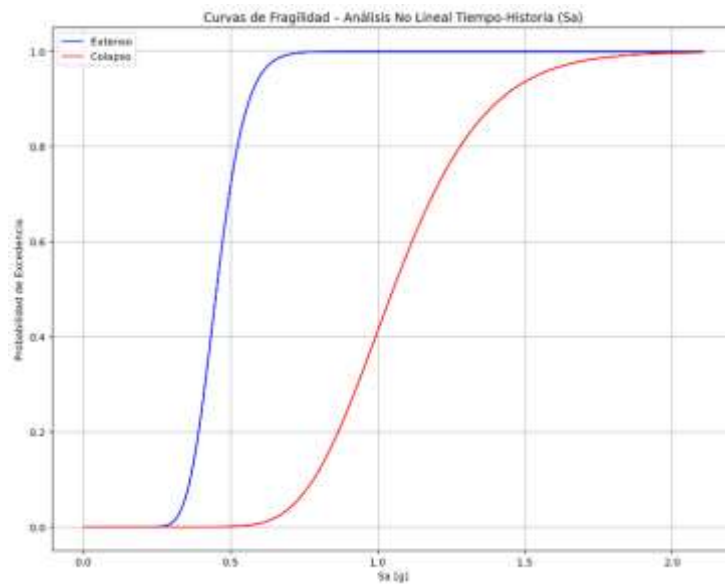
Sd			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
267.079	0.173	621.406	0.232



Anexo 168: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-M-10-P-5-Y. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 175: Resultado para Sa de Edificación Cr-M-10-P-5-Y. Fuente: Elaboración Propia.

Sa			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.452	0.173	1.052	0.232

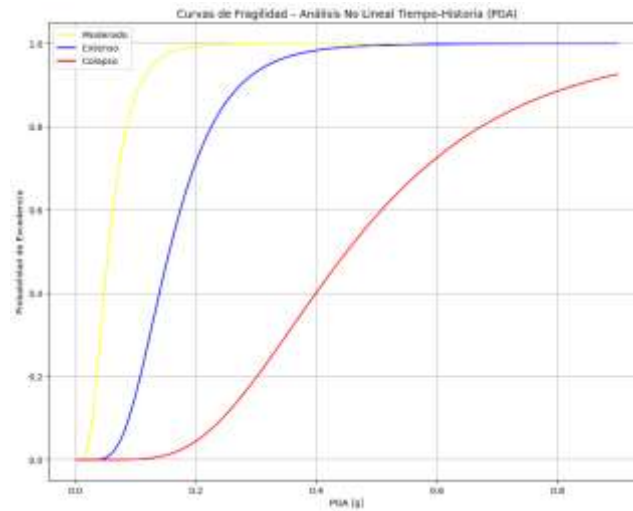


Anexo 169: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-M-10-P-5-Y. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 176: Propiedades de Edificación Cr-M-5-R-2-X. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Cr-M-5-R-2-X	0.007	0.054	1.348	2.654	0.453

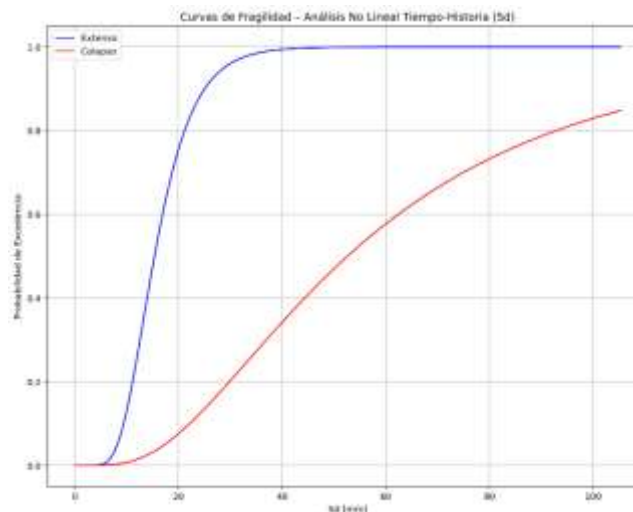
PGA					
θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.054	0.528	0.155	0.441	0.450	0.478



Anexo 170: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-M-5-R-2-X. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 177: Resultado para Sd de Edificación Cr-M-5-R-2-X. Fuente: Elaboración Propia.

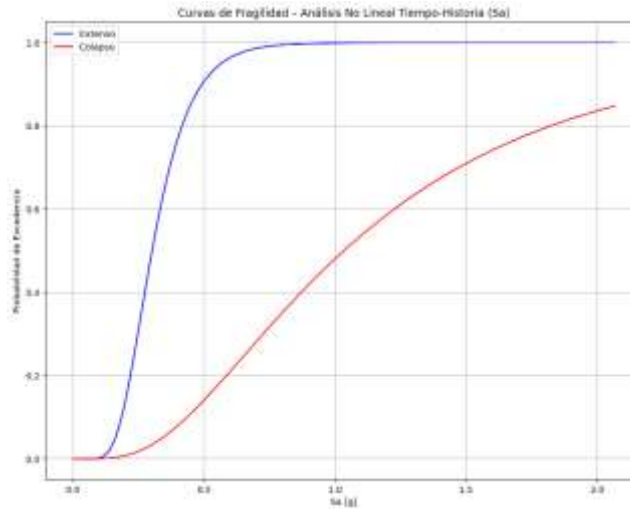
Sd			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
15.383	0.381	52.646	0.675



Anexo 171: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-M-5-R-2-X. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 178: Resultado para Sa de Edificación Cr-M-5-R-2-X. Fuente: Elaboración Propia.

Sa			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.302	0.381	1.033	0.675

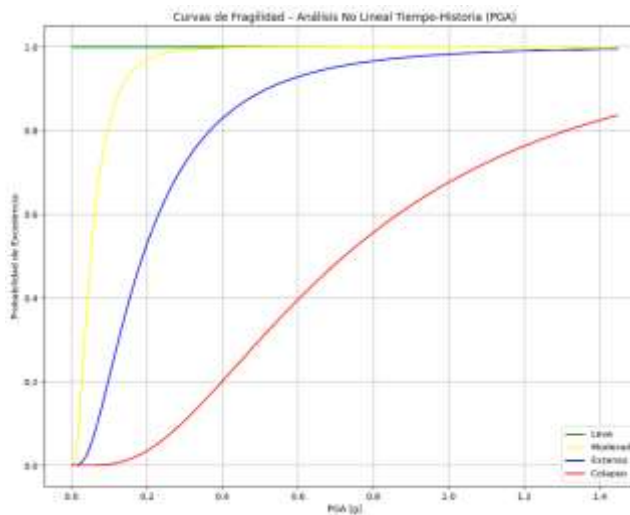


Anexo 172: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-M-5-R-2-X. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 179: Propiedades de Edificación Cr-M-5-R-2-Y. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Cr-M-5-R-2-Y	0.020	0.138	1.336	1.901	0.769

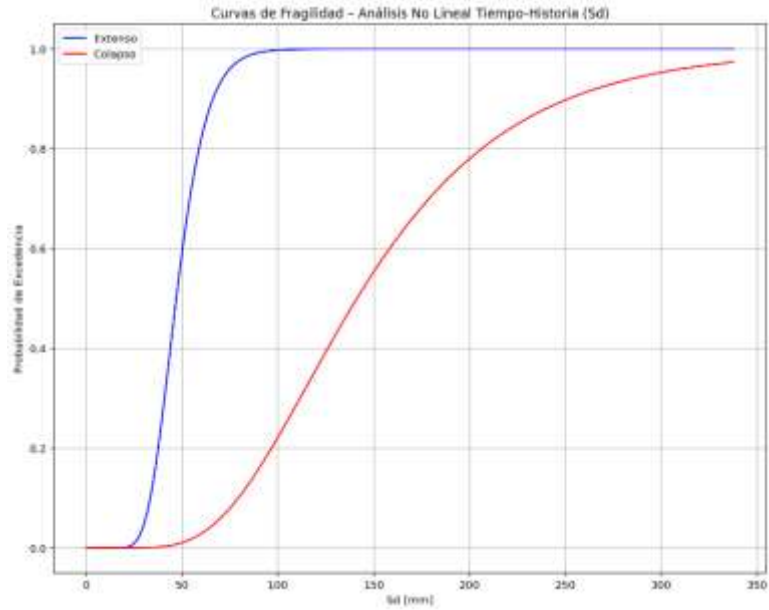
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.0001	0.564	0.052	0.730	0.189	0.788	0.723	0.707



Anexo 173: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-M-5-R-2-Y. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 180: Resultado para Sd de Edificación Cr-M-5-R-2-Y. Fuente: Elaboración Propia.

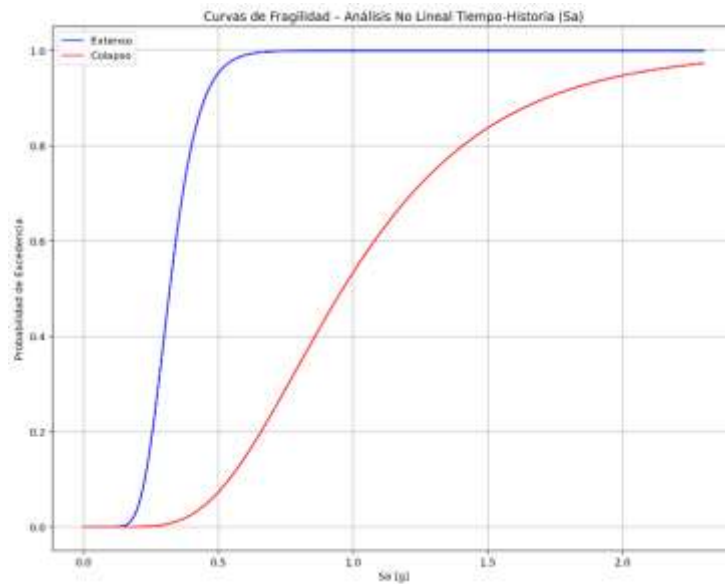
Sd			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
46.918	0.267	141.228	0.450



Anexo 174: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-M-5-R-2-Y. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 181: Resultado para Sa de Edificación Cr-M-5-R-2-Y. Fuente: Elaboración Propia.

Sa			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.319	0.267	0.267	0.450

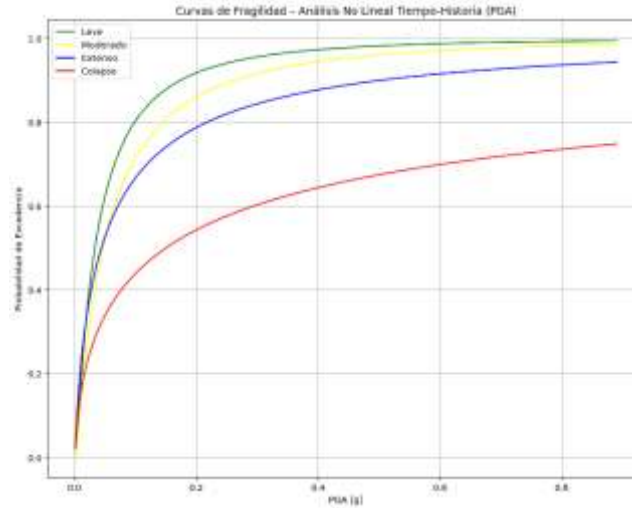


Anexo 175: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-M-5-R-2-Y. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 182: Propiedades de Edificación Cr-D-15-A-1. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Cr-D-15-A-1	0.059	0.197	0.193	0.222	3.474

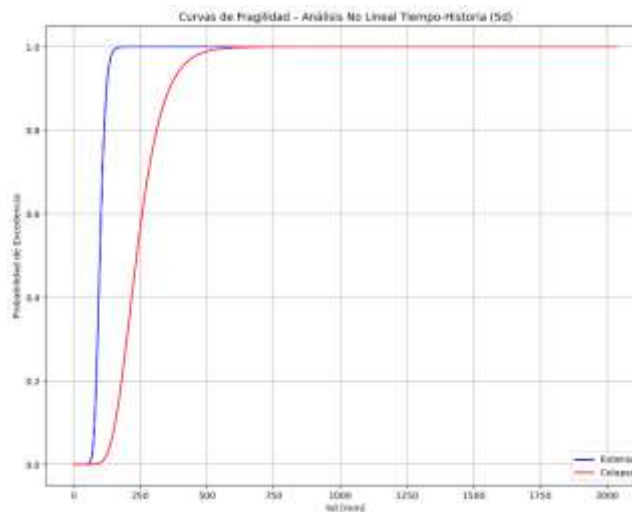
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.033	1.291	0.046	1.352	0.044	1.901	0.149	2.657



Anexo 176: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-15-A-1. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 183: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-15-A-1. Fuente: Elaboración Propia.

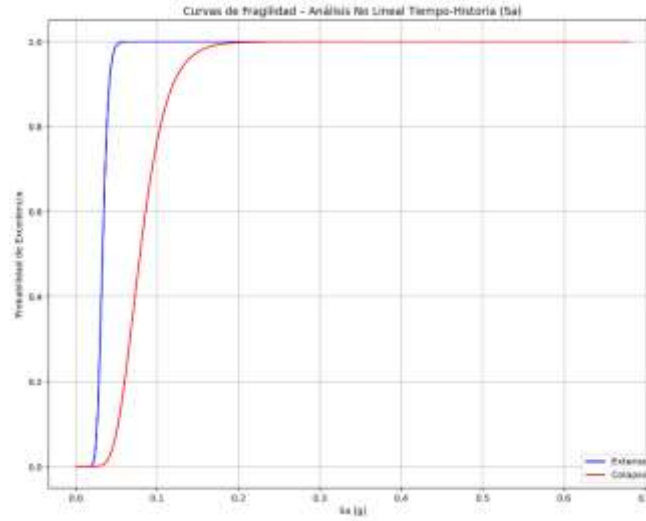
Sd			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
98.505	0.176	236.619	0.326



Anexo 177: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-15-A-1. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 184: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-15-A-1. Fuente: Elaboración Propia.

Sa			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.032	0.176	0.079	0.326

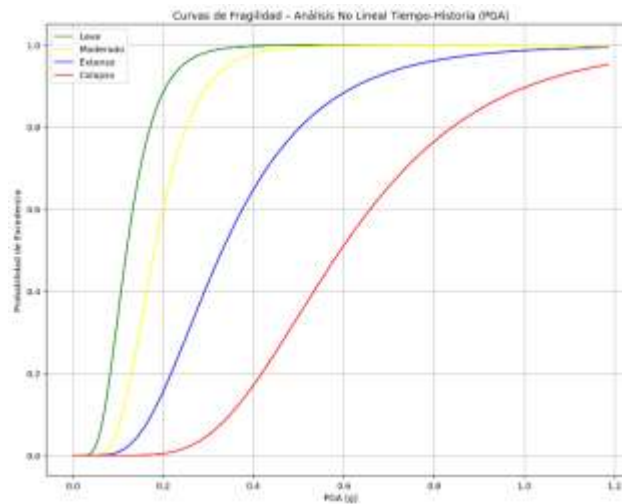


Anexo 178: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-15-A-1. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 185: Propiedades de Edificación Cr-D-4-A-5-X. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Cr-D-4-A-5-X	0.026	0.080	3.646	3.683	0.531

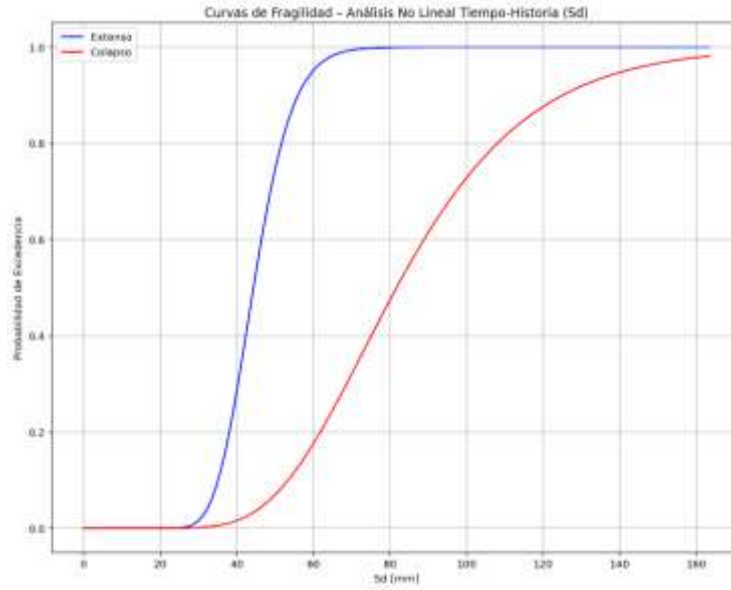
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.119	0.432	0.181	0.392	0.331	0.498	0.593	0.414



Anexo 179: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-4-A-5-X. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 186: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-4-A-5-X. Fuente: Elaboración Propia.

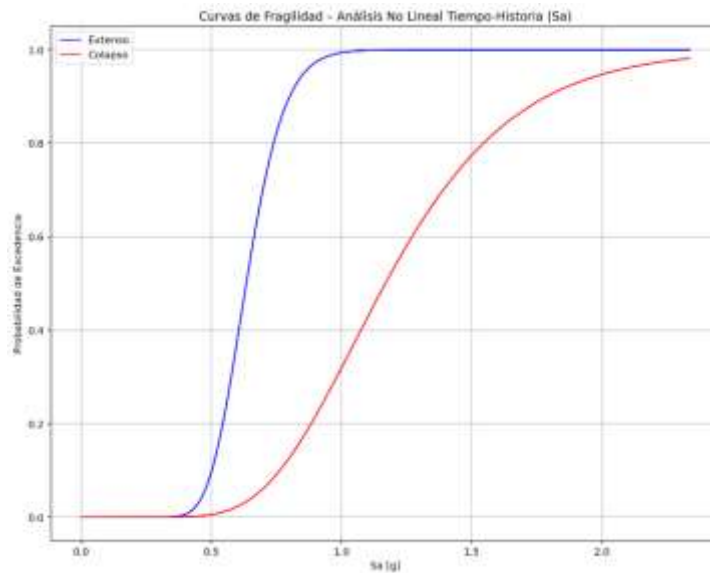
Sd			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
44.346	0.182	81.717	0.331



Anexo 180: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-4-A-5-X. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 187: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-4-A-5-X. Fuente: Elaboración Propia.

Sa			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.633	0.182	1.168	0.331

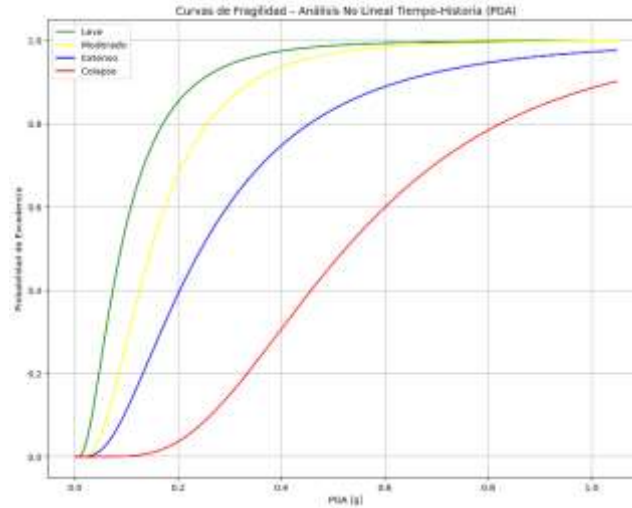


Anexo 181: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-4-A-5-X. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 188: Propiedades de Edificación Cr-D-4-A-5-Y. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Cr-D-4-A-5-Y	0.035	0.097	2.759	2.794	0.708

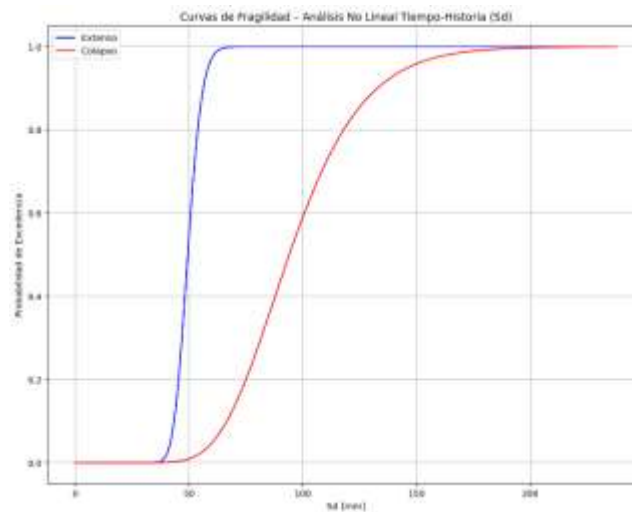
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.089	0.767	0.148	0.653	0.245	0.734	0.524	0.537



Anexo 182: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-D-4-A-5-Y. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 189: Resultado para Sd de Edificación Cr-D-4-A-5-Y. Fuente: Elaboración Propia.

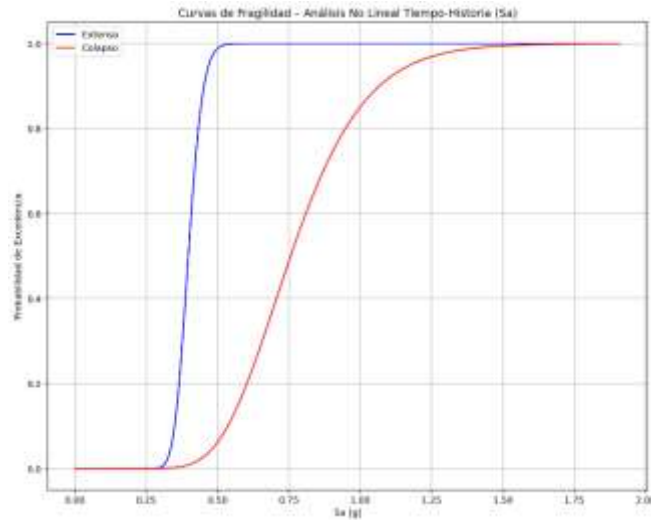
Sd			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
49.432	0.101	94.050	0.269



Anexo 183: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-D-4-A-5-Y. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 190: Resultado para Sa de Edificación Cr-D-4-A-5-Y. Fuente: Elaboración Propia.

Sa			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.397	0.101	0.756	0.269

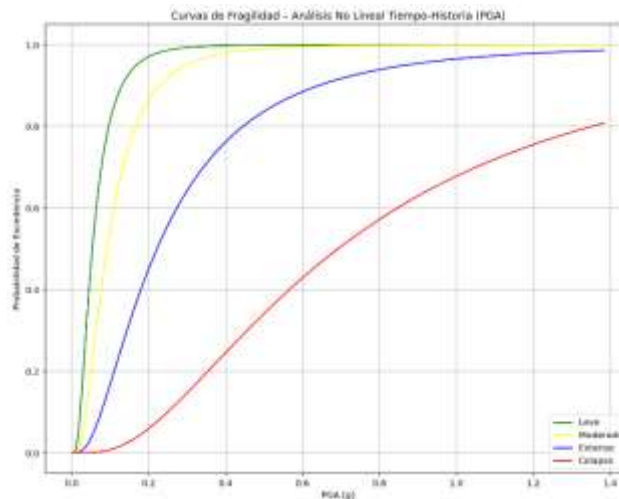


Anexo 184: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-D-4-A-5-Y. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 191: Propiedades de Edificación Cr-M-4-A-6-X. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Cr-M-4-A-6-X	0.026	0.133	1.834	1.859	0.748

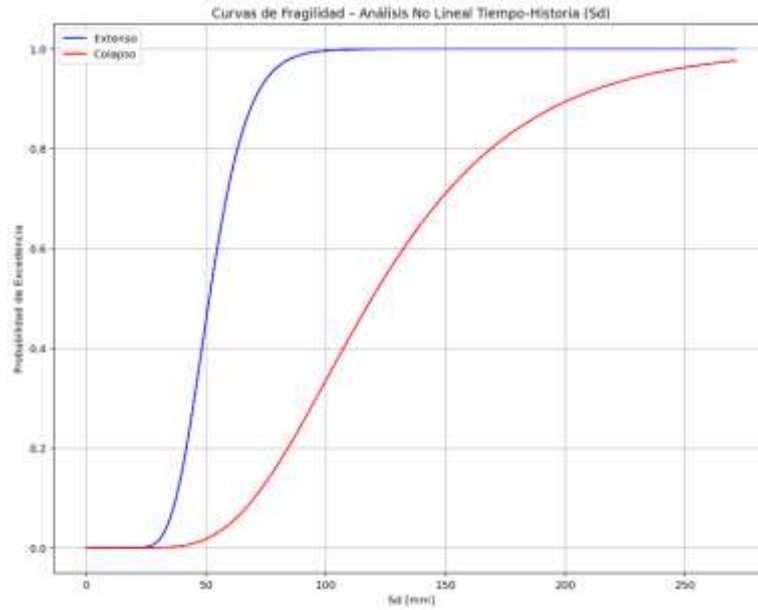
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.053	0.695	0.091	0.717	0.221	0.828	0.692	0.796



Anexo 185: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-M-4-A-6-X. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 192: Resultado para Sd de Edificación Cr-M-4-A-6-X. Fuente: Elaboración Propia.

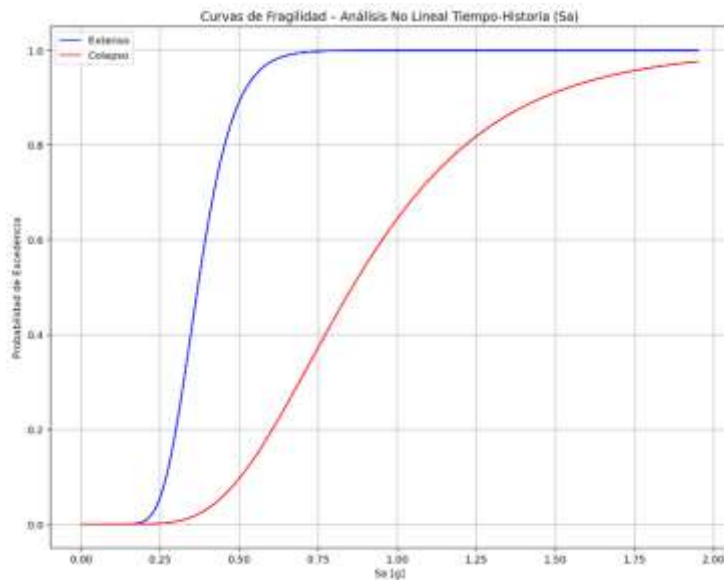
Sd			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
51.294	0.246	119.223	0.414



Anexo 186: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-M-4-A-6-X. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 193: Resultado para Sa de Edificación Cr-M-4-A-6-X. Fuente: Elaboración Propia.

Sa			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.369	0.246	0.857	0.414

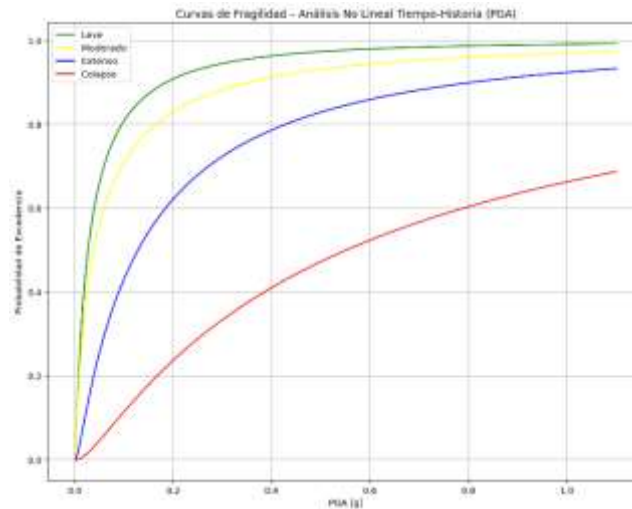


Anexo 187: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-M-4-A-6-X. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 194: Propiedades de Edificación Cr-M-4-A-6-Y. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)	T _s
Cr-M-4-A-6-Y	0.050	0.185	0.996	1.062	1.408

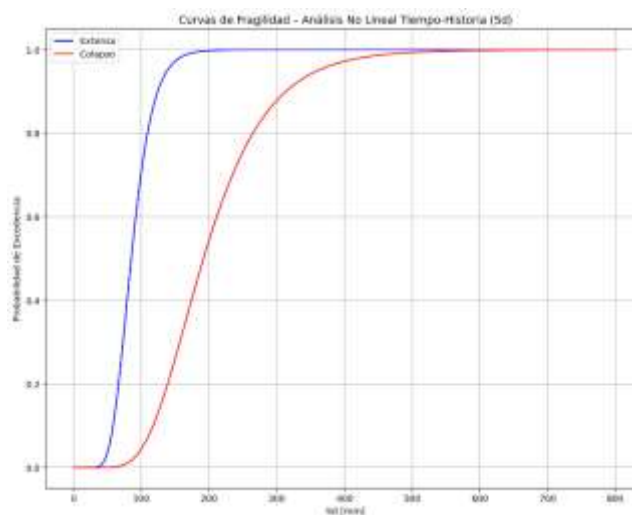
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.027	1.499	0.038	1.723	0.128	1.429	0.550	1.416



Anexo 188: Curva de Fragilidad en PGA para Cr-M-4-A-6-Y. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 195: Resultado para Sd de Edificación Cr-M-4-A-6-Y. Fuente: Elaboración Propia.

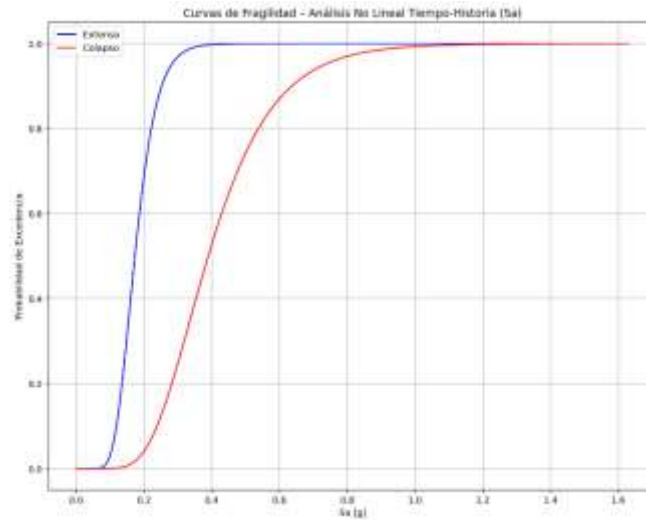
Sd			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
85.134	0.295	191.755	0.383



Anexo 189: Curva de Fragilidad en Sd para Cr-M-4-A-6-Y. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 196: Resultado para Sa de Edificación Cr-M-4-A-6-Y. Fuente: Elaboración Propia.

Sa			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.173	0.295	0.389	0.383

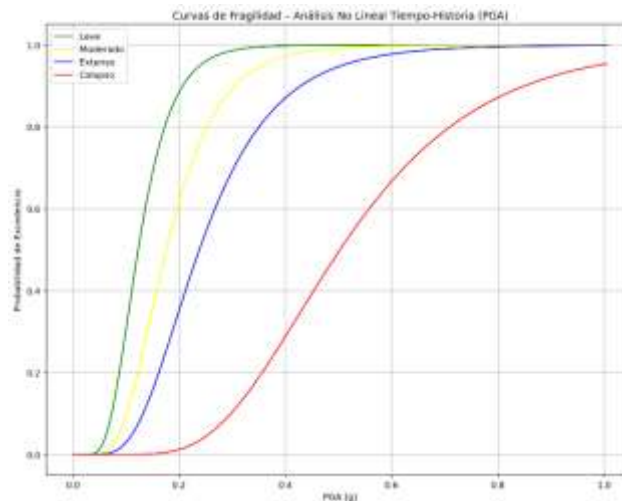


Anexo 190: Curva de Fragilidad en Sa para Cr-M-4-A-6-Y. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 197: Propiedades de Edificación Af-M-3-M-1. Fuente: Elaboración Propia.

ESTRUCTURA	PUNTOS BILINEAL				PERIODO
	Nomenclatura	Dy (m)	Du (m)	Ay (m/s ²)	Au (m/s ²)
Af-M-3-M-1	0.022	0.049	3.599	4.127	0.491

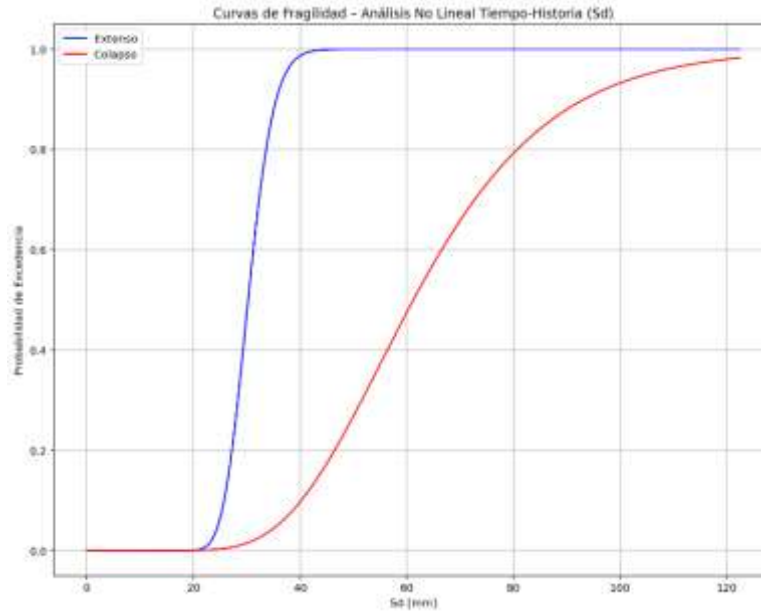
PGA							
θ_{leve}	β_{leve}	θ_{mod}	β_{mod}	θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.123	0.405	0.176	0.429	0.238	0.459	0.503	0.409



Anexo 191: Curva de Fragilidad en PGA para Af-M-3-M-1. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 198: Resultado para Sd de Edificación Af-M-3-M-1. Fuente: Elaboración Propia.

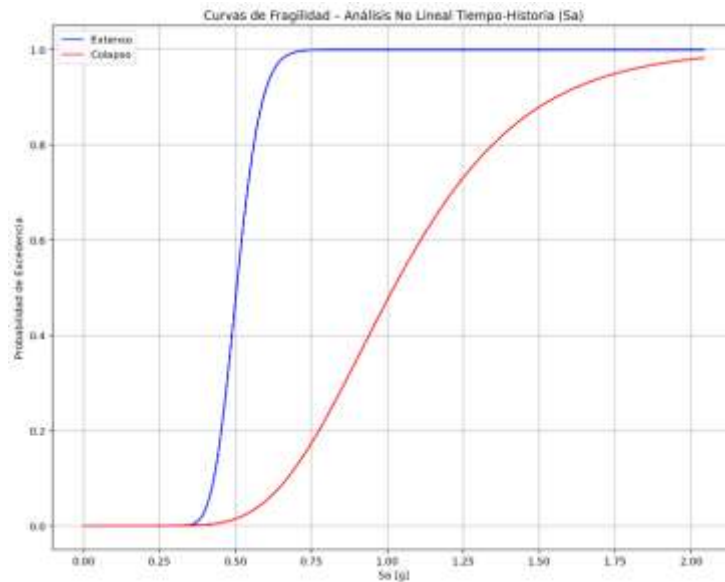
Sd			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
30.231	0.126	61.221	0.328



Anexo 192: Curva de Fragilidad en Sd para Af-M-3-M-1. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 199: Resultado para Sa de Edificación Af-M-3-M-1. Fuente: Elaboración Propia.

Sa			
θ_{ext}	β_{ext}	θ_{col}	β_{col}
0.504	0.126	1.020	0.328



Anexo 193: Curva de Fragilidad en Sa para Af-M-3-M-1. Fuente: Elaboración Propia.



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Nimbriotis Pincay, Camila Verónica**, con C.C: # 091443681 y **Farfán Luque, Juan Ayrton**, con C.C: # 0926651506 autores del trabajo de titulación: **Desarrollo de Programación en Python para el Cálculo de Curvas de Fragilidad de Edificaciones Mediante Análisis No Lineal en Tiempo-Historia** previo a la obtención del título de **Ingeniera Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaramos tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizamos a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, **27 de Febrero de 2026**

f. 

Nombre: **Nimbriotis Pincay, Camila Verónica**
C.C: **0941443681**

f. 

Nombre: **Farfán Luque, Juan Ayrton**
C.C: **0926651506**



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA:	Desarrollo de Programación en Python para el Cálculo de Curvas de Fragilidad de Edificaciones Mediante Análisis No Lineal en Tiempo-Historia		
AUTOR(ES)	Nimbriotis Pincay, Camila Verónica y Farfán Luque, Juan Ayrton		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Hernández Barredo, Jaime Francisco, M.Sc.		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Ingeniería		
CARRERA:	Ingeniería Civil		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero Civil		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	27 de Febrero de 2026	No. DE PÁGINAS:	218
ÁREAS TEMÁTICAS:	Sismo resistencia, Estructuras, programación, hormigón.		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Fragilidad, Bilineal, Newmark, No Lineal, Histéresis, Tiempo-Historia, Punto de Desempeño.		
RESUMEN/ABSTRACT:	<p>Este trabajo desarrolla e implementa una metodología para estimar curvas de fragilidad sísmica mediante el análisis no lineal en tiempo-historia (ANLTH). La estructura se representa como un sistema de un grado de libertad (SDOF) con comportamiento bilineal, definido por parámetros de fluencia y desplazamiento último. La respuesta se obtiene con integración paso a paso usando el método de Newmark, permitiendo construir la relación fuerza vs desplazamiento (histéresis) y extraer, para cada registro sísmico, un punto de desempeño basado en la respuesta máxima absoluta. Con estos resultados se genera la nube de puntos que relaciona una medida de intensidad seleccionada (PGA, Sd elástico o Sa elástico) con el desempeño del sistema. Para cada estado de daño, los puntos se clasifican por excedencia respecto a umbrales definidos y se procesa estadísticamente el rango de intensidades mediante agrupación de registros, calculando intensidades promedio por grupo y fracciones de excedencia k/N. Adicionalmente, se incorporan puntos de anclaje en intensidades menores y mayores al rango, obtenidos a partir de registros disponibles o, cuando no existen suficientes datos, mediante valores generados por porcentajes artificiales de puntos límites; estos anclajes estabilizan el ajuste y aseguran una transición probabilística coherente en los extremos θ y β de las curvas de fragilidad por estado de daño. El procedimiento se automatiza en un código que integra la lectura de registros, el procesamiento estadístico y la exportación de tablas y curvas, proporcionando una herramienta aplicable a evaluaciones de desempeño y fragilidad estructural.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-98 452 6190 99 183 0249	E-mail: camila.nimbriotis@cu.ucsg.edu.ec juan.farfan01@cu.ucsg.edu.ec	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO DE TITULACIÓN):	Nombre: Glas Cevallos, Clara Catalina		
	Teléfono: +593-4-984616792		
	E-mail: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			