

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE  
HUAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y  
CIVIL  
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE  
INGENIERÍA CIVIL



ESTIMACIÓN DE PÉRDIDA POR SISMO MEDIANTE CURVAS  
DE FRAGILIDAD APLICADO A LA "BIBLIOTECA CENTRAL DE  
LA UNSCH"

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL

Presentado por:

OSCAR CARLOS, MONTALVO OTIVO

Dirigido por:

ING. RUBEN A. YACHAPA CONDEÑA

AYACUCHO PERÚ

2014

**ESTIMACIÓN DE PÉRDIDA POR SISMO MEDIANTE CURVAS DE  
FRAGILIDAD APLICADO A LA “BIBLIOTECA CENTRAL DE LA  
UNSCH”**

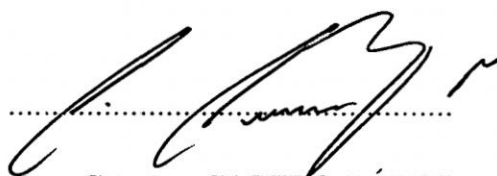
RECOMENDADO: 23 de Septiembre de 2014

APROBADO : 21 de Noviembre de 2014



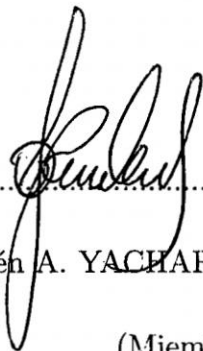
MSc. Ing. Carlos A. PRADO PRADO

(Presidente)



Ing. Cristian CASTRO PÉREZ

(Miembro)



Ing. Rubén A. YACHAPA CONDEÑA

(Miembro)



Ing. Javier F. TAIPE CARBAJAL

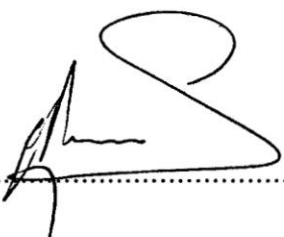
(Miembro)



Ing. Floro N. YANGALI GUERRA

(Secretario Docente)

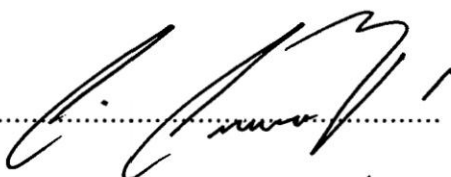
Según el acuerdo constatado en el Acta, levantada el 21 de noviembre del 2014, en la Sustentación de Tesis Profesional, presentado por el Bachiller en Ciencias de la Ingeniería Civil señor Oscar Carlos Montalvo Otivo, con el trabajo titulado “ESTIMACIÓN DE PÉRDIDA POR SISMO MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD APLICADO A LA BIBLIOTECA CENTRAL DE LA UNSCH”, fue calificado con la nota de DIECISÉIS (16), por lo que se da la respectiva APROBACIÓN.



.....

MSc. Ing. Carlos A. PRADO PRADO

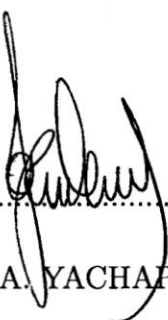
(Presidente)



.....

Ing. Cristian CASTRO PÉREZ


(Miembro)



.....

Ing. Rubén A. YACHAPA CONDEÑA

(Miembro)



.....

Ing. Javier F. TAIPE CARBAJAL

(Miembro)



.....

Ing. Floro N. YANGALI GUERRA

(Secretario Docente)

# PRESENTACIÓN

La presente tesis lleva por título “Estimación de pérdida por sismo mediante curvas de fragilidad aplicado a la Biblioteca Central de la UNSCH”, y forma parte de los requisitos para optar el título académico de Ingeniero Civil, de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, la metodología empleada tiene una contribución en el área de ingeniería estructural porque nos permite estimar las pérdidas económicas de una estructura después de un sismo. Esperando a que su aplicación sirva a todos aquellos estudiantes y profesionales inmersos en la investigación.

**Oscar C. Montalvo Otivo**

montalvofiq@hotmail.com

*ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL*

*UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA.*

*Ayacucho, Noviembre de 2014.*

# DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado especialmente a mi madre, por las infinitas enseñanzas en la vida y a mis hermanos por el apoyo constante.

# AGRADECIMIENTOS

- A mi madre, por ser el objetivo principal de mi esfuerzo.
- A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, alma máter del cual me siento digno.
- A los Catedráticos de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil.
- Al Ingeniero Rubén A. Yachapa Condeña, por su colaboración y orientación en la presente investigación .
- Al Ingeniero Cristian Castro Pérez, por su grandes enseñanzas y formador de buenos profesionales.
- Al Ingeniero Ing. Javier F. Taipe Carbajal, talentoso amigo, por sus consejos de superación profesional.
- En general, agradecer a todos aquellos han formado parte importante en mi formación y vida profesional.

# RESUMEN

La Biblioteca de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, fue construido a partir de 1982, por lo que se desconoce el grado de vulnerabilidad sísmica de la estructura. Actualmente uno de los métodos más usados para calcular la vulnerabilidad sísmica es mediante la representación de curvas de fragilidad, el cual son funciones que representan la vulnerabilidad de una estructura cuando está sometida a diversos niveles de intensidad sísmica. En la presente investigación se realizó el análisis dinámico tiempo historia para 30 acelerogramas sintéticos, donde se obtiene la deriva de piso y clasificado según el nivel de daño propuesto por Ghobarah en leve, moderado, extensivo y completo. De los niveles de daño obtenido del análisis, se obtiene la función de distribución acumulada lo cual se ajusta a una función CDF log normal. Para obtener una mejor representación de la curvas de fragilidad y obtener un resultado más fiable se realiza un programa en Matlab que permite generar la Simulación de Montecarlo para todas las probables soluciones( $n$  variables aleatorias), y con los valores propuestos por HAZUS- FEMA para estructuras de concreto armado se obtiene la pérdida económica por sismo de la edificación planteada.

# Índice general

Portada	I
Presentación	I
Dedicatoria	II
Agradecimiento	III
Resumen	IV
Índice general	V
Índice de cuadros	XII
Índice de figuras	XIV
<b>I Introducción</b>	<b>1</b>
<b>Fundamentación</b>	<b>2</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>2</b>
1.1. Generalidades. . . . .	2
1.2. Motivación de la Investigación. . . . .	3

## ÍNDICE GENERAL

1.3. Planteamiento del problema. . . . .	4
1.4. Antecedentes y Justificación. . . . .	4
1.5. Hipótesis. . . . .	6
1.6. Objetivos. . . . .	6
1.6.1. Objetivos Generales. . . . .	6
1.6.2. Objetivos Específicos. . . . .	6
1.7. Alcance y Limitaciones. . . . .	7
1.7.1. Alcances. . . . .	7
1.7.2. Limitaciones. . . . .	7
1.8. Diseño metodológico. . . . .	8
1.8.0.1. Tipo de estudio. . . . .	8
1.8.0.2. Técnicas de investigación . . . . .	8
1.8.0.3. Universo, población y muestra . . . . .	9
1.8.0.4. Recolección de datos . . . . .	10
1.8.0.5. Análisis de datos. . . . .	10
1.8.0.6. Análisis estadístico. . . . .	11
1.9. Organización del estudio. . . . .	11
<b>II Marco Teórico</b>	<b>12</b>
<b>2. FUNDAMENTO TEÓRICO</b>	<b>13</b>
2.1. Reseña histórica de la norma de diseño E-030 en el Perú. . . . .	13
2.2. Historia de los Sismos en Ayacucho. . . . .	15
2.3. Definiciones de Estadística y Probabilidad. . . . .	17
2.3.1. Estadística. . . . .	17

## ÍNDICE GENERAL

2.3.2.	Probabilidad. . . . .	18
2.3.3.	Espacio Muestral. . . . .	19
2.3.4.	Variables aleatorias. . . . .	19
2.3.5.	Función de distribución de probabilidad. . . . .	20
2.3.6.	Distribución de Probabilidad Normal (Gaussiana) . . . . .	22
2.3.7.	Teorema del Límite Central. . . . .	23
2.3.8.	Histograma. . . . .	23
2.3.9.	Prueba de Hipótesis. . . . .	24
2.3.9.1.	Nivel de significación $\alpha$ . . . . .	25
2.4.	Conceptos Generales. . . . .	25
2.4.1.	Filosofía de diseño tradicional. . . . .	25
2.4.2.	Vulnerabilidad Sísmica. . . . .	26
2.4.3.	Amenaza sísmica. . . . .	26
2.4.4.	Riesgo sísmico. . . . .	27
2.4.5.	Daño sísmico. . . . .	27
2.4.6.	Visión 2000. . . . .	28
2.4.7.	Curvas de Fragilidad. . . . .	29
2.4.8.	Curvas de Capacidad. . . . .	30
2.5.	Métodos para generar Curvas de Fragilidad. . . . .	31
2.5.1.	Métodos basados en la observación de campo. . . . .	31
2.5.2.	Métodos experimentales. . . . .	33
2.5.3.	Métodos a partir de la opinión de expertos. . . . .	34
2.5.4.	Métodos analíticos. . . . .	35
2.6.	Curvas de fragilidad por el método analítico. . . . .	36

## ÍNDICE GENERAL

2.6.1. Modelo log normal simple. . . . .	38
2.7. Fundamentos para el análisis. . . . .	40
2.7.1. Acelerogramas sintéticos. . . . .	40
2.7.2. Deriva de piso. . . . .	41
2.7.3. Simulación de Montecarlo. . . . .	43
2.7.3.1. Simulación. . . . .	43
2.7.3.2. Generación de Números Aleatorios. . . . .	44
2.7.3.3. Método del rechazo. . . . .	45
2.7.4. Reglamento Nacional de Tasaciones. . . . .	46
2.7.5. Pérdida económica. . . . .	47
2.7.5.1. Estimación de pérdida económica según HAZUS–FEMA . . . . .	47
2.7.5.2. Estimación de pérdida económica usando otros factores de daño. . . . .	48
2.7.6. Reparación y Reforzamiento de elementos estructurales existentes. . . . .	49
2.7.6.1. Reparación y Reforzamiento de muros de corte. . . . .	50
2.7.7. Disipadores de energía. . . . .	50
2.7.7.1. Amortiguamiento de estructuras viscoelástico. . . . .	52
2.8. Investigaciones Similares. . . . .	53
2.8.1. Romme Rojas Gil (Venezuela 2010). . . . .	53
2.8.2. Roberto Aguiar (Ecuador, 2006) . . . . .	54
2.8.3. Metodología HAZUS-FEMA, (2009). . . . .	54
2.8.4. Estimación de pérdidas por sismo en edificios Peruanos mediante Curvas de Fragilidad analíticas . . . . .	55

2.8.5. Estudio Piloto de vulnerabilidad sísmica de viviendas de albañilería confinada y de concreto armado en el Distrito de Ayacucho.	56
2.8.6. Estudios Geofísicos para la zonificación sísmica para la ciudad Ayacucho.	56
2.8.7. Vulnerabilidad de las construcciones de adobe en el centro histórico de la ciudad de Ayacucho.	57
2.8.8. Peligro Sísmico en el Departamento de Ayacucho.	57
<b>III Metodología</b>	<b>58</b>
<b>3. METODOLOGÍA</b>	<b>59</b>
3.1. Introducción	59
3.2. Selección de la estructura a evaluar.	59
3.3. Configuración estructural	60
3.4. Procedimiento para el análisis dinámico tiempo historia.	64
3.4.1. Consideraciones para el diseño.	64
3.4.2. Acelerogramas sintéticos.	66
3.4.3. Define la función tiempo historia.	66
3.4.3.1. Resultado del análisis tiempo historia.	69
3.4.4. Clasificación de la deriva de piso.	73
3.5. Curvas de Fragilidad.	76
3.6. Simulación de Montecarlo.	82
3.7. Estimación de pérdidas por sismo.	87
3.8. Disipador de energía viscoso.	90
3.8.1. Amortiguamiento objetivo	90

3.8.2. Análisis dinámico con disipador de energía. . . . .	93
<b>IV Resultados y Discusión</b>	<b>97</b>
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>98</b>
4.1. Validación de Resultados. . . . .	98
4.1.1. Prueba de Hipótesis. . . . .	98
4.2. Resultados. . . . .	102
4.2.1. Simulación de Montecarlo para “n” variables. . . . .	102
4.2.2. Curva de Fragilidad según la intensidad sísmica. . . . .	103
4.2.3. Curvas de fragilidad según la deriva de piso. . . . .	105
4.3. Diferencia de la deriva de piso con disipador. . . . .	106
4.4. Discusión de los resultados. . . . .	107
4.4.1. Discusión de la Simulación de Montecarlo para “n” variables.. . . .	108
4.4.2. Análisis de la Curva de Fragilidad según la intensidad sísmica. . . . .	109
4.4.3. Análisis de las Curvas de fragilidad según la deriva de piso. . . . .	112
4.4.4. Análisis comparativo entre la norma de diseño de 1977 y la norma E030. . . . .	113
4.4.5. Análisis del efecto columna corta. . . . .	114
4.5. Análisis de la estructura con disipador viscoso. . . . .	115
<b>V Conclusiones</b>	<b>116</b>
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>117</b>
5.1. Conclusiones. . . . .	117
5.2. Recomendaciones. . . . .	119

## ÍNDICE GENERAL

5.2.1. Sobre la Metodología. . . . .	119
5.2.2. Sobre la Edificación. . . . .	119
5.2.3. Futuros trabajos de investigación. . . . .	120
<b>VI Referencia Bibliográfica</b>	<b>121</b>
Referencias	122
<b>VII Anexos</b>	<b>126</b>
A. Acelerogramas Sintéticos.	127
B. Clasificación de la deriva de piso según Ghobarah.	138
C. Simulación de Montecarlo.	146
D. Análisis con disipador de energía.	155
E. Valores Unitarios y Depreciación.	157
F. Matlab.	160
G. Propiedades del Material.	164
H. Panel Fotográfico.	166
I. Planos.	170

# Índice de cuadros

2.1. Comparación de la Norma de 1977 y la Norma E030 . . . . .	14
2.2. Caracterización de daño según Visión 2000. . . . .	28
2.3. Niveles de daño propuestos por Ghobarah, Ref.[19]. . . . .	42
2.4. Deriva máximo de piso, por el comité VISION 2000 . . . . .	43
2.5. Indices de daño propuesto por HAZUS FEMA, ,Ref.[13] . . . . .	48
2.6. Definición de daño porpuesto por NHRC . . . . .	49
2.7. Clasificación de daño propuesto por Park (1987). . . . .	49
2.8. Valores de deriva máxima de piso para estructuras de concreto armado de 1 a 3 pisos, Ref.[13] . . . . .	55
2.9. Valores de deriva máxima de piso para estructuras de concreto armado de 4 a 7 pisos, Ref.[13] . . . . .	55
3.1. Peso total de la edificación. . . . .	62
3.2. Carga viva considerado, Ref.[32]. . . . .	65
3.3. Carga Muerta de la estructura, Ref.[32]. . . . .	65
3.4. Datos del análisis dinámico tiempo historia para un daño leve. . . . .	74
3.5. Datos del análisis dinámico tiempo historia para un daño moderado. . . . .	74
3.6. Datos del análisis dinámico tiempo historia para un daño severo. . . . .	75

## ÍNDICE DE CUADROS

3.7. Datos del análisis dinámico tiempo historia para un daño completo . . . . .	75
3.8. Probabilidad acumulada de daño leve. . . . .	77
3.9. Probabilidad de ocurrencia para la Simulación de Montecarlo. . . . .	84
3.10. Matriz de probabilidad de daño $a(g) = 0.20$ . . . . .	89
3.11. Matriz de probabilidad de daño para $a(g) = 0.30$ . . . . .	89
3.12. Matriz de probabilidad de daño para $a(g) = 0.40$ . . . . .	89
3.13. Costo de reparación por daño sísmico. . . . .	90
4.1. Tabla de estadísticos descriptivos, Ref.[42]. . . . .	98
4.2. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para muestras de estados de daño . . . . .	99
4.3. Valores de la pérdida económica para “n” valores simulados . . . . .	102
4.4. comparación de la deriva de piso para cada caso. . . . .	106
E.1. Depreciación por antigüedad y estado de conservación para edificaciones de uso Educativo, RNE 2012 . . . . .	157
E.2. Valores Unitarios oficiales de edificaciones 2014 para la sierra, RM N° 278-2013-Vivienda . . . . .	158

# Índice de figuras

2.1. Eventos sísmicos registrados en el Perú, durante el año 2014, Ref.[39] . . .	17
2.2. Función de densidad típica, Ref.[36] . . . . .	20
2.3. $P(a < X < b)$ , Ref.[36] . . . . .	21
2.4. Curvas de Fragilidad, Ref.[13] . . . . .	29
2.5. Curva de capacidad . . . . .	31
2.6. Metodología general .Ref.[clab. propia] . . . . .	37
2.7. Acelerograma E-W del sismo de Pisco 2007, aceleración máx= 0.48g, Ref.[11] . . . . .	41
2.8. Estado de daño según la deriva de piso, Ref.[35] . . . . .	42
2.9. Disipador viscoso . . . . .	51
2.10. Disipador de energía viscoso ante una fuerza sísmica . . . . .	52
3.1. Vista General de la Biblioteca (Escenario Sísmico) . . . . .	60
3.2. Losa aligerada del sótano de la Biblioteca UNSCH . . . . .	61
3.3. Losa aligerada del 1er piso de la Biblioteca UNSCH . . . . .	62
3.4. Configuración estructural de la Biblioteca UNSCH . . . . .	63
3.5. Propiedades del material . . . . .	65
3.6. Selección del acelerograma . . . . .	66

## ÍNDICE DE FIGURAS

3.7. Acelerograma de diseño Este–Oeste . . . . .	67
3.8. Acelerograma de diseño Este–Oeste . . . . .	67
3.9. Caso de análisis en la dirección x . . . . .	68
3.10. Caso de análisis en la dirección y . . . . .	68
3.11. Caso de análisis definido en ambas direcciones . . . . .	69
3.12. Proceso para la obtención de resultados . . . . .	70
3.13. Define opción de análisis . . . . .	70
3.14. Define la función de desplazamiento . . . . .	71
3.15. Define el punto a mostrar . . . . .	71
3.16. Desplazamiento del punto 388-5 . . . . .	72
3.17. Desplazamiento del punto 388-4 . . . . .	72
3.18. Resumen de los desplazamientos del Sismo de Pisco 0.30g . . . . .	73
3.19. Diagrama de flujo para programar la probabilidad acumulada de daño .	76
3.20. Probabilidad acumulada de daño leve, Ref.[7] . . . . .	77
3.21. Diagrama de flujo para la función de dist. log normal . . . . .	79
3.22. Probabilidad acumulada de daño leve y función de distribución log normal	79
3.23. Probabilidad acumulada de daño moderado y función de distribución log normal . . . . .	80
3.24. Probabilidad acumulada de daño severo y función de distribución log normal . . . . .	80
3.25. Curva de fragilidad y estado de daño para $a(g) = 0.30$ . Ref[elab. propia]	81
3.26. Diagrama de flujo para la Simulación de Montecarlo Ref[elab. propia] .	85
3.27. Simulación de Montecarlo, $a(g) = 0.20$ . Ref[elab. propia] . . . . .	86
3.28. Simulación de Montecarlo, $a(g) = 0.30$ . Ref[elab. propia] . . . . .	86

## ÍNDICE DE FIGURAS

3.29. Simulación de Montecarlo, $a(g) = 0.40$ . Ref[elab. propia] . . . . .	87
3.30. Diagrama de flujo para la función de dist. log normal . . . . .	88
3.31. A la izq. se muestra la Biblioteca de la UNI,der. Facultad de Ingeniería Mecánica . . . . .	93
3.32. Selección de Link Properties. . . . .	93
3.33. Factores de amortiguamiento viscoso lineal. . . . .	94
3.34. Amortiguamiento viscoso en el eje 3. . . . .	94
3.35. Amortiguamiento viscoso en el eje 4. . . . .	95
3.36. Respuesta de desplazamiento para el pórtico 2, piso3. . . . .	95
3.37. Respuesta de desplazamiento para el pórtico 2, techo1. . . . .	96
3.38. Respuesta de desplazamiento para el pórtico 2, techo2 . . . . .	96
4.1. Histograma de frecuencia y curva normal- daño leve, Ref.[42] . . . . .	100
4.2. Histograma de frecuencia y curva normal- daño moderado, Ref.[42] . . . . .	100
4.3. Histograma de frecuencia y curva normal- daño extensivo, Ref.[42] . . . . .	101
4.4. Histograma de frecuencia y curva normal- daño completo, Ref.[42] . . . . .	101
4.5. Variación de la pérdida económica para “n” valores simulados, $Sag=0.30g$ 102	
4.6. Representación de curvas de fragilidad para una intensidad sísmica de 0.20g . . . . .	103
4.7. Curvas de fragilidad para una intensidad sísmica de 0.30g . . . . .	104
4.8. Curvas de fragilidad para una intensidad sísmica de 0.40g . . . . .	104
4.9. Curvas de fragilidad según la deriva de piso en % . . . . .	105
4.10. Curvas de fragilidad ampliado según la deriva de piso en % . . . . .	106
4.11. Curva de fragilidad con amortiguador . . . . .	107
4.12. Portico típico de la Biblioteca . . . . .	114

## ÍNDICE DE FIGURAS

4.13. Efecto de la columna corta . . . . .	114
4.14. Recomendación, IPS1-ACI, para el efecto de columnas cortas . . . . .	115
A.1. Tokachi Saporó(2003), Sag=0.18g, Suelo B, Tr=475años. Ref.[11] . . . . .	127
A.2. Maule Constitución(2010) Sag=0.19g, Suelo B, Tr=475años. Ref.[11] . . . . .	127
A.3. Simulación Pisco(2010) Sag=0.19g, Suelo B, Tr=475años. Ref.[11] . . . . .	128
A.4. Maule Constitución(2010) Sag=0.22g, Tr=475años. Ref.[11] . . . . .	128
A.5. Tarapacá Cuya(2005) Sag=0.23g, Suelo B, Tr=475años. Ref.[11] . . . . .	128
A.6. Sanriku Miyagi(2003) Sag=0.24g, Suelo B, Tr=475años. Ref.[11] . . . . .	129
A.7. Pisco PCN(2007) Sag=0.25g, Suelo B, Tr=475años. Ref.[11] . . . . .	129
A.8. Tokachi Saporó(2003) Sag=0.26g, Suelo B, Tr=475años. Ref.[11] . . . . .	129
A.9. Pisco DHN(2007) Sag=0.27g, Tr=475años. Ref.[11] . . . . .	130
A.10. Maule Melipilla(2010), Sag=0.28g, Suelo B, Tr=475años. Ref.[11] . . . . .	130
A.11. Pisco DHN(2007) Sag=0.30g, Suelo B, Tr=475años. Ref.[11] . . . . .	130
A.12. Simulación EMO, Sag=0.31g, Tr=475años. Ref.[11] . . . . .	131
A.13. Japón Kobe 1995 Sag=0.34g, Suelo B, Tr=475años. Ref.[11] . . . . .	131
A.14. Simulación PQR Sag=0.35g, Suelo B, Tr=475años. Ref.[11] . . . . .	131
A.15. Arequipa Moquegua(2001), Sag=0.36g, Suelo B, Tr=475años. Ref.[11] . . . . .	132
A.16. Chile Valparaíso(1985), Sag=0.37g, Suelo B, Tr=475años. Ref.[11] . . . . .	132
A.17. Sismo 2005 Tarapacá Cuya, aceleración máxima: 0.37g, Suelo B, Tr=475años. Ref.[11] . . . . .	132
A.18. Sanriku Miyagi(2003), Sag=0.38g, Suelo B, Tr=475años. Ref.[11] . . . . .	133
A.19. Tarapacá Pica(2005), Sag=0.39g, Suelo B, Tr=475años. Ref.[11] . . . . .	133
A.20. Simulación DHN 5-1, Sag=0.41g, Suelo B, Tr=475años. Ref.[11] . . . . .	133
A.21. Maule Constitución(2010), Sag=0.44g, Suelo B, Tr=475años. Ref.[11] . . . . .	134

## ÍNDICE DE FIGURAS

A.22.Simulación VSV, Sag=0.47g, Suelo B, Tr=475años, Ref.[11] . . . . .	134
A.23.Simulación EMO, Sag=0.48g, Suelo B, Tr=475años,Ref.[11] . . . . .	134
A.24.Maule Melipilla(2010), Sag=0.50g, Suelo B, Tr=475años, Ref.[11] . . . . .	135
A.25.Simulación CMD , Sag=0.52g, Suelo B, Tr=475años, Ref.[11] . . . . .	135
A.26.Simulación VSV , Sag=0.53g, Suelo B, Tr=475años, Ref.[11] . . . . .	135
A.27.Chile Valparaiso(1985), Sag=0.54g, Tr=475años, Ref.[11] . . . . .	136
A.28.Tarapacá Pica(2005), Sag=0.55g, Tr=475años, Ref.[11] . . . . .	136
A.29.Simulación Tarapacá Pica(2005), Sag=0.56g, Tr=475años, Ref.[11] . . . . .	136
A.30.Simulación, Sag=0.70g, Tr=475años, Ref.[11] . . . . .	137
C.1. Simulación de Montecarlo para n=1,000ptos . . . . .	146
C.2. Simulación de Montecarlo para n=1,500ptos . . . . .	147
C.3. Simulación de Montecarlo para n=2,000ptos . . . . .	147
C.4. Simulación de Montecarlo para n=5,000ptos . . . . .	148
C.5. Simulación de Montecarlo para n=7,500ptos . . . . .	148
C.6. Simulación de Montecarlo para n=10,000ptos . . . . .	149
C.7. Simulación de Montecarlo para n=12,500ptes . . . . .	149
C.8. Simulación de Montecarlo para n=15,000ptos . . . . .	150
C.9. Simulación de Montecarlo para n=25,000ptos . . . . .	150
C.10.Simulación de Montecarlo para n=50,000ptos . . . . .	151
C.11.Simulación de Montecarlo para n=100,000ptos . . . . .	151
C.12.Simulación de Montecarlo para n=200,000ptos . . . . .	152
C.13.Simulación de Montecarlo para n=500,000ptos . . . . .	152
C.14.Simulación de Montecarlo para n=750,000ptos . . . . .	153
C.15.Simulación de Montecarlo para n = 800,000ptos . . . . .	153

## ÍNDICE DE FIGURAS

C.16. Simulación de Montecarlo para $n = 10^6$ ptos . . . . .	154
D.1. Respuesta de desplazamiento para el pórtico 3, piso 3 . . . . .	155
D.2. Respuesta de desplazamiento para el pórtico 3, techo . . . . .	155
D.3. Respuesta de desplazamiento para el pórtico 4, piso3 . . . . .	156
D.4. Respuesta de desplazamiento para el pórtico 4, techo1 . . . . .	156
D.5. Respuesta de desplazamiento para el pórtico 4, techo2 . . . . .	156
E.1. Valor actual de la edificación . . . . .	159
G.1. Propiedades del concreto . . . . .	164
G.2. Propiedades de la albañilería . . . . .	165
G.3. Propiedades del muro . . . . .	165
H.1. Vista principal de la Biblioteca . . . . .	166
H.2. Vista lateral izquierdo . . . . .	167
H.3. Vista Posterior de la Biblioteca(sur-este) . . . . .	167
H.4. Vista Posterior de la Biblioteca(sur-oeste) . . . . .	168
H.5. Vista interior de la distribución de vigas y columnas . . . . .	168
H.6. Desprendimiento del revestimiento en los techos . . . . .	169
H.7. Fisuras en el encuentro de viga, columnas en el techo . . . . .	169

# Parte I

## Introducción

# Capítulo 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. Generalidades.

La Biblioteca de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, fue construido según la norma de 1977, por lo que el problema fundamental es que se desconoce el grado de vulnerabilidad sísmica de la estructura, que nos permita saber el comportamiento sismorresistente para determinar las pérdidas económicas por sismo. En la presente investigación se propone determinar el grado de vulnerabilidad sísmica para la estructura irregular de la Biblioteca, generando curvas de fragilidad sísmica mediante la Simulación de Montecarlo, y así determinar la pérdida económica para diferentes intensidades sísmicas. Muchas investigaciones tratan de estimar las pérdidas económicas, pero se basan en analizar grupos de estructuras con tipologías estructurales comunes y no así para tipos de estructuras irregulares, debido a ello los resultados obtenidos en la investigación reflejan claramente la vulnerabilidad sísmica y pérdida económica de la estructura para probables eventos sísmicos.

## 1.2. Motivación de la Investigación.

- El Perú se encuentra ubicado en una zona altamente sísmica, en la zona de subducción de la placa de Nazca y la placa Sudamericana por lo que la probabilidad de ocurrencia de un evento sísmico es incierto y poco predecible en el tiempo; pero conocer la vulnerabilidad y daño probable que pueda ocasionar un evento sísmico es una motivación especial en la presente investigación ya que la Biblioteca representa una edificación importante para nuestra casa superior de estudios.
- En muchas ramas de la ingeniería se comentan de las grandes ventajas que tiene el Método de Montecarlo para resolver problemas de ingeniería, lo cual es importante conocer mas sobre dicho método.
- En una investigación es importante realizar un análisis estadístico, por lo que se utilizó la función matemática de distribución normal definido por Carl Friedrich Gauss (1777-1855), donde plantea que todo en el universo se comporta en forma gaussiana (distribución normal).
- Los criterios de diseño sismorresistente han evolucionado debido a las enseñanzas dejadas por los sismos, en el Perú, las pérdidas materiales y de vidas humanas han sido considerables, según lo observado en los sismos ocurridos durante los últimos 10 años en Nazca, Tacna y Moquegua han mostrado la elevada vulnerabilidad sísmica que presentan nuestros edificios, debido a ello motivan a analizar la presente investigación de la Biblioteca.
- Obtener una formación especializada en el área de ingeniería estructural, es muy esencial para el desarrollo de mi vida profesional, el cual es la motivación principal de la presente investigación.

### **1.3. Planteamiento del problema.**

La Biblioteca de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, es una edificación importante, por lo que actualmente se desconoce el grado de vulnerabilidad ante probables eventos sísmicos que puedan dañar la estructura, de modo que no existe una metodología para la estimación del riesgo sísmico para una estructura irregular e importante como es la Biblioteca. El método probabilista permite estimar el riesgo sísmico de grupos de edificios con una tipología estructural, pero no permite estimar el daño sísmico para una estructura irregular. En el presente trabajo se propone una metodología de evaluación de riesgo sísmico para edificaciones importantes e irregulares. Para lograr este objetivo se necesita conocer por un lado el grado de la amenaza sísmica a la que están expuestas las estructuras (peligro sísmico) y por otro lado, la capacidad que tienen la edificaciones de resistir esta amenaza (vulnerabilidad sísmica). Al combinar el peligro con la vulnerabilidad se pueden estimar las pérdidas por sismo (riesgo sísmico). La presente propuesta parte de la necesidad de cuantificar el riesgo sísmico de la Biblioteca de la Universidad para saber la probabilidad de daño. Los resultados de esta metodología pueden expresarse en términos económicos y serán de gran utilidad para la comunidad.

### **1.4. Antecedentes y Justificación.**

Estudios previos demuestran que la caracterización de daño de una estructura puede representarse mediante curvas de fragilidad analítica y matrices de probabilidad de daño

#### 1.4. Antecedentes y Justificación.

utilizando el método de la Simulación de Montecarlo, el cual caracteriza la vulnerabilidad de una estructura y permite estimar las pérdidas económicas por sismo, tomando como referencia la propuesta realizada por Hazus-Fema para estructuras aporricadas de concreto armado. En la presente investigación se analizará la estructura de la biblioteca central de la UNSCH por ser considerada una edificación importante según el reglamento nacional de edificaciones norma E030, y así mismo con los resultados obtenidos se obtendrá diferentes aportes para estimar las pérdidas económicas:

- Diariamente se registran eventos sísmicos de diferentes intensidades, por lo que se desconoce el nivel de confiabilidad estructural de la Biblioteca ante eventos sísmicos, en la presente investigación se dará a conocer el nivel de desempeño estructural y pérdidas económicas de la edificación para diferentes aceleraciones sísmicas aleatorias, generadas mediante la Simulación de Montecarlo.
- La presente investigación servirá como modelo para estimar el grado de vulnerabilidad y pérdidas económicas por sismo en las diferentes edificaciones históricas en Ayacucho, tomando como referencia el nivel de desempeño estructural según el material predominante.
- Estimar la pérdida económica en edificaciones, es un tema de mucho interés para las instituciones públicas y privadas, debido a que se puede estimar cual es el grado de vulnerabilidad sísmica para una estructura o grupo de estructuras ya construidas como puentes, centros educativos y viviendas, con el fin de tomar medidas preventivas y evitar desastres ante posibles eventos sísmicos, de modo que la metodología empleada será de gran utilidad para los investigadores que quieren proponer, planes de seguridad a la sociedad.

## 1.5. Hipótesis.

- Es posible estimar la pérdida económica por sismo, mediante métodos probabilistas aplicado a estructuras irregulares como la Biblioteca de la UNSCH.
- Se puede obtener el grado de vulnerabilidad y riesgo sísmico de la Biblioteca mediante el análisis tiempo historia.
- Es posible encontrar el nivel de daño sísmico probable a partir de curvas de fragilidad mediante la Simulación de Montecarlo.
- Es posible comparar y analizar el comportamiento sismorresistente de la Biblioteca con la actual norma de diseño E-030.
- Es posible reducir el grado de vulnerabilidad sísmica y pérdida económica de la Biblioteca Central de la UNSCH.

## 1.6. Objetivos.

### 1.6.1. Objetivos Generales.

- Estimar la pérdida económica por sismo de la Biblioteca Central de la UNSCH, mediante curvas de fragilidad para diferentes intensidades sísmicas aleatorias, generadas con la Simulación de Montecarlo.

### 1.6.2. Objetivos Especificos.

- Estimar la pérdida económica para diferentes niveles de daño sísmico propuesto por HAZUS-FEMA, mediante métodos probabilísticos, aplicado a la estructura irregular de la Biblioteca.

## 1.7. Alcance y Limitaciones.

- Realizar el análisis dinámico tiempo historia de la Biblioteca para encontrar los parámetros estructurales de daño, que ocasiona la vulnerabilidad sísmica.
- Utilizando el método de Simulación de Montecarlo, obtener el nivel de daño sísmico más probable de la estructura y representarlo mediante curvas de fragilidad.
- Comparar el factor de daño sísmico de la Biblioteca, con la norma de diseño sismorresistente E-030 vigente.
- Reducir la pérdida económica por sismo de la Biblioteca, incorporando disipadores de energía viscoso, en la zona más vulnerable de la estructura.

## 1.7. Alcance y Limitaciones.

### 1.7.1. Alcances.

- La metodología usada para estimar la pérdida económica por sismo de la edificación por medio de métodos probabilísticos (Simulación de Montecarlo), servirá de base para realizar investigaciones de diversas estructuras vulnerables construidas hace décadas con las normas de diseño sismorresistente anterior.
- La representación del grado de vulnerabilidad de la estructura por medio de las curvas de fragilidad sísmica, será de mucha utilidad a la comunidad universitaria porque permitirá saber el riesgo sísmico que tiene la Biblioteca.

### 1.7.2. Limitaciones.

- En la ciudad de Ayacucho no se cuenta con registros sísmicos reales, de modo que para la presente investigación se analizó con acelerogramas sintéticos de la

## 1.8. Diseño metodológico.

CISMID que fueron obtenidos de estaciones ubicados en la ciudad de Lima, Japón y Chile normalizadas de acuerdo a la norma E-030 del Perú.

- La pérdida económica obtenido en moneda nacional, es un valor que está relacionado directamente a la estructura, por lo que se trabajó con la tabla propuesta por HAZUS-FEMA, para edificaciones de concreto armado, de modo que en nuestro país no se cuenta con factores de daño propio a la zona.
- La Biblioteca fue construido a partir del año de 1982, el cual no se cuenta con un presupuesto valorizado total, de dicha fecha, por lo que se realizó la tasación de la edificación según el cuadro valores unitarios característicos.

## 1.8. Diseño metodológico.

### 1.8.0.1. Tipo de estudio.

El diseño de la presente investigación amerita revisión documental ya que el análisis realizado se obtuvo de diferentes fuentes de información, tales como, manuales técnicos, informes de investigación, reglamentos, normas, textos, artículos científicos, ponencias de congresos, tesis de maestría, etc. En este sentido, se define que la investigación documental corresponde a la técnica de documentación para dar mayor confiabilidad a los resultados obtenidos.

### 1.8.0.2. Técnicas de investigación

**Tipo de Investigación:** –La presente Investigación se define como una investigación aplicada, ya que tiene por objeto analizar en forma directa los problemas prácticos

de la vulnerabilidad sísmica de la Biblioteca que es de interés social<sup>23</sup>

### Según el nivel de Investigación:

–De acuerdo a los objetivos planteados se considera que el presente trabajo es una investigación de tipo descriptivo. Según el nivel la investigación descriptiva comprende la descripción, análisis e interpretación de la naturaleza actual, composición y procedimientos de los fenómenos. El enfoque se hace sobre una persona, grupo o cosa, que conduce o funciona en el presente.

–Este tipo de investigación permitirá obtener información y datos relacionados con las variables involucradas en la investigación, para luego establecer relaciones de asociaciones entre ellas, a través de ellas se explicarán en forma los procedimientos necesarios en la obtención de curvas de fragilidad sísmica, para estructuras irregulares de concreto armado .

– Por otro lado, también se expresa que la investigación descriptiva permite evaluar o medir diversos aspectos o características del objeto a investigar como por ejemplo se define la variable independiente que es el evento sísmico que es la causa de la pérdida económica medido según la intensidad sísmica el cual origina diferentes niveles de daño caracterizado según la deriva de piso el cual viene hacer la variable dependiente.

#### 1.8.0.3. Universo, población y muestra

El Universo (U), es el conjunto de individuos y objetos de los que se desea conocer algo en una investigación. La Población (N), es el conjunto de sujetos, objetos o cosas con

---

<sup>23</sup>Lozano Núñez, H.(2011) El proyecto de investigación en carrera de ingeniería p20–p23.

una característica y atributo especial<sup>23</sup>.

Para la presente investigación el Universo sería todos los sismos ocurridos a nivel mundial hasta la fecha, de modo que la población sería los sismos de Japón, Chile y Perú de modo que si extraemos una muestra de los sismos más relevantes de cada población vendría hacer la muestra (30 registros sísmicos normalizados por la CISMID).

#### 1.8.0.4. Recolección de datos

Las fuentes de recolección de información son hechos o documentos a los que recurre el investigador para informarse y las técnicas son los medios utilizados para recopilar información. Para la recolección de información se recurrió a la fuente primaria es decir a la información escrita, ya que nos permitió indagar a fondo sobre la construcción de la Biblioteca. También se recurrió a la fuente secundaria que es una investigación documental (textos, documentos, planos, Tesis, Artículos Científicos, etc). Como también se abarco en la recolección de información de estudios nacionales e internacionales.

#### 1.8.0.5. Análisis de datos.

Para el procesamiento y análisis de datos se utilizó los programas de ingeniería como el Etabs (para el análisis dinámico tiempo historia), Matlab (Simulación aleatoria de Montecarlo), Excel (clasificación de daño según la deriva de piso), SPSS (prueba de normalidad no paramétrica de Kolmogorov-Smirnov) y el Autocad (diseño de planos de la Biblioteca), todo el análisis nos permitió ordenar, clasificar y procesar la información para su interpretación y análisis.

---

<sup>23</sup>Lozano Núñez, H. (2011), *El proyecto de investigación en carrera de ingeniería*, p127

**1.8.0.6. Análisis estadístico.**

**Estadística Descriptiva:**

- Medidas de tendencia central, que viene hacer la media y la dispersión de datos que es la varianza de la deriva de piso obtenido.

**Estadística Inferencial:**

- Se realizó el análisis no paramétricos, con la prueba de Kolmogórov–Smirnov.

## **1.9. Organización del estudio.**

**Capítulo 1** Introducción, se describe las generalidades y lineamientos básicos usados en una investigación.

**Capítulo 2** Fundamento Teórico, se presenta los conceptos generales, definiciones de la metodología a emplear como también se presenta algunas investigaciones realizadas por investigadores.

**Capítulo 3** Se describe la metodología empleada en la investigación tales como, simulación del análisis tiempo historia, clasificación de los estados de daño según la deriva obtenido, diagrama de flujo para la Simulación de Montecarlo.

**Capítulo 4** Contiene los resultados y discusiones de la estructura analizada por medio de curvas de fragilidad empleando la Simulación de Montecarlo.

**Capítulo 5** Se obtiene las conclusiones y recomendaciones.

**Capítulo 6** Contiene las Referencias Bibliográficas consultadas en la investigación.

**Capítulo 7** Se presenta los anexos el cual contiene los acelerogramas utilizados para el análisis tiempo historia, estados de daño, fotos y planos.

## **Parte II**

### **Marco Teórico**

## Capítulo 2

# FUNDAMENTO TEÓRICO

### 2.1. Reseña histórica de la norma de diseño E-030 en el Perú.

La actual norma de diseño sismorresistente E-030, en el Perú paso por diferentes modificaciones desde 1964 hasta la fecha:

- 1963: ACI introduce el Diseño a la Rotura.
- 1964: Primer proyecto de Norma Peruana, basada en la de SEAOC (Structural Engineers Association of California).
- 1970: Primera Norma Peruana de nivel nacional.
- 1977: Segunda Norma Peruana(NDS-77)<sup>33</sup>.
- 1997: Tercera Norma Peruana.



---

<sup>33</sup>NDS.(1977), Segunda Norma de Diseño Sismorresistente.

## 2.1. Reseña histórica de la norma de diseño E-030 en el Perú.

- 2003: Actualización de la Tercera Norma Peruana
- 2006: Norma E030, vigente desde el 09 de Junio del 2006.
- 2014: Actualización de la Cuarta Norma Peruana en consulta.

En el cuadro 2.1, se detalla la diferencia entre de las Normas de diseño.

	NORMA DE 1977	NORMA E-0.30																								
<b>Objetivos de diseño de la Norma</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Resistir sismos leves sin daño</li> <li>-Resistir sismos moderados considerando la posibilidad de daños estructurales leves.</li> <li>-Resistir sismos severos con la posibilidad de daños estructurales importantes, con una posibilidad remota de ocurrencia del colapso de las edificaciones.</li> </ul>	<p>Incorpora la Filosofía y Principios del Diseño Sismorresistente.</p> <p>Evitar pérdidas de vidas.</p> <p>Asegurar la continuidad de los servicios básicos.</p> <p>Minimizar los daños estructurales.</p> <p>la estructura no debería colapsar, ni causar daños graves a las personas.</p> <p>la estructura debería soportar movimientos sísmicos moderados, experimentando posibles daños dentro de límites aceptables.</p>																								
<b>CORTANTE EN LA BASE</b>	$H = \frac{ZUC}{R_d} * P$ <p>Rd: factor de reducción por ductilidad</p>	$V = \frac{ZUCS}{R} * P, c \geq 0.125$																								
<b>FACTOR DE ZONA</b>																										
<b>CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE SUELO Y POR EL PERIODO DE LA ESTRATIGRAFÍA</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Perfil</th> <th>S</th> <th>Ts(s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0.3</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>1.2</td> <td>0.6</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>1.4</td> <td>0.9</td> </tr> </tbody> </table>	Perfil	S	Ts(s)	1	1	0.3	2	1.2	0.6	3	1.4	0.9	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Perfil</th> <th>S</th> <th>Ts(s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0.4</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>1.2</td> <td>0.6</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>1.4</td> <td>0.9</td> </tr> </tbody> </table>	Perfil	S	Ts(s)	1	1	0.4	2	1.2	0.6	3	1.4	0.9
Perfil	S	Ts(s)																								
1	1	0.3																								
2	1.2	0.6																								
3	1.4	0.9																								
Perfil	S	Ts(s)																								
1	1	0.4																								
2	1.2	0.6																								
3	1.4	0.9																								
<b>COEFICIENTE DE AMPLIFICACION</b>	$C = \frac{0.80}{T+1}$ <p>Ts</p>	$C = 2.5 * (T_p); c \leq 2.5$ <p>T</p>																								
<b>FACTOR DE REDUCCIÓN</b>	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Pórticos</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>albañilería confinada</td> <td>2.5</td> </tr> </tbody> </table>	Pórticos	5	albañilería confinada	2.5	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Pórticos</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>albañilería confinada</td> <td>3</td> </tr> </tbody> </table>	Pórticos	8	albañilería confinada	3																
Pórticos	5																									
albañilería confinada	2.5																									
Pórticos	8																									
albañilería confinada	3																									
<b>PERIODO DE EDIFICIO T(s)</b>	$T = 0.08N$ <p>N=#pisos-pórticos</p>	$T = \frac{h_n}{CT}$																								
<b>DERIVA DE PISO</b>	$0.01 < \gamma < 0.015$	$\gamma < 0.007$																								

Cuadro 2.1: Comparación de la Norma de 1977 y la Norma E030

## 2.2. **Historia de los Sísmos en Ayacucho.**

En la ciudad de Ayacucho a lo largo de su historia, han ocurrido eventos sísmicos de diferentes magnitudes ocasionando daños y pérdidas económicas a las diferentes edificaciones, a continuación se describe los principales sismos ocurridos en Ayacucho, según una investigación realizada en nuestra ciudad <sup>28</sup> :

- En el año de 1708, un sismo afectó la casa del cabildo, se derrumbó la pared que da al frente a la iglesia de San Agustín .
- El sábado 17 de junio de 1719, a las 7am, se sintió un fuerte terremoto en la ciudad de Ayacucho, ocasionando daños estructurales en la Catedral de Ayacucho.
- El 06 Agosto de 1913, se registró un sismo que afectó el sur del Departamento de Ayacucho,(Pausa, Marán), donde quedó destruido la mayor parte de las viviendas, murieron 08 personas y tres iglesias afectadas.
- El 02 de diciembre de 1914, se sintió un sismo en Coracora y Parinacochas, ocasionando daños severos a las edificaciones.
- El 08 de febrero de 1916, a las 10.35am se sintió un sismo leve en Huamanga, Huanta, Victor Fajardo.
- El 07 de Octubre de 1920, un sismo de mediana intensidad se registró en Lucanas, generando incertidumbre en la población de Huamanga y Huanta.
- El 09 de diciembre de 1932, un fuerte temblor afectó en la zona sur de Ayacucho, Apurímac e Ica.

---

<sup>28</sup>Rivera P. J., *Historia de los sismos en Ayacucho 1980–1981*, pág55

## 2.2. *Historia de los Sismos en Ayacucho.*

- El 24 de diciembre de 1959, se sintió un fuerte sismo en Ayacucho, donde en la localidad de Pampas hubo serios daños materiales.

Sismos registrados en Ayacucho durante el año 2014.

- El 15 de mayo del 2014, se registró un sismo en la localidad de Huanca Sancos, de magnitud 4.3ML a 71km de profundidad
- El 24 de mayo del 2014, se registró un sismo en la localidad de Pausa, de magnitud 4.8ML a 74km de profundidad.
- El 24 de agosto del 2014, se registró un sismo de una magnitud de 6.6 ML, cuyo epicentro fue la localidad de Puquio–Coracora a una profundidad de 108km, donde fue sentido por varios departamentos del Perú, generando incertidumbre en la población de Ayacucho, pero no se registraron daños considerables.
- El Instituto Geofísico del Perú, cuenta con un conjunto de instrumentos que opera la Red Sísmica Nacional (RSN), que consta de 14 estaciones de banda ancha y 12 acelerógrafos. Gracias a ella se pueden registrar en tiempo real los sismos que ocurren en el Perú y mejorar el conocimiento de la sismicidad en nuestro territorio. Durante el presente año el IGP, ha registrado 202 eventos sísmicos de baja intensidad a lo largo del territorio nacional <sup>39</sup>, según se muestra en la figura 2.1, por lo que refleja claramente que el Perú es una zona altamente sísmica debido a que se encuentra en la zona de subducción entre la Placa de Nazca y la Placa Sudamericana.

---

<sup>39</sup><http://www.igp.gob.pe/bdsismos/ultimosSismosSentidos.php>

## 2.3. Definiciones de Estadística y Probabilidad.

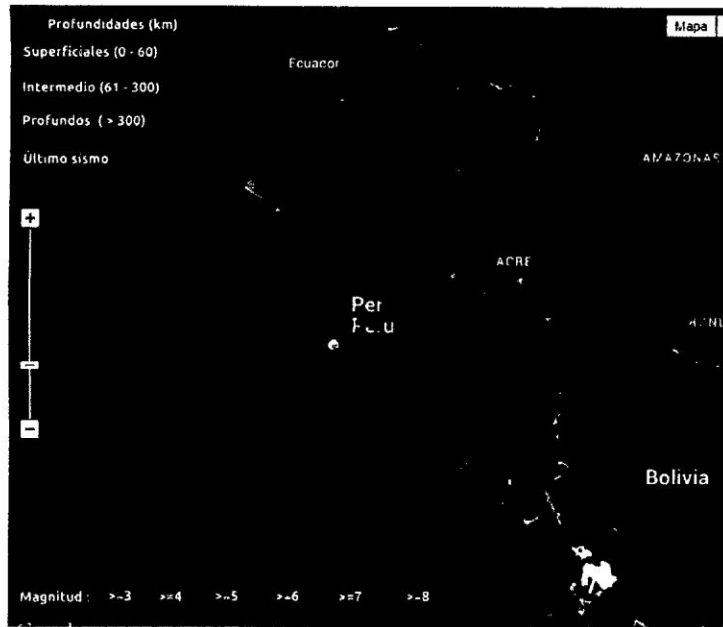


Figura 2.1: Eventos sísmicos registrados en el Perú, durante el año 2014,Ref.[39]

## 2.3. Definiciones de Estadística y Probabilidad.

### 2.3.1. Estadística.

- El objetivo de la estadística es analizar datos y transformarlos en información útil para tomar decisiones.
- La estadística ha alcanzado un nivel de desarrollo muy alto y constituyen actualmente el soporte necesario para todas las ciencias y para la investigación científica, siendo el apoyo para tomar decisiones en un entorno de incertidumbre<sup>30</sup>.
- La estadística es la ciencia inductiva que permite inferir características cualitativas y cuantitativas de un conjunto de datos.
- Población es el conjunto total de individuos u objetos con alguna característica

<sup>30</sup>Rodriguez O, Probabilidad y Estadística Básica para Ingenieros, 2007 , pág 8.

que es de interés a estudiar.

- Una muestra es el subconjunto de la población cuya información es usada para estudiar a la población.
- En resumen la estadística es una ciencia formal que trata del estudio de muestras poblacionales para la toma de decisiones

### 2.3.2. Probabilidad.

La definición de probabilidad surge debido al deseo del ser humano por conocer con certeza los eventos que sucederán en el futuro. Los primeros estudios de probabilidad fueron motivados por la posibilidad de acierto o fracaso en los juegos de azar.

- La probabilidad es un mecanismo por medio del cual pueden estudiarse sucesos aleatorios, es decir, operaciones cuyo resultado no puede ser predicho de antemano con seguridad. Por ejemplo, la probabilidad de ocurrencia de un sismo.
- La probabilidad es el conjunto de todos los posibles resultados de un evento

$$P(E) = \frac{n(E)}{n(S)} \quad (2.3.1)$$

**n(E):** Nro de resultados donde ocurre el evento.

**n(S):** Nro total de posibles resultados.

Postulados Básicos <sup>40</sup>.

- El rango de probabilidad de un evento es de 0 a 1, es decir del 0% al 100%

---

<sup>40</sup>[http://es.slideshare.net/Fran\\_73/tema-2-probabilidad-presentation](http://es.slideshare.net/Fran_73/tema-2-probabilidad-presentation)

### 2.3. Definiciones de Estadística y Probabilidad.

- La suma de todos los posibles resultados del experimento (espacio muestral) es siempre igual a 1.
- Dos eventos son mutuamente independientes si el resultado de uno de ellos no influye en el resultado del otro.

#### 2.3.3. Espacio Muestral.

En la teoría de probabilidades, el espacio muestral o espacio de muestreo denotado por  $(E, S, \Omega)$ , consiste en el conjunto de todos los posibles resultados individuales de un experimento aleatorio. Por ejemplo, si el experimento consiste en lanzar dos monedas, el espacio de muestreo sería: (cara, cara), (cara, cruz), (cruz, cara) y (cruz, cruz).

#### 2.3.4. Variables aleatorias.

Una variable aleatoria puede concebirse como un valor numérico que está afectado por el azar. Donde no es posible conocer con certeza el valor que tomará esta al ser determinada, aunque sí se conoce que existe una distribución de probabilidad asociada al conjunto de valores posibles entonces una variable aleatoria es una función que asocia un número real con cada elemento del espacio muestral. La estadística realiza inferencias acerca de las poblaciones y sus características, se llevan a cabo experimentos cuyos resultados se encuentran sujetos al azar <sup>36</sup>. Se define que la variable es alguna característica observable de los elementos de una población y que puede tomar diferentes valores distribuidos al azar.

---

<sup>36</sup>Walpole, Ronald E, Raymond H -Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias, pág 77

### 2.3.5. Función de distribución de probabilidad.

La probabilidad de una función aleatoria continua tiene algunas particularidades:

Una variable aleatoria continua tiene una probabilidad cero de tomar exactamente cualquiera de sus valores. En consecuencia, su distribución de probabilidad no se puede dar en forma tabular. Es remota la probabilidad de seleccionar al azar una variable a un conjunto infinitamente grande de elementos; por ello, asignamos una probabilidad cero a tal evento.

Aunque la distribución de probabilidad de una variable aleatoria continua no se puede representar de forma tabular, pero si como una función de los valores numéricos de la variable aleatoria continua  $X$  y como tal se representará mediante la notación funcional  $f(x)$ . Al tratar con variables continuas,  $f(x)$ , por lo general, se llama función de densidad de probabilidad. Como  $X$  se define sobre un espacio muestral continuo, es posible que  $f(x)$  tenga un número finito de discontinuidades. Sin embargo, la mayoría de las funciones de densidad que tienen aplicaciones prácticas en el análisis de datos estadísticos son continuas y sus gráficas pueden tomar formas variadas, algunas de las cuales se presentan en la figura 2.2 .

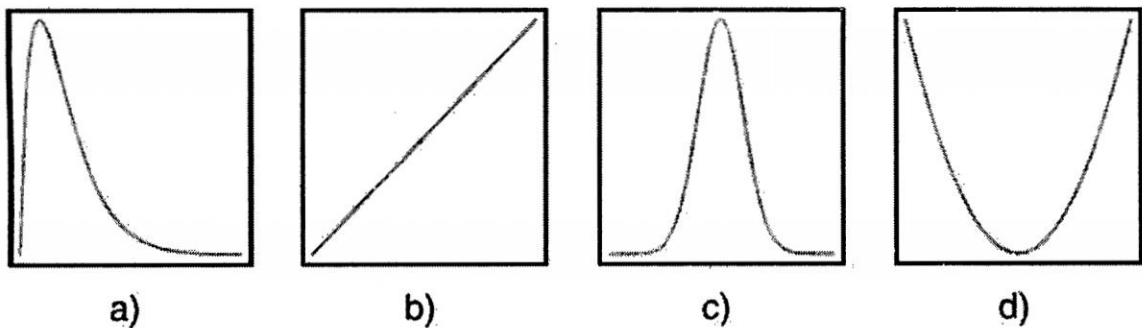


Figura 2.2: Función de densidad típica, Ref.[36]

### 2.3. Definiciones de Estadística y Probabilidad.

Una función de densidad de probabilidad se construye de manera que el área bajo su curva limitada por el eje  $x$  sea igual a 1, cuando se calcula en el rango de  $X$  para el que se define  $f(x)$ . En la figura 2.3, la probabilidad de que  $X$  tome un valor entre  $a$  y  $b$  es igual al área sombreada bajo la función de densidad entre las ordenadas en  $x = a$  y  $x = b$ , y el cálculo integral está dada por:

$$P(a < X < b) = \int_a^b f(x) dx \quad (2.3.2)$$

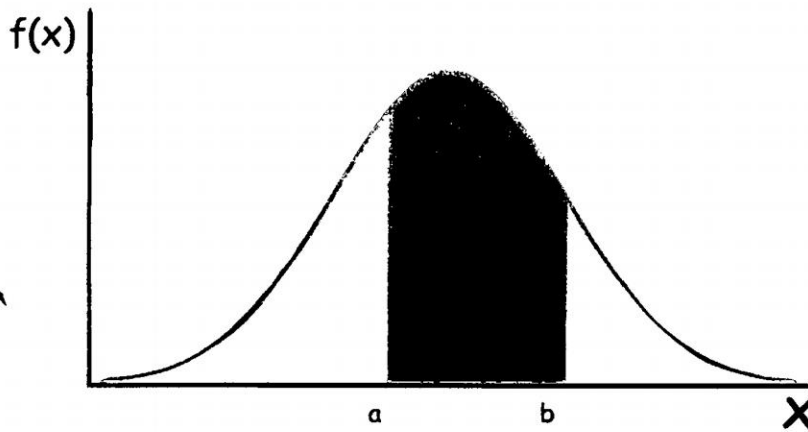


Figura 2.3:  $P(a < X < b)$ , Ref.[36]

Definición 1.0: La función  $f(x)$  es una función de densidad de probabilidad (fdp) para la variable aleatoria continua  $X$ , definida en el conjunto de números reales  $R$ , si:

$$f(x) \geq 0, \text{ donde, } \forall x \in R \quad (2.3.3)$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = 1 \quad (2.3.4)$$

$$P(a < x < b) = \int_a^b f(x) dx \quad (2.3.5)$$

Definición 2.0: La función de distribución acumulada  $F(x)$  de una variable aleatoria continua  $X$  con función de densidad  $f(x)$  es:

$$F(x) = P(X \leq x) = \int_{-\infty}^x f(t) dt \quad \text{donde } -\infty < x < +\infty \quad (2.3.6)$$

### 2.3.6. Distribución de Probabilidad Normal (Gaussiana) .

Una variable aleatoria  $x$  es llamada variable aleatoria normal (gaussiana), si su pdf esta dado por <sup>31</sup>:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (2.3.7)$$

- Se usa la notacion  $N(\mu; \sigma^2)$  para denotar que la variable aleatoria  $X$  es normal con promedio  $\mu$  y varianza  $\sigma^2$ .
- La distribución gaussiana es la reina de las distribuciones. En este universo, la naturaleza se comporta gaussianamente.
- Si el conjunto de pequeños efectos actúa de manera multiplicativa, entonces es el logaritmo de la variable de interés la que se comporta normalmente (distribución log-normal).
- A una variable aleatoria normal  $Z$  con promedio cero y varianza 1 se le llama variable aleatoria normal estándar:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} \rightarrow N(0, 1) \quad (2.3.8)$$

---

<sup>31</sup>Rodriguez H. F. (2007), Art. Introducción a la Probabilidad , p9.

- Las distribuciones normales ocurren aproximadamente en muchas situaciones como consecuencia del teorema del límite central .

### 2.3.7. Teorema del Límite Central.

El teorema del límite central es el resultado más famoso, de la teoría de la probabilidad.

En su forma más simple, puede ser formulado:

Sea  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , una secuencia de variables aleatorias independientes, idénticamente distribuidas, cada una con promedio  $\mu$  y varianza  $\sigma^2$ :

$$Z_n = \frac{x_1 + \dots + x_n - n\mu}{\sigma\sqrt{n}} = \frac{\bar{X}_n - \mu}{\sigma\frac{1}{\sqrt{n}}} \quad (2.3.9)$$

Donde  $E[Z_n] = 0$ ,  $Var[Z_n] = 1$

$$\bar{X}_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i = \frac{1}{n}(x_1 + \dots + x_n) \quad (2.3.10)$$

### 2.3.8. Histograma.

Un histograma es una representación gráfica de una variable en forma de barras, donde la superficie de cada barra es proporcional a la frecuencia de los valores representados, ya sea en forma diferencial o acumulada. Sirven para obtener una vista general de la distribución de la población, o la muestra, respecto a una característica, cuantitativa y continua, de la misma y que es de interés para el observador como la longitud, masa o ciertos valores estadísticos.

### 2.3.9. Prueba de Hipótesis.

Dentro de la inferencia estadística, un contraste de hipótesis también denominado prueba de significación, es un procedimiento para juzgar si una propiedad que se supone en una población estadística es compatible con lo observado en una muestra de dicha población. El desarrollo de pruebas de hipótesis forma parte de los métodos de la estadística inferencial vinculados directamente a la toma de decisiones, y como tal es utilizado en cualquier rama de la ingeniería:

Características generales de una prueba de hipótesis:

- Si el desarrollo de una prueba requiere del conocimiento de parámetros o características de la distribución de la población, se le clasifica como prueba paramétrica; si, por el contrario, estos datos no son requeridos, se hablará de una prueba no paramétrica ya que sus resultados no se puede predecir a simple vista se requiere un nivel de análisis para predecir su comportamiento.
- En la prueba de hipótesis a partir de una determinada suposición, se busca como traducir dicha suposición a términos de algún parámetro, y se formula entonces lo que se llama hipótesis estadística. En general, una hipótesis estadística siempre se subdivide en dos: hipótesis nula ( $H_0$ ) e hipótesis alternativa ( $H_1$ ).
- Hipótesis nula ( $H_0$ ): Es una hipótesis de diferencias nulas; lo que equivale a decir que es una hipótesis que contiene una equivalencia propuesta por el estadístico para la validez de los resultados.
- Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Es la hipótesis que deberá ser aceptada si la nula se rechaza, y tiene asociado algún tipo de desigualdad estricta.

### 2.3.9.1. Nivel de significación $\alpha$ .

Es la probabilidad máxima con que se admite cometer el error considerado más grave. El nivel de significación es escogido en la práctica por el investigador. Los valores más usados son: 5 % (0,05) y 1 % (0,01). Una vez fijado éste se puede calcular el valor crítico y determinar la región crítica.

En lugar del nivel de significación a veces se utiliza el nivel de confianza ( $1 - \alpha$ ), definido en la Teoría de la Estimación.

## 2.4. Conceptos Generales.

### 2.4.1. Filosofía de diseño tradicional.

La filosofía de diseño tradicional establece tres niveles de desempeño estructural que son: i) Servicio, ii) Daño, y iii) Colapso. Ante tres sismos de análisis definidos como: i) Menor, ii) Moderado, y iii) Severo, como se indica a continuación<sup>2</sup>.

- En el Estado de Servicio, se espera que ante Sismos Menores, que pueden ocurrir frecuentemente durante la vida útil de la edificación, no ocurra ningún daño tanto en los elementos estructurales como en los no estructurales.
- Para el Estado de Daño, se espera que la estructura trabaje en el límite de su capacidad resistente elástica, es decir la estructura como tal no sufre daño pero sí hay daño en los elementos no estructurales. Este comportamiento es esperado ante Sismos Moderados, que pueden presentarse durante la vida útil de la edificación.

---

<sup>2</sup>Dr. Aguiar F. R, (2004). Análisis Sísmico de Edificios, pág 33

- Para el Estado de Colapso, la estructura ante un Sismo Severo que puede ocurrir rara vez en el tiempo de vida útil, incursiona en el rango no lineal, experimentando daño pero en ningún momento la edificación llega al colapso. Se espera cierto grado de daño en los elementos estructurales y un daño considerable en los elementos no estructurales.

### **2.4.2. Vulnerabilidad Sísmica.**

Es el nivel de predisposición que tiene una estructura a sufrir daños ante un evento sísmico, es decir, el límite en el que se sobrepasa el grado de reserva o el nivel de capacidad de respuesta disponible ante una amenaza sísmica conocida. Los factores que influyen en la variación de la vulnerabilidad sísmica son:

- Factores geológicos.
- Factores estructurales.
- Factores arquitectónicos.
- Factores constructivos.
- Factores socio-económicos.

### **2.4.3. Amenaza sísmica.**

Es la probabilidad de que se presente un sismo potencialmente adverso durante un cierto periodo de tiempo en un determinado lugar. Esta representa un factor externo al elemento en estudio y un peligro latente asociado al movimiento del terreno.

#### **2.4.4. Riesgo sísmico.**

Es el grado de daño o pérdidas esperado ante la ocurrencia de un evento sísmico. También puede definirse como la probabilidad de que en un determinado sitio y durante la acción de alguna amenaza natural se produzcan pérdidas de vidas, económicas y sociales que excedan ciertos niveles de daño.

#### **2.4.5. Daño sísmico.**

Es el daño asociado a cada una de los elementos que componen una estructura así como el impacto que este ocasiona en la población. La evaluación y la interpretación del daño causado por los sismos surgen de la necesidad de cuantificar y poder explicar los efectos de los terremotos sobre los elementos estructurales. Esta evaluación del grado de daño permite definir la necesidad de reparación y/o refuerzo, o simplemente la demolición cuando existen riesgos evidentes a vidas humanas o construcciones cercanas, los índices de daño se han convertido en una importante herramienta para la evaluación del daño y toma de decisiones respecto a la reparación, refuerzo o demolición de una estructura.

Tipos de daños sísmico:

- Daño estructural.
- Daño no estructural.
- Daño económico.
- Daño social.

### 2.4.6. Visión 2000.

En 1992, la Asociación de Ingenieros Estructurales de California, conformó el COMITÉ VISIÓN 2000, con la misión de mirar al futuro y desarrollar un marco de referencia para procedimientos que condujesen a estructuras de desempeño sísmico predecible, lo que significa es saber cual es el desempeño que se espera de una estructura ante un determinado evento sísmico, desempeño que es función del uso que tenga la edificación. Un objetivo de desempeño queda definido por la relación entre un nivel de desempeño y un nivel de diseño sísmico, el cual corresponde a la demanda sísmica, y es definido a partir de un periodo medio de retorno entre eventos sísmicos que producen daños similares. En el cuadro 2.2 presenta la descripción de las definiciones utilizadas por el comité VISIÓN 2000 para los diferentes niveles de desempeño, expresado en términos de los efectos que un sismo puede dejar en las edificaciones.

VISIÓN 2000	Descripción
Completamente Operacional	La edificación permanece en condiciones aptas para su uso normal, se esperan daños mínimos. Todos los sistemas de abastecimiento y líneas vitales deben estar en funcionamiento, de tal manera que el edificio entre en funcionamiento inmediatamente.
Ocupacional	No hay daño significativo a la estructura, los componentes estructurales son seguros y mantienen su función. El edificio puede ser utilizado luego de pequeños arreglos.
Seguridad de vida	Daño significativo a los componentes estructurales con reducción sustancial en la rigidez pero tienen un margen de seguridad antes del colapso. Elementos no estructurales seguros pero con daño, la edificación podrá funcionar luego de ser reparada y reforzada.
Cerca del colapso	Daño sustantivo estructural y no estructural. Existe una gran degradación de la resistencia y rigidez de la estructura, solo queda un pequeño margen para llegar al colapso.

Cuadro 2.2: Caracterización de daño según Visión 2000.

**Caracterización de daño.**

Se obtiene mediante técnicas analíticas o como resultado de la observación de los efectos de los terremotos sobre las estructuras. Se diferencian dos tipos de curvas para la caracterización de daño: curvas de fragilidad y curvas de capacidad <sup>41</sup>.

**2.4.7. Curvas de Fragilidad.**

Las curvas de fragilidad son funciones que describen la probabilidad de alcanzar o exceder un nivel de daño estructural o no estructural, dado un nivel determinístico de respuesta, como de desplazamiento espectral o por medio del análisis dinámico tiempo historia.

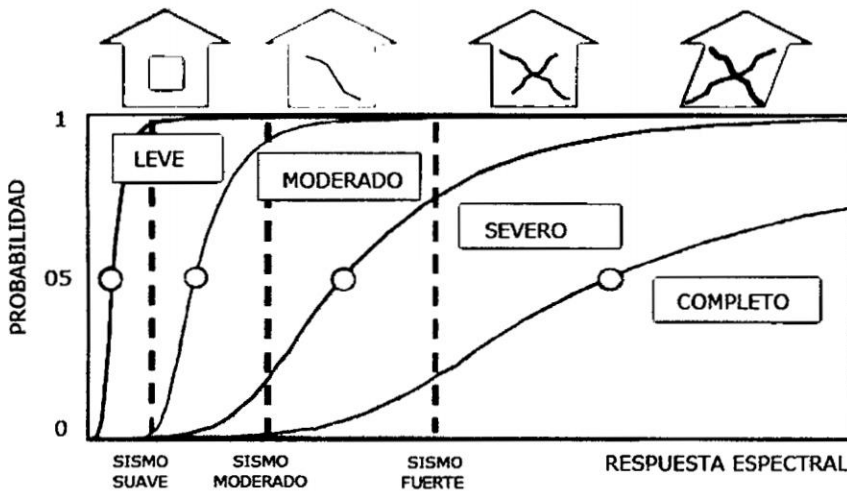


Figura 2.4: Curvas de Fragilidad, Ref.[13]

Descripción de los índices de daño:

**Leve:** Grietas pequeñas en las esquinas de puertas, ventanas en intersecciones; peque-

<sup>41</sup><http://www.bvsde.paho.org/bvsade/e/fulltext/uni/conf9.pdf>

ñas grietas en los muros de mampostería (pequeñas grietas se supone que son visibles con una anchura máxima de menos de  $1/8''$ ).

**Moderado:** Grietas moderadas en las aberturas de puertas y ventanas; pequeñas grietas diagonales en la pared.

**Severo:** Grandes grietas diagonales a través en la pared; movimiento lateral permanente de piso y techo; derrocamiento de la mayoría de las chimeneas de ladrillo; grietas en los cimientos.

**Colapso:** La estructura puede tener gran desplazamiento lateral permanente o estar en peligro inminente de colapso debido; grandes grietas en cimientos.

### 2.4.8. **Curvas de Capacidad.**

Una curva de capacidad se define como la relación que existe entre la resistencia a la carga lateral de una estructura y su desplazamiento lateral característico. La curva de capacidad se obtiene aplicando un patrón de cargas laterales a la estructura, que representan las fuerzas sísmicas, que se va incrementando hasta alcanzar la capacidad última de la estructura o el colapso. Este análisis se sustenta en investigaciones realizadas sobre miembros estructurales reales aplicando cargas laterales para observar la formación secuencial de rótulas plásticas. Los Ingenieros estructurales, en su afán de comprender cada día más el comportamiento en el rango inelástico en el que incursionan las estructuras sometidas a las acciones sísmicas, han creado en el tiempo, herramientas de análisis cada vez más refinadas, tales como el análisis no lineal de cedencia sucesiva, conocido como Método Pushover.

## 2.5. Métodos para generar Curvas de Fragilidad.

En la figura 2.5 se muestra una representación típica de una curva de capacidad, con el cortante en la base y el desplazamiento lateral del edificio.



Figura 2.5: Curva de capacidad

## 2.5. Métodos para generar Curvas de Fragilidad.

Durante el desarrollo del presente capítulo se explica los métodos que existen para generar curvas de fragilidad para diversos casos de estudio.

### 2.5.1. Métodos basados en la observación de campo.

Para aplicar estos métodos, se realiza la investigación en el lugar del epicentro del evento sísmico, donde se genera los mayores niveles de daños estructurales, las estructuras existentes se clasifican de acuerdo a las características geométricas, según la regularidad en piso, regularidad en elevación, piso blando, estructuras de concreto armado, según el número de niveles que presenta la edificación como también la categoría de la

## 2.5. Métodos para generar Curvas de Fragilidad.

edificación. En cuanto a la intensidad del movimiento, ésta se determina en cada una de las zonas donde se encuentran localizadas las estructuras analizadas. Así, a partir de los daños observados durante las inspecciones después de ocurrido un sismo, es posible generar curvas de fragilidad para cada una de las clases identificadas previamente. Este tipo de métodos requieren de la participación de expertos en diseño, análisis y patología de estructuras para poder elaborar los formularios de inspección que permiten describir los daños observados <sup>8</sup>.

El procedimiento empleado para construir las curvas de fragilidad, para una clase de estructuras en particular, a partir de daños observados, puede describirse mediante los siguientes pasos:

- Sea “n” el número de eventos sísmicos ocurridos cercanos al lugar del epicentro, durante un determinado periodo de retorno.
- Para cada sismo  $i$ , se determina el parámetro que caracteriza la intensidad del movimiento, por ejemplo, la aceleración máxima del terreno  $a_i$  registrada en cada zona, esto es:

$$a_i = PGA_i \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, n \quad (2.5.1)$$

- Agrupar el número de estructuras  $N_k$  con relación a la aceleración del terreno  $a_i$ ; y de esta forma se estará obteniendo los estados discretos de daño  $ED_j$ .
- Se clasifica el número de estructuras  $m_l$  que exceden los estados de daño  $ED_j$ .
- Para cada estado de daño  $ED_j$ , se estima la probabilidad de fallo  $f_i$  de la estructura cuando se ve sometida a un sismo con una determinada intensidad

---

<sup>8</sup>Bonett, D. L. (2003), Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de edificios, Tesis Doctoral, p101

## 2.5. Métodos para generar Curvas de Fragilidad.

$PGA = a_i$ , mediante la siguiente expresión:

$$f_i = \frac{m_i}{N_k} \quad (2.5.2)$$

- De los resultados obtenidos se realiza el ajuste a una función de distribución para el grupo de datos obtenidos  $(a_i, f_i)$  para cada estado de daño.

Los métodos basados en las observaciones de campo, sólo deben ser utilizados para evaluar, de manera global, el comportamiento de las estructuras de una misma clase.

### 2.5.2. Métodos experimentales.

El método experimental requiere de modelo a escala que se construye para representar el comportamiento de la estructura y por los patrones de carga utilizados para modelar la acción sísmica. Sin embargo, debe intentarse que estas simplificaciones no alteren la respuesta esperada de la estructura ante determinados movimientos sísmicos, para que, de esta forma, los resultados obtenidos puedan ser representativos del comportamiento global de la estructura.

En la actualidad, existen básicamente dos tipos de ensayos que pueden ser utilizados para construir estas curvas:

1. Ensayos de carga monotónicamente creciente mediante actuadores de carga o desplazamientos.
2. Ensayos sobre mesa vibradora, utilizando historias temporales de aceleración.

Ambos ensayos proporcionan información de gran utilidad, no obstante, los ensa-

## 2.5. Métodos para generar Curvas de Fragilidad.

yos del segundo tipo, son mucho más realistas, debido a que representan, de una forma más adecuada, la acción sísmica.

### 2.5.3. Métodos a partir de la opinión de expertos.

La estimación del porcentaje esperado de daño que puede sufrir un grupo de estructuras ante una intensidad sísmica dada, se determina también a partir de las respuestas de expertos en análisis, diseño y patología estructural, a una serie de preguntas relacionadas con el comportamiento de la estructura considerada.

A partir de esta información se puede calcular un parámetro cuantificador del daño, que es función de la intensidad sísmica del movimiento. Una vez calculado este factor, para todas las estructuras correspondientes a una misma clase, se determinan los estadísticos de los resultados obtenidos y se ajusta una función de distribución de probabilidad, generalmente en algunas investigaciones utilizan el método de los estimadores puntuales pero debido a su confiabilidad el método de simulación de Montecarlo es la que mejor se adapta.

Posteriormente, se establecen los estados discretos de daño que se desean considerar y, para cada uno de estos, se define un intervalo de variación del parámetro cuantificador del daño. Las probabilidades para cada estado de daño se pueden determinar integrando la función de distribución elegida entre los límites de los respectivos intervalos. Las curvas de fragilidad se obtienen graficando estas probabilidades para cada valor de la intensidad sísmica.

Este procedimiento, que puede ser considerado fuera de moda hoy en día, se basa enteramente en el juicio de algunos expertos que se hacen para proporcionar una esti-

## 2.5. Métodos para generar Curvas de Fragilidad.

mación de la pérdida media o probabilidad de daño de un elemento dado para diferentes niveles de carga sísmica. Algunas de las curvas de fragilidad propuestas en HAZUS (por ejemplo, carreteras y túneles) se desarrollan utilizando este método.

### 2.5.4. Métodos analíticos.

Este método también es llamado método híbrido porque utiliza la información obtenida a través de la observación de campo y lo compara con el método numérico obtenido para una tipología estructural analizada ya que este método es el resultado de una combinación de métodos, utilizando por ejemplo tanto los datos analíticos y de observación, o completada por la opinión de expertos. La ventaja principal es que compensan la falta de datos de observación de campo a los modelos estructurales. Estos métodos utilizan análisis numéricos y pueden ser empleados para zonas donde no se dispone de observaciones de daños debidos a sismos, ni de suficientes resultados de ensayos de laboratorio. También pueden ser útiles para el análisis de la vulnerabilidad sísmica de una estructura en particular, como por ejemplo, el caso de estructuras importantes el cual se basa esta investigación.

Los recientes avances en la ingeniería sísmica indican que los métodos probabilistas deben ser utilizados para proporcionar las bases para la mejora del diseño sismorresistente de estructuras y para establecer las condiciones de las metodologías de evaluación del daño. Las comparaciones realizadas entre los daños observados y los calculados, muestran que, a pesar de los recientes avances en el análisis dinámico lineal tiempo historia y en el modelado de estructuras, hay fuertes limitaciones en utilizar métodos puramente deterministas para evaluar el daño en las estructuras después de ocurrido

## 2.6. Curvas de fragilidad por el método analítico.

un sismo. Por lo tanto, los métodos probabilistas son esenciales para proporcionar una perspectiva del comportamiento estructural ante la ocurrencia de un sismo.

En el siguiente capítulo, resume como generar las curvas de fragilidad sísmica a través del método analítico y la Simulación de Montecarlo.

## 2.6. Curvas de fragilidad por el método analítico.

Una de las grandes ventajas de este tipo de métodos, es que constituyen una herramienta fundamental para los estudios de prevención y atención a desastres, debido a que pueden ser utilizados para comenzar a reducir la vulnerabilidad y reducir el riesgo a que se encuentran expuestas las estructuras.

El concepto de fiabilidad estructural (seguridad de funcionamiento) proporciona un marco ideal para evaluar la importancia, y durabilidad ante la amenaza sísmica. En este contexto el diseño, para determinados niveles de desempeño, requiere la conexión entre los estados límite estructurales y su probabilidad de ocurrencia. Una de las formas más utilizadas para representar el funcionamiento de una estructura son las curvas de fragilidad. Éstas representan la probabilidad de que la respuesta de una estructura exceda un determinado estado límite, en función de un parámetro que define la intensidad del movimiento del suelo.

En otras palabras, puede decirse que son una medida de la vulnerabilidad sísmica de una estructura en términos probabilistas. La construcción de estas curvas, requiere de un entendimiento completo de los mecanismos de respuesta del sistema estructural para diferentes niveles de la demanda sísmica, los cuales varían entre movimientos frecuentes de baja intensidad hasta movimientos fuertes poco frecuentes. Generalmente para estos

## 2.6. Curvas de fragilidad por el método analítico.

últimos, el comportamiento de la estructura es altamente no lineal e implica un grado de complejidad elevado, por lo tanto, se recomienda utilizar un tipo de análisis que permita modelar este comportamiento.

Una buena opción consiste en definir un grupo de acelerogramas que representen los sismos ocurridos en el Perú, tanto desde el punto de vista de aceleraciones pico o efectivas como de duración y contenido frecuencial y, evaluar la respuesta de la estructura cuando se somete a estas aceleraciones, mediante un análisis dinámico no lineal. A continuación se presenta un esquema general de los pasos a seguir para encontrar la estimación del riesgo sísmico por curvas de fragilidad.

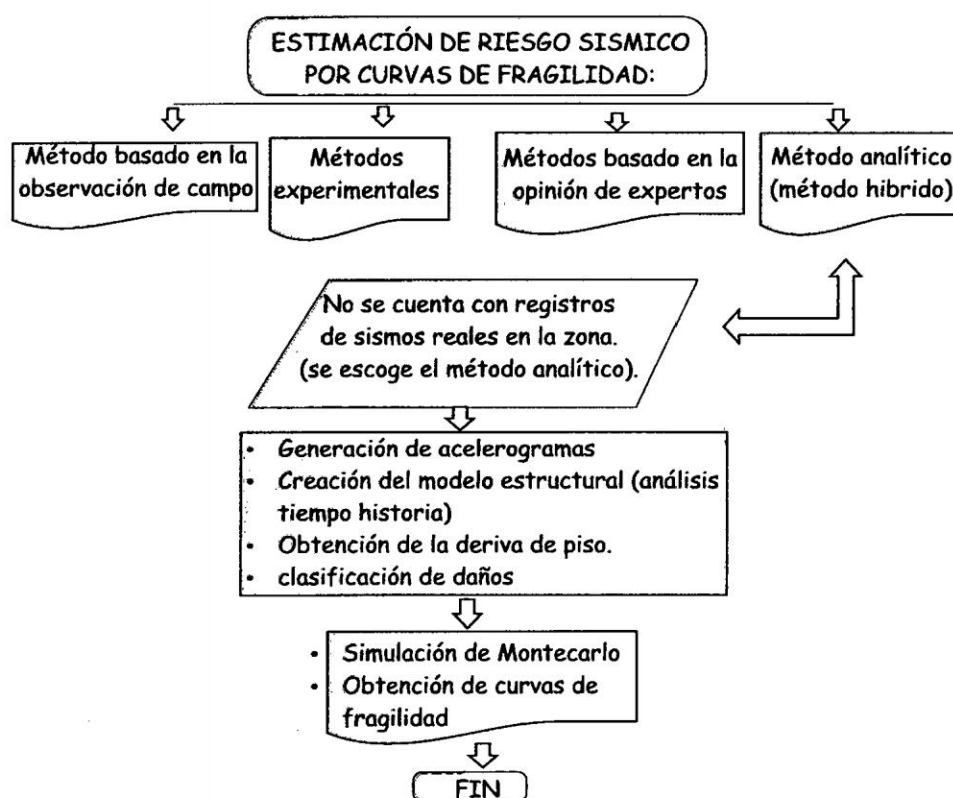


Figura 2.6: Metodología general .Ref.[elab. propia]

### 2.6.1. Modelo log normal simple.

El método empleado en la actualidad consiste en la capacidad de modelación de un suceso A como una variable aleatoria con distribución logarítmica normal, es decir,  $A = A_m \varepsilon$  e donde  $A_m$  es la capacidad media donde  $\varepsilon$  es una variable aleatoria con distribución log-normal con media uno y desviación estándar logarítmica, de tal manera la curva de fragilidad representa la probabilidad de fallo para un nivel de señal sísmica dada.

Es claro que un componente o estructura falla si su capacidad sísmica es menor o igual a nivel de movimiento del terreno dado. Entonces, la probabilidad de fallo condición de que el parámetro “a” del movimiento del suelo está dada por la función de distribución acumulativa de la capacidad de “A”, produciendo <sup>37</sup>:

$$P_{f/a}(a) = \int_0^a \underbrace{\left( \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\Pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x/A_m)}{\sigma}\right)^2} \right)}_{\text{dist.log-normal}} dx = \Phi\left(\frac{\ln(a/A_m)}{\sigma}\right) \quad (2.6.1)$$

- $\Phi$  : es la función de distribución acumulativa gaussiana estándar

**Por lo tanto, la curva de fragilidad está totalmente definida por dos parámetros que son:**

- $A_m$  : Media
- $\sigma$  : desviación estándar logarítmica

Las curvas de fragilidad son gráficas en las cuales en el eje de las “x” se especifica el parámetro estructural (PE), y en el eje de las “y” la probabilidad de excedencia (P). Por lo tanto, como el problema se trabaja en forma probabilística se tiene que definir

<sup>37</sup>Zentner I, Nadjarian (2008), World Conference on Earthquake Engineering Beijing, China 2008

## 2.6. Curvas de fragilidad por el método analítico.

una función de distribución que mejor se ajuste a los datos. En este trabajo se emplea una función de distribución lognormal, que tiene la siguiente forma matemática <sup>1</sup>:

$$P(ED \geq \frac{ED_i}{IS}) = \phi[\frac{1}{\sigma_{PE}} \ln(\frac{PE}{\overline{PE}})] \quad (2.6.2)$$

- $\overline{PE}$  : valor medio del parámetro estructural
- $\sigma_{PE}$  : es la desviación estándar del parámetro estructural seleccionado,
- $ED_i$  : estado de daño en el punto discreto i

La ecuación 2.6.2 representa la probabilidad de que el estado de daño ED sea mayor o igual al estado de daño  $ED_i$  en el punto discreto i para un determinado nivel de intensidad sísmica IS.

Si el parámetro estructural PE que se considera es el desplazamiento lateral máximo en el tope del edificio  $D_t$ , la ecuación 2.6.2 se transforma en:

$$P = \phi(z) \quad (2.6.3)$$

$$z = \phi[\frac{1}{\sigma_{D_t}} \ln(\frac{D_t}{\overline{D_t}})] \quad (2.6.4)$$

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\Pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{x^2}{2}} dx \quad (2.6.5)$$

Donde  $\overline{D_t}$  el valor medio del desplazamiento lateral máximo del grupo de datos analizados y  $\sigma_{D_t}$  la desviación estándar del grupo de datos. Si el PE hubiera sido la deriva máxima de piso, se habría reemplazado  $\gamma$  en lugar de  $D_t$  en la ecuación 2.6.4.

<sup>1</sup>Aguiar R,(2006), Deriva Máxima de Piso y Curvas de fragilidad en Edificios de hormigón armado

## 2.7. Fundamentos para el análisis.

### 2.7.1. Acelerogramas sintéticos.

El conocimiento de las fuerzas que actúan sobre un emplazamiento debido a los terremotos, el análisis de sus efectos sobre las estructuras, el desarrollo de normas de construcción y los métodos para determinar el riesgo sísmico sobre las construcciones son algunas de las principales motivaciones para el estudio de los acelerogramas. Utilizar acelerogramas normalizados para la realización de análisis dinámicos tiempo historia, ya que contienen información real sobre la naturaleza del movimiento fuerte e indican las características variadas de diferentes sismos en lugares diversos. En el presente estudio se utilizó 30 acelerogramas sintéticos de la CISMID-UNI, tomados de registros de diferentes sismos importantes ocurridos en el mundo, y que fueron ajustados a la Norma E-030 para los diferentes tipos de suelos, por lo cual se escogieron los acelerogramas para un tipo de suelo intermedio que es nuestro caso de estudio.

El acelerograma obtenido por la CISMID-UNI tuvo una corrección de:

- Corrección de la línea base donde los valores del acelerograma se encuentran desplazados respecto a la línea cero de aceleración, este error puede ocurrir porque el acelerómetro no está perfectamente nivelado en su emplazamiento, o porque el sistema de registro provoque una deriva de datos respecto a la línea de base.
- Corrección por filtrado de señales, habrá que tener en cuenta la repercusión que el ruido tiene sobre la señal, este ruido puede estar causado tanto por fenómenos naturales como por el tratamiento de los datos.

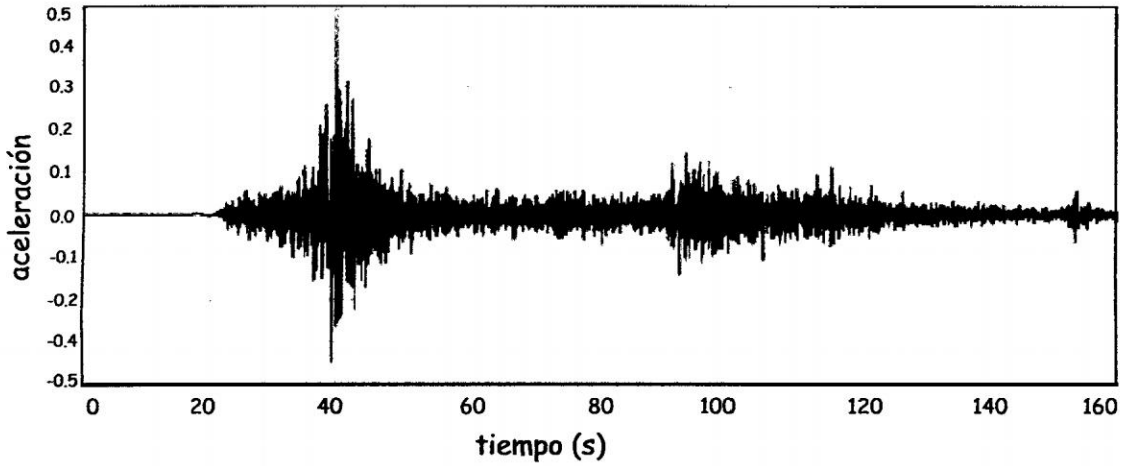


Figura 2.7: Acelerograma E-W del sismo de Pisco 2007, aceleración máx= 0.48g, Ref.[11]

### 2.7.2. Deriva de piso.

Se entiende por deriva al desplazamiento horizontal relativo entre dos puntos colocados en la misma línea vertical, en dos pisos o niveles consecutivos, como también se define como la distorsión de piso o el máximo desplazamiento relativa de entrepiso donde para edificios de concreto armado es de 0.007 como máximo, según como establece la norma de diseño sismorresistente E-0.30, para estructuras de concreto armado.

La norma de Chile NCh 433-96, establece una deriva de piso de 0.001 (elástica), la Norma de Ecuador CEC-2000, establece una deriva de piso de 0.02, y la Norma de Colombia NSR-98, establece una deriva de piso de 0.01. En la siguiente ecuación describe la forma de obtener la deriva de piso en estructuras de concreto armado.

$$\gamma = \frac{q_{ine(i)} - q_{ine(i-1)}}{h_i} \quad (2.7.1)$$

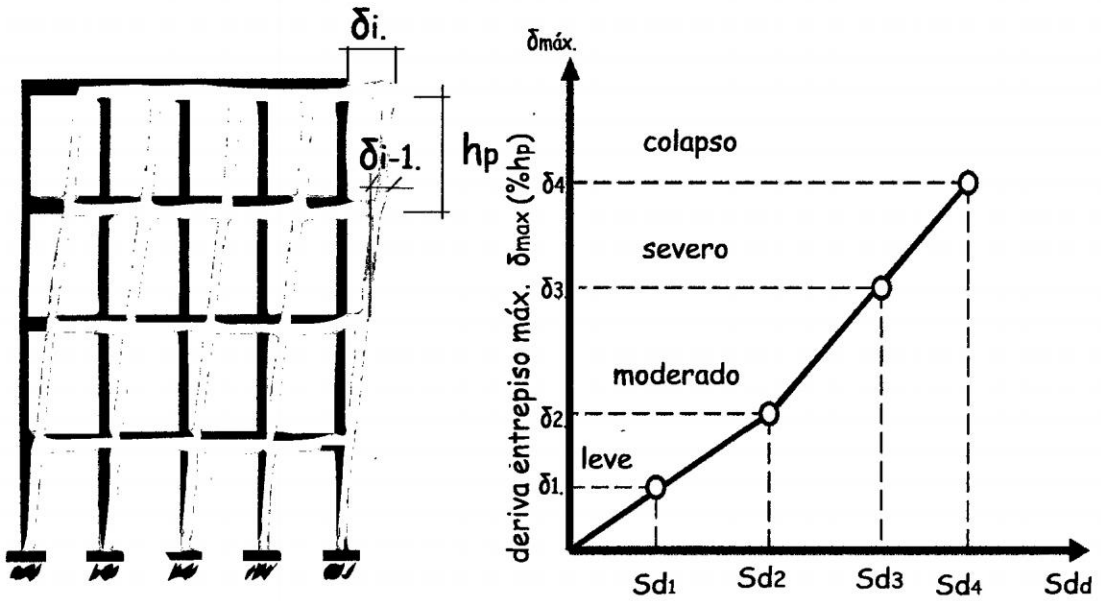


Figura 2.8: Estado de daño según la deriva de piso, Ref.[35]

Por otra parte, Ghobarah et al. (1997) definen cinco niveles de desempeño en función de la distorsión máxima de piso  $\gamma$ , los que se indican en la siguiente; esta clasificación es la que se utilizó en el estudio. Además en forma general el nivel de daño en cada clasificación y el desempeño.<sup>19</sup>

Distorsión de piso	Daño	Descripción del daño	Desempeño
$1\gamma < 0.002$	Sin daño	Sin daño	Sin daño
$0.002 < \gamma < 0.005$	Leve	Grietas ligeramente visible	Agrietamiento
$0.005 < \gamma < 0.011$	Moderado	Grietas menores de 1mm	Fluencia del acero
$0.011 < \gamma < 0.023$	Extenso	Grietas entre 1mm y 2mm	Inicio de mecanismo
$\gamma \geq 0.023$	Completo	Grietas mayores a 2mm	Mecanismo global

Cuadro 2.3: Niveles de daño propuestos por Ghobarah, Ref.[19].

<sup>19</sup>Ghobarah, (1997), Level of distortion per story for reinforced concrete buildings

<b>Distorsión de piso</b>	<b>Desempeño</b>
$1Y < 0.002$	Operacional
$0.002 < Y < 0.005$	Ocupacional
$0.005 < Y < 0.015$	Seguridad de vida
$0.011 < Y < 0.025$	Prevención de colapso
$Y \geq 0.025$	Colapso

Cuadro 2.4: Deriva máximo de piso, por el comité VISION 2000 .

### 2.7.3. Simulación de Montecarlo.

#### 2.7.3.1. Simulación.

La simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a término experiencias con él, con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema o evaluar nuevas estrategias dentro de los límites impuestos por un cierto criterio o un conjunto de ellos para el funcionamiento del sistema. En estadística, simular es esencialmente una técnica de muestreo controlada, que es usada en conjunto con un modelo, para obtener respuestas aproximadas a preguntas respecto de complicados problemas probabilísticos. Esto es muy usado cuando las técnicas analíticas y numéricas no son capaces de dar respuestas. Cuando los modelos tienen una formulación matemática, pero las predicciones analíticas no son posibles, entonces es frecuente que simular se transforme en una poderosa herramienta, no solo para describir el modelo en si mismo, sino para investigar como puede cambiar el comportamiento ante cambios de los parámetros del modelo.

### 2.7.3.2. Generación de Números Aleatorios.

La simulación de cualquier sistema en el que se tengan en cuenta efectos no determinísticos necesita disponer de una gran cantidad de números aleatorios, y en general, de sucesiones de realizaciones de variables aleatorias.

- El método de Simulación de Montecarlo es una técnica numérica para calcular probabilidades y otras cantidades relacionadas, utilizando secuencias de números aleatorios, en consecuencia es generar números aleatorios uniformemente distribuidos desde  $[0, 1]$ <sup>16</sup>.
- En teoría la Simulación de Montecarlo, es una sucesión de variables aleatorias independientes distribuidas uniformemente dentro del intervalo  $[0, 1]$ .
- El método de Montecarlo es una técnica de análisis numérico que se basa en el uso de secuencias de números aleatorios para muestrear los valores de las variables de probabilidad de un problema determinado. En efecto, con mucha frecuencia el número de estados posibles del sistema es tan elevado que hace imposible calcular valores promedio sumando sobre todos los estados, por lo que se opta por tomar una muestra y estimar los valores promedio a partir de ella dando una solución mas real del sistema. Los valores muestreados se obtienen a partir de las distribuciones de probabilidad de cada variable. La solución al problema planteado se estima analizando los valores de la muestra a través de métodos estadísticos.
- El método de Montecarlo es el nombre con que se designa un procedimiento de

---

<sup>16</sup>Gómez, C. (2005), El método de Montecarlo, Art. TAE, p2

simulación basado en la utilización de números aleatorios. Es una técnica numérica para la resolución de problemas de tipo general, cuya estructura de cálculo tiene la forma de un proceso estocástico, entendiéndose como tal una secuencia de estados cuya evolución está determinada por sucesos aleatorios.

Una de las aplicaciones más habituales del método Montecarlo es el cálculo de series o integrales. En esencia el método consiste en la estimación de una media muestral. Debemos fijarnos en que cualquier serie o integral se puede representar como la esperanza matemática de una función de una variable aleatoria (discreta para series y absolutamente continua para integrales). A partir de un generador de números pseudoaleatorios uniformemente distribuidos en el intervalo  $[0, 1)$  es posible construir generadores con distribuciones uniformes  $p(X)$  a través de diferentes procedimientos. A continuación se explica el Método del rechazo.

### 2.7.3.3. Método del rechazo.

- Existe otro procedimiento para generar números al azar de distribuciones de probabilidad no uniformes. A este tipo de procedimiento se le conoce con el nombre de método de rechazo. Este método consiste primeramente en generar un valor de la variable aleatoria y enseguida probar que dicho valor simulado proviene de la distribución de probabilidad que se está analizando:
- Paso 1: Generar una variable aleatoria “u” y calcular un valor tentativo de “y”.
- Paso 2: Si se cumple una cierta condición, aceptar el valor tentativo de “y”.
- Paso 3: Si no se cumple la condición, rechazar el valor tentativo, y volver al paso número 1, hasta conseguir el resultado determinado por la función.

#### 2.7.4. Reglamento Nacional de Tasaciones.

El Reglamento Nacional de Tasaciones del Perú tiene por finalidad establecer los criterios, conceptos, definiciones y procedimientos técnicos normativos para formular la valuación de bienes inmuebles y muebles.

- Tasación o valuación al procedimiento mediante el cual el perito valuador realiza inspección ocular del bien, lo estudia, analiza y dictamina sus cualidades y características en determinada fecha, para establecer la estimación del valor razonable y justo del bien de acuerdo a las normas del presente reglamento.
- Para la valuación reglamentaria de las obras complementarias e instalaciones fijas y permanentes, en una edificación techada, se evaluará según los cuadros de valores unitarios oficiales de edificación para la sierra y se valorizará la partida correspondiente de conformidad a los cuadros que incluyen las citadas obras o instalaciones.
- En el caso de la valuación reglamentaria, el área techada (AT) y los valores unitarios de edificación (VUE) que, según los casos serán los valores oficiales que hayan sido aprobados por autoridad competente y que estén vigentes a la fecha de la valuación, aplicando los factores de depreciación (D) por antigüedad y estado de conservación, el Valor de la Edificación (VE) se obtiene de la diferencia del Valor Similar Nuevo (VSN) con la depreciación.

$$VE = VSN - D \quad (2.7.2)$$

- El valor similar nuevo se obtiene multiplicando el área techada (AT) por el valor

unitario de edificación (VUE)

$$VSN = AT * VUE \quad (2.7.3)$$

- La depreciación (D) se determina tomando del valor similar nuevo (VSN) un porcentaje (P) por antigüedad y estado de conservación que varía de acuerdo al material de construcción predominante

### 2.7.5. Pérdida económica.

La metodología desarrollada por HAZUS-FEMA en 1999, se basa fundamentalmente en los conceptos de curva de capacidad, punto de desempeño y curva de fragilidad. La ventaja de HAZUS es su posibilidad de estimar el daño ante un evento sísmico no solo en edificios, sino también en sistemas de transporte, sistemas de seguridad, etc.

Las curvas de fragilidad obtenidas pueden implementarse con la metodología de HAZUS, para estimar el riesgo sísmico (pérdidas) de edificios peruanos. El resultado del estudio de riesgo involucra el cálculo de costos de reposición. La metodología relaciona costos con estados de daño mediante índices que deben ser estudiados y adaptados a nuestro entorno.

#### 2.7.5.1. Estimación de pérdida económica según HAZUS-FEMA

Los índices de daño sísmico o estado de daño en estructuras de concreto armado, se encargan de cuantificar el grado de deterioro de un elemento, grupo de elementos o de una estructura, ante la acción de un evento sísmico.

N°	Grado de daño	Descripción	Perdida (%)
1	Sin daño estructural	Sin daño estructural, con posible presencia de pequeños daños en componentes no estructurales	0
2	Daño leve	Presencia de pequeñas grietas en elementos estructurales, evidente grietas en elementos no estructurales, separación entre la tabiquería y los elementos	2
3	Daño moderado	Grietas evidentes en elementos estructurales con pérdida de recubrimiento en algunos casos. Grietas horizontales y diagonales en tabiquería	10
4	Daño severo	Falla localizada de algunos elementos estructurales. La mayoría de tabiquerías presentan grandes grietas o pueden volcarse, la estructura presenta una de formación lateral permanente.	50
5	Daño completo	Desplazamiento lateral excesivo. Pérdida de la estabilidad vertical, representa el colapso total o parcial de la edificación.	100

Cuadro 2.5: Indices de daño propuesto por HAZUS FEMA, ,Ref.[13]

### 2.7.5.2. Estimación de pérdida económica usando otros factores de daño.

La NHRC-Natural Hazards Research Centre, con sede en la Universidad de Macquarie-Australia, ha realizado una recopilación de algunas de las escalas de daños más completas para la evaluación del daño en edificios, provocados por riesgos naturales como son los tornados, ciclones, deslizamientos de tierra, incendios, terremotos, etc.

Propone una recopilación de algunas escalas de daño más completas para la evaluación del daño en edificios, el cual presenta una escala de daño construida de tal manera que el daño de los edificios de varias localidades, ocasionados por diferentes riesgos naturales puedan ser comparados y sumados. El índice de daño se basó en edificios de concreto armado dañados o destruidos, sin incluir los elementos no estructurales.

## 2.7. Fundamentos para el análisis.

Descripción	Rango(%)	Valor de daño central (%)
Ligero	1-5	2
Moderado	5-20	10
Fuerte	20-60	40
Severo	60-90	75
Colapso	90-100	100

Cuadro 2.6: Definición de daño propuesto por NHRC

Daño	Grado de daño	Daño esperado (%)	Estado de daño(%)
1	Sin daño	<10	Grietas menores localizadas
2	Menor	10-25	Grietas ligeras en toda la estructura
3	Moderado	35-40	Grietas severas y desprendimiento localizados
4	Severo	40-100	Aplastamiento del hormigón, refuerzo visible
5	Colapso	>100	Colapso

Cuadro 2.7: Clasificación de daño propuesto por Park (1987).

### 2.7.6. Reparación y Reforzamiento de elementos estructurales existentes.

Después de un sismo muchas veces se requiere la reparación de elementos estructurales existentes de concreto armado, con el fin de restablecer la resistencia perdida <sup>24</sup>:

<sup>24</sup>Morales M. (2004). Diseño estructural Sismorresistente, pág 114

- Reparación: Cualquier operación para restablecer el comportamiento estructural de un elemento o estructura con daño a su comportamiento.
- Reforzamiento: Cualquier operación que incremente el comportamiento estructural de un elemento a su comportamiento original.
- Restauración: Conseguir que la edificación sea utilizable

#### **2.7.6.1. Reparación y Reforzamiento de muros de corte.**

Debido a su gran rigidez lateral y resistencia, los muros de corte proporcionan la parte más significativa de la capacidad sísmica de la edificación <sup>24</sup>.

##### **Reparaciones locales:**

Si no hay deterioro ni concreto triturado la aplicación de inyecciones epóxicas es capaz de restituir aproximadamente la resistencia original, sin embargo el muro reparado no tendrá la misma rigidez lateral original debido a que no todas las pequeñas grietas pueden ser inyectadas de epóxico.

#### **2.7.7. Disipadores de energía.**

A pesar que su inclusión en el diseño de la estructura representa un gasto adicional, destacados ingenieros consideran que se trata de una inversión altamente rentable que garantiza no sólo una reducción sustancial de posibles daños a la estructura y al contenido del edificio sino también a las personas que lo habitan. Los disipadores de energía modifican la propiedad dinámica de amortiguamiento del sistema estructural ya que las vibraciones incluidas por la excitación son absorbidas por estos dispositivos.

---

<sup>24</sup>Morales M. (2004). Diseño estructural Sismorresistente, pág 118

A continuación se explica los tipos de disipadores de energía:

**Disipadores metálicos:** Se caracterizan por tener un comportamiento dúctil que es, en gran medida independiente de la velocidad de deformación.

**Disipadores friccionales:** Los dispositivos se caracterizan por tener un comportamiento que se logra a través de la fricción sea entre dos metales. El principio básico consiste en utilizar la deformación relativa entre dos puntos de una estructura para disipar energía a través de fricción.

**Disipadores viscosos:** El principio básico de funcionamiento consiste en movilizar un elemento a través de un fluido viscoso. Esto genera fuerzas que se oponen al movimiento del elemento, de magnitud proporcional a la velocidad.

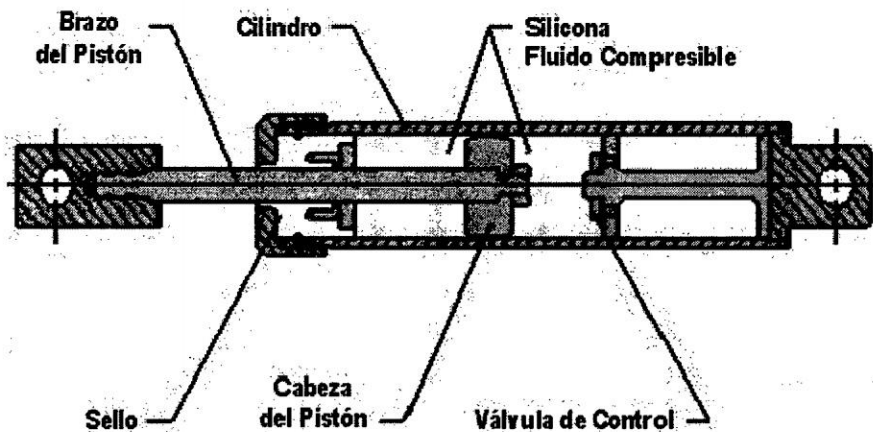


Figura 2.9: Disipador viscoso

Normalmente los disipadores viscosos se colocan cuando la estructura principal ya soporta la mayor parte de la carga vertical, de forma que el sistema de disipación trabaja para resistir las acciones horizontales (fuerza sísmica). En la figura se nota que el desplazamiento máximo corresponde a la fuerza máxima de la estructura, en ese momento la fuerza del disipador viscoso es mínima.

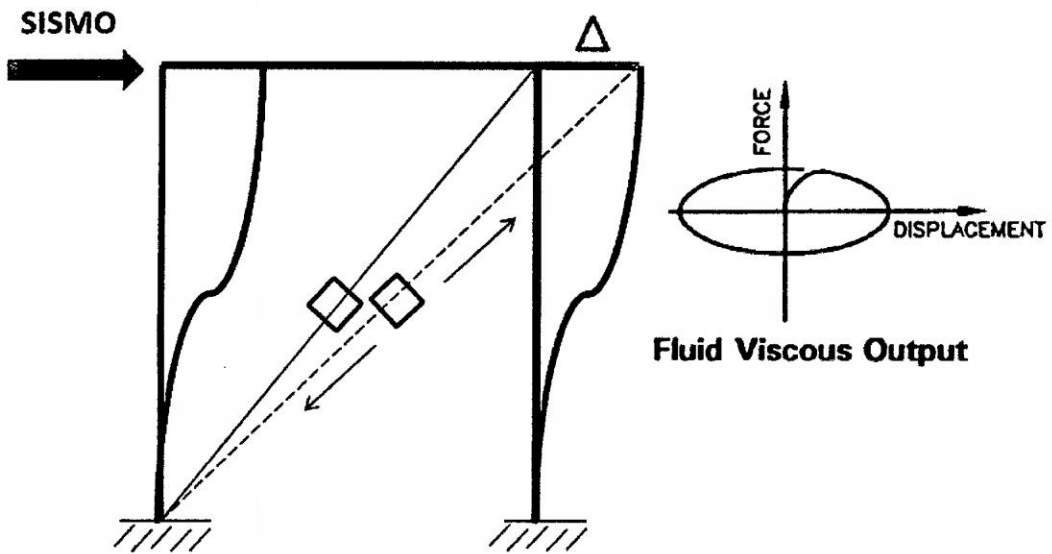


Figura 2.10: Disipador de energía viscoso ante una fuerza sísmica

La adición de sistemas de disipación de energía incrementa la resistencia y/o rigidez de la estructura. En general, la adición de un sistema de disipación de energía resulta una reducción considerable de la distorsión de piso, una reducción del daño debido a la disipación de energía y un incremento en la rigidez lateral total de la estructura debido al incremento de la resistencia y/o rigidez <sup>18</sup>.

### 2.7.7.1. Amortiguamiento de estructuras viscoelástico.

El uso de resortes y amortiguadores para fines de aislamiento de vibraciones es una técnica que demoró en ser aplicada hasta principios del siglo pasado, si bien en su aspecto teórico era conocida con anterioridad. El aislamiento activo de vibraciones se aplicó desde entonces a máquinas y equipos en la industria metalmeccánica y en centrales eléctricas. La rápida difusión a otras áreas de aplicación estuvo relacionada con las ventajas adicionales de esta técnica, que en principio no fueron consideradas, como por ejemplo, la reducción del costo y evitar el asentamientos diferencial.

<sup>18</sup>Genner V. (2008), Edificaciones con disipadores de energía, p13

## 2.8. Investigaciones Similares.

### 2.8.1. Romme Rojas Gil (Venezuela 2010).

En la investigación el autor presenta, curvas de fragilidad sísmica para edificios apor-  
ticados de concreto reforzado de poca altura, de 1 a 3 pisos, diseñados con normas  
Venezolanas. Para la elaboración de los modelos matemáticos de las edificaciones se-  
leccionadas, utilizó el Método de Análisis Dinámico Lineal de Superposición Modal.  
Se estimó la respuesta sísmica probabilística mediante el Método de los Estimadores  
Puntuales, para lo cual se utilizaron tres variables aleatorias (módulo de elasticidad del  
concreto, factor de reducción de respuesta e inercia de los elementos estructurales). Se  
construyeron curvas de fragilidad a partir del cálculo de probabilidades de excedencia  
para distintas aceleraciones máximas del terreno y para diferentes estados límites:

- Deriva máxima permitida por la norma COVENIN 1756-2001.
- Las derivas asociadas a los estados de daño (Leve, Moderado, Severo y Completo)  
reportados por HAZUS.

Se observó que las edificaciones diseñadas con la norma antigua, presentan mayor  
vulnerabilidad que las prediseñadas con la norma actual, generando daños y niveles de  
riegos sísmico superiores. El método de los estimadores puntuales permitió determinar  
para las tres variables aleatorias establecidas la respuesta sísmica probabilística, repre-  
sentada por la deriva de techo, de manera sencilla y con un número de análisis menor  
a otros métodos como el de Monte Carlo.<sup>29</sup>

---

<sup>29</sup>Rojas G. (2010), Curvas de fragilidad sísmica para edificios apor-  
ticados de concreto reforzado de poca altura

### 2.8.2. Roberto Aguiar (Ecuador, 2006) .

Realizó el análisis no lineal de 692 casos de estructuras de hormigón armado constituidas por vigas y columnas, de uno a seis pisos y sometidas a nueve registros sísmicos medidos en Colombia y con aceleración máxima del suelo mayor a 0.1 g, se presentan curvas de fragilidad de desplazamiento lateral máximo. Las curvas se comparan con las reportadas por el programa HAZUS y curvas de fragilidad de la deriva máxima de piso. La geometría, armado (o refuerzos) y los materiales de las estructuras responden a la forma como se construye en el Ecuador. Se presentan curvas de fragilidad para cuatro niveles de daño sísmico denominados: leve, moderado, extenso y completo<sup>1</sup>.

### 2.8.3. Metodología HAZUS-FEMA, (2009).

La Agencia Federal para el Manejo de Emergencias, presenta una metodología para la estimación de las pérdidas por sismos. Más que eso, HAZUS presenta información muy práctica que puede ser utilizada en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de una ciudad en forma bastante rápida.

Entre la información provista por HAZUS se tienen las curvas de fragilidad, en efecto, HAZUS 99 presenta estas curvas para cuatro niveles de diseño denominados: pre-norma, bajo, moderado y alto. Para cada uno de estos niveles de diseño se tiene un límite de la deriva máxima de piso que caracteriza el nivel de daño en una estructura de concreto armado, los que se indican en los cuadros siguientes, para cuatro niveles de daño denominados: leve, moderado, extenso y completo.

---

<sup>1</sup>Aguiar F. (2006), Deriva Máxima de Piso y Curvas de Fragilidad en Edificios de Hormigón Armado

Niveles de daño	Niveles de daño			
	Pre-norma	Bajo	Moderado	Alto
Leve	0.0040	0.0050	0.0050	0.0050
Moderado	0.0064	0.0080	0.0087	0.0100
Extensivo	0.0160	0.0020	0.0233	0.0300
Completo	0.0400	0.0500	0.0600	0.0800

Cuadro 2.8: Valores de deriva máxima de piso para estructuras de concreto armado de 1 a 3 pisos, Ref.[13]

Niveles de daño	Niveles de daño			
	Pre-norma	Bajo	Moderado	Alto
Leve	0.0027	0.0033	0.0033	0.0033
Moderado	0.0043	0.0053	0.0058	0.0067
Extensivo	0.0107	0.0133	0.0156	0.0200
Completo	0.0267	0.0333	0.0400	0.0533

Cuadro 2.9: Valores de deriva máxima de piso para estructuras de concreto armado de 4 a 7 pisos, Ref.[13]

#### 2.8.4. Estimación de pérdidas por sismo en edificios Peruanos mediante Curvas de Fragilidad analíticas

En la presente tesis el autor generó curvas de fragilidad, calculando la respuesta estructural de dos centros educativos de la costa peruana, mediante el análisis dinámico no lineal para estructuras regulares, para ello utilizó el programa DRAIN-2DX. Para generar la muestra de parámetros tomó en cuenta las variaciones de las propiedades estructurales del concreto y una densidad de probabilidad para el esfuerzo de fluencia del acero, para generar los acelerogramas sintéticos utilizó el programa SIMQKE-1 el cual le permite obtener los parámetros de indicador de daño, para luego usando procedimientos de análisis dinámico no lineal, se calcula la respuesta estructural y se construyen funciones de distribución de probabilidad para el daño alcanzado. Final-

mente, en base a estas funciones logra representar la vulnerabilidad mediante curvas de fragilidad o matrices de probabilidad de daño, el autor en su investigación no presenta los códigos del programa en Matlab, tampoco explica como genero la simulación de Montecarlo en el Matlab, presentando solo resultados. <sup>35</sup>.

### **2.8.5. Estudio Piloto de vulnerabilidad sísmica de viviendas de albañilería confinada y de concreto armado en el Distrito de Ayacucho.**

Se analiza 220 viviendas de 1 a 3 pisos, para el cálculo del índice de vulnerabilidad, índice de daño y las pérdidas económicas directas para 3 sismos específicos, lo cual utiliza las funciones de vulnerabilidad propuestas por Petrini, mediante una suma ponderada de los valores numéricos que expresan la calidad sísmica, de cada uno de los parámetros estructurales y no estructurales de la albañilería confinada. Para el cálculo del índice de vulnerabilidad el autor utiliza la escala de Benedetti–Petrini, donde representa el índice obtenido mediante una suma ponderada de los valores numéricos que expresan la calidad sísmica de cada uno de los parámetros estructurales <sup>10</sup>.

### **2.8.6. Estudios Geofísicos para la zonificación sísmica para la ciudad Ayacucho.**

Se realizó estudios Geofísicos para la ciudad de Ayacucho, el autor concluye que para un análisis de peligro sísmico probabilístico muestra que para 50 años de exposición sísmica y 10 % de excedencia, el valor de la aceleración máxima esperada para la ciudad

---

<sup>35</sup>Velásquez J, Estimación de pérdidas por sismo en edificios Peruanos mediante Curvas de Fragilidad analíticas

<sup>10</sup>Contreras P. (2004). Tesis UNSCH Estudio Piloto de vulnerabilidad sísmica de viviendas de albañilería confinada y de concreto armado en el Distrito de Ayacucho

de Ayacucho es de 0.32g y para 100 años de exposición sísmica la aceleración máxima alcanza 0.37g. Del mapa geofísico para la ciudad universitaria de la UNSCH, define un tipo de suelo con grava limo arenoso formada por la mezcla de piedras subredondeadas de origen sedimentario con material limo-arenoso de baja plasticidad sobre terrenos de pendiente suave, con una buena capacidad portante de (1.5 a 2.0)kg/cm<sup>2</sup> <sup>26</sup>.

### **2.8.7. Vulnerabilidad de las construcciones de adobe en el centro histórico de la ciudad de Ayacucho.**

El Instituto Nacional de Cultura, prohíbe las demoliciones de casonas, en su afán de mantener nuestro patrimonio cultural, de modo que el autor concluye que<sup>25</sup>. La vulnerabilidad de los edificios de Ayacucho se encuentra entre moderada y alta. El escenario de daño esperado en la ciudad de Ayacucho para una aceleración sísmica equivalente a 0.1g, es preocupante dándose un índice de daño superior al 19% y para una aceleración de 0.25g, se obtiene un 67% de daños en los edificios coloniales.

### **2.8.8. Peligro Sísmico en el Departamento de Ayacucho.**

Según al mapa de peligro sísmico obtenido por el investigador<sup>38</sup>, obtiene para la ciudad de Ayacucho una aceleración de 0.35g a 0.37g para una probabilidad de 10% de excedencia en 100 años, y una aceleración sísmica de 0.31g a 0.32g para una probabilidad de 10% de excedencia en 50 años, según los mapas de isoaceleraciones obtenido con la metodología de la teoría de valores extremos de Gumbel, Tiempo de alarma sísmico, en base a la teoría de reconocimiento para el pronóstico de eventos sísmicos.

---

<sup>26</sup>Palomino T. (2008), Estudios Geofísicos para la zonificación sísmica de la ciudad de Ayacucho

<sup>25</sup>Quispe A. L. (2004), Tesis UNSCH Vulnerabilidad de las construcciones de adobe en el centro histórico de la ciudad de Ayacucho, p172

<sup>38</sup>Palacios L. W. (2004), Peligro Sísmico en el Departamento de Ayacucho, Tesis UNSCH

## **Parte III**

### **Metodología**

# Capítulo 3

## METODOLOGÍA

### 3.1. Introducción

*El presente capítulo está basado en los lineamientos básicos para obtener una buena investigación, y se desarrollará la metodología que permite obtener el análisis dinámico tiempo historia de la estructura, por medio del cual se obtendrá los niveles de daños más probables de la estructura irregular, de tal manera se implementa con un programa aplicativo de la Simulación de Montecarlo en Matlab, con lo que se generará “n” resultados aleatorios confiables, para encontrar el nivel de daño estructural y pérdidas económicas representado por curvas de fragilidad.*

### 3.2. Selección de la estructura a evaluar.

La configuración estructural de la Biblioteca es irregular tanto en planta como en elevación, lo que representa un mal comportamiento estructural ante cualquier evento

### 3.3. Configuración estructural .

sísmico por lo que es necesario analizar la vulnerabilidad sísmica través de métodos no tradicionales propuesto por la Ingeniería.



Figura 3.1: Vista General de la Biblioteca (Escenario Sísmico)

### 3.3. Configuración estructural .

El área construido de la Biblioteca es de 1,427.00 m<sup>2</sup>, donde describiremos a continuación la configuración estructural tanta en planta como en elevación.

- Discontinuidades en el sistema de piso.

La estructura es considerada irregular debido a que los pisos tiene discontinuidades apreciables o variaciones significativas en su rigidez, incluyendo las causadas por aberturas, entradas, retrocesos o huecos, con áreas mayores al 50 % del área total de piso o con cambios en la rigidez efectiva del piso de más del 50 % entre niveles consecutivos. Para que un edificación soporte un movimiento sísmico

### 3.3. Configuración estructural .

su estructura debe ser sólida, simétrica, uniforme, continua o bien conectada. Cambios bruscos de sus dimensiones, y una configuración estructural desordenada facilitan la concentración de fuerzas nocivas, torsiones y deformaciones que pueden causar graves daños o el colapso de la edificación.

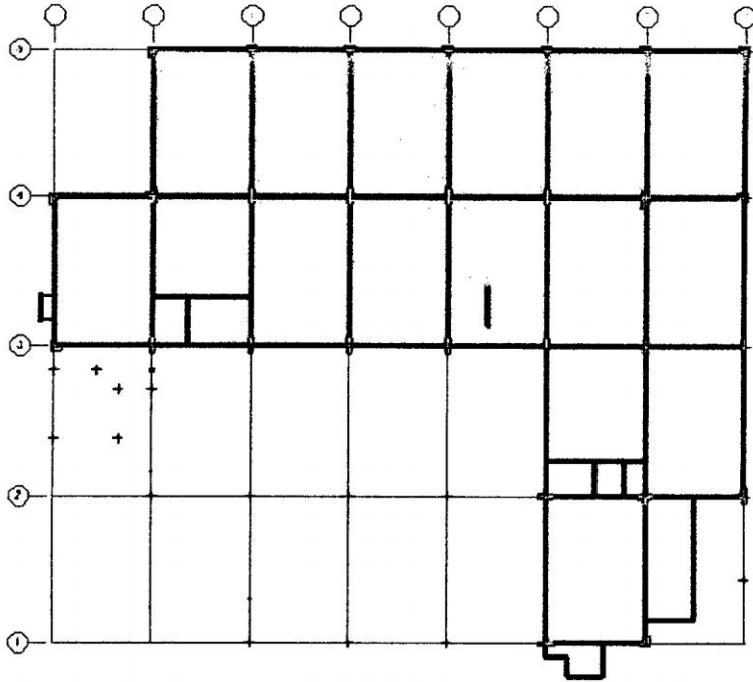


Figura 3.2: Losa aligerada del sótano de la Biblioteca UNSCH

La Biblioteca de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, presente este tipo de discontinuidad en el sistema de piso, pese a que la segunda Norma de diseño de 1977 menciona claramente dentro de sus artículos evitar este tipo de irregularidades. Generalmente otra característica presente es el fenómeno de piso débil que constituye el problema más importante dentro de los causados por las discontinuidades, donde la planta baja es más flexible que las plantas superiores. En cualquier nivel de la estructura un piso débil constituye un problema, se considerara más crítico para la estructura que éste se ubique en la planta baja, ya que es en esta zona donde las fuerzas internas son mayores.

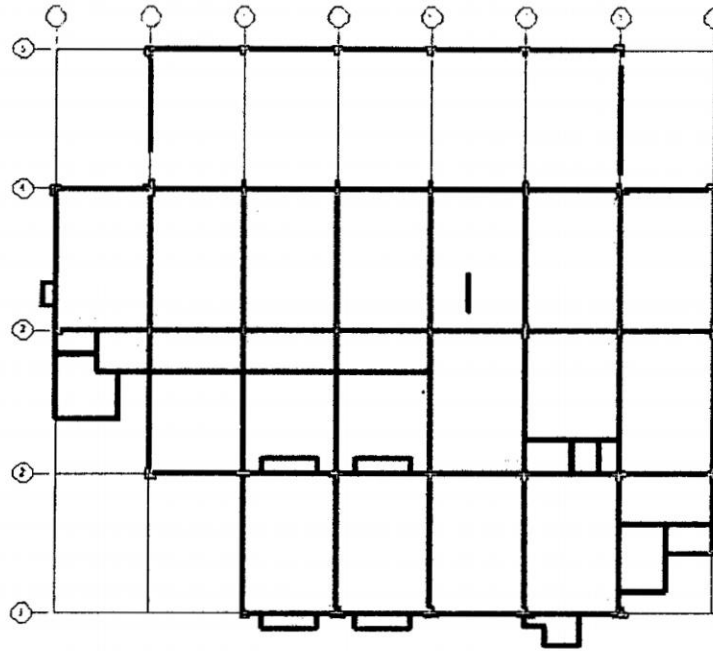


Figura 3.3: Losa aligerada del 1er piso de la Biblioteca UNSCH

- Irregularidad de la distribución de las masas

La estructura se considera irregular cuando la masa de cualquier piso es mayor a 1.5 veces la masa de uno de los pisos adyacentes de la estructura<sup>1</sup>, exceptuando el caso de cubiertas que sean más livianas que el piso inferior, según el metrado de carga obtenido del cuadro 3.1, la masa del primer piso es mayor que 1.5 la masa del 2do piso de la Biblioteca.

Piso Und	Peso de muro y tab. tn	Peso de Losa tn	Peso de Acabados tn	Peso de vigas tn	Peso de Columnas tn	Total de Carga Muerta tn
Sótano	399.38	329.70	79.95	124.49	67.28	920.85
1	416.50	406.18	88.43	162.44	85.56	1070.68
2	178.54	175.00	32.79	83.23	68.89	505.65
3	99.80	285.08	34.40	94.65	65.22	544.74
Total	1094.21Tn	1195.95Tn	235.57Tn	464.81Tn	286.94Tn	3041.91Tn

Cuadro 3.1: Peso total de la edificación.

<sup>1</sup>Aguiar Falconi R, (2006), Deriva Máxima de Piso y Curvas de Fragilidad en Edificios de Hormigón Armado, pág. 35

- Irregularidad Geométrica

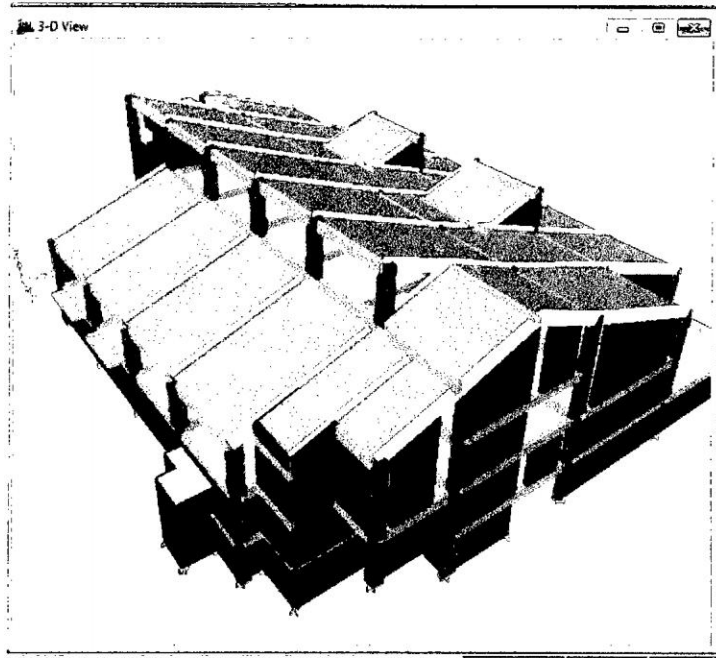


Figura 3.4: Configuración estructural de la Biblioteca UNSCH

La estructura se considera irregular cuando la dimensión en planta del sistema resistente en cualquier piso es mayor que 1.3 veces la misma dimensión en un piso adyacente, exceptuando el caso de las estructuras de un solo piso.

- Edificio con cambio abrupto en su resistencia lateral

La estructura presenta una baja rigidez lateral de sus columnas en la dirección norte-sur, debido a que en dicha dirección las columnas tienen un peralte de sólo 0.25m y además por la forma irregular de la estructura el pórtico de cada eje longitudinal presenta discontinuidades en elevación de sus columnas. Por lo general, la variación de esta característica en las columnas de una estructura, se presenta cuando algunos edificios están ubicados sobre laderas donde existen diversidad de niveles, o sobre lugares que han sido rellenados con materiales de baja calidad, o aspectos de arquitectura, etc.

### 3.4. Procedimiento para el análisis dinámico tiempo historia.

#### 3.4.1. Consideraciones para el diseño.

##### Propiedades del concreto

- Resistencia a compresión ( $f_c$ ): 210kg/cm<sup>2</sup>
- Peso específico : 2400kg/m<sup>3</sup>
- Módulo de elasticidad:  $E_c = 217370.65 \text{ kg/cm}^2$
- Módulo de Corte:  $G_c = 905711.05 \text{ Kg/cm}^2$
- Módulo de Poisson: 0.2

$$E_c = 15000 * \sqrt{F_c} \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad (3.4.1)$$

##### Propiedades del acero

- Fluencia del acero:  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$
- Deformación Unitaria Máxima:  $\xi_s = 0.0021$
- Módulo de Elasticidad:  $E_s = 2'000,000 \text{ kg/cm}^2$

##### Albañilería artesanal

- Resistencia a Compresión Axial de las Unidades:  $f'_b = 55 \text{ kg/cm}^2$
- Resistencia a Compresión Axial en Pilas:  $f'_m = 35 \text{ kg/cm}^2$
- Resistencia al Corte en Muros :  $v'_m = 5.1 \text{ kg/cm}^2$

### 3.4. Procedimiento para el análisis dinámico tiempo historia.

- Módulo de Elasticidad  $E_m = 500f'_m$ :  $E_m = 17,500 \text{ kg/cm}^2$
- Peso específico :  $1800 \text{ kg/m}^3$

Figura 3.5: Propiedades del material

En el cuadro siguiente se define el metrado de carga viva y carga muerta para el análisis dinámico tiempo historia.

CARGA VIVA		
BIBLIOTECA	CARGA REPARTIDA	
SALAS DE LECTURA	300	kg/m <sup>2</sup>
SALAS DE ALMACENAJE CON ESTANTES FIJOS (NO APILABLES)	750	kg/m <sup>2</sup>
CORREDORES Y ESCALERAS	400	kg/m <sup>2</sup>
carga viva de techo		50 kg/m <sup>2</sup>
TALLERES	350	kg/m <sup>2</sup>
AUDITORIOS (ASIENTOS MOVILES)	400	kg/m <sup>2</sup>

Cuadro 3.2: Carga viva considerado, Ref.[32].

CARGA MUERTA	
Losa aligerada (lad. de concreto)	350 kg/m <sup>2</sup>
Peso de acabados	100 kg/m <sup>2</sup>
Albañilería	1800 kg/m <sup>3</sup>

Cuadro 3.3: Carga Muerta de la estructura, Ref.[32].



### 3.4. Procedimiento para el análisis dinámico tiempo historia.

En display graph (pantalla gráfica) se observa el acelerograma E-W (SISMO X), y luego se ingresa el acelerograma en la dirección N-S (SISMO Y), donde se puede notar que el pico más alto está en el segundo 35 y 36, figura .

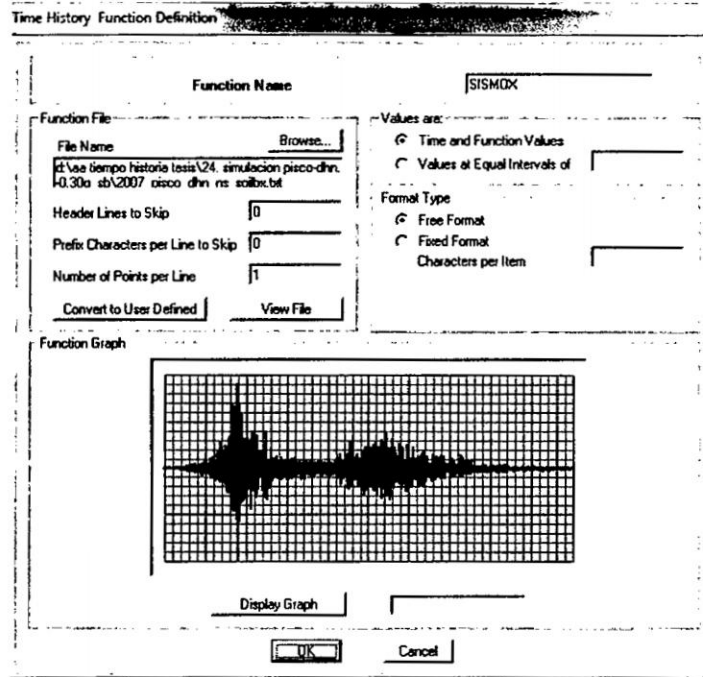


Figura 3.7: Acelerograma de diseño Este–Oeste

Se realiza el mismo procedimiento anterior para el sismo en la dirección y.

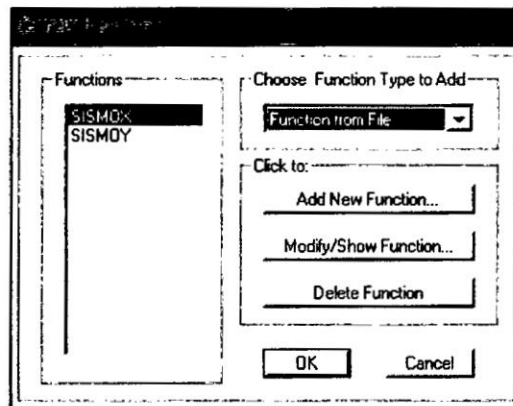


Figura 3.8: Acelerograma de diseño Este–Oeste

En la opción Define/Time History Cases se define el registro en las dos direcciones

### 3.4. Procedimiento para el análisis dinámico tiempo historia.

de la estructura en el sentido x(acc dir1) y en la dirección y(dir2) y así verificar al momento del análisis verificar cual es la dirección mas vulnerable ante el sismo.

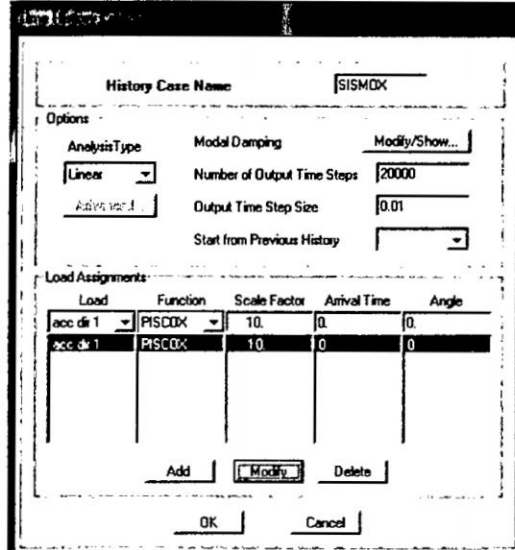


Figura 3.9: Caso de análisis en la dirección x

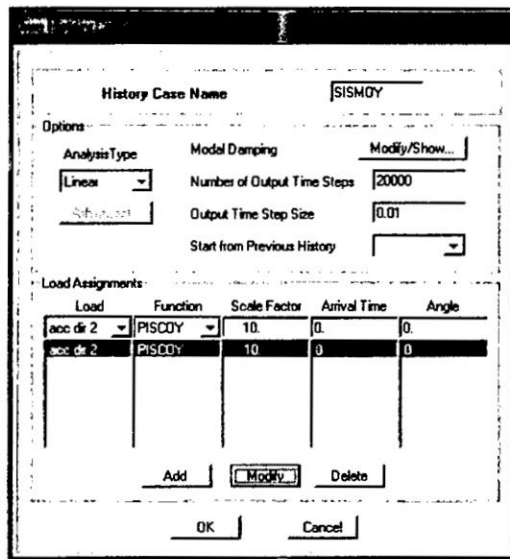


Figura 3.10: Caso de análisis en la dirección y

### 3.4. Procedimiento para el análisis dinámico tiempo historia.

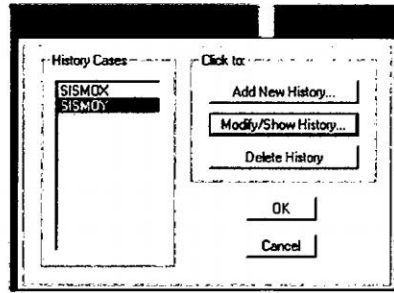


Figura 3.11: Caso de análisis definido en ambas direcciones

Seleccionamos la estructura y en Assign/frame-line/end (length), se define el nudo rígido, para luego hacer el análisis con Run Analysis.

#### 3.4.3.1. Resultado del análisis tiempo historia.

HAZUS FEMA, propone estados de daño obtenido en el techo de las edificaciones debido a que ahí se presentan las mayores distorsiones de piso, para el caso de nuestro análisis como es un techo inclinada (dos aguas), las mayores distorsiones de piso se presentan en la parte más alta es decir en la superficie del techo inclinada excepto en los pórticos extremos.

Se obtuvieron de cada análisis tiempo historia, 7 distorsiones de piso ya que representan al desplazamientos máximo obtenido en el techo de modo que estos datos se clasifican según el estado de daño propuesto por Ghobarah, tabla 2.3 el cual se realiza el análisis tiempo historia para los 30 acelerogramas de diferentes intensidades según el anexo A.

Se define las unidades, para nuestro caso se trabajó en kgf-cm y seleccionamos los puntos del techo para obtener los desplazamientos máximos por cada eje y en la opción

### 3.4. Procedimiento para el análisis dinámico tiempo historia.

Display/Show time history traces se obtienes los desplazamientos .

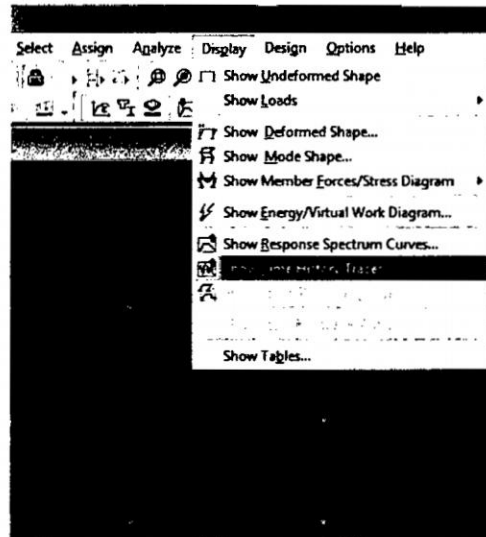


Figura 3.12: Proceso para la obtención de resultados

En la pestaña de Define/Functions se selecciona el datos que se desea obtener y para la presente investigación el desplazamiento es nuestro parámetro fundamental .

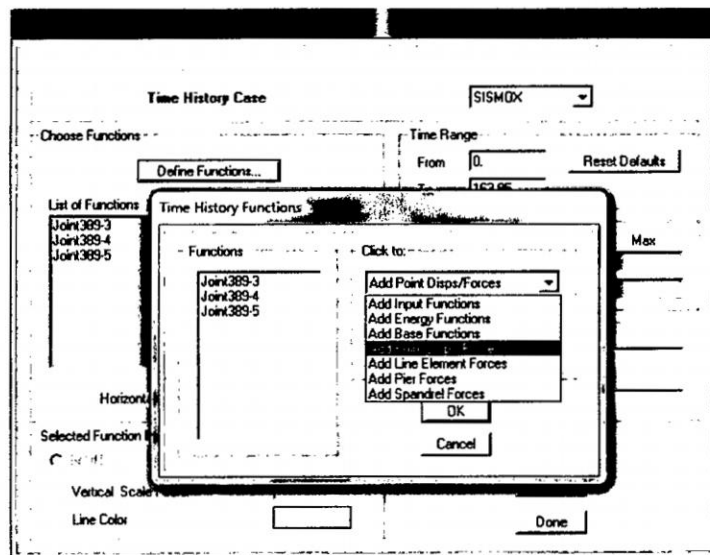


Figura 3.13: Define opción de análisis

### 3.4. Procedimiento para el análisis dinámico tiempo historia.

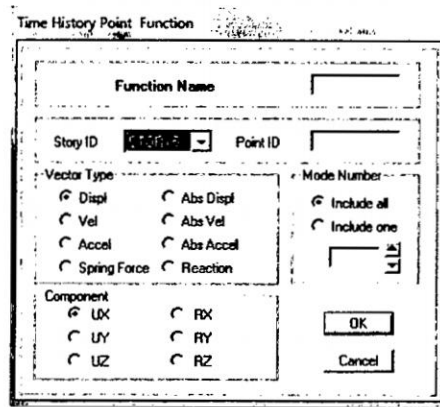


Figura 3.14: Define la función de desplazamiento

Seleccionamos la dirección de análisis (SISMO X) y luego se carga un punto en la opción Vertical Functions para obtener el desplazamiento con Display.

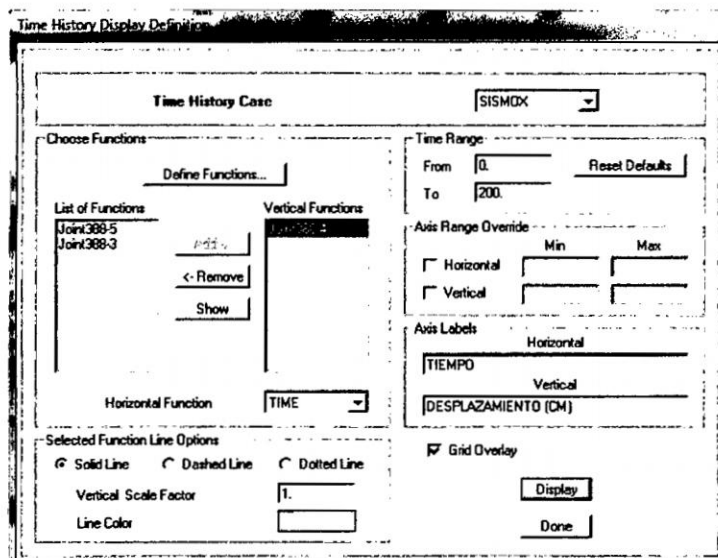


Figura 3.15: Define el punto a mostrar

El objetivo del análisis tiempo historia es encontrar la respuesta de desplazamiento máximo en el pico más elevado del sismo por lo que en la siguiente ventana nos muestra el desplazamiento máximo (positivo y negativo) cuando la aceleración del sismo alcanza

### 3.4. Procedimiento para el análisis dinámico tiempo historia.

su nivel máximo, para el siguiente acelerograma el desplazamiento es de 3.189cm a los 36.46s de producirse el sismo.

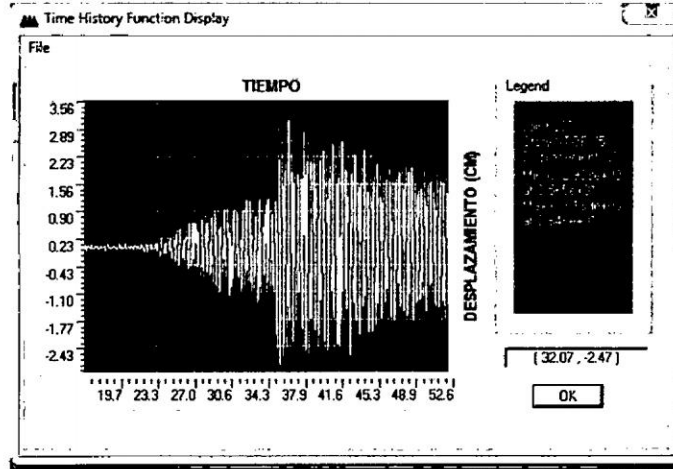


Figura 3.16: Desplazamiento del punto 388-5

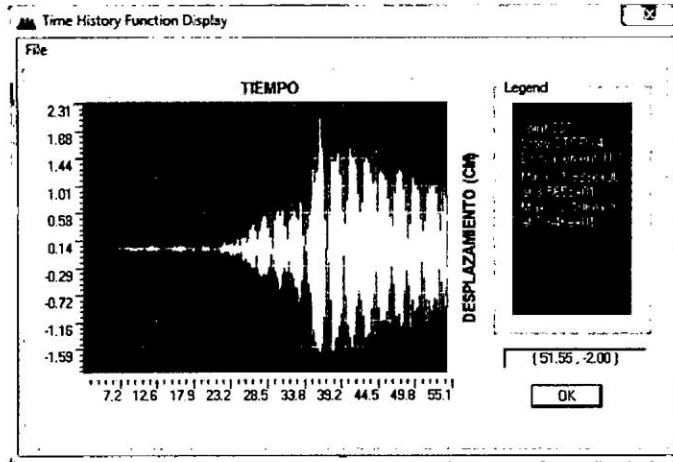


Figura 3.17: Desplazamiento del punto 388-4

### 3.4. Procedimiento para el análisis dinámico tiempo historia.



Figura 3.18: Resumen de los desplazamientos del Sismo de Pisco 0.30g

#### 3.4.4. Clasificación de la deriva de piso.

Con los resultados obtenidos del análisis dinámico tiempo historia, se clasificó la deriva de piso según los niveles de daño propuesto por Ghobarah <sup>19</sup> el cuadro 2.3 nos permite clasificar en cinco niveles de daño representado por sin daño, daño leve, daño moderado, daño extensivo y daño completo, donde propone una metodología para clasificar el daño estructural de una edificación de concreto armado de tres pisos en función de la distorsión de piso obtenido del análisis dinámico tiempo historia, a continuación se muestra un resumen de los estado de daños clasificado según la intensidad sísmica y el daño estructural que se obtiene del análisis tiempo dinámico historia sometido a 30 simulaciones de registros sísmicos.

<sup>19</sup>Ghobarah et al, 1997, Level of distortion per story for reinforced concrete buildings

3.4. Procedimiento para el análisis dinámico tiempo historia.

DAÑO LEVE					
Nro	Sismo	Daño Leve	Nro	Sismo	Daño Leve
1	0.16g	0.0034462	12	0.24g	0.0035908
2	0.16g	0.0037304	13	0.24g	0.0038056
3	0.16g	0.0045612	14	0.24g	0.0044107
4	0.16g	0.0039373	15	0.26g	0.0043815
5	0.18g	0.0035415	16	0.27g	0.0049046
6	0.18g	0.0036646	17	0.30g	0.0032769
7	0.18g	0.0047938	18	0.30g	0.003395
8	0.18g	0.0037555	19	0.30g	0.0042985
9	0.19g	0.0034308	20	0.30g	0.0037147
10	0.19g	0.0039969	21	0.38g	0.0049688
11	0.19g	0.0031724			

Cuadro 3.4: Datos del análisis dinámico tiempo historia para un daño leve.

DAÑO MODERADO								
Nro	Sismo	Daño Moderado	Nro	Sismo	Daño Moderado	Nro	Sismo	Daño Moderado
1	0.16	0.0105078	19	0.28g	0.0054800	36	0.36g	0.0108809
2	0.18g	0.0107022	20	0.28g	0.0057931	37	0.36g	0.0099148
3	0.19g	0.0098742	21	0.28g	0.0073354	38	0.37g	0.0060564
4	0.19g	0.0103571	22	0.28g	0.0058025	39	0.37g	0.0055341
5	0.19g	0.0106583	23	0.29g	0.0075172	40	0.37g	0.0085200
6	0.19g	0.0085047	24	0.29g	0.0069290	41	0.37g	0.0073009
7	0.23g	0.0062850	25	0.29g	0.0089385	42	0.38g	0.0071877
8	0.23g	0.0059450	26	0.29g	0.0086176	43	0.38g	0.0063448
9	0.23g	0.0081480	27	0.30g	0.0099091	44	0.38g	0.0053417
10	0.23g	0.0070560	28	0.33g	0.0057680	45	0.39g	0.0076113
11	0.24g	0.0109937	29	0.33g	0.0052273	46	0.39g	0.0068580
12	0.24g	0.0051692	30	0.33g	0.0073631	47	0.39g	0.0100923
13	0.26g	0.0060627	31	0.33g	0.0065110	48	0.39g	0.0085674
14	0.26g	0.0085354	32	0.34g	0.0072163	49	0.42g	0.0099119
15	0.26g	0.0074483	33	0.34g	0.0058523	50	0.50g	0.0099415
16	0.27g	0.0050752	34	0.34g	0.0080185	51	0.50g	0.0102978
17	0.27g	0.0066230	35	0.34g	0.0063323	52	0.54g	0.0104862
18	0.27g	0.0052100						

Cuadro 3.5: Datos del análisis dinámico tiempo historia para un daño moderado.

3.4. Procedimiento para el análisis dinámico tiempo historia.

DAÑO SEVERO (EXTENSIVO)								
Nro	Sismo	Daño Extensivo	Nro	Sismo	Daño Extensivo	Nro	Sismo	Daño Extensivo
1	0.19g	0.0136	16	0.36g	0.0124702	31	0.48g	0.0211285
2	0.23	0.018307	17	0.37g	0.0125235	32	0.48g	0.0228213
3	0.26g	0.01919436	18	0.37g	0.0112784	33	0.50g	0.0130308
4	0.27	0.0014787	19	0.37g	0.0144985	34	0.50g	0.011232
5	0.28g	0.01673354	20	0.37g	0.0144357	35	0.52g	0.0132727
6	0.29g	0.02119749	21	0.37g	0.01879	36	0.52g	0.0123352
7	0.31g	0.01169846	22	0.38g	0.0157398	37	0.52g	0.0155046
8	0.31g	0.01211285	23	0.39g	0.022931	38	0.52g	0.0155329
9	0.31g	0.01523692	24	0.41g	0.0176769	39	0.54g	0.0144369
10	0.31g	0.01315047	25	0.41g	0.018558	40	0.54g	0.012326
11	0.33g	0.01710031	26	0.41g	0.0210533	41	0.55g	0.0221538
12	0.34g	0.0187116	27	0.42g	0.0110251	42	0.55g	0.0229467
13	0.35g	0.02134154	28	0.42g	0.0147508	43	0.70g	0.0226462
14	0.35g	0.02238245	29	0.42g	0.0125611			
15	0.36g	0.01413538	30	0.48g	0.02			

Cuadro 3.6: Datos del análisis dinámico tiempo historia para un daño severo.

DAÑO COMPLETO (COLAPSO)								
Nro	Sismo	Daño Completo	Nro	Sismo	Daño Completo	Nro	Sismo	Daño Completo
1	0.19g	0.0289154	15	0.44g	0.0321003	29	0.53g	0.0372727
2	0.31g	0.0324201	16	0.47g	0.0269231	30	0.54g	0.0309498
3	0.35g	0.0682226	17	0.47g	0.0278683	31	0.55g	0.0645266
4	0.35g	0.0298677	18	0.47g	0.0836897	32	0.55g	0.0308554
5	0.35g	0.0255486	19	0.47g	0.0364615	33	0.55g	0.0269906
6	0.36g	0.0321599	20	0.47g	0.0286207	34	0.56g	0.0238062
7	0.37g	0.0379373	21	0.48g	0.0589028	35	0.56g	0.0246708
8	0.41g	0.0564890	22	0.48g	0.0263785	36	0.56g	0.0722476
9	0.41g	0.0238523	23	0.50g	0.0289154	37	0.56g	0.0333231
10	0.42g	0.0325078	24	0.52g	0.0372759	38	0.56g	0.0285266
11	0.44g	0.0268615	25	0.53g	0.0660123	39	0.70g	0.0230094
12	0.44g	0.0284326	26	0.53g	0.0347649	40	0.70g	0.0688495
13	0.44g	0.0857618	27	0.53g	0.0978056	41	0.70g	0.0308615
14	0.44g	0.0376430	28	0.53g	0.0436092	42	0.70g	0.0245141

Cuadro 3.7: Datos del análisis dinámico tiempo historia para un daño completo .

### 3.5. Curvas de Fragilidad.

Para el proceso de generación de curvas de fragilidad se ha implementado en un programa desarrollado en MatLab 7.10.0 (R2010a), donde la primera etapa es obtener la función de distribución acumulada de la aceleración del sismo ( $S_a$ ) clasificado para cada estado de daño <sup>7</sup>.

$$P(C/S_a) = \frac{\text{number of collapses when } S_a = x_j}{\text{number of ground motions}} \quad (3.5.1)$$

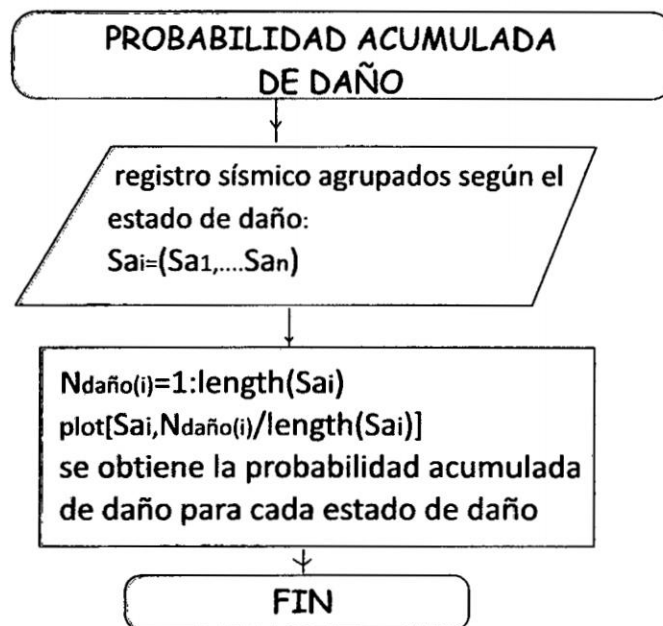


Figura 3.19: Diagrama de flujo para programar la probabilidad acumulada de daño

Ejemplo para la obtención de la curva de probabilidad acumulada de daño leve según los datos de la tabla 3.4, para obtener la figura 3.20.

<sup>7</sup>Baker, J. (2013), Efficient analytical fragility function fitting.

3.5. Curvas de Fragilidad.

PROBABILIDAD ACUMULADA SE DAÑO LEVE					
Nro	Sismo	Prob. Acum.	Nro	Sismo	Prob. Acum.
1	0.16g	0.047619048	12	0.24g	0.571428571
2	0.16g	0.095238095	13	0.24g	0.619047619
3	0.16g	0.142857143	14	0.24g	0.666666667
4	0.16g	0.19047619	15	0.26g	0.714285714
5	0.18g	0.238095238	16	0.27g	0.761904762
6	0.18g	0.285714286	17	0.30g	0.80952381
7	0.18g	0.333333333	18	0.30g	0.857142857
8	0.18g	0.380952381	19	0.30g	0.904761905
9	0.19g	0.428571429	20	0.30g	0.952380952
10	0.19g	0.476190476	21	0.38g	1
11	0.19g	0.523809524			

Cuadro 3.8: Probabilidad acumulada de daño leve.

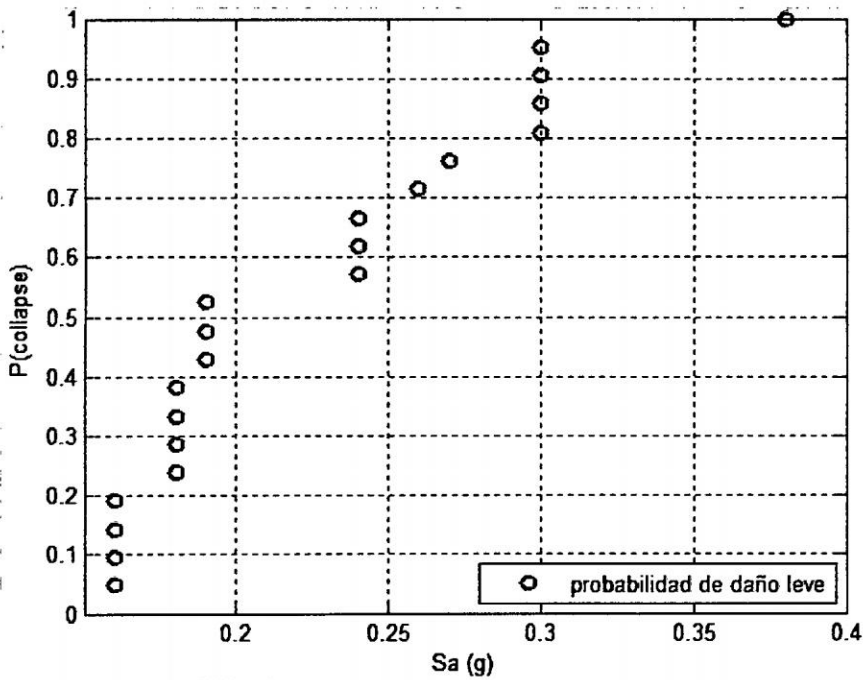


Figura 3.20: Probabilidad acumulada de daño leve, Ref.[7]

Mediante la función de la distribución de probabilidad log normal se ajusta la gráfica anterior para todos los estados de daño:

$$P(C/S_a) = \phi\left(\frac{\ln x - \mu}{\beta}\right) \quad (3.5.2)$$

$$\hat{\mu} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln S a_i \quad (3.5.3)$$

$$\hat{\beta} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\ln S a_i - \hat{\mu})^2} \quad (3.5.4)$$

$$P_{f/a}(a) = \int_0^a \underbrace{\left( \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x/A_m)}{\sigma}\right)^2} \right)}_{\text{dist.log-normal}} dx = \phi\left(\frac{\ln(a/A_m)}{\sigma}\right) \quad (3.5.5)$$

En matlab el código es:

```

media1 = mean(log(leve1));
desv_estandar1 = std(log(leve1));
p_collapse1=logncdf(x_vals1,media1,desv_estandar1);

```

La distribución logarítmica normal es aplicable cuando la cantidad de interés debe ser positivo, ya que existe  $\log(x)$  cuando  $x$  es positivo, es una distribución normal asimétrica y se usa para para modelar tiempos de procesos y reparación, averías de un coche con el tiempo, población de un sitio con respecto al dinero, estancia de tiempo en un banco, etc.

En excel:

```
=DISTR.LOG.NORM(C2,media,desviación)
```



Figura 3.21: Diagrama de flujo para la función de dist. log normal

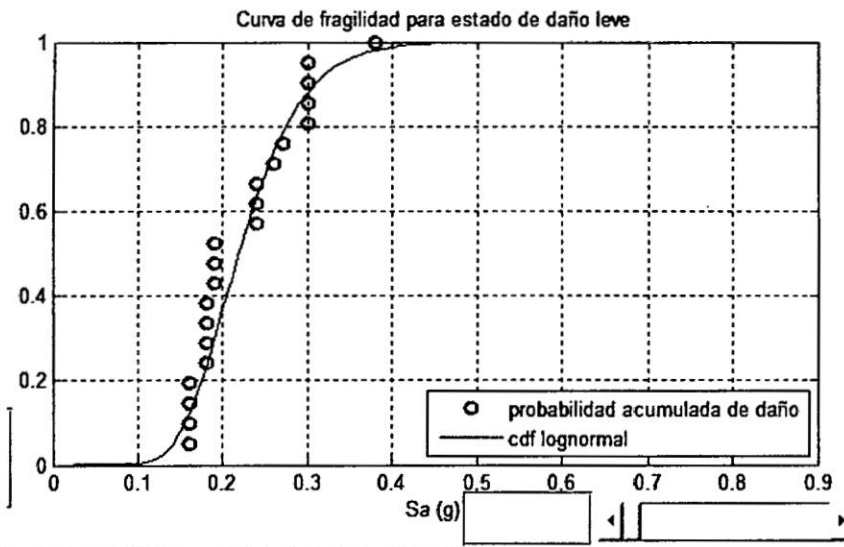


Figura 3.22: Probabilidad acumulada de daño leve y función de distribución log normal

### 3.5. Curvas de Fragilidad.

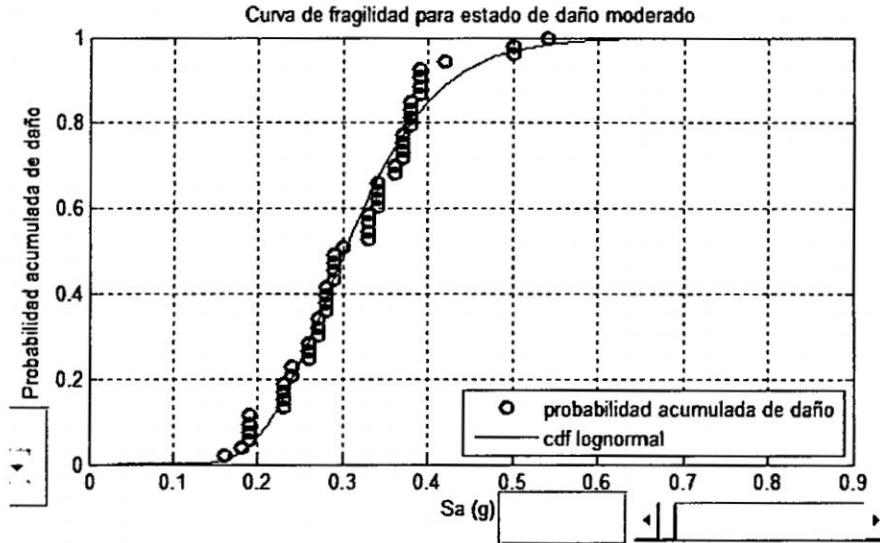


Figura 3.23: Probabilidad acumulada de daño moderado y función de distribución log normal

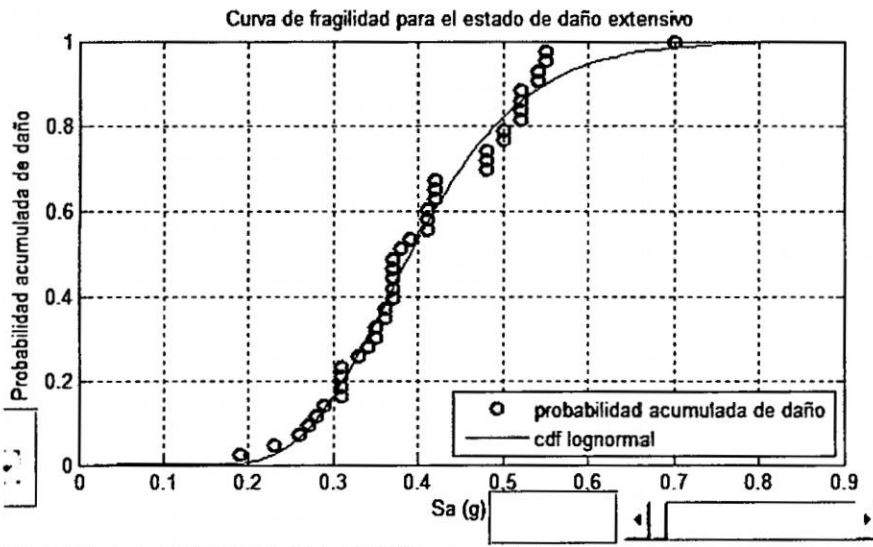


Figura 3.24: Probabilidad acumulada de daño severo y función de distribución log normal

Las curvas de fragilidad nos permite saber el estado de daño de la edificación para cada evento sísmico, mediante una simulación aleatoria de la intensidad sísmica.

### 3.5. Curvas de Fragilidad.

En la siguiente ecuación el factor de daño (FD), representa la probabilidad de que el estado de daño ED sea mayor o igual al estado  $ED_i$ .

$$FD = (ED \geq ED_i / IS_i), \text{ donde } IS_i = Sa g_i \quad (3.5.6)$$

Si representamos los estados de daño en una sola figura ya que todos los registros de la tabla 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, guardan un relación entre si, según la intensidad sísmica se tiene:

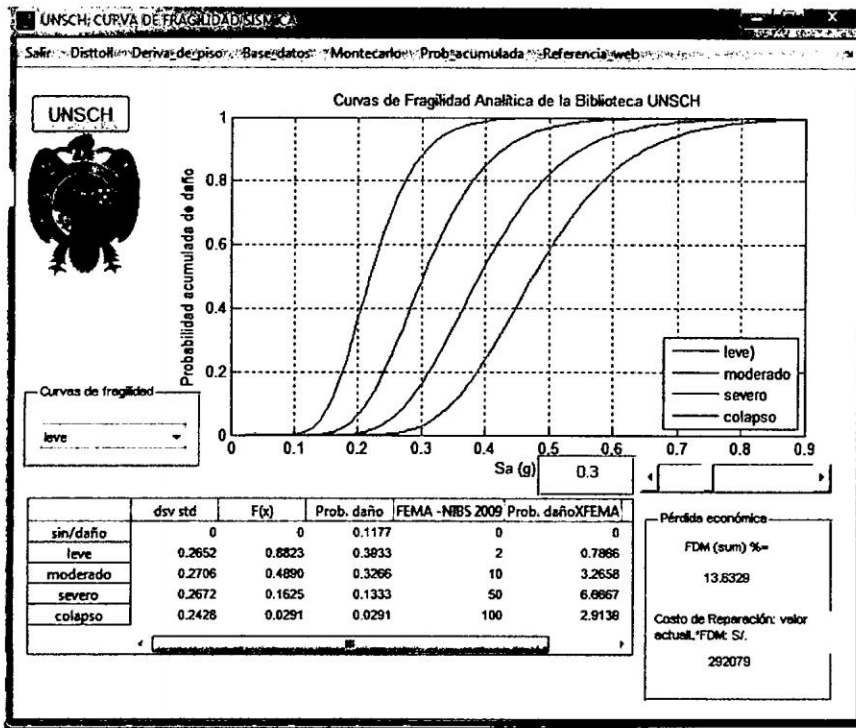


Figura 3.25: Curva de fragilidad y estado de daño para  $a(g) = 0.30$ . Ref[elab. propia]

Se puede notar que la función de probabilidad acumulada se ajusta bastante a una función de distribución log normal por lo que para tener una mayor exactitud en los resultados se analizara en la sección siguiente las curvas de fragilidad haciendo una

Simulación de Montecarlo para n variables.

### 3.6. Simulación de Montecarlo.

Antes de presentar el procedimiento de la Simulación de Montecarlo vamos a presentar el siguiente ejemplo<sup>14</sup>

- Considere una casa de juegos(casino) en la cual un jugador apuesta sucesivamente y la casa gana el 51 % de veces. La pregunta es ¿cuántos juegos deben darse antes de que la casa este realmente segura de ir adelante?. Este escenario es común entre los matemáticos y se utiliza la estadística para los cálculos. Con Matlab puede realizarse sin mucha complejidad.
- Primero utilizamos una expresión que calcule el conjunto de renta o ganancia de la casa para un juego, basados en un número aleatorio entre 0 y 1. Matlab posee la función rand. Si el número aleatorio es menor o igual que 0.51, la casa gana una unidad, de otro modo si el número excede 0.51 la casa pierde una unidad.
- La siguiente expresión representa lo dicho:  $\text{ganancia}=\text{sign}(0.51-\text{rand})$ , donde la ganancia será 1 si la salida de rand es menor que 0.51 y -1 si la salida de rand es mayor que 0.51 y será 0 si la salida es exactamente igual a 0.51.
- Para simular un conjunto de jugadas, por ejemplo 10 juegos, debemos crear un arreglo de 10 números aleatorios:  $\text{ganancia}=\text{sign}(0.51-\text{rand}(1,10))$ .

---

<sup>14</sup>Fernando,A.(2012),Simulación Montecarlo Con Matlab, <http://es.scribd.com/doc/109921344/Simulacion-Montecarlo-Con-Matlab>

### 3.6. Simulación de Montecarlo.

- La casa en un determinado juego gana 6 veces y pierde 4, en otro gana 7 y pierde 3, y en un tercero gana 5 y pierde 5.
- Sea cual fuese la aleatoriedad la casa siempre va a ganar por que el número aleatorio es 0.51 y se genera todas las probabilidades de ocurrencia de dicho evento ante “n” juegos.
- Para nuestro caso, si cambiamos el valor de 0.51 por la probabilidad de ocurrencia de la tabla 3.9, tendremos la combinación de eventos posibles para “n” posibilidades de daño de un sismo. La metodología a emplear será mediante la generación de variables aleatorias en función de la probabilidad de ocurrencia mediante un programa desarrollado en Matlab, usando para ello las funciones *rand(1, n)*, la función *sign* que nos permite obtener los resultados en una lista, la función *find* que clasifica los resultados de la lista mediante el método de rechazo y el comando *sum* que contabiliza todos los resultados aleatorios obtenido.

Para realizar la Simulación de Montecarlo es necesario trabajar con la probabilidad de ocurrencia de cada evento sísmico que produce un cierto nivel de daño, el cual se obtiene con la clasificación del número total de eventos sísmicos que producen un determinado estado de daño es decir se obtuvo la frecuencia según la intensidad sísmica, y de esta manera se calcula la probabilidad de ocurrencia de cada evento sísmico. El cuadro 3.9, muestra cada registro sísmico en función de la frecuencia y probabilidad de ocurrencia, el método de Simulación de Montecarlo para generar variables aleatorias, que nos permita obtener la función de probabilidad más fiable en la determinación de pérdidas económicas está relacionado a la probabilidad de ocurrencia, por el cual se generará números aleatorios probables relacionado a cada nivel de daño según el cuadro 3.9 siguiente:

### 3.6. Simulación de Montecarlo.

Estado de daño leve			Estado de daño moderado			Estado de daño colapso			Estado de daño completo		
Sismo	Nro Reg.	Prob. de ocurrencia	Sismo	Nro Reg	Prob. de ocurrencia	Sismo	Nro Reg.	Prob. de ocurrencia	Sismo	Nro Reg.	Prob. de ocurrencia
0.16g	4	0.19	0.16	1	0.02	0.19g	1	0.02	0.19g	1	0.02
0.18g	4	0.19	0.18g	1	0.02	0.23g	1	0.02	0.31g	1	0.02
0.19g	3	0.14	0.19g	4	0.08	0.26g	1	0.02	0.35g	3	0.07
0.24g	3	0.14	0.23g	4	0.08	0.27g	1	0.02	0.36g	1	0.02
0.26g	1	0.05	0.24g	2	0.04	0.28g	1	0.02	0.37g	1	0.02
0.27g	1	0.05	0.26g	3	0.06	0.29g	1	0.02	0.41g	2	0.05
0.30g	4	0.19	0.27g	3	0.06	0.31g	4	0.09	0.42g	1	0.02
0.38g	1	0.05	0.28g	4	0.08	0.33g	1	0.02	0.44g	5	0.12
total	21	1	0.29g	4	0.08	0.34g	1	0.02	0.47g	5	0.12
			0.30g	1	0.02	0.35g	2	0.05	0.48g	2	0.05
			0.33g	4	0.08	0.36g	2	0.05	0.50g	1	0.02
			0.34g	4	0.08	0.37g	5	0.12	0.52g	1	0.02
			0.36g	2	0.04	0.38g	1	0.02	0.53g	5	0.12
			0.37g	4	0.08	0.39g	1	0.02	0.54g	1	0.02
			0.38g	3	0.06	0.41g	3	0.07	0.55g	3	0.07
			0.39g	4	0.08	0.42g	3	0.07	0.56g	5	0.12
			0.42g	1	0.02	0.48g	3	0.07	0.70g	4	0.10
			0.50g	2	0.04	0.50g	2	0.05	total	42	1.00
			0.54g	1	0.02	0.52g	4	0.09			
			total	52	1	0.54g	2	0.05			
						0.55g	2	0.05			
						0.70g	1	0.02			
						total	43	1			

Cuadro 3.9: Probabilidad de ocurrencia para la Simulación de Montecarlo.

- Se utiliza el teorema del rechazo, es decir si el número aleatorio es mayor a la probabilidad de ocurrencia del sismo el evento se anula, pero si el número aleatorio es menor significa que si existe probabilidad de que suceda.
- Se realiza la simulación de Montecarlo para “n” números aleatorio generados para cada estado de daño, es decir mientras mayor es el valor de “n”, la combinación de todos los resultados posibles es más exacto.

### 3.6. Simulación de Montecarlo.

- De todos los números aleatorios obtenidos se encuentra la media y la desviación estándar, para encontrar la función de probabilidad.
- A partir de la media y desviación estándar se integra a la función de distribución log normal el cual varía según el valor de “n” tomado.
- En la figura siguiente se presenta el diagrama de flujo, para la realización del programa en matlab, donde el valor de prob\_suc representa el valor obtenido del cuadro 3.9.

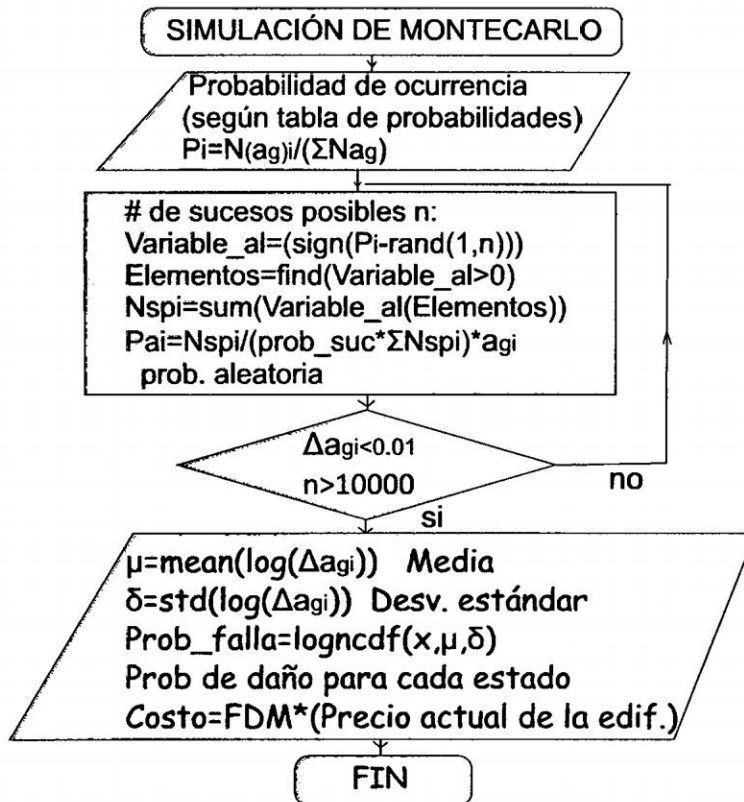


Figura 3.26: Diagrama de flujo para la Simulación de Montecarlo Ref[elab. propia]

En el anexo C, se presenta el código utilizado para la elaboración del programa en guide de Matlab. El cual a través de la barra slider2 se obtiene diferentes probabilidades de curvas de fragilidad presentadas a continuación:

### 3.6. Simulación de Montecarlo.

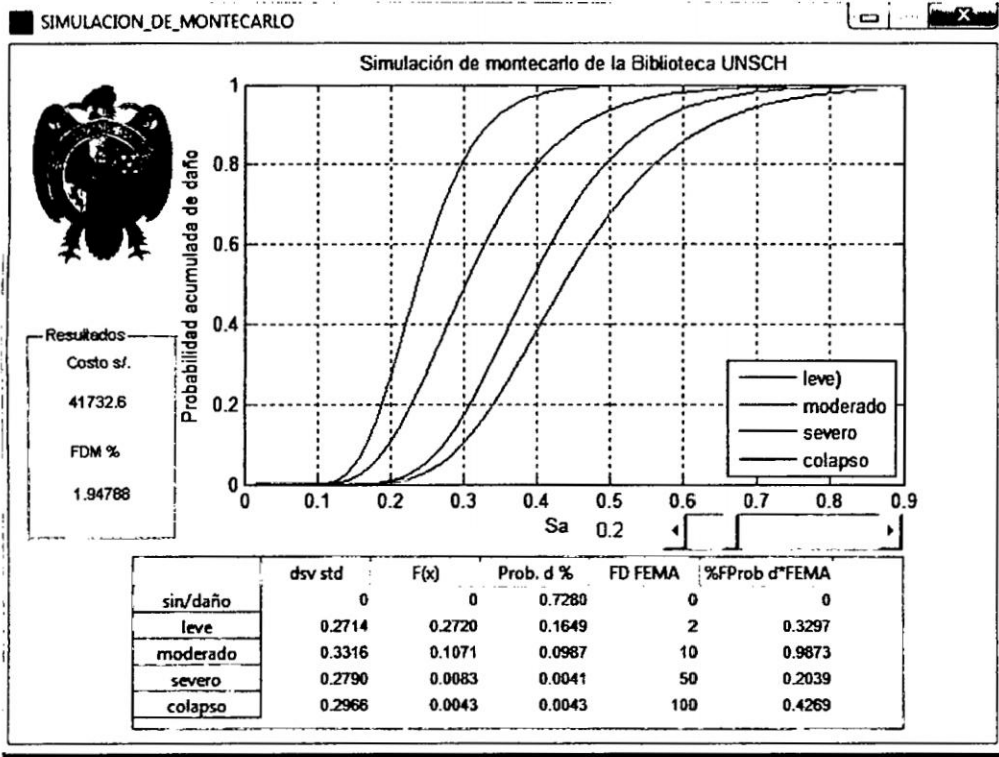


Figura 3.27: Simulación de Montecarlo,  $a(g) = 0.20$ . Ref[elab. propia]

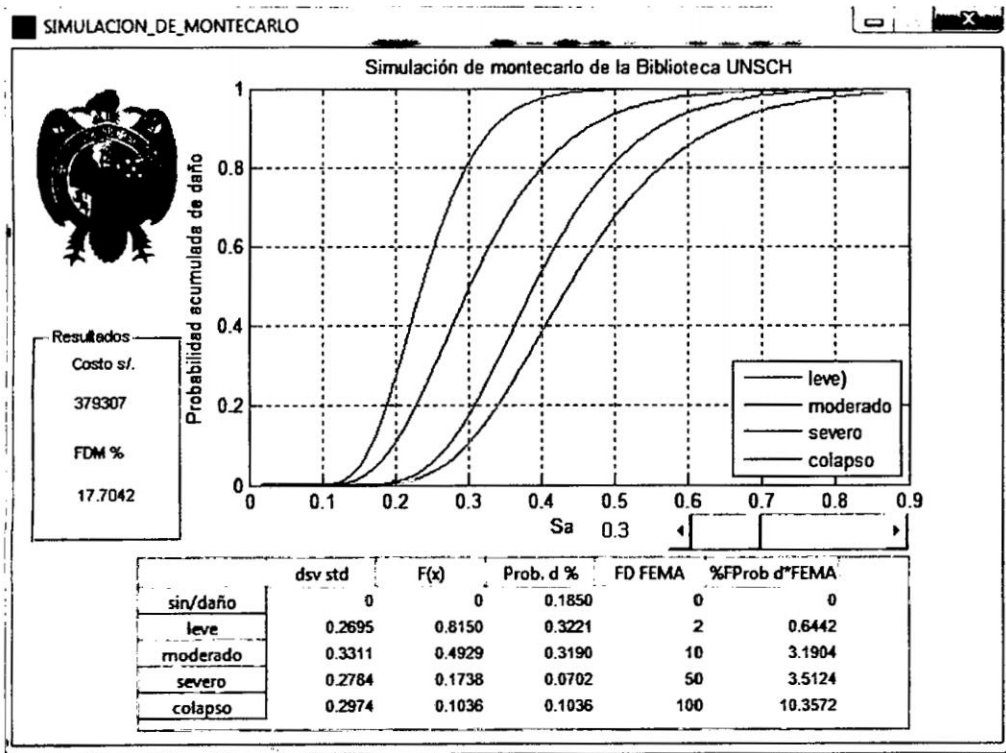


Figura 3.28: Simulación de Montecarlo,  $a(g) = 0.30$ . Ref[elab. propia]

### 3.7. Estimación de pérdidas por sismo.

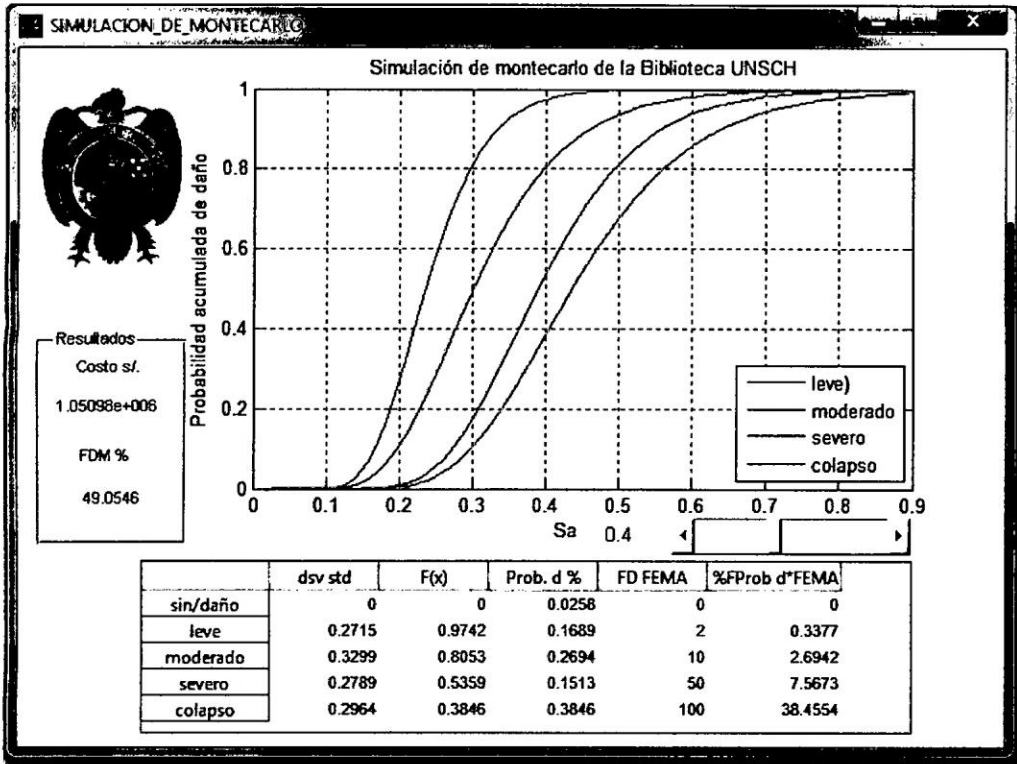


Figura 3.29: Simulación de Montecarlo,  $a(g) = 0.40$ . Ref[elab. propia]

### 3.7. Estimación de pérdidas por sismo.

Las curvas de fragilidad nos permite saber cuánto es el daño probable de una edificación ante un evento sísmico, sin embargo es necesario saber a cuánto asciende la pérdida económica en este sentido según el cuadro 2.5, de estado de daño propuesto por HAZUS-FEMA se puede estimar el valor económico, el cual cada factor propuesto en el cuadro de multiplica por el factor obtenido del cuadro de la matriz de probabilidad de daño según el estado de daño que le corresponde y de esta manera se obtiene el factor de daño medio probable para cada evento sísmico. Se debe tener en cuenta que existe varias tablas para calcular el factor de daño medio de una edificación, pero la que más se asemeja para nuestro caso de estudio son los valores propuestos por HAZUZ-

### 3.7. Estimación de pérdidas por sismo.

FEMA, ya que presenta los valores para edificaciones de concreto armado con tipología estructural en general.

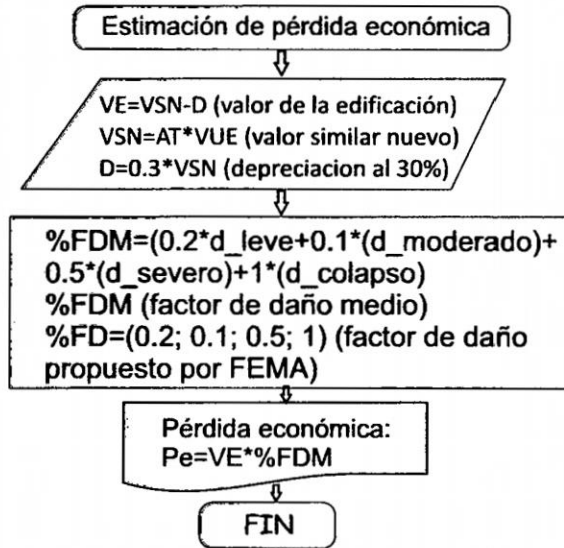


Figura 3.30: Diagrama de flujo para la función de dist. log normal

Para estudiar el efecto de los sismos se utiliza el factor de daño que representa la relación entre el costo de reparación y el costo de reposición (reemplazo total) del edificio. Los valores mostrados en el cuadro 2.5 propuesta por (HAZUS FEMA; Hwang y Lin 2002; Blondet et al. 2005), muestran los valores, para cada estado de daño obtenido para edificaciones de concreto armado el cual se toma como referencia para la presente investigación, para poder determinar la pérdida económica de la estructura mediante el método analítico de curvas de fragilidad, los valores presentados por HAZUS FEMA, depende de la deriva de piso obtenido para estructuras de concreto armado y para nuestro caso se realizará el análisis dinámico lineal tiempo historia para representar los estados de daño en función de la deriva de piso y mediante la Simulación de Montecarlo, nos permitirá calcular el factor de daño medio más confiable de la estructura.

3.7. Estimación de pérdidas por sismo.

	dsv std	F(x)	Prob. d %	FD FEMA	%FProb d*FEMA
sin/daño	0	0	0.7280	0	0
leve	0.2714	0.2720	0.1649	2	0.3297
moderado	0.3316	0.1071	0.0987	10	0.9873
severo	0.2790	0.0083	0.0041	50	0.2039
colapso	0.2966	0.0043	0.0043	100	0.4269

Cuadro 3.10: Matriz de probabilidad de daño  $a(g) = 0.20$ .

	dsv std	F(x)	Prob. d %	FD FEMA	%FProb d*FEMA
sin/daño	0	0	0.1850	0	0
leve	0.2695	0.8150	0.3221	2	0.6442
moderado	0.3311	0.4929	0.3190	10	3.1904
severo	0.2784	0.1738	0.0702	50	3.5124
colapso	0.2974	0.1036	0.1036	100	10.3572

Cuadro 3.11: Matriz de probabilidad de daño para  $a(g) = 0.30$ .

	dsv std	F(x)	Prob. d %	FD FEMA	%FProb d*FEMA
sin/daño	0	0	0.0258	0	0
leve	0.2715	0.9742	0.1689	2	0.3377
moderado	0.3299	0.8053	0.2694	10	2.6942
severo	0.2789	0.5359	0.1513	50	7.5673
colapso	0.2964	0.3846	0.3846	100	38.4554

Cuadro 3.12: Matriz de probabilidad de daño para  $a(g) = 0.40$ .

Según la propuesta del estado de daño del FEMA, que permite estimar el porcentaje de daño físico causado por un sismo para la mayoría de construcciones importantes expresado en factor de daño vs aceleración sísmica. El objetivo del trabajo de investigación fue desarrollar matrices de probabilidad de daño, con las cuales es posible estimar la pérdida económica por sismo, donde se obtuvo el valor económico para tres tipos de

### 3.8. Disipador de energía viscoso.

aceleración sísmica como establece la actual norma E-030, pero para el caso de estudio solo analizaremos para la zona 2 ( $Sag=0.3g$ ).

COSTO DE REPARACIÓN ESTRUCTURAL SEGÚN LA INTENSIDAD SÍSMICA			
NIVEL	Prob. De daño $a(g)=0.20g$	Prob. De daño $a(g)=0.20g$	Prob. De daño $a(g)=0.20g$
SIN DAÑO	0	0	0
LEVE	0.3297	0.6442	0.3377
MODERADO	0.9873	3.1904	2.6942
SEVERO	0.2039	3.5124	7.5673
COLAPSO	0.4269	10.3572	38.455
TOTAL= $\Sigma$ FDM	1.9478	17.7042	49.0542
COSTO	S/. 41,732.60	S/. 379,307.00	S/. 1,050,980.00

Cuadro 3.13: Costo de reparación por daño sísmico.

En ingeniería estructural se debe diseñar la estructura para que ante un evento sísmico las vigas se comporten plásticamente antes que las columnas, ya que cuando una viga empieza a fallar pasando por un estado elástico absorbe parte de la energía del sismo; en cambio, si una columna falla primero y empieza a pandearse y deformarse, las cargas verticales de compresión pueden provocar un rápido colapso estructural, es por eso que el problema de las columnas cortas son la causa de múltiples daños estructurales al no dejar que la columna se flexione fácilmente ante un sismo.

## 3.8. Disipador de energía viscoso.

### 3.8.1. Amortiguamiento objetivo .

Si la deriva máxima obtenida del análisis del edificio sin disipadores es mayor que la

### 3.8. Disipador de energía viscoso.

deriva objetivo (menor a 0.007), entonces se determina el cociente:

$$B_{eff} = \frac{DerivaMàxima}{DerivaObjetivo} = \frac{0.0099}{0.007} = 1.41 - 0.05 = 1.36 \quad (3.8.1)$$

Para la aceleración sísmica de 0.30g se obtiene una deriva de piso de 0.0099, el cual el amortiguamiento efectivo  $B_{eff}$  es el amortiguamiento objetivo que debe desarrollar la estructura con la adición de los disipadores de energía, y la participación que tendrán los disipadores en el amortiguamiento viscoso  $B_{visc}$  puede obtenerse descontando el amortiguamiento inherente de la estructura, 5% para edificios de concreto armado al valor de  $B_{eff}$ .

**Determinamos la amplitud de desplazamiento por medio de la siguiente relación:**

$$D_{roof} = \frac{10 * g * r_1 * S_{d1} * T_1}{4 * \beta_{1D} * \Pi^2} = 52.63mm \quad (3.8.2)$$

**Donde:**

$D_{roof}$ : amplitud de desplazamiento.

$g$ : aceleración de la gravedad ( $981 \frac{cm}{s^2}$ ).

$r_1$ : factor de participación del modo fundamental de vibración (1.06).

$S_{d1}$ : aceleración espectral del sismo de diseño (0.3).

$T_1$ : período del primer modo de vibración(0.905).

$\beta_{1D}$ : coeficiente de amortiguamiento (1.36).

**El coeficiente de amortiguamiento viscoso equivalente:**

$$C_d = \frac{\beta_{vi} * D_{roof}^{\frac{1}{2}} * [\sum(\omega_i * \phi_{r1}^2)] * 322.46}{\frac{3.49}{2 * \Pi} * (\frac{T_1}{2 * \Pi})^{\frac{3}{2}} * 10 * g * (\cos\theta)^{\frac{3}{2}} * (\sum(\phi_{r1})^{\frac{3}{2}})} \quad (3.8.3)$$

**Donde:**

$C_d$ : coeficiente de amortiguamiento viscoso equivalente ( $C_d = 6.77 \frac{T*s}{m}$ ).

$\beta_{vi}$ : radio de amortiguamiento proveído por el sistema de amortiguamiento (0.40).

$\omega_i$ : peso de la edificación por piso.

$\phi_{r1}$ : desplazamiento máximo por piso.

$\theta$ : ángulo de inclinación para los disipadores ( $26^\circ$ ).

**La rigidez del disipador se obtendrá de la siguiente relación:**

$$C_d = \frac{K_d}{10 * (\Delta t)} \quad (3.8.4)$$

**Donde:**

$K_d$ : rigidez del disipador ( $K_d = 67.7 \frac{T}{m}$ ).

$\Delta t$ : intervalo de tiempo del registro sísmico (0.02).

En la figura 3.31, se muestra disipadores de energía colocado en dos proyectos de la UNI.

### 3.8. Disipador de energía viscoso.

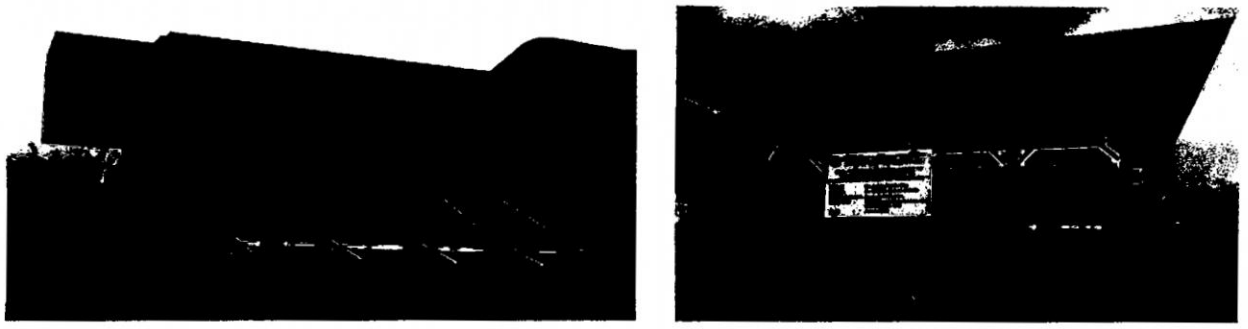


Figura 3.31: A la izq. se muestra la Biblioteca de la UNI,der. Facultad de Ingeniería Mecánica

#### 3.8.2. Análisis dinámico con disipador de energía.

Se realizó el análisis dinámico tiempo historia para una intensidad sísmica de 0.30g el cual se incorporó en las zonas más vulnerables de la estructura disipadores de energía viscosos, según los parámetros de rigidez y coeficiente de amortiguador viscoso obtenido anteriormente.

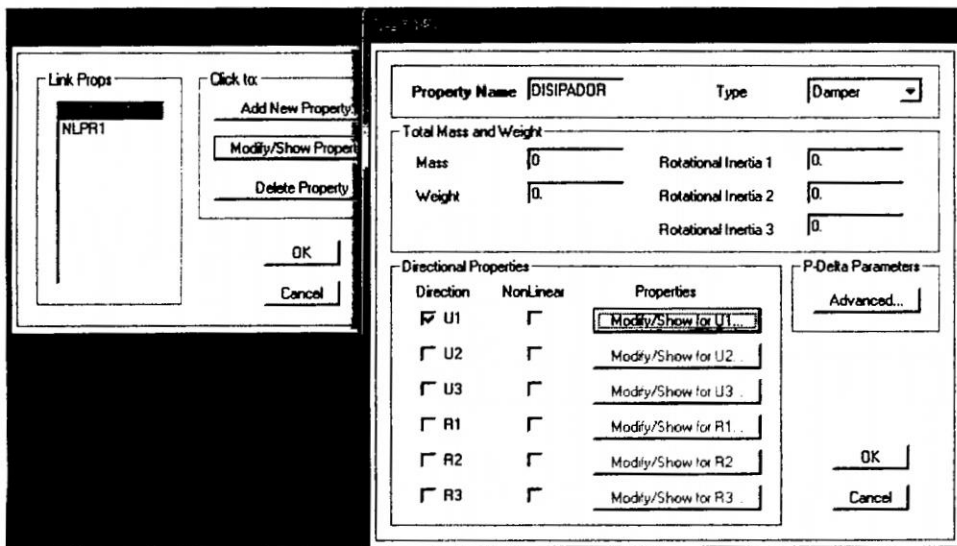


Figura 3.32: Selección de Link Properties.

3.8. Disipador de energía viscoso.

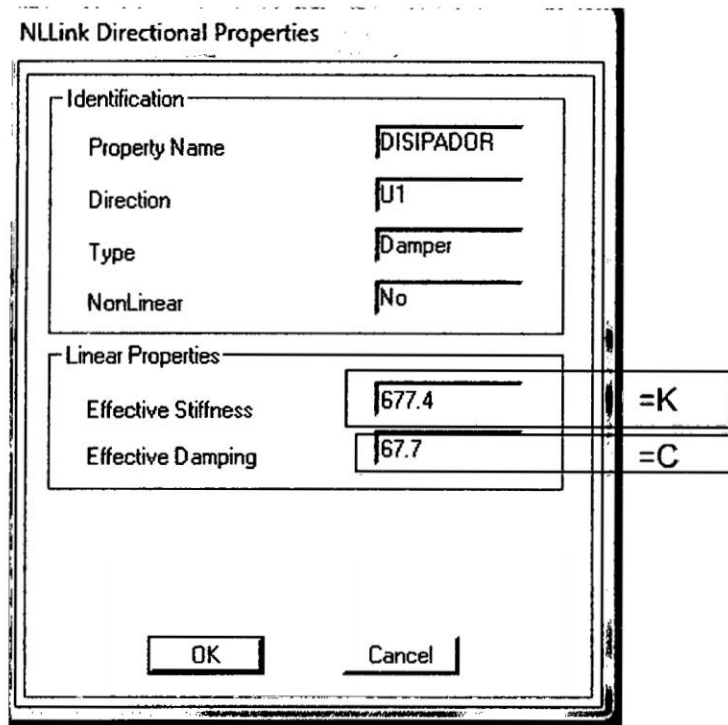


Figura 3.33: Factores de amortiguamiento viscoso lineal.

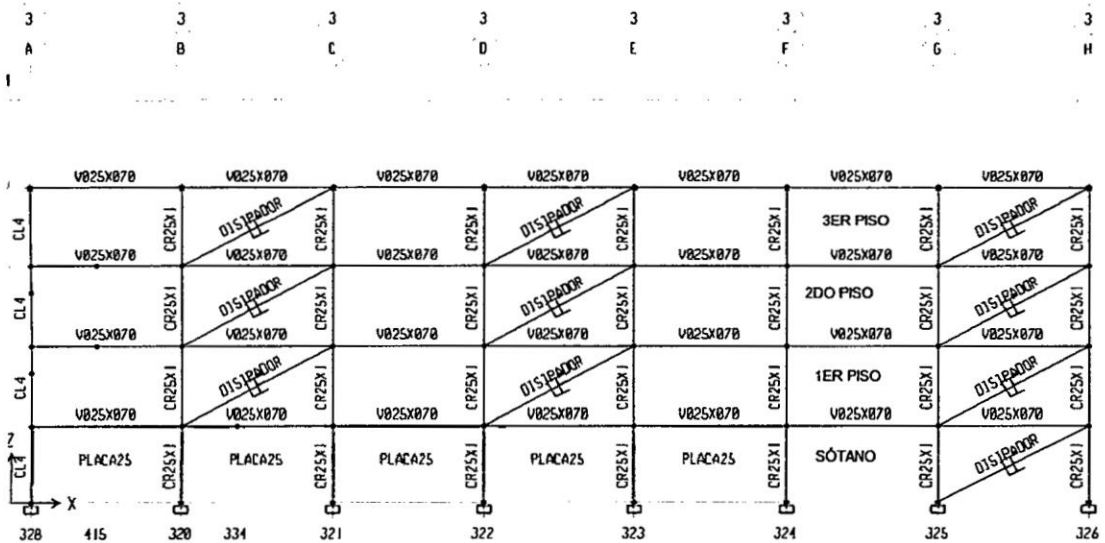


Figura 3.34: Amortiguamiento viscoso en el eje 3.

### 3.8. Disipador de energía viscoso.

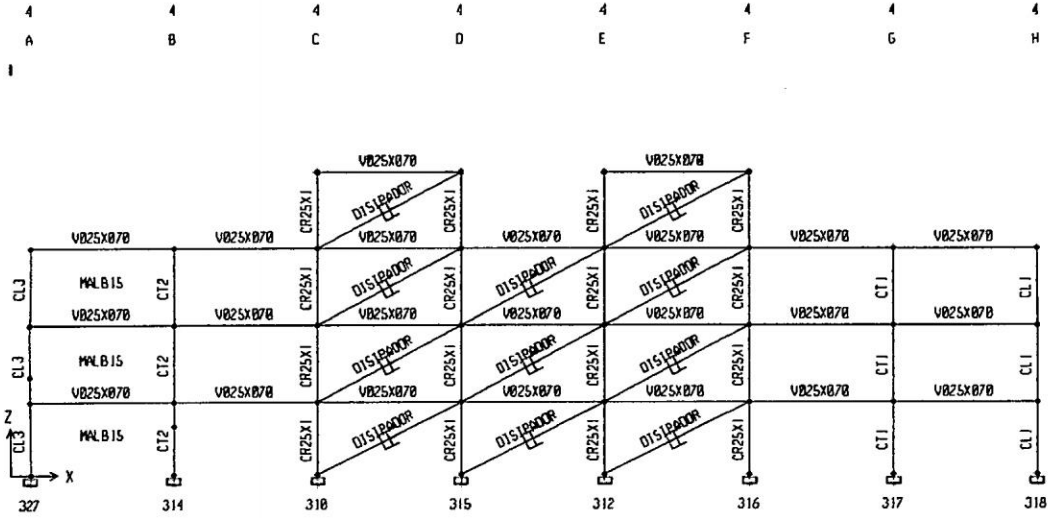


Figura 3.35: Amortiguamiento viscoso en el eje 4.

Se realizó el análisis tiempo historia para un acelerograma normalizado de 0.30g lo cual se muestra a continuación:

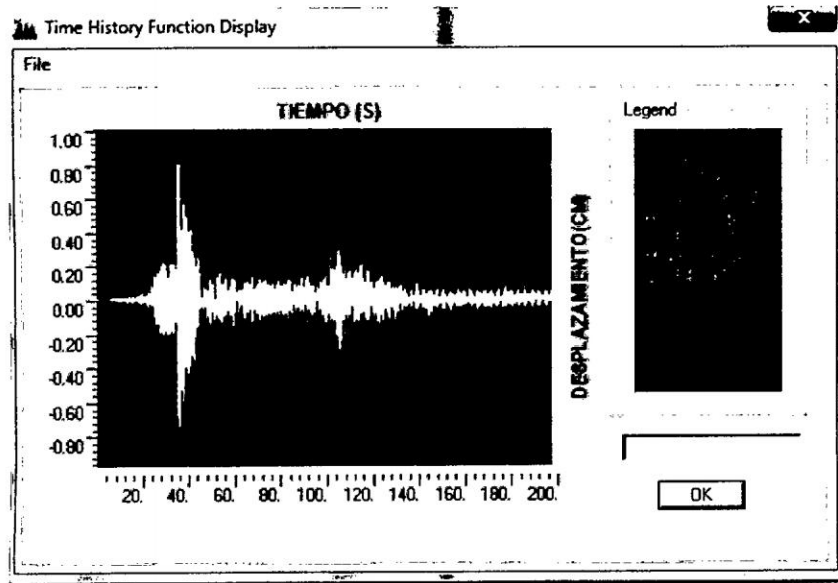


Figura 3.36: Respuesta de desplazamiento para el pórtico 2, piso3.

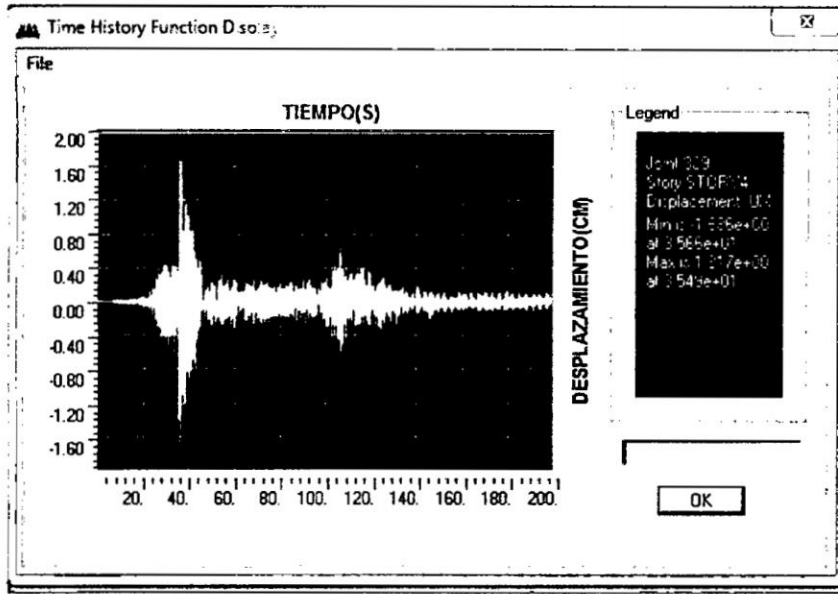


Figura 3.37: Respuesta de desplazamiento para el pórtico 2, techo1.

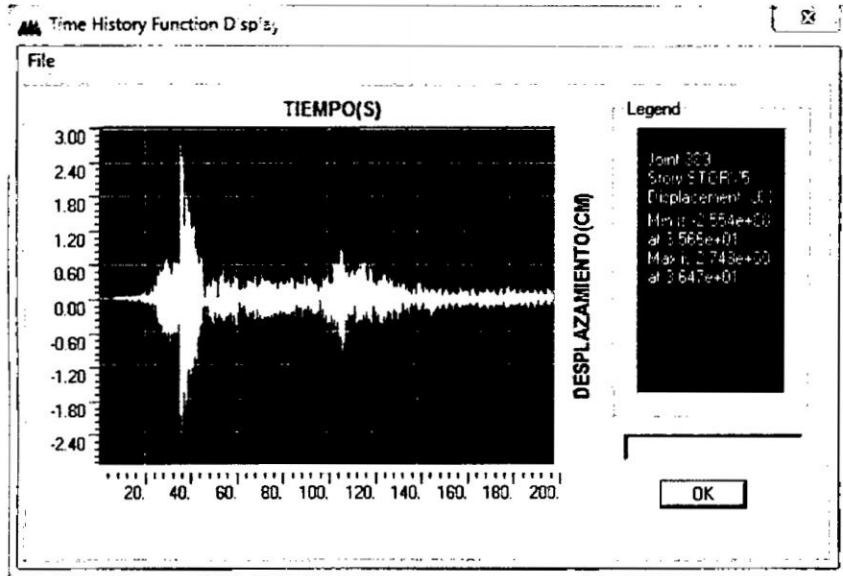


Figura 3.38: Respuesta de desplazamiento para el pórtico 2, techo2

De los resultados obtenidos de la figura anterior y del Anexo D, se realizara el análisis para estimar el factor de reducción del daño sísmico, el cual se analiza en el siguiente capítulo.

## **Parte IV**

# **Resultados y Discusión**

# Capítulo 4

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Validación de Resultados.

#### 4.1.1. Prueba de Hipótesis.

Se presenta el cuadro 4.1 de estadísticos descriptivos, para cada estado de daño obtenido, como también se presenta el cuadro 4.2 de la prueba no paramétrica de Kolmogorov-Smirnov, que consiste en determinar si los datos estadísticos para el análisis se ajusta a una función de distribución normal asimétrica.

	N	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo
Sismo Leve	21	.2267	.06288	.16	.38
Sismo Moderado	52	.3117	.08307	.16	.54
Sismo Extensivo	43	.4037	.10488	.19	.70
Sismo Completo	42	.4879	.10683	.19	.70

Cuadro 4.1: Tabla de estadísticos descriptivos, Ref.[42].

**Estadístico de contraste:**

$$D = \text{SUP}_{1 < i < n} |\hat{F}_n - F_0(x_i)| \tag{4.1.1}$$

- $x_i$  es el i-ésimo valor observado en la muestra de menor a mayor.
- $\hat{F}_n$  es un estimador de la probabilidad de observar valores menores a iguales a  $x_i$
- $\hat{F}_0(x)$  es la probabilidad de observar valores menores o iguales que  $x_i$  cuando la hipótesis es cierta ( $H_0$ ).
- D es la mayor diferencia absoluta observada entre la frecuencia acumulada observada  $\hat{F}_n$  y la frecuencia acumulada teórica  $\hat{F}_0(x)$ , obtenido a partir de la distribución de probabilidad que se especifica como hipótesis nula.

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra					
		Sismo Leve	Sismo Moderado	Sismo Extensivo	Sismo Completo
N		21	52	43	42
Parámetros normales a,b	Media	.2267	.3117	.4037	.4879
	Desviación típica	.06288	.08307	.10488	.10683
Diferencias más extremas	Absoluta	.244	.103	.114	.155
	Positiva	.244	.103	.114	.155
	Negativa	-.145	-.068	-.092	-.089
Z de Kolmogorov-Smirnov		1.118	.744	.751	1.001
Sig. asintót. (bilateral)		.164	.637	.626	.269

Cuadro 4.2: Prueba de Kolmogorov-Smirnov para muestras de estados de daño

A continuación se presenta, histogramas con una asimetría positiva para cada estado de daño clasificado.

#### 4.1. Validación de Resultados.

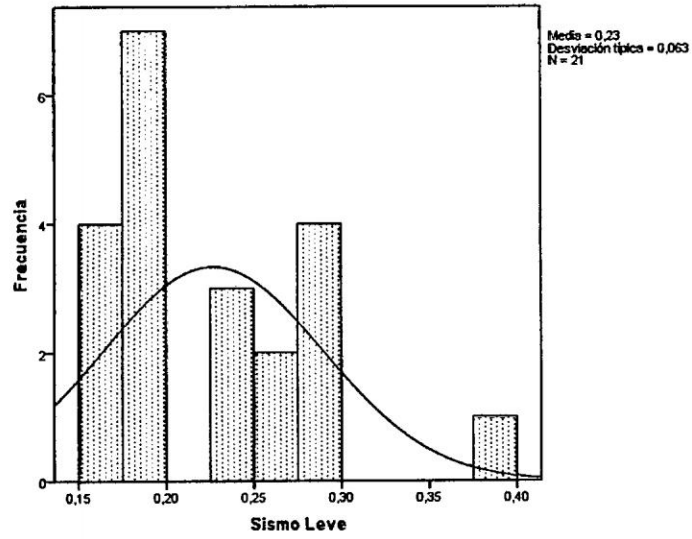


Figura 4.1: Histograma de frecuencia y curva normal- daño leve, Ref.[42]

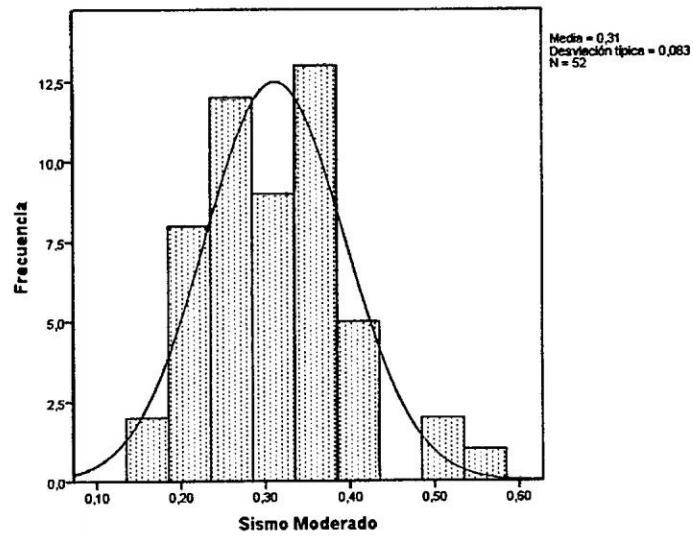


Figura 4.2: Histograma de frecuencia y curva normal- daño moderado, Ref.[42]

4.1. Validación de Resultados.

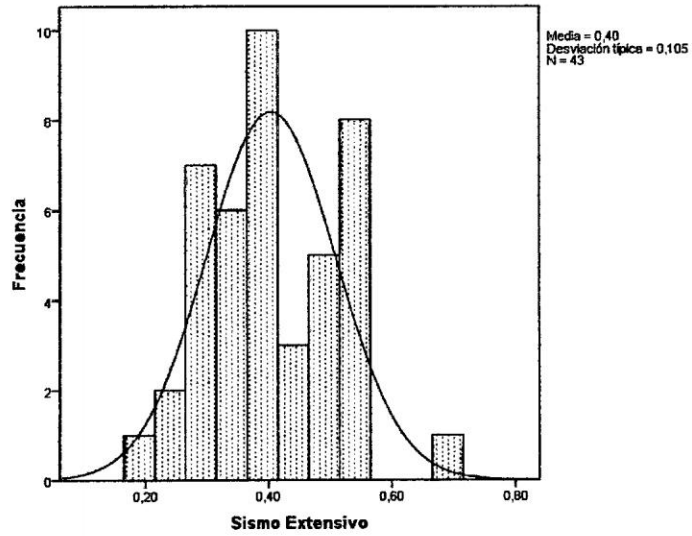


Figura 4.3: Histograma de frecuencia y curva normal- daño extensivo, Ref.[42]

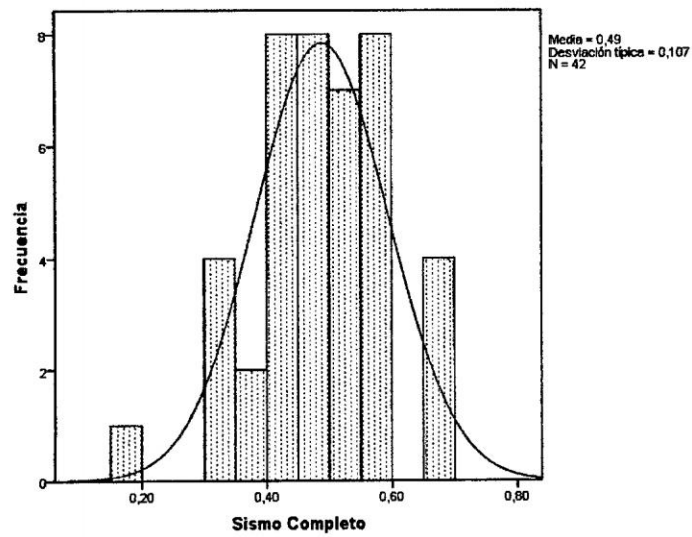


Figura 4.4: Histograma de frecuencia y curva normal- daño completo, Ref.[42]

## 4.2. Resultados.

### 4.2.1. Simulación de Montecarlo para “n” variables.

Cuadro estadístico que representa la Simulación de Montecarlo para “n” variables.

Pérdida económica Simulación de Montecarlo para "n" variables aleatorias					
N°	Nro de Simulaciones (n)	Pérdida económica	N°	Nro de Simulaciones (n)	Pérdida económica
1	1000	S/. 469,161.00	13	50000	S/. 376,601.00
2	1500	S/. 357,820.00	14	100000	S/. 382,928.00
3	2000	S/. 404,196.00	15	125000	S/. 373,305.00
4	2400	S/. 348,844.00	16	150000	S/. 379,730.00
5	2900	S/. 355,264.00	17	200000	S/. 378,664.00
6	2500	S/. 431,213.00	18	250000	S/. 376,323.00
7	5000	S/. 407,822.00	19	500000	S/. 380,947.00
8	7500	S/. 364,819.00	20	750000	S/. 380,420.00
9	10000	S/. 381,061.00	21	800000	S/. 381,063.00
10	12500	S/. 389,088.00	22	900000	S/. 379,044.00
11	15000	S/. 375,395.00	23	1000000	S/. 379,831.00
12	25000	S/. 382,510.00			

Cuadro 4.3: Valores de la pérdida económica para “n” valores simulados

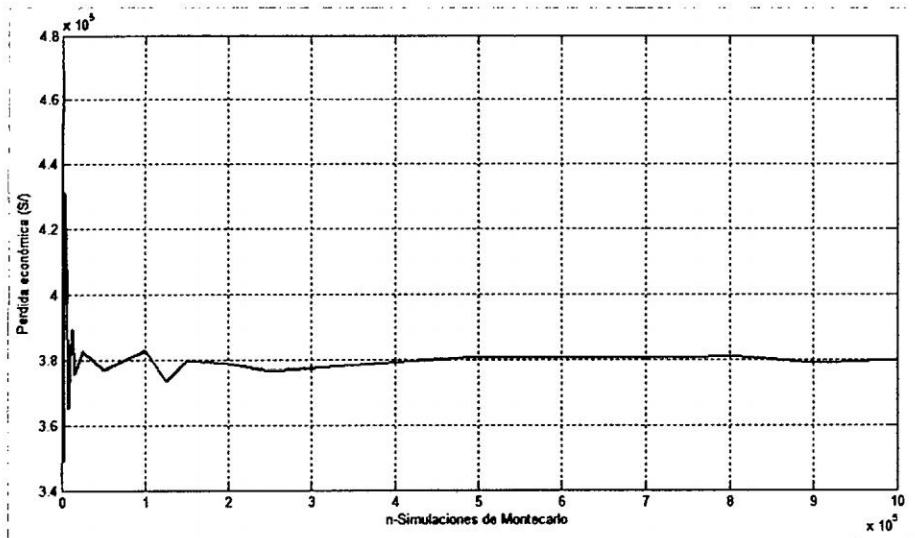


Figura 4.5: Variación de la pérdida económica para “n” valores simulados,  $Sag=0.30g$

4.2.2. Curva de Fragilidad según la intensidad sísmica.

De la investigación realizada de peligro sísmico en el Departamento de Ayacucho<sup>38</sup>, para un periodo de retorno de 50 años y probabilidad de excedencia de 10 %, se estima una intensidad sísmica menor e igual a 0.32g, por el cual a continuación se presenta los resultados de las pérdidas económicas para diferentes intensidades de peligro sísmico, analizado con el método de Simulación de Montecarlo.

Representación de las curvas de fragilidad para una intensidad sísmica de 0.20g, para cada estado de daño , en función de la probabilidad de excedencia figura 4.6.

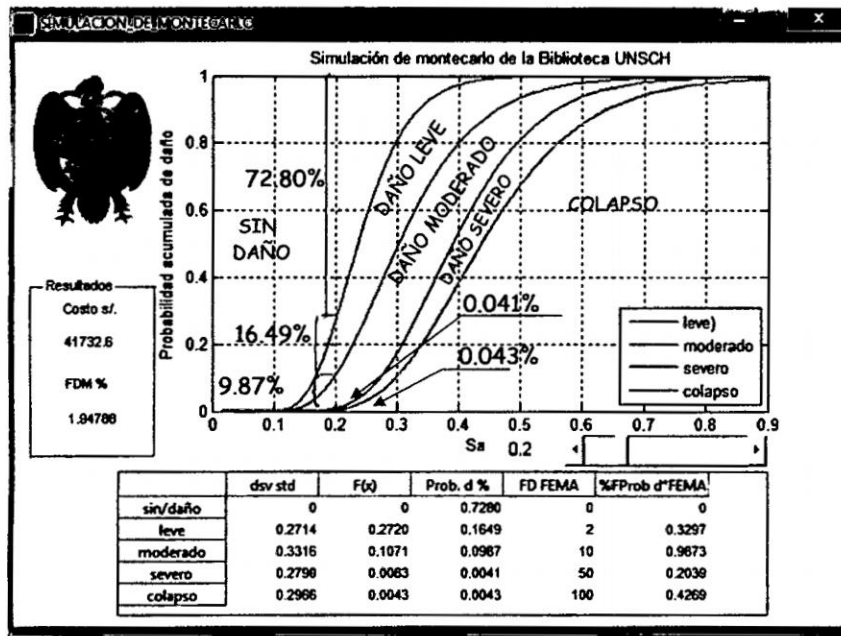


Figura 4.6: Representación de curvas de fragilidad para una intensidad sísmica de 0.20g

Representación de las curvas de fragilidad para una intensidad sísmica de 0.30g, figura 4.7, con un Simulación aleatoria de Montecarlo de 1'000 000 puntos.

<sup>38</sup>Palacios León W. (2004), Peligro Sísmico en el Departamento de Ayacucho, Tesis UNSCH, pág 124

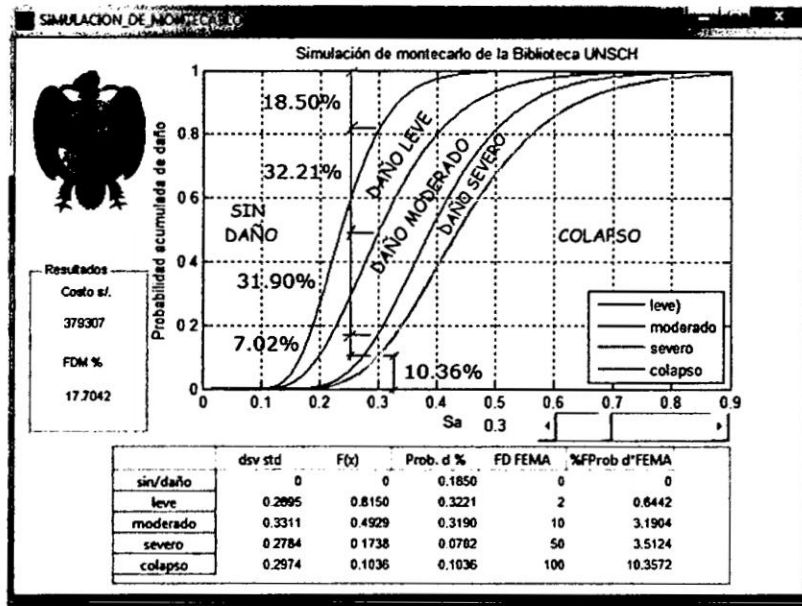


Figura 4.7: Curvas de fragilidad para una intensidad sísmica de 0.30g

Representación de curvas de fragilidad para una intensidad sísmica de 0.40g .

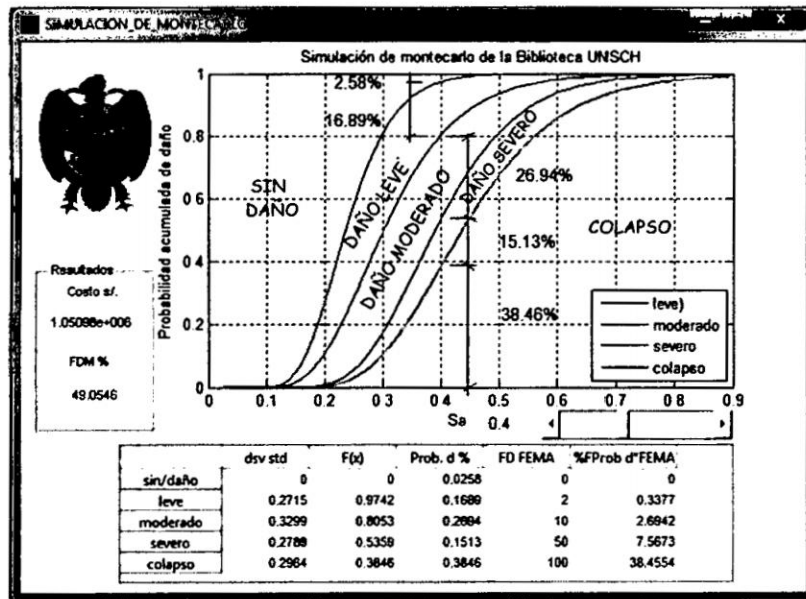


Figura 4.8: Curvas de fragilidad para una intensidad sísmica de 0.40g

### 4.2.3. Curvas de fragilidad según la deriva de piso.

Con la metodología empleada para obtener las curvas de fragilidad con respecto a la intensidad sísmica se obtuvo las curvas de fragilidad teniendo como parámetro fundamental la deriva de piso, clasificado según la tabla propuesta por Ghobarah.

En la figura 4.9 se presenta la curva de fragilidad en función de la deriva de piso obtenido en %, el cual permite diferenciar el daño estructural de la edificación ante una determinada distorsión de piso, como también permite saber el nivel de daño estructural para la deriva propuesta por la norma E030 que es de 0.7 %, también se puede obtener los niveles de daño para la deriva propuesta por la segunda norma de 1977.

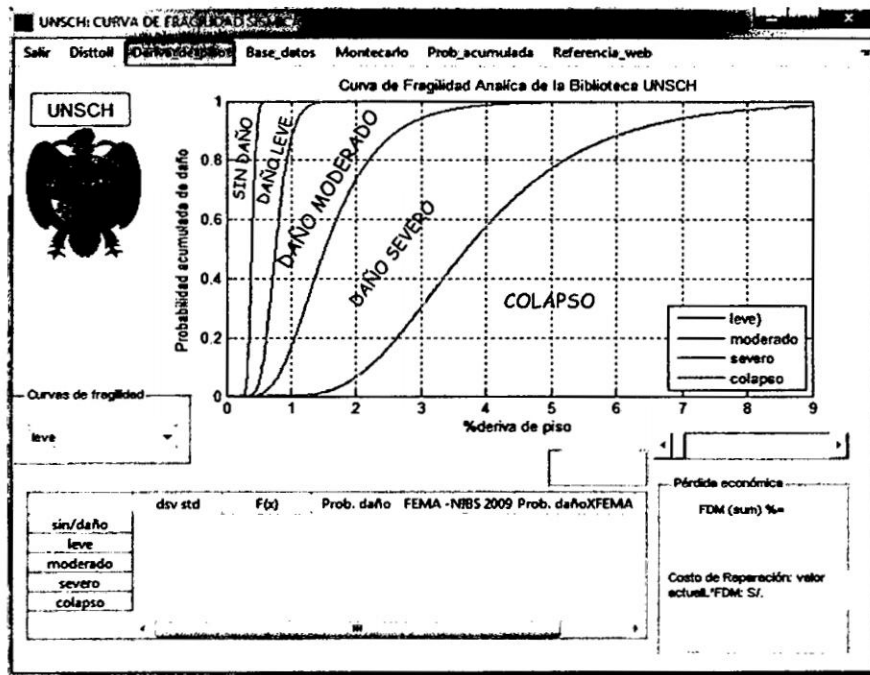


Figura 4.9: Curvas de fragilidad según la deriva de piso en %

A continuación se muestra los resultados de la figura 4.9, a una escala adicional, para su mejor visualización e interpretación de los resultados, ya que nos permite diferenciar los estados de daño según la probabilidad de excedencia obtenido.

### 4.3. Diferencia de la deriva de piso con disipador.

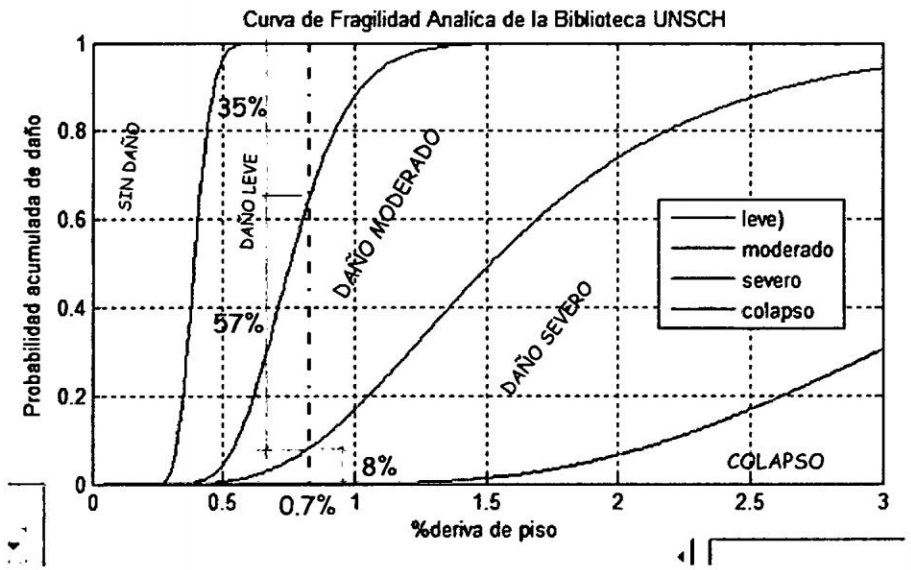


Figura 4.10: Curvas de fragilidad ampliado según la deriva de piso en %

### 4.3. Diferencia de la deriva de piso con disipador.

SIMULACION PISCO DHN_0.3g-PORTICO 2				
	Deriva sin Amortiguador	Deriva con Amortiguador	Tipo de daño	% de Reducción
P2-Techo1	0.003276923	0.00283	leve	13.61502
P2-Techo2	0.003394984	0.00292	leve	14.12742

SIMULACION PISCO DHN_0.3g-PORTICO 3				
	Deriva sin Amortiguador	Deriva con Amortiguador	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso
P3-techo	0.00991	0.008683386	moderado	12.36950

SIMULACION PISCO DHN_0.3g-PORTICO 4				
	Deriva sin Amortiguador	Deriva con Amortiguador	Tipo de daño	% de Reducción
P4-Techo2	0.00430	0.003784615	leve	11.95419
P4-Techo3	0.00371	0.003103448	leve	16.45570

Cuadro 4.4: comparación de la deriva de piso para cada caso.

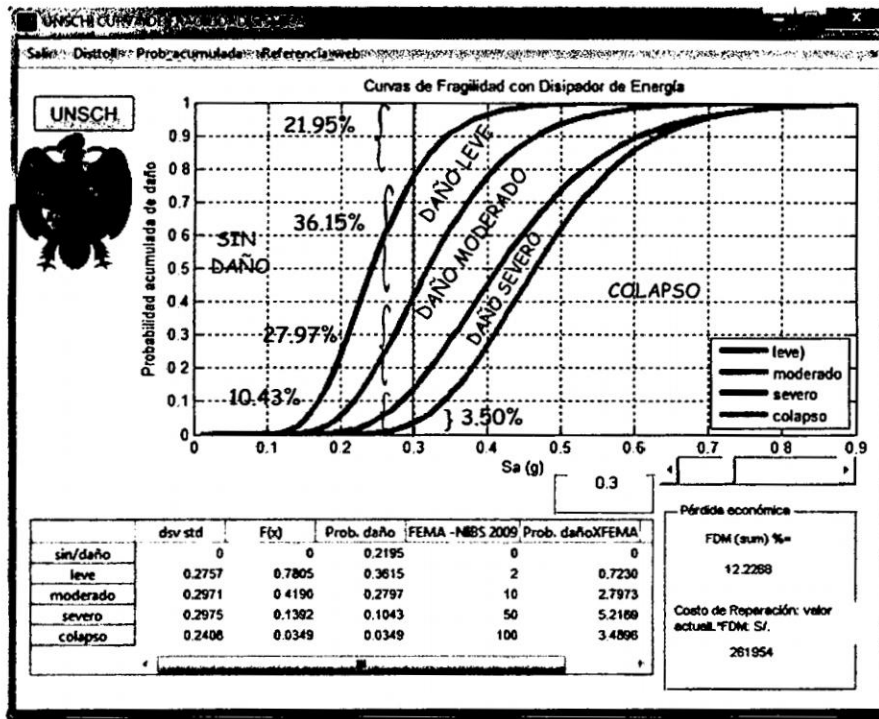


Figura 4.11: Curva de fragilidad con amortiguador

## 4.4. Discusión de los resultados.

### Análisis de la Prueba de Hipótesis

La prueba de Hipótesis permite averiguar si una variable sigue o no un determinado modelo de probabilidad, es decir permite contrastar la hipótesis de que la proposición se ajusta a una distribución normal, a continuación vamos a validar si la aceleración sísmica sigue una distribución normal por lo que se debe verificar una de las dos hipótesis:

- La variable en estudio, para cada estado de daño SI tiene una distribución normal.
- La variable en estudio, para cada estado de daño NO tiene una distribución normal.

Si el valor de significancia (Sig. asintót), es mayor que 0.05 entonces la hipótesis es nula por lo tanto se tiene una distribución normal, en caso contrario la variable no sigue una distribución normal el cual se debe de tomar otra metodología.

En el cuadro 4.2, muestra los valores del nivel de significancia para cada estado de daño, el cual es mayor a 0.05, por lo tanto los datos analizados siguen una distribución normal asimétrica y se comprueba que la hipótesis es nula.

#### **4.4.1. Discusión de la Simulación de Montecarlo para “n” variables..**

Según los resultados obtenidos de la Simulación de Montecarlo, el cual muestra la curva de fragilidad del edificio para diferentes simulaciones aleatorias “n” valores, hasta encontrar una función de distribución acumulada más probable y preciso. La figura 4.5, representa la pérdida económica de la edificación en función de la cantidad de valores simulados el cual se deduce lo siguiente:

- Mientras mayor es el valor de “n” asumido para la generación de variables aleatorias, la pérdida económica encontrado del edificio para una intensidad sísmica es más probable, ya que se obtiene una distribución de probabilidad más óptima.
- La pérdida económica del edificio se analiza para un valor de  $n = 10^6$  simulaciones, ya que a partir de ahí los resultados obtenidos adquieren una mayor fiabilidad.

#### 4.4.2. **Análisis de la Curva de Fragilidad según la intensidad sísmica.**

##### **Análisis para una intensidad sísmica de 0.20g, según la gráfica 4.6**

- Para una intensidad de 0.20g y una simulación aleatoria de Montecarlo de  $10^6$  puntos se obtiene un valor de 72.80 %, de que la estructura después de un sismo quede sin daño o presente grietas menores localizadas.
- Existe una probabilidad de 16.49 % de daño leve, quiere decir que la estructura presenta grietas ligeras en toda la estructura, tal como se pudo verificar al momento de visitar la Biblioteca se pudo notar la presencia de grietas ligeras desde el 3er nivel.
- Presenta un daño moderado de 9.87 %, lo que significa que la estructura presenta grietas severas y desprendimiento localizados.
- Presenta un daño severo de 0.041 %, es un valor muy pequeño pero existe aplastamiento del concreto armado, refuerzo visible.
- Presenta una probabilidad de colapso de 0.043 %, es un valor muy pequeño pero representa a que ante un sismo de 0.20g la estructura pueda colapsar, es decir la probabilidad a que suceda esto es insignificante.
- El factor de daño total se obtiene del producto del factor de daño obtenido anteriormente con el Factor de daño de perdidas propuesto por HAZUS FEMA para edificaciones en general, lo cual para un sismo de 0.20g obtenemos un FDM de 0.01947 % (factor de daño medio).

#### 4.4. Discusión de los resultados.

- El valor actual de tasación según el cuadro de valores unitarios 2014, para la sierra con una depreciación de antigüedad de 30 % se obtiene el costo del valor actual de la edificación.
- Valor actual de la edificación es  $VAE = S/2$ , 142464.00, multiplicado por el factor de daño medio de 1.947 % se obtiene un costo de reparación de  $S/41$ , 732.60, lo cual representa un costo mínimo de reparación en caso de ocurrir un sismo de 0.20g.

#### **Análisis para una intensidad sísmica de 0.30g, figura 4.7**

- Con una simulación aleatoria de Montecarlo de  $10^6$  puntos se obtiene una probabilidad de excedencia de 18.50 % (sin daño), significa que solo se presente grietas menores localizadas en la estructura.
- Existe una probabilidad de 31.21 % de daño leve, quiere decir que la estructura presenta grietas ligeras en toda la estructura.
- Presenta un daño moderado de 31.90 %, lo que significa que la estructura presenta grietas severas y desprendimiento localizados.
- Presenta un daño severo de 7.02 %, existe aplastamiento del concreto armado, refuerzo visible.
- Presenta una probabilidad de colapso de 1.36 %, representa el porcentaje de que la estructura pueda colapsar.
- El factor de daño total se obtiene del producto del factor de daño obtenido anteriormente con el Factor de daño de pérdidas propuesto por HAZUS FEMA para

#### 4.4. *Discusión de los resultados.*

edificaciones en general, lo cual para un sismo de 0.30g obtenemos un factor de daño medio (FDM) de 17.7%.

- El valor actual de la edificación es de  $VAE = S/2, 142464.00$ , multiplicado por el factor de daño medio de 17.7% se obtiene un costo de reparación de  $S/379, 307.00$ , lo cual representa el costo total de reparación en caso de ocurrir un sismo de 0.30g
- Ante un sismo de esta magnitud el valor de  $S/379, 307.00$  no incluye el costo indirecto y gastos generales lo que elevaría el costo reparación.

#### **Análisis para una intensidad sísmica de 0.40g**

- Para este tipo de intensidad sísmica (0.40g) no corresponde a la zona 2 de Ayacucho pero según la simulación obtenido es bueno ver como es el comportamiento estructural ante este tipo de sismos.
- Existe una probabilidad de 2.58% de no presentar daño alguno.
- Existe una probabilidad de 16.89% de daño leve.
- Presenta un daño moderado de 26.94%.
- Presenta un daño severo de 15.13%.
- Presenta una probabilidad de colapso de 38.46%.
- Valor de reparación ante un sismo de 0.40g es de  $S/1, 050.980$  , comparado con el valor actual de la edificación representa el 50% del costo de reparación, lo cual sería muy costoso en caso de darse un sismo de esta intensidad.

#### 4.4.3. **Análisis de las Curvas de fragilidad según la deriva de piso.**

Con la metodología empleada para obtener las curvas de fragilidad con respecto a la intensidad sísmica se obtuvo las curvas de fragilidad teniendo como parámetro fundamental la deriva de piso, clasificado según la tabla propuesta por HAZUS FEMA.

En la figura 4.10 se presenta la curva de fragilidad según la deriva de piso en %, para una mejor representación.

Análisis de los resultados, según la deriva de piso.

- Según la tabla de niveles de daño propuesto por Ghobarah et al (1997), cuando la deriva es menor a 0.2 % (0.002) no existe daño, pero cuando la deriva está en un rango de  $0.20\% \leq \gamma < 0.5\%$ , presenta un daño leve es decir presenta grietas ligeramente visibles.
- cuando la deriva de piso está entre los valores  $0.5\% \leq \gamma < 1.1\%$ , se encuentra en un daño moderado, donde se observa grietas menores de 1mm (fluencia del acero)
- Para distorsiones de piso entre  $1.1\% \leq \gamma < 2.3\%$ , la estructura se encuentra en daño extensivo o severo y presenta grietas de 1 a 2mm.
- Para distorsiones de piso mayores a  $\gamma \geq 2.3\%$ , la estructura se encuentra en daño completo es decir presenta grietas mayores 2mm.

#### 4.4.4. **Análisis comparativo entre la norma de diseño de 1977 y la norma E030.**

- La Norma de diseño de 1977, establece que la estructura debe de resistir daños leves, daños moderados y resistir daños severos con la posibilidad de daños estructurales fuertes al colapso, según los resultados obtenidos se obtiene para un sismos de 0.3g un FDM de 17.70 %, lo que pasaría los límites establecidos por la Norma de 1977, generando grandes pérdidas económicas y estructurales.
- La Norma NDS-1977 y Norma E030, recomienda que deberá suponerse que la acción sísmica ocurre en la dirección que resulte más desfavorable para el diseño, y para el caso de la Biblioteca la opción más desfavorable fue el sentido x (Este-Oeste), lo cual los proyectistas no consideraron esta parte de la Norma del 77, en el diseño de la Biblioteca.
- La norma E-030 actual establece que para edificaciones de concreto armado la deriva de piso debería de ser menor a 0.07 y haciendo una comparación con la gráfica anterior y la tabla de derivas de piso la Biblioteca solo estaría diseñado para un estado de daño leve, pero la Norma de 1977 establece que el máximo desplazamiento relativo entre pisos es de 0.01, y para casos donde no exista la probabilidad de daño será de 0.015.
- La Norma NDS-1977, establece que el comportamiento sísmico de las edificaciones mejora notablemente cuando la estructura tiene simetría, continuidad en la estructuración tanto en planta como en elevación, ductilidad, pero no detalla para edificios con configuración irregular en planta, en elevación, estructuras con cambio abrupto en su resistencia y rigidez lateral.

#### 4.4. *Discusión de los resultados.*

- La Norma NDS-1977 establece el análisis paso a paso que emplea tres registros sísmicos como mínimo para el análisis, pero la norma E030 actual establece no menos de 05 registros sísmicos para el análisis tiempo historia.

#### 4.4.5. **Análisis del efecto columna corta.**

Normalmente una edificación presenta las denominadas columnas cortas, las cuales se crean generalmente por una disposición inapropiada de los muros o por consideraciones erróneas tomadas durante el cálculo estructural. Este tipo de columnas presenta primero falla frágil por cortante antes que la falla dúctil por flexo compresión, la Biblioteca presenta en su distribución los efectos de columna corta según la figura.

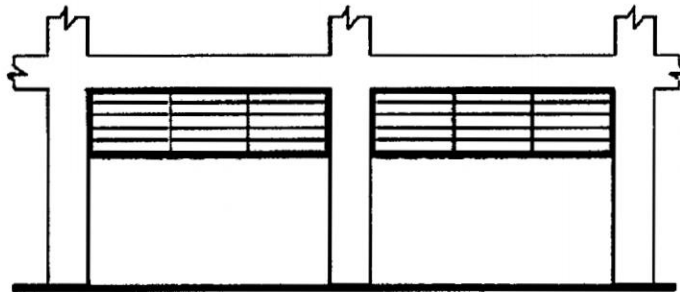


Figura 4.12: Portico típico de la Biblioteca

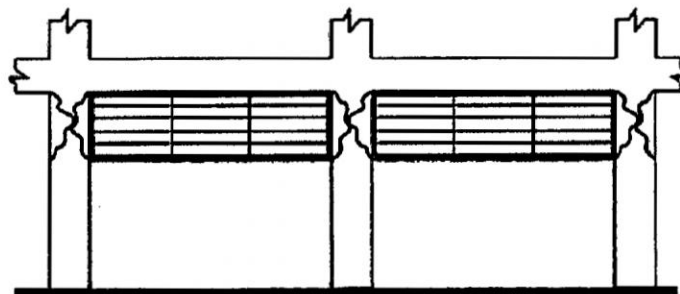


Figura 4.13: Efecto de la columna corta

#### 4.5. Análisis de la estructura con disipador viscoso.

Evitar el efecto de Columna Corta, ya sea colocando hileras adicionales de bloque, en las adyacencias de la parte libre de la columna, como se muestra en la figura 4.14.

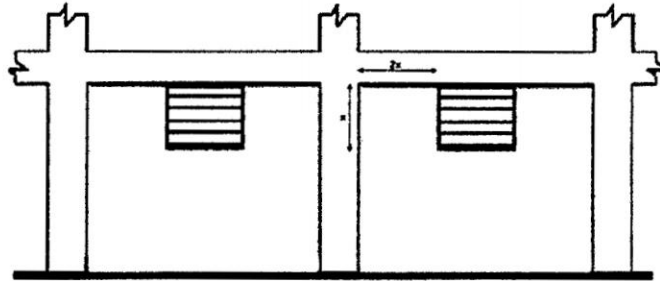


Figura 4.14: Recomendación, IPS1-ACI, para el efecto de columnas cortas

#### 4.5. Análisis de la estructura con disipador viscoso.

Del análisis realizado, el disipador de energía viscoso protege la funcionalidad después de un sismo y se puede utilizar en edificios ya construidos. De la figura 4.11, se observa que para una intensidad sísmica de 0.30g la pérdida económica con amortiguador es de S/261,954.00, el cual existe una gran diferencia del valor obtenido sin amortiguador (S/379,307.00), de modo que al colocar disipadores de energía viscoso, en la zona más vulnerable de la edificación se tendría una reducción económica de S/117,353.00, que equivalente al 30.93 % menos del valor obtenido. Se debe mencionar que los disipadores de energía viscoso se colocaron en los pórticos más vulnerables de la estructura según el análisis dinámico tiempo historia realizado, la reducción de la deriva de piso como también la diferencia de costo obtenido se debe a que los dispositivos disipan la energía inducida por los sismos y pueden adicionar rigidez y resistencia a la estructura.

## **Parte V**

# **Conclusiones**

## Capítulo 5

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones.

- Se concluye que para una intensidad sísmica de 0.20g, se obtiene un factor de daño medio de 1.94% el cual la Biblioteca tendría una pérdida económica de S/41,732.60, y para una aceleración sísmica de 0.30g (zona 2), el factor de daño medio es de 17.70% el cual se tendría una pérdida económica de S/379,307.00, lo que significa que la estructura es vulnerable ante las sollicitaciones sísmicas, generando daños estructurales y pérdidas económicas directas.
- La respuesta del desplazamiento máximo de la estructura analizada se presenta cuando el movimiento sísmico alcanza una aceleración máxima, por lo que en ese instante se registran las mayores sollicitaciones sísmicas ocasionando diferentes niveles de daño en las zonas más vulnerable de la edificación.
- La estructura presenta una irregularidad torsional debido a que la máxima deriva

## 5.1. Conclusiones.

de piso de los pórticos intermedios, es mayor que 1.2 veces la deriva promedio de los pórticos extremos, por lo que existe una mala distribución de los elementos estructurales en cada piso generando excentricidades excesivas. Por lo que es necesario hacer una correcta estructuración de los elementos resistentes, evitando en lo posible cualquier irregularidad.

- La estructura analizada presenta mayor vulnerabilidad sísmica, en la dirección este-oeste (Eje X del plano), debido a que existe una mala estructuración de sus columnas, ya que solo cuenta con un peralte de 0.25m, es decir presenta menor rigidez lateral que la otra dirección (Eje Y del plano), el cual se obtiene: rigidez lateral mínimo, elevadas distorsiones de piso, pórticos poco resistentes ante las sollicitaciones sísmicas.
- La segunda Norma de Diseño de 1977, propone como parámetro de diseño una deriva de piso de 0.01, por lo que se concluye que la Biblioteca presenta un alto grado de vulnerabilidad, actualmente la Norma E-0.30 establece como deriva de piso máximo 0.007, para una buena rigidez lateral de las estructuras.
- Debido a que las mayores distorsiones de piso se presentan en el techo, por lo que para sismos menores a 0.20g es decir sismos leves, han provocado en la estructura, grietas ligeramente visibles en el techo por lo cual hace que el agua pluvial filtre hacia el interior provocando desprendimiento del tarrajeo y daños materiales.
- Según el análisis realizado con disipadores de energía viscoso, colocado en la zona más vulnerable de la edificación, se concluye que la pérdida económica para una intensidad sísmica de 0.30g es de S/261,954.00, lo que significa que el nivel de daño medio es de solo 12.22 %, generando un nivel mínimo de daño leve y moderado.

## 5.2. Recomendaciones.

### 5.2.1. Sobre la Metodología.

- Una estructura debe ser capaz de soportar deformaciones en sus componentes sin que se dañe gravemente o se degrade su resistencia, por lo que se recomienda hacer diseños estructurales que tengan una buena rigidez lateral en ambas direcciones, para resistir solicitaciones sísmicas durante la vida útil de la edificación.
- Actualmente se vienen desarrollando múltiples investigaciones empleando la Simulación de Montecarlo, ya que es una técnica que trabaja con la generación de variables aleatorias y encuentra la combinación de todos los posibles resultados, debido a ello se viene aplicando en múltiples investigaciones de la ingeniería, por lo que se recomienda realizar esta metodología para resolver problemas relacionados a la Ingeniería Civil.

### 5.2.2. Sobre la Edificación.

- La columna corta es uno de los defectos de estructuración encontrado con mayor frecuencia en la edificación y que ocasiona diferentes daños a la estructura , por lo que para evitar los esfuerzos cortantes excesivos por efecto de la columna corta, es necesario aislar el muro de albañilería del pórtico con juntas de dilatación o reemplazar los muros de albañilería por estructuras flexibles , para que el elemento estructural pueda flexionarse en forma libre ante un evento sísmico.

### 5.2.3. Futuros trabajos de investigación.

- La norma E030 menciona que el análisis dinámico tiempo historia se podrá realizar suponiendo comportamiento lineal y elástico por lo que se deberá utilizar no menos de cinco registros de aceleraciones horizontales, correspondientes a sismos reales o artificiales. Por lo que se recomienda hacer un trabajo de investigación para normalizar y escalar los registros sísmicos ocurridos en el Perú para la ciudad de Ayacucho.
- La simulación de Montecarlo es un Método probabilístico muy fiable, por lo que se recomienda hacer una recopilación de todos los registros sísmicos ocurridos en el Perú en base a los registros obtenido por el Instituto Geofísico del Perú, para luego clasificarlo según los parámetros de diseño como el epicentro del sismo, magnitud, intensidad, duración etc. Para poder encontrar un mapa de peligro sísmico y compararlo con los mapas de isoaceleraciones establecidos en diversas investigaciones así como las tesis de Peligro Sísmico en el Departamento de Ayacucho<sup>38</sup>.
- Se recomienda usar la metodología de curvas de fragilidad con la Simulación de Montecarlo para evaluar las pérdidas económicas y riesgo sísmico de las edificaciones históricas como Casonas e Iglesias y de esta manera tener un grado de confiabilidad estructural de las edificaciones históricas, ya que uno de los principios básicos de la nueva filosofía de diseño es minimizar los daños de una edificación y asegurar la continuidad de los servicios básicos.

---

<sup>38</sup>Palacios L. W. (2004), Peligro Sísmico en el Departamento de Ayacucho, Tesis UNSCH

## **Parte VI**

### **Referencia Bibliográfica**

# Referencias

- [1] Aguiar, F. R, (2006). *Deriva Máxima de Piso y Curvas de Fragilidad en Edificios de Hormigón Armado*. 1ra Ed. CEENCI, 193 p, Ecuador .
- [2] Aguiar, F. R, (2004). *Análisis Sísmico de Edificios*, Centro de Investigaciones.Escuela Politecnica del Ejercito, Tercera Ed. 704 p, Quito Ecuador.
- [3] Aguiar, F. R, (2006). *Dinámica de Estructuras con Matlab*, Centro de Investigaciones.Escuela Politecnica del Ejercito, Primera Ed. 292 p, Quito Ecuador.
- [4] Amos, G. (2005). *Matlab una Introducción con Ejemplos Prácticos*.,Department of Mechanical Engineering The Ohio State University, 2da Ed.
- [5] Anil K. C, (1980). *Dynamics of Structures a Primer*.University of California, Berkeley,126p.
- [6] ACI. (1998) *Evaluación y reparación de estructuras*.,I Congreso Nacional de Ingeniería Estructural y Construcción, cap. peruano.
- [7] Baker, J. W. (2013). *Efficient analytical fragility function fitting*. Engineering Center, Stanford USA. <http://www.stanford.edu/~bakerjw/fragility.html>.
- [8] Bonett D.(2003). *Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de edificios,Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada*.Tesis Doctoral, Barcelona.

- [9] Borbón, A. & Walter, M. *Edición de textos científicos Latex 2012*, Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- [10] Contreras, P. R., (2004). *Estudio Piloto de vulnerabilidad sísmica de viviendas de albañilería confinada y de concreto armado en el Distrito de Ayacucho*. Tesis UNSCH, Ayacucho, 225p.
- [11] CISMID. (2013), *Generación de acelerogramas sintéticos en convenio con Sencico*. <http://www.sencico.gob.pe/gin/investigacion.html>
- [12] Castro, P. C., *Plantilla para elaboración de Tesis UNSCH en Latex*. <http://cristiancastrop.wordpress.com/>.
- [13] FEMA-NIBS. (2009). *Multi-hazard Loss Estimation Methodology. Earthquake Model, Technical Manual. Federal Emergency Management Agency (FEMA) and National Institute of Building Sciences (NIBS)*. Washington D.C.
- [14] Fernando, A. (2012). *Simulación Montecarlo Con Matlab*, Art. Types School Work. <http://es.scribd.com/doc/109921344/Simulacion-Montecarlo-Con-Matlab>
- [15] Gómez, M. & Alarcón, E., (1992). *Introducción a la fiabilidad estructural y algunas aplicaciones*, Instituto de Ciencias de la Construcción, Madrid, España.
- [16] Gómez C, (2005), *El método de Montecarlo*, Curso de Estadística TAE.
- [17] Gil, S. & Franco, L., (2005). *Análisis Estadístico en Matlab*. Universidad Nacional de Colombia, Primera Edición, Bogotá 131p.
- [18] Genner, V. & Oviedo S., (2008). *Edificaciones con disipadores de energía*. Premio Nacional ANR, Lima Perú-122p.

- [19] Ghobarah (1997). *Level of distortion per story for reinforced concrete buildings*.
- [20] Herráiz, S. M., (1997). *Conceptos Básicos de Sismología para Ingenieros*. University of California, CISMID, Primera Edición, 140p.
- [21] ICG Etabs(2012). *Análisis y Diseño de Edificaciones con Etabs*. Computer y Structures CSI , Tercera Edición, 181p.
- [22] Luk, M. & Luque, C. (2011). *Influencia del Agrietamiento en la Respuesta Sísmica de Edificios Aporticados Peruanos.*, Tesis PUCP .
- [23] Lozano, N. H., (2011). *El proyecto de investigación en carrera de ingeniería*. 1ra Edición Printed in Perú , 179pág.
- [24] Morales, M. R., (1997). *Diseño de Concreto Armado*. Capítulo Peruano del American Concrete Institute, ICG, Tercera Edición, 334p.
- [25] Quispe, A. (2004). *Vulnerabilidad de las construcciones de adobe en el centro histórico de la ciudad de Ayacucho*, Tesis UNSCH, p172.
- [26] Palomino, T., (2008). *Estudios Geofísicos para la zonificación sísmica de la ciudad de Ayacucho*, Tesis UNSCH.
- [27] Peter, F. & Helmurt K., (2004) *PERFORMANCE-BASED SEISMIC DESIGN CONCEPTS AND IMPLEMENTATION*, University of California, Berkeley, 550pág.
- [28] Rivera P. (2005). *Sismos en Ayacucho.*, Ciencias Históricas Sociales-UNSCH.
- [29] Rojas, G. ,R. *Curvas de Fragilidad Sísmica para Edificios Aporticados de Concreto Reforzado de Poca Altura.*, Tesis de Maestría. Venezuela, 2010.

## REFERENCIAS

- [30] Rodriguez O., (2007). *Probabilidad y Estadística Básica para Ingenieros con el soporte de Matlab para Cálculos y Gráficos Estadísticos*, Ecuador,p 311.
- [31] Rodriguez H. F., (2007). *Introducción a la Probabilidad Normal Gaussiana.*,Art.CINVESTAV,p 56.
- [32] Norma Técnica de Edificación NTE-0.30 (2006) *Diseño Sismorresistente.*, RNE-MVCS.
- [33] NDS (1977). *Segunda Norma de Diseño Sismorresistente de 1977*, RNC 125p.
- [34] Vicente, N. S., (2000). *Estadística Teórica y Aplicada*,Sanz Torres.
- [35] Velásquez.V., (2006) *Estimación de Pérdidas por Sismo en Edificios Peruanos Mediante Curvas de Fragilidad Analíticas.* Tesis Posgrado-PUCP, Lima Perú, 134p.
- [36] Walpole F.; Ronald E.; Raymond H.; Myers; Sharon L. Myers & Keying Y., (2007),*Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias*, octava edición.
- [37] Zentner I.; Nadjarian N. H. & Viallet E., (2008),*Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias*,Art Científico China.
- [38] Palacios L. (2004). *Peligro Sísmico en el Dep. de Ayacucho*, Tesis UNSCH.
- [39] Web <http://www.igp.gob.pe/bdsismos/ultimosSismosSentidos.php>
- [40] Web. [http://es.slideshare.net/Fran\\_73/tema-2-probabilidad-presentation](http://es.slideshare.net/Fran_73/tema-2-probabilidad-presentation)
- [41] Web. <http://www.bvsde.paho.org/bvsade/e/fulltext/uni/conf9.pdf>
- [42] Statistical Product and Service Solutions, <http://www.spss.co.in/>

## **Parte VII**

### **Anexos**

# Apéndice A

## Acelerogramas Sintéticos.

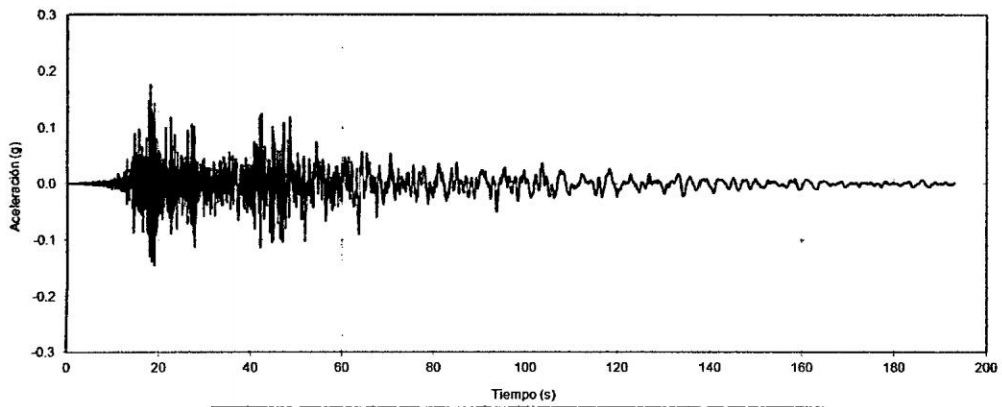


Figura A.1: Tokachi Sapporo(2003),  $Sag=0.18g$ , Suelo B,  $Tr=475$ años. Ref.[11]

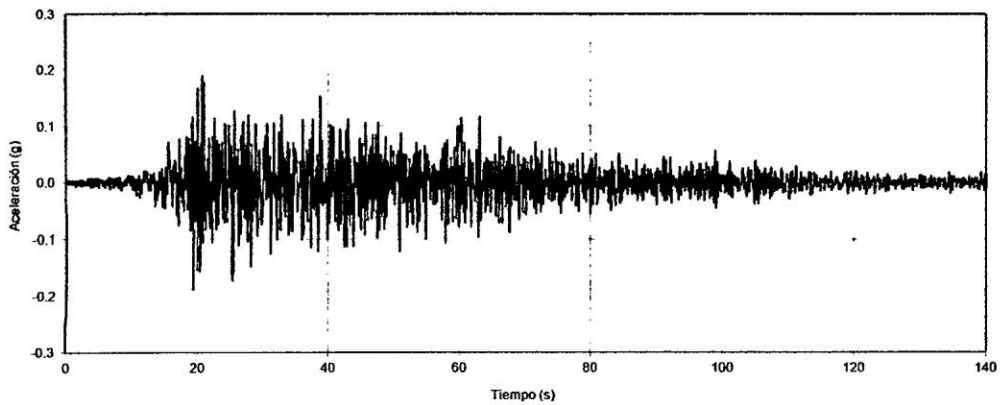


Figura A.2: Maule Constitución(2010)  $Sag=0.19g$ , Suelo B,  $Tr=475$ años. Ref.[11]

APÉNDICE A. ACELEROGRAMAS SINTÉTICOS.

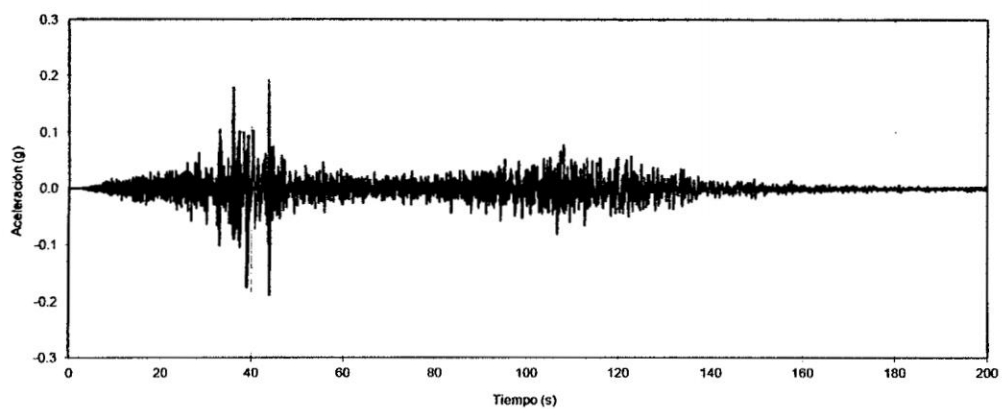


Figura A.3: Simulación Pisco(2010)  $Sag=0.19g$ , Suelo B,  $Tr=475$  años. Ref.[11]

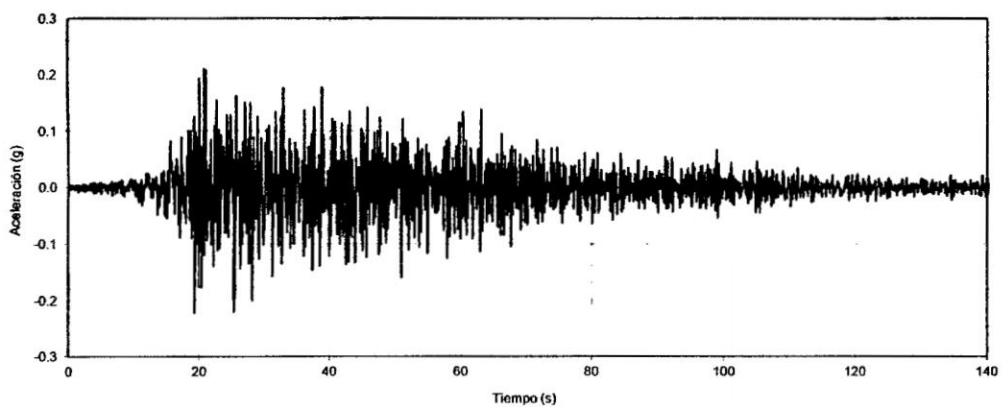


Figura A.4: Maule Constitución(2010)  $Sag=0.22g$ ,  $Tr=475$  años. Ref.[11]

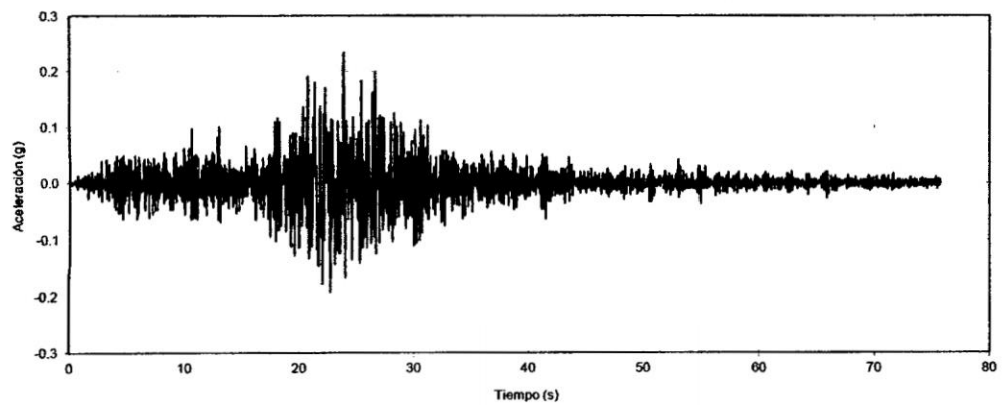


Figura A.5: Tarapacá Cuya(2005)  $Sag=0.23g$ , Suelo B,  $Tr=475$  años. Ref.[11]

APÉNDICE A. ACELEROGRAMAS SINTÉTICOS.

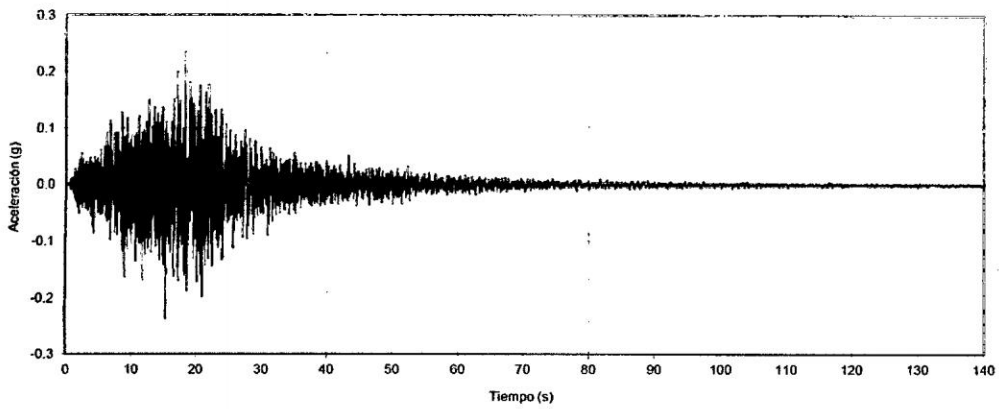


Figura A.6: Sanriku Miyagi(2003)  $Sag=0.24g$ , Suelo B,  $Tr=475$ años. Ref.[11]

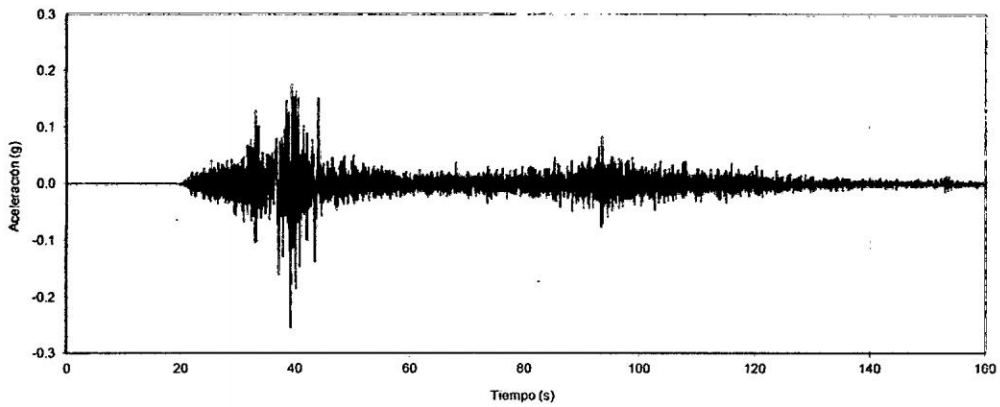


Figura A.7: Pisco PCN(2007)  $Sag=0.25g$ , Suelo B,  $Tr=475$ años. Ref.[11]

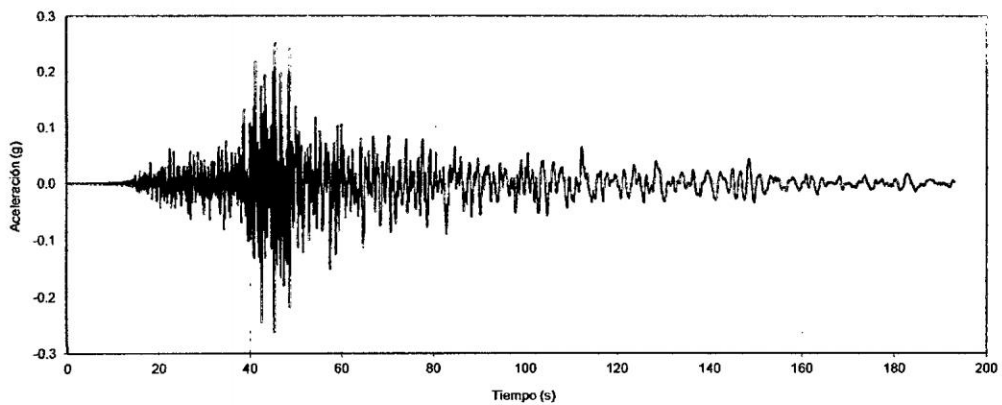


Figura A.8: Tokachi Sapporo(2003)  $Sag=0.26g$ , Suelo B,  $Tr=475$ años. Ref.[11]

APÉNDICE A. ACELEROGRAMAS SINTÉTICOS.

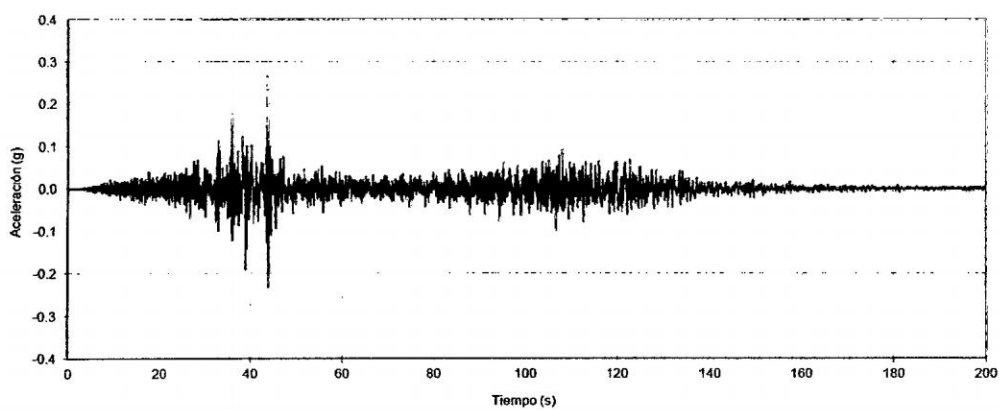


Figura A.9: Pisco DHN(2007)  $Sag=0.27g$ ,  $Tr=475$  años. Ref.[11]

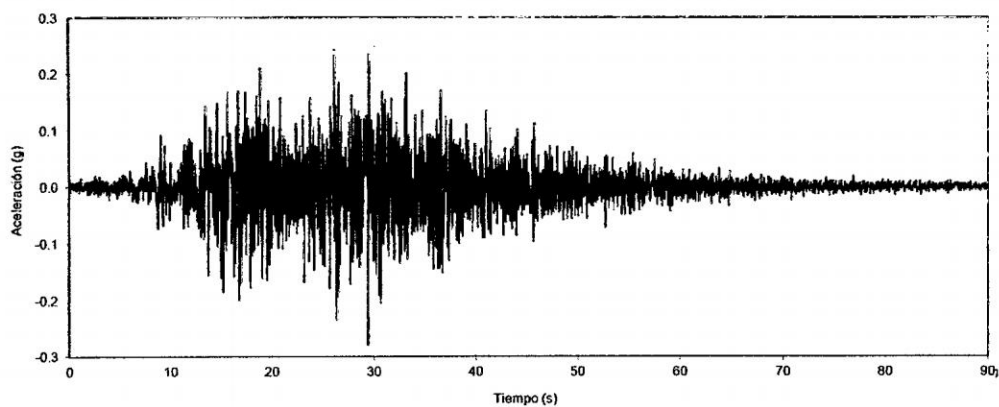


Figura A.10: Maule Melipilla(2010),  $Sag=0.28g$ , Suelo B,  $Tr=475$  años. Ref.[11]

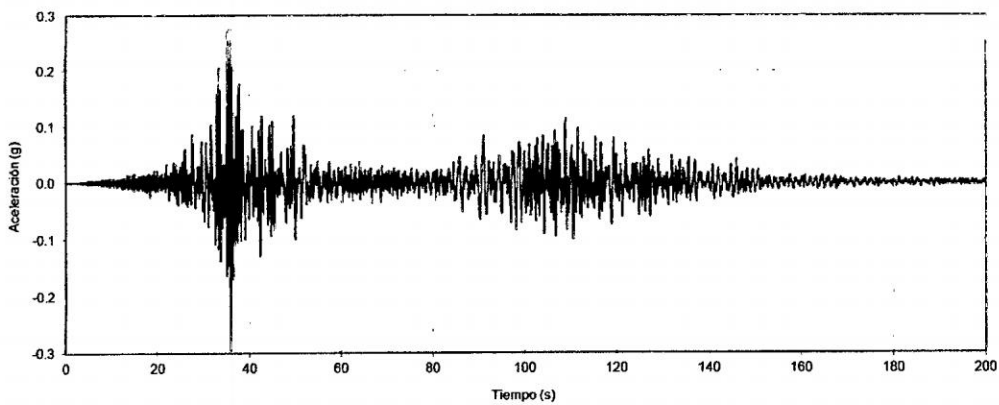


Figura A.11: Pisco DHN(2007)  $Sag=0.30g$ , Suelo B,  $Tr=475$  años. Ref.[11]

APÉNDICE A. ACELEROGRAMAS SINTÉTICOS.

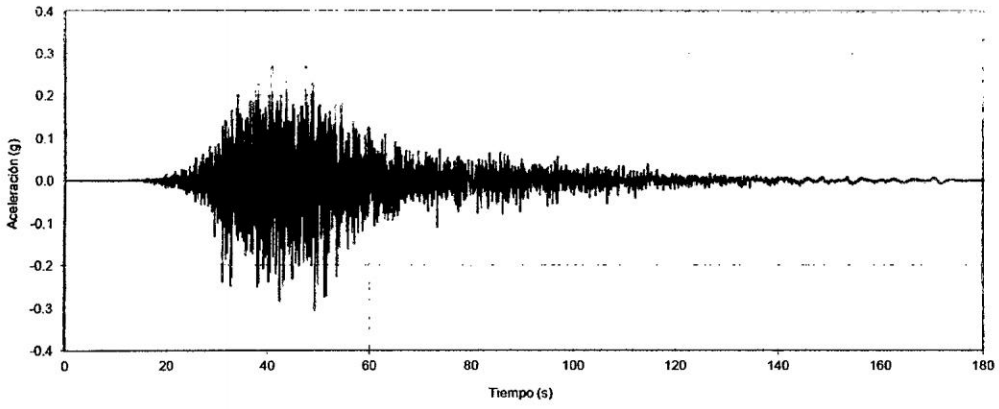


Figura A.12: Simulación EMO,  $Sag=0.31g$ ,  $Tr=475$  años. Ref.[11]

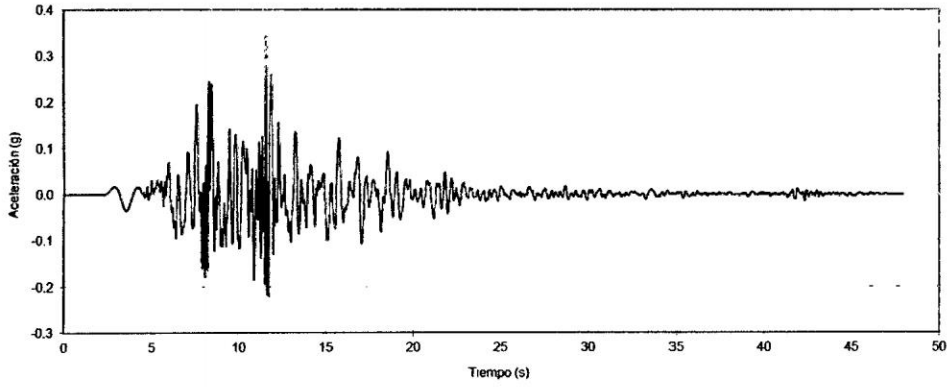


Figura A.13: Japón Kobe 1995  $Sag=0.34g$ , Suelo B,  $Tr=475$  años. Ref.[11]

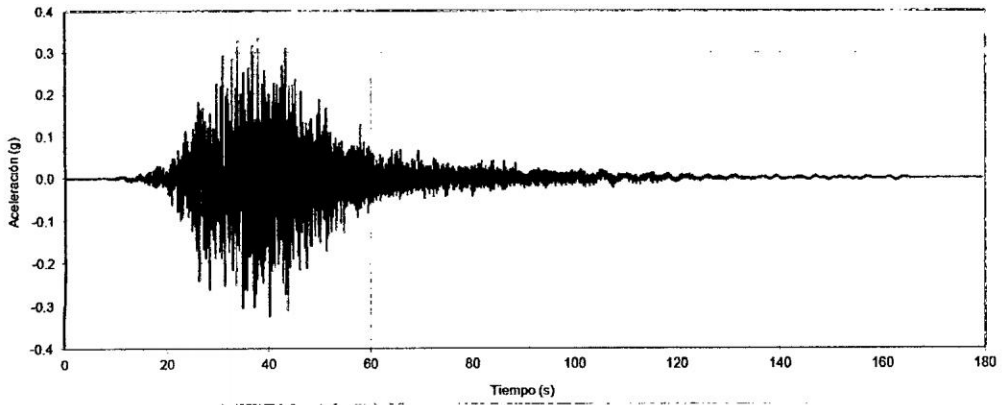


Figura A.14: Simulación PQR  $Sag=0.35g$ , Suelo B,  $Tr=475$  años. Ref.[11]

APÉNDICE A. ACELEROGRAMAS SINTÉTICOS.

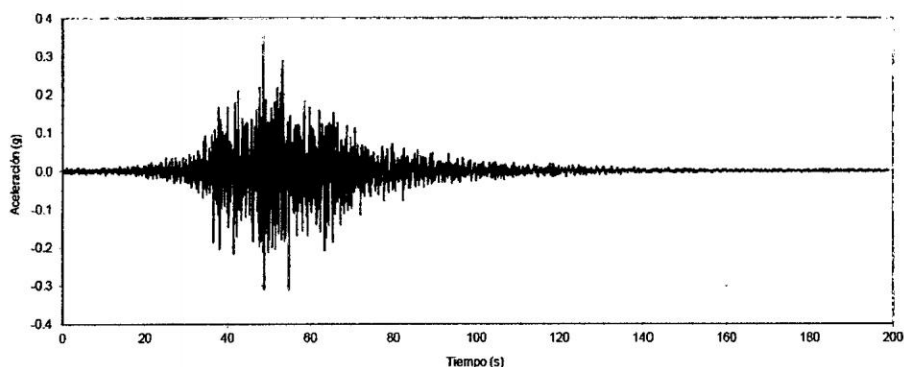


Figura A.15: Arequipa Moquegua(2001),  $Sag=0.36g$ , Suelo B,  $Tr=475$ años. Ref.[11]

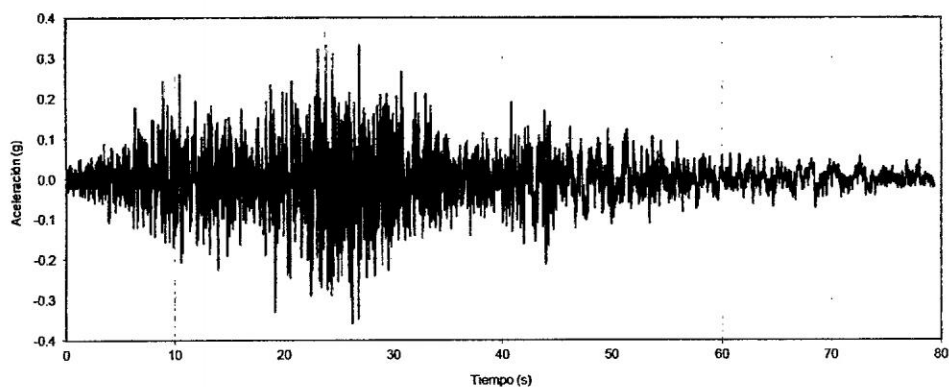


Figura A.16: Chile Valparaiso(1985),  $Sag=0.37g$ , Suelo B,  $Tr=475$ años. Ref.[11]

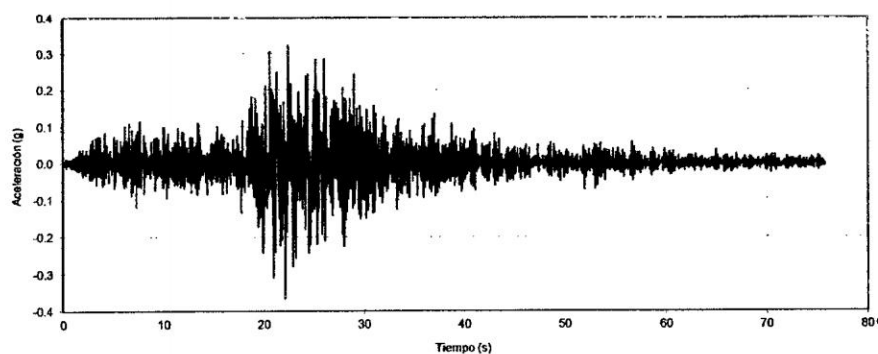


Figura A.17: Sismo 2005 Tarapacá Cuya, aceleración máxima:  $0.37g$ , Suelo B,  $Tr=475$ años. Ref.[11]

## APÉNDICE A. ACELEROGRAMAS SINTÉTICOS.

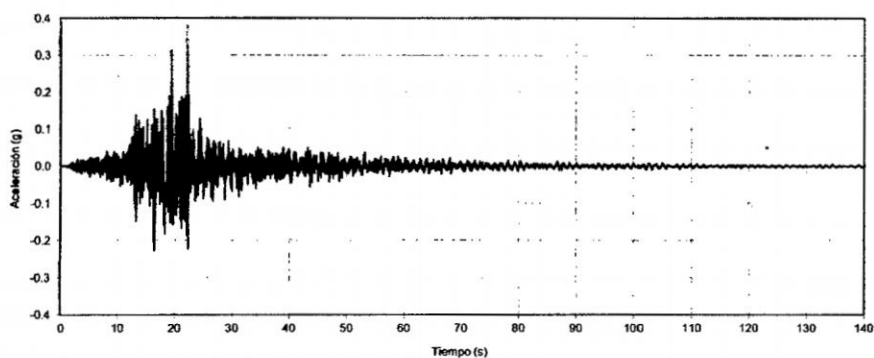


Figura A.18: Sanriku Miyagi(2003),  $Sag=0.38g$ , Suelo B,  $Tr=475$ años. Ref.[11]

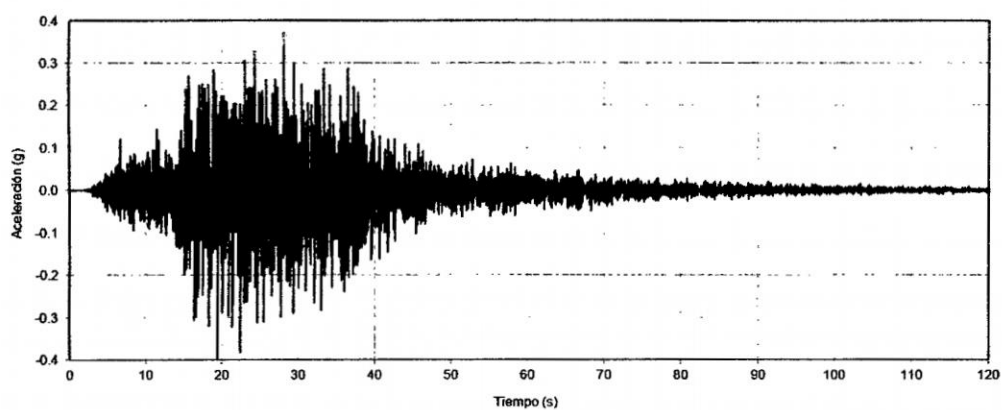


Figura A.19: Tarapacá Pica(2005),  $Sag=0.39g$ , Suelo B,  $Tr=475$ años. Ref.[11]

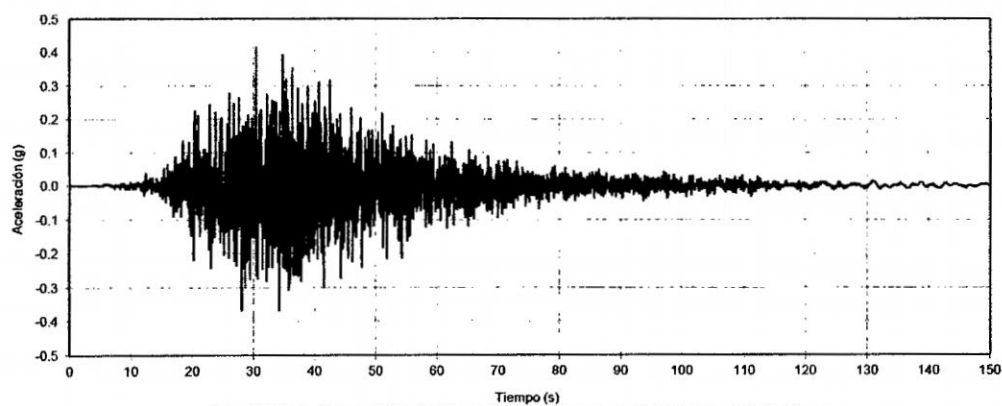


Figura A.20: Simulación DHN 5-1,  $Sag=0.41g$ , Suelo B,  $Tr=475$ años. Ref.[11]

APÉNDICE A. ACELEROGRAMAS SINTÉTICOS.

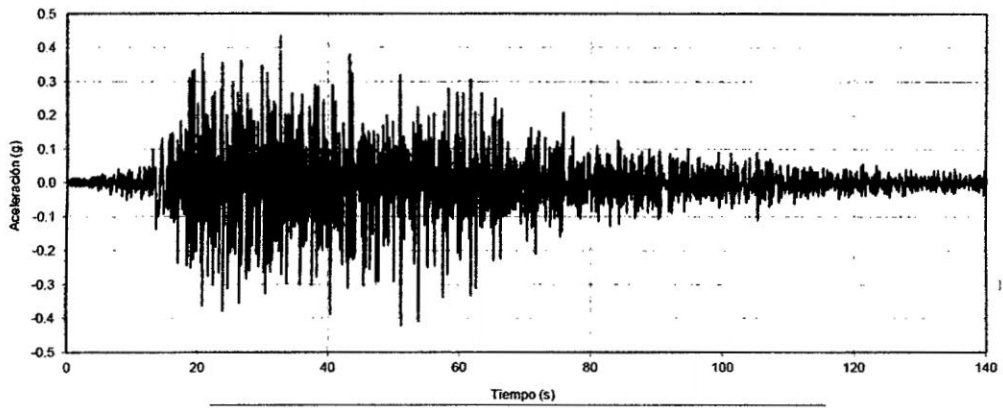


Figura A.21: Maule Constitución(2010),  $S_{ag}=0.44g$ , Suelo B,  $T_r=475$ años. Ref.[11]

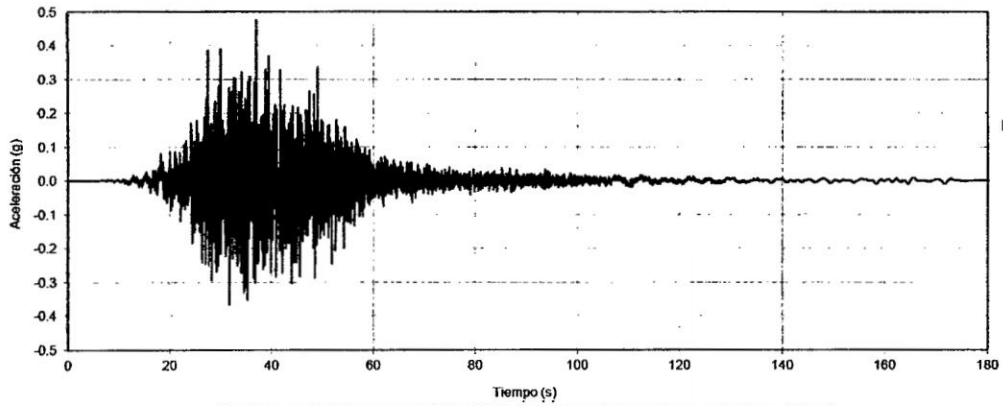


Figura A.22: Simulación VSV,  $S_{ag}=0.47g$ , Suelo B,  $T_r=475$ años, Ref.[11]

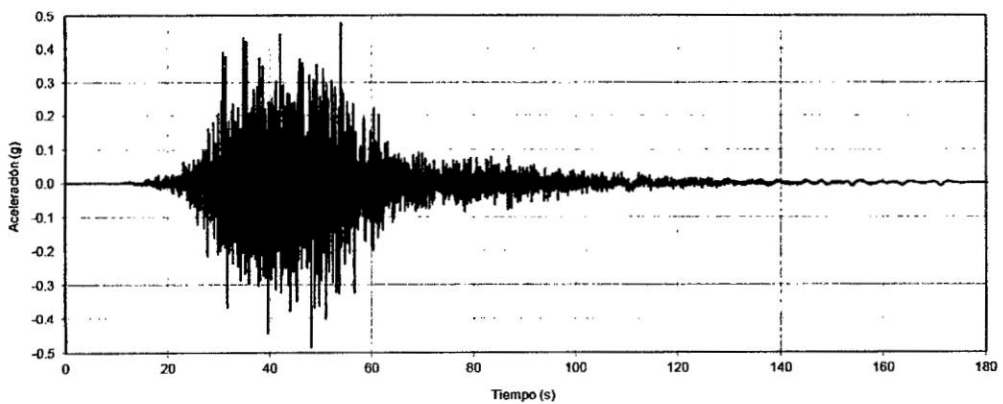


Figura A.23: Simulación EMO,  $S_{ag}=0.48g$ , Suelo B,  $T_r=475$ años, Ref.[11]

APÉNDICE A. ACELEROGRAMAS SINTÉTICOS.

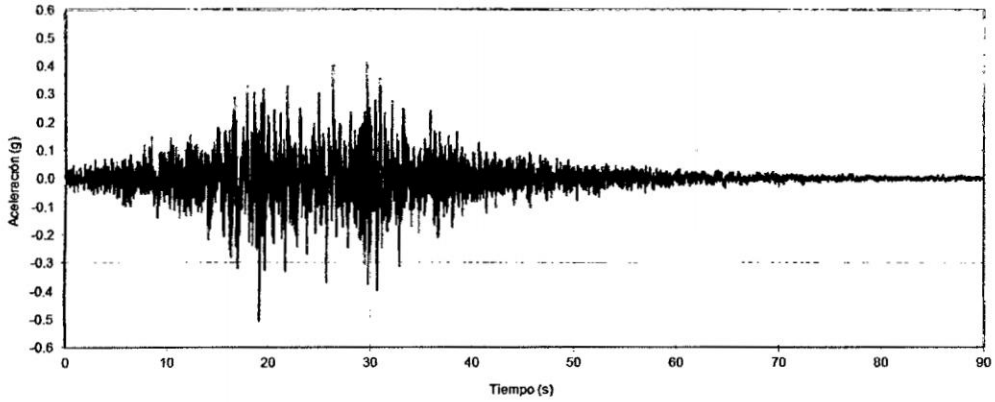


Figura A.24: Maule Melipilla(2010),  $S_{ag}=0.50g$ , Suelo B,  $T_r=475$  años, Ref.[11]

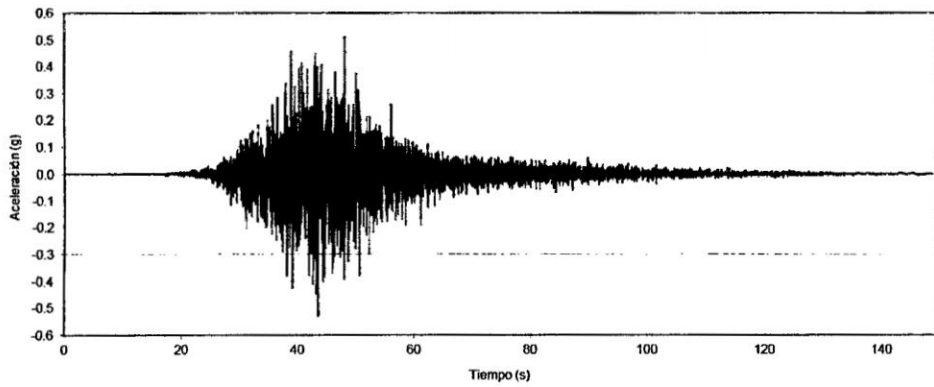


Figura A.25: Simulación CMD ,  $S_{ag}=0.52g$ , Suelo B,  $T_r=475$  años, Ref.[11]

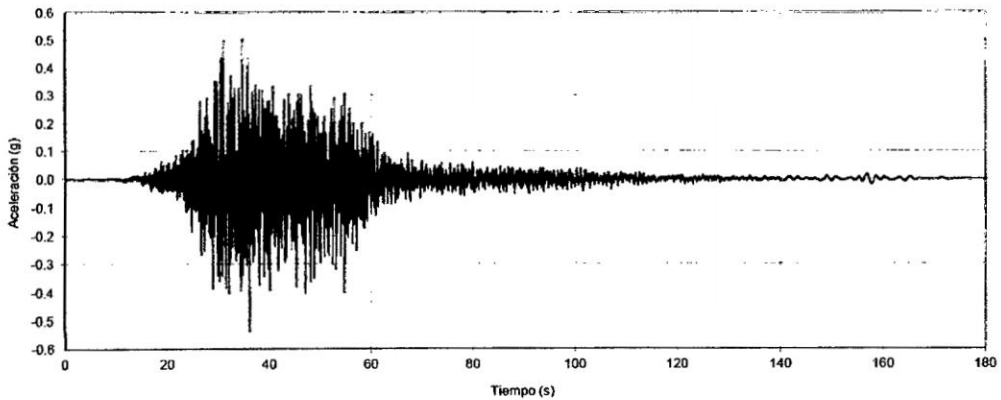


Figura A.26: Simulación VSV ,  $S_{ag}=0.53g$ , Suelo B,  $T_r=475$  años, Ref.[11]

APÉNDICE A. ACELEROGRAMAS SINTÉTICOS.

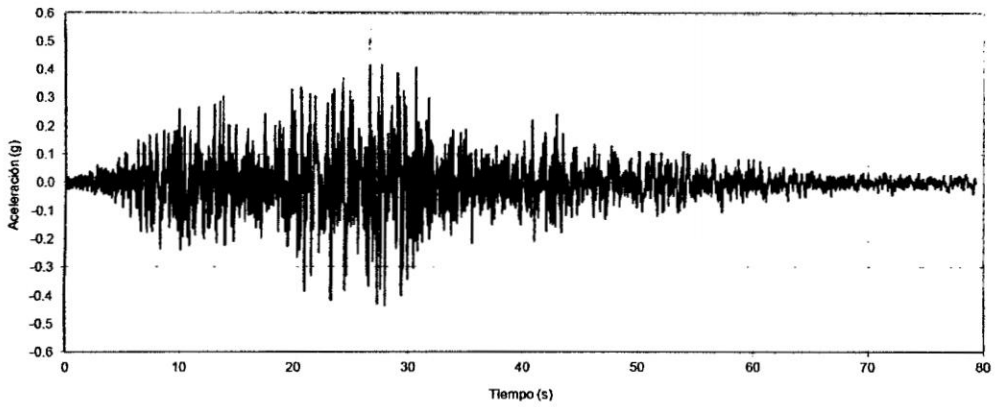


Figura A.27: Chile Valparaíso(1985),  $Sag=0.54g$ ,  $Tr=475$ años, Ref.[11]

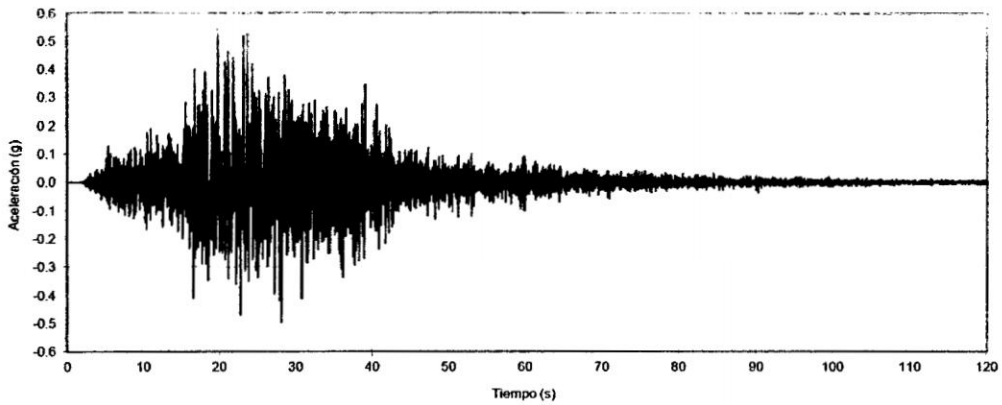


Figura A.28: Tarapacá Pica(2005),  $Sag=0.55g$ ,  $Tr=475$ años, Ref.[11]

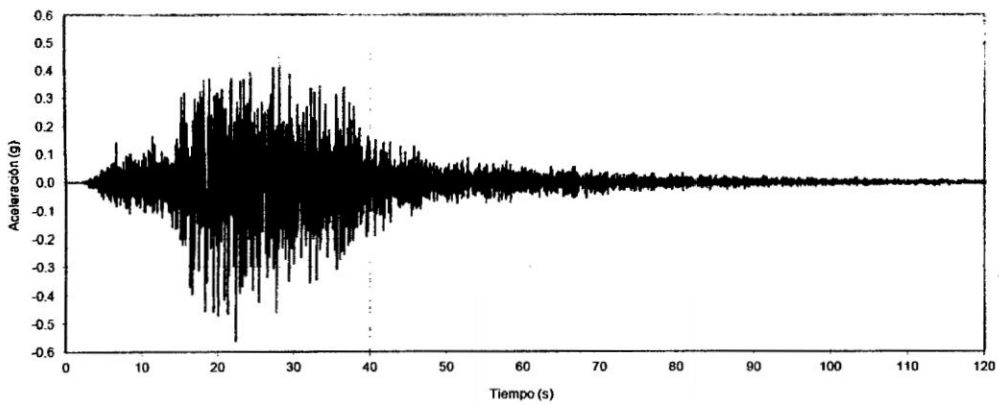


Figura A.29: Simulación Tarapacá Pica(2005),  $Sag=0.56g$ ,  $Tr=475$ años, Ref.[11]

APÉNDICE A. ACELEROGRAMAS SINTÉTICOS.

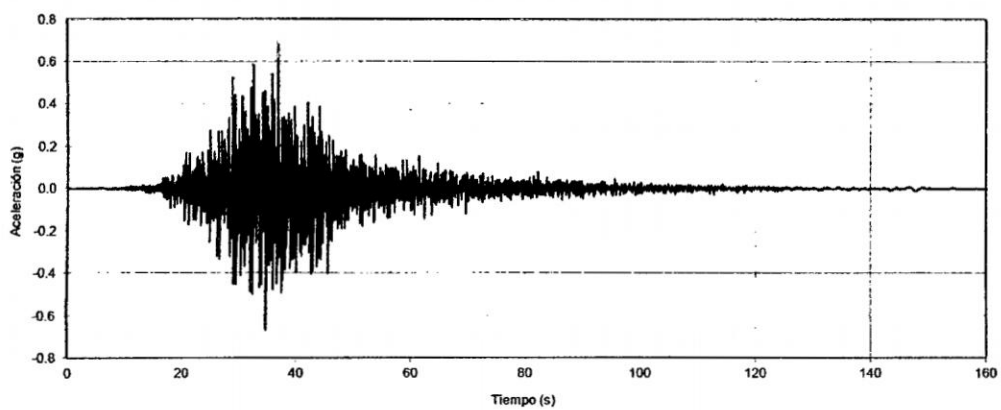


Figura A.30: Simulación,  $S_{ag}=0.70g$ ,  $T_r=475$ años, Ref.[11]

## Apéndice B

### Clasificación de la deriva de piso según Ghobarah.

SIMULACION TOKACHI 2003 0.18g-PORTICO 2					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P2-2do piso	346	325	1.123		
P2-Techo1	346	325	2.274	0.003541538	leve
P2-Techo2	346	319	3.443	0.003664577	leve

SIMULACION TOKACHI 2003 0.18g-PORTICO 3					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P3-2do piso	326	325	1.172		
P3-techo	326	319	4.586	0.010702194	moderado

SIMULACION TOKACHI 2003 0.18g-PORTICO 4					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P4-1er piso	316	325	0.392		
P4-Techo2	316	325	1.95	0.004793846	leve
P4-Techo3	316	319	3.148	0.003755486	leve

*APÉNDICE B. CLASIFICACIÓN DE LA DERIVA DE PISO SEGÚN  
GHOBARAH.*

SIMULACION MAULE_CONSTITUCION 0.19g-PORTICO 2					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P2-2do piso	346	325	3.156		
P2-Techo1	346	325	6.3651	0.009874154	moderado
P2-Techo2	346	319	9.669	0.010357053	moderado

SIMULACION MAULE_CONSTITUCION 0.19g-PORTICO 3					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P3-2do piso	326	325	3.296		
P3-techo	326	319	12.52	0.028915361	completo

SIMULACION MAULE_CONSTITUCION 0.19g-PORTICO 4					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P4-1er piso	316	325	1.116		
P4-Techo2	316	325	5.536	0.0136	Extensivo
P4-Techo3	316	319	8.936	0.010658307	moderado

SIMULACION TOKACHI 2003 0.18g-PORTICO 2					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P2-2do piso	346	325	1.123		
P2-Techo1	346	325	2.274	0.003541538	leve
P2-Techo2	346	319	3.443	0.003664577	leve

SIMULACION TOKACHI 2003 0.18g-PORTICO 3					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P3-2do piso	326	325	1.172		
P3-techo	326	319	4.586	0.010702194	moderado

SIMULACION TOKACHI 2003 0.18g-PORTICO 4					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P4-1er piso	316	325	0.392		
P4-Techo2	316	325	1.95	0.004793846	leve
P4-Techo3	316	319	3.148	0.003755486	leve

SIMULACIÓN SANRIKU MIYAGI 0.24g-PORTICO 2					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P2-2do piso	346	325	1.156		
P2-Techo1	346	325	2.323	0.003590769	leve
P2-Techo2	346	319	3.537	0.003805643	leve

SIMULACIÓN SANRIKU MIYAGI 0.24g-PORTICO 3					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P3-2do piso	326	325	1.208		
P3-techo	326	319	4.715	0.01099373	moderado

SIMULACIÓN SANRIKU MIYAGI 0.24g-PORTICO 4					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P4-1er piso	316	325	0.411		
P4-Techo2	316	325	2.091	0.005169231	moderado
P4-Techo3	316	319	3.498	0.004410658	leve

*APÉNDICE B. CLASIFICACIÓN DE LA DERIVA DE PISO SEGÚN  
GHOBARAH.*

SISMO DE TOKACHI 2003 DE 0.26g-PORTICO 2					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P2-2do piso	346	325	0.575		
P2-Techo1	346	325	1.999	0.004381538	leve
P2-Techo2	346	319	3.933	0.006062696	moderado
SISMO DE TOKACHI 2003 DE 0.26g-PORTICO 3					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P3-2do piso	326	325	2.082		
P3-techo	326	319	8.205	0.019194357	Extensivo
SISMO DE TOKACHI 2003 DE 0.26g-PORTICO 4					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P4-1er piso	316	325	0.726		
P4-Techo2	316	325	3.5	0.008535385	moderado
P4-Techo3	316	319	5.876	0.007448276	moderado

SISMO DE CURICO DE 0.29g-PORTICO 2					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P2-2do piso	387	325	2.391		
P2-Techo1	387	319	4.789	0.007517241	moderado
P2-Techo2	387	352	7.228	0.006928977	moderado
SISMO DE CURICO DE 0.29g-PORTICO 3					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P3-2do piso	321	325	2.483		
P3-techo2	321	319	9.245	0.021197492	Extensivo
SISMO DE CURICO DE 0.29g-PORTICO 4					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P4-1er piso	314	325	0.867		
P4-Techo2	314	325	3.772	0.008938462	moderado
P4-Techo3	310	319	6.521	0.008617555	moderado

SIMULACION PISCO DHN_0.3g-PORTICO 2					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P2-2do piso	346	325	1.041	0.003089231	
P2-Techo1	346	325	2.106	0.003276923	leve
P2-Techo2	346	319	3.189	0.003394984	leve
SIMULACION PISCO DHN_0.3g-PORTICO 3					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P3-2do piso	326	325	1.086	0.001338462	
P3-techo	326	319	4.247	0.009909091	moderado
SIMULACION PISCO DHN_0.3g-PORTICO 4					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P4-1er piso	316	325	0.367	0.001021538	
P4-Techo2	316	325	1.764	0.004298462	leve
P4-Techo3	316	319	2.949	0.003714734	leve

*APÉNDICE B. CLASIFICACIÓN DE LA DERIVA DE PISO SEGÚN  
GHOBARAH.*

SISMO DE HIROSHIMA 2001 DE 0.33g-PORTICO 2					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P2-2do piso	388,341	325	1.82		
P2-Techo1	388,341	319	3.66	0.005768025	moderado
P2-Techo2	388,341	352	5.5	0.005227273	moderado

SISMO DE HIROSHIMA 2001 DE 0.33g-PORTICO 3					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P3-2do piso	320,323	325	1.895		
P3-techo2	320,323	319	7.35	0.017100313	Extensivo

SISMO DE HIROSHIMA 2001 DE 0.33g-PORTICO 4					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P4-1er piso	310,316	325	0.652		
P4-Techo2	310,316	325	3.045	0.007363077	moderado
P4-Techo3	310,316	319	5.122	0.006510972	moderado

SISMO DE JAPON 1995 0.34g-PORTICO 2					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P2-2do piso	345	325	4.298		
P2-Techo1	345	319	6.6	0.007216301	moderado
P2-Techo2	345	352	8.66	0.005852273	moderado

SISMO DE JAPON 1995 0.34g-PORTICO 3					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P3-2do piso	326	325	8.031		
P3-techo2	326	319	14	0.018711599	Extensivo

SISMO DE JAPON 1995 0.34g-PORTICO 4					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P4-1er piso	312	325	0.684		
P4-Techo2	312	325	3.29	0.008018462	moderado
P4-Techo3	312	319	5.31	0.006332288	moderado

SISMO DE AREQUIPA 2001 DE 0.36g-PORTICO 2					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P2-2do piso	341	325	3.389		
P2-Techo1	341	319	6.86	0.010880878	moderado
P2-Techo2	341	352	10.35	0.009914773	moderado

SISMO DE AREQUIPA 2001 DE 0.36g-PORTICO 3					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P3-2do piso	321,323	325	3.571		
P3-techo2	321,323	319	13.83	0.032159875	completo

SISMO DE AREQUIPA 2001 DE 0.36g-PORTICO 4					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P4-1er piso	316	325	1.236		
P4-Techo2	316	325	5.83	0.014135385	Extensivo
P4-Techo3	316	319	9.808	0.012470219	Extensivo

*APÉNDICE B. CLASIFICACIÓN DE LA DERIVA DE PISO SEGÚN  
GHOBARAH.*

SISMO DE CHILE 1985 0.37g-PORTICO2					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P2-2do piso	341	325	3.965		
P2-Techo1	341	319	7.96	0.012523511	Extensivo
P2-Techo2	341	352	11.93	0.011278409	Extensivo

SISMO DE CHILE 1985 0.37g-PORTICO 3					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P3-2do piso	326	325	4.118		
P3-techo2	326	319	16.22	0.037937304	completo

SISMO DE CHILE 1985 0.37g-PORTICO 4					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P4-1er piso	310	325	1.423		
P4-Techo2	314	325	6.135	0.014498462	Extensivo
P4-Techo3	310	319	10.74	0.014435737	Extensivo

SISMO DE TARAPACA 2005 DE 0.37g-PORTICO 2					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P2-2do piso	345	325	1.968		
P2-Techo1	345	319	3.9	0.006056426	moderado
P2-Techo2	345	352	5.848	0.005534091	moderado

SISMO DE TARAPACA 2005 DE 0.37g-PORTICO 3					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P3-2do piso	325	325	2.05		
P3-techo2	325	319	8.044	0.018789969	Extensivo

SISMO DE TARAPACA 2005 DE 0.37g-PORTICO 4					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P4-1er piso	316	325	0.718		
P4-Techo2	316	325	3.487	0.00852	moderado
P4-Techo3	316	319	5.816	0.00730094	moderado

**APÉNDICE B. CLASIFICACIÓN DE LA DERIVA DE PISO SEGÚN  
GHOBARAH.**

SISMO DE CHILE 1985 0.37g-PORTICO 2					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P2-2do piso	341	325	3.965		
P2-Techo1	341	319	7.96	0.012523511	Extensivo
P2-Techo2	341	352	11.93	0.011278409	Extensivo

SISMO DE CHILE 1985 0.37g-PORTICO 3					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P3-2do piso	326	325	4.118		
P3-techo2	326	319	16.22	0.037937304	completo

SISMO DE CHILE 1985 0.37g-PORTICO 4					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P4-1er piso	310	325	1.423		
P4-Techo2	314	325	6.135	0.014498462	Extensivo
P4-Techo3	310	319	10.74	0.014435737	Extensivo

SISMO DE SANRIKU 2003 DE 0.38g-PORTICO 2					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P2-2do piso	345,387	325	0.987		
P2-Techo1	345,387	319	1.981	0.003115987	leve
P2-Techo2	345,387	352	2.988	0.002860795	leve

SISMO DE SANRIKU 2003 DE 0.38g-PORTICO 3					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P3-2do piso	322	325	1.027		
P3-techo2	322	319	3.907	0.009028213	moderado

SISMO DE SANRIKU 2003 DE 0.38g-PORTICO 4					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P4-1er piso	312	325	0.3551		
P4-Techo2	312	325	1.699	0.004135077	leve
P4-Techo3	312	319	2.842	0.003583072	leve

REGISTRO DHN 0.41g-PORTICO 2					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P2-2do piso	346	325	5.625		
P2-Techo1	346	325	11.37	0.017676923	Extensivo
P2-Techo2	346	319	17.29	0.018557994	Extensivo

REGISTRO DHN 0.41g-PORTICO 3					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P3-2do piso	326	325	5.87		
P3-techo	326	319	23.89	0.056489028	completo

REGISTRO DHN 0.41g-PORTICO 4					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P4-1er piso	316	325	1.982		
P4-Techo2	316	325	9.734	0.023852308	completo
P4-Techo3	316	319	16.45	0.021053292	Extensivo

*APÉNDICE B. CLASIFICACIÓN DE LA DERIVA DE PISO SEGÚN  
GHOBARAH.*

SISMO DE MAULE CCSP 2010 DE 0.42g-PORTICO 2					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P2-2do piso	341	325	3.494		
P2-Techo1	341	319	7.011	0.011025078	Extensivo
P2-Techo2	341	352	10.5	0.009911932	moderado

SISMO DE MAULE CCSP 2010 DE 0.42g-PORTICO 3					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P3-2do piso	321,325	325	3.63		
P3-techo2	321,325	319	14	0.032507837	completo

SISMO DE MAULE CCSP 2010 DE 0.42g-PORTICO 4					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P4-1er piso	312	325	1.259		
P4-Techo2	327	325	6.053	0.014750769	Extensivo
P4-Techo3	310	319	10.06	0.012561129	Extensivo

SIMULACION VSV 0.47g-PORTICO 2					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P2-2do piso	346	325	8.54		
P2-Techo1	346	325	17.29	0.026923077	completo
P2-Techo2	346	319	26.18	0.027868339	completo

SIMULACION VSV 0.47g-PORTICO 3					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P3-2do piso	326	325	8.923		
P3-techo	326	319	35.62	0.083689655	completo

SIMULACION VSV 0.47g-PORTICO 4					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P4-1er piso	316	325	3.02		
P4-Techo2	316	325	14.87	0.036461538	completo
P4-Techo3	316	319	24	0.02862069	completo

SIMULACION CHILE VALPARAISO 0.54g-PORTICO 2					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P2-2do piso	346	325	3.323		
P2-Techo1	346	325	6.731	0.010486154	moderado
P2-Techo2	346	319	10.19	0.01084326	moderado

SIMULACION CHILE VALPARAISO 0.54g-PORTICO 3					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P3-2do piso	326	325	3.367		
P3-techo	326	319	13.24	0.030949843	completo

SIMULACION CHILE VALPARAISO 0.54g-PORTICO 4					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P4-1er piso	316	325	1.172		
P4-Techo2	316	325	5.864	0.014436923	Extensivo
P4-Techo3	316	319	9.796	0.012326019	Extensivo

*APÉNDICE B. CLASIFICACIÓN DE LA DERIVA DE PISO SEGÚN  
GHOBARAH.*

SIMULACIÓN TARAPACA PICA 0.56g-PORTICO 2					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P2-2do piso	346	325	7.583		
P2-Techo1	346	325	15.32	0.023806154	completo
P2-Techo2	346	319	23.19	0.024670846	completo

SIMULACIÓN TARAPACA PICA 0.56g-PORTICO 3					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P3-2do piso	326	325	7.923		
P3-techo	326	319	30.97	0.072247649	completo

SIMULACIÓN TARAPACA PICA 0.56g-PORTICO 4					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P4-1er piso	316	325	2.69		
P4-Techo2	316	325	13.52	0.033323077	completo
P4-Techo3	316	319	22.62	0.028526646	completo

SIMULACIÓN DHN 0.70g-PORTICO 2					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P2-2do piso	346	325	7.14		
P2-Techo1	346	325	14.5	0.022646154	Extensivo
P2-Techo2	346	319	21.84	0.023009404	completo

SIMULACIÓN DHN 0.70g-PORTICO 3					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P3-2do piso	326	325	7.527		
P3-techo	326	319	29.49	0.06884953	completo

SIMULACIÓN DHN 0.70g-PORTICO 5					
	Puntos	altura de piso(cm)	Desplazamiento(cm)	Deriva de piso	Daño
P4-1er piso	316	325	2.55		
P4-Techo2	316	325	12.58	0.030861538	completo
P4-Techo3	316	319	20.4	0.024514107	completo

# Apéndice C

## Simulación de Montecarlo.

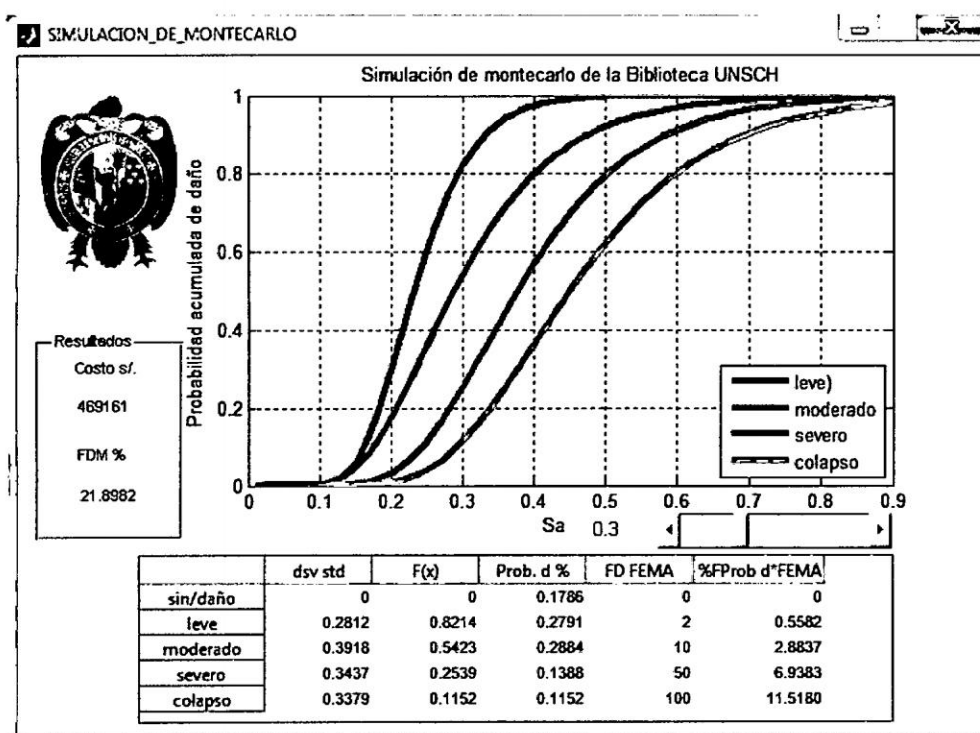


Figura C.1: Simulación de Montecarlo para n=1,000ptos

APÉNDICE C. SIMULACIÓN DE MONTECARLO.

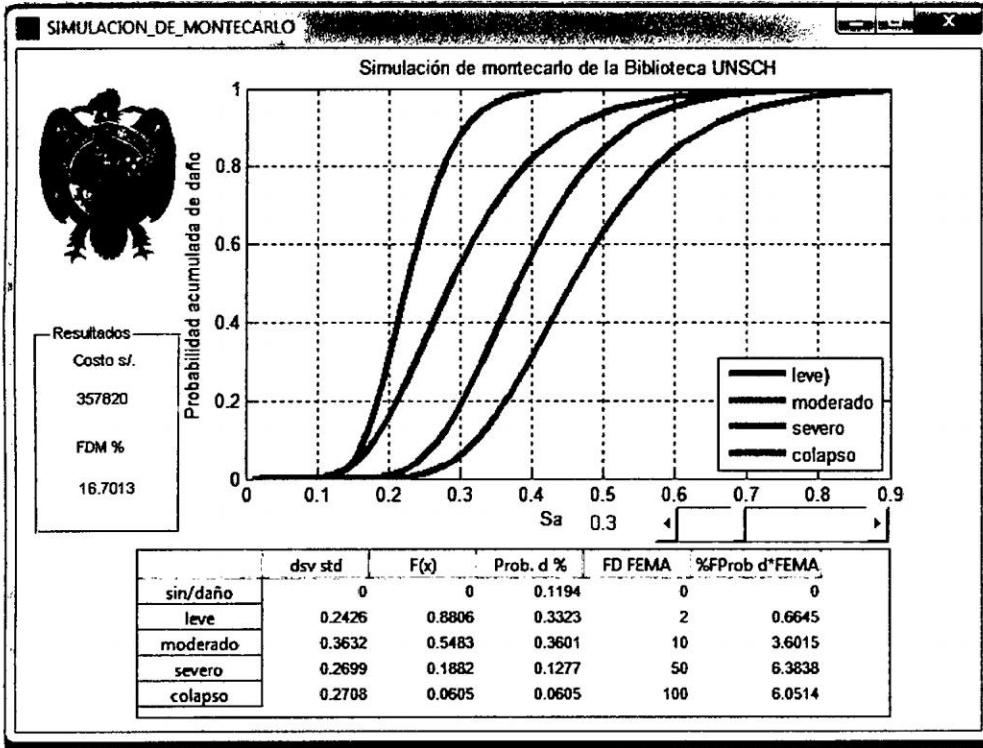


Figura C.2: Simulación de Montecarlo para n=1,500ptos

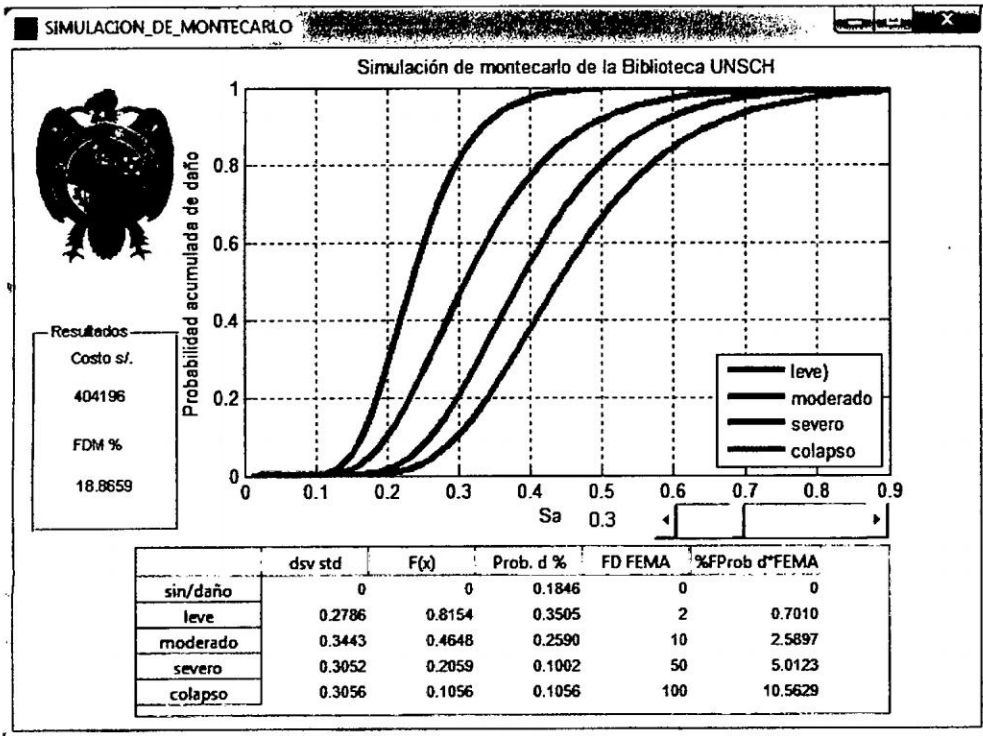


Figura C.3: Simulación de Montecarlo para n=2,000ptos

APÉNDICE C. SIMULACIÓN DE MONTECARLO.

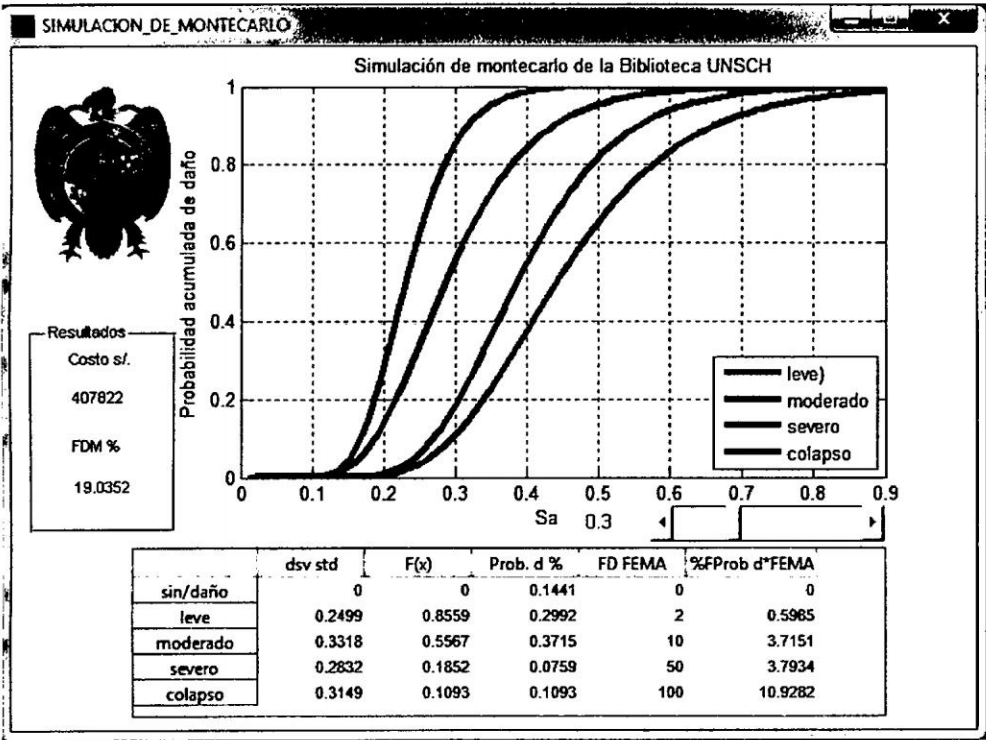


Figura C.4: Simulación de Montecarlo para n=5,000ptos

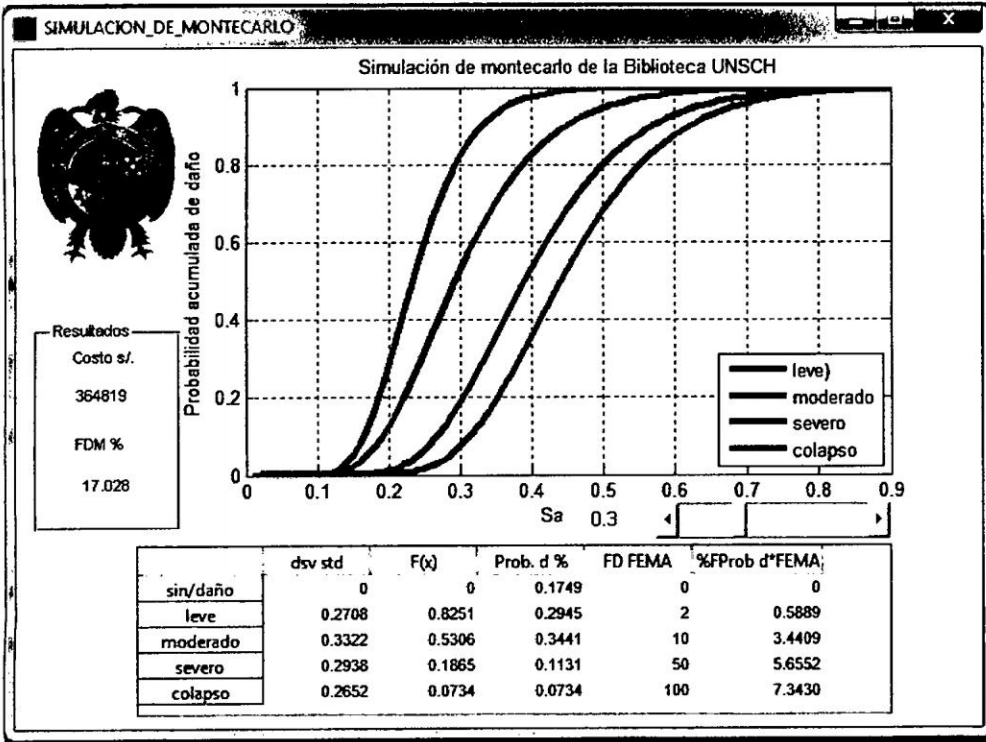


Figura C.5: Simulación de Montecarlo para n=7,500ptos

APÉNDICE C. SIMULACIÓN DE MONTECARLO.

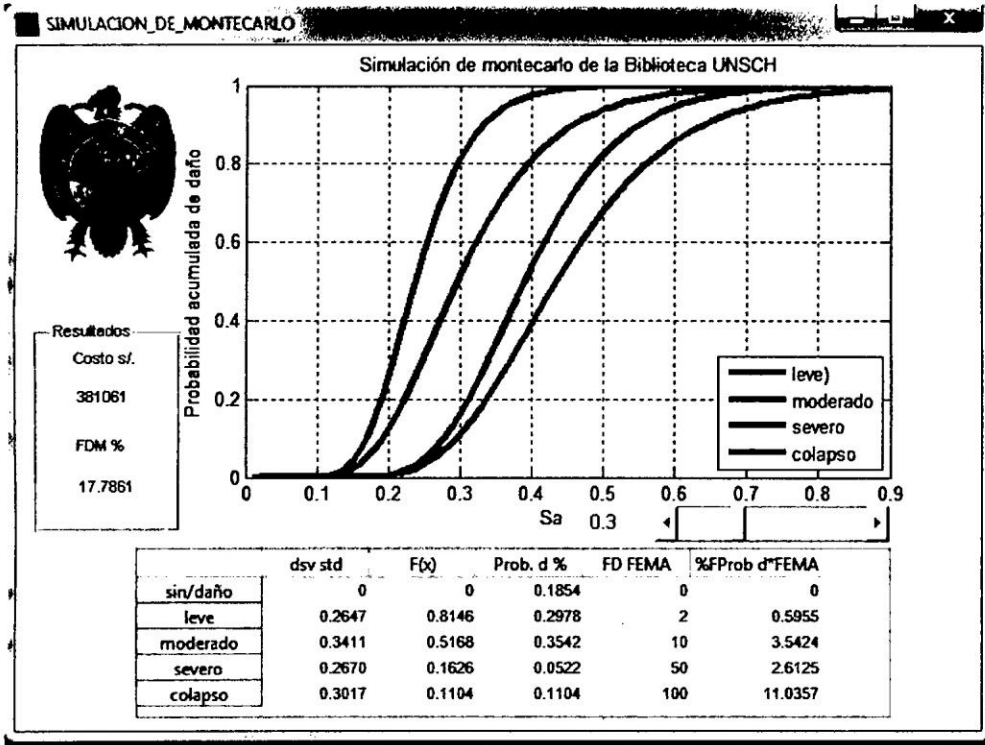


Figura C.6: Simulación de Montecarlo para n=10,000ptos

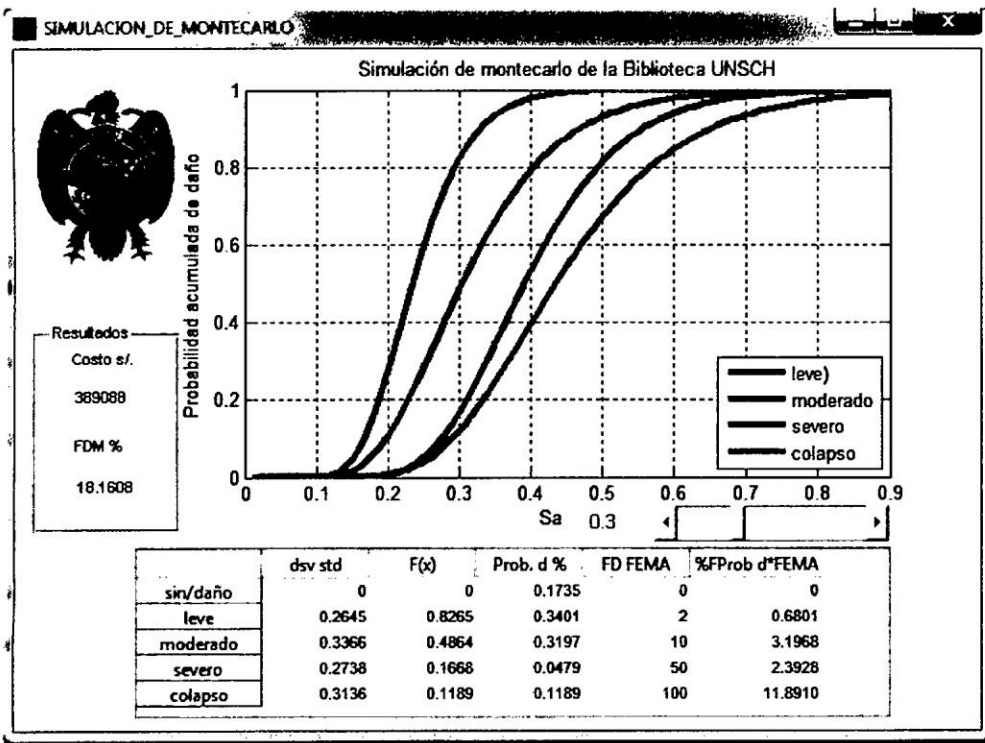


Figura C.7: Simulación de Montecarlo para n=12,500ptos

APÉNDICE C. SIMULACIÓN DE MONTECARLO.

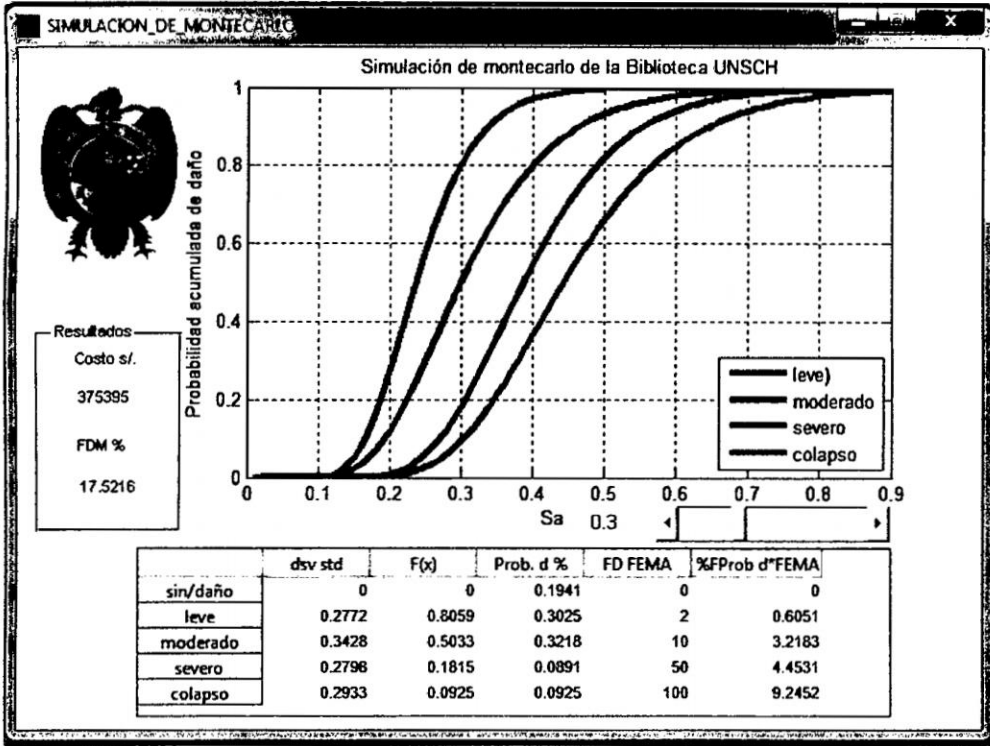


Figura C.8: Simulación de Montecarlo para n=15,000ptos

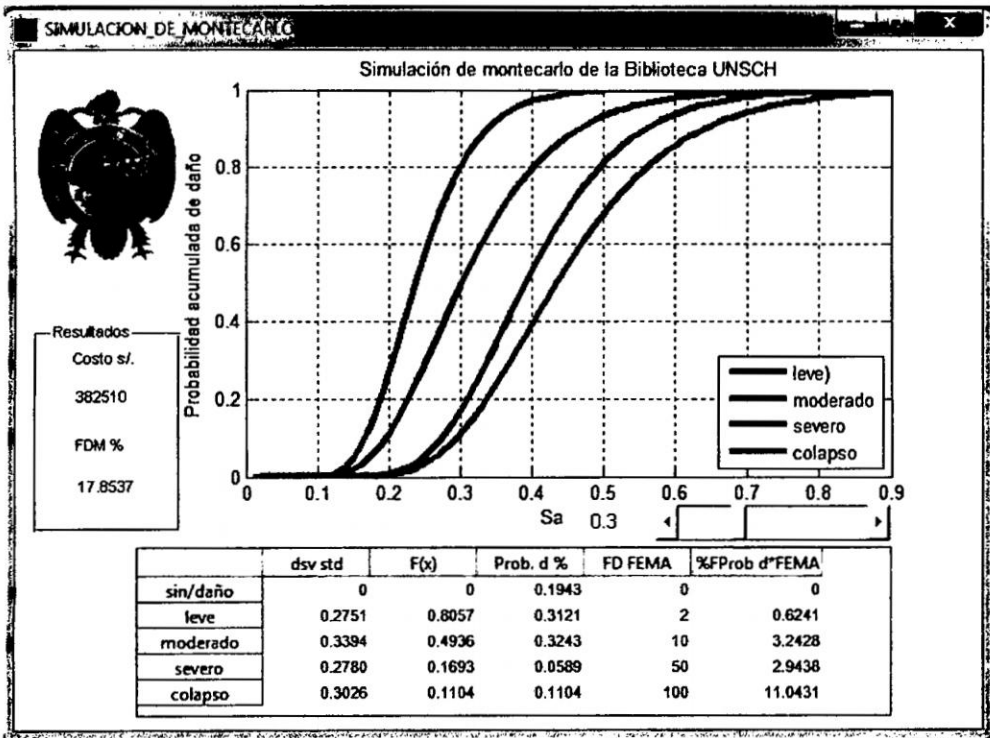


Figura C.9: Simulación de Montecarlo para n=25,000ptos

APÉNDICE C. SIMULACIÓN DE MONTECARLO.

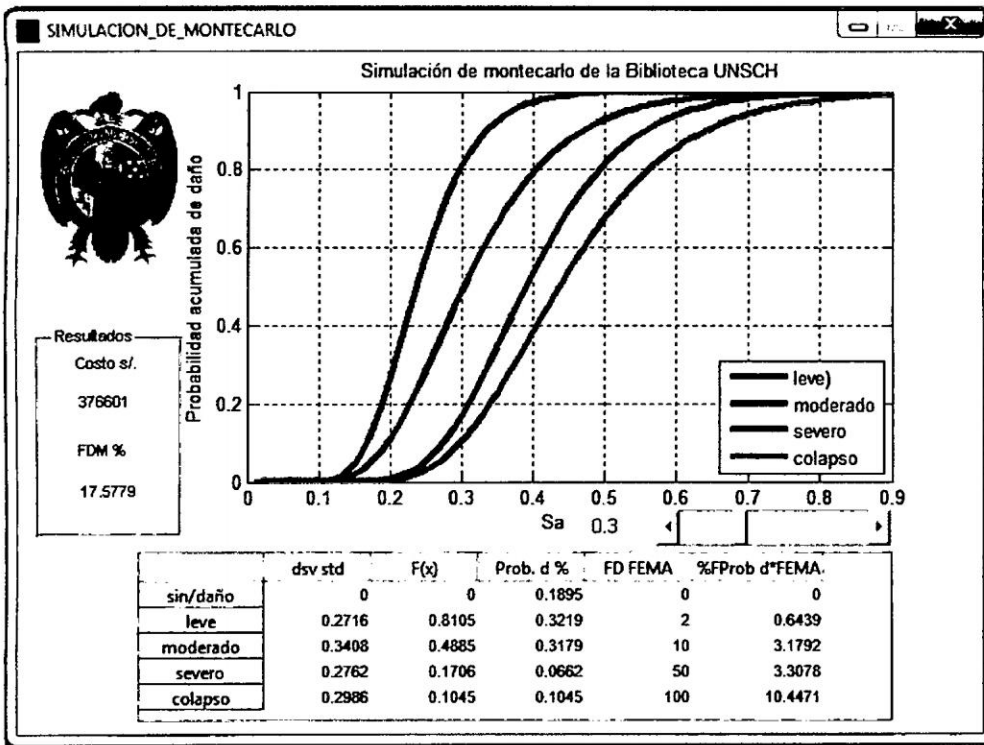


Figura C.10: Simulación de Montecarlo para n=50,000ptos

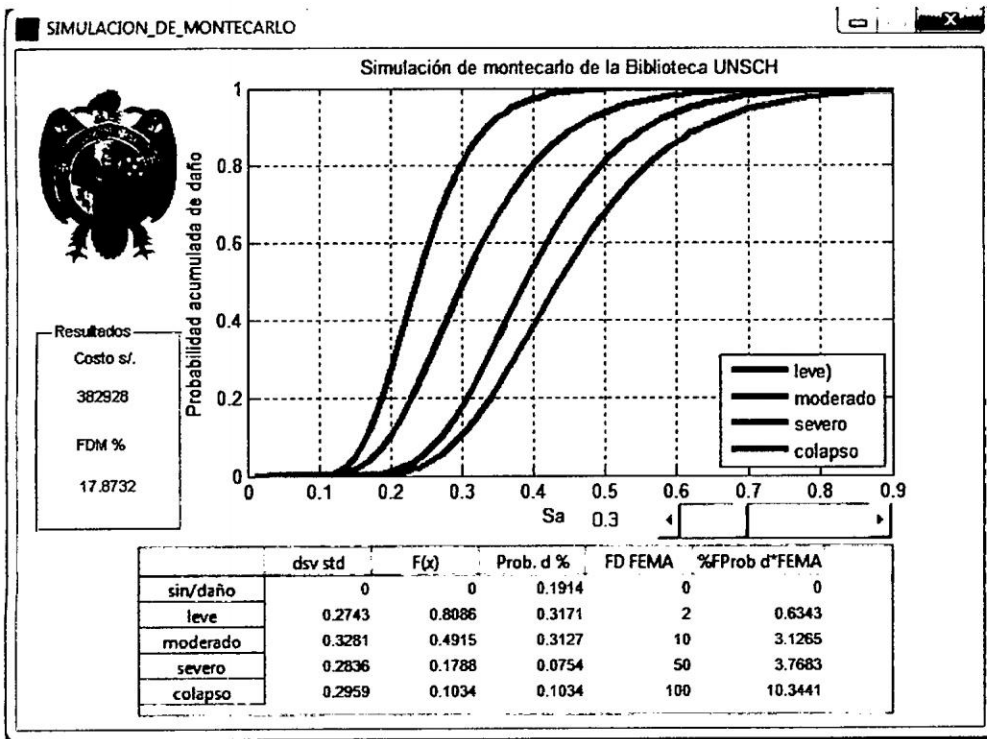


Figura C.11: Simulación de Montecarlo para n=100,000ptos

APÉNDICE C. SIMULACIÓN DE MONTECARLO.

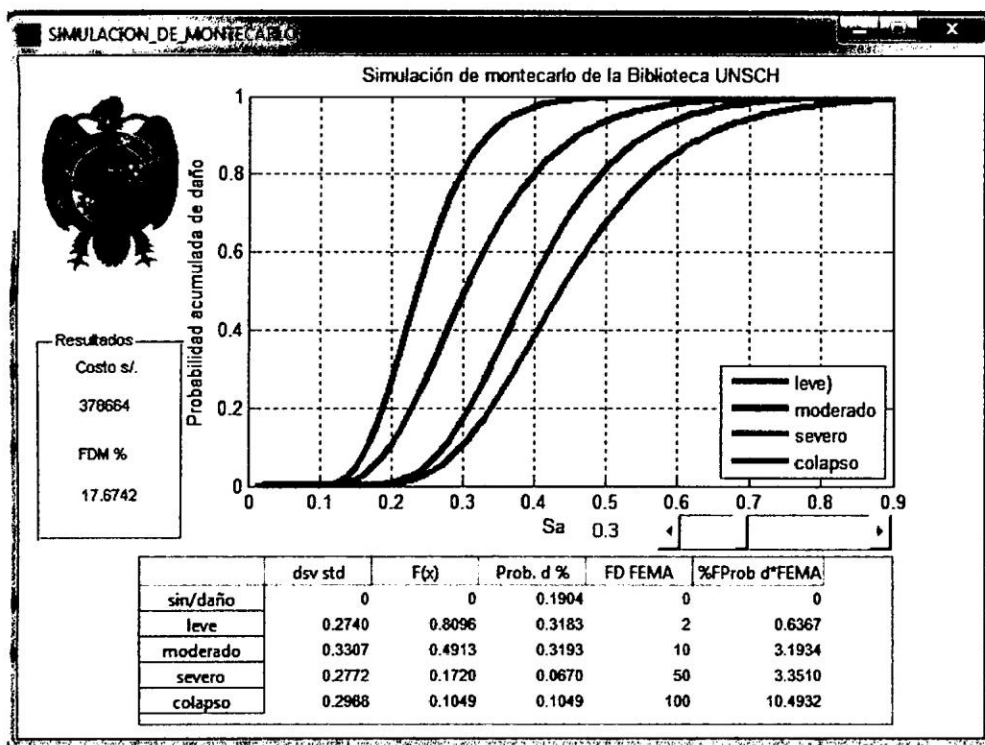


Figura C.12: Simulación de Montecarlo para n=200,000ptos

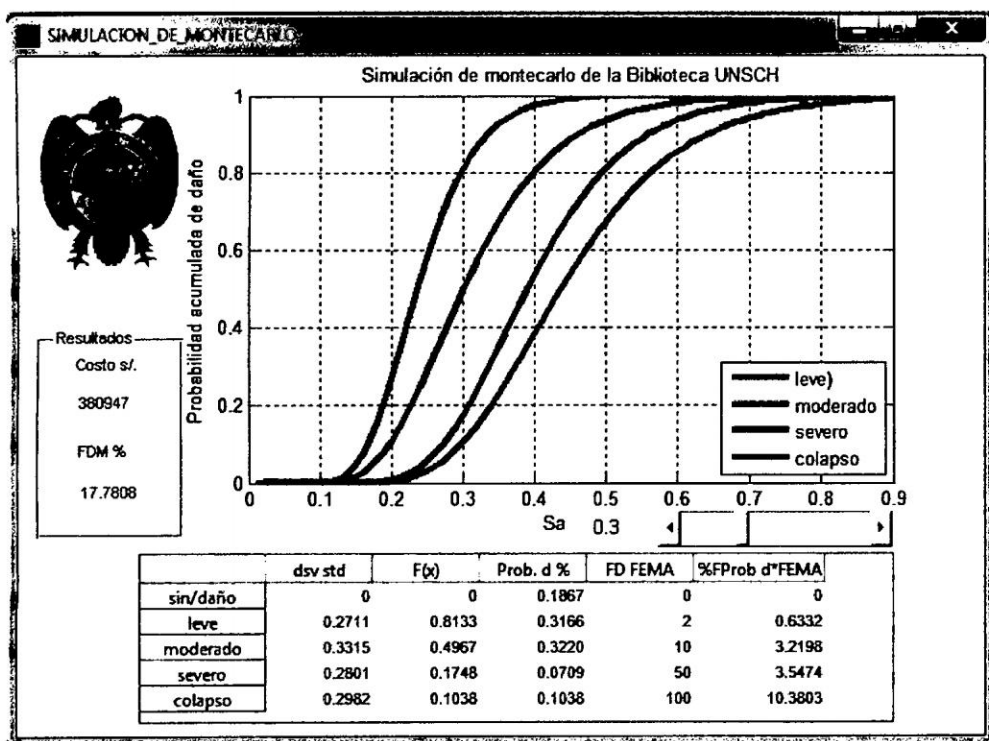


Figura C.13: Simulación de Montecarlo para n=500,000ptos

APÉNDICE C. SIMULACIÓN DE MONTECARLO.

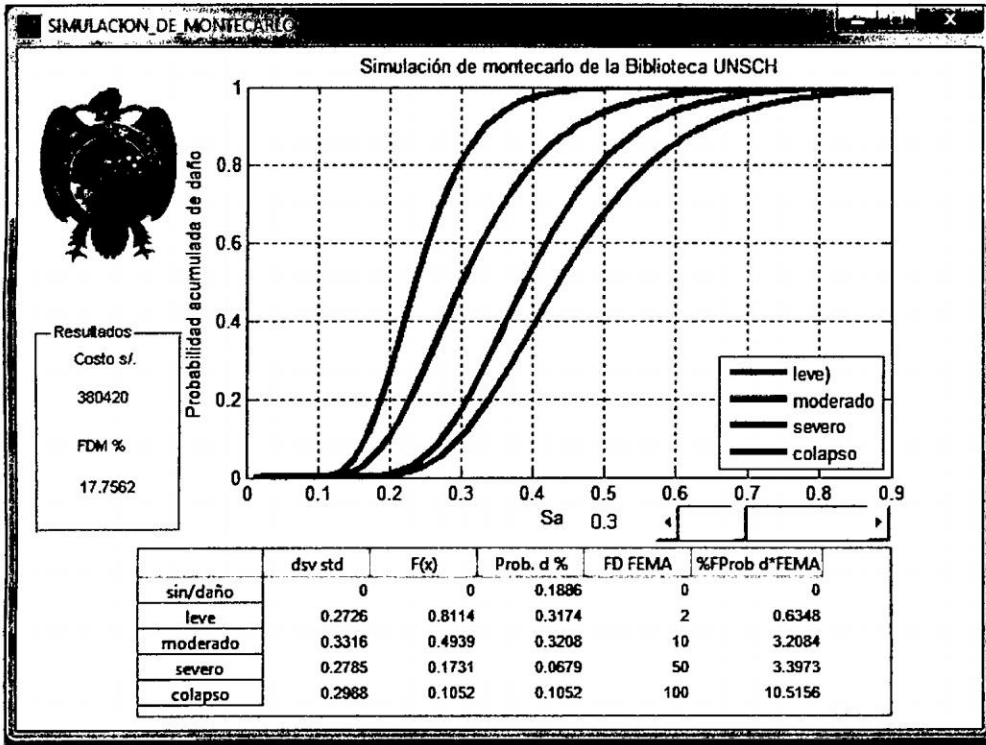


Figura C.14: Simulación de Montecarlo para  $n=750,000$ ptos

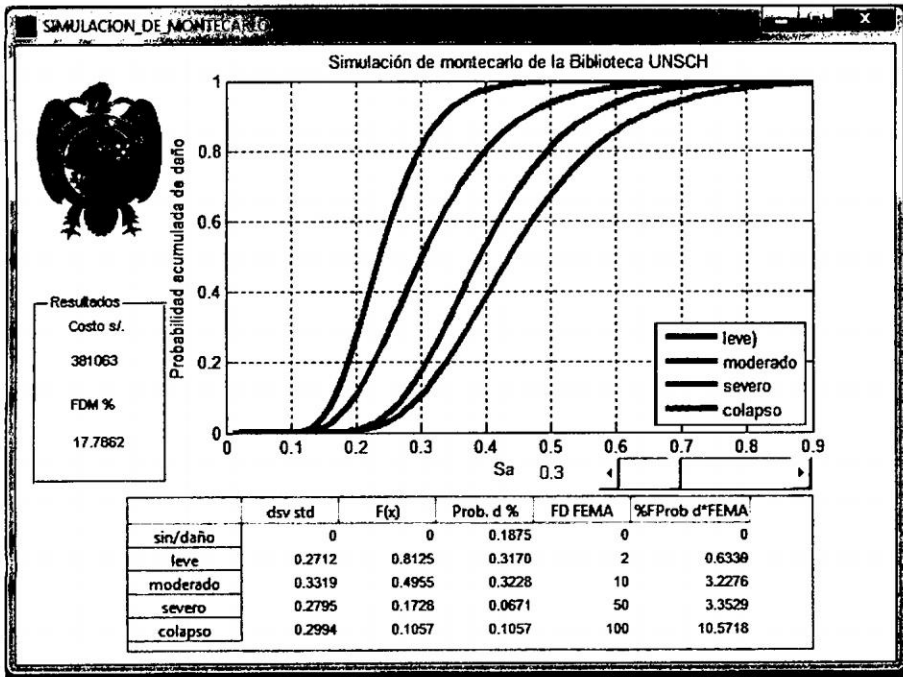


Figura C.15: Simulación de Montecarlo para  $n = 800,000$ ptos

APÉNDICE C. SIMULACIÓN DE MONTECARLO.

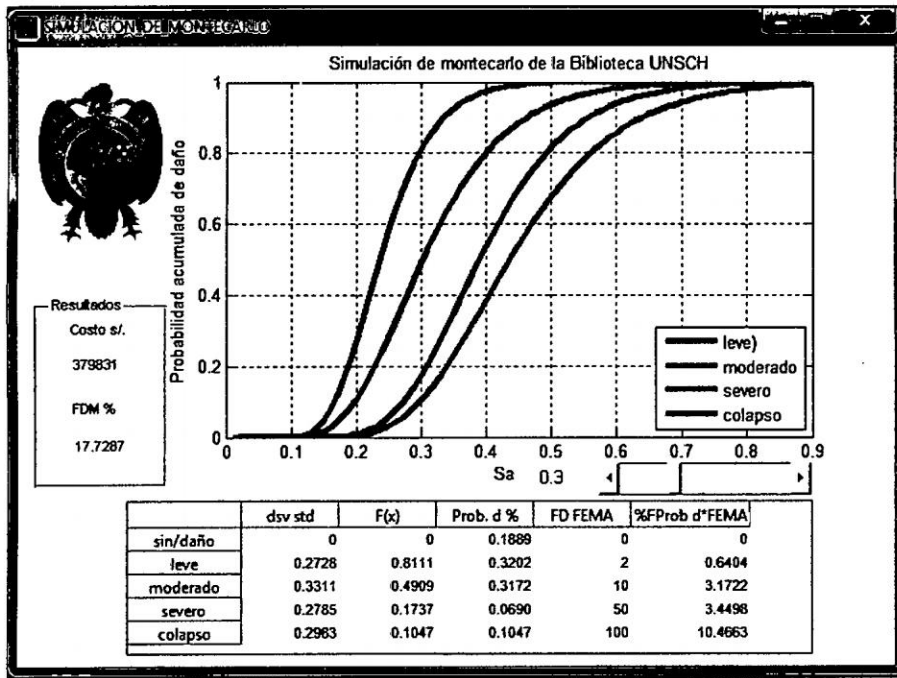


Figura C.16: Simulación de Montecarlo para  $n = 10^6$ ptos

# Apéndice D

## Análisis con disipador de energía.

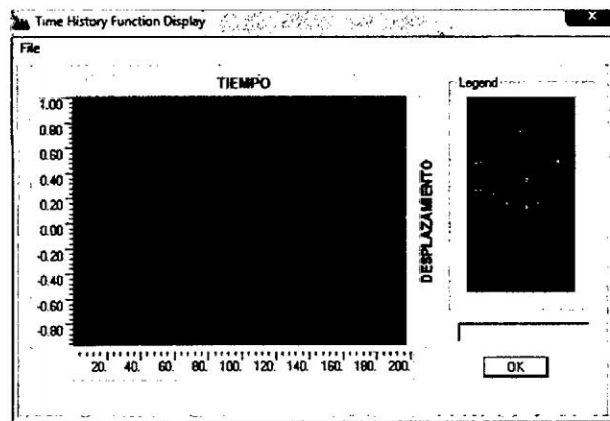


Figura D.1: Respuesta de desplazamiento para el pórtico 3, piso 3

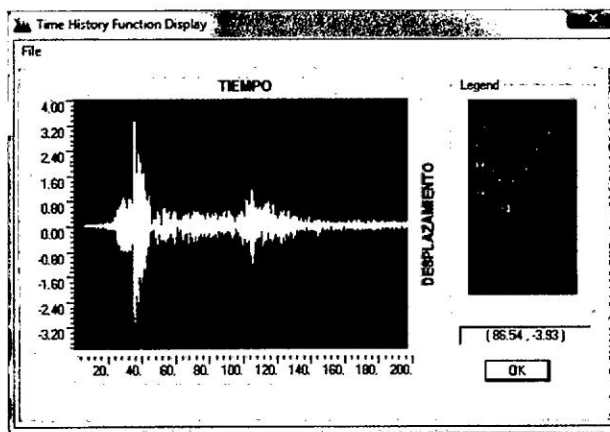


Figura D.2: Respuesta de desplazamiento para el pórtico 3, techo

APÉNDICE D. ANÁLISIS CON DISIPADOR DE ENERGÍA.

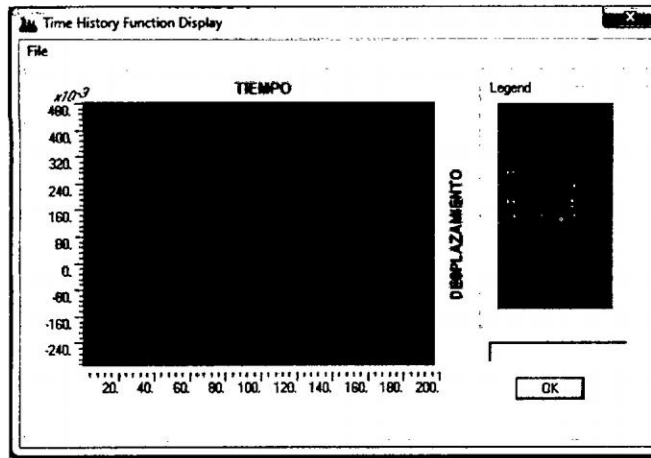


Figura D.3: Respuesta de desplazamiento para el pórtico 4, piso3

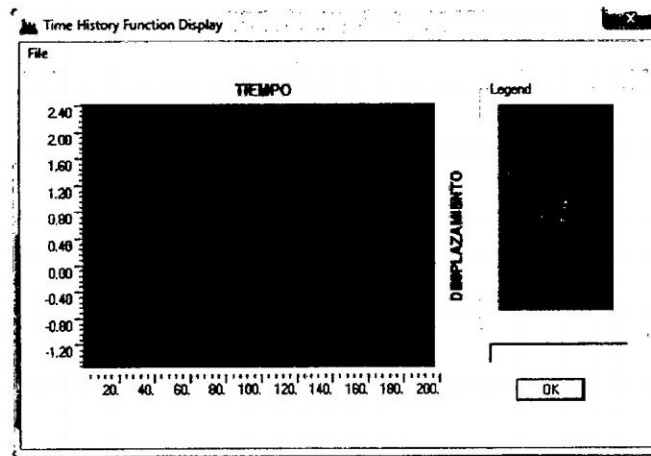


Figura D.4: Respuesta de desplazamiento para el pórtico 4, techo1

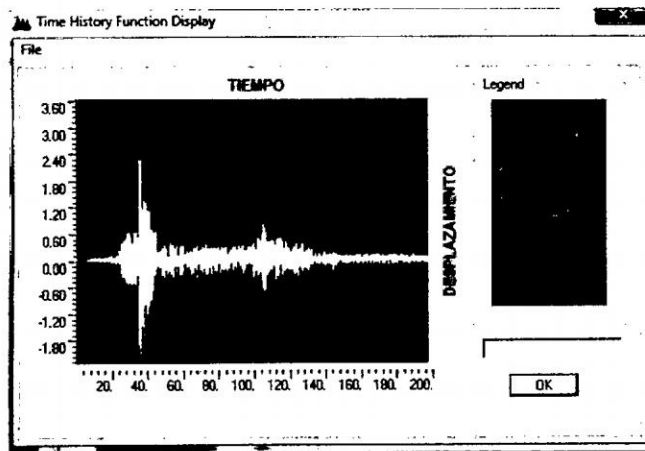


Figura D.5: Respuesta de desplazamiento para el pórtico 4, techo2

## Apéndice E

### Valores Unitarios y Depreciación.

Antigüedad (en años)	Material Estructural Predominante	ESTADO DE CONSERVACIÓN			
		Muy Bueno (%)	bueno (%)	Regular (%)	Malo (%)
Hasta 5 Años	Concreto	0	5	20	59
	Ladrillo	0	12	24	63
	Adobe	9	21	34	69
Hasta 10 Años	Concreto	3	10	22	61
	Ladrillo	5	16	28	68
	Adobe	14	26	39	74
Hasta 15 Años	Concreto	6	13	25	64
	Ladrillo	9	20	32	72
	Adobe	19	30	44	79
Hasta 20 Años	Concreto	9	16	27	67
	Ladrillo	13	24	36	77
	Adobe	24	35	49	84
Hasta 25 Años	Concreto	12	18	30	70
	Ladrillo	17	28	40	81
	Adobe	29	40	52	89
Hasta 30 Años	Concreto	15	20	32	72
	Ladrillo	21	32	44	83
	Adobe	34	45	59	*
Hasta 35 Años	Concreto	18	23	34	75
	Ladrillo	25	36	48	*
	Adobe	39	50	64	*
Hasta 40 Años	Concreto	21	26	37	77
	Ladrillo	29	40	52	*
	Adobe	44	54	69	*
Hasta 45 Años	Concreto	24	29	39	80
	Ladrillo	33	44	56	*
	Adobe	49	59	74	*
Hasta 50 Años	Concreto	27	32	42	*
	Ladrillo	37	48	60	*
	Adobe	54	64	79	*

Cuadro E.1: Depreciación por antigüedad y estado de conservación para edificaciones de uso Educativo, RNE 2012

APÉNDICE E. VALORES UNITARIOS Y DEPRECIACIÓN.

VALORES POR PARTIDAS EN NUEVOS SOLES POR METRO CUADRADO DE AREA TECHADA							
ESTRUCTURAS		ACABADOS				INSTALACIONES ELECTRICAS Y SANITARIAS (7)	
MUROS Y COLUMNAS (1)	TECHOS (2)	PISOS (3)	PUERTAS Y VENTANAS (4)	REVESTI- MIENTOS (5)	BAÑOS (6)		
A	ESTRUCTURAS LAMINA- RES CURVADAS DE CONCRETO ARMADO QUE INCLUYEN EN UNA SOLA ARMADURA LA CIMENTACIÓN Y EL TECHO, PARA ESTE CASO NO SE CONSIDERA LOS VALORES DE LA COLUMNA N°2	LOSA O ALIGERADO DE CONCRETO ARMADO CON LUCES MAYORES DE 6 M. CON SOBRE- CARGA MAYOR A 300 KG/M2	MÁRMOL IMPORTADO, PIEDRAS NATURALES IMPORTADAS, PORCELANATO.	ALUMINIO PESADO CON PERFILES ESPECIALES MADERA FINA ORNA- MENTAL (CAOBA, CEDRO O PINO SELECTO) VIDRIO INSULADO. (1)	MÁRMOL IMPORTADO, MADERA FINA (CAOBA O SIMILAR) BALDOSA ACÚSTICO EN TECHO O SIMILAR.	BAÑOS COMPLETOS (7) DE LUJO IMPORTADO CON ENCHAPE FINO (MÁRMOL O SIMILAR)	AIRE ACONDICIONADO, ILUMINACIÓN ESPECIAL, VENTILACIÓN FORZADA, SIST. HIDRONEUMÁTICO, AGUA CALIENTE Y FRÍA, INTERCOMUNICADOR, ALARMAS, ASCENSOR, SISTEMA BOMBEO DE AGUA Y DESAGUE (5) TELÉFONO.
	468.40	243.56	172.82	184.87	233.28	82.74	294.83
B	COLUMNAS, VIGAS Y/O PLACAS DE CONCRETO ARMADO Y/O METÁLICAS.	ALIGERADOS O LOSAS DE CONCRETO ARMADO INCLINADAS	MÁRMOL NACIONAL O RECONSTITUIDO, PARQUET FINO (OLIVO, CHONTA O SIMILAR), CERÁMICA IMPORTADA MADERA FINA	ALUMINIO O MADERA FINA (CAOBA O SIMILAR) DE DISEÑO ESPECIAL, VIDRIO TRATA- DO POLARIZADO (2) Y CURVADO, LAMINADO O TEMPLADO	MÁRMOL NACIONAL, MADERA FINA (CAOBA O SIMILAR) ENCHAPES EN TECHOS.	BAÑOS COMPLETOS (7) IMPORTADOS CON MAYÓLICA O CERÁMICO DECORATIVO IMPORTADO.	SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA POTABLE, ASCENSOR TELÉFONO, AGUA CALIENTE Y FRÍA.
	278.67	167.45	144.10	163.78	186.54	59.17	173.41
C	PLACAS DE CONCRETO E- 10 A 15 CM LADRILLERÍA ARMADA, LADRILLO O SIMILAR CON COLUMNAS Y VIGAS DE AMARRE DE CONCRETO ARMADO	ALIGERADO O LOSAS DE CONCRETO ARMADO HORIZONTALES.	MADERA FINA MACHIHEMBADA TERRAZO.	ALUMINIO O MADERA FINA (CAOBA O SIMILAR) VIDRIO TRATADO POLARIZADO. (2) LAMINADO O TEMPLADO	SUPERFICIE CARAVISTA OBTENIDA MEDIANTE ENCOFRADO ESPECIAL. ENCHAPE EN TECHOS.	BAÑOS COMPLETOS (7) NACIONALES CON MAYÓLICA O CERÁMICO NACIONAL DE COLOR.	IGUAL AL PUNTO "B" SIN ASCENSOR.
	202.53	117.36	93.41	119.57	154.47	38.66	129.26
D	LADRILLO, SILLAR O SIMILAR, SIN ELEMENTOS DE CONCRETO ARMADO, DRYWALL O SIMILAR IN- CLUYE TECHO (6)	CALAMINA METÁLICA FIBROCEMENTO SOBRE VIGUERÍA METÁLICA.	PARQUET DE 1era., LAJAS, CERÁMICA NACIONAL, LOSETA VENECIANA 40x40, PISO LAMINADO.	VENTANAS DE ALUMINIO PUERTAS DE MADERA SELECTA, VIDRIO TRATADO TRANSPARENTE (3)	ENCHAPE DE MADERA O LAMINADOS, PIEDRA O MATERIAL VITRIFICADO.	BAÑOS COMPLETOS (7) NACIONALES BLANCOS CON MAYÓLICA BLANCA.	AGUA FRÍA, AGUA CALIENTE, CORRIENTE TRIFÁSICA, TELÉFONO.
	187.07	79.46	76.59	70.13	118.16	23.65	73.24
E	ADOBE, TAPIAL O QUINCHA	MADERA CON MATERIAL IMPERMEABILIZANTE.	PARQUET DE 2da. LOSETA VENECIANA 30x30 LAJAS DE CEMENTO CON CANTO RODADO.	VENTANAS DE FIERRO PUERTAS DE MADERA SELECTA (CAOBA O SIMILAR) VIDRIO SIMPLE TRANSPARENTE (4)	SUPERFICIE DE LADRILLO CARAVISTA.	BAÑOS CON MAYÓLICA BLANCA PARCIAL.	AGUA FRÍA, AGUA CALIENTE, CORRIENTE MONOFÁSICA, TELÉFONO.
	146.85	36.48	63.34	53.57	98.30	11.59	40.76
F	MADERA (ESTORAQUE, PUMAQUIRO, HUAYRURO, MACHINGA, CATAHUA, AMARILLA, COPAIBA, DIABLO FUERTE, TORNILLO O SIMILARES) DRYWALL O SIMILAR (SIN TECHO)	CALAMINA METÁLICA FIBROCEMENTO O TEJA SOBRE VIGUERÍA DE MADERA CORRIENTE.	LOSETA CORRIENTE, CANTO RODADO. ALFOMBRA	VENTANAS DE FIERRO O ALUMINIO INDUSTRIAL, PUERTAS CONTRAPLA- CADAS DE MADERA (CEDRO O SIMILAR), PUERTAS MATERIAL MDF o HDF. VIDRIO SIMPLE TRANSPARENTE (4)	TARRAJEO FROTACHADO Y/O YESO MOLDURADO, PINTURA LAVABLE.	BAÑOS BLANCOS SIN MAYÓLICA.	AGUA FRÍA, CORRIENTE MONOFÁSICA, TELÉFONO
	91.58	29.14	51.73	41.43	58.52	9.85	26.49
G	PIRCADO CON MEZCLA DE BARRO.	SIN TECHO	LOSETA VINÍLICA, CEMENTO BRUÑADO COLOREADO, TAPIZÓN.	MADERA CORRIENTE CON MARCOS EN PUERTAS Y VENTANAS DE PVC O MADERA CORRIENTE	ESTUCADO DE YESO Y/O BARRO, PINTURA AL TEMPLE O AGUA.	SANTARIOS BÁSICOS DE LOSA DE 2da. FIERRO FUNDIDO O GRANITO.	AGUA FRÍA, CORRIENTE MONOFÁSICA SIN EMPOTRAR.
	53.96	0.00	38.70	24.41	43.55	6.77	15.61

Cuadro E.2: Valores Unitarios oficiales de edificaciones 2014 para la sierra, RM N° 278-2013-Vivienda

**APÉNDICE E. VALORES UNITARIOS Y DEPRECIACIÓN.**

Valuación de la edificación según los cuadros de valores unificados de la edificación para la sierra.			
Descripción	valor s/.	area(m2)	Sub total
Estructuras	278.67	5085.15	S/. 1,417,078.75
techo aligerado/inclinadas	167.45	3658.15	S/. 612,557.22
techo aligerado inclinado	167.45	1427.00	S/. 238,951.15
pisos	63.34	3658.15	S/. 231,707.22
puerta y ventanas	41.43	3658.15	S/. 151,557.15
revestimientos	98.3	3657.46	S/. 359,528.51
baños	11.59	3658.15	S/. 42,397.96
inst. eléctricas y sanitarias	26.49	3658.15	S/. 96,904.39
Total			S/. 3,150,682.36

La depreciación (D) se determina tomando del valor similar nuevo (VSN) un porcentaje (P) por antigüedad y estado de conservación que varía de acuerdo al material de construcción predominante.

$$D = (P / 100) \times AT \times VUE$$

Según las recomendaciones de HAZUS-FEMA se realizó la valuación de la edificación teniendo como prioridad los elementos estructurales, que determinan el estado de daño, por lo que se calcula el valor actual de la edificación considerando a la Biblioteca como una edificación con un estado de conservación del tipo regular ya que recibe un mantenimiento esporádico, cuya estructura no tiene deterioro y si lo tienen, no la compromete y es subsanable;

El valor de la edificación (VE) se obtiene deduciendo la depreciación (D) del valor similar nuevo (VSN):

$$VE = VSN - D$$

$$VE = s/3' 150,682.36 - 0.32 * s/3' 150,682.36$$

$$VE = s/ 2' 142,464.00$$

El valor de la edificación se tomo para una depreciación de hasta 30 años ya que fue construido en el año de 1982, Hazus-Fema propone factores de daño para elementos estructurales por lo que el valor de tasación puede sufrir variaciones significativas.

Figura E.1: Valor actual de la edificación

# Apéndice F

## Matlab.

### Probabilidad de colapso:

```
level = [0.16 0.16 0.16 0.16 0.18 0.18 0.18 0.18 0.19 0.19 0.19 0.24
0.24 0.24 0.26 0.27 0.30 0.30 0.30 0.30 0.38];
num_collapse1 = 1:length(level);%numero de elementos
plot(level,(1:length(level))/length(level), 'ob', 'linewidth', 2)
xlabel('Sa (g)')
ylabel('P(collapse)')
legend('probabilidad de daño leve',4) %Pone una leyenda
grid on
```

### Curva de Fragilidad mediante la Simulación de Montecarlo:

```
function slider2_Callback(hObject, eventdata, handles)
global level moderado extensivo completo n
a=get(hObject,'value');%valor del comando slider en funcion del desplazamiento
n=1000000;
%%%%%%%%% analisis de datos aleatorios para daño moderado %%%%%%%%%%
aleatorio_a1=(sign(4/21-rand(1,n)));
cantidad_a1=find(aleatorio_a1>0);
a1=sum(aleatorio_a1(cantidad_a1)); %rpta
aleatorio_a2=(sign(4/21-rand(1,n)));
cantidad_a2=find(aleatorio_a2>0);
a2=sum(aleatorio_a2(cantidad_a2));%rpta
aleatorio_a3=(sign(3/21-rand(1,n)));
cantidad_a3=find(aleatorio_a3>0);
a3=sum(aleatorio_a3(cantidad_a3));%rpta
aleatorio_a4=(sign(3/21-rand(1,n)));
cantidad_a4=find(aleatorio_a4>0);
a4=sum(aleatorio_a4(cantidad_a4));%rpta
aleatorio_a5=(sign(1/21-rand(1,n)));
cantidad_a5=find(aleatorio_a5>0);
a5=sum(aleatorio_a5(cantidad_a5));%rpta
aleatorio_a6=(sign(1/21-rand(1,n)));
cantidad_a6=find(aleatorio_a6>0);
```

```

a6=sum(aleatorio_a6(cantidad_a6));%rpta
aleatorio_a7=(sign(4/21-rand(1,n)));
cantidad_a7=find(aleatorio_a7>0);
a7=sum(aleatorio_a7(cantidad_a7));%rpta
aleatorio_a8=(sign(1/21-rand(1,n)));
cantidad_a8=find(aleatorio_a8>0);
a8=sum(aleatorio_a8(cantidad_a8));%rpta
r=[a1 a2 a3 a4 a5 a6 a7 a8];
t=sum(r);
a_sismica1=[0.16 0.18 0.19 0.24 0.26 0.27 0.3 0.38];%aceleracion sismo daño leve
ag=[a1/(0.19*t)*0.16 a2/(0.19*t)*0.18 a3/(0.14*t)*0.19 a4/(t*0.14)*0.24
a5/(0.05*t)*0.26 a6/(0.05*t)*0.27 a7/(0.19*t)*0.30 a8/(0.05*t)*0.38];
medial = (mean(log(ag)));
desv_estandar1 = std(log(ag));
x_vals1 = 0.01:0.01:0.9;
p_collapse1=logncdf(x_vals1,medial,desv_estandar1);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% analisis aleatorio para sismo2 daño moderado %%%%%%%%%%%%%%
aleatorio_b1=(sign(0.02-rand(1,n))); cantidad_b1=find(aleatorio_b1>0);
b1=sum(aleatorio_b1(cantidad_b1)); %rpta
aleatorio_b2=(sign(0.02-rand(1,n))); cantidad_b2=find(aleatorio_b2>0);
b2=sum(aleatorio_b2(cantidad_b2)); %rpta
aleatorio_b3=(sign(0.08-rand(1,n))); cantidad_b3=find(aleatorio_b3>0);
b3=sum(aleatorio_b3(cantidad_b3)); %rpta
aleatorio_b4=(sign(0.08-rand(1,n))); cantidad_b4=find(aleatorio_b4>0);
b4=sum(aleatorio_b4(cantidad_b4)); %rpta
aleatorio_b5=(sign(0.04-rand(1,n))); cantidad_b5=find(aleatorio_b5>0);
b5=sum(aleatorio_b5(cantidad_b5)); %rpta
aleatorio_b6=(sign(0.06-rand(1,n))); cantidad_b6=find(aleatorio_b6>0);
b6=sum(aleatorio_b6(cantidad_b6)); %rpta
aleatorio_b7=(sign(0.06-rand(1,n))); cantidad_b7=find(aleatorio_b7>0);
b7=sum(aleatorio_b7(cantidad_b7)); %rpta
aleatorio_b8=(sign(0.08-rand(1,n))); cantidad_b8=find(aleatorio_b8>0);
b8=sum(aleatorio_b8(cantidad_b8)); %rpta
aleatorio_b9=(sign(0.08-rand(1,n))); cantidad_b9=find(aleatorio_b9>0);
b9=sum(aleatorio_b9(cantidad_b9)); %rpta
aleatorio_b10=(sign(0.02-rand(1,n))); cantidad_b10=find(aleatorio_b10>0);
b10=sum(aleatorio_b10(cantidad_b10)); %rpta
aleatorio_b11=(sign(0.08-rand(1,n))); cantidad_b11=find(aleatorio_b11>0);
b11=sum(aleatorio_b11(cantidad_b11)); %rpta
aleatorio_b12=(sign(0.08-rand(1,n))); cantidad_b12=find(aleatorio_b12>0);
b12=sum(aleatorio_b12(cantidad_b12)); %rpta
aleatorio_b13=(sign(0.04-rand(1,n))); cantidad_b13=find(aleatorio_b13>0);
b13=sum(aleatorio_b13(cantidad_b13)); %rpta
aleatorio_b14=(sign(0.08-rand(1,n))); cantidad_b14=find(aleatorio_b14>0);
b14=sum(aleatorio_b14(cantidad_b14)); %rpta
aleatorio_b15=(sign(0.08-rand(1,n))); cantidad_b15=find(aleatorio_b15>0);
b15=sum(aleatorio_b15(cantidad_b15)); %rpta
aleatorio_b16=(sign(0.08-rand(1,n))); cantidad_b16=find(aleatorio_b16>0);
b16=sum(aleatorio_b16(cantidad_b16)); %rpta
aleatorio_b17=(sign(0.02-rand(1,n))); cantidad_b17=find(aleatorio_b17>0);
b17=sum(aleatorio_b17(cantidad_b17)); %rpta

```

APÉNDICE F. MATLAB.

```

aleatorio_b18=(sign(0.04-rand(1,n))); cantidad_b18=find(aleatorio_b18>0);
b18=sum(aleatorio_b18(cantidad_b18)); %%rpta
aleatorio_b19=(sign(0.02-rand(1,n))); cantidad_b19=find(aleatorio_b19>0);
b19=sum(aleatorio_b19(cantidad_b19)); %%rpta
rm=[b1 b2 b3 b4 b5 b6 b7 b8 b9 b10 b11 b12 b13 b14 b15 b16 b17 b18 b19];
a_sismica2=[0.16 0.18 0.19 0.23 0.24 0.26 0.27 0.28 0.29 0.3 0.33 0.34
0.36 0.37
0.38 0.39 0.42 0.5 0.54];%aceleracion sismica daño moderado
tm=sum(r);
t1=rm/tm; %% %probabi de suceso
am=[b1/0.02*0.16 b2/0.02*0.18 b3/0.08*0.19 b4/0.08*0.23 b5/0.04*0.24 b6/0.06*0.26
b7/0.06*0.27 b8/0.08*0.28 b9/0.08*0.29 b10/0.02*0.30 b11/0.08*0.33 b12/0.08*0.34
b13/0.04*0.36 b14/0.08*0.37 b15/0.08*0.38 b16/0.08*0.39 b17/0.02*0.42 b18/0.04*0.50
b19/0.02*0.54]/tm;
media2 = (mean(log(am)));
desv_estandar2 = std(log(am));
x_vals2 = 0.01:0.01:0.9;
p_collapse2=logncdf(x_vals2,media2,desv_estandar2);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% analisis sismico aleatorio- daño extensivo %%%%%%%%%%
aleatorio_c1=(sign(1/43-rand(1,n)));
cantidad_c1=find(aleatorio_c1>0); c1=sum(aleatorio_c1(cantidad_c1));
aleatorio_c2=(sign(1/43-rand(1,n)));
cantidad_c2=find(aleatorio_c2>0); c2=sum(aleatorio_c2(cantidad_c2)); %%rpta
aleatorio_c3=(sign(1/43-rand(1,n))); cantidad_c3=find(aleatorio_c3>0);
c3=sum(aleatorio_c3(cantidad_c3)); %%rpta %continue hasta c22
aleatorio_c22=(sign(1/43-rand(1,n)));
cantidad_c22=find(aleatorio_c22>0);
c22=sum(aleatorio_c22(cantidad_c22)); %%rpta
re=[c1 c2 c3 c4 c5 c6 c7 c8 c9 c10 c11 c12 c13 c14 c15 c16 c17 c18 c19 c20 c21 c22];
a_sismica2=[0.19 0.23 0.26 0.27 0.28 0.29 0.31 0.34 0.35
0.36 0.37 0.38 0.39 0.41 0.42 0.48 0.5 0.52 0.54 0.55 0.70];
te=sum(re);
t3=re/te; %% %probabi de suceso
ae=[c1/0.02*0.19 c2/0.02*0.23 c3/0.02*0.26 c4/0.02*0.27 c5/0.02*0.28 c6/0.02*0.29
c7/0.09*0.31 c8/0.02*0.33 c9/0.02*0.34 c10/0.05*0.35 c11/0.05*0.36 c12/0.12*0.37
c13/0.02*0.38 c14/0.02*0.39 c15/0.07*0.41 c16/0.07*0.42 c17/0.07*0.48 c18/0.05*0.50
c19/0.09*0.52 c20/0.05*0.54 c21/0.05*0.55 c22/0.02*0.70]/te;
media3 = (mean(log(ae)));
desv_estandar3 = std(log(ae));
x_vals3 = 0.01:0.01:0.9;
p_collapse3=logncdf(x_vals3,media3,desv_estandar3);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% analisis sismico aleatorio- daño completo %%%%%%%%%%
aleatorio_d1=(sign(1/42-rand(1,n))); cantidad_d1=find(aleatorio_d1>0);
d1=sum(aleatorio_d1(cantidad_d1)); %%rpta
aleatorio_d2=(sign(1/42-rand(1,n))); cantidad_d2=find(aleatorio_d2>0);
d2=sum(aleatorio_d2(cantidad_d2)); %%rpta
aleatorio_d3=(sign(3/42-rand(1,n))); cantidad_d3=find(aleatorio_d3>0);
d3=sum(aleatorio_d3(cantidad_d3)); %%%%continua hasta d17
aleatorio_d17=(sign(4/42-rand(1,n))); cantidad_d17=find(aleatorio_d17>0);
d17=sum(aleatorio_d17(cantidad_d17)); %%rpta
rc=[d1 d2 d3 d4 d5 d6 d7 d8 d9 d10 d11 d12 d13 d14 d15 d16 d17];

```

```

a_sismica4=[0.19 0.31 0.35 0.36 0.37 0.41 0.42 0.44 0.47
0.48 0.5 0.52 0.53 0.54 0.55 0.56 0.70];
tc=sum(rc);
t4=rc/tc; %% %probabi de suceso
%ac1=[1/(42*d1) 1/(42*d2) 3/(42*d3) 1/(42*d4) 1/(42*d5) 2/(42*d6) 1/(42*d7)
5/(42*d8) 5/(42*d9) 2/(42*d10) 1/(42*d11) 1/(42*d12) 5/(42*d13) 1/(42*d14)
3/(42*d15) 5/(42*d16) 4/(42*d17)]*tc
ac=[0.19*1/(42*d1) 0.31*1/(42*d2) 0.35*3/(42*d3) 0.36*1/(42*d4)
0.37*1/(42*d5)
0.41*2/(42*d6) 0.42*1/(42*d7) 0.44*5/(42*d8) 0.47*5/(42*d9) 0.48*2/(42*d10)
0.5*1/(42*d11) 0.52*1/(42*d12) 0.53*5/(42*d13) 0.54*1/(42*d14)
0.55*3/(42*d15)
) 0.56*5/(42*d16) 0.70*4/(42*d17)]*tc;
media4 = (mean(log(ac)));
desv_estandar4 = std(log(ac));
x_vals4 = 0.01:0.01:0.9;
p_collapse4=logncdf(x_vals4,media4,desv_estandar4);
%%%%%%%%%GRAFICA MULTIPLE%%%%%%%%%
axes(handles.axes2);
hold off
plot(x_vals1, p_collapse1, x_vals2, p_collapse2,x_vals3, p_collapse3,x_vals4,
p_collapse4);
xlabel('Sa (g)')
ylabel('Probabilidad acumulada de daño')
title('Simulación de montecarlo de la Biblioteca UNSCH')
legend('leve', 'moderado', 'severo', 'colapso',4) %Pone una leyenda-1,0,1,2,3,4
grid on
%%%%%%%%%TABLAS%%%%%%%%%

set(handles.text7,'String',a);
p1=logncdf(a,media1,desv_estandar1); %funcion de distribucion log normal 1
p2=logncdf(a,media2,desv_estandar2); %funcion de distribucion log normal 2
p3=logncdf(a,media3,desv_estandar3); %funcion de distribucion log normal 3
p4=logncdf(a,media4,desv_estandar4); %funcion de distribucion log normal 4
dato_fdp=[0 0 1-p1 0 0; desv_estandar1 p1 p1-p2 2 2*(p1-p2);desv_estandar2 p2
p2-p3 10 10*(p2-p3);
desv_estandar3 p3 p3-p4 50 50*(p3-p4); desv_estandar4 p4 p4 100 100*(p4)];
set(handles.uitable2,'Data',dato_fdp);
fdm1=dato_fdp(1,5);
fdm2=dato_fdp(2,5);
fdm3=dato_fdp(3,5);
fdm4=dato_fdp(4,5);
fdm5=dato_fdp(5,5);
fdm_total=fdm1+fdm2+fdm3+fdm4+fdm5;
set(handles.text8,'String',fdm_total);
costo1=2142464.00*fdm_total/100;
set(handles.text9,'String',costo1);

```

# Apéndice G

## Propiedades del Material.

The image shows a software dialog box titled "Material Property Data". It is divided into several sections for defining material properties. The "Material Name" is set to "CONC210". The "Type of Material" is set to "Isotropic". The "Type of Design" is set to "Concrete". The "Analysis Property Data" section includes fields for Mass per unit Volume (244.8), Weight per unit Volume (2403), Modulus of Elasticity (2.174E+09), Poisson's Ratio (0.2), Coeff of Thermal Expansion (9.900E-06), and Shear Modulus (9.058E+08). The "Design Property Data (ACI 318-05/IBC 2003)" section includes fields for Specified Conc Comp Strength, f<sub>c</sub> (2100000), Bending Reinf. Yield Stress, f<sub>y</sub> (42000000), and Shear Reinf. Yield Stress, f<sub>ys</sub> (42184178). There is also a checkbox for "Lightweight Concrete" which is currently unchecked. The dialog box has "OK" and "Cancel" buttons at the bottom.

Property	Value
Material Name	CONC210
Type of Material	Isotropic
Type of Design	Concrete
Design	Concrete
Mass per unit Volume	244.8
Weight per unit Volume	2403.
Modulus of Elasticity	2.174E+09
Poisson's Ratio	0.2
Coeff of Thermal Expansion	9.900E-06
Shear Modulus	9.058E+08
Specified Conc Comp Strength, f <sub>c</sub>	2100000.
Bending Reinf. Yield Stress, f <sub>y</sub>	42000000.
Shear Reinf. Yield Stress, f <sub>ys</sub>	42184178.
Lightweight Concrete	<input type="checkbox"/>
Shear Strength Reduc. Factor	

Figura G.1: Propiedades del concreto

APÉNDICE G. PROPIEDADES DEL MATERIAL.

Material Property Data

Material Name	ALB	Display Color	
Type of Material	<input checked="" type="radio"/> Isotropic <input type="radio"/> Orthotropic	Type of Design	None
Analysis Property Data		Design Property Data	
Mass per unit Volume	180.		
Weight per unit Volume	1800.		
Modulus of Elasticity	17500000.		
Poisson's Ratio	0.2		
Coeff of Thermal Expansion	9.900E-06		
Shear Modulus	7291666.7		
OK		Cancel	

Figura G.2: Propiedades de la albañilería

Wall/Slab Section

Section Name	MALB25	Section Name	MALB15
Material	ALB	Material	ALB
Thickness		Thickness	
Membrane	0.25	Membrane	0.15
Bending	0.25	Bending	0.15
Type	<input checked="" type="radio"/> Shell <input type="radio"/> Membrane <input type="radio"/> Plate	Type	<input checked="" type="radio"/> Shell <input type="radio"/> Membrane <input type="radio"/> Plate
	<input type="checkbox"/> Thick Plate		<input type="checkbox"/> Thick Plate
Load Distribution	<input type="checkbox"/> Use Special One-Way Load Distribution	Load Distribution	<input type="checkbox"/> Use Special One-Way Load Distribution
Set Modifiers...	Display Color	Set Modifiers...	Display Color
OK	Cancel	OK	Cancel

Figura G.3: Propiedades del muro

## Apéndice H

### Panel Fotográfico.



Figura H.1: Vista principal de la Biblioteca

APÉNDICE H. PANEL FOTOGRÁFICO.



Figura H.2: Vista lateral izquierdo



Figura H.3: Vista Posterior de la Biblioteca(sur-este)



Figura H.4: Vista Posterior de la Biblioteca(sur-oeste)



Figura H.5: Vista interior de la distribución de vigas y columnas

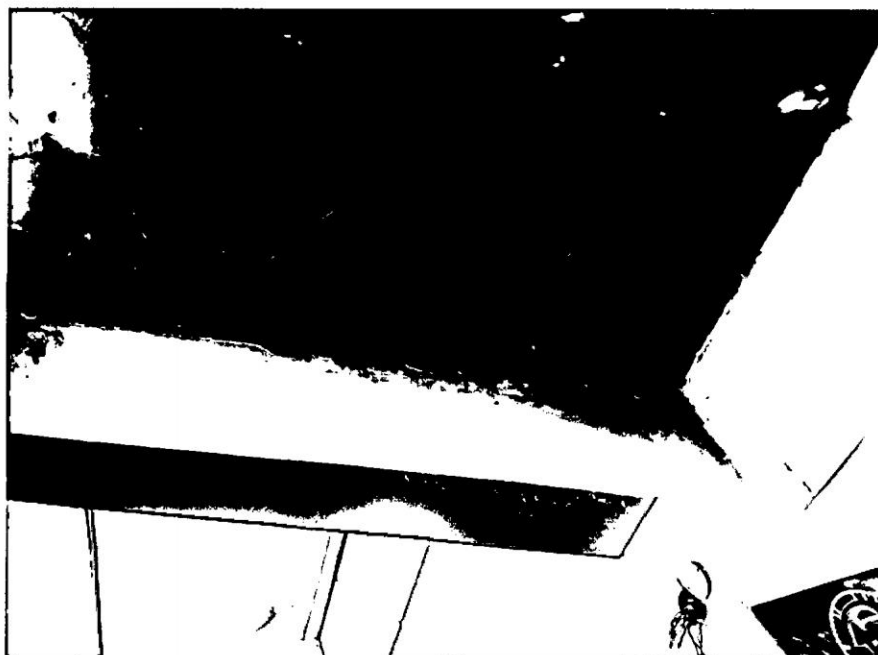


Figura H.6: Desprendimiento del revestimiento en los techos



Figura H.7: Fisuras en el encuentro de viga, columnas en el techo