



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TITULACIÓN DE INGENIERO CIVIL

Construcción de un mapa de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones esenciales del norte de la ciudad de Loja, comprendido entre las calles Imbabura y Jaime Roldós Aguilera en la Cdla. La Inmaculada; Av. Occidental de Paso y la Vía a Zamora.

TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

AUTOR: Córdova Álvarez, Magaly Cecibel

DIRECTOR: Ayala Mendoza, Adriana del Carmen, Ing.

LOJA

2013

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

Ingeniera

Adriana del Carmen Ayala Mendoza

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de fin de titulación, denominado: **“Construcción de un mapa de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones esenciales del norte de la ciudad de Loja, comprendido entre las calles Imbabura y Jaime Roldós Aguilera en la Cdla. La Inmaculada; Av. Occidental de Paso y la Vía a Zamora”** realizado por el profesional en formación: Córdova Álvarez Magaly Cecibel, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, noviembre de 2013

f).....

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, Córdova Álvarez Magaly Cecibel declaro ser autora del presente trabajo de fin de titulación: **“Construcción de un mapa de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones esenciales del norte de la ciudad de Loja, comprendido entre las calles Imbabura y Jaime Roldós Aguilera en la Cdla. La Inmaculada; Av. Occidental de Paso y la Vía a Zamora”** de la Titulación de Ingeniería Civil siendo Ayala Mendoza, Adriana del Carmen directora del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f:

Autor: Córdova Álvarez Magaly Cecibel

Cédula: 1104124308

DEDICATORIA

A Dios por el grandioso regalo de la vida, y por las oportunidades que me ha brindado a lo largo de ella, por su presencia a diario en cada acción que realizo y primordialmente por sostener mi mano en los momentos difíciles.

A mis padres, Franco Córdova y Nelly Álvarez, por ser el apoyo fundamental desde que mis ojos vieron la luz del día, por demostrarme que nunca estaré sola y ser el mejor ejemplo de amor, esfuerzo y dedicación.

A mis hermanos, Jhonel y Alexis, por ser una fuente de energía y de felicidad, por apoyarme y creer firmemente en mí.

A mis abuelitos Ernesto y Rubelia, Dolores (+) y Manuel, por mostrarme a lo largo de mi vida que los logros siempre son el premio a nuestro esfuerzo. A mi familia en general que ha marcado el rumbo para ser la persona que hoy soy.

A mi novio, Jefferson, por las muestras de su amor, por hacerme sonreír con su forma de ser, por confiar en mí y darme su apoyo en todo momento.

A mis amigos, quienes me han ayudado a crecer y han dejado un poquito de ellos en mí, especialmente a Adriana y Cristina.

A mis compañeros de la gloriosa Titulación de Ingeniería Civil por acompañarme en esta gran aventura universitaria.

Con mucho cariño y estima

Magaly Córdova

AGRADECIMIENTO

Al Departamento de Planificación Urbana del I. Municipio de Loja, a los encargados de la dirección de las instituciones públicas y privadas consideradas en la investigación, por su colaboración al desarrollo del proyecto.

A mi Directora de Tesis, Ingeniera Adriana Ayala, por toda la paciencia, esfuerzo y tiempo que ha dedicado a la realización de esta investigación, gracias por la confianza y por su excelente calidez humana, por todos los conocimientos impartidos muchas gracias.

Al Ing. Humberto Ramírez, quien desde sus grandes conocimientos y sobre todo de su experiencia me ha encaminado para la solución de los problemas que se plantearon durante la ejecución de la investigación; por impartir en mi desde su docencia el interés sobre la rama estructural, debido a su excelente manera de enseñar siendo más que un profesor un amigo.

A mi compañero de Gestión Productiva Luis Riofrío, por su colaboración para realizar los levantamientos y sobre por su buena voluntad para realizarlos.

A los docentes de la Titulación de Ingeniería Civil que en los últimos años han contribuido a mi formación profesional.

Magaly Córdova

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xii
RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
CAPÍTULO I	5
1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO.....	6
1.1 Alcance.....	6
1.2 Objetivos de la investigación	6
1.2.1 <i>Objetivo General.</i>	6
1.2.2 <i>Objetivos Específicos.</i>	6
1.3 Marco teórico.....	7
1.3.1 <i>Sismos.</i>	7
1.3.2 <i>Riesgo sísmico.</i>	7
1.3.3 <i>Vulnerabilidad sísmica.</i>	7
1.3.3.1 <i>Curvas de vulnerabilidad.</i>	7
1.3.3.2 <i>Mapa de vulnerabilidad sísmica.</i>	8
1.3.4 <i>Métodos para el análisis de vulnerabilidad</i>	8
1.3.4.1 <i>DBELA - Displacement Based Earthquake Loss Assessment.</i>	8
1.3.5 <i>Comportamiento sísmico.</i>	10
1.3.5.1 <i>Análisis estático</i>	10
1.3.5.2 <i>Análisis dinámico</i>	10
1.3.5.3 <i>Capacidad estructural.</i>	10
1.3.5.4 <i>Demanda sísmica.</i>	12
1.3.5.5 <i>Punto de desempeño.</i>	12
1.3.6 <i>Estados límites.</i>	12
1.4 Metodología.....	13
CAPÍTULO II	15
2. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN Y ELABORACIÓN DEL INVENTARIO DE EDIFICACIONES.....	16
2.1 Hospital Regional “Isidro Ayora”	17
2.2 Hospital del IESS “Manuel Ygnacio de los Monteros”.....	17
2.3 Hospital UTPL – SOLCA – Bloque 6.....	18

2.4	Colegio “Adolfo Valarezo”	18
2.5	Escuela “Alejandrino Velásquez”	19
2.6	Unidad Educativa “Calasanz”	20
2.7	Escuela “Ciudad de Loja”	21
2.8	Escuela “Prof. Julio Ordóñez”	21
2.9	Escuela “José Ingenieros”	22
2.10	I.S.T. “Daniel Álvarez Burneo”	22
2.11	Escuela “Filomena Mora de Carrión”	23
2.12	Brigada de Infantería N° 7 Loja.....	24
2.13	Estación de Bomberos “La Inmaculada”	25
2.14	UPC “Celi Román” – “La Paz”	25
CAPÍTULO III		26
3. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA Y MODELACIÓN DE ESTRUCTURAS.....		27
3.1	Clasificación de tipologías y análisis estadístico	27
3.1.1	<i>Categoría 1</i>	27
3.1.2	<i>Categoría 2</i>	30
3.1.3	<i>Categoría 3</i>	33
3.1.4	<i>Categoría 4</i>	36
3.2	Modelación de estructuras.....	39
3.2.1	<i>Consideraciones para el análisis estructural - Capacidad</i>	41
3.2.1.1	Geometría.....	41
3.2.1.2	Materiales	41
3.2.1.3	Análisis Estático	43
3.2.1.4	Análisis Pushover.....	43
3.2.1.5	Curva Bilineal – Categoría 1	45
3.2.1.6	Curva Bilineal – Categoría 2	46
3.2.1.7	Curva Bilineal – Categoría 3	47
3.2.1.8	Curva Bilineal – Categoría 4	48
3.2.1.9	Curva Bilineal Promedio – Categoría 1	49
3.2.1.10	Curva Bilineal Promedio – Categoría 2	49
3.2.1.11	Curva Bilineal Promedio – Categoría 3	50
3.2.1.12	Curva Bilineal Promedio – Categoría 4	50
3.2.2	<i>Consideraciones para el análisis estructural - Demanda</i>	51
3.2.2.1	Espectro elástico de diseño, para $z = 0.23$	51
3.2.2.2	Espectro elástico de diseño, para $z = 0.24$	52
3.2.2.3	Espectro elástico de diseño, para $z = 0.25$	53
3.2.2.4	Espectro elástico de diseño, para $z = 0.26$	54
3.2.3	<i>Punto de desempeño</i>	55
3.2.3.1	Puntos de desempeño – Categoría 1	55
3.2.3.2	Puntos de desempeño – Categoría 2	57
3.2.3.3	Puntos de desempeño – Categoría 3	59
3.2.3.4	Puntos de desempeño – Categoría 4	61

CAPÍTULO IV	64
4. GENERACIÓN DE CURVAS DE VULNERABILIDAD Y CONSTRUCCIÓN DEL MAPA DE VULNERABILIDAD SÍSMICA	65
4.1 Curvas de vulnerabilidad	65
4.2 Mapa de vulnerabilidad sísmica.....	68
4.2.1 <i>Mapa de vulnerabilidad sísmica a nivel de roca.</i>	68
4.2.2 <i>Mapa de vulnerabilidad sísmica a nivel de suelo</i>	69
CAPÍTULO V	70
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	71
BIBLIOGRAFÍA	74
ANEXOS	75
Anexo A – Memoria fotográfica	76
Anexo B – Puntos de referencia para facilitar la ubicación espacial en el mapa.....	82
Anexo C – Mapa de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones esenciales del norte de la ciudad de Loja a nivel de roca.....	83
Anexo D – Mapa de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones esenciales de la ciudad de Loja a nivel de roca.	84
Anexo E – Probabilidad de daño de las edificaciones esenciales del norte de la ciudad de Loja a nivel de roca.	85
Anexo F – Mapa de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones esenciales del norte de la ciudad de Loja a nivel de suelo.	86
Anexo G – Mapa de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones esenciales de la ciudad de Loja a nivel de suelo.....	87
Anexo H – Probabilidad de daño de las edificaciones esenciales del norte de la ciudad de Loja a nivel de suelo.....	88

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Flujograma de trabajo con la metodología DBELA.....	9
Figura 2. Procedimiento para determinar la curva Pushover de una edificación.	11
Figura 3. Representación Bilineal de la Curva de Capacidad.....	12
Figura 4. Sección de vigas, x - Distribución Normal	28
Figura 5. Sección de vigas, x - Distribución Normal	28
Figura 6. Sección de columnas, x - Distribución Normal	28
Figura 7. Sección de columnas, y - Distribución Normal	29
Figura 8. Longitud de vanos, x - Distribución Normal.....	29
Figura 9. Altura de entrepiso - Distribución Lognormal.....	29
Figura 10. Espesor de losa - Distribución Normal	30
Figura 11. Sección de vigas, x - Distribución Lognormal.....	31
Figura 12. Sección de vigas, y - Distribución Normal	31
Figura 13. Sección de columnas, x - Distribución Normal	31
Figura 14. Sección de columnas, y - Distribución Normal	32
Figura 15. Longitud de vanos, x - Distribución Normal.....	32
Figura 16. Altura de entrepiso - Distribución Lognormal.....	32
Figura 17. Espesor de losa - Distribución Normal	33
Figura 18. Sección de vigas, x - Distribución Lognormal.....	34
Figura 19. Sección de vigas, y - Distribución Normal	34
Figura 20. Sección de columnas, x - Distribución Normal	34
Figura 21. Sección de columnas, y - Distribución Normal	35
Figura 22. Longitud de vanos, x - Distribución Normal.....	35
Figura 23. Altura de entrepiso - Distribución Lognormal.....	35
Figura 24. Sección de vigas, x - Distribución Normal	36
Figura 25. Sección de vigas, y - Distribución Lognormal.....	37
Figura 26. Sección de columnas, x - Distribución Normal	37
Figura 27. Sección de columnas, y - Distribución Normal	37
Figura 28. Longitud de vanos, x - Distribución Normal.....	38
Figura 29. Altura de entrepiso - Distribución Normal.....	38
Figura 30. Espesor de losa - Distribución Normal	38
Figura 31. Mapa de actividad sísmica del Ecuador.	40
Figura 32. Diagrama Esfuerzo - Deformación Concrete01	42
Figura 33. Diagrama Esfuerzo - Deformación Steel01	43
Figura 34. Curvas Bilineales - Categoría 1.....	45
Figura 35. Curvas Bilineales - Categoría 2.....	46

Figura 36. Curvas Bilineales - Categoría 3.....	47
Figura 37. Curvas Bilineales - Categoría 4.....	48
Figura 38. Curva Bilineal Promedio - Categoría 1	49
Figura 39. Curva Bilineal Promedio - Categoría 2	49
Figura 40. Curva Bilineal Promedio - Categoría 3	50
Figura 41. Curva Bilineal Promedio - Categoría 4	50
Figura 42. Espectro elástico de diseño, $z=0.23$	51
Figura 43. Espectro elástico de diseño, $z = 0.23$ (Sa vs. Sd).	52
Figura 44. Espectro elástico de diseño, $z = 0.24$	52
Figura 45. Espectro elástico de diseño, $z = 0.24$ (Sa vs. Sd)	53
Figura 46. Espectro elástico de diseño, $z = 0.25$	53
Figura 47. Espectro elástico de diseño, $z = 0.25$ (Sa vs. Sd)	54
Figura 48. Espectro elástico de diseño, $z = 0.26$	54
Figura 49. Espectro elástico de diseño, $z = 0.26$ (Sa vs. Sd)	55
Figura 50. Punto de desempeño, $z = 0.23$ - Categoría 1.....	56
Figura 51. Punto de desempeño, $z = 0.24$ - Categoría 1.....	56
Figura 52. Punto de desempeño, $z = 0.25$ - Categoría 1.....	57
Figura 53. Punto de desempeño, $z = 0.26$ - Categoría 1.....	57
Figura 54. Punto de desempeño, $z = 0.23$ - Categoría 2.....	58
Figura 55. Punto de desempeño, $z = 0.24$ - Categoría 2.....	58
Figura 56. Punto de desempeño, $z = 0.25$ - Categoría 2.....	59
Figura 57. Punto de desempeño, $z = 0.26$ - Categoría 2.....	59
Figura 58. Punto de desempeño, $z = 0.23$, Categoría 3.....	60
Figura 59. Punto de desempeño, $z = 0.24$ - Categoría 3.....	60
Figura 60. Punto de desempeño, $z = 0.25$ - Categoría 3.....	61
Figura 61. Punto de desempeño, $z = 0.26$ - Categoría 3.....	61
Figura 62. Punto de desempeño, $z = 0.23$ - Categoría 4.....	62
Figura 63. Punto de desempeño, $z = 0.24$ - Categoría 4.....	62
Figura 64. Punto de desempeño, $z = 0.25$ - Categoría 4.....	63
Figura 65. Punto de desempeño, $z = 0.26$ - Categoría 4.....	63
Figura 66. Curva de vulnerabilidad - Categoría 1	67
Figura 67. Curva de vulnerabilidad - Categoría 3.....	67
Figura 68. Curva de vulnerabilidad - Categoría 2.....	68
Figura 69 . Hospital Regional “Isidro Ayora”.....	76
Figura 70. Colegio “Adolfo Valarezo”	76
Figura 71. Daño en los elementos estructurales de la Escuela “Alejandrino Velásquez” – Corrosión del acero - Desprendimiento del recubrimiento.....	77

Figura 72. Unidad Educativa “Calasanz” – Edificio Administrativo	77
Figura 73. Unidad Educativa “Calazans” – Edificio Aulas.....	78
Figura 74. Escuela “Ciudad de Loja”.....	78
Figura 75. Escuela “Julio Ordóñez”.....	79
Figura 76. Brigada de Infantería – Edificio Dormitorios 1	79
Figura 77. Brigada de Infantería – Edificio Dormitorios 2	80
Figura 78. Brigada de Infantería – Edificio Administrativo	80
Figura 79. Estación de Bomberos Loja – Norte.....	81
Figura 80. Modelo de Unidad de Policía Comunitaria – UPC.....	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características estructurales del Hospital Isidro Ayora.....	17
Tabla 2. Características estructurales del Hospital del IESS.....	17
Tabla 3. Características estructurales del Hospital UTPL - SOLCA	18
Tabla 4. Características estructurales del Colegio “Adolfo Valarezo”	19
Tabla 5. Características estructurales de la Escuela “Alejandrino Velásquez	19
Tabla 6. Características estructurales de la Unidad Educativa.....	20
Tabla 7. Características estructurales de la Unidad Educativa.....	20
Tabla 8. Características estructurales de la Escuela “Ciudad de Loja”.....	21
Tabla 9. Características estructurales de Escuela “Prof. Julio Ordóñez”	21
Tabla 10. Características estructurales de la Escuela “José Ingenieros”	22
Tabla 11. Características estructurales del I.S.T. “Daniel Álvarez Burneo” – Edificio Administrativo	22
Tabla 12. Características estructurales del I.S.T. “Daniel Álvarez Burneo” – Edificio de aulas.	23
Tabla 13. Características estructurales de la Escuela “Filomena	23
Tabla 14. Características estructurales de la Brigada de Infantería – Edificio dormitorios 1.	24
Tabla 15. Características estructurales de la Brigada de Infantería – Edificio dormitorios 2.	24
Tabla 16. Características estructurales del edificio UPC	25
Tabla 17. Resumen de datos - Categoría 1	30
Tabla 18. Resumen de datos - Categoría 2	33
Tabla 19. Resumen de datos - Categoría 3	36
Tabla 20. Resumen de datos - Categoría 4	39
Tabla 21. Registros de sismos seleccionados del PEER, 2013.	40
Tabla 22. Desplazamientos de los puntos de desempeño	65
Tabla 23. Desplazamientos máximos	65
Tabla 27. Probabilidad de daño para PRA.....	69
Tabla 28. Probabilidad de daño para PGA.....	69

RESUMEN

El presente proyecto tiene como finalidad la construcción de un mapa de vulnerabilidad sísmica de los edificios esenciales del norte de la ciudad de Loja, comprendido entre las calles Imbabura y Jaime Roldós Aguilera; la Av. Occidental de Paso y la Vía a Zamora, a través del planteamiento de una distribución de probabilidad de excedencia de los estados límites considerados para diferentes intensidades de magnitud sísmica.

Con las edificaciones esenciales se realiza una clasificación en base a sus características estructurales principales como: geometría, sistema de resistencia a cargas laterales, altura, año de construcción, entre otras, con el fin de establecer tipologías de edificios con características similares que son modelados conforme a la metodología establecida. Con ese propósito realiza una simulación de Montecarlo para generar edificios de configuraciones aleatorias que sigan una distribución de probabilidad previamente determinada, de ese modo se obtienen curvas de fragilidad para cada tipología.

Finalmente considerando la posición georeferenciada de las edificaciones seleccionadas y su correspondiente valor de vulnerabilidad, se generan varios mapas de vulnerabilidad sísmica para los valores más probables de aceleración pico del suelo.

PALABRAS CLAVES: Vulnerabilidad, edificios esenciales, tipologías.

ABSTRACT

This project aims to build a map of seismic vulnerability of essential buildings in north of Loja city, between Imbabura and Jaime Roldós Aguilera; Av. Occidental de Paso and Via Zamora streets, through planning a probability distribution of exceedance of limit states considered for different intensities of seismic magnitude.

With the essential buildings perform a classification based on major structural features such as geometry, system lateral load resistance, height, year of construction, among others, in order to establish typologies of buildings with similar characteristics that are modeled according to the established methodology. For this purpose makes a Montecarlo simulation to generate random configurations of buildings that follows a previously determined probability distribution, in this way fragility curves are obtained for each type.

Finally considering the georeferenced position of selected buildings and associated vulnerability value, is generated several seismic vulnerability maps for the most probable values of peak ground acceleration.

KEY WORDS: Vulnerability, essential buildings, typologies.

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto abarca un análisis de vulnerabilidad sísmica, tomando como ámbito de estudio las edificaciones esenciales del norte de la ciudad de Loja, con el fin de generar un mapa que represente la vulnerabilidad característica de los edificios de la zona considerada.

Un mapa de vulnerabilidad sísmica permite comprender la probabilidad de daño que poseen las edificaciones esenciales características del sitio con fines de: evaluación estructural de los edificios para establecer planes de reforzamiento, dar información a los establecimientos gubernamentales para intervenir sobre las estructuras que requieren reforzamiento urgente, capacitar a la comunidad y determinar planes de emergencia y de evacuación en caso de eventos sísmicos probables en el sitio.

En los últimos años han ocurrido sismos de gran intensidad en nuestro continente, tales como el ocurrido en Haití, el 12 de enero del 2010, con una magnitud de 7.0 en la escala de Richter; y el terremoto que se dio en Chile, el 27 de febrero del 2010, de una intensidad de 8.8 en la escala de Richter; dichos terremotos ocasionaron en cada país daños devastadores, que causaron pérdidas no solo económicas, sino que más importante produjeron numerosas pérdidas humanas debido a los graves daños que sufrieron las edificaciones de dichos países. (BBC Mundo, 2010)

Ecuador se encuentra ubicado en el Cinturón de Fuego del Pacífico, zona de alta sismicidad que se ha visto expuesta a la acción de los terremotos de mayor intensidad de la historia y en la que se han dado el 90% de los terremotos de todo el mundo. (Aguilar, 2004)

Ecuador no ha sido testigo de sismos de gran magnitud en los últimos años, pero se encuentra ubicado en una zona de alta sismicidad que ha sido escenario de sismos de diversa magnitud repartidos en todo el territorio ecuatoriano como el ocurrido en Esmeraldas en 1906 con una magnitud de 8.8 en la escala de Richter que actualmente ocupa el 7° lugar de los terremotos más fuertes del mundo desde la existencia de los sismógrafos, el de Ambato en 1949 con una magnitud de 6.8 en la escala de Richter que dejó a esta ciudad en escombros, o incluso el terremoto de 1970 en el sur de provincia de Loja con una intensidad VII en la escala de Mercalli, que dejó a varias cabeceras cantonales casi destruidas, debido a esto la coexistencia con la actividad sísmica tiene un lugar en la cultura de nuestro país.

La ciudad de Loja no queda exenta de la peligrosidad sísmica que conjuntamente con deficiencias como: la falta de control en la construcción, el natural proceso de expansión urbana, la construcción informal, el deficiente control sobre los diseños si es que existen, provocan que el grado de vulnerabilidad sea incierto.

Por lo tanto un estudio que establezca el comportamiento sísmico de las edificaciones es necesario, realizando un análisis de la capacidad de reacción a eventos de distinta intensidad sísmica, además se puede agregar que no existen una fuente de información de este tipo que contribuya a posteriores análisis encaminados a elaborar planes de reforzamiento para las estructuras que lo requieran y ayuden a generar conciencia de la importancia de tener edificios sismoresistentes que favorezcan la conservación de las vidas humanas y de ser posible la funcionalidad de las estructuras, reduciendo de esta forma pérdidas humanas, económicas y el impacto social frente a eventos telúricos.

Durante el proceso para la realización de este proyecto, el principal inconveniente es la falta de información sobre las características estructurales más importantes para modelar las estructuras primordialmente en las cantidades de acero de los elementos, la solución que se plantea es realizar los levantamientos estructurales y trabajar con las cuantías mínimas de acero según la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2011 (NEC, 2011).

Con la información recopilada se realiza el siguiente procedimiento:

- Se agrupa las estructuras en base a sus características, con el fin de establecer clases de edificios.
- Analizar la distribución de probabilidad que caracteriza a cada una de las clases consideradas.
- Para el análisis de cada clase se genera una población aleatoria de estructuras.
- Se calcula la capacidad estructural de cada edificación aleatoria y se compara con la demanda sísmica.
- Se construyen las curvas de vulnerabilidad que establecen la probabilidad de daño, utilizando la metodología DBELA - Displacement Based Earthquake Loss Assessment, estimación de pérdidas por sismos basados en desplazamientos, que se fundamenta en un procedimiento propuesto por Calvi, (CALVI, 1999)

CAPÍTULO I

1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

1.1 Alcance

El proyecto de investigación pretende realizar un análisis de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones esenciales del norte de la ciudad de Loja construidas con hormigón armado, considerando como esenciales aquellas que deben permanecer funcionales luego de un evento telúrico, tales como: hospitales, clínicas, centros de salud, instituciones militares, de policía, entre otros. Además se ha incluido las edificaciones especiales, escuelas y colegios, debido a la gran cantidad de personas que permanecen en ellas durante un día, otra razón muy importante por lo que se consideran en esta investigación es que en la zona de estudio a lo largo de la historia se las utiliza como albergue luego de eventos sísmicos de gran magnitud que ocasionaron daños graves en las viviendas.

Cabe destacar que dentro de la investigación se excluyen aquellas edificaciones esenciales que presentan una irregularidad significativa en planta y en elevación, debido a que este proyecto se enfoca en estructurales regulares que se someten a un análisis Pushover, sabiendo que este método considera que el primer modo es el fundamental del edificio, por lo tanto para las que son irregulares no es conveniente realizar este tipo de análisis. Sin embargo se marca un camino para futuras investigaciones.

Con los resultados del análisis de vulnerabilidad sísmica se genera un mapa que represente la ubicación de las estructuras y su valor correspondiente de vulnerabilidad, combinado con el grado de intensidad sísmica característico del sitio de emplazamiento de cada una de las estructuras.

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo General.

- Elaborar un mapa de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones esenciales del norte de la ciudad de Loja.

1.2.2 Objetivos Específicos.

- Identificar las principales características estructurales de las edificaciones esenciales.
- Clasificar los edificios de acuerdo a la taxonomía del GEM (Global Earthquake Methodology).
- Simular aleatoriamente edificaciones dentro de cada clase considerada.
- Determinar las curvas de vulnerabilidad sísmica por cada clase de edificios.

- Analizar los resultados e identificar las zonas que presenten mayor vulnerabilidad en la ciudad de Loja.

1.3 Marco teórico

1.3.1 Sismos.

Son un fenómeno provocado por el movimiento de las placas tectónicas cuando estas acumulan energía. La energía es liberada desplazándose a través de la tierra en formas de ondas. Dependiendo de los daños que ocasiona se los conoce comúnmente como sismo o temblores a aquellos que no generan daños significativos, y como terremotos a los que causan graves daños que conllevan a pérdidas humanas y económicas. (Russell, 2010)

1.3.2 Riesgo sísmico.

Se define como las pérdidas esperadas que sufren las estructuras durante el lapso de tiempo que permanecen expuestas a la acción sísmica; dicho lapso de tiempo se denomina período de exposición o período de vida útil de las estructuras. (Barbat, 1998)

El riesgo se evalúa a partir de la peligrosidad correspondiente a un determinado proceso (causa) y de los efectos del mismo sobre los elementos expuestos al peligro. Estos efectos sobre los elementos expuestos pueden ser expresados por diferentes parámetros: vulnerabilidad, pérdidas, exposición, etc, por lo tanto si cualquiera de los factores es nulo, el riesgo será nulo; así en una zona de peligrosidad muy elevada, el riesgo será cero si no existen elementos expuestos, o si la vulnerabilidad de los mismos es nula.

1.3.3 Vulnerabilidad sísmica.

Es el grado de daños o pérdidas potenciales en un elemento o conjunto de elementos como consecuencia de la ocurrencia de un evento sísmico. La vulnerabilidad se refiere a una estructura, un grupo de estructuras o de una zona urbana, también se define como su predisposición intrínseca a sufrir daños ante la ocurrencia de un movimiento sísmico de una severidad determinada. (Barbat, 1998). Es decir que la vulnerabilidad es un aspecto que contribuye a determinar el riesgo sísmico.

1.3.3.1 Curvas de vulnerabilidad.

Conocidas también como curvas de fragilidad, son curvas que permiten representar la probabilidad de excedencia de un estado límite de daño (estado de daño) como una función de un parámetro representativo de la severidad del movimiento sísmico (aceleración, intensidad, etc.) o de la respuesta estructural (deriva, desplazamiento, etc.) Conducen a relaciones explícitas que nos permiten evaluar de manera directa los daños esperados para los diferentes niveles de acción sísmica.

1.3.3.2 Mapa de vulnerabilidad sísmica.

Zonificación espacial de los elementos o zonas de diferente grado de vulnerabilidad. De acuerdo a la ubicación de cada edificación se le asignará su valor de vulnerabilidad y en función del grado de intensidad sísmica se generarán mapas que representen la vulnerabilidad de cada zona geográfica en función de la ubicación de los edificios analizados.

1.3.4 Métodos para el análisis de vulnerabilidad

Para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica existen varios métodos como: el método de MSA (Multiple Stripe Analysis), Índice de vulnerabilidad, NLTHA (No Lineal Time History Analysis), DBELA (Displacement Based Earhtquake Loss Assessment), SP - BELA entre otros; esta investigación se realiza utilizando el método DBELA.

1.3.4.1 DBELA - *Displacement Based Earhtquake Loss Assessment.*

Estimación de pérdidas por sismos basados en desplazamientos, esta metodología plantea la generación aleatoria de un lote de edificios, siguiendo la información de acuerdo a sus características geométricas y estructurales. Ya que esta metodología utiliza los principios del diseño por el método directo basado en desplazamientos, lo que hace realmente es calcular la capacidad estructural del edificio y se compara con la demanda sísmica, lo que deriva en probabilidades de daño para cada estado límite (curvas de vulnerabilidad).

El procedimiento para trabajar con esta metodología se detalla en la Figura 1:

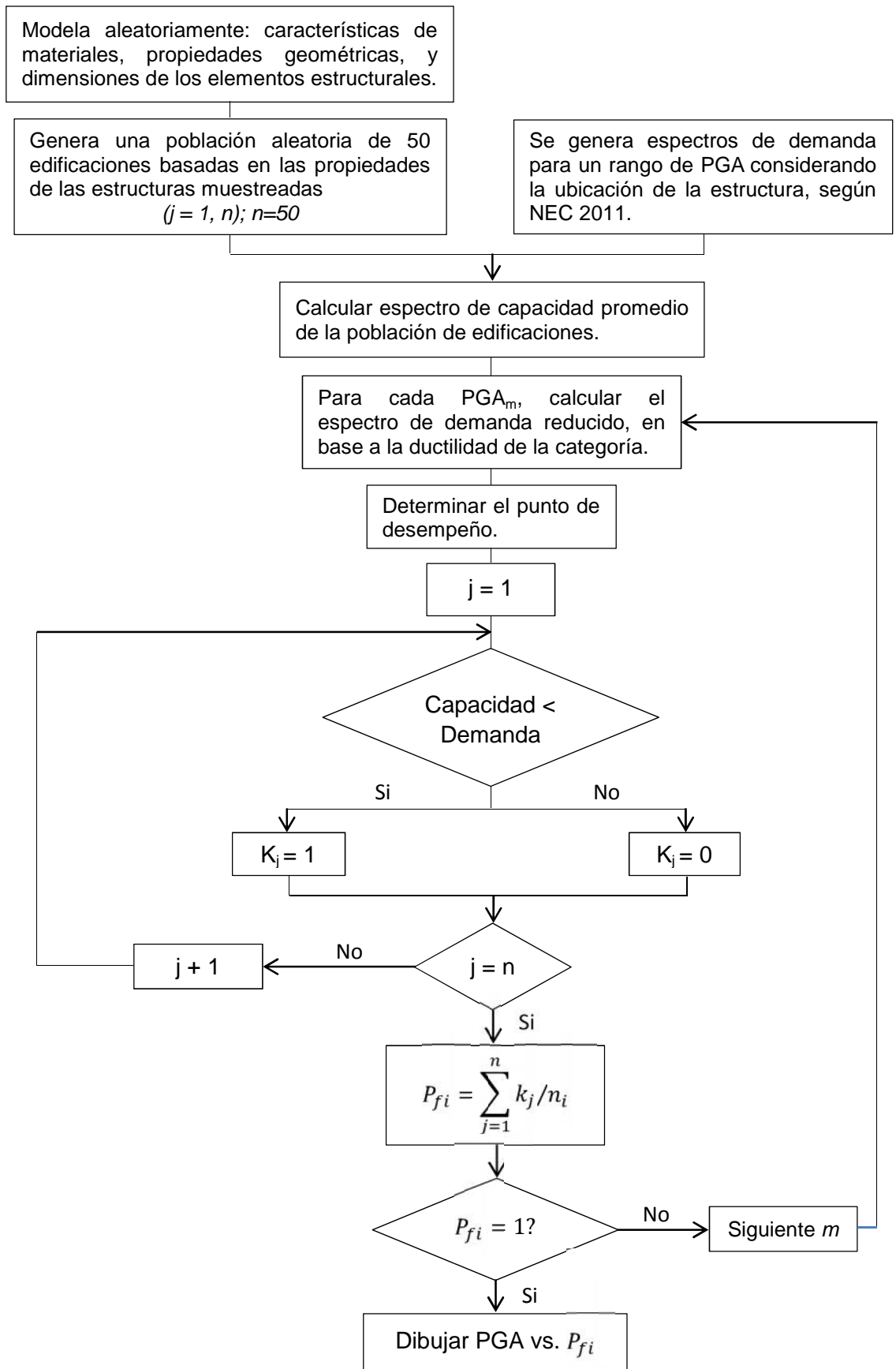


Figura 1. Flujograma de trabajo con la metodología DBELA

Fuente: El autor

1.3.5 Comportamiento sísmico.

Es la respuesta de la estructura tanto en sus elementos estructurales como no estructurales frente a la acción sísmica. Está directamente relacionado con las características de los materiales de la estructura. Existen varios tipos de análisis que permiten evaluar el comportamiento que presentaran las estructuras frente a la acción de un sismo. A continuación se detalla los métodos que se usan en la investigación:

1.3.5.1 Análisis estático

Comprende un análisis por cargas gravitacionales, es decir cargas permanentes y que no son debidas al uso de la estructura. En esta categoría se pueden clasificar las cargas correspondientes al peso propio y al peso de los materiales que soporta la estructura. Además corresponden a cargas gravitacionales las que se deben a la ocupación normal de la estructura y que no son permanentes en ella.

1.3.5.2 Análisis dinámico

1.3.5.2.1 Análisis Modal.

Este análisis calcula el período de vibración de cada modo y su forma, utilizando la masa y rigidez del edificio.

1.3.5.2.2 Análisis espectral.

1.3.5.2.2.1 Método N2

El método N2 toma en cuenta las características no lineales de la estructura y usa un procedimiento gráfico, permite calcular la respuesta máxima probable de la estructura cuando la demanda sísmica se representa por un espectro elástico de diseño.

Se realiza entonces un análisis de Capacidad vs. Demanda. Este método ha sufrido de varias adaptaciones y mejoras. Pero básicamente se refiere a la comparación de la capacidad estructural frente a la demanda sísmica. Gráficamente se describe por la superposición de una curva que representa la capacidad, obtenida de un empuje lateral que se transforma a un espectro de capacidad idealizado como una curva bilineal elastoplástica (espectro de capacidad), con otra curva que representa la demanda sísmica. El punto donde se cruzan las curvas es conocido como punto de desempeño

1.3.5.3 Capacidad estructural.

La capacidad de una estructura depende de la resistencia y deformación máxima de sus componentes individuales. Para determinar su capacidad más allá del límite elástico es

necesario utilizar un tipo de análisis no lineal, se usa entonces el análisis estático no lineal (Pushover).

1.3.5.3.1 Análisis estático no lineal (Pushover).

Este método usa una serie de análisis elásticos secuenciales, que se superponen para aproximarse a un diagrama conocido como **curva de capacidad** o **curva Pushover**. La misma que relaciona el cortante basal y los desplazamientos en el nivel superior de la estructura como se observa en la Figura 2. Se aplican entonces una serie de fuerzas horizontales, las mismas que aumentan de manera monotónica hasta que la estructura alcanza su capacidad máxima.

La curva Pushover se construye generalmente para representar la respuesta del primer modo de la estructura, considerando que el modo fundamental de vibración corresponde con la respuesta predominante. (Bonnet, 2003)

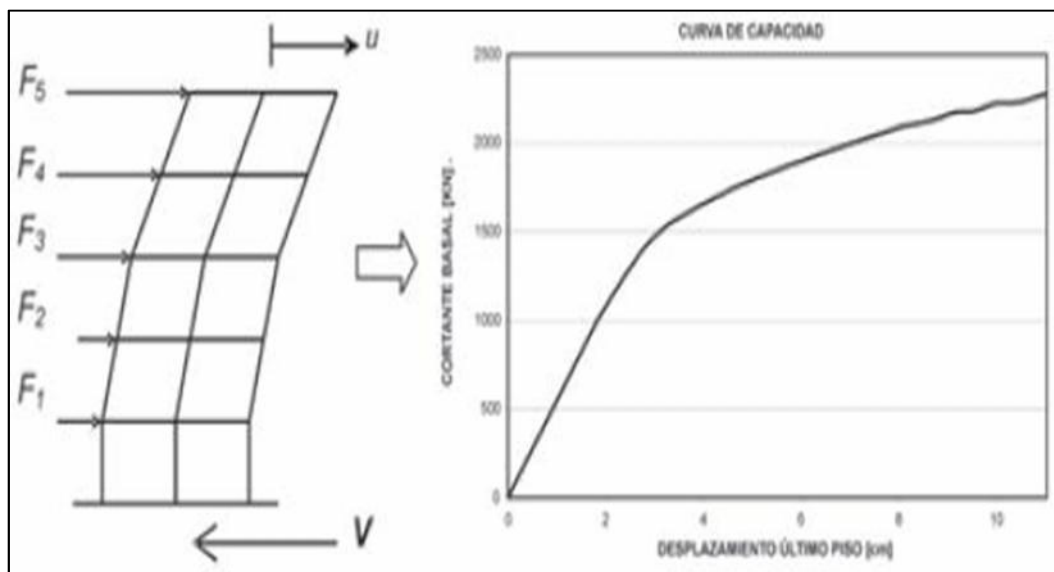


Figura 2. Procedimiento para determinar la curva Pushover de una edificación.

Fuente: (Mora, Villalba, & Maldonado, 2006)

1.3.5.3.2 Representación bilineal de la curva de capacidad.

Se utiliza este mecanismo para estimar el espectro de demanda reducido, espectro inelástico. En la actualidad no hay un procedimiento definitivo para determinar la curva bilineal. El procedimiento que se adopta es que en un primer paso se estima el cortante basal y mediante un proceso iterativo se redefine al igualar las áreas bajo la curva real y la curva bilineal idealizada, como se muestra en la Figura 3.

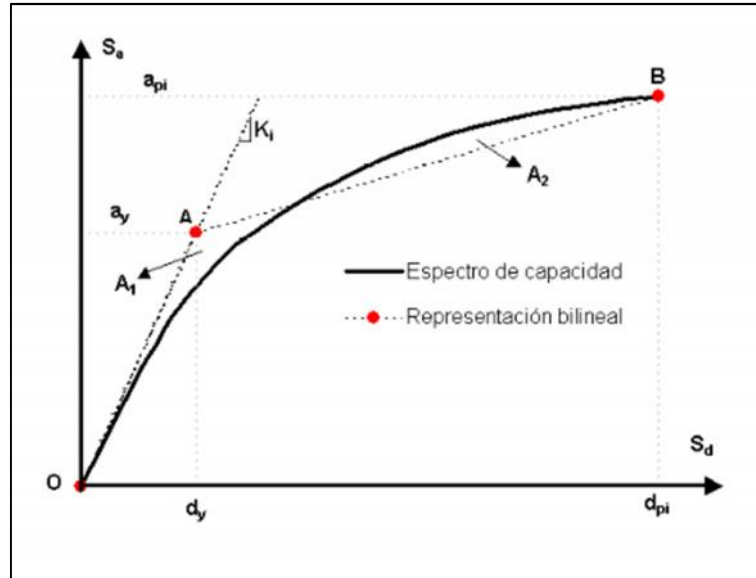


Figura 3. Representación Bilineal de la Curva de Capacidad
 Fuente: (Bonnet, 2003), "Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios.
 Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada"

1.3.5.4 Demanda sísmica.

La demanda sísmica debe ser prescrita en términos de un espectro de diseño apropiado. Tradicionalmente en la ingeniería sísmica, se ha utilizado un espectro de respuesta de aceleraciones pero durante los últimos años se ha identificado que los parámetros más relevantes en el diseño son los desplazamientos y deformaciones. Y en vista de que toda la metodología utilizada se basa en el método directo basado en desplazamientos, por lo tanto se ha promovido el uso de espectros en el formato AD (S_a vs. S_d) basándose en el espectro según el NEC 2011. (NEC, 2011), que posee los procedimientos para construirlo, depende de factores como: máxima aceleración en roca, coeficientes que dependen del tipo de suelo, entre otros.

1.3.5.5 Punto de desempeño.

Se define como el cruce del espectro de capacidad y el espectro de demanda, conocido también como Performance Point, caracterizado por su desplazamiento y aceleración espectral. Este es el punto de máxima solicitud de capacidad de la estructura por parte de la demanda a la que se ve sometida.

1.3.6 Estados límites.

Los estados límites son un enfoque de seguridad en el cálculo estructural en ponderación de diversas normativas técnicas, instrucciones y reglas de cálculo, consiste en enumerar una serie de situaciones riesgosas cuantificables mediante una magnitud, y asegurar que con un

margen de seguridad razonable que la respuesta máxima favorable de la estructura en cada una de esas situaciones sea superior a la exigencia real sobre la estructura.

El daño se puede estimar de diferentes maneras; a continuación indicamos algunas:

- Estimación del daño basado en la máxima deriva entre pisos.
- Estimación de daño basado en el comportamiento global de la estructura
- Estimación del estado de daño de la estructura basado en la máxima deformación de los materiales de estructuras de concreto.

Para el análisis se regirá a la estimación de daño basado en la máxima deriva entre pisos.

Se han definido los siguientes rangos para cada estado límite:

- Estado límite 1 (No Damage).- No se producen daños en los elementos estructurales, existen pequeñas grietas en los acabados de los elementos.
- Estado límite 2 (DL).- Daño limitado, es la pérdida de la respuesta elástica lineal, es decir cuando la sección ha empezado a fluir. El límite de la deformación del concreto se identifica por la presencia de grietas en las fibras más exteriores de la sección. Se ha definido con una deriva entre pisos de 0.008.
- Estado límite 3 (SD).- Daño significativo, es cuando el esfuerzo máximo de flexión es alcanzado, cuando se ha desarrollado el límite de ductilidad. Se puede definir por presencia de grietas en las fibras externas del centro del elemento. La deriva máxima entre pisos es de 0.015.
- El exceso del estado límite 3 (NC).- Cerca del colapso, existe presencia de grietas por flexión y/o corte, puede ocurrir flexión del refuerzo longitudinal. Se identifica por presencia de grietas o por cortes en el concreto. La deformación del concreto se puede observar en las fibras exteriores del núcleo de la sección. El tercer estado límite ocurre por miembros con confinamiento inadecuado. El límite de deriva entre pisos es de 0.02.

1.4 Metodología.

La metodología para realizar esta investigación comprenderá los siguientes aspectos:

Recopilación de información sobre el historial sísmico de la ciudad de Loja, además de la bibliografía necesaria para justificar el estudio.

Elaboración de un inventario de las edificaciones esenciales y especiales, el mismo que incluye las características geométricas y estructurales.

Clasificación de las edificaciones según su tipología, en este punto se agrupan las edificaciones según sus características que han sido definidas en el punto anterior, mediante un análisis estadístico se conoce aquellas estructuras que poseen características iguales o muy similares lo que permite agruparlas en una misma clase. Las edificaciones que varían tanto en sus características geométricas como estructurales, y que debido a esto no es posible agruparlas en alguna clase se excluyen de esta investigación.

Simulación de edificaciones usando OpenSees, se modelan los edificios por cada clase establecida, los edificios son representativos de cada tipología, se realiza un Análisis Estático, Análisis Pushover y finalmente un Análisis Dinámico, de esta forma se obtiene la capacidad de las categorías establecidas y se compara con la demanda, que en este caso está representada por los espectros de diseño de la Norma Ecuatoriana de la Construcción. (NEC, 2011), que da como resultado el punto de desempeño.

Aplicación de la metodología DBELA, para la obtención de las curvas de vulnerabilidad, que se basa en el análisis de pérdidas en función del desplazamiento, por lo que se compara el desplazamiento de cada edificio simulado con el desplazamiento del punto de desempeño, esto permite analizar la probabilidad de daño para las categorías consideradas.

Construcción del mapa de vulnerabilidad con los resultados de las curvas de vulnerabilidad y analizando la vulnerabilidad sísmica a nivel de roca y a nivel de suelo, se asigna a cada estructura sus valores correspondientes y según su posición georeferenciada, se obtiene de esta forma nuestro objetivo, contar con una fuente de información que permita conocer el grado de vulnerabilidad de las edificaciones esenciales del norte de la ciudad de Loja.

CAPÍTULO II

2. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN Y ELABORACIÓN DEL INVENTARIO DE EDIFICACIONES

Para la elaboración de este proyecto se ha considerado como ámbito de estudio las edificaciones esenciales y/o peligrosas, sabiendo que según la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2011), son las estructuras que por sus características de utilización o de importancia deben permanecer operativas o sufrir menores daños durante y después de la ocurrencia de un sismo, a este grupo corresponden según el código: Hospitales, Clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.

Además en este estudio se incluyó algunos edificios de la categoría de estructuras de ocupación especial, específicamente nos referimos a escuelas y colegios del área urbana, ya que estos constituyen una muestra representativa tanto por el número elevado de estas estructuras en nuestra zona de estudio como por la cantidad de personas que a diario ocupan sus instalaciones, conjuntamente con el uso que se les da a las mismas en caso de un sismo ya que a lo largo de la historia han sido utilizadas como albergue, luego de un evento de esta índole.

El principal inconveniente que se presenta es la falta de información, es decir que para poder agrupar y modelar las estructuras se requiere de sus características estructurales, para ellos se recurre a buscar planos de las estructuras consideradas esenciales, en un principio se solicita al Municipio de Loja, al Departamento de Planificación Urbana los planos de dichos edificios, esta petición es aceptada pero este proceso no resulta debido a que al tratarse de edificaciones antiguas no se contaba con los planos, ya que habían sido destruidos a causa de la antigüedad de los mismos, sin embargo se facilitan los planos que existen en el archivo de este departamento.

El resto de la información de las edificaciones se obtiene mediante levantamientos a cinta tanto geométricos como estructurales no destructivos, los aspectos que se consideran son básicamente: secciones de vigas y columnas, espesor de losa, altura de entrepisos, número de vanos y distancia entre ellos, tipos de materiales y sus características, año de construcción, ocupación, entre otros.

Los resultados de los levantamientos se detallan a continuación, se debe mencionar que debido a que existe una variación en la medida de los elementos dentro de cada edificación se realiza un análisis estadístico donde se considera el promedio de todas las mediciones, es decir la media aritmética así:

2.1 Hospital Regional “Isidro Ayora”.

El Hospital Regional “Isidro Ayora” está ubicado en la parte céntrica de la ciudad de Loja en la Av. Manuel Agustín Aguirre entre las calles Manuel Monteros Valdivieso y Juan José Samaniego. Es uno de los más importantes de la ciudad ya que atiende a personas que no tienen seguro médico.

Tabla 1. Características estructurales del Hospital Isidro Ayora

Características	Media aritmética
Año de construcción	1979
Tipo de estructura	Aporticada
Base viga – vx	0.4568 m
Altura de viga – vy	0.4784 m
Ancho de columna – cx	0.4 m
Ancho de columna – cy	1.00 m
Número de vanos – x	7
Longitud de vanos – x	6.00 m
Número de vanos – y	2
Longitud de vanos – y	8.05 m
Número de pisos	6
Altura de entrepiso	3.26 m
Espesor de losa	0.30 m

Fuente: El autor

2.2 Hospital del IESS “Manuel Ygnacio de los Monteros”.

El Hospital “Manuel Ygnacio de los Monteros” del IESS de Loja se encuentra ubicado entre la calle Ibarra y Santo Domingo de los Colorados, cerca de la Dirección Provincial de Salud de Loja. A este hospital acuden, en su mayoría, personas con seguro médico.

Tabla 2. Características estructurales del Hospital del IESS

Características	Media aritmética
Año de construcción	1989
Tipo de estructura	Aporticada
Base viga - vx	0.3549 m
Altura de viga - vy	0.40 m
Ancho de columna - cx	0.4824 m
Ancho de columna - cy	0.52 m
Número de vanos - x	7

Continúa...

...Sigue

Longitud de vanos - x	5.7286 m
Número de vanos - y	3
Longitud de vanos - y	4.50 m
Número de pisos	6
Altura de entrepiso	3.0833 m
Espesor de losa	0.30 m

Fuente: El autor

En esta estructura existen muros en la zona de los ascensores, pero no se los ha incluido en nuestro análisis debido a que no se aborda el análisis de estructurales duales, se ha asumido la presencia de columnas en la intersección de los ejes según la sección que se presentan a lo largo de los mismos.

2.3 Hospital UTPL – SOLCA – Bloque 6.

El edificio del Hospital UTPL – SOLCA se encuentra ubicado en la Av. Salvador Bustamante Celi, frente al Parque Jipiro.

Tabla 3. Características estructurales del Hospital UTPL – SOLCA

Características	Media aritmética
Año de construcción	2004
Tipo de estructura	Aporticada
Base viga – vx	0.30 m
Altura de viga – vy	0.60 m
Ancho de columna – cx	0.50 m
Ancho de columna – cy	0.50 m
Número de vanos – x	7
Longitud de vanos – x	4.1071 m
Número de vanos – y	5
Longitud de vanos – y	6.39 m
Número de pisos	2
Altura de entrepiso	3.66 m
Espesor de losa	0.30 m

Fuente: El autor

2.4 Colegio “Adolfo Valarezo”.

El Colegio Adolfo Valarezo se encuentra ubicado en la calle Adolfo Valarezo entre la Av. Occidental de Paso y la calle Carlos Román Hinostroza.

Se consideran dos estructuras del establecimiento, un edificio que es nuevo de aulas y uno administrativo que es antiguo. El segundo se excluye del estudio debido a las irregularidades que presenta en planta y en elevación.

Tabla 4. Características estructurales del Colegio “Adolfo Valarezo”

Características	Media aritmética
Año de construcción	2013
Tipo de estructura	Aporticada
Base viga - vx	0.35 m
Altura de viga - vy	0.40 m
Ancho de columna - cx	0.40 m
Ancho de columna - cy	0.40 m
Número de vanos - x	4
Longitud de vanos - x	4.00 m
Número de vanos - y	2
Longitud de vanos - y	6.00 m
Número de pisos	2
Altura de entrepiso	3.00 m
Espesor de losa	0.20 m

Fuente: El autor

2.5 Escuela “Alejandrino Velásquez”.

La escuela Alejandrino Velásquez se encuentra ubicada en la calle Adolfo Valarezo entre la Av. Occidental de Paso y la calle Carlos Román Hinostraza, junto al Colegio Adolfo Valarezo.

Tabla 5. Características estructurales de la Escuela “Alejandrino Velásquez

Características	Media aritmética
Año de construcción	-
Tipo de estructura	Aporticada
Base viga - vx	0.25 m
Altura de viga - vy	0.2632 m
Ancho de columna - cx	0.2639 m
Ancho de columna - cy	0.2611 m
Número de vanos - x	11
Longitud de vanos - x	3.00 m
Número de vanos - y	2
Longitud de vanos - y	4.00 m
Número de pisos	2
Altura de entrepiso	3.00 m
Espesor de losa	0.25 m

Fuente: El autor

Al realizar el levantamiento del edificio se puede notar la presencia de grandes fisuras a nivel del cuello de columna del 1er piso, así como desprendimiento del recubrimiento. Además se nota que ha sido objeto de planes de reforzamiento por lo que las 4 columnas de la primera planta de la parte posterior aumentaron de sección de 0.25x0.25 m a 0.45x0.50

m, también se arriostraron los pórticos tanto en el sentido y, como a nivel de piso, para contrarrestar en lo posible el movimiento constante en el que se encuentra la estructura, lo que ocasiona peligro para los niños y profesores que a diario permanecen en ella. Si observamos más detalladamente podemos notar que las columnas exteriores presentan graves daños, el recubrimiento ha ido desapareciendo dejando al acero de refuerzo expuesto a la intemperie lo que ha provocado la corrosión del mismo.

2.6 Unidad Educativa “Calasanz”.

La Unidad Educativa “Calasanz” se encuentra ubicada en la Av. Orillas del Zamora y Av. Isidro Ayora. Para realizar nuestro análisis tomaremos dos estructuras:

Tabla 6. Características estructurales de la Unidad Educativa “Calasanz” – Edificio Administrativo

Unidad Educativa “Calasanz” – Administrativo	
Características	Media aritmética
Año de construcción	2000
Tipo de estructura	Aporticada
Base viga – vx	0.30 m
Altura de viga – vy	0.45 m
Ancho de columna – cx	0.30 m
Ancho de columna – cy	0.30 m
Número de vanos – x	5
Longitud de vanos – x	2.50 m
Número de vanos – y	2
Longitud de vanos – y	4.00 m
Número de pisos	3
Altura de entrepiso	2.8667 m
Espesor de losa	0.25 m

Fuente: El autor

Tabla 7. Características estructurales de la Unidad Educativa “Calasanz” – Edificio de aulas.

Unidad Educativa “Calasanz” – Aulas	
Características	Media aritmética
Año de construcción	2000
Tipo de estructura	Aporticada
Base viga – vx	0.30 m
Altura de viga – vy	0.35 m
Ancho de columna – cx	0.35 m
Ancho de columna – cy	0.50 m
Número de vanos – x	6
Longitud de vanos – x	4.50 m
Número de vanos – y	1

Continúa...

...Sigue

Longitud de vanos – y	6.00 m
Número de pisos	4
Altura de entrepiso	2.65 m
Espesor de losa	0.30 m

Fuente: El autor

2.7 Escuela “Ciudad de Loja”.

La escuela “Ciudad de Loja” se encuentra ubicada en las calles Manuel Toledo y la Av. Emiliano Ortega.

Tabla 8. Características estructurales de la Escuela “Ciudad de Loja”

Características	Media aritmética
Año de construcción	1971
Tipo de estructura	Aporticada
Base viga - vx	0.25 m
Altura de viga - vy	0.3102 m
Ancho de columna - cx	0.25 m
Ancho de columna - cy	0.25 m
Número de vanos - x	12
Longitud de vanos - x	3.00 m
Número de vanos - y	2
Longitud de vanos - y	4.0667 m
Número de pisos	2
Altura de entrepiso	3.00 m
Espesor de losa	0.25 m

Fuente: El autor

2.8 Escuela “Prof. Julio Ordóñez”.

La escuela se encuentra ubicada en la Av. Universitaria y Juan de Salinas y pasaje Juan Rodríguez.

Tabla 9. Características estructurales de Escuela “Prof. Julio Ordóñez”

Características	Media aritmética
Año de construcción	1956
Tipo de estructura	Aporticada
Base viga – vx	0.25 m
Altura de viga – vy	0.2781 m
Ancho de columna – cx	0.25 m
Ancho de columna – cy	0.25 m
Número de vanos – x	6
Longitud de vanos – x	4.50 m
Número de vanos – y	2
Longitud de vanos – y	4.00 m
Número de pisos	1

Continúa...

...Sigue

Altura de entrecapiso	3.20 m
Espesor de losa	-

Fuente: El autor

Se debe mencionar que las instalaciones de la Institución se encuentran bastante deterioradas y no brindan las garantías necesarias para los alumnos, docentes y personal administrativo, tal es el problema que ya se encuentra aprobado el proyecto para la construcción del nuevo edificio del plantel.

2.9 Escuela “José Ingenieros”.

La escuela “José Ingenieros” se encuentra ubicada en las calles Jaime Roldós Aguilera y Velasco Ibarra, en el sector Las Pitás.

Tabla 10. Características estructurales de la Escuela “José Ingenieros”

Características	Resultados
Año de construcción	2013
Tipo de estructura	Aporticada
Base viga – vx	0.30 m
Altura de viga – vy	0.40 m
Ancho de columna – cx	0.35 m
Ancho de columna – cy	0.35 m
Número de vanos – x	8
Longitud de vanos – x	3.50 m
Número de vanos – y	1
Longitud de vanos – y	6.00 m
Número de pisos	2
Altura de entrecapiso	3.15 m
Espesor de losa	0.2

Fuente: El autor

2.10 I.S.T. “Daniel Álvarez Burneo”.

El Instituto Superior Tecnológico se encuentra ubicado en la calle Juan de Salinas y la Av. Orillas del Zamora.

Para esta investigación se consideró dos estructuras: un edificio de aulas y un administrativo que se detallan a continuación:

Tabla 11. Características estructurales del I.S.T. “Daniel Álvarez Burneo” – Edificio Administrativo

I.S.T. “Daniel Álvarez Burneo” – Administrativo	
Características	Resultados
Año de construcción	2008
Tipo de estructura	Aporticada
Base viga – vx	0.20 m

Continúa...

...Sigue

Altura de viga – vy	0.45 m
Ancho de columna – cx	0.2148 m
Ancho de columna – cy	0.2204 m
Número de vanos – x	9
Longitud de vanos – x	3.00 m
Número de vanos – y	3
Longitud de vanos – y	3.40 m
Número de pisos	2
Altura de entrepiso	2.525 m
Espesor de losa	0.2

Fuente: El autor

Tabla 12. Características estructurales del I.S.T. “Daniel Álvarez Burneo” – Edificio de aulas.

I.S.T. “Daniel Álvarez Burneo” – Aulas	
Características	Resultados
Año de construcción	1970
Tipo de estructura	Aporticada
Base viga – vx	0.20 m
Altura de viga – vy	0.2059 m
Ancho de columna – cx	0.2444 m
Ancho de columna – cy	0.2444 m
Número de vanos – x	7
Longitud de vanos – x	3.8571 m
Número de vanos – y	2
Longitud de vanos – y	4.50 m
Número de pisos	3
Altura de entrepiso	3.0833 m
Espesor de losa	0.25

Fuente: El autor

2.11 Escuela “Filomena Mora de Carrión”.

La escuela Filomena Mora de Carrión se encuentra ubicada en la calle Bolívar Bailón y Av. Cuxibamba.

Tabla 13. Características estructurales de la Escuela “Filomena Mora de Carrión”

Características	Resultados
Año de construcción	1970
Tipo de estructura	Aporticada
Base viga – vx	0.3063 m
Altura de viga – vy	0.3375 m
Ancho de columna – cx	0.2333 m
Ancho de columna – cy	0.2333 m
Número de vanos – x	10
Longitud de vanos – x	3.00 m

Continúa...

...Sigue

Número de vanos – y	2
Longitud de vanos – y	4.00 m
Número de pisos	1
Altura de entrepiso	2.75 m
Espesor de losa	-

Fuente: El autor

2.12 Brigada de Infantería N° 7 Loja.

Se encuentra ubicada en la Av. Cuxibamba y la calle Franco Montero. Se consideran 3 edificios: Dos edificios de dormitorios y un administrativo, este último se excluye de la investigación debido a la irregularidad que presenta en planta.

Tabla 14. Características estructurales de la Brigada de Infantería – Edificio dormitorios 1

Brigada de Infantería N° 7 – Loja – Dormitorios 1	
Características	Resultados
Año de construcción	-
Tipo de estructura	Aporticada
Base viga – vx	0.2771m
Altura de viga – vy	0.40 m
Ancho de columna – cx	0.24 m
Ancho de columna – cy	0.2375 m
Número de vanos – x	7
Longitud de vanos – x	3.10 m
Número de vanos – y	2
Longitud de vanos – y	4.10 m
Número de pisos	2
Altura de entrepiso	3.20 m
Espesor de losa	0.25 m

Fuente: El autor

Tabla 15. Características estructurales de la Brigada de Infantería – Edificio dormitorios 2

Brigada de Infantería N° 7 – Loja – Dormitorios 1	
Características	Resultados
Año de construcción	-
Tipo de estructura	Aporticada
Base viga – vx	0.25 m
Altura de viga – vy	0.325 m
Ancho de columna – cx	0.2417 m
Ancho de columna – cy	0.24 m
Número de vanos – x	9
Longitud de vanos – x	3.50 m
Número de vanos – y	2
Longitud de vanos – y	3.75 m

Continúa...

Número de pisos	2
Altura de entrepiso	2.95 m
Espesor de losa	0.25 m

Fuente: El autor

2.13 Estación de Bomberos “La Inmaculada”.

Esta edificación considerada esencial ya que brinda gran ayuda en catástrofes, debe permanecer funcional ante cualquier evento sísmico, pero no se considera en la investigación ya que presenta gran irregularidad tanto en planta como en elevación, por lo que los resultados que se obtendrían al realizar esta metodología no describirán el comportamiento real de la estructura.

2.14 UPC “Celi Román” – “La Paz”.

Debido a que se ha establecido un modelo único de estas edificaciones a nivel nacional se las analizará unificadamente, pero debido a su ubicación representarán un grado de vulnerabilidad en distintos puntos de la ciudad.

La UPC “Celi Román” se encuentra ubicada en las calles Manuel Vivanco, entre las calles Fray Gaspar de Villarreal y Pedro Falconí. Mientras que la UPC “La Paz” se ubica en la Av. Salvador Bustamante Celi y la calle Sebastián Paredes.

Tabla 16. Características estructurales del edificio UPC

UPC “Celi Román” – UPC “La Paz”	
Características	Resultados
Año de construcción	-
Tipo de estructura	Aporticada
Base viga - vx	0.25 m
Altura de viga - vy	0.3125 m
Ancho de columna - cx	0.35 m
Ancho de columna - cy	0.35 m
Número de vanos - x	3
Longitud de vanos - x	2.8833 m
Número de vanos - y	3
Longitud de vanos - y	3.5167 m
Número de pisos	2
Altura de entrepiso	3.50 m
Espesor de losa	0.10 m

Fuente: El autor

CAPÍTULO III

3. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA Y MODELACIÓN DE ESTRUCTURAS

3.1 Clasificación de tipologías y análisis estadístico.

Una vez recopilada la información se procede a su análisis correspondiente donde se consideran sus características geométricas y estructurales tomando como referencia la taxonomía establecida por el GEM.

Cada sistema estructural responde de manera distinta cuando ésta se ve sometida a sollicitaciones sísmicas, aspectos como la configuración estructural, simetría, distribución de masa y regularidad vertical deben ser considerados, además, la resistencia, rigidez y ductilidad son otros aspectos de importancia para una adecuada respuesta. (Paulay & Priestley., 1992), por esta razón es fundamental realizar una correcta clasificación de las edificaciones.

Como se menciona con anterioridad algunas edificaciones se excluyen de la investigación; los demás de acuerdo a sus características se los clasifica, estableciendo 4 categorías de estudio.

Para establecer las tipologías se toma con referencia principal dos características: Número de pisos y número de vanos dejando de esta forma una estructura conformada en dichas características. Para las demás características como secciones de vigas y columnas, longitud de vanos, altura de entrepiso y espesor de losa se realiza un análisis estadístico, el mismo que consiste en realizar el ajuste de una distribución probabilística a los datos de cada tipología, seleccionando la que mejor se ajuste a nuestra muestra. Se trabaja con las distribución normal, lognormal y gamma, que nos da como resultado la media y la desviación estándar de la categoría que a la post nos permite generar edificios aleatorios dentro de estos límites.

Las categorías establecidas y su respectivo análisis estadístico se detallan a continuación

3.1.1 Categoría 1.

Estructuras de 1 y 2 plantas con 3 y 4 vanos en el sentido x.

A continuación, en la Figura 4 a la Figura 10, se muestra el ajuste con las distribuciones probabilísticas y los resultados que se obtienen para cada una de las características mencionadas anteriormente, esta información permite realizar la modelación de las categorías:

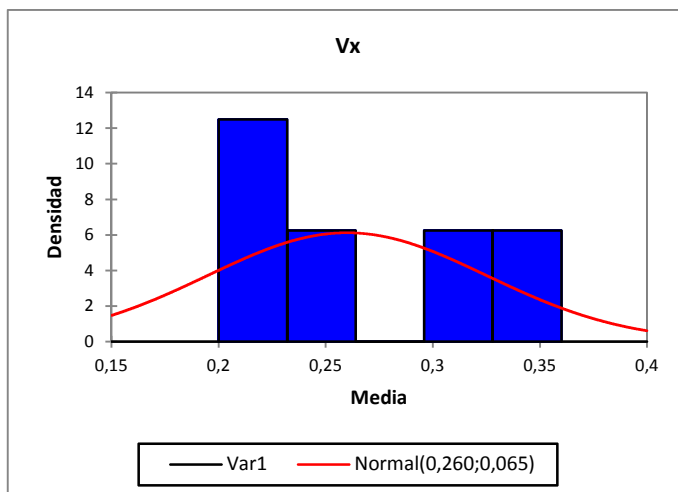


Figura 4. Sección de vigas, x - Distribución Normal
Fuente: El autor

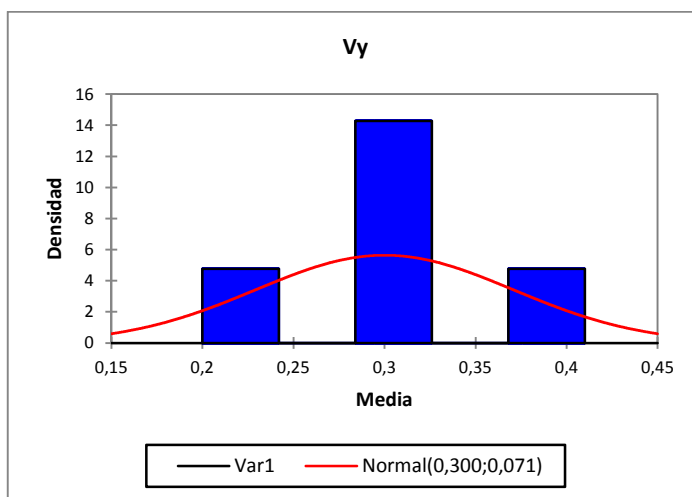


Figura 5. Sección de vigas, y - Distribución Normal
Fuente: El autor

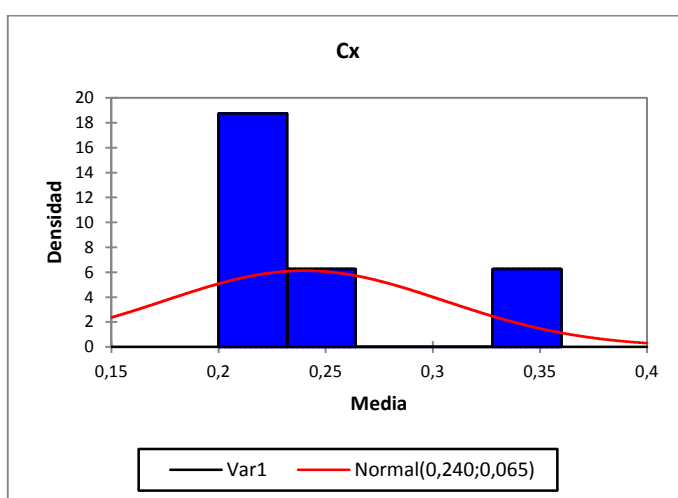


Figura 6. Sección de columnas, x - Distribución Normal
Fuente: El autor

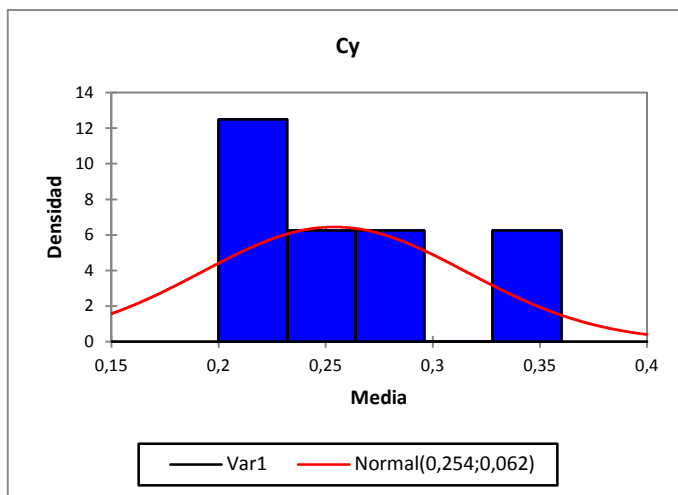


Figura 7. Sección de columnas, y - Distribución Normal
Fuente: El autor

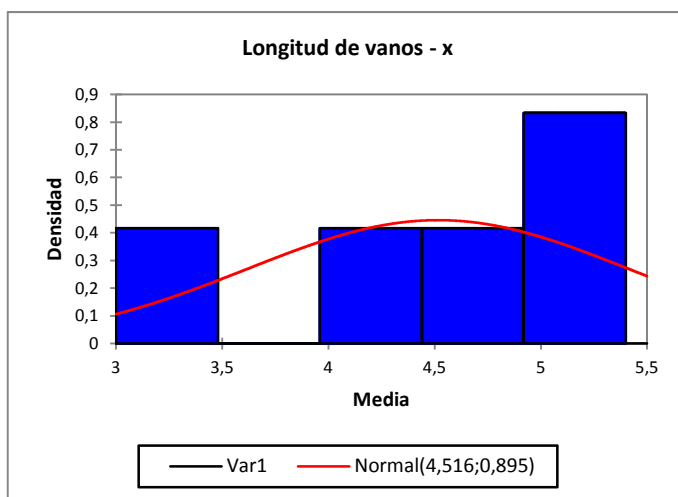


Figura 8. Longitud de vanos, x - Distribución Normal
Fuente: El autor

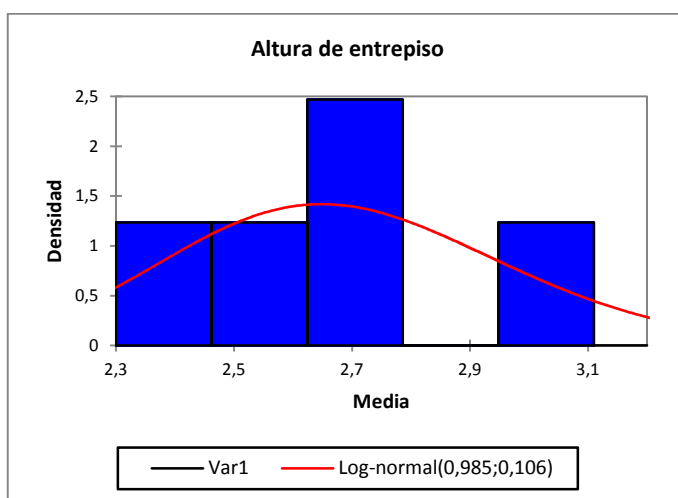


Figura 9. Altura de entepiso - Distribución Lognormal
Fuente El autor

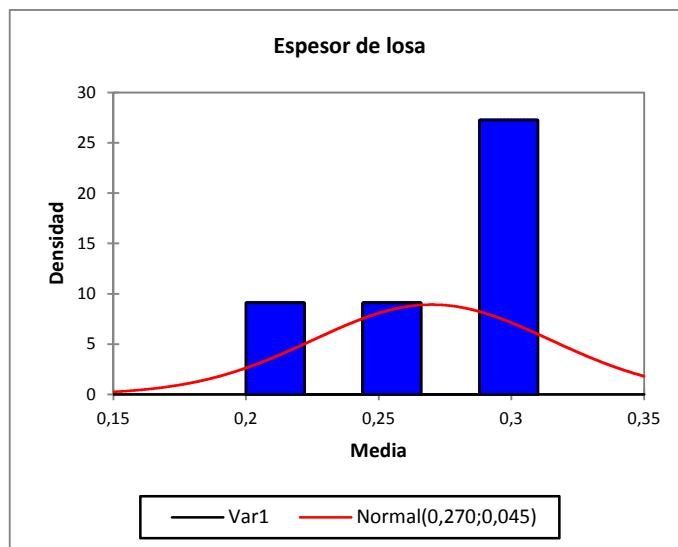


Figura 10. Espesor de losa - Distribución Normal
Fuente El autor

El resumen de resultados se muestra en la Tabla 17.

El pórtico que se toma como modelo tiene 2 pisos y 4 vanos.

Tabla 17. Resumen de datos - Categoría 1

Descripción	Distribución	Media	Desviación Estándar	A	B
Base viga - vx	Normal	0,2600	0,0652	0,1948	0,3252
Altura viga - vy	Normal	0,3000	0,0707	0,2293	0,3707
Ancho columna - cx	Normal	0,2400	0,0652	0,1748	0,3052
Ancho columna - cy	Normal	0,2540	0,0619	0,1921	0,3159
Número de vanos - x	-	4,0000	0,0000	4,0000	4,0000
Longitud vanos - x	Normal	4,5160	0,8950	3,6210	5,4110
Número de pisos	-	2,0000	0,0000	2,0000	2,0000
Altura entrepiso	Lognormal	2,6930	0,2852	2,4078	2,9782
Espesor de losa	Normal	0,2710	0,0490	0,2220	0,3200

Fuente: El autor

3.1.2 Categoría 2.

Estructuras de 1 y 2 plantas, con 9, 10, 11 y 13 vanos en el sentido x.

Los resultados de análisis estadístico y el ajuste de curvas para cada característica se muestran en la Figura 11 a la Figura 17:

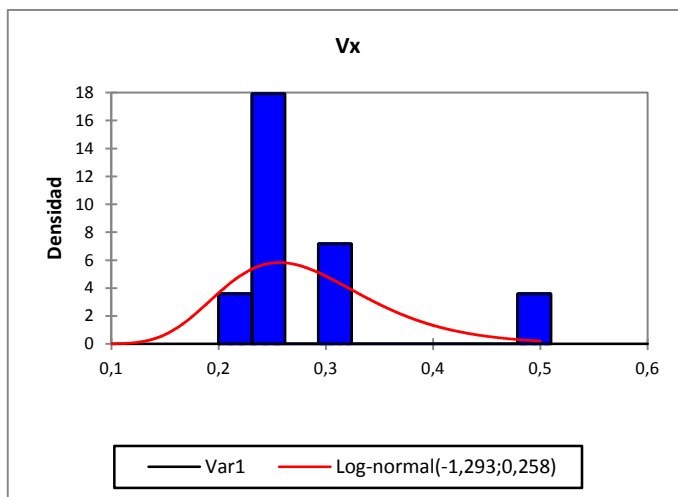


Figura 11. Sección de vigas, x - Distribución Lognormal

Fuente: El autor

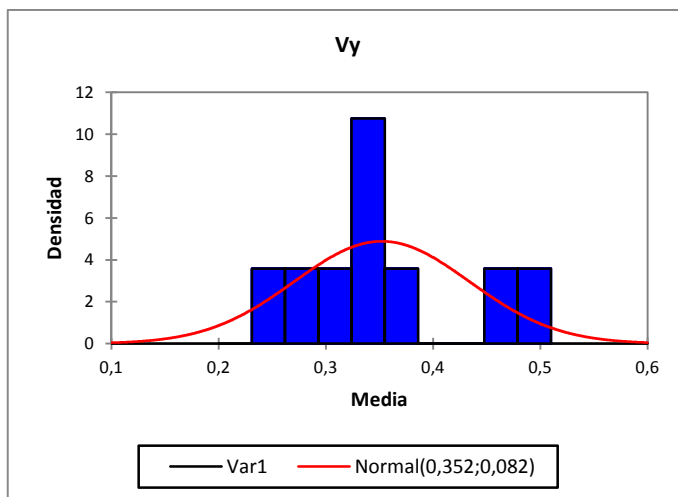


Figura 12. Sección de vigas, y - Distribución Normal

Fuente: El autor

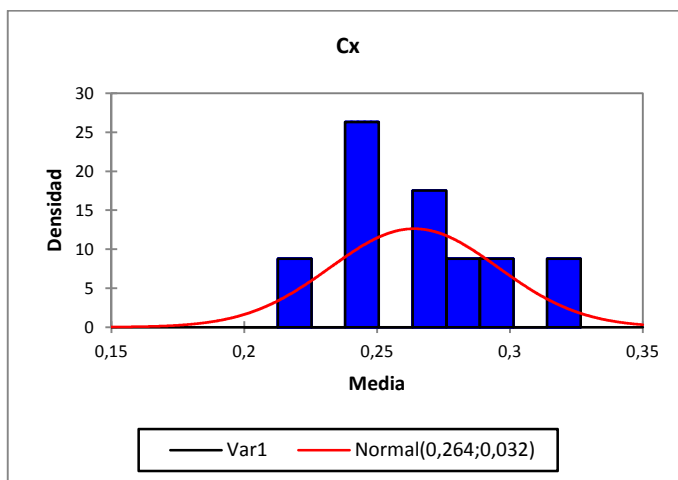


Figura 13. Sección de columnas, x - Distribución Normal

Fuente: El autor

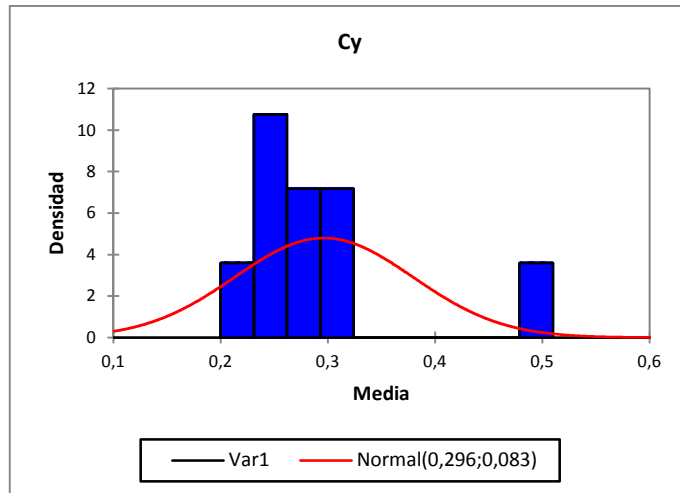


Figura 14. Sección de columnas, y - Distribución Normal
Fuente: El autor

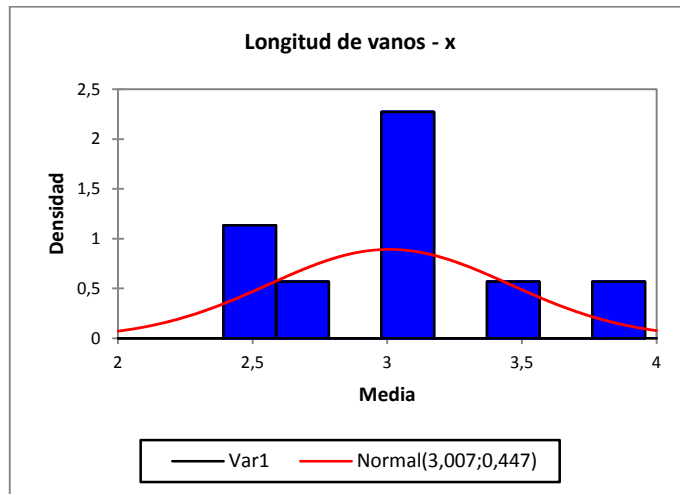


Figura 15. Longitud de vanos, x - Distribución Normal
Fuente: El autor

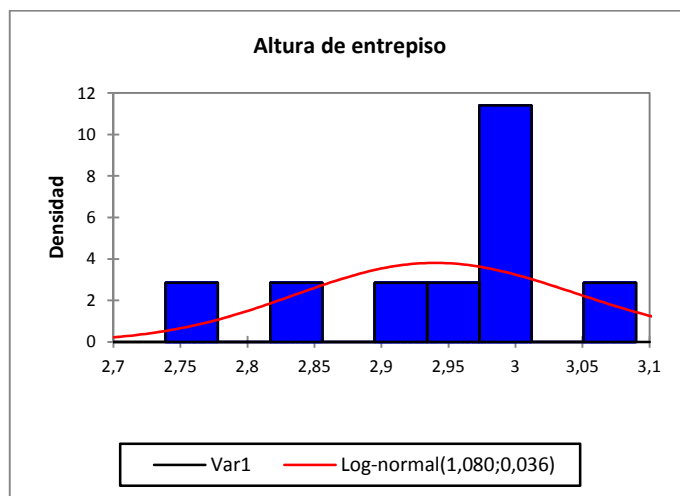


Figura 16. Altura de entrepiso - Distribución Lognormal
Fuente: El autor

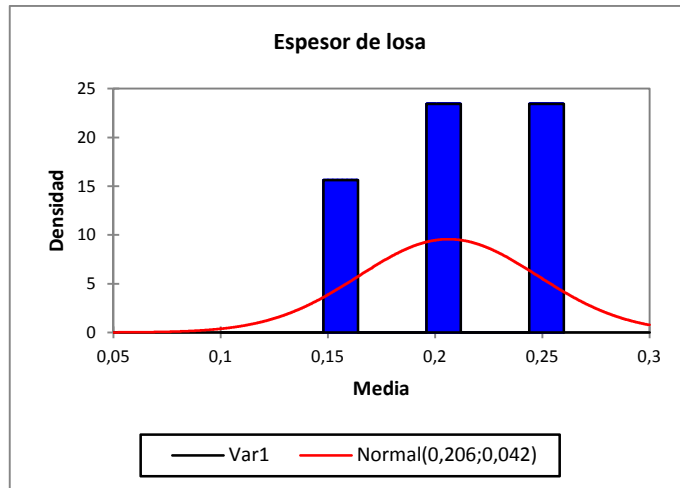


Figura 17. Espesor de losa - Distribución Normal

Fuente: El autor

El resumen de resultados se muestra en la Tabla 18. Se modela un pórtico de 2 pisos y 11 vanos.

Tabla 18. Resumen de datos - Categoría 2

Descripción	Distribución	Media	Desviación Estándar	A	B
Base viga - vx	Lognormal	0,2840	0,0744	0,2096	0,3584
Altura viga - vy	Normal	0,3520	0,0817	0,2703	0,4337
Ancho columna - cx	Normal	0,2640	0,0316	0,2324	0,2956
Ancho columna - cy	Normal	0,2963	0,0832	0,2131	0,3795
Número de vanos - x	-	11,0000	0,0000	11,0000	11,0000
Longitud vanos - x	Normal	3,0075	0,4472	2,5602	3,4547
Número de pisos	-	2,0000	0,0000	2,0000	2,0000
Altura entrepiso	Lognormal	2,9456	0,1049	2,8407	3,0505
Espesor de losa	Normal	0,2063	0,0417	0,1645	0,2480

Fuente: El autor

3.1.3 Categoría 3

Estructuras de 6 plantas y 7 vanos en el sentido x, cuyo análisis se muestra en la Figura 18 a la Figura 23.

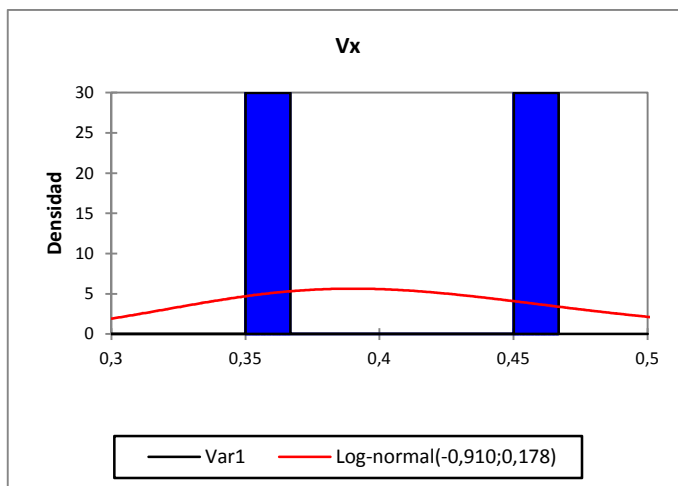


Figura 18. Sección de vigas, x - Distribución Lognormal

Fuente: El autor

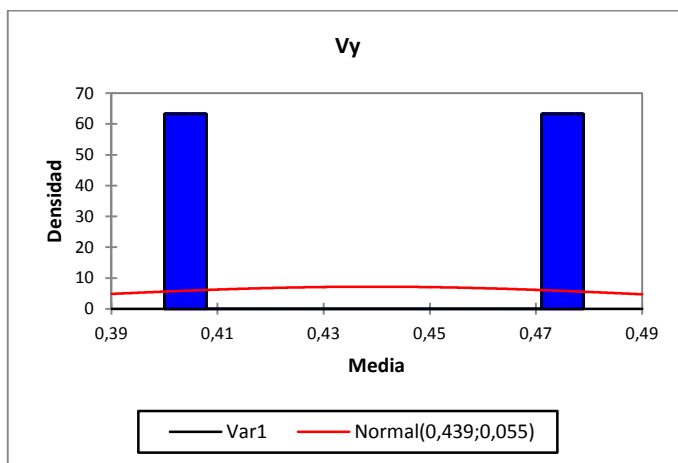


Figura 19. Sección de vigas, y - Distribución Normal

Fuente: El autor

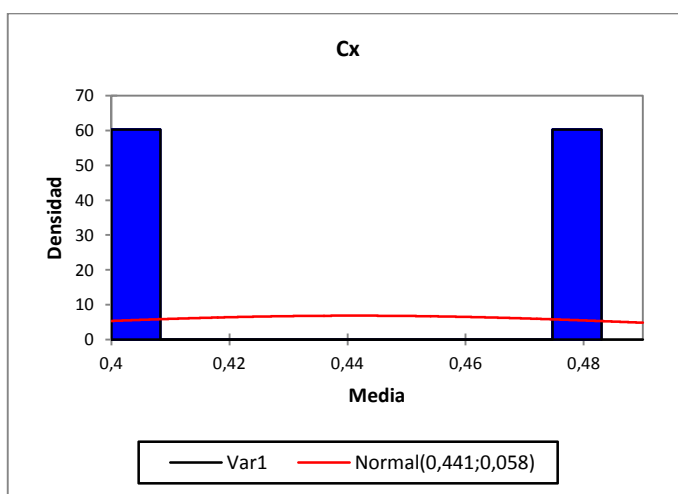


Figura 20. Sección de columnas, x - Distribución Normal

Fuente: El autor

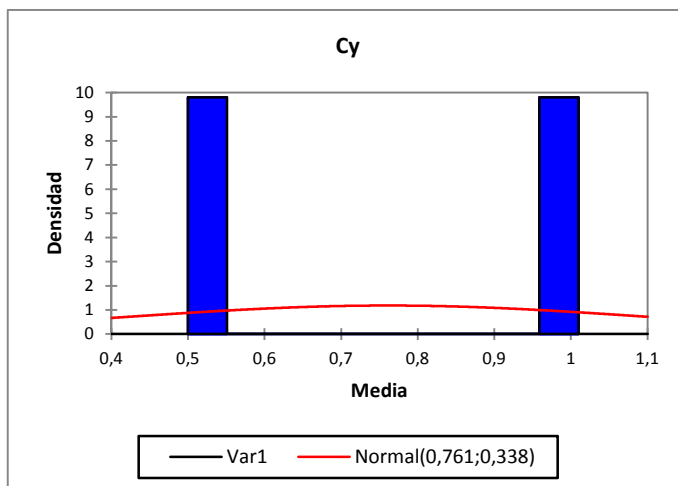


Figura 21. Sección de columnas, y - Distribución Normal

Fuente: El autor

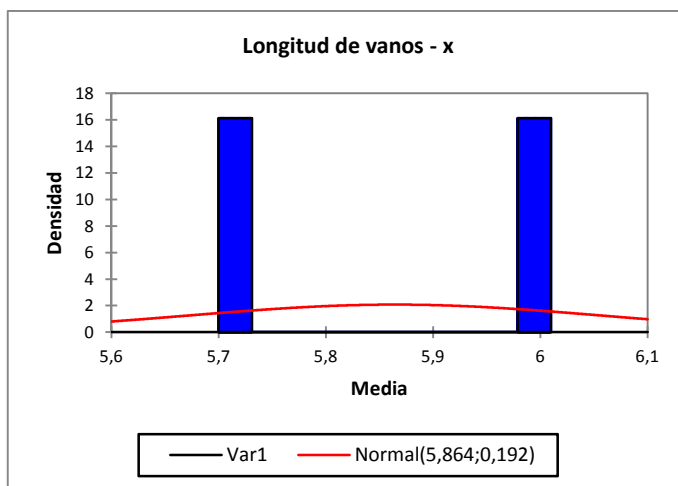


Figura 22. Longitud de vanos, x - Distribución Normal

Fuente: El autor

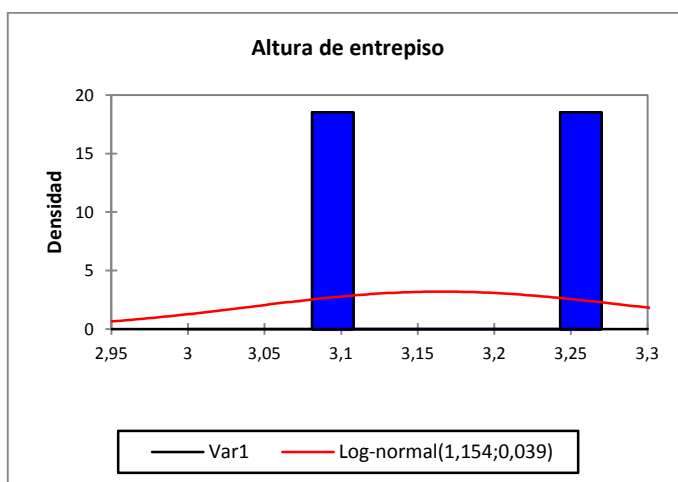


Figura 23. Altura de entrepiso - Distribución Lognormal

Fuente: El autor

En la Tabla 19 se detallan los resultados obtenidos.

El pórtico que se toma como modelo tiene 6 pisos y 7 vanos en el sentido x.

Tabla 19. Resumen de datos - Categoría 3

Descripción	Distribución	Media	Desviación Estándar	A	B
Base viga - vx	Lognormal	0,4090	0,0736	0,3354	0,4826
Altura viga - vy	Normal	0,4390	0,0554	0,3836	0,4944
Ancho columna - cx	Normal	0,4410	0,0583	0,3827	0,4993
Ancho columna - cy	Normal	0,7610	0,3379	0,4231	1,0989
Número de vanos - x	-	7,0000	0,0000	7,0000	7,0000
Longitud vanos - x	Normal	5,8640	0,1919	5,6721	6,0559
Número de pisos	-	6,0000	0,0000	6,0000	6,0000
Altura entrepiso	Lognormal	3,1730	0,1251	3,0479	3,2981
Espesor de losa	-	0,3000	0,0000	0,3000	0,3000

Fuente: El autor

3.1.4 Categoría 4

Al igual que la categoría 1, abarca edificaciones de 2 pisos y 4 vanos, pero esta categoría tiene edificios nuevos por lo que las características del acero y del hormigón son distintas.

Los resultados de análisis estadístico se muestran en la Figura 24 a la Figura 30.

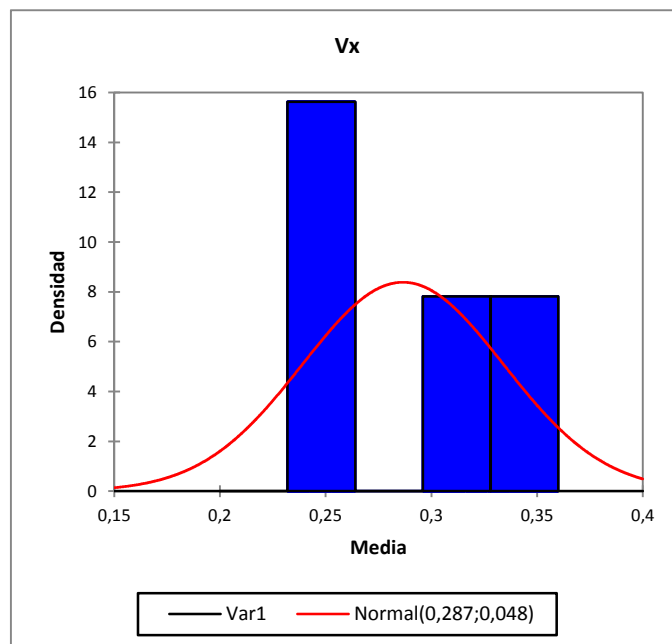


Figura 24. Sección de vigas, x - Distribución Normal

Fuente: El autor

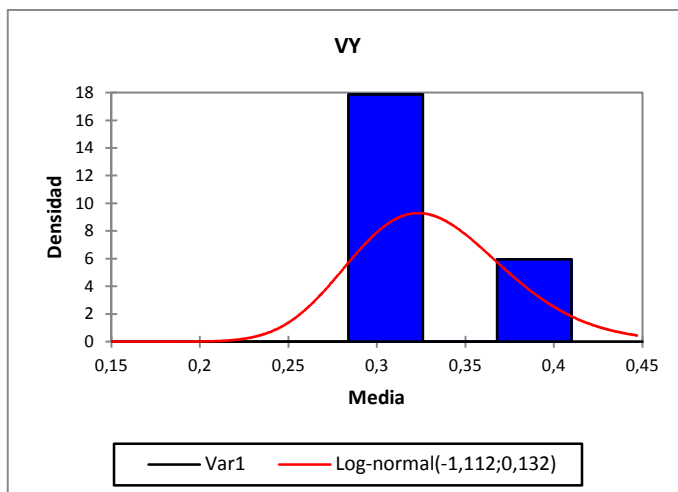


Figura 25. Sección de vigas, y - Distribución Lognormal

Fuente: El autor

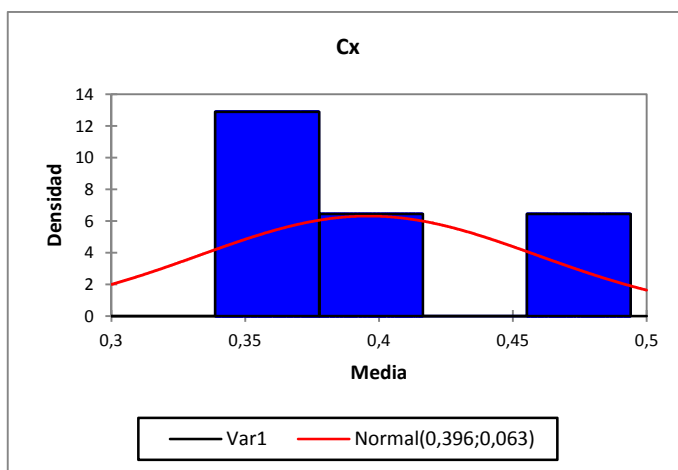


Figura 26. Sección de columnas, x - Distribución Normal

Fuente: El autor

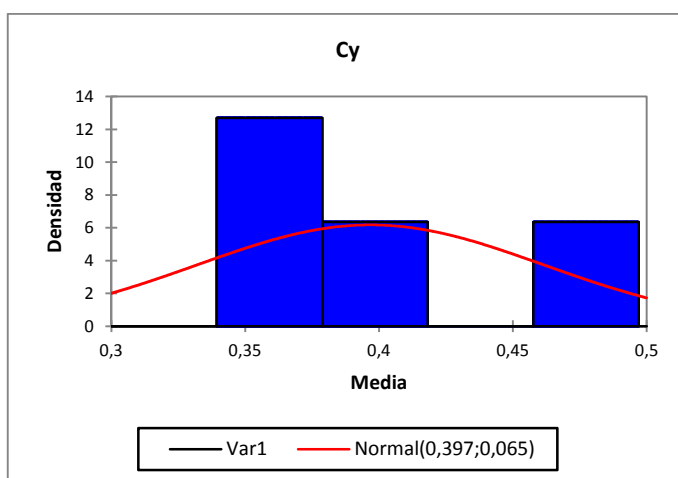


Figura 27. Sección de columnas, y - Distribución Normal

Fuente: El autor

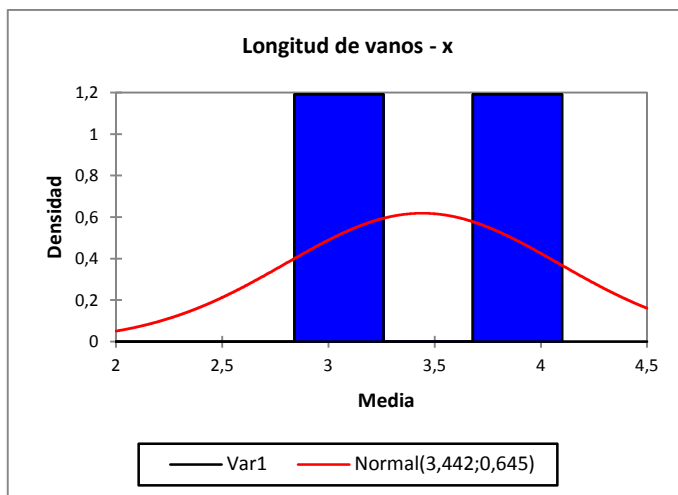


Figura 28. Longitud de vanos, x - Distribución Normal

Fuente: El autor

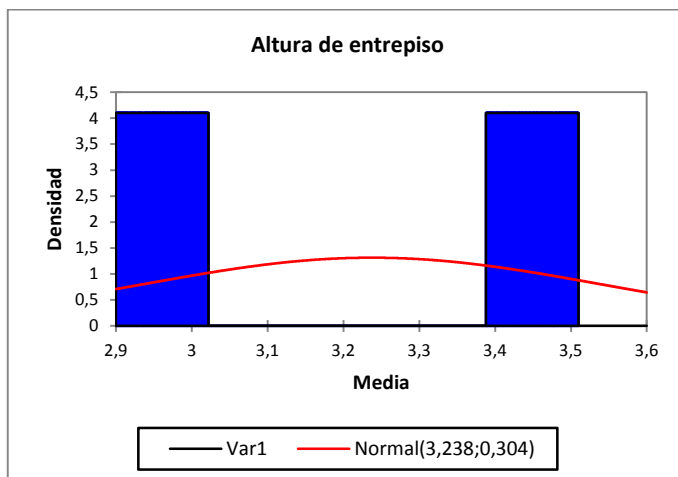


Figura 29. Altura de entrepiso - Distribución Normal

Fuente: El autor

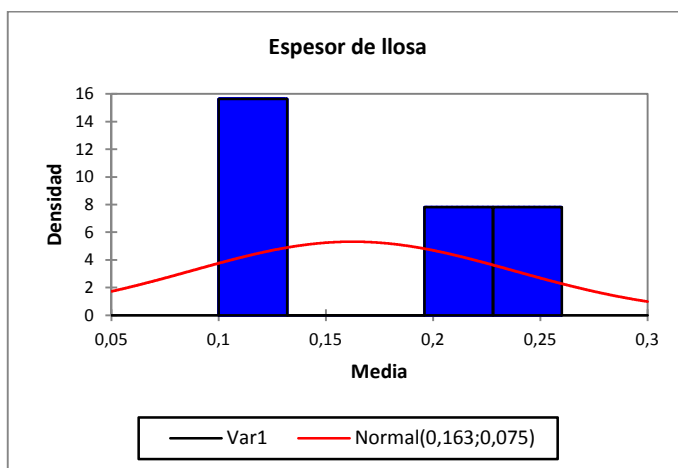


Figura 30. Espesor de losa - Distribución Normal

Fuente: El autor

En la Tabla 20 se detallan los resultados obtenidos. El pórtico que se toma como modelo, al igual que la categoría 1 tiene 2 pisos y 4 vanos en el sentido x.

Tabla 20. Resumen de datos - Categoría 4

Descripción	Distribución	Media	Desviación Estándar	A	B
Base viga - vx	Normal	0,2870	0,0476	0,2394	0,3346
Altura viga - vy	Lognormal	0,3320	0,0476	0,2844	0,3796
Ancho columna - cx	Normal	0,3960	0,0632	0,3328	0,4592
Ancho columna - cy	Normal	0,3970	0,0632	0,3338	0,4602
Número de vanos - x	-	4,0000	0,0000	4,0000	4,0000
Longitud vanos - x	Normal	3,4420	0,6447	2,7973	4,0867
Número de pisos	-	2,0000	0,0000	2,0000	2,0000
Altura entrepiso	Normal	3,2380	0,3038	2,9342	3,5418
Espesor de losa	Normal	0,1630	0,0750	0,0880	0,2380

Fuente: El autor

3.2 Modelación de estructuras.

Cuando se ha establecido las categorías y se han definido las características dentro de cada una de ellas se procede a modelarlas, para esto se trabaja con un código realizado en Matlab que a partir de los datos que se introducen de cada categoría, genera 50 modelos aleatorios con las características propias de cada categoría en OpenSees (Open System for Earthquake Engineering Simulation), software que ha sido promovido por el Pacific Earthquake Engineering Simulation a través de la Fundación Nacional de Ciencia de los Estados Unidos. OpenSees permite realizar un análisis estático, análisis Pushover y el análisis dinámico, de esta forma se obtiene el período de los edificios, sus derivas y desplazamientos máximos, que sirven como base para el análisis de desempeño.

Se requiere además de los registros sísmicos a los que se someterán los edificios aleatorios que determinarán el comportamiento de los mismos, para lo cual se busca 20 registros de sismos con las características que se mencionan enseguida.

De acuerdo al mapa de actividad sísmica del Ecuador del Departamento de Estudios Geológicos de los Estados Unidos – USGS (por sus siglas en inglés United State Geological Survey), Figura 30, en la provincia de Loja se han presentado sismos cuya magnitud varía entre los 5,5 y 6,5 grados en la escala de momento sísmico, este es un parámetro de búsqueda.

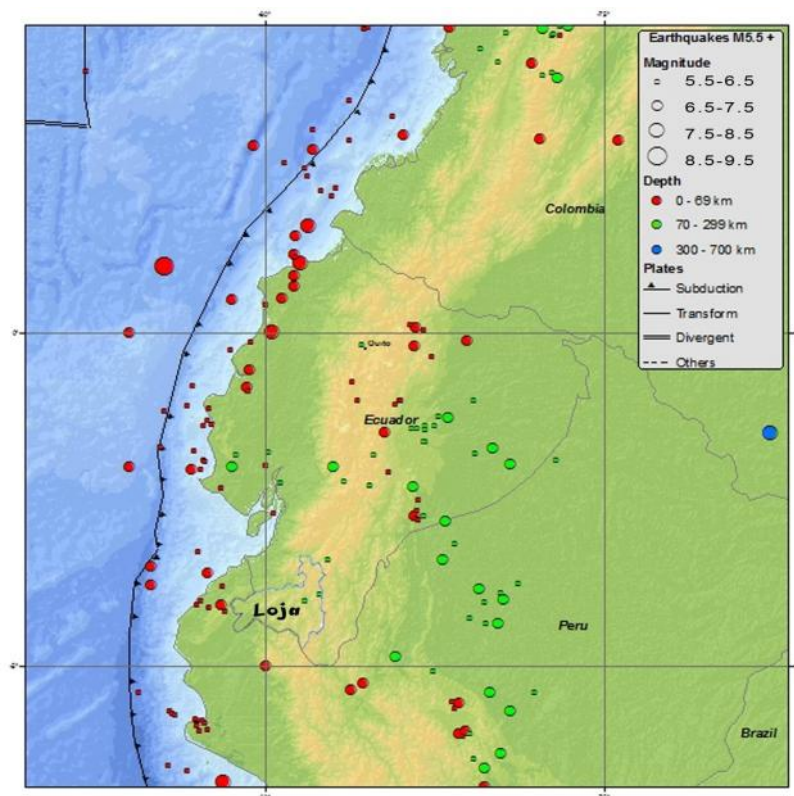


Figura 31. Mapa de actividad sísmica del Ecuador.
Fuente: U.S. Geological Survey, 2012.

Tomando la base de datos del Centro de Investigación de Ingeniería Sísmica del Pacífico (PEER – Pacific Earthquake Engineering Research Center), se obtiene el registro de 20 sismos reales, que además del rango de magnitud antes mencionado, también se considera la transmisión de las ondas de corte a través del suelo en los 30 primeros metros para la ciudad de Loja, que se encuentran en un intervalo de $V_{s30} = 350 - 800$ m/s. (Castillo, 2013)

En base a lo mencionado antes se ingresa a la base de datos del PEER (<http://peer.berkeley.edu/nga/>) y se obtiene los 20 registros sísmicos con los que se trabaja; en la Tabla 21 se detallan las características de los mismos:

Tabla 21. Registros de sismos seleccionados del PEER, 2013.

N°	Nombre del sismo	Fecha	Magnitud	V_{s30} (m/s)	R_{epic} (km)	PGA (g)
1	Helena, Montana-01	31/10/1935 18:38	6	659,6	6,31	0,1674
2	Parkfield	28/06/1966 4:26	6,19	408,9	36,18	0.0597
3	Oroville	01/08/1975 20:20	5,89	622,9	12,58	0,0773
4	Coyote Lake	06/08/1979 17:05	5,74	597,1	7,95	0,2179
5	Livermore	24/01/1980 19:00	5,8	517,1	30,82	0,0643
6	Mammoth Lakes	25/05/1980 16:34	6,06	370,8	10,91	0,2818
7	Victoria, Mexico	09/06/1980 3:28	6,33	659,6	33,73	0,5722

Continúa...

...Sigue

8	Westmorland	26/04/1981 12:09	5,9	362,4	25,02	0,101
9	Coalinga	02/05/1983 23:42	6,36	408,9	66,64	0,0445
10	Morgan Hill	24/04/1984 21:15	6,19	488,8	16,67	0,3426
11	Round Valley	23/11/1984 18:08	5,82	359,2	21,93	0,1091
12	N. Palm Springs	08/07/1986 9:20	6,06	684,9	46,17	0,1214
13	Chalfant Valley	21/07/1986 14:42	6,19	359,2	32,49	0,076
14	Baja California	07/02/1987 3:45	5,5	659,6	3,69	1,2697
15	Whittier Narrows	01/10/1987 14:42	5,99	550	6,77	0,388
16	Big Bear	28/06/1992 15:06	6,46	379,3	48,33	0,0636
17	Upland	28/02/1990	5,63	659,6	75,33	0,0208
18	Sierra Madre	28/06/1991	5,61	370,8	12,64	0,3276
19	Northridge	17/01/1994 12:32	6,05	446	43,35	0,013
20	Little Skull Mtn	29/06/1992	5,65	659,6	30,17	0,0999

Fuente: (PEER, 2013)

3.2.1 Consideraciones para el análisis estructural - Capacidad

3.2.1.1 Geometría.

Se ingresan las características geométricas para cada categoría según el análisis estadístico realizado, se genera de manera aleatoria, conforme el tipo de distribución y los valores de la media y la desviación, un grupo de 50 edificios que se encuentran dentro del rango establecido y que serán representativos de cada categoría.

3.2.1.2 Materiales.

3.2.1.2.1 Concreto

Para realizar el modelo en OpenSees se trabaja con los siguientes modelos de materiales:

- **Concreto confinado – Concrete04.-** Se usa para construir un material uniaxial con degradación lineal de rigidez carga – descarga de acuerdo con el trabajo de Karsan – Jirsa. Este material considera además un esfuerzo a tensión con un descenso exponencial. (Karsan & Jirsa, 1969)
- **Concreto no confinado - Concrete01.-** Corresponde a un concreto que no posee resistencia a la tensión. Es un modelo propuesto por Kent – Scott – Park(1971) con degradación lineal de rigidez carga – descarga de acuerdo con el trabajo de Karsan – Jirsa (Karsan & Jirsa, 1969)

En la Figura 32 se muestra el diagrama de esfuerzo vs. deformación del Concrete01.

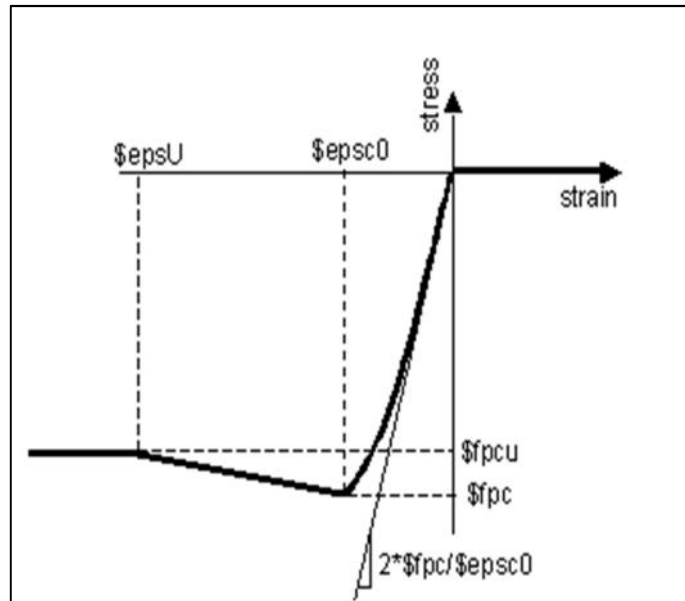


Figura 32. Diagrama Esfuerzo - Deformación Concrete01
Fuente: Manual de Usuario de OpenSees

El peso volumétrico del hormigón se toma como 2.55 Ton/m^3 . La resistencia a la compresión del hormigón se adopta como 19 MPa con una desviación estándar de 1 MPa , considerando que para cada tipología hay un grupo de edificios y que la resistencia varía, por lo que se asume como un valor medio en base a la investigación realizada en el norte de la ciudad de Loja sobre la resistencia a la compresión del hormigón que establece un valor promedio de 11 MPa , “Los ensayos de resistencia, de los elementos estructurales fundidos, indican que estos no cumplen con la resistencia especificada por el código ACI ya que la resistencia a la compresión promedio de los 100 elementos es de 111.22 Kg/cm^2 , por lo tanto, la mayoría de las construcciones del sector Norte de la ciudad de Loja no cumplen con las especificaciones de diseño y no garantizan calidad y seguridad en sus estructuras”. (Angamarca, 2012), pero no se adopta un valor tan bajo debido a que al tratarse de edificaciones de mayor importancia se tiene un mejor control sobre la calidad de los materiales, sin embargo por lo citado se indica que no se cumple con las especificaciones técnicas y que existe falta de control en las construcciones. No se pudo realizar extracción de núcleos ya que al tratarse de edificios públicos y privados no se autorizó este proceso, sumado al gran número de edificios considerado.

3.2.1.2.2 Acero

Para la modelación de las categorías se trabaja con:

- **Acero – Steel01.**- Este tipo de material representa acero con propiedades esfuerzo – deformación que siguen un diagrama bilineal con endurecimiento cinemático y endurecimiento isotrópico opcional descrito por una ecuación no lineal.

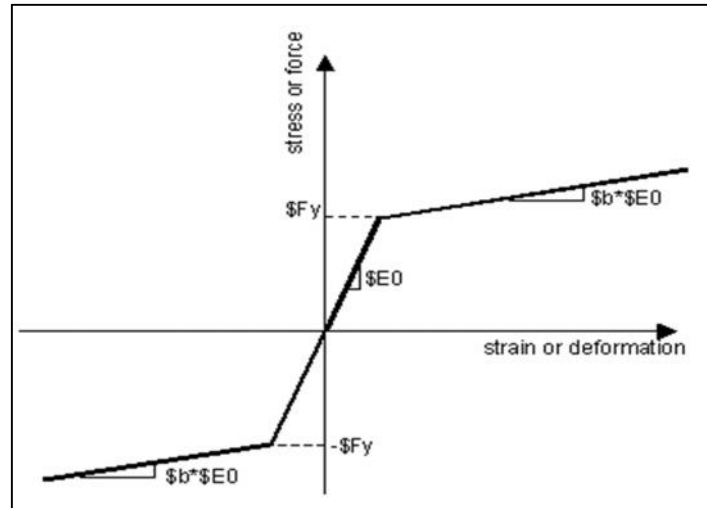


Figura 33. Diagrama Esfuerzo - Deformación Steel01
Fuente: Manual de Usuario de OpenSees

En relación al acero se toma un módulo de elasticidad de 210000 MPa, mientras que el límite de fluencia se determina para cada categoría considerando la antigüedad de los edificios que se encuentran en las mismas, por lo general se toma un límite de fluencia de 280 MPa debido a que los edificios esenciales son muy antiguos y se asume que fueron construidos con acero de $f_y = 280 \text{ MPa}$ (Categoría 1, 2 y 3) a excepción de la Categoría 4 que tiene edificios nuevos en los que se sabe con certeza que el acero es de $f_y = 420 \text{ MPa}$.

3.2.1.3 Análisis Estático

Para el análisis estático se utiliza la combinación de carga para el diseño por el método de esfuerzos de trabajo, según en NEC (NEC, 2011).

$$D + L$$

Donde:

D = Carga muerta.

L = Carga viva.

3.2.1.4 Análisis Pushover

Este análisis lleva a cada uno de estos edificios hasta su máxima capacidad (fallo), obteniendo así una curva de capacidad para cada edificio creado aleatoriamente, que representa el cortante basal y el máximo desplazamiento. La curva de capacidad se

transforma a un nuevo formato por medio del cambio de los ejes a una curva de aceleración espectral, S_a vs. desplazamiento espectral, S_d . Para realizar este cambio se supone que la estructura está gobernada por un solo modo, el modo correspondiente al período fundamental. (Cocco, Suárez, & Ruiz, 2010). A este conjunto de curvas se las conoce como espectro de capacidad. A cada curva se la representa bilinealmente, mediante un proceso iterativo que consiga igualar las áreas bajo la curva de la curva de capacidad con la de la curva bilineal. En el análisis Pushover se somete a los pórticos de análisis a una fuerza lateral que se aplica en todos los nudos usando una distribución de fuerzas rectangular. La fuerza que se aplica es de 25000 N.

Además a cada uno de estos grupos se los somete a un análisis modal para determinar los modos de vibración y su período fundamental.

Una vez que se obtiene la curva bilineal para cada edificio, se requiere obtener una que represente a la categoría, se la calcula obteniendo un promedio de todas las curvas generadas. Los resultados de las curvas bilineales para cada categoría desde la 1 a la 4 se muestran desde la Figura 34 a la Figura 37; mientras que en la curva bilineal promedio de la cada categoría se detallan de la Figura 38 a la Figura 41.

3.2.1.5 Curva Bilineal – Categoría 1

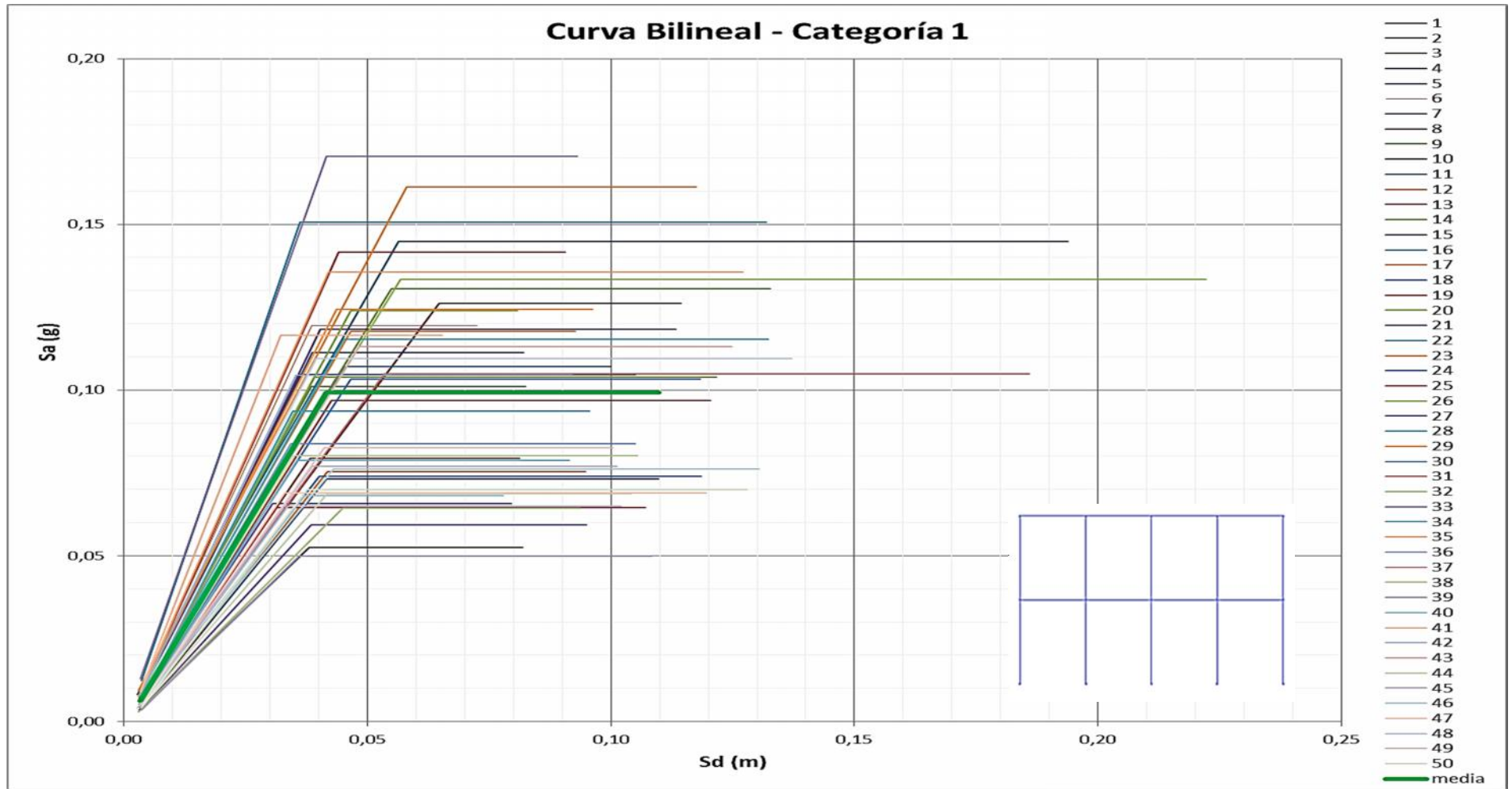


Figura 34. Curvas Bilineales - Categoría 1

Fuente: El autor

3.2.1.6 Curva Bilineal – Categoría 2

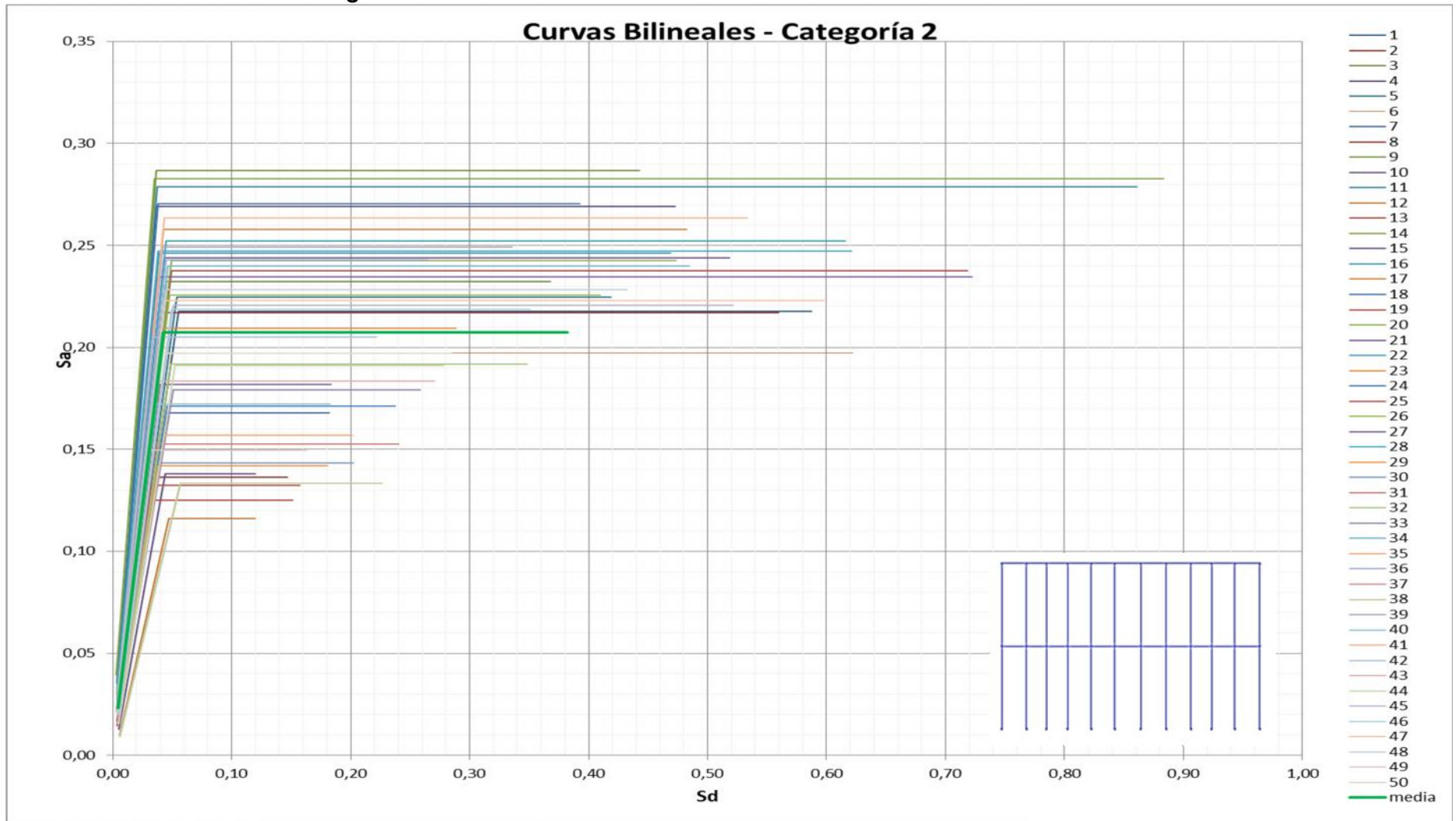


Figura 35. Curvas Bilineales - Categoría 2

Fuente: El autor

3.2.1.7 Curva Bilineal – Categoría 3

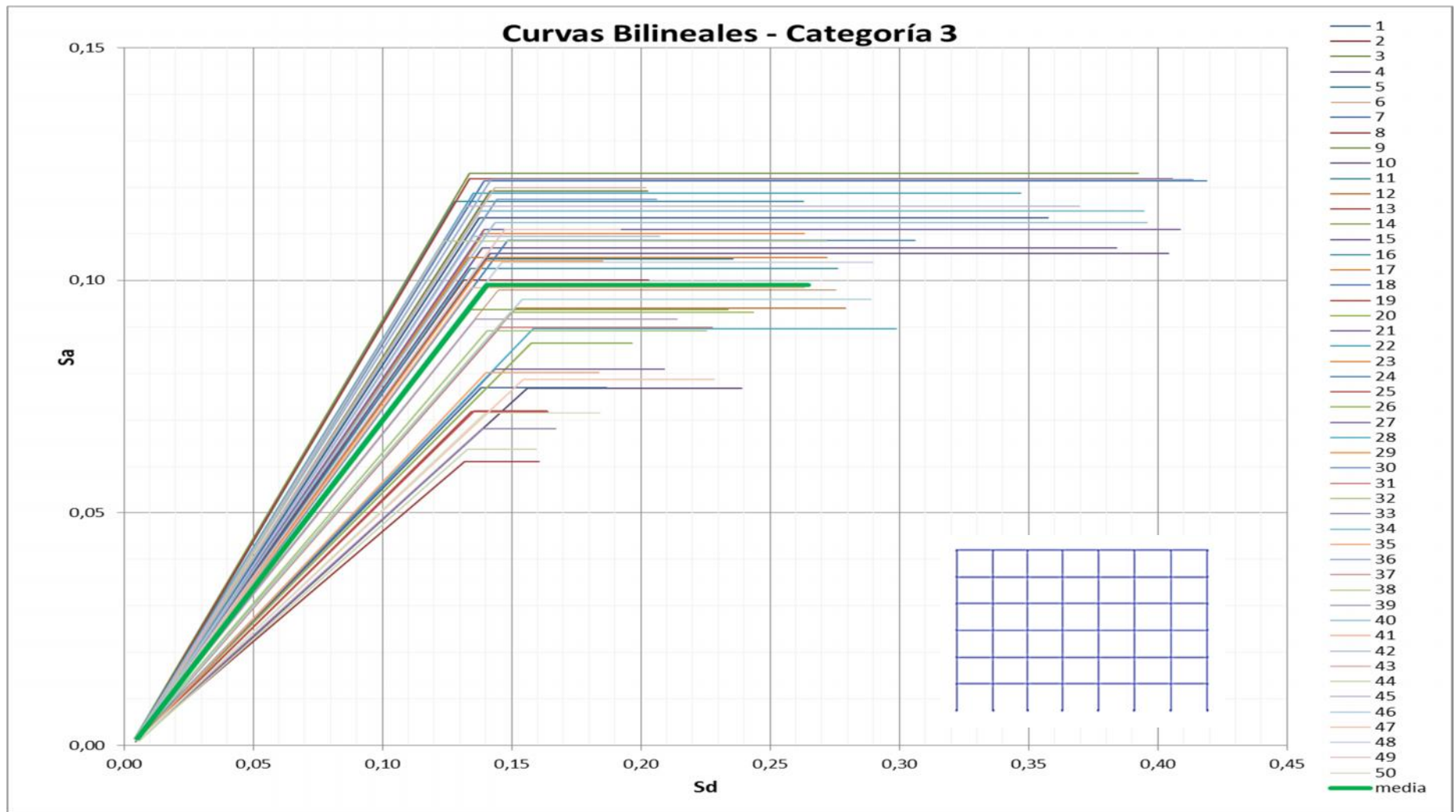


Figura 36. Curvas Bilineales - Categoría 3

Fuente: El autor

3.2.1.8 Curva Bilineal – Categoría 4

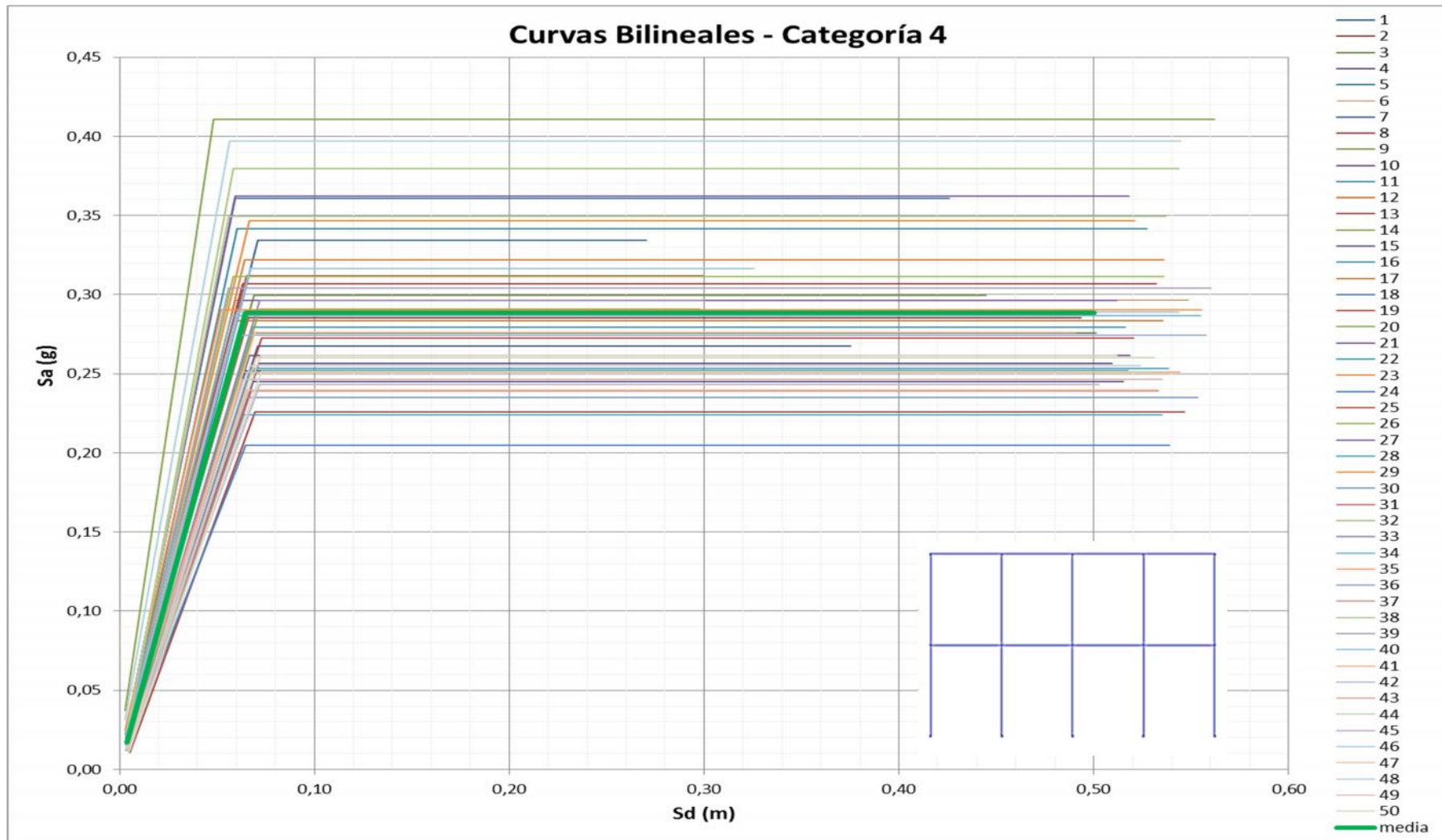


Figura 37. Curvas Bilineales - Categoría 4

Fuente: El autor

3.2.1.9 Curva Bilineal Promedio – Categoría 1

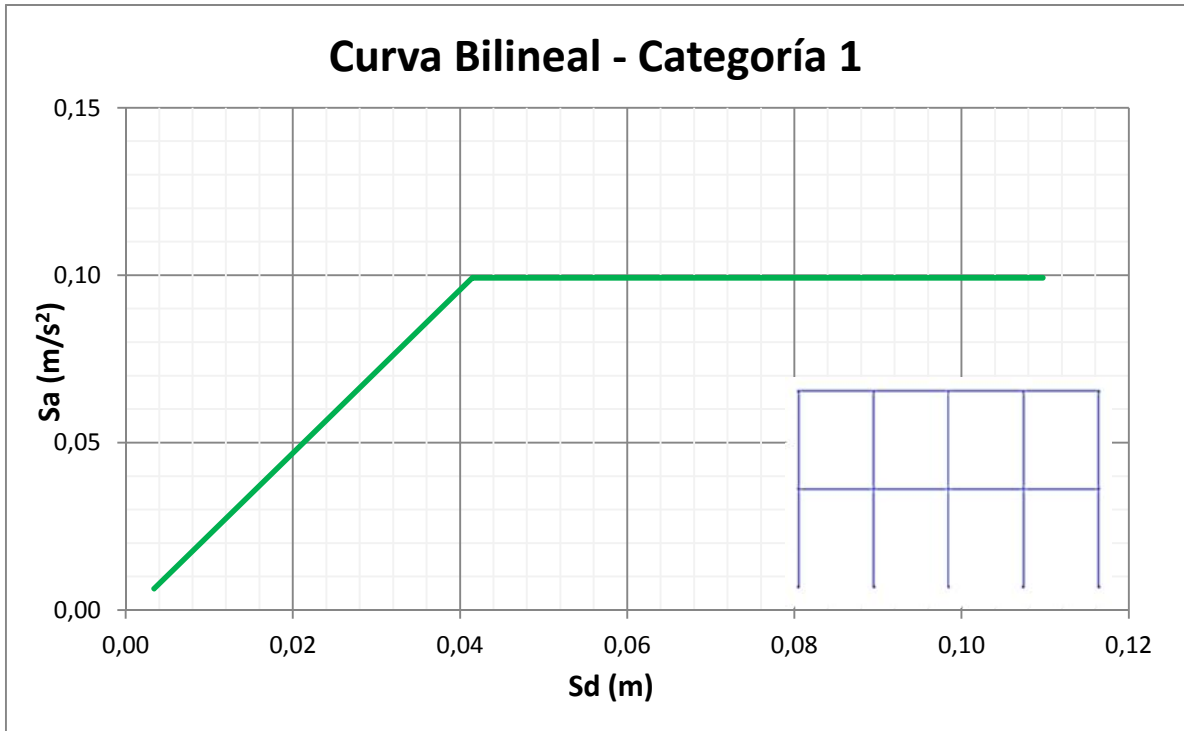


Figura 38. Curva Bilineal Promedio - Categoría 1

Fuente: El autor

3.2.1.10 Curva Bilineal Promedio – Categoría 2

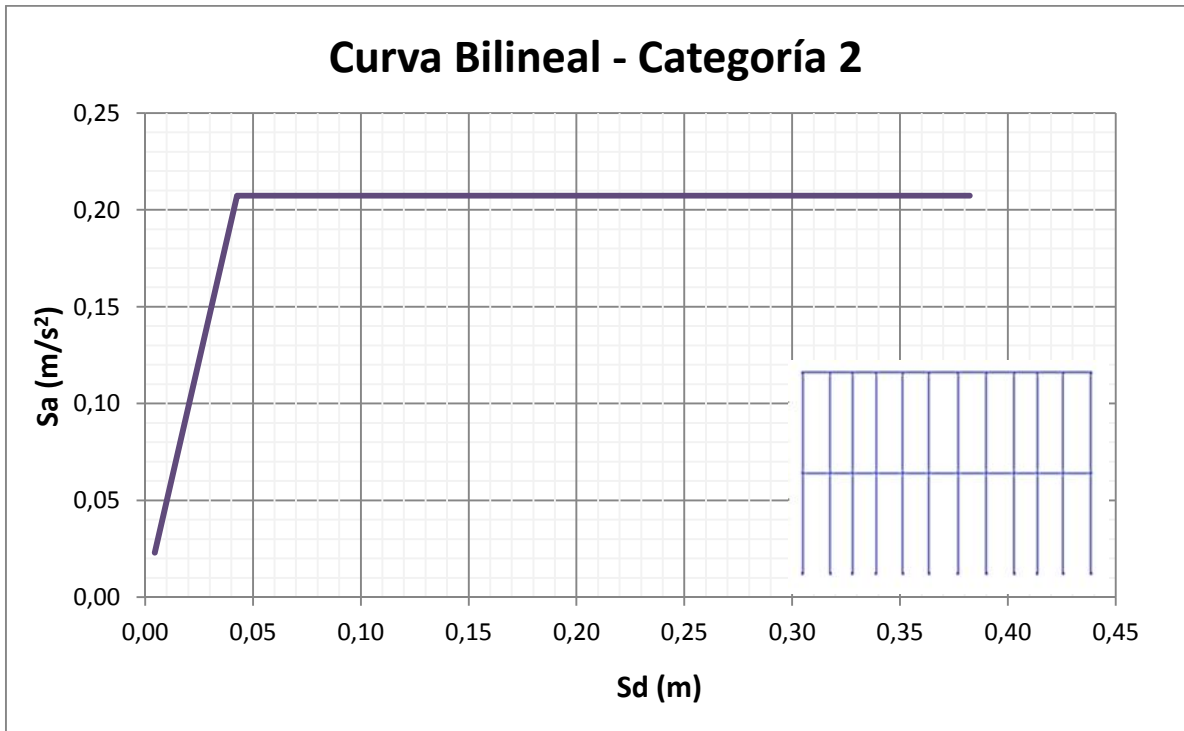


Figura 39. Curva Bilineal Promedio - Categoría 2

Fuente: El autor

3.2.1.11 Curva Bilineal Promedio – Categoría 3

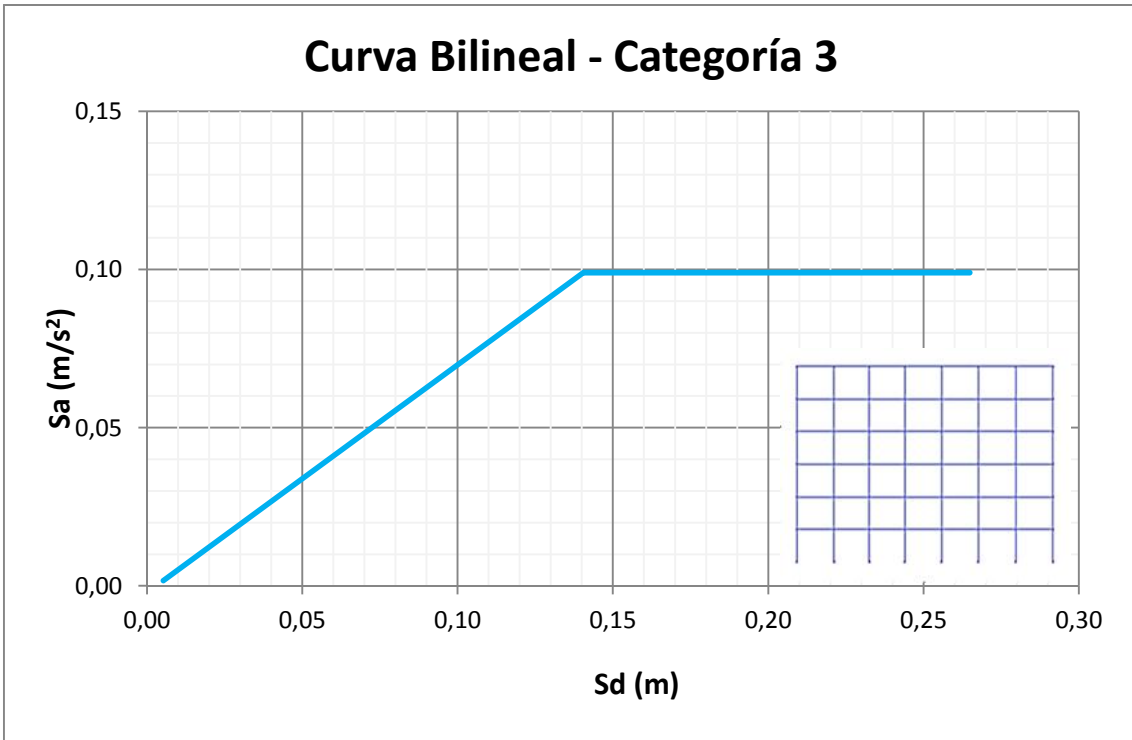


Figura 40. Curva Bilineal Promedio - Categoría 3

Fuente: El autor

3.2.1.12 Curva Bilineal Promedio – Categoría 4

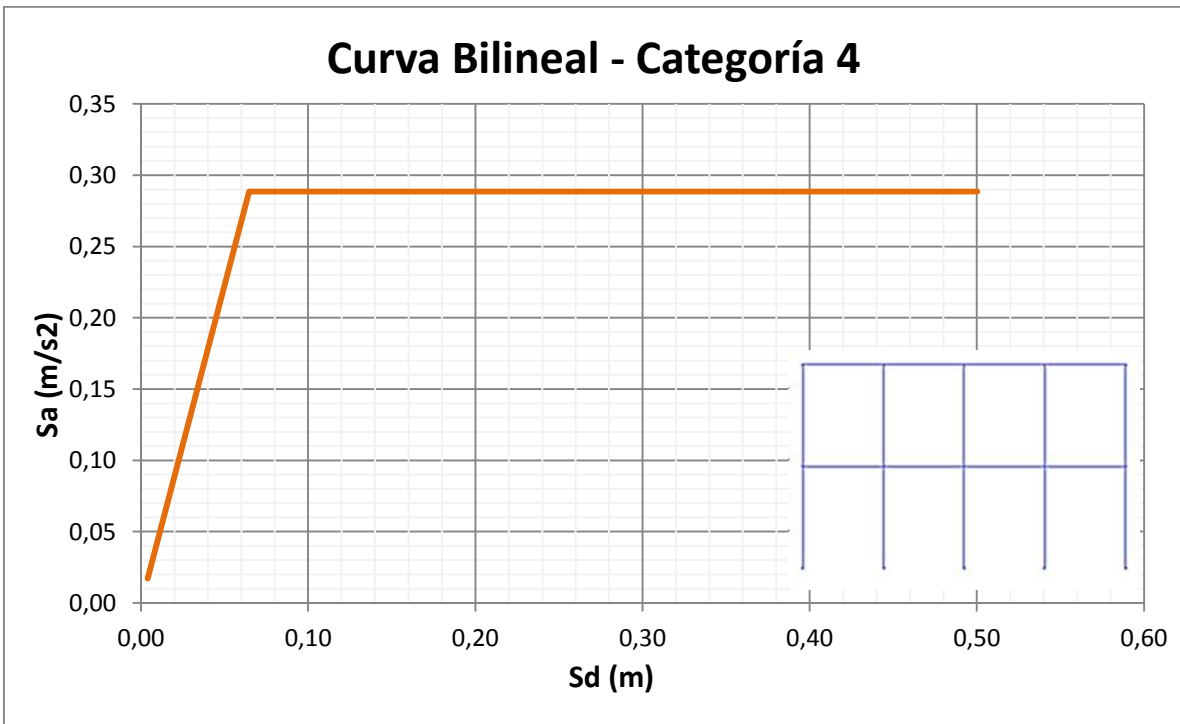


Figura 41. Curva Bilineal Promedio - Categoría 4

Fuente: El autor

Tendremos de esta forma la capacidad de las categorías, ahora se trabaja en la demanda sísmica.

3.2.2 Consideraciones para el análisis estructural - Demanda

La demanda sísmica se obtiene mediante la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2011), que establece el procedimiento para calcular el espectro de diseño de aceleraciones, el mismo que se lo calcula basado en las condiciones geológicas, tectónicas y del tipo de suelo, relacionadas con el lugar donde se apoya la estructura. Si bien el factor de zona sísmica de la ciudad de Loja, según el código NEC 2011 es de 0.25, correspondiente a una amenaza sísmica alta, para este proceso se ha considerado los valores del factor de zona que van desde 0.23 hasta 0.26, basándose en el mapa de microzonificación sísmica para Loja a nivel de roca (PRA), y considerando el mapa de variación de valores de V_{s30} de la ciudad de Loja de Castillo (Castillo, 2013), el perfil de suelo usado es el tipo C que abarca perfiles de suelos muy densos o roca blanda.

Con estos parámetros se obtiene los valores de F_a , F_d y F_s interpolando según el valor de z y el perfil de suelo; de esta manera se logra construir el espectro de demanda según las características del sitio.

Se construyen de esta forma 4 espectros de demanda, que se encuentran en Aceleración vs. Período, a estos se los transforma al formato S_a vs. S_d , así:

3.2.2.1 Espectro elástico de diseño, para $z = 0.23$

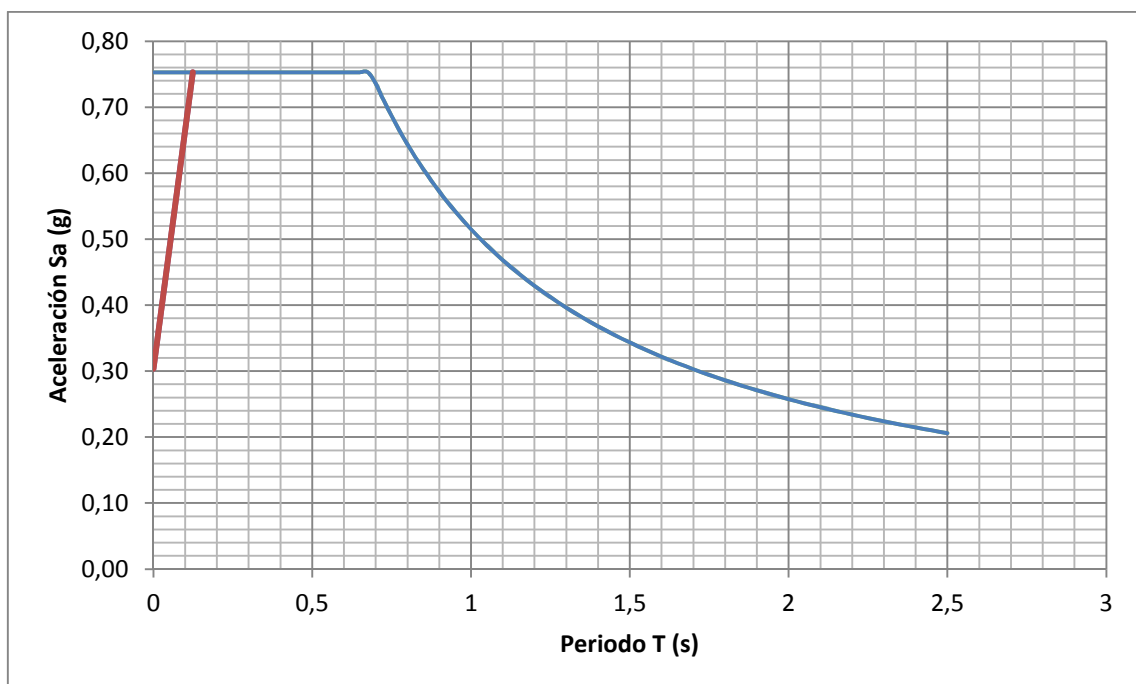


Figura 42. Espectro elástico de diseño, $z=0.23$.
Fuente: El autor

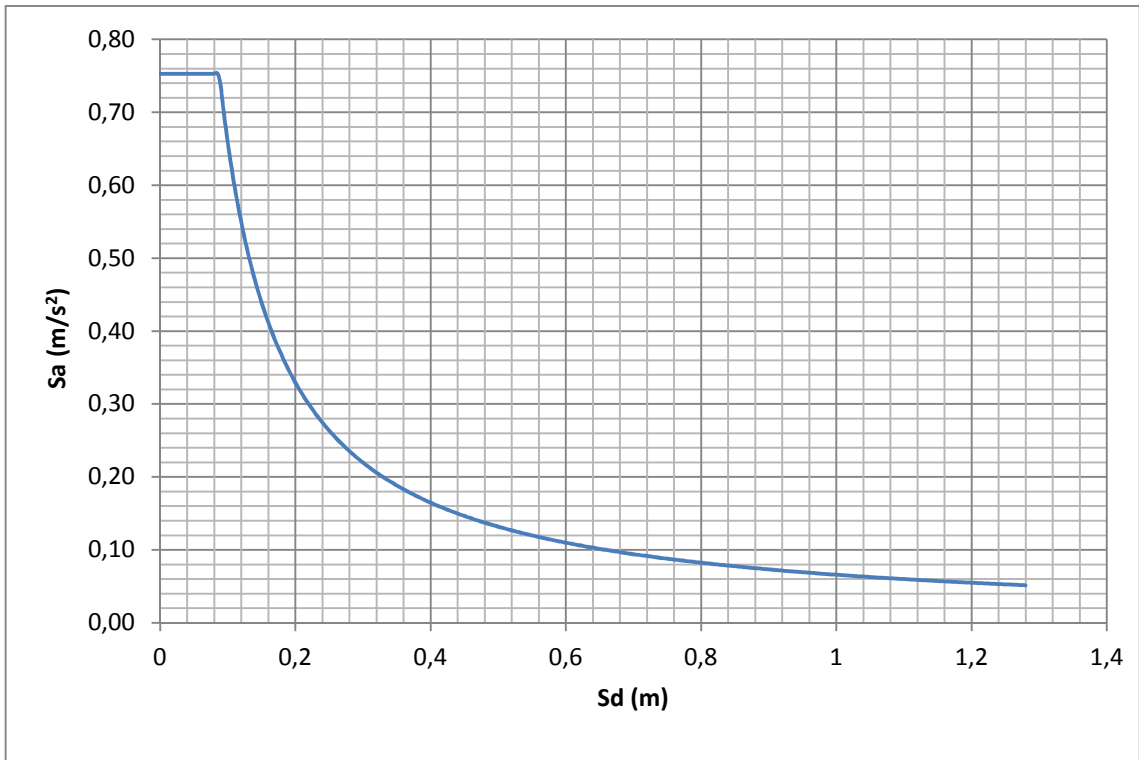


Figura 43. Espectro elástico de diseño, $z = 0.23$ (S_a vs. S_d).

Fuente: El autor

3.2.2.2 Espectro elástico de diseño, para $z = 0.24$.

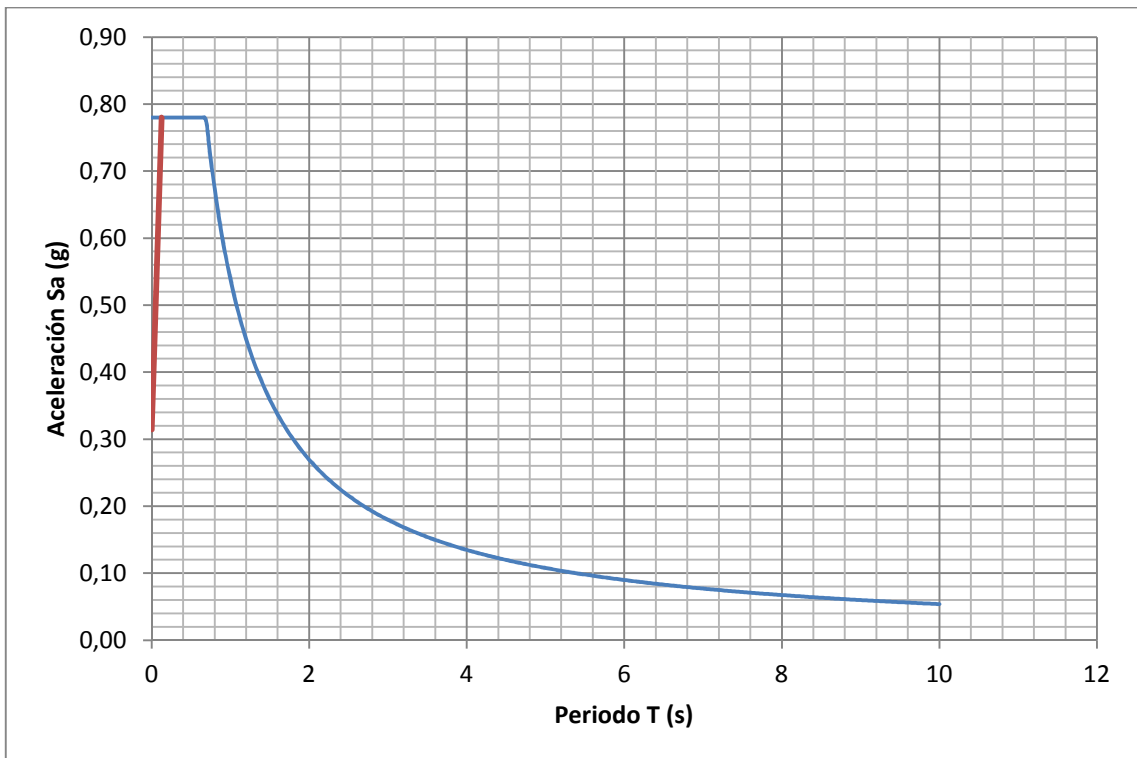


Figura 44. Espectro elástico de diseño, $z = 0.24$

Fuente: El autor

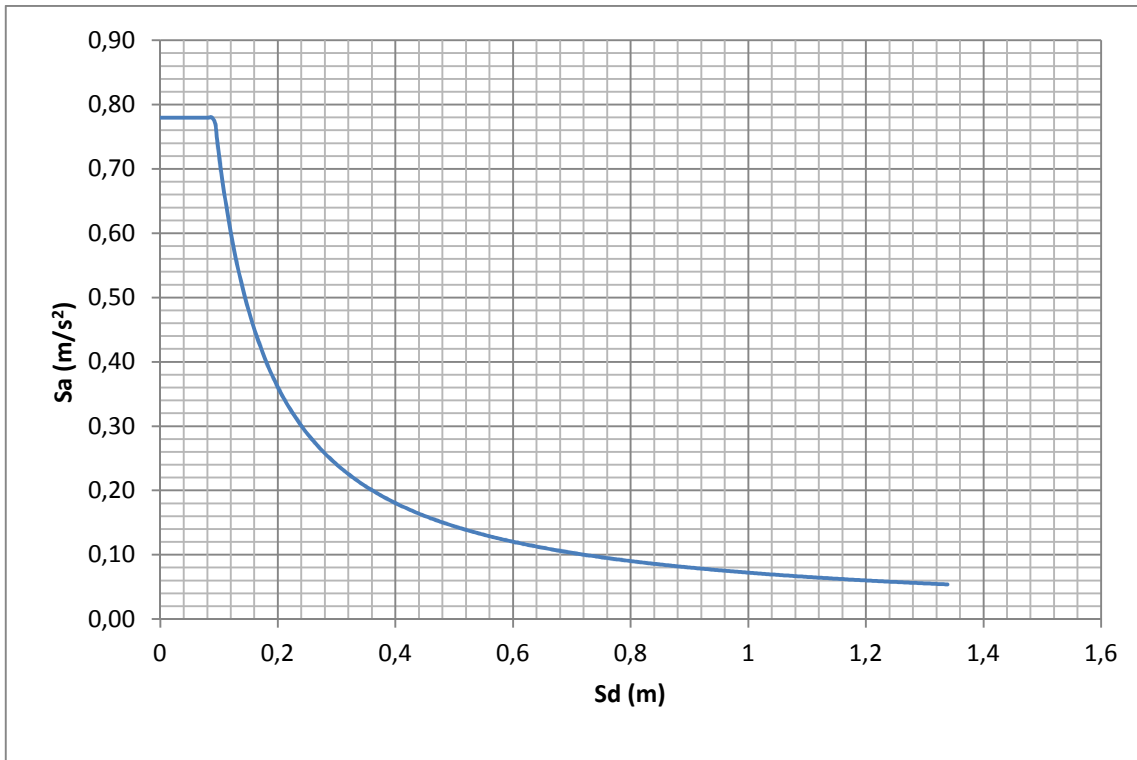


Figura 45. Espectro elástico de diseño, $z = 0.24$ (S_a vs. S_d)

Fuente: El autor

3.2.2.3 Espectro elástico de diseño, para $z = 0.25$.

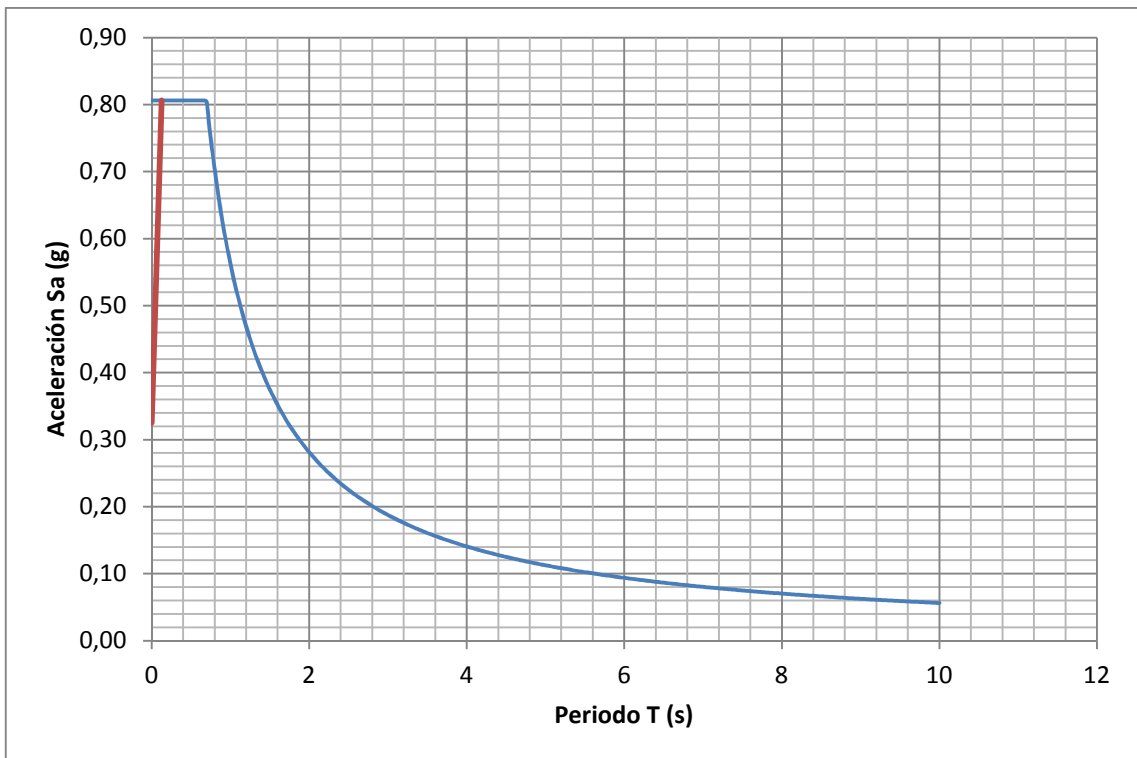


Figura 46. Espectro elástico de diseño, $z = 0.25$

Fuente: El autor

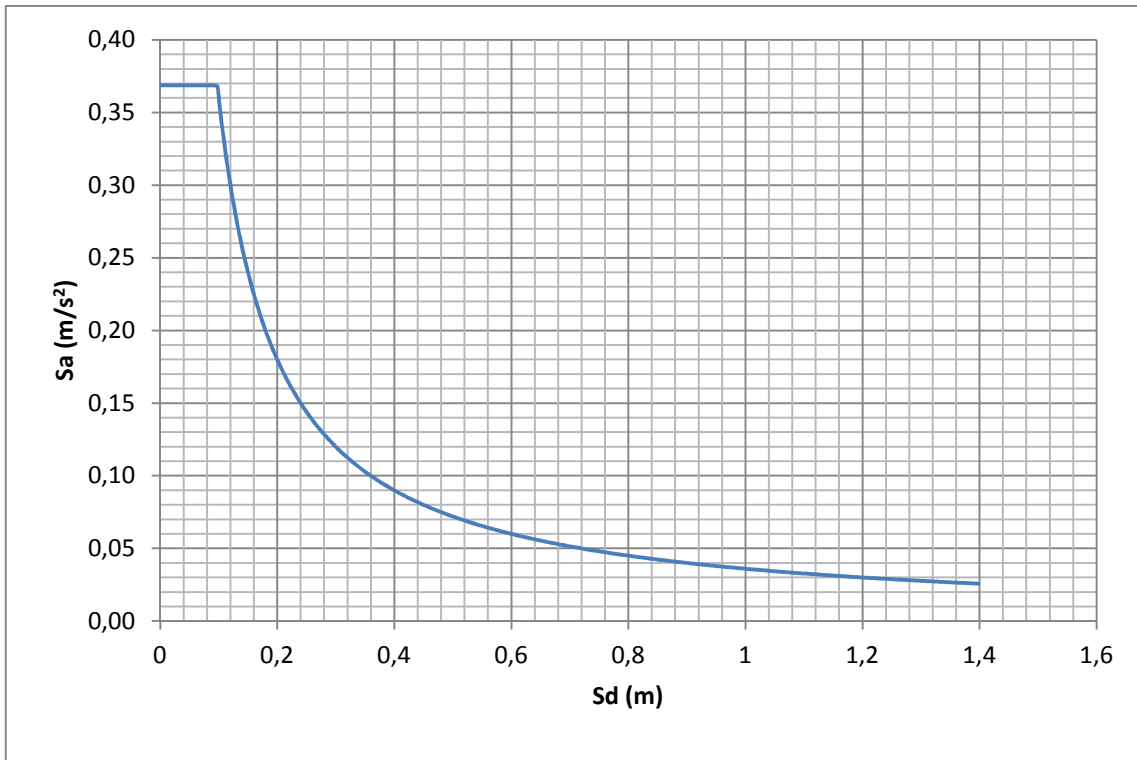


Figura 47. Espectro elástico de diseño, $z = 0.25$ (S_a vs. S_d)

Fuente: El autor

3.2.2.4 Espectro elástico de diseño, para $z = 0.26$.

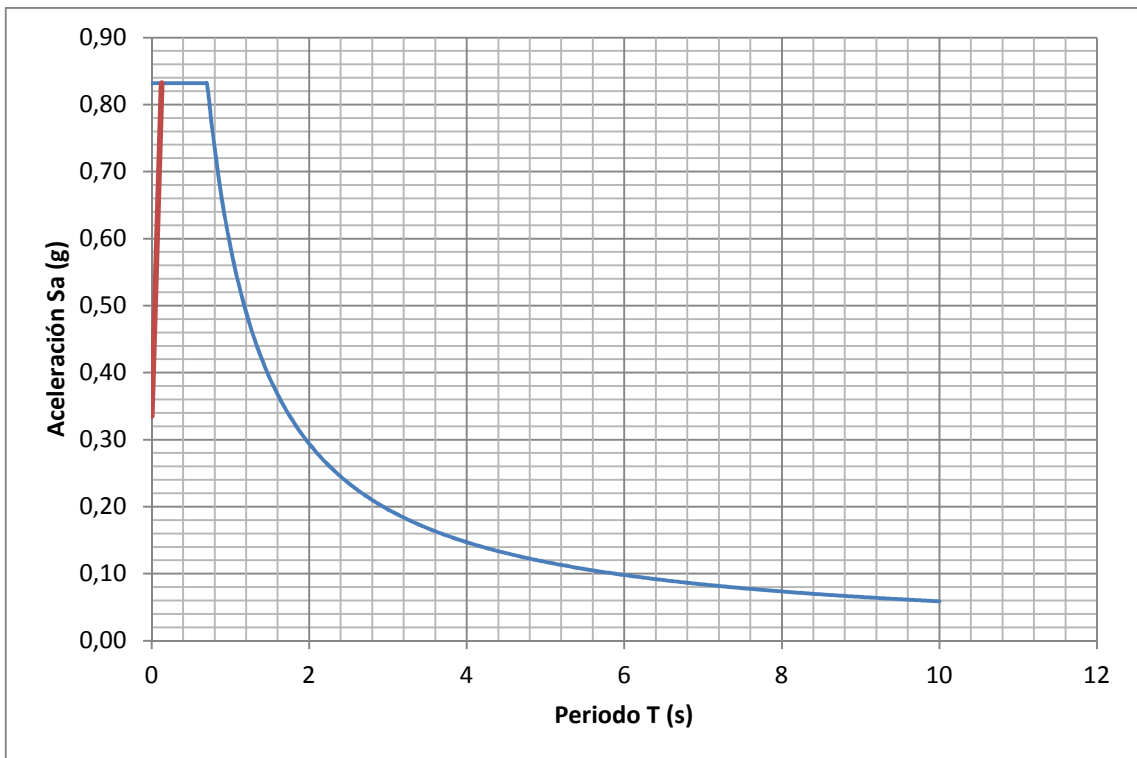


Figura 48. Espectro elástico de diseño, $z = 0.26$.

Fuente: El autor

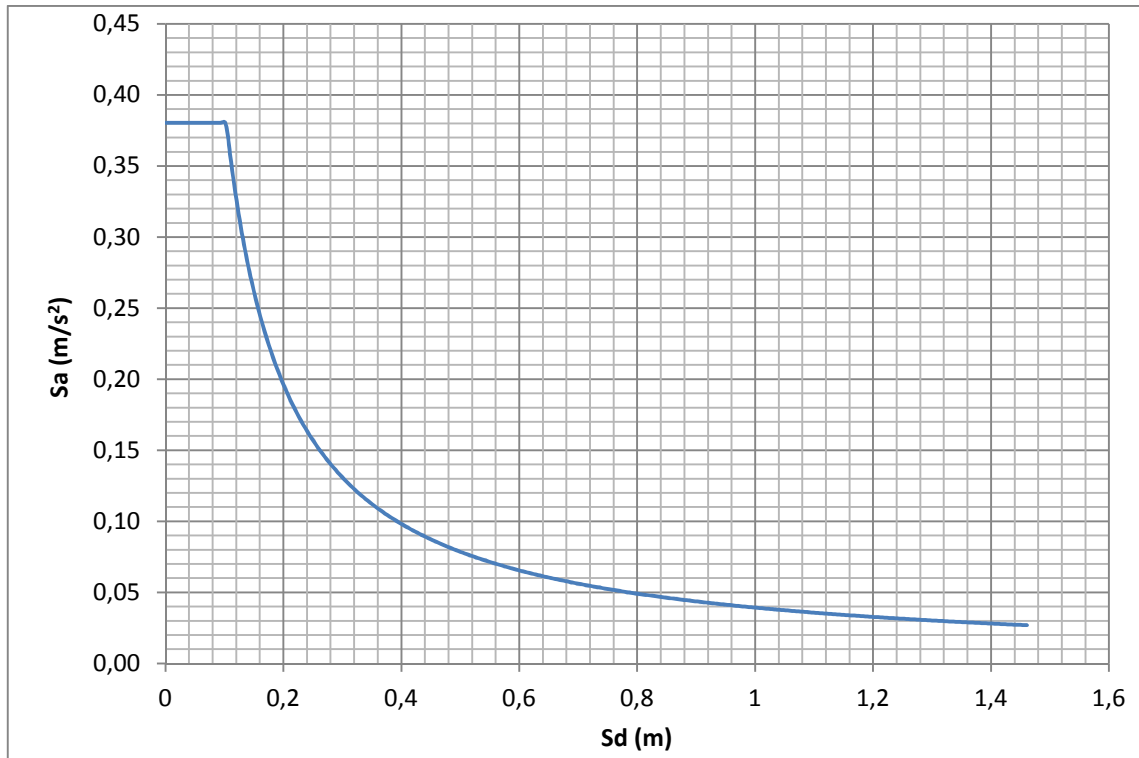


Figura 49. Espectro elástico de diseño, $z = 0.26$ (Sa vs. Sd)

Fuente: El autor

3.2.3 Punto de desempeño

Para este análisis de vulnerabilidad se estima el punto de desempeño de la categoría utilizando el método N2, que es el punto de intersección de la superposición del espectro de capacidad con la demanda sísmica, lo que permite entender mejor el comportamiento de una estructura sometida a movimientos sísmicos de diferente intensidad.

Este análisis se lo hace por cada categoría, tomando como base la curva bilineal de la categoría y los espectros de demanda de acuerdo a los valores de z de la misma.

3.2.3.1 Puntos de desempeño – Categoría 1

Se debe mencionar que para encontrar el punto de desempeño se debe reducir los espectros de demanda de acuerdo a la ductilidad, la misma que es igual a la relación entre el desplazamiento máximo y el desplazamiento en el límite de fluencia. Para la categoría 1 la ductilidad tiene un valor de 2.65, los resultados que se obtienen son los siguientes:

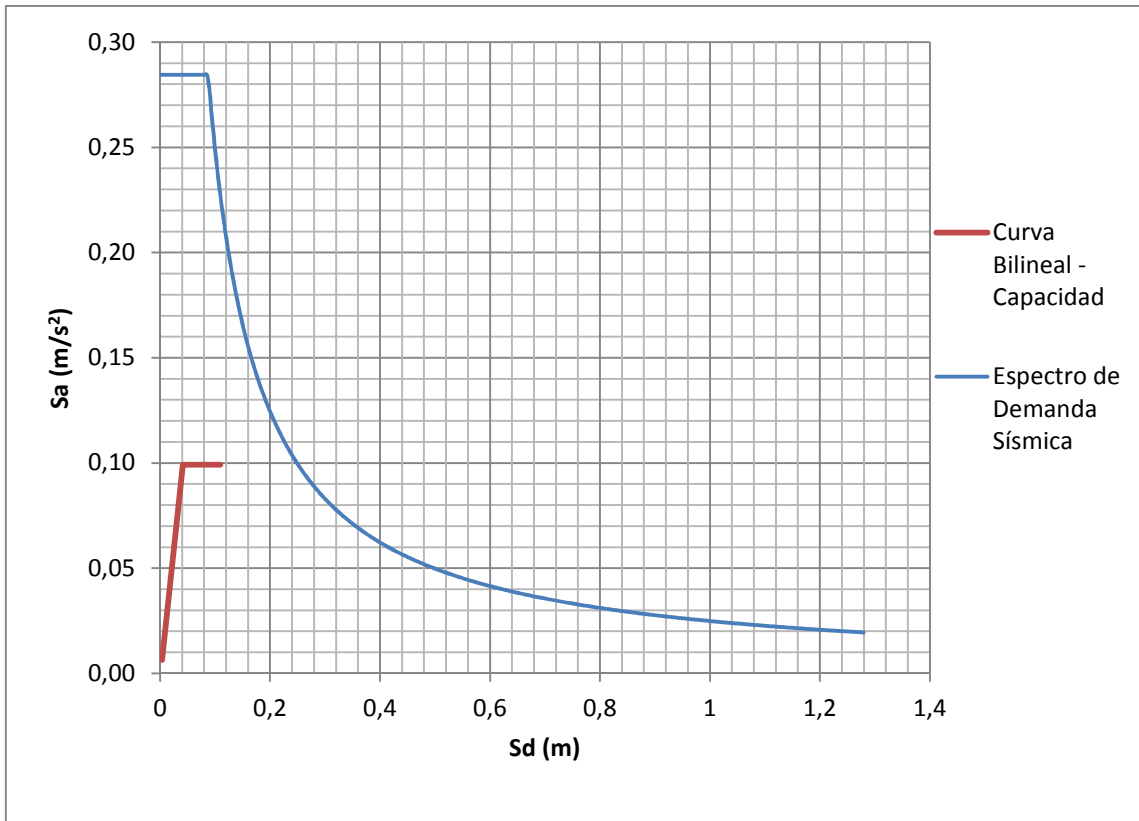


Figura 50. Punto de desempeño, $z = 0.23$ - Categoría 1

Fuente: El autor

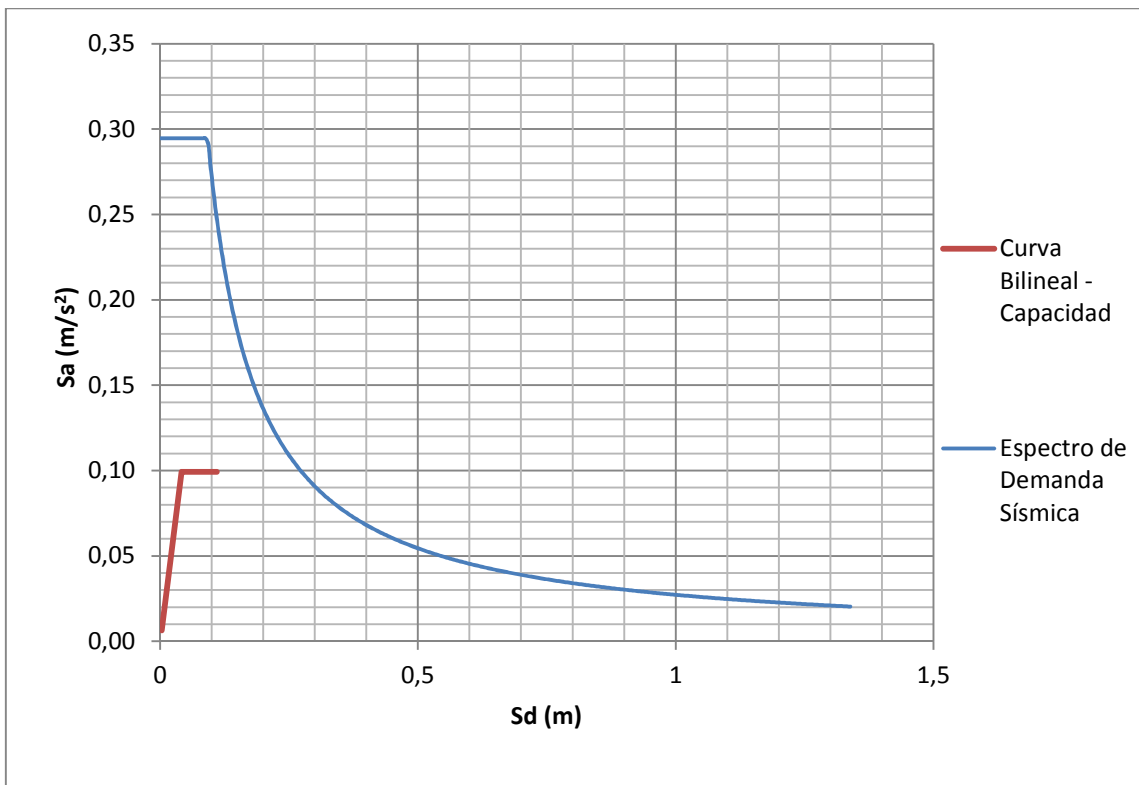


Figura 51. Punto de desempeño, $z = 0.24$ - Categoría 1

Fuente: El autor

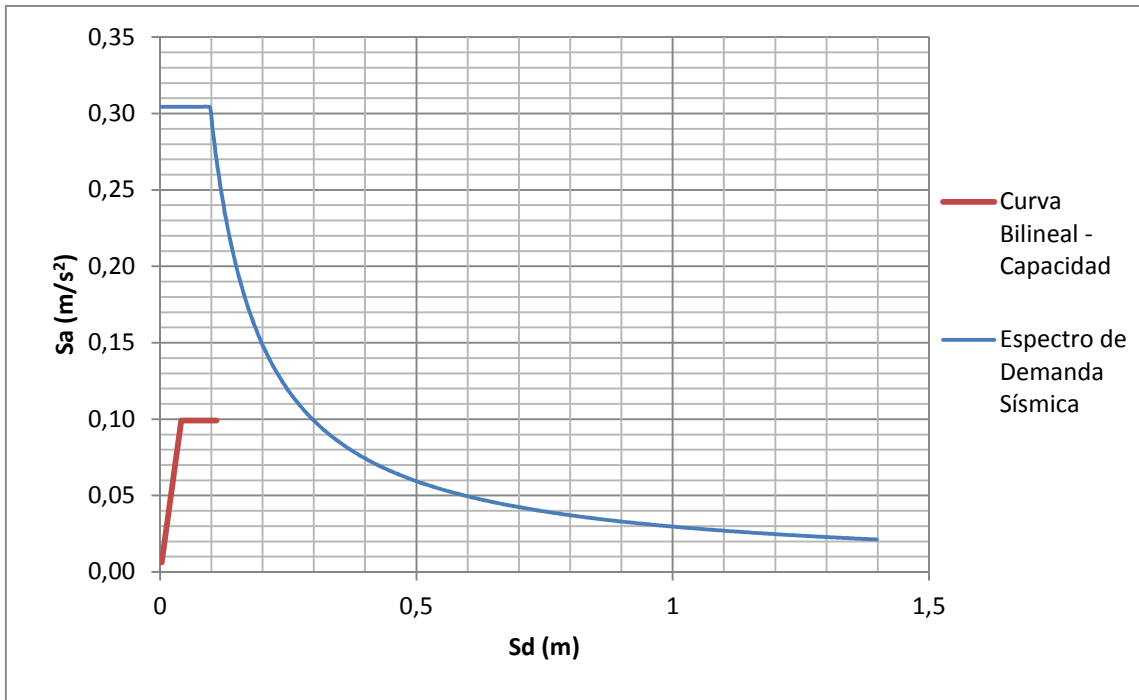


Figura 52. Punto de desempeño, $z = 0.25$ - Categoría 1

Fuente: El autor

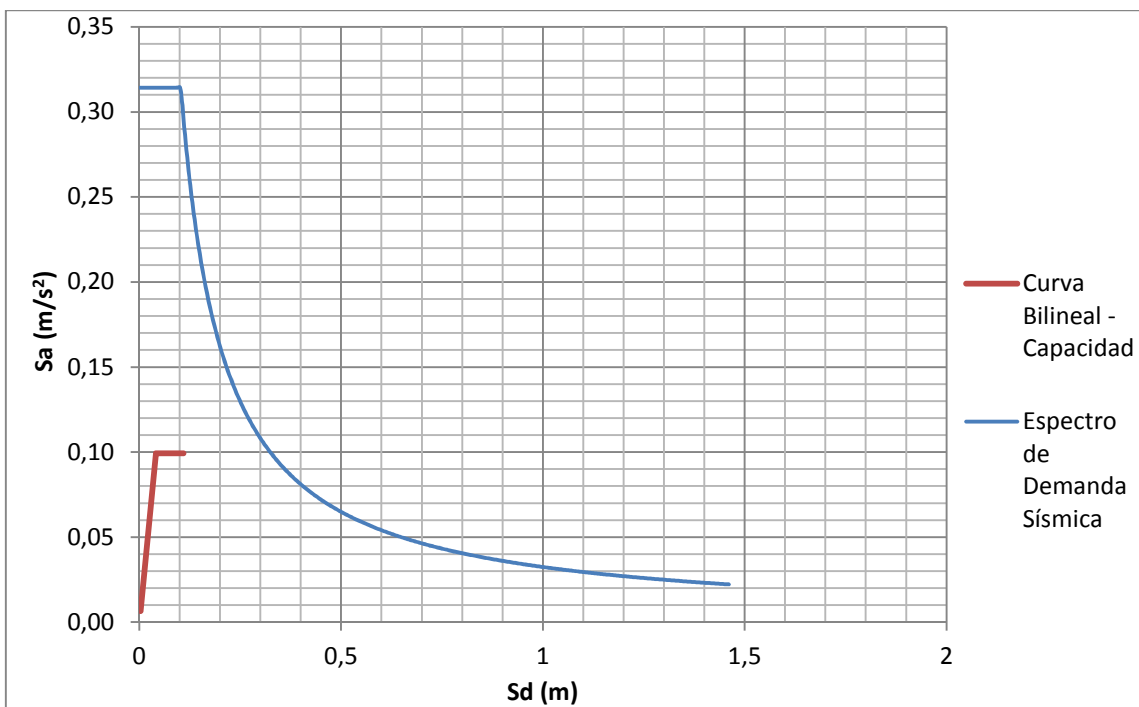


Figura 53. Punto de desempeño, $z = 0.26$ - Categoría 1

Fuente: El autor

3.2.3.2 Puntos de desempeño – Categoría 2

La ductilidad en la categoría 2 tiene un valor de 2.55, con este valor se reducen los espectros.

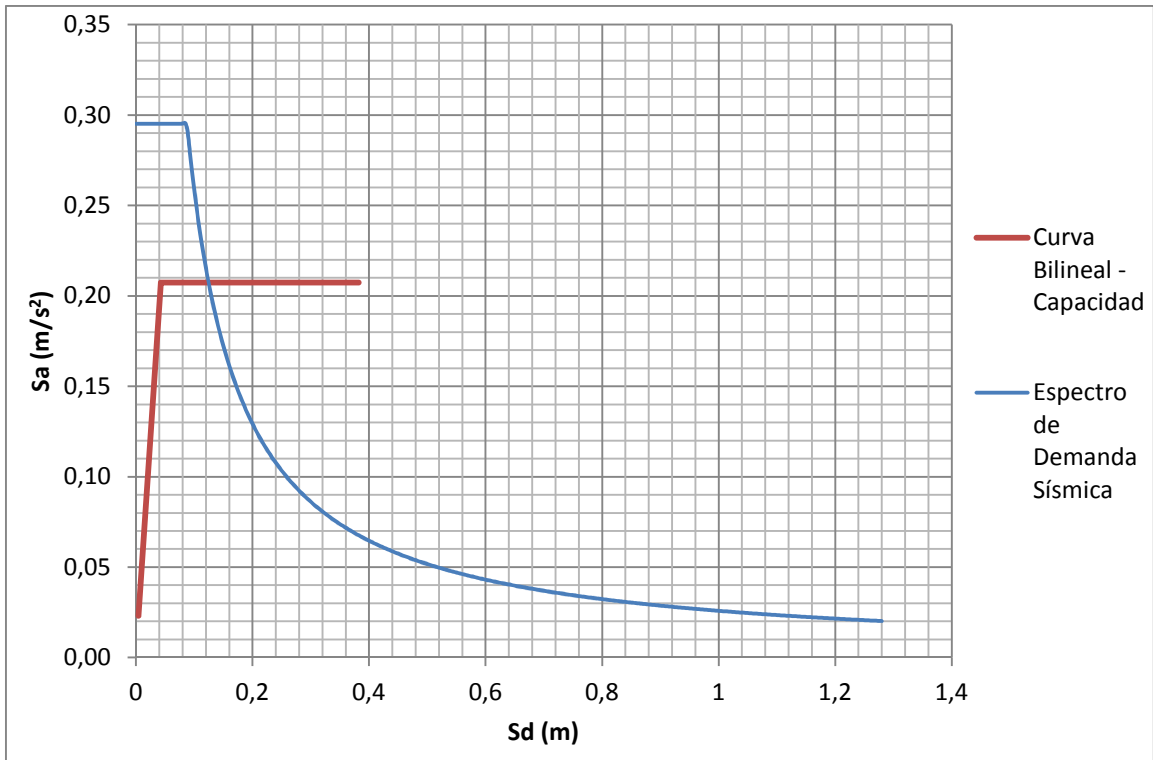


Figura 54. Punto de desempeño, $z = 0.23$ - Categoría 2

Fuente: El autor

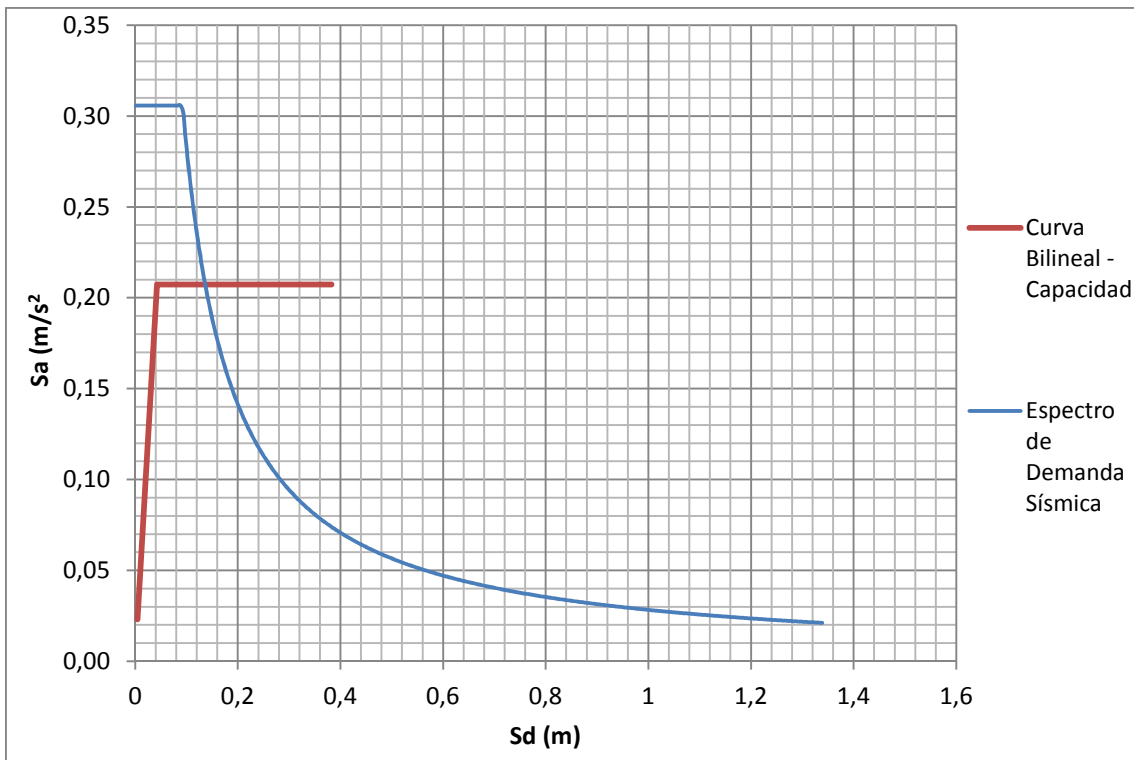


Figura 55. Punto de desempeño, $z = 0.24$ - Categoría 2

Fuente: El autor

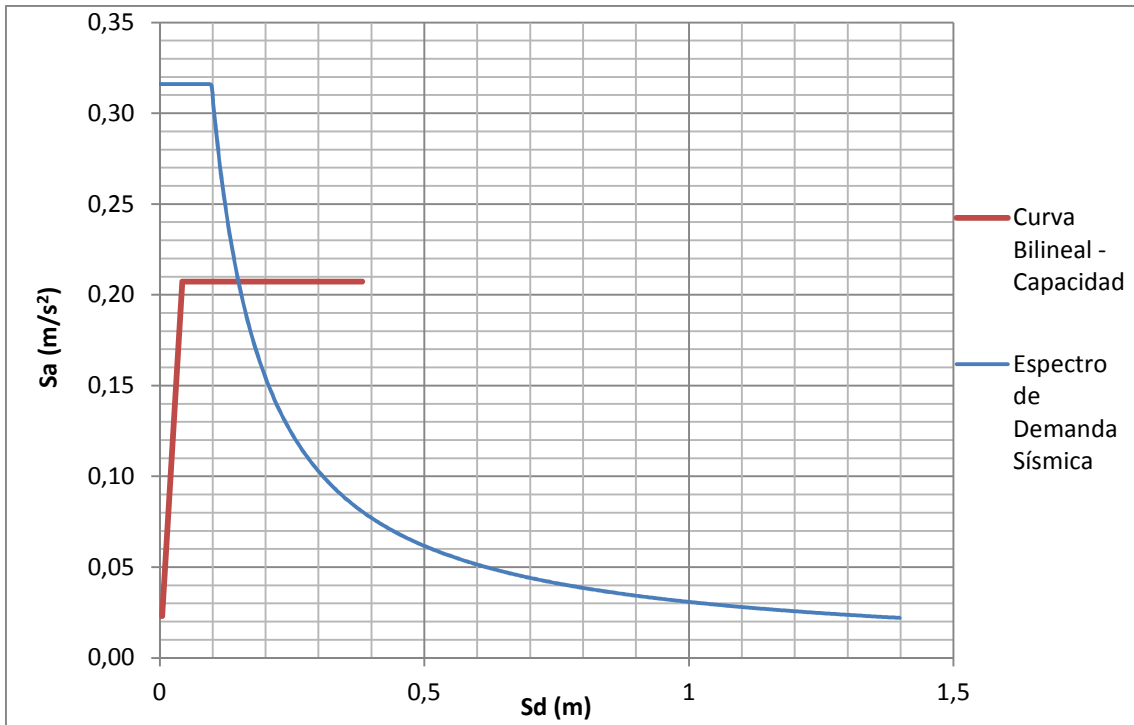


Figura 56. Punto de desempeño, $z = 0.25$ - Categoría 2

Fuente: El autor

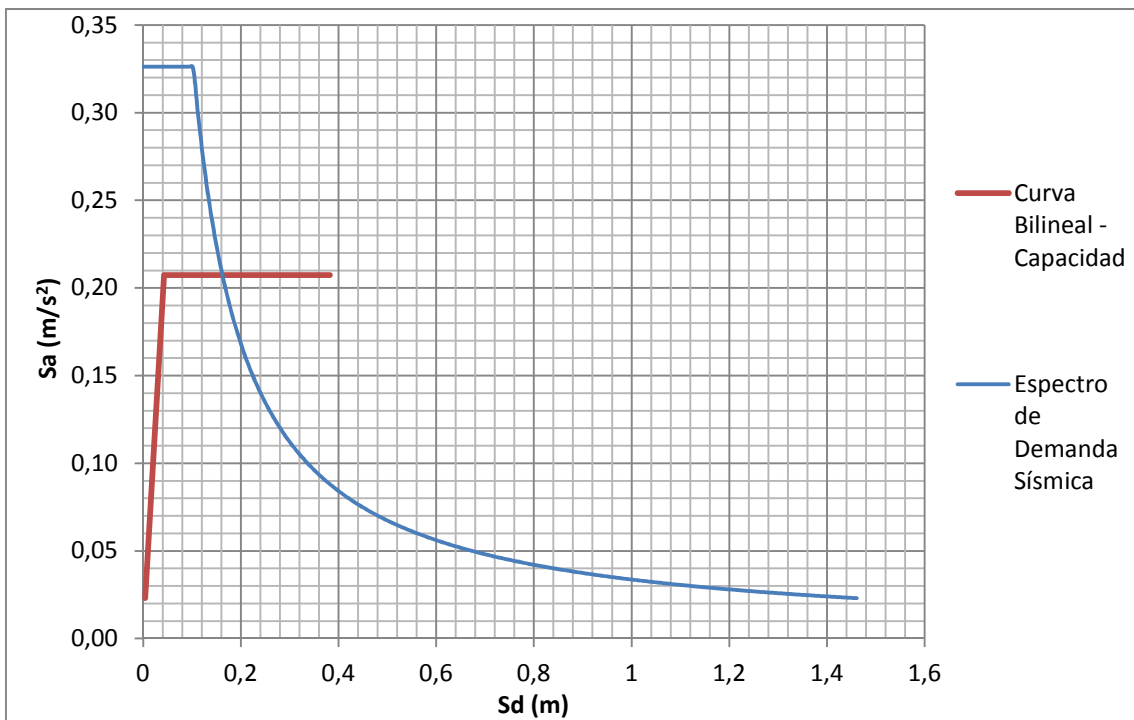


Figura 57. Punto de desempeño, $z = 0.26$ - Categoría 2

Fuente: El autor

3.2.3.3 Puntos de desempeño – Categoría 3

La ductilidad en esta categoría es de 1.88.

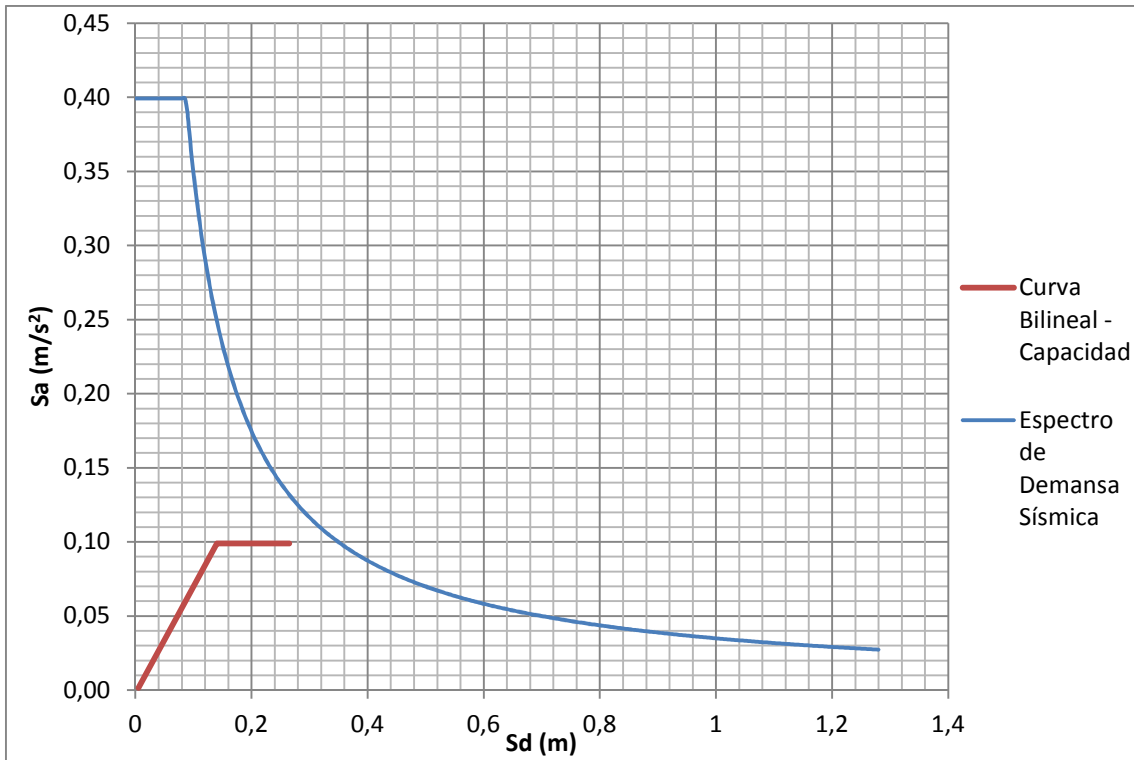


Figura 58. Punto de desempeño, $z = 0.23$, Categoría 3.

Fuente: El autor

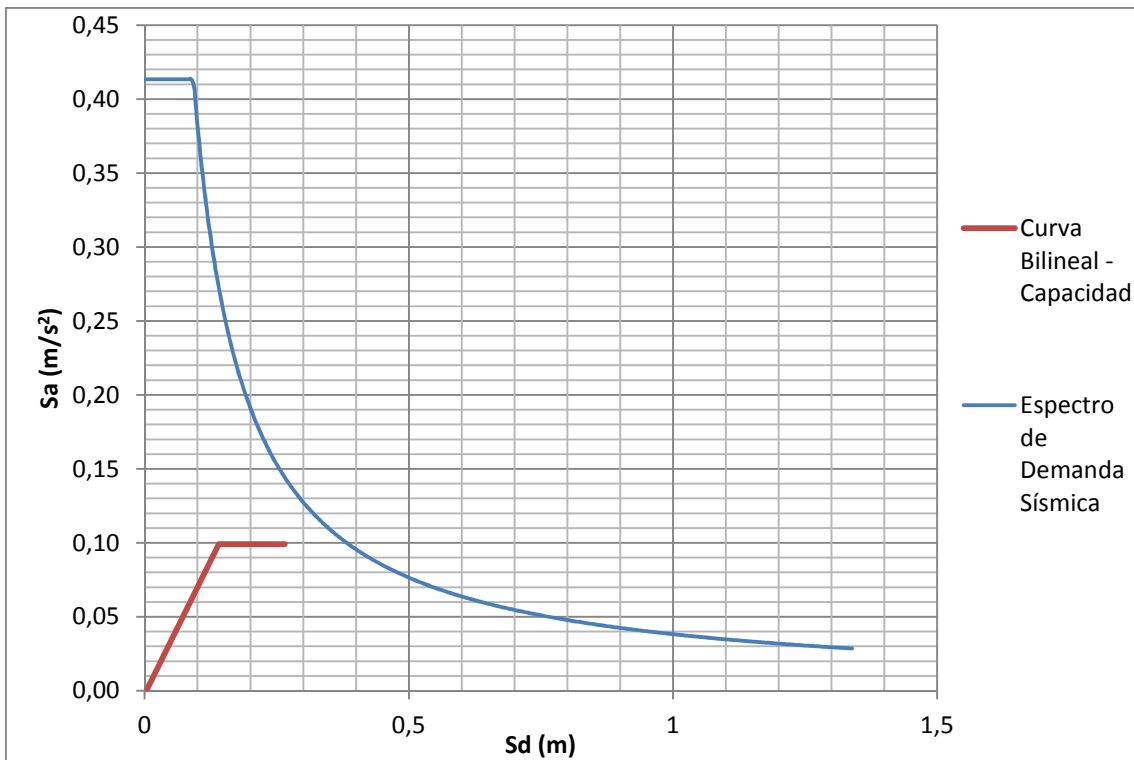


Figura 59. Punto de desempeño, $z = 0.24$ - Categoría 3

Fuente: El autor

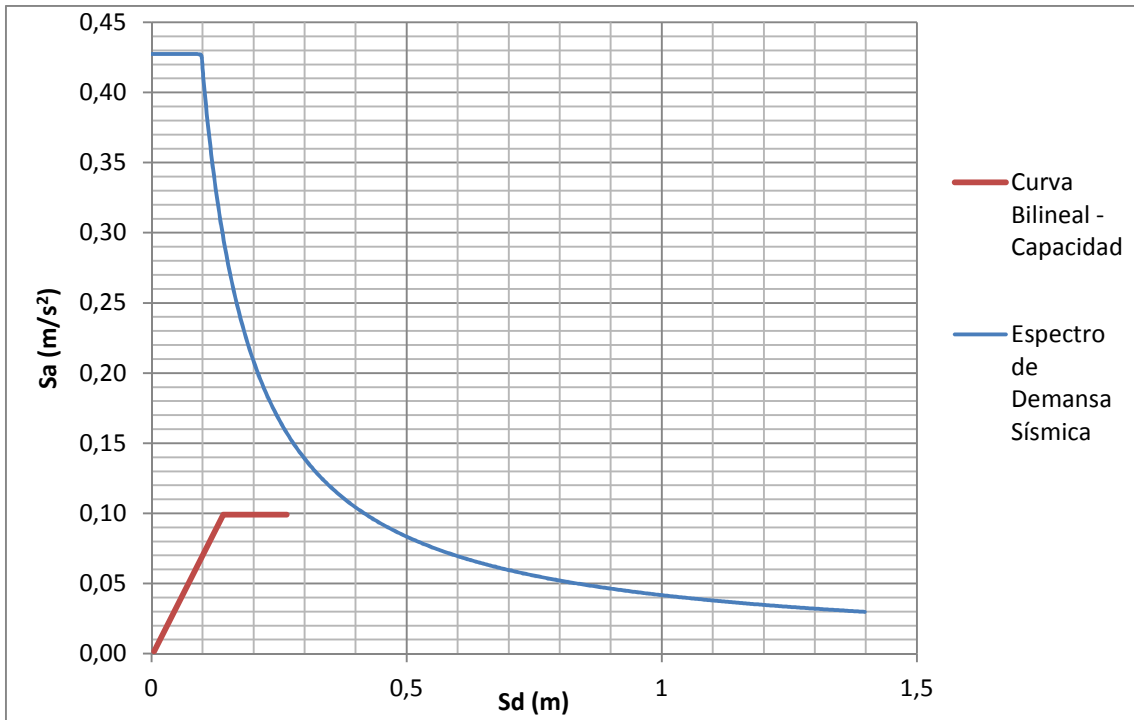


Figura 60. Punto de desempeño, $z = 0.25$ - Categoría 3

Fuente: El autor

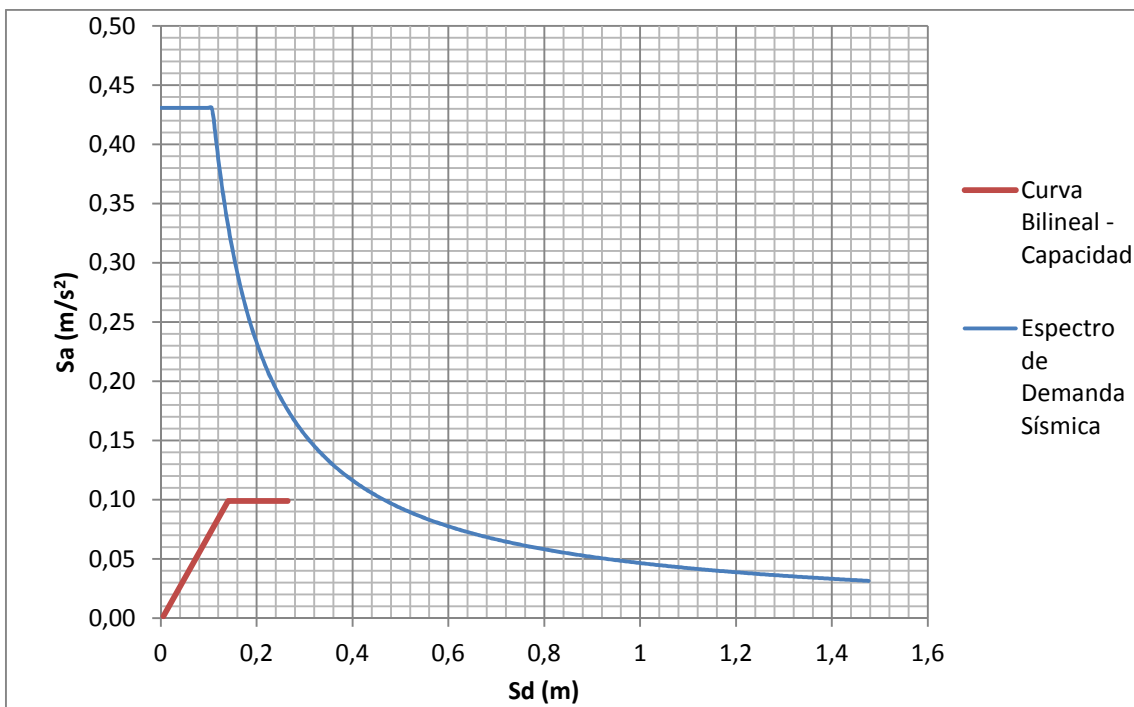


Figura 61. Punto de desempeño, $z = 0.26$ - Categoría 3

Fuente: El autor

3.2.3.4 Puntos de desempeño – Categoría 4

La ductilidad es de 3.81 en esta categoría, se utiliza este valor para reducir los espectros.

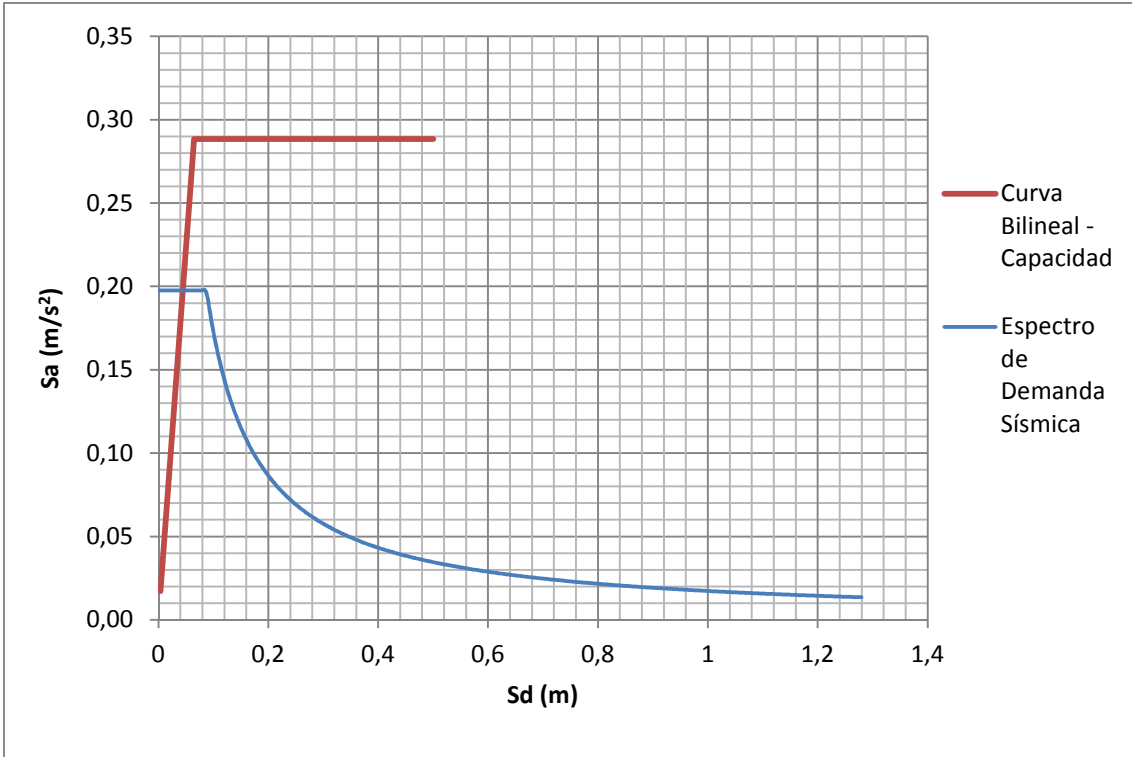


Figura 62. Punto de desempeño, $z = 0.23$ - Categoría 4

Fuente: El autor

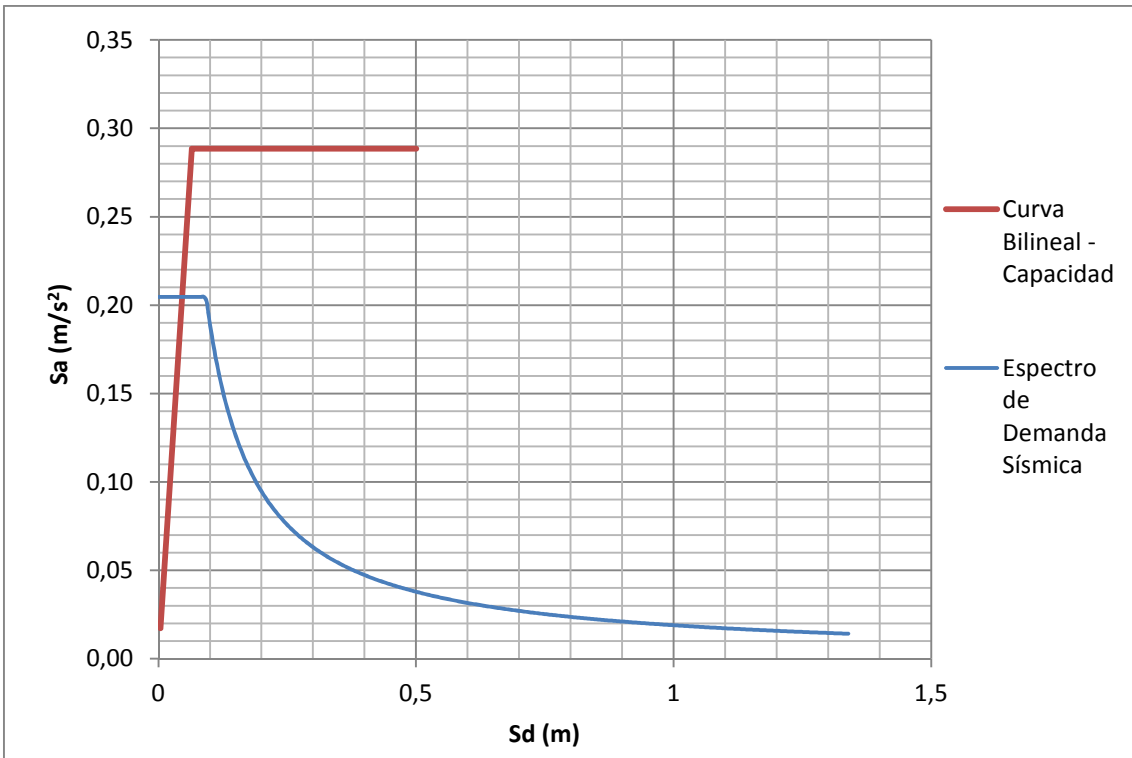


Figura 63. Punto de desempeño, $z = 0.24$ - Categoría 4

Fuente: El autor

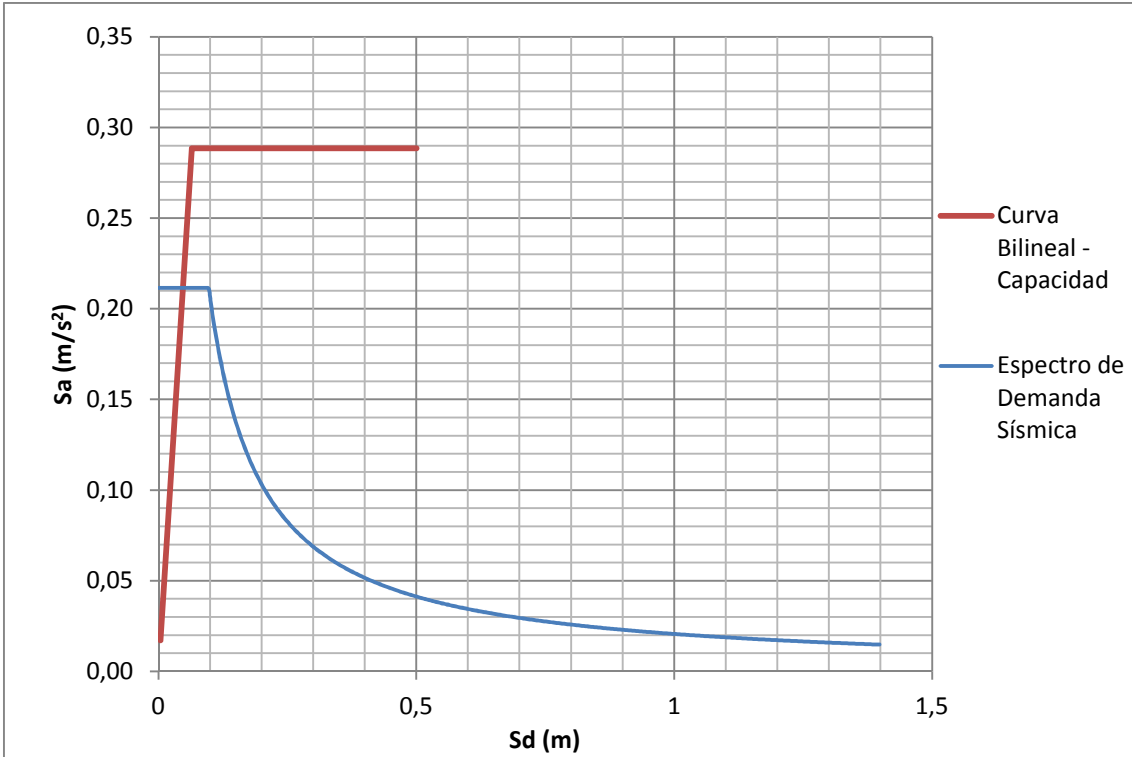


Figura 64. Punto de desempeño, $z = 0.25$ - Categoría 4

Fuente: El autor

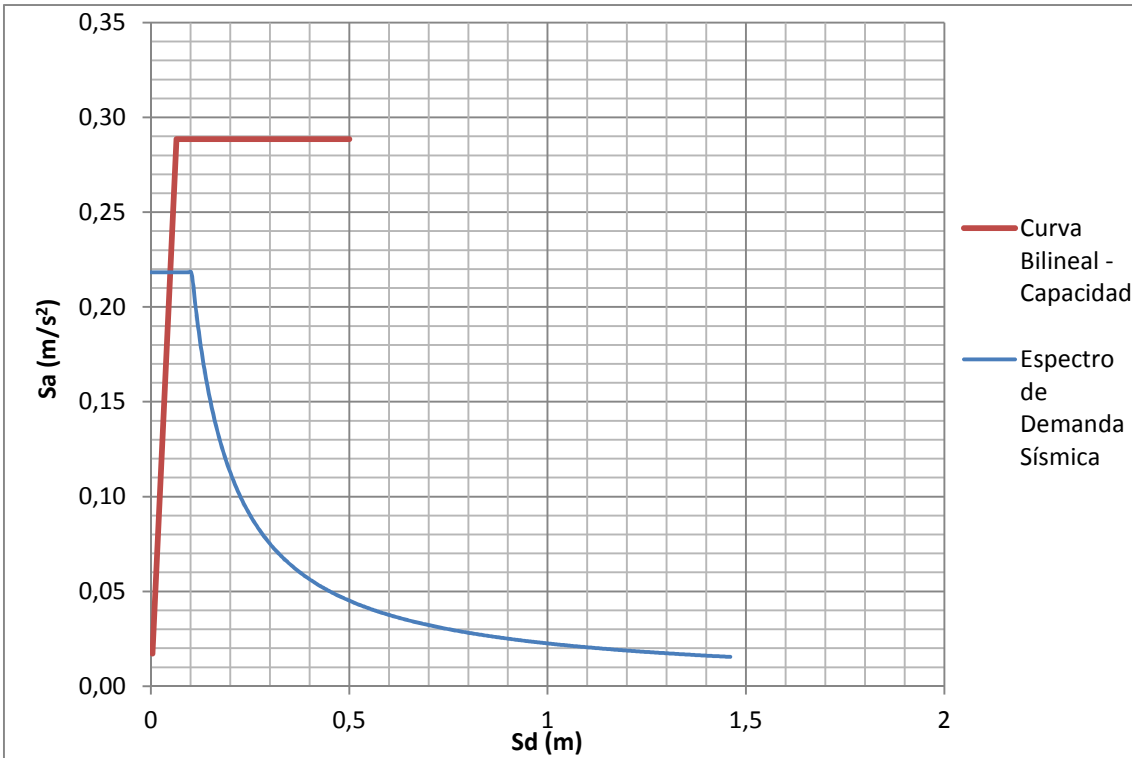


Figura 65. Punto de desempeño, $z = 0.26$ - Categoría 4

Fuente: El autor

CAPÍTULO IV

4. GENERACIÓN DE CURVAS DE VULNERABILIDAD Y CONSTRUCCIÓN DEL MAPA DE VULNERABILIDAD SÍSMICA

4.1 Curvas de vulnerabilidad

Una vez obtenidos los puntos de desempeño para cada tipología se debe realizar un análisis probabilístico, que establezca la probabilidad de daño. Este procedimiento se realiza tomando como referencia los desplazamientos máximos de cada edificio aleatorio y comparándolo con el desplazamiento del punto de desempeño, estableciendo que si es menor la capacidad será menor a la demanda; y si es mayor, la capacidad será mayor a la demanda. La probabilidad de daño se determina empleando los parámetros atípicos, aquellos cuyo desplazamiento supere al desplazamiento correspondiente al punto de desempeño; entonces la probabilidad de daño se obtiene al dividir el número de valores atípicos para el número total del análisis, en este caso 50 por los modelos generados.

Cuando se ha obtenido los puntos para cada curva, se los ajusta mediante una CDF normal (Cumulative distribution function), lo que da como resultado la curva de vulnerabilidad sísmica para cada categoría.

Los valores de desplazamientos de los puntos de desempeño se detallan a continuación:

Tabla 22. Desplazamientos de los puntos de desempeño

Desplazamientos - Puntos de desempeño (m)				
Nombre	z = 0,23	z = 0,24	z = 0,25	z = 0,26
Categoría 1	0,2495	0,2745	0,3006	0,3214
Categoría 2	0,1248	0,1372	0,1503	0,161
Categoría 3	0,3519	0,3849	0,4194	0,4688
Categoría 4	0,1312	0,1372	0,1433	0,1497

Los desplazamientos máximos de cada edificio modelado aleatoriamente, para cada categoría se muestran a continuación:

Tabla 23. Desplazamientos máximos

Desplazamientos máximos (m)				
N°	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4
1	0,11	0,44	0,12	0,22
2	0,08	0,16	0,08	0,29
3	0,08	0,28	0,05	0,34
4	0,08	0,42	0,09	0,31
5	0,18	0,33	0,08	0,33
6	0,06	0,55	0,10	0,35
7	0,08	0,19	0,07	0,18

... Sigue

8	0,08	0,53	0,05	0,32
9	0,11	0,35	0,13	0,26
10	0,11	0,13	0,13	0,31
11	0,08	0,65	0,09	0,32
12	0,09	0,13	0,09	0,32
13	0,12	0,54	0,13	0,36
14	0,12	0,64	0,08	0,37
15	0,12	0,43	0,12	0,33
16	0,15	0,49	0,09	0,32
17	0,08	0,49	0,09	0,36
18	0,12	0,31	0,13	0,28
19	0,07	0,16	0,06	0,33
20	0,06	0,36	0,05	0,19
21	0,09	0,19	0,08	0,33
22	0,10	0,49	0,12	0,36
23	0,10	0,29	0,09	0,31
24	0,11	0,24	0,10	0,31
25	0,13	0,18	0,06	0,18
26	0,20	0,30	0,08	0,37
27	0,09	0,51	0,12	0,31
28	0,12	0,45	0,11	0,31
29	0,08	0,20	0,04	0,37
30	0,12	0,23	0,05	0,35
31	0,18	0,27	0,09	0,34
32	0,08	0,32	0,09	0,35
33	0,08	0,28	0,07	0,18
34	0,09	0,34	0,13	0,34
35	0,13	0,22	0,07	0,33
36	0,10	0,22	0,13	0,38
37	0,12	0,23	0,08	0,36
38	0,11	0,33	0,05	0,31
39	0,11	0,26	0,08	0,38
40	0,07	0,20	0,11	0,19
41	0,06	0,40	0,09	0,36
42	0,12	0,26	0,05	0,33
43	0,11	0,30	0,06	0,32
44	0,10	0,28	0,06	0,33
45	0,10	0,41	0,12	0,30
46	0,12	0,26	0,10	0,33
47	0,14	0,54	0,09	0,32
48	0,14	0,44	0,10	0,33
49	0,10	0,18	0,05	0,31
50	0,13	0,31	0,06	0,36

Fuente: El autor

De esta forma se generan las curvas de vulnerabilidad para cada categoría, lo que nos permite estimar la probabilidad de daño para las edificaciones de estudio. En el caso de la categoría 1 y 3 se determinó el punto de desempeño para valores de z menores debido a que en los valores de $z = 0.23$ hasta $z = 0.26$ la probabilidad de daño es del 100% por lo que se busca probabilidades menores, llegando hasta un valor de $z = 0.15$ donde todavía hay una probabilidad de daño del 38%.

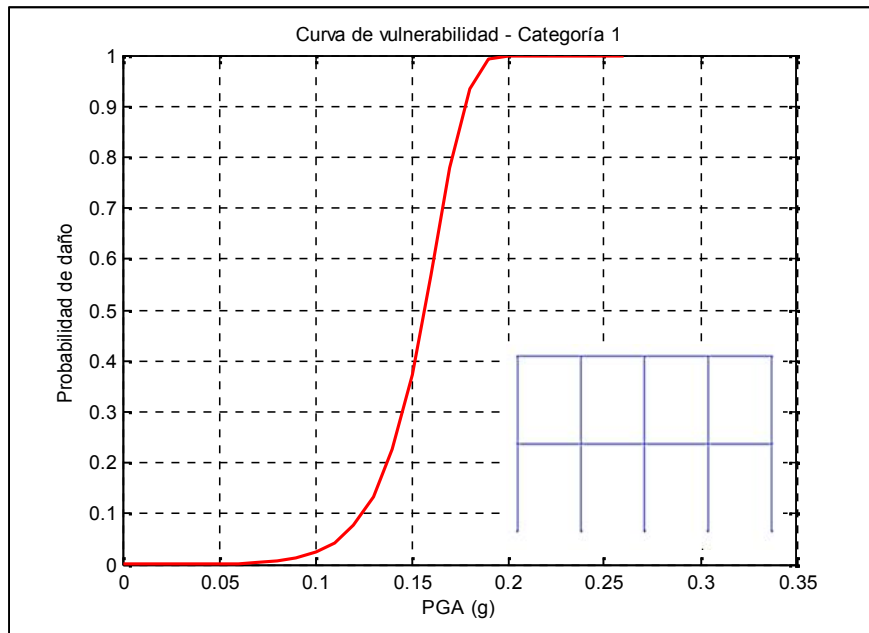


Figura 66. Curva de vulnerabilidad - Categoría 1
Fuente: El autor

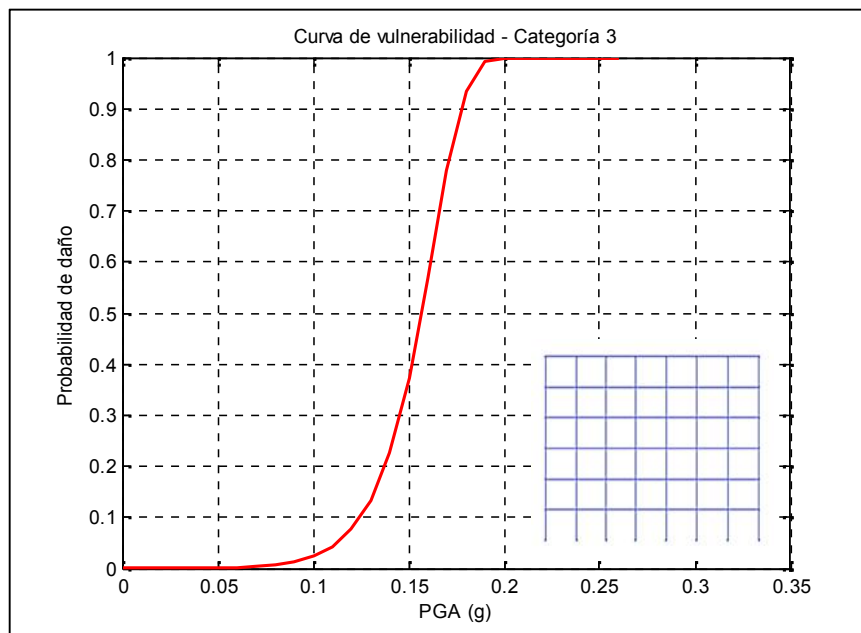


Figura 67. Curva de vulnerabilidad - Categoría 3
Fuente: El autor

Para las categorías 2 se determina también los puntos de desempeño para valores de z mayores a 0.26, hasta encontrar el valor de z en el cual la probabilidad de daño es del 100%, para este caso se produce lo mencionado para un valor de $z = 0.40$.

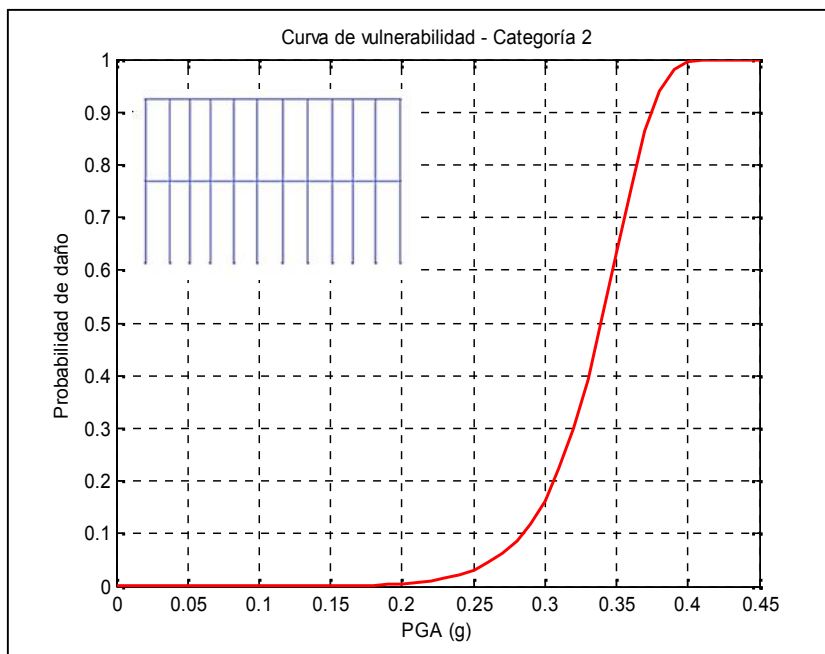


Figura 68. Curva de vulnerabilidad - Categoría 2

Fuente: El autor

Y finalmente en la categoría 4 no se pueden generar las curvas de vulnerabilidad debido a que posee un buen comportamiento incluso con un valor de $z = 0.50$ que es el máximo considerado en el NEC (NEC, 2011), por lo tanto no se puede construir la curva de vulnerabilidad. Pero se establece que no existe probabilidad de daño con un valor de z igual o menor a 0.50.

4.2 Mapa de vulnerabilidad sísmica

Para poder construir el mapa de vulnerabilidad sísmica se plantean dos escenarios que se detallan a continuación. Los mapas se presentan en los anexos.

4.2.1 Mapa de vulnerabilidad sísmica a nivel de roca.

Las probabilidades de daño se obtienen de las curvas anteriores, con los valores de PRA que ya se han establecido para cada edificio, se entra en las curvas de vulnerabilidad de la categoría a la que pertenecen y se lee el porcentaje de daño. De acuerdo a su posición georeferenciada y asistidos por un Sistema de Información Geográfico (SIG) se construye el mapa de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones esenciales del norte de la ciudad de Loja a nivel de roca. A continuación se detallan los resultados obtenidos.

Tabla 24. Probabilidad de daño para PRA.

Descripcion	Coordenadas		Probabilidad de daño
	x	y	
Brigada - Dormitorios 2	699326	9559885	0,035
Brigada de Infantería - Dormitorios 1	699326	9559885	0,08
Colegio Adolfo Valarezo	698812	9558446	0,02
Colegio Técnico - Edificio 1	699729	9559003	0,025
Colegio Técnico - Edificio 2	699744	9558749	0,64
Escuela "Alejandrino Velásquez"	698877	9558529	0,025
Escuela "Ciudad de Loja"	699494	9558709	0,025
Escuela "Filomena Mora de Carrión"	699202	9559041	0,02
Escuela "José Ingenieros"	699037	9561022	0,11
Escuela "Julio Ordoñez"	699310	9558621	0,15
Hospital del IESS "Ygnacio de los Monteros"	699533	9559364	1
Hospital Regional "Isidro Ayora"	699193	9558372	1
Unidad Educativa "Calasanz" - Administrativo	699651	9560181	0,2
Unidad Educativa "Calasanz" - Aulas	699654	9560185	0,4
UPC - Celi Román	698941	9558925	0,01
UPC - La Paz	699246	9561192	0,02
UTPL - SOLCA - Bloque 4	699722	9560620	0,11

Fuente: El autor

4.2.2 Mapa de vulnerabilidad sísmica a nivel de suelo

Se trabaja también con los valores a nivel de suelo PGA obtenidos de (Castillo, 2013).

Tabla 25. Probabilidad de daño para PGA

Descripcion	Coordenadas		Probabilidad de daño
	x	y	
Brigada - Dormitorios 2	699326	9559885	1
Brigada de Infantería - Dormitorios 1	699326	9559885	1
Colegio Adolfo Valarezo	698812	9558446	0,76
Colegio Técnico - Edificio 1	699729	9559003	1
Colegio Técnico - Edificio 2	699744	9558749	1
Escuela "Alejandrino Velásquez"	698877	9558529	1
Escuela "Ciudad de Loja"	699494	9558709	1
Escuela "Filomena Mora de Carrión"	699202	9559041	1
Escuela "José Ingenieros"	699037	9561022	1
Escuela "Julio Ordoñez"	699310	9558621	1
Hospital del IESS "Ygnacio de los Monteros"	699533	9559364	1
Hospital Regional "Isidro Ayora"	699193	9558372	1
Unidad Educativa "Calasanz" - Administrativo	699651	9560181	1
Unidad Educativa "Calasanz" - Aulas	699654	9560185	1
UPC - Celi Román	698941	9558925	0,98
UPC - La Paz	699246	9561192	0,95
UTPL - SOLCA - Bloque 4	699722	9560620	1

Fuente: El autor

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES

- La capacidad de las categorías 1 y 3 es sumamente baja, con una probabilidad de daño del 100%, tomando en consideración su respuesta a nivel de roca PRA, este resultado se confirma ya que la categoría 1 abarcaba edificaciones muy antiguas que no poseen un diseño sismoresistente, en cambio en la categoría 3 se justifica este comportamiento ya que son edificios de mayor altura, a pesar de que debido a su importancia deberían tener un mayor control tanto en sus diseños como en su construcción.
- La capacidad de las edificaciones 2 y 4 presenta mejores resultados, con probabilidades de daño menores al 10% en consideración a su respuesta a nivel de roca PRA ; la categoría 2 presenta estos resultados debido que tiene un gran número de pórticos en el sentido que se analiza, de esta forma hay mejor respuesta ante cargas laterales en ese sentido; la categoría 4 en cambio alberga construcciones nuevas, con materiales de mejores propiedades, lo que le permite dar una mejor respuesta ante acciones sísmicas.
- Las categorías 1 y 3 están debajo de la demanda sísmica por mucho, es por esto que los desplazamientos de los edificios simulados dentro de cada categoría son menores al del punto de desempeño, lo que implica que siempre se encuentran bajo la demanda sísmica.
- Las categorías 2 y 4 forman el punto de desempeño con desplazamientos muy pequeños, debido a que la capacidad interseca con facilidad a la demanda, en base a los desplazamientos de los edificios simulados la capacidad siempre superará a la demanda, por lo que la probabilidad de daño es muy baja.
- El diseño sismoresistente es determinante para el comportamiento de las estructuras, ya que se observa una mejor respuesta en las edificaciones nuevas como el Colegio “Adolfo Valarezo” o las Unidades de Policía Comunitaria – UPC frente a estructuras similares pero que han sido construidas hace mucho tiempo.
- Realizando el análisis de la respuesta de las edificaciones ante acciones sísmicas a nivel de suelo PGA, es decir que se consideran los efectos de sitio, los resultados que se obtienen determinan que la probabilidad de daño es del 100%, a excepción de la UPC – “La Paz” y la UPC – “Celi Román” que presentan una probabilidad de daño del 95% y del 98% respectivamente, debido a que para las categorías que no

alcanzan la probabilidad de daño del 100% para valores de z de 0.23 g hasta 0.26 g, lo hacen para una aceleración de 0.40 g, y los valores de PGA que se obtienen para cada estructura son casi en su totalidad mayores a 0.40 g.

- Los resultados obtenidos demuestran el deficiente diseño de las edificaciones esenciales del norte de la ciudad de Loja, ya que en su mayoría son estructuras conformadas por pórticos sin ningún sistema para aumentar la resistencia al corte, o en su defecto la existencia de dispositivos de amortiguamiento.

RECOMENDACIONES

- Realizar futuras investigaciones sobre el desempeño sísmico de las edificaciones conociendo con exactitud el detalle del refuerzo en cada estructura, en esta investigación se trabaja con cuantías mínimas debido a la falta de información, pero un análisis más profundo sobre el refuerzo en las secciones planteará un mejor escenario para poder evaluar la capacidad de las edificaciones.
- Considerar el diseño de estructuras regulares para las edificaciones esenciales, porque debido a su importancia y a la cantidad de personas que permanecen en ellas no se puede permitir que presenten graves daños ocasionados por un evento sísmico ya que esto llevaría a que ocurran graves pérdidas humanas.
- Analizar de manera más detallada las edificaciones que se excluyeron en este proyecto debido a su irregularidad, esto permitirá tener un conocimiento sobre la respuesta a eventos sísmicos de edificios irregulares tanto en planta como en elevación, considerando que en nuestro medio existen algunos de estos edificios que funcionan como esenciales.
- Investigar la incidencia de la demanda sísmica considerando distintos códigos de la construcción, debido a que el sismo de diseño que contempla la Norma Ecuatoriana de Construcción es un sismo muy grande; de esta forma podremos saber la influencia de estas normas en los resultados que se obtienen de un análisis por desempeño,
- Establecer planes de reforzamiento para estructuras que son esenciales y que han sobrepasado o se encuentran muy cerca de cumplir su período de vida útil, este ha sido un factor determinante en la respuesta que presentan ante acciones sísmicas.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, R. A. (2004). *Geografía general*. Guadalajara: Pearson Education.
- Angamarca, P. G. (2012). *Estudio sobre la calidad de hormigones y materiales utilizados en las edificaciones en el sector norte de la ciudad de Loja*. Loja.
- Barbat, A. H. (1998). *EL riesgo sísmico en el diseño de edificios*. Madrid: Cuadernos Técnicos.
- BBC Mundo. (2010). *Terremoto en Chile: más fuerte que el de Haití, pero menos mortífero*. BBC Mundo.
- Bonnet, D. R. (2003). *Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada*. Barcelona, España.
- Calvi, G. M. (1999). *A displacement - based approach for vulnerability evaluation of classes of buildings*. Journal of Earthquake Engineering.
- Castillo, D. I. (2013). *Peligro sísmico de la Cuenca de Loja - Ecuador*. Loja - Ecuador.
- Cocco, L., Suárez, L. E., & Ruiz, M. E. (2010). *Desarrollo de un método no - lineal de capacidad espectral para torres de toma de agua presas*. Buenos Aires.
- Karsan, I. D., & Jirsa, J. O. (1969). Comportamiento del hormigón bajo cargas de compresión. *Journal of Structural División ASCE, 95 (ST12)*.
- Mora, M. A., Villalba, J. D., & Maldonado, E. (2006). Deficiencias, limitaciones, ventajas y desventajas de las metodologías de análisis sísmico no lineal. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*.
- NEC. (2011). *Norma Ecuatoriana de la Construcción*. Ecuador.
- Paulay, T., & Priestley. (1992). *Seismic desing of reforced concrete and masonry buildings*. New York: Wiley Interscience.
- Russell, R. (2010). *Ventanas al Universo*.

ANEXOS

Anexo A – Memoria fotográfica



Figura 69 . Hospital Regional "Isidro Ayora"

Fuente: El autor



Figura 70. Colegio "Adolfo Valarezo"

Fuente: El autor



Figura 71. Daño en los elementos estructurales de la Escuela “Alejandrino Velásquez” – Corrosión del acero - Desprendimiento del recubrimiento
Fuente: El autor



Figura 72. Unidad Educativa “Calasanz” – Edificio Administrativo
Fuente: El autor



Figura 73. Unidad Educativa “Calazans” – Edificio Aulas.
Fuente: El autor



Figura 74. Escuela “Ciudad de Loja”
Fuente: El autor



Figura 75. Escuela "Julio Ordóñez"

Fuente: El autor



Figura 76. Brigada de Infantería – Edificio Dormitorios 1

Fuente: El autor



Figura 77. Brigada de Infantería – Edificio Dormitorios 2
Fuente: El autor



Figura 78. Brigada de Infantería – Edificio Administrativo
Fuente: El autor



Figura 79. Estación de Bomberos Loja – Norte

Fuente: El autor



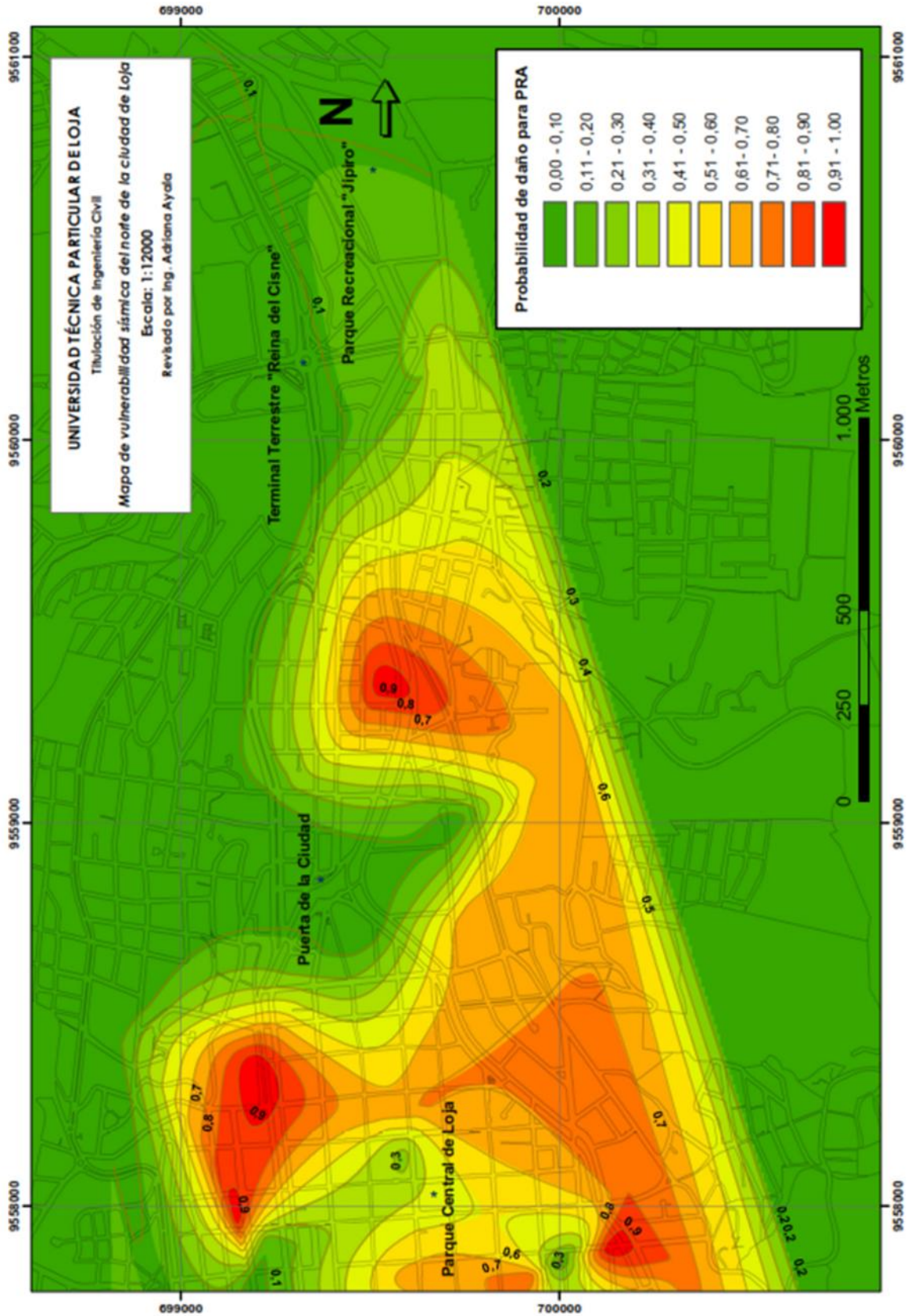
Figura 80. Modelo de Unidad de Policía Comunitaria – UPC

Fuente: El autor

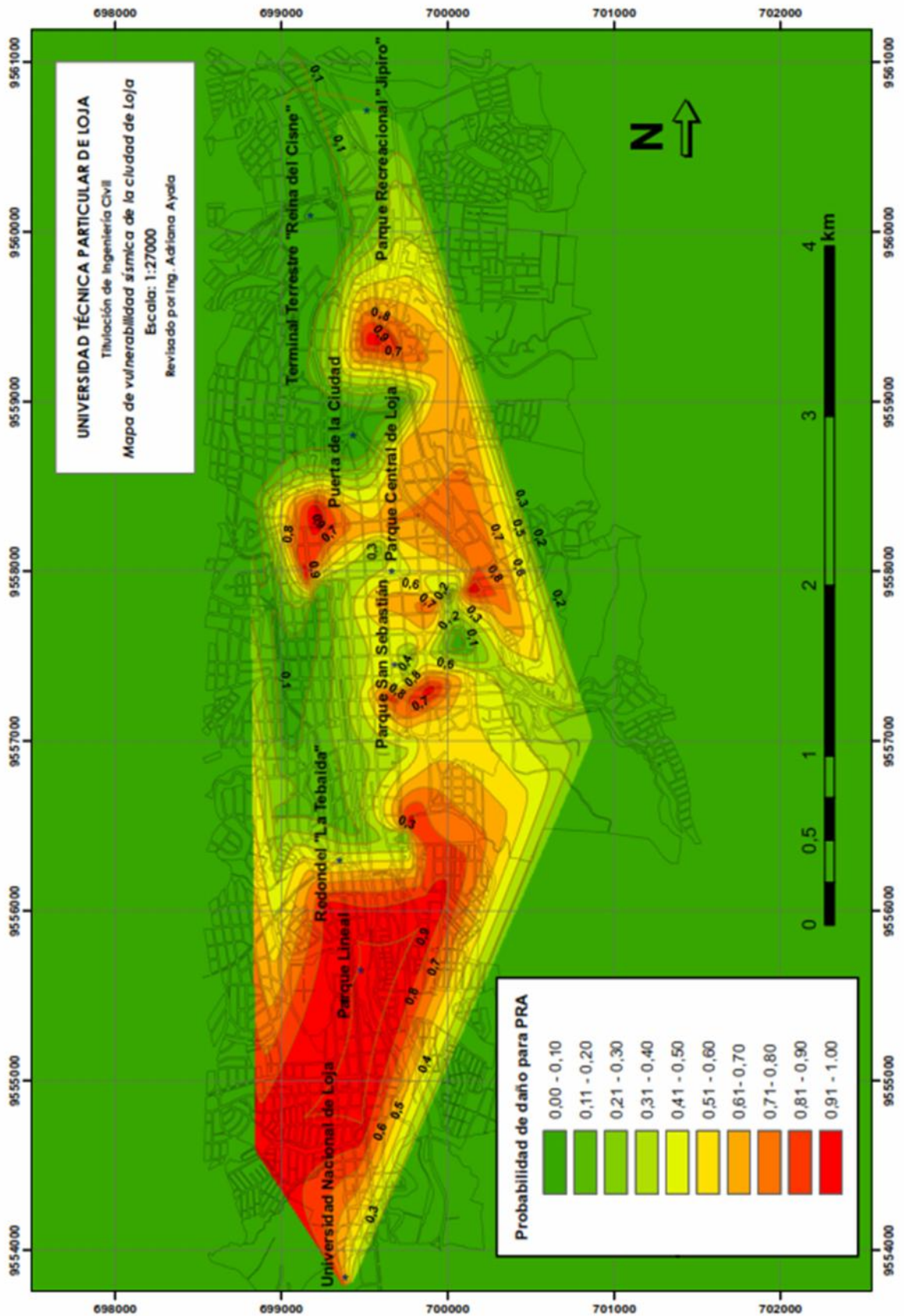
Anexo B – Puntos de referencia para facilitar la ubicación espacial en el mapa



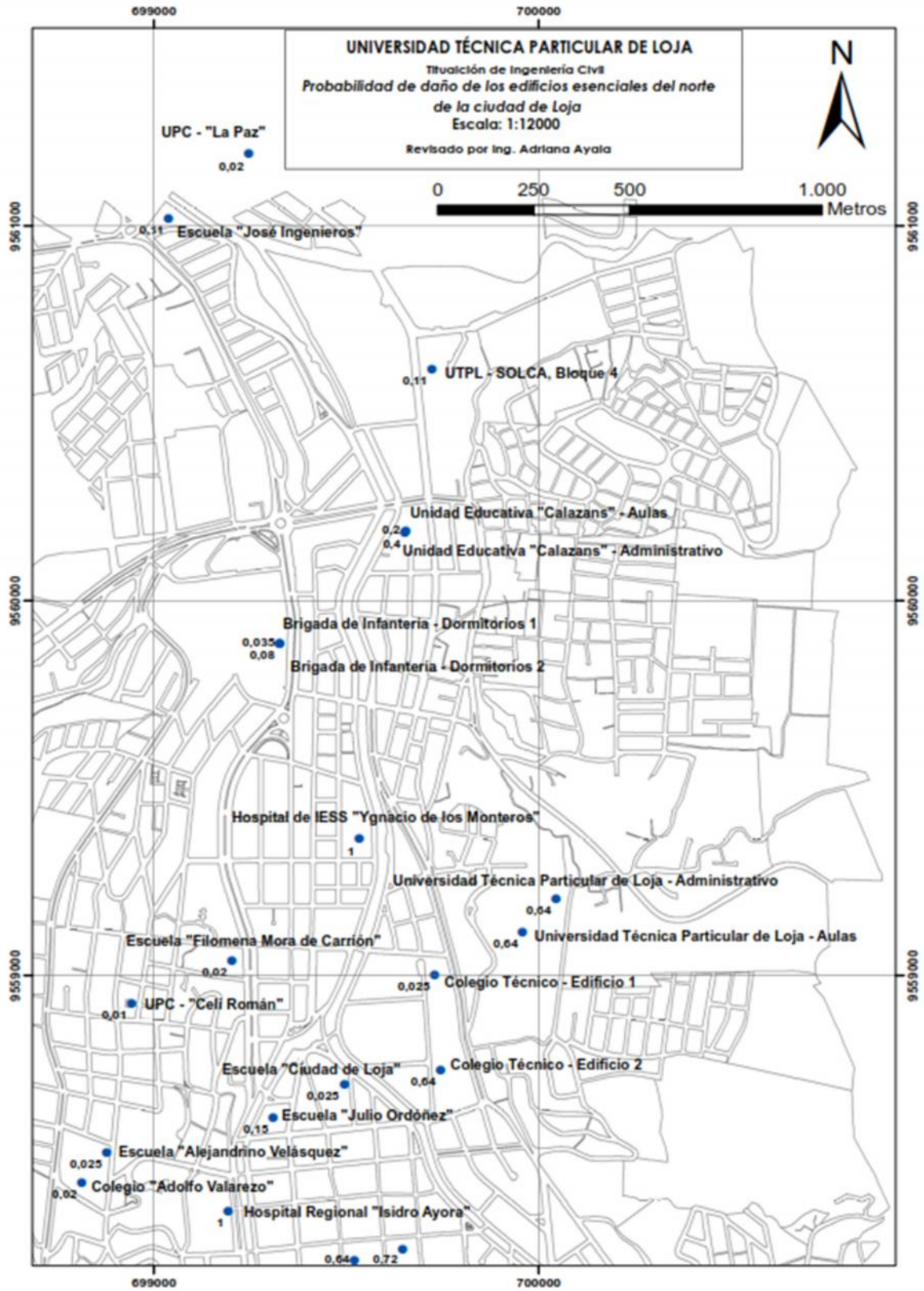
Anexo C – Mapa de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones esenciales del norte de la ciudad de Loja a nivel de roca.



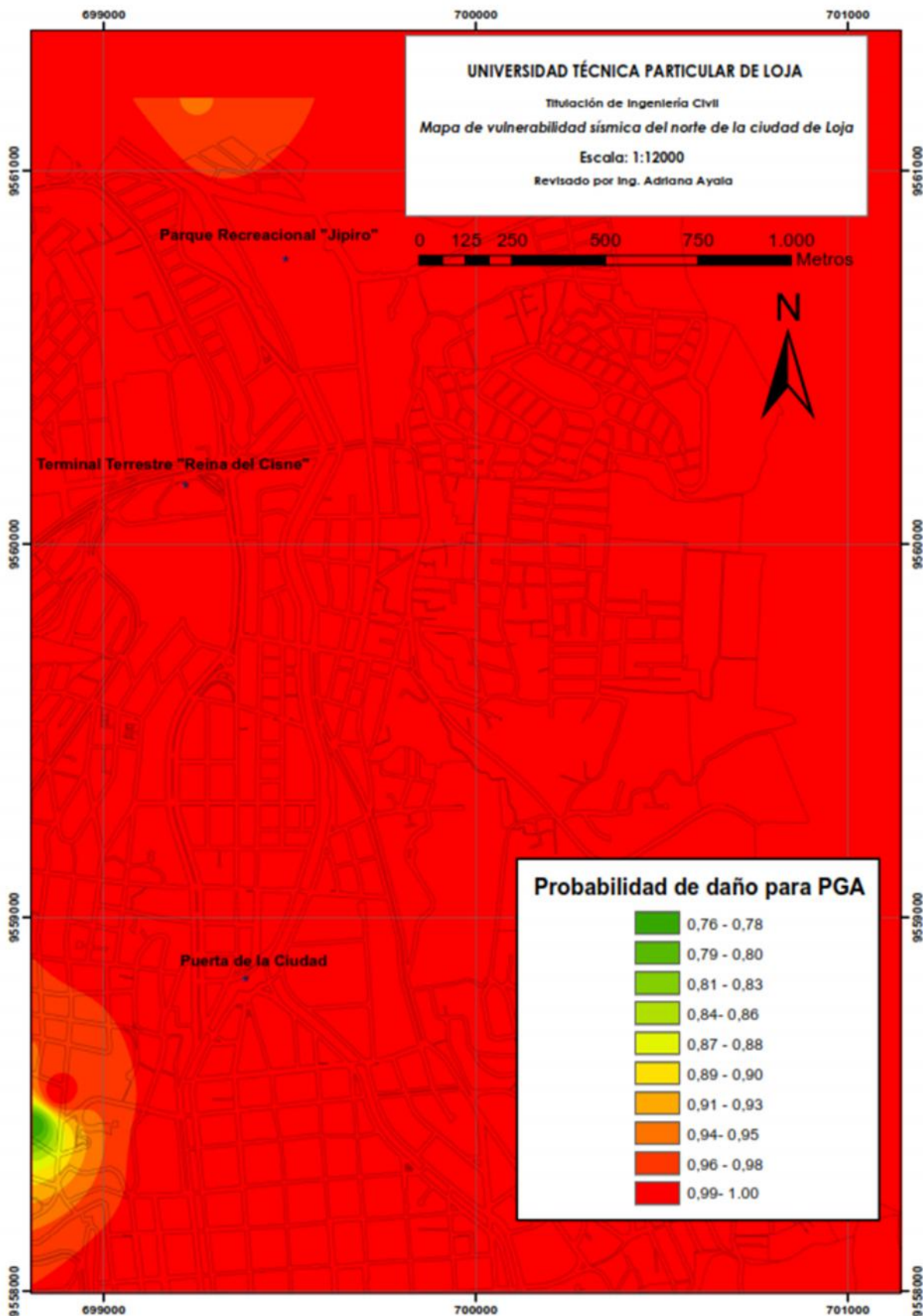
Anexo D – Mapa de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones esenciales de la ciudad de Loja a nivel de roca.



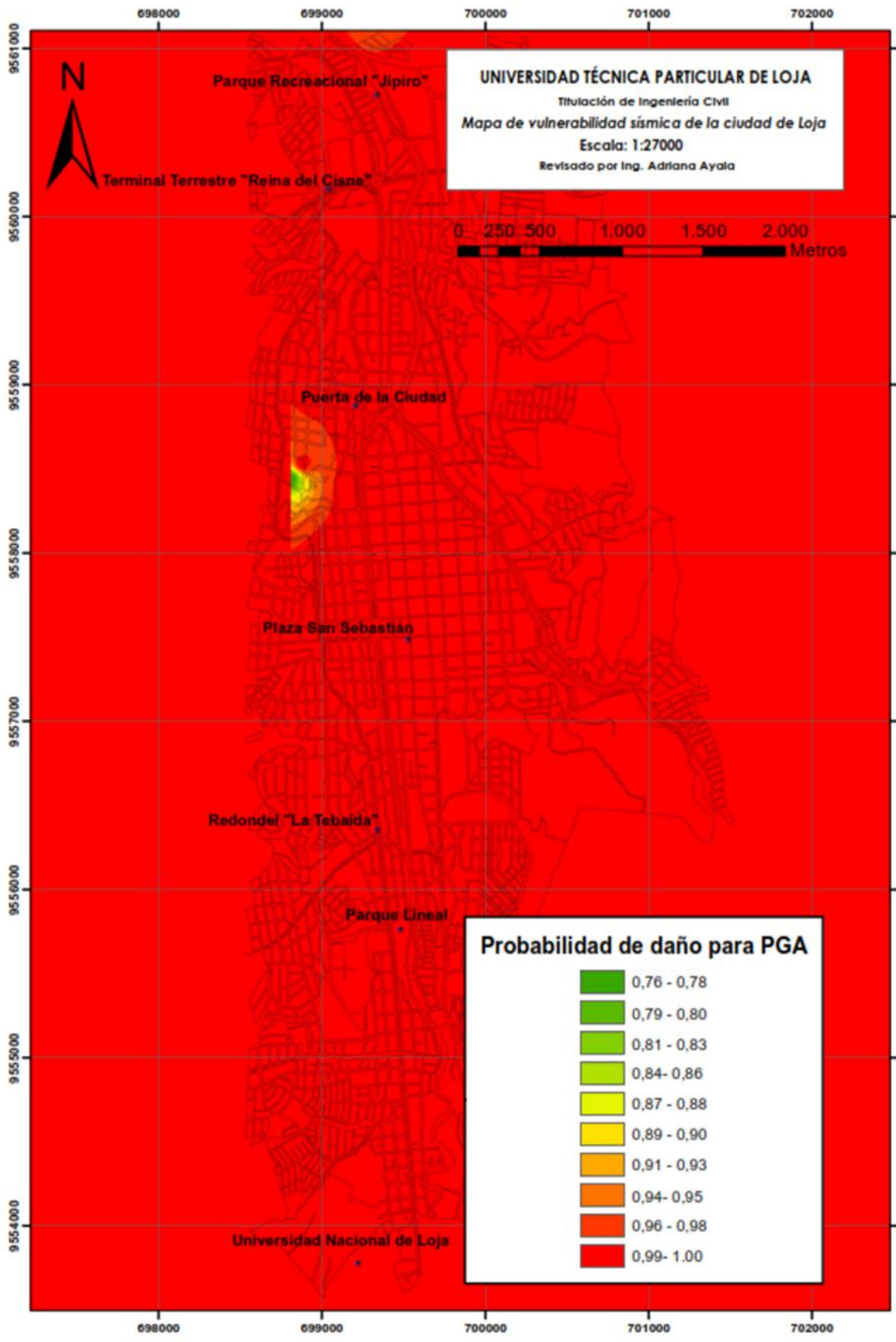
Anexo E – Probabilidad de daño de las edificaciones esenciales del norte de la ciudad de Loja a nivel de roca.



Anexo F – Mapa de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones esenciales del norte de la ciudad de Loja a nivel de suelo.



Anexo G – Mapa de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones esenciales de la ciudad de Loja a nivel de suelo.



Anexo H – Probabilidad de daño de las edificaciones esenciales del norte de la ciudad de Loja a nivel de suelo.

