UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TITULACIÓN DE INGENIERÍA CIVIL

Construcción de un mapa de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones esenciales del sector sur de la ciudad de Loja comprendido entre las calles Celica - Aristóteles y Río Marañón – Av. Los Paltas

TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

AUTOR: Sarango Guamán, Adriana del Rocío
DIRECTOR: Ayala Mendoza, Adriana del Carmen, Ing.

LOJA

2013

Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es

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 sector sur de la ciudad de Loja comprendido entre las calles Celica - Aristóteles y Río Marañón – Av. Los Paltas” realizado por Sarango Guamán Adriana del Rocío, 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 Sarango Guamán Adriana del Rocío declaro ser autora del presente trabajo de fin de titulación: : "Construcción de un mapa de Vulnerabilidad Sísmica de las edificaciones esenciales del sector sur de la ciudad de Loja comprendido entre las calles Celica - Aristóteles y Río Marañón – Av. Los Paltas", 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: Sarango Guamán Adriana del Rocío

CI: 1105030702

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado con el amor y el afecto más profundo a mis padres; Euclides y Rubila, por su amor, sabiduría y fortaleza que me inspiraron para cumplir con esta meta y a toda mi familia por forjarme las raíces de quien soy y por darme la libertad para seguir mi camino.

Sarango Guamán Adriana del Rocío

AGRADECIMIENTO

A lo largo de este camino he tenido algunos obstáculos y dificultades, sin embargo, he contado con la ayuda, el apoyo y la compañía de muchas personas a las que quiero expresar mi agradecimiento.

En primer lugar agradezco a Dios por permitirme llegar a este momento tan especial de mi vida, a mis padres y a mi familia por su apoyo incondicional, su abnegación y comprensión durante mi carrera universitaria

A la Ing. Adriana del Carmen Ayala, es un honor haber realizado este trabajo bajo su dirección y le estaré siempre muy agradecida por el interés y la dedicación que le ha procurado al desarrollo de este proyecto de investigación, transmitiéndome la confianza necesaria para llevarlo a cabo.

A la Universidad Técnica Particular de Loja por la formación académica que me brindó, así como a todos y cada de uno de los profesores de la Escuela de Ingeniería Civil, quienes desinteresadamente compartieron sus conocimientos.

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.

Deseo mostrar mi más sincero agradecimiento a todas aquellas personas que durante esta etapa de mi vida me supieron guiar y sin las cuales, este trabajo no habría visto la luz a mis amigos y compañeros de clase, especialmente a Cristina y Magaly por la confianza que me han otorgado y de quienes he tenido la suerte compartir este camino, asi como también a mi compañero de Gestión Productiva Jimmy Alberca, por su colaboración para realizar los levantamientos y sobre por su buena voluntad para realizarlos.

Finalmente a todos quienes de alguna u otra forma han contribuido a lo largo de mi carrera universitaria les agradezco infinitamente.

Sarango Guamán Adriana del Rocío

INDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS iii

DEDICATORIA iv

AGRADECIMIENTO v

INDICE DE CONTENIDOS vi

INDICE DE FIGURAS ix

RESUMEN 1

ABSTRACT 2

INTRODUCCIÓN 3

CAPITULO I 1

1. DESCRIPCION GENERAL DEL PROYECTO 5

1.1 Alcance 5

1.2 Objetivos de la investigación 5

1.2.1 Objetivo General. 5

1.2.2 Objetivos Específicos. 5

1.3 Organización de la investigación 6

1.4 Diseño metodológico 6

CAPITULO II 8

2. MARCO TEÓRICO 9

2.1. Riesgo Sísmico 9

2.2. Peligrosidad 9

2.4.2. Curvas de vulnerabilidad. 10

2.4.3. Metodologías de análisis 10

2.4.3.1. Metodología para el análisis de vulnerabilidad sísmica DBELA. 11

2.5. Análisis Estructural 12

2.5.1. Definición 12

2.5.2. Capacidad 13

2.5.2.1. Técnica del Pushover. 13

2.5.2.2. Método del Espectro de Capacidad. 14

2.5.2.2.1. Espectro de Capacidad de una Estructura 14

2.5.3. Demanda 15

2.5.3.1. Espectro de Demanda 15

2.5.4. Método del espectro de capacidad para determinar el punto de demanda 16

2.5.5. Estados límites. 17
2.5.5.1. Estados límites de la sección 17
2.5.5.2. Estados límites globales de la estructura. 18
2.6. Efectos de Sitio 18
CAPITULO III 19
3. ELABORACIÓN DEL INVENTARIO DE EDIFICACIONES Y RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN 20
3.1. Consideraciones Generales 20
3.2. Características de las edificaciones 21
3.2.1. Taxonomía GEM (Global Earthquake Methodology) 22
CAPITULO IV 25
4. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN RECOPILADA Y MODELACIÓN DE ESTRUCTURAS 26
4.1. Geometría de los elementos 26
4.1.1. Categoría 1 26
4.1.2. Categoría 2 29
4.1.3. Categoría 3 33
4.2. Propiedades de los materiales 36
4.2.1. Concreto 36
4.2.2. Acero 36
4.3. Modelación de las Categorías 36
4.3.1. Parámetros de modelamiento estructural 37
4.3.2. Selección de sismos 37
4.4. Análisis de la capacidad estructural 38
4.4.1. Espectro de Demanda 38
4.4.2. Análisis Estático 41
4.4.3. Análisis Pushover 41
4.4.3.1. Bilineal Categoría 1 42
4.4.3.2. Bilineal Categoría 2 43
4.4.3.3. Bilineal Categoría 3 44
4.4.4. Punto de desempeño 44
CAPITULO V 47
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONSTRUCCION DEL MAPA DE VULNERABILIDAD SÍSMICA 48
5.1. Curvas de Vulnerabilidad 48
5.1.1. Vulnerabilidad Categoría 1 48
5.1.2. Vulnerabilidad Categoría 2 49

5.1.3. Vulnerabilidad Categoría 3 49
5.2. Mapa de Vulnerabilidad sector Sur 50
CONCLUSIONES 52
BIBLIOGRAFÍA 55
ANEXOS 57
ANEXO A.-FOTOGRAFÍAS DE LAS EDIFICACIONES ESENCIALES DEL SECTOR SUR DE LA CIUDAD DE LOJA 58
ANEXO B.- MAPA DE PROBABILIDAD DE DAÑO DE LAS EDIFICACIONES ESENCIALES DEL SUR DE LOJA MEDIDO EN PRA (ESCALA 1:14000) 63
ANEXO C.- MAPA DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL SECTOR SUR DE LA CIUDAD DE LOJA MEDIDO EN PRA (ESCALA 1:12000) 64
ANEXO D.- MAPA DE PROBABILIDAD DE DAÑO DE LAS EDIFICACIONES ESENCIALES DEL SUR DE LOJA MEDIDO EN PGA (ESCALA 1:14000) 65
ANEXO E.- MAPA DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL SECTOR SUR DE LA CIUDAD DE LOJA MEDIDO EN PGA (ESCALA 1:12000) 66
ANEXO F.- MAPA DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LA CIUDAD DE LOJA MEDIDO EN PRA (ESCALA 1:27000) 67
..... 67
ANEXO G.- MAPA DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LA CIUDAD DE LOJA MEDIDO EN PGA (ESCALA 1:27000) 68
ANEXO H.- MAPA DE PUNTOS DE REFERENCIA DE LA CIUDAD DE LOJA (ESCALA 1:27000) 69
..... 69

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Procedimiento pushover para determinar la curva de capacidad de la edificación 13
Figura 2 Esquema de cálculo del Espectro de Capacidad de una Estructura 14
Figura 3 Espectro sísmico de diseño elástico de aceleraciones 16
Figura 4 Descripción del Método del Espectro de Capacidad para determinar el punto de demanda. 16
Figura 5 Distribución de las edificaciones del sector sur según su ocupación 24
Figura 6 Distribución de las edificaciones del sector sur según el número de pisos 24
Figura 7 Distribución de las edificaciones del sector sur según el número de vanos 25
Figura 9 Dimensión X de las columnas (Categoría 1) 27
Figura 10 Dimensión Y de las columnas (Categoría 1) 27
Figura 11 Dimensión X de las Vigas (Categoría 1) 28
Figura 12 Dimensión Y de las Vigas (Categoría 1) 28
Figura 13 Dimensión de entrepiso (Categoría 1) 28
Figura 14 Dimensión de vanos (Categoría 1) 29
Figura 15 Espesor losa (Categoría 1) 29
Figura 16 Dimensión X de las columnas (Categoría 2) 30
Figura 17 Dimensión Y de las columnas (Categoría 2) 31
Figura 18 Dimensión X de las Vigas (Categoría 2) 31
Figura 19 Dimensión Y de las Vigas (Categoría 2) 31
Figura 20 Dimensión de entrepiso (Categoría 2) 32
Figura 21 Dimensión de vanos (Categoría 2) 32
Figura 22 Espesor losa (Categoría 2) 32
Figura 23 Dimensión X de las columnas (Categoría 3) 33
Figura 24 Dimensión Y de las columnas (Categoría 3) 34
Figura 25 Dimensión X de las Vigas (Categoría 3) 34
Figura 26 Dimensión Y de las Vigas (Categoría 3) 34
Figura 27 Dimensión de entrepiso (Categoría 3) 35
Figura 28 Dimensión de vanos (Categoría 3) 35
Figura 29 Espesor losa (Categoría 3) 35
Figura 30 Espectros de Demanda Z= 0.23 para Categoría 1-2-3 39
Figura 31 Espectros de Demanda Z= 0.24 para Categoría 1-2-3 40
Figura 32 Espectros de Demanda Z= 0.25 para Categoría 1-2-3 40
Figura 33 Espectros de Demanda Z= 0.26 para Categoría 1-2-3 41
Figura 34 Curvas Bilineales de 50 edificaciones correspondientes a la categoría 1 42
Figura 35 Curva Bilineal característica de la categoría 1 42
Figura 36 Curvas Bilineales de 50 edificaciones correspondientes a la categoría 2 43
Figura 37 Curva Bilineal característica de la categoría 2 43
Figura 38 Curvas Bilineales de 50 edificaciones correspondientes a la categoría 3 44
Figura 39 Curva Bilineal característica de la categoría 3 44
Figura 40 Categoría 1 – Superposición Espectros Demanda - Capacidad 45
Figura 41 Categoría 2 - Superposición Espectros Demanda - Capacidad 45
Figura 42 Categoría 3 - Superposición Espectros Demanda - Capacidad 46
Figura 43 Curva de Vulnerabilidad Categoría 1 48

Figura 44 Curva de Vulnerabilidad Categoría 2 49
Figura 45 Curva de Vulnerabilidad Categoría 3 50
Figura 46 Centro de Salud 58
Figura 47 Policía 58
Figura 48 Centro de Salud N°2 59
Figura 49 Caballería Cazadores de los Rios 59
Figura 50 Escuela Matilde Hidalgo de Procel 60
Figura 51 Escuela Alonso de Mercadillo 60
Figura 52 Escuela Heroes del Cenepa 61
Figura 53 Policlinico Municipal 61
Figura 54 Colegio Bernardo Valdiviezo 62
Figura 55 Colegio 27 de Febrero 62

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Edificaciones Esenciales correspondientes al sur de la ciudad de Loja 21
Tabla 2 Taxonomía de Referencia 22
Tabla 3 Descripción de las características de las estructuras consideradas en el estudio. ... 23
Tabla 4 Características estructurales de los edificios del sector sur 25
Tabla 5 Edificaciones categoría 1 (7 plantas - 5 vanos) 26
Tabla 6 Características estadísticas de la categoría 1 27
Tabla 7 Edificaciones categoría 2 (4 plantas - 8 vanos) 30
Tabla 8 Características estadísticas de la categoría 2 30
Tabla 9 Edificaciones categoría 3 (8 plantas - 8 vanos) 33
Tabla 10 Características estadísticas de la categoría 3 33
Tabla 11 Características de los sismos 38
Tabla 12 Factor de Reducción del Espectro de Demanda 39
Tabla 13 Probabilidad de daño en suelo y roca de las estructuras del sector sur 51

RESUMEN

Se presenta un análisis de vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales del sector sur de la ciudad de Loja; con la aplicación de la metodología DBELA, la cual permite la estimación de pérdidas debido terremotos basada en desplazamientos, que es una propuesta probabilística para la generación de una población aleatoria de edificaciones, las estructuras son clasificadas según sus características estructurales siguiendo la información estadística de las propiedades geométricas, materiales, año de construcción, luego se calcula la capacidad estructural de cada edificación en forma aleatoria (capacidad de desplazamiento vs. Cortante basal) y comparada con la demanda sísmica, obteniéndose de esta forma probabilidades de daños (curvas de vulnerabilidad) para diferentes valores de intensidad sísmica. Finalmente en función de la posición georeferenciada de las edificaciones seleccionadas y el correspondiente valor de probabilidad de daño según la aceleración del sitio se genera el mapa del sector sur.

Los resultados de la investigación contribuirán al conocimiento de la situación estructural de los edificios esenciales de la ciudad de Loja, así como también el estudio podrá ser utilizado como referencia para determinar el peligro sísmico de la ciudad.

PALABRAS CLAVES: vulnerabilidad sísmica, edificaciones esenciales, DBELA

ABSTRACT

This research presents an analysis of seismic vulnerability of buildings in Loja city. It has been used DBELA methodology in order to estimate seismic losses. DBELA uses a displacement based procedure and a probability proposal for generating a random population of buildings. The random population is based on information related with geometric properties, structural characteristics, materials, construction year, etc. Once the structural capability of each random building is calculated (displacement capacity vs base shear) and compared with the seismic demand, the probability of damage (vulnerability curves) for different values of seismic intensity can be obtained. Finally, depending on each building location and seismic intensity value, it is generated some maps based on the probability lost ratio and according with the PGA representative of each place.

The results of the research will contribute to the knowledge of the vulnerability situation of essential buildings in Loja, as well as a reference for determining seismic hazard analysis for the city.

KEYWORDS: seismic vulnerability, essential buildings, DBELA

INTRODUCCIÓN

La actividad sísmica en el Ecuador es de gran notoriedad, como se ha demostrado por la ocurrencia de varios eventos de esta índole que han acarreado destrucción, daños a toda escala, y lo más grave pérdidas humanas, esto se debe a que, el país está ubicado en una zona de alta sismicidad. Los últimos eventos sísmicos que produjeron desastres en los países vecinos, y la sismicidad histórica de nuestro país son hechos que evidencian el posible mal funcionamiento de las estructuras bajo la acción de cargas sísmicas, situación que justifica la importancia de realizar un estudio de vulnerabilidad sísmica que permita evaluar el desempeño de las estructuras como preámbulo para una futura evaluación del riesgo sísmico en el país.

La importancia del estudio de vulnerabilidad radica en que nos permite conocer el comportamiento de una estructura ante un eventual sismo, información que puede ser usada para mejorar la planificación urbana; en este sentido, debido a que la ciudad de Loja se encuentra en un proceso de constante expansión urbana, conjuntamente con la falta de control en el diseño y construcción de las estructuras; ponen de manifiesto la necesidad de información sobre la situación actual de edificaciones esenciales.

Un mapa de vulnerabilidad permite determinar la probabilidad de daño en edificaciones ubicadas en las diferentes zonas de la ciudad, información que permite a los profesionales prever en cierto grado el comportamiento de las estructuras bajo la acción de fuerzas sísmicas.

La estimación de pérdidas por terremotos basada en desplazamientos se analiza a través del método DBELA, para lo cual es necesaria una base de información sobre las características de las edificaciones esenciales, para la posterior clasificación los edificios de acuerdo a la taxonomía del Global Earthquake Methodology (GEM). El siguiente paso es la simulación de estructuras aleatorias dentro de cada clase y finalmente se determinan las curvas de fragilidad para crear un mapa de vulnerabilidad sísmica de la ciudad de Loja.

CAPITULO I

1. DESCRIPCION GENERAL DEL PROYECTO

1.1 Alcance

El proyecto de investigación pretende construir un mapa de vulnerabilidad sísmica del sector sur de la ciudad de Loja comprendido entre las calles Celica - Aristóteles y Río Marañón – Av. Los Paltas**.**

Las edificaciones objeto de la investigación son esenciales denominadas así, debido a que son las aquellas que deberían mantenerse funciónales en caso de un evento sísmico por su importancia social y para manejo de situaciones de emergencia.

Se establecen varias tipologías de edificaciones de acuerdo a las características de las estructuras, tomando como base la clasificación establecida por el Global Earthquake Methodology (GEM). Una vez creadas la tipologías se procede a generar múltiples modelos aleatorios de estructuras representativas de cada categoría, para el análisis de vulnerabilidad se aplica la metodología DBELA - DISPLACEMENT – BASED EARHTQUAKE LOSS ASSESMENT. Finalmente con la información desarrollada en los otros sectores de Loja se construye un mapa de vulnerabilidad sísmica de la ciudad.

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo General.

- La generación de un mapa de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones de la ciudad de Loja edificaciones esenciales del sector sur de la ciudad de Loja comprendido entre las calles Celica - Aristóteles y Río Marañón – Av. Los Paltas

1.2.2 Objetivos Específicos.

- Establecer base de datos de edificaciones esenciales del sector sur de la ciudad de Loja
- Clasificar los edificios de acuerdo a la taxonomía del GEM.
- Simular aleatoriamente edificaciones dentro de cada clase considerada.
- Determinar las curvas de vulnerabilidad sísmica por cada clase de edificio.
- Crear un mapa de vulnerabilidad sísmica de la ciudad de Loja.
- Analizar los resultados e identificar las zonas que presenten mayor vulnerabilidad en la ciudad de Loja.

1.3 Organización de la investigación

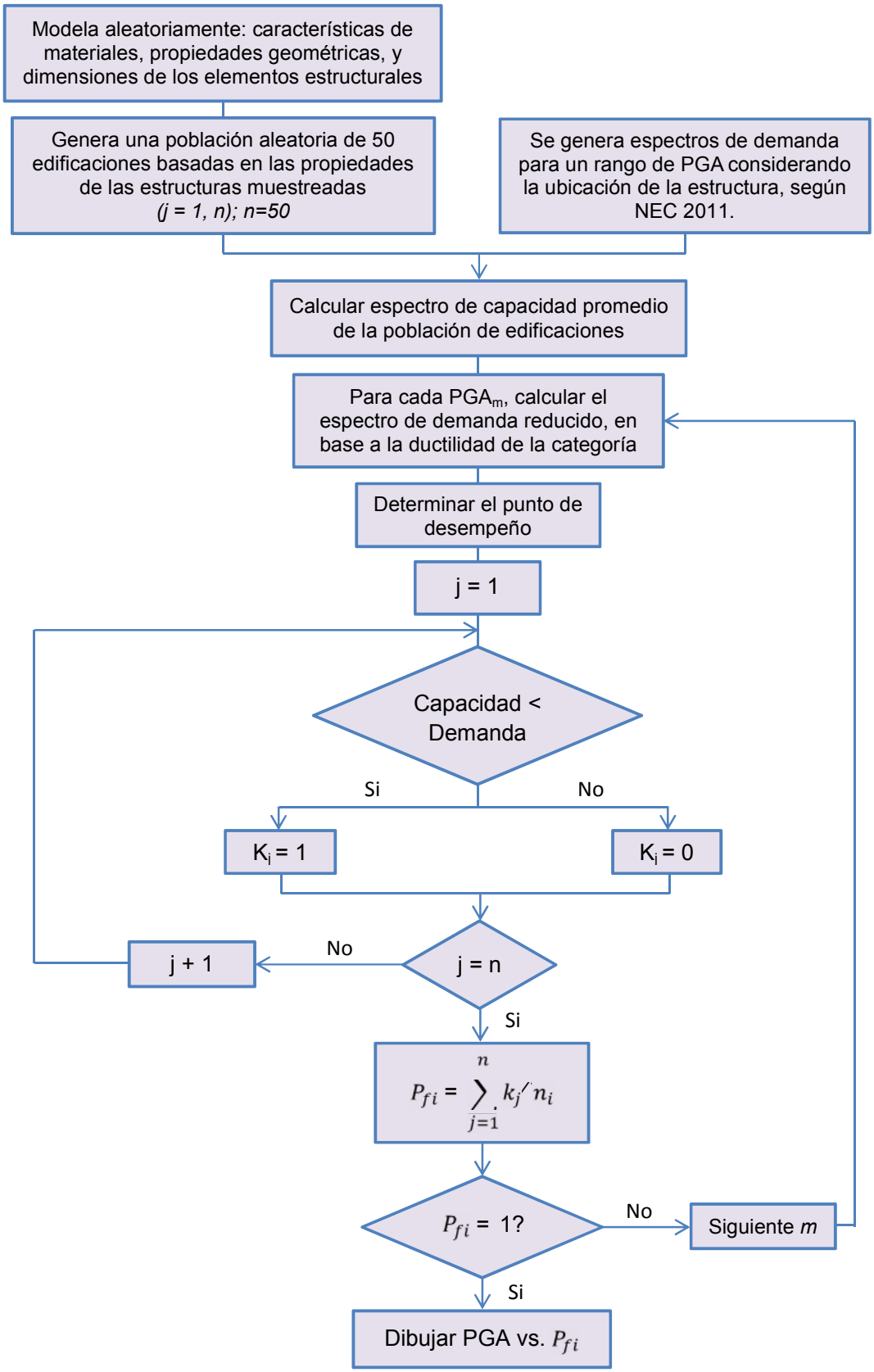
En lo que se refiere al ámbito organizativo, el proyecto de investigación se ha estructurado en capítulos: la descripción general del proyecto corresponde al Capítulo I, formulación del marco teórico en el capítulo II, la elaboración del inventario de edificaciones y recopilación de información de la investigación se especifica en el capítulo III, el análisis de la información recopilada y modelación de estructuras en el capítulo IV, análisis de resultados y construcción del mapa de vulnerabilidad sísmica establecida en el capítulo V, finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones del proyecto de investigación.

1.4 Diseño metodológico

La metodología comprende los siguientes puntos:

- Recopilación de información sísmica de la ciudad de Loja, así como también de bibliografía necesaria para justificar el estudio
- Levantamiento geométrico de las edificaciones, para determinar las dimensiones de las elementos , así como también información sobre los materiales y aspectos relevantes de la estructura
- Elaboración de un registro de edificaciones que contenga características estructurales, correspondientes al sector sur de la ciudad
- Clasificación de las edificaciones según tipología, establecida en función de las características comunes determinadas a través de una análisis estadístico que permite reconocer la similitud de las características estructurales que hay entre las edificaciones a evaluar. Se considera el número de pisos y vanos como variable fija de cada clase, mientras se establece de forma estadística la distribución de las otras características estructurales.
- Modelo y simulación de edificaciones aleatorias usando el software 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.
- Análisis de los resultados obtenidos de las simulaciones mediante la metodología DBELA, para la obtención de las curvas de vulnerabilidad por cada una de las tipologías consideradas. Con los resultados de las curvas de vulnerabilidad, y el valor de intensidad sísmica se asigna a cada estructura dichos valores, según su posición georeferenciada, obteniendo una fuente de información que nos permita conocer el grado de vulnerabilidad del sector sur, así como también con el aporte de otras investigaciones construir el mapa de vulnerabilidad de la ciudad de Loja.

Flujograma de la metodología



CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Riesgo Sísmico

Evaluación de las posibles consecuencias sociales y económicas que puede causar un sismo en una zona y espacio de tiempo determinados, en concordancia con el peligro sísmico. Por ejemplo: víctimas, pérdidas materiales, etc. El nivel de riesgo sísmico de un lugar depende en primer lugar, del mayor terremoto probable esperado y en segundo lugar, de factores como: la cantidad de asentamientos humanos de la zona, la vulnerabilidad o calidad de las construcciones, la densidad de población, el nivel de preparación de la población en prevención (Correa, Hinojosa, & Taipe, 2004).

2.2. Peligrosidad

Dentro de todos los peligros que ocurren debido a los fenómenos naturales, los terremotos son uno de los más relevantes; causan deterioros millonarios en infraestructuras, impacto psicológico en la sociedad y engendran peligros secundarios. De los peligros sísmicos debido a los terremotos, el más importante es el movimiento del terreno. El peligro sísmico es la probabilidad de ocurrencia de movimientos sísmicos de cierta intensidad en una zona determinada durante un tiempo de exposición. El peligro también puede incluir otros efectos que el sismo genera, como derrumbes y licuefacción de suelos (Bommer et al. 1998). El peligro sísmico se representa mediante parámetros simples como la intensidad, aceleración del terreno o el espectro de repuesta.

2.3. Exposición

Se define la exposición llamándola también elementos en riesgo. Estos son la población, las edificaciones y obras civiles, las actividades económicas, los servicios públicos, las utilidades y la infraestructura expuesta en un área determinada.

2.4. Vulnerabilidad sísmica

2.4.1. Definición

La vulnerabilidad sísmica es el grado de susceptibilidad de una o un grupo de edificaciones, a sufrir daños parciales o totales, representados en bienes materiales y en vidas humanas, que pueden ocasionar la pérdida de la funcionalidad, por la ocurrencia de movimientos sísmicos de intensidad y magnitud dadas, en un periodo de tiempo y en sitio determinado (Peralta, 2002.). El primer paso de un estudio de vulnerabilidad es definir su naturaleza y alcance, condicionados por factores como:

- Tipo de daño a evaluarse.
- Nivel de amenaza en la zona.
- Información disponible sobre las estructuras.
- Datos relacionados con daños en las zonas de estudio.

Definidos estos factores, con una adecuada modelación de la acción sísmica y del comportamiento de la estructura, es posible desarrollar una evaluación de la vulnerabilidad sísmica. Una vez conocido el comportamiento de varios tipos estructuras, se las expone a diferentes intensidades de excitación del suelo y con ello lo podemos utilizar para una predicción o proyección de los daños que pueden sufrir durante el fenómeno. Por este motivo las funciones de vulnerabilidad derivadas para la estimación de pérdidas específicas de los elementos pueden utilizarse como información básica para la evaluación de la vulnerabilidad y posteriormente para la determinación de riesgo sísmico.

2.4.2. Curvas de vulnerabilidad.

Conducen a relaciones explícitas que nos permiten evaluar de manera directa los daños esperados para los diferentes niveles de la acción sísmica.

Estas curvas pueden obtenerse de un análisis sísmico estático no lineal, en el cual va cambiando la rigidez a flexión de los elementos de acuerdo al grado de daño y el resultado que se obtiene es la relación entre el cortante basal y el desplazamiento lateral máximo en la cubierta del edificio (capacidad resistente de la estructura).

Existen varios criterios para definir el punto de falla o punto de colapso de una estructura. Algunos de esos criterios consideran que el fallo en una estructura se alcanza cuando el desplazamiento lateral máximo tiene un valor comprendido entre el 5 y 10% de la altura total del edificio.

Generalmente las curvas de capacidad se construyen para representar el modo de vibración predominante del edificio, que en edificaciones de baja altura, resulta ser el primer modo de vibración, intentan representar la envolvente de los ciclos de histéresis producidos durante un evento sísmico y puede ser considerada como un indicador del desempeño post elástico de la estructura (Kattan, 2010).

2.4.3. Metodologías de análisis

Cuando nosotros identificamos a un edificio como potencialmente vulnerable, tanto a sus estructuras como a sus elementos no estructurales, es necesario seguir con el proceso de investigación para confirmar o descartar dicha vulnerabilidad. En caso de confirmarla

debemos determinar la naturaleza y extensión de los daños probables, la magnitud del riesgo y la pérdida, en definitiva se trata de seguir un procedimiento de la evaluación de la competencia sismorresistente.

Para realizar los estudios de vulnerabilidad existen muchas metodologías valederas en la literatura internacional que se han encontrado en la bibliografía consultada. En general éstas se clasifican en:

- Métodos cualitativos.
- Métodos experimentales.
- Métodos analíticos.

Entre los más utilizados podemos citar al Multiple Stripe Analysis (MSA) que es un análisis de banda múltiple, el método de índice de vulnerabilidad que se basa en un gran número de datos sobre encuestas de daños, y el método de evaluación de pérdidas por terremotos basados en desplazamientos (Displacement – Based Earthquake Loss Assessment DBELA)

2.4.3.1. Metodología para el análisis de vulnerabilidad sísmica DBELA.

Estimación de pérdidas por sismos basados en desplazamientos, se basa en un procedimiento propuesto por Calvi, (Calvi, 1999), que utiliza los principios del diseño por el método directo basado en desplazamientos. Esta metodología plantea la generación de una población aleatoria de edificios siguiendo la información estadística de las propiedades geométricas. Luego, la capacidad estructural de cada vivienda aleatoria es calculada (capacidad de desplazamiento vs. período de vibración) y comparada con la demanda sísmica, obteniéndose de esta forma probabilidades de daños (curvas de vulnerabilidad).

- **El método de Montecarlo:** es una técnica de simulación que permite estimar la respuesta de procesos estocásticos. A partir de funciones de distribución de probabilidad de las variables del proceso se pueden estimar las respuestas (Bonett, 2003). Para estudiar la vulnerabilidad de edificios, se genera un conjunto de muestras de las variables que representan los parámetros sísmicos y estructurales. Los valores para cada parámetro se eligen en forma aleatoria a partir de su distribución de probabilidad.

En DBELA, el período de vibración de un edificio se define a partir de una relación empírica periodo - altura. El edificio con múltiples grados de libertad (MDOF) se modela como un sistema con un solo grado de libertad SDOF, y la capacidad de desplazamiento de este se compara con la demanda de desplazamiento de un espectro de respuesta.

Para pórticos de hormigón armado, el período elástico de vibración está relacionado con la altura del edificio a través de una relación que se ha derivado de los periodos de vibración calculados analíticamente para un número de edificios de concreto armado.
En DBELA, el comportamiento se supone perfectamente elasto-plástico y, por lo tanto, la relación entre el período de vibración elástico y el período correspondiente a un estado límite i (TLSi).

La capacidad de desplazamiento del edificio está relacionada a estados de daño diferentes que son identificables a través de estados límite. Tres condiciones de estado límite han sido identificadas: daño leve, daño significante y colapso. El estado límite con daño leve se refiere a la situación donde el edificio puede ser utilizado después del sismo sin la necesidad de reparación y / o fortaleciendo. Si un edificio se deforma más allá del estado límite con daño considerable, no puede ser utilizado después del sismo sin ser reparado; además, en este nivel de daño puede que no sea económicamente ventajoso la reparación del edificio. Si, se alcanza el estado límite de colapso el edificio se vuelve inseguro para sus ocupantes al no ser capaz de sostener cualquier otra fuerza lateral ni las cargas gravitacionales para las que ha sido diseñado.

2.5. Análisis Estructural

2.5.1. Definición

Determinación de la capacidad de una estructura o de cualquiera de sus elementos para soportar un tipo de cargas, dados los apoyos de que consta para ello. Analizar una estructura es fundamental para conocer el comportamiento de esta frente a las diferentes solicitaciones tanto estáticas como dinámicas. Frente a estas solicitaciones las estructuras sufren pequeñas deformaciones internas, tanto en los nudos como en la viga misma, siempre que los apoyos o la viga misma permita alguna deformación. El conocer estos comportamientos permite saber si la deformación será resistida por la estructura.

- **Análisis Estático:** Representa las solicitaciones sísmicas mediante un conjunto de fuerzas horizontales actuando en cada nivel, el análisis estático de estructuras sujetas a fuerza lateral dentro del rango de comportamiento lineal toma en cuenta, en forma parcial las torsiones de entrepiso que se pueden causar.

- **Análisis Dinámico:** el análisis dinámico estudiaría el comportamiento dinámico de dichas estructuras y la aparición de posibles vibraciones perniciosas para la

estructura. En este tipo de análisis se buscan las respuestas máximas de ciertos parámetros (aceleraciones, desplazamientos, esfuerzos, etc.) que se producen en una estructura bajo cargas dinámicas o variables con el tiempo.

2.5.2. Capacidad

2.5.2.1. Técnica del Pushover.

La técnica del Pushover, consiste en aplicar a nivel de entrepiso en la estructura, cargas estáticas monotónicas, en forma incremental, con variación constante, triangular o en función de los modos de vibración; hasta llevarle al colapso.

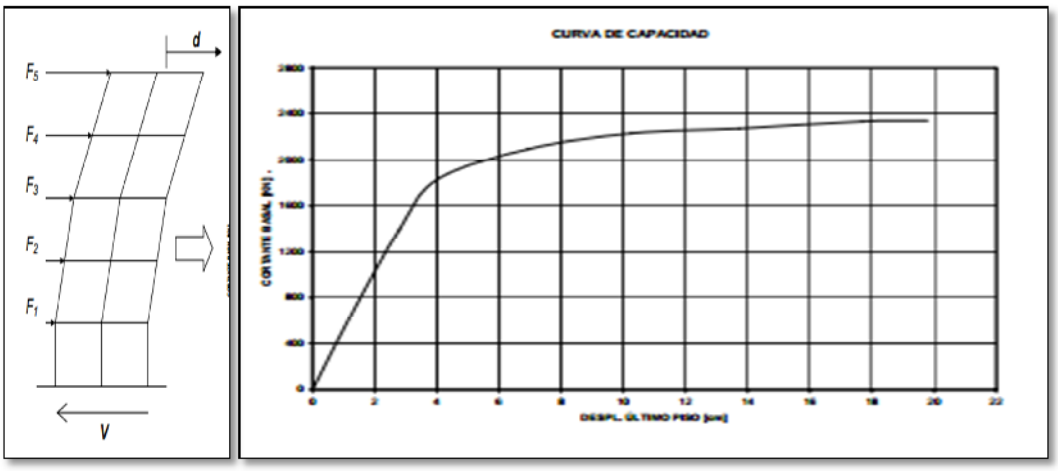


Figura 1 Procedimiento pushover para determinar la curva de capacidad de la edificación
Fuente: Mora, 2005

El análisis Pushover se puede realizar utilizando control de fuerzas o control de desplazamientos. Cuando se implementa un análisis Pushover controlando la fuerza, las cargas horizontales se aplican incrementalmente y para cada valor de carga se determina el correspondiente desplazamiento. Cuando se implementa un análisis pushover controlando el desplazamiento, la estructura se somete a un perfil de desplazamientos y las fuerzas necesarias para generar tal deformación son calculadas.

El cálculo de la curva de capacidad es muy sensible a la distribución lateral de fuerzas y el éxito que se tenga al utilizar este tipo de análisis depende en gran medida de la distribución seleccionada.

2.5.2.2. Método del Espectro de Capacidad.

Para aplicar este método es necesario encontrar el espectro de capacidad de la estructura en el formato, desplazamiento-aceleración y el espectro de demanda del sismo en el mismo formato, para de esta manera poder colocar ambos espectros en un mismo gráfico lo que permite visualizar lo que va a suceder con la estructura ante un sismo determinado, todo esto en forma general sin necesidad de realizar ningún cálculo. Fue propuesto por Freeman en el año de 1975, y permite visualizar en un gráfico el probable comportamiento de una estructura ante una excitación sísmica, (Chopra & Goel, 1999), sirve para determinar el máximo desplazamiento lateral de un sistema de un grado de libertad (punto de demanda) ante una acción sísmica dada. Se puede conceptualizar mejor la idea principal del método del espectro de capacidad mediante

2.5.2.2.1. Espectro de Capacidad de una Estructura

Para evaluar la vulnerabilidad sísmica de un edificio lo mejor es simular su comportamiento en el computador, ante un determinado sismo. Se puede realizar un análisis sísmico espacial considerando tres grados de libertad por planta y mediante un análisis modal espectral hallar los desplazamientos máximos probables esperados y las derivas de piso. (Aguiar, Análisis Sísmico de Edificios, 2008).

Con las derivas de piso o desplazamientos máximos se ingresa posteriormente a una curva de fragilidad y se determina el grado de vulnerabilidad de la estructura en términos de daño. (Aguiar, 2006).

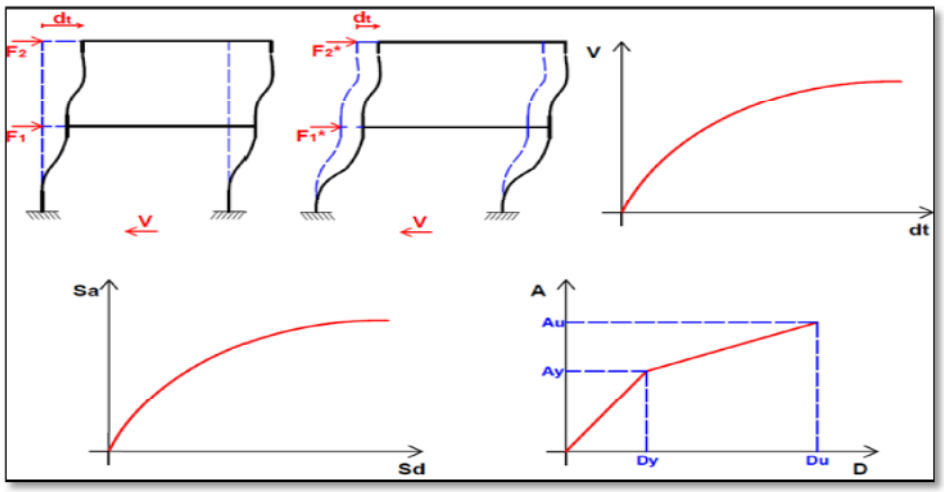


Figura 2 Esquema de cálculo del Espectro de Capacidad de una Estructura

Fuente: Aguiar, 2011

En el Análisis No Lineal Estático, existen dos formas de encontrar la curva de capacidad resistente, en la una se aplican cargas incrementales monotónicas en una dirección hasta que la estructura alcance el colapso (Técnica del Pushover) y en la segunda se la somete a un acelerograma el mismo que se va incrementando paulatinamente hasta que la estructura colapse.

El análisis No Lineal Estático es un paso intermedio entre el análisis lineal elástico y el análisis no lineal dinámico. Dentro del análisis no lineal estático lo que más se utiliza es la técnica del pushover, también conocido con el nombre de Análisis Incremental del Colapso, para encontrar la Curva de Capacidad Resistente de las estructuras ante acciones sísmicas, curva que relaciona el cortante basal V, con el desplazamiento lateral máximo de la estructura DT.

Para determinar la Curva de Capacidad Resistente, se necesita tener completamente definida la estructura, tanto en su geometría como en su armado, además se debe conocer la calidad de los materiales y para el caso de edificaciones de hormigón armado, las curvas constitutivas del hormigón y del acero. En la figura 2, superior derecha se muestra la curva de capacidad sísmica resistente de la estructura que relaciona el desplazamiento lateral en el tope del edificio con el cortante basal, halladas con la técnica el pushover, descrito en la figura 1, en la parte inferior izquierda de la figura 2, se muestra el espectro de capacidad, que se halla a partir de la curva de capacidad resistente.

2.5.3. Demanda

2.5.3.1. Espectro de Demanda

Los espectros de demanda, relacionan el desplazamiento espectral Sd, con la aceleración espectral Sa, y se los obtiene a partir de formas espectrales que relacionan la aceleración espectral con el período. El espectro de demanda es el que proporciona el NEC-2011, que relaciona período con aceleración espectral por lo que se pasa al formato desplazamiento espectral con aceleración utilizando la definición de pseudo espectro.

El espectro de respuesta elástico de aceleraciones expresado como fracción de la aceleración de la gravedad Sa, para el nivel del sismo de diseño, se proporciona en la figura 3, consistente con el factor de zona sísmica Z, el tipo de suelo del sitio de emplazamiento de la estructura y considerando los valores de los coeficiente de amplificación o de amplificación de suelo (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2011).

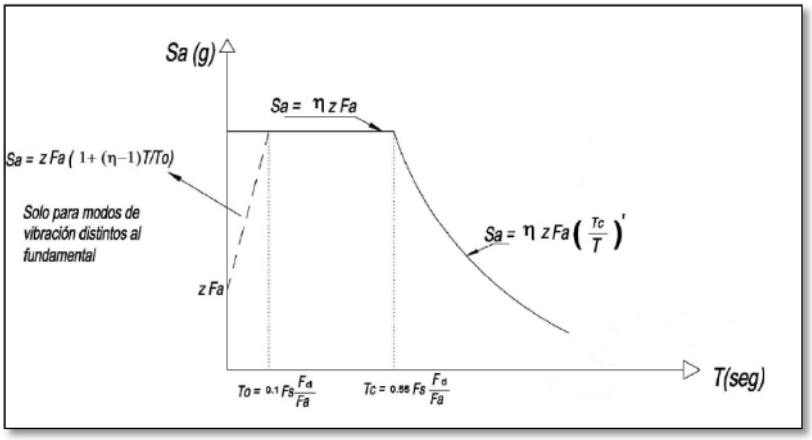


Figura 3 Espectro sísmico de diseño elástico de aceleraciones

Fuente: NEC, 2011

2.5.4. Método del espectro de capacidad para determinar el punto de demanda

Se define el punto de demanda, a aquel que intercepta el espectro de demanda con el espectro de capacidad para que la ductilidad del espectro de demanda sea igual a la ductilidad de la estructura. Es decir el espectro de demanda elástico, se va a reducir por comportamiento inelástico, si la estructura va a tener daño, mientras más se reduce mayor será el daño. Este método considera que la estructura va a responder en el primer modo de vibración, en consecuencia se trabaja solamente con este modo. Se debe indicar que el punto de demanda encontrado mediante este método es función del modelo de plasticidad que se utiliza, así como del criterio con el que se obtiene el modelo bilineal y desde luego del procedimiento que se utilice en el Método del Espectro de Capacidad.

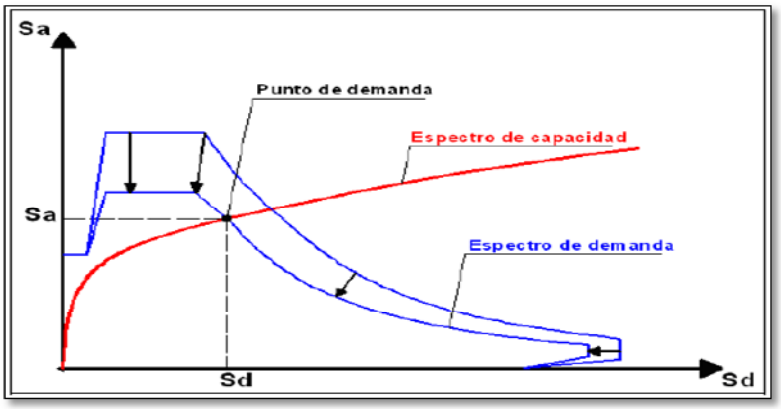


Figura 4 Descripción del Método del Espectro de Capacidad para determinar el punto de demanda.

Fuente: Aguiar, 2011

2.5.5. 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 dos formas para obtener los estados límites: estados límites de la sección de la estructura y estados límites de la estructura (Bal, Crowley, & Pinho, 2010).

2.5.5.1. Estados límites de la sección

El exceso del estado límite 1 (LS1), 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 puede definir por el siguiente límite de deformación:

$$\varepsilon_{C(LS1)} = 0002\ y\ \varepsilon_{s(LS1)} = \varepsilon_Y \qquad \textbf{Ecuación 1}$$

El exceso del estado límite 2 (LS2), 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.

$$\varepsilon_{C(LS2)} = 0004\ y\ \varepsilon_{s(LS2)} = 0.010 - 0.015 \qquad \textbf{Ecuación 2}$$

El exceso del estado límite 3 (LS3), 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:

$$\varepsilon_{C(LS3)} = 0005 - 0.010 \; y \; \varepsilon_{s(LS3)} = 0.015 - 0.030$$ **Ecuación 3**

2.5.5.2. Estados límites globales de la estructura.

El Código Europeo de sismos nos indica una forma más realista sobre determinar los límites globales, éste nos dice que el estado límite de la estructura se alcanza si el porcentaje de las vigas y columnas ha excedido el límite de deformación dados.

- El estado límite 1 (daño moderado) es excedido si, el 10% de las vigas y cualquier columna de cualquier sección alcanza la deformación del estado límite LS1. De otro modo la estructura está por debajo del LS1 (no hay o es daño ligero).
- El estado límite 2 (daño fuerte) es excedido si, más del 30% de las vigas en dirección de la carga o el 20% de las columnas alcanza el estado límite LS2. El LS2 también es alcanzado si los dos extremos de las columnas que contribuyen a más del 30% del cortante basal alcanzan el primer estado límite. El resto de las columnas deben permanecer bajo el segundo estado límite en éste caso.
- El estado límite 3 (colapso) es excedido, si más del 20% de las vigas en la dirección de la carga alcanzan el LS2. El LS3 es además alcanzado si las dos terminaciones de las columnas que contribuyen en total con más del 30% del cortante basal, alcanzan el LS1. El resto de las columnas deben permanecer bajo del LS3 en éste caso (Bal, Crowley, & Pinho, 2010)

2.6. Efectos de Sitio

Es la transformación que sufren las ondas sísmicas desde la roca base hasta la superficie y es diferente e independiente del efecto de interacción suelo – estructura ya que se presenta esté o no un edificio. El efecto de sitio es la respuesta del terreno con características distintas en amplitud, duración o frecuencias, en un área reducida con respecto al entorno regional. Depende de la topografía, espesor y distribución de los estratos, propiedades mecánicas de los suelos (velocidades de ondas P y S, densidad, amortiguamiento).

CAPITULO III

3. ELABORACIÓN DEL INVENTARIO DE EDIFICACIONES Y RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN

3.1. Consideraciones Generales

El rango de evaluación en la presente investigación comprende las edificaciones esenciales ubicadas en el sector sur de la ciudad de Loja comprendido entre las calles Celica - Aristóteles y Río Marañón – Av. Los Paltas, estableciendo que las edificaciones esenciales y/o peligrosas 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; que corresponden a:

- Hospitales, Clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria.
- Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil.

Asimismo en el presente estudio se ha incluido algunos edificios en categoría de estructuras de ocupación especial, en particular a escuelas y colegios del aérea urbana ya que estos constituyen una muestra representativa tanto por el número elevado de éste tipo de estructuras en la 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.

La elaboración del inventario de edificaciones y la recopilación de información se realiza a través de gestiones en el municipio de la localidad para obtener los planos estructurales de las edificaciones, utilizando este medio se consiguen solamente la información de pocas edificaciones, debido a la falta de un registro de edificaciones que permita aplicar directamente la metodología, ha sido preciso obtener la información requerida mediante el levantamiento de las edificaciones con técnicas no destructivas; mismas que comprenden la medición a cinta de las características geométricas de la estructura; es decir, secciones de vigas y columnas, espesor de losa, altura de entrepisos, números de vanos y distancia entre ellos; tipos de materiales y sus características, año de construcción, ocupación, entre otros.

La cantidad de acero en las estructuras será determinada mediante el cálculo de la cuantía mínima, esto debido a la imposibilidad de acceder a planos estructurales de algunos edificios por un lado y que tampoco es posible realizar exploraciones destructivas en busca de las cantidades de acero de los elementos constituyentes de las estructuras consideradas.

Tabla 1 Edificaciones Esenciales correspondientes al sur de la ciudad de Loja

N°	Nombre	Ubicación
1	Área Centro de Salud N°2 “Hugo Guillermo González”	Andrés Bello y J.J. Peña
2	Caballería Mecanizada N° 18 “Cazadores de Los Ríos” Administrativo	Ubicación: Av. Emiliano Ortega
3	Centro de Salud "Héroes del Cenepa"	Ubicación: Soldado Carlos Robles
4	Centro de Salud Yaguarcuna y La Pradera	Ubicación: Pasaje Buganvilla
5	Centro de protección al discapacitado (CEPRODIS)	Ubicación: Pío Jaramillo Alvarado y Argelia
6	Clínica Municipal "Julia Esther González Delgado	Ubicación: Av. Manuel Agustín Aguirre y Chile
7	Clínica San Pablo	Ubicación: Av. Pío Jaramillo
8	Colegio "27 de Febrero" – administrativo	Ubicación: José J. Palacios y Jonh F Kennedy
9	Colegio "27 de Febrero" - aulas	
10	Colegio "Bernardo Valdivieso"- administrativo	Ubicación: Rubén Darío y Pablo Neruda
11	Colegio "Bernardo Valdivieso"- aulas	
12	Escuela "Alonso de Mercadillo"	Ubicación: Av. Pío Jaramillo Cueva
13	Escuela "Matilde Hidalgo de Procel"	Ubicación: San Pedro
14	Escuela Municipal "Héroes del Cenepa"	Ubicación: Ciudadela “Héroes del Cenepa"
15	Policía Nacional Loja – Administrativo	Ubicación: Av. Argentina
16	Policía Nacional Loja – Dormitorios	
17	Universidad Nacional de Loja- administrativo	Ubicación: Ciudad Universitaria Guillermo Falconí Espinosa La Argelia
18	Universidad Nacional de Loja- aulas	
19	Universidad Técnica Particular de Loja – administrativo	Ubicación: San Cayetano Alto, Calle París
20	Universidad Técnica Particular de Loja – aulas	
21	UPC "Héroes del Cenepa"	Ubicación: Ciudadela “Héroes del Cenepa"
22	UPC "La Argelia"	Ubicación: Ciudadela “La Argelia"

Fuente: El autor

3.2. Características de las edificaciones

Se realizó el levantamiento de 22 edificaciones esenciales correspondientes a las ubicadas en el sector sur de la ciudad de Loja, la mayoría de las cuales son estructuras de hormigón armado con mampostería de ladrillo.

3.2.1. Taxonomía GEM (Global Earthquake Methodology)

La taxonomía de edificios del GEM está organizada como una serie de cuadros ampliables, que contienen varios atributos que se clasifican en: atributos principales, secundarios y terciarios. Cada atributo corresponde a una característica específica que afecta al rendimiento sísmico de un edificio. Atributos típicos incluyen materiales, sistema de carga-resistencia lateral, altura de los edificios, etc. La tipología (clase) puede ser descrita mediante la combinación de atributos apropiados. La estructura de la taxonomía es flexible y proporciona una oportunidad para agregar atributos dependiendo del nivel de detalle requerido, en este sentido para la presente investigación se utiliza el denominado nivel moderado por el tipo de evaluación de vulnerabilidad que se pretende realizar

Tabla 2 Taxonomía de Referencia

Nivel	Detalle	Tipo de evaluación de la vulnerabilidad	Atributos
1	Bajo	Vulnerabilidad estructural empírica	1. Material 2. Sistema de resistencia carga latera 3. Tipo de cubierta (techo) 4. Altura 5. Ocupación
2	Moderado	Vulnerabilidad empírica, vulnerabilidad estructural analítica, opinión de expertos de vulnerabilidad no estructural	+ 6. Año de construcción 7. Irregularidad 8. Tipo de piso 9. Detalles ejm: ductilidad 10. Detalles de material ejm: características de resistencia 11. Paredes exteriores e interiores 12. Cielo raso y otros acabados
3	Alto	vulnerabilidad no estructural, vulnerabilidad estructural analítica, otros usos	+ Componente de categorías al nivel ATC 58

Fuente: GEM Basic Building Taxonomy

Tabla 3 Descripción de las características de las estructuras consideradas en el estudio.

Nombre	Descripción
Centro de Salud "Héroes del Cenepa"	Estructuras en las cuales, funcionan servicios de salud, de configuración regular en elevación y en planta; de 1 solo piso con sistema estructural aporticado, en donde las vigas están embebidas en la losa
Centro de Salud Yaguarcuna y La Pradera	
Centro de protección al discapacitado (CEPRODIS)	
Caballería Mecanizada N° 18 “Cazadores de Los Ríos” Administrativo	Estructuras en donde se desempeñan servicios administrativos de seguridad , de configuración regular en elevación, de 2 plantas, presentan una dirección de vanos mucho mayor que la otra de forma rectangular, con sistema estructural aporticado, la losa es alivianada
Policía Nacional Loja – Administrativo	
Escuela "Alonso de Mercadillo"	Estructuras que funcionan como aulas, de configuración regular en elevación, en planta presentan una dirección mucho mayor que la otra en forma rectangular, de hasta 2 plantas, con sistema estructural aporticado,
Colegio "Bernardo Valdivieso"-aulas	
Colegio "27 de Febrero" – adm.	Estructuras en donde se desempeñan servicios administrativos de educación; regulares en elevación y en planta de forma rectangular, de hasta 2 pisos de alto, con sistema estructural aporticado,
Colegio "Bernardo Valdivieso"- adm.	
Colegio "27 de Febrero" - aulas	Estructuras que funcionan como aulas; regulares en elevación y, en planta de forma rectangular presentan una dirección mucho mayor, con un máximo de 9 vanos y de hasta 3 plantas de elevación, con sistema estructural aporticado.
Escuela "Matilde Hidalgo de Procel"	
Universidad Nacional de Loja -aulas	
Universidad Técnica Particular de Loja – aulas	
Universidad Nacional de Loja-administrativo	Estructuras en donde se desempeñan servicios administrativos, de configuración regular en elevación, de 2 plantas, con un máximo de 7 vanos y de hasta 3 plantas de elevación, con sistema estructural aporticado,
Universidad Técnica Particular de Loja – administrativo	
UPC "Héroes del Cenepa"	Estructuras en donde se desempeñan servicios de seguridad, de configuración regular en elevación, de 2 plantas, de forma cuadrada, con sistema estructural aporticado,
UPC "La Argelia"	
Policía Nacional Loja - Dormitorios	Estructura que funciona como dormitorios para personal de seguridad, de configuración regular 5 vanos y 3 plantas de elevación con sistema estructural aporticado
Clínica Municipal "Julia Esther González Delgado	Estructura en la cual, funciona servicios de salud, de configuración regular en elevación, con un máximo de 6 vanos y de hasta 2 plantas de elevación, con sistema estructural aporticado, la losa es alivianada.
Clínica San Pablo	Estructura en donde se desempeña servicios de salud, de configuración regular en elevación, con un máximo de 6 vanos y de hasta 7 plantas de elevación, con sistema estructural aporticado, la losa es alivianada.

Continúa…

...Sigue

Área Centro de Salud N°2 “Hugo Guillermo González”	Estructura en la cual, funcionan servicios de salud, de configuración irregular en elevación y planta; con sistema estructural aporticado, con presencia de secciones con estructura metálica.
Escuela Municipal "Héroes del Cenepa"	Estructuras que funcionan como aulas, de configuración irregular en planta de forma hexagonal, con sistema estructural aporticado, estas últimas de forma irregular también, presenta 3 plantas de elevación.

Fuente: El autor

Analizando las características más relevantes para el presente estudio. se muestra a continuación la distribución en porcentaje de las diferentes características que exhibe el lote de edificaciones.

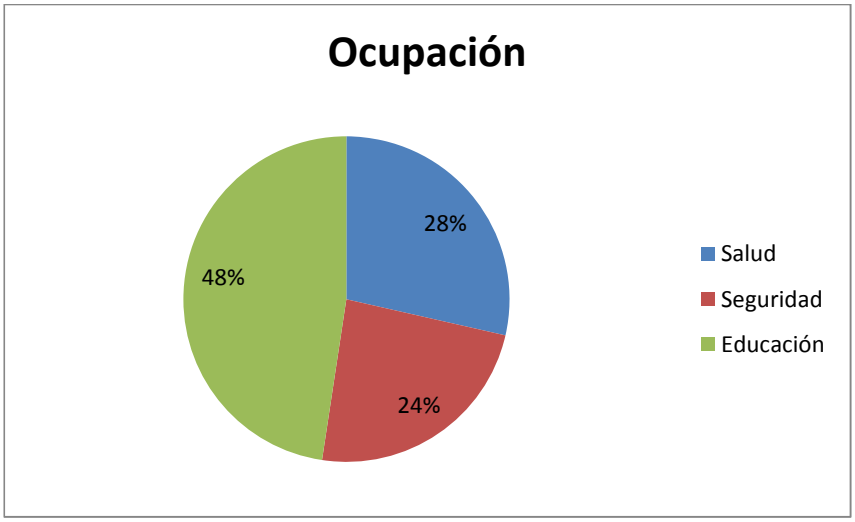


Figura 5 Distribución de las edificaciones del sector sur según su ocupación

Fuente: El autor

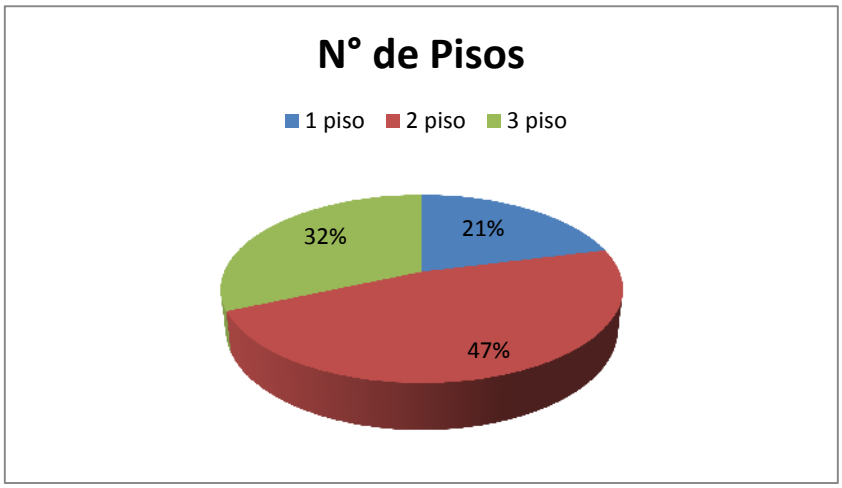


Figura 6 Distribución de las edificaciones del sector sur según el número de pisos

Fuente: El autor

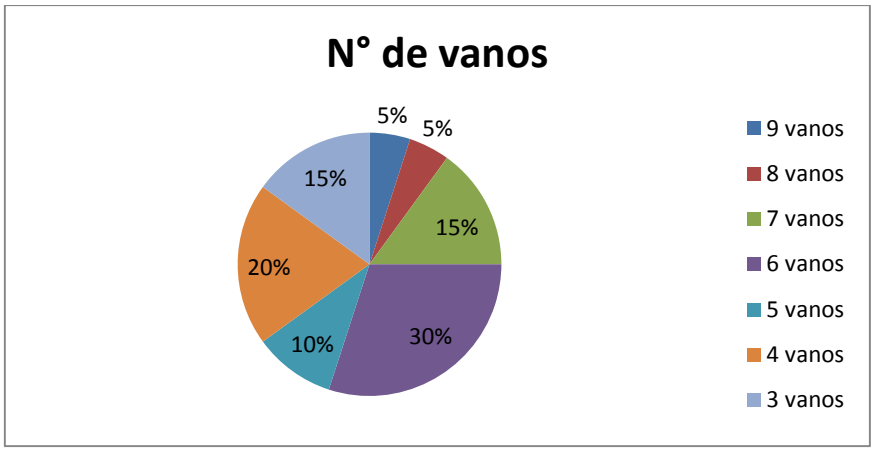


Figura 7 Distribución de las edificaciones del sector sur según el número de vanos

Fuente: El autor

La información recolectada mediante el levantamiento a cinta de las características geométricas de la estructura; establece secciones representativas (columnas, vigas, losa) de cada edificación, así como también otros componentes como la altura de entrepisos, número de plantas, cantidad de vanos y sus distancias, en la siguiente tabla se muestra el resumen de los resultados obtenidos a través de distribuciones probabilísticas.

Tabla 4 Características estructurales de los edificios del sector sur

N°	Nombre	columnas		vigas		vanos		nvanos		altura de pisos	numero de pisos	espesor de losa
		x	y	x	y	x	y	x	y			
1	Area Centro de Salud N°2											
2	Caballería Mecanizada - Administrativo	0.30	0.25	0.20	0.40	3.90	3.07	6	3	3.15	2	0.30
3	Centro de Salud "Héroes del Cenepa"	0.20	0.20	0.20	0.30	5.30	3.04	2	4	2.75	1	0.30
4	Centro de Salud Yaguarcuna y La Pradera	0.20	0.20	0.20	0.30	5.30	3.04	2	4	2.75	1	0.30
5	Centro Para Personas Discapacitadas	0.25	0.27	0.25	0.20	4.75	4.80	3	4	2.35	1	0.20
6	Clínica Municipal "Julia Esther Gonzalez Delgado	0.30	0.50	0.50	0.25	3.09	4.85	6	3	2.88	2	0.20
7	Clínica San Pablo	0.45	0.45	0.30	0.35	3.50	3.79	4	6	2.88	7	0.20
8	Colegio "27 de Febrero" - adm	0.29	0.29	0.20	0.25	4.19	6.00	4	1	2.50	2	0.25
9	Colegio "27 de Febrero" - aulas	0.26	0.25	0.26	0.25	4.50	5.80	8	1	3.00	3	0.25
10	Colegio "Bernardo Valdivieso" - adm	0.35	0.35	0.35	0.40	3.23	3.17	3	3	3.10	2	0.30
11	Colegio "Bernardo Valdivieso" - aulas	0.45	0.45	0.35	0.40	4.00	3.04	6	4	3.10	2	0.30
12	Escuela "Alonso de Mercadillo"	0.20	0.20	0.20	0.20	2.70	4.15	7	2	2.70	1	0.20
13	Escuela "Matilde Hidalgo de Procel"	0.24	0.32	0.30	0.50	3.00	6.00	9	1	3.00	2	0.20
14	Escuela Municipal "Héroes del Cenepa"											
15	Policía Nacional Loja - Administrativo	0.25	0.30	0.30	0.20	3.07	4.00	7	3	2.85	2	0.20
16	Policía Nacional Loja - Dormitorios	0.42	0.34	0.28	0.28	2.80	2.89	5	4	3.06	3	0.30
17	Universidad Nacional de Loja-adm	0.45	0.40	0.45	0.65	6.59	6.28	5	3	2.88	3	0.30
18	Universidad Nacional de Loja-aulas	0.32	0.48	0.32	0.45	4.00	3.04	6	4	3.10	3	0.30
19	Universidad Técnica Particular de Loja - adm	0.35	0.44	0.35	0.45	4.50	5.30	7	3	2.91	3	0.30
20	Universidad Técnica Particular de Loja - aulas	0.30	0.40	0.30	0.45	4.98	7.41	6	1	2.90	3	0.30
21	UPC "Héroes del Cenepa"	0.35	0.35	0.25	0.3125	2.8888	2.8888	3	3	3.5	2	0.10
22	UPC "La Argelia"	0.35	0.35	0.25	0.31	2.88	2.88	3	3	3.50	2	0.10

Fuente: El autor

CAPITULO IV

4. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN RECOPILADA Y MODELACIÓN DE ESTRUCTURAS

Una vez recopilada la información se procede a clasificar las estructuras, usando como referencia la taxonomía establecida por el GEM, cada sistema estructural responde de manera distinta cuando ésta se ve sometida a solicitaciones 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 por esta razón en fundamental realizar una correcta clasificación de las edificaciones.

Las estructuras son clasificadas en categorías, expresadas en términos de numero de vanos y de plantas; se utilizan las distribuciones estadísticas para determinar las características como secciones de vigas y columnas, longitud de vanos, altura de entrepiso y espesor de losa; con el correspondiente ajuste de la distribución probabilística se prueba con tres distribuciones: Gamma, Log Normal y Normal de la cual se escoge la que mejor factor de correlación presente.

Se establecen 3 categorías de estudio para todo el lote de estructuras, algunas edificaciones se descartan de la investigación por presentar características especiales que no corresponden a ninguna categoría establecida y para las cuales debe realizarse un análisis especial.

4.1. Geometría de los elementos

4.1.1. Categoría 1

Corresponde a las edificaciones que contienen hasta 7 plantas y 5 vanos con características que se definen en la tabla 4 y cuyas distribuciones estadísticas representativas de la categoría se muestra en la tabla 5.

Tabla 5 Edificaciones categoría 1 (7 plantas - 5 vanos)

Categoría 1									
Columna		Viga		Plantas	entrepisos		vanos	dimen	losa
x	y	b	h		1	…			
0.428	0.428	0.371	0.40	7	2.80	2.80	5	3.00	0.25
0.40	0.70	0.291	0.432	6	3.15	2.95	4	5.95	0.20

Fuente: El autor

Tabla 6 Características estadísticas de la categoría 1

Categoría 1					
Descripción	**Distribución**	**Media**	**Desviación Estándar**	**A**	**B**
CX (Ancho)	Normal	0.414	0.020	0.394	0.435
CY (Profundidad)	Normal	0.564	0.192	0.372	0.756
VX (Base)	Log-normal	0.332	0.056	0.275	0.388
VY (Altura)	Log-normal	0.416	0.023	0.393	0.439
Altura entrepiso	Normal	2.975	0.247	2.728	3.222
Dimensión vano	Normal	4.475	2.086	2.389	6.561
Espesor de losa	Normal	0.200	0.250	0.225	0.035

Fuente: El autor

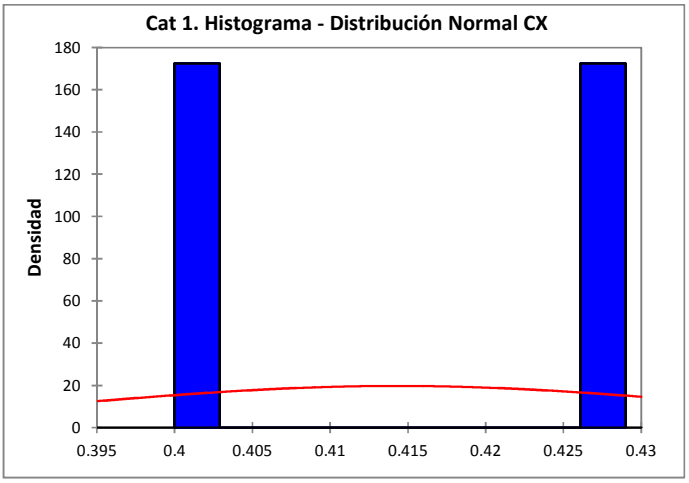


Figura 8 Dimensión X de las columnas (Categoría 1)
Fuente: El autor

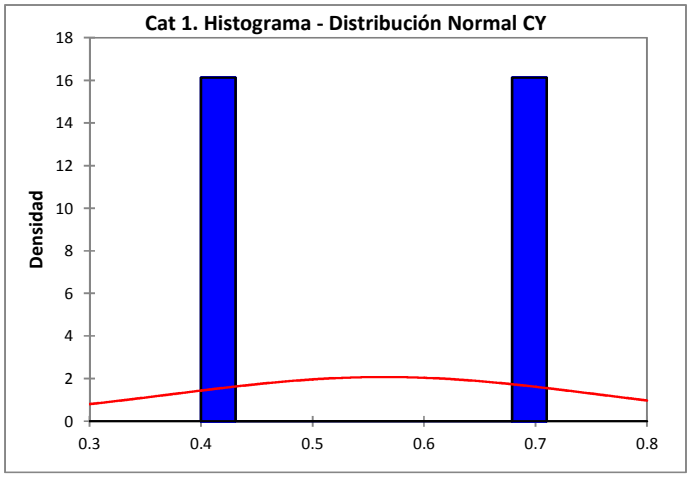


Figura 9 Dimensión Y de las columnas (Categoría 1)
Fuente: El autor

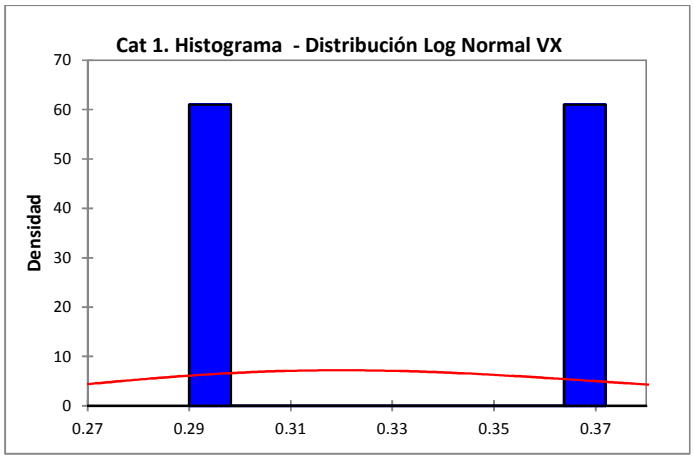


Figura 10 Dimensión X de las Vigas (Categoría 1)
Fuente: El autor

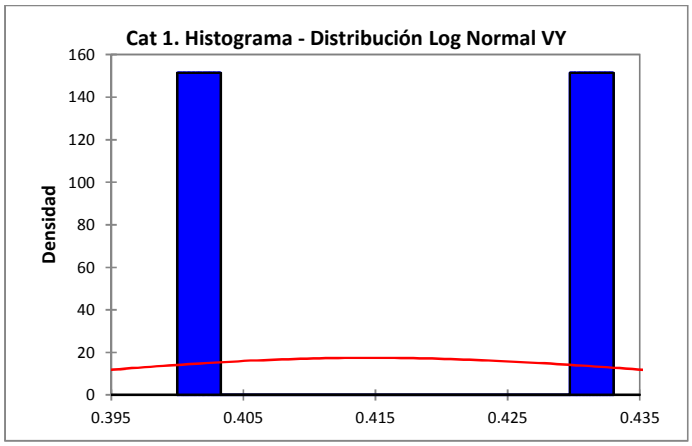


Figura 11 Dimensión Y de las Vigas (Categoría 1)
Fuente: El autor

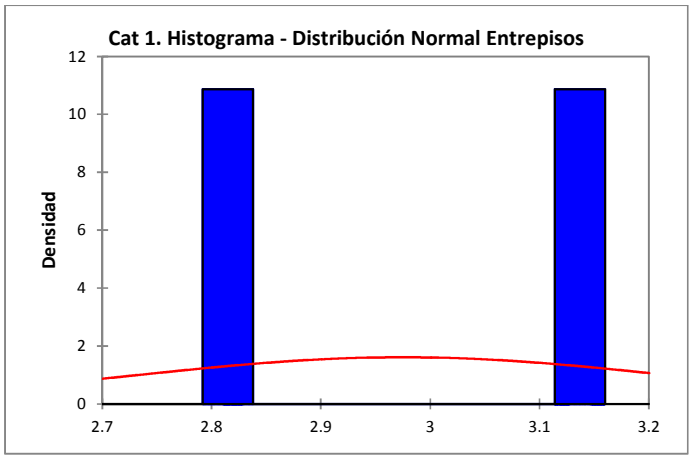


Figura 12 Dimensión de entrepiso (Categoría 1)
Fuente: El autor

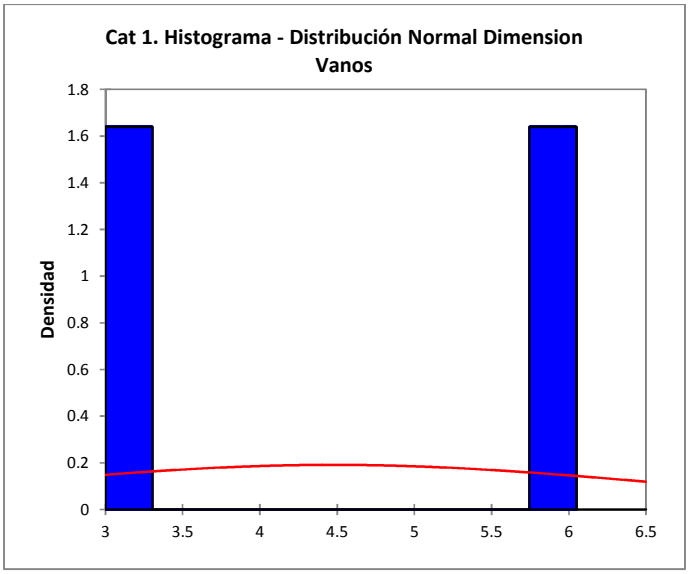


Figura 13 Dimensión de vanos (Categoría 1)
Fuente: El autor

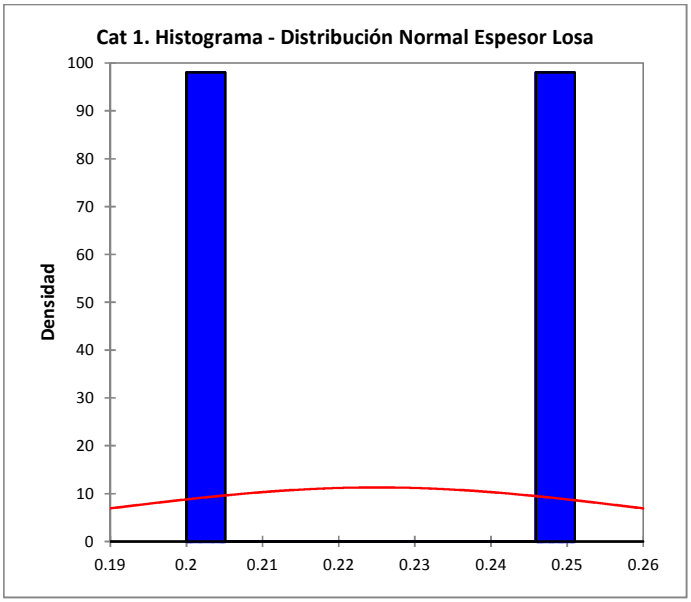


Figura 14 Espesor losa (Categoría 1)
Fuente: El autor

4.1.2. Categoría 2

Corresponde a las edificaciones que contienen hasta 4 plantas y 8 vanos con características que se definen en la tabla 6 y cuyas distribuciones estadísticas representativas de la categoría se muestra en la tabla 7.

Tabla 7 Edificaciones categoría 2 (4 plantas - 8 vanos)

Categoría 2									
columna		Viga		plantas	entrepisos		vanos	dimen	losa
x	y	b	h		1	…			
0.35	0.50	0.30	0.35	4	2.65		6	4.50	0.30
0.29	0.37	0.279	0.36	4	3.30	2.90	7	4.10	0.25
0.35	0.394	0.316	0.50	4	2.80	2.80	7	5.50	0.20
0.30	0.40	0.30	0.45	3	2.90		6	4.98	0.30
0.35	0.41	0.30	0.236	3	3.30	2.80	7	4.50	0.20
0.244	0.244	0.20	0.205	3	3.08		7	3.85	0.25
0.26	0.25	0.26	0.25	3	3.00		8	4.50	0.25
0.35	0.45	0.286	0.39	3	3.15	2.95	8	3.90	0.20
0.341	0.442	0.30	0.45	4	3.20	2.75	8	4.2	0.25
0.32	0.43	0.32	0.45	3	3.10		6	4.00	0.30
0.35	0.44	0.35	0.43	3	2.91		7	4.50	0.30
0.385	0.433	0.271	0.423	3	2.95	2.95	6	4.10	0.25

Fuente: El autor

Tabla 8 Características estadísticas de la categoría 2

Categoría 2					
Descripción	Distribución	Media	Desviación Estándar	A	B
CX (Ancho)	Normal	0.324	0.042	0.282	0.367
CY (Profundidad)	Normal	0.400	0.079	0.322	0.479
VX (Base)	Normal	0.290	0.037	0.253	0.327
VY (Altura)	Normal	0.375	0.096	0.279	0.472
Altura entrepiso	Normal	3.029	0.198	2.830	3.227
Dimensión vano	Log-normal	4.386	0.478	3.909	4.864
Espesor de losa	Normal	0.254	0.040	0.215	0.294

Fuente: El autor

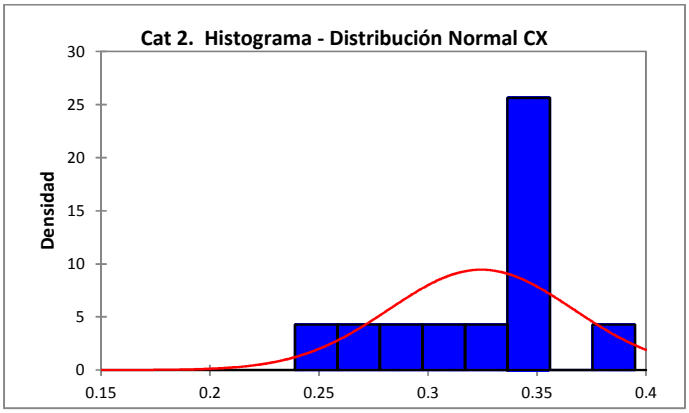


Figura 15 Dimensión X de las columnas (Categoría 2)

Fuente: El autor

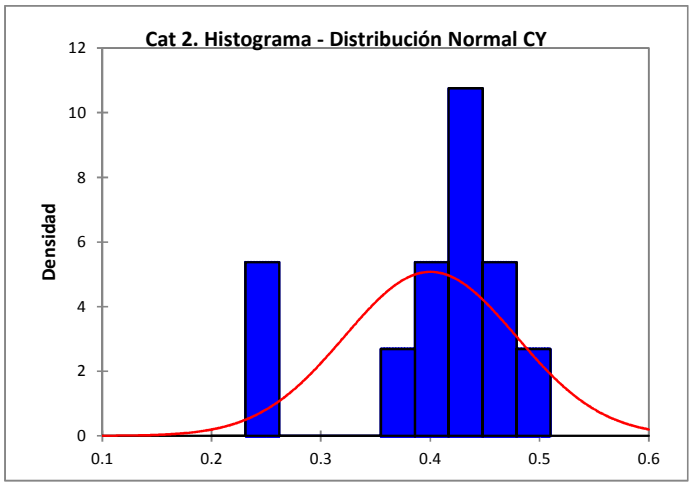


Figura 16 Dimensión Y de las columnas (Categoría 2)
Fuente: El autor

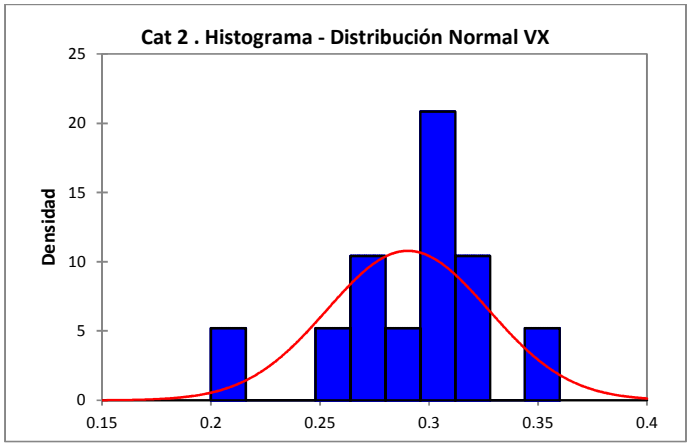


Figura 17 Dimensión X de las Vigas (Categoría 2)
Fuente: El autor

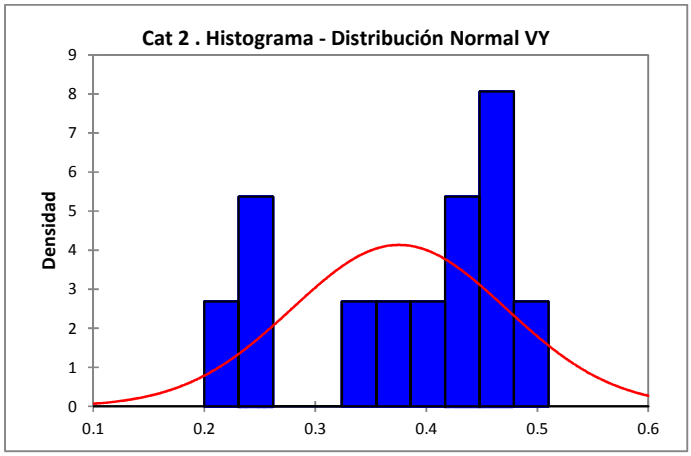


Figura 18 Dimensión Y de las Vigas (Categoría 2)
Fuente: El autor

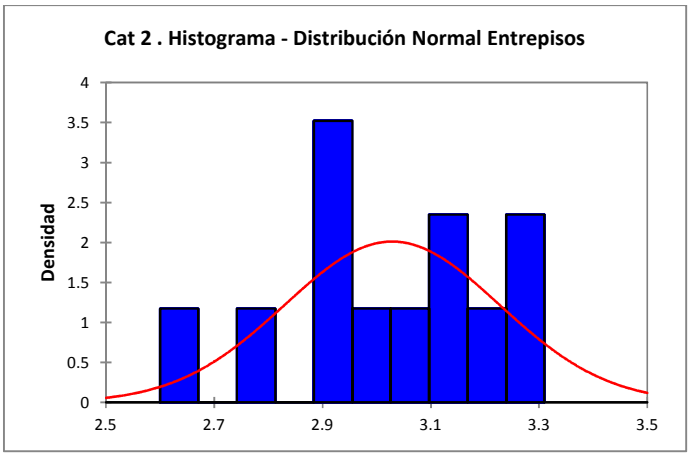


Figura 19 Dimensión de entrepiso (Categoría 2)
Fuente: El autor

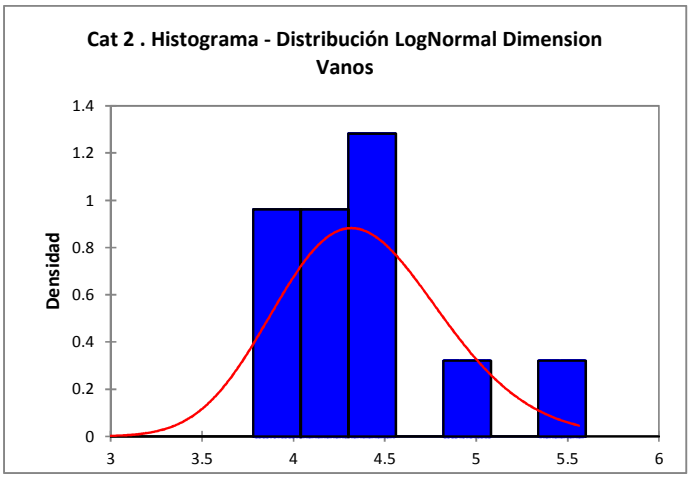


Figura 20 Dimensión de vanos (Categoría 2)
Fuente: El autor

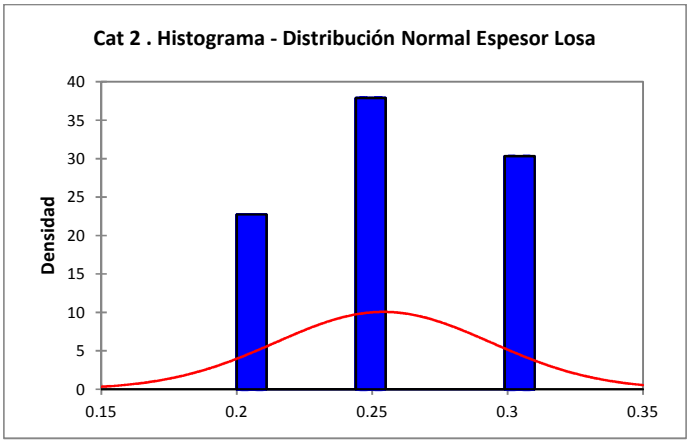


Figura 21 Espesor losa (Categoría 2)
Fuente: El autor

4.1.3. Categoría 3

Corresponde a las edificaciones que contienen hasta 8 plantas y 8 vanos con características que se definen en la tabla 8 y cuyas distribuciones estadísticas representativas de la categoría se muestra en la tabla 9.

Tabla 9 Edificaciones categoría 3 (8 plantas - 8 vanos)

Categoría 3									
Columna		Viga		plantas	entrepisos		vanos	dimen	losa
x	y	b	h		1	…			
0.45	0.45	0.30	0.35	7	2.83		6	3.79	0.20
0.426	0.432	0.40	0.355	8	2.75		8	3.70	0.25

Fuente: El autor

Tabla 10 Características estadísticas de la categoría 3

Categoría 3					
	DISTRIBUCION	Media	Desviación típica	A	B
CX (Ancho)	Normal	0.438	0.017	0.422	0.455
CY (Profundidad)	Log-normal	0.441	0.013	0.429	0.454
VX (Base)	Log-normal	0.350	0.071	0.279	0.421
VY (Altura)	Log-normal	0.353	0.004	0.349	0.356
Altura entrepiso	Normal	2.790	0.057	2.733	2.847
Dimensión vano	Log-normal	3.745	0.064	3.681	3.809
Espesor de losa	Normal	0.225	0.035	0.190	0.260

Fuente: El autor

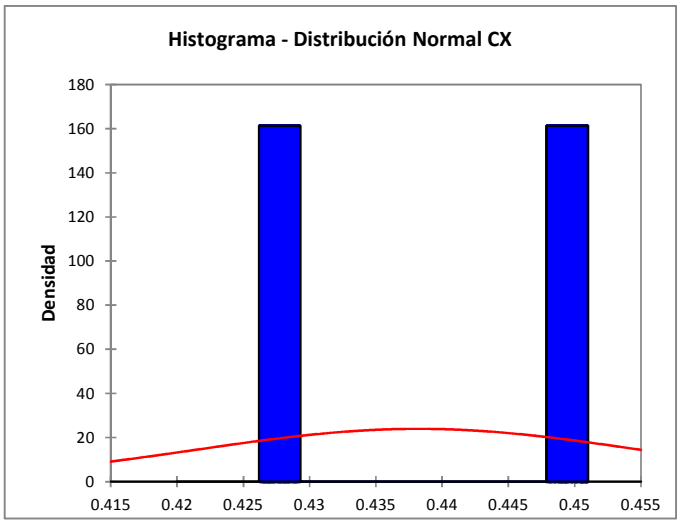


Figura 22 Dimensión X de las columnas (Categoría 3)

Fuente: El autor

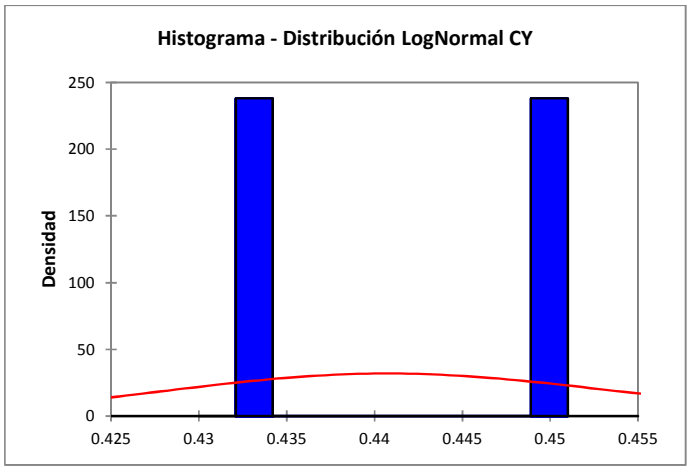


Figura 23 Dimensión Y de las columnas (Categoría 3)
Fuente: El autor

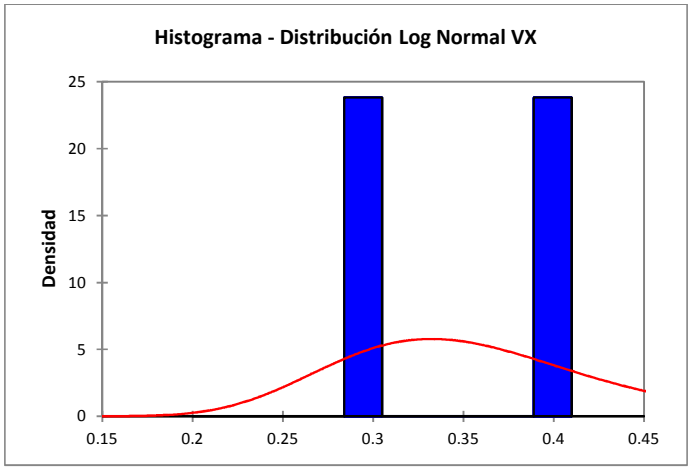


Figura 24 Dimensión X de las Vigas (Categoría 3)
Fuente: El autor

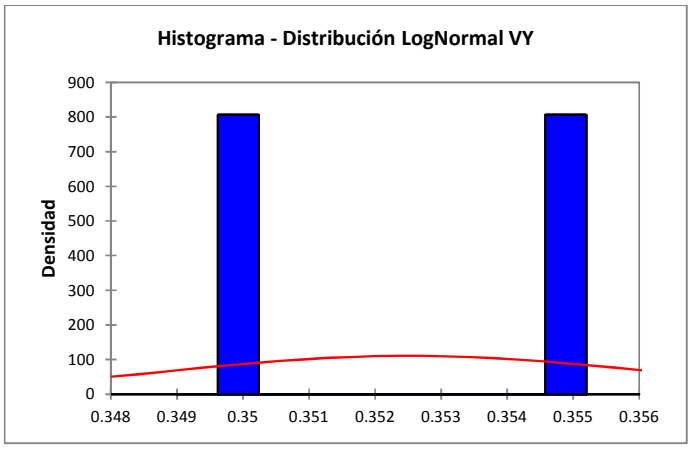


Figura 25 Dimensión Y de las Vigas (Categoría 3)
Fuente: El autor

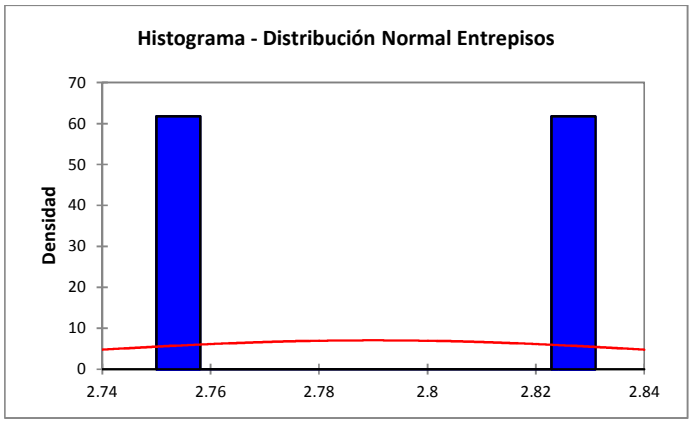


Figura 26 Dimensión de entrepiso (Categoría 3)
Fuente: El autor

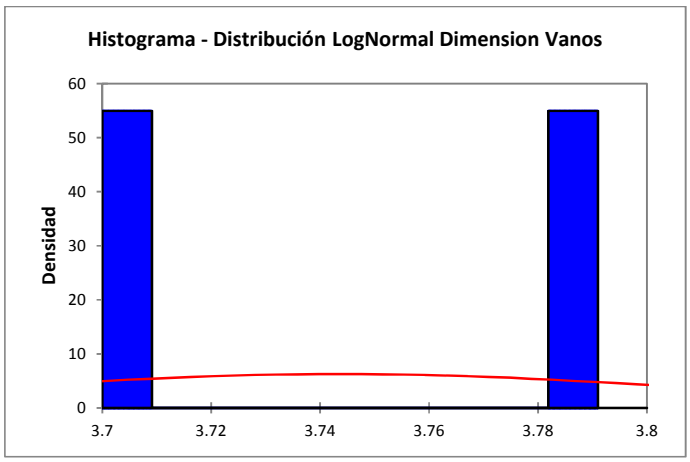


Figura 27 Dimensión de vanos (Categoría 3)
Fuente: El autor

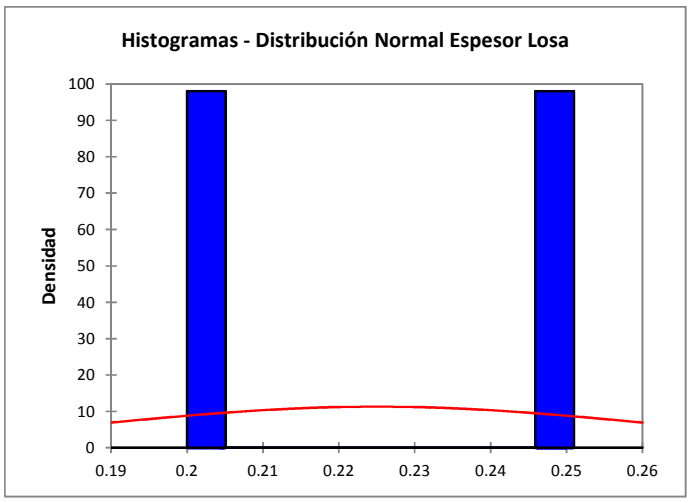


Figura 28 Espesor losa (Categoría 3)
Fuente: El autor

4.2. Propiedades de los materiales

Para determinar y representar las propiedades de los materiales se utiliza la información obtenida de las especificaciones de los planos, así como también se establece un análisis que permite reflejar las propiedades en base a otras investigaciones como en el caso del concreto, de la misma forma para determinar las características del acero se trabajó determinando la cuantía necesaria, esto con el fin de tener la mayor proximidad a las propiedades reales de los edificios debido a que no fue posible realizar ensayos destructivos que permitan determinar con mayor precisión este parámetro.

4.2.1. Concreto

Las propiedades del concreto se establecieron en base a las especificaciones establecidas en los planos, tomando en consideración que en nuestra ciudad el control de calidad no se realiza con efectividad (Duque, 2012) y tratándose de edificaciones esenciales que se encuentran en el casco urbano de la ciudad se utilizó como referencia la investigación realizada en nuestro medio, por lo cual se establece una media de 18 MPa con una desviación estándar correspondiente a 2, de la misma forma se adoptó un factor de confinamiento de 0.002, el peso volumétrico del hormigón se toma como 2.55 Ton/m3.

4.2.2. Acero

Las propiedades del acero se determinaron en relación al año de construcción de las edificaciones, se tomó como referencia la historia de la construcción de nuestro país pues se sabe que a lo largo de los años se ha trabajado con dos tipos de acero con límites de fluencia distintos; el de *fy* = 270 MPa para las construcciones de más de 50 años de antigüedad (categoría 2) y de *fy* 420 MPa para las edificaciones que presenten menos de 50 años de construcción (categoría 1 y 3) para todas las categorías se toma un módulo de elasticidad de 210000 MPa.

4.3. Modelación de las Categorías

Para la modelación se empleó el software OPENSEES, que es una herramienta que posee un amplio rango de modelos de materiales, elementos y algoritmos de solución, los comandos se ejecutan desde un interpretador de lenguaje Tcl, se utiliza el programa Matlab para automatizar el trabajo, para cada categoría se simulan 50 edificios de forma aleatoria con las características correspondientes a la clasificación. La estructura está sometida a cargas gravitatorias; se ha asignado masa en los nudos donde las columnas se conectan, cada conexión toma la mitad de la masa de cada elemento dentro de este pórtico. El tamaño de las fibras usadas en la creación de las secciones de los miembros y el análisis no-lineal

son constantes. OpenSees nos permite realizar un análisis estático, análisis Pushover y el análisis dinámico, de esta forma obtendremos el período de los edificios, derivas y desplazamientos máximos, que sirven como base para el análisis de desempeño.

4.3.1. Parámetros de modelamiento estructural

De las opciones disponibles en OpenSees, se utilizan los siguientes parámetros que son los que producen modelos con resultados más cercanos al comportamiento real de las estructuras:

- **Concreto confinado – Concrete04.-** Se utiliza para construir un material uniaxial con degradación lineal de rigidez carga. Este material considera además un esfuerzo a tensión con un descenso exponencial. (Karsan & Jirsa, 1969)

- **Concreto no confinado - Concrete01**.-Representa un concreto que no posee resistencia a la tensión. Es un modelo propuesto por Kent – Scott – Park(1971) con degradación lineal de rigidez carga (Karsan & Jirsa, 1969)

- **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.

- **Elemento3 (elemento no-lineal con rótulas plásticas).-** Este tipo de elemento es no-lineal y está basado en una formulación iterativa o no iterativa de flexibilidad que considera plasticidad concentrada al final de los miembros

- **Número de puntos de integración.-** Este parámetro está asociado con la subdivisión del elemento, número de puntos de integración 5

4.3.2. Selección de sismos

Se requieren registros sísmicos a los que se someterán los edificios aleatorios que determinaran el comportamiento de los mismos. De acuerdo al mapa de actividad sísmica del Ecuador en el sector sur de la provincia de Loja se han presentado sismos cuya magnitud oscila entre los 5.5 grados y 6.5 grados en la escala de momento sísmico (Cueva, 2012),

Además una investigación de tesis determinó que la velocidad de corte a los 30 metros (Vs30), se encuentra entre 350 - 700m/s (Castillo, 2013) y conforme al NEC-2011 para la provincia de Loja la aceleración pico del suelo (PGA) es de 0.25 g.

Tomando en cuenta estos parámetros se seleccionan 20 registros de sismos; que se obtuvieron de la base de datos del Centro de Investigación de Ingeniería Sísmica del Pacífico (PEER–Pacific Earthquake Engineering Research Center) (http://peer.berkeley.edu/nga/) la cual es utilizada para obtener registro de sismos reales ocurridos a nivel mundial, en la tabla 10 se puede observar en detalle las propiedades de cada sismo tal como el nombre del sismo, año, magnitud, velocidad de corte a los 30 metros, distancia al epicentro y aceleración pico del suelo (PGA).

Tabla 11 Características de los sismos

N°	Nombre del sismo	Fecha	Magnitud	Vs30 (m/s)	Repic (km)	PGA (g)
1	Helena, Montana-01	31/10/1935	6	659.6	6.31	0.1674
2	Parkfield	28/06/1966	6.19	408.9	36.18	0.0597
3	Oroville	01/08/1975	5.89	622.9	12.58	0.0773
4	Coyote Lake	06/08/1979	5.74	597.1	7.95	0.2179
5	Livermore	24/01/1980	5.8	517.1	30.82	0.0643
6	Mammoth Lakes	25/05/1980	6.06	370.8	10.91	0.2818
7	Victoria, Mexico	09/06/1980	6.33	659.6	33.73	0.5722
8	Westmorland	26/04/1981	5.9	362.4	25.02	0.101
9	Coalinga	02/05/1983	6.36	408.9	66.64	0.0445
10	Morgan Hill	24/04/1984	6.19	488.8	16.67	0.3426
11	Round Valley	23/11/1984	5.82	359.2	21.93	0.1091
12	N. Palm Springs	08/07/1986	6.06	684.9	46.17	0.1214
13	Chalfant Valley	21/07/1986	6.19	359.2	32.49	0.076
14	Baja California	07/02/1987	5.5	659.6	3.69	1.2697
15	Whittier Narrows	01/10/1987	5.99	550	6.77	0.388
16	Big Bear	28/06/1992	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	6.05	446	43.35	0.013
20	Little Skull Mtn	29/06/1992	5.65	659.6	30.17	0.0999

Fuente: PEER–Pacific Earthquake Engineering Research Center

4.4. Análisis de la capacidad estructural

4.4.1. Espectro de Demanda

Se determina a partir del espectro de diseño establecido en el NEC 2011, para este proceso se consideran los valores del factor de zona que van desde 0.23 hasta 0.26 aunque el factor de zona sísmica de la ciudad de Loja sea de 0.25.

Para establecer las condiciones del espectro de demanda se fundamenta en el mapa de microzonificación sísmica para Loja a nivel de roca (PRA), así como también a partir del

mapa de variación de valores de Vs30 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.

El espectro es reducido a través del factor R el cual se define como la relación entre el desplazamiento máximo y el desplazamiento en el punto de cedencia

Tabla 12 Factor de Reducción del Espectro de Demanda

Parámetro	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3
Cedencia	0.20	0.10	0.21
Desplazamiento Máximo	0.41	0.30	0.42
Factor de Reducción	2.04	2.99	1.98

Fuente: El autor

Se construyen los espectros de demanda con los factores de ampliación de aceleraciones y desplazamientos, y factores del comportamiento inelástico del subsuelo, correspondientes a cada valor de Z, a su vez se utilizan los factores de reducción del espectro de demanda que son aplicación de la ductilidad de la estructura de manera que se obtienen 3 espectros reducidos para cada valor de z pues a partir de las características de las estructuras se determina la ductilidad que trabaja como amortiguamiento y por lo tanto reducción del espectro de diseño.

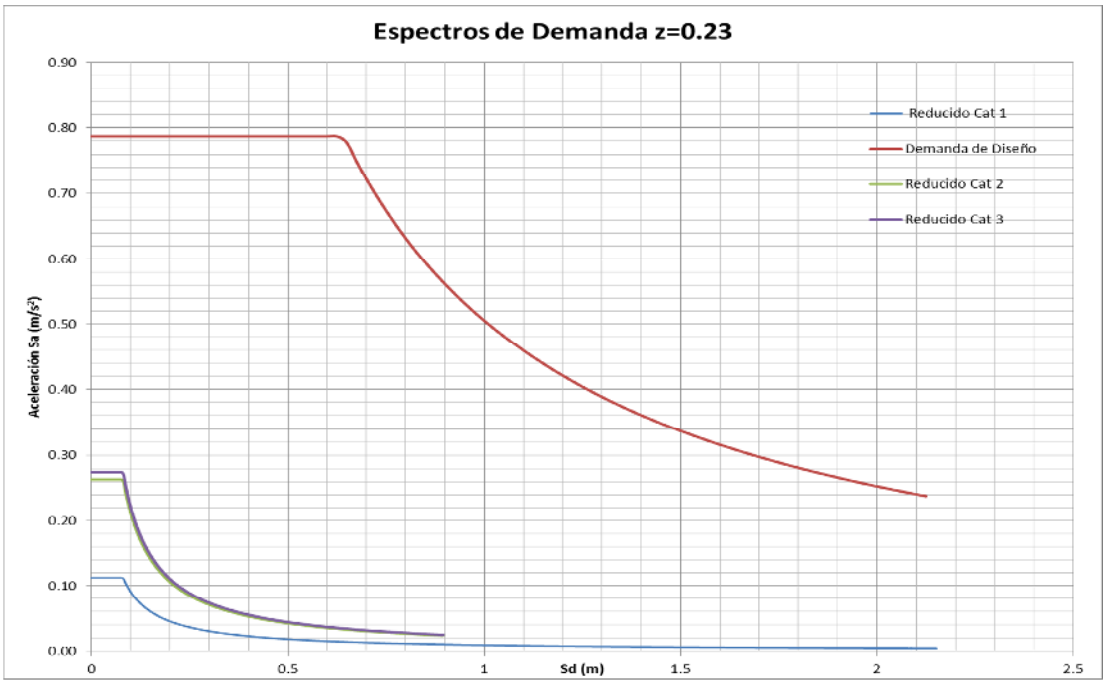


Figura 29 Espectros de Demanda Z= 0.23 para Categoría 1-2-3

Fuente: El autor

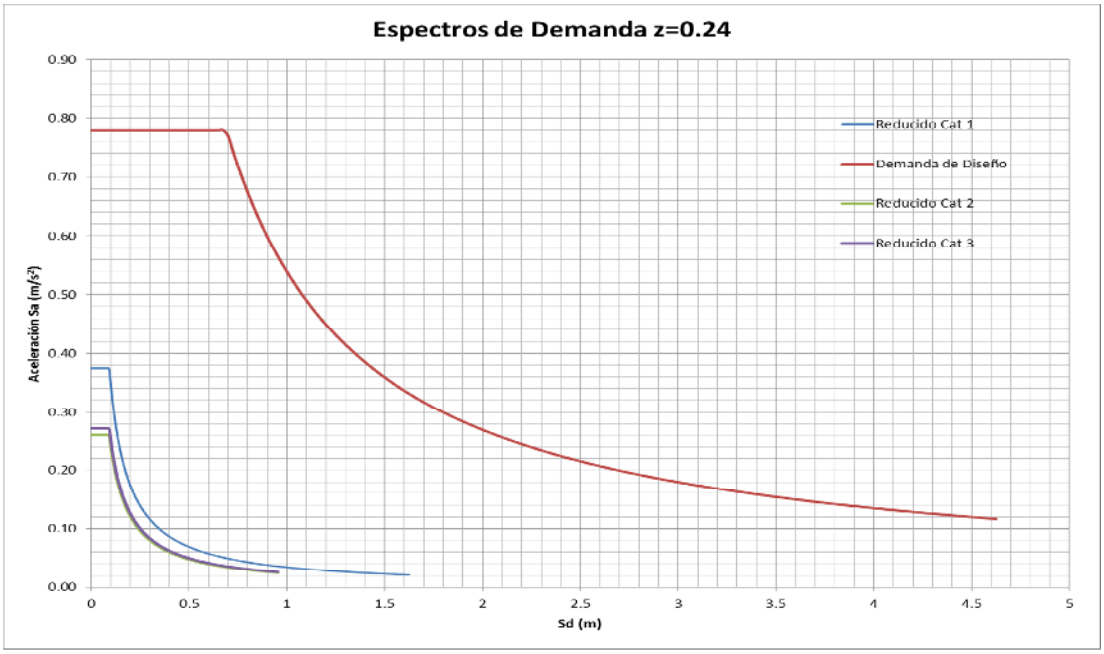


Figura 30 Espectros de Demanda Z= 0.24 para Categoría 1-2-3
Fuente: El autor

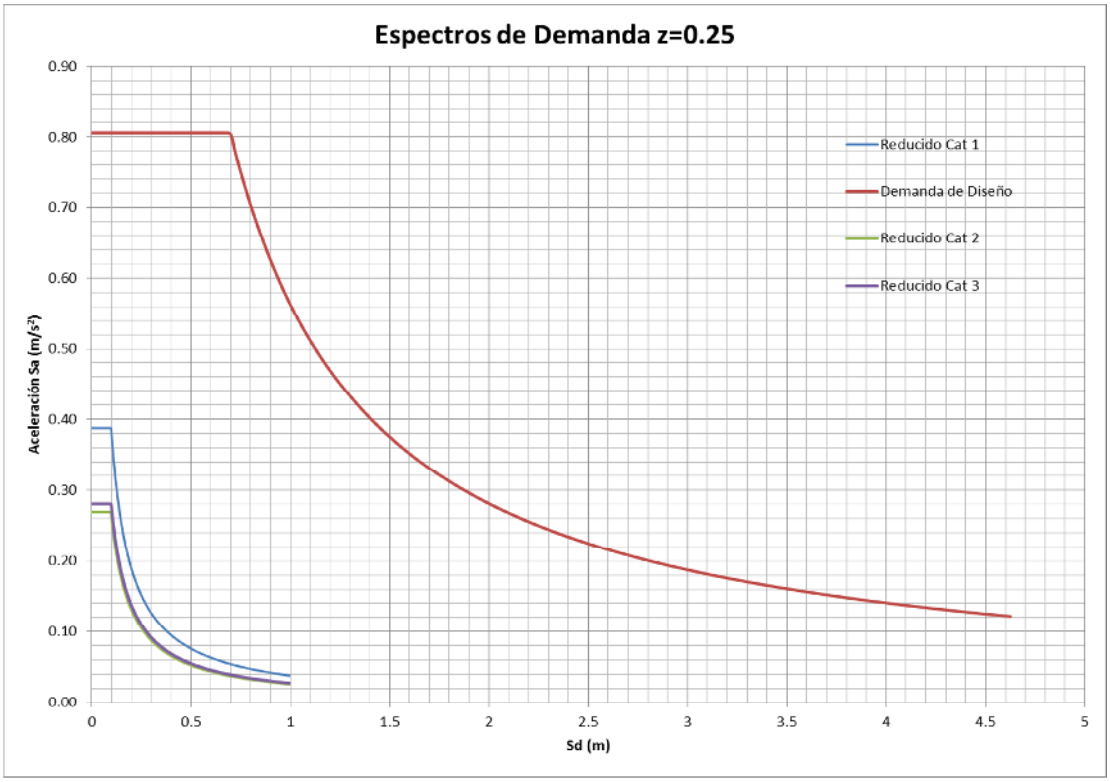


Figura 31 Espectros de Demanda Z= 0.25 para Categoría 1-2-3

Fuente: El autor

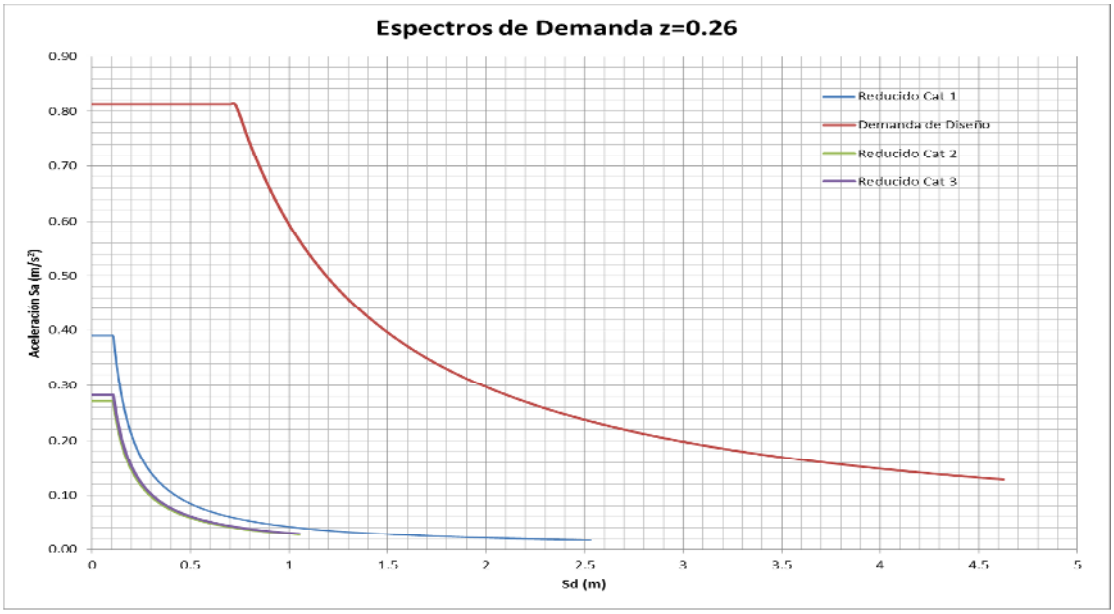


Figura 32 Espectros de Demanda Z= 0.26 para Categoría 1-2-3

Fuente: El autor

4.4.2. 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 (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2011), definida por la carga viva más la carga muerta sin factor de afectación.

4.4.3. Análisis Pushover

Este análisis se realiza sometiendo a la estructura a un patrón de cargas laterales, para las categorías se empleó 25000 N; la cual se incrementa de forma monotónica hasta que la estructura alcanza su capacidad máxima, de este análisis se obtienen los desplazamientos en función del cortante basal.

La curva de capacidad se transforma a un nuevo formato por medio del cambio de los ejes a una curva de aceleración espectral, Sa versus desplazamiento espectral Sd. Para realizar este cambio se supone que la estructura está gobernada por un solo modo, el modo correspondiente al período fundamental. A este conjunto de curvas se las conoce como espectro de capacidad. 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 realizado el análisis pushover se define el punto de cedencia y el punto de agotamiento de la capacidad de la estructura, se utiliza el procedimiento propuesto en FEMA-273 para obtener la representación bilineal de la curva de capacidad; este procedimiento se realiza para 50 estructuras generadas aleatoriamente de forma que se

establece a partir de la media de los datos una representación bilineal característica de cada categoría

4.4.3.1. Bilineal Categoría 1

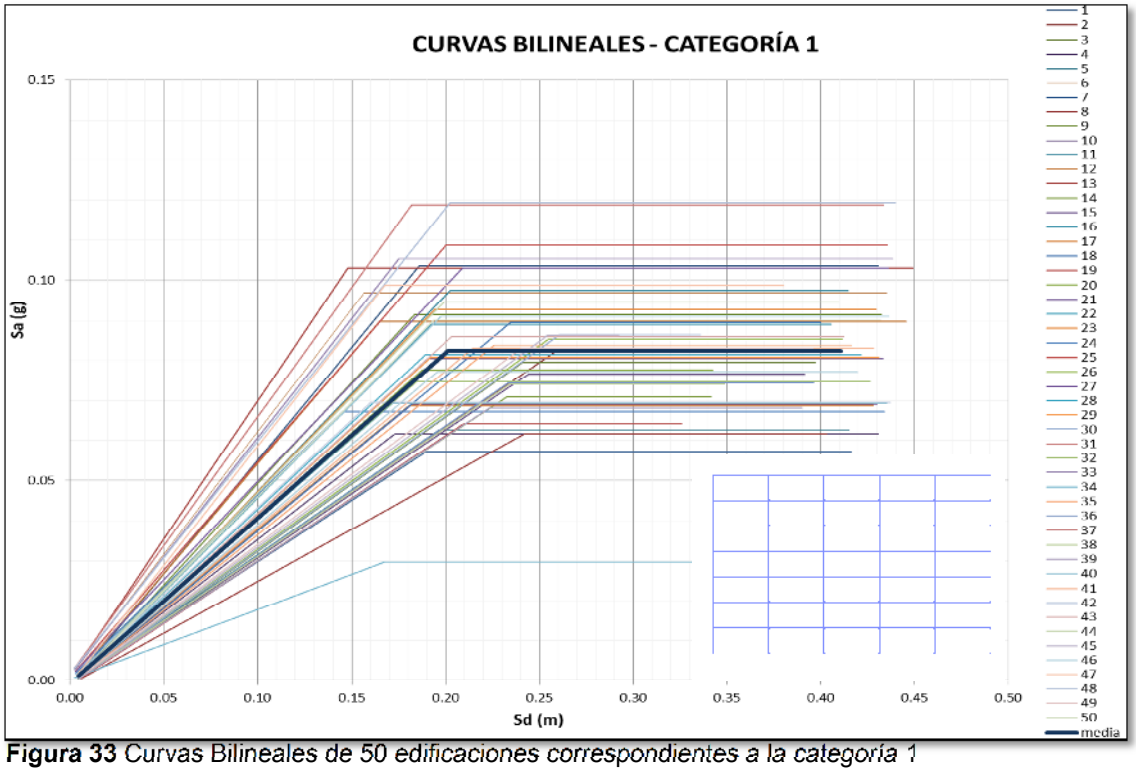


Figura 33 *Curvas Bilineales de 50 edificaciones correspondientes a la categoría 1*

Fuente: El autor

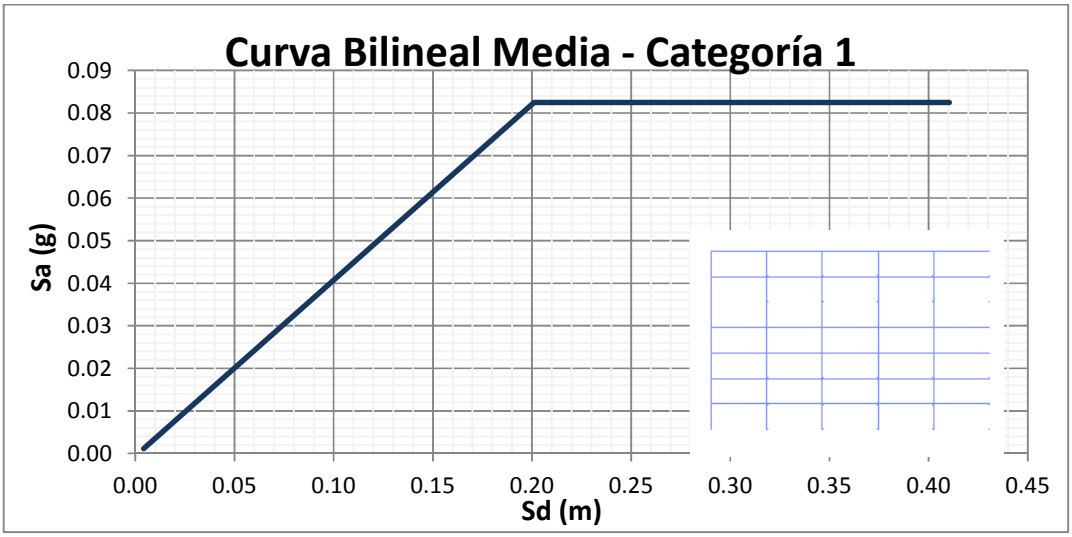


Figura 34 Curva Bilineal característica de la categoría 1

Fuente: El autor

4.4.3.2. Bilineal Categoría 2

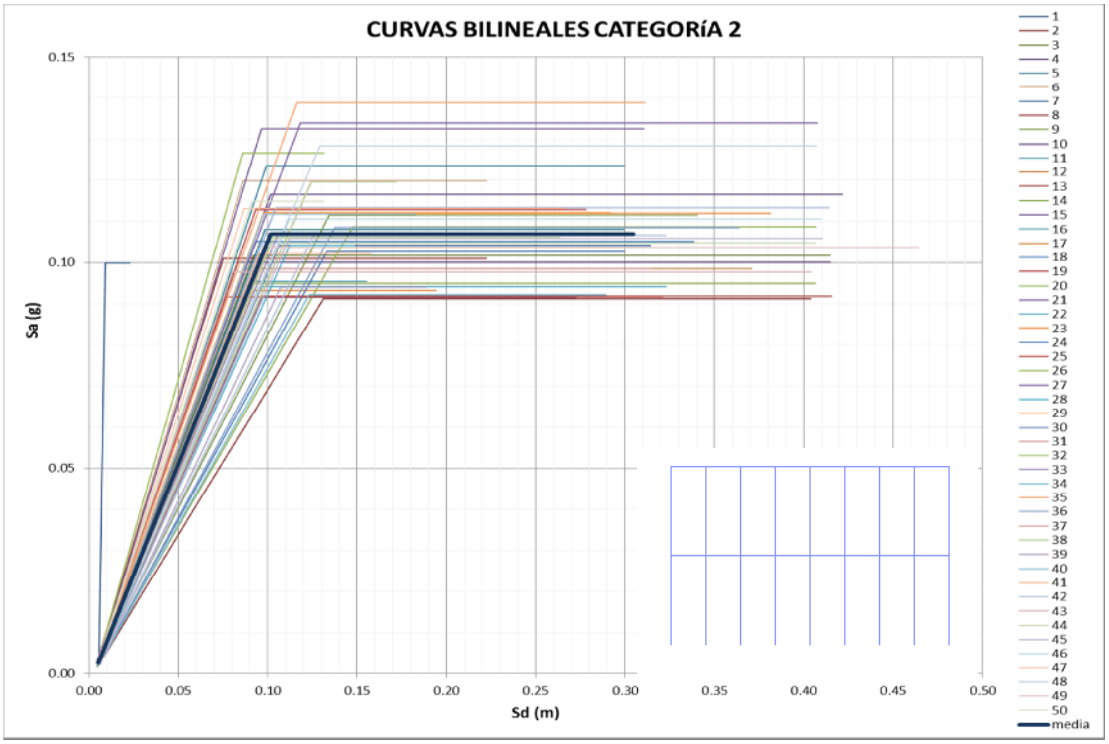


Figura 35 Curvas Bilineales de 50 edificaciones correspondientes a la categoría 2

Fuente: El autor

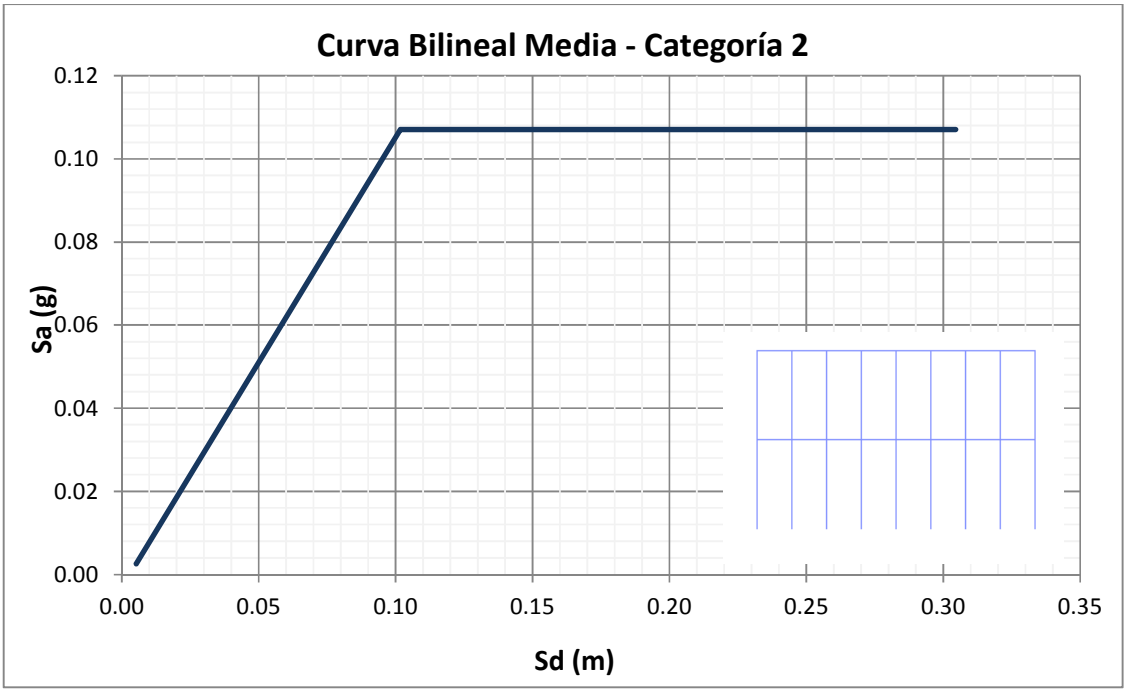


Figura 36 Curva Bilineal característica de la categoría 2

Fuente: El autor

4.4.3.3. Bilineal Categoría 3

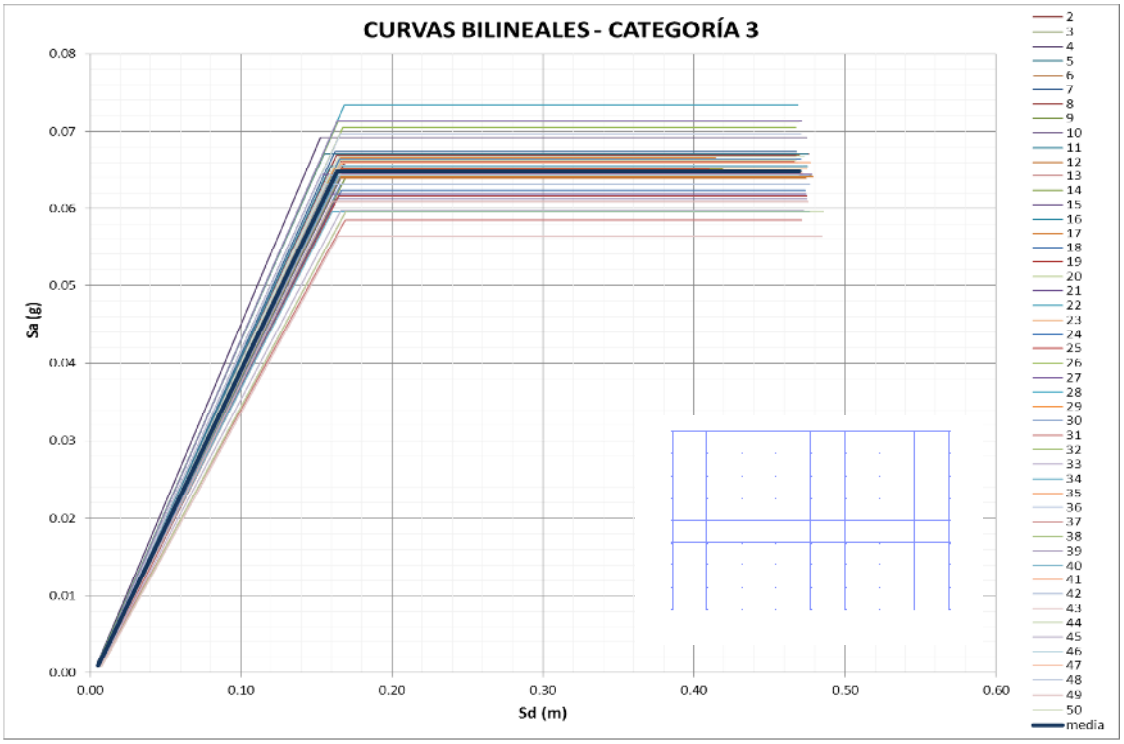


Figura 37 Curvas Bilineales de 50 edificaciones correspondientes a la categoría 3

Fuente: El autor

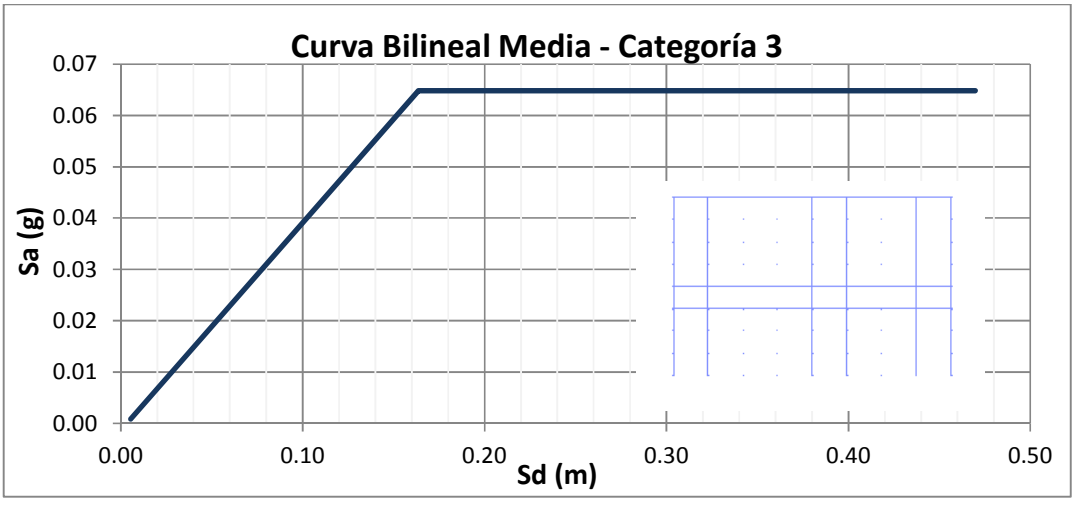


Figura 38 Curva Bilineal característica de la categoría 3

Fuente: El autor

4.4.4. Punto de desempeño

El punto de desempeño se establece mediante un procedimiento gráfico que consiste en superponer el espectro de demanda y el de capacidad, se hace uso del espectro de

capacidad característico de la categoría es decir de la media de las bilineales, asi como también, el espectro de capacidad corresponde al reducido utilizando la ductilidad característica de cada categoría.

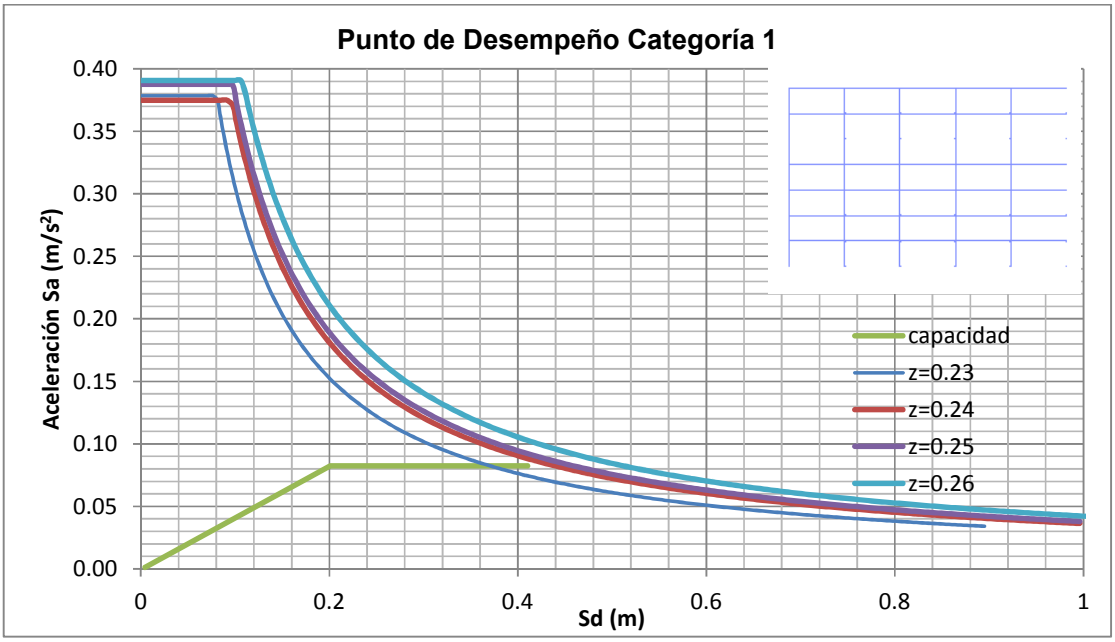


Figura 39 Categoría 1 – Superposición Espectros Demanda - Capacidad

Fuente: El autor

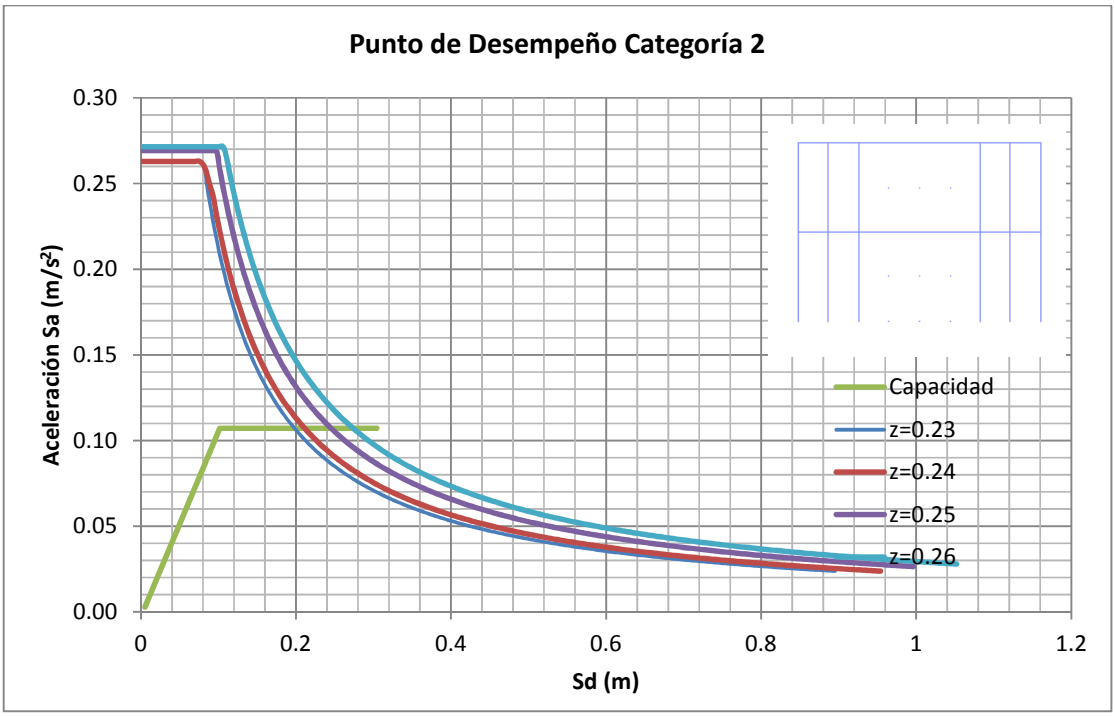


Figura 40 Categoría 2 - Superposición Espectros Demanda - Capacidad

Fuente: El autor

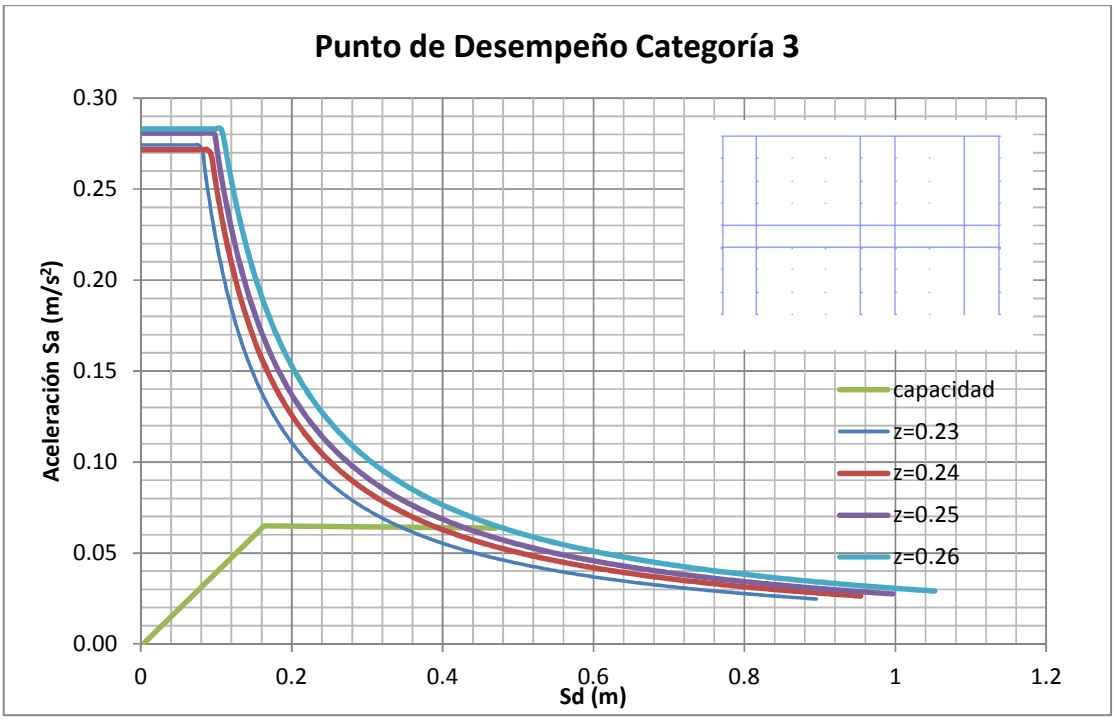


Figura 41 Categoría 3 - Superposición Espectros Demanda - Capacidad

Fuente: El autor

CAPITULO V

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONSTRUCCION DEL MAPA DE VULNERABILIDAD SÍSMICA

5.1. Curvas de Vulnerabilidad

Representan la probabilidad de daño que tiene una estructura en función de la intensidad sísmica que es definida por la aceleración pico del suelo.

5.1.1. Vulnerabilidad Categoría 1

Se determina la curva de vulnerabilidad sísmica de la categoría 1 en la misma se evidencia una alta probabilidad de daño pues las estructuras que conforman esta categoría presentan un daño cuando el PGA es de 0.2, siendo estructuras conformadas de hasta 5 vanos y 8 plantas, con sistemas estructurales de pórticos cuyos elementos estructurales presentan dimensiones pequeñas, a su vez son edificaciones que contienen elementos que merecen un mayor control en el diseño como la presencia de ascensores.

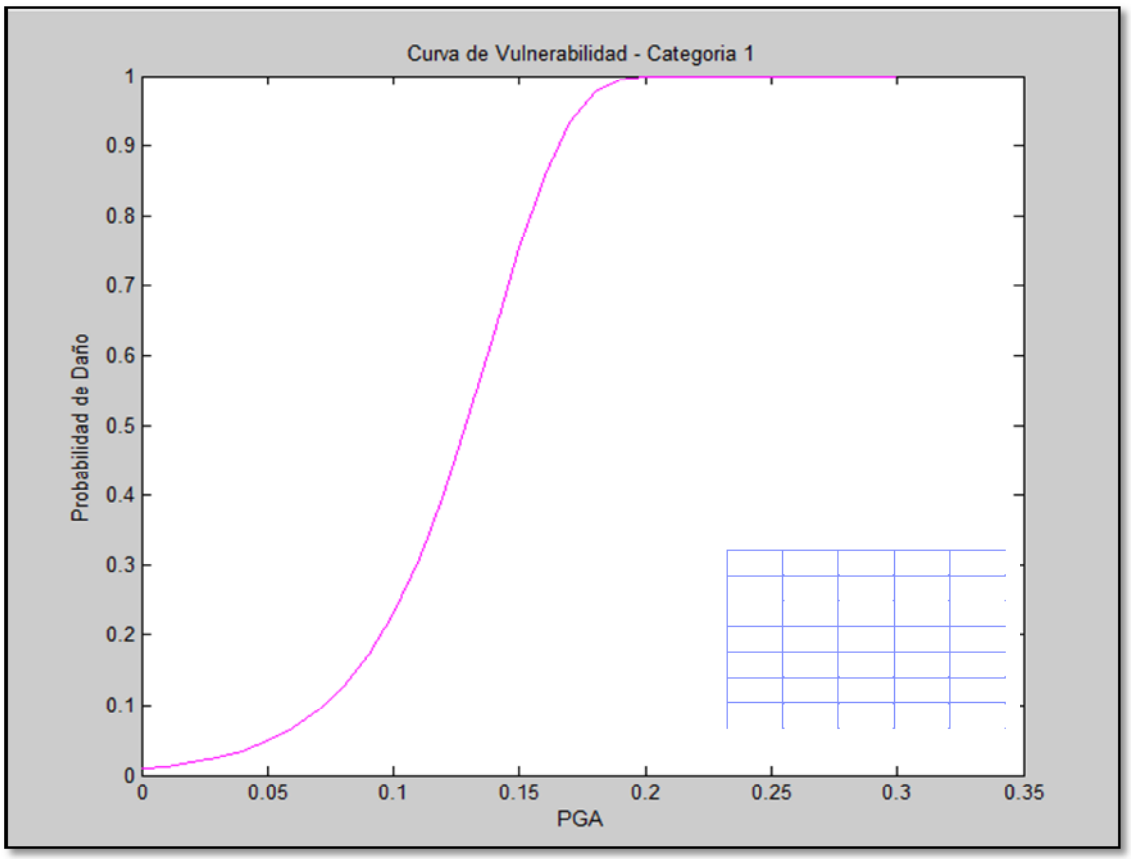


Figura 42 Curva de Vulnerabilidad Categoría 1

Fuente: El autor

5.1.2. Vulnerabilidad Categoría 2

Se determina la curva de vulnerabilidad sísmica de la categoría 2, se presenta una probabilidad de daño media debido a que las estructuras que conforman esta categoría presentan un daño cuando el PGA es 0.3, siendo estructuras conformadas de hasta 8 vanos y 4 plantas, con sistemas estructurales de pórticos cuyos elementos estructurales presentan dimensiones adecuadas para su funcionamiento.

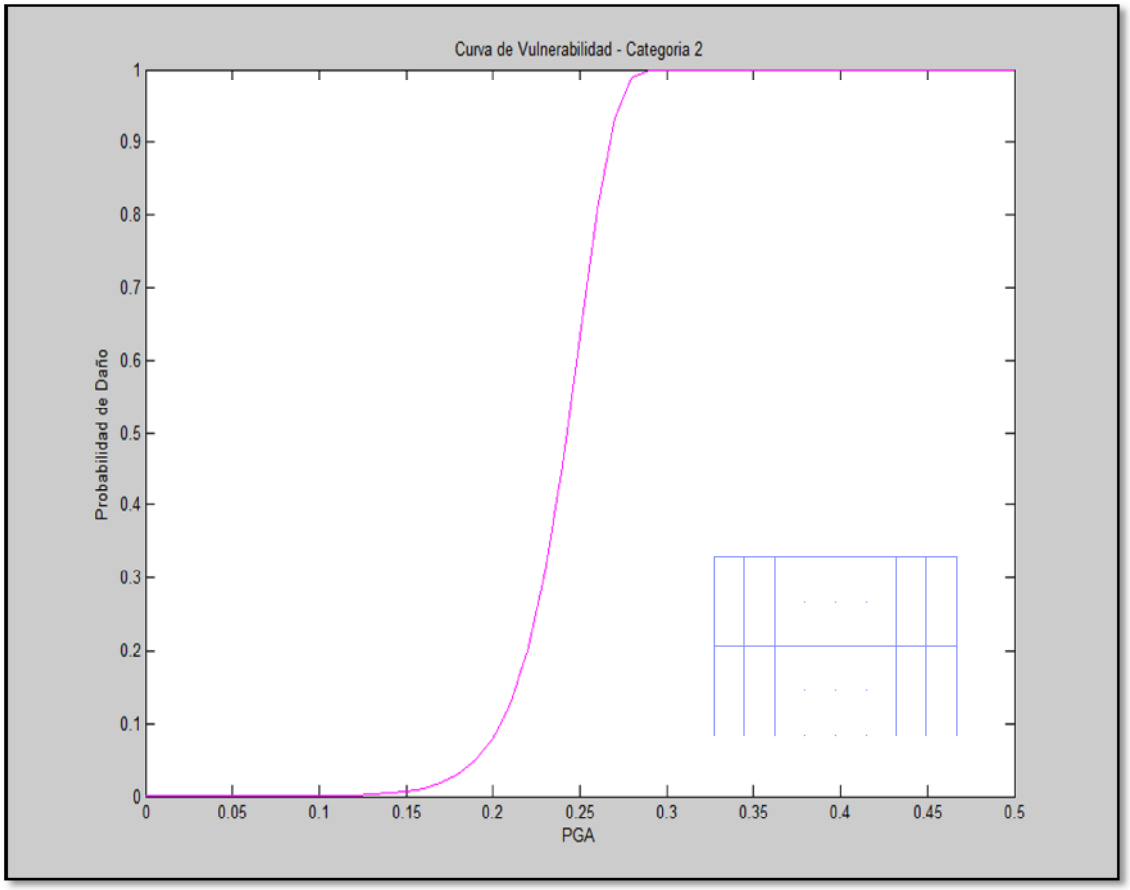


Figura 43 Curva de Vulnerabilidad Categoría 2
Fuente: El autor

5.1.3. Vulnerabilidad Categoría 3

Se determina la curva de vulnerabilidad sísmica de la categoría 3 en la misma se evidencia una alta probabilidad de daño pues las estructuras que conforman esta categoría presentan un daño cuando el PGA es de 0.3, siendo estructuras conformadas de hasta 8 vanos y 8 plantas, con sistemas estructurales de pórticos cuyos elementos estructurales presentan dimensiones pequeñas, a su vez son edificaciones que contienen elementos que merecen un mayor control en el diseño como la presencia de ascensores, así como también por la

relevancia de su ocupación pues se tratan de edificaciones que funcionan como instituciones de salud.

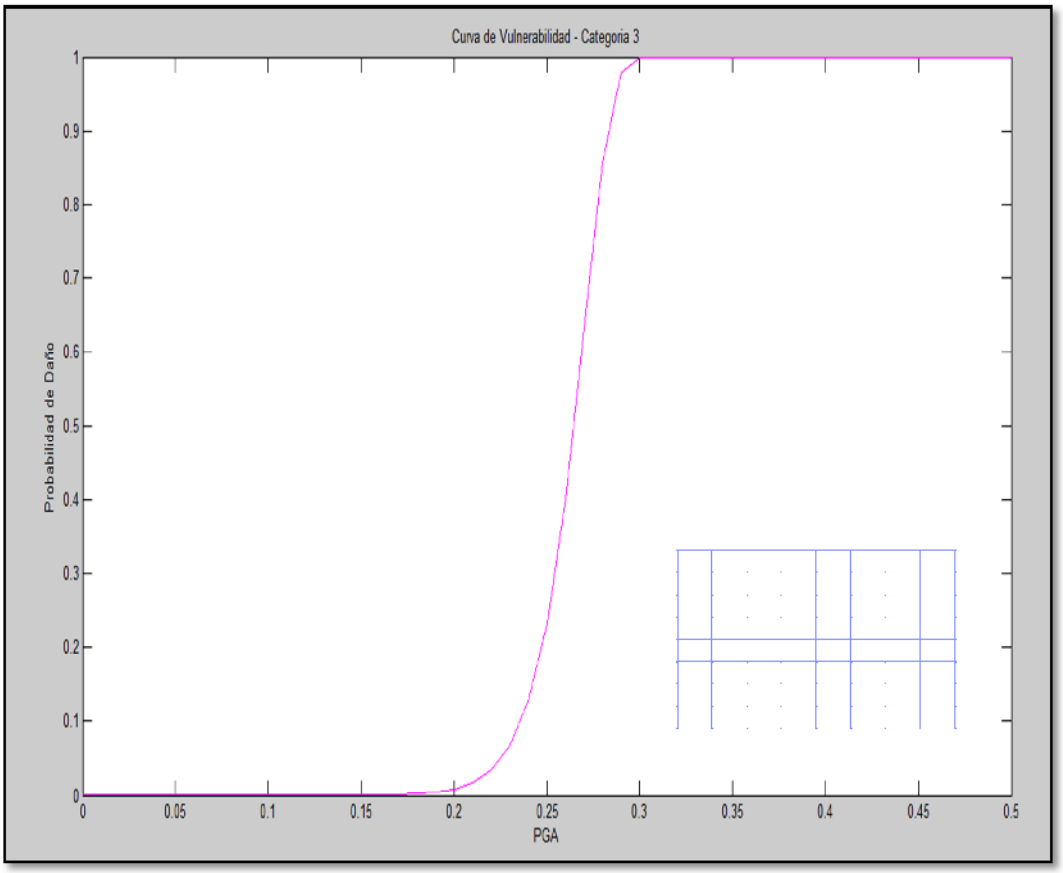


Figura 44 Curva de Vulnerabilidad Categoría 3

Fuente: El autor

5.2. Mapa de Vulnerabilidad sector Sur

A partir de la generación de las curvas de vulnerabilidad correspondientes a cada categoría se evalúa las estructuras en este caso del sector sur, dependiendo de la intensidad sísmica del lugar se analiza la probabilidad de daño para dos casos; la intensidad definida por la aceleración pico del suelo (PGA) así como también la aceleración pico en roca (PRA) (Castillo, 2013), con el uso de un Gis que a partir de la posición georeferenciada y el correspondiente valor de probabilidad de daño se generan dos mapas de vulnerabilidad del sector, uno medido en roca y otro en suelo.

Tabla 13 Probabilidad de daño en suelo y roca de las estructuras del sector sur

Nombre	Coordenadas		Probabilidad de daño	
	X	Y	PGA	PRA
Caballería Mecanizada - Administrativo	700874	9557033	1	0.2
Centro de Salud "Hérores del Cenepa"	698845	9554585	1	1
Centro de Salud Yaguarcuna y La Pradera	699908	9556043	1	1
Centro Para Personas Discapacitadas	699415	9555567	1	1
Clínica Municipal "Julia Esther Gonzalez Delgado	699425	9556472	1	0.15
Clínica San Pablo	699487	9554737	1	1
Colegio "27 de Febrero" - adm	699256	9556019	1	1
Colegio "27 de Febrero" - aulas	699249	9556021	1	0.9
Colegio "Bernardo Valdivieso"-adm	699771	9556509	1	1
Colegio "Bernardo Valdivieso"-aulas	699756	9556451	1	0.2
Escuela "Alonso de Mercadillo"	699222	9556762	1	0.15
Escuela "Matilde Hidalgo de Procel"	699019	9557093	1	0.035
Policía Nacional Loja - Administrativo	698960	9556589	1	0.15
Policía Nacional Loja - Dormitorios	698955	9556648	1	0.3
Universidad Nacional de Loja-adm	699434	9553817	1	0.3
Universidad Nacional de Loja-aulas	699371	9553785	1	0.9
Universidad Técnica Particular de Loja - adm	700045	9559207	1	0.64
Universidad Técnica Particular de Loja - aulas	699958	9559117	1	0.64
UPC "Héroes del Cenepa"	698800	9554585	0.98	0.01
UPC "La Argelia"	700100	9555000	0.95	0.02

Utilizando el software denominado Arcgis se procede a generar el mapa correspondiente en el cual se muestran la probabilidades de daño y la vulnerabilidad para el sector sur de la ciudad de Loja, (Anexos B,C,D,E), así como también la probabilidades de daño y la vulnerabilidad para la ciudad de Loja, (Anexos F,G)

CONCLUSIONES

- Las edificaciones esenciales de una planta y construcción antigua del sector sur de la ciudad de Loja, presentan una probabilidad de daño medida en roca del 100 %, debido principalmente a que las estructuras no poseen un diseño sismoresistente, la utilización del acero de 280 MPa afecta de manera considerable el comportamiento de estas estructuras y las secciones de sus elementos son pequeñas para soportar un sismo como el determinado en el NEC 2011, es necesario recalcar que las edificaciones correspondientes a esta tipología funcionan como centros de salud razón por la cual su comportamiento ante un posible evento sísmico es de mucha importancia por sus implicaciones sociales y económicas.

- Las edificaciones esenciales; de hasta 8 pisos y construidas hace menos de 15 años poseen una alta probabilidad de daño medido en roca; correspondiente al 100 % debido a que en un principio fueron construidas como viviendas, a las cuales se les realizaron modificaciones para funcionar como instituciones de salud estos cambios fueron significativos, el sistema de pórticos debió ser modificado para soportar mayores cargas y características, que necesitan otros sistemas estructurales o al menos un reforzamiento.

- Las edificaciones esenciales de hasta dos pisos presentan probabilidades de daño en roca de máximo 20 %, este resultado refleja un desempeño considerable pues han sido construidas hace menos de 20 años, las cargas que tienen que soportar no son de gran magnitud por su condición de ser edificaciones de poca altura, a su vez se evidencia un mejor diseño estructural por tratarse de estructuras en donde funcionan instituciones de seguridad pública.

- El diseño sismoresistente es determinante para el comportamiento de una estructura, esto se evidencia en el análisis de las Unidades de Policía Comunitaria (UPC) que presentan una probabilidad de daño en roca máxima de 2 %, así como también el caso de la Escuela Matilde Hidalgo de Procel con una probabilidad de daño en roca máxima de 3.5 %, esto como consecuencia de ser estructuras diseñadas con normativas que consideran la posibilidad de ocurrencia de un evento sísmico.

- Realizando un 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 %, debido a que las

estructuras no alcanzan a soportar aceleraciones de más de 0.30 (g) valor siempre sobrepasado por las aceleraciones en sitio.

RECOMENDACIONES

- Para determinar la vulnerabilidad se trabaja con el análisis Pushover el mismo que se establece para edificaciones regulares razón por la cual no se analizan estructuras con irregularidad en altura, secciones de concreto y de acero, se debe realizar una análisis especial para este tipo de edificaciones considerando la relevancia de sus características específicas.

- Para mejorar el análisis de vulnerabilidad se debería con datos reales, con su respectiva comprobación en el sitio, esta situación no es realizable ya que muchas instituciones no colaboran para realizar los levantamientos, proporcionar información, planos o peor aún realizar ensayos destructivos, por estos motivos se recomienda a las autoridades correspondientes tomar acciones que permitan evaluar la situación real de las edificaciones denominadas esenciales, ante un evento sísmico.

BIBLIOGRAFÍA

Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2011).

Aguiar, R. (2006). *Deriva máxima de piso y curvas de fragilidad en edificios de.* Quito: Centro de Investigaciones Científicas-Escuela Politécnica del.

Aguiar, R. (2008). *Análisis Sísmico de Edificios.* Quito: Centro de Investigaciones Científicas.

Aguiar, R. (2011). EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA.

Bal, I. E., Crowley, H., & Pinho, R. (2010). *Displacement-Based Earthquake Loss Assessment: Method Development and Application to Turkish Building Stock.* Italia.

Bonett, R. (2003). *Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de Edificios.* Cataluña.

Calvi, G. (1999). A displacement-based approach for vulnerability evaluation of classes of buildings. *Journal of Earthquake Engineering*.

Castillo, D. (2013). *Estudio de Peligro Sísmico de la Cuenca de Loja.* Loja.

Chopra, K., & Goel, R. (1999). *Capacity-Demand-Diagram methods based on inelastic.*

Correa, C., Hinojosa, D., & Taipe, M. (2004). *Sismisidad Histórica del Ecuador.* Quito.

Cueva, R. (2012). *Análisis de la vulnerabilidad sísmica del edificio CITTES de la UTPL.* Loja.

Duque, P. (2012). *Estudio sobre calidad de hormigones y materiales en las edificaciones en el sector sur de la ciudad de loja.* Loja.

Karsan, I. D., & Jirsa, J. O. (1969). Comportamiento del hormigón bajo cargas de compresión. *Journal of Structural División ASCE, 95 (ST12).*

Kattan, C. (2010). *Risk mapping for the case study of San Salvador.* El Salvador.

Mora, M. (Octubre de 2005). Análisis Sísmico Inelastico en una edificación de mediana altura. Bucaramanga, Colombia.

Peralta, H. A. (2002.). *Escenarios de Vulnerabilidad de las Edificaciones de Mampostería de Uno y Dos Pisos en el Barrio San Antonio.* Cali, Colombia.

ANEXOS

ANEXO A.-FOTOGRAFÍAS DE LAS EDIFICACIONES ESENCIALES DEL SECTOR SUR DE LA CIUDAD DE LOJA

Figura 45 Centro de Salud

Fuente: El autor

Figura 46 Policía

Fuente: El autor

Figura 47 Centro de Salud N°2

Fuente: El autor

Figura 48 Caballería Cazadores de los Rios

Fuente: El autor

Figura 49 Escuela Matilde Hidalgo de Procel
Fuente: El autor

Figura 50 Escuela Alonso de Mercadillo
Fuente: El autor

Figura 51 Escuela Heroes del Cenepa
Fuente: El autor

Figura 52 Policlinico Municipal

Fuente: El autor

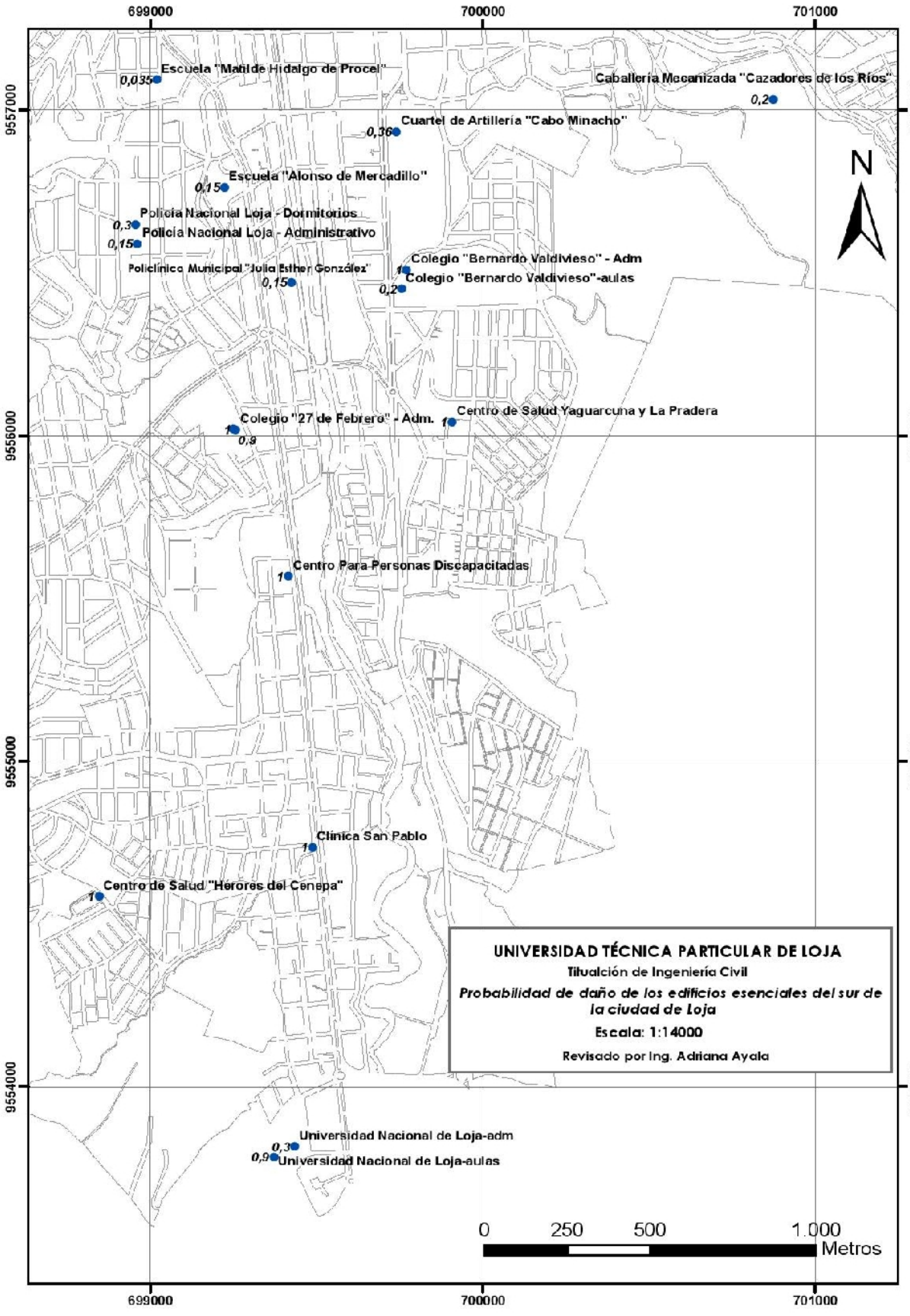
Figura 53 Colegio Bernardo Valdiviezo

Fuente: El autor

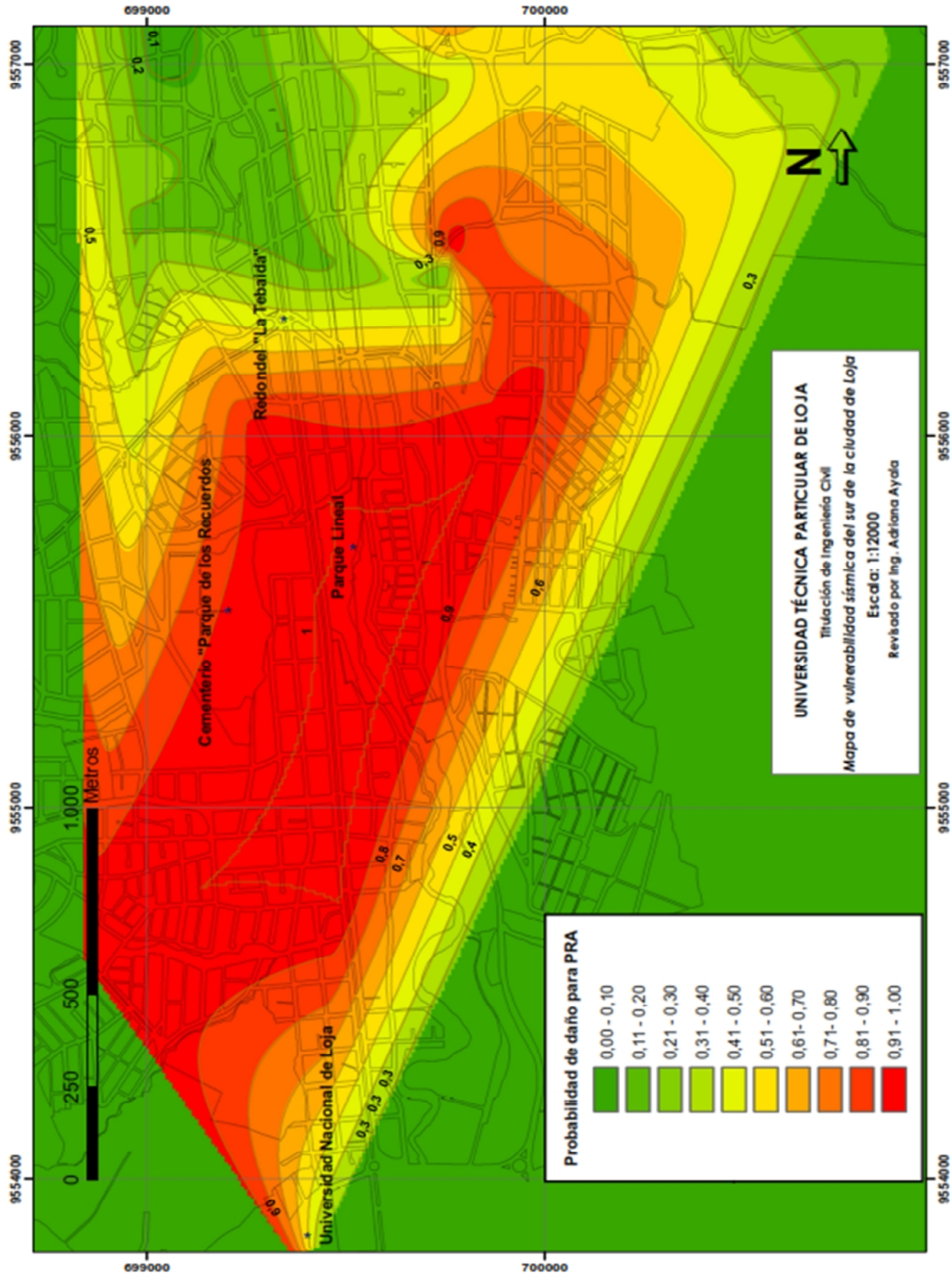
Figura 54 Colegio 27 de Febrero

Fuente: El autor

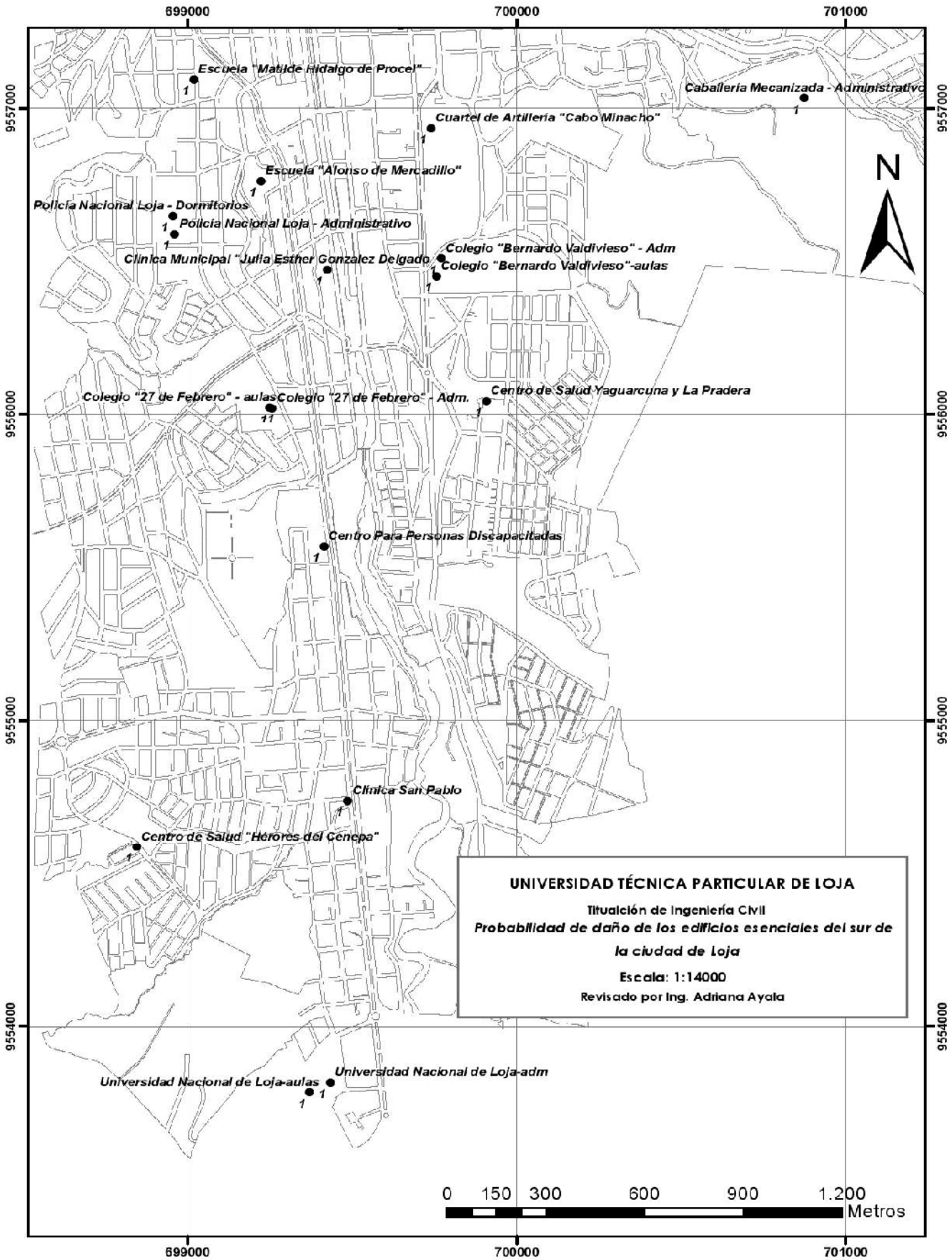
ANEXO B.- MAPA DE PROBABILIDAD DE DAÑO DE LAS EDIFICACIONES ESENCIALES DEL SUR DE LOJA MEDIDO EN PRA (ESCALA 1:14000)



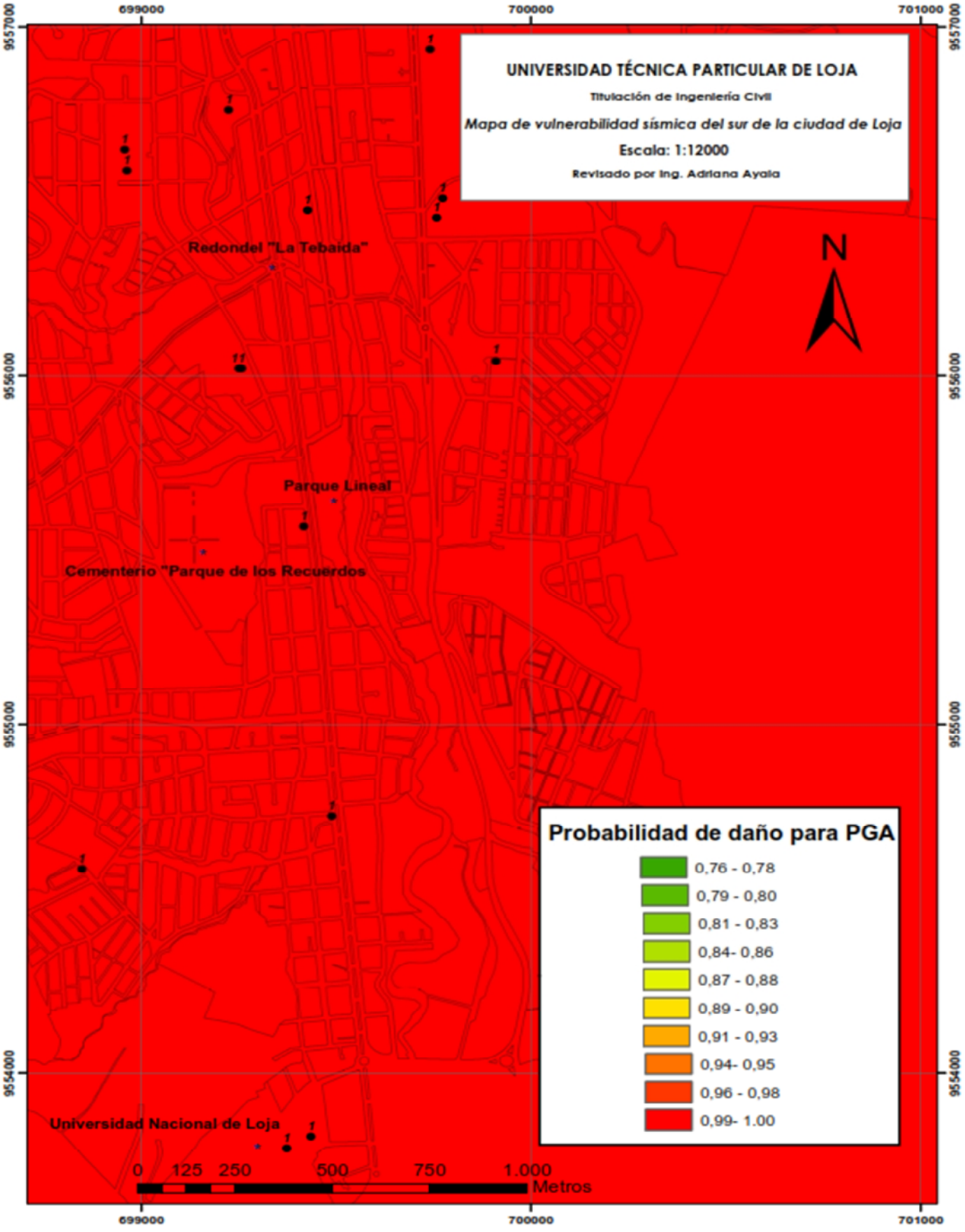
ANEXO C.- MAPA DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL SECTOR SUR DE LA CIUDAD DE LOJA MEDIDO EN PRA (ESCALA 1:12000)



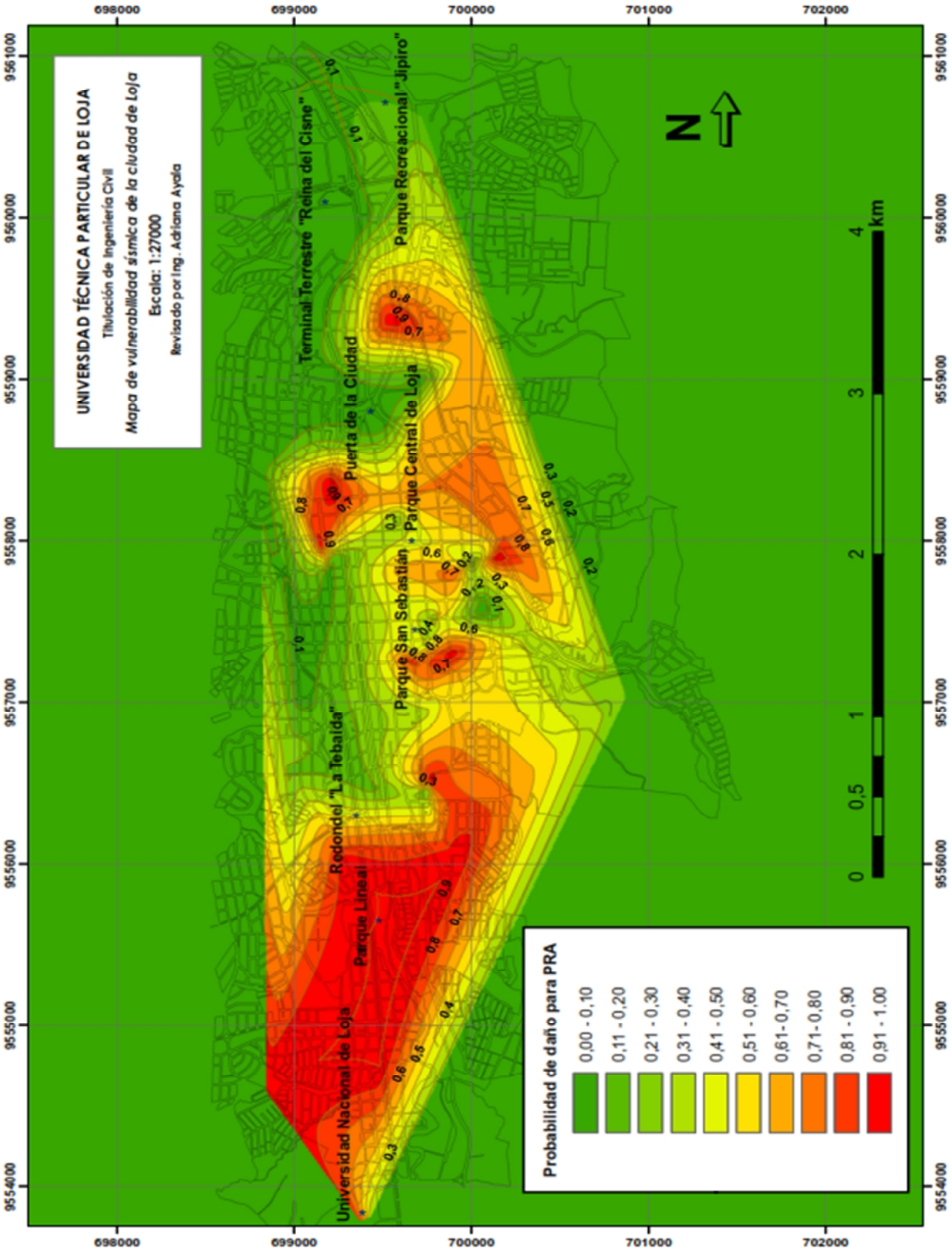
ANEXO D.- MAPA DE PROBABILIDAD DE DAÑO DE LAS EDIFICACIONES ESENCIALES DEL SUR DE LOJA MEDIDO EN PGA (ESCALA 1:14000)



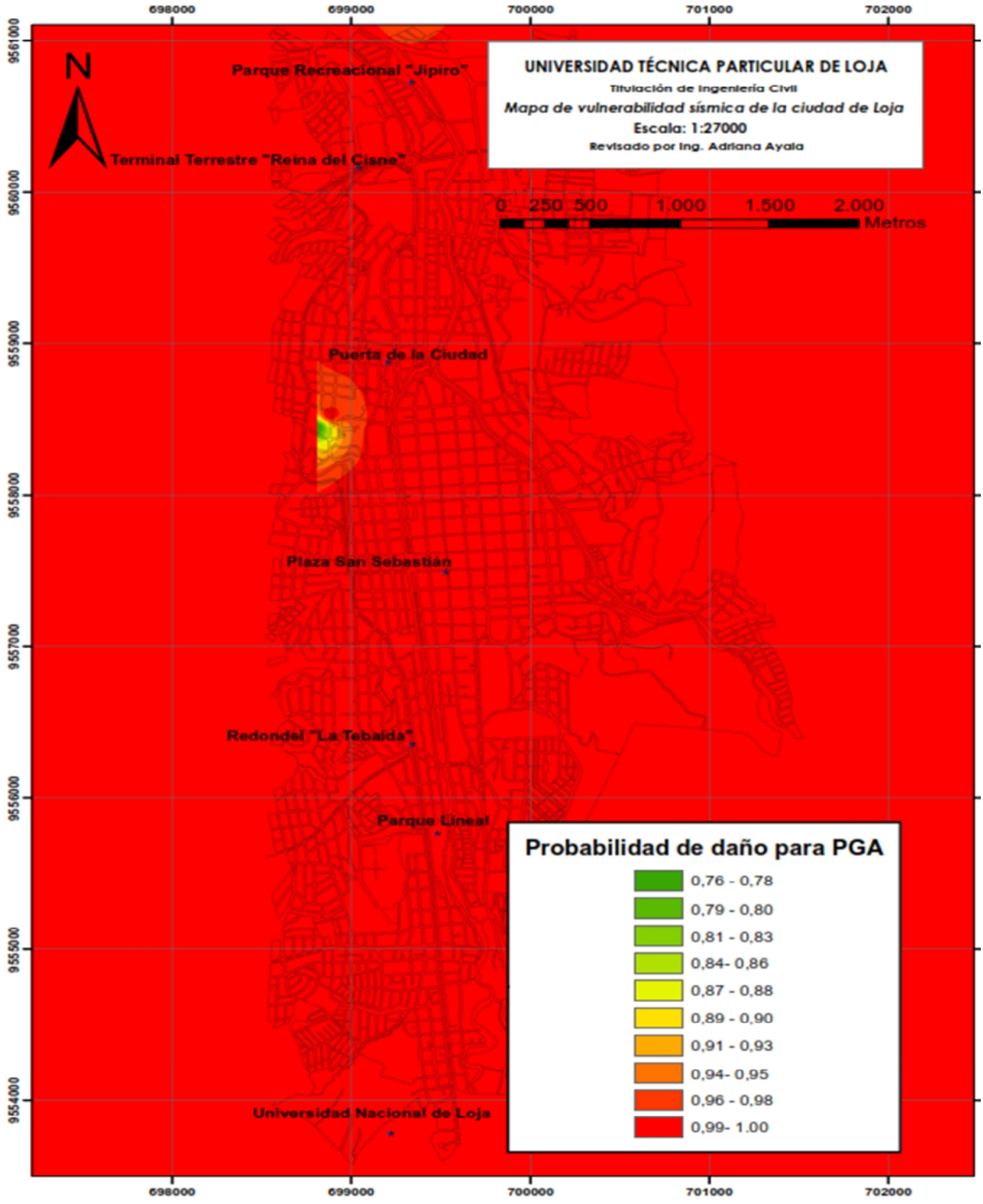
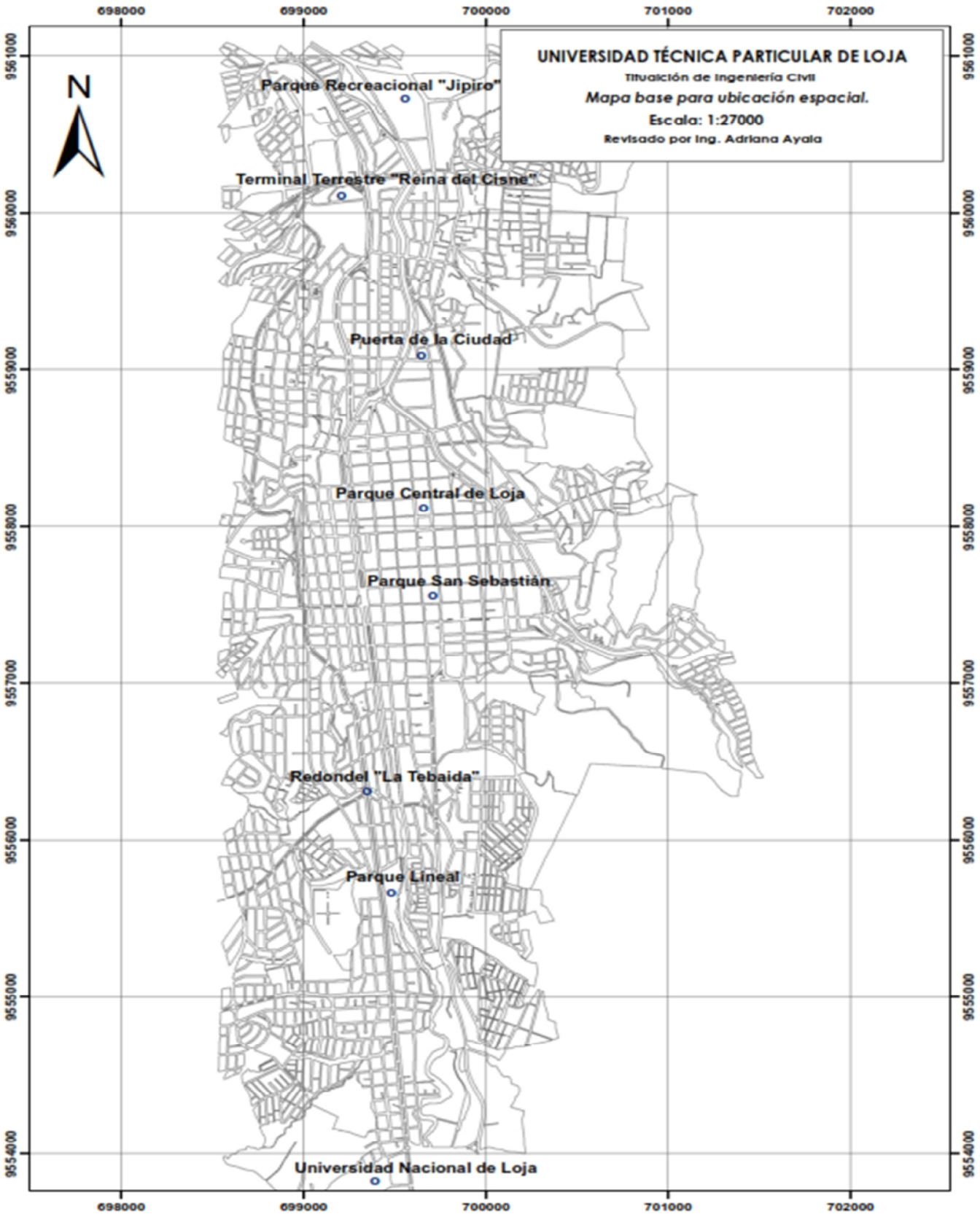
ANEXO E.- MAPA DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL SECTOR SUR DE LA CIUDAD DE LOJA MEDIDO EN PGA (ESCALA 1:12000)



ANEXO F.- MAPA DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LA CIUDAD DE LOJA MEDIDO EN PRA (ESCALA 1:27000)



ANEXO G.- MAPA DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LA CIUDAD DE LOJA MEDIDO EN PGA (ESCALA 1:27000)



ANEXO H.- MAPA DE PUNTOS DE REFERENCIA DE LA CIUDAD DE LOJA (ESCALA 1:27000)