



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

“Riesgo Sísmico en el Centro Histórico de la ciudad de  
Trujillo – La Libertad”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

**AUTOR:**

MONZÓN GARCÍA, LIZBETH INGRI

**ASESOR:**

ING. FARFÁN CÓRDOVA, MARLON GASTÓN

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

DISEÑO SÍSMICO Y ESTRUCTURAL

TRUJILLO – PERÚ

2018

## **Página del Jurado**

---

Ing. Hilbe Santos Rojas Salazar

Presidente

---

Ing. Sheyla Yuliana Cornejo Rodríguez

Secretario

---

Ing. Marlon Gastón Farfán Córdova

Vocal

## **Dedicatoria**

Dedico principalmente este trabajo a Dios; por haberme dado la vida, la fuerza para afrontar momentos difíciles que se presentaron en esta grandiosa etapa de mi vida y permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. Por las grandes oportunidades que se me presentan y las buenas personas que me ha puesto en mi vida.

De igual forma dedico esta tesis a mi madre Irma Garcia Cisneros, mi padre José Ricardo Monzón Ascue, y mi hermana Carla Estefani Monzón Garcia por apoyarme en cada momento de mi vida, económicamente y emocionalmente; es por ello que siempre serán mi principal motivo de superación.

A Bryan Cárdenas Saldaña, a quien quiero mucho, por estar dispuesto a apoyarme en cualquier momento durante mi desarrollo profesional.

## **Agradecimiento**

Agradezco a mis padres por su apoyo incondicional y su esfuerzo por sacarme adelante.

Mi agradecimiento a la Municipalidad Distrital de Trujillo, Provincia de Trujillo, Departamento La Libertad; por haberme brindado el apoyo solicitado para el desarrollo del presente proyecto.

Así mismo, el agradecimiento a los docentes de la Escuela de Ingeniería Civil por brindarme sus conocimientos durante mi etapa de formación profesional, en especial a mi asesor Ing. Marlon Gastón Farfán Córdova.

También agradezco al jurado por sus recomendaciones con la finalidad de mejorar este trabajo.

## **Declaratoria de Autenticidad**

Yo, Lizbeth Ingri Monzón García, estudiante de la escuela profesional de Ingeniería Civil de la facultad de Ingeniería de la Universidad César Vallejo, identificado con DNI N° 70001819; a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, declaro bajo juramento que la tesis es de mi autoría y que toda la documentación, datos e información que en ella se presenta es veraz y auténtica.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto del contenido de la presente tesis como de información adicional aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Trujillo, Julio del 2018

---

Lizbeth Ingri Monzón García

## **Presentación**

Señores miembros del jurado:

En cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos, de la Universidad César Vallejo de Trujillo, presento ante ustedes la tesis titulada: “RIESGO SÍSMICO EN EL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE TRUJILLO – LA LIBERTAD”, con la finalidad de obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Agradezco por los aportes y sugerencias brindadas a lo largo del desarrollo del presente estudio y de esta manera realizar una investigación más eficiente. El trabajo mencionado determina la importancia y la influencia que tiene un proyecto relacionado al riesgo sísmico de una zona determinado para prever soluciones y tomar medidas preventivas para disminuir las consecuencias.

Lizbeth Ingri Monzón García

# Índice

Página del Jurado .....	ii
Dedicatoria .....	iii
Agradecimiento .....	iv
Declaratoria de Autenticidad.....	v
Presentación .....	vi
Índice.....	vii
Resumen .....	ix
Abstract .....	x
I. INTRODUCCIÓN .....	11
<b>1.1. Realidad Problemática.....</b>	<b>11</b>
<b>1.1.1. Aspectos generales.....</b>	<b>11</b>
Ubicación Política .....	11
Ubicación Geográfica.....	12
Límites .....	12
Clima .....	13
Vías de Acceso.....	13
<b>1.1.2. Aspectos socio económicos.....</b>	<b>13</b>
Actividades económicas .....	13
Salud.....	14
Educación.....	14
Servicios .....	14
Vivienda .....	15
<b>1.2. Trabajos Previos.....</b>	<b>15</b>
<b>1.3. Teorías Relacionadas al Tema .....</b>	<b>17</b>
<b>1.3.1. Centro Histórico de Trujillo.....</b>	<b>17</b>
<b>1.3.2. Riesgo Sísmico .....</b>	<b>18</b>
<b>1.3.2.1. Peligro Sísmico.....</b>	<b>20</b>
a. Sismicidad de la zona de Estudio .....	20
b. Amenaza Sísmica.....	25
c. Fallas Geológicas .....	26
d. Topografía.....	27
e. Geología.....	27
f. Geomorfología .....	27
g. Estudio de Mecánica de Suelos .....	29

h.	<b>Uso del Suelo</b> .....	32
i.	<b>Metodología de Evaluación del Peligro Sísmico</b> .....	33
1.3.2.2.	<b>Vulnerabilidad Sísmica</b> .....	40
a.	<b>Tipos de Vulnerabilidad Sísmica</b> .....	40
b.	<b>Clases de Metodologías para la Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica</b> .....	41
c.	<b>Metodología para Evaluar la Vulnerabilidad Sísmica</b> .....	43
1.4.	<b>Formulación del problema</b> .....	61
1.5.	<b>Justificación del estudio</b> .....	61
1.6.	<b>Hipótesis</b> .....	61
1.7.	<b>Objetivos</b> .....	61
1.7.1.	<b>Objetivo General</b> .....	61
1.7.2.	<b>Objetivos Específicos</b> .....	61
II.	<b>MÉTODO</b> .....	62
2.1.	<b>Diseño de Investigación</b> .....	62
2.2.	<b>VARIABLES, OPERACIONALIZACIÓN</b> .....	62
2.3.	<b>Población y muestra</b> .....	64
2.4.	<b>Técnicas e instrumentos de recolección de datos</b> .....	66
2.5.	<b>Métodos de análisis de datos</b> .....	66
2.6.	<b>Aspectos éticos</b> .....	66
III.	<b>RESULTADOS</b> .....	67
3.1.	<b>Peligro Sísmico</b> .....	67
3.2.	<b>Vulnerabilidad Sísmica</b> .....	73
3.3.	<b>Riesgo Sísmico</b> .....	89
IV.	<b>DISCUSIÓN</b> .....	95
V.	<b>CONCLUSIONES</b> .....	97
VI.	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	99
VII.	<b>REFERENCIAS</b> .....	100
	<b>ANEXOS</b> .....	102



## Resumen

La presente tesis lleva como título: “Riesgo Sísmico en el Centro Histórico de la ciudad de Trujillo – La Libertad”.

La investigación inicia con la preocupación continua que existe por las condiciones de las viviendas del Centro Histórico de Trujillo y su desempeño de éstas ante un eventual sismo, y que consecuencias habría en esta zona; por lo que conocer el riesgo sísmico en el Centro Histórico era importante determinarlo para poder aplicar medidas correctivas a partir de los resultados.

Para poder evaluar el Riesgo Sísmico en el Centro Histórico de Trujillo, se determinó las dos variables que posee, siendo el Peligro Sísmico y la Vulnerabilidad Sísmica. La evaluación de cada una de las variables del Riesgo Sísmico se realizó a través de fichas técnicas. Para el Peligro Sísmico, la ficha técnica evaluó las características propias de la zona de estudio, como, por ejemplo: la topografía, el nivel freático, la mecánica de suelos, la sismicidad histórica, la cercanía al mar; en cambio, para La Vulnerabilidad Sísmica, la ficha técnica evaluó las patologías constructivas (fallas estructurales, material de construcción, estado de conservación, sistema estructural, junta sísmica, años de antigüedad, elementos no estructurales, configuración en planta y elevación) presentes en las edificaciones del Centro Histórico, y para ello se sectorizó en 5 zonas, donde se evaluó instituciones educativas, centros de salud, casonas coloniales, centros comerciales y de esparcimiento y los centros culturales. En total se evaluaron 30 edificaciones para conocer la vulnerabilidad sísmica.

El Peligro Sísmico obtenido al aplicar la ficha técnica es de nivel medio, mientras que la Vulnerabilidad Sísmica promedio en los 5 sectores evaluados es de nivel Alto. Obtenidas ambas variables se obtuvo el Riesgo Sísmico en el Centro Histórico de Trujillo. El peligro Sísmico multiplicó el nivel al relacionarlo con la vulnerabilidad sísmica, por lo que se obtuvo un Riesgo Sísmico de nivel MUY ALTO, el cual ocasionaría daños catastróficos en las edificaciones, hasta llegar al colapso y pérdidas de vida y económicas mayores al 75%.

**Palabras claves:** Centro Histórico, Peligro Sísmico, Vulnerabilidad Sísmica, Riesgo Sísmico, nivel, edificaciones.

## **Abstract**

The present thesis is titled: "Seismic Risk in the Historical Center of the City of Trujillo - La Libertad".

The investigation begins with the continuing concern that exists for the housing conditions of the Historic Center of Trujillo and their performance in the event of an earthquake, and what consequences there would be in this area; so knowing the seismic risk in the Historic Center was important to determine in order to apply corrective measures based on the results.

In order to evaluate the Seismic Risk in the Historical Center of Trujillo, the two variables that it possesses were determined, being the Seismic Hazard and the Seismic Vulnerability. The evaluation of each of the Seismic Risk variables was carried out through technical data sheets. For the Seismic Hazard, the technical sheet evaluated the characteristics of the study area, such as: topography, groundwater level, soil mechanics, historical seismicity, proximity to the sea; On the other hand, for the Seismic Vulnerability, the technical sheet evaluated the constructive pathologies (structural failures, construction material, conservation status, structural system, seismic seal, years of antiquity, non-structural elements, configuration in plan and elevation) present in the buildings of the Historical Center, and for this it was divided into 5 zones, where educational institutions, health centers, colonial mansions, shopping and leisure centers and cultural centers were evaluated. In total 30 buildings were evaluated to know the seismic vulnerability.

The Seismic Hazard obtained when applying the technical data sheet is of medium level, while the average Seismic Vulnerability in the five sectors evaluated is of High level. Obtained both variables, the Seismic Risk was obtained in the Historical Center of Trujillo. The seismic hazard multiplied the level by relating it to seismic vulnerability, for which a seismic risk of VERY HIGH level was obtained, which would cause catastrophic damages in the buildings, until reaching the collapse and life and economic losses greater than 75%.

**KEYWORDS:** Historical Center, Seismic Hazard, Seismic Vulnerability, Seismic Hazard, level, buildings.

## **I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Realidad Problemática**

El Perú se ubica dentro del Cinturón de Fuego del Pacífico, el cual es una de las zonas sísmicas más activas en la Tierra, por lo tanto, Trujillo al ser una ciudad costera está expuesta a eventos sísmicos que la pondrían en peligro, lo que traería consigo la pérdida de materiales y pérdidas de vidas humanas. Por eso es necesario efectuar investigaciones que permitan determinar el riesgo sísmico latente y de esta forma poder mitigar las posibles consecuencias.

Se determinó el riesgo sísmico evaluando la vulnerabilidad sísmica y el peligro sísmico de la zona de estudio, bajo estos parámetros la problemática se fijó en el Centro Histórico de Trujillo, el cual es uno de los puntos más vulnerables pues cuenta con edificaciones de la época colonial, hechas de adobe y tapial que seguramente ante un sismo de gran magnitud podrían colapsar; además la evaluación del peligro sísmico implicó determinar factores como la historicidad sísmica, la mecánica de suelos, la topografía, el nivel freático de la zona, entre otros. Es así que al sumar tanto los factores del peligro sísmico más la vulnerabilidad que presenten las edificaciones determinaron el riesgo sísmico.

Es por ello que, se determinó el riesgo sísmico en el Centro Histórico de la Ciudad de Trujillo al ser de vital importancia, pues tomar medidas de acción lo antes posible evitaría pérdidas lamentables a futuro; además se definió el potencial riesgo sísmico en esta zona.

#### **1.1.1. Aspectos generales**

##### **Ubicación Política**

Departamento	:	La Libertad
Provincia	:	Trujillo
Distrito	:	Trujillo
Sector	:	Centro Histórico



**FIGURA 1**

Ubicación Política del Proyecto

### Ubicación Geográfica

El centro histórico de Trujillo se encuentra ubicado a  $8^{\circ}06'43''$  de latitud sur, a  $79^{\circ}01'44''$  de longitud oeste y a 34 metros de altitud. Ocupa un área aproximada de  $1335000 \text{ m}^2$ .

### Límites

Noroeste	:	Océano Pacífico, Huanchaco. (12 km)
Norte	:	La Esperanza, El Porvenir. (4 Km)
Nordeste	:	Ladero, El Porvenir. (4 Km)
Este	:	Ladero (7 Km)
Sudeste	:	Ladero, Moche, Salaverry (14 Km)
Sur	:	Océano Pacífico, Moche (7 Km)
Suroeste	:	Océano Pacífico, Víctor Larco (5 Km)
Oeste	:	Océano Pacífico, Huanchaco (12 Km)

## Clima

En la zona predomina el clima cálido primaveral, con temperatura promedio anual de 18 °C. El mes más cálido es febrero con una temperatura máxima de 31°C, y el mes más frío es Julio con 14°C. El mes de mayor estiaje es Julio, registrándose 3.1 mm de lluvia; y el mes más lluvioso es febrero, con un registro de 127.1 mm de lluvia.

## Vías de Acceso

- Avenida España
- Avenida Mansiche
- Avenida Manuel Vera Enríquez
- Avenida Gerónimo de La Torre
- Jirón Francisco Pizarro
- Jirón Diego de Almagro
- Jirón Independencia
- Jirón Mariscal Orbegoso
- Jirón San Martín
- Jirón Zepita
- Jirón Simón Bolívar
- Jirón Miguel Grau
- Jirón Agustín Gamarra
- Jirón Alfonso Ugarte
- Jirón Francisco Bolognesi
- Jirón Colón
- Jirón Martín Estete
- Jirón Junín
- Pasaje Armas
- Pasaje San Agustín
- Pasaje Extremadura
- Pasaje Santa Rosa
- Pasaje San Luis
- Pasaje Defecación
- Pasaje Flor de Trujillo
- Paseo Peatonal Pizarro

### 1.1.2. Aspectos socio económicos

#### Actividades económicas

Las actividades económicas que destacan en el centro histórico de Trujillo son:

- **Comercio:** El Centro Histórico de Trujillo se basa en su principal eje económico, el cual es el comercio. Una gran variedad de comercio informal y formal se distribuye dentro de la zona, y se comercializa todo tipo de productos. Dentro del Centro Histórico se encuentran las siguientes galerías y centros comerciales:

- Plaza vea
- El Mercado Central
- El Virrey
- El Boulevard

- C.C Primavera
- Centro Comercial Plaza Mall
- Centro Comercial Zona Franca
- El Palacio de Hierro
- Apiat
- Metro

- **Turismo:** En el Centro Histórico se encuentran la Plaza de Armas, la Catedral de Trujillo, teatros y museos, las iglesias coloniales y casonas; que, son un atractivo turístico para visitantes de distintos puntos del país y extranjeros, los cuales contribuyen al desarrollo de esta actividad económica, y que se fomenta también a través de los MiraBus, los cuales dan recorrido de todos estos atractivos al público en general.

### **Salud**

Dentro del Centro Histórico de se encuentran los siguientes centros de salud:

- Hospital Belén
- Clínica Camino Real
- Centro de Salud Club Leones

### **Educación**

En el Centro Histórico de Trujillo se ubican importantes Instituciones Educativas como:

- I.E. Marcial Acharán
- Colegio Hermanos Blanco – Centro Trujillo
- Colegio Seminario de San Carlos y San Marcelo
- Colegio Interamericano Trujillo
- Colegio Antonio Raimondi
- I.E.P. Alexander Graham Bell
- Colegio Santa Rita de Casia
- I.E. Santa Rosa

### **Servicios**

- **Infraestructura Energética:** Está a cargo de Hidrandina. El nivel de electrificación alcanza el 91% dentro del distrito de Trujillo.

- **Agua Potable:** La empresa encargada de la distribución de agua potable es SEDALIB S.A., la cual adquiere agua del proyecto CHAVIMOCHIC y a la vez se explota 33 pozos tubulares del acuífero del valle de Santa Catalina. La cobertura del servicio de agua potable cubre el 91.74% de la población del distrito de Trujillo.

## **Vivienda**

El centro histórico contiene numerosos monumentos entre los que predominan las edificaciones producto de la arquitectura colonial y religiosa imperante durante la época virreinal, además de casonas que datan de la misma época y de los albores de la república entre cuyos distintivos están sus balcones y ventanales enrejados a manera de encaje.

Constituye también el núcleo urbano más importante y característico de la ciudad al mantener su doble condición de centro histórico y centro activo del conglomerado metropolitano de Trujillo. El cuidado y mantenimiento de la zona monumental de Trujillo es realizado por la Municipalidad Provincial de Trujillo.

Está conformado por un total de 1783 lotes, que, agrupados en 72 manzanas, se ubican dentro de la zona que también se le conoce como el “*Cercado de Trujillo*” y que originalmente estuvo delimitada por la muralla de la ciudad.

### **1.2. Trabajos Previos**

Para realizar esta investigación se tomó en cuenta algunas investigaciones hechas sobre el tema en cuestión, los cuales han aportado datos e información relevante de las experiencias en las aplicaciones del riesgo sísmico:

Palomino y Tamayo (2016), en su tesis “Evaluación Probabilista del Riesgo Sísmico de Hospitales en Lima con Plataforma CAPRA”, tuvo como objetivo principal estimar el riesgo sísmico de los hospitales de Lima en términos de pérdidas económicas probables, analizando el peligro sísmico y la vulnerabilidad a través de visitas de campo usando una ficha de observación, considerando como muestra los hospitales; se concluyó lo siguiente: que el riesgo sísmico sería alto si ocurriera un sismo de gran magnitud (8.21° con epicentro en la costa limeña), lo que causaría grandes pérdidas económicas en la

infraestructura de los hospitales de un 26%, lo cual es un indicador para el financiamiento de las actividades de reconstrucción post desastre.

Castro (2015), en su tesis: “Vulnerabilidad Sísmica del Centro Histórico de la Ciudad de Jauja – Junín”, tuvo como objetivo principal determinar la vulnerabilidad y peligro sísmico de la zona central de Jauja. Para la determinación del peligro sísmico se recopiló información a través de la “Zonificación Sísmica Geotécnica” del centro histórica de la ciudad de Jauja. Con relación a la vulnerabilidad sísmica se recogió información a través de fichas de observación de 1017 edificaciones, donde: los resultados arrojan que el 69% representan edificaciones de adobe, el 29.8% son de albañilería y el 1.2% son de concreto armado. Concluyendo que las edificaciones de adobe tienen una vulnerabilidad media a alta, mientras que las de albañilería y concreto armado presentan en promedio una vulnerabilidad baja a media.

Becerra (2015) en su tesis “Riesgo Sísmico de las edificaciones en la Urbanización Horacio Zevallos de Cajamarca - 2015.” tuvo como objetivo principal determinar el nivel del Riesgo Sísmico de las edificaciones de la urbanización Horacio Zevallos, para la recolección de información se escogió una muestra de 20 viviendas, utilizando fichas de encuesta se recopiló datos como ubicación, proceso constructivo, estructuración, y calidad de la construcción. Concluyendo un riesgo sísmico alto, debido vulnerabilidad va de un nivel medio a alto ya que muchas casas presentan serios problemas estructurales, que podrían afectar adversamente su desempeño ante la ocurrencia de sismos y un alto peligro sísmico debido a que el suelo es tipo intermedio y por el relieve de la zona.

Laucata (2013), en su tesis “Análisis de la Vulnerabilidad Sísmica de las Viviendas Informales en la ciudad de Trujillo”, tuvo como objetivo principal determinar el riesgo sísmico en las viviendas informales de albañilería confinada de la ciudad de Trujillo, en el cual se analizó: la ubicación, la arquitectura, los procesos constructivos y calidad de la construcción. Se recolectó información a través de encuestas, determinando la vulnerabilidad y analizando el riesgo sísmico de éstas; también se detallaron los defectos constructivos encontrados, considerando una población de viviendas informales. Concluyó que las viviendas informales de albañilería confinada de la costa peruana de Trujillo son de alto peligro sísmico.



Astorga y Aguilar (2006) en su tesis “Evaluación del riesgo sísmico de edificaciones educativas peruanas”, tuvo como objetivo el cálculo del desempeño sismorresistente en las edificaciones educativas para cuantificar las pérdidas. Se evaluaron centros educativos construidos antes y después de 1997 cuyo material de construcción varía entre adobe, concreto y albañilería. Los resultados de la investigación indican que los edificios de adobe quedarían irreparables (daño mayor a 60%) para eventos con intensidades de VII MM o más, para los edificios de concreto – albañilería se encontró que el daño sería irreparable desde intensidades de IX MM y X MM respectivamente.

Mosqueira y Tarque (2005) en su tesis “Recomendaciones Técnicas para Mejorar la Seguridad Sísmica de Viviendas de Albañilería Confinada de la Costa Peruana”, tuvo como objetivo principal determinar el riesgo sísmico de las viviendas informales de albañilería confinada, analizando 270 viviendas de 5 ciudades de la costa del Perú: Chiclayo, Trujillo, Lima, Ica y Mollendo. Se recolectó información a través de fichas de observación donde se resalta características como la ubicación, arquitectónicas, estructurales y constructivas de cada vivienda de albañilería confinada, obtenidos los resultados, los cuales determinan que el riesgo sísmico es alto, se plantean una cartilla para la construcción y mantenimiento de viviendas de albañilería confinada en zonas de alto peligro sísmico.

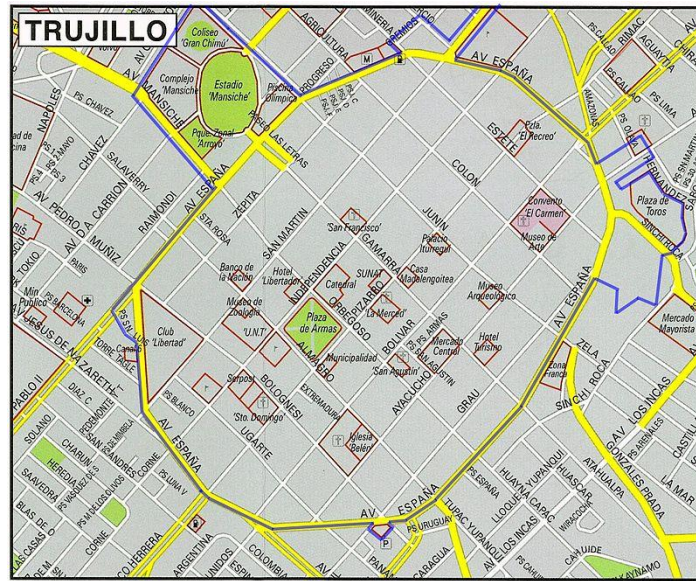
### **1.3. Teorías Relacionadas al Tema**

#### **1.3.1. Centro Histórico de Trujillo**

Es también llamado Centro Monumental, y es el centro más importante de desarrollo de la ciudad de Trujillo.

Conserva construcciones de arquitectura de la época colonial, entre ellas destacan: La Catedral, El Palacio Arzobispal, La Iglesia San Agustín, y un gran número de casonas; también hay construcciones de época republicana y modernas que le dan vistosidad al centro histórico.

Según los datos del censo del 2005, el centro histórico contaba en ese entonces con una población aproximada de 12 mil habitantes.



**FIGURA 2**

Mapa del Centro Histórico de Trujillo

Fuente: Google Earth 2017

### 1.3.2. Riesgo Sísmico

“Riesgo sísmico es el nivel de daño que podría presentarse en una obra determinada y depende tanto del peligro sísmico en el sitio de la obra como de la vulnerabilidad de la construcción misma”. (Ingeniería Sísmica – Rodríguez Plasencia 2014, p. 14).

El riesgo sísmico es el resultado de la interacción del peligro sobre la vulnerabilidad sísmica.

El Riesgo sísmico se puede expresar de forma cualitativa (a través de grados o niveles de calificación), como también en forma cuantitativa, estimando los daños o pérdidas esperadas para un determinado evento sísmico.

En este caso de estudio, para determinar el riesgo sísmico del Centro Histórico de Trujillo se ha establecido 4 categorías o niveles, que son considerados como un estándar para los estudios de riesgo a nivel nacional, los efectos esperados para cada nivel de riesgo se muestran a continuación:

### CUADRO 1

#### Niveles de Riesgo Sísmico

	Riesgo Muy Alto	Hay un riesgo muy elevado, los edificios colapsan, es decir se considera un porcentaje de peligro de caída estructural que hace inhabitable el inmueble y muerte superior al 75%.
	Riesgo Alto	Hay un riesgo elevado y hay edificios que, en un sismo, puedan tener daños graves que comprometan su estabilidad, con un porcentaje de riesgo de fallo estructural y muerte superior al 50%.
	Riesgo Medio	Hay edificios en los cuales se pueden presentar daños graves, pero que no comprometen a la estructura haciéndola caer, con un porcentaje de riesgo de fallo estructural y muerte superior al 25%
	Riesgo Bajo	Luego de un sismo, los edificios presentan pocos daños en sus estructuras, y no se identifican en la edificación fallas o caídas, con una consideración del riesgo de fallo estructural y muerte superior al 5%

Fuente: “Riesgo Sísmico y Medidas de Reducción del Riesgo en el Centro Histórico de Lima”

### CUADRO 2

#### Cruce de Niveles de Vulnerabilidad Sísmica y Peligro Sísmico

		VULNERABILIDAD SÍSMICA			
		Muy alto	Alto	Medio	Bajo
PELIGRO SÍSMICO	Alto	<b>MUY ALTO</b>	<b>MUY ALTO</b>	<b>MUY ALTO</b>	<b>ALTO</b>
	Medio	<b>MUY ALTO</b>	<b>MUY ALTO</b>	<b>ALTO</b>	<b>MEDIO</b>
	Bajo	<b>MUY ALTO</b>	<b>ALTO</b>	<b>MEDIO</b>	<b>BAJO</b>
		RIESGO SÍSMICO			

Fuente: “Riesgo Sísmico y Medidas de Reducción del Riesgo en el Centro Histórico de Lima”

Esta forma de evaluación del Riesgo Sísmico, fue utilizada por la Municipalidad Metropolitana de Lima, la Municipalidad del Rímac, El Sistema Nacional de

Defensa Civil, La Comisión Europea de Ayuda Humanitaria, y la empresa internacional Cooperazione Internazionale, en la investigación: “Riesgo Sísmico y Medidas de Reducción del Riesgo en el Centro Histórico de Lima”.

La estimación del nivel del Riesgo Sísmico consistió en la evaluación de sus dos parámetros: El Peligro Sísmico y la Vulnerabilidad Sísmica.

#### **1.3.2.1. Peligro Sísmico**

“Peligro sísmico es la severidad de los efectos sísmicos que se podrían presentar en un lugar determinado”. (Ingeniería Sísmica – Rodríguez Plasencia 2014, p. 13).

La severidad está ligada a la magnitud del sismo, y esta se relaciona con la cantidad de energía liberada, la aceleración máxima, el valor espectral de la velocidad, el valor espectral del desplazamiento del suelo o el valor medio de la intensidad.

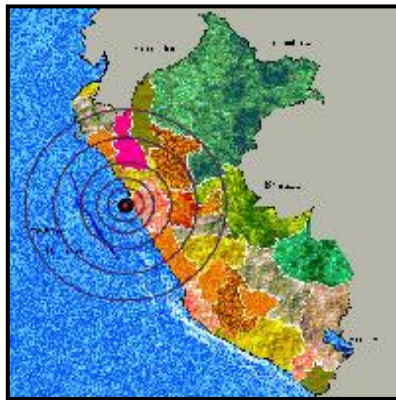
Para determinar la peligrosidad sísmica de una zona es necesario analizar las fallas que pueden ocasionar un terremoto destructivo. En el análisis se considera en primer lugar, si su orientación es la adecuada para sufrir desplazamientos en función de la orientación de los esfuerzos transmitidos desde los límites de las placas. A estas fallas se les denomina fallas capaces, es decir fallas que por su geometría son capaces de acumular suficiente energía como para producirse el deslizamiento, y por ello potencialmente son generadores de terremotos. Se analiza también la topografía de la zona, el estudio de suelos, el nivel freático en el suelo y su capacidad de resistencia, los perfiles de suelo, la cercanía al mar y también es necesario el estudio de la sismicidad a través del análisis de sismos que han ocurrido en el pasado para establecer la probabilidad de ocurrencia de un evento sísmico.

##### **a. Sismicidad de la zona de Estudio**

La sismicidad se puede definir como:

“La frecuencia de ocurrencia de fenómenos sísmicos por la unidad del área incluyendo, al mismo tiempo, cierta información de la energía sísmica liberada”. (Ingeniería Sísmica – Rodríguez Plasencia 2014, p. 05).

En base a eso, la sismicidad en la ciudad de Trujillo puede ser evidenciada a través de los antecedentes sísmicos.



**FIGURA 3**

Sismicidad en el Perú

**Antecedentes Sísmicos:**

Se recopila información tomando en cuenta la historicidad sísmica, según los sismos que han ocurrido en la ciudad. Estos sismos datan desde la época colonial, y el registro de ellos se describen a continuación:

**✚ Sismo del 19 de febrero de 1619:**

**Hora:** 11:30 horas  
**Magnitud:** 7.0  
**Intensidad:** IX en el epicentro cerca de Trujillo.

**✚ Sismo del 6 de enero de 1725**

**Hora:** 23:25 horas  
**Magnitud:** 6.5  
**Intensidad:** VII en el epicentro Callejón de Huaylas VII en la zona de Trujillo.  
**Consecuencias:** Daños en las estructuras en Trujillo y deslizamientos de la Cordillera Blanca, arrasó el pueblo de Yungay. Murieron cerca de 1500 personas.

**✚** Sismo del 2 de setiembre de 1759

**Hora:** 23:15 horas  
**Magnitud:** 6.5  
**Intensidad:** VII entre Trujillo y Huamachuco.  
**Radio de Percepción:** 250 Km.  
**Consecuencias:** Afectó desde Lambayeque hasta Santa. En Trujillo murieron 5 personas y muchas construcciones fueron dañadas.

**✚** Sismo del 28 de setiembre de 1906

**Hora:** 12:25 horas  
**Magnitud:** 7.0  
**Intensidad:** Estimado entre VIII y IX epicentro entre Trujillo y Cajamarca.

**✚** Sismo del 20 de junio del 1907

**Hora:** 06:23 horas  
**Magnitud:** 6.75  
**Intensidad:** Estimado entre VIII en el epicentro ubicado en las coordenadas 7OS y 81OW.  
**Radio de Percepción:** 600 Km.

**✚** Sismo del 20 de mayo de 1917


**Hora:** 23:45 horas  
**Magnitud:** 7.0  
**Intensidad:** Estimado entre VIII – VI en el epicentro ubicado en Trujillo.

**✚** Sismo del 21 de junio 1937

**Hora:** 10:45 horas  
**Magnitud:** 6.75  
**Epicentro:** Coordenadas 8.5OS y 80OW.  
**Intensidad:** VIII – VI en el epicentro.  
**Profundidad Focal:** 60 km

**✚** Sismo del 23 de junio de 1951

**Hora:** 20:44 horas  
**Magnitud:** 5.5  
**Epicentro:** Coordenadas 8.30°S y 79.80°W.  
**Intensidad:** V epicentro.


 Sismo del 19 de agosto de 1955

**Hora:** 19:51 horas

**Magnitud:** 6.0

**Intensidad:** VII epicentro.

**Consecuencias:** Sentido en Piura, Lima, y ligera destrucción en la Hacienda Cartavio (Trujillo) y en Chimbote.

 Sismo del 03 de febrero de 1969

**Hora:** 32:10 horas


**Magnitud:** 6.0

**Epicentro:** Coordenadas 8°S y 78.13°W.

**Profundidad Focal:** 43 Km

**Intensidad:** VII

**Consecuencias:** Causó gran alarma en Trujillo y Chiclayo

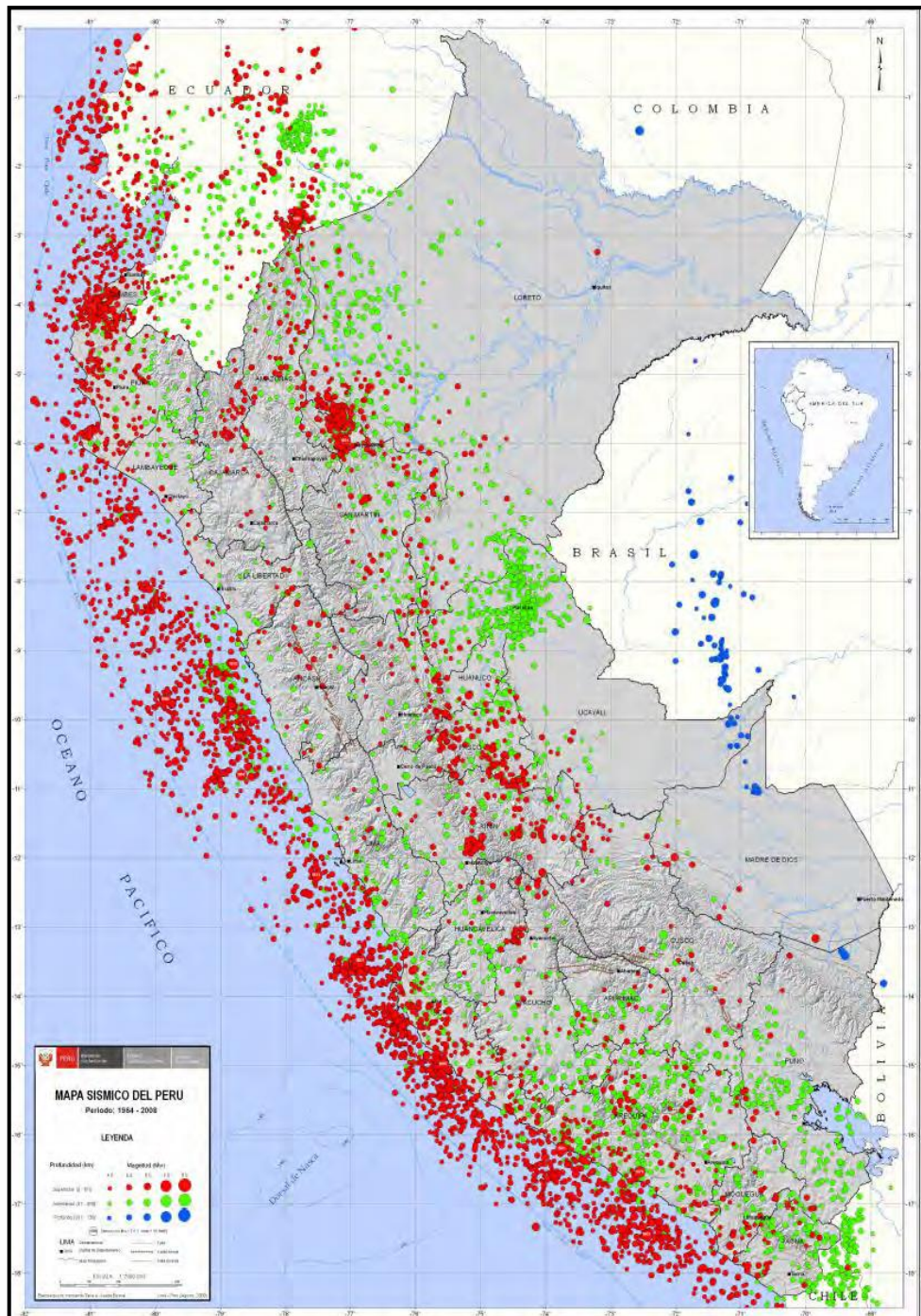
 Sismo del 31 de mayo de 1970

**Hora:** 15:23 horas

**Magnitud:** 6.0

**Epicentro:** Coordenadas 10,21OS y 78,5OW.





**FIGURA 4**

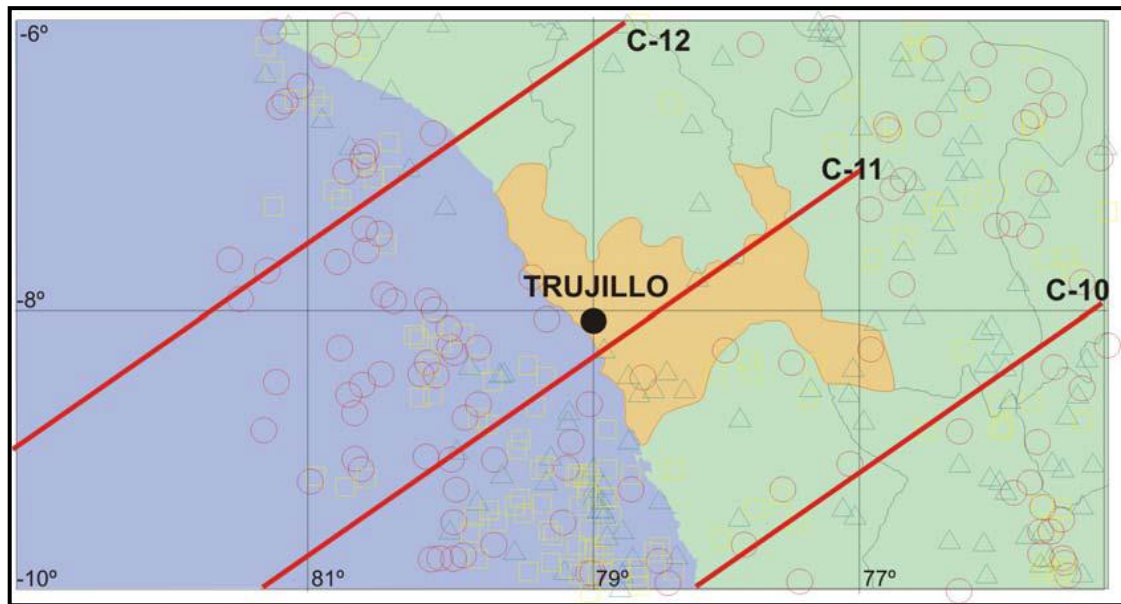
Mapa Sísmico del Perú (Periodo 1964 – 2008)

Fuente: Instituto Geofísico del Perú

**Distribución Espacial de los sismos:**

En la siguiente figura se observa la actividad sísmica en la ciudad de Trujillo, y se evidencia que la mayor actividad está localizada bajo el océano y corre paralelamente hacia la costa.





**FIGURA 5**

Sismotectónico del Perú – Zona de Trujillo

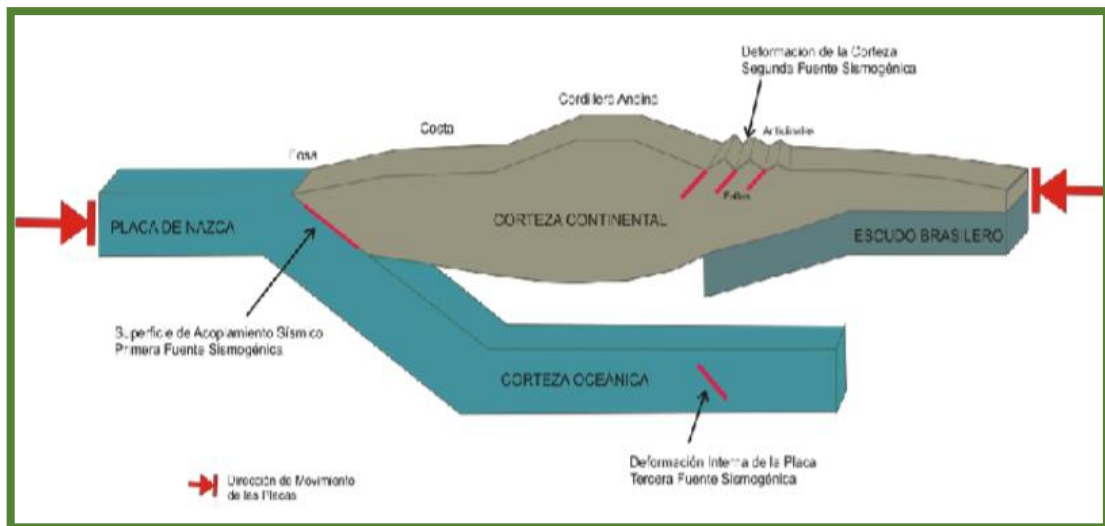
Fuente: Instituto Geofísico del Perú

**b. Amenaza Sísmica**

“Amenaza sísmica es la probabilidad de ocurrencia de un evento sísmico potencialmente desastroso durante un periodo de tiempo en una determinada zona”. (Ingeniería Sismorresistente – Rodríguez Plasencia 2014, p. 16).

Es una realidad que el país está situado en una zona sísmica de alta actividad, y es conocida como el Cinturón de Fuego; es aquí donde ocurren el 85% de los sismos en toda la Tierra.

Según la Tectónica de Placas, en el Perú los sismos que ocurren son por Subducción, lo que significa que una placa se hunde sobre otra, en este caso la Placa Sudamericana (P. Continental) monta a la Placa de Nazca (P. Oceánica) mientras que la última regresa al manto.



**FIGURA 6**

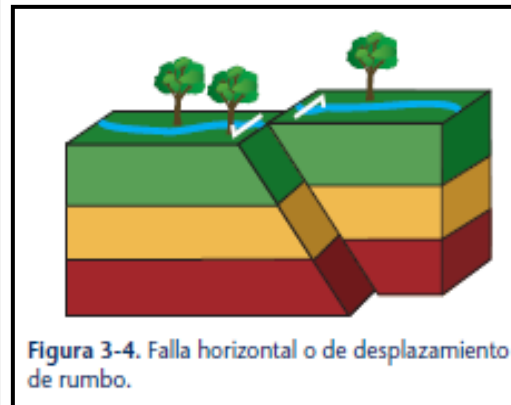
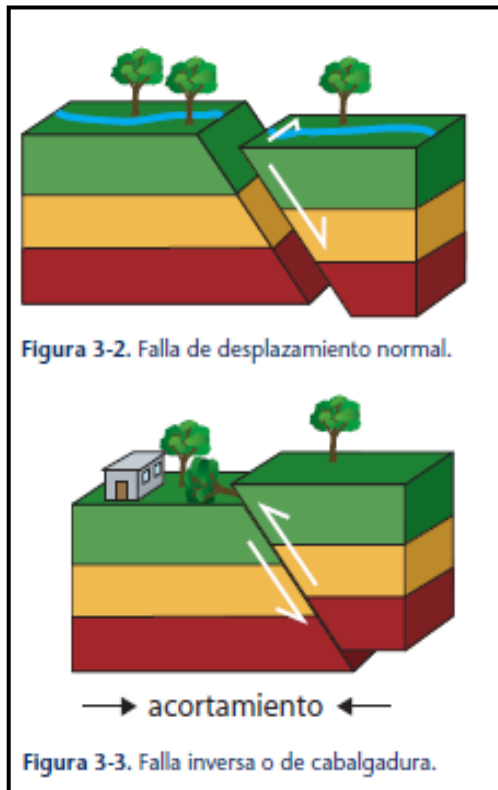
**Subducción de Placas**

En la zona de estudio ha habido un gran silencio sísmico, por lo que, tomando en cuenta los grandes terremotos que han ocurrido en la zona, es muy probable que estos ocurrirán nuevamente en el futuro.

**c. Fallas Geológicas**

Las fallas son: “fracturas en las rocas que forman la corteza terrestre”. (Ingeniería Sismorresistente – Rodríguez Plasencia 2014, p. 16). Entre las fallas más peligrosas se tienen:

Las Fallas normales son aquellas que se producen y siguen las leyes de la gravedad (no es muy común, las fallas inversas son fallas comunes en las cuales los bloques de la falla se mueven uno en contra del otro, provocando una superposición de las capas; y la falla de desplazamiento el cual es muy conocida, el movimiento es horizontal.



**FIGURA 7**  
Tipos de Fallas

#### d. Topografía

Presenta un relieve casi plano, el cual permitió la distribución equilibrada de las manzanas y lotes. El Centro Histórico tiene una pendiente entre 1% y 1.5% y está a una altura sobre el nivel del mar entre 18 metros y los 50 metros. (Mapa de Peligros de la Ciudad de Trujillo y Zonas Aledañas – IIDMA 2002, p. 100).

#### e. Geología

Geología de Trujillo: La geología de Trujillo y alrededores consiste de afloramientos rocosos (rocas sedimentarias, volcánicas sedimentarias y plutónicas) y depósitos sedimentarios (marinos, eólicos, coluvio – aluviales y aluviales), las cuales han sufrido las deformaciones terrestres presentándose estructuras regionales (lineamientos estructurales y diaclasas) que tienen una orientación andina (Noroeste – Suroeste). Los materiales corresponden a edades desde el mesozoico (Jurásico Superior) al Cenozoico (Cuaternario Reciente).

#### f. Geomorfología

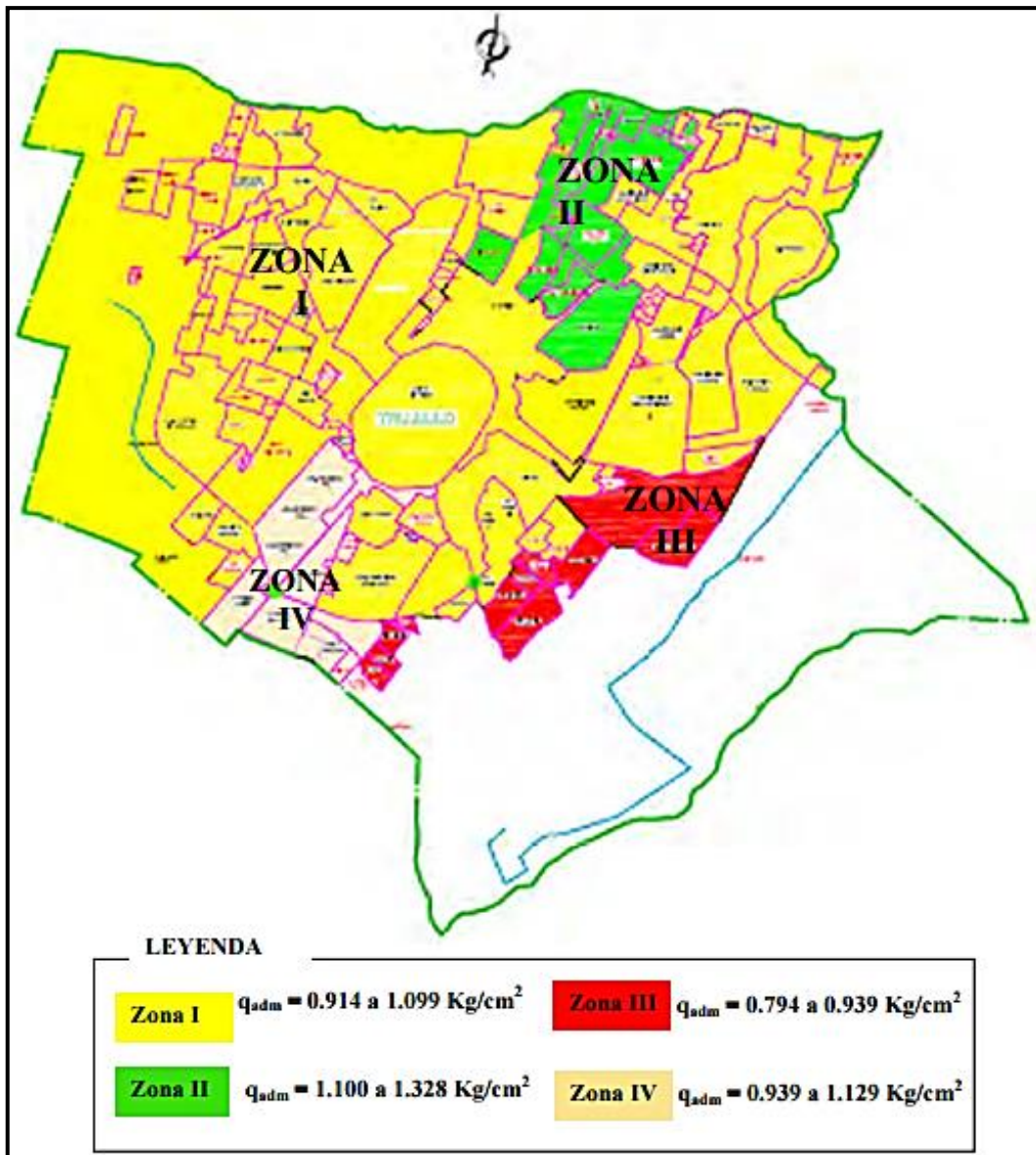
Geomorfología de Trujillo: en el espacio que ocupa la ciudad de Trujillo y en su entorno inmediato se observan las unidades morfológicas que se describen con

detalle más adelante. De esas sobresalen las de los macizos aislados con las escombras producidos por la erosión y que forman sus laderas, los depósitos acarreados por las aguas que han creado las planicies que contienen a la ciudad actual, a Chan - Chan la capital de los Chimú y a las tierras de cultivo del valle; los conos de deyección, el estrecho como fluvial del río Moche y sus terrazas indicativas de que el río hizo nuevos cauces sobre depósitos antiguos, las formaciones litorales, las escarpas, que muestran las variaciones de la línea de playas en el curso de los tiempos; las capas fluvio eólicas y riachuelos al norte y los mantos de arena al este acumulados por el viento.

A continuación, se muestra el mapa de Microzonificación Geotécnica de la ciudad de Trujillo, para ello es necesario saber que la “Microzonificación geotécnica son estudios multidisciplinarios que investigan los efectos de sismos y fenómenos asociados como licuefacción de suelos, deslizamientos, tsunamis y otros, sobre el área de interés”. (RNE. E 030 – 2016, p. 210).

En el mapa, se puede ver una clasificación según el tipo de zona, y este tipo de zona está relacionado al qadm, el cual es la capacidad portante del suelo, ante ello:

“Capacidad portante es el estudio de mecánica de suelos en el cual determinan la capacidad del terreno para soportar las cargas aplicadas sobre él”. (RNE. E 030 – 2016, p. 210).



**FIGURA 8**

Mapa de Microzonificación Geotécnica de la Provincia de Trujillo

Fuente: Instituto de Investigación en Desastres y Medio Ambiente (IIDMA)

### g. Estudio de Mecánica de Suelos

En el Centro Histórico el perfil de suelo es uniforme y está constituido por una capa superior de material de relleno, formado por arena limosa, pedazos de ladrillo, y pajas en estado suelto; alcanza profundidades que varían hasta los 2 m. Asimismo se encuentra, arena fina (SP-SM), pobremente graduada, mezclados con pequeños lentes de limo y arcilla, color amarillento, variando su densidad relativa con la profundidad, de baja a mediana. Varía en profundidad

de 2 a 7 m. En el estrato subyacente, encontramos arena fina y gruesa con limo inorgánico no plástico, fuertemente cimentada (SM), en profundidades que varían de 7 a 11 m. En esta zona la capacidad admisible del terreno es de 1 kg/cm<sup>2</sup>.

El suelo es medianamente flexible con velocidad de propagación de onda de corte  $180 \text{ m/s} < \bar{V}_s \leq 500 \text{ m/s}$ . Su valor del SPT es de  $N_{60} = 38$ .

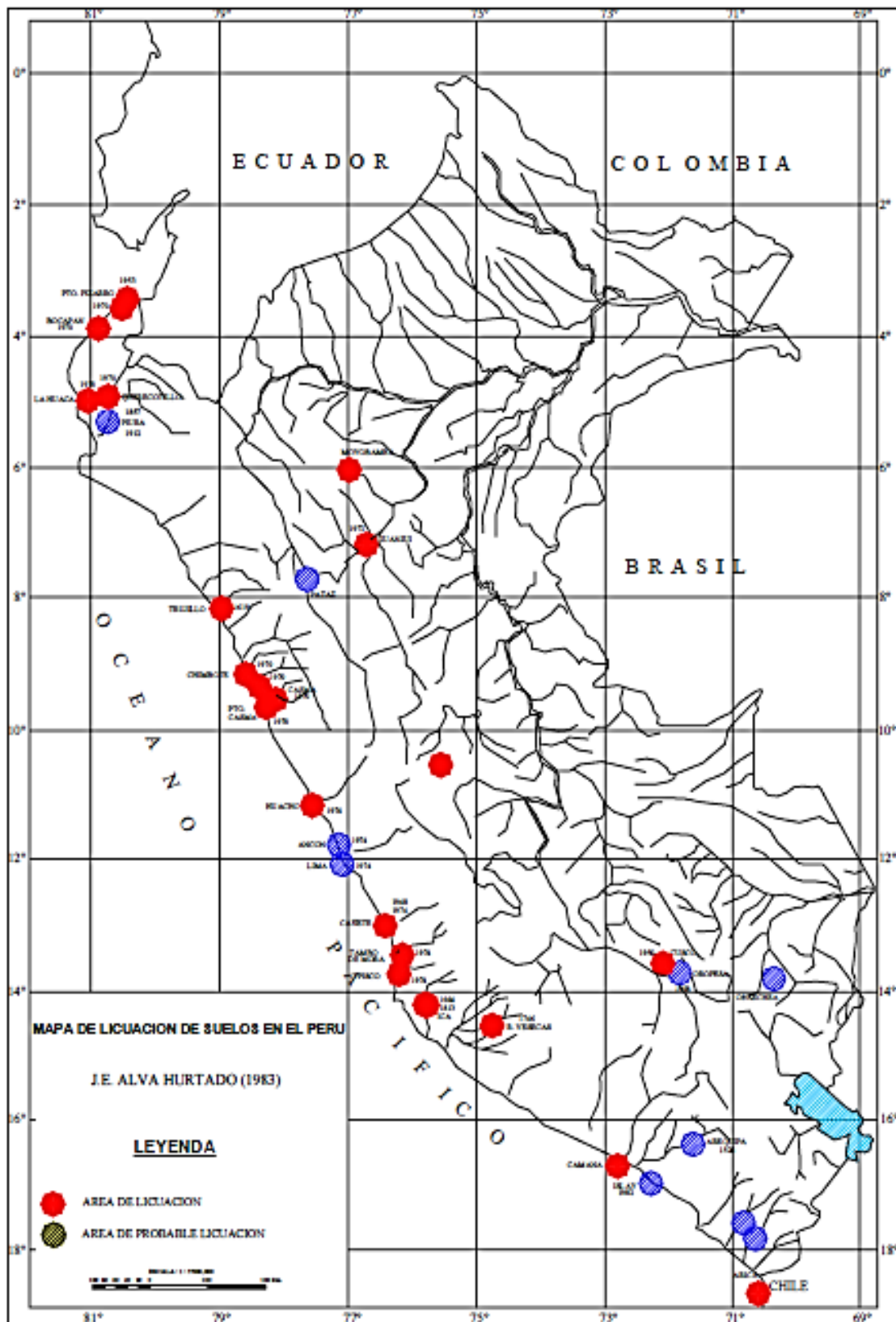
En anexos se adjuntará el Estudio de Mecánica de Suelos de la zona que valida esta información.

### **Influencia del nivel freático y la posibilidad de licuefacción**

“Licuefacción es una condición en la cual, un suelo pierde su resistencia y se comporta como un fluido muy viscoso, debido a la generación de altas presiones en el agua que se encuentra entre sus granos”. (Ingeniería Sismorresistente – Rodríguez Plasencia 2014, p. 16).

De acuerdo a los datos obtenidos del Estudio de Mecánica de Suelos, recopilada de la Municipalidad de Provincial de Trujillo, la zona presenta un suelo perteneciente al grupo de suelos con potencial de licuefacción.

A continuación, se muestra el mapa con el potencial de licuación de suelos en los distintos departamentos del Perú:



**FIGURA 9**

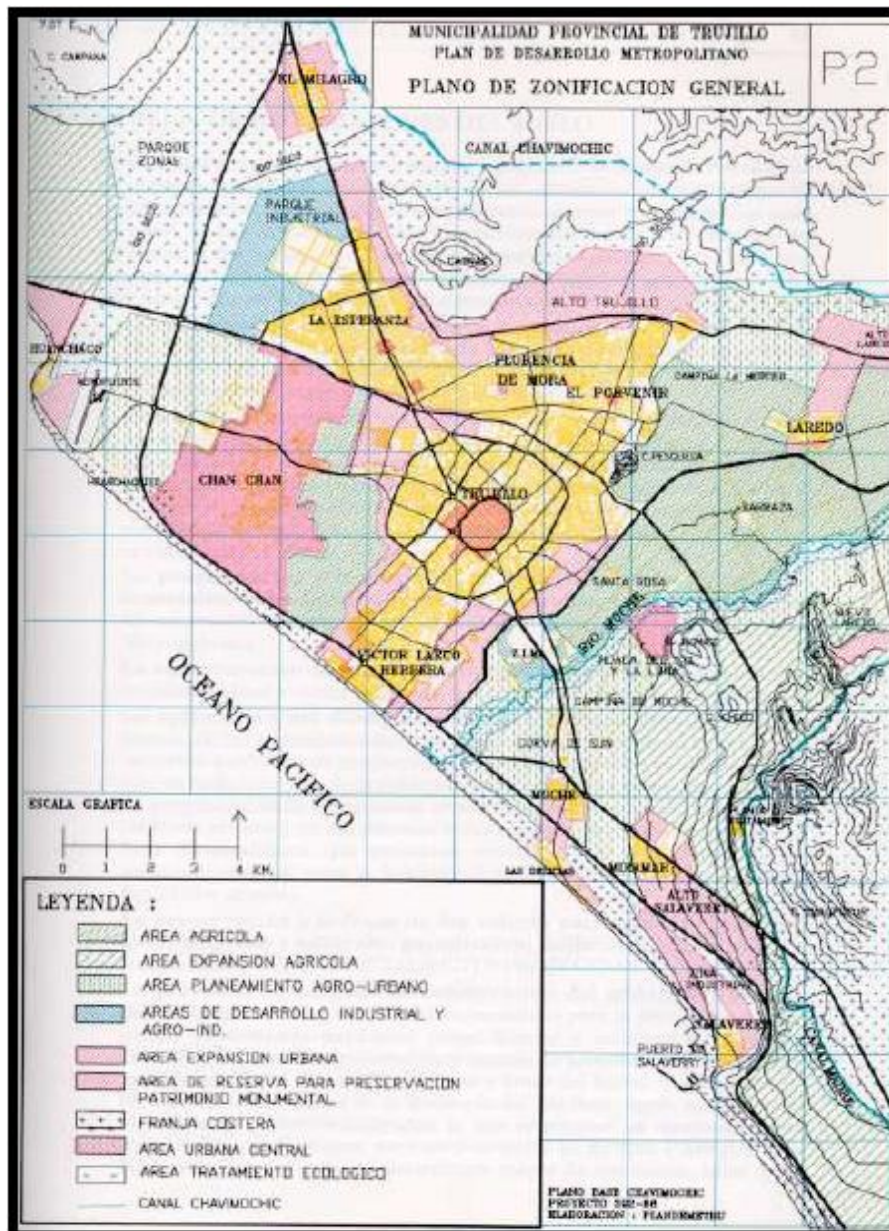
Mapa de Licuación de Suelos en el Perú

Fuente: J.E ALVA HURTADO (1983)



## h. Uso del Suelo

A continuación, se presenta el plano actualizado de la zonificación y usos del suelo de la ciudad de Trujillo el cual está aprobado por la Ordenanza Municipal N° 031 – 2012 – MPT que asignado como Plano N° 002 – 2011 – ZT, versión Agosto del 2012.



**FIGURA 10**

Plano de Zonificación General

Fuente: Municipalidad Provincial de Trujillo



## **i. Metodología de Evaluación del Peligro Sísmico**

La metodología a usar para determinar el Peligro Sísmico en el Centro Histórico de Trujillo es a través de ciertos criterios basados en bibliografía y estadísticas de la zona a estudiar, y estos parámetros evaluados son:

- Cercanía al mar
- Mecánica de suelos
- Nivel Freático
- Perfil del Suelo
- Topografía
- Sismicidad Histórica

Es así que, para cada uno de estos parámetros se estableció la siguiente forma de evaluación:

### **Cercanía al mar**

La ley aprobada y modificada el 12 de marzo del 2010. Establece que las viviendas construidas a las orillas del mar deben estar a una distancia mayor de 450 m para asegurar el bienestar de las edificaciones y sus habitantes ante la amenaza de un sismo.

En base a esta normativa se plantea la siguiente tabla:

**TABLA 1**

Nivel del Peligro Sísmico según la Cercanía al Mar

<b>CERCANÍA AL MAR</b>	<b>NIVEL DE PELIGRO</b>		
	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
	<b>CERCA</b>	<b>REGULAR</b>	<b>LEJOS</b>
	<b>&lt; 100 m</b>	<b>100 m - 450 m</b>	<b>&gt; 450 m</b>

Fuente: Estudio del Riesgo Sísmico en la Localidad de Buenos Aires, Trujillo 2015

### **Mecánica de Suelos**

“Suelo es uno de los factores con mayor relevancia porque el sismo se desarrolla en la corteza terrestre, transmitiendo las ondas a través del suelo hacia la estructura, por ello si el suelo presenta algunos defectos la respuesta sísmica del edificio también se verá afectada”. (Ingeniería Sismorresistente – Rodríguez Plasencia 2014, p. 16).

El sistema de clasificación de suelos ASSTHO establece de forma práctica tipos y calidad de suelos, estableciendo es el más apto sobre el cuál construir. A continuación, se muestra la tabla la cual evalúa el nivel del peligro en base a la mecánica de suelos del Centro Histórico de Trujillo.

**TABLA 2**

Nivel del Peligro Sísmico según la Mecánica de Suelos

MECANICA DE SUELOS	TIPO DE SUELO	CALIDAD	NIVEL DE PELIGRO
PARÁMETROS SEGÚN AASHTO	Suelos orgánicos	Muy Malo	5
	Suelos limosos y arcillosos	Malo	4
	Grava y arena limo o arcillosa	Regular	3
	Arena fina	Bueno	2
	Fragmentos de roca, grava y arena	Excelente	1

Fuente: Estudio del Riesgo Sísmico en la Localidad de Buenos Aires, Trujillo 2015

### Nivel Freático

La clasificación del riesgo freático en los suelos está relacionada con la profundidad en la que se encuentre el nivel freático. Se establecen rangos de profundidad para determinar el nivel de riesgo, formulando que al encontrar el nivel freático más cerca de la superficie su nivel de riesgo sísmico será mayor que al encontrarlo más profundo.

**TABLA 3**

Nivel del Peligro Sísmico según el Nivel Freático

NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD	NIVEL DE PELIGRO
Superficiales	0 - 2 m	3
Intermedios	2 - 3 m	2
Profundos	> 3 m	1

Fuente: Estudio del Riesgo Sísmico en la Localidad de Buenos Aires, Trujillo 2015

### Perfil del Suelo

Una condición geotécnica es el perfil del suelo, para determinarlo se toma en cuenta factores como: la velocidad promedio de propagación de ondas de corte

( $\bar{V}_s$ ) y los resultados obtenidos tras realizar el ensayo de penetración (SPT). Existen 5 tipos de perfiles de suelos, los cuales son:

“Perfil Tipo S<sub>0</sub> son los suelos de Roca Dura a este tipo corresponden las rocas sanas con velocidad de propagación de ondas de corte  $\bar{V}_s > 1500$  m/s”. (RNE. E 030 – 2016, p. 210).

“Perfil Tipo S<sub>1</sub> son los suelos Roca o Suelos Muy Rígidos a este tipo corresponden las rocas con diferentes grados de fracturación, de macizos homogéneos y los suelos muy rígidos con velocidades de propagación de onda de corte  $500 \text{ m/s} < \bar{V}_s \leq 1500 \text{ m/s}$ ”. (RNE. E 030 – 2016, p. 210).

“Perfil Tipo S<sub>2</sub> son los suelos Intermedios a este tipo corresponden los suelos medianamente rígidos, con velocidades de propagación de onda de corte  $180 \text{ m/s} < \bar{V}_s \leq 500 \text{ m/s}$ ”. (RNE. E 030 – 2016, p. 210).

“Perfil Tipo S<sub>3</sub> son los suelos Blandos los cuales corresponden a este tipo los suelos medianamente flexibles con velocidades de propagación de onda de corte  $\bar{V}_s \leq 180 \text{ m/s}$ ”. (RNE. E 030 – 2016, p. 210).

“Perfil Tipo S<sub>4</sub> son suelos de condiciones excepcionales a este tipo corresponden los suelos excepcionalmente flexibles y los sitios donde las condiciones geológicas y/o topográficas son particularmente desfavorables, en los cuales se requiere efectuar un estudio específico para el sitio”. (RNE. E 030 – 2016, p. 210).

Tomando en cuenta las definiciones y los datos obtenidos tras los estudios de suelos realizados en la zona se determina el peligro a través de la siguiente tabla obtenida de la Norma E-030.

**TABLA 4**

Nivel del Peligro Sísmico según el Perfil de Suelo

CLASIFICACIÓN DE LOS PERFILES DE SUELO				NIVEL DE PELIGRO
Perfil	$\bar{V}_s$	$\bar{N}_{60}$	$\bar{S}_u$	
$S_0$	> 1500 m/s	-	-	1
$S_1$	500 m/s a 1500 m/s	> 50	> 100 Kpa	2
$S_2$	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 Kpa a 100 KPa	3
$S_3$	< 180 m/s	< 15	25 Kpa a 50 KPa	4
$S_4$	Clasificación basada en el EMS			5

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones E-030

**Topografía**

La topografía en la zona de estudio presenta un relieve casi plano en su totalidad por lo que no se considera un factor determinante en el peligro sísmico, pero si un factor característico del lugar.

**TABLA 5**

Topografía predominante de la zona

TOPOGRAFÍA	PLANO	ONDULADO	ACCIDENTADO	ESCARPADO
"Características Fisiográficas" Plan Vial Provincial Participativo de Trujillo	Pendientes transversales < 10%	Pendientes transversales de 11% - 50%	Pendientes transversales de 51% - 100%	Pendientes transversales > 100%
	Pendientes longitudinales < 3%	Pendientes longitudinales 3% - 6%	Pendientes longitudinales 6% - 8%	Pendientes longitudinales > 8%

Fuente: Mapa de peligros de la ciudad de Trujillo y zonas aledañas, primera etapa del programa de ciudades sostenibles, Trujillo – julio – 2002

**Sismicidad Histórica**

Como se describió anteriormente el relato histórico de los sismos que afectaron la ciudad de Trujillo, en base a estos antecedentes se puede afirmar que:

“Ocurre 1 terremoto de 6.5 en la escala de Richter cada 70 años en promedio con hipocentros de 40 km a 70 km de profundidad con una aceleración del terreno de 0.083 g”.

Esta información fue recopilada y desarrollada por la Pontificia Universidad Católica del Perú, y en base a ello se formuló el nivel de peligro sísmico relacionado a la sismicidad histórica:

Parámetro 1:

**TABLA 6**

Nivel de Peligro según la magnitud del sismo

MAGNITUD	NIVEL DE PELIGRO
1.0 - 5.0	1
6.0 - 9.0	2
10.0 - 12.0	3

Fuente: Estudio del Riesgo Sísmico en la Localidad de Buenos Aires, Trujillo 2015

Parámetro 2:

**TABLA 7**

Nivel de Peligro según la profundidad del sismo

PROFUNDIDAD DEL SISMO		NIVEL DEL PELIGRO
SISMO SUPERFICIAL	< 60 KM	3
SISMO INTERMEDIOS	60 KM - 350 KM	2
SISMO PROFUNDO	> 350 KM	1

Fuente: Estudio del Riesgo Sísmico en la Localidad de Buenos Aires, Trujillo 2015

Parámetro 3:

**TABLA 8**

Nivel de Peligro según el tiempo de retorno

TIEMPO DE RETORNO	NIVEL DE PELIGRO
< 43 AÑOS	3
43 - 72 AÑOS	2
> 72 AÑOS	1

Fuente: Estudio del Riesgo Sísmico en la Localidad de Buenos Aires, Trujillo 2015

Usando los parámetros 1, 2 y 3 se establece el nivel de Peligro Sísmico según la Sismicidad Histórica:

**TABLA 9**

Nivel de Peligro según la Sismicidad Histórica

SISMICIDAD HISTÓRICA	NIVEL DE PELIGRO
<i>Magnitud + Profundidad + Tiempo de retorno</i> 3	3
	2
	1

Fuente: Estudio del Riesgo Sísmico en la Localidad de Buenos Aires, Trujillo 2015

Finalmente, al evaluar todos los aspectos relacionados y que influyen el peligro sísmico. Se establece rangos de nivel para el Peligro Sísmico evaluado en el Centro Histórico de Trujillo.

**TABLA 10**

Nivel de Peligro según la Sismicidad Histórica

<b>PELIGRO SÍSMICO</b>		<b>Alto</b>	<b>13 – 19</b>
		<b>Medio</b>	<b>8 – 12</b>
		<b>Bajo</b>	<b>5 – 7</b>

A continuación, se presenta la ficha técnica de evaluación del Peligro Sísmico:

<b>FICHA TÉCNICA DE PELIGRO SÍSMICO</b>						
<b>INDICADORES DE PELIGRO SÍSMICO:</b>						
<b>NIVEL DE PELIGRO</b>						
<b>CERCANÍA AL MAR</b>	3		2		1	
	CERCA		REGULAR		LEJOS	
	< 100 m		100 m - 450 m		> 450 m	
<b>MECÁNICA DE SUELOS</b>	<b>TIPO DE SUELO</b>	<b>CALIDAD</b>	<b>NIVEL DE PELIGRO</b>			
<b>PARÁMETROS SEGÚN AASHTO</b>	Suelos orgánicos	Muy Malo	5			
	Suelos limosos y arcillosos	Malo	4			
	Grava y arena limo o arcilla	Regular	3			
	Arena fina	Bueno	2			
	Fragmentos de roca, grava y arena	Excelente	1			
<b>NIVEL DE PELIGRO</b>						
<b>NIVEL FREÁTICO</b>	3		2		1	
	SUPERFICIAL		INTERMEDIO		PROFUNDO	
	0 - 2 m		2 - 3 m		> 3m	
<b>PERFIL</b>	<b>Vs</b>	<b>N60</b>	<b>Su</b>	<b>NIVEL DE PELIGRO</b>		
<b>S0</b>	> 1500 m/s	-	-	1		
<b>S1</b>	500 m/s a 1500 m/s	> 50	> 100 Kpa	2		
<b>S2</b>	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 Kpa a 100 Kpa	3		
<b>S3</b>	< 180 m/s	< 15	25 Kpa a 50 Kpa	4		
<b>S4</b>	Clasificación basada en el EMS			5		
<b>TOPOGRAFÍA</b>	<b>PLANO</b>		<b>ONDULADO</b>		<b>ACCIDENTADO</b>	
	Pendientes transversales < 10%		Pendientes transversales de 11% a 50%		Pendientes transversales de 51% a 100%	
	Pendientes longitudinales < 3%		Pendientes longitudinales 3-6%		Pendientes longitudinales 6-8%	
<b>SISMICIDAD HISTÓRICA</b>			<b>NIVEL DE PELIGRO</b>			
Magnitud + Profundidad + Tiempo de retorno			3			
----- 3			2			
			1			

	<b>NIVEL DE PELIGRO</b>		
<b>MAGNITUD DEL SISMO</b>	3	2	1
	10.0 - 12.0	6.0 - 9.0	1.0 - 5.0
	<b>NIVEL DE PELIGRO</b>		
<b>PROFUNDIDAD</b>	3	2	1
	SUPERFICIAL	INTERMEDIO	PROFUNDO
	< 60 Km	60 Km - 350 Km	> 350 Km
	<b>NIVEL DE PELIGRO</b>		
<b>TIEMPO DE RETORNO</b>	3	2	1
	< 43 años	43 - 72 años	> 72 años

### 1.3.2.2. Vulnerabilidad Sísmica

La vulnerabilidad sísmica de una estructura se define como: “La predisposición intrínseca a sufrir daño ante la ocurrencia de un movimiento sísmico y está asociada directamente con sus características físicas y estructurales de diseño”. (Barbat, 1998).

Es decir, la vulnerabilidad de una estructura se refiere a que tan susceptible es al ser afectada por un sismo, se mide el daño que reciben los elementos estructurales.

#### a. Tipos de Vulnerabilidad Sísmica

La vulnerabilidad sísmica se subdivide en 3 clases:

##### Vulnerabilidad Estructural

Esta vulnerabilidad está ligada al daño que reciben los elementos estructurales frente a las fuerzas sísmicas. Los elementos estructurales son aquellas partes que sostienen la estructura de una edificación, encargados de resistir y transmitir a la cimentación y luego al suelo las fueras causadas por el peso del edificio y su contenido, así como las cargas provocadas por los sismos y otros factores como



el viento. Entre estos elementos se encuentran las columnas, vigas, placas de concreto, muros de albañilería de corte, entre otros.

### **Vulnerabilidad No estructural**

Un estudio de vulnerabilidad no estructural busca determinar la susceptibilidad a daños que estos elementos puedan presentar. Como medidas no estructurales para hacer frente al riesgo sísmico en la ejecución del estudio se han elaborado planos indicando las rutas alternativas de evacuación para así reducir la exposición de personas ante una situación de este tipo.

### **Vulnerabilidad Funcional**

Un estudio de la vulnerabilidad funcional busca determinar la susceptibilidad de las edificaciones a sufrir colapso funcional como consecuencia de un sismo. A fin de determinar en esta tercera etapa la vulnerabilidad funcional, se evalúa lo referente a la infraestructura. En primer lugar, el sistema de suministro de agua y de energía eléctrica, que son las partes más vulnerables de una edificación. También son afectadas por los sismos las tuberías de alcantarillado, gas y combustibles, para lo cual se realizan investigaciones sobre su resistencia y flexibilidad.

Estos aspectos funcionales incluyen también un análisis detallado de las áreas externas, vías de acceso a exteriores y su conexión con el resto de la ciudad, las interrelaciones, circulaciones primarias y secundarias, privadas y públicas y los accesos generales y particulares de las áreas básicas en que se subdivide una edificación.

### **b. Clases de Metodologías para la Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica**

Existen varias técnicas o métodos para evaluar la vulnerabilidad sísmica. La clasificación adoptada en este trabajo corresponde con la propuesta por el Prof. Kappos (Dolce 1994) quien agrupa la información en las siguientes metodologías

- *Métodos empíricos*: Se caracterizan por ser muy subjetivos, basados en las experiencias de los diferentes tipos de edificaciones durante un sismo.

Se usa cuando la información es limitada y cuando se quiere un resultado menos ambicioso para una evaluación preliminar, este método incluye los métodos de categorización y los métodos de inspección y puntaje

- *Métodos de categorización:* Clasifican los métodos según su tipología en clases de vulnerabilidad, de acuerdo a al desempeño sísmico que han tenido estructuras similares en terremotos. El resultado muchas veces es subjetivo por eso se utiliza como evaluación preliminar.
- *Métodos de inspección y puntaje:* Permiten identificar y caracterizar las deficiencias sísmicas potenciales de una edificación, atribuyendo valores numéricos (tantos o puntos) a cada componente significativo de la misma, que, ponderado en función de su importancia relativa, conduce a la determinación de un índice de vulnerabilidad. Aunque estos métodos son bastantes subjetivos, la aplicación a edificaciones de una misma tipología de regiones de sismicidad importante permite una evaluación preliminar orientativa, suficiente para jerarquizar relativamente el nivel de vulnerabilidad sísmica de cada edificación. En zonas caracterizadas por una moderada sismicidad estas metodologías pueden considerarse representativas y más aún, suficientes para describir el nivel de daño esperado, sobre todo si se cuenta con funciones de vulnerabilidad apropiadas para la región. Sin embargo, para aquellas edificaciones que evidencien una relevante vulnerabilidad y una significativa importancia es recomendable complementar estas metodologías con alguna técnica analítica o experimental
- *Métodos analíticos o teóricos:* Evalúan la resistencia de las estructuras a los movimientos del terreno utilizando como base modelos mecánicos de respuesta estructural e involucrado como datos las características mecánicas de las estructuras. Constituyen un enfoque muy completo exigente y costoso. Generalmente son bastante laboriosos y dependen en cierta medida del grado de sofisticación de la evaluación, de la calidad de la información y de la representatividad de los modelos empleados

- *Métodos experimentales:* Recurre a ensayos dinámicos para determinar los componentes y propiedades de la estructura, generalmente constituyen ensayos “in situ”, enfocados a determinar propiedades dinámicas y características de la estructura con la interacción del suelo. Aunque sus resultados no son determinantes, permite orientar sobre el estado de la edificación y sobre los posibles efectos sobre ella.

### c. Metodología para Evaluar la Vulnerabilidad Sísmica

La metodología a usar es la Heurística, esta metodología combina lo cualitativo con lo cuantitativo, en este caso se evaluará las variables de vulnerabilidad y se contrastará con los indicadores de vulnerabilidad.

Las variables de vulnerabilidad a evaluar son las siguientes:

#### Antigüedad de una edificación:

De acuerdo al estudio realizado por la Universidad Nacional con colaboración de la Municipalidad Provincial de Trujillo e INDECI en el 2002, establece que para obras de edificaciones el tiempo de vida útil es de 50 años. Por lo tanto, las edificaciones que superen la vida útil mencionada serán más vulnerables al efecto sísmico.

Tomando en cuenta esa información se determina se determina la vulnerabilidad sísmica aplicando la metodología Heurística para la variable de antigüedad de la edificación:

**TABLA 11**

Nivel de Vulnerabilidad Sísmica según la Antigüedad de la Edificación

VARIABLE	PARÁMETRO	NIVEL DE VULNERABILIDAD
ANTIGÜEDAD DE LA EDIFICACIÓN	0 - 10 AÑOS	BAJO
	10 - 25 AÑOS	MEDIO
	25 - 50 AÑOS	ALTO
	> 50 AÑOS	MUY ALTO

### Materiales de construcción:

Para construir se emplean distintos materiales, de los cuales unos son mejores que otros según sea el caso al momento de edificar, es por ello que tomar en cuenta el tipo de material de construcción dentro de la vulnerabilidad es importante, pues las consecuencias de un posible desastre se deben al material.

**TABLA 12**

Nivel de Vulnerabilidad Sísmica según la Antigüedad de la Edificación

VARIABLE	PARÁMETRO	NIVEL DE VULNERABILIDAD
MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	CONCRETO / ACERO	BAJO
	LADRILO / CONCRETO	MEDIO
	ADOBE	ALTO
	QUINCHA	MUY ALTO

### Sistema Estructural

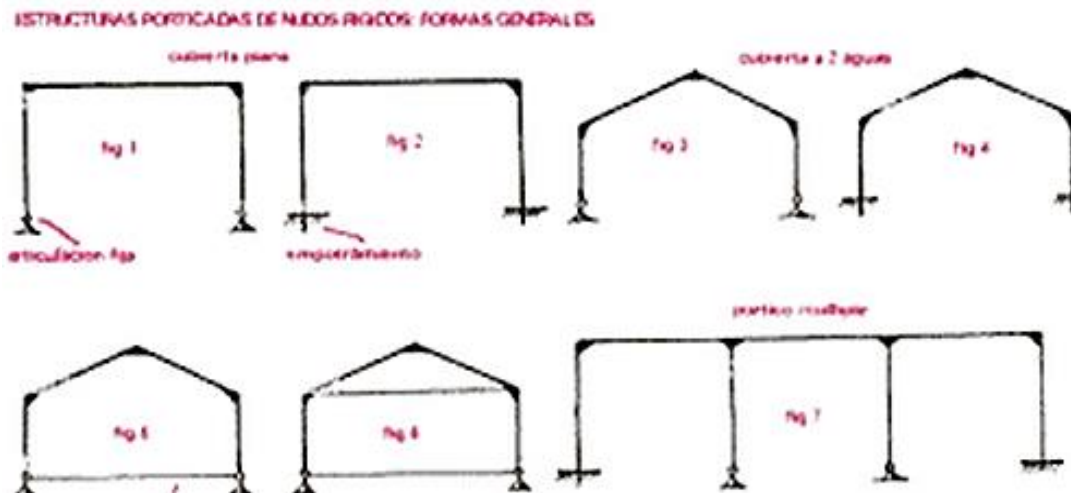
El Reglamento de Edificaciones del Perú, establece en la E-030 los sistemas estructurales existentes, en los cuales se establece que ha mayor sea el coeficiente de reducción, menor será la fuerza sísmica y vulnerabilidad. Es así que tenemos los siguientes sistemas estructurales:

- **Sistema Estructural de Acero**

Pórticos Dúctiles Resistentes a Momentos: Estructuras de pórticos con nudos rígidos cuyas columnas y vigas resisten las fuerzas sísmicas por flexión y fuerza axial. Los perfiles que conforman el sistema sismorresistente son de secciones compactas según la Norma E.090 Estructuras Metálicas.

- **Sistema Estructural de Concreto Armado:**

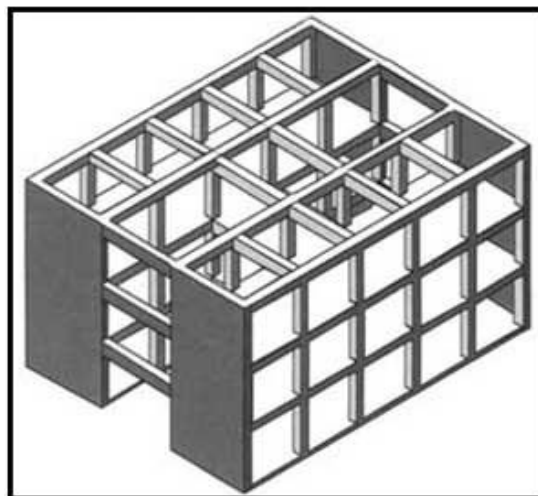
Pórticos: Por lo menos el 80% del cortante en la base actúa sobre las columnas de los pórticos que cumplan los requisitos de la norma E-060.



**FIGURA 10**

Idealización de Pórticos

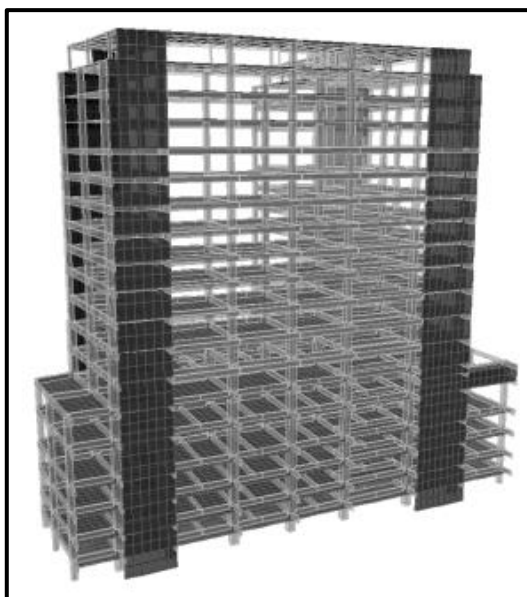
Muros Estructurales: Sistema en el que la resistencia sísmica está dada predominantemente por muros estructurales sobre los que actúa por lo menos el 80 % del cortante en la base.



**FIGURA 11**

Idealización de muros estructurales

Dual: Las acciones sísmicas son resistidas por una combinación de pórticos y muros estructurales. La fuerza cortante que toman los muros varía entre el 20 % y el 80 % del cortante del edificio. Los pórticos deberán ser diseñados para resistir por lo menos 25 % del cortante en la base.



**FIGURA 12**  
Sistema Dual

Edificaciones de Muros de Ductilidad Limitada (EMDL): Edificaciones que se caracterizan por tener un sistema estructural donde la resistencia sísmica y de cargas de gravedad está dada por muros de concreto armado de espesores reducidos, en los que se prescinde de extremos confinados y el refuerzo vertical se dispone en una sola capa. El máximo número de pisos que se puede construir con este sistema es de 7.

- **Albañilería armada o confinada:**

Edificaciones cuya técnica de construcción está enmarcada por pilares y cadenas de hormigón armado, se emplean normalmente para la construcción desde pequeñas, medianas edificaciones. En este tipo de construcción se utilizan ladrillos de arcilla cocida, columnas de amarre, vigas soleras, etc.



**FIGURA 13**

Albañilería Confinada

- **Edificaciones Rústicas:**

Aquellas edificaciones que fueron construidas sin tomar en cuenta un diseño estructural, que se levantaron con técnicas constructivas básicas con materiales no estructurales y como resistentes como quincha y adobe.

Según el sistema constructivo se definió el nivel de vulnerabilidad sísmica en la siguiente tabla:

**TABLA 13**

Nivel de Vulnerabilidad Sísmica según el Sistema Estructural

VARIABLE	PARÁMETRO	NIVEL DE VULNERABILIDAD
SISTEMA ESTRUCTURAL	ACERO	BAJO
	CONCRETO ARMADO	MEDIO
	ALBAÑILERÍA ARMADA O CONFINADA	ALTO
	RÚSTICO	MUY ALTO

### Estado de Conservación de la Edificación

Para la inspección de edificaciones se utiliza los siguientes parámetros los cuales fueron usados también en el “Estudio del Riesgo Sísmico en la Localidad de Buenos Aires, Trujillo 2015.

**TABLA 14**

Nivel de Vulnerabilidad Sísmica según el Estado de Conservación de la Edificación

VARIABLE	PARÁMETRO	NIVEL DE VULNERABILIDAD
ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LA EDIFICACIÓN	BUENO*	BAJO
	REGULAR*	MEDIO
	MALO*	ALTO
	MUY MALO*	MUY ALTO

Se podrá definir si es bueno, regular, malo o muy malo según las patologías constructivas que se encuentren en la observación, y éstas son:

- Físicas: Humedad, suciedad y/o erosión.
- Mecánicas: Grietas, fisuras deformaciones, desprendimientos
- Químicas: Oxidación, Corrosión, eflorescencias.

Entonces, si:

- \* **Bueno: no presenta patologías.**
- \* **Regular: Presenta 1 Patologías de 3.**
- \* **Malo: Presenta 2 patologías de 3.**
- \* **Muy Malo: Presenta 3 patologías de 3.**

### Elementos no Estructurales

Se tiene en cuenta con esta variable la presencia de cornisas, parapetos o cualquier elemento no estructural que pueda causar daño a personas o cosas. El Método de Benedetti – Petrini evalúa con los siguientes parámetros para establecer el nivel de vulnerabilidad para esta variable:



**TABLA 15**

Nivel de Vulnerabilidad Sísmica según los Elementos no Estructurales

<b>VARIABLE</b>	<b>PARÁMETRO</b>	<b>NIVEL DE VULNERABILIDAD</b>
<b>ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES</b>	<b>A*</b>	<b>BAJO</b>
	<b>B*</b>	<b>MEDIO</b>
	<b>C*</b>	<b>ALTO</b>
	<b>D*</b>	<b>MUY ALTO</b>

Dónde:

A\* Edificio sin cornisas y sin parapetos.

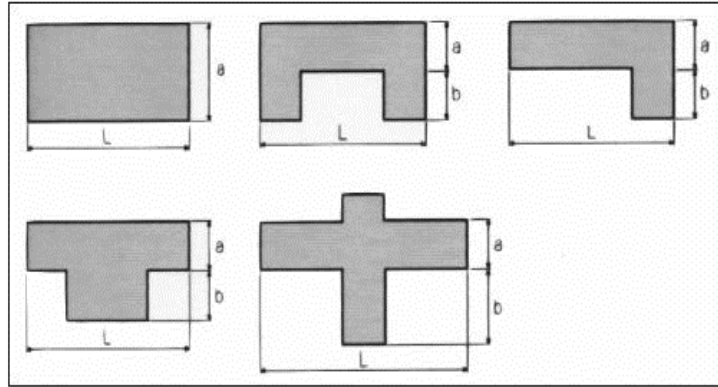
B\* Edificio con cornisas bien conectadas a la pared, con chimeneas de pequeña dimensión y de peso modesto. Edificio cuyo balcón forma parte integrante de la estructura de los diafragmas.

C\* Edificio con elementos de pequeña dimensión, mal vinculados a la pared.

D\* Edificio que presenta chimeneas o cualquier otro tipo de elemento en el techo, mal vinculado a la estructura. Parapetos u otros elementos de peso significativo, mal contruidos, que pueden caer en caso de terremoto. Edificio con balcones contruidos posteriormente a la estructura principal y conectados a ésta de modo deficiente.

### **Configuración de Planta**

El comportamiento sísmico de un edificio depende de la forma en planta del mismo. En el caso de edificios rectangulares es significativo la relación  $b_1=a/L$  entre las dimensiones en planta del lado menor y mayor. También es necesario tener en cuenta las protuberancias del cuerpo principal mediante la relación  $b_2=b/L$ . En la siguiente figura se evalúa los dos valores que se deben reportar, para lo cual se evalúa siempre el caso más desfavorable:



**FIGURA 14**

Configuración en planta de la estructura

Es así que, el método Benedetti – Petrini, evalúa la configuración en planta de la siguiente forma:

**TABLA 16**

Nivel de Vulnerabilidad Sísmica según los Elementos no Estructurales

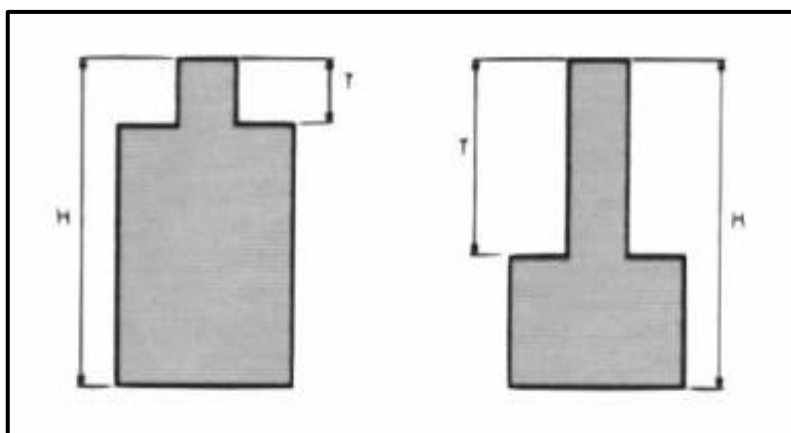
VARIABLE	PARÁMETRO	NIVEL DE VULNERABILIDAD
CONFIGURACIÓN DE PLANTA	$\beta_1 \geq 0.8$ o $\beta_2 \geq 0.1$	BAJO
	$0.8 > \beta_1 \geq 0.6$ o $0.1 < \beta_2 \leq 0.2$	MEDIO
	$0.6 > \beta_1 \geq 0.4$ o $0.2 < \beta_2 \leq 0.3$	ALTO
	$0.4 > \beta_1$ o $0.3 < \beta_2$	MUY ALTO

### Configuración de Elevación

Las edificaciones que presentan una configuración uniforme en elevación (regular) van a tener un mejor comportamiento estructural, por tener su centro de gravedad en el punto de equilibrio, que hace que la estructura sea más estable y con mayor rigidez.

Irregularidad de masa: se presenta cuando la masa de un piso es mayor que la masa del piso adyacente. La presencia de torretas de altura y masa significativa respecto a la parte restante del edificio se reporta mediante la relación T/H, tal como se indica en la Figura 15. También se reporta la variación de masa en porcentaje  $\pm DM/M$  entre dos pisos sucesivos, siendo M la masa del piso más

bajo y utilizando el signo (+) si se trata de aumento o el (-) si se trata de disminución de masa hacia lo alto del edificio.



**FIGURA 15**

Configuración en planta de la estructura

Es así que, el método Benedetti – Petrini, evalúa la configuración en elevación de la siguiente forma:

**TABLA 17**

Nivel de Vulnerabilidad Sísmica según la Configuración en Elevación

VARIABLE	PARÁMETRO	NIVEL DE VULNERABILIDAD
CONFIGURACIÓN EN ELEVACIÓN	$-DM/M < 10\%$	BAJO
	$10\% \leq -\Delta M/M < 20\%$	MEDIO
	$-DM/M \geq 20\%$ o $T/H < 2/3$	ALTO
	$T/H > 2/3$	MUY ALTO

### Junta Sísmica

El Reglamento Nacional de Edificaciones, en la sección E-030 especifica que toda estructura debe estar separada de otras estructuras vecinas a una distancia mínima para evitar el contacto durante un evento sísmico, a ese espaciamiento se le denomina junta sísmica. La E-030 establece que la junta sísmica debe ser mayor a 3 cm para evitar el posible contacto.

Basándose en la normativa, se evalúa la vulnerabilidad que lleva consigo la distancia de la junta sísmica en las estructuras:

**TABLA 18**

Nivel de Vulnerabilidad Sísmica según la Junta Sísmica

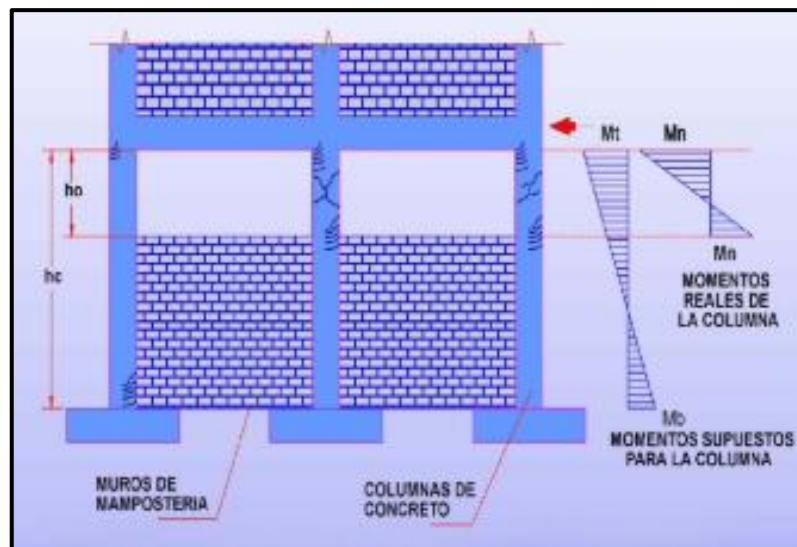
VARIABLE	PARÁMETRO	NIVEL DE VULNERABILIDAD
JUNTA SÍSMICA	$s \geq 10 \text{ cm}$	BAJO
	$3 \text{ cm} < s < 10 \text{ cm}$	MEDIO
	$s < 3 \text{ cm}$	ALTO
	SIN JUNTA SÍSMICA	MUY ALTO

**Presencia de Posibles Fallas Estructurales**

Las fallas estructurales que se mencionarán son las posibles que pueden presenciarse al momento de ocurrir un fenómeno sísmico y estas son:

- **Columna Corta (CC)**

Se presenta en escuelas o colegios en los cuales se tienen grandes paredes y una pequeña ventana en la parte superior. Es una falla frágil de cortante en columnas acortadas por el efecto restrictivo al desplazamiento causado por elementos no estructurales.

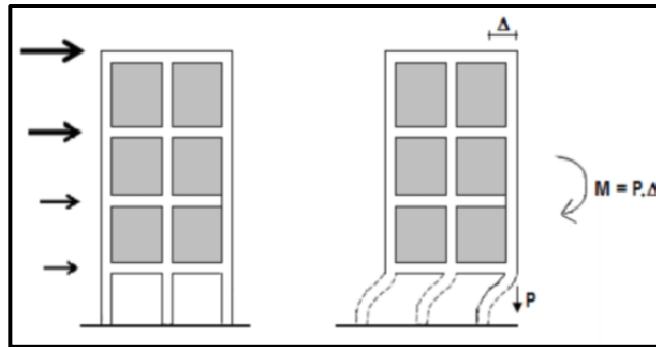


**FIGURA 16**

Falla de Columna Corta

- **Piso Blando (PB)**

Surge en aquellos edificios aporricados, donde el piso en mención presenta alta flexibilidad por la escasa densidad de muros que impide controlar los desplazamientos laterales impuestos por los terremotos, en tanto que los pisos adyacentes son relativamente más rígidos por contener una mayor cantidad de muros.



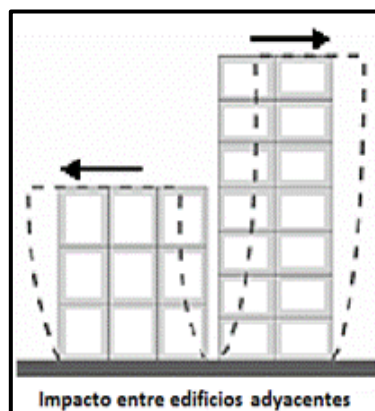
**FIGURA 17**

Falla por Piso Blando

- **Impacto (IM)**

Cuando existen edificios muy cercanos entre ellos, hay que considerar la posibilidad de que ocurran daños debidos a golpes entre ellos.

El golpeteo ocurre cuando las distintas estructuras se golpean al vibrar fuera de fase durante un evento sísmico. Todas las estructuras deben tener un espacio suficiente con respecto a las edificaciones adyacentes, ya que, en el momento de un sismo, cada una vibrará de manera distinta. La falla por impacto es capaz de producir daños severos.

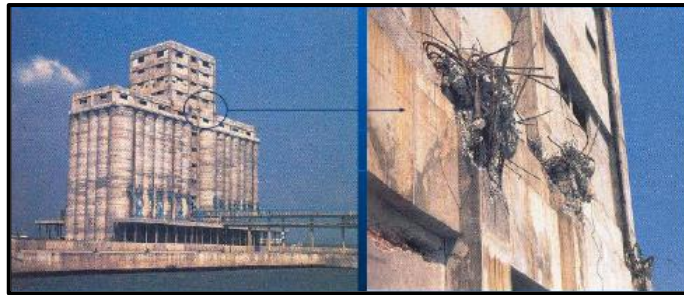


**FIGURA 18**

Falla por Impacto

- **Reducción Brusca en Planta (RB)**

Las reducciones bruscas de un nivel a otro, tiende a amplificar la vibración en la parte superior y son particularmente críticas. El comportamiento de un edificio ante un sismo es similar a una viga en volado, donde el aumento de la altura implica un cambio en el período de la estructura que incide en el nivel de la respuesta y magnitud de las fuerzas.

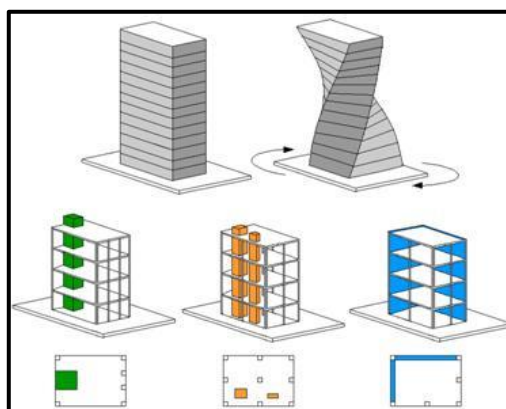


**FIGURA 19**

Falla por Reducción Brusca en Planta

- **Excentricidad / Torsión (ET)**

La asimetría en la distribución en planta de los elementos estructurales resistentes de un edificio causa una vibración torsional ante la acción sísmica y genera fuerzas elevadas en elementos de la periferia del edificio. La vibración torsional ocurre cuando el centro de masa de un edificio no coincide con su centro de rigidez. Ante esta acción el edificio tiende a girar respecto a su centro de rigidez, lo que causa grandes incrementos en las fuerzas laterales que actúan sobre los elementos perimetrales de soporte de manera proporcional a sus distancias al centro de ubicación.



**FIGURA 20**

Falla por Excentricidad / Torsión

- **Daños no Estructurales (NE)**

Los elementos no estructurales de la construcción, tales como cielos, paneles, ventanas, puertas, etc., así como equipos, instalaciones mecánicas y sanitarias, etc., deben soportar los movimientos de la estructura. Por otra parte, debe tenerse presente que la excitación de los elementos no estructurales, dada por dichos movimientos de la estructura, es en general mayor que la excitación en la base, por lo cual puede decirse que la seguridad de los elementos no estructurales se encuentra más comprometida en muchos casos que la de la estructura misma.

Conociendo todas las fallas que pueden presentarse en las edificaciones ante un evento sísmico, se evaluará de la siguiente manera:

**TABLA 19**

Nivel de Vulnerabilidad Sísmica según la Presencia de Posibles Fallas Estructurales

<b>VARIABLE</b>	<b>PARÁMETRO</b>	<b>NIVEL DE VULNERABILIDAD</b>
<b>PRESENCIA DE POSIBLES FALLAS ESTRUCTURALES</b>	<b>NO PRESENTA FALLAS</b>	<b>BAJO</b>
	<b>1 - 2 FALLAS</b>	<b>MEDIO</b>
	<b>3 - 4 FALLAS</b>	<b>ALTO</b>
	<b>5 - 6 FALLAS</b>	<b>MUY ALTO</b>

Para poder determinar un nivel de vulnerabilidad sísmica se aplicó la siguiente ficha técnica de observación a las edificaciones:

## FICHA TÉCNICA DE OBSERVACIÓN DE VULNERABILIDAD SÍSMICA

ENCUESTADOR: \_\_\_\_\_  
 DIRECCIÓN: \_\_\_\_\_  
 SECTOR: \_\_\_\_\_  
 EDIFICACIÓN: \_\_\_\_\_

### INDICADORES DE VULNERABILIDAD:

N°	VARIABLE	PARÁMETRO	
1	ANTIGÜEDAD DE LA EDIFICACIÓN	0 - 10 AÑOS	
		10 - 25 AÑOS	
		25 - 50 AÑOS	
		> 50 AÑOS	

N°	VARIABLE	PARÁMETRO	
2	MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	CONCRETO / ACERO	
		LADRILO / CONCRETO	
		ADOBE	
		QUINCHA	

N°	VARIABLE	PARÁMETRO	
3	SISTEMA ESTRUCTURAL	ACERO*	
		CONCRETO ARMADO*	
		ALBAÑILERÍA ARMADA O CONFINADA	
		RÚSTICO	

#### \*ACERO

Pórticos dúctiles con uniones resistentes a momentos

#### \*CONCRETO ARMADO

- Pórticos  
 - Dual  
 - Muros Estructurales  
 - Muros de ductilidad limitada



N°	VARIABLE	PARÁMETRO	
4	ESTADO DE CONSERVACIÓN	BUENO*	
		REGULAR*	
		MALO*	
		MUY MALO*	

**\*BUENO**

	No presenta ninguna patología constructiva.
--	---

**\*REGULAR**

Presenta 1 de 3 patologías constructivas:

	Físicas: Humedad, suciedad y/o erosión
	Mecánicas: Grietas, fisuras, deformaciones, desprendimientos
	Químicas: Oxidación, Corrosión, Eflorescencias

**\*MALO**

Presenta 2 de 3 patologías constructivas:

	Físicas: Humedad, suciedad y/o erosión
	Mecánicas: Grietas, fisuras, deformaciones, desprendimientos
	Químicas: Oxidación, Corrosión, Eflorescencias

**\*MUY MALO**

Presenta 3 de 3 patologías constructivas:

	Físicas: Humedad, suciedad y/o erosión
	Mecánicas: Grietas, fisuras, deformaciones, desprendimientos
	Químicas: Oxidación, Corrosión, Eflorescencias

N°	VARIABLE	PARÁMETRO	
5	ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES	A*	
		B*	
		C*	
		D*	

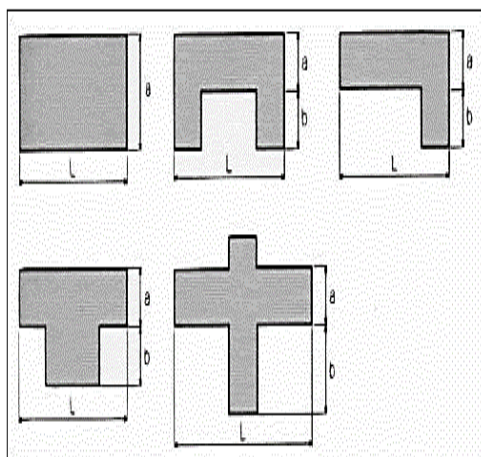
A*	Edificio sin cornisas y sin parapetos.
----	--

B*	Edificio con cornisas bien conectadas a la pared, con chimeneas de pequeña dimensión y de peso modesto. Edificio cuyo balcón forma parte integrante de la estructura de los diafragmas.
----	---

C*	Edificio con elementos de pequeña dimensión, mal vinculados a la pared.
----	---

D*	Edificio que presenta chimeneas o cualquier otro tipo de elemento en el techo, mal vinculado a la estructura. Parapetos u otros elementos de peso significativo, mal construidos, que pueden caer en caso de terremoto. Edificio con balcones construidos posteriormente a la estructura principal y conectados a ésta de modo deficiente.
----	--

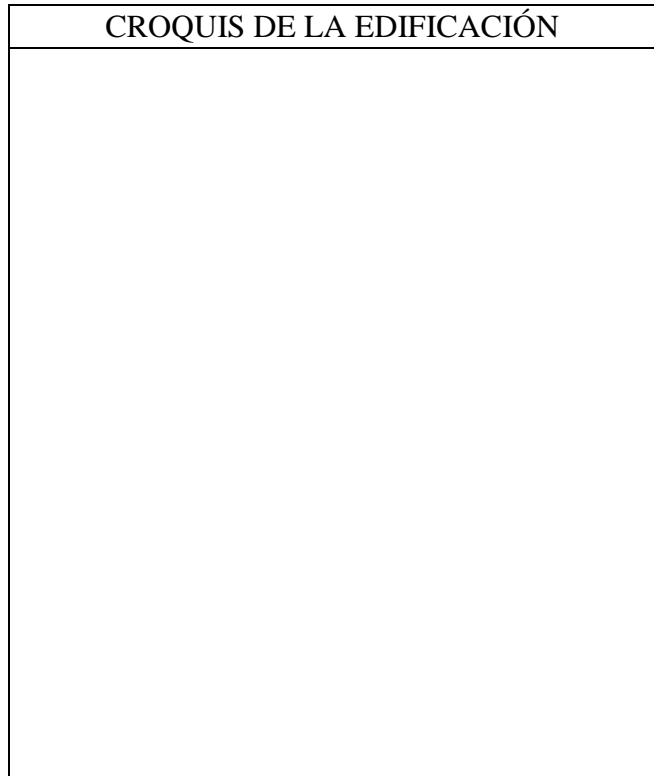
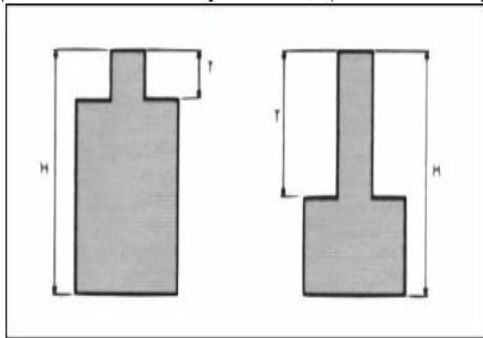
N°	VARIABLE	PARÁMETRO
6	CONFIGURACIÓN DE PLANTA	$\beta_1 \geq 0.8$ o $\beta_2 \geq 0.1$
		$0.8 > \beta_1 \geq 0.6$ o $0.1 < \beta_2 \leq 0.2$
		$0.6 > \beta_1 \geq 0.4$ o $0.2 < \beta_2 \leq 0.3$
		$0.4 > \beta_1$ o $0.3 < \beta_2$



CROQUIS DE LA EDIFICACIÓN	

N°	VARIABLE	PARÁMETRO
7	CONFIGURACIÓN EN ELEVACIÓN	$-DM/M < 10\%$
		$10\% \leq -\Delta M/M < 20\%$
		$-DM/M \geq 20\%$ o $T/H < 2/3$
		$T/H > 2/3$

CROQUIS DE LA EDIFICACIÓN



N°	VARIABLE	PARÁMETRO	
8	JUNTA SÍSMICA	SIN JUNTA SÍSMICA	
		$s < 3 \text{ cm}$	
		$3 \text{ cm} < s < 10 \text{ cm}$	
		$s \geq 10 \text{ cm}$	

N°	VARIABLE	PARÁMETRO	
9	PRESENCIA DE POSIBLES FALLAS ESTRUCTURALES	NO PRESENTA FALLAS	
		1 - 2 FALLAS	
		3 - 4 FALLAS	
		5 - 6 FALLAS	

	Columna Corta (CC)
	Piso Blando (PB)
	Impacto (IM)
	Reducción Brusca en Planta (RB)
	Excentricidad / Torsión (ET)
	Daños no Estructurales (NE)

Finalmente tomando en cuenta todas las variables para la determinación de la vulnerabilidad sísmica, se presenta una tabla resumen en la que se contrastará las variables con los indicadores de vulnerabilidad:

**CUADRO 3**

Valoración de las Variables de Vulnerabilidad de las Edificaciones ante Sismos

VARIABLES DE VULNERABILIDAD		Antigüedad de la Edificación	Materiales de Construcción	Sistema Estructural	Estado de Conservación	Elementos no estructurales	Configuración en Planta	Configuración en Elevación	Junta Sísmica	Presencia de Posibles Fallas Estructurales
VALOR (V) (De los indicadores)	4 <b>Muy Alto</b>	> 50 AÑOS	Quincha	Rústico	Muy Malo*	D*	$0.4 > \beta_1$ o $0.3 < \beta_2$	T/H > 2/3	Sin junta sísmica	5-6 Fallas
	3 <b>Alto</b>	25 - 50 AÑOS	Adobe	Albañilería Armada o confinada	Malo*	C*	$0.6 > \beta_1 \geq 0.4$ o $0.2 < \beta_2 \leq 0.3$	-DM/M $\geq 20\%$ o T/H < 2/3	s < 3 cm	3 - 4 Fallas
	2 <b>Medio</b>	10 - 25 AÑOS	Ladrillo / Concreto	Concreto Armado*	Regular*	B*	$0.8 > \beta_1 \geq 0.6$ o $0.1 < \beta_2 \leq 0.2$	10% $\leq$ -DM/M < 20%	3cm < s < 10cm	1 - 2 Fallas
	1 <b>Bajo</b>	0 - 10 AÑOS	Concreto / Acero	Acero*	Bueno*	A*	$\beta_1 \geq 0.8$ o $\beta_2 \geq 0.1$	-DM/M < 10%	s $\geq 10$ cm	No presenta fallas

Se determina también los niveles de vulnerabilidad sísmica según los siguientes rangos:

**TABLA 21**

Niveles de Vulnerabilidad de las Edificaciones ante sismos

NIVEL DE VULNERABILIDAD		RANGOS
<b>Muy Alto</b>		<b>De 31 a 36</b>
<b>Alto</b>		<b>De 23 a 30</b>
<b>Medio</b>		<b>De 14 a 22</b>
<b>Bajo</b>		<b>De 9 -13</b>

#### **1.4. Formulación del problema**

¿Cuál es el Riesgo Sísmico existente en el Centro Histórico de Trujillo – La Libertad?

#### **1.5. Justificación del estudio**

Esta investigación se realizó para identificar y conocer el riesgo sísmico existente en el Centro Histórico de Trujillo, se evaluó la vulnerabilidad de las edificaciones y se analizó el peligro sísmico latente en esta zona, el cual es importante conocer para tomar acciones que prevengan posibles daños en las edificaciones y pérdidas de vidas humanas debido a los movimientos sísmicos esperados en la zona, esto servirá para salvaguardar las vidas humanas.

#### **1.6. Hipótesis**

El Centro Histórico de la Ciudad de Trujillo evidencia un alto riesgo sísmico.

#### **1.7. Objetivos**

##### **1.7.1. Objetivo General**

Analizar el Riesgo Sísmico en las edificaciones del Centro Histórico de la Ciudad de Trujillo – La Libertad.

##### **1.7.2. Objetivos Específicos**

- ✓ Realizar las sectorizaciones de las edificaciones del Centro Histórico de Trujillo.
- ✓ Determinar el peligro sísmico existente en el Centro Histórico de Trujillo.
- ✓ Diagnosticar el grado de vulnerabilidad sísmica en el Centro Histórico de Trujillo.
- ✓ Reconocer los perfiles, características físicas y mecánica de suelos del Centro Histórico de Trujillo, basándose en la Norma E-050 (Suelos y Cimentaciones) y a las clasificaciones de la Norma E-030, en su artículo 8.2.

## II. MÉTODO

### 2.1. Diseño de Investigación

El diseño es descriptivo simple, y el esquema es el siguiente:



Dónde:

M = Edificaciones del Centro Histórico de Trujillo

O = Nivel de Riesgo Sísmico

### 2.2. Variables, Operacionalización

#### **Variable:**

*Riesgo Sísmico:* Es el nivel de daño que podría presentarse en una obra o lugar determinado y depende exclusivamente de la vulnerabilidad sísmica de la construcción misma y del peligro sísmico en el sitio.

#### **Sub Variables:**

*Vulnerabilidad Sísmica:* Es el deterioro que podrían sufrir las construcciones u obras de ingeniería dependiendo de las características propias de éstas. Es decir, las edificaciones en peor estado o sin características sismorresistentes son las más vulnerables ante eventos sísmicos.

*Peligro Sísmico:* Es aquella severidad con lo que los efectos sísmicos se pueden presentar en un determinado lugar. Depende de factores como el panorama sismotectónico del lugar de estudio, así como las características del suelo y la topografía local.

A continuación, se presenta la matriz de Operacionalización de Variables de esta investigación:

**CUADRO 4**  
Matriz de Operacionalización

VARIABLES	SUB VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Riesgo Sísmico	Peligro Sísmico	Es aquella severidad con lo que los efectos sísmicos se pueden presentar en un determinado lugar. Depende de factores como el panorama sismotectónico del lugar de estudio, así como la topografía local y las características del suelo.	El peligro Sísmico se obtiene a partir del análisis y zonificación sísmica de la zona, obteniendo parámetros como la mecánica de suelos y las fuentes sismogénicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cercanía al mar</li> <li>• Clasificación del suelo</li> <li>• Nivel freático</li> <li>• Perfil del Suelo</li>   <li>• Topografía</li> <li>• Sismicidad Histórica</li> </ul>	Razón (Nivel) Razón (Tipo) Razón (m) Razón (Vs, N <sub>60</sub> , S <sub>u</sub> )  Razón (Tipo) Razón (ocurrencia, magnitud, aceleración)
	Vulnerabilidad Sísmica	Es el deterioro que podrían sufrir las construcciones u obras de ingeniería dependiendo de las características propias de éstas. Es decir, las edificaciones en peor estado o sin características sismorresistentes son las más vulnerables ante eventos sísmicos.	La vulnerabilidad sísmica se obtiene al evaluar las patologías de las edificaciones a través de la observación detallada de las estructuras.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Antigüedad de la edificación</li> <li>• Materiales de Construcción</li> <li>• Sistema Estructural</li> <li>• Estado de Conservación</li> <li>• Elementos no estructurales</li> <li>• Configuración de planta</li> <li>• Configuración en elevación</li> <li>• Junta Sísmica</li> <li>• Presencia de posibles fallas estructurales</li> </ul>	Razón (Años)  Razón (Tipo) Razón (Tipo) Razón (Nivel) Razón (Tipo) Razón (Forma) Razón (Forma) Razón (cm) Razón (Und)

### **2.3. Población y muestra**

- **Población:** Las edificaciones del centro Histórico de Trujillo.
- **Muestra:** Sectorización de las edificaciones:

#### **Sector A: Instituciones Educativas:**

- I.E. Marcial Acharán
- Colegio Seminario San Carlos y San Marcelo
- Colegio Interamericano Trujillo
- Colegio Antonio Raimondi
- I.E.P Alexander Graham Bell
- Colegio Santa Rita de Casia
- I.E Santa Rosa

#### **Sector B: Centros de Salud**

- Hospital Belén
- Clínica Camino Real
- Centro de Salud Club Leones

#### **Sector C: Casonas Coloniales**

- Casa Urquiaga
- Casa Ganoza Chopitea
- Casa del Mariscal Orbegoso
- Palacio Iturregui
- Casa de la Emancipación
- Casa de Bracamonte
- Casa del Mayorazgo de Falcalá

#### **Sector D: Centros Comerciales y de Esparcimiento**

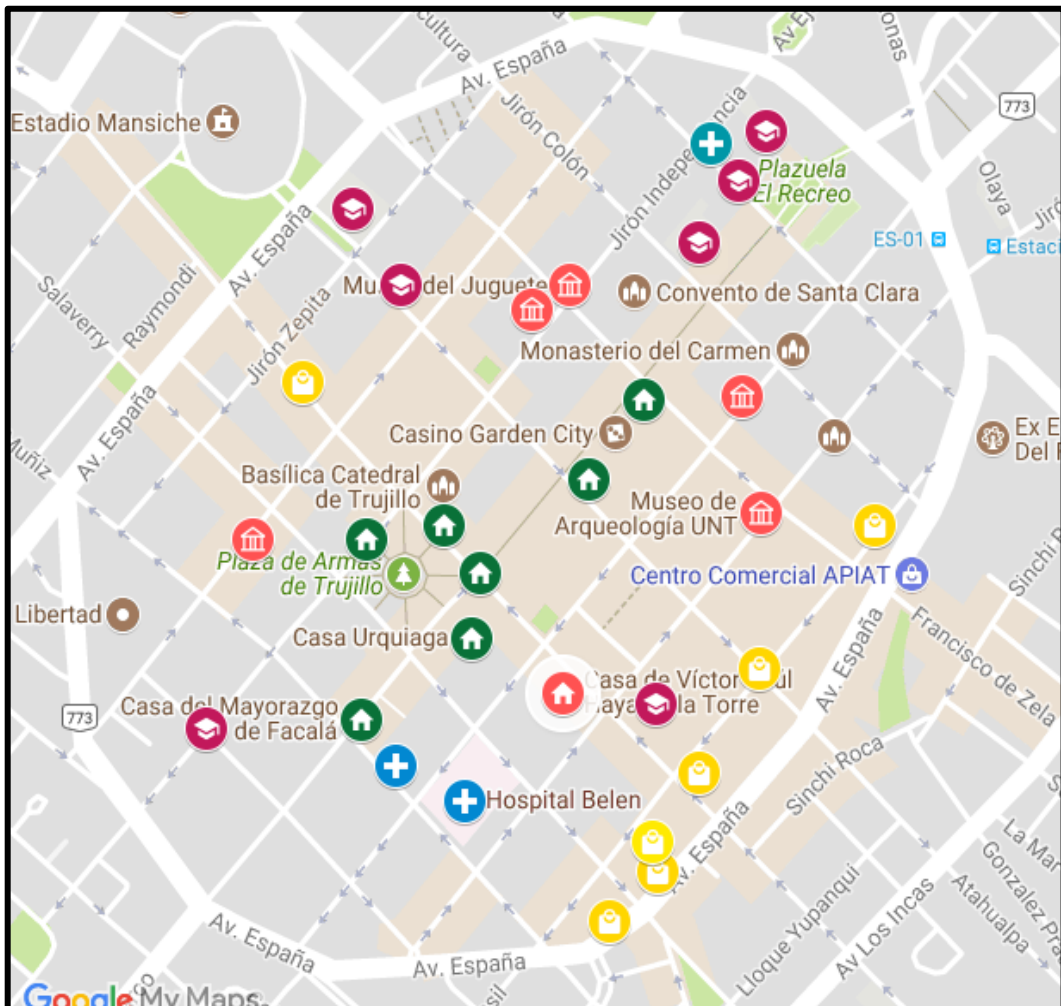
- Cineplanet
- Centro Comercial El Virrey
- Centro Comercial Oro Azul
- Plaza Grau



- El Boulevard
- Plaza Veá
- Centro Comercial Primavera

**Sector E: Centros Culturales**

- Museo de Zoología Juan Ormea R. – UNT
- Museo del Juguete
- Museo de Arqueología UNT
- Casa de Víctor Raúl Haya de La Torre
- Teatro Municipal
- Teatro San Juan



**FIGURA 21**

Sectorización de las edificaciones

## **2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

### **- Ficha Técnica para Peligro Sísmico:**

Esta ficha estableció las características relacionadas al peligro sísmico de la zona, definiendo la cercanía al mar, la mecánica de suelos, el nivel freático, la topografía, la resistencia portante, la sismicidad histórica; y para poder cuantificarla, se estableció pesos de nivel al peligro sísmico.

### **- Ficha Técnica de Observación para Vulnerabilidad Sísmica:**

Esta ficha estableció las características relacionadas a la vulnerabilidad sísmica de las estructuras evaluadas, analizando los aspectos generales y las características estructurales de las edificaciones siguiendo los parámetros de la norma E-030, y estableciendo pesos que determinaron el nivel de vulnerabilidad sísmica.

## **2.5. Métodos de análisis de datos**

El programa de análisis de datos a utilizado es el Excel. Los datos y resultados se presentaron en tablas y gráficos. Las medidas estadísticas a usadas son porcentajes, pesos absolutos. La prueba estadística usada es el gráfico de dispersión.

## **2.6. Aspectos éticos**

La investigación se realizó con responsabilidad y veracidad para la contribución sobre el Riesgo Sísmico del Centro Histórico de Trujillo ante un eventual sismo severo, con el fin de salvaguardar las vidas humanas a futuro.

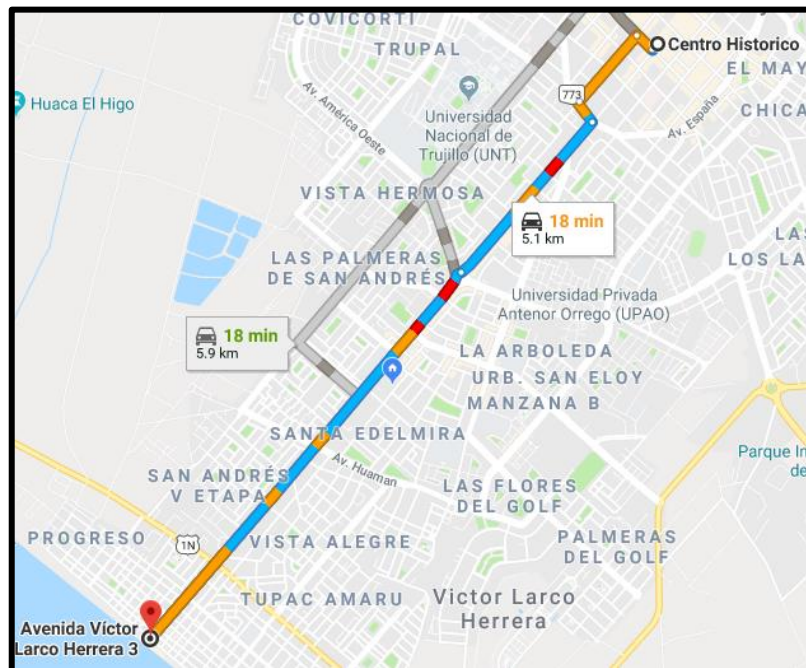
### III. RESULTADOS

#### 3.1. Peligro Sísmico

Después de aplicar la ficha técnica para la determinación del Peligro Sísmico se obtuvo los siguientes resultados según los parámetros evaluados:

##### - Cercanía al mar

Se estableció que, a más cercana esté la construcción al mar, mayor será el peligro. Si tomamos en cuenta la distancia entre el mar y el Centro Histórico de Trujillo se evidencia una distancia aproximada de 5.1 Km.



**FIGURA 22**

Distancia entre el mar y el Centro Histórico de Trujillo

Aplicando la Tabla 1, se obtiene como resultado que según la cercanía al mar el nivel de peligro sísmico es BAJO, pues se encuentra a más de 450 m de distancia del mar. Este parámetro, según el resultado tendrá un peso de 1.

**TABLA 1**

Nivel del Peligro Sísmico según la Cercanía al Mar

CERCANÍA AL MAR	NIVEL DE PELIGRO		
	3	2	1
	CERCA	REGULAR	LEJOS
	< 100 m	100 m - 450 m	> 450 m

**- Mecánica de Suelos**

Para determinar el nivel de peligro sísmico según la mecánica de suelos, se reunió información de estudios de suelos realizados en el centro histórico. Esta información será presentada en los anexos de la investigación. Pero se puede resumir con la siguiente figura:

Esc.	Prof.(m)	Esp.(mts)	Naturaleza del Terreno	Simbolo	Observ.
<b>CALICATA C-4 (48.30)</b>					
1		1.40	MATERIAL DE RELLENO	(OL)	
2	-1.40	0.40	ARENA LIMOSA, BEIGE OSCURO, SEMI DENSA PARCIALMENTE SECA, PART. DE FORMA SUB ANGULOSA.	(SM)	
	-1.80				
3	-3.00	1.20	ARENA UNIFORME COLOR BEIGE OSCURO, ESTADO DE COMP. SEMI DENSA, ESTRUCTURA TIPO NO COHESIVA PARTICULAS DE FORMA SUB ANGULOSA	(SP) ✓	
4			NAF = NO SE ENCONTRO A LA PROFUNDIDAD ESTUDIADA.		Excavacion a cielo abierto
5					
6					
7					
8					

**FIGURA 23**

Perfil Estratigráfico del suelo del Centro Histórico de Trujillo

Al observar la figura, se identifica que el tipo de suelo presente en el Centro Histórico de Trujillo es una Arena Fina (SP-SM), pobremente graduada, mezclados con pequeños lentes de limo y arcilla, color amarillento, variando su densidad relativa con la profundidad, de baja a mediana.

Aplicando la Tabla 2, se obtiene como resultado que según la clasificación AASHTO el nivel de peligro según la mecánica de suelos es MEDIA, pues el suelo es una Grava y arena limo o arcillosa, de calidad regular. Este parámetro, según el resultado tendrá un peso 3.

**TABLA 2**

Nivel del Peligro Sísmico según la Mecánica de Suelos

MECÁNICA DE SUELOS	TIPO DE SUELO	CALIDAD	NIVEL DE PELIGRO
PARÁMETROS SEGÚN AASHTO	Suelos orgánicos	Muy Malo	5
	Suelos limosos y arcillosos	Malo	4
	<b>Grava y arena limo o arcillosa</b>	<b>Regular</b>	<b>3</b>
	Arena fina	Bueno	2
	Fragmentos de roca, grava y arena	Excelente	1

- **Nivel Freático**

Se estableció que, a más superficial sea el nivel freático, mayor será el peligro sísmico. Si observamos nuevamente la figura 21, se verifica que no se encontró agua hasta la profundidad investigada, la cual fue 8 metros.

Aplicando la Tabla 3, se obtiene como resultado que, el peligro sísmico según el nivel freático será BAJO, pues está por debajo de los 3 metros de profundidad, siendo un nivel profundo. Este parámetro, según el resultado tendrá un peso 1.

**TABLA 3**

Nivel del Peligro Sísmico según el Nivel Freático

NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD	NIVEL DE PELIGRO
<b>Superficiales</b>	0 - 2 m	3
<b>Intermedios</b>	2 - 3 m	2
<b>Profundos</b>	<b>&gt; 3 m</b>	<b>1</b>

- **Perfil del Suelo**

Según la información recopilada de los estudios de suelos realizados en la zona se determinó que el perfil de suelo es medianamente flexible con velocidad de propagación de onda de corte  $180 \text{ m/s} < \bar{V}_s \leq 500 \text{ m/s}$ . Su valor del SPT es de  $N_{60} = 38$ . En anexos se adjuntará el Estudio de Mecánica de Suelos de la zona que valida esta información.

Aplicando la Tabla 4, se obtiene como resultado que, el peligro sísmico según el perfil de suelo será MEDIO. Este parámetro, según el resultado tendrá un peso 3.

**TABLA 4**

Nivel del Peligro Sísmico según el Perfil de Suelo

CLASIFICACIÓN DE LOS PERFILES DE SUELO				NIVEL DE PELIGRO
Perfil	$\bar{V}_s$	$\bar{N}_{60}$	$\bar{S}_u$	
$S_0$	> 1500 m/s	-	-	1
$S_1$	500 m/s a 1500 m/s	> 50	> 100 Kpa	2
$S_2$	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 Kpa a 100 KPa	3
$S_3$	< 180 m/s	< 15	25 Kpa a 50 KPa	4
$S_4$	Clasificación basada en el EMS			5

**- Topografía**

La topografía en el Centro Histórico verificando el relieve de la zona, se observa que es casi plana en su totalidad.

Aplicando la Tabla 5, se determina que la topografía no es un factor determinando en el peligro sísmico, por la razón especificada anteriormente, pero si un factor característico.

**TABLA 5**

Topografía predominante de la zona

TOPOGRAFÍA	PLANO	ONDULADO	ACCIDENTADO	ESCARPADO
"Características Fisiográficas" Plan Vial Provincial	Pendientes transversales < 10%	Pendientes transversales de 11% - 50%	Pendientes transversales de 51% - 100%	Pendientes transversales > 100%
Participativo de Trujillo	Pendientes longitudinales < 3%	Pendientes longitudinales 3% - 6%	Pendientes longitudinales 6% - 8%	Pendientes longitudinales > 8%

**- Sismicidad Histórica**

Se recopiló información desarrollada por la Pontifica Universidad Católica del Perú, sobre los niveles de aceleración y el tiempo de retorno de los sismos; y a la vez se obtuvo la data de la historicidad sísmica en Trujillo. Obteniendo el siguiente resultado:

“Ocurre 1 terremoto de 6.5 en la escala de Richter cada 70 años en promedio con hipocentros de 40 km a 70 km de profundidad con una aceleración del terreno de 0.083 g”.

Aplicando la Tabla 6, 7 y 8 se determina el nivel de peligro sísmico de cada uno de los parámetros de la Sismicidad Histórica:

**TABLA 6**

Nivel de Peligro según la magnitud del sismo

MAGNITUD	NIVEL DE PELIGRO
1.0 - 5.0	1
6.0 - 9.0	2
10.0 - 12.0	3

**TABLA 7**

Nivel de Peligro según la profundidad del sismo

PROFUNDIDAD DEL SISMO		NIVEL DEL PELIGRO
SISMO SUPERFICIAL	< 60 KM	3
SISMO INTERMEDIOS	60 KM - 350 KM	2
SISMO PROFUNDO	> 350 KM	1

**TABLA 8**

Nivel de Peligro según el tiempo de retorno

TIEMPO DE RETORNO	NIVEL DE PELIGRO
< 43 AÑOS	3
43 - 72 AÑOS	2
> 72 AÑOS	1

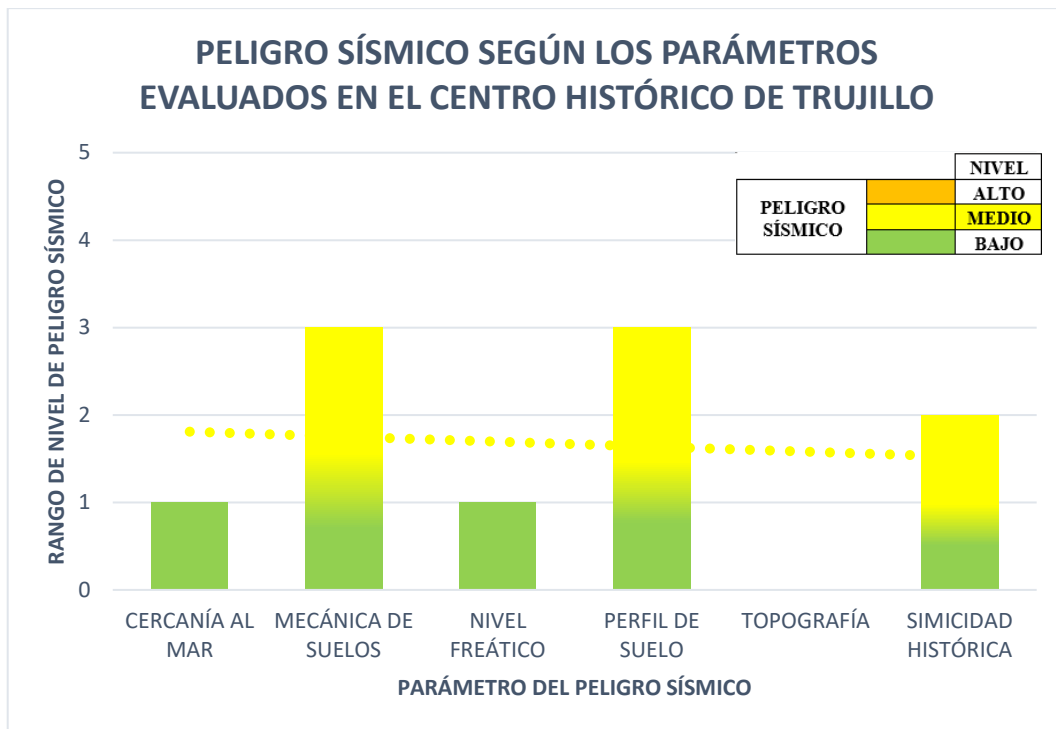
Usando los parámetros 1, 2 y 3; y aplicando la Tabla 9, se establece que el nivel de Peligro Sísmico según la Sismicidad Histórica será MEDIO, con un peso de 2.

**TABLA 9**

Nivel de Peligro según la Sismicidad Histórica

SISMICIDAD HISTÓRICA	NIVEL DE PELIGRO
<i>Magnitud + Profundidad + Tiempo de retorno</i>	3
<u>3</u>	2
	1

Tras evaluar cada uno de los parámetros del Peligro Sísmico, se puede resumir los resultados en la siguiente figura:



**FIGURA 24**

Peligro Sísmico según los parámetros evaluados en el Centro Histórico de Trujillo

En la figura 24 se observa una línea de tendencia sobre el nivel MEDIO del Peligro Sísmico, lo que determinaría que este sería el nivel de Peligro Sísmico en el Centro Histórico de Trujillo.

Sin embargo, para una mayor precisión se estableció rangos para los niveles de Peligro Sísmico, y realizando una suma de los pesos obtenidos tras la evaluación de los parámetros se obtuvo el siguiente resultado:

**TABLA 22**

Nivel del Peligro Sísmico en el Centro Histórico de Trujillo

		NIVEL	RANGO	RESULTADO
PELIGRO SÍSMICO		ALTO	13 - 19	
		MEDIO	8 - 12	10
		BAJO	5 - 7	

Interpretando el resultado de la Tabla 22 se determina que el resultado de la suma de los pesos fue 10, por lo que se encuentra dentro del rango MEDIO del Peligro Sísmico ya que este rango establece pesos de 8 – 12. En decir, el Peligro Sísmico presente en el Centro Histórico de Trujillo tiene un nivel MEDIO.



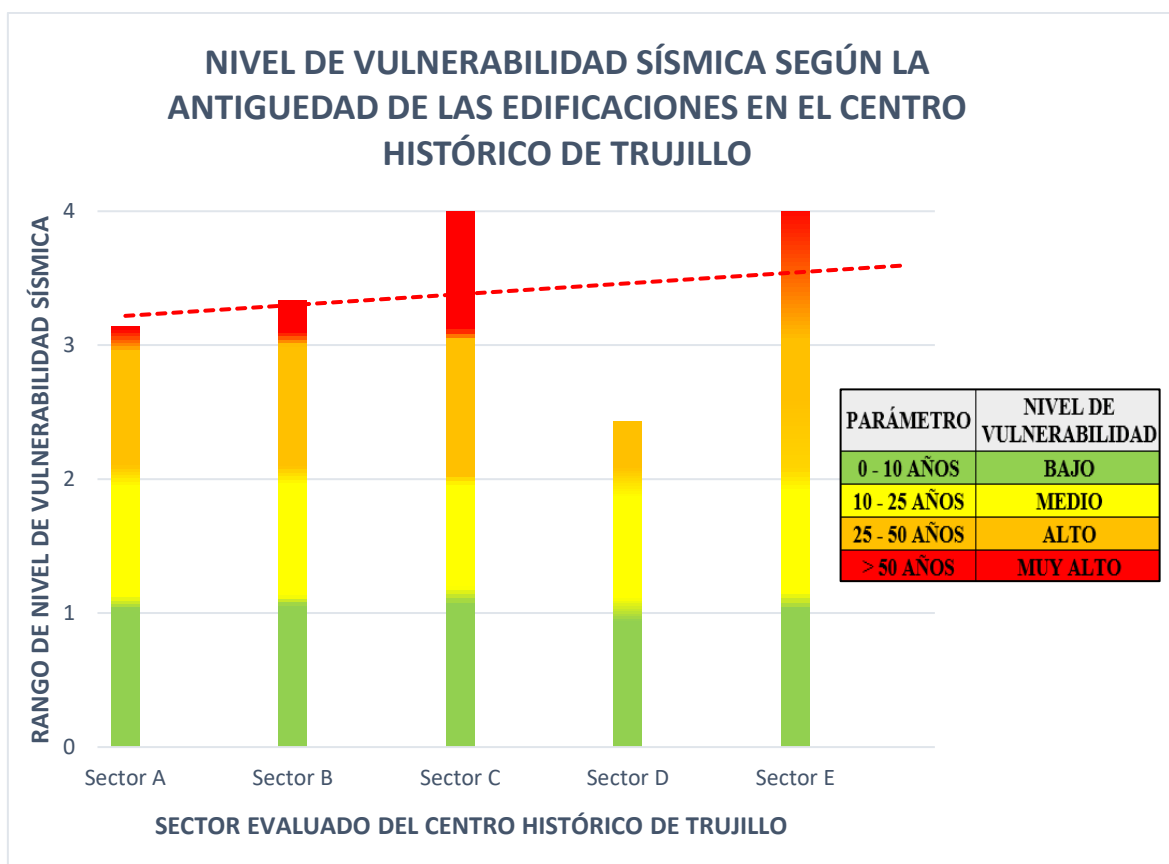
### 3.2. Vulnerabilidad Sísmica

Después de aplicar la ficha técnica para la determinación de la Vulnerabilidad Sísmica a las 30 edificaciones del centro histórico se obtuvo los siguientes resultados para cada parámetro evaluado:

**TABLA 23**  
Resultados de la Ficha de Observación de Vulnerabilidad Sísmica

VARIABLES	FICHA DE OBSERVACIÓN PARA LAS EDIFICACIONES																													
	SECTOR A							SECTOR B			SECTOR C							SECTOR D							SECTOR E					
	INSTITUCIONES EDUCATIVAS							CENTROS DE SALUD			CASONAS COLONIALES							CENTROS COMERCIALES Y DE ESPARCIMIENTO							CENTROS CULTURALES					
	001	002	003	004	005	006	007	008	009	010	011	012	013	014	015	016	017	018	019	020	021	022	023	024	025	026	027	028	029	030
ANTIGÜEDAD DE LA EDIFICACIÓN	4	1	3	4	2	4	4	4	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	2	3	2	2	2	4	4	4	4	4	4
MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	2	2	2	2	2	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	2	2
SISTEMA ESTRUCTURAL	2	2	3	3	2	4	2	2	3	4	4	4	4	4	4	4	4	2	2	2	3	2	2	3	3	4	4	4	3	3
ESTADO DE CONSERVACIÓN	3	2	3	3	2	4	2	3	2	3	3	2	4	4	3	3	2	2	2	2	4	2	2	3	3	3	4	2	2	3
ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES	2	1	1	3	1	1	1	4	1	3	2	2	4	3	4	4	2	2	2	2	1	2	1	2	1	2	2	2	2	2
CONFIGURACIÓN DE PLANTA	2	3	2	2	4	4	2	2	3	2	4	1	2	1	3	3	1	4	1	1	4	1	3	2	4	2	2	3	1	1
CONFIGURACIÓN EN ELEVACIÓN	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
JUNTA SÍSMICA	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	4	4	2	4	4	4
PRESENCIA DE POSIBLES FALLAS ESTRUCTURALES	3	2	3	3	3	2	3	4	3	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	3
NIVEL DE VULNERABILIDAD POR EDIFICACIÓN	23	18	22	25	21	27	21	26	23	26	27	23	28	26	28	28	23	24	19	18	24	19	19	19	25	25	24	25	21	23

Los resultados de la Tabla 23, se pueden observar e interpretar en las siguientes figuras:

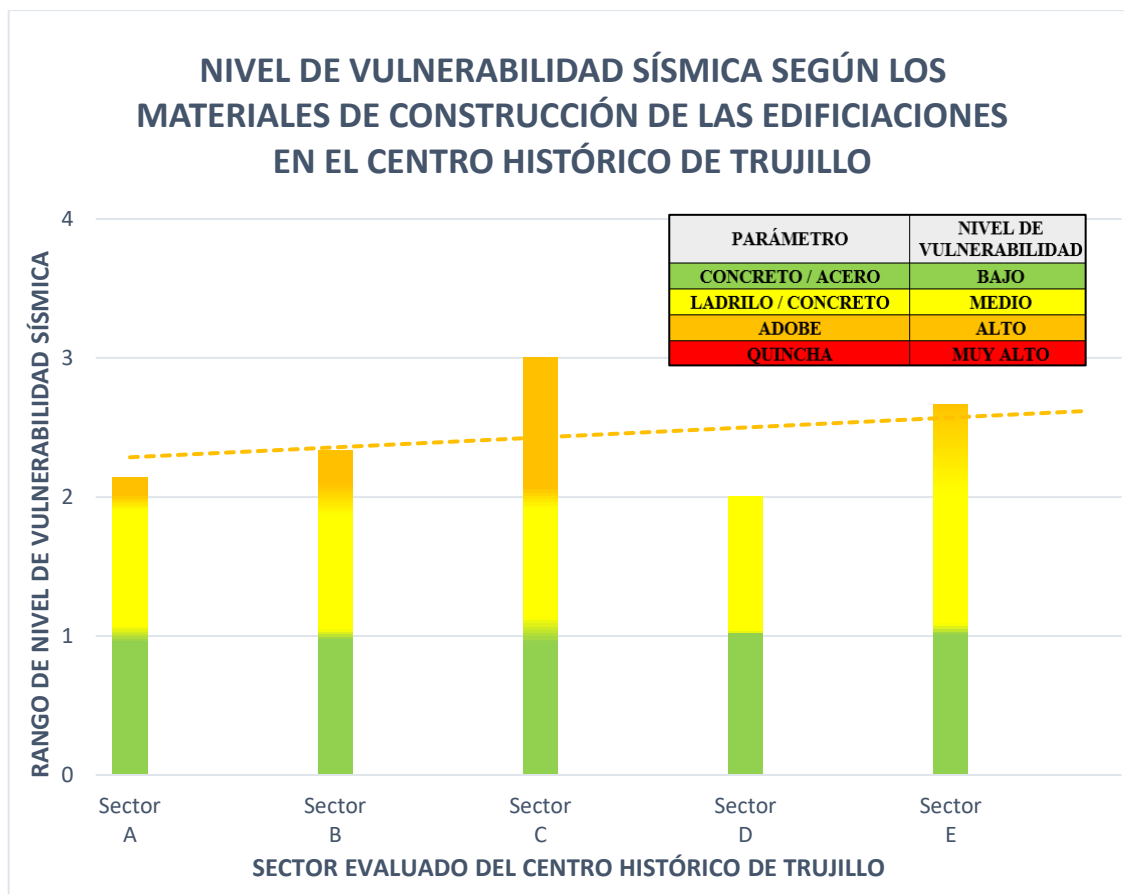


**Figura 24**

Nivel de Vulnerabilidad Sísmica según la Antigüedad de las edificaciones en el Centro Histórico de Trujillo

De la figura 24, se puede inferir que, en 4 de los sectores evaluados; es decir, el Sector A (Instituciones Educativas), el Sector B (Centros de Salud), el Sector C (Casonas Coloniales) y el Sector E (Centros Culturales); el nivel de vulnerabilidad según la antigüedad de las edificaciones es **MUY ALTO**, pues sus edificaciones superan los 50 años de antigüedad; y únicamente, el Sector D, el cual corresponde a los Centros Comerciales y de Esparcimiento de la zona, tiene un nivel de vulnerabilidad **ALTO**, pues estas edificaciones se encuentran en un rango de 25 a 50 años de antigüedad.

Finalmente, se puede inferir que, según la antigüedad de las edificaciones del Centro Histórico de Trujillo, el nivel de vulnerabilidad medio o de tendencia es **MUY ALTO**, pues las edificaciones superar los 50 años de antigüedad.

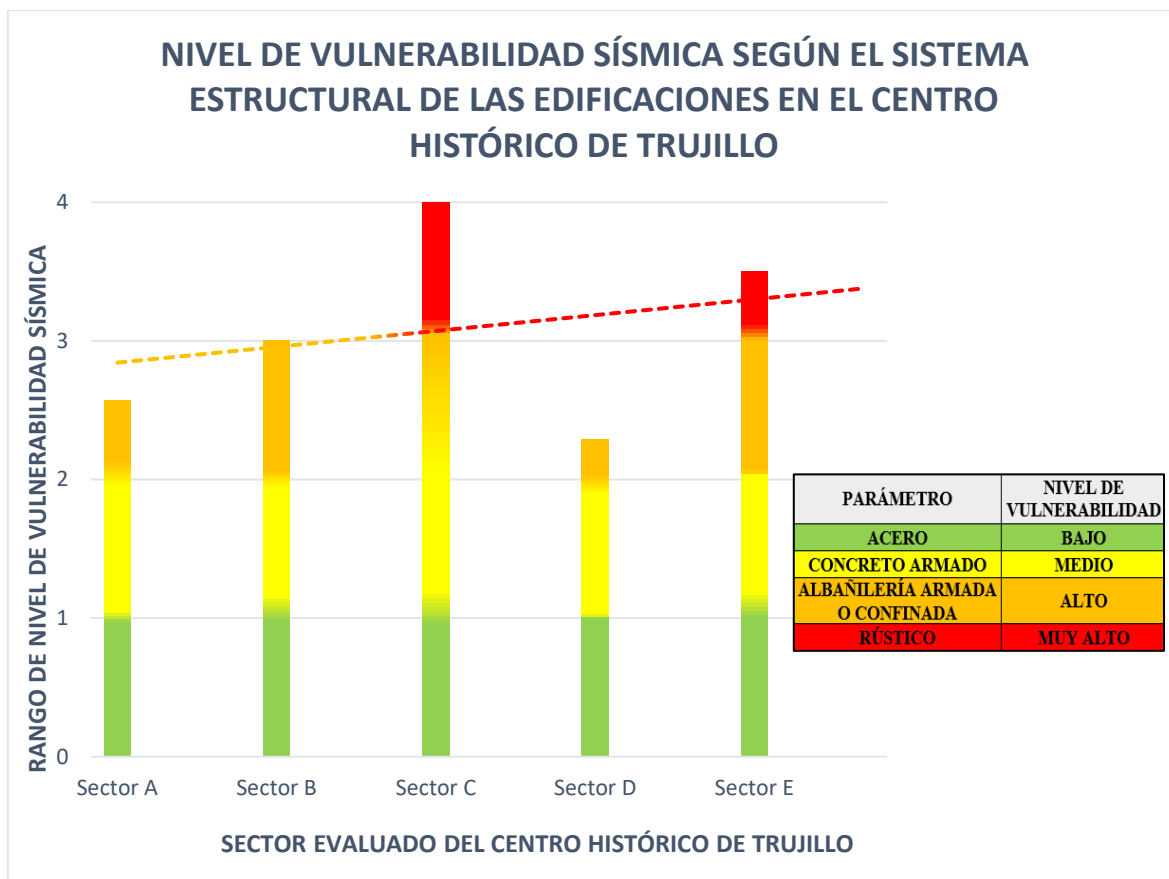


**Figura 25**

Nivel de Vulnerabilidad Sísmica según los materiales de construcción de las edificaciones en el Centro Histórico de Trujillo

De la figura 25, se puede inferir que, en 4 de los sectores evaluados; es decir, el Sector A (Instituciones Educativas), el Sector B (Centros de Salud), el Sector C (Casonas Coloniales) y el Sector E (Centros Culturales); el nivel de vulnerabilidad según el material de construcción de las edificaciones es **ALTO**, pues sus edificaciones tienen como material de construcción predominante el adobe; y únicamente, el Sector D, el cual corresponde a los Centros Comerciales y de Esparcimiento de la zona, tiene un nivel de vulnerabilidad **MEDIO**, pues estas edificaciones tienen como material de construcción predominante el ladrillo y concreto.

Finalmente, se puede inferir que, según el material de construcción de las edificaciones del Centro Histórico de Trujillo, el nivel de vulnerabilidad medio o de tendencia es **ALTO**, pues las edificaciones tienen como material predominante de construcción el adobe.

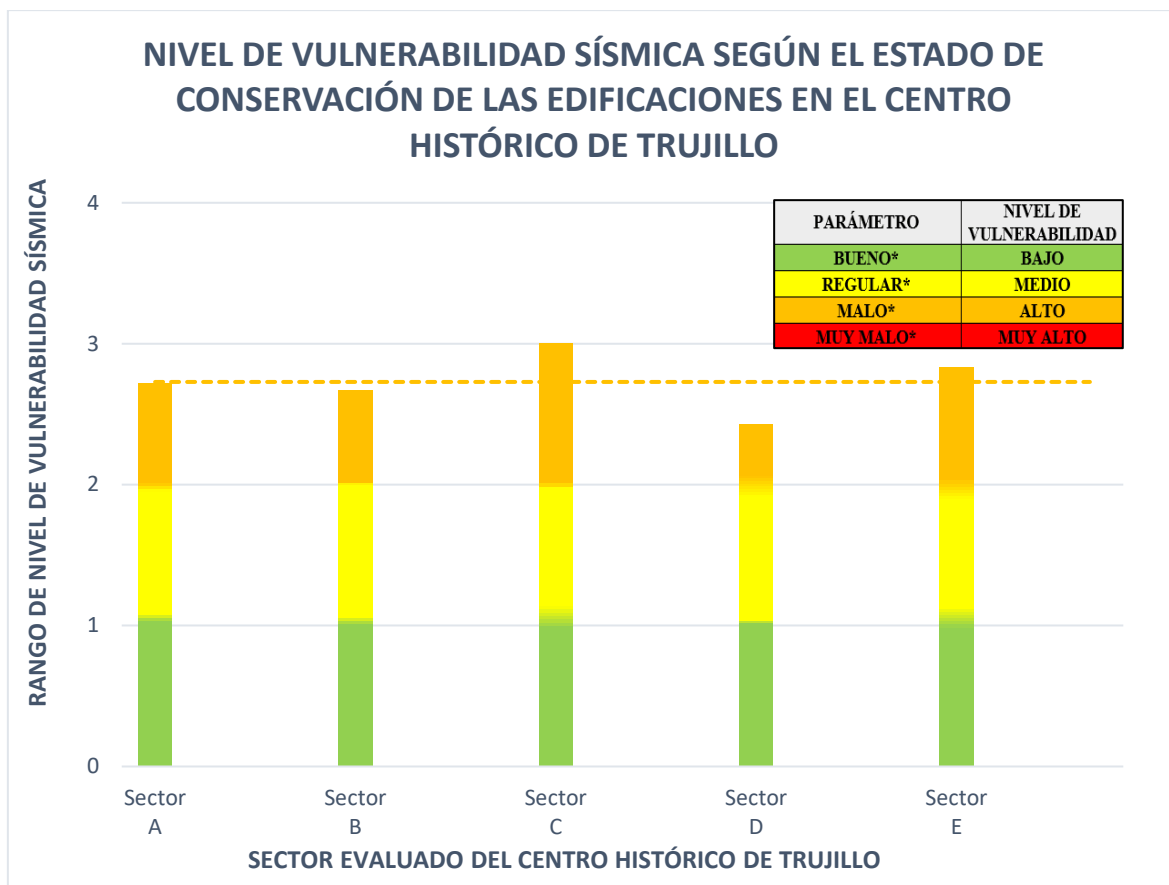


**FIGURA 26**

Nivel de Vulnerabilidad Sísmica según el Sistema Estructural de las Edificaciones en el Centro Histórico de Trujillo

De la figura 26, se puede inferir que, en 2 de los sectores evaluados; es decir, el Sector C (Casonas Coloniales) y el Sector E (Centros Culturales); el nivel de vulnerabilidad según el sistema estructural de las edificaciones es **MUY ALTO**, pues sus edificaciones se diseñaron sin considerar un sistema estructural, siendo rústicas; y, en los otros 3 sectores evaluados; es decir, el Sector A (Instituciones Educativas), el Sector B (Centros de Salud) y el Sector D (Centros Comerciales y de Esparcimiento), tienen un nivel de vulnerabilidad **MEDIO**, pues estas edificaciones se diseñaron bajo el sistema estructural de albañilería armada o confinada.

Finalmente, se puede inferir que, según el Sistema Estructural de las Edificaciones en el Centro Histórico de Trujillo, el nivel de vulnerabilidad medio o de tendencia es **MUY ALTO**, pues las edificaciones en su mayoría no cuentan con un sistema estructural, son rústicas.



**FIGURA 27**

Nivel de Vulnerabilidad Sísmica según el Sistema Estructural de las Edificaciones en el Centro Histórico de Trujillo

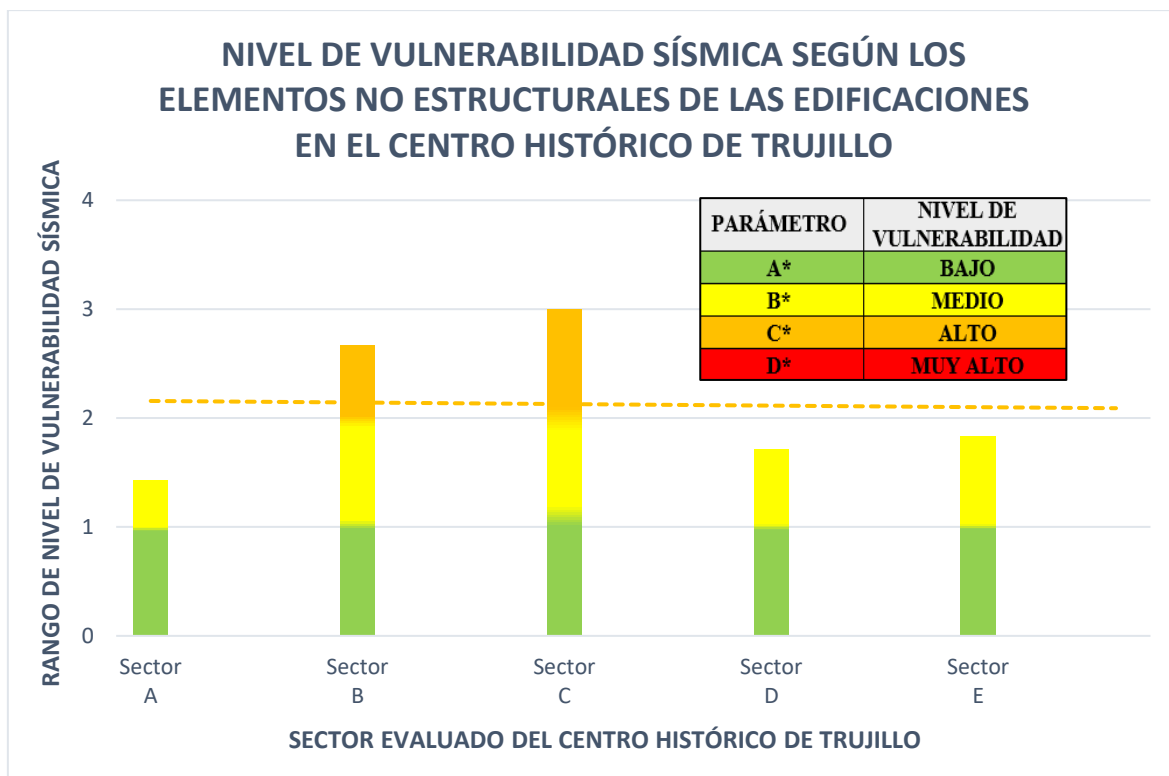
De la figura 27, se puede inferir que, en los 5 sectores evaluados, el nivel de vulnerabilidad según el estado de conservación es **ALTO**, pues las edificaciones tienen un estado de conservación malo, pues presentan 2 de 3 patologías constructivas, y estas patologías son:

Físicas: Humedad, suciedad y/o erosión.

Mecánicas: Grietas, fisuras, deformaciones, desprendimientos.

Químicas: Oxidación, corrosión, eflorescencias.

Finalmente, se puede inferir que, según el estado de conservación de las edificaciones en el Centro Histórico de Trujillo, el nivel de vulnerabilidad medio o de tendencia es **ALTO**, pues las edificaciones en su mayoría no cuentan con un estado de conservación malo.

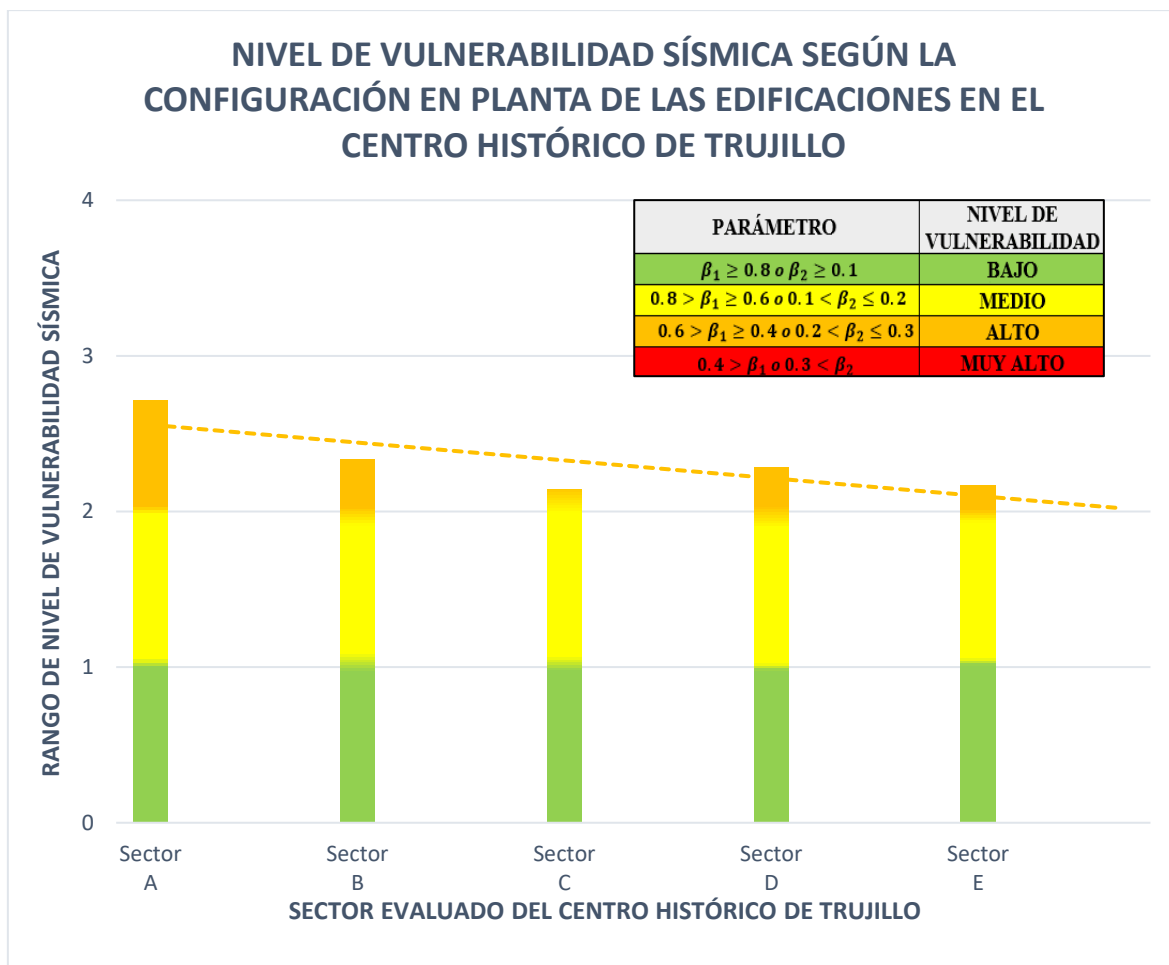


**FIGURA 28**

Nivel de Vulnerabilidad Sísmica según los Elementos no Estructurales de las Edificaciones en el Centro Histórico de Trujillo

De la figura 28, se puede inferir que, en 2 de los sectores evaluados; es decir, el Sector B (Centros de Salud) y el Sector C (Casonas Coloniales), el nivel de vulnerabilidad según los elementos estructurales de las edificaciones es **ALTO**, pues los elementos son de pequeña dimensión y están mal vinculados a la pared; y en los otros 3 sectores evaluados; es decir, el Sector A (Instituciones Educativas), el Sector D (Centros Comerciales y de Esparcimiento) y el Sector E (Centros Culturales), el nivel de vulnerabilidad según los elementos estructurales de las edificaciones **MEDIO**, pues las edificaciones tienen cornisas bien conectadas a la pared, y sus balcones están integrados a la estructura de los diafragmas.

Finalmente, se puede inferir que, según los elementos no estructurales de las edificaciones en el Centro Histórico de Trujillo, el nivel de vulnerabilidad medio o de tendencia es **MEDIO**, pues las edificaciones en su mayoría sus elementos no estructurales están bien conectados a la pared o diafragmas, son pocas las que están mal conectadas.

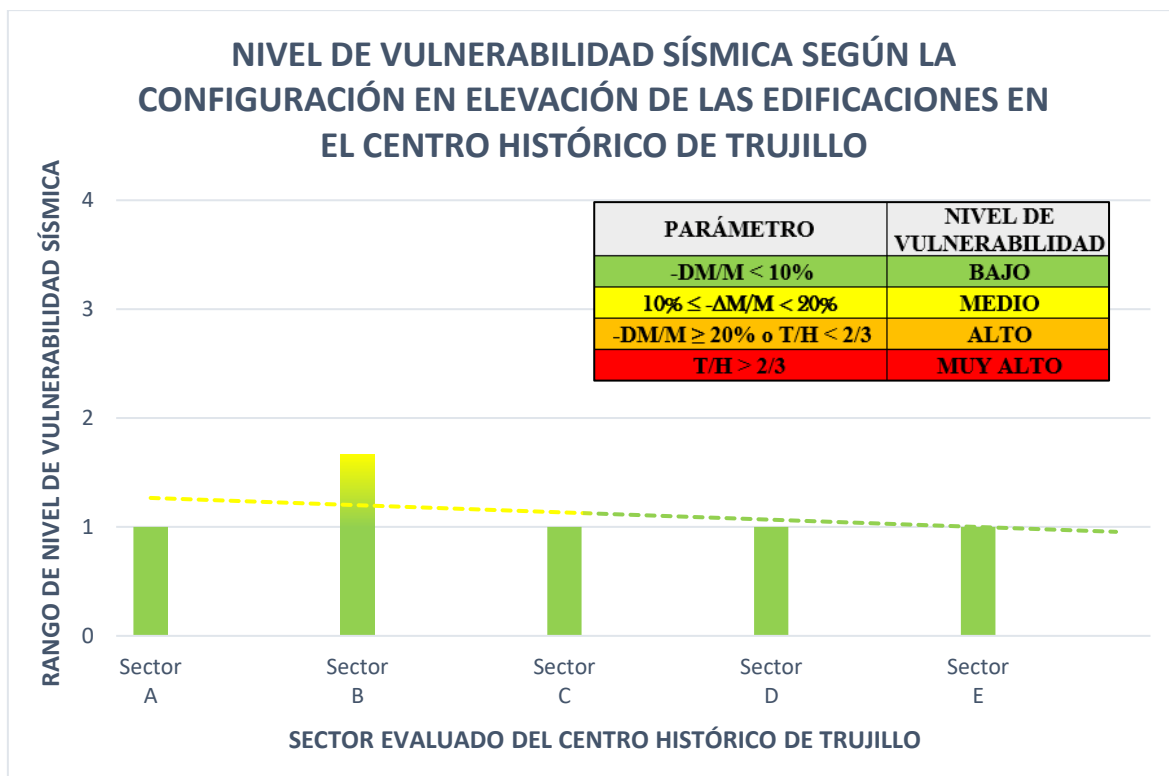


**FIGURA 29**

Nivel de Vulnerabilidad Sísmica según la Configuración en Planta de las Edificaciones en el Centro Histórico de Trujillo

De la figura 29, se puede inferir que, en los 5 sectores evaluados, el nivel de vulnerabilidad según la configuración en planta de las edificaciones en el Centro Histórico de Trujillo es **ALTO**, eso quiere decir que la relación de las dimensiones en ancho y largo son grandes, en pocas palabras el largo supera a lo mucho al ancho 2 veces y media o también la figura en planta tiene formas distintas.

Finalmente, se puede inferir que, según la configuración en planta de las edificaciones en el Centro Histórico de Trujillo, el nivel de vulnerabilidad medio o de tendencia es **ALTO**, pues las edificaciones en su mayoría tienen formas variadas y desbalanceadas en su relación ancho y largo.



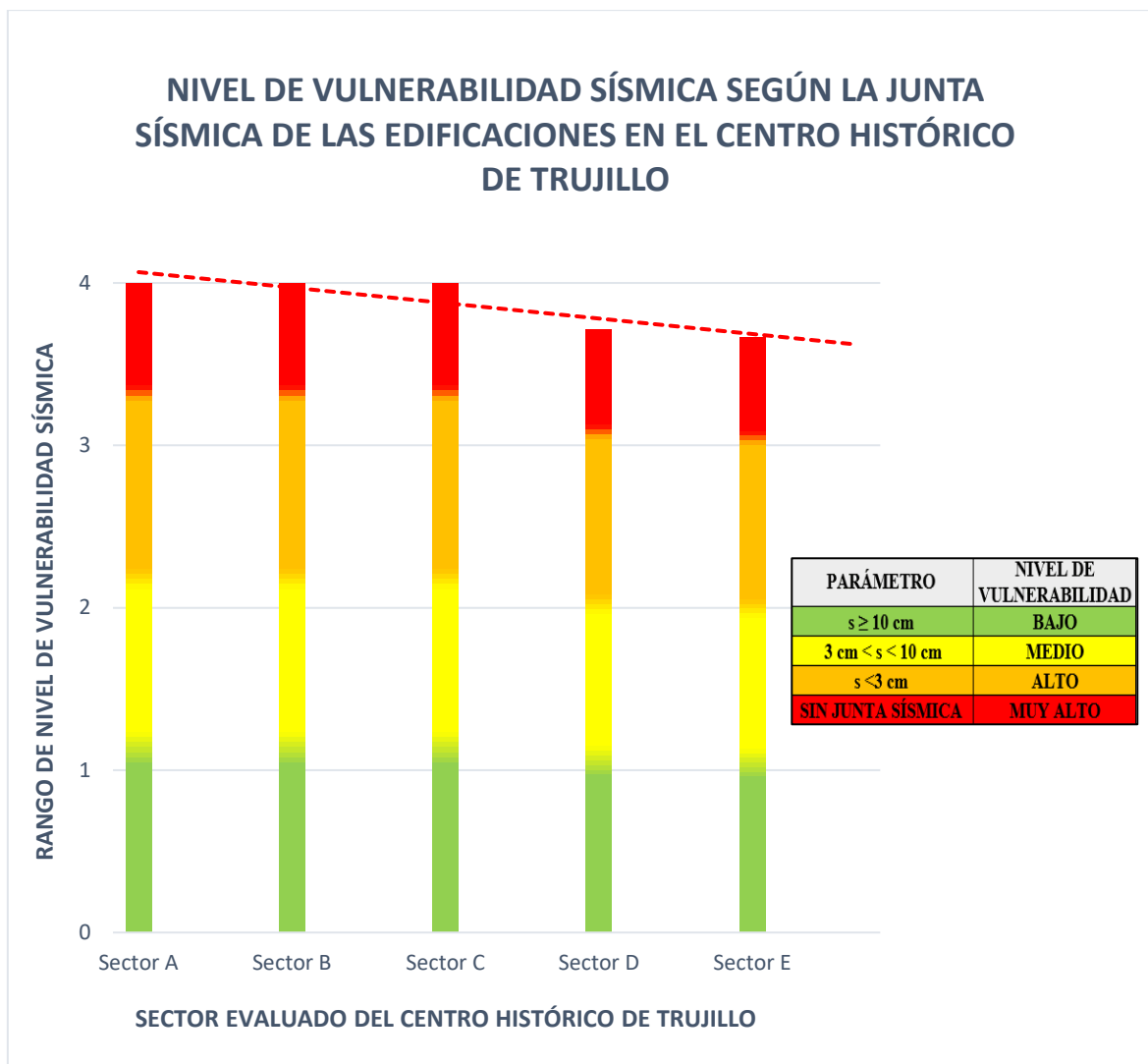
**FIGURA 30**

Nivel de Vulnerabilidad Sísmica según la Configuración en Elevación de las Edificaciones en el Centro Histórico de Trujillo

De la figura 30, se puede inferir que, en 4 de los sectores evaluados; es decir, el Sector A (Instituciones Educativas), el Sector C (Casonas Coloniales), el Sector D (Centros Comerciales y de Esparcimiento) y el Sector E (Centros Culturales), el nivel de vulnerabilidad sísmica según la configuración en elevación de las edificaciones del Centro Histórico de Trujillo es **BAJO**, pues la relación de altura y masa de un piso a otro es casi la misma, estando distribuida de forma balanceada; sin embargo, en el Sector B (Centros de Salud), el nivel de vulnerabilidad según la configuración en elevación de las edificaciones es **MEDIO**, pues hay una diferencia en relación de masas y altura de 20% como máximo.

Finalmente, se puede inferir que, según la configuración en elevación de las edificaciones en el Centro Histórico de Trujillo, el nivel de vulnerabilidad medio o de tendencia es **BAJO**, pues las edificaciones en su mayoría tienen una relación de masa y altura entre pisos muy balanceada.



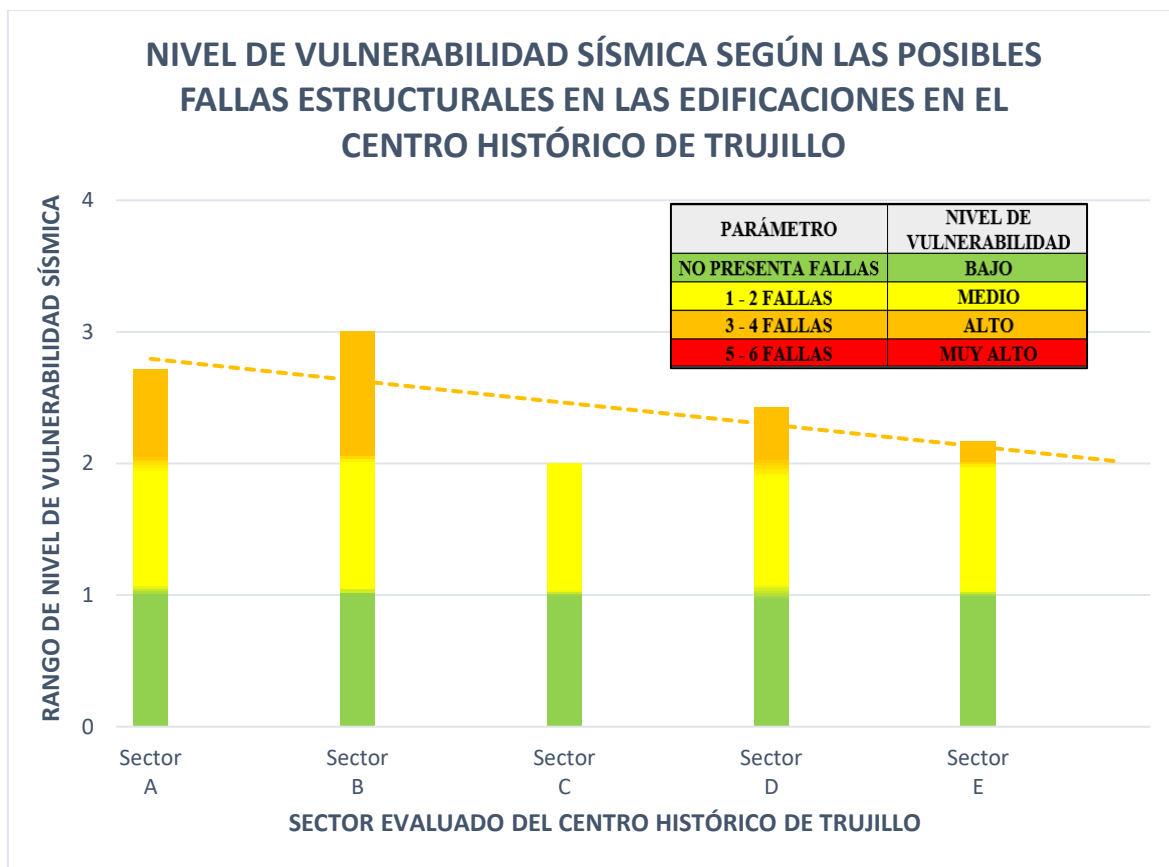


**FIGURA 31**

Nivel de Vulnerabilidad Sísmica según la Junta Sísmica de las Edificaciones en el Centro Histórico de Trujillo

De la figura 31, se puede inferir que, en los 5 sectores evaluados, según la junta sísmica de las edificaciones del Centro Histórico de Trujillo, el nivel de vulnerabilidad es **MUY ALTO**, puesto que las edificaciones no cuentan con junta sísmica.

Finalmente, se puede inferir que, según la junta sísmica de las edificaciones en el Centro Histórico de Trujillo, el nivel de vulnerabilidad medio o de tendencia es **MUY ALTO**, pues las edificaciones en su mayoría no presentan junta sísmica.

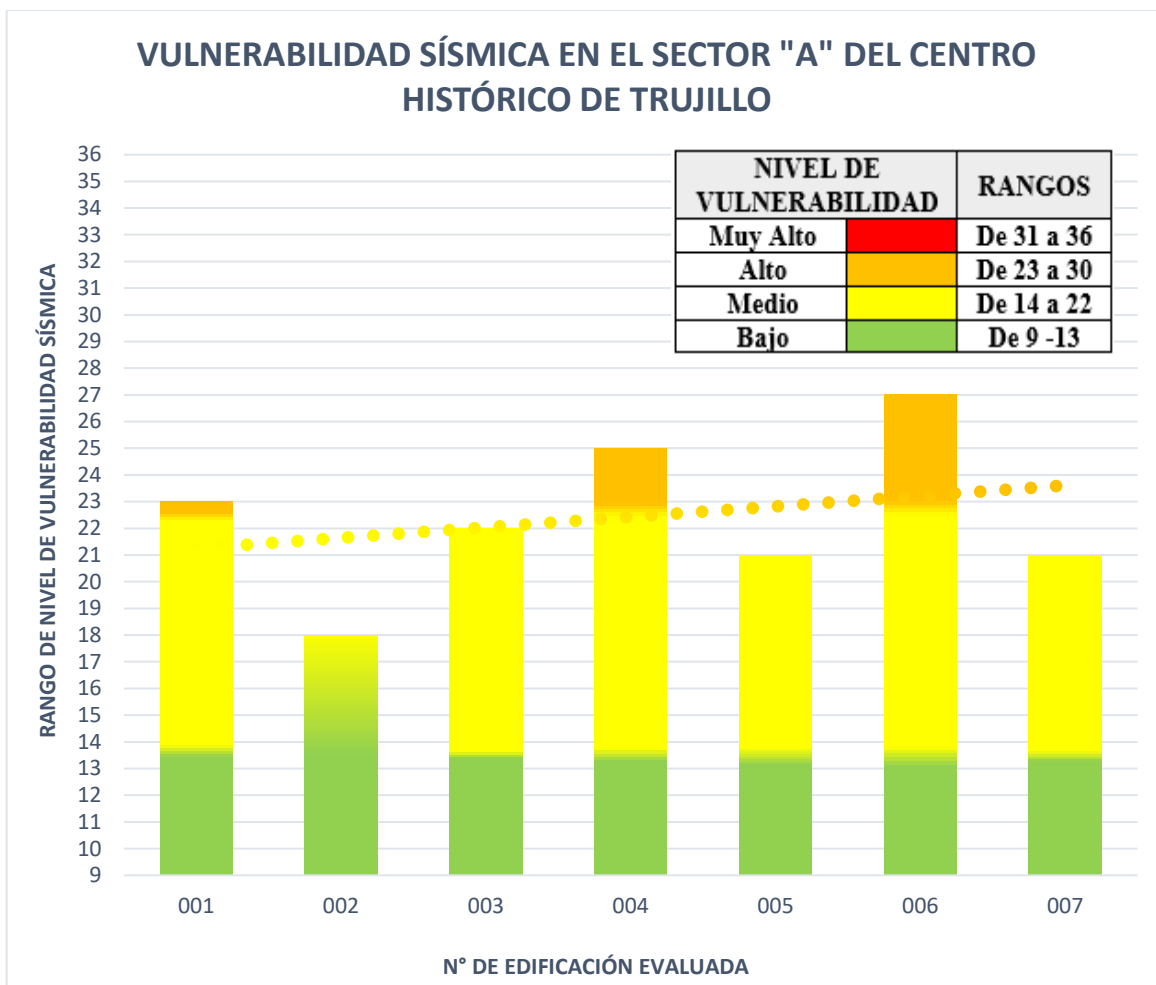


**FIGURA 32**

Nivel de Vulnerabilidad Sísmica según las Posibles Fallas Estructurales en las Edificaciones en el Centro Histórico de Trujillo

De la figura 32, se puede inferir que, en 4 de los sectores evaluados; es decir, el Sector A (Instituciones Educativas), el Sector B (Centros de Salud), el Sector D (Centros Comerciales y de Esparcimiento) y el Sector E (Centros Culturales), el nivel de vulnerabilidad sísmica según las posibles fallas estructurales que presenten las edificaciones del Centro Histórico de Trujillo es **ALTO**, puesto que presentarían entre 3 y 4 fallas; mientras que, el Sector C (Casonas Coloniales), el nivel de vulnerabilidad sísmica según las posibles fallas estructurales en las edificaciones es **MEDIO**, puesto que en este sector se presentarían entre 1 y 2 fallas.

Finalmente, se puede inferir que, según las posibles fallas estructurales que presenten las edificaciones en el Centro Histórico de Trujillo, el nivel de vulnerabilidad medio o de tendencia es **ALTO**, pues las edificaciones en su mayoría presentarían entre 3 a 4 fallas.



**FIGURA 33**

Nivel de Vulnerabilidad Sísmica en las Edificaciones del Sector “A” del Centro Histórico de Trujillo

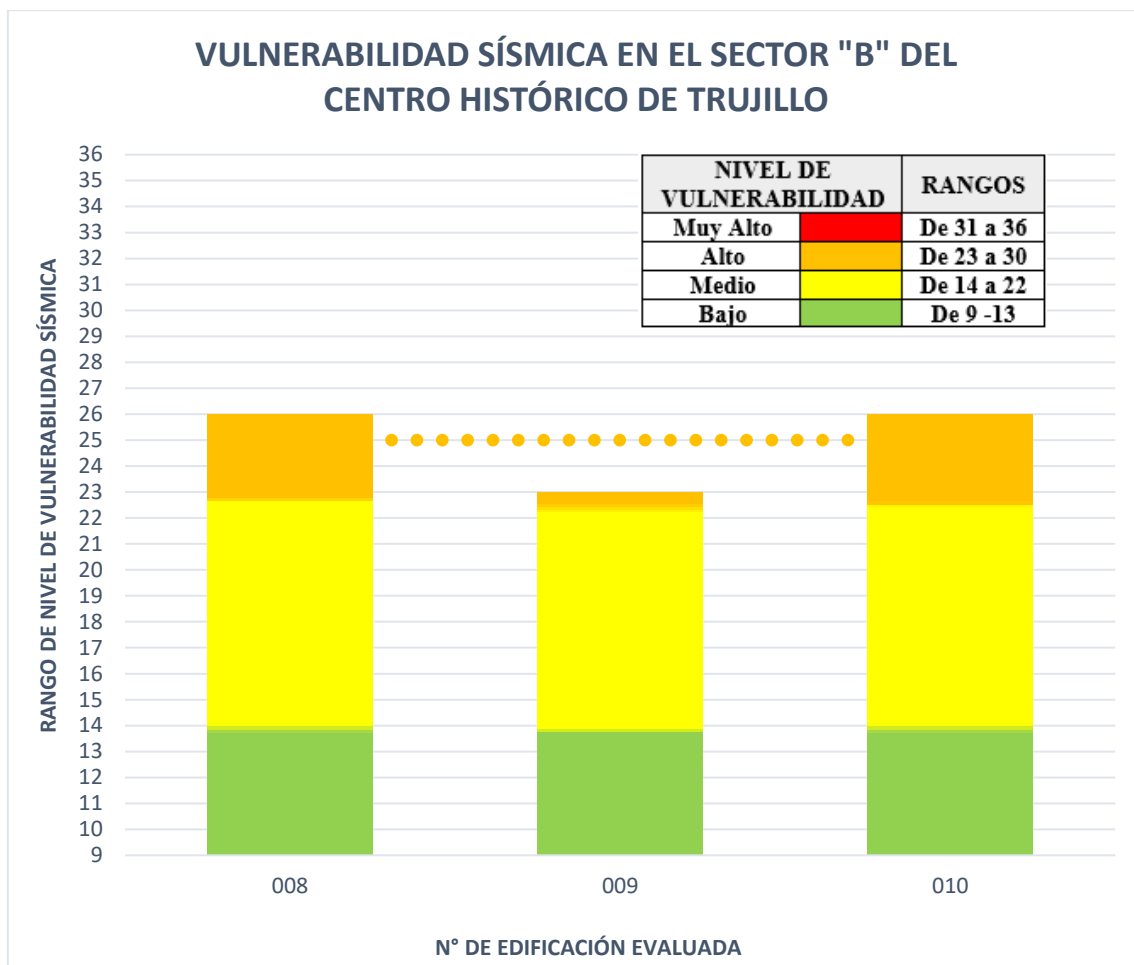
De la figura 33, se puede inferir que, de las 7 edificaciones evaluadas del Sector “A” (Instituciones Educativas), 4 de ellas presentan un nivel de vulnerabilidad sísmica **MEDIO**, y en las otras 3, el nivel de vulnerabilidad sísmica es **ALTO**.

Finalmente, se puede inferir que, el nivel de vulnerabilidad sísmica medio o de tendencia presente en el Sector “A” (Instituciones Educativas) es **MEDIO**.

**TABLA 24**

Nivel de Vulnerabilidad Sísmica en el Sector “A” del Centro Histórico de Trujillo

		NIVEL	RANGO	SECTOR A
<b>VULNERABILIDAD SÍSMICA</b>		<b>Muy Alto</b>	<b>De 31 a 36</b>	
		<b>Alto</b>	<b>De 23 a 30</b>	
		<b>Medio</b>	<b>De 14 a 22</b>	<b>22</b>
		<b>Bajo</b>	<b>De 09 - 13</b>	



**FIGURA 34**

Nivel de Vulnerabilidad Sísmica en las Edificaciones del Sector “B” del Centro Histórico de Trujillo

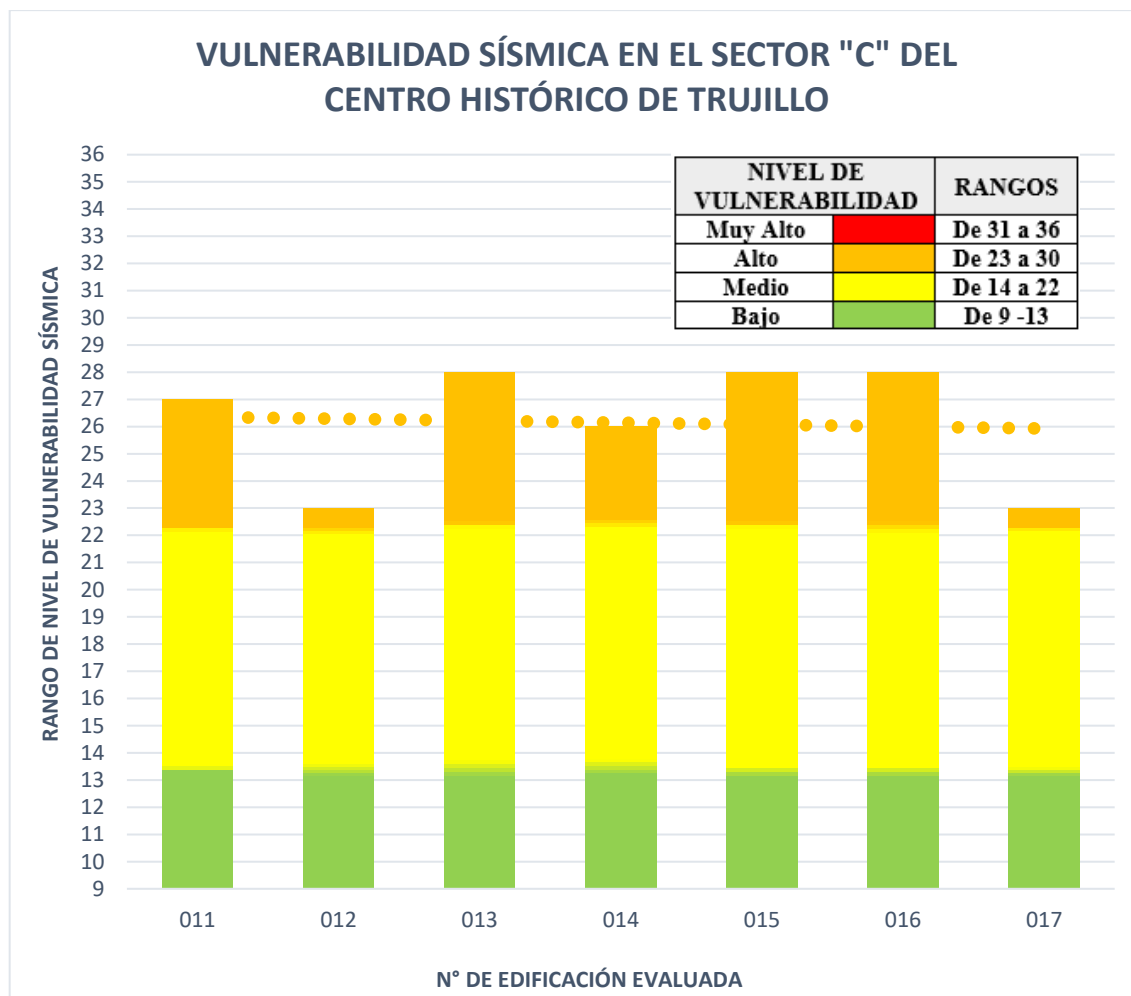
De la figura 34, se puede inferir que, de las 3 edificaciones evaluadas del Sector “B” (Centros de Salud), las 3 presentan un nivel de vulnerabilidad sísmica **ALTO**.

Finalmente, se puede inferir que, el nivel de vulnerabilidad sísmica medio o de tendencia presente en el Sector “B” (Centros de Salud) es **ALTO**.

**TABLA 25**

Nivel de Vulnerabilidad Sísmica en el Sector “B” del Centro Histórico de Trujillo

		NIVEL	RANGO	SECTOR B
<b>VULNERABILIDAD SÍSMICA</b>		<b>Muy Alto</b>	<b>De 31 a 36</b>	
		<b>Alto</b>	<b>De 23 a 30</b>	<b>25</b>
		<b>Medio</b>	<b>De 14 a 22</b>	
		<b>Bajo</b>	<b>De 09 - 13</b>	



**FIGURA 35**

Nivel de Vulnerabilidad Sísmica en las Edificaciones del Sector “C” del Centro Histórico de Trujillo

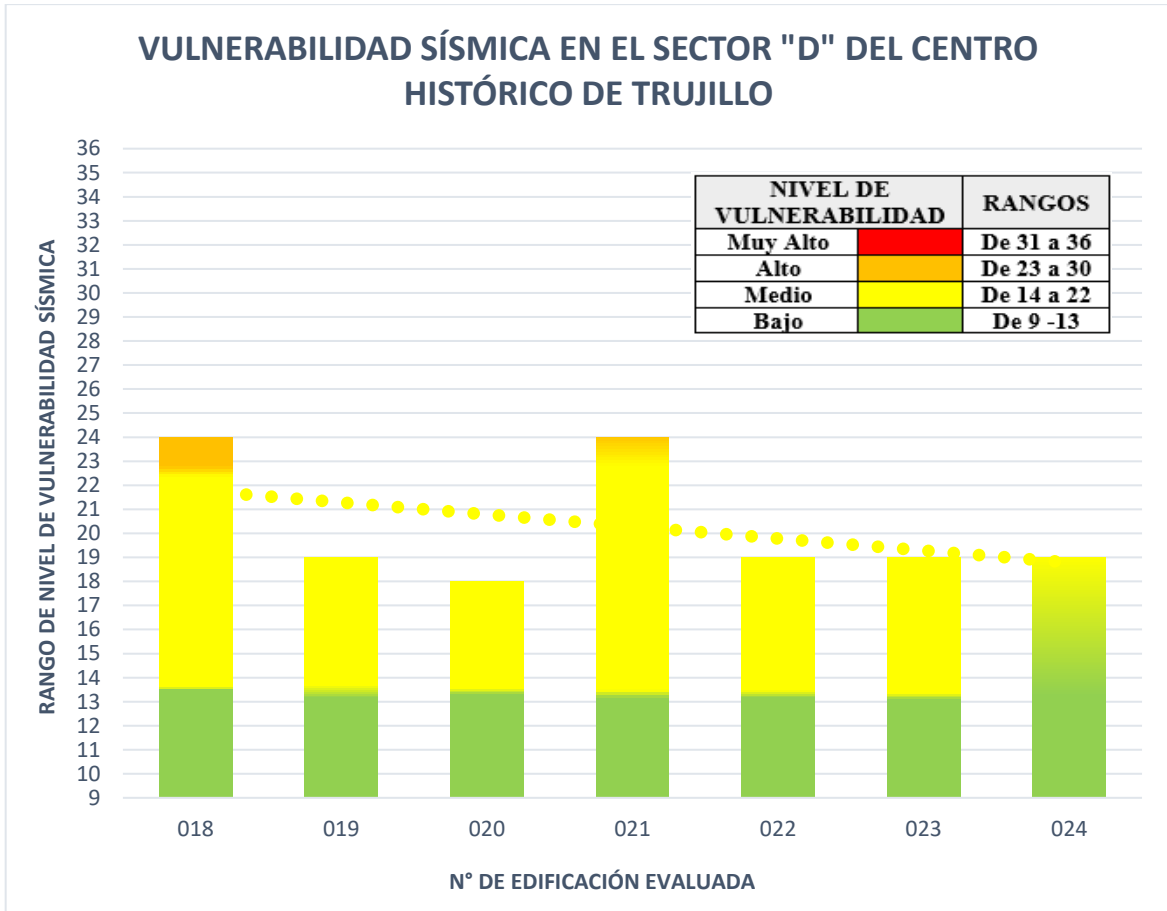
De la figura 35, se puede inferir que, de las 7 edificaciones evaluadas del Sector “C” (Casonas Coloniales), las 7 presentan un nivel de vulnerabilidad sísmica **ALTO**.

Finalmente, se puede inferir que, el nivel de vulnerabilidad sísmica medio o de tendencia presente en el Sector “C” (Casonas Coloniales) es **ALTO**.

**TABLA 26**

Nivel de Vulnerabilidad Sísmica en el Sector “C” del Centro Histórico de Trujillo

		NIVEL	RANGO	SECTOR C
<b>VULNERABILIDAD SÍSMICA</b>		Muy Alto	De 31 a 36	
		Alto	De 23 a 30	<b>26</b>
		Medio	De 14 a 22	
		Bajo	De 09 - 13	



**FIGURA 36**

Nivel de Vulnerabilidad Sísmica en las Edificaciones del Sector “D” del Centro Histórico de Trujillo

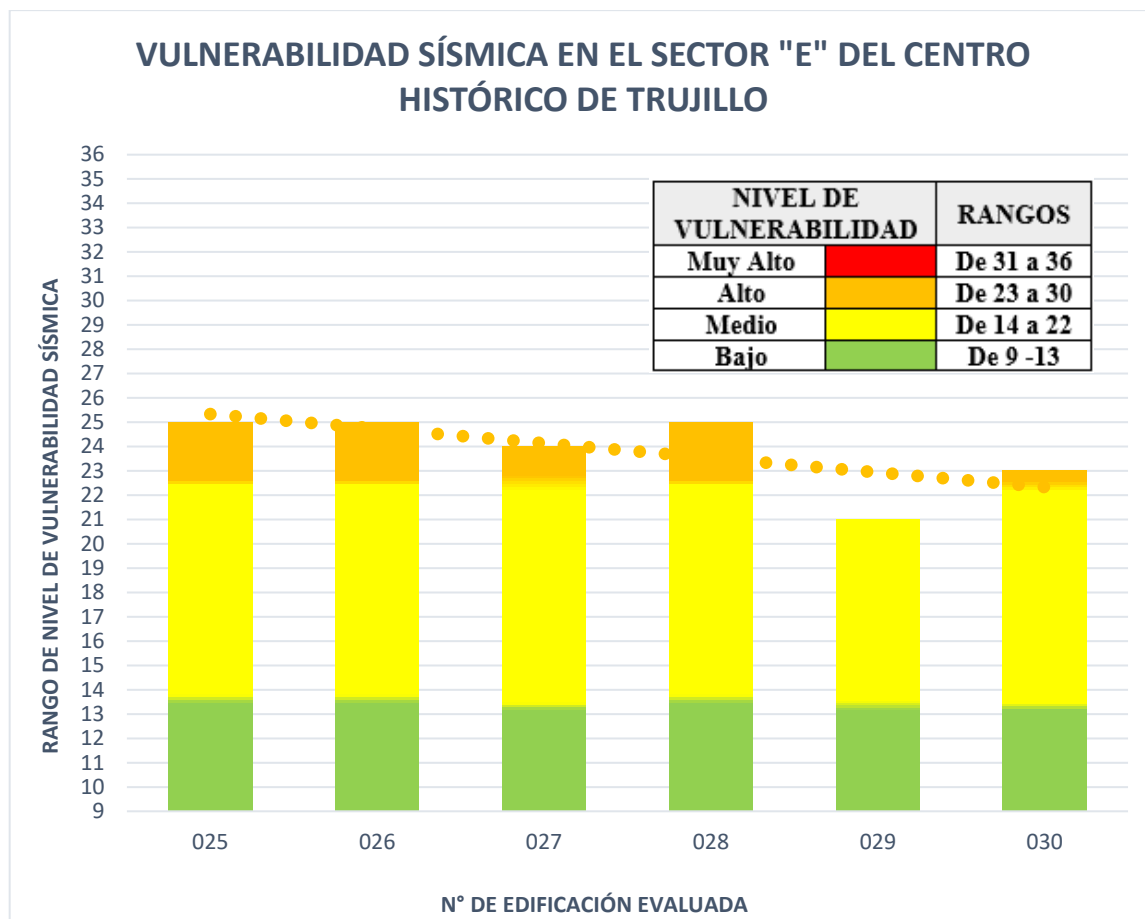
De la figura 36, se puede inferir que, de las 7 edificaciones evaluadas del Sector “D” (Centros Comerciales y de Esparcimiento), 5 presentan un nivel de vulnerabilidad sísmica **MEDIO**, y las otras 2, presentan un nivel de vulnerabilidad sísmica **ALTO**.

Finalmente, se puede inferir que, el nivel de vulnerabilidad sísmica medio o de tendencia en el Sector “D” (Centros Comerciales y de Esparcimiento) es **MEDIO**.

**TABLA 27**

Nivel de Vulnerabilidad Sísmica en el Sector “D” del Centro Histórico de Trujillo

	NIVEL	RANGO	SECTOR D	
<b>VULNERABILIDAD SÍSMICA</b>		Muy Alto	De 31 a 36	
		Alto	De 23 a 30	
		Medio	De 14 a 22	<b>20</b>
		Bajo	De 09 - 13	



**FIGURA 37**

Nivel de Vulnerabilidad Sísmica en las Edificaciones del Sector “E” del Centro Histórico de Trujillo

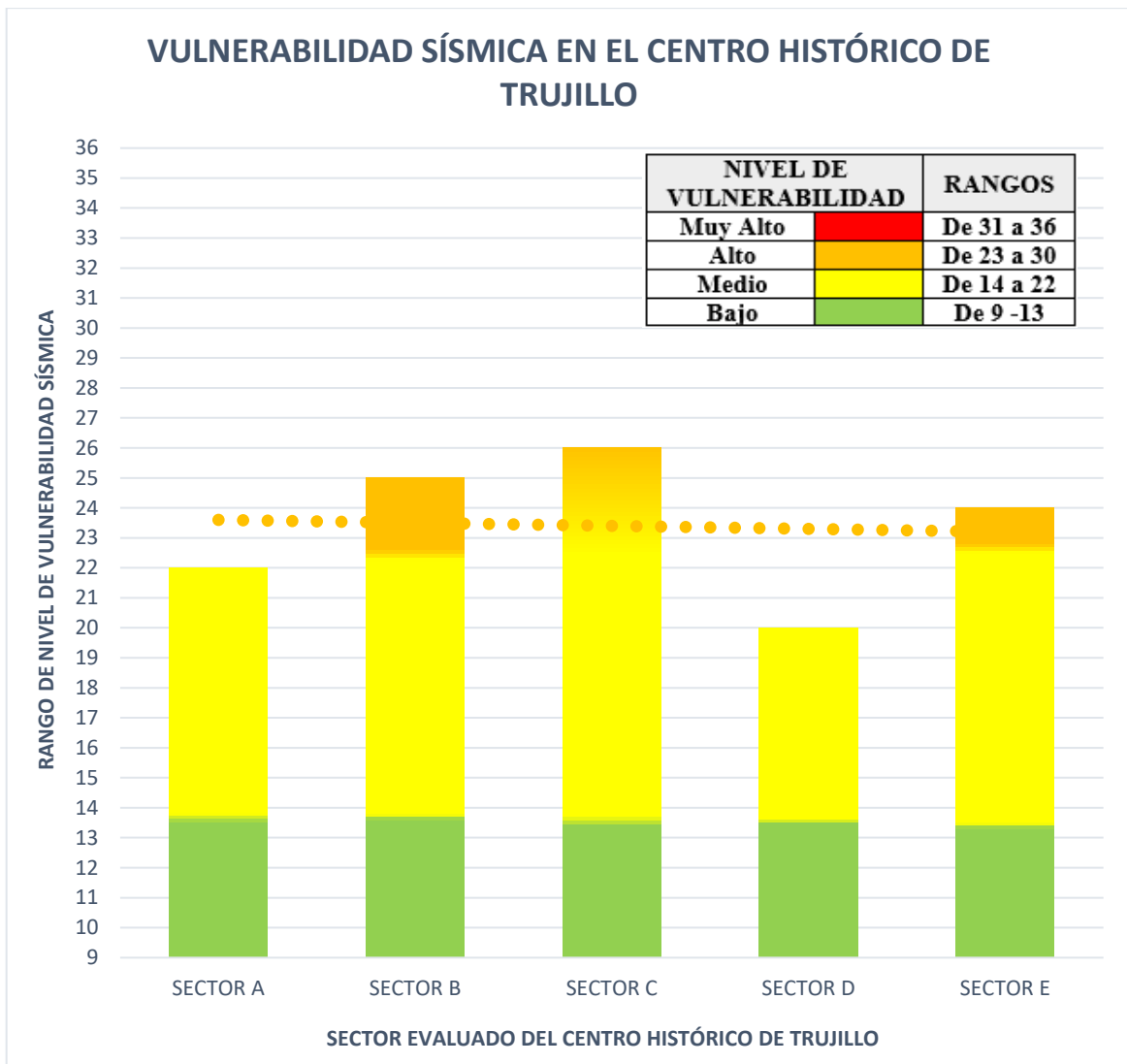
De la figura 37, se puede inferir que, de las 6 edificaciones evaluadas del Sector “E” (Centros Culturales), 5 presentan un nivel de vulnerabilidad sísmica **ALTO**, y una, presenta un nivel de vulnerabilidad sísmica **MEDIO**.

Finalmente, se puede inferir que, el nivel de vulnerabilidad sísmica medio o de tendencia en el Sector “E” (Centros Culturales) es **ALTO**.

**TABLA 28**

Nivel de Vulnerabilidad Sísmica en el Sector “E” del Centro Histórico de Trujillo

		NIVEL	RANGO	SECTORE E
VULNERABILIDAD SÍSMICA		Muy Alto	De 31 a 36	
		Alto	De 23 a 30	24
		Medio	De 14 a 22	
		Bajo	De 09 - 13	



**FIGURA 38**

Nivel de Vulnerabilidad Sísmica en los Sectores del Centro Histórico de Trujillo

De la figura 38, se puede inferir que, de los 5 sectores evaluados del Centro Histórico de Trujillo, 3 de ellos presentan un nivel de vulnerabilidad sísmica **ALTO**, estos sectores son: Sector B (Centros de Salud), Sector C (Casonas Coloniales) y Sector E (Centros Culturales); mientras que 2 de ellos presentan un nivel de vulnerabilidad sísmica **MEDIO**, estos sectores son: Sector A (Instituciones Educativas) y Sector D (Centros Comerciales y de Esparcimiento).

Finalmente, se puede inferir que, el nivel de vulnerabilidad sísmica medio o de tendencia en el Centro Histórico de Trujillo es **ALTO**.



**TABLA 29**

Nivel de Vulnerabilidad Sísmica por Sector y de Tendencia Media en el  
Centro Histórico de Trujillo

		NIVEL	RANGO	SECTOR A	SECTOR B	SECTOR C	SECTOR D	SECTOR E	MEDIA
<b>VULNERABILIDAD SÍSMICA</b>		Muy Alto	De 31 a 36						<b>23.40</b>
		Alto	De 23 a 30		25	26		24	
		Medio	De 14 a 22	22			20		
		Bajo	De 09 - 13						

Al evaluarse la vulnerabilidad sísmica de cada sector del Centro Histórico de Trujillo, se observa que la puntuación del Sector A es 22, lo que lo coloca dentro del rango del nivel MEDIO (14 – 22) de vulnerabilidad sísmica; el Sector B tiene una puntuación de 25, lo que lo coloca dentro del rango del nivel ALTO (23 – 30) de vulnerabilidad sísmica; el Sector C tiene una puntuación de 26, lo que lo coloca dentro del rango del nivel ALTO (23 – 30) de vulnerabilidad sísmica; el Sector D tiene una puntuación de 20, lo que lo coloca dentro del rango del nivel MEDIO (14 – 22) de vulnerabilidad sísmica y el Sector E tiene una puntuación de 24, lo que lo coloca dentro del rango del nivel ALTO (23 – 30).

Se infiere de esta manera que, la media o tendencia con respecto al nivel de vulnerabilidad sísmica en el Centro Histórico de Trujillo tiene una puntuación de 23.40, lo que lo coloca dentro del rango del nivel ALTO (23 – 30).

### 3.3. Riesgo Sísmico

Una vez obtenidos los resultados del Peligro Sísmico y Vulnerabilidad Sísmica, se obtiene el Riesgo Sísmico para cada uno de los sectores del Centro Histórico de Trujillo al utilizar el CUADRO 2.

### CUADRO 5

Riesgo Sísmico en el Sector A del Centro Histórico de Trujillo

		VULNERABILIDAD SÍSMICA			
		Muy alto	Alto	Medio	Bajo
PELIGRO SÍSMICO	Alto	MUY ALTO	MUY ALTO	MUY ALTO	ALTO
	Medio	MUY ALTO	MUY ALTO	ALTO	MEDIO
	Bajo	MUY ALTO	ALTO	MEDIO	BAJO
		RIESGO SÍSMICO			

El Peligro Sísmico obtenido en el Centro Histórico de Trujillo tiene un nivel medio, y la Vulnerabilidad Sísmica presente en las edificaciones del Sector A (Instituciones Educativas) del Centro Histórico de Trujillo, también tiene un nivel medio, por lo que al usar el Cuadro 2, se obtiene que, al cruzar ambos niveles, el Riesgo Sísmico en el Sector A del Centro Histórico de Trujillo tiene nivel **ALTO**, y esto se observa en el Cuadro 5.

### CUADRO 6

Riesgo Sísmico en el Sector B del Centro Histórico de Trujillo

		VULNERABILIDAD SÍSMICA			
		Muy alto	Alto	Medio	Bajo
PELIGRO SÍSMICO	Alto	MUY ALTO	MUY ALTO	MUY ALTO	ALTO
	Medio	MUY ALTO	MUY ALTO	ALTO	MEDIO
	Bajo	MUY ALTO	ALTO	MEDIO	BAJO
		RIESGO SÍSMICO			

El Peligro Sísmico obtenido en el Centro Histórico de Trujillo tiene un nivel medio, mientras que la Vulnerabilidad Sísmica presente en las edificaciones del Sector B (Centros de Salud) del Centro Histórico de Trujillo, tiene un nivel alto, por lo que al usar el Cuadro 2, se obtiene que, al cruzar ambos niveles, el Riesgo Sísmico en el Sector B del Centro Histórico de Trujillo tiene nivel **MUY ALTO**, y esto se observa en el Cuadro 6.

**CUADRO 7**

Riesgo Sísmico en el Sector C del Centro Histórico de Trujillo

		<b>VULNERABILIDAD SÍSMICA</b>			
		<b>Muy alto</b>	<b>Alto</b>	<b>Medio</b>	<b>Bajo</b>
<b>PELIGRO SÍSMICO</b>	<b>Alto</b>	<b>MUY ALTO</b>	<b>MUY ALTO</b>	<b>MUY ALTO</b>	<b>ALTO</b>
	<b>Medio</b>	<b>MUY ALTO</b>	<b>MUY ALTO</b>	<b>ALTO</b>	<b>MEDIO</b>
	<b>Bajo</b>	<b>MUY ALTO</b>	<b>ALTO</b>	<b>MEDIO</b>	<b>BAJO</b>
		<b>RIESGO SÍSMICO</b>			

El Peligro Sísmico obtenido en el Centro Histórico de Trujillo tiene un nivel medio, mientras que la Vulnerabilidad Sísmica presente en las edificaciones del Sector C (Casonas Coloniales) del Centro Histórico de Trujillo, tiene un nivel alto, por lo que al usar el Cuadro 2, se obtiene que, al cruzar ambos niveles, el Riesgo Sísmico en el Sector C del Centro Histórico de Trujillo tiene nivel **MUY ALTO**, y esto se observa en el Cuadro 7.

### CUADRO 8

Riesgo Sísmico en el Sector D del Centro Histórico de Trujillo

		VULNERABILIDAD SÍSMICA				
			Muy alto	Alto	Medio	Bajo
PELIGRO SÍSMICO	Alto		MUY ALTO	MUY ALTO	MUY ALTO	ALTO
	Medio		MUY ALTO	MUY ALTO	ALTO	MEDIO
	Bajo		MUY ALTO	ALTO	MEDIO	BAJO
		RIESGO SÍSMICO				

El Peligro Sísmico obtenido en el Centro Histórico de Trujillo tiene un nivel medio, y la Vulnerabilidad Sísmica presente en las edificaciones del Sector D (Centros Comerciales y de Esparcimiento) del Centro Histórico de Trujillo, también tiene un nivel medio, por lo que al usar el Cuadro 2, se obtiene que, al cruzar ambos niveles, el Riesgo Sísmico en el Sector D del Centro Histórico de Trujillo tiene nivel **ALTO**, y esto se observa en el Cuadro 8.

### CUADRO 9

Riesgo Sísmico en el Sector E del Centro Histórico de Trujillo

		VULNERABILIDAD SÍSMICA				
			Muy alto	Alto	Medio	Bajo
PELIGRO SÍSMICO	Alto		MUY ALTO	MUY ALTO	MUY ALTO	ALTO
	Medio		MUY ALTO	MUY ALTO	ALTO	MEDIO
	Bajo		MUY ALTO	ALTO	MEDIO	BAJO
		RIESGO SÍSMICO				

El Peligro Sísmico obtenido en el Centro Histórico de Trujillo tiene un nivel medio, mientras que la Vulnerabilidad Sísmica presente en las edificaciones del Sector E (Centros Culturales) del Centro Histórico de Trujillo, tiene un nivel medio, por lo que al usar el Cuadro 2, se obtiene que, al cruzar ambos niveles, el Riesgo Sísmico en el Sector E del Centro Histórico de Trujillo tiene nivel **MUY ALTO**, y esto se observa en el Cuadro 9.

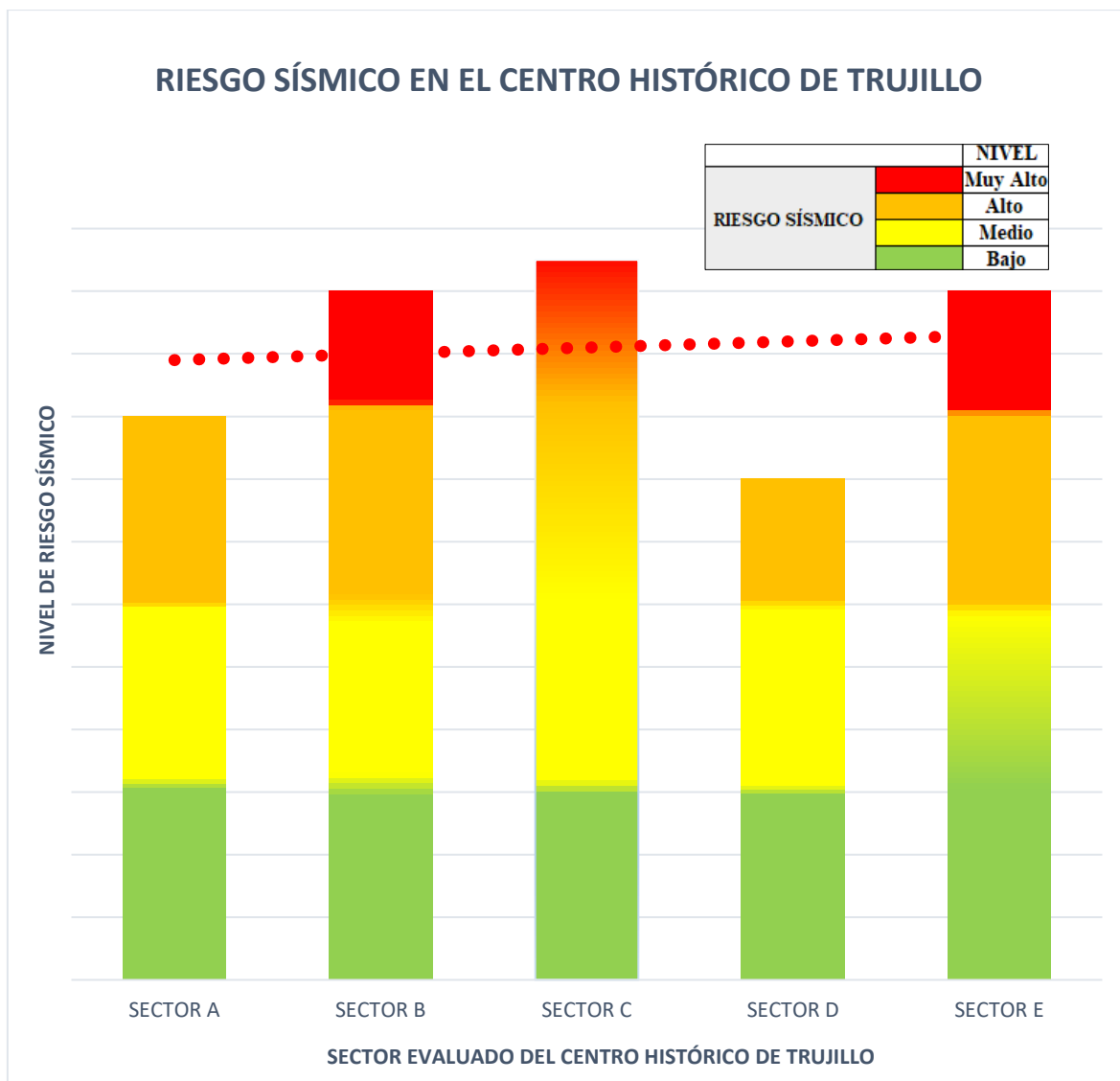
### CUADRO 10

Riesgo Sísmico en el Centro Histórico de Trujillo

		VULNERABILIDAD SÍSMICA			
		Muy alto	Alto	Medio	Bajo
PELIGRO SÍSMICO	Alto	MUY ALTO	MUY ALTO	MUY ALTO	ALTO
	Medio	MUY ALTO	MUY ALTO	ALTO	MEDIO
	Bajo	MUY ALTO	ALTO	MEDIO	BAJO
		RIESGO SÍSMICO			

El Peligro Sísmico obtenido en el Centro Histórico de Trujillo tiene un nivel medio, mientras que la Vulnerabilidad Sísmica presente de forma media o de tendencia en las edificaciones del Centro Histórico de Trujillo, tiene un nivel alto, por lo que al usar el Cuadro 2, se obtiene que, al cruzar ambos niveles, el Riesgo Sísmico en el del Centro Histórico de Trujillo tiene nivel **MUY ALTO**, y esto se observa en el Cuadro 9.

El resultado del Riesgo Sísmico del Centro Histórico de Trujillo, puede ser observado también en la siguiente figura:



**FIGURA 39**

Riesgo Sísmico en los sectores del Centro Histórico de Trujillo

En la figura 39, se observa el nivel del Riesgo Sísmico en los sectores evaluados del Centro Histórico de Trujillo; tal y como se determinó anteriormente, en 2 de ellos (Sector A: Instituciones Educativas, y Sector D: Centros Comerciales y de Esparcimiento), el Riesgo Sísmico es ALTO, mientras que en los otros 3 sectores evaluados (Sector B: Centros de Salud, Sector C: Casonas Coloniales, Sector E: Centros Culturales: Centros Culturales), el Riesgo Sísmico es MUY ALTO.

Al trazarse una línea de tendencia o media sobre el Riesgo Sísmico en el Centro Histórico de Trujillo, se deduce que el nivel sería **MUY ALTO**.

#### IV. DISCUSIÓN

- La investigación realizada por Palomino y Tamayo (2016): “Evaluación Probabilista del Riesgo Sísmico de Hospitales en Lima con Plataforma CAPRA”, determinó el riesgo sísmico en los hospitales de Lima en términos de pérdidas económicas probables y los resultados fueron de un 26%; contrastándolo con los resultados de esta investigación, uno de los 5 sectores analizados fue el Sector correspondiente a los Centros de Salud, donde el riesgo sísmico obtenido fue MUY ALTO, y este resultado afirma que los daños a inmuebles y muertes serían superior al 75%.
- La investigación de Castro (2015): “Vulnerabilidad Sísmica del Centro Histórico de la Ciudad de Jauja – Junín”, utilizó la misma metodología para recolectar datos sobre el peligro sísmico y vulnerabilidad sísmica de las edificaciones, que esta investigación. Sus resultados arrojaron que el riesgo sísmico era alto puesto que las edificaciones presentaban un alto índice de vulnerabilidad debido a que son en su mayoría de adobe y pocas de ellas tienen un sistema estructural, contrastándolo con los resultados de esa investigación se puede concluir con lo mismo, puesto que la figura 25 afirma que la mayoría de las edificaciones en centro histórico están hechas de adobe y la figura 26 confirma que estas edificaciones no se han diseñado bajo un sistema estructural definido, tienen un diseño rústico.
- La investigación de Becerra (2015) “Riesgo Sísmico de las edificaciones en la Urbanización Horacio Zevallos de Cajamarca - 2015” evaluó 20 viviendas para conocer la vulnerabilidad sísmica, mientras que para conocer el peligro sísmico recolectó información a través de una microzonificación. Los resultados se contrastan con los de esta investigación, obteniendo una vulnerabilidad sísmica alta en ambas, puesto que, si tomamos en cuenta las características de las viviendas tanto en Centro Histórico de Trujillo, como en las de la investigación de Becerra, no cuentan con un diseño estructural o el material con el que están hechas es malo; el peligro sísmico es variable, de ser medio en esta investigación a alto en la de Becerra, es razonable el cambio, puesto que, el peligro sísmico varía según la zona; finalmente, ambas investigaciones llegan al mismo resultado al obtener un Riesgo Sísmico de nivel MUY ALTO.

- La investigación de Laucata (2013) “Análisis de la Vulnerabilidad Sísmica de las Viviendas Informales en la ciudad de Trujillo”, obtuvo como resultado que las viviendas informales de Trujillo tienen un alto nivel de vulnerabilidad, lo que incrementaría en alguna medida el riesgo sísmico, al contrastar con los resultados de esta investigación se observa que el nivel de vulnerabilidad en el Centro Histórico de Trujillo es Alto, y justamente allí se encuentran gran parte de las viviendas informales o de mayor antigüedad de Trujillo.
  
- La investigación de Astorga y Aguilar (2006): “Evaluación del riesgo sísmico de edificaciones educativas peruanas”, determinó a través de un análisis de las instituciones educativas del Perú antes y después de 1997 cuyos materiales de construcción fueron desde adobe hasta concreto, obteniéndose que el riesgo sísmico sería mayor a 60% en términos económicos; y al contrastar con los resultados de esta investigación, se observa que se analizó el Sector que evaluó las instituciones educativas en el Centro Histórico de Trujillo, obteniéndose como resultado un riesgo sísmico ALTO, lo que ocasionarían grandes daños estructurales y una semejanza en porcentaje de daño en términos económicos, ya que al observar el cuadro 1 para un riesgo sísmico alto se tendrían pérdidas económicas y muertes mayores al 50% .
  
- La investigación de Mosqueira y Tarque (2005): “Recomendaciones Técnicas para Mejorar la Seguridad Sísmica de Viviendas de Albañilería Confinada de la Costa Peruana”, analizó el riesgo sísmico en 270 viviendas de 5 ciudades de la costa del Perú; y justamente, una de esas ciudades fue Trujillo. Se obtuvo un Riesgo Sísmico ALTO, lo cual es contrastable con los resultados de esta investigación que, tras analizar diversas zonas del Centro Histórico de Trujillo, se obtuvo un riesgo sísmico ALTO en algunos sectores, mientras que en otros fue MUY ALTO. La investigación de Mosqueira y Tarque recomienda una cartilla de construcción y mantenimiento para las viviendas analizadas, lo cual es una alternativa técnica para mejorar la condición actual de las edificaciones y de esta forma disminuir el riesgo sísmico presente; aplicar esta medida al Centro Histórico de Trujillo es viable, y a la vez sí se viene realizando ese trabajo, puesto que, muchas de las edificaciones de la zona son antiguas o incluso de la época colonial, y se mantienen en pie aún gracias a un trabajo de mantenimiento y remodelación que permite alargar el tiempo de vida de estas edificaciones.



## V. CONCLUSIONES

- Se analizó y determinó el Riesgo Sísmico en las edificaciones del Centro Histórico de la ciudad de Trujillo – La Libertad, teniendo un nivel MUY ALTO, lo cual según lo establecido en el cuadro 1, este riesgo es muy elevado, las edificaciones ante un gran sismo colapsarían y, en términos económicos y de muerte los daños serían superior al 75%.
- Para el análisis del riesgo sísmico, se sectorizó el Centro Histórico de Trujillo en 5 sectores, de los cuales se obtuvo las siguientes conclusiones:
  - Sector A: Instituciones Educativas → el Riesgo Sísmico encontrado es ALTO, lo que según el cuadro 1, el riesgo es elevado, las edificaciones ante un gran sismo tendrían daños graves y comprometerían su estabilidad, mientras que los daños económicos y las muertes serían superior al 50%.
  - Sector B: Centros de Salud → el Riesgo Sísmico encontrado es MUY ALTO, lo que según el cuadro 1, el riesgo es muy elevado, las edificaciones ante un gran sismo colapsarían y, las pérdidas económicas y muertes serían superior al 75%.
  - Sector C: Casonas Coloniales → el Riesgo Sísmico encontrado es MUY ALTO, lo que según el cuadro 1, el riesgo es muy elevado, las edificaciones ante un gran sismo colapsarían y, las pérdidas económicas y muertes serían superior al 75%.
  - Sector D: Centros Comerciales y de Esparcimiento → el Riesgo Sísmico encontrado es ALTO, lo que según el cuadro 1, el riesgo es elevado, las edificaciones ante un gran sismo tendrían daños graves y comprometerían su estabilidad, mientras que los daños económicos y las muertes serían superior al 50%.
  - Sector E: Centros Culturales → el Riesgo Sísmico encontrado es MUY ALTO, lo que según el cuadro 1, el riesgo es muy elevado, las edificaciones ante un gran sismo colapsarían y, las pérdidas económicas y muertes serían superior al 75%.
- El Peligro Sísmico existente el Centro Histórico de Trujillo tras aplicar la ficha técnica del Peligro Sísmico, en términos contables tuvo una puntuación de 10, lo que lo ubica dentro del rango de 8 – 12, el cual corresponde al nivel Medio de Peligro Sísmico.
- La vulnerabilidad sísmica general o media encontrada en las edificaciones del Centro Histórico de Trujillo es ALTA, pues en términos contables, la puntuación de análisis obtenida fue 23.40, lo que lo ubica dentro del rango de 23 – 30, el cual corresponde al nivel alto de vulnerabilidad sísmica en esta investigación.

Puesto que, se sectorizó el Centro Histórico en 5 zonas, se obtuvieron también las siguientes conclusiones:

Sector A: Instituciones Educativas → La puntuación del análisis obtenida fue 22, lo que lo ubica dentro del rango de 14 – 22, el cual corresponde al nivel medio de vulnerabilidad sísmica en esta investigación.

Sector B: Centros de Salud → La puntuación del análisis obtenida fue 25, lo que lo ubica dentro del rango de 23 – 30, el cual corresponde al nivel alto de vulnerabilidad sísmica en esta investigación.

Sector C: Casonas Coloniales → La puntuación del análisis obtenida fue 26, lo que lo ubica dentro del rango de 23 – 30, el cual corresponde al nivel alto de vulnerabilidad sísmica en esta investigación.

Sector D: Centros Comerciales y de Esparcimiento → La puntuación del análisis obtenida fue 20, lo que lo ubica dentro del rango de 14 – 22, el cual corresponde al nivel medio de vulnerabilidad sísmica en esta investigación.

Sector E: Centros Culturales → La puntuación del análisis obtenida fue 24, lo que lo ubica dentro del rango de 23 – 30, el cual corresponde al nivel alto de vulnerabilidad sísmica en esta investigación.

- El estudio de la mecánica de suelos del Centro Histórico de Trujillo se realizó con la recopilación de información de EMS de proyectos pasados en la zona, obteniéndose un suelo de las siguientes características:

Un perfil uniforme siendo la primera capa material de relleno, formado por arena limosa, pedazos de ladrillo y pajas sueltas, esto se encuentra hasta los 2 metros de profundidad. De 2 a 7 m de profundidad el suelo tiene características de una arena fina con algo de limo, es decir, un SP – SM, una arena pobremente graduada, con pequeñas cantidades de limo y arcilla, de color amarillento. Y de 7 a 11 m de profundidad, el suelo encontrado tiene características propias de una arena fina con limo inorgánico no plástico, pero fuertemente cimentada, es decir un SM.

El suelo del Centro Histórico de Trujillo tiene una resistencia o capacidad portante de terreno no superior a  $1\text{Kg}/\text{cm}^2$ .

## **VI. RECOMENDACIONES**

- El Riesgo Sísmico encontrado en el Centro Histórico de Trujillo es Muy Alto, por lo que se debe aplicar medidas correctivas para evitar un posible daño catastrófico ante un eventual sismo de gran magnitud.
- Casi en su totalidad, las edificaciones del centro Histórico sobrepasan los 50 años de antigüedad, incluso existen edificaciones de la época colonial, por lo que, para disminuir en alguna medida la vulnerabilidad sísmica de estas estructuras, es necesario realizar remodelamientos con asesoría técnica al momento de realizar dichos trabajos.
- El material predominante de construcción es el adobe, siendo éste un material de alto nivel de vulnerabilidad sísmica. Aquellas estructuras construidas con este material deben ser remodeladas usando concreto y utilizando un sistema estructural para evitar daños fatales ante sismos.
- El Peligro Sísmico es un factor propio e inherente de la zona, por lo que al momento de construir se deben aplicar técnicas que disminuyan en alguna manera el riesgo sísmico. Al conocer las características propias de la zona, como: mecánica de suelos, sismicidad histórica, topografía, entre otros, condicionan la forma de diseñar y construir edificaciones.
- Los daños ante un eventual sismo de gran magnitud según el riesgo sísmico del Centro Histórico serán mayores al 75%, tanto económicamente como en pérdidas mortales. Una de las formas de disminuir las pérdidas de vida, es enseñando una cultura de seguridad ante sismos a la población, pues muchas veces ante un sismo, los daños estructurales no son el máximo causante de las pérdidas de vida, sino que también, las mismas acciones de las personas ante este sismo, ocasionan su propia muerte; por lo que educarlos a través de simulacros y conformación de brigadas sería una medida de mitigación.
- El diseño antisísmico de las estructuras disminuiría en gran medida el riesgo sísmico, pues mediante el uso de aisladores sísmicos se minimizan los efectos del sismo. A pesar de que es muy difícil que se aplique, es importante que se realice sobre todo en las edificaciones del Sector B del Centro Histórico, el cual corresponde a los Centros de Salud, pues estos deben seguir funcionando operativamente luego del paso de un sismo.

## VII. REFERENCIAS

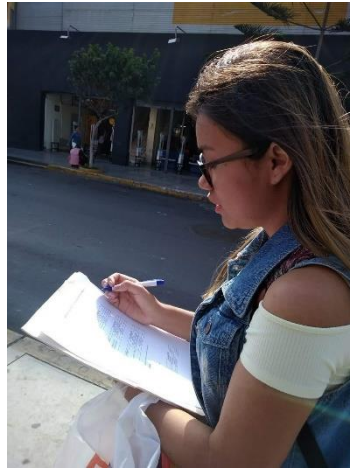
- ABANTO VALDIVIA, Sarita / CARDENAS CRUZ, Deysi. Determinación de la vulnerabilidad sísmica aplicando el método de Benedetti – Petrini en las instituciones educativas del centro histórico de Trujillo, provincia de Trujillo, Región la Libertad. Trujillo. 2015.
- ALARCÓN PRESENTACIÓN, Silvia. Vulnerabilidad Sísmica del Distrito de La Molina. Perú: Lima, 2003.
- ALVA, Jorge. Licuación de Suelos en el Perú. Perú: Lima. Agosto 2008.
- ANGUIZOLA, Eberto. Vulnerabilidad Sísmica Estructural Ciudad de David. Ciudad de David, 03 de octubre 2012.
- ASTORGA MENDIZÁBAL, María. Evaluación del riesgo sísmico de edificaciones educativas peruanas. Perú: Lima. Abril 2006.
- BALVÍN MONTALVO, Yenner. Riesgo Sísmico Ciudad de Trujillo. Perú: Trujillo. 12 de junio del 2014.
- BECERRA VÁSQUEZ, Richard. Riesgo sísmico de las edificaciones en la urbanización Horacio Zevallos de Cajamarca - 2015. Cajamarca. 2015.
- CASTRO ORTEGA, Deyvi. Vulnerabilidad Sísmica del Centro Histórico de la Ciudad de Jauja – Junín. Perú: Lima, 2015.
- INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN DESASTRES Y MEDIO AMBIENTE, IIDMA. Mapa de peligros de la ciudad de Trujillo y zonas aledañas. Perú: Trujillo, Julio 2002.
- LAUCATA LUNA, Johan. Análisis de la Vulnerabilidad Sísmica de las Viviendas informales en la ciudad de Trujillo. Perú: Lima. Junio 2013.
- LOZANO Olga. Metodología para el análisis de vulnerabilidad y riesgo ante inundaciones y sismos, de las edificaciones en centros urbanos. Cuzco. 2008.
- MALDONADO RONDÓN Esperanza / CHIO CHO, Gustavo / GÓMEZ ARAUJO, Iván. Índice de vulnerabilidad sísmica en edificaciones de mampostería basado en la opinión de expertos. Colombia, Bogotá. 2007.
- MOSQUEIRA, Miguel. Recomendaciones Técnicas para Mejorar la Seguridad Sísmica de Viviendas de Albañilería Confinada de la Costa Peruana. Perú: Lima. Junio 2005. 19 – 26 p.

- MUNICIPALIDAD METROPOLITANA DE LIMA Y CALLAO. Riesgo Sísmico y medidas de reducción del riesgo en el Centro Histórico de Lima. Perú: Lima. Abril 2011.
- PALOMINO BENDEZÚ, Juan / TAMAYO LY, Rodrigo. Evaluación Probabilística del Riesgo Sísmico de Hospitales en Lima con Plataforma CAPRA. Perú: Lima. Agosto de 2016.
- REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES, E.030 Diseño Sismorresistente. Perú: Lima, 2014.
- RODRIGUEZ PLASENCIA, Edwin. Estudio de Riesgo Sísmico en la localidad de Buenos Aires, Trujillo. Perú: Trujillo. 2015.
- RODRÍGUEZ PLASENCIA, Edwin. Ingeniería Sismorresistente. Perú: Trujillo, 2014.
- UNT / INDECI. Mapa de peligros de la Ciudad de Trujillo y zonas Aledañas. Trujillo. 2002.

## ANEXOS

### ANEXO 1

Aplicando la ficha de Observación



### ANEXO 2

Tipos de Fallas



## ANEXO 2

### LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO



**ANEXO**  
**ESTUDIOS DE SUELOS**



**ANEXO**  
**FICHA TÉCNICA DE PELIGRO SÍSMICO**

**ANEXO**

**FICHA TÉCNICA DE OBSERVACIÓN DE VULNERABILIDAD  
SÍSMICA**

**ANEXO**  
**PLANOS**