

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TRUJILLO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**“bases teóricas para el análisis de la vulnerabilidad sísmica de viviendas  
informales del distrito de moche, trujillo, 2018”**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**  
PARA OPTAR EL GRADO DE BACHILLER

**AUTOR:**

NELSON IVÁN MEREGILDO LÁZARO

**TRUJILLO – PERÚ**

**2018**



## HOJA DE FIRMAS

---

Mg. Ing. Enrique Duran Bazán.

---

Mg. Ing. Josualdo Villar Quiroz.



INDICE

RESUMEN .....	iv
I. INTRODUCCIÓN.....	6
1.1. Delimitación del Problema.....	8
1.2. Justificación.....	9
1.3. Objetivos .....	10
1.3.1. Objetivo General.....	10
1.3.2. Objetivos Específicos .....	10
1.4. Procedimientos metodológicos seguidos. ....	10
II. RESULTADOS RESPECTO A LOS ANTECEDENTES .....	11
2.1. Viviendas Informales en el Perú .....	15
2.2. Definición de Términos Básicos .....	36
2.3. Procedimiento seguido para evaluar la vulnerabilidad sísmica .....	37
2.3.1. Recolección de datos para el desarrollo de Análisis de Vulnerabilidad.....	37
2.3.2. Instrumentos de recolección de datos.....	37
2.3.3. Validación del instrumento de recolección de Información .....	38
2.3.4. Procedimiento de recolección de datos .....	38
2.3.5. Procedimiento de Análisis de datos.....	43
<i>Fuente: Mosqueira y Tarquez (2005)</i> .....	52
III. CONCLUSIONES .....	53
IV. REFERENCIAS.....	54
➤ Alonso, J. (2014). Vulnerabilidad Sísmica de Edificaciones. Caracas.....	54
V. ANEXOS .....	56
FICHA DE REGISTRO DE DATOS N° 01 .....	56
REVISIÓN DE LAS PUBLICACIONES REFERIDAS AL TEMA.....	56



## RESUMEN

La presente investigación desarrolló el análisis de la vulnerabilidad sísmica de viviendas informales conformadas por sistema de albañilería confinada en el distrito de Moche, provincia de Trujillo. El distrito de Moche ha crecido considerablemente en los últimos años, existiendo una gran cantidad de viviendas informales que sus propietarios las construyeron sin ninguna asesoría profesional, entonces la presente investigación se realizó con la finalidad de determinar qué tan vulnerables son estas viviendas ante un evento sísmico, basando en las normas como la E-030 de diseño Sismorresistente y la E-070 de albañilería confinada.

En esta investigación se realizó la recolección de teorías de diferentes autores, para poder aclarar algunos aspectos, definiendo el desarrollo de las teorías de análisis de vulnerabilidad sísmica de viviendas informales ante un evento sísmico.

En cuanto a los resultados se concluyó la información de publicaciones de tesis y libros fueron fuente para establecer las bases teóricas referente al tema de análisis de vulnerabilidad sísmica de viviendas informales con la finalidad de determinar qué tan vulnerables son estas ante un evento sísmico, basado en modosos para evaluar la vulnerabilidad sísmica, lo cual se aplicará en el informe de tesis.

### **Palabra Clave:**

Bases Teóricas, análisis, vulnerabilidad sísmica, viviendas informales.



## ABSTRACT

The present investigation developed the analysis of the seismic vulnerability of informal dwellings conformed by masonry system confined in the district of Moche, province of Trujillo. The Moche district has grown considerably in recent years, there is a large number of informal homes that their owners built without any professional advice, so this research was conducted in order to determine how vulnerable these houses are to a seismic event, basing on standards such as the E-030 of seismoresistente design and the E-070 of confined masonry.

In this research, the theories of different authors were collected, in order to clarify some aspects, defining the development of the seismic vulnerability analysis theories of informal dwellings before a seismic event.

Regarding the results, the information of publications of theses and books was finalized and they were the source to establish the theoretical bases referring to the subject of analysis of seismic vulnerability of informal dwellings with the purpose of determining how vulnerable they are to a seismic event, based on modes to assess seismic vulnerability, which will be applied in the thesis report.

### **Keyword:**

Theoretical Bases, analysis, seismic vulnerability, informal housing.

## I. INTRODUCCIÓN

Con el análisis de vulnerabilidad sísmica de las viviendas del distrito de Moche, se quiere determinar la clasificación de las viviendas informales en vulnerabilidad baja, vulnerabilidad media y vulnerabilidad alta, para poder estimar el grado de riesgo que se encuentran las viviendas.

El problema de las viviendas informales del distrito de Moche se debe a la autoconstrucción o también denominada construcciones informales, el cual son realizadas directamente por sus propios usuarios sin la asesoría técnica profesional adecuada, ni con los materiales de calidad idóneos para tal fin, lo que constituye en su mayoría viviendas de alta vulnerabilidad sísmica, generando un riesgo a los residentes de estas viviendas.

En la actualidad, la autoconstrucción sigue siendo una actividad muy practicada en el país por parte de personas que no cuentan con un correcto criterio de diseño ni una adecuada preparación técnica. Las construcciones de viviendas deben realizarse por un profesional (Arquitecto y/o Ingeniero Civil), para que supervise la calidad tanto de la mano de obra como de los materiales empleados.

El nivel socio-económico de la población hace que los mismos propietarios de la vivienda se vean en la necesidad de practicar esta actividad o en su defecto contratar una mano de obra barata de un albañil, para construir sus viviendas, evitándose así contar con el servicio de un profesional más capacitado. Las viviendas se construyen de acuerdo a las posibilidades económicas del propietario de la vivienda.

En el departamento de La Libertad la tasa de crecimiento promedio anual según el último censo realizado en el año 2007 por el INEI fue de 1.7%, y una estimación realizada para el quinquenio 2010-2015 obtuvo un valor de 1.3%. Si bien es cierto el crecimiento poblacional ha disminuido con respecto a años anteriores, esto no quita el hecho de que la población igual sigue aumentando. Es por ello que el crecimiento anual de la población es otro factor ligado a la autoconstrucción, ya que origina un incremento en la demanda de viviendas para las nuevas familias que se van formando.

La planificación Urbana es un factor importante en las construcciones de viviendas, cuyo ente regulador son las municipalidades, ya que es cotidiano ver que estas entidades

autorizan la construcción de estas edificaciones, sin realizar un riguroso control para ello y otras veces las entidades tienen un gran desconocimiento de dichas construcciones, debido a que esta actividad es realizada en invasiones de terreno (construcciones informales).

La calidad de los materiales también es un factor que interviene en la autoconstrucción, ya que para la realización de esta actividad se cuenta con materiales de una calidad de regular a deficiente. El almacenamiento de estos materiales en la mayoría de las veces es inadecuado, como por ejemplo el cemento es expuesto a la humedad natural del lugar, igualmente las varillas de fierro. Lo que conlleva a la obtención de elementos estructurales pocos resistentes.

La finalidad del desarrollo de la investigación tiene los siguientes objetivos:

- Identificar la información selectiva de bibliografías para realizar un mejor análisis de la vulnerabilidad sísmica de viviendas informales.
- Determinar los procesos típicos de las Construcciones Informales.
- Evaluación viviendas informales ante un sismo; Definir sismo: clasificación, causas y características.
- Determinar definiciones de vulnerabilidad Sísmica: tipos de vulnerabilidad, factores que influyen a la vulnerabilidad estructural, métodos para evaluar la vulnerabilidad sísmica.

El desarrollo de investigación no experimental tipo descriptiva se ha dividido en cinco capítulos:

Capítulo I; se hace mención a la introducción general, en donde se describe, Delimitación del problema, rusticación del tema, objetivos, procedimientos metodológicos.

Capítulo II; Resultado respecto a los antecedentes, se informa la bibliografía de varias tesis como referencia al tema de investigación.

Capitulo III; Conclusión, se da conocimiento resultado de la investigación.

En la parte final de la investigación, el capítulo IV y V; muestra las referencias bibliográficas y se adjunta los anexos.



### 1.1. Delimitación del Problema.

En esta investigación, se quiere determinar la vulnerabilidad sísmica de las viviendas informales en el distrito de Moche que por lo general se debe a la autoconstrucción o también denominada construcciones informales, el cual son realizadas directamente por sus propios usuarios sin la asesoría técnica profesional adecuada, ni con los materiales de calidad idóneos para tal fin, lo que constituye en su mayoría viviendas de alta vulnerabilidad sísmica, generando un riesgo a los residentes de estas viviendas. Por ello es fundamental para la investigación determinar las teorías en base a los estudios de vulnerabilidad sísmica, el cual analice todo lo que concierne a la vivienda como errores arquitectónicos, análisis estructural y procesos constructivos de las viviendas construidas informalmente ya que las construcciones de viviendas en el distrito de Moche, se puede observar que la mayoría carecen de diseño arquitectónico, estructural y usan materiales de construcción de mala calidad. Además, las viviendas son construidas por pobladores de la misma zona, quienes no poseen los conocimientos necesarios para una buena práctica constructiva.

Actualmente el distrito de Moche no presenta alguna investigación sobre vulnerabilidad sísmica de sus viviendas en todo el distrito, la consecuencia principal de no hacer esta investigación y al no tener hecha otro tipo de investigación parecida es que las autoridades y la población del distrito no tomarán consciencia de lo grave que es permitir la construcción de viviendas informales, ya que al no tener los criterios técnicos, estas sufrirán grandes daños tanto las viviendas como sus habitantes durante la presencia de algún evento sísmico considerable. Otra consecuencia sería las grandes pérdidas económicas que se producirán si las personas del distrito siguen construyendo pisos superiores en sus viviendas de manera informal sin los conocimientos técnicos para tener una vivienda segura al no saber lo vulnerable que son sus viviendas; ya tenemos un claro ejemplo con los huaicos producidos en el 2017 en la ciudad de Trujillo y de algunos distritos donde sus viviendas colapsaron por acción del agua frente a viviendas deficientes dejando en total desamparo de sus habitantes que lo perdieron casi todo. Entonces surge la interrogante ¿Cuál es el análisis de la vulnerabilidad sísmica de las viviendas construidas informalmente?



## 1.2. Justificación

Esta investigación se justifica en determinar el grado de vulnerabilidad de las viviendas informales de albañilería confinada en Moche ya que en la actualidad hay un alto índice de viviendas informales en el Distrito y en el País. Con el estudio que se realiza en esta presente investigación, se beneficiarán indirectamente los habitantes del distrito de Moche y la Municipalidad Distrital de Moche, conociendo en que calidad de viviendas están viviendo y qué pasaría con ellas ante un evento sísmico.

Esta investigación nace con la necesidad de brindar información sobre la vulnerabilidad Sísmica distrito, y así poder determinar el nivel de daño que presentaran los elementos estructurales en las viviendas que han seguido el proceso de la autoconstrucción, considerando además de que el lugar de estudio de la investigación está ubicado en la costa Peruana, zona catalogada de alta sismicidad de acuerdo a la Norma E030 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

La realización de esta investigación nos dará a conocer la influencia negativa que tiene el proceso de la autoconstrucción en las viviendas, debido a que esta mala praxis es realizada sin ningún asesoramiento profesional, otorgándonos como producto final una edificación vulnerable ante la ocurrencia de un sismo.

Esta investigación es de gran importancia porque se enfoca en evaluar la vulnerabilidad sísmica de las viviendas informales, donde todos los pobladores confían indirectamente sus vidas a estas construcciones ante cualquier tipo de fenómeno, en especial el de un sismo. La fortaleza de este proyecto de investigación es que busca tomar conciencia de la población y de las autoridades en que se debe mejorar todo lo referido a construir una vivienda para evitar pérdidas económicas y humanas.

En el desarrollo de esta investigación, se encontrará metodologías de la evaluación de las vulnerabilidades sísmicas de una vivienda de albañilería confinada; donde serán útiles para los futuros lectores de esta investigación en la búsqueda de información y evaluación de la vulnerabilidad. Los resultados obtenidos al final de esta investigación servirán para incrementar los estudios anteriormente realizados

sobre la vulnerabilidad sísmica en el país. La presente investigación también contribuirá a los futuros investigadores como un trabajo de investigación precedente el cual puede ser complementado, determinando el peligro sísmico y el riesgo sísmico del distrito en estudio, así como realizar un plan de mitigación de desastres.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo General**

- Determinar los conceptos de investigación para el Análisis de Vulnerabilidad sísmica de viviendas informales.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Describir el proceso más óptimo para el Análisis de vulnerabilidad sísmica de viviendas informales.
- Describir los procesos típicos de las Construcciones informales.
- Evolución de viviendas informales ante un sismo: Definir sismo: clasificación, causas y características.
- Determinar definiciones de vulnerabilidad sísmica: identificar tipos de vulnerabilidad sísmica, factores que influyen en la vulnerabilidad estructural, métodos para evaluar la vulnerabilidad sísmica.

### **1.4. Procedimientos metodológicos seguidos.**

Técnica, instrumento y validación:

#### **a. Técnica de recolección de datos:**

La técnica de recolección de datos es la revisión y el análisis de contenido de información para el análisis de vulnerabilidad sísmica de viviendas informales, está basada en diversas bibliografías, normas vigentes y la información difundida por diversos autores.

**b. Instrumento.**

El instrumento de recolección de datos es la matriz de datos, donde se consigna la información obtenida de la revisión de las publicaciones referidas al tema.

**c. Validación del Instrumento de recolección:**

Una de las fuentes de información son las publicaciones de Monografías de Caicedo, C., Barbat, A., Canas, J., & Aguiar, R. (1994). Vulnerabilidad Sísmica de Edificios. España: A.H. Barbat.

Toda esta fuente de información nos sirve como bases teóricas para el tema de análisis de la Vulnerabilidad Sísmica de Viviendas Informales.

## II. RESULTADOS RESPECTO A LOS ANTECEDENTES

- **“Evaluación del grado de Vulnerabilidad Sísmica Estructural en edificaciones conformadas por sistemas aporticados y de albañilería confinada en el sector de La Esperanza parte baja – Trujillo. 2014”**

(Quiroz & Vidal, 2014), Evaluar el grado de Vulnerabilidad Sísmica Estructural en edificaciones conformadas por sistemas estructurales aporticados y de albañilería confinada en el sector de La Esperanza parte baja – Trujillo, Se ejecutó con la aplicación de una encuesta a un aproximado de 300 edificaciones entre uso común y especial, recaudando información desde 1970 hasta el 2014 de las viviendas, para posteriormente procesar los datos y obtener las características de los elementos estructurales, de los materiales y de las condiciones de las construcciones, Registrándose así datos promedios de la densidad de muros, área de terreno y número de columnas generando una modelo de edificación típica, también se encontró que la conformación estructural de las viviendas no puede ser considerado como albañilería confinada debido a la escasa densidad de muros, Se determinó que el grado de vulnerabilidad sísmica estructural en el distrito de La Esperanza es alta en un 75.48%, media en un 11.04% y baja en un 13.67%,

demostrándose que aquellas edificaciones construidas de manera tradicional por autoconstrucción influyen en la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones.

Este Estudio aportara a la presente investigación, para entender cómo repercute el proceso de la autoconstrucción en la vulnerabilidad sísmica de la edificación, considerando que el distrito en estudio está ubicado también en la Provincia de Trujillo, Departamento de La Libertad. Así mismo nos da un alcance de las características de la vivienda a evaluar como son la densidad de muros, el área del terreno, el número de columnas entre otros.

- **“Análisis de la vulnerabilidad sísmica de las Viviendas informales en la ciudad de Trujillo”**

(Laucata, 2013), Evaluar la vulnerabilidad sísmica de unas 30 viviendas informales en Trujillo y Estimar su riesgo sísmico, Para ello se realizaron encuestas en 2 distritos de la ciudad de Trujillo, que se seleccionaron por sus características morfológicas y por la presencia de viviendas informales de albañilería, La información de campo se recolectó en fichas de encuesta, en las que se recopiló datos de ubicación, proceso constructivo, estructuración, y calidad de la construcción y en el trabajo de gabinete se procesó la información en fichas de reporte donde se resume las características técnicas, elaborando un análisis sísmico simplificado por medio de la densidad de muros, determinando la vulnerabilidad y peligro y riesgo sísmico de las viviendas encuestadas, se encontró que los distritos del Porvenir y Víctor Larco Herrera solo un 10% contaron con un asesoramiento técnico tanto en las etapas de diseño y construcción, además se determinó que el 80% de viviendas encuestadas tiene una baja densidad de muros en el sentido paralelo a la fachada, el trabajo de investigación finaliza indicando que los distritos representativos de Trujillo usan construcciones informales en su mayoría lo que con lleva al colapso de las mismas ante la presencia de un sismo severo.

Este trabajo de investigación aportara, para entender el comportamiento sísmico de Trujillo en lugares con presencia de nivel freático como en el caso el distrito de Víctor Larco Herrera, así como el comportamiento sísmico en lugares con incidencia de pendientes cómo el distrito del Porvenir, También nos indicara el

nivel de vulnerabilidad que presenta Trujillo, basándose en estudios de sus distritos más representativos.

- **“Vulnerabilidad, Peligro y Riesgo sísmico en viviendas Autoconstruidas del distrito de Samegua, región Moquegua”**

(Flores R. , 2015), Aportar mediante una base de datos, los errores estructurales y constructivos más incidentes de las viviendas auto-construidas de albañilería, la metodología empleada fue recolectar información de las características arquitectónicas, estructurales y constructivas de 25 viviendas representativas del distrito en fichas de encuesta, para posteriormente procesarlas en fichas de reporte obteniendo la vulnerabilidad, peligro y riesgo sísmico del distrito en estudio, como resultado de la investigación se obtuvo que la vulnerabilidad sísmica es alta en un 56% y media en un 44%, con un peligro sísmico de 100% y un riesgo sísmico con los mismo porcentajes que la vulnerabilidad encontrada. Se encontró de acuerdo a las encuestas realizadas que la mayoría de pobladores y/o albañiles no respetan los recubrimientos mínimos de los refuerzos de acero en las viviendas, esto trae consigo los problemas de corrosión que puede sufrir la estructura, también se encontró que no se realiza un correcto compactado del concreto generando cangrejas.

Este trabajo de investigación aportara información acerca de los errores estructurales y constructivos más comunes que se observaran en las viviendas construidas producto del proceso de la Autoconstrucción luego de realizar las fichas de encuesta en el lugar de estudio y procesarlas en fichas de reporte.

- **“Vulnerabilidad Sísmica del centro histórico de la ciudad de Jauja – Junín”**

(Castro, 2015), contribuir a la reducción de la vulnerabilidad sísmica en la ciudad de Jauja aportando herramientas para la toma de decisiones sobre los criterios de intervención, se utilizó el método de índice de vulnerabilidad que consiste en hacer una calificación de las edificaciones mediante la observación de sus características físicas, apoyándose en cálculos simplificados, identificando los parámetros más relevantes que controlan el daño en los edificios causados por un terremoto, la normalización de vulnerabilidad fue de 24,48%(249 edificaciones) del total de la edificaciones una vulnerabilidad Baja, el 51.13% (520

edificaciones) Vulnerabilidad Media y el restante 24.39% (248 edificaciones) Vulnerabilidad Alta, El método del índice de vulnerabilidad es el adecuado para ser implementado y adoptado en grandes ciudades (aplicación a centros urbanos), debido a que permite evaluar aspectos técnicos de una manera rápida, bastante aproximada y de bajo costo en su aplicación.

Esta investigación aporta una serie de método para poder evaluar la vulnerabilidad sísmica de las viviendas, en esa tesis explica detalladamente cada uno de los métodos y luego explica cuáles son los métodos más precisos y recomendables para poder analizar la vulnerabilidad sísmica, siendo la recomendable el método del índice de vulnerabilidad.

- **“Determinación de la vulnerabilidad en las casas coloniales ubicadas en el barrio de san diego de la ciudad de Cartagena”**

(Barrera, 2015), Determinar la vulnerabilidad estructural cualitativa de las edificaciones de tipología colonial ubicadas en el barrio de San Diego, en el centro histórico de la ciudad de Cartagena, aplicando el método del índice de vulnerabilidad, con el fin de generar recomendaciones que permitan contribuir con el mejoramiento de estas estructuras de gran importancia histórica y cultural para la ciudad de Cartagena, Esta tesis se desarrolló en etapas que permitieron una ejecución adecuada y eficiente. Estas etapas fueron identificadas como a continuación se específica: recopilación de información secundaria, análisis de la información secundaria, recopilación de información primaria, análisis de información primaria, análisis e interpretación de datos obtenidos y luego obtener el informe final, a través del estudio se encontró que dicho barrio presenta un índice de vulnerabilidad de 40.33%, por lo que se caracteriza con una vulnerabilidad alta, es decir, mayor al 35% que es el límite que expone el método, La mayoría de las edificaciones del barrio de San Diego no poseen diafragmas horizontales, esto se debe a que las casas coloniales, es decir las construidas antes de inicios del siglo XIX, no se les construía rígidas, y esto incide en el índice de vulnerabilidad calculado.

En esta presente tesis, Barrera habla sobre un método de investigación cuantifica, que es enfocada a edificaciones consideradas como patrimonio histórico;

entonces, esta información es necesaria ya que en el distrito de Moche hay muchas casas construidas como patrimonios históricos en Trujillo y serán necesarios para tomarlas en cuenta en la investigación.

- **“Características típicas de la vivienda en sectores de población vulnerable en Bogotá”**

(Valvuela, Mena, & García, 2013), Establecer las características típicas de las viviendas construidas en barrios de bajos recursos en Bogotá, La información fue recopilada de varios estudios hechos por instituciones del distrito, la cual brindaba información sobre la vulnerabilidad de predios de algunas zonas de la ciudad y fue complementada por las visitas a campo, se obtuvo que los materiales predominantes en la edificación de las viviendas son: ladrillos de arcilla, acero corrugado, cementos usuales y económicos; además se observó que las viviendas no presentan un sistema estructural definido, puede considerarse una combinación de mampostería simple, confinada o pórticos de concreto. Se concluyó que dentro de las características de la vivienda de sectores vulnerables se encuentran numerosas prácticas deficientes en el proceso constructivo tales como: muros y columnas sin vigas de confinamiento en la base, pórticos improvisados e inadecuados, losas con acero expuesto, soporte de cubiertas hechas con materiales inadecuados.

Este trabajo de investigación contribuirá con darnos un alcance de las características que tiene una vivienda producto de la construcción informal, es decir, una construcción sin asesoramiento técnico, lo cual contribuye a generar edificaciones vulnerables ante la presencia de sismos.

## **2.1. Viviendas Informales en el Perú**

Según Montalvo (2017), Se estima que en Perú se edifican al menos 110 mil nuevas viviendas, de las cuales el 50% son construcciones denominadas informales pues no cuentan con título de propiedad, construyen sin permiso de construcción y son edificadas por maestros de obra autodidactas con material de construcción que no siempre cumple con los estándares nacionales.

### 2.1.1. Proceso Típico de las Construcciones Informales

De acuerdo a Laucata (2013) y Flores (2002):

El poblador con la necesidad de habitar una vivienda, y no cuenta con la capacidad económica de poder contratar los servicios de una persona capacitada para el diseño y construcción de su vivienda, recurre a su propia mano de obra para la construcción de su edificación, usando su tiempo libre para tal fin, y en periodos de tiempos largos y variables. Generalmente el proceso de la autoconstrucción sigue las siguientes etapas:

#### A. Ocupación, lotización, y habitación en viviendas provisionales

Luego de la ocupación del lote, generalmente las familias en su conjunto proceden a realizar los trabajos de nivelación del terreno, luego realizan la demarcación del terreno usando estacas y yeso. Posteriormente tratan de darle una habitabilidad provisional a su vivienda a través de un modelo de vivienda tipo rustica, empleando para ello esteras, piedras, mantas de plástico, maderas u otro tipo de material.



*Figura 1: Nivelación del Lote*

*Fuente: Diagnostico Preliminar de la vulnerabilidad sísmica de las autoconstrucciones en Lima., Flores, R. (2002).*

#### B. Construcción de la cimentación y armado de columnas

Esta etapa inicia con la excavación de zanjas para la cimentación, previo al trazado para dicha actividad. En el armado de columnas se hace necesaria la participación de un especialista o de una persona conocedora de esta actividad, el vaciado se realiza en su gran mayoría con concreto ciclópeo.





*Figura 2: cimentación y armado de columnas*

*Fuente: Análisis de la Vulnerabilidad Sísmica de las Viviendas informales en la ciudad de Trujillo. Laucata, J. (2013).*

### **C. Construcción de muros y llenado de columnas.**

Esta etapa requiere de varias actividades tales como la preparación de morteros, la preparación de concreto simple para el vaciado de columnas, así mismo como el encofrado de las mismas, todo ello con el fin de construir el cerco perimétrico de la vivienda y muros que dividan los ambientes en la edificación. También esta etapa muchas veces involucra la construcción de dinteles y vigas soleras, posterior a ello la etapa culmina con la colocación de un techo provisional que puede ser de diferentes materiales tales como esteras, calaminas, o cañas chancadas con tartas de barro.



*Figura 3: construcción de muros y llenado de columnas*

*Fuente: Análisis de la Vulnerabilidad Sísmica de las Viviendas informales en la ciudad de Trujillo. Laucata, J. (2013).*

#### D. Construcción del Techo

Esta se caracteriza por requerir la mayor inversión económica en el proyecto de la construcción de la vivienda por parte del dueño de la edificación, y esto debido a que se requiere de distintos materiales tales como: cemento, agregados, varillas de acero, tuberías para las instalaciones eléctricas y sanitarias, además de contratar la mano de obra (albañiles). Por su gran inversión que se necesita, a veces los propietarios deciden techar sus viviendas por partes, esto implica realizarlos en diferentes tiempos.



*Figura 4: Encofrado del Techo*

*Fuente: Diagnostico Preliminar de la vulnerabilidad sísmica de las autoconstrucciones en Lima., Flores, R. (2002).*

#### E. Construcción de Muros en el Segundo Piso

Esta etapa incluye el tarrajeo de la fachada y la construcción propia en el segundo nivel. A partir de esta etapa, el ciclo de la autoconstrucción empieza nuevamente en la etapa de construcción de muros y llenado de columnas, hasta llegar a la etapa de la construcción del Techo.



*Figura 5: construcción de muros en el segundo piso*

*Fuente: Análisis de la Vulnerabilidad Sísmica de las Viviendas Informales en la ciudad de Trujillo. Laucata, J. (2013).*

### 2.1.2. Viviendas informales ante un sismo

El terremoto que ha sacudido a Chile nos hizo revivir el horror que soportó Pisco en el 2007 y nos dejó una pregunta flotando en el aire: ¿qué pasará cuando se presente un nuevo terremoto en el país? El decano de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), Jorge Alva Hurtado, refiere que en términos probabilísticos de presentarse un sismo lo hará con una mayor severidad en la costa sur, y un poco menor en la costa centro. Y en Lima, debido a su suelo de grava duro y rígido en la mayor parte de la ciudad, como el que tienen Cercado o los distritos de San Isidro, Miraflores, el daño no sería de gran magnitud. Pero en las zonas periféricas, como Barranco, los Pantanos de Villa de Chorrillos, La Molina o La Punta (Callao), que tienen otras particularidades bajo sus viviendas, habría un grado más alto de daños, justamente por el tipo de suelos que tienen. (Conzuelo, 2010)

Hay otros factores que influyen en la vulnerabilidad de las edificaciones, dice Alva, como son la antigüedad de la vivienda o la naturaleza de la misma. Es decir, aquellas que han sido construidas con adobes e incluso con ladrillos, pero sin cumplir las normas antisísmicas o autoconstruidas sin vigas o columnas, y también aquellas de quincha que han sufrido deterioros por las roturas de sus tuberías. Esa es nuestra gran debilidad en Lima. Lo mismo que aquellos edificios antiguos con instalaciones precarias, sin mantenimiento, como los que hay en el Rímac o La Victoria. Pero también las edificaciones en zonas muy peligrosas como las que se levantan en Lomo de Corvina (Villa El Salvador) u otros arenales, pues allí además de tener un pésimo suelo las construcciones carecen de la colaboración “ingenieril”. (Conzuelo, 2010)

### 2.1.3. El Sismo

#### 2.1.3.1. Definición

**El concepto de sismo es uno de los sinónimos más comunes de la palabra terremoto. Se trata de un fenómeno natural que consiste en un temblor de la corteza terrestre y que está provocado por los**

**desplazamientos internos de la misma, y que es transmitido a grandes distancias en formato de ondas. Podemos describir al sismo como un fenómeno que se produce a partir del movimiento de las placas terrestres y que produce daños de diversa intensidad a los espacios habitados por el ser humano ya que siempre implican cierta destrucción material y peligros a la vida. (Julian, 2010)**

Sismos, temblores y terremotos son términos usuales para referirse a los movimientos de la corteza terrestre, sin embargo, técnicamente hablando, el nombre de sismo es más utilizado (terremoto se refiere a sismos de grandes dimensiones). Los sismos se originan en el interior de la tierra y se propaga por ella en todas direcciones en forma de ondas. Son de corta duración e intensidad variable y son producidos a consecuencia de la liberación repentina de energía. Paradójicamente, poseen un aspecto positivo que es el de proporcionarnos información sobre el interior de nuestro planeta. Actualmente, gracias a la técnica conocida como tomografía sismológica o sísmica, se conoce con gran detalle el interior de nuestro planeta. (Servicio Geológico Mexicano, 2017).

### **2.1.3.2. Clasificación**

**En el mundo hay muchos países con alta actividad sísmica, es por eso que los sismos se clasifican Según Zúñiga (2011), en 4 clases generales, que son las siguientes:**

#### **2.1.3.2.1. Origen**

- **Sismos Naturales: Son aquellos sismos que al generarse llegan a liberar una gran cantidad de energía, causando así un menor daño en la superficie (Zuñiga, 2011)**
- **Sismos Artificiales: Estos son producidos por el hombre a través de explosiones nucleares y convencionales. (Zuñiga, 2011)**

2.1.3.2.2. De acuerdo a su magnitud y daños que causan

- **Microsismos:** Se trata de sismos que no superan los 3.0 de magnitud, y que no ocasionan ningún daño. (Zuñiga, 2011)
- **Sismo Menos:** Son sismos que se mantienen en una escala de 3.0 a 3.9, y que no ocasionan daño, y si lo hacen es muy poco. (Zuñiga, 2011)
- **Sismo Ligero:** Concepto dado a los sismos que se registran en una magnitud de 4.0 a 4.9, y que tienden a generar un daño moderado (Zuñiga, 2011)
- **Sismo Moderado:** Estos se reconocen por mantener una escala entre los 5.0 y los 5.9, y a la vez tienden a producir un daño considerable. (Zuñiga, 2011)
- **Sismo fuerte:** Su magnitud siempre se mantiene entre la escala de 6.0 y 6.9, ocasionando un daño muy severo. (Zuñiga, 2011)
- **Sismo Mayor:** Refiere a los movimientos de tierra que se mantienen en una magnitud de 7.0 y 7.9, y que ocasionan un daño muy amplio y a la vez fuerte. (Zuñiga, 2011)
- **Gran Sismo:** Es el sismo más fuerte, peligroso y el más dañino de todos, este supera la escala de magnitud de los 8.0 grados. (Zuñiga, 2011)

2.1.3.2.3. De acuerdo a su origen

- **Sismo Preliminar:** Son movimientos de gran intensidad que ocurren antes de los terremotos. Estos se generan al liberarse energía del grueso que constituye el escape principal. (Zuñiga, 2011)
- **Preliminar Perimétrico:** Estos siempre ocurren antes de un terremoto perimétrico. Posee una alta intensidad y siempre se originan por procesos espontáneos. (Zuñiga, 2011)
- **Sismo Perimétrico:** Es el tipo de sismo que se crea en el interior de las placas continentales u oceánicas, en el momento en que la profundidad libera energía de la que posee acumulada. Su

hipocentro siempre se encuentra en una de las cavidades de esta estructura. (Zuñiga, 2011)

- **Preliminar Tectónico:** Estos siempre anteceden a los terremotos tectónicos que presentan una alta intensidad. Se originan por procesos espontáneos. (Zuñiga, 2011)
- **Sismos Tectónicos:** Estos sismos se producen por la interacción ocurrida en las placas tectónicas. De estos hay dos tipos: los sismos interplaca, que aparecen cuando se genera en las zonas de contacto una fricción entre las placas; y los sismos de intraplaca, los cuales se generan retirados de los límites de las placas, por el choque de estas. Los sismos de intraplaca tienen mucho menos magnitud, y son menos frecuentes que los sismos de interplaca. (Zuñiga, 2011)
- **Preliminar Volcánico:** Estos aparecen previo a los terremotos volcánicos de alta intensidad. Se desarrollan de procesos espontáneos. (Zuñiga, 2011)
- **Sismos Volcánicos:** Estos sismos aparecen cuando las rocas se fracturan con el movimiento del magma, por lo tanto siempre están acompañados de las erupciones volcánicas. Es un sismo natural donde su magnitud no es tan grande como el sismo tectónico. Estos se originan dentro de un volcán cuando la profundidad de este deja escapar energía por su chimenea. (Zuñiga, 2011)
- **Maremotos:** Refiere a los sismos que se originan en las profundidades del océano por una falla tectónica submarina, o por un punto que varía en dicha placa. Se desarrollan espontáneamente, donde se llega a liberar energía en las profundidades del mar. (Zuñiga, 2011)
- **Sismo de Colapso:** Estos sismos naturales se generan cuando cae el techo de las minas y de las cavernas. Estos casi no se sienten, y se generan próximo a la superficie. (Zuñiga, 2011)



- **Sismos Locales:** Estos sismos solo se llegan a sentir en un espacio muy pequeño, los cuales aparecen por el hundimiento de las cavidades y cavernas subterráneas, causados por problemas de disolución de la sal, y de extractos de yeso. También se originan por el deslizamiento de tierra que se encuentra sobre las capas arcillosas. Este sismo es reconocido como artificial cuando es provocado por el ser humano, debido al colapso o explosiones de galerías durante las explotaciones de minas, también por el almacenamiento de agua en represas, por experimentos nucleares, y por los lagos artificiales. (Zuñiga, 2011)
- **Replicas:** Tienen una intensidad baja y siempre aparecen luego de un sismo que ocasionó un gran daño. Estos siempre se muestran con el escape de energía luego del escape principal, lo que ocasiona leves movimientos de tierra. (Zuñiga, 2011)

#### 2.1.3.2.4. Según el movimiento de la tierra

- **Sismo Oscilatorio:** Refiere a los a los temblores que al generarse propagan sus ondas en diversas direcciones, dando a lugar un movimiento de tierra horizontal. En este tipo de sismo se produce un balanceo dando la sensación a la persona de que la tierra de mueve de un lugar a otro. (Zuñiga, 2011)
- **Sismo Trepidatorios:** Refiere a los sismos que al producirse genera un movimiento vertical, por lo cual las personas sienten que la tierra se mueve de arriba hacia abajo, o viceversa. Este movimiento hace que los objetos sean lanzados al aire. (Zuñiga, 2011)

#### 2.1.3.3. Causas

Cuando una roca se deforma acumula en su interior energía elástica de deformación; si el esfuerzo aplicado es relativamente pequeño la roca se comporta elásticamente, mientras que, si el esfuerzo aplicado es muy

grande producirá deformaciones demasiado grandes, y llega a romper la roca, esta ruptura súbita origina una falla. Un plano de falla (por donde corre la falla) está relativamente libre de esfuerzos por lo que puede desplazarse casi con libertad en ambos lados generando que la roca vuelva a tomar su forma original aproximada de manera nuevamente súbita, este movimiento repentino de grandes masas de roca, produce *ondas sísmicas* que viajan a través y por la superficie de la Tierra, dando lugar a un sismo. El movimiento dependerá del tipo de falla produciendo efectos distintos para distintas direcciones. (Servicio Geológico Mexicano, 2017) En las zonas de subducción es en donde se registran los temblores más profundos. A lo largo de las trincheras generalmente existe una gran cantidad de sismos, delimitando una zona que se conoce como “zona de Benioff”. Las trincheras, en sí, se asocian a una gran cantidad de sismos y volcanes. (Servicio Geológico Mexicano, 2017)

#### 2.1.3.3.1. Zona de Subducción

La placa subducida avanza sin resbalar, la deformación aumenta hasta que los esfuerzos son más grandes que la fricción entre ellas, el contacto se rompe y ambos lados de la ruptura se desplazan (dando lugar a un sismo) permitiendo el avance de las placas; posteriormente, el contacto entre las placas sana y comienzan de nuevo a acumular energía de deformación y el ciclo se repite. La explicación a muchos de los fenómenos sísmicos y volcánicos que han ocurrido en los últimos años es que son consecuencia de Fallas Tectónicas y obviamente del movimiento de las Placas Tectónicas.

Desde al punto de vista geológico, las zonas conocidas como las más activas del mundo en estos términos forman dos grandes alineaciones de miles de kilómetros de longitud y sólo unos pocos de ancho: (Servicio Geológico Mexicano, 2017)



- **Cinturón Circumpacífico (conocido como "Cinturón de Fuego").** Rodea casi totalmente el Pacífico, se extiende a lo largo de las costas de América del Sur, México y California hasta Alaska; después continúa por las islas Aleutianas, antes de dirigirse hacia el sur a través de Japón y las Indias orientales. La mayor parte de la energía sísmica se libera en esta región, libera entre 80 y 90% de la energía sísmica anual de la Tierra. (Servicio Geológico Mexicano, 2017)
- **Cinturón Eurasiático-Melanésico, (Alpino-Himalaya).** que incluye las cordilleras alpinas de Europa y Asia, conectando con el anterior en el archipiélago de Melanesia. Desde España se prolonga por el Mediterráneo hasta Turquía, el Himalaya y las Indias Orientales. Esta inmensa falla se produce por las plataformas africana e India que se mueven hacia el norte rozando levemente la plataforma Euroasiática. Aunque la energía liberada aquí es menor que en el del Pacífico, a lo largo de los años ha producido devastadores terremotos, como el ocurrido en China en 1976, donde murieron más de 650 mil personas. (Servicio Geológico Mexicano, 2017).
- Una tercera región altamente sísmica la formaría la Dorsal Mesoatlántica ubicada en el centro del Océano Atlántico. (Servicio Geológico Mexicano, 2017)

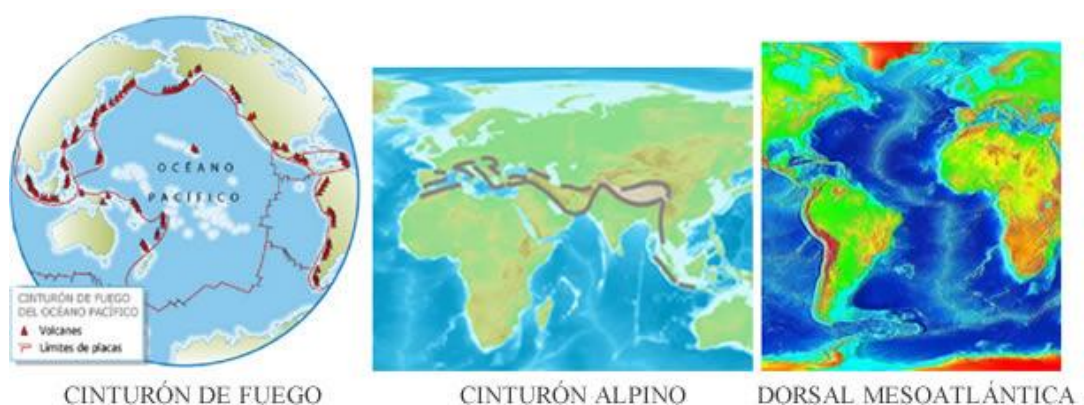


Figura 06:: Zonas altamente sísmica en el planeta.

Fuente: <http://cienciamasciencia.blogspot.mx/2010/05/el-cinturon-de-fuego-o-circumpacifico.html>

### 2.1.4. Características

El punto exacto en donde se origina el sismo se llama *foco o hipocentro*, se sitúa debajo de la superficie terrestre a unos pocos kilómetros hasta un máximo de unos 700 km de profundidad. El *epicentro* es la proyección del foco a nivel de tierra, es decir, el punto de la superficie terrestre situada directamente sobre el foco, donde el sismo alcanza su mayor intensidad. La falla de una roca es causado precisamente por la liberación repentina de los esfuerzos (compresión, tensión o de cizalla) impuestos al terreno, de esta manera, la tierra es puesta en vibración; esta vibración se debe a que las *ondas sísmicas* se propagan en todas las direcciones y transmiten la fuerza que se genera en el foco sísmico hasta el epicentro en proporción a la intensidad y magnitud de cada sismo. (Servicio Geologico Mexicano, 2017)

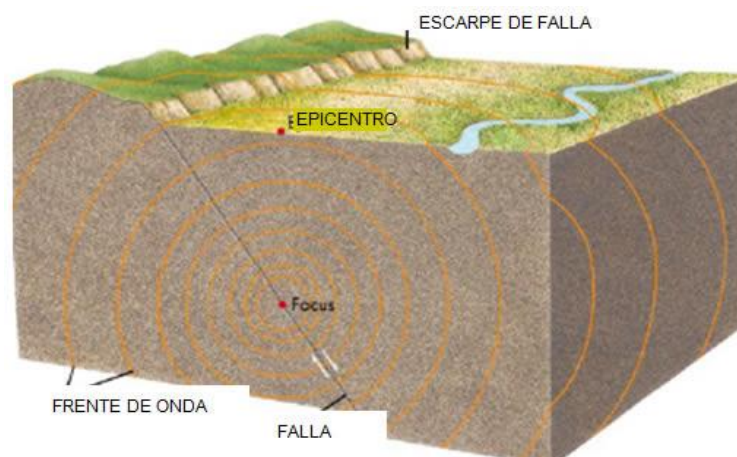


Figura 07: Características de un sismo.  
Fuente: <http://gfrojas.blogspot.mx/2008/08/sismos.html>

#### 2.1.4.1. Vulnerabilidad Sísmica

La definición de Vulnerabilidad proporcionada por un grupo de expertos de la United National Disaster Relief Office (UNDRO), puede encontrarse en “Natural Disasters and Vulnerability Analysis”, 1979; que además dicho informe incluyó la definición de términos interrelacionados entre sí en la ingeniería sísmica y estos son:

- **Grado de Pérdida:** Significa las consecuencias negativas que puedan producirse debido a la ocurrencia de un fenómeno natural. Estas consecuencias pueden ser: pérdidas de vida, daños materiales, etc. También al nivel estructural las consecuencias negativas pueden ser por ejemplo la disminución de la rigidez o la disminución de la capacidad de disipación de energía de los elementos estructurales.
- **Elementos en Riesgo:** son la población, edificios, obras públicas, actividades económicas, servicios públicos, infraestructura, etc.; susceptibles de ser afectados por un fenómeno natural en un área determinada.
- **Peligrosidad Natural:** Es la probabilidad de ocurrencia, dentro de un periodo específico de tiempo y dentro de un área dada, de un fenómeno natural potencialmente dañino.
- **Vulnerabilidad:** significa el grado de pérdida de un elemento en riesgo o de un conjunto de tales elementos resultantes de la ocurrencia de un fenómeno natural de una magnitud dada. La vulnerabilidad se puede expresar en una escala desde 0 (sin daño) hasta 1 (colapso total) o en cualquier otra escala proporcionada a esta.
- **Riesgo específico:** es la probabilidad esperada de pérdida debidas a un fenómeno natural expresado como una función de la peligrosidad y de la vulnerabilidad.
- **Riesgo:** es el grado esperado de pérdida debidas a un fenómeno natural expresado como una función del riesgo específico y del valor de los elementos en riesgo.
  
- **Vulnerabilidad Sísmica: Concepto Usado**  
Para el caso particular de un fenómeno sísmico, la vulnerabilidad de una estructura, grupo de estructuras o de una zona urbana completa, es la predisposición intrínseca a sufrir daño ante la ocurrencia de un movimiento sísmico y está asociada directamente con sus características físicas y estructurales (Barbat, 1998).  
La vulnerabilidad es una característica intrínseca de las estructuras, dependiente de la forma como hayan sido diseñadas pero independiente

de la peligrosidad sísmica del sitio donde están ubicadas”. (Caicedo, Barbat, Canas, & Aguiar, 1994, pág. 7). Esta afirmación nos da a entender que la vulnerabilidad de una estructura ante la presencia de un sismo depende de varios parámetros tales como el tipo de construcción, sistema estructural y se expresa en términos de pérdidas o daños esperados según la magnitud del evento.

#### **2.1.4.2. Tipos de Vulnerabilidad**

##### **2.1.4.2.1. Vulnerabilidad Estructural**

La vulnerabilidad estructural se refiere a que tan susceptibles a ser afectados o dañados son los elementos estructurales de una edificación o estructura frente a las fuerzas sísmicas inducidas en ella y actuando en conjunto con las demás cargas habidas en dicha estructura. 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 fuerzas causadas por el peso del edificio y su contenido, así como las cargas provocadas por los sismos. Entre estos elementos se encuentran las columnas, vigas, placas de concreto, losas, etc. Debido a ello como se dirá que un buen diseño estructural es la clave para que la integridad del edificio sobreviva aún ante desastres naturales severos como lo son los terremotos (Fernandez & Parraga, 2013, pág. 73).

##### **2.1.4.2.2. Vulnerabilidad No Estructural.**

Este tipo de vulnerabilidad busca determinar la susceptibilidad a daños que estos elementos puedan presentar. Sabemos que al ocurrir un sismo la estructura puede quedar inhabilitada debido a daños no estructurales, sean por colapso de equipos, elementos arquitectónicos, etc., mientras que la estructura permanece en pie. Dentro del colapso de equipos podríamos mencionar las líneas tuberías, apoyos de equipos, la conexión de los equipos, etc. De igual forma, dentro de los elementos arquitectónicos tenemos las fachadas, vidrios, tabiques, mamparas, puertas, ventanas, escaleras, etc.; (Fernandez & Parraga, 2013, pág. 81)

#### **2.1.4.2.3. Vulnerabilidad Funcional**

Un estudio de la vulnerabilidad funcional busca determinar la susceptibilidad de una estructura al sufrir un “colapso funcional” como consecuencia de un sismo. Esto es sólo visible en el momento en que ocurre una emergencia. A fin de determinar 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. 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 el hospital. Se analiza la posibilidad de inutilización de ascensores, acumulación de escombros en escaleras y pasillos, como así también el atascamiento de puertas. (Fernandez & Parraga, 2013, pág. 81)

#### **2.1.4.3. Factores que influyen en la Vulnerabilidad Estructural**

La vulnerabilidad estructural como ya se indicó está asociada a la susceptibilidad de los elementos o componentes estructurales de sufrir daño debido a un sismo. El nivel de daño que sufrirá una edificación depende de tanto el comportamiento global como local de la estructura. De acuerdo a Alonso (2014) la vulnerabilidad estructural depende de distintos factores.

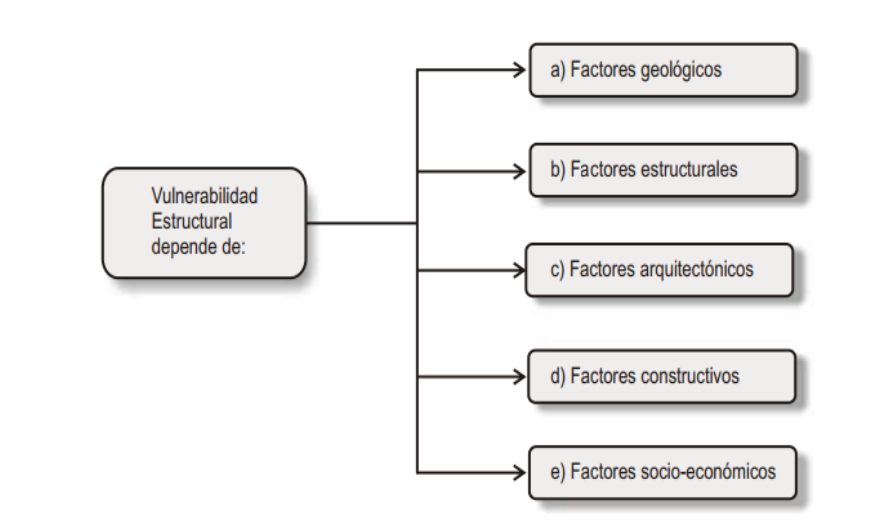


Figura 8: Factores que influyen en la vulnerabilidad estructural de edificaciones  
Fuente: vulnerabilidad sísmica en edificaciones, José Luis Alonso

Dentro de los principales Factores Geológicos que contribuyen al incremento de la vulnerabilidad estructural podemos mencionar como por ejemplo la sismicidad de la zona, la interacción suelo-estructura, características geotécnicas locales y la magnitud de los terremotos. Así mismo los Factores Estructurales que contribuyen a la vulnerabilidad de una edificación en estudio son: la tipología estructural de la edificación, el tipo de material predominante en la estructura (acero, concreto armado, madera, etc.), los cambios bruscos de rigidez, presencia de pisos blandos, columnas cortas, problemas torsionales, la colindancia con edificaciones vecinas, distribución asimétrica de rigideces y de masas. Los Factores Arquitectónicos tales como: geometría irregular en planta, uso indiscriminable de materiales inflamables, uso excesivo de espacios abiertos, ubicación asimétrica del núcleo de escaleras y ascensores y distribución errónea en la tabiquería, todo ello influye en el aumento de la vulnerabilidad de la estructura. Por otra parte los factores constructivos comunes e influyentes en la vulnerabilidad estructural de la edificación son: el encofrado deficiente, mala calidad de materiales, incompatibilidad de los materiales usados, mano de obra defectuosa, defectos de vaciado y del curado del concreto, falta de recubrimiento para evitar la corrosión. Finalmente los factores económicos tales como: viviendas de bajos recursos, no apropiadas para zonas sísmicas,

remuneración deficiente a profesionales responsables del proyecto, cambios previstos en la edificación original, falta de planes de contingencia durante desastres, entre otros, influyen moderadamente en la vulnerabilidad de la edificación. (Alonso, 2014)

#### **2.1.4.4. Métodos para Evaluar la Vulnerabilidad Sísmica**

De acuerdo a (Caicedo, Barbat, Canas, & Aguiar, 1994), Los métodos existentes para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica es extensa, sin embargo se pueden agrupar en dos grandes ramas o categorías: los de vulnerabilidad calculada y los de vulnerabilidad observada. En el primero se usan técnicas de modelación analítica de estructuras para simular su comportamiento bajo la acción de fuerzas dinámicas, este método requiere también el uso de ensayos de laboratorio, que permiten analizar los elementos estructurales aislados tales como viga-columna con el fin de reportar su índice global de daño, este índice por sí solo no reporta el comportamiento sísmico del edificio, para ello su valor numérico tiene que ser calibrado con el daño real observado en la estructura, después de la ocurrencia de un terremoto.

La segunda categoría se basa en la observación del daño ocurrido en las estructuras durante terremotos o por la opinión subjetiva de expertos. Sin embargo muchas veces se usan características objetivas desde el punto de vista estructural, así tenemos: la utilización del coeficiente sísmico como una medida de la capacidad de la estructura de resistir fuerzas horizontales o el uso de un parámetro de respuesta tal como el desplazamiento del último piso para determinar el daño en la estructura. Desde el punto de vista de aplicación práctica los métodos observacionales son los más apropiados para la evaluación de la vulnerabilidad de edificios de gran escala, como por ejemplo en la evaluación de zonas urbanas, debido a la relativa facilidad de estos para analizar una gran cantidad de estructuras a un costo bajo. Por otro lado la aplicación práctica de la vulnerabilidad analítica es apropiada en el análisis de edificaciones particulares o estructuras que requieran un estudio especial. (Caicedo, Barbat, Canas, & Aguiar, 1994, págs. 8-9)



### A. Métodos Analíticos

De acuerdo (Caicedo, Barbat, Canas, & Aguiar, 1994), la evaluación de la vulnerabilidad por métodos analíticos se basa en los mismos principios utilizados para el diseño de construcciones y se concentra en la evaluación principalmente de edificios de concreto armado, empleando un modelo mecánico para representar su comportamiento hysterético, con el fin de determinar el nivel de daño para los elementos estructurales o de la estructura misma en su conjunto.

Los problemas asociados a este método, provienen de las dificultades intrínsecas de la modelización matemática de las estructuras reales, esto debido a la presencia de múltiples incertidumbres en la evaluación de daño, como por ejemplo la hipótesis del modelo para el análisis estructural y la selección del movimiento sísmico del terreno. Respecto a lo primero se puede señalar que en el caso de las propiedades actuales de los materiales y de los elementos estructurales pueden llegar a ser muy diferentes a los asumidos para el análisis del método y en otros casos desconocidas. Con respecto al segundo punto, movimiento sísmico del terreno, es difícil identificar sus características que describan la capacidad destructiva de un terremoto, por esta razón el movimiento del terreno representa una fuente de incertidumbre mayor.

Todas estas incertidumbres deben ser incluidas durante la fase de interpretación de los resultados del método, con el objeto de deducir las propiedades de daño que puedan ser aplicadas a casos reales y que dichas propiedades resulten en una evaluación confiable de la vulnerabilidad sísmica de edificios.

En conclusión, debido al gran número de incertidumbres que presenta este método y al impreciso e incompleto entendimiento del comportamiento de edificios de concreto armado, no es posible predecir analíticamente con suficiente confiabilidad la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones en estudio. (Caicedo, Barbat, Canas, & Aguiar, 1994, págs. 13-28)



## **B. Métodos Subjetivos**

De acuerdo a Caicedo et al. (1994) La evaluación de la vulnerabilidad por métodos subjetivos es aplicable al estudio de un gran número de edificaciones dentro una zona urbana, esto debido a la obtención rápida de resultados de un sin número de tipologías constructivas. Este método no conlleva a la obtención de resultados precisos, sino que se realiza con el objeto de estimar o tener una idea del comportamiento sísmico en toda la zona en estudio, esto con planes de mitigación de desastres.

Una de las características más importantes del método es introducir la opinión subjetiva de un experto y generalmente este método usa formularios de encuesta o de levantamientos (survey forms), los cuales son aplicados y rellenados por personas capacitadas e involucradas en el campo de la investigación. Existen 2 tipos de formularios: uno de levantamiento de daños, que son usados para la recolección de datos de los daños sufridos por las estructuras, después de la ocurrencia de un sismo; y el otro de levantamiento de vulnerabilidad, que se usa para la toma de datos sobre las características de las estructuras, tales como sus dimensiones, tipo de material, etc. Este tipo de metodología se puede clasificar a su vez en dos grupos: los métodos que predicen el daño y los métodos que evalúan la capacidad. (Caicedo, Barbat, Canas, & Aguiar, 1994, págs. 31-32).

### **1. Métodos que predicen el Daño**

De acuerdo a (Caicedo, Barbat, Canas, & Aguiar, 1994):

Este método permite la estimación de daño de una estructura a través de dos tipos de relaciones matemáticas: la primera es una relación discreta, basada en matrices de probabilidades de daño y la segunda es una relación continua, basada en funciones de vulnerabilidad.

### 1.1 Método basado en la probabilidad de daño

Una forma de expresar la vulnerabilidad de una estructura es a través de una matriz de probabilidad de daño DPM (damage probability matrix), la cual expresa la probabilidad discreta de daño para una tipología de estructura y una intensidad de sismo dada.

Las matrices DPM se deducen por medio de un análisis estadístico de los daños observados post-sismos o también por el juicio subjetivo de expertos (Caicedo, Barbat, Canas, & Aguiar, 1994, págs. 33-35).

En la Tabla 1 se representa un ejemplo de DPM para una estructura hipotética, donde cada columna representa un nivel distinto de intensidad sísmica y cada fila un nivel distinto de daño.

Nivel de daño j	Intensidad del sismo i		
	0.06 g	0.12 g	0.24 g
1. ninguno, menor	0.75	0.24	0.1
2. ligero, moderado	0.24	0.6	0.45
3. serio, grave	0.01	0.155	0.4
4. colapso	0.0	0.005	0.05

Tabla 1: Ejemplo de una matriz de probabilidad de daño DPM  
Fuente: Vulnerabilidad Sísmica de Edificios. Caicedo, C., Barbat, A., Canas, J., & Aguiar, R. (1994)

### 1.2 Método basado en funciones de vulnerabilidad

La función de vulnerabilidad es una relación matemática que expresa de forma continua el daño que experimenta una estructura ante la presencia de un evento sísmico. Dicha función se deduce a través de una regresión estadística de los datos observados durante un terremoto o generados artificialmente por una simulación. Generalmente las funciones de vulnerabilidad se expresan en curvas que relacionan el grado de daño del edificio con un parámetro de respuesta estructural o del movimiento del terreno; dichos parámetros comúnmente evaluados son el desplazamiento horizontal

del edificio y el coeficiente sísmico, que se define como el factor entre la capacidad lateral del edificio dividido por el peso total de la edificación, mientras que por otro lado los parámetros que expresan el movimiento del terreno son la aceleración máxima del terreno o de las escalas de intensidad sísmica. (Caicedo, Barbat, Canas, & Aguiar, 1994, págs. 35-37)

En la figura 7 se puede observar un ejemplo de una función de vulnerabilidad para edificios de mampostería, donde VI es el índice de vulnerabilidad el cual describe la capacidad del edificio y D representa el grado de daño sísmico observado en la estructura para un sismo de intensidad I, cabe señalar que esta función ha sido deducida de una regresión estadística de un terremoto en Italia.

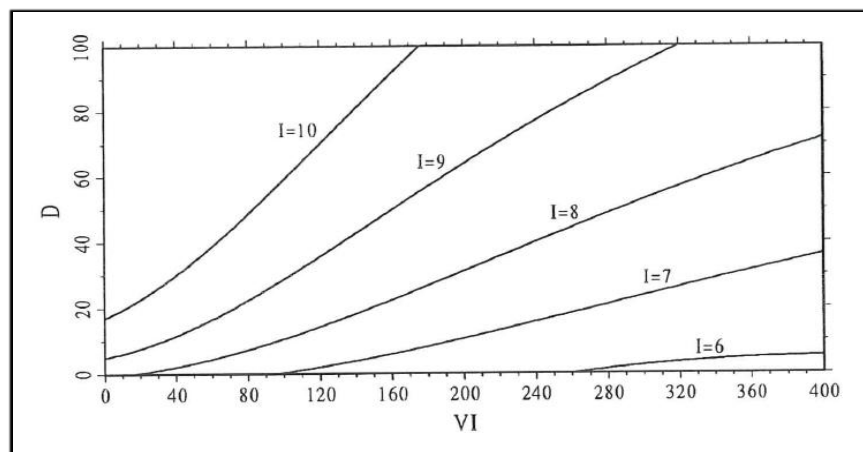


Figura 9 Ejemplo de una función de vulnerabilidad

Fuente: Vulnerabilidad Sísmica de Edificios. Caicedo, C., Barbat, A., Canas, J., & Aguiar, R. (1994)

## 2. Métodos que evalúan la Capacidad

La finalidad de este tipo de método es indicar la capacidad relativa de la estructura para resistir fuerzas sísmicas, por lo que puede afirmarse que no describen la vulnerabilidad como tal, y existen dos tipos: los métodos basados en un sistema de calificación y los métodos basados en códigos de construcción. (Caicedo, Barbat, Canas, & Aguiar, 1994, pág. 37).

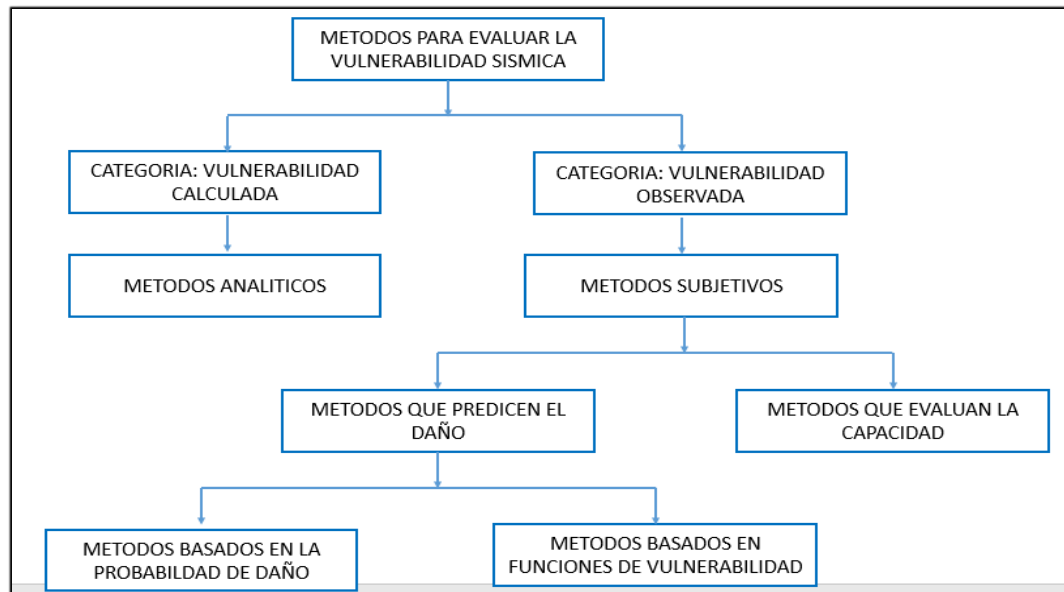


Figura 10: Métodos para Evaluar la Vulnerabilidad Sísmica

Fuente: Elaboración propia

## 2.2. Definición de Términos Básicos

- **Distrito:** La palabra distrito se refiere a cada una de las demarcaciones en que se subdivide un territorio o una población, ya sea en forma administrativa, estadística o jurídica con la finalidad de obtener una distribución adecuada de sus servicios administrativos y organizar el ejercicio de su gobierno
- **Distrito de Moche:** Es el uno de los once distritos de la Provincia de Trujillo, ubicada en el Departamento de La Libertad, bajo la administración del Gobierno regional de La Libertad, en el Perú.
- **Vivienda:** Se entiende como vivienda al lugar cerrado y cubierto, que se construye para ser habitado por personas, y cuya función principal es dar habitación y refugio a dichas personas, protegiéndolas del clima y de distintas amenazas.
- **Viviendas Informales:** se llama así a la construcción de viviendas en las cuales no existe un asesoramiento técnico de ingeniero, y que la construcción se lleva a cabo por albañiles o maestros de obra que no conocen la normatividad requerida para construir una vivienda como lo especifica el reglamento nacional de edificaciones.
- **Vulnerabilidad:** Se refiere a la pérdida o daño de un bien que puede darse ante la ocurrencia de un evento natural, tales como terremotos, tsunamis, Huracanes, etc.

- **Vulnerabilidad Sísmica:** Se refiere al grado de pérdida o daño que pueden sufrir los diferentes elementos estructurales como: vigas, columnas, losas, placas; y elementos no estructurales como: muros de albañilería (tabiquería), puertas y ventanas (vanos), entre otros, ante la presencia de un evento sísmico.

### 2.3.Procedimiento seguido para evaluar la vulnerabilidad sísmica

El procedimiento para evaluar la vulnerabilidad sísmica propuesta para el desarrollo de la presente investigación se usará la Categoría: Vulnerabilidad Observada, ya que este método es el más óptimo para evaluar la vulnerabilidad sísmica de un grupo de edificaciones dentro de una zona urbana, esto debido a la obtención rápida de resultados de un sin número de tipologías constructivas. Este método no conlleva a la obtención de resultados precisos, sino que se realiza con el objeto de estimar o tener una idea del comportamiento sísmico en toda la zona en estudio, esto con planes de mitigación de desastres.

#### 2.3.1.Recolección de datos para el desarrollo de Análisis de Vulnerabilidad

La técnica que se propone utilizar para esta investigación es la “ENCUESTA”, ya que se utiliza formularios impresos para obtener respuesta acerca de datos necesarios como los aspectos estructurales, aspectos no estructurales y aspectos constructivos que necesariamente son proporcionados por el residente de la vivienda encuestada, además de las observaciones que el encuestador crea relevantes anotarlas, para poder evaluar su vulnerabilidad sísmica.

#### 2.3.2.Instrumentos de recolección de datos

El instrumento que se pretende utilizar para la esta presentación será el “CUESTIONARIO” debido a que se pretende recabar información relevante de la vivienda que nos permita evaluar su vulnerabilidad, teniendo en cuenta las dimensiones principales de la variable que son aspecto constructivo, aspecto estructural y aspecto no estructural, el mismo cuestionario servirá para anotar todo lo relevante que el investigador perciba como por ejemplo: fallas estructurales y no

estructurales presentes en la vivienda, calidad de los materiales empleado y de la mano de obra, entre otros.

### 2.3.3. Validación del instrumento de recolección de Información

El instrumento de Investigación ha sido validado por el Ingeniero Civil Josualdo Villar Quiroz, egresado de la Universidad Privada Antenor Orrego, Especialista en el área de estructuras, Colegiado y Habilitado, en el Colegio de Ingenieros del Perú, Consejo Departamental de La Libertad con CIP 106997. El instrumento para recolectar datos es fichas de encuesta o cuestionarios. (ANEXO II).

### 2.3.4. Procedimiento de recolección de datos

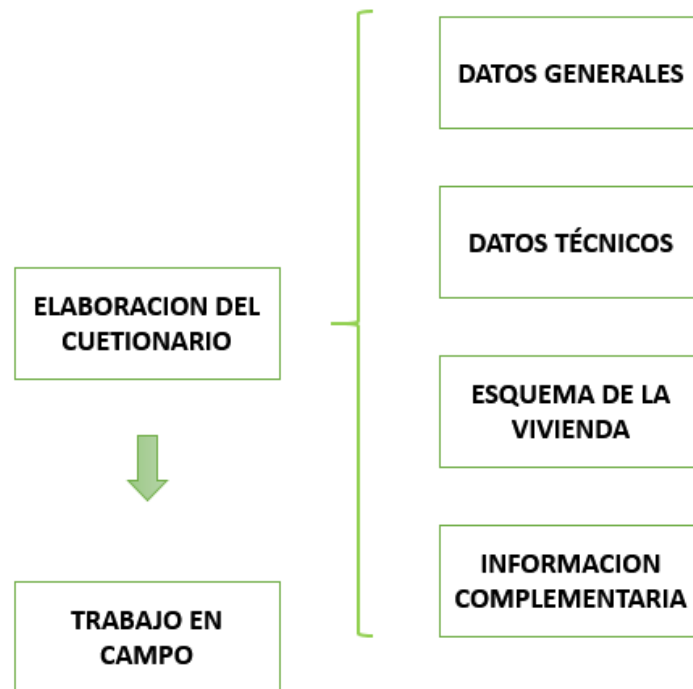


Figura 11: Procedimiento de Recolección de datos  
Fuente: Elaboración propia

Para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en el distrito de Moche, se tiene que elaborar un cuestionario, para posteriormente realizar el trabajo en campo que consiste en la recolección de toda la información necesaria para el estudio de la vulnerabilidad sísmica. La Agencia Federal para la Gestión de Emergencias o conocido por sus siglas en inglés como FEMA (Federal Emergency Management Agency), nos proporciona un manual FEMA P-154 “Rapid Visual Screening of

Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook”, (2015); en el cual se mencionan los puntos a considerar para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica. Sin embargo se ha decidido recurrir metodología aplicadas ya en el país, como investigaciones de tesis de la Pontificia Universidad Católica del Perú, cuyas investigaciones tienen el respaldo del Dr. Marcial Blondet Saavedra especialista en la ingeniería sísmica y dinámica de estructuras. Estas investigaciones realizadas cuentan con un formato de recolección de datos, el cual se usará en la presente investigación.

#### **A. Elaboración de la Ficha de Encuesta – Cuestionario**

La ficha de encuesta se desarrolló para recopilar información necesaria en la evaluación de las viviendas informales en el distrito de Moche. La ficha de encuesta comprende: datos generales, datos técnicos, esquemas de la vivienda, información complementaria y fotos que ayudarán a observar el estado de la vivienda. A continuación se describe cada punto considerado en la ficha de encuesta.

##### **1. Datos Generales**

- 1.1 Número de vivienda: El número correlativo de la vivienda encuestada.
- 1.2 Fecha de encuesta: El día, mes y año en que se realizó la encuesta.
- 1.3 Familia: Los apellidos de la familia que reside en la vivienda encuestada
- 1.4 Número de habitantes: Número de personas que residen en la vivienda encuestada.
- 1.5 Ubicación de la vivienda: La dirección de la vivienda, incluye el distrito, la zona en que se ubica: urbana o periurbana; el tipo y nombre de vía: avenida, calle, pasaje, jirón, carretera.
- 1.6 ¿Recibió asesoría técnica para la construcción de su vivienda y por qué?: Si algún profesional de la rama, dirigió la asesoría de la construcción de la vivienda. Adicionalmente las personas que participaron en su construcción.
- 1.7 Fecha de inicio y término de la construcción: Período de construcción de la vivienda encuestada.
- 1.8 Tiempo de residencia de la familia: Para tener conocimiento si habitó en la vivienda mientras la construían o después de haber sido terminada.

1.9 Pisos existentes y proyectados en la vivienda Para tener presente cuantos pisos más podrían ampliarse la vivienda.

1.10 Secuencia de construcción de los ambientes. Si realizaron la construcción por partes o la hicieron toda al mismo tiempo.

## 2. Datos Técnicos

2.1 Entorno de la vivienda: La ubicación en manzana, pendiente y características de la zona.

2.2 Tipo de suelo: El tipo de suelo clasificado, sobre el cual se encuentra la vivienda. Los tipos de suelo son: rígidos, intermedios y flexibles. Además si es necesario, agregar información acerca de algunos componentes característicos observados, como gravas, arcillas, limos, etc.

2.3 Características de los principales elementos de las viviendas

- Cimentación: Las dimensiones y profundidad aproximadas de la cimentación que el propietario pueda proporcionar. La información de los materiales empleados en su construcción.
- Muros: Las dimensiones de la unidad de albañilería utilizada, ya sea ladrillos macizos, pandereta u otros si lo hubiera. También se incluirá la medida aproximada de las juntas entre las unidades de albañilería y el espesor de los muros.
- Columnas y Vigas: Las dimensiones de la sección de los diferentes elementos y el tipo de refuerzo de los mismos de ser visible. En caso de haber otros materiales diferentes al concreto se indicará el tipo y sus dimensiones.
- Techo o Entrepiso: Se especifica si se utilizó diafragma rígido, como losa aligerada o losa maciza. Se especifica la altura de la losa. En caso de haber otros materiales diferentes al concreto, se indica el tipo y sus dimensiones.

2.4 Observaciones y comentarios: Describe los problemas o aspectos resaltantes observados durante la visita de la vivienda. Los aspectos estructurales involucran: estado de los elementos estructurales, muros con grietas o fisuras producidas por sismos o continuidad en los muros de un piso a otro. En los aspectos constructivos y de material se tiene la presencia de eflorescencia, variedad en las dimensiones de las unidades de albañilería, cangrejeras en



columnas o el acero expuesto a corrosión. O cualquier característica no considerada en la ficha de encuesta que pueda influir en la vulnerabilidad de la vivienda. De esta manera, también se evalúa otros factores que puedan afectar negativamente el comportamiento sísmico de la vivienda.

### **3. Esquema de la Vivienda**

El esquema de la vivienda presenta los planos de planta y elevación de fachada de las viviendas encuestadas. Estos son elaborados inicialmente a partir de bosquejos efectuados durante la visita, luego se realizaran dichos dibujos con ayuda del software AutoCAD. Además de la distribución de los ambientes, se incluyen las medidas de los elementos estructurales. La existencia o no de la junta sísmica con las viviendas vecinas se indica. El área de terreno, cuadros de vanos y otras descripciones que se consideraron importantes se incluyen.

### **4. Información Complementaria**

Se identifica y clasifican los principales defectos que pudieran afectar la vulnerabilidad de las viviendas de acuerdo con los siguientes ítems:

- 4.1 Problemas de ubicación Son propios de la zona donde se sitúa la vivienda, tales como estar sobre quebradas, rellenos sanitarios, viviendas con asentamiento, viviendas en pendiente pronunciadas, nivel freático visible o suelo no consolidado.
- 4.2 Problemas de estructuración: Son los principales errores estructurales encontrados, fuera de la inadecuada densidad de muros. Los problemas de configuración como: losa a desnivel con vecino, insuficiencia de junta sísmica, reducción en planta, juntas frías o torsión en planta. Los problemas en los muros abarcan: muros portantes de ladrillos pandereta, unión muro y techo, muros sin viga solera, muros resistentes a sismo sin confinar o muros inadecuados para soportar empuje lateral. U otros problemas estructurales como: columnas cortas, losas no monolíticas, tabiquería sin arriostre o cercos no aislados de la estructura. Todos estos problemas incrementan de manera significativa la vulnerabilidad de la vivienda.

- 4.3 Factores degradantes: Son los principales factores degradantes en las viviendas: las armaduras expuestas y corroídas por intemperismo, la humedad en muros o losas, la eflorescencia en muros y los muros agrietados. Estos problemas pueden generar la degradación de la resistencia estructural de las viviendas con el paso del tiempo.
- 4.4 Mano de obra: El encuestador, de acuerdo con la calidad de construcción de muros y elementos de concreto armado, califica la mano de obra como buena, regular o de mala calidad, considerando lo siguiente:
- Mala calidad, corresponde a presencia de juntas entre unidades de albañilería mayores a 3cm, elementos desaplomados, cangrejas en los elementos de concreto.
  - Regular calidad, son viviendas con elementos de albañilería con juntas de 2 a 3 cm, presencia de elementos más o menos desaplomados y unas pocas cangrejas en los elementos de concreto.
  - Buena calidad, presencia de albañilería con juntas de 1 a 2 cm en elementos aplomados. No existen cangrejas en los elementos de concreto.
- 4.5 Materiales deficientes: Se califica la calidad de los materiales de construcción empleados en la vivienda, en especial la calidad de los ladrillos de arcilla. El encuestador verificará si los ladrillos son de fabricación artesanal o industrial. Generalmente los artesanales son de mala calidad, tienen mucha variabilidad dimensional, se rayan fácilmente con un clavo. Además no presentan un color parejo por una falta de una cocción uniforme y completa de la unidad.
- 4.6 Otros: De existir otro problema en la vivienda no descrito anteriormente que influya en el buen comportamiento sísmico, se procede a anotar y describir adecuadamente.

## **B. Trabajo de Campo**

El trabajo en campo consistirá en ir a la zona de estudio, en este caso el distrito de Moche aplicar la ficha de encuesta a 50 viviendas, seleccionando aquellas viviendas cuyo sistema estructural predominante en la vivienda sea albañilería confinada. Para

una mejor selección de las viviendas a analizar, primero se procederá a realizar un recorrido por los alrededores del distrito, para posteriormente realizar la elección de las mismas. Para darle credibilidad al trabajo que se pretende hacer en campo, se recurrirá a un documento tipo carta de presentación proporcionada por parte del municipio y por parte de Sencico-Trujillo para poder mostrarles a los pobladores del distrito, y así ellos nos puedan dar las facilidades del caso para poder realizar el estudio.

### 2.3.5. Procedimiento de Análisis de datos

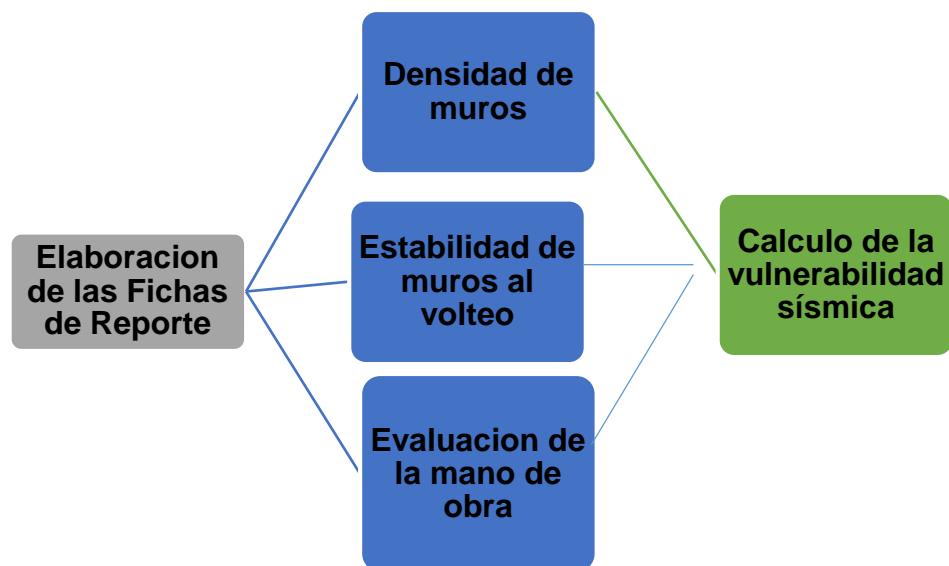


Figura 12: Procedimiento de análisis de datos.  
Fuente: Elaboración propia

#### A. Elaboración de las Fichas de Reporte

Las Fichas de reporte son hojas realizadas en Ms Excel donde se procesarán los datos obtenidos en los cuestionarios por cada vivienda encuestada, y al igual que las fichas de encuestas, las fichas de reporte también han sido tomadas de la investigación Johan Edgar Laucata Luna (2005). La ficha de reporte se muestra en el Anexo III y dentro de su contenido tenemos los siguientes puntos:

- 1. Antecedentes:** Se sintetiza datos de la encuesta obtenidos y recolectados en la parte de datos generales del cuestionario como la ubicación de las viviendas, si recibió el asesoramiento en el diseño o construcción de la vivienda, etc.
- 2. Aspectos Técnicos:** En este punto se detalla los elementos estructurales y materiales usados en la construcción de la vivienda; así mismo se describen los problemas más comunes encontrados tales como problemas de ubicación, problemas constructivos o problemas estructurales, etc.
- 3. Análisis Sísmico:** En esta parte se realiza el análisis de densidad de muros y estabilidad al volteo de tabiques o parapetos, además de la calificación del encuestador de la calidad de la mano de obra y de materiales empleados, todo ello con el fin de obtener la vulnerabilidad sísmica de la vivienda en estudio.

## B. Densidad de Muros

La densidad de muros de acuerdo a la Norma E070 de albañilería se analiza en las direcciones principales del sismo. Para este análisis en particular se compara la densidad de muros existentes con la densidad mínima requerida para que las viviendas soporten sismos de 0.4g, y para determinar ello se ha supuesto que la fuerza cortante actuante, producto de un sismo raro, dividida entre el área de muros requerida debe ser menor que la sumatoria de las fuerzas cortantes resistentes de los muros dividida entre el área existente de muros.

$$\frac{V}{A_m} \leq \frac{\sum VR}{A_e} \quad \dots \dots \dots \text{Ecuación 1}$$

Donde:

V = Fuerza cortante basal (kN) actuante

VR = Fuerza de corte resistente (kN) de los muros.

A<sub>m</sub> = Área (m<sup>2</sup>) requerida o necesaria de muros

A<sub>e</sub> = Área (m<sup>2</sup>) existente de muros confinados

La fuerza cortante basal V producida por los sismos se expresa como (Norma E 030 de diseño sismorresistente):

$$V = \frac{Z \cdot U \cdot S \cdot C}{R} P \quad \dots \dots \dots \text{Ecuación 2}$$

Donde:

Z = Factor de zona

U = Factor de uso que para viviendas es 1

S = Factor de suelo (Suelo rígido = 1; Suelo intermedio = 1,2 o Suelo flexible = 1,4)

C = Factor de amplificación sísmica = 2,5

R = Factor de reducción por ductilidad = 3

P = Peso de la estructura (kN)

Para determinar el peso P de la vivienda se ha asumido que el peso está en función al área techada, que es aproximadamente 8 kN/m<sup>2</sup> para viviendas de albañilería confinada (Arango, 2002)

$$P = A_{tt} \cdot \gamma \quad \dots \dots \dots \text{Ecuación 3}$$

Donde:

Att = Suma de las áreas techada (m<sup>2</sup>) de todos los pisos de la vivienda.

$\gamma = 8 \text{ kN/m}^2$

La fuerza de corte resistente de cada muro se expresa como (E070)

$$VR = 0,5 \times v'm \cdot \alpha \cdot t \cdot l + 0,23 \times Pg \quad \dots \dots \dots \text{Ecuación 4}$$

Donde:

v'm = Resistencia a compresión diagonal de los muretes de albañilería. Para ladrillo de fabricación artesanal v'm = 510 kPa (San Bartolomé 1998)

$\alpha$  = Factor de reducción por esbeltez varía entre  $1/3 \leq \alpha \leq 1$

t = Espesor (m) del muro en análisis

l = Longitud (m) del muro en análisis

Pg = Carga gravitacional (kN) de servicio más sobrecarga reducida

La condición más desfavorable para que las viviendas no colapsen se da cuando la fuerza sísmica (fuerza actuante) sea igual a la fuerza resistente de todos los muros de la estructura. Entonces ambos términos de la ecuación 1 serán iguales.

$$\frac{V}{A_m} = \frac{\sum VR}{A_e} \quad \dots \dots \dots \text{Ecuación 5}$$

Para calcular VR se ha realizado una simplificación en la ecuación 4, donde nos basamos en los cálculos realizados por la investigación de Laucata en el 2005 en el cual se llega a sintetizar los valores de  $\alpha = 1$  y en  $0,23Pg = 0$ . Por lo tanto la ecuación queda reducida a la siguiente expresión:

$$VR = 0,5 \times v' \cdot m \cdot t \cdot l \quad \dots \dots \dots \text{Ecuación 6}$$

Despejando de la ecuación 5 en término de Am, reemplazando las ecuaciones

2, 3 y 6 e igualando  $\sum (t \times l) = A_e$ , se tiene:

$$A_m \approx \frac{Z \cdot S \cdot A_{tt} \times 8}{300} \quad \dots \dots \dots \text{Ecuación 7}$$

La ecuación 7 determina el área mínima de muros en cada dirección que debe tener el primer piso de las viviendas para asegurar un buen comportamiento sísmico. En el proceso de datos en las fichas de reporte se calculó Am con la ecuación 7 y Ae en base a las fichas de encuesta. Luego, se calificó la relación Ae/Am en base a los siguientes rangos de valores:

- Si  $A_e / A_m \leq 0,80$  se concluye que la vivienda no tiene adecuada densidad de muros.
- Si  $A_e / A_m \geq 1,1$  se concluye que la vivienda tiene adecuada densidad de muros.
- Si  $0,8 < A_e / A_m < 1,1$  se necesita calcular con mayor detalle la suma de fuerzas cortantes resistente de los muros de la vivienda ( $\sum VR$ ) y el cortante actuante (V).

### C. Estabilidad de Muros al Volteo

La estabilidad de muros al volteo no se analizará en muros portantes, si no en muros no portantes que son los tabiques, cercos y parapetos de las viviendas. Para analizar la estabilidad al volteo de un determinado tabique se compara el momento actuante debido a sismo ( $M_a$ ) y el momento resistente ( $M_r$ ) que actúa en el tabique. Ambos momentos son calculados en la base de los muros y son momentos paralelos a los planos de los muros.

Para el cálculo de  $M_a$  se establece primero la carga sísmica  $V$  que actúa durante un sismo perpendicular al plano del muro (Norma E070)

$$V = Z \cdot U \cdot C_1 \cdot P \quad \dots \dots \dots \text{Ecuación 8}$$

Donde

$Z$  = Factor de zona

$U$  = Factor de uso (vivienda = 1)

$C_1$  = Coeficiente sísmico

$P$  = Peso del muro por unidad de área del plano del muro (kN/m<sup>2</sup>)

El peso  $P$  está dado por la siguiente expresión:

$$P = \gamma_m \cdot t \quad \dots \dots \dots \text{Ecuación 9}$$

Donde

$\gamma_m$  = Peso específico del muro

Para muro de ladrillo macizo  $\gamma_m = 18$  kN/m<sup>3</sup>

Para muro de ladrillo pandereta  $\gamma_m = 14$  kN/m<sup>3</sup>

$t$  = Espesor del muro (m)

Los valores de  $C_1$  están dados por la actual norma E030 de diseño sismorresistente: 1,3 para parapetos; 0,9 para tabiques y 0,6 para cercos.

El momento actuante perpendicular al plano del muro de acuerdo a San Bartolomé (1998) está dado por la siguiente expresión:

$$M_a = m \cdot V \cdot a^2 \quad \dots \dots \dots \text{Ecuación 10}$$

Donde:

$m$  = Coeficiente de momentos

$a$  = Dimensión crítica (m)

$V$  = carga sísmica perpendicular

Los valores de los coeficientes de momentos  $m$  para cada valor de  $b/a$  son  
(Norma E 070 de albañilería):

- Muros con 4 bordes arriostrados (Figura N° 14)  
 $a$ =menor dimensión.

$b/a$	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	3,0	$\infty$
$m$	0,0479	0,0627	0,0755	0,0862	0,0948	0,1017	0,1180	0,125

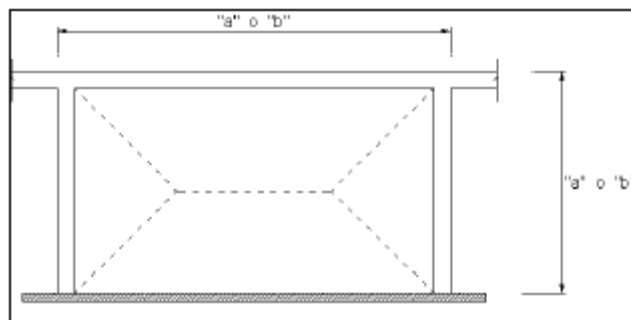


Figura 13: Muro con 4 bordes arriostrados  
Fuente: Norma E070 de Albañilería

- Muros con 3 bordes arriostrados (Figura N° 14)  
 $a$ =Longitud del borde libre.

$b/a$	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,5	2,0	$\infty$
$m$	0,06	0,074	0,087	0,097	0,106	0,112	0,128	0,132	0,133

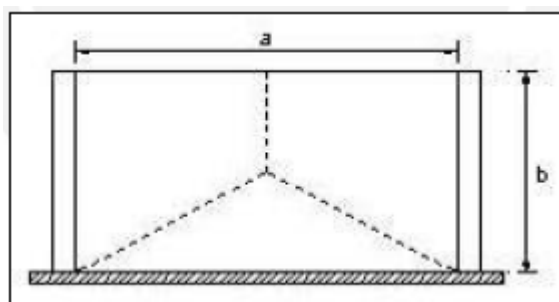


Figura 14: Muro con 3 bordes arriostrados  
Fuente: Norma E070 de Albañilería



- Muros arriostrados en sus muros horizontales

a=altura del muro

m=0.125

- Muros en voladizo

a=altura del muro

m=0.5

Al reemplazar la ecuación 8 en la ecuación 10 se tiene:

$$M_a = Z \cdot U \cdot C_1 \cdot P \cdot m \cdot a^2 \dots \dots \dots \text{Ecuación 11}$$

Para determinar el momento resistente a tracción por flexión ( $M_r$ ) del muro se sabe por resistencia de materiales que el esfuerzo de un elemento sometido a flexión es

$$\sigma_{\max} = \frac{Mr \cdot c}{I} \dots \dots \dots \text{Ecuación 12}$$

Donde:

$\sigma_{\max}$  = Esfuerzo por flexión (kN/m<sup>2</sup>)

$Mr$  = Momento resistente a tracción por flexión (kN- m)

$c$  = Distancia del eje neutro a la fibra extrema (m)

$I$  = Momento de inercia de superficie (m<sup>4</sup>) de la sección, paralela al eje del momento

El momento resistente a tracción por flexión (Figura 15) es expresado como:

$$M_r = \frac{f_t \cdot I}{c} \dots \dots \dots \text{Ecuación 13}$$

Donde

$f_t$  = Esfuerzo de tracción por flexión de la albañilería = 100 kN/m<sup>2</sup>, (Arango 2002)

$I$  = Momento de inercia (m<sup>4</sup>) de la sección del muro

$c$  = Distancia (m) del eje neutro a la fibra extrema de la sección

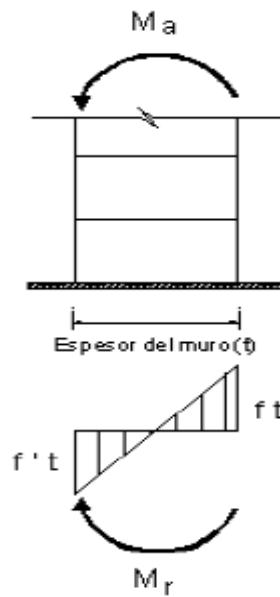


Figura 15: Momento Resistente en un muro de albañilería  
Fuente: Elaboración Propia

Al remplazar el valor de  $f't$  y desarrollar el momento de inercia de superficie para una longitud de un metro de muro, se tiene la expresión del momento resistente por metro de longitud de muro.

$$M_r = 100 * \frac{t^3}{12} * \frac{1}{t/2}$$

$$M_r = \frac{100}{6} * t^2 \dots \dots \dots \text{Ecuación 14}$$

$$M_r = 16.7 * t^2$$

Finalmente se compara el valor de las ecuaciones 11 y 14 y se concluye en las siguientes relaciones:

Si  $M_a \leq M_r$  el muro es estable pues el momento actuante es menor que el momento resistente.

Si  $M_a > M_r$  el muro es inestable pues el momento actuante es mayor que el momento resistente y fallara por volteo ante un sismo de 0.4 g.

#### D. Evaluación de la Mano de Obra

El encuestador, de acuerdo con la calidad de construcción de muros y elementos de concreto armado, califica la mano de obra como buena, regular o de mala calidad, considerando lo siguiente:

- Mala calidad, corresponde a presencia de juntas entre unidades de albañilería mayores a 3cm, elementos desaplomados, cangrejas en los elementos de concreto.
- Regular calidad, son viviendas con elementos de albañilería con juntas de 2 a 3 cm, presencia de elementos más o menos desaplomados y unas pocas cangrejas en los elementos de concreto.
- Buena calidad, presencia de albañilería con juntas de 1 a 2 cm en elementos aplomados. No existen cangrejas en los elementos de concreto.

### E. Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica

De acuerdo a Kuroiwa (2002) Para determinar la vulnerabilidad sísmica de las viviendas se ha analiza la vulnerabilidad estructural y la vulnerabilidad no estructural. La vulnerabilidad estructural se estima en función de los siguientes parámetros: la densidad de muro y la calidad de mano de obra. La vulnerabilidad no estructural está en función de un solo parámetro: la estabilidad de muros al volteo. A cada uno de los parámetros se les asigna un valor numérico.

VULNERABILIDAD					
ESTRUCTURAL			NO ESTRUCTURAL		
Densidad (60%)		Mano de obra y Materiales (30%)		Tabiquería y Parapetos (10%)	
Adecuada	1	Buena Calidad	1	Todos Aceptables	1
Aceptable	2	Regular Calidad	2	Algunos Aceptables	2
Inadecuada	3	Mala Calidad	3	Todos Inestables	3

Tabla 2: Parámetros para evaluar la vulnerabilidad sísmica  
Fuente: Mosqueira y Tarquez (2005)

Los valores asignados a cada parámetro se reemplazan en la siguiente ecuación para calificar numéricamente la vulnerabilidad sísmica de las viviendas. Se ha considerado un 60% de participación de la densidad de muros porque la densidad es calculada en las fichas de reporte para cada vivienda. En cambio, un 30% de participación a la calidad de la mano de obra y materiales porque su evaluación es visual y depende mucho del criterio del

encuestador. Además, sólo se ha considerado un 10% de participación de la vulnerabilidad no estructural dentro de la evaluación de la vulnerabilidad.

$$Vulnerabilidad\ Sismica = 0,6 \times Densidad\ de\ muros + 0,3 \times Mano\ de\ obra + 0,1 \times Estabilidad\ de\ muros$$

En la Tabla 3 se pueden ver los rangos numéricos para vulnerabilidad sísmica baja, media y alta.

Vulnerabilidad sísmica	Rango
Baja	1 a 1,4
Media	1,5 a 2,1
Alta	2,2 a 3

Tabla 3: Rangos de la vulnerabilidad sísmica  
Fuente: Mosqueira y Tarquez (2005)

Los rangos mostrados en la tabla 4 encierran todas las posibles combinaciones de los Parámetros (Tabla 4) que califican la vulnerabilidad sísmica.

VULNERABILIDAD SISMICA	Estructural						No estructural			Valor numérico
	Densidad (60%)			Calidad M.O. y materiales (30%)			Estabilidad de parapetos (10%)			
	Adecuada	Aceptable	Inadecuada	Buena	Regular	Mala	Estables	Algunos estables	Inestables	
BAJA	X			X			X			1.0
	X			X				X		1.1
	X			X					X	1.2
	X				X		X			1.3
	X				X			X		1.4
MEDIA	X				X				X	1.5
	X					X	X			1.6
	X					X		X		1.7
	X					X			X	1.8
		X		X			X			1.6
		X		X				X		1.7
		X		X			X		X	1.8
		X			X		X			1.9
		X			X			X		2.0
		X			X				X	2.1
ALTA		X				X	X			2.2
		X				X		X		2.3
		X				X			X	2.4
			X	X			X			2.2
			X	X				X		2.3
			X	X					X	2.4
			X		X		X			2.5
			X		X			X		2.6
			X		X				X	2.7
			X			X	X			2.8
			X			X		X		2.9
			X			X			X	3.0

Tabla 4: Combinaciones de los parámetros para la evaluación vulnerabilidad sísmica  
Fuente: Mosqueira y Tarquez (2005)

### III. CONCLUSIONES

En la presente investigación se establecen las bases teóricas para el tema, análisis de la vulnerabilidad sísmica de viviendas Informales del Distrito de Moche, Trujillo, 2018.

- Se determinó el contenido de las referencias de información de publicaciones de tesis y libros fueron fuente del desarrollo al tema de análisis de la vulnerabilidad sísmica en viviendas informales, obteniendo resultados altamente favorables de las definiciones de las bases teóricas.
  
- Se determinó en las publicaciones de las tesis que, en la ciudad de Trujillo, ciudades de los departamentos del Perú y otras ciudades del mundo su porcentaje de vulnerabilidad sísmica es considerablemente alta debido a las construcciones informales en su mayoría que ante un evento sísmico son propensas a colapsar. Esto se debe a la auto construcción ya que la mayoría de población y/o albañiles construyen sin recibir asesoría técnica profesional adecuada, ni con los materiales de calidad idóneos para tal fin, no respetan los recubrimientos mínimos de los refuerzos de acero en las viviendas, esto trae consigo los problemas de corrosión que puede sufrir la estructura, también se encontró que no se realiza un correcto compactado del concreto generando cangrejeras, lo que constituye en su mayoría viviendas de alta vulnerabilidad sísmica, generando un riesgo a los residentes de estas viviendas.
  
- Este trabajo de investigación contribuirá con darnos un alcance de las características que tiene una vivienda producto de la construcción informal, es decir, una construcción sin asesoramiento técnico, lo cual contribuye a generar edificaciones vulnerables ante la presencia de sismos.

#### IV. REFERENCIAS

- Alonso, J. (2014). Vulnerabilidad Sísmica de Edificaciones. Caracas.
- Barbat. (1998). El riesgo sísmico en el diseño de edificios.
- Barrera, E. (2015). Determinación de la vulnerabilidad en las casas coloniales ubicadas en el barrio san diego de la ciudad de cartagena.
- Caicedo, C., Barbat, A., Canas, J., & Aguiar, R. (1994). Vulnerabilidad Sísmica de Edificios. España: A.H. Barbat.
- Castro. (2015). Vulnerabilidad Sísmica del centro Histórico de la ciudad de Jauja - Junin. LIMA.
- Conzuelo. (2010). ¿Vulnerables ante los sismos?
- Zuñiga, R. (2011). Sismología. UNAM -Campus Juriquilla.
- Fernandez, A., & Parraga, C. (2013). Vulnerabilidad sísmica en centros educativos de Huncayo Metropolitano. Huancayo.
- Flores, R. (2002). Diagnostico Preliminar de la vulnerabilidad sísmica de las autoconstrucciones en Lima.
- Flores, R. (2015). Vulnerabilidad, Peligro y Riesgo Sísmico en Viviendas Autoconstruidas del distrito de sameagua, region Moquegua.
- Florez, R. (2002).
- hic-al.org. (3 de Agosto de 2017). Obtenido de [http://www.hic-al.org/glosario\\_definicion.cfm?id\\_entrada=6](http://www.hic-al.org/glosario_definicion.cfm?id_entrada=6)
- Julian, P. y. (2010). Definicion de Sismo. Definicion.de.
- Laucata, J. (2013). Análisis de la Vulnerabilidad Sísmica de las Viviendas informales en la ciudad de Trujillo.
- Norma E030. (2017). En Reglamento Nacional de Edificaciones-Norma E030 "Diseño Sismorresistente".
- Quiroz, L., & Vidal, L. (2014). Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica Estructural en Edificaciones conformadas por Sistemas Apertados y de Albañilería Confinada en el sector de la Esperanza parte baja-Trujillo.2014.
- Servicio Geológico Mexicano, J. (2017).



- Valvuen, S., Mena, M., & García, C. (Diciembre de 2013). Características Típicas de la Vivienda en sectores de Población Vulnerable en Bogotá. *Tecnura*, 17(2), 113-121.



**V. ANEXOS**

**ANEXO N° 01:** Ficha de registro.

**FICHA DE REGISTRO DE DATOS N° 01**

**REVISIÓN DE LAS PUBLICACIONES REFERIDAS AL TEMA**

**DENOMINACIÓN DE LA FICHA:**

---

**ELABORADO POR:**

---

**A. - PUBLICACIONES DE TESIS.**

- 1.
  - 2.
  - 3.
- 

**B. - GUIAS.**

- 1.
  - 2.
  - 3.
- 

**C.- NORMAS**

- TÉCNICAS 1.**
- 2.
  - 3.
-





ANEXO N° 02: Ficha de Encuesta.

VULNERABILIDAD SISMICA DE LA VIVIENDA INFORMAL			
FICHA DE ENCUESTA			
			Fecha de encuesta:
			Vivienda N° :
Familia :	.....		Cantidad de Personas de la Vivienda: .....
Dirección:	.....		
1.-¿Recibí asesoría técnica para construir su vivienda, por qué? .....			
.....			
.....			
2.- ¿Cuándo empecé a construirla? .....		¿Cuándo Terminó? .....	
Tiempo de residencia en la vivienda: .....			
N° de pisos actual: .....		N° de pisos proyectado: .....	
3.- Secuencia de Construcción de los ambientes:			
Paredes límites ( ). Sala Comedor ( ). Dormitorio 1 ( ). Dormitorio 2 ( ). Cocina ( ).			
Baño ( ). Otros ( ). Todo a la Vez ( ). Primero un cuarto ( ). Sala // Baño			
4.- ¿Cuánto invirtió en la construcción de su vivienda? .....			
<b>Datos Técnicos:</b>			
Parámetros del Suelo			Observaciones
Rígidos ( )	Intermedios ( )	Flexibles ( )	
Características de los principales elementos de la vivienda			
Elemento	Características		Observaciones
Cimiento (m)	Cimiento corrido	Zapata	
	Profundidad	Profundidad	
	Ancho	Sección	
Muros (cm)	Ladrillo macizo	Ladrillo pandereta	
	Dimensiones	Dimensiones	
	Juntas	Juntas	
Techo (m)	Diafragma rígido	Otro	
	Tipo	Tipo	
	Peralte	Peralte	
Columnas (m)	Concreto	Otro	
	Dimensiones	Dimensiones	
Vigas (m)	Concreto (m) x	Otro	
	Dimensiones	Dimensiones	
<b>Observaciones y Comentarios:</b>			
.....			
.....			
.....			
.....			
.....			
.....			
.....			
.....			

**Esquema de la vivienda:**

<b>Planta:</b>	<b>Primera Planta:</b>	<b>Segunda Planta:</b>
Lote:		
C1:		
M:		
S:		
v.a:		
/:		
x:		
↔		
↑		
→		

**Elevación:** Frontal

Juntas Sísmica	
Izquierda	Derecha

**Observaciones y comentarios:**

Problema de Ubicación	Estructuración	Factores Degradantes
<input type="checkbox"/> Vivienda sobre relleno natural	<input type="checkbox"/> Columnas cortas	<input type="checkbox"/> Armaduras expuestas
<input type="checkbox"/> Vivienda en quebrada	<input type="checkbox"/> Losas no monolíticas	<input type="checkbox"/> Armaduras corroídas
<input type="checkbox"/> Vivienda con pendiente pronunciada	<input type="checkbox"/> Influencia de junta sísmica	<input type="checkbox"/> Eflorescencia
<input type="checkbox"/> Vivienda con nivel freático superficial	<input type="checkbox"/> Losa de techo a desnivel con vecino	<input type="checkbox"/> Humedad en muros
Otros:	<input type="checkbox"/> Cercos no aislados de la estructura	<input type="checkbox"/> Muros agrietados
	<input type="checkbox"/> Tabiquería no arriostrada	Otros:
	<input type="checkbox"/> Reducción el planta	
	<input type="checkbox"/> Muros portantes de ladrillo pandereta	
	<input type="checkbox"/> Unión muro y techo	<b>Mano de Obra</b>
<b>Materiales Deficientes</b>	<input type="checkbox"/> Juntas frías	<input type="checkbox"/> Muy Mala
<input type="checkbox"/> Ladrillo k.k. artesanal	Otros:	<input type="checkbox"/> Mala
Otros:		<input type="checkbox"/> Regular
		<input type="checkbox"/> Buena

## Fotos representativas



**ANEXO N° 03: Ficha de Reporte.**

<b>DIAGNOSTICO PRELIMINAR DE LA VIVIENDA INFORMAL FICHA DE REPORTE</b>									
									Vivienda N° :
<b>Antecedentes:</b>									
Ubicación: .....									
Dirección técnica en el diseño .....									
Dirección técnica en la construcción: .....									
Pisos construidos: .....			Pisos proyectados: .....			Antigüedad de la vivienda: .....			
Topografía y geología: .....									
Estado de la vivienda: .....									
.....									
.....									
.....									
Secuencia de construcción de la vivienda: .....									
.....									
<b>Aspectos técnicos:</b>									
<b>Elementos de la vivienda:</b>									
<b>Elemento</b>	<b>Características</b>								
Cimientos									
Muros									
Techo									
Columnas									
Vigas									
<b>Deficiencias de la estructura:</b>									
<b>Problemas de ubicación:</b>					<b>Problemas constructivos:</b>				
.....					.....				
<b>Problemas estructurales:</b>					.....				
.....					<b>Mano de obra:</b>				
.....					<b>Otros:</b>				
.....					.....				
.....									
<b>Análisis por sismo (Z=0.4g, U=1, C=2.5, R=3)</b>									
Factor de Suelo S =						Resistencia característica a corte (kPa): v'm = 510			
						VR =Resistencia al corte(kN) = Ae(0.5v'm.α+0.23fa)			
.....									
<b>Area</b>	<b>Cortante Basal</b>		<b>Area de muros</b>		<b>Densidad</b>	<b>Resistencia</b>	<b>VR/V</b>		<b>Resultado</b>
<b>Piso 1</b>	<b>Peso acum.</b>	<b>V=ZUCSP/R</b>	<b>Existente:Ae</b>	<b>Requerida:Ar</b>	<b>Ae / Ar</b>	<b>Ae/Area piso</b>	<b>VR</b>	<b>VR/V</b>	<b>Resultado</b>
m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	Adimensional	%	kN	Adimensional	
<b>Análisis en el sentido "X"</b>									
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
<b>Análisis en el sentido "Y"</b>									
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
<b>Observaciones y Comentarios</b>									
.....									
.....									
.....									

