



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Vulnerabilidad sísmica de viviendas de albañilería confinada del centro  
poblado El Charco - Santiago de Cao - Ascope - La Libertad.

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

Ingeniero Civil

**AUTORES:**

Br. Aguirre Alva, Grimaldo Daniel (ORCID: 0000-0002-7368-0663)

Br. Rojas Noriega, Edson Abraham (ORCID:0000-0002-0128-4311)

**ASESOR:**

Ing. Herrera Viloche, Alex Arquímedes (0000-0001-9560-6846)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

Diseño Sísmico y Estructural

TRUJILLO - PERÚ

2019

## **DEDICATORIA**

### **A NUESTRO CREADOR**

Por habernos dado el don de vivir y permitirnos ser  
Parte de un hogar ejemplar y con valores.

### **A NUESTROS PADRES**

Que con su esfuerzo y dedicación nos llevaron por el  
Camino correcto lleno de grandes virtudes y valores,  
Dando su ejemplo como guía en nuestras vidas.

## **AGRADECIMIENTO**

Esta tesis es el logro de una investigación conjunta por parte de los que integramos este gran equipo para la realización de la misma. Por esto agradecemos a nuestro director de carrera, Dr. Ing. Alan Yordan Valdiviezo Velarde, y nuestro asesor Ing. Alex Arquímedes Herrera Viloche quienes a lo largo de este tiempo nos han brindado todos sus conocimientos prácticos y teóricos adquiridos a lo largo de su trayectoria. También agradecemos a nuestros padres quienes han sido el motor de nuestros logros, por habernos brindado todo el apoyo y motivación para nuestra formación durante nuestra vida universitaria.

## **Página del Jurado**

## **Declaratoria de autenticidad**

## Índice

Carátula .....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento .....	iii
Página del Jurado.....	iv
Declaratoria de Autenticidad.....	v
Índice.....	vi
Índice de Tablas .....	ix
Índice de Figuras.....	xi
RESUMEN .....	xii
ABSTRACT .....	xiii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Aspectos generales: .....	2
1.1.1. Ubicación política: .....	2
II. MÉTODO.....	16
2.1. Tipo y diseño de investigación.....	16
2.2. Operacionalización de las variables .....	16
2.3. Población, muestra y muestreo.....	18
2.3.1. Población.....	18
2.3.2. Muestra.....	18
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad. ....	18
2.4.1. Técnicas .....	18
2.4.2. Instrumentos.....	18
2.4.3. Validez y confiabilidad .....	18
2.5. Método de análisis de datos .....	18
2.6. Aspectos éticos .....	19
III. RESULTADOS .....	20
3.1. Elaboración del estudio topográfico del centro poblado El Charco - Santiago de Cao - Ascope - La Libertad. ....	20
3.1.1. Reconocimiento del terreno .....	20
3.1.2. Red de apoyo planimétrico .....	20
3.1.3. Control del levantamiento topográfico .....	21
Instrumentos utilizados: .....	22
3.1.4. Levantamiento Altimétrico .....	22

3.1.5.	Levantamiento de curvas de nivel.....	23
3.1.6.	Análisis de los resultados.....	25
3.2.	Descripción de la tipología de las estructuras.....	26
3.3.	Estudio de mecánica de suelo del centro poblado en estudio.....	29
3.3.1.	Aspectos generales:.....	29
3.3.2.	Marco técnico:.....	29
3.3.3.	Trabajo de campo.....	30
3.3.4.	Distorsión angular.....	39
3.3.5.	Perfil estratigráfico.....	39
3.4.	Características estructurales del centro poblado en estudio.....	45
3.4.1.	Sistema estructural.....	45
3.4.2.	Material de Construcción.....	45
3.4.3.	Número de pisos.....	45
3.4.4.	Patologías constructivas en las viviendas.....	46
3.5.	Estado de conservación de las viviendas y vida útil de las estructuras.....	48
3.6.	Análisis Sismorresistente.....	48
3.6.1.	Zonificación Sísmica.....	48
3.6.2.	Categoría de las edificaciones y Factor U.....	49
3.6.3.	Perfiles del Suelo:.....	50
3.6.4.	Factor de amplificación sísmica.....	50
3.6.5.	Periodo fundamental de vibración (T).....	51
3.6.6.	Coficiente de Reducción de las Fuerzas Sísmicas (R).....	53
3.6.7.	Aceleración Espectral.....	55
3.6.8.	Metrado de Cargas.....	56
3.6.9.	Verificación de desplazamientos.....	57
3.6.10.	Modelamiento de vivienda de albañilería de 3 pisos.....	58
IV.	DISCUSIÓN.....	61
V.	CONCLUSIONES.....	66
VI.	RECOMENDACIONES.....	68
	REFERENCIAS.....	69
	ANEXOS.....	74
	Anexo 1. Carta de presentación a la municipalidad.....	74
	Anexo 2. Mapa Sísmico del Perú, periodo 1960 – 2017.....	75

Anexo 3. Mapa de Zonificación Sísmica .....	76
Anexo 4. Variables e indicadores en estudios de vulnerabilidad.....	77
Anexo 5. Variables e indicadores físico estructurales de edificaciones urbanas.....	78
Anexo 6. Valores de indicadores de años de construcción .....	79
Anexo 7. Análisis de vulnerabilidad a Nivel Municipal .....	79
Anexo 8. Índices de vulnerabilidad para tianalizar laza sísmica.....	80
Anexo 9. Intersección calle Los Delfines con calle Las brisas (El Charco – Santiago de Cao Ascope – La Libertad). .....	80
Anexo 10. Calle Los Delfines (El Charco – Santiago de Cao – Ascope – La Libertad).....	81
Anexo 11. Calle Los Delfines (El Charco – Santiago de Cao – Ascope – La Libertad).....	81
Anexo 12. Pasaje 6 entre Calle los Gramadales y Calle Los Delfines (El Charco – Santiago de Cao – Ascope – La Libertad).....	82
Anexo 13. Calle Los Gramadales (El Charco – Santiago de Cao – Ascope – La Libertad), pozo para desagüe.....	82
Anexo 14. Calle Los Gramadales (El Charco – Santiago de Cao – Ascope – La Libertad). .....	83



## Índice de tablas

Tabla 1. <i>Operacionalización de las variables</i> .....	17
Tabla 2. <i>Tipos de topografía</i> .....	24
Tabla 3. <i>Selección de equidistancia</i> .....	24
Tabla 4. <i>Estaciones con Coordenadas</i> .....	25
Tabla 5. <i>Categorías y sistemas estructural de las edificaciones</i> .....	31
Tabla 6. <i>Categorías y sistemas estructural de las edificaciones</i> .....	32
Tabla 7. <i>Número de puntos a investigar</i> .....	33
Tabla 8. <i>Tipo de edificación</i> .....	33
Tabla 9. <i>Resumen del análisis granulométrico</i> .....	35
Tabla 10. <i>Contenido de humedad</i> .....	35
Tabla 11. <i>Clasificación de suelos</i> .....	35
Tabla 12. <i>Resumen de límites líquidos</i> .....	36
Tabla 13. <i>Cuadro resumen de la capacidad admisible y asentamiento del suelo</i> .....	37
Tabla 14. <i>Cálculo de la distorsión angular</i> .....	39
Tabla 15. <i>Valores seleccionados de la capacidad admisible y asentamiento</i> .....	43
Tabla 16. <i>Zonificación sísmica</i> .....	49
Tabla 17. <i>Factor de zona</i> .....	49
Tabla 18. <i>Clasificación de los perfiles de suelo</i> .....	50
Tabla 19. <i>Cálculo de los periodos TP Y TL</i> .....	51

Tabla 20. <i>Periodo fundamental de vibración según el nivel de pisos y sistema estructural</i> .....	52
Tabla 21. <i>Cálculo del factor de amplificación sísmica según condición</i> .....	52
Tabla 22. <i>Cálculo del factor de amplificación sísmica según condición</i> .....	53
Tabla 23. <i>Coefficiente básico de reducción –R0</i> .....	53
Tabla 24. <i>Identificación de irregularidades</i> .....	53
Tabla 25. <i>Identificación de irregularidades estructurales según el número de pisos de la vivienda</i> .....	54
Tabla 26. <i>Cálculo del coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas – R</i> .....	55
Tabla 27. <i>Pesos unitarios</i> .....	56
Tabla 28. <i>Identificación del peso propio según el espesor del aligerado</i> .....	57
Tabla 29. <i>Cargas Vivas Mínimas Repartidas</i> .....	57
Tabla 30. <i>Límite para la distorsión del entrepiso</i> .....	57
Tabla 31. <i>Verificación de desplazamientos por en "x" de la vivienda</i> .....	59
Tabla 32. <i>Verificación de desplazamientos por en "x" de la vivienda</i> .....	59
Tabla 33. <i>Verificación de desplazamientos por en "x" de la vivienda con suelo blando</i> .....	60
Tabla 34. <i>Verificación de desplazamientos por en "x" de la vivienda con suelo blando</i> .....	60

## Índice de figuras

<i>Figura 1.</i> Zonificación sísmica del Perú .....	1
<i>Figura 2.</i> Ubicación política del área en estudio .....	2
<i>Figura 3.</i> Vivienda de 1 nivel de albañilería confinada.....	26
<i>Figura 4.</i> Vivienda de un nivel de albañilería confinada.....	27
<i>Figura 5.</i> Vivienda de dos niveles con sistema estructural de albañilería .....	27
<i>Figura 6.</i> Vivienda de dos niveles con sistema estructural de albañilería .....	28
<i>Figura 7.</i> Vivienda de tres niveles con sistema estructural de albañilería.....	28
<i>Figura 8.</i> Vivienda de tres niveles con sistema estructural de albañilería.....	29
<i>Figura 9.</i> Humedad en las viviendas.....	46
<i>Figura 10.</i> Humedad en las viviendas. ....	46
<i>Figura 11.</i> Grietas en las viviendas.....	47
<i>Figura 12.</i> Fisuras en las viviendas.....	47
<i>Figura 13.</i> Aceleración espectral. ....	55
<i>Figura 14.</i> Modelamiento de vivienda de albañilería de 3 pisos. ....	58

## RESUMEN

El estudio realizado tuvo como objetivo general determinar la vulnerabilidad sísmica de viviendas de albañilería confinada del centro poblado El Charco - Santiago de Cao - Ascope - La Libertad. Para ello, se elaboró una investigación de enfoque cuantitativo, de tipo básica y nivel descriptivo, en la que se utilizó como muestra las viviendas de albañilería confinada del centro poblado. Las técnicas a utilizarse para la recolección de datos fue la observación directa y mediante una ficha técnica se detallará lo observado para luego ser analizado junto con documentos relacionados a la investigación, según parámetros descritos en el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), para establecer el grado de vulnerabilidad sísmica. El RNE y las normas vigentes como es el caso de la NTP E 030. En los resultados, se halló la existencia de viviendas que comparten el material de construcción entre adobe y material noble, o estructuras de concreto. Por estudios antes realizados se conoció que el adobe de por sí presenta alta vulnerabilidad sísmica, lo que se convierte en peligro latente para las viviendas que tienen este material de construcción. Se concluyó que en la comunidad se identificaron viviendas de concreto armado, albañilería y de adobe o ladrillo crudo; en ciertos casos el primer nivel de la vivienda tiene columnas de concreto y muro de adobe o ladrillo. Así mismo se conoce que las viviendas de concreto armado, albañilería confinada tienen un mejor comportamiento ante un sismo. Las construcciones informales utilizan materiales de construcción que carecen de la resistencia necesaria para la carga a la que son sometidos, provocando riesgo de colapso ante un sismo severo.

**Palabras clave:** Vulnerabilidad sísmica en viviendas de albañilería, albañilería confinada en costa del Perú, resistencia de viviendas rurales.

## ABSTRACT

The study that was carried out had the general objective of determining the seismic vulnerability of confined masonry homes in the population center called El Charco - Santiago de Cao - Ascope - La Libertad. For this, a research of a quantitative approach, of a basic type and descriptive level, was carried out, in which the confined masonry houses of the populated center were used as a sample. The techniques to be used for data collection were direct observation and through a technical file what was observed will be detailed and then analyzed together with documents related to the investigation, according to parameters described in the National Building Regulations (RNE), to establish the degree of seismic vulnerability. The RNE and the current regulations, such as NTP E 030. In the results, the existence of houses that share the construction material between adobe and noble material, or concrete structures was found. From studies carried out before, it was known that adobe itself has high seismic vulnerability, which becomes a latent danger for homes that have this construction material. It was concluded that in the community, houses made of reinforced concrete, masonry and adobe or raw brick were identified; in certain cases the first level of the house has concrete columns and an adobe or brick wall. Likewise, it is known that houses made of reinforced concrete and confined masonry have a better behavior in the event of an earthquake. Informal constructions use construction materials that lack the necessary resistance to the load they are subjected to, causing the risk of collapse in the face of a severe earthquake.

**Keywords:** Seismic vulnerability in masonry housing, confined masonry on the coast of Peru, rural housing resilience.

## I. INTRODUCCIÓN

La realidad del país evidencia un constante movimiento de las placas tectónicas según la teoría del mismo nombre, esto debido a que esta teoría se fundamenta en que el Perú se ubica dentro del denominado “Cinturón del Fuego de Pacífico”. Además, esta teoría señala que el Perú es un país altamente sísmico, pues se ubica sobre la placa sudamericana de Nazca, el cual lo hace aún más vulnerable ante los movimientos sísmicos, porque eso representa que la región sufre o soporta la liberación de energía constantemente de esta placa tectónica de Nazca. (Álvarez, 2015, p.12)

Dentro de este contexto, el departamento de La Libertad se encuentra expuesto a constantes movimientos sísmicos, por ende, la provincia de Ascope, localizado en el distrito de Santiago de Cao, y sus anexos o poblaciones cercanas, tales como el centro poblado menor El Charco, se encuentran en situación vulnerable ante cualquier liberación de energía sísmica, esto debido a que según el Reglamento Nacional de Edificaciones RNE (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2019, p.811) se encuentran inmersos en la zona 4 (Zona altamente sísmica). Ver Figura 1:

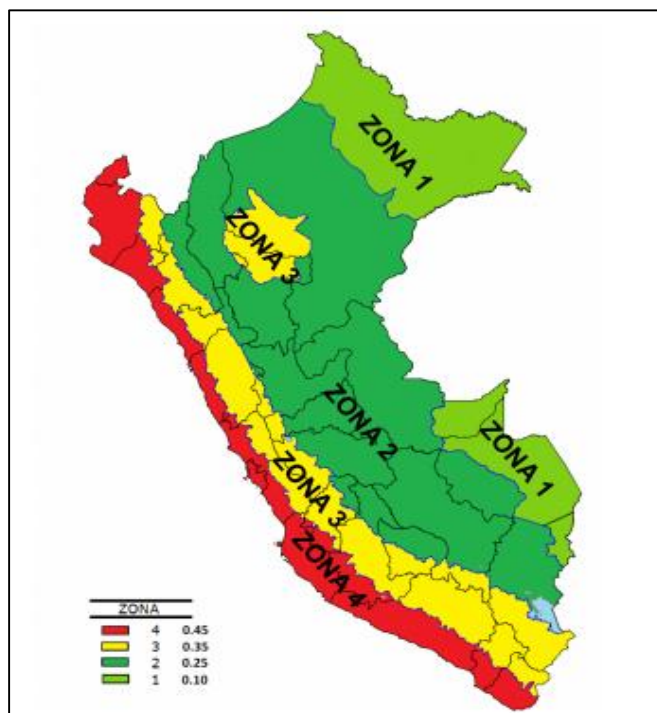


Figura 1. Zonificación sísmica del Perú

Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2019).

1.1. Aspectos generales:

1.1.1. Ubicación política:

Distrito: Santiago de Cao

Provincia: Ascope

Departamento: La Libertad

País: Perú (Ver Figura 2):

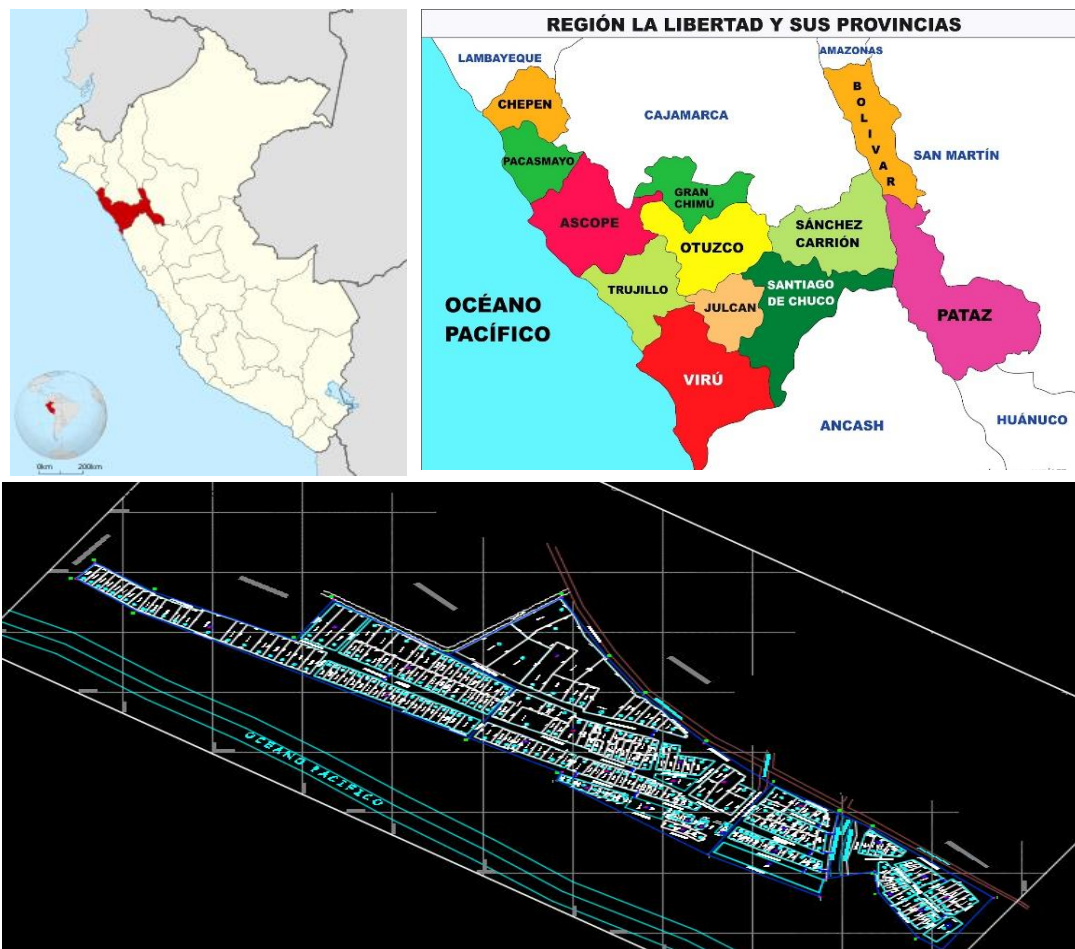


Figura 2. Ubicación política del área en estudio  
Fuente: elaboración propia, a partir de información de Ponce (2015). <http://mapatrujillo.blogspot.com/>.

Con el propósito de sustentar teóricamente el estudio, se procedió a hacer una revisión de diversos estudios previos que habían tratado la temática de la vulnerabilidad sísmica. Entre los más relevantes, se pueden mencionar los siguientes:

A nivel internacional, Junxue, Sha, Xiwei Yan & Chaoxu (2020) realizaron un estudio con el objetivo de evaluar la vulnerabilidad sísmica de edificios en el área de Yancheng (China). Para ello, se definió un estudio cuantitativo y descriptivo, de tipo aplicado.

En sus hallazgos se detectó que había cuatro tipos de edificios típicos en esta área de estudio: la estructura civil, la estructura de mampostería pura, la estructura de ladrillo y hormigón, así como la estructura del marco. En sus resultados, los autores desarrollaron un modelo matemático del proceso de jerarquía analítica para acceder al valor ponderado de los indicadores de vulnerabilidad de primer y segundo nivel lo que permitió establecer el modelo de evaluación de vulnerabilidad sísmica del edificio. Además, se determinó la distribución del riesgo de desastres sísmicos del área de Yancheng, considerando el peligro sísmico, la exposición de la población y la vulnerabilidad de los edificios. Los autores concluyeron que el mapa de distribución del riesgo de desastres sísmicos proporciona un sólido respaldo científico y tecnológico para que el gobierno investigue los posibles puntos de riesgo.

Mosoarca, Onescu & Anastasiadis (2020) elaboraron una investigación con el objetivo de evaluar la vulnerabilidad de los distritos de la zona más importante de Rumania, de una manera rápida y simplificada, para identificar la exposición de la ciudad y también proporcionar estadísticas de pérdidas para un escenario sísmico específico. Fue un estudio cuantitativo y descriptivo de tipo aplicado, con el uso de una metodología empírica de evaluación de vulnerabilidad sísmica basada en estudios europeos y aplicada a más de 100 edificios históricos. Se propuso una nueva fórmula para correlacionar las curvas de vulnerabilidad empírica con el nivel de daño real. Este último se observó en edificios de mampostería histórica similares durante la inspección del sitio y después de los terremotos pasados en áreas cercanas. El estudio concluyó que se detectó un nuevo mecanismo de falla basado en la investigación de los efectos de terremotos anteriores de campo cercano. La nueva metodología propuso curvas de vulnerabilidad originales, particularmente para los terremotos de campo cercano específicos del área sísmica.

Ferreira, Mendes & Silva (2019) presentaron una revisión exhaustiva de los métodos de evaluación de vulnerabilidad más relevantes aplicables a diferentes escalas, así como las soluciones de modernización sísmica tradicionales e innovadoras más importantes para los edificios de mampostería existentes. Fue un estudio cuantitativo y descriptivo, en el cual los autores destacaron la necesidad de un equilibrio adecuado entre la simplicidad y la precisión al seleccionar la técnica de vulnerabilidad sísmica más apropiadas. Concluyeron que es importante adoptar indicadores de vulnerabilidad que puedan ser fácilmente entendidos e interpretados, no solo por la comunidad técnica



y científica, sino también por ciudadanos, autoridades gubernamentales y de protección civil.

Hongquian (2019) elaboró una investigación para aplicar un enfoque de dinámica para el análisis de vulnerabilidad sísmica de represas terrestres. Fue un estudio cuantitativo y descriptivo, de tipo aplicado. En sus hallazgos detectó que la herramienta PDEM (método de evolución de densidad de probabilidad) proporciona la probabilidad de falla de diferentes estados límite para varios niveles de intensidad de movimiento del suelo, así como el valor medio, la desviación estándar y la función de densidad de probabilidad de la métrica de rendimiento de la estructura, al combinar la fiabilidad sísmica con tres niveles de rendimiento diferentes relacionados con el desplazamiento de la construcción, las curvas de fragilidad sísmica se construyen sin limitarse a una forma funcional específica. Concluyó que la evaluación de vulnerabilidad sísmica es una herramienta útil para el análisis racional de la seguridad y la planificación de sistemas estructurales grandes y complejos, ya que puede hacer frente a los efectos de las incertidumbres sobre el rendimiento de sistemas estructurales significativos.

Kassem, Nazri y Farsangi (2019) realizaron un estudio para conocer las metodologías de evaluación de vulnerabilidad sísmica más aplicadas en la actualidad. Fue un estudio cuantitativo y descriptivo, en el cual se evaluaron las metodologías de evaluación de vulnerabilidad y los índices de evaluación de riesgo sísmico y vulnerabilidad para cuantificar el nivel de daños a elementos estructurales o al sistema completo. Los autores concluyeron que los enfoques de evaluación sísmica se han utilizado para estimar la capacidad de resistencia a un terremoto (antes o después del evento). En consecuencia, los métodos empíricos, como el Rapid Visual Screening (RVS) y el enfoque del índice de vulnerabilidad parecen ser herramientas poco confiables porque se basan en los datos de daños observados que pueden ser limitados o inexactos. Por otro lado, no cubren todas las tipologías de edificios, intensidades y parámetros de vulnerabilidad, y el resultado depende mucho del juicio de expertos.

Boukri, Naboussi, Mebarki & Belazougi (2018) realizaron un estudio para presentar un marco integrado para la evaluación de daños sísmicos a escala urbana en Argelia. Su objetivo principal fue la propuesta de enfoques metodológicos y operativos simplificados para evaluar la vulnerabilidad urbana y las pérdidas socioeconómicas. Fue una investigación cuantitativa de tipo aplicada y nivel descriptivo. Los autores concluyeron que el riesgo sísmico para las zonas urbanas se define desde los aspectos

sísmicos de visión, análisis y cuantificación de dicha vulnerabilidad, principalmente, en edificios, infraestructuras y líneas de vida. Debido a ello, se requiere de la implementación de estrategias y herramientas adecuadas para reducir dichos riesgos. Asimismo, el uso de cartografía temática y mapeo de los resultados del daño sísmico, en las áreas afectadas, gracias a los sistemas de posicionamiento geográfico (GPS) proporciona una ubicación precisa y una evaluación resumida de las áreas urbanas más expuestas y potencialmente impactadas, activos e instalaciones.

El-Betar (2018) realizó un estudio con el objetivo de sugerir un procedimiento adecuado para la evaluación sísmica de edificios de concreto armado existentes en Egipto. Fue una investigación cuantitativa de tipo aplicada y nivel descriptivo. La evaluación sísmica se aplicó en los dos estudios de caso seleccionados, uno representa los edificios diseñados por carga de gravedad (GLD) y el otro representa los edificios diseñados de acuerdo con el código egipcio. Además, se realizó un análisis de evasión para investigar la vulnerabilidad de estos edificios. El estudio concluyó que, para evaluar edificios en Egipto, se puede utilizar la detección basada en el procedimiento FEMA P-154 para un gran número de edificios. La metodología ASCE 41-13 puede usarse para edificios que no lograron la resistencia sísmica en la inspección visual rápida, así como la estructura individual que requirió evaluación.

Fornisano, Chieffo & Mosoarca (2017) llevaron a cabo una investigación con el propósito de calcular la estimación rápida de vulnerabilidad y daños sísmicos en una región de Italia. El estudio tuvo las características de una investigación cuantitativa de tipo básico y nivel descriptivo. En los resultados, los autores indicaron que las diferencias porcentuales detectadas en términos de nivel de daño promedio entre edificios agregados y aislados han demostrado que, cuando se inserta dentro de los compuestos, el nivel de daño es más alto para edificios con cabeza (aumento del 22.15%), mientras que se reduce para edificios intermedios (disminución del 5,85%) y los de esquina (disminución del 18,30%). Los autores concluyeron que se ha demostrado la causa de los daños observados en los edificios inspeccionados al destacar la influencia de las distintas posiciones de las unidades estructurales en los daños que los agregados de mamposterías deberían tolerar bajo eventos sísmicos de diferentes grados, lo que llevó a realizar estudios individuales de edificios con mayor grado de vulnerabilidad.

Asteris, Cavaleri, Di Trapani et al. (2016) elaboraron un estudio con el objetivo de cuantificar las principales razones asociadas a eventos catastróficos naturales en un territorio, para planificar estrategias e intervenciones adecuadas por parte de los organismos de protección civil involucrados en emergencias locales e internacionales. El estudio, que fue de enfoque cuantitativo y tipo aplicado, propuso un procedimiento para la definición de mapas sísmicos en términos de índices de vulnerabilidad y aceleraciones críticas de picos de suelo para centros urbanos medianos y pequeños pertenecientes a áreas mediterráneas. El procedimiento, probado en el centro de la ciudad de la isla de Lampedusa (Italia), se basó en una investigación histórica preliminar del área urbana y de las principales características formales y tecnológicas de los edificios involucrados. Se concluyó que los resultados presentados proporcionaron una representación inequívoca de las principales críticas con respecto a la vulnerabilidad y el riesgo sísmico del centro de la ciudad de la isla, siendo una herramienta adecuada para la planificación y el manejo de emergencias.

McCrum, Amato & Suhail (2016) elaboraron un estudio cuyo propósito fue desarrollar curvas de fragilidad en diferentes estados de daño con el uso de un modelo mecánico detallado de una estructura de hormigón armado resistente en construcciones típicas del sur de Europa. Fue elaborada bajo las características de una investigación cuantitativa de tipo aplicado y nivel descriptivo. En sus resultados, mostró que utilizaron tres enfoques diferentes para derivar los límites de daño en una estructura de marco resistente al momento de concreto reforzado diseñado por código. Los métodos investigados incluyeron la creación de un modelo tridimensional detallado de elementos finitos de la estructura y la aplicación de fuerzas de empuje lateral para obtener una curva de capacidad. Los autores llegaron a la conclusión que la comparación de la curva de fragilidad modelada mecánicamente y HAZUS muestra un buen acuerdo, mientras que la metodología Risk-UE muestra un acuerdo razonablemente pobre.

A nivel nacional, Álvarez y Pulgar (2019) elaboraron una tesis con el objetivo de realizar un análisis de vulnerabilidad sísmica en unidades escolares públicas ubicadas en el distrito de Villa María del Triunfo mediante el índice FEMA p 154, además de realizar su validación mediante la determinación de las distorsiones laterales. Fue un estudio cuantitativo de nivel exploratorio y tipo aplicado. En los resultados se muestra el hallazgo de 159 estructuras que poseían fallas relacionadas con la presencia de

columnas cortas, que fue la irregularidad más común detectada en la investigación. Además, se detectaron 63 unidades con fallas por torsión, 8 estructuras con niveles divididos, 15 construcciones con sistemas no paralelos e igual cantidad de módulos con fallas de esquina entrante. Los autores concluyeron que el 40% de las estructuras no son vulnerables, debido a que tienen daños estructurales ligeros, mientras 31% son vulnerables y 29% son altamente vulnerables.

Sáenz (2019) elaboró una tesis con el propósito de evaluar la vulnerabilidad sísmica mediante curvas de fragilidad, a partir del caso de estudio del edificio de la Universidad Nacional del Centro del Perú. Fue un estudio cuantitativo de nivel exploratorio y tipo aplicado. Los resultados mostraron que la estructura evaluada cumplía con los requisitos de resistencia, rigidez y ductilidad exigidos por la norma vigente para el momento de su construcción (E.030,1997), pero incumple con los requisitos actuales de la norma E.030 2018, debido a que esta es más específica en la determinación de factores de irregularidad y riesgo sísmico. En sus conclusiones el autor indicó que, a partir del diagnóstico y los análisis realizados, se evidenció la necesidad de establecer un plan de monitoreo y un conjunto de medidas preventivas para garantizar una mayor eficiencia en el comportamiento estructural del edificio.

Palacios y Tandaypan (2017) realizaron una investigación para determinar la vulnerabilidad sísmica en las viviendas de albañilería confinada desde el punto de vista geotectónico – sísmico en una localidad en el departamento de Trujillo. Fue elaborada bajo las características de una investigación cuantitativa de tipo descriptiva, para lo cual elaboraron una ficha de encuesta en la que evaluaron los tipos y condiciones en la que se encuentran las estructuras; además, hicieron un estudio de mecánica de suelos para lo cual analizaron siete muestras, con la intención de realizar una microzonificación geotécnica, lo que permitió determinar que la zona en estudio poseía un buen suelo para potenciales construcciones. Finalmente, procedieron a hacer una microzonificación de peligros, lo que identificó viviendas aledañas al cauce de la quebrada León dormido. Los autores llegaron a la conclusión que, a pesar de que la zona en estudio cuenta con un buen suelo, este lugar posee un alto riesgo sísmico y el mapa de peligros identificó que existen puntos vulnerables a inundaciones.

Por su parte, Lovon (2017) realizó un estudio que tuvo como propósito plantear funciones de fragilidad y vulnerabilidad respecto a edificaciones informales de albañilería confinada en la ciudad de Lima, de manera que las funciones puedan ser

usadas para simular escenarios sísmicos a escala urbana. El tratamiento metodológico tuvo las características de una investigación cuantitativa de tipo descriptiva, para lo cual utilizaron la simulación de Montecarlo y luego un método simplificado que permitió calcular una curva de capacidad. También, se empleó en el estudio el método DBELA (*Displacement – Based Earthquake Loss Assessment*) mediante el cual se determinó el grado de daño estructural con apoyo de registros sísmicos. Se obtuvo como resultado un 10% de colapso en viviendas informales de un piso y una probabilidad de 40% de colapso en viviendas de dos pisos.

Rojas (2017) realizó un estudio que tuvo como objetivo principal determinar la vulnerabilidad sísmica de viviendas de albañilería confinada en el Asentamiento Humano San Marcos de Ate, para lo que emplearon métodos cuantitativos de tipo descriptivo, los cuales arrojaron un resultado de que el 60% presentan vulnerabilidad sísmica alta, 33.33% vulnerabilidad sísmica media y 6.67% vulnerabilidad sísmica baja. El autor concluyó que el asentamiento humano estudiado presentaba una vulnerabilidad sísmica alta, el cual se hace evidente que en toda construcción es muy importante la calidad de los materiales usados.

Parillo (2016) elaboró un estudio con el propósito de evaluar la vulnerabilidad sísmica de las instituciones educativas en la ciudad de Juliaca en la región de Puno. Fue elaborada bajo los parámetros de una investigación cuantitativa de nivel descriptivo y de tipo aplicado. Una vez realizado el análisis estructural y sísmico de cada construcción incluida en la muestra de investigación, se determinó que ninguna de las estructuras analizadas contaba con los requisitos mínimos normados; además, se observan deficiencias estructurales importantes que resultan en una evolución negativa en cuanto a su comportamiento sísmico.

Balta (2015) realizó un estudio con el objetivo de sistematizar de la información estructural de edificaciones en una plataforma geomática que permita la elaboración de mapas de riesgo sísmico en el distrito de Huaral. Esta investigación fue de tipo aplicada con enfoque cuantitativo y nivel descriptivo, en la cual se desarrolló un análisis sísmico de diversas aceleraciones de suelo y mapas de riesgo en consonancia con la norma E.030, para viviendas de entre uno y tres pisos de construcción. En sus resultados se mostró que, al finalizar el modelamiento y su análisis, se realizó la curva de daño y deterioro en construcciones de mampostería confinada. En las conclusiones se manifestó que en las zonas identificadas con una aceleración de suelo entre 0.1g a

0.4g, las construcciones no presentaron daños relevantes. En casos de aceleración de suelo en el rango de 0.4g a 0.6g, se estima un daño en 46% de las edificaciones, mientras que en el nivel de 0.6g a 1.0g, el 98% de las edificaciones de dos y tres pisos muestran daños importantes pero reparables, ya que no superan los límites de tolerancia para muros de albañilería confinada.

Quiroz y Vidal (2014) realizaron una investigación para evaluar el grado de vulnerabilidad sísmica estructural en edificaciones conformadas por sistemas aporticados y de albañilería confinada en el sector de La Esperanza parte baja – Trujillo. Esta investigación fue de tipo cuantitativa y descriptiva, consistió en aplicar una encuesta para identificar las fallas constructivas, prosiguieron con la determinación del modelo típico de la edificación, a la que se le realizaron pruebas estructurales en edificaciones de albañilería confinada y aporticados, posteriormente, compatibilizaron los desplazamientos del análisis espectral con los del análisis estático no lineal. Con esta secuencia de actividades se logró identificar el grado de vulnerabilidad en función del desplazamiento generador del pre colapso y se obtuvo como resultado que el 75.4% de viviendas presentaban un alto grado de vulnerabilidad sísmica.

Ortega (2014) elaboró una investigación que tuvo como objetivo principal determinar la vulnerabilidad estructural y el daño que sufrirían las edificaciones por efecto de sismo, con el uso del método del índice de vulnerabilidad y el método ATC- 21 en el centro urbano del distrito de Villa Rica. Su investigación, que fue de tipo cuantitativa y nivel descriptivo, consistió en desarrollar fichas para el levantamiento de la información que se aplicaron con éxito para los tres tipos de edificaciones analizadas. Dichas fichas fueron detalladas de manera que cumplieran con las exigencias de las metodologías empleadas. Posteriormente a la recopilación de datos, se realizó el procesamiento de la información mediante los parámetros señalados en cada método. De este procesamiento se calculó el índice de vulnerabilidad de cada edificación aplicando el método para edificaciones de mampostería no estructural y concreto armado: asimismo, el Método ATC - 21 para edificaciones de madera. Luego, se calcularon los respectivos índices de daño de acuerdo a los escenarios propuestos.

Laucata (2013) llevó a cabo un estudio para contribuir con la disminución de la vulnerabilidad sísmica en las viviendas informales de albañilería confinada en el Perú. Su investigación, de tipo cuantitativa y nivel descriptivo, consistió en elegir dos

distritos distanciados entre sí como es el caso de Víctor Larco por su cercanía al mar y El Porvenir, por encontrarse cerca a los inicios de la sierra; de esta manera se procedió a determinar y analizar las características técnicas, errores constructivos, arquitectónicos y estructurales de viviendas construidas de manera informal. El autor concluyó que las construcciones informales en Trujillo frente a un sismo de magnitud considerable podrían llegar al colapso por la baja calidad y resistencia de los materiales a utilizar y la reducida inversión de los propietarios en mano de obra capacitada.

En lo que respecta al marco teórico que sustenta la investigación, se puede indicar que la vulnerabilidad sísmica de una estructura es un indicador asociado con su debilidad en el caso de terremotos de intensidad dada, de modo que el valor de esta cantidad y el conocimiento del peligro sísmico permite evaluar el daño esperado de futuros terremotos (Hammoum, Bouzelha & Slimani, 2016, p. 187). Estos autores indicaron además que la evolución del estudio de vulnerabilidad en el mundo dio origen a varios métodos para evaluar el daño a edificios individuales, estructuras, edificios, centros urbanos e históricos. Se diferencian entre sí en términos de costo, en instalaciones usadas y en precisión.

En relación con este concepto, Asteris et al. (2016, p. 87) indicaron que la vulnerabilidad sísmica depende tanto de las características físicas de las construcciones como de las características geológicas del área en la que ocurre el evento, de manera que cuanto mayor es la frecuencia e intensidad de los eventos que caracterizan el área geográfica, mayor es el peligro. En vista de la mitigación dicha vulnerabilidad, estos análisis deben realizarse en áreas regionales o urbanas enteras y, por lo tanto, en una gran cantidad de edificios e infraestructuras. De esta forma, se puede decir que la vulnerabilidad sísmica de una estructura y/o grupos de estructuras o zona urbana, se define como su predisposición intrínseca a sufrir daño ante la ocurrencia de una sollicitación sísmica y está asociada claramente a las características físicas y estructurales del diseño.

Por su parte, Bayat et al. (2019, p. 337) expresaron que una estrategia efectiva para mitigar el riesgo sísmico depende de la evaluación adecuada del peligro sísmico o de la determinación de las propiedades de movimiento del suelo asociadas con terremotos futuros, en términos de desplazamiento, velocidad o aceleración. De hecho, el peligro sísmico está relacionado con un fenómeno natural típicamente aleatorio en términos de probabilidad y frecuencia de ocurrencia. Las técnicas utilizadas para la estimación

del peligro son métodos probabilísticos y deterministas (Hammoum, et al., 2016, p. 189).

Los métodos probabilísticos para la evaluación del riesgo sísmico se basan en la información entregada por el historial sísmico de un sitio, y proporcionan la tasa de probabilidad de que el movimiento del suelo exceda un cierto límite dentro de un intervalo de tiempo predeterminado. En este sentido, por lo tanto, el riesgo sísmico (H) representa la medida de probabilidad (P) del grado de severidad de los terremotos, expresada, por ejemplo, por el parámetro de intensidad (I), que puede ocurrir en un sitio determinado durante un intervalo de tiempo específico (Hammoum, et al., 2016, p. 189).

Por el contrario, los enfoques deterministas para la evaluación del riesgo sísmico se basan en el modelado del movimiento del suelo mediante la creación de sismogramas sintéticos, considerando solo los eventos máximos enumerados en el catálogo histórico, que fueron los más peligrosos (Asteris et al., 2016, p. 102). Básicamente, con este método, el área se discretiza en una cuadrícula compuesta por las llamadas celdas. En el centro de cada celda se le da un tipo de fuente sísmica, determinada considerando la magnitud máxima observada en el área del epicentro de esa celda considerada.

De acuerdo con la investigación realizada, hay cuatro mediciones relevantes para el estudio de la vulnerabilidad sísmica, las cuales se emplearán como dimensiones del estudio: el levantamiento topográfico, el estudio de mecánica de los suelos, el índice de vulnerabilidad y el análisis sísmico de viviendas, los cuales se describen a continuación:

- a. Levantamiento topográfico: es el estudio técnico y descriptivo de un terreno, permite determinar la posición, en tres dimensiones, de las características físicas, geográficas y geológicas sobre o debajo de la superficie terrestre, mediante un plano como instrumento de acopio de datos (Reyes, 2017, p. 13). Estas características pueden representarse en forma analógica como un mapa contorneado, plano o gráfico, o en forma digital, como un modelo de terreno digital.
- b. Estudio de mecánica de los suelos: de acuerdo con Gallarday (2005, p. 78) es el estudio de las propiedades físicas y la utilización de los suelos, especialmente utilizados en la planificación de cimientos para estructuras y carreteras. La



mecánica del suelo estudia cómo y cuánto se deforma el suelo, cómo resiste la deformación y estima su resistencia en diferentes condiciones de contorno y diferentes condiciones de carga de cualquier estructura de ingeniería civil (como puentes, tuberías, infraestructuras, edificios).

- c. Índice de vulnerabilidad: el método de índice de vulnerabilidad es una técnica que se utiliza para expresar el nivel de daño de un área urbana a gran escala o incluso para un solo edificio (Kassem et al., 2019, p. 199). Este método depende de una gran cantidad de datos dañados causados por terremotos previos que son necesarios para elaborar los parámetros más importantes que afectan y controlan la vulnerabilidad estructural de las estructuras.
- d. Análisis sísmico de viviendas: Es un subconjunto del análisis estructural y es el cálculo de la respuesta de una estructura de construcción (o no edificación) a los terremotos, que permite predecir el comportamiento de la estructura ante posibles eventos sísmicos (Norma Técnica E.030, 2016, p. 20).

Asimismo, el Reglamento Nacional de Edificaciones RNE (2016, p.4) menciona que, toda edificación y cada una de sus componentes deberán ser diseñadas y construidas para resistir los movimientos sísmicos prescritos en la norma, por lo que deben seguir las especificaciones pertinentes a los materiales utilizados. Por consiguiente, los peligros sísmicos que se pueden presentar en una estructura dependen única y exclusivamente del panorama sismo tectónico del lugar de estudio de la obra civil.

A nivel nacional, destacan históricamente dos sismos severos atroces como el del 14 de febrero del año 1619 a las 11:30 am; se dio en el norte del Perú un terremoto que destruyó edificios en Trujillo, en las Villas de Saña y Santa. El sismo fue sentido a 2000 km de Norte a Sur y 330 km de este a oeste aproximadamente y no produjo únicamente el colapso de las edificaciones, sino también ocasionó el agrietamiento de la tierra en varias partes, así como el surgimiento de un lodo negruzco. Aquel día murieron 350 personas de las cuales 130 fueron sepultadas por el derrumbe de las edificaciones (Instituto Nacional de Defensa Civil INDECI, 2006, p.2).

El siguiente sismo severo se dio el 31 de mayo de 1970, ocurrió el terremoto más catastrófico del Perú. Según el informe presentado por la Comisión de Reconstrucción y Rehabilitación de la Zona Afectada, 50.000 personas murieron, 20.000 desaparecieron y 150.000 personas quedaron heridas. Por efecto del terremoto la

cornisa norte del Nevado Huascarán se desprendió, lo que consigió rocas, hielo, lodo; cubriendo y destruyendo a Yungay y parte de Ranrahirca (INDECI, 2006, p. 5). De menor magnitud, se produjeron también otros aludes sobre las lagunas de Llanganuco y de Parón. En muchas áreas de la costa surgieron agrietamientos del terreno y en algunos de ellos surgieron agua, arena o lodo, hubo también surtidores de hasta 1m de altura. Afectó a los departamentos de Ancash y el sur de La Libertad y la región costera con Casma.

Como consecuencia de este terremoto, Chimbote sufrió grandes daños, así como menor destrucción en Trujillo y Huarney. Berg y Husid (1970) mencionaron que algunas edificaciones de concreto armado y de albañilería no colapsaron ante el movimiento, a diferencia de las viviendas rurales que se situaban en las vertientes de la Cordillera Negra y las que se encontraban en el lado oriental de la Cordillera Blanca (Citado por Gil y Alcayhuamán, 2010, p.3). Se estima que, entre Chimbote y Casma, según el daño visible, la intensidad llegó a grado IX, en el Callejón de Huaylas, intensidad de VII – VIII, en Huarney fue de grado VIII y en Trujillo en un intervalo de VI – VII.

En lo que respecta a la unidad de estudio, el centro poblado menor El Charco se encuentra ubicado sobre la convergencia de la Placa Tectónica de Nazca con la Placa Tectónica Sudamericana, donde puede ocurrir el sismo cuando se desplazan de forma súbita dos bloques de la corteza terrestre. Se llama plano de falla o falla a la superficie de desliz; produciéndose la vibración de la tierra a causa del desprendimiento de energía, lo que a su vez se origina por la presión y fricción en las rocas que se encuentran en la profundidad (Rojas, 2010, p.3). La conjunción de estos fenómenos origina esfuerzos que superan la resistencia de los bloques de la corteza cuando hacen contacto y generan mayor liberación de energía a razón del mayor esfuerzo generado. Asimismo, en el centro poblado se identificaron viviendas de adobe o ladrillo crudo, en ciertos casos el primer nivel de la vivienda tiene columnas de concreto y muro de adobe o ladrillo crudo, por lo que se realizó el análisis a la estructura tomando en cuenta el primer nivel como pórtico y segundo nivel como albañilería.

De esta manera, las lesiones físicas como la humedad y la erosión comprometen en el caso del sistema estructural de albañilería a los muros portantes o, en el caso de concreto, a los elementos estructurales principales, lo que ocasiona debilitamiento y pérdida de resistencia del material. Asimismo, las lesiones mecánicas como las grietas

son el indicador principal de que la estructura está fallando, las dimensiones de las grietas son mayores a 1 cm, por lo que deberían ser objeto de arreglo inmediato o, en todo caso, la estructura podría llegar al colapso. Otra lesión que presentan las viviendas son las fisuras que no comprometen a la estructura y sus dimensiones son menores a 1 cm de abertura. La corrosión es una lesión mecánica importante que indica debilitamiento estructural, cuando el acero se encuentra expuesto.

Asimismo, la estructura debería proyectarse hasta el máximo de pisos que requieran, sin realizar cambios bruscos que alteren la distribución de cargas de la edificación y generen mayor rigidez, agrietamiento y colapso. En todo caso, realizar una distribución en que los centros de masa y rigidez coincidan. El RNE (2016, p. 5) estipula que la edificación no debe colapsar y a la vez debe ser capaz de resistir a todo tipo de sollicitación para la que ha sido diseñada, tener el comportamiento adecuado ante sismos moderados y, en el caso de las edificaciones esenciales ante un sismo severo deben, permanecer operativas; todo ello con la finalidad de salvaguardar vidas humanas.

En vista de lo planteado anteriormente, se formula la siguiente interrogante: ¿Cuál es el índice de vulnerabilidad sísmica estructural de las viviendas de albañilería confinada del centro poblado El Charco – Santiago de Cao?

La investigación se justificó desde el punto de vista técnico, ya que se orienta hacia la realización de un estudio de vulnerabilidad sísmica, pues hasta ahora no se dispone de una información de este tipo en la comunidad objeto de estudio, con lo que se propone generar conocimiento hacia los ciudadanos interesados en construir viviendas que cumplan con los requerimientos técnicos necesarios.

Además; esta investigación se justificó teóricamente por que analiza la vulnerabilidad sísmica de las viviendas del centro poblado El Charco conforme a los parámetros técnicos del Reglamento Nacional de Edificaciones E-030 Diseño Sismorresistente y E-070 Albañilería Confinada, así como también estudios previos referentes a la investigación.

Se analizó el índice de vulnerabilidad a través del método de inspección y puntaje que analiza el estado actual de las viviendas y posterior desarrolla un análisis sísmico que permite conocer el comportamiento de la estructura en función a sus desplazamientos del suelo a través de un estudio de mecánica de suelos de las viviendas vulnerables.

Para tal efecto, se realizó esta investigación de vulnerabilidad sísmica para poder identificar medidas de mitigación de desastres que eviten el colapso de las viviendas ante sismos de gran magnitud con la finalidad de salvaguardar vidas humanas.

De lo anteriormente expuesto, se presenta como hipótesis explicativa que las estructuras de las viviendas en el centro poblado El Charco – Santiago de Cao presentan un índice de vulnerabilidad sísmica media.

El objetivo principal de esta investigación fue determinar la vulnerabilidad sísmica de viviendas de albañilería confinada del centro poblado El Charco - Santiago de Cao - Ascope - La Libertad. Para el logro de este propósito, se concibieron los siguientes objetivos específicos: analizar la topografía del área en estudio, definir la tipología estructural de las viviendas, analizar el estudio de mecánica de suelos del centro poblado en estudio, identificar características estructurales predominantes a las viviendas, realizar el análisis sísmico a tipologías de viviendas de 1, 2 y 3 niveles, y finalmente, evaluar el estado de conservación de las viviendas y vida útil de la estructura.

## II. MÉTODO

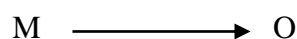
### 2.1. Tipo y diseño de investigación

De acuerdo con su enfoque, el estudio se concibe como una investigación cuantitativa, la cual es descrita por Hernández y Mendoza (2018, p. 7) como es el proceso de recopilación y análisis de datos numéricos. Se puede usar para encontrar patrones y promedios, hacer predicciones, probar relaciones causales y generalizar resultados a poblaciones más amplias. Se justifica su uso en virtud de que se hará uso de mediciones y cálculos matemáticos para determinar la vulnerabilidad sísmica de viviendas de albañilería confinada del centro poblado El Charco.

Por su parte, el tipo de investigación que corresponde al presente estudio es una investigación básica, ya que su propósito es el estudio para aumentar la base de conocimiento científico de los investigadores. Este tipo de investigación se realiza con la intención de aumentar la comprensión de ciertos fenómenos o comportamientos, pero sin tratar de resolver o tratar estos problemas (Arias, 2012, p. 110).

Según el nivel de estudio, es una investigación descriptiva, ya que se propone el detalle de una situación o evento, para especificar propiedades importantes del mismo mediante los métodos de recolección adecuados (Hernández y Mendoza, 2018, p. 105).

El esquema lógico es el siguiente:



M: Viviendas del centro poblado El Charco

O: Levantamiento topográfico, medición del índice de vulnerabilidad sísmica, mecánica de suelos, análisis sísmico.

Finalmente, de acuerdo con la temporalidad, se trata de un estudio transversal, también denominado transeccional, ya que los datos recolectados se hicieron en solo momento (Arias, 2012).

### 2.2. Operacionalización de las variables

En la Tabla 1 se presenta la operacionalización de la variable:

Tabla 1. Operacionalización de las variables

Variable	Dimensiones	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicadores	Escala de Medición
VULNERABILIDAD SÍSMICA	Levantamiento topográfico	Estudio técnico y descriptivo de un terreno, el cual permite determinar la posición, en tres dimensiones, de las características físicas, geográficas y geológicas sobre o debajo de la superficie terrestre, (Reyes, 2017, p.13).	Se hizo un levantamiento topográfico del centro poblado menor “El Charco”.	- Área de estudio. (m2) - Levantamiento altimétrico. (m) - Perfil longitudinal. (m)	Razón
	Estudio de mecánica de suelos	Estudio de las propiedades físicas y la utilización de los suelos, especialmente utilizados en la planificación de cimientos para estructuras y carreteras. (Gallarday, 2005, p. 78).	Se realizó este estudio para poder determinar las características y condiciones del suelo y el nivel de la capa freática para las viviendas a estudiar.	Análisis granulométrico Límite plástico Límite líquido Contenido de humedad Clasificación suelos SUCS y AASHTO Peso específico Capacidad portante	Razón
	Índice de vulnerabilidad	Técnica que se utiliza para expresar el nivel de daño de un área urbana a gran escala o incluso para un solo edificio (Kassem et al, 2019, p. 199).	Por medio de fichas técnicas se obtendrá el índice de vulnerabilidad sísmica.	Vulnerabilidad Baja Vulnerabilidad Media Vulnerabilidad Alta	Ordinal
	Análisis sísmico de viviendas	Subconjunto del análisis estructural que permite predecir el comportamiento de la estructura ante posibles eventos sísmicos (RNE, 2016, p.20).	Se evaluará basándose en la Norma Técnica peruana y según las condiciones establecidas en el RNE	- Análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes. - Análisis dinámico modal espectral.	Razón

Fuente: Elaboración propia.

## 2.3. Población, muestra y muestreo

### 2.3.1. Población

Viviendas de centro poblado El Charco - Santiago de Cao – Ascope - La Libertad.

### 2.3.2. Muestra

Las viviendas de albañilería confinada del centro poblado El Charco - Santiago de Cao – Ascope – La Libertad.

## 2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.

### 2.4.1. Técnicas

Las técnicas a utilizarse para la recolección de datos fue la observación directa y mediante una ficha técnica se detallará lo observado para luego ser analizado junto con documentos relacionados a la investigación.

### 2.4.2. Instrumentos

- Guía de observación que sirvió para analizar el índice de vulnerabilidad de las viviendas.
- Para el estudio de mecánica de suelos se utilizó tablas técnicas estandarizadas.

### 2.4.3. Validez y confiabilidad

Las tablas e instrumentos que se utilizarán ya están debidamente normados, por lo tanto, no requiere cumplir con los criterios de validez y confiabilidad no van en este caso.

## 2.5. Método de análisis de datos

Para el análisis de datos, con la metodología descrita se hará uso de: Hojas de cálculos (MS EXCEL), que se emplearán para la evaluación según parámetros descritos en el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), para establecer el grado de vulnerabilidad sísmica. El RNE y las normas vigentes como es el caso de la NTP E 030, se emplearán durante todo el proceso de análisis y la verificación de los parámetros de control, y la utilización de software los cuales son AUTOCAD, ETABS.

## 2.6. Aspectos éticos

Con la autorización de la Municipalidad del Centro Poblado El Charco - Santiago de Cao, me comprometo a realizar una investigación con datos y resultados veraces, que cumplan con lo estipulado en el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE).



### **III. RESULTADOS**

#### **3.1. Elaboración del estudio topográfico del centro poblado El Charco - Santiago de Cao - Ascope - La Libertad.**

Para el estudio de topografía, se hizo un replanteo de la Tesis titulada: “Diseño del sistema de agua potable y alcantarillado en el centro poblado de El Charco, Distrito de Santiago de Cao, Provincia de Ascope, Región La Libertad” de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería Civil. En la intervención de los trabajos de campo, tanto como de trabajos de gabinete, así como el manejo instrumentación moderna acorde con las exigencias del estudio. El levantamiento topográfico, comprende la delimitación de las calles, ubicación de viviendas, etc., necesarios para obtener un reconocimiento general del terreno. Para el control topográfico se ha ubicado un BM, dentro del centro poblado, que se presentan en los planos adjuntos, así como sus niveles y coordenadas.

##### **3.1.1. Reconocimiento del terreno**

Previamente al levantamiento, se coordinó una visita al balneario de El Charco junto a personal autorizado de la Municipalidad Distrital de Santiago de Cao, con el fin de hacer un recorrido a pie por la zona de estudio, para determinar de manera rápida y muy general las características topográficas de la zona. Paralelamente, se realizó un reconocimiento de todas las manzanas, lotes y calles, así como de locales públicos referenciales tales como la capilla del lugar, el restaurant “El Salonazo” y su losa deportiva. Esta primera visita fue importante ya que contribuyó en gran parte a tener una visión general del estudio.

##### **3.1.2. Red de apoyo planimétrico**

La Topografía plana estudia el terreno teniendo en cuenta solamente dimensiones y coordenada planimetrías, es decir no se tiene idea del relieve del terreno en cuestión, estudiando solo sus distancias y ángulos horizontales, así como la localización geográfica y posición (orientación). La curvatura de la tierra no se toma en consideraron, ya que este tipo de levantamientos son

de extensión limitada, y toda fundamentación se realiza con principios trigonométricos y geométricos.

### 3.1.3. Control del levantamiento topográfico

El control horizontal queda definido a partir de dos puntos fijos en el terreno, cuya posición exacta se determina horizontalmente a través de su dirección y la distancia. El control vertical estará referenciado a un plano de equiparación, para ver qué punto está más alto o más bajo siendo este plano oficial o arbitrario. Los métodos para el levantamiento topográfico fueron:

- a. Poligonación o Itinerario: el propósito de la poligonal es determinar las coordenadas de una serie de puntos. Este método se realiza a través de cada vértice de la poligonal topográfica, midiendo ángulos y distancias, recorriendo hacia otro vértice, haciéndose el mismo procedimiento. Al principio, se lee la lectura del azimut en el primer vértice para cálculos posteriores de los demás. Asimismo, se debe tener en cuenta que la poligonación se realiza en el sentido contrario a las agujas del reloj, es decir anti horario.
- b. Radiación o Coordenada Polar: este método se utiliza normalmente en pequeñas áreas y relativamente planas. Consiste en su inicio a partir de un vértice midiéndose la posición exacta de diversos objetos en el levantamiento a través de ángulos y distancias (coordenadas polares) a partir de un punto referencial. Es importante resaltar que, en algunos casos, para un mejor detalle y representación del terreno, utilizar la combinación método de caminar o Poligonación para levantar una poligonal base, además que el método de la Radiación es el usado para el detalle de algunos objetos de interés, a partir de los vértices de la poligonal.
- c. Ordenadas: es un método utilizado para el levantamiento de alineaciones curvas y también como auxiliar al método de la poligonación. Consiste en trazar una alineación auxiliar y a partir de este son levantadas tantas ordenadas como sean necesarias para la representación de la alineación de interés.

- d. Intersección: también denominado método coordenadas bipolares, es bastante limitado, pues sólo se puede utilizar para pequeñas áreas. Pese a ello, tiene la ventaja de ser el único método que puede ser utilizado cuando algunos vértices del área son inaccesibles.
- e. Coordenadas: el levantamiento por coordenadas consiste en crear un plano cartesiano, asignándose al menos dos puntos de apoyo de coordenadas conocidas. En uno de esos puntos se instala el instrumento y en el otro se coloca el bastón para hacer el amarre a través de una referencia para el instrumento. El levantamiento por coordenadas es muy utilizado por topógrafos que trabajan con la estación total.
- f. Trazo de poligonal: una vez realizado el reconocimiento inicial del terreno y marcados todos los vértices de la poligonal a ser levantada, se procede con las mediciones de ángulos y distancias de la misma. A ésta se le denomina poligonal base, la cual conforma el esqueleto del levantamiento topográfico. A partir de esta, se fija por referencia la posición de todos los detalles o accidentes naturales. El presente estudio se realizó mediante una poligonal abierta.

Instrumentos utilizados:

- Estación Total TOPCON SERIE GTS-100N
- Wincha de 50 mts
- Dos miras de 5 mts
- Cuatro jalones
- Un prisma equipado
- Una brújula
- Un GPS
- Una libreta de campo

#### 3.1.4. Levantamiento Altimétrico

La Altimetría es una rama de la topografía que estudia, de un modo general, las distancias verticales, entre ellas, la diferencia de nivel, las cotas y altitudes formadoras del relieve de un determinado lugar. Se puede decir, que el

producto final del levantamiento topográfico altimétrico es una Planta / carta / mapa tridimensional, pues se consideró el relieve, a diferencia de la Planimetría, en la que el producto final es una representación bidimensional. El relieve para ser estudiado, analizado y entendido necesita ser representado de alguna manera. En Topografía las formas más comunes de representación del relieve son puntos acotados, curvas de nivel, perfil, la sección transversal, el modelado numérico del terreno, entre otros.

Categorización de la nivelación:

1. Geométrica
  - a) Simple
  - b) Compuesta
  - c) Recíproca
2. Trigonométrica
3. Barométrica
4. Satélite

Nivelación topográfica: es una operación utilizada para la obtención de las diferencias de nivel sobre el terreno, a fin de posibilitar la determinación o cálculo de altitudes y cotas del terreno. Para ello, se utilizan diversas metodologías e instrumentos realizados en campo con el objetivo de la representación gráfica del relieve de un determinado. En el presente estudio se realizó mediante la nivelación geométrica. Los instrumentos empleados son los mismos que se utilizaron en el levantamiento topográfico de la zona.

### 3.1.5. Levantamiento de curvas de nivel

La curva de nivel es una forma de representación del relieve, a partir de líneas imaginarias que unen puntos de igual altura en el terreno (cota o altitud) y equidistantes entre sí, representadas en una Planta / carta / mapa. Se denomina curva porque normalmente los terrenos naturales tienden a tener una cierta curvatura debido al desgaste natural erosivo del suelo. Para la realización del plano topográfico se empleó equipos modernos topográficos,

tales como la Estación Total y GPS. Luego se procedió a procesar información mediante el software AutoCAD Civil3D.

Criterios para determinar el tipo de topografía del terreno: se empleó la inspección ocular y se definió como topografía llana por la morfología del terreno, que posee pendientes considerablemente suaves. Así mismo, se clasificó tomando en cuenta lo que se indica a través de la Tabla 2:

Tabla 2. *Tipos de topografía*

Angulo del Terreno respecto a la horizontal	Tipo de topografía
0 a 10°	Llana
10° a 20°	Ondulada
20° a 30°	Accidentada
Mayor a 30°	Montañosa

Fuente: Torres Tafur (2014).

Tabla 3. *Selección de equidistancia*

Escala del Plano	Tipo de Topografía	Equidistancia
Grande (1/100 a menor)	Llana	0.10-0.25
	Ondulada	0.25-0.50
	Accidentada	0.50-1.00
Mediana (1/100 a menor)	Llana	0.25-0.50-1.00
	Ondulada	0.50-1.00-2.00
	Accidentada	2.00-5.00
Pequeña (1/10000 a mayor)	Llana	0.50-1.00-2.00
	Ondulada	2.00-5.00
	Accidentada	0.50-1.00-2.00
	Montañosa	10.00-20.00-50.00

Fuente: Torres Tafur (2014).

### 3.1.6. Análisis de los resultados

Al emplear la combinación del método de poligonación y radiación se definieron 32 puntos de estación, a través de una poligonal de tipo cerrada; así mismo se ubicó un BM (BenchMark) en la losa deportiva del lugar, cuya cota corresponde a 6.000 m.s.n.m. Estas consideraciones tomadas en campo se realizaron con la finalidad de poder referenciar de manera correcta el manzaneo de la zona del centro poblado y por ende el trazo de mis redes tanto de agua como alcantarillado. Tomando en cuenta el criterio de los ángulos horizontales como se mostró en la Tabla 1, se determinó que la topografía es llana. A continuación, se presenta en la Tabla 3, donde se muestran, a manera de resumen, los puntos considerados como estaciones, en el levantamiento topográfico.

Tabla 4. *Estaciones con Coordenadas*

<b>ESTACIONES Y REFERENCIAS</b>			
<b>Nro.</b>	<b>Este</b>	<b>Norte</b>	<b>Cota</b>
E1	694021.00	9117952	4.5
E2	694118.76	9117907.031	3.452
E3	694213.96	9118017.871	5.743
E4	694037.94	9117947.569	2.792
E5	693457.2	9118389.747	4.154
E6	693423.45	9118436.823	3.76
E7	694064.37	9118095.682	5.255
E8	694185.49	9118028.409	6.703
E9	694087.38	9118085.259	5.46
E10	694021.36	9118147.593	5.907
E11	693908.53	9118208.231	5.233
E12	694045.46	9118213.807	56.56
E13	693701.31	9118338.536	5..584
E14	693645.82	9118358.839	4.328
E15	693636.94	9118364.720	4.052
E16	693636.97	9118377.959	4.123

<b>Nro.</b>	<b>Este</b>	<b>Norte</b>	<b>Cota</b>
E17	693574.81	9118420.806	5.006
E18	693513.16	9118455.415	4.402
E19	693462.3	9118486.208	4.649
E20	693441.58	9118514.655	4.750
E21	693308.69	9118582.967	7.663
E22	693313.60	9118582.142	4.662
E23	693912.39	9118271.366	5.385
E24	693948.88	9118367.583	6.074
E25	693987.42	9118305.731	5.223
E26	694287.54	9118021.608	7.775
E27	694255.26	9118017.293	6.099
E28	694253.62	9118055.411	5.023
E29	694299.10	9118027.276	5.855
E30	694350.41	9117975.539	6.356
E31	694313.58	9117922.085	7.180
E32	694310.91	9117921.495	7.111

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2. Descripción de la tipología de las estructuras

Se identificaron viviendas de 1 nivel donde la estructura estaba conformada por columnas y vigas de concreto armado y muros de adobe. Se considera al adobe o ladrillo crudo como material de construcción altamente vulnerable.



*Figura 3.* Vivienda de 1 nivel de albañilería confinada.

Fuente: Elaboración propia.



*Figura 4.* Vivienda de un nivel de albañilería confinada  
Fuente: Elaboración propia.

Para dos niveles como tipología representativa se identificó viviendas donde el primer nivel y el segundo nivel utilizan muros de ladrillo junto con columnas de concreto armado por lo que se analizó a ambos niveles como albañilería confinada.



*Figura 5.* Vivienda de dos niveles con sistema estructural de albañilería  
Fuente: Elaboración propia.





*Figura 6.* Vivienda de dos niveles con sistema estructural de albañilería  
Fuente: Elaboración propia.

De la misma forma que en el nivel 2, la tipología de viviendas de 3 niveles se analizó como albañilería confinada en su totalidad.



*Figura 7.* Vivienda de tres niveles con sistema estructural de albañilería  
Fuente: Elaboración propia.



*Figura 8.* Vivienda de tres niveles con sistema estructural de albañilería  
Fuente: Elaboración propia.

### 3.3. Estudio de mecánica de suelo del centro poblado en estudio

#### 3.3.1. Aspectos generales:

El presente estudio de mecánica de suelos tuvo por objeto establecer las condiciones de suelos para la vulnerabilidad sísmica de viviendas de albañilería confinada del centro poblado El Charco - Santiago de Cao - Ascope - La Libertad, para determinar de este modo los tipos de suelos y sus propiedades más significativas, las capacidades de carga admisible y las recomendaciones constructivas correspondientes.

#### 3.3.2. Marco técnico:

Este estudio se desarrolla bajo el siguiente marco técnico:

Norma Técnica E.050 "Suelos y Cimentaciones" del Reglamento Nacional de Edificaciones (2018).

Norma Técnica E.030 "Sismorresistente" del Reglamento Nacional de Edificaciones (2018).

Norma Técnica E.060 "Concreto Armado" del Reglamento Nacional de Edificaciones (2018).

### 3.3.3. Trabajo de campo

Con la finalidad de identificar y realizar la evaluación geotécnica del suelo y del subsuelo existente a lo largo del área de estudio, se llevó a cabo un programa de exploración de campo, excavación de calicatas y recolección de muestras para ser ensayadas en el laboratorio.

Características del proyecto:

Uso: viviendas

Tipo de sistema estructural: concreto armado

Ubicación: El Charco, Santiago de Cao, Ascope – La Libertad, Zona 4 (ver análisis sismo resistente).

Regularidad Estructural: regular o irregular.

En la Norma E.030 DISEÑO SISMORRESISTENTE, capítulo III “Requisitos Generales”, Artículo 13, Tabla N° 6 “Categoría y estructuras de las edificaciones” (ver Tabla 5, extraído del RNE):

Tabla 5. Categorías y sistemas estructural de las edificaciones distorsión

CATEGORIA DE LA ZONA EDIFICACIÓN	SISTEMA ESTRUCTURAL
	Aislamiento Sísmico con cualquier sistema estructural.
	4 y 3
A1	Estructura de acero tipo SCBF, OCBF y EBF.
	2 y 1
	Estructuras de concreto: Sistema Dual, Muros de Concreto Armado. Albañilería Armada o Confinada.
A2(*)	Estructura de acero tipo SCBF, OCBF y EBF.
	4,3 y 2
	Estructuras de concreto: Sistema Dual, Muros de Concreto Armado. Albañilería Armada o Confinada
	1
	Cualquier Sistema
B	Estructuras de acero tipo SMF, IMF, SCBF, OCBF y EBF.
	4,3 y 2
	Estructuras de concreto: Pórticos, Sistema Dual, Muros de Concreto Armado. Albañilería Armada o Confinada. Estructuras de Madera.
	1
	Cualquier Sistema
C	4,3,2,1
	Cualquier Sistema

Fuente: RNE - E 030 - 2018.

Según esto para el presente proyecto la categoría y estructura de la edificación es “A1”. En la Norma E.030 Diseño Sismorresistente, capítulo III “Requisitos Generales”, Artículo 10, Cuadro 5 “categoría de las edificaciones” (ver Tabla 6 extraída del RNE):

Tabla 6. *Categorías y sistemas estructural de las edificaciones*

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	FACTOR U
A Edificaciones Esenciales	A1: Salud	Ver nota 1
	A2: Edificaciones que deben seguir en funcionamiento ante un sismo severo	1.5
B Edificaciones Importantes	Edificaciones donde constantemente se encuentran gran cantidad de personas	1.3
C Edificaciones Comunes	Viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales.	1
D Edificaciones Temporales	Construcciones provisionales.	Ver nota 2

Fuente: Norma Técnica E - 030 “Diseño Sismorresistente”.

Al momento de aplicar el reglamento, la categoría de la edificación según su descripción y su uso:

Descripción: viviendas

Categoría Edificación: categoría “C”

En la Norma E.050 “SUELOS Y CIMENTACIONES”, capítulo 2 “ESTUDIOS”, Artículo 11, Programa de investigación:

Se aplicó un programa de investigación que respondió a las consideraciones encontradas en el área de estudio. El número de sondajes a realizar está establecido por el RNE en su Norma Técnica de Edificaciones E.050 de Suelos y Cimentaciones, (Ver Tablas 7 y 8 extraída RNE):

Tabla 7. *Número de puntos a investigar*

TIPO DE EDIFICACIÓN	NÚMERO DE PUNTOS A INVESTIGAR(n)
A	1 a cada 225 m <sup>2</sup>
B	1 cada 450 m <sup>2</sup>
C	1 cada 800 m <sup>2</sup>
Urbanizaciones	3 por cada Ha. De terreno habilitado

Fuente: Norma Técnica E - 050 “de Suelos y Cimentaciones”.

Tabla 8. *Tipo de edificación*

Clases de Estructura	Distancia Mayor entre apoyos (m)	Número de Pisos			
		<4	4 a 8	9 a 12	>12
APORTICADA DE ACERO	< 12	C	C	C	B
PÓRTICO Y/O MUROS DE CONCRETO	< 10	C	C	B	A

	< 12	B	A	-	-
MUROS PORTANTES DE ALBAÑILERÍA					
BASES DE MÁQUINAS Y SIMILARES	cualquiera	A	-	.	-
ESTRUCTURAS ESPECIALES	cualquiera	A	A	A	A
OTRAS ESTRUCTURAS	cualquiera	B	A	A	A
Cuando la distancia sobrepasa la indicada se clasifica en el tipo de edificación inmediata superior					
TANQUES ELEVADOS Y SIMILARES	≤ 9m de altura			>9 m de altura	
		B		A	

Fuente: Norma Técnica E - 050 "de Suelos y Cimentaciones".

El Tipo de edificación es Tipo "C", con uso de vivienda, es una edificación común, el RNE indica realizar un punto de investigación cada 800 m2.

Tabla 9. *Resumen del análisis granulométrico*

CALICATA	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	% GRAVA	% ARENA	% FINO
PC - 1	M-1	-0.20 a -2.00	1.4	67.36	31.24
PC - 2	M-1	-0.20 a -2.00	1.28	67.61	31.11
PC - 3	M-1	-0.20 a -2.00	1.54	66.56	31.91
PC - 4	M-1	-0.20 a -2.50	0.00	99.11	0.89
PC - 5	M-1	-0.20 a -2.00	1.28	66.72	32.00
PC - 6	M-1	-0.20 a -2.50	0.00	98.98	1.02
PC - 7	M-1	-0.20 a -2.50	0.00	99.40	0.60
PC - 8	M-1	-0.20 a -2.50	0.00	98.64	1.36
PC - 9	M-1	-0.20 a -2.50	0.00	99.27	0.73

Fuente: Elaboración propia.

En total se excavaron nueve pozos "a cielo abierto", los que se denominan PC-1, PC-2, PC-3, PC4, PC-5, PC-6, PC-7, PC-8 Y PC-9. De los cuales se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en los siguientes cuadros:

Tabla 10. *Contenido de humedad*

CALICATA	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	HUMEDAD (%)
PC - 1	M-1	-0.20 a -2.00	15.71
PC - 2	M-1	-0.20 a -2.00	14.55
PC - 3	M-1	-0.20 a -2.00	13.55
PC - 4	M-1	-0.20 a -2.50	21.51
PC - 5	M-1	-0.20 a -2.00	13.76
PC - 6	M-1	-0.20 a -2.50	21.10
PC - 7	M-1	-0.20 a -2.50	21.04
PC - 8	M-1	-0.20 a -2.50	20.28
PC - 9	M-1	-0.20 a -2.50	20.98

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 11. *Clasificación de suelos*

CALICATA	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACIÓN SUCS
PC - 1	M-1	-0.20 a -2.00	SM (Arena limosa)
PC - 2	M-1	-0.20 a -2.00	SM (Arena limosa)
PC - 3	M-1	-0.20 a -2.00	SM (Arena limosa)
PC - 4	M-1	-0.20 a -2.50	SP (Arena mal gradada)
PC - 5	M-1	-0.20 a -2.00	SM (Arena limosa)
PC - 6	M-1	-0.20 a -2.50	SP (Arena mal gradada)
PC - 7	M-1	-0.20 a -2.50	SP (Arena mal gradada)
PC - 8	M-1	-0.20 a -2.50	SP (Arena mal gradada)
PC - 9	M-1	-0.20 a -2.50	SP (Arena mal gradada)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12. *Resumen de límites líquidos*

CALICATA	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	L.L.	L.P.	I.P.
PC - 1	M-1	-0.20 a -2.00	18.54	15.79	2.83
PC - 2	M-1	-0.20 a -2.00	18.66	15.76	2.90
PC - 3	M-1	-0.20 a -2.00	19.65	16.98	2.67
PC - 4	M-1	-0.20 a -2.50	NP	NP	NP
PC - 5	M-1	-0.20 a -2.00	19.12	17.40	1.73
PC - 6	M-1	-0.20 a -2.50	NP	NP	NP
PC - 7	M-1	-0.20 a -2.50	NP	NP	NP
PC - 8	M-1	-0.20 a -2.50	NP	NP	NP
PC - 9	M-1	-0.20 a -2.50	NP	NP	NP

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13. Cuadro resumen de la capacidad admisible y asentamiento del suelo

CALICATA PC-01 (ARENA LIMOSA SM)							
Cimentación Corrida							
B(m)	L(m)	Sc	Sq	S $\gamma$	Qu (kg/cm <sup>2</sup> )	Qad(kg/cm <sup>2</sup> )	S(cm)
	0.40	1.00	1.00	1.00	1.50	0.50	0.13
	0.60	1.00	1.00	1.00	1.58	0.53	0.21
	0.80	1.00	1.00	1.00	1.67	0.56	0.29
	1.00	1.00	1.00	1.00	1.75	0.58	0.39
	1.20	1.00	1.00	1.00	1.84	0.61	0.49
Cimentación Cuadrada							
B(m)	L(m)	Sc	Sq	S $\gamma$	Qu (kg/cm <sup>2</sup> )	Qad(kg/cm <sup>2</sup> )	S(cm)
1.20	1.20	1.43	1.36	0.60	2.83	0.94	0.33
1.30	1.30	1.43	1.36	0.60	2.85	0.95	0.36
1.50	1.50	1.43	1.36	0.60	2.90	0.97	0.42
1.80	1.80	1.43	1.36	0.60	2.98	0.99	0.52
2.00	3.00	1.29	1.24	0.73	2.92	0.97	0.57

CALICATA PC-04 (ARENA POBREMENET GRADADA SP)

Cimentación Corrida

B(m)	L(m)	Sc	Sq	S $\gamma$	Qu (kg/cm <sup>2</sup> )	Qad(kg/cm <sup>2</sup> )	S(cm)
	0.40	1.00	1.00	1.00	1.43	0.48	0.12
	0.60	1.00	1.00	1.00	1.53	0.51	0.20
	0.80	1.00	1.00	1.00	1.64	0.55	0.28
	1.00	1.00	1.00	1.00	1.75	0.58	0.37
	1.20	1.00	1.00	1.00	1.85	0.62	0.48

Cimentación Cuadrada

B(m)	L(m)	Sc	Sq	S $\gamma$	Qu (kg/cm <sup>2</sup> )	Qad(kg/cm <sup>2</sup> )	S(cm)
1.20	1.20	1.45	1.39	0.60	2.91	0.97	0.33
1.30	1.30	1.45	1.39	0.60	2.94	0.98	0.36
1.50	1.50	1.45	1.39	0.60	3.00	1.00	0.43
1.80	1.80	1.45	1.39	0.60	3.10	1.03	0.53
2.00	3.00	1.30	1.26	0.73	3.07	1.02	0.58

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.4. Distorsión angular

En la Tabla 14 se muestran los resultados del cálculo de la distorsión angular:

Tabla 14. *Cálculo de la distorsión angular*

ASENTAMIENTO	B (m)	S (cm)	L (cm)	Distorsión Angular ( $\alpha$ )
<b>CALICATA PC-01</b>				
S1	0.80	0.29	400	0.00073
S2	1.50	0.42	400	0.0011
<b>CALICATA PC-02</b>				
S1	0.80	0.28	400	0.0007
S2	1.50	0.43	400	0.0011

Fuente: Elaboración propia.

Distorsión Angular Máxima (según Norma E.050 =  $1/150 = 0.0067$ )

### 3.3.5. Perfil estratigráfico

La elaboración del perfil estratigráfico requiere de una clasificación de materiales que se obtiene mediante análisis y ensayos en laboratorio sobre las muestras extraídas en el campo. La interpretación de los resultados obtenidos ha permitido clasificar los suelos, definir los horizontes de material homogéneo y establecer el perfil estratigráfico.

Descripción del perfil: la información obtenida de los trabajos de campo y de laboratorio, permiten determinar las características de los suelos, se han realizado los perfiles:

Calicata PC – 1

0,00 a –0.20 m Suelo antrópico.

-0.20 a -2.00 m Arena Limosa de consistencia semi blanda, color marrón claro, presencia de limos, partículas sub redondeadas a sub angulosas con una húmeda  $w = 15.71\%$ , un porcentaje de grava de 1.40, de arena 67.36% y de fino 31.24%.

Calicata PC – 2

0,00 a –0.20 m Suelo antrópico.

-0.20 a -2.00 m Arena Limosa de consistencia semi blanda, color marrón claro, presencia de limos, partículas sub redondeadas a sub angulosas con una húmeda  $w = 14.55\%$ , un porcentaje de grava de 1.28, de arena 67.61% y de fino 31.11%.

Calicata PC – 3

0,00 a –0.20 m Suelo antrópico.

-0.20 a -2.00 m Arena Limosa de consistencia semi blanda, color marrón claro, presencia de limos, partículas sub redondeadas a sub angulosas con una húmeda  $w = 13.55\%$ , un porcentaje de grava de 1.54, de arena 66.56% y de fino 31.91%.

Calicata PC – 4

0,00 a –0.20 m Suelo antrópico.

-0.20 a -2.50 m Arena mal gradada de consistencia semi blanda, color beige claro, estructura no cohesiva, partículas sub redondeadas a sub angulosas con una húmeda  $w = 21.51\%$ , un porcentaje de grava de 0.00, de arena 99.11% y de fino 0.89%.

Calicata PC – 5

0,00 a –0.20 m Suelo antrópico.

-0.20 a -2.00 m Arena Limosa de consistencia semi blanda, color marrón claro, presencia de limos, partículas sub redondeadas a sub angulosas con una húmeda  $w = 13.76\%$ , un porcentaje de grava de 1.28, de arena 66.72% y de fino 32.00%.

Calicata PC – 6

0,00 a –0.20 m Suelo antrópico.

-0.20 a -2.50 m Arena mal gradada de consistencia semi blanda, color beige claro, estructura no cohesiva, partículas sub redondeadas a sub angulosas con una húmeda  $w = 21.10\%$ , un porcentaje de grava de 0.00, de arena 98.98% y de fino 1.02%.

Calicata PC – 7

0,00 a -0.20 m Suelo antrópico.

-0.20 a -2.50 m Arena mal gradada de consistencia semi blanda, color beige claro, estructura no cohesiva, partículas sub redondeadas a sub angulosas con una húmeda  $w = 21.04\%$ , un porcentaje de grava de 0.00, de arena 99.40% y de fino 0.60%.

Calicata PC – 8

0,00 a -0.20 m Suelo antrópico.

-0.20 a -2.50 m Arena mal gradada de consistencia semi blanda, color beige claro, estructura no cohesiva, partículas sub redondeadas a sub angulosas con una húmeda  $w = 20.28\%$ , un porcentaje de grava de 0.00, de arena 98.64% y de fino 1.36%.

Calicata PC – 9

0,00 a -0.20 m Suelo antrópico.

-0.20 a -2.50 m Arena mal gradada de consistencia semi blanda, color beige claro, estructura no cohesiva, partículas sub redondeadas a sub angulosas con una húmeda  $w = 20.98\%$ , un porcentaje de grava de 0.00, de arena 99.27% y de fino 0.73%.

El NAF No se encontró a los niveles estudiados.

De acuerdo a la exploración realizada, pruebas de campo, ensayos de laboratorio y al análisis efectuado, se obtuvo lo siguiente:

El proyecto está ubicado dentro del C.P. El Charco, distrito de Santiago de Cao, provincia de Ascope, Departamento de La Libertad.

Los suelos encontrados en las diferentes calicatas presentan las siguientes descripciones:

En la PC-01, PC-02, PC-03 Y PC-05 se encontró un relleno antrópico de espesor de 0.20 m., luego subyace un suelo clasificado como una arena limosa (SM) de consistencia semi blanda y de color marrón claro, de una se excavó hasta la profundidad de 2.00, no encontrando nivel freático (NAF).

En la PC-04, PC-06, PC-07, PC08 Y PC-09 se encontró un relleno antrópico de espesor de 0.20 m., luego subyace un suelo clasificado como una arena pobremente gradada (SP) de consistencia semi blanda y de color marrón claro, de una se excavó hasta la profundidad de 2.50, no encontrando nivel freático (NAF).

El proyecto (Edificación tipo C), constituido en su mayoría por elementos de material noble, esto es ladrillo de arcilla cocida, techos aligerados, vigas y columnas de concreto armado y cimientos del tipo superficial. En general, este proyecto será diseñado de tal manera que los esfuerzos transmitidos no superen los esfuerzos de trabajo del terreno.

Tipo de cimentación recomendada es Superficial (cimientos corridos y cuadrados).

Se recomienda una profundidad de desplante (Df) de 1.50 como mínimo desde el nivel de piso terminado. Los valores seleccionados a continuación son referenciados de la Tabla 15.

Tabla 15. Valores seleccionados de la capacidad admisible y asentamiento del suelo

CALICATA PC-01 (ARENA LIMOSA SM)							
Cimentación Corrida							
B(m)	L(m)	Sc	Sq	S <sub>γ</sub>	Qu (kg/cm <sup>2</sup> )	Qad(kg/cm <sup>2</sup> )	S(cm)
	0.40	1.00	1.00	1.00	1.50	0.50	0.13
	0.60	1.00	1.00	1.00	1.58	0.53	0.21
	0.80	1.00	1.00	1.00	1.67	0.56	0.29
	1.00	1.00	1.00	1.00	1.75	0.58	0.39
	1.20	1.00	1.00	1.00	1.84	0.61	0.49
Cimentación Cuadrada							
B(m)	L(m)	Sc	Sq	S <sub>γ</sub>	Qu (kg/cm <sup>2</sup> )	Qad(kg/cm <sup>2</sup> )	S(cm)
1.20	1.20	1.43	1.36	0.60	2.83	0.94	0.33
1.30	1.30	1.43	1.36	0.60	2.85	0.95	0.36
1.50	1.50	1.43	1.36	0.60	2.90	0.97	0.42
1.80	1.80	1.43	1.36	0.60	2.98	0.99	0.52
2.00	3.00	1.29	1.24	0.73	2.92	0.97	0.57



CALICATA PC-04 (ARENA POBREMENET GRADADA SP)

Cimentación Corrida

B(m)	L(m)	Sc	Sq	S $\gamma$	Qu (kg/cm <sup>2</sup> )	Qad(kg/cm <sup>2</sup> )	S(cm)
	0.40	1.00	1.00	1.00	1.43	0.48	0.12
	0.60	1.00	1.00	1.00	1.53	0.51	0.20
	0.80	1.00	1.00	1.00	1.64	0.55	0.28
	1.00	1.00	1.00	1.00	1.75	0.58	0.37
	1.20	1.00	1.00	1.00	1.85	0.62	0.48

Cimentación Cuadrada

B(m)	L(m)	Sc	Sq	S $\gamma$	Qu (kg/cm <sup>2</sup> )	Qad(kg/cm <sup>2</sup> )	S(cm)
1.20	1.20	1.45	1.39	0.60	2.91	0.97	0.33
1.30	1.30	1.45	1.39	0.60	2.94	0.98	0.36
1.50	1.50	1.45	1.39	0.60	3.00	1.00	0.43
1.80	1.80	1.45	1.39	0.60	3.10	1.03	0.53
2.00	3.00	1.30	1.26	0.73	3.07	1.02	0.58

Fuente: Elaboración propia.

### 3.4. Características estructurales del centro poblado en estudio

#### 3.4.1. Sistema estructural

##### a. Concreto Armado - Pórticos:

Estructuras de concreto armado donde funcionan como elemento estructural los pórticos y las vigas. La Norma Técnica E – 030 menciona que actúan sobre las columnas un 80% de cortante en la base. Asimismo, dispone que todo el sistema estructural perteneciente a concreto armado debe cumplir con lo dispuesto en la Norma Técnica E -030.

##### b. Albañilería

La albañilería es una técnica de construcción comúnmente utilizada para la edificación de viviendas, donde los muros funcionan como elementos portantes, sismorresistentes. La Norma Técnica E -030 no diferencia en si es armada o confinada para el proceso de análisis.

##### c. Tradicional

En el centro poblado se identificó viviendas de adobe o ladrillo crudo, en ciertos casos el primer nivel de la vivienda funciona como pórtico.

#### 3.4.2. Material de Construcción

Según la contabilización en campo se registró un total de 769 viviendas dónde el 30.57% son de albañilería confinada y con mayor porcentaje del 69.43% viviendas de adobe y ladrillo crudo en total. Aumentando el nivel de vulnerabilidad sísmica porque este sistema estructural tiene peor comportamiento que el de albañilería confinada.

#### 3.4.3. Número de pisos

Se realizó una contabilización donde se obtuvo un total de 769 lotes destinados para vivienda. Se encuentran ubicados en un área aproximada de

74356.33 m<sup>2</sup>. Se estimó un número de pisos como máximo de un nivel equivale al 85.7%, un total porcentualmente son 13.78% para 2 niveles y viviendas de 3 niveles equivale al 0.52%.

#### 3.4.4. Patologías constructivas en las viviendas

- a. **Humedad:** la humedad puede causar diferentes factores que deben ser analizados, se identificó esta patología que en dimensiones mayores puede comprometer los muros portantes en las viviendas de albañilería confinada ocasionando debilitamiento de la estructura y pérdida de resistencia del material (Ver Figuras 9 y 10).



*Figura 9.* Humedad en las viviendas.  
Fuente: Elaboración propia.



*Figura 10.* Humedad en las viviendas.  
Fuente: Elaboración propia.

- b. Grietas: las grietas son el indicador principal de que la estructura está fallando. Las dimensiones son mayores a 1 cm para poder distinguirlas. Deben de arreglarse de inmediato o en todo caso la estructura puede llegar al colapso (ver Figura 11).



*Figura 11.* Grietas en las viviendas.  
Fuente: Elaboración propia.

- c. Fisuras: las fisuras no comprometen a la estructura, puesto que son menores a 1 cm de abertura, pero deben arreglarse para que no aumente su longitud y comprometa a la estructura.



*Figura 12.* Fisuras en las viviendas.  
Fuente: Elaboración propia.

### 3.5. Estado de conservación de las viviendas y vida útil de las estructuras

Se estudiaron según la antigüedad de las viviendas. El 16 de abril de 1828, año en que empezaron a habitar el centro poblado, las construcciones fueron de adobe, bloques de 0.40x 0.20 y un espesor de 0.13 m. Estas viviendas, en el sismo de 1970, no llegaron al colapso, solo ocurrieron desprendimientos de los muros entre las uniones con las mochetas, así señalan los pobladores de la zona en investigación. En el año 1996, ocurrió el fenómeno del Niño lo que ocasionó el colapso de las viviendas debido a que al hacer contacto el agua con el material de adobe, este último pierde su forma y se convierte en lodo. Por ello, reconstruyeron sus viviendas con material noble. Actualmente, existen viviendas que aún tienen muros de separación con las viviendas colindantes, hechos de adobe y con las longitudes antes mencionadas. Se distinguió también que existen viviendas que comparten el material de construcción entre adobe y material noble, o estructuras de concreto. Por estudios antes realizados se conoció que el adobe de por sí presenta alta vulnerabilidad sísmica, lo que se convierte en peligro latente para las viviendas que tienen este material de construcción. Asimismo, se conoce que las viviendas de concreto armado, albañilería confinada, tienen un mejor comportamiento ante un sismo.

Como se indicó, en el centro poblado menor El Charco, las viviendas de albañilería confinada, siendo el material predominante de construcción, y concreto armado, tienen en su mayoría 30 años de antigüedad.

### 3.6. Análisis Sismorresistente

#### 3.6.1. Zonificación Sísmica

El Perú se encuentra dividido en cuatro zonas sísmicas establecidas según estudios realizados de: sismicidad, movimientos sísmicos, atenuación, con la distancia epicentral y la información geotectónica. El distrito de Santiago de Cao, según el Cuadro 1, pertenece al Departamento de La Libertad, provincia de Ascope correspondiéndole la zona sísmica 4 con un factor Z que indica la aceleración horizontal máxima de un suelo rígido con probabilidad de exceder un 10% en 50 años; de 0.45g mayor a diferencia de las otras zonas. Generándose mayor

aceleración a causa de que se ubica sobre la interacción de las placas tectónicas de Nazca y la Sudamericana (Ver Tabla 16 y 17):

Tabla 16. *Zonificación sísmica*

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO
		ASCOPE		
		CASA GRANDE		
		CHOCOPE		
TRUJILLO	ASCOPE	MAGDALENA DE CAO	4	TODOS LOS
		PAIJAN		DISTRITOS
		RAZURI		
		SANTIAGO DE CAO		

Fuente: Norma Técnica E - 030 “Diseño Sismorresistente”.

Tabla 17. *Factor de zona*

ZONA	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

Fuente: Norma Técnica E - 030 “Diseño Sismorresistente”.

### 3.6.2. Categoría de las edificaciones y Factor U

El RNE, en la Norma Técnica E – 030, categoriza a las edificaciones según su uso y capacidad de servicio ante desastres naturales como también daños a causa de su

colapso. Por lo que, en el proceso del cálculo de análisis sísmico le corresponde un factor “U”. Esta investigación analizó a las viviendas del centro poblado, correspondiéndole la Categoría C de Edificaciones comunes, por lo que se usó el Factor de Uso “U” igual a 1 (Ver Tabla 18).

### 3.6.3. Perfiles del Suelo:

El informe INDECI PNUD PER / 02 / 051 PROGRAMA CIUDADES SOSTENIBLES realizó el Mapa de Peligros, Plan de Usos del Suelo ante Desastres y Medidas de Mitigación con en el que se excavaron 4 calicatas en la zona en estudio, ubicadas estratégicamente para el reconocimiento del suelo. Según la Clasificación de Suelos (SUCS), el C. P. M. El Charco posee un suelo denominado SW, es decir, arena bien graduada en estado saturado y la capacidad portante se encuentra entre 0.6 a 0.9 kg/ cm<sup>2</sup>, lo que se atribuye a un suelo de poca resistencia en el que se debe aislar el suelo de la nueva edificación. La conversión a kilo Pascal (kPa) resulta entre 58,84 kPa a 88.25 kPa. La tabla de Clasificación de suelos indica que el Perfil del Suelo es S2: suelo intermedio.

Tabla 18. *Clasificación de los perfiles de suelo*

Perfil	Vs	N60	Su
S0	>1500 m/s	-	-
S1	500m/s a 1500 m/s	>50	> 100kpa
S2	180m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kpa a 100kpa
S3	< 180m/s	< 15	25kpa a 50 kpa
S4	Clasificación	Basada en el EMS	

Fuente: Norma Técnica E - 030 “Diseño Sismorresistente”.

### 3.6.4. Factor de amplificación sísmica

Este factor se halla según el tipo de suelo categorizado, como un suelo S2- Suelo intermedio, asimismo, se identifican los periodos según la tabla siguiente y se realiza la operación para determinar el factor de amplificación y para cumplir con la comprobación posteriormente a mencionar.

Tabla 19. Cálculo de los *periodos TP Y TL*

PERIODOS $T_P$ Y $T_L$				
Perfil del Suelo				
	S0	S1	S2	S3
$T_P$	0.3	0.4	0.6	0.1
$T_L$	3	2.5	2	1.6

Fuente: Norma Técnica E - 030 "Diseño Sismorresistente".

### 3.6.5. Periodo fundamental de vibración ( $T$ )

$$T = \frac{h_n}{C_T}$$

El Factor  $h_n$ :

El factor se halla según la altura de la vivienda. Se realizó el cálculo con los datos obtenidos en campo, la altura de las viviendas de 1 nivel es de 2.8 m, las viviendas de 2 niveles 5.6m y las de 3 niveles 8.4 m. Se obtuvo la siguiente información:

1 piso:  $h_n = 2.8 \text{ m}$

2 pisos:  $h_n = 5.6 \text{ m}$

3 pisos:  $h_n = 8.4 \text{ m}$

El Factor  $C_T$ :

Se identifica según el sistema estructural:

35 en caso se refiera a pórticos de concreto armado.

60 para edificaciones de albañilería confinada.

Por lo tanto, el periodo fundamental de vibración según el sistema estructural y número de pisos:



Tabla 20. *Periodo fundamental de vibración según el nivel de pisos y sistema estructural*

CLASIFICACIÓN		SISTEMA ESTRUCTURAL	
N° PISOS	ALTURA	CONCRETO ARMADO PÓRTICOS (T)	ALBAÑILERÍA (T)
1	2.8	0.08	0.046666667
2	5.6	0.16	0.093333333
3	8.4	0.24	0.14

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21. *Cálculo del factor de amplificación sísmica según condición.*

Periodos	Condición $T < T_p$		$C = 2.5$	
	T en Pórtico	C	T en Albañilería	C
$T_p: 0.6$	0.071428571	2.5	0.041666667	2.5
TL: 2	0.142857143	2.5	0.083333333	2.5
	0.214285714	2.5	0.125	2.5

Fuente: Elaboración propia.

La primera condición indica que, según el  $T_p = 0.6$ , es mayor que los periodos fundamentales de vibración, por lo que coinciden en el factor de amplificación sísmica  $C = 2.5$ .

Tabla 22. Cálculo del factor de amplificación sísmica según condición.

CONDICIÓN		Nº Pisos	Factor de Amplificación Sísmica Pórtico	
T < T <sub>P</sub>	C=2.5	1	2.5	2.5
	$C=2.5(\frac{T_p}{T})$			
T <sub>P</sub> <T<T <sub>L</sub>		2	2.5	2.5
T > T <sub>L</sub>	$C=2.5(\frac{T_p \times T_L}{T^2})$	3	2.5	2.5

Fuente: Norma Técnica E - 030 "Diseño Sismorresistente".

### 3.6.6. Coeficiente de Reducción de las Fuerzas Sísmicas (R)

Se realizó el análisis dinámico modal espectral para estos dos sistemas estructurales predominantes (Ver Tabla 22).

Tabla 23. Coeficiente básico de reducción –R<sub>0</sub>.

Sistema Estructural	Coeficiente Básico de Reducción R <sub>0</sub>
Concreto Armado: Pórticos	8
Albañilería Armada o Confinada	3

Fuente: Norma Técnica E - 030 "Diseño Sismorresistente".

Tabla 24. Identificación de irregularidades.

IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN ALTURA	Factor de irregularidad I <sub>a</sub>
Irregularidad de rigidez –Piso Blando	0.75
Irregularidad de masa o peso	0.9
IREGULARIDAD ESTRUCTURAL EN PLANTA	Factor de irregularidad I <sub>p</sub>
Esquina Entrantes	0.90
Discontinuidad de Diafragma	0.85

Fuente: Norma Técnica E - 030 "Diseño Sismorresistente".

Tabla 25. Identificación de irregularidades estructurales según el número de pisos de la vivienda.

N° Pisos	Irregularidades estructurales	Sistema Estructural			
		Concreto Armado	Pórtico	Albañilería	
1	Irregularidad en altura	0.75	-	0.75	-
	Irregularidad en planta	-	-	-	-
2	Irregularidad en altura	0.75	0.9	0.75	0.9
	Irregularidad en planta	0.85	0.9	0.85	0.9
3	Irregularidad en altura	0.75	0.9	0.75	0.9
	Irregularidad en planta	0.85	0.9	0.85	0.9

Fuente: Norma Técnica E - 030 "Diseño Sismorresistente".

El coeficiente de Reducción de las fuerzas sísmicas se halla con la fórmula:

$$R = R \times I_a \times I_p$$

Los valores fueron reemplazados según el sistema estructural y número de pisos de la tipología de vivienda representativa correspondiente:

Vivienda de 1 piso de Albañilería:

$$R = 3, = 1, I_p = 1 : \text{porque no se considera irregularidades en planta ni en altura}$$

Viviendas de 2 y 3 pisos: Albañilería:

Se consideran los mismos valores, se identificaron 2 irregularidades estructurales, por lo que se considera la irregularidad estructural menos próxima a la unidad.

$$R = 3, = 0.75, I_p = 0.85$$

Al reemplazar cada valor según el sistema estructural se obtiene como resultado lo mostrado en la Tabla 26:

Tabla 26. Cálculo del coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas – R.

C	N° de Pisos	R	C/R >0.125
		Albañilería	Albañilería
2.5	1	3	0.833333333
2.5	2	1.9125	1.307189542
2.5	3	1.9125	1.307189542

Fuente: Elaboración propia.

### 3.6.7. Aceleración Espectral

Se realizó el análisis con el espectro inelástico de pseudo aceleración en cada una de las direcciones horizontales definido por la siguiente fórmula:

$$S_a = \frac{ZUCS}{R} \times g$$

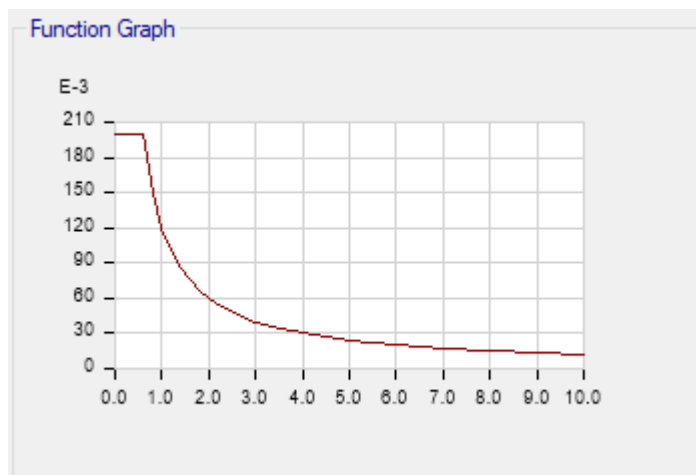


Figura 13. Aceleración espectral.

### 3.6.8. Medrado de Cargas

La Norma Técnica E – 020: Cargas, complementa el proceso del análisis sísmico en su Norma Técnica E -030: Diseño Sismorresistente. Los elementos estructurales y no estructurales deben ser capaces de soportar las cargas según su uso y no causar deformaciones ni esfuerzos, según lo que su norma específica, además de no utilizar valores mínimos a los establecidos.

Para el medrado de cargas, se identificaron los pesos de carga muerta, propios de la estructura en su estado estático que conformar a la estructura, a diferencia de la carga viva que es el peso de los elementos en movimiento que la edificación soporta.

Tabla 27. *Pesos unitarios.*

MATERIALES	PESO KN/M3 (kg/M3)
Albañilería de	
Adobe	16.0(1600)
Unidades de albañilería cocida solidas	18.0(1800)
Unidades de albañilería cocida huecas	13.5(1350)
Concreto simple de:	
Cascote de ladrillo	18.0(1800)
Grava	23(2300)
Pómez	16(1600)
Concreto Armado	Añadir 1.0 (100) al peso del concreto simple

Fuente: Norma Técnica E - 020 Cargas.

Tabla 28. *Identificación del peso propio según el espesor del aligerado.*

Espesor del aligerado (m)	Espesor de losa Superior en metros	Peso Propio kPa (kgf/m <sup>2</sup> )
0.17	0.05	2.8(280)
0.20	0.05	3.0(300)
0.25	0.05	3.5(350)
0.30	0.05	4.2(420)

Fuente: Norma Técnica E - 020 Cargas.

Tabla 29. *Cargas Vivas Mínimas Repartidas.*

Ocupación o Uso	Cargas Repartidas kPa(kgf/m <sup>2</sup> )
Viviendas	2.0(200)
Corredores y Escaleras	2.0(200)

Fuente: Norma Técnica E - 020 Cargas.

### 3.6.9. Verificación de desplazamientos

La Norma Técnica E: 030 estipula el límite de distorsión de entrepiso según material predominante, aclarado y especificado en la Tabla 30:

Tabla 30. *Límite para la distorsión del entrepiso.*

Material Predominante	( $\Delta_i/h_{ei}$ )
Concreto Armado	0.007
Acero	0.010
Albañilería	0.005
Madera	0.010
Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada	0.005

Fuente: Norma Técnica E - 030 "Diseño Sismorresistente".

### 3.6.10. Modelamiento de vivienda de albañilería de 3 pisos

Se realizó en análisis dinámico espectral para 1 vivienda de albañilería de 3 pisos con dimensiones de columnas de 0.25 x 0.50 y de 0.20 x 0.20, vigas de 0.25 x 0.20. Se hizo la comparación de la deriva máxima según desplazamiento de cada eje, que debe cumplir y se obtuvo que es menor al límite máximo

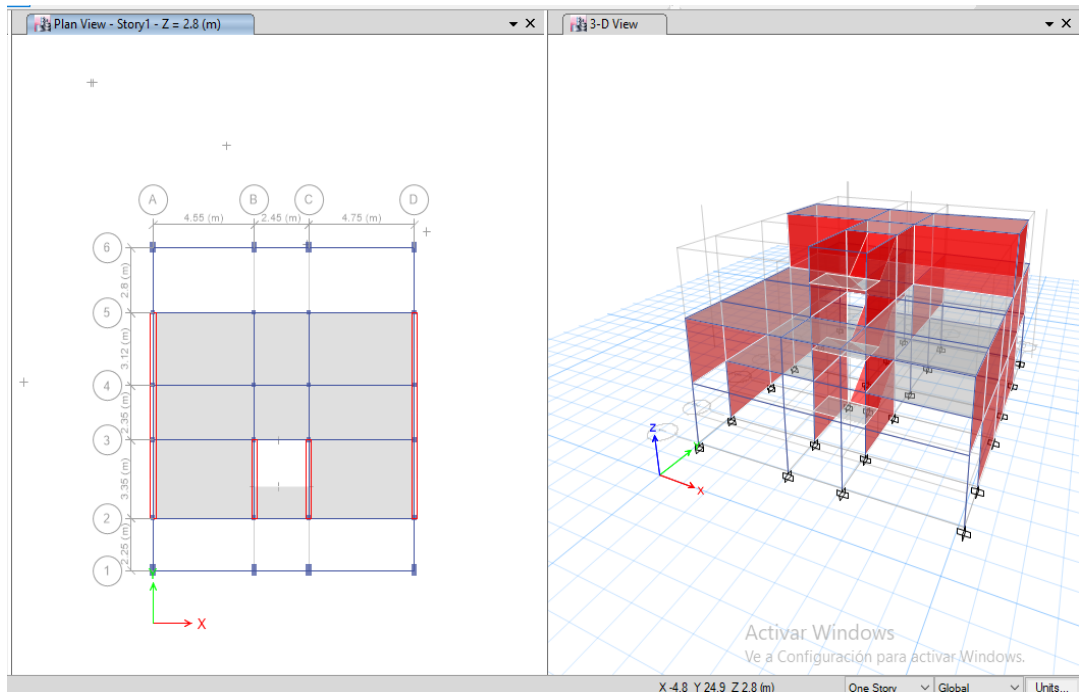


Figura 14. Modelamiento de vivienda de albañilería de 3 pisos.  
Fuente: elaboración propia (Programas ingenieril Etabs v.16.2.1).

Finalmente, en las siguientes tablas se hacen los cálculos de la Verificación de desplazamientos por en "x" de la vivienda (Tabla 31), Verificación de desplazamientos por en "y" de la vivienda (Tabla 32), Verificación de desplazamientos por en "x" de la vivienda con suelo blando (Tabla 33) y Verificación de desplazamientos por en "y" de la vivienda c (Tabla 34).

Tabla 31. Verificación de desplazamientos por en "x" de la vivienda.

NIVELES	DESPLAZAMIENTOS X0.00142857X	ALTURA ENTRE PISOS	DERIVA X	DERIVA MÁXIMA EN NORMA E-0.30	CUMPLIMIENTO
1	0.004	2.8	0.00142857	0.005	CUMPLE
2	0.0075	2.8	0.00267857	0.005	CUMPLE
3	0.0092	2.8	0.00328571	0.005	CUMPLE

Fuente: elaboración propia (Programas ingenieril Etabs v.16.2.1).

Tabla 32. Verificación de desplazamientos por en "x" de la vivienda.

NIVELES	DESPLAZAMIENTOS XX	ALTURA ENTRE PISOS	DERIVA X	DERIVA MÁXIMA EN NORMA E-0.30	CUMPLIMIENTO
1	0.0025	2.8	0.00089286	0.005	CUMPLE
2	0.0063	2.8	0.0025	0.005	CUMPLE
3	0.0079	2.8	0.00282143	0.005	CUMPLE

Fuente: elaboración propia (Programas ingenieril Etabs v.16.2.1).



Tabla 33. Verificación de desplazamientos por en "x" de la vivienda con suelo blando.

NIVELES	DESPLAZAMIENTOS XX	ALTURA ENTRE PISOS	DERIVA X	DERIVA MÁXIMA EN NORMA E-0.30	CUMPLIMIENTO
1	0.005	2.8	0.00178571	0.005	CUMPLE
2	0.0087	2.8	0.00310714	0.005	CUMPLE
3	0.023	2.8	0.00821429	0.005	NO CUMPLE

Fuente: Elaboración propia (Programas ingenieril Etabs v.16.2.1).

Tabla 34. Verificación de desplazamientos por en "x" de la vivienda con suelo blando.

NIVELES	DESPLAZAMIENTOS XX	ALTURA ENTRE PISOS	DERIVA X	DERIVA MÁXIMA EN NORMA E-0.30	CUMPLIMIENTO
1	0.0044	2.8	0.00157143	0.005	CUMPLE
2	0.0091	2.8	0.00325	0.005	CUMPLE
3	0.017	2.8	0.00607143	0.005	NO CUMPLE

Fuente: Elaboración propia (Programas ingenieril Etabs v.16.2.1).

#### **IV. DISCUSIÓN**

En cuanto al objetivo general del estudio, el cual fue determinar la vulnerabilidad sísmica de viviendas de albañilería confinada del centro poblado El Charco - Santiago de Cao - Ascope - La Libertad, se obtuvo como resultado la aplicación de una metodología en seis etapas, con las cuales se determinó que las estructuras informales observadas en la zona fueron construidas con materiales de construcción que carecen de la resistencia óptima para la carga que soporta, lo que los ubica en nivel riesgo de colapso ante un sismo severo. Asimismo, al tomar en cuenta la dosificación de concreto empleada, las losas aligeradas de las viviendas de construcción informal manifiestan deformaciones, lo que imposibilita la carga de un piso más y origina vulnerabilidad sísmica estructural alta. Dichos resultados coinciden con el estudio de Mosoarca et al. (2020), quienes estudiaron la vulnerabilidad sísmica en la zona sísmica más importante de Rumania, en la que se usó una metodología empírica para correlacionar las curvas de vulnerabilidad y que les permitió descubrir un nuevo mecanismo de falla basado en la investigación de los efectos de terremotos anteriores de campo cercano, mediante curvas de vulnerabilidad originales, particularmente para los terremotos de campo cercano específicos del área sísmica.

Por otra parte, Junxue, Sha, Xiwei Yan & Chaoxu (2020) realizaron un estudio con el objetivo de evaluar la vulnerabilidad sísmica de edificios en una población en China. Para ello, se definió un estudio cuantitativo y descriptivo, de tipo aplicado. En sus hallazgos se detectó la necesidad de desarrollar un modelo matemático para calcular la jerarquía analítica y de esta forma acceder al valor ponderado de los indicadores de vulnerabilidad de primer y segundo nivel, como lo que se logró realizar la evaluación de vulnerabilidad sísmica del edificio. En esta misma línea, Kassem, Nazri y Farsangi (2019) realizaron un estudio para conocer las metodologías de evaluación de vulnerabilidad sísmica más aplicadas en la actualidad, en el que concluyeron que los enfoques de evaluación sísmica se han utilizado para especificar y estimar la capacidad de la estructura para resistir un sismo. Sin embargo, la aplicación de métodos empíricos, como el Rapid Visual Screening (RVS) y el enfoque del índice de vulnerabilidad, parecen ser herramientas poco confiables porque se basan en los datos de daños observados que pueden ser limitados o inexactos.

Asimismo, Parillo (2016) elaboró un estudio para evaluar la vulnerabilidad sísmica de las instituciones educativas en la región de Puno, en la que concluyó que ninguna de las estructuras analizadas contaba con los requisitos mínimos de la norma; además de deficiencias estructurales importantes que resultan en una evolución negativa en cuanto a

su comportamiento sísmico. Al igual que Ortega (2014), quien elaboró una investigación para determinar la vulnerabilidad estructural y el grado de daño que sufrirían las edificaciones por efecto de sismo, con el uso del método del índice de vulnerabilidad, en el cual calculó el índice de vulnerabilidad de cada edificación mediante el método del índice para edificaciones de mampostería no estructural y concreto armado.

En relación con el análisis de la topografía del área en estudio, se detectó que el centro poblado El Charco presenta un terreno plano y poco elevado, con pendientes entre 3% y 5%. El área de estudio se encuentra a 8 metros sobre el nivel del mar y cercanía del mar promedio de 90 m. Por su localización se define como altamente vulnerable ante un sismo severo. En una investigación similar, Palacios y Tandaypan (2017) determinaron la vulnerabilidad sísmica en las viviendas de albañilería confinada desde el punto de vista geotectónico – sísmico del centro poblado El Milagro, localizado en Distrito de Huanchaco – Provincia de Trujillo., en la que llegaron a la conclusión que, a pesar de que la zona en estudio cuenta con un buen suelo, este lugar posee un alto riesgo sísmico y el mapa de peligros identificó que existen puntos vulnerables a inundaciones.

Además, Balta (2015) realizó un estudio para organizar la información estructural de edificaciones en una plataforma geomática que permita la elaboración de mapas de riesgo sísmico, en la que obtuvo que el 98% de las edificaciones de dos y tres pisos muestran daños importantes pero reparables, ya que no superan los límites de tolerancia para muros de albañilería confinada.

En lo que respecta a la tipología estructural de las viviendas, se halló que, al considerar la dosificación del concreto, las losas aligeradas de las viviendas de construcción informal son próximas a deformaciones visibles, lo que hace imposible la carga de un piso más, causando vulnerabilidad sísmica estructural alta. En este contexto, Rojas (2017) realizó un estudio que tuvo como objetivo principal determinar la vulnerabilidad sísmica viviendas de albañilería confinada en el asentamiento humano San Marcos de Ate, donde detectó que la comunidad estudiada presentaba una vulnerabilidad sísmica alta, el cual se hace evidente que en toda construcción es muy importante la calidad de los materiales usados. Además, en el estudio de Hongquian (2019), en cual adoptó un enfoque de confiabilidad dinámica para el análisis de vulnerabilidad sísmica, se detectó que la evaluación de vulnerabilidad sísmica es una herramienta útil para el análisis racional de la seguridad y la planificación de sistemas estructurales grandes y complejos, ya que puede hacer frente a los efectos de las incertidumbres sobre el rendimiento de los sistemas estructurales significativos.

Además, Laucata (2013) llevó a cabo un estudio para contribuir con la disminución de la vulnerabilidad sísmica en las viviendas informales de albañilería confinada en el Perú, en la cual concluyó que las construcciones informales en Trujillo frente a un sismo de magnitud considerable podrían llegar al colapso por la baja calidad y resistencia de los materiales a utilizar y la reducida inversión de los propietarios en mano de obra capacitada. Mientras que Sáenz (2019) elaboró un estudio para analizar la vulnerabilidad sísmica de la sede de una universidad mediante curvas de fragilidad, en la que obtuvieron que la estructura evaluada cumplía con los requisitos de resistencia, rigidez y ductilidad exigidos por la norma vigente para el momento de su construcción, pero incumple con los requisitos actuales de la norma E.030 2018, debido a que esta es más específica en la determinación de factores de irregularidad y factores de riesgo sísmico.

Luego, se procedió a elaborar el estudio de mecánica de suelos del centro poblado en estudio, donde se detectó que el área posee un suelo denominado SM y SP, es decir Arena limosa y Arena mal graduada en estado saturado y capacidad portante entre 0.50 a 1.00 kg/cm<sup>2</sup>, atribuyendo a un suelo de poca resistencia en el que es recomendable aislar el suelo de la nueva edificación y utilizar cimientos corridos, zapatas conectadas, plateas de cimentación; siendo capaces de distribuir uniformemente las cargas de los pisos superiores. En este sentido, Lovon (2017) realizó un estudio que tuvo como propósito plantear funciones de fragilidad y vulnerabilidad respecto a edificaciones informales de albañilería confinada en la ciudad de Lima, mediante el cual se determinó el grado de daño estructural con apoyo de registros sísmicos. Se obtuvo como resultado un 10% de colapso en viviendas de un piso informales y una probabilidad de 40% de colapso en viviendas de dos pisos.

Además, Boukri, Naboussi, Mebarki & Belazougi (2018) realizaron un estudio para presentar un modelo para evaluar daños sísmicos a escala urbana, en el cual concluyeron que el riesgo sísmico para las zonas urbanas se define desde los aspectos sísmicos de visión, análisis y cuantificación de dicha vulnerabilidad, principalmente en edificios, infraestructuras y líneas de vida.

Se identificaron las características estructurales predominantes de las viviendas, mediante lo cual se identificó que la mayoría son viviendas de albañilería confinada y alcanzan un máximo de tres pisos. La humedad en los muros portantes, la corrosión del acero debido al material erosionado y grietas por asentamiento vulnera la estructura de la vivienda. Se identificó que las construcciones informales presentan fallas estructurales a causa de que son sometidas a sobrecargas para las que los materiales no son diseñados. Estos resultados

coinciden con el estudio de Álvarez y Pulgar (2019), quienes elaboraron un análisis de vulnerabilidad sísmica en unidades escolares en la que concluyeron que el 40% de las estructuras no son vulnerables, debido a que tienen daños estructurales ligeros, mientras 31% son vulnerables y 29% son altamente vulnerables.

Se realizó el análisis sísmico a tipologías de viviendas de 1, 2 y 3 niveles. Para ello, se llevó a cabo un análisis dinámico espectral para 1 vivienda de albañilería de 3 pisos con dimensiones de columnas de 0.25 x 0.50 y de 0.20 x 0.20, vigas de 0.25 x 0.20. Se hizo la comparación de la deriva máxima según desplazamiento de cada eje, que debe cumplir y se obtuvo que es menor al límite. De manera similar, Ferreira et al. (2019) hicieron una revisión de los métodos de evaluación de vulnerabilidad más relevantes aplicables a diferentes escalas, con los que concluyeron que es importante adoptar indicadores de vulnerabilidad que puedan ser fácilmente entendidos e interpretados, no solo por la comunidad técnica y científica, sino también por ciudadanos y autoridades gubernamentales y de protección civil.

Además, McCrum, Amato & Suhail (2016) elaboraron un estudio para desarrollar curvas de fragilidad en diferentes estados de daño en el cual emplearon tres enfoques diferentes para derivar los límites de daño en una estructura de marco resistente al momento de concreto reforzado, que tuvo como resultado la creación de un modelo tridimensional detallado de elementos finitos de la estructura y la aplicación de fuerzas de empuje lateral. Por su parte, Asteris et al. (2016) elaboraron un estudio con el objetivo de cuantificar las principales razones asociadas a eventos catastróficos naturales en un territorio, para planificar estrategias e intervenciones adecuadas por parte de los organismos de protección civil involucrados en emergencias locales e internacionales, en la que los resultados presentados proporcionaron una representación inequívoca de las principales críticas con respecto a la vulnerabilidad y el riesgo sísmico, del centro de la ciudad de la isla, siendo una herramienta adecuada para la planificación y el manejo de emergencias. De la misma manera, Quiroz y Vidal (2014) realizaron una investigación para evaluar el grado de vulnerabilidad sísmica estructural en edificaciones conformadas por sistemas aporricados y de albañilería confinada en el sector de La Esperanza parte baja – Trujillo, en la cual se logró identificar el grado de vulnerabilidad en función del desplazamiento generador del pre colapso, y se obtuvo como resultado que el 75.4% de viviendas presentaban un alto grado de vulnerabilidad sísmica.

Además, se evaluó el estado de conservación de las viviendas y vida útil de la estructura. El hallazgo principal fue que distinguió que existen viviendas que comparten el material de construcción entre adobe y material noble, o estructuras de concreto. Por estudios antes realizados se conoció que el adobe de por sí presenta alta vulnerabilidad sísmica, lo que se convierte en peligro latente para las viviendas que tienen este material de construcción. Así mismo se conoce que las viviendas de concreto armado, albañilería confinada tienen un mejor comportamiento ante un sismo.

En este sentido, Fornisano et al. (2017) llevaron a cabo una investigación con el propósito de calcular la estimación rápida de vulnerabilidad y daños sísmicos en una ciudad de Italia, en la que se destacó la influencia de las distintas posiciones de las unidades estructurales en los daños que los agregados de mamposterías deberían tolerar bajo eventos sísmicos de diferentes grados, lo que llevó a realizar estudios individuales de edificios con mayor grado de vulnerabilidad. Mientras que El-Betar (2018) realizó un estudio con el objetivo de evaluar la vulnerabilidad sísmica de edificios, en el que concluyeron que se deben aplicar metodologías distintas de análisis en los casos de construcciones realizadas bajo el diseño de carga de gravedad y otras que pueden resultar más efectivas para estructuras que no lograron la resistencia sísmica en la inspección visual rápida.

## V. CONCLUSIONES

1. El estudio tuvo como objetivo general determinar la vulnerabilidad sísmica de viviendas de albañilería confinada del centro poblado El Charco - Santiago de Cao - Ascope - La Libertad. En este sentido, el hallazgo principal fue que en la comunidad se identificaron viviendas de concreto armado, albañilería y de adobe o ladrillo crudo; en ciertos casos el primer nivel de la vivienda tiene columnas de concreto y muro de adobe o ladrillo. Las construcciones informales utilizan materiales de construcción que carecen de la resistencia necesaria para la carga a la que son sometidos, provocando riesgo de colapso ante un sismo severo. Si se considera la dosificación del concreto, las losas aligeradas de las viviendas de construcción informal son próximas a deformaciones visibles, lo que imposibilita la carga de un piso más y origina vulnerabilidad sísmica estructural alta. De la misma manera se extraen las siguientes conclusiones relacionadas con los objetivos específicos del estudio:
2. En relación con el análisis de la topografía del área en estudio, se detectó que la topografía del centro poblado El Charco presenta un terreno plano y poco elevado, con pendientes entre 3% y 5%. El área de estudio se encuentra a 8 m.s.n.m. y cercanía del mar promedio de 90m. Por su localización se define como altamente vulnerable ante un sismo severo.
3. En lo que respecta a la tipología estructural de las viviendas, se halló que, al considerar la dosificación del concreto, las losas aligeradas de las viviendas de construcción informal son próximas a deformaciones visibles imposibilitando la carga de un piso más, causando vulnerabilidad sísmica estructural alta. En este sentido, se encontró un relleno antrópico de espesor de 0.20 m. luego subyace un suelo clasificado como una arena limosa (SM) de consistencia semi blanda, color marrón claro de una se excavó hasta la profundidad de 2.00, no encontrando nivel freático (NAF); además, se encontró un relleno antrópico de espesor de 0.20 m. luego subyace un suelo clasificado como una arena pobremente gradada (SP) de consistencia semi blanda, color marrón claro de una se excavó hasta la profundidad de 2.50, y no se detectó nivel freático. La edificación tipo C, está constituida en su mayoría por elementos de material noble, esto decir, ladrillo de arcilla cocida, techos aligerados, vigas y columnas de concreto armado y cimientos del tipo

superficial, En general este proyecto fue diseñado de tal manera que los esfuerzos transmitidos no superen los esfuerzos de trabajo del terreno.

4. Luego se procedió a elaborar el estudio de mecánica de suelos del centro poblado en estudio. Mediante este se logró determinar que posee un suelo denominado SM y SP, es decir arena limosa y arena mal graduada en estado saturado y capacidad portante entre 0.50 a 1.00 kg/ cm<sup>2</sup>, atribuyendo a un suelo de poca resistencia en el que es recomendable aislar el suelo de la nueva edificación y utilizar cimientos corridos, zapatas conectadas, plateas de cimentación; siendo capaces de distribuir uniformemente las cargas de los pisos superiores (Fuente - Estudio de mecánica de suelos).
5. Se identificó que el sistema estructural predominante son las viviendas de albañilería confinada y alcanzan un máximo de tres pisos. La humedad en los muros portantes, la corrosión del acero debido al material erosionado y grietas por asentamiento vulnera la estructura de la vivienda. Se identificó que las construcciones informales presentan fallas estructurales a causa de que son sometidas a sobrecargas para las que los materiales no son diseñados.
6. Se realizó el análisis sísmico a tipologías de viviendas de 1, 2 y 3 niveles, Se realizó en análisis dinámico espectral para 1 vivienda de albañilería de 3 pisos con dimensiones de columnas de 0. 25 x 0.50 y de 0. 20 x 0. 20, vigas de 0.25 x 0.20. Se hizo la comparación de la deriva máxima según desplazamiento de cada eje, que debe cumplir y se obtuvo que es menor al límite.
7. Finalmente, se evaluó el estado de conservación de las viviendas y vida útil de la estructura, para lo cual se distinguió que existen viviendas que comparten el material de construcción entre adobe y material noble, o estructuras de concreto. Por estudios antes realizados se conoció que el adobe de por sí presenta alta vulnerabilidad sísmica, lo que se convierte en peligro latente para las viviendas que tienen este material de construcción. Así mismo se conoce que las viviendas de concreto armado, albañilería confinada tienen un mejor comportamiento ante un sismo.



## VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que las construcciones a futuro sean guiadas y diseñadas por un profesional técnico responsable que analizará de acuerdo al tipo de uso de la edificación y estudiará el suelo para el cimiento apropiado como zapatas conectadas porque son capaces de transmitir las cargas proporcionalmente de todos los elementos estructurales como las dimensiones necesarias de la vivienda. Según los parámetros y actualizaciones del Reglamento Nacional de Edificaciones (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento).
2. Se recomienda que el acero de refuerzo en elementos de confinamiento, sea mediante canastillas de barras de acero electrosoldadas para viviendas de 1 piso, en caso sean de 2 pisos; en las viviendas de 2 pisos, debe ser en el primer piso deberá tener armadura de acero convencional. Así mismo se recomienda supervisar las dosificaciones del concreto, para seguridad de las familias que habitarán; disminuyendo el riesgo de colapso y deformación de la losa aligerada, protegiendo y salvaguardando la vida.
3. Asimismo, se recomienda conectar las zapatas aisladas por medio de una viga de cimentación, para evitar asentamientos diferenciales inesperados y absorber cualquier esfuerzo de torsión debido a la colocación de zapatas excéntricas, la cuál será proyectada en base a las cargas que llegan en cada columna. Los suelos en cuestión poseen severa cantidad de sales solubles totales, por lo que recomendamos utilizar cemento Portland tipo MS o Tipo V, en el diseño de mezclas para el concreto. Los resultados obtenidos en el presente Estudio, así como las conclusiones y recomendaciones establecidas, solo son válidos para la zona investigada y no garantiza a otros proyectos que lo tomen como referencia.
4. Se recomienda realizar capacitaciones por parte de las autoridades municipales y el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento del Perú para informar a los pobladores sobre las mejoras constructivas de reforzamiento y diseño de sus viviendas con la finalidad de disminuir la vulnerabilidad sísmica y salvaguardar vidas humanas ante la ocurrencia de un sismo severo.

## REFERENCIAS

ÁLVAREZ, Daniel. Vulnerabilidad sísmica de viviendas de adobe del C.P. La Huaracalla, Jesús, Cajamarca 2015. Tesis (Ingeniero Civil). Cajamarca: Universidad Privada del Norte, 2015.

Disponible en <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/7975>

ÀLVAREZ, Jhordan y PULGAR, Xavier. Análisis de vulnerabilidad sísmica de los módulos escolares públicos en el distrito de Villa María del Triunfo mediante el método Índice de Vulnerabilidad (Fema p-154) y su validación mediante cálculo de distorsiones laterales. Tesis (Ingeniero Civil). Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2019.

Disponible en: <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/626377>

ARIAS, Fidias. El proyecto de investigación: introducción a la metodología científica [en línea]. 6.<sup>ta</sup> ed. Caracas: Episteme C.A., 2012 [fecha de consulta: 13 de mayo de 2019].

Disponible en: <https://evidencia.com/wp-content/uploads/2014/12/EL-PROYECTO-DE-INVESTIGACION-C3%93N-6ta-Ed.-FIDIAS-G.-ARIAS.pdf>

ASTERIS, Panagiotis [*et al.*]. Definition of Seismic Vulnerability Maps for Civil Protection Systems: The Case of Lampedusa Island. *The Open Construction & Building Technology Journal* [en línea] 2016, n° 10 [Fecha de consulta 11 de junio de 2019].

Disponible en <https://www.doi.org/10.2174/1874836801610010087>

BALTA, Jonathan. Sistematización de la información estructural de edificaciones en una plataforma geomática para la elaboración de mapas de riesgo sísmico en el distrito de Huaral. Tesis (Ingeniero Civil). Lima: Universidad Ricardo Palma, 2015. Disponible en:

<http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/2233>

BAYAT, M., [et al.]. Bayesian demand model based seismic vulnerability assessment of a concrete girder bridge. *Advances in concrete construction* [en línea], 2019, n° 9. [Fecha de consulta 10 de julio de 2019].

Disponible en <https://doi.org/10.12989/acc.2020.9.4.337>

BOUKRI, Mehdi, NABOUSSI, Mohammed, MEBARKI, Ahmed & BELAZOUGI, Mohammed. Seismic vulnerability assessment at urban scale: Case of Algerian buildings.

*International Journal of Disaster Risk Reduction* [en línea] 2018, 31 (1), 555-575. [Fecha de consulta: 22 de noviembre de 2019]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.06.014>

EL-BETAR, Sameh. Seismic vulnerability evaluation of existing R.C. buildings. *HBRC Journal* [en línea] 2018, 14 (2), 189-197. [Fecha de consulta: 18 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.hbrj.2016.09.002>

FERREIRA, Tiago, MENDES, Nuno & SILVA, Rui. Reducing the Seismic Vulnerability of Existing Buildings: Assessment and Retrofit. *Buildings*, 2019. 9(6), 148; [Fecha de consulta: 12 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/buildings9060148>

FORNISANO, Antonio, CHIEFFO, Nicola y MOSOARCA, Marius. Seismic Vulnerability and Damage Speedy Estimation of an Urban Sector within the Municipality of San Potito Sannitico (Caserta, Italy). *The Open Civil Engineering Journal* [en línea], 2017, n° 11. [Fecha de consulta: 10 de julio de 2019]. Disponible en <https://doi.org/10.2174/1874149501711011106>

GALLARDAY, Tomás. Estudio de mecánica y resistencia de suelos: caso Lima. *Revista Del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica Y Geográfica* [en línea], 2018, n° 8. [Fecha de consulta: 06 de abril de 2019]. Disponible en <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/726>

GIL, Arnaldo. y ALCAYHUAMÁN, Leonardo. Licuación de suelos durante el sismo Pisco-Perú-2007. *Perfiles de Ingeniería* [en línea], 2016, n° 1. [Fecha de consulta: 06 de agosto de 2019]. Disponible en [https://doi.org/10.31381/perfiles\\_ingenieria.v1i10](https://doi.org/10.31381/perfiles_ingenieria.v1i10)

HAMMOUM, Hocine, BOUZHELA, Karima y SLIMANI, Drifa. Seismic risk of RC water storage elevated tanks: Case study. *Handbook of Materials Failure Analysis with Case Studies from the Chemicals, Concrete and Power Industries* [en línea], 2016, n° 1. [Fecha de consulta: 12 de julio de 2019].

Disponible en <https://www.sciencedirect.com/book/9780081001165/handbook-of-materials-failure-analysis-with-case-studies-from-the-chemicals-concrete-and-power-industries>

HERNÁNDEZ, Roberto y MENDOZA, Christian. Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. México: Editorial Mc Graw Hill Education, 2018. 752 pp.

ISBN: 9781456260965

HONGQUIAN, Hu. A dynamic reliability approach to seismic vulnerability analysis of earth dams. *Geomechanics and Engineering*, 2019. 18(6), 661-668 [Fecha de consulta: 25 de abril de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.12989/gae.2019.18.6.661>

INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL INDECI. Sismos ocurridos en el Perú a través del tiempo. Compendio Estadístico de Prevención y Atención de Desastres, 2006 [en línea], 2006. [Fecha de consulta: 18 de junio de 2019]. Disponible en [https://www.indeci.gob.pe/compend\\_estad/2006/7\\_otras\\_estad/7.1\\_sismos/7.1.4\\_hist\\_sismos.pdf](https://www.indeci.gob.pe/compend_estad/2006/7_otras_estad/7.1_sismos/7.1.4_hist_sismos.pdf)

JUNXUE, Zhou; SHA Li; Gaozhong, Nie; XIWEI Fan; YAN Deng y CHAOXU Xia. Research on seismic vulnerability of buildings and seismic disaster risk: A case study in Yancheng, China. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2020. 101477 [Fecha de consulta: 20 de junio de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101477>

KASSEM, Moustafa, NAZRI, Fadzli. & FARSANGI, Ehsan. Development of seismic vulnerability index methodology for reinforced concrete buildings based on nonlinear parametric analyses. *MethodsX* [en línea], 2019, n° 6. [Fecha de consulta: 12 de junio de 2019]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.01.006>

LAUCATA, Johan. Análisis de la vulnerabilidad sísmica de las viviendas informales en la ciudad de Trujillo. Tesis (Ingeniero Civil). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2013. 99 pp. Disponible en <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/4967>

LOVON, Holger. Estimación de la vulnerabilidad sísmica de viviendas de albañilería confinada de Lima. Tesis (Magíster en Ingeniería Civil). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2017. Disponible en <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/8731>

McCRUM, Daniel, AMATO, Alessandro & SUHAIL, Rabeeya. Development of Seismic Fragility Functions for a Moment Resisting Reinforced Concrete Framed Structure. The

Open Construction & Building Technology Journal [en línea], 2016, 10 (1). 42-51. [Fecha de consulta: 18 de diciembre de 2019]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.01.006>

MINISTERIO de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Reglamento Nacional de Edificaciones, 2019 [Fecha de consulta: 12 de mayo de 2019].

Disponible en <https://www.inagep.com/contenidos/reglamento-nacional-de-edificaciones-actualizado-al-2019>

MINISTERIO de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Norma Técnica E.030. *Diseño sismorresistente*, 2019. [Fecha de consulta: 20 de marzo de 2019].

Disponible en

<http://www3.vivienda.gob.pe/dgprvu/docs/RNE/T%C3%ADtulo%20III%20Edificaciones/51%20E.030%20DISENO%20SISMORRESISTENTE.pdf>

MOSOARCA, Marius, ONESCU, Iasmina, ONESCU, Eugen & ANASTASIADIS, Anthimos. Seismic vulnerability assessment methodology for historic masonry buildings in the near-field areas. Engineering Failure Analysis [en línea], 2020, 104662 [Fecha de consulta: 12 de febrero de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.104662>

ORTEGA, Cristian. Determinación de la vulnerabilidad estructural de edificaciones por efecto de sismo en el centro urbano del Distrito de Villa Rica. Tesis (Ingeniero Civil). Universidad Nacional del Centro del Perú, 2014.

Disponible en <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/423>

PALACIOS, Heiner. y TANDAYPAN, Cristian. Análisis de la vulnerabilidad sísmica en las viviendas de albañilería confinada desde el punto de vista geotécnico- sísmico del centro poblado El Milagro. Trujillo (Ingeniero civil). Trujillo: Universidad Privada Antenor Orrego, 2017.

<http://repositorio.upao.edu.pe/handle/upaorep/3567>

PARILLO, Efraín. Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de los centros educativos primarios estatales de la ciudad de Juliaca – 2015. *Investigación Andina* [en línea] 2016,

16 (1), 114-128. [Fecha de consulta: 20 de noviembre de 2019]. Disponible en: <https://revistas.uancv.edu.pe/index.php/RCIA/article/viewFile/56/46>

PONCE, Joseph. Mapa de la provincia de Trujillo y sus distritos [Fecha de consulta: 30 de junio de 2019], 2015. Disponible en <http://mapatrujillo.blogspot.com/>

QUIROZ, Luis. y VIDAL, Genner. Evaluación del grado de vulnerabilidad sísmica estructural en edificaciones conformadas por sistemas aporricados y de albañilería confinada en el sector de La Esperanza parte baja – Trujillo 2014. Tesis (Ingeniería Civil). Trujillo: Universidad Privada Antenor Orrego, 2015. Disponible en <http://repositorio.upao.edu.pe/handle/upaorep/1146>

REYES, Alexander. Levantamiento Topográfico de la Biblioteca y la Dirección General Administrativa del Senado. (tesis de pregrado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. [Fecha de consulta: 12 de mayo de 2019], 2017.

Disponible en

<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/7544/1/Monografia%20Alexander%20Reyes%20.pdf>

ROJAS, Juan. Análisis de fallas Geológicas y Riesgo Sísmico en la Zona Noroeste de Lima mediante Imágenes de Satélite. Tesis (Ingeniero Civil) Universidad Ricardo Palma, 2010. Disponible en <http://cybertesis.urp.edu.pe/handle/urp/170>

ROJAS, Edwin. Evaluación de la vulnerabilidad sísmica en viviendas de albañilería confinada del asentamiento humano San Marcos de Ate – Santa Anita – Lima. Tesis de pregrado). Universidad César Vallejo, 2017.

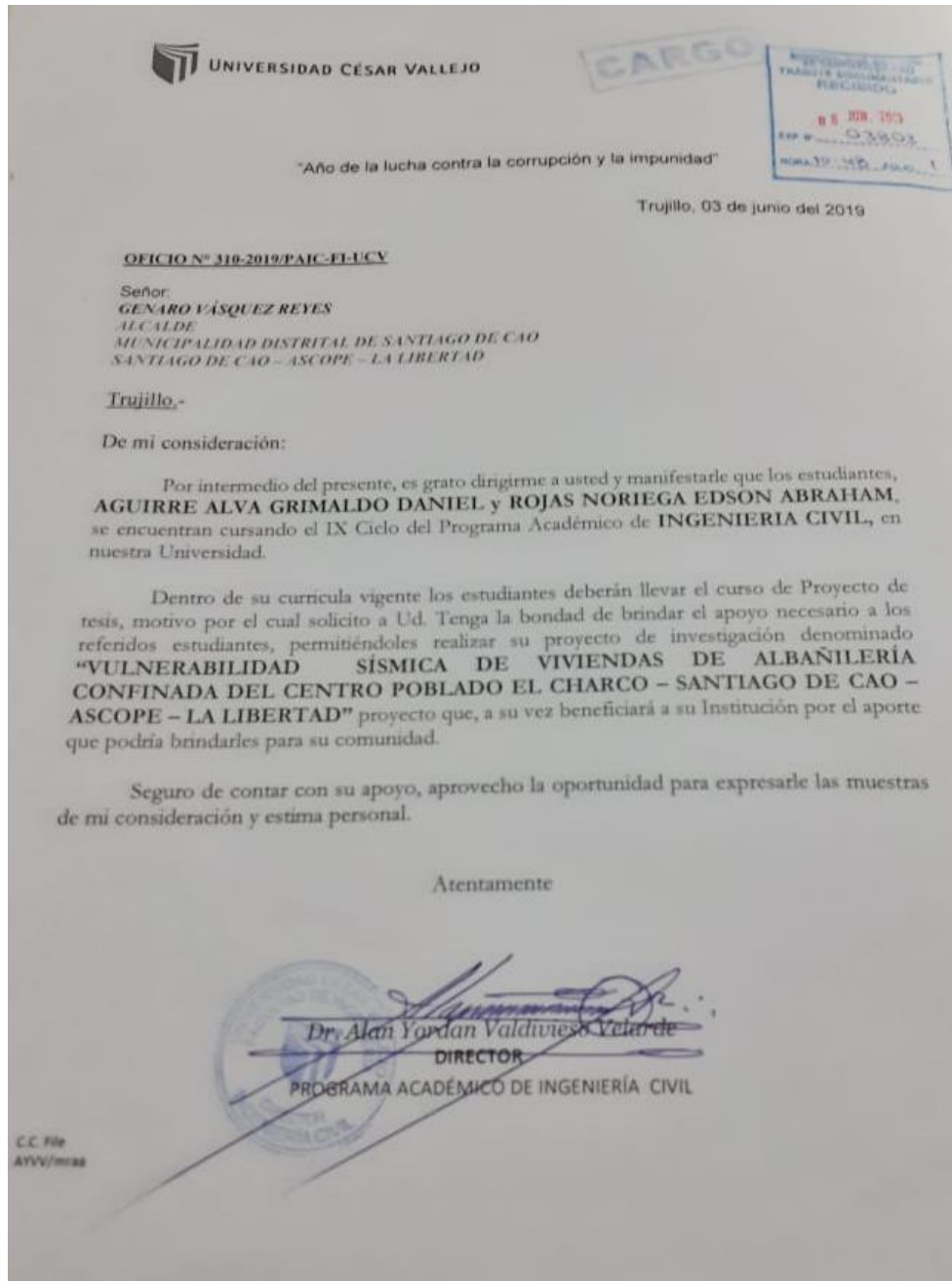
Disponible en <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/13037>

SÁENZ, Uver. Vulnerabilidad sísmica en edificaciones esenciales mediante curvas de fragilidad analíticas – edificio administrativo de la Universidad Nacional del Centro del Perú. Tesis (Ingeniero Civil). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2019. Disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/5268>

TORRES, Jesús. Guía Práctica de Topografía. [en línea] 2014, [Fecha de consulta: 12 de julio de 2019]. Disponible en <https://es.scribd.com/document/339632665/Guia-Practica-de-Topografia-I>

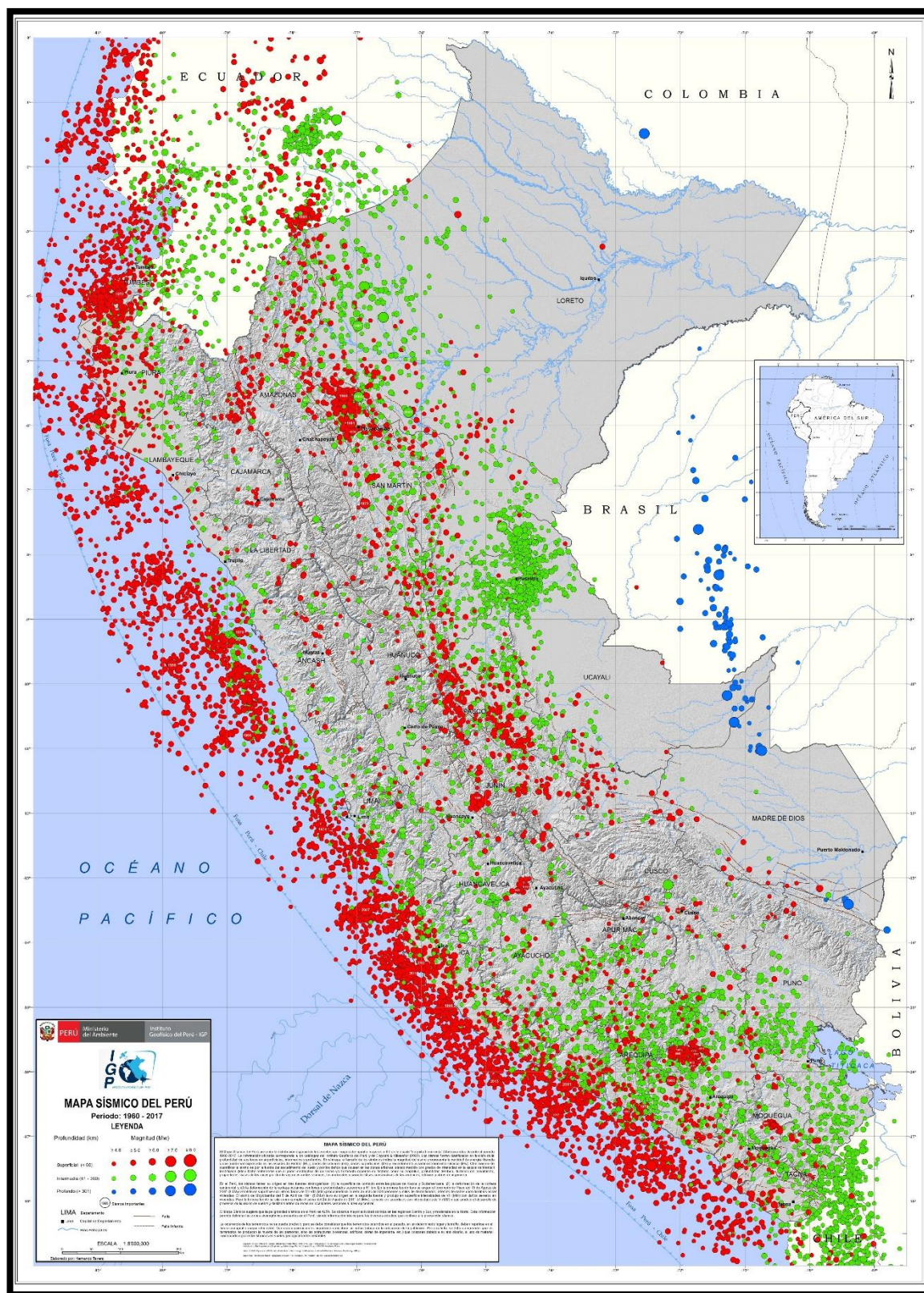
## ANEXOS

### Anexo 1. Carta de presentación a la municipalidad.



Fuente. Universidad Cesar Vallejo – Trujillo.

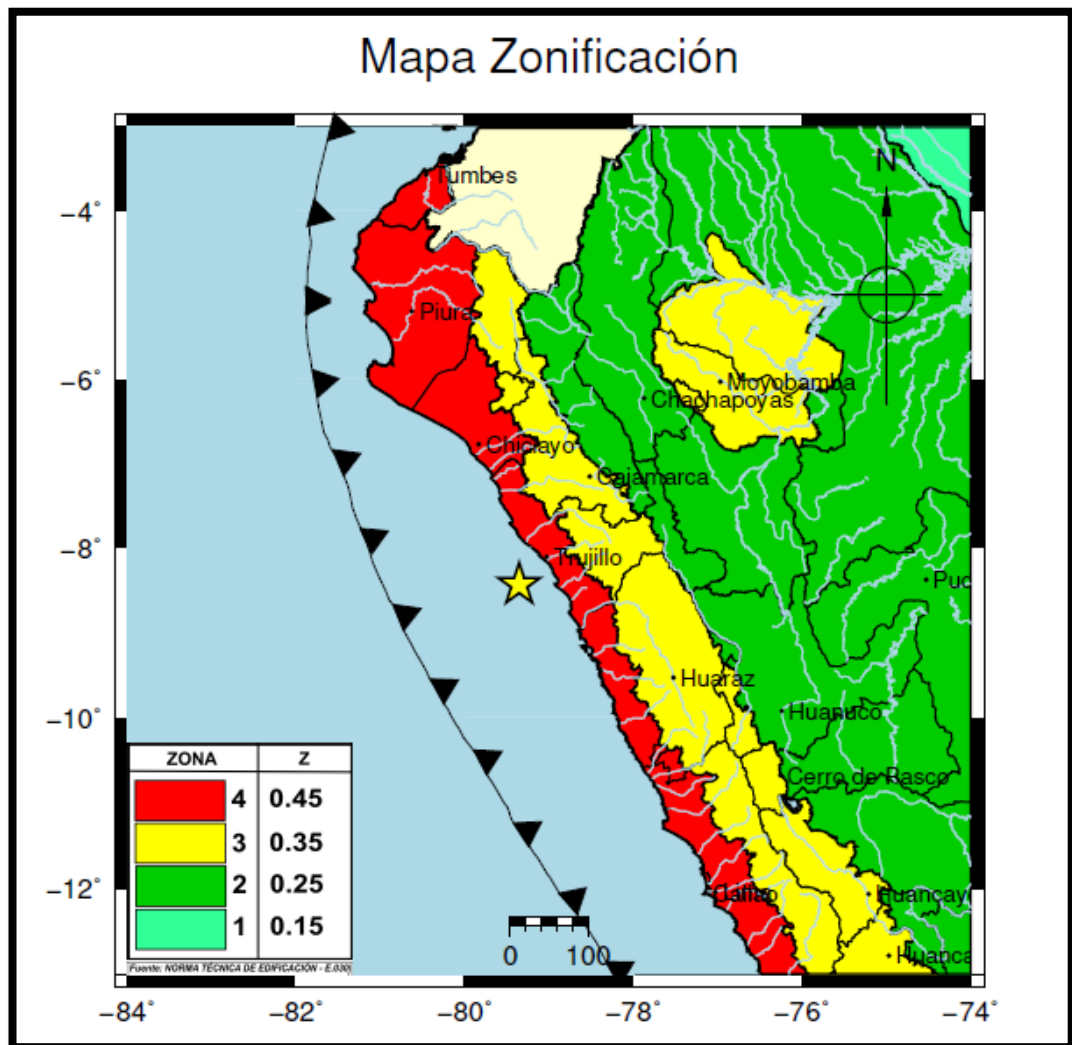
## Anexo 2. Mapa Sísmico del Perú, periodo 1960 – 2017



Fuente: Instituto Geofísico del Perú, 15 de mayo 2018.



### Anexo 3. Mapa de Zonificación Sísmica



Fuente: Instituto Geofísico del Perú, 2018.

## Anexo 4. Variables e indicadores en estudios de vulnerabilidad

Tipo de vulnerabilidad	Variable	Indicador	Niveles de los indicadores establecidos	Niveles de vulnerabilidad
De acuerdo a los factores considerados para cada tipo de vulnerabilidad.	Descripción de las variables consideradas que corresponden a un ámbito del factor a estudiar y focalizar.	Establece un indicador (magnitud estadística) que clasifique y defina, de forma más precisa, el objeto del factor de vulnerabilidad. Son medidas verificables y medibles. Los indicadores pueden ser cualitativos o cuantitativos.	Establece a mayor detalle la caracterización del indicador permitiendo diferenciarlo en segmentos que pueden ser cualitativos o cuantitativos.	Señala las tendencias altas, medias y bajas de vulnerabilidad, de acuerdo a la interpretación de los indicadores.
E J E M P L O				
Socio-económica	Instrucción de la población	Tipo de instrucción	Número de personas con primaria	Una vulnerabilidad elevada por razones de limitada opción de recuperación por condiciones de búsqueda de empleo.
			Número de personas con secundaria	Media...
			Número de personas con educación superior	Baja...
	Accesibilidad a servicios básicos	Presencia de abastecimiento de agua en la vivienda (agua de consumo)	Red dentro de la vivienda	Baja por...
			Otro	Alta...
		Presencia de servicios higiénico en la vivienda (drenaje)	Red pública dentro de la vivienda	Baja...
			Otro/ no tiene	Alta...
		Presencia de alumbrado eléctrico (luz)	Presenta el servicio	Baja...
			No tiene el servicio	Alta...

Fuente: SNGR – Propuesta Metodológica, Análisis de vulnerabilidad a Nivel Municipal

## Anexo 5. Variables e indicadores físico estructurales de edificaciones urbanas

VARIABLE DE VULNERABILIDAD	DESCRIPCIÓN DE LA VARIABLE Y USO DE LA INFORMACIÓN	INDICADORES CONSIDERADOS	Amenaza Sísmica	Amenaza de Inundación	Amenaza de Deslizamiento	Amenaza Volcánica
Sistema estructural	Describe la tipología estructural predominante en la edificación	Hormigón armado	0	1	5	1
		Estructura metálica	1	1	5	5
		Estructura de madera	1	10	10	10
		Estructura de caña	10	10	10	10
		Estructura de pared portable	5	5	10	5
		Mixta madera/hormigón	5	5	10	5
		Mixta metálica/hormigón	1	1	10	5
Tipo de material en paredes	Describe el material predominante utilizado en las paredes divisorias de la edificación	Pared de ladrillo	1	1	5	1
		Pared de bloque	1	5	5	5
		Pared de piedra	10	5	10	5
		Pared de adobe	10	5	10	5
		Pared de tapia/bahareque/madera	5	5	10	5
Tipo de cubierta	Describe el tipo de material utilizado como sistema de cubierta de la edificación	Cubierta metálica	5	1	NA	10
		Losa de hormigón armado	0	0	NA	1
		Vigas de madera y zinc	5	5	NA	10
		Caña y zinc	10	10	NA	10
		Vigas de madera y teja	5	5	NA	5
Sistema de entrepisos	Describe el tipo y material utilizado para el sistema de pisos diferentes a la cubierta	Losa de hormigón armado	0	NA	NA	NA
		Vigas y entramado madera	5	NA	NA	NA
		Entramado madera/caña	10	NA	NA	NA
		Entramado metálico	1	NA	NA	NA
		Entramado hormigón/metálico	1	NA	NA	NA
Número de pisos	Se considera el número de pisos como una variable de vulnerabilidad, debido a que su altura incide en su comportamiento	1 piso	0	10	10	10
		2 pisos	1	5	5	5
		3 pisos	5	1	1	1
		4 pisos		1	1	1
		5 pisos o más	1	1	1	1
Año construcción	Permite tener una idea de la posible aplicación de criterios de diseño de defensa contra la amenaza	antes de 1970	10	10	10	10
		entre 1071 y 1980	5	5	5	5
		entre 1981 y 1990	1	1	1	1
		entre 1991 y 2010	0	0	0	0
Estado de Conservación	El grado de deterioro influye en la vulnerabilidad de la edificación.	bueno	0	0	0	0
		Aceptable	1	1	1	1
		Regular	5	5	5	5
		Malo	10	10	10	10
Características del suelo bajo la edificación	El tipo de terreno influye en las características de vulnerabilidad física.	Firme, seco	0	0	0	0
		Inundable	1	10	10	10
		Ciénaga	5	10	10	10
		Húmedo, blando, relleno	10	5	5	5
Topografía del sitio	La topografía del sitio de construcción de la edificación indica posibles debilidades frente a la amenaza.	A nivel, terreno plano	0	5	1	1
		Bajo nivel calzada	5	10	10	10
		Sobre nivel calzada	0	0	1	1
		Escarpe positivo o negativo	10	1	10	10
Forma de la construcción	La presencia de irregularidad en la edificación genera vulnerabilidades.	Regular	0			
		Irregular	5	NA	NA	NA
		Irregularidad severa	10			

Fuente: SNGR – Propuesta Metodológica, Análisis de vulnerabilidad a Nivel Municipal.

## Anexo 6. Valores de indicadores de años de construcción

Indicador	Valor indicador
antes de 1970	10
entre 1971 y 1980	5
entre 1981 y 1990	1
entre 1991 y 2010	0

Fuente: SNGR – Propuesta

Metodológica, Análisis de vulnerabilidad a Nivel Municipal.

## Anexo 7. Análisis de vulnerabilidad a Nivel Municipal

VARIABLE DE VULNERABILIDAD	INDICADORES DE VULNERABILIDAD	DESCRIPCIÓN IMPORTANCIA DE LA VARIABLE E INDICADOR
<b>Sistema estructural</b>	Hormigón armado Estructura metálica Estructura de madera Estructura de caña Estructura de pared portante Mixta madera / hormigón Mixta metálica / hormigón	El tipo de sistema resistente estructural es la variable básica a considerarse, que proporciona la información mínima necesaria para iniciar el análisis. Las edificaciones de hormigón armado se consideran menos vulnerables que las de madera, pared portante o mixtas.
<b>Tipo de material en paredes</b>	Pared de ladrillo Pared de bloque Pared de piedra Pared de adobe Pared de tapial/bahareque/madera	El tipo de material de paredes define por un lado si la estructura es de paredes portantes o si más bien obedece a tipologías menos vulnerables.
<b>Tipo de cubierta</b>	Cubierta metálica Lasa de hormigón armado Vigas de madera y zinc Caña y zinc Vigas de madera y teja	La cubierta de una estructura no solo proporciona confinamiento al sistema estructural sino califica la debilidad de la misma frente a eventos adversos externos.
<b>Entrepisos</b>	Lasa hormigón armado Vigas y entramado madera Entramado de madera / caña Entramado metálico Entramado hormigón / metálico	El sistema de entrepisos confina el resto de elementos estructurales y proporciona resistencia ante cierto tipo de fallas. Son menos vulnerables los de hormigón armado que los de madera, caña o mixtas.
<b>Número de pisos</b>	1 piso 2 pisos 3 pisos 4 pisos 5 pisos o más	Si la estructura es más alta, típicamente es más vulnerable que las de un piso pues requiere mayores esfuerzos y cuidados para presentar un buen comportamiento.
<b>Año de construcción</b>	antes de 1970 entre 1971 y 1980 entre 1981 y 1990 entre 1991 y 2010	El año de construcción está asociado con la resistencia de códigos de construcción apropiados (inexistentes antes de 1970) e inadecuadamente aplicados (antes 1980)
<b>Estado de conservación</b>	Bueno Aceptable Regular Malo	El grado de conservación califica el posible deterioro de las propiedades mecánicas de los materiales y de su resistencia a las amenazas.
<b>Características del suelo</b>	Firme, seco Inundable Ciénaga Húmeda, blanda, teleno	El suelo donde está construida es susceptible de facilitar que la amenaza afecte a la edificación. Suelo firme y seco implica menor vulnerabilidad que húmedo.
<b>Topografía del sitio</b>	A nivel, terreno plano Bajo nivel de calzada Sobre nivel de calzada Terreno accidentado, ladera Escape positivo o negativo	Si el terreno donde esta construida es escarpado genera vulnerabilidades en la edificación, mientras que el terreno a nivel disminuye la vulnerabilidad.
<b>Forma de la construcción</b>	Regular Irregular Irregularidad severa	Una forma regular presenta menos vulnerabilidad que una forma irregular para algunas amenazas.

Fuente: SNGR – Propuesta Metodológica, Análisis de vulnerabilidad a Nivel Municipal.

## Anexo 8. Índices de vulnerabilidad para tianalizar laza sísmica.

Variable	Valores posibles del Indicador	Ponderación	Valor máximo
Sistema estructural	0,1,5,10	1.2	12
Material de paredes	0,1,5,10	1.2	12
Tipo de cubierta	0,1,5,10	1	10
Tipo de entrepiso	0,1,5,10	1	10
Número de pisos	0,1,5,10	0.8	8
Año de construcción	0,1,5,10	1	10
Estado de conservación	0,1,5,10	1	10
Característica suelo bajo edificado	0,1,5,10	0.8	8
Topografía del sitio	0,1,5,10	0.8	8
Forma de la construcción	0,1,5,10	1.2	12
Valor mínimo = 0			100

Fuente: SNGR – Propuesta Metodológica, Análisis de vulnerabilidad a Nivel Municipal.

## Anexo 9. Intersección calle Los Delfines con calle Las brisas (El Charco – Santiago de Cao – Ascope – La Libertad).



Fuente: Elaboración propia.

**Anexo 10. Calle Los Delfines (El Charco – Santiago de Cao – Ascope – La Libertad).**



Fuente: Elaboración propia.

**Anexo 11. Calle Los Delfines (El Charco – Santiago de Cao – Ascope – La Libertad).**



Fuente: Elaboración propia.

**Anexo 12. Pasaje 6 entre Calle los Gramadales y Calle Los Delfines (El Charco – Santiago de Cao – Ascope – La Libertad).**



Fuente: Elaboración propia.

**Anexo 13. Calle Los Gramadales (El Charco – Santiago de Cao – Ascope – La Libertad), pozo para desagüe.**



Fuente: Elaboración propia.

**Anexo 14. Calle Los Gramadales (El Charco – Santiago de Cao – Ascope – La Libertad).**



Fuente: Elaboración propia.