



Universidad Nacional  
**Federico Villarreal**

Vicerrectorado de  
**INVESTIGACIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**“VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL Y DISEÑO SISMO RESISTENTE EN  
LAS VIVIENDAS DEL AA.HH. EL PROGRESO DEL DISTRITO DE  
CARABAYLLO”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**AUTOR:**

**BACH. AGUILAR GALVEZ GIANFRANCO ANDRES**

**ASESOR:**

**DR. TELLO MALPARTIDA OMART DEMETRIO**

**JURADO:**

**DR. VALENCIA GUTIERREZ ANDRES AVELINO**

**DR. PUMARICRA PADILLA RAUL VALENTIN**

**MG. GARCIA URRUTIA OLAVARRIA ROQUE JESUS LEONARDO**

**LIMA – PERU**

**2021**

## **DEDICATORIA**

Para mis padres, Patricia y Andrés, quienes me enseñaron que es posible alcanzar mis sueños.

Para mis hijos, Fabián y Thiago, quienes fueron los que se encargaron de recordármelo.

Este trabajo es para ustedes.

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a Dios por bendecirme y acompañarme a lo largo de toda mi vida, permitiéndome alcanzar éste logro personal y profesional.

Agradezco a todas las autoridades y catedráticos de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Federico Villarreal, en especial al Dr. Omart Tello Malpartida, quien además de despertar en mí el interés por la rama de las estructuras en las aulas, también supo guiarme en el desarrollo de la presente investigación.

Además, quiero expresar mi más profunda gratitud a mi madre, Patricia, quien estuvo a mi lado en todo momento durante mi etapa universitaria, a pesar que hubo momentos en los que me mudé de casa. El apoyo constante, la comprensión que me otorgaste hasta en mis peores momentos, y la confianza que me extendiste para seguir creyendo que aún sería posible alcanzar mis sueños, fueron de gran impulso. Mil gracias mamá.

Agradezco mucho a mi padre, Andrés, por transformar todos los “no creo que puedas” de los demás en “vamos, tu puedes!”. Estoy enormemente agradecido por haberme demostrado que la distancia y el tiempo no son suficientes para desvanecer el amor y cariño que un padre puede llegar a sentir por su hijo. Estuviste en el momento adecuado para no dejarme caer, y valoro mucho que hayas estado conmigo horas y horas en aquel hospital. Gracias por esos abrazos reconfortantes que me ayudaba a sobreponerme ante las adversidades para seguir luchando.

Estoy muy agradecido con mis hijos, Fabián y Thiago, que sin entenderlo bien sacrificaron horas de mi compañía para permitirme alcanzar este "sueño logrado": mi titulación. Muchas gracias Fabián, por regalarme tus abrazos cada vez que me veías cansado redactando mi trabajo de investigación, y muchas gracias Thiago, que con tu enorme sonrisa lograbas hacerme olvidar el difícil día que pude haber tenido. A ustedes dos, les agradezco enormemente sus cartas, sus juguetes en la cama, sus músicas infantiles en la casa, sus caritas risueñas que conseguían contagiarme de su alegría para continuar hacia adelante.

Por último, quiero agradecer a mi yo del pasado diciendo: "gracias por haberte esforzado tanto, que lo único que me queda escribir a mí hoy son los agradecimientos"; y dedicar una palabras a mi yo del futuro: "mira qué prolijo trabajo te he hecho".

## INDICE

<b>RESUMEN</b> .....	<b>x</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xi</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	3
1.1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	3
1.1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	4
1.2 ANTECEDENTES .....	4
1.3 OBJETIVOS .....	7
1.3.1 OBJETIVO GENERAL .....	7
1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	7
1.4 JUSTIFICACIÓN .....	8
1.5 HIPÓTESIS .....	8
1.5.1 HIPÓTESIS PRINCIPAL .....	8
1.5.2 HIPÓTESIS SECUNDARIAS .....	8
<b>II. MARCO TEORICO</b> .....	<b>9</b>
2.1 BASES TEÓRICAS .....	9
2.1.1 CONCEPTOS GENERALES Y DEFINICIONES .....	9
2.1.2 VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL .....	10
2.1.3 DISEÑO SISMO RESISTENTE .....	20
<b>III. MÉTODO</b> .....	<b>45</b>
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	45
3.2 ÁMBITO TEMPORAL Y ESPACIAL .....	45
3.3 VARIABLES .....	45
3.3.1 VARIABLE INDEPENDIENTE .....	45
3.3.2 VARIABLE DEPENDIENTE .....	45
3.3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	46
3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA .....	47

3.4.1	CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA .....	49
3.5	INSTRUMENTOS .....	50
3.5.1	FICHA DE CAMPO .....	50
3.5.2	FICHA DE REPORTE.....	50
3.6	PROCEDIMIENTOS .....	50
3.6.1	DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO.....	50
3.6.2	DESARROLLO DEL PROCEDIMIENTO.....	52
3.7	ANÁLISIS DE DATOS .....	99
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>100</b>
4.1	VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL.....	100
4.2	DISEÑO SISMO RESISTENTE.....	103
4.2.1	RIGIDEZ .....	103
4.2.2	EXCENTRICIDAD.....	104
4.2.3	FUERZAS CORTANTES DEBIDO A TORSIÓN.....	105
4.2.4	ESFUERZOS CORTANTES .....	106
4.2.5	RESISTENCIA AL CORTE TOTAL .....	108
4.3	CORRELACIÓN DE VARIABLES .....	110
4.3.1	DIAGRAMA DE DISPERSIÓN .....	110
4.3.2	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN .....	112
<b>V.</b>	<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>114</b>
<b>VI.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>115</b>
<b>VII.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>117</b>
<b>VIII.</b>	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>119</b>
<b>IX.</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>126</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Matriz de calificación de la vulnerabilidad de edificaciones de mampostería no reforzada.....	16
Tabla 2: Matriz de daños post terremoto según la deriva en viviendas de albañilería confinada. ....	18
Tabla 3: Factores modificadores de los desplazamientos elásticos. ....	18
Tabla 4: Límites para la distorsión del entrepiso. ....	19
Tabla 5: Pesos Unitarios para el cálculo de Cargas Muertas. ....	22
Tabla 6: Pesos Unitarios para el cálculo de Cargas Vivas. ....	22
Tabla 7: Resistencias de la Albañilería. ....	23
Tabla 8: Factores de Zona. ....	28
Tabla 9: Factor de Amplificación del Suelo. ....	29
Tabla 10: Períodos $T_P$ y $T_L$ . ....	29
Tabla 11: Coeficiente Básico de Reducción de Fuerzas Sísmicas. ....	31
Tabla 12: Operacionalización de las variables en estudio. ....	46
Tabla 13: Valor del Margen de Confiabilidad. ....	48
Tabla 14: Cuantificación de viviendas por número de pisos. ....	49
Tabla 15: Peso de la estructura.....	60
Tabla 16: Distribución de Fuerzas Sísmicas en altura. ....	62
Tabla 17: Rigidez lateral en el Eje X. Estructuración inicial. ....	63
Tabla 18: Rigidez lateral en el Eje Y. Estructuración inicial. ....	64

Tabla 19: Fuerzas y Momentos en muros. Estructuración inicial.....	66
Tabla 20: Cálculo del Momento Polar. Estructuración Inicial.....	71
Tabla 21: Incrementos de fuerza cortante en los muros. Estructuración inicial. ....	72
Tabla 22: Fuerzas cortantes finales. Estructuración inicial.....	73
Tabla 23: Esfuerzos axiales en muros. Estructuración inicial.....	74
Tabla 24: Control de fisuración en muros. Estructuración inicial. ....	75
Tabla 25: Esfuerzos cortantes en muros. Estructuración inicial. ....	76
Tabla 26: Dimensiones de los muros en el Eje X. Estructuración final.....	78
Tabla 27: Dimensiones de los muros en el Eje Y. Estructuración final.....	79
Tabla 28: Rigidez lateral en el Eje X. Estructuración final.....	82
Tabla 29: Rigidez lateral en el Eje Y. Estructuración final.....	83
Tabla 30: Fuerzas y Momentos en los muros. Estructuración final. ....	85
Tabla 31: Cálculo del Momento Polar. Estructuración final.....	88
Tabla 32: Incremento de fuerzas cortantes en los muros. Estructuración final. ....	89
Tabla 33: Fuerzas cortantes finales. Estructuración final. ....	90
Tabla 34: Esfuerzos axiales en muros. Estructuración final. ....	91
Tabla 35: Control de fisuración en muros. Estructuración final. ....	92
Tabla 36: Esfuerzos cortantes en muros. Estructuración final. ....	93
Tabla 37: Nivel de vulnerabilidad de las viviendas. ....	101
Tabla 38: Resumen de derivas por eje. ....	102
Tabla 39: Resumen de rigideces por eje. ....	103

Tabla 40: Resumen de excentricidades por eje. ....	104
Tabla 41: Incrementos máximos y promedio de fuerzas cortantes. ....	105
Tabla 42: Muros iniciales (%) que cumplen el esfuerzo cortante admisible. ....	106
Tabla 43: Esfuerzos cortantes máximos y promedio en las viviendas. ....	107
Tabla 44: Resistencias al corte total de las viviendas. ....	108
Tabla 45: Viviendas que cumplen con la resistencia al corte total. ....	109
Tabla 46: Valores de variables en diagrama de dispersión. ....	111
Tabla 47: Cálculo de Coeficiente de Correlación. ....	113
Tabla 48: Población de Lima, desde el año 2000 al 2015. ....	126
Tabla 49: Matriz de Consistencia. ....	131

## INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Planteamiento del Problema. ....	3
Gráfico 2: Factores que influyen en la vulnerabilidad estructural de edificaciones. ....	13
Gráfico 3: Clasificación de los métodos para evaluar la vulnerabilidad estructural.....	14
Gráfico 4: Esquema general del procedimiento. ....	51
Gráfico 5: Nivel de vulnerabilidad de las viviendas. ....	101
Gráfico 6: Derivas por Ejes. ....	102
Gráfico 7: Rigideces por Ejes. ....	104
Gráfico 8: Excentricidades por Ejes.....	106
Gráfico 9: Esfuerzos Cortantes Máximos y Promedios. ....	108
Gráfico 10: Resistencias al Corte Total por Ejes. ....	109
Gráfico 11: Diagrama de dispersión con líneas de tendencias.....	111
Gráfico 12: Crecimiento poblacional de Lima, desde el año 2000 al 2015. ....	127
Gráfico 13: Densidad poblacional según el sector del distrito.....	128

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Zonificación Sísmica. ....	28
Figura 2: Área de acero de refuerzo en vigas soleras.....	38
Figura 3: Área de acero de refuerzo en columnas de amarre. ....	39
Figura 4: División de muro en varios paños. ....	40
Figura 5: Diagrama de Esfuerzos de sección de viga. ....	41
Figura 6: Fotografía de la fachada de la vivienda en análisis. ....	52
Figura 7: Muro de ladrillos KK artesanal, de $f'm = 35 \text{ Kg/cm}^2$ . ....	53
Figura 8: Elementos de concreto armado, de $f'c = 175 \text{ Kg/cm}^2$ . ....	54
Figura 9: Distribución inicial de muros. ....	55
Figura 10: Modelo de la estructura inicial en Etabs.....	65
Figura 11: Distribución de techos de la vivienda.....	67
Figura 12: Distribución de muros. Estructuración final.....	77
Figura 13: Análisis estructural de viga.....	97
Figura 14: Distribución de sectores del distrito de Carabaylo.....	129
Figura 15: Cálculo del área de la zona de estudio.....	130

## RESUMEN

Las viviendas del AA.HH. El Progreso del distrito de Carabayllo son vulnerables estructuralmente debido, en mayor medida, a la carencia de un diseño sismo resistente. De seguir así esta situación, ante un escenario sísmico puede ocasionar el colapso de las estructuras que desencadenan en muertes de sus ocupantes y pérdidas económicas.

La presente tesis toma de muestra a 5 viviendas del AA.HH. El Progreso del distrito de Carabayllo que carezcan de un diseño sismo resistente, con el objetivo de determinar si la vulnerabilidad estructural disminuye luego de la aplicación de un diseño sismo resistente. Para realizar el estudio se emplea el método de la matriz de daños, utilizando previamente unas fichas técnicas que recopilen y procesen la información obtenida de las visitas realizadas a las viviendas. Este método se debe utilizar dos veces, una antes y otra después de la aplicación de un diseño sismo resistente.

Se obtuvieron resultados indicando que todas las viviendas en estudio, inicialmente presentan una vulnerabilidad SEVERA, y que luego de la aplicación de un diseño sismo resistente, su vulnerabilidad es LIGERA, disminuyendo a un 30% y 24% de las derivas iniciales, para el Eje X y Eje Y respectivamente. Esta investigación concluye, en base a los resultados, que la aplicación de un diseño sismo resistente disminuye el nivel de vulnerabilidad estructural en las viviendas del AA.HH. El Progreso del distrito de Carabayllo. Finalmente, se recomienda a las autoridades de turno que informen a la población del estado actual de sus viviendas y que se realicen capacitaciones constantes a los trabajadores del sector construcción.

**Palabras clave:** Vulnerabilidad, diseño sismo resistente, albañilería confinada.

## **ABSTRACT**

Homes of shanty town El Progreso in Carabayllo district are structurally vulnerable mostly because of the lack of a resistant earthquake design. If this situation goes on in this way, when we have to affront an seismic activity it can cause the collapse of the structures which can cause deaths of its habitants and economic losses.

This thesis takes a sample of 5 homes of the shanty town El Progress in the district of Carabayllo lacking a resistant earthquake design, with the main objective of determining if the structural vulnerability decreases after the application of a resistant earthquake design. To carry out the investigation, the damage matrix method is used, previously using some technical data sheets that collect and process the information obtained from the visits made to those homes. This method should be realized twice, once must be before and once after the application of a resistant earthquake design.

Results were obtained indicating that all the homes under the investigation, in the beginning present a SEVERE vulnerability, and that after the application of a resistant earthquake design, their vulnerability is LIGHT, decreasing to 30% and 24% of the early drifts, for the Axis X and Y axis respectively. This investigation concludes, based on the results, that the application of a resistant earthquake design decreases the level of structural vulnerability in those homes of the shanty town El Progress in the district of Carabayllo. Finally, it is recommended to t the actual authorities inform the population about the current state of their homes and that constant training be carried out on workers in the construction sector.

**Key words:** Vulnerability, resistant earthquake design, confined masonry.

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

Con el transcurrir de los años la población limeña ha aumentado de manera desmesurada (según el Anexo I, hubo un incremento de un 88% aprox. entre los años 2000 a 2015), lo cual generó un crecimiento poco controlado y planificado del área urbana. El distrito de Carabaylo no está exento de esta situación, debido a que presenta un desarrollo urbano con poca planificación. Las viviendas del AA.HH. El Progreso del distrito de Carabaylo, no cuentan con un diseño sismo resistente debido a la autoconstrucción que realizan las familias, principalmente por el bajo nivel económico y por desconocimiento de formalización de construcción. Sin embargo, este ahorro económico conlleva un alto costo en términos de vulnerabilidad estructural, dejando expuestos a las estructuras al colapso frente a un escenario sísmico.

Es por todo ello que resulta importante determinar la variación de la vulnerabilidad estructural de las viviendas del AA.HH. El Progreso del distrito de Carabaylo al aplicar un diseño sismo resistente en aquellas que la carecen, con la finalidad de poder tomar decisiones acertadas para mitigar los efectos de un movimiento telúrico. Durante el proceso es necesario determinar el nivel de vulnerabilidad estructural de las viviendas, antes y después de la aplicación de un diseño sísmico que permita realizar una comparativa.

Para abordar el estudio de manera ordenada, la investigación será expuesta en nueve secciones muy importantes, tal como se indica a continuación:

En el capítulo I: Introducción, se identifica la problemática que conlleva la ausencia del diseño sismo resistente en las viviendas de la zona en estudio, se indican los antecedentes más relevantes del tema, los objetivos y las hipótesis planteadas que

encaminan la investigación, y la debida justificación que explica brevemente la importancia de la realización del presente estudio.

En el capítulo II: Marco Teórico, se expone la información necesaria que se requiera conocer sobre la vulnerabilidad estructural y el diseño sismo resistente, las cuales estarán orientadas a viviendas de albañilería confinada. Aquí se encontrarán definiciones, clasificaciones, expresiones y fórmulas, métodos de cálculo de distintos autores, y el fundamento que sostiene la elección de una de ellas.

En el capítulo III: Método, se señalan las características metodológicas inherentes del estudio, las variables y sus indicadores, la delimitación del alcance del estudio en términos de población y muestra, los instrumentos utilizados para la recopilación de la información y su procesamiento numérico. Asimismo, se indica y desarrolla el procedimiento necesario que permita el posterior análisis de los datos obtenidos.

En el capítulo IV: Resultados, se pondrán en evidencia los diferentes resultados numéricos del nivel de vulnerabilidad estructural obtenidos, antes y después de proponer un diseño sismo resistente.

En el capítulo V: Discusión de los Resultados, se contrastan los resultados obtenidos con los de otros autores que hayan abordado el tema anteriormente.

En el capítulo VI: Conclusiones, se expondrá la interpretación de los resultados del estudio permitiendo validar si existe o no una disminución del nivel de vulnerabilidad estructural luego de la aplicación de un diseño sismo resistente.

En el capítulo VII: Recomendaciones, se indican algunas sugerencias que permitan evitar el colapso estructural a través de la aplicación de un diseño sismo resistente, ya sea desde el punto de vista técnico como social.

En el capítulo VIII: Referencias, se listan los artículos, estudios, investigaciones, libros de consulta, páginas webs, y demás referencias bibliográficas que haya contribuido con el desarrollo académico de la presente tesis.

Y finalmente en el capítulo IX: Anexos, se adjuntan datos complementarios, las fichas técnicas utilizadas y los planos de las viviendas en estudio, tanto de Arquitectura como los de Estructuras.

## 1.1 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

### 1.1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La vulnerabilidad estructural de las viviendas informales en el AA.HH. El Progreso del distrito de Carabaylo, es afectada por múltiples causas. La construcción realizada por trabajadores sin experiencia, la ejecución en distintos tiempos (por fases) las cuales dependen de la economía de los pobladores, la carencia de una supervisión profesional, la ausencia de planos estructurales, la calidad de los materiales empleados y sobre todo, la falta de un adecuado diseño sismo resistente, representan las causas más frecuentes que influyen en la vulnerabilidad estructural.

A pesar que todas las causas antes mencionadas son importantes, para efectos de la presente investigación, se considerará el efecto de ausencia o presencia de un diseño sismo resistente en la construcción de las viviendas.

Tal es así que, es necesario una evaluación que permita diagnosticar el nivel de la vulnerabilidad estructural que presentan las viviendas, tanto antes como después de proponer un adecuado diseño sismo resistente que las refuerce, de tal manera que se pueda realizar una comparación para tomar decisiones oportunas con el fin de evitar el posible colapso de las estructuras ante movimientos telúricos.



**Gráfico 1: Planteamiento del Problema.**

*Fuente: Autor de tesis (2018).*

## **1.1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **Problema general**

¿Cómo varía la vulnerabilidad estructural de las viviendas del AA.HH. El Progreso del distrito de Carabayllo al aplicar un diseño sismo resistente en aquellas que la carecen?

### **Problemas específicos**

¿Cuál es el nivel de daño post terremoto de las viviendas del AA.HH. El Progreso del distrito de Carabayllo que no tengan un diseño sismo resistente?

¿Cuál es el nivel de daño post terremoto de las viviendas del AA.HH. El Progreso del distrito de Carabayllo que si tengan un diseño sismo resistente?

## **1.2 ANTECEDENTES**

Con el propósito de disminuir la vulnerabilidad estructural de las viviendas considerando una adecuada aplicación de un diseño sismo resistente, se cuenta con los siguientes estudios realizados a nivel internacional:

Según Cueva (2017) en su estudio titulado “Vulnerabilidad Sísmica del edificio de la Facultad de Filosofía, Comercio y Administración de la UCE con la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC SE-RE 2015)” que tuvo como objetivo evaluar la vulnerabilidad sísmica del edificio de la Facultad de Filosofía, Comercio y Administración de la Universidad Central del Ecuador utilizando como principal instrumento la Benedetti – Petrini, llega a la conclusión que el edificio presenta una mediana vulnerabilidad frente a eventos sísmicos, siendo necesario su rehabilitación estructural para un mejor desempeño sísmico. Dicho estudio aporta a la presente investigación un mejor panorama teórico de la metodología cualitativa Benedetti – Petrini, la cual nos permite ampliar las alternativas de cálculo.

Según Barrera y Nieves (2015) en su tesis titulada “Determinación de la Vulnerabilidad en las casas coloniales ubicadas en el barrio de San Diego de la ciudad de Cartagena” que tuvo como objetivo determinar qué tan vulnerables son las casas coloniales del barrio de San Diego a partir de un método cualitativo denominado índice de vulnerabilidad, concluye que dichas viviendas presentan un índice de vulnerabilidad alto. Dicho estudio aporta a la presente investigación con la revisión bibliográfica de la

metodología Índice de Vulnerabilidad y con algunos parámetros que influyen en la susceptibilidad de viviendas. Además, se tomará en cuenta las recomendaciones suscitadas en el estudio para reducir la vulnerabilidad estructural de las viviendas en análisis.

Según Núñez (2010) en su estudio titulado "Análisis de los daños provocados por el terremoto del 27 de febrero de 2010 a los edificios de Villa Cordillera, comuna de Rancagua" que tuvo como objetivo analizar los daños generados por el terremoto del 27 de febrero del 2010 en los edificios de Villa Cordillera de la comuna Rancagua a partir de una inspección visual y estableciendo el grado de daño observado, concluye que los daños ocasionados en las estructuras son severos. Dicho estudio aporta a la presente investigación ampliar la perspectiva con respecto a la tipificación de daños esperados luego de un sismo, y a las acciones de mitigación de reducción del nivel de vulnerabilidad estructural.

Según Tejedor (2016) en su estudio titulado "Análisis sismo resistente de una vivienda de hormigón armado de dos plantas altas situado al oeste en la parroquia Jambelí", con el objetivo de comprobar si la estructura existente cumple con los requerimientos sismo resistentes establecidos en la norma ecuatoriana de la construcción NEC 15, concluye que la estructura es competente para resistir fuerzas laterales debidas al sismo de diseño. Dicho estudio aporta a la presente investigación una secuencia procedimental general sobre el análisis del comportamiento estructural a partir de un modelo matemático simulado por software.

En cuanto a antecedentes de investigación nacional, es importante considerar los siguientes aportes:

Según Tito (2018) en su estudio llamado "Vulnerabilidad sísmica de viviendas autoconstruidas mediante la aplicación del modelo estático no lineal en la Av. El Parral, Comas", cuyo objetivo fue determinar la vulnerabilidad sísmica de las viviendas autoconstruidas ubicadas en la Av. El Parral del distrito de Comas, concluye que luego de aplicar un reforzamiento estructural a las viviendas autoconstruidas, se mejora significativamente el nivel de vulnerabilidad estructural. Dicho estudio aporta a la presente tesis una posible correlación entre las variables seleccionadas.

Según Laucata (2013) en su tesis titulada "Análisis de la vulnerabilidad sísmica de las viviendas informales en la ciudad de Trujillo", cuyo objetivo fue la de contribuir en la disminución de la vulnerabilidad sísmica en dichas viviendas, concluye que debido

a la construcción informal en Trujillo podría colapsar la mayoría de las viviendas ante un sismo severo, de acuerdo a los resultados obtenidos en los reportes de vulnerabilidad. Dicho estudio aporta a la presente investigación una metodología de recopilación y procesamiento de la información de viviendas en estudio a través de fichas de trabajo, con su respectivo plano arquitectónico y panel fotográfico.

Según Retis (2015) en su investigación llamada “Determinación de los índices de vulnerabilidad estructural de edificaciones de albañilería confinada, empleando el método japonés”, la cual tuvo como objetivo estimar el nivel de vulnerabilidad de las edificaciones tomadas de muestra determinando los índices de vulnerabilidad sísmica, concluye que las edificaciones de 01 nivel, 02 niveles y 04 niveles cuyo sistema estructural es en base a muros portantes de albañilería, no son seguras frente al tipo de demanda sísmica con la cual se las ha analizado, por tanto éstas viviendas presentarían fallas estructurales, pudiendo ser reparables. Dicho estudio aporta a la presente investigación un panorama teórico de la metodología japonesa para el cálculo de la vulnerabilidad estructural de viviendas de albañilería confinada.

Según Cárdenas (2008) en su estudio titulado “Análisis de vulnerabilidad estructural del Hotel Comercio”, con el objetivo de determinar la situación actual de la estructura frente a solicitaciones sísmicas exigidas por la demanda, llega a la conclusión que el Hotel Comercio es vulnerable, no solo por los altos desplazamientos encontrados en varios puntos que sobrepasan los límites permisibles, sino también por la resistencia hallada y comparada contra la demanda sísmica, ya que la resistencia estructural no alcanza a la demanda. Dicho estudio aporta a la presente investigación con diferentes enfoques metodológicos de evaluación de vulnerabilidad estructural, las cuales permiten expandir nuestro alcance metodológico para poder discernir entre ellas la más adecuada a nuestro estudio.

Según Chevarría (2014) en su tesis llamada “Análisis y Diseño Estructural sismo resistente por el método de Elementos Finitos: Pabellón de aulas I.E.S. Charamaya – Mañazo”, cuyo objetivo fue corroborar el cumplimiento de la funcionalidad y seguridad estructural en concordancia a la normativa vigente establecida en el RNE, concluye que el método de elementos finitos aplicado a la estructura sismo resistente del Pabellón de aulas de la I.E.S. de Charamaya, cumple con la seguridad estructural necesaria para resistir a cualquier evento sísmico que se pueda dar en la zona. Dicho estudio aporta a la presente investigación con una revisión bibliográfica general sobre el procedimiento de cálculo del comportamiento estructural a partir de un modelo matemático simulado por software, mediante un análisis estático y dinámico.

Según Escamilo (2017) en su investigación titulada “Diseño estructural de una edificación de albañilería confinada de 8 pisos en la ciudad de Trujillo, La Libertad”, que tuvo como objetivo desarrollar una metodología para el diseño de una edificación de albañilería confinada de más de 5 pisos, llega a la conclusión que la deriva reglamentaria sería muy severa para un edificio alto de mayor capacidad de deformación, y cuya falla sería a flexión. Dicho estudio aporta a la presente investigación con varias recomendaciones estructurales para mitigar los efectos de una vivienda de albañilería confinada carente de un diseño sísmo resistente.

Según Mestanza (2017) en su estudio titulado “Diseño sísmico de las viviendas construidas por el programa Techo Propio en la provincia de San Marcos, 2017”, con el objetivo de elaborar el diseño sísmico de las viviendas construidas por el programa Techo Propio en la provincia de San Marcos, concluye que las distorsiones (derivas) de entrepiso cumplen con los rangos establecidos en la norma E.030 del RNE-2016, sin embargo, el área de acero no cumple para los esfuerzos por cortante y flexión, lo cual conlleva a requerir de mayor área de concreto para los elementos estructurales, y así poder contener las fuerzas generadas por un sismo. Dicho estudio aporta a la presente investigación con referencias teóricas sobre el análisis estructural de viviendas de albañilería confinada de viviendas muy similares a las consideradas.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

Determinar la variación de la vulnerabilidad estructural de las viviendas del AA.HH. El Progreso del distrito de Carabayllo al aplicar un diseño sísmo resistente en aquellas que la carecen, a través de una comparativa porcentual.

#### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Determinar el nivel de daño post terremoto de las viviendas del AA.HH. El Progreso del distrito de Carabayllo que no tengan un diseño sísmo resistente a través del uso de la Matriz de Daños planteada por Zavala, Carlos (2016).
- Determinar el nivel de daño post terremoto de las viviendas del AA.HH. El Progreso del distrito de Carabayllo que si tengan un diseño sísmo resistente a través del uso de la Matriz de Daños planteada por Zavala, Carlos (2016).

## **1.4 JUSTIFICACIÓN**

De acuerdo con Tito (2018), las viviendas informales son muy vulnerables ante sismos. En algunos estudios como el de Laucata (2013) y el de Retis (2015) se encontró que la manera de mejorar significativamente el nivel de vulnerabilidad estructural en viviendas autoconstruidas es a través de la aplicación de un diseño sismo resistente que las refuerce.

Asimismo, 80% de las viviendas de Lima son construcciones informales (CAPECO, 2018); por ende carecen de un diseño sismo resistente. Este mismo fenómeno ocurre en el AA.HH. El Progreso del distrito de Carabayllo.

La presente investigación contribuirá a determinar qué tan importante es realizar un diseño sismo resistente antes de iniciar la construcción de la vivienda. Asimismo, los resultados obtenidos del estudio ayudarán a crear una mayor conciencia a las familias que se encuentren en este problema, a fin de prevenir el posible colapso estructural ante un repentino evento sísmico. Por otro lado, a través de la investigación se desarrollan fichas de trabajo, tanto para la recolección de datos como para cálculos numéricos, que pueden ser utilizados en futuras investigaciones que contemplen otras zonas de estudio con características similares.

## **1.5 HIPÓTESIS**

### **1.5.1 HIPÓTESIS PRINCIPAL**

La aplicación de un diseño sismo resistente disminuye la vulnerabilidad estructural de las viviendas del AA.HH. El Progreso del distrito de Carabayllo.

### **1.5.2 HIPÓTESIS SECUNDARIAS**

- El nivel de daño post terremoto de las viviendas del AA.HH. El Progreso del distrito de Carabayllo que no tengan un diseño sismo resistente es alto.
- El nivel de daño post terremoto de las viviendas del AA.HH. El Progreso del distrito de Carabayllo que si tengan un diseño sismo resistente es bajo.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEORICO

#### 2.1 BASES TEÓRICAS

##### 2.1.1 CONCEPTOS GENERALES Y DEFINICIONES

- **Albañilería confinada:** Albañilería reforzada con elementos de concreto armado en todo su perímetro, vaciado posteriormente a la construcción de la albañilería.
- **Albañilería o mampostería:** Material estructural conformado generalmente por unidades de albañilería asentadas con mortero o, en ocasiones, por unidades de albañilería apiladas integradas con concreto líquido.
- **Elementos estructurales:** Elementos resistentes de una estructura a los efectos de los movimientos telúricos. Por ejemplo las vigas, columnas, losas, cimientos, etc.
- **Elementos no estructurales:** Elementos que no forman parte del sistema estructural de la edificación, por ende, no proveen resistencia sísmica. Se puede tomar como ejemplo a los tabiques, falsos techos, cerramientos, parapetos, entre otros.
- **Esfuerzos cortantes:** Resistencia a fuerzas ortogonales al plano de acción en un determinado elemento.
- **Modelo mecánico o estructural:** Representación matemática de la estructura real con fines de simulación. También llamado modelo matemático.
- **Respuesta estructural:** Resultado obtenido de la simulación del modelo mecánico.

- **Unidad de albañilería:** Ladrillos y bloques de arcilla cocida, de concreto o de sílice calcáreo. Puede ser sólida, hueca, alveolar o tubular.
- **Vulnerabilidad sísmica:** Probabilidad de falla o colapso de una estructura ante los efectos de un determinado fenómeno sísmico.

## 2.1.2 VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL

### 2.1.2.1 Introducción

Durante las décadas de los 80 y 90, en países en vías de desarrollo tal como el nuestro, aumentó notablemente la cantidad de construcciones de viviendas hechas bajo el sistema estructural conocido como albañilería confinada. Perú se encuentra en una zona con un alto potencial sísmico, por lo que, las estructuras dentro de nuestro territorio están propensas a sufrir daños considerables, especialmente las más antiguas y también aquellas que fueron construidas sin considerar las recomendaciones de la normativa sísmo resistente vigente, tal como se realizó en la zona de estudio de la presente investigación.

Si el nivel de vulnerabilidad estructural de las viviendas se le identifica como alto, se debería tomar las medidas adecuadas para disminuirla. Para ello, se necesita comprender a cabalidad cual es la definición y el objetivo de la vulnerabilidad estructural en las viviendas y aplicar la metodología más pertinente.

### 2.1.2.2 Definición

El término *vulnerabilidad estructural* se define como la medida de susceptibilidad o la predisposición intrínseca de los elementos expuestos a una amenaza, a sufrir daños o pérdidas (Wong et al., 1997).

Además, se puede decir que la vulnerabilidad estructural es una característica que depende de cómo ha sido diseñada y construida la estructura, más no depende de la amenaza del lugar donde se encuentre ubicada. Toda estructura que sea susceptible de ser afectada por un sismo, debe ser tomada en cuenta para un estudio de vulnerabilidad estructural (UNDRO, 1979).

Por lo tanto, la vulnerabilidad estructural puede ser estimada mediante la aplicación de una metodología de evaluación acorde a los objetivos que se plantee inicialmente. Si estamos frente a un nivel de vulnerabilidad estructural alto, es momento de tomar decisiones adecuadas para mitigar el posible colapso reduciendo dicho nivel manteniéndolo en un rango de seguridad aceptable.

### **2.1.2.3 Caracterización de la vulnerabilidad estructural**

Según Sandi (1986), la vulnerabilidad estructural no deja de ser una propiedad inherente de la estructura siguiendo un patrón causa – efecto, siendo la acción sísmica la causa y el daño sísmico el efecto.

Es por eso que al hablar de vulnerabilidad estructural, inevitablemente se debe hablar de la acción sísmica que afronta la estructura y del daño sísmico esperado.

#### **2.1.2.3.1 La acción sísmica**

Hablar de acción sísmica implica hablar de movimiento de los suelos, la cual genera esfuerzos cortantes en los elementos resistentes de cualquier estructura. Si los esfuerzos presentes durante un sismo están por encima del rango permisible, los daños ocasionados serían críticos. Es por ésta razón, que es importante definirla y caracterizarla ante un estudio de vulnerabilidad estructural.

A pesar de la implementación de nuevas metodologías de evaluación de vulnerabilidad estructural durante los últimos años, existen todavía grandes incertidumbres sujetas a la complejidad del fenómeno sísmico, dando pie a sobrestimar o subestimar la intensidad esperada de la acción sísmica, generando un excesivo incremento de los costos en la construcción o permitiendo que los daños esperados se incrementen, aumentando así la probabilidad de muertes y/o pérdidas económicas debido al colapso.

Es por eso que, el establecimiento inicial de la acción sísmica debe representar adecuadamente el movimiento esperado, de manera que se genere una respuesta estructural con los daños que realmente se debe evaluar (Singh, 1995).

### 2.1.2.3.2 El daño sísmico

Generalmente, se habla de daño sísmico cuando se quiere referir al deterioro físico de los distintos elementos que conforman una estructura, o también al impacto económico que conlleva dicho evento sísmico. Por lo que se puede afirmar, que el daño sísmico se puede representar como daño físico y/o daño económico (Yépez, 1996).

El daño físico que puede llegar a sufrir una estructura se clasifica en dos grandes grupos: estructural y no estructural.

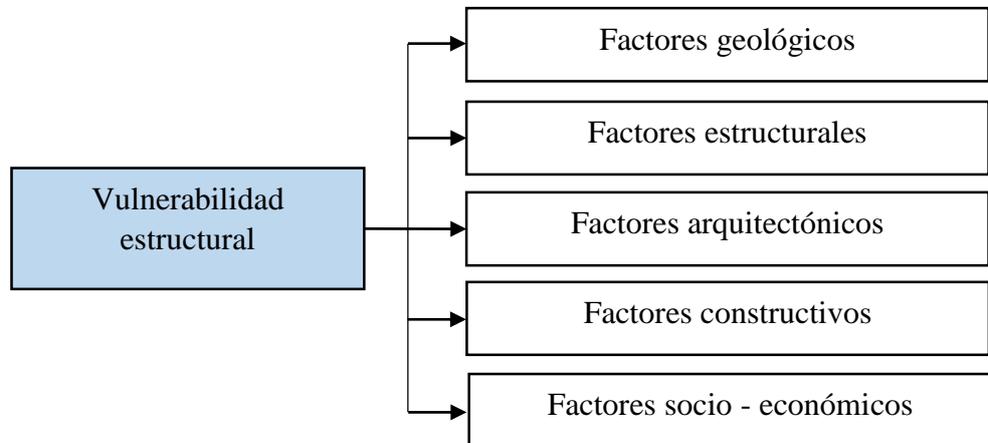
El daño físico estructural representa el deterioro de los elementos resistentes de una estructura ante una posible acción sísmica. Por lo tanto, el sistema estructural que gobierna dicha configuración constructiva y las características mecánicas de los materiales que la componen son factores comunes de las que depende la caracterización del daño físico.

Por otro lado, el daño no estructural está íntimamente relacionado con los daños en los demás elementos que contiene dicha estructura, así como: en elementos arquitectónicos, en los sistemas electromecánicos y sanitarios, etc. Es decir, está asociado a elementos que no pertenezcan directamente al sistema sísmo resistente.

Intentar representar el daño ocasionado por una acción sísmica en términos económicos, mediante la aplicación de métodos empíricos, teóricos o subjetivos, es el denominado *daño económico*. Aunque su estimación es muy difícil, normalmente se le relaciona con el daño estructural encontrado.

Es una situación común que la mayoría de los estudios de evaluación de vulnerabilidad enfoque su atención en la descripción de los daños físicos de las estructuras como resultado de una acción sísmica, es por ello que, en la presente investigación se le tomará muy en cuenta.

Por otro lado, los daños generalmente son causados por una combinación de variables que pertenecen comúnmente a los factores mostrados en el Gráfico 2.



**Gráfico 2: Factores que influyen en la vulnerabilidad estructural de edificaciones.**

*Fuente: Alonso, J. (2014). Vulnerabilidad sísmica de edificaciones.*

#### **2.1.2.4 Métodos de Evaluación**

##### **2.1.2.4.1 Generalidades**

Según Caicedo et al. (1994), existe una gran variedad de métodos propuestos por distintos autores para estimar el nivel de vulnerabilidad sísmica de estructuras. Todos los métodos dependen fundamentalmente de los siguientes factores:

- Objetivo del estudio.
- Información disponible.
- Características de las estructuras.
- Técnica de toma de datos utilizada.
- Precisión del resultado esperado.

##### **2.1.2.4.2 Clasificación de los métodos**

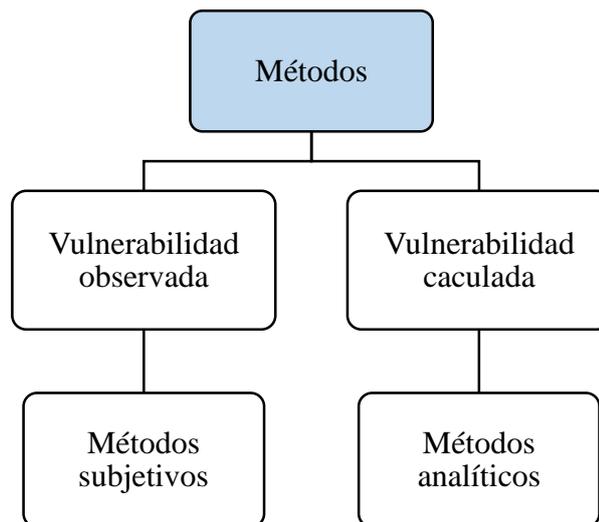
Según Caicedo et al. (1994), los métodos de evaluación de la vulnerabilidad estructural son agrupados en dos grandes categorías:

### **Vulnerabilidad Observada**

Son métodos que miden rápidamente el nivel de vulnerabilidad estructural a través de una inspección visual utilizando criterios subjetivos o empíricos. Los resultados comúnmente son descripciones cualitativas como: vulnerabilidad baja, media o alta.

### **Vulnerabilidad Calculada**

En este grupo se determina el nivel de vulnerabilidad estructural en función de términos numéricos mediante una modelación estructural, lo cual otorga objetividad al resultado estimado y permite cuantificar porcentualmente una posible variación.



**Gráfico 3: Clasificación de los métodos para evaluar la vulnerabilidad estructural.**

*Fuente: Autor de tesis (2018).*

### 2.1.2.4.3 Cuantificación de la vulnerabilidad estructural

#### A) Vulnerabilidad Observada

##### Índice de Vulnerabilidad

Es propuesto por Petrini y Benedetti (1984), desarrollado en Italia a partir de información del daño observado en edificios provocados por terremotos desde el año 1976. Tiene por objetivo evaluar el nivel de vulnerabilidad de edificaciones, principalmente de albañilería, a gran escala y de forma simple, rápida y económica. El método consiste en calificar a la estructura mediante once parámetros, siendo A considerada como óptima y D, como pésima (ver la Tabla 1).

Número	Parámetro	Calificación $K_i$				Peso $W_i$
		A	B	C	D	
1	Organización del sistema resistente	0	5	20	45	1.00
2	Calidad del sistema resistente	0	5	25	45	0.25
3	Resistencia convencional	0	5	25	45	1.50
4	Posición del edificio y cimentación	0	5	25	45	0.75
5	Entrepisos	0	5	15	45	1.00
6	Configuración en planta	0	5	25	45	0.50
7	Configuración en elevación	0	5	25	45	1.00
8	Separación máxima entre muros	0	5	25	45	0.25
9	Tipo de cubierta	0	15	25	45	1.00

10	Elementos no estructurales	0	0	25	45	0.25
11	Estado de conservación	0	5	25	45	1.00

**Tabla 1: Matriz de calificación de la vulnerabilidad de edificaciones de mampostería no reforzada.**

*Fuente: Benedetti, D., Petrini, V. (1984). Sulla Vulnerabilità Sísmica di Edifici in Muratura: Prioste di un Método di Valutazione.*

La vulnerabilidad es representada por la sumatoria de las calificaciones de los parámetros, como se indica en la siguiente expresión:

$$I_v = \left( \sum K_i \cdot W_i \right)$$

### Método japonés

El presente método es propuesto por Hirosawa (1992), y fue desarrollado para evaluar principalmente a edificaciones de concreto armado de baja o mediana altura, construidas mediante procesos habituales. Consiste en estimar el riesgo sísmico evaluando a la estructura, su forma y la peligrosidad que presenten sus elementos estructurales, mediante el cálculo de un índice sísmico ( $I_s$ ) que representa de forma global el comportamiento de un entrepiso de la estructura en estudio.

Asimismo, el índice sísmico es el resultado de la multiplicación de cuatro factores calculados individualmente; el primero ( $E_o$ ) depende directamente de la resistencia última presente en los elementos estructurales que conforman a la edificación, del tipo de mecanismo de falla y del nivel de ductilidad que tiene el sistema, el segundo ( $G$ ) considera la intensidad de los movimientos del suelo de fundación, el tercero ( $S_d$ ) describe la influencia ejercida del diseño estructural sobre la respuesta sísmica del edificio mediante ciertos factores, como las rigideces o distribución de masas, y por último, el cuarto factor ( $T$ ) califica el nivel de deterioro y defectos en elementos estructurales, como deflexiones o grietas. Por lo tanto, la expresión para el cálculo de  $I_s$  es la siguiente:

$$I_s = (E_o) \cdot (G) \cdot (S_d) \cdot (T)$$

donde:

Eo: subíndice sísmico de comportamiento estructural

G: subíndice sísmico de movimiento del terreno

Sd: subíndice sísmico de concepción estructural

T: subíndice sísmico de deterioro estructural

En base a los resultados obtenidos para  $I_s$  y considerando parámetros generales como la edad, la importancia y el uso de la edificación, será posible realizar la evaluación del nivel de vulnerabilidad.

## **B) Vulnerabilidad Calculada**

### **Matriz de daños**

Este método consiste en determinar el nivel de vulnerabilidad estructural en términos del daño esperado debido a un evento sísmico, a través de una matriz de daños.

Las matrices de daños se generan a partir de un análisis estadístico de los daños observados en estructuras, luego de haber sido afectados por algún movimiento sísmico. Para representar al daño observado, se toma a la deriva de entepiso como parámetro descriptor.

Durante muchos años, el CISMID ha realizado múltiples ensayos en viviendas de albañilería confinada a escala natural, permitiéndoles enriquecer su base de datos experimental, y desarrollar la siguiente matriz de daños:

Deriva ( $\Delta\delta_j / h_j$ )	Nivel de daño	Nivel de Vulnerabilidad
1/2000 – 1/1000	Sin daños	Leve
1/800	Daños leves	Moderado
1/350	Daños severos	Severo
> 1/200	Colapso	Colapso

**Tabla 2: Matriz de daños post terremoto según la deriva en viviendas de albañilería confinada.**

*Fuente: Ing. Carlos Zavala (2016), en su presentación llamada Vulnerabilidad Sísmica de Edificios en Perú.*

### Reglamento Nacional de Edificaciones - RNE

El Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) es un conjunto de normas de orden técnico que asegura un mínimo nivel de confianza en el diseño de infraestructuras y viviendas, con el objetivo de proteger la vida de sus ocupantes y su respectiva inversión.

Bajo esta premisa, el reglamento exige cumplir las recomendaciones respecto a resistencia, rigidez y ductilidad, los cuales son los siguientes:

- **Determinación de Desplazamientos Laterales**

Los desplazamientos laterales calculados del análisis lineal y elástico ( $\Delta$ ) se modifican, según la regularidad estructural, de acuerdo a la siguiente tabla:

Regularidad Estructural	Desplazamientos Laterales
Regular	$\Delta_l = \Delta \cdot 0.75R$
Irregular	$\Delta_l = \Delta \cdot R$

**Tabla 3: Factores modificadores de los desplazamientos elásticos.**

*Fuente: E.030 del RNE – 2016.*

- **Desplazamientos Laterales Relativos Admisibles**

La razón del desplazamiento máximo relativo de entrepiso obtenido ( $\Delta_l$ ) y la altura de entrepiso ( $h_i$ ), no deberá exceder de los valores indicados en la siguiente tabla:

Material Predominante	Deriva ( $\Delta_l / h_i$ )
Concreto Armado	0.007
Acero	0.010
Albañilería	0.005
Madera	0.010
Concreto Armado + Muros de ductilidad limitada	0.005

**Tabla 4: Límites para la distorsión del entrepiso.**

*Fuente: E.030 del RNE – 2016.*

Básicamente, éste método consiste en cumplir con lo estipulado en el reglamento, lo cual nos permitirá deducir el nivel de vulnerabilidad: bajo o alto.

### C) Método seleccionado

Una vez señalados los diferentes métodos para estimar el nivel de vulnerabilidad, se opta por la aplicación de la matriz de daño desarrollada por el CISMID y expuesta por el Ing. Carlos Zavala.

El beneficio de emplear este método radica en la rápida identificación del nivel de vulnerabilidad estructural. Además del respaldo de los numerosos ensayos en estructuras de albañilería confinada realizados por el CISMID.

De forma resumida, se presentan los pasos que se requieren para llevar a cabo la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones de albañilería existentes, según el método seleccionado:

1. Recolección de información de la edificación (planos, memorias, etc.).
2. Inspección visual de la edificación en estudio.
3. Levantamiento de planos de la edificación, en caso no estuviesen disponibles.
4. Elaboración de un modelo estructural en su estado actual, considerando las cargas de gravedad y las sísmicas.
5. Análisis matricial tridimensional (análisis elástico lineal).
6. Cálculo de derivas.
7. Determinación del nivel de vulnerabilidad a partir de la deriva calculada.

### **2.1.3 DISEÑO SISMO RESISTENTE**

#### **2.1.3.1 Introducción**

¿Recuerda Ud. el terremoto del 90 en San Martín? o ¿el terremoto del 2007 en Ica? De acuerdo con INDECI, el primero generó 77 muertos, 1 680 heridos y 11 000 viviendas dañadas, resultando algunas de ellas totalmente destruidas; mientras el terremoto de Ica generó 519 muertos, 1 366 heridos y 58 581 viviendas destruidas.

Estas lamentables cifras se pudieron haber disminuido si se hubiese empleado un diseño sismo resistente en las viviendas aplicando las recomendaciones que estipula el E.030, ya que su objetivo consiste en:

- Evitar en lo posible la pérdida de vidas humanas.
- Permitir la continuidad de los servicios básicos.
- Disminuir los daños de la estructura.

#### **2.1.3.2 Definición**

Un diseño sismo resistente es un planteamiento estructural que tiene por finalidad dotar de una combinación apropiada de rigidez, resistencia y ductilidad a la estructura para resistir un posible evento sísmico (E.030 del RNE, 2016)

Bajo esta premisa, el diseño a considerar debe obedecer los siguientes principios de manera económica:

- Ante sismos leves, la estructura no debe presentar ningún daño.
- Ante sismos moderados, la estructura podría experimentar daños reparables.

- Ante sismos severos, la estructura podría presentar daños importantes sin llegar al colapso ni causar daños a las personas que las ocupen.

### **2.1.3.3 Normas empleadas**

Las normas empleadas en el presente estudio son los siguientes capítulos del RNE 2016:

- La Norma E.020 Cargas.
- La Norma E.030 Diseño Sismo Resistente.
- La Norma E.060 Concreto Armado.
- La Norma E.070 Albañilería.

### **2.1.3.4 Cargas de Diseño**

Todos los elementos estructurales de las viviendas en análisis de la presente tesis de investigación, deberán ser capaces de resistir las diferentes cargas impuestas para resistir un evento sísmico severo.

#### **2.1.3.4.1 Cargas Muertas**

Las cargas muertas son aquellos pesos de los elementos estructurales y de los objetos que se encuentren permanentemente unidos a la estructura. Por lo tanto, se pueden considerar como cargas muertas a los pesos de los muros, vigas, columnas, losas, etc. Dichos pesos se suman para obtener la carga muerta total de la estructura.

A continuación se muestran algunos pesos para el cálculo de las cargas muertas que se consideran en los análisis del presente estudio:

<b>Materiales</b>	<b>Pesos Unitarios</b>
Albañilería de unidades de arcilla cocida	1800 kg/m <sup>3</sup>
Concreto armado	2400 kg/m <sup>3</sup>
Enlucido o revoque de mortero de cemento (tarrajeo)	2000 kg/m <sup>3</sup>
Losas aligeradas armadas en una sola dirección de concreto armado	300 kg/m <sup>2</sup>

**Tabla 5: Pesos Unitarios para el cálculo de Cargas Muertas.**

*Fuente: E.020 del RNE - 2016.*

#### **2.1.3.4.2 Cargas Vivas**

El peso de todos los ocupantes de la vivienda, materiales almacenados, muebles, o todo aquel objeto colocado sobre la estructura de forma temporal conforman la carga viva.

En el E.020 del RNE se muestran tablas con valores mínimos de cargas vivas que se reparten de manera uniforme sobre la estructura. Se han extraído los necesarios para la realización de los análisis y diseños estructurales, mostrándose a continuación:

<b>Descripción</b>	<b>Cargas vivas</b>
Para viviendas	200 kg/m <sup>2</sup>
Para techos	100 kg/m <sup>2</sup>

**Tabla 6: Pesos Unitarios para el cálculo de Cargas Vivas.**

*Fuente: E.020 del RNE - 2016.*

#### **2.1.3.4.3 Cargas Sísmicas**

Son aquellas cargas horizontales que actúan sobre la estructura debido al movimiento que se produce por un evento sísmico.

### 2.1.3.5 Materiales Estructurales

Al realizar un modelo matemático que represente a la estructura en análisis, se tendrá que incluir en él las características físicas y/o mecánicas de los materiales estructurales que gobiernen la estructura para adecuar nuestro modelo lo más cercano a la realidad.

#### 2.1.3.5.1 Albañilería

Las características de la albañilería dependen del tipo de material empleado. Cabe señalar que los muros existentes son de ladrillos KK artesanales, y los muros que se añadirá a la estructura son KK industriales.

<b>RESISTENCIAS CARACTERÍSTICAS DE LA ALBAÑILERÍA (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>				
<b>Materia prima</b>	<b>Denominación</b>	<b>Unidad f'<sub>b</sub></b>	<b>Pilas f'<sub>m</sub></b>	<b>Muretes v'<sub>m</sub></b>
Arcilla	King King Artesanal	55	35	5.1
	King Kong Industrial	145	65	8.1

**Tabla 7: Resistencias de la Albañilería.**

*Fuente: E.070 del RNE - 2016.*

- Módulo de Elasticidad de los Muros de Albañilería ( $E_m$ ):

$$E_m = 500f'_m$$

$$\text{Para } f'_m = 35 \text{ kg/cm}^2 \quad E_m = 17\,500 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Para } f'_m = 65 \text{ kg/cm}^2 \quad E_m = 32\,500 \text{ kg/cm}^2$$

- Módulo de Rigidez de corte de los Muros de Albañilería ( $G$ ):

$$G = 0.4E_m$$

$$\text{Para } f'_m = 35 \text{ kg/cm}^2 \quad G = 7\,000 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Para } f'_m = 65 \text{ kg/cm}^2 \quad G = 13\,000 \text{ kg/cm}^2$$

- Módulo de Poisson de los Muros de Albañilería ( $\nu$ ):

Según la teoría de Mecánica de Materiales:

$$\frac{Ec}{2G} = 1 + \nu$$

Aquí se emplea la ecuación anterior del Módulo de Rigidez al cortante, obteniendo:

$$\nu = 0.25$$

### 2.1.3.5.2 Concreto Armado

- Módulo de Elasticidad del Concreto ( $E_c$ ):

$$E_c = 15000\sqrt{f'_c}$$

Donde:

$f'_c$  : Resistencia a compresión del concreto.

$$\text{Para } f'_c = 175 \text{ kg/cm}^2 \quad E_c = 198\,431.35 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Para } f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2 \quad E_c = 217\,370.65 \text{ kg/cm}^2$$

- Módulo de Rigidez al Cortante del Concreto ( $G$ ):

$$G = \frac{Ec}{2.3}$$

$$\text{Para } f'_c = 175 \text{ kg/cm}^2 \quad G = 86\,274.50 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Para } f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2 \quad G = 94\,508.98 \text{ kg/cm}^2$$

- Módulo de Poisson ( $\nu$ ):

$$\nu = 0.15$$

- Módulo de Elasticidad del Acero de Refuerzo ( $E_s$ ):

$$E_s = 2 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$$

### 2.1.3.6 Predimensionamiento

Es natural realizar el modelo con dimensiones iniciales de los elementos estructurales, ya que nos permite contar con un punto de partida para iniciar con el análisis. Es por ello que es importante recurrir a un predimensionamiento de dichos elementos mediante expresiones sencillas que se derivan de la experiencia de proyectos similares y de recomendaciones emitidas por expertos en el tema. En este caso, se ha seguido las recomendaciones del Ing. Antonio Blanco, del Ing. Roberto Morales y del RNE - 2016.

#### 2.1.3.6.1 Muros de Albañilería

Se toma en cuenta las siguientes recomendaciones de predimensionamiento:

- **Cálculo del Espesor Efectivo Mínimo (t)**

Según el E.070 del RNE, el espesor efectivo mínimo será:

$$t \geq \frac{h}{20}$$

- **Densidad de Muros**

Se debe cumplir la expresión indicada por el E.070:

$$\frac{\text{Área de Corte de los Muros Reforzados}}{\text{Área de la Planta Típica}} = \frac{\sum L \cdot t}{A_p} = \frac{Z \cdot U \cdot S \cdot N}{56}$$

Donde:

- L = longitud total del muro (se incluyen columnas).
- t = espesor efectivo del muro.
- Z = factor de zona sísmica (E.030).

- U = factor de importancia (E.030).
- S = factor de suelo (E.030).
- N = número de pisos de la vivienda.

### 2.1.3.6.2 Vigas

Para el predimensionamiento de vigas se considera más importante el peralte de su sección que su propio ancho. Es por eso que se toman en cuenta las siguientes expresiones para su estimación:

$$h = \frac{\text{Luz Libre}}{10} ; h = \frac{\text{Luz Libre}}{12}$$

Generalmente, los valores para el ancho de la sección varían entre 0.30 a 0.50 de la altura estimada anteriormente.

### 2.1.3.7 Metrado de Cargas

A los modelos matemáticos de las viviendas se les impondrá las siguientes cantidades de carga gravitacionales:

#### Carga Muerta (CM)

- Para el techo del 1er piso:
 

Losa aligerada	: 300	kg/m <sup>2</sup>
Tabiquería	: 100	kg/m <sup>2</sup>
Acabados	: <u>100</u>	kg/m <sup>2</sup>
	500	kg/m <sup>2</sup>
- Para el techo del 2do piso:
 

Losa aligerada	: 300	kg/m <sup>2</sup>
Tabiquería	: 100	kg/m <sup>2</sup>
Acabados	: <u>50</u>	kg/m <sup>2</sup>
	450	kg/m <sup>2</sup>

#### Carga Viva (CV)

- Para el techo del 1er piso:
 

Sobrecarga	: 200	kg/m <sup>2</sup>
------------	-------	-------------------

- Para el techo del 2do piso:  
Sobrecarga : 100 kg/m<sup>2</sup>

### **2.1.3.8 Análisis Estructural**

El análisis estructural tiene por finalidad el determinar los esfuerzos internos y desplazamientos de los elementos que conforman la estructura.

El análisis estructural, según el E.030, puede ser del tipo estático o dinámico. Sin embargo, el mismo código de RNE – 2016, señala que para estructuras regulares o irregulares no mayores de 15 m. de altura, basta con usar un análisis estático. Por lo tanto, en éste estudio se empleará dicho tipo de análisis.

#### **2.1.3.8.1 Parámetros sísmicos**

- **Factor de Zona (Z):**

El territorio nacional, según las características generales de los movimientos sísmicos, se divide en 4 zonas como se muestra en la Figura 1.



**Figura 1: Zonificación Sísmica.**

*Fuente: E.030 del RNE - 2016.*

Para cada zona se tiene asignado un valor distinto, como se indica a continuación:

ZONA	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

**Tabla 8: Factores de Zona.**

*Fuente: E.030 del RNE - 2016.*

- **Parámetros de Sitio (S, T<sub>P</sub> y T<sub>L</sub>)**

Los parámetros de sitio corresponden a los valores del *Factor de Amplificación del Suelo* (S) y de dos períodos (T<sub>P</sub> y T<sub>L</sub>), que se pueden encontrar en las siguientes tablas:

	Perfil de Suelo			
Zona	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
Z <sub>4</sub>	0.80	1.00	1.05	1.10
Z <sub>3</sub>	0.80	1.00	1.15	1.20
Z <sub>2</sub>	0.80	1.00	1.20	1.40
Z <sub>1</sub>	0.80	1.00	1.60	2.00

**Tabla 9: Factor de Amplificación del Suelo.**

*Fuente: E.030 del RNE - 2016.*

	Perfil de Suelo			
Períodos	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
T <sub>P</sub>	0.3	0.4	0.6	1.0
T <sub>L</sub>	3.0	2.5	2.0	1.6

**Tabla 10: Períodos T<sub>P</sub> y T<sub>L</sub>.**

*Fuente: E.030 del RNE - 2016.*

- **Factor de Amplificación Sísmica (C):**

El E.030 lo determina a través de las siguientes expresiones:

$$\text{Si } T < T_P \quad C = 2.5$$

$$\text{Si } T_P < T < T_L \quad C = 2.5 \cdot \left(\frac{T_P}{T}\right)$$

$$\text{Si } T > T_L \quad C = 2.5 \cdot \left( \frac{T_P \cdot T_L}{T^2} \right)$$

Donde  $T$  es el período fundamental de vibración, pudiéndose calcular de la manera siguiente:

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

Donde  $h_n$  representa la altura total de la estructura y  $C_T$  tiene un valor de 60 para estructuras de albañilería confinada.

- **Factor de Uso (U):**

Las estructuras son clasificadas de acuerdo a su uso e importancia, las cuales son definidas en el E.030.

Según lo estipulado por la norma, las viviendas en estudio en la presente tesis pertenecen al tipo C (Edificaciones Comunes) las cuales tienen un Factor de Uso equivalente a 1.0.

- **Coefficiente Básico de Reducción de F. Sísmicas ( $R_0$ ):**

Dependiendo del tipo de sistema que gobierne la estructura en estudio, se asignará un valor del coeficiente básico de reducción, como se indica en el siguiente extracto:

Sistema estructural	R <sub>0</sub>
Concreto Armado:	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4
Albañilería armada o confinada	3
Madera	7

**Tabla 11: Coeficiente Básico de Reducción de Fuerzas Sísmicas.**

*Fuente: E.030 del RNE - 2016.*

Dado que las viviendas en estudio son de albañilería confinada, el valor de R<sub>0</sub> será de 3.

- **Factores de Irregularidad (I<sub>a</sub>, I<sub>p</sub>):**

El E.030 del RNE asocia un valor para cada tipo de irregularidad, tanto de planta como de altura. A este valor se le conoce como *Factor de Irregularidad*.

En el presente estudio se ha determinado que las viviendas tomadas como muestra son regulares, tomándose los siguientes valores en el análisis:

$$I_a = 1$$

$$I_p = 1$$

- **Coeficiente de Reducción de Fuerzas Sísmicas (R):**

Este coeficiente se genera a partir de la condición de irregularidad de la estructura, la cual se calcula de la siguiente manera:

$$R = R_0 \cdot I_a \cdot I_p$$

Reemplazando los valores correspondientes se obtiene:

$$R = 3 \times 1 \times 1$$

$$R = 3$$

#### 2.1.3.8.2 Estimación del Peso

Se calculará el peso total de la estructura, según el E.030, sumando a la carga muerta ( $P_D$ ) el 25% de la carga viva o sobrecarga ( $P_L$ ).

#### 2.1.3.8.3 Fuerza Cortante Basal

Según el E.030 del RNE, la fuerza cortante basal en cada eje de la estructura se determina a través de la siguiente fórmula:

$$V = \frac{ZUCS}{R} \cdot P$$

#### 2.1.3.8.4 Distribución de fuerza cortante en altura

La fuerza cortante hallada se reparte a cada entrepiso acorde a la siguiente expresión:

$$F_i = \alpha_i \cdot V$$

$$\alpha_i = \frac{P_i(h_i)^k}{\sum P_j(h_j)}$$

Si  $T \leq 0.5$  s., entonces  $k = 1.0$

#### 2.1.3.8.5 Centro de Masa

El centro de masa se calcula por entrepiso, a través de las siguientes fórmulas:

$$X_{cm} = \frac{\sum (X_{cm_i} \cdot Masa_i)}{\sum Masas}$$

$$Y_{cm} = \frac{\sum(Y_{cm_i} \cdot Masa_i)}{\sum Masas}$$

Donde:

X<sub>cm</sub>: Coordenada de las abscisas del Centro de Masa.

Y<sub>cm</sub>: Coordenada de las ordenadas del Centro de Masa.

### 2.1.3.8.6 Rigidez Lateral

La rigidez lateral que presenta la estructura, proviene de los elementos verticales resistentes a las fuerzas sísmicas horizontales, siendo en este caso los muros portantes de albañilería confinada. Para la estimación de su rigidez lateral, se deben considerar los efectos de la flexión y el corte, en ambos ejes principales, para lo cual se emplea la expresión siguiente:

$$K = \frac{E_m \cdot t}{4 \left(\frac{h}{L}\right)^3 + 3 \left(\frac{h}{L}\right)}$$

Donde:

E<sub>m</sub> : Modulo de elasticidad de la albañilería.

t : Espesor efectivo del muro (dimensión perpendicular al análisis).

h : Altura del muro = 2.60 m

L : Longitud del muro (dimensión paralela al análisis).

### 2.1.3.8.7 Centro de Rigidez

El centro de rigidez representa el punto resistente del entrepiso, la cual se determina a través de:

$$X_{cr} = \frac{\sum X_{cm}K_y}{\sum K_y}$$

$$Y_{cr} = \frac{\sum Y_{cm}K_x}{\sum K_x}$$

Donde:

Xcr: Coordenada de las abscisas del Centro de Rigidez.

Ycr: Coordenada de las ordenadas del Centro de Rigidez.

Kx: Rigidez lateral en el eje X.

Ky: Rigidez lateral en el eje Y.

#### **2.1.3.8.8 Excentricidades**

En caso de no coincidir el centro de masa con el centro de rigidez se genera una excentricidad teórica, calculada así:

$$e'x = X_{cm} - X_{cr}$$

$$e'y = Y_{cm} - Y_{cr}$$

Acorde al E.030 del RNE, se debe considerar además una excentricidad accidental del  $\pm 5\%$  de la dimensión perpendicular al eje en análisis:

$$eaccx = \pm 5\% \text{ (Dimensión Eje Y)}$$

$$eaccy = \pm 5\% \text{ (Dimensión Eje X)}$$

Finalmente se suman las excentricidades teóricas y accidentales formando así una excentricidad total:

$$ex = |e'x| \pm eaccx$$

$$ey = |e'y| \pm eaccy$$

#### **2.1.3.9 Diseño de Muros de Albañilería Confinada**

Los muros de albañilería confinada soportan fuerzas axiales, cortantes y momentos flexionantes, por lo cual su diseño debe considerar los efectos que éstos conllevan.

### 2.1.3.9.1 Diseño de Muros de Albañilería por Compresión

Primero se debe calcular las cargas axiales que actúan sobre los muros: las Cargas Muertas ( $P_D$ ) y las Cargas Vivas ( $P_L$ ), las cuales dependen del área tributaria.

Se calculan los esfuerzos actuantes de dichas cargas con la siguiente expresión:

$$f_a = \frac{P_D + P_L}{\text{Área}} = \frac{P_D + P_L}{t \cdot L}$$

Donde:

- $f_a$  : esfuerzos actuantes
- $t$  : espesor efectivo del muro
- $L$  : longitud del muro

Posteriormente, se determina el esfuerzo admisible del muro por carga axial:

$$F_a = 0.20 \cdot f'_m \left[ 1 - \left( \frac{h}{35t} \right)^2 \right]$$

Donde:

- $F_a$  : Esfuerzo axial admisible
- $f'_m$  : Resistencia a la compresión de la albañilería
- $h$  : Altura del muro

Para realizar el diseño por carga axial se realiza la comparación entre el esfuerzo actuante y el esfuerzo admisible hallados en el análisis estructural, con la cual se presentan los siguientes casos:

- Si  $f_a \leq F_a$ , entonces el espesor efectivo del muro considerado es adecuado.
- Si  $f_a > F_a$ , entonces se requiere aumentar el espesor efectivo del muro o aumentar la resistencia a la compresión de la albañilería.

### 2.1.3.9.2 Diseño de Muros de Albañilería por Corte

Para realizar el diseño por corte, se deben verificar los siguientes criterios:

#### A) Control de Fisuración

Para realizar un control de fisuración de los muros ante los efectos de un “sismo moderado” se verifica el cumplimiento de la siguiente expresión:

$$V_e \leq 0.55V_m$$

Donde:

$V_e$  : Fuerza cortante actuante por “sismo moderado”

$V_m$  : Resistencia al corte

#### B) Resistencia al Corte

La resistencia al corte de los muros de albañilería se calcula de la siguiente manera:

$$V_m = 0.5v'_m \cdot \alpha \cdot t \cdot L + 0.23P_g$$

Donde:

$V_m$  : Resistencia al corte del muro

$v'_m$  : Resistencia al corte de la albañilería = 8.1 kg/cm<sup>2</sup>

$t$  : Espesor efectivo del muro

$L$  : Longitud del muro

$P_g$  : Carga axial con sobrecarga reducida (al 25%)

$\alpha$  : Factor de reducción, calculado como:

$$\frac{1}{3} \leq \alpha = \frac{V_e \cdot L}{M_e} \leq 1$$

Entendiéndose a  $M_e$  como el momento flector actuante en el muro.

### C) Verificación de la resistencia al corte de la estructura

Para que la estructura cuente con una apropiada resistencia y rigidez, se deberá satisfacer la siguiente condición:

$$\sum V_{mi} \geq V_{Ei}$$

Tomándose en cuenta para cada dirección del entrepiso  $i$ , el valor de  $V_{mi}$  proviene de la sumatoria de resistencias al corte, y  $V_{Ei}$ , de la fuerza cortante actuante en el entrepiso  $i$ .

### D) Diseño de Elementos de Confinamiento

Los elementos de confinamiento vertical y horizontal de los muros de albañilería deben cumplir ciertas consideraciones que se establecen en la Norma E.070 del RNE, como las siguientes:

- **Área de sección ( $A_c$ ):**

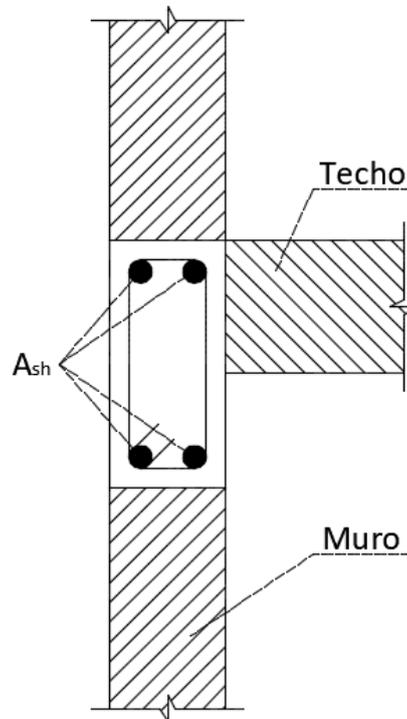
Los elementos de confinamiento deberán tener un ancho mínimo equivalente al espesor del muro bruto (para columnas de amarre) o del techo (para vigas soleras), mientras la sección se obtiene a través de la siguiente expresión:

$$A_c = \left( \frac{0.9}{\sqrt{f'c}} \right) V$$

- **Área de acero de refuerzo en vigas soleras ( $A_{sh}$ ):**

Para estimar el área del acero longitudinal de refuerzo en vigas se empleará la siguiente expresión:

$$A_{sh} = \left( \frac{1.4}{f_y} \right) V$$



**Figura 2: Área de acero de refuerzo en vigas soleras.**

*Fuente: Abanto C., F. (2014). Análisis y Diseño de Edificaciones de Albañilería.*

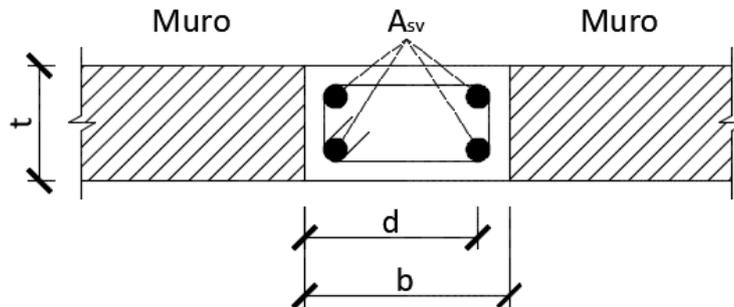
Recordar que se debe contrastar con el área de acero mínimo, calculado de la siguiente manera:

$$A_{smin} = \left( 0.1 \frac{f'c}{f_y} \right) A_c$$

- **Área de acero de refuerzo en columnas de amarre ( $A_{sv}$ ):**

El cálculo del área de acero longitudinal en las columnas de amarre se realiza, de manera análoga al ítem anterior, mediante la siguiente expresión:

$$A_{sv} = \frac{1.4V}{f_y} \left( \frac{H}{L} \right)$$



**Figura 3: Área de acero de refuerzo en columnas de amarre.**

*Fuente: Abanto C., F. (2014). Análisis y Diseño de Edificaciones de Albañilería.*

Asimismo, se debe verificar si cumple con el área mínimo que ya se indicó anteriormente.

- **Estribos:**

Todos los elementos de confinamiento deberán llevar estribos en una distancia mínima de 2.5d o 50 cm. (la que resulte mayor), en ambos extremos, espaciados a una distancia de:

$$s = \left( \frac{A_v \cdot f_y}{1.5} \right) \frac{d}{V}$$

Donde:

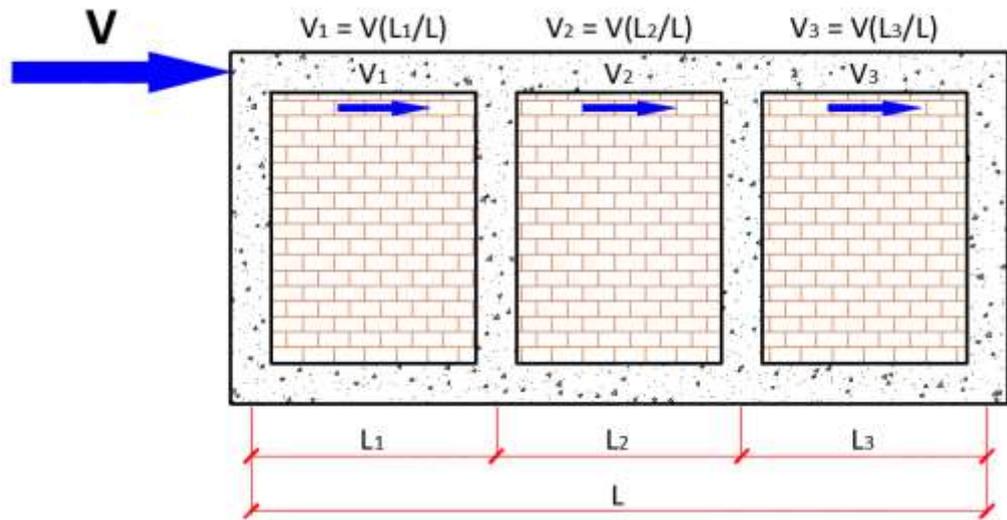
$A_v$  : Área del refuerzo de estribos (cm<sup>2</sup>)

$d$  : Peralte efectivo (cm)

- **División de un muro en varios paños:**

Se suele dividir un muro en varios paños cuando se presenta una fuerza cortante elevada, a fin de evitar grandes dimensiones de los elementos de arrioste (columnas de amarre o vigas soleras). La división se puede realizar en las intersecciones con muros ortogonales o a criterio del Ing. estructural.

Al dividir el muro en varios paños, la fuerza cortante se divide proporcionalmente a las distancias de los paños, como se indica en la siguiente figura:



**Figura 4: División de muro en varios paños.**

*Fuente: Abanto C., F. (2014). Análisis y Diseño de Edificaciones de Albañilería.*

### 2.1.3.9.3 Diseño de Muros de Albañilería por Flexión

Para analizar la flexión de los muros por sismo, se debe satisfacer la siguiente condición en todos de los pisos:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_m}{F_m} \leq 1.33$$

Donde

$f_a$  : Esfuerzo resultante por carga axial

$F_a$  : Esfuerzo admisible para carga axial

$f_m = 6M/tL^2$  = Esfuerzo resultante del momento flector

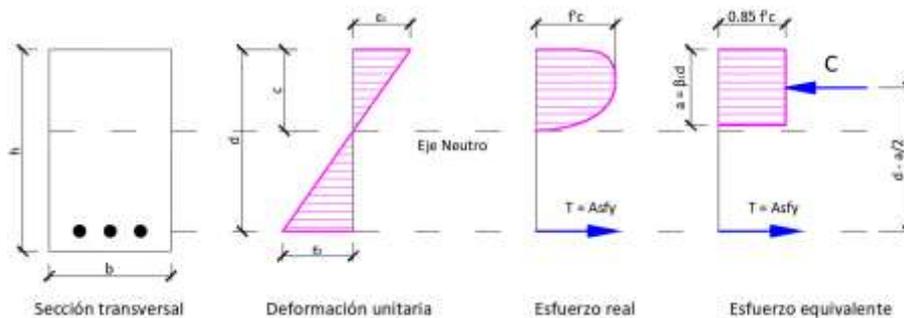
$F_m = 0.40f'_m$  = Esfuerzo admisible para compresión por flexión

### 2.1.3.10 Diseño de Vigas

En las estructuras de albañilería confinada son los muros portantes los que absorben toda la fuerza cortante producida por los efectos de un movimiento sísmico. Es por eso que en el diseño de las vigas se consideran a las cargas muertas, mas no a las cargas sísmicas.

#### 2.1.3.10.1 Diseño de Vigas por Flexión

Las expresiones que permiten el diseño de las vigas son extraídas del análisis del diagrama de esfuerzos de su sección, mostradas en la siguiente figura:



**Figura 5: Diagrama de Esfuerzos de sección de viga.**

*Fuente: Abanto C., F. (2014). Análisis y Diseño de Edificaciones de Albañilería.*

Donde:

- h : altura de la viga
- b : ancho de la viga
- d : peralte efectivo
- c : profundidad del eje neutro
- $\epsilon_c$  : deformación unitaria del concreto
- $\epsilon_s$  : deformación unitaria del acero de refuerzo
- $f_c$  : resistencia del concreto a la compresión
- $f_y$  : límite de fluencia del acero
- $A_s$  : área del acero en tracción
- a : profundidad del prisma rectangular de esfuerzos
- $\beta_1$  : factor de relación de esfuerzos equivalentes = 0.85

Al aplicar equilibrio en la sección se puede obtener la siguiente expresión:

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 f'_c \cdot b}$$

El par de fuerzas que actúan en la sección producen el momento resistente a la flexión:

$$M_u = \phi A_s f_y (d - a/2)$$

Al usar ambas expresiones juntas se podrá obtener el área de acero de refuerzo que requiere la sección mediante iteraciones de cálculo o resolviendo la ecuación de 2do grado que se genera.

$$M_u = \phi f'_c b d^2 \omega (1 - 0.59\omega)$$

Siendo  $\omega = \rho \frac{f_y}{f'_c}$  el índice de acero en la sección.

Además, es necesario conocer la cuantía del acero, la cual representa la relación que existe entre el área de refuerzo calculado y la sección efectiva:

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d}$$

De acuerdo al E.060 del RNE - 2016, la cuantía debe ser verificada con los valores mínimos y máximos que se establece:

- Cuantía máxima:

$$\rho_{max} = 0.75\rho_b$$

Donde  $\rho_b$  representa la cuantía balanceada y toma un valor de 0.02125 para concretos con resistencias a la compresión menores de 280 kg/cm<sup>2</sup>.

- Cuantía mínima:  
Se toma el mayor valor de:

$$\rho_{min} = 0.8 \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y} \quad \rho_{min} = \frac{14}{f_y}$$

### 2.1.3.10.2 Diseño de Vigas por Corte

En este apartado se debe cumplir la siguiente expresión:

$$\phi V_n \geq V_u$$

Donde  $V_n$  representa la resistencia nominal al cortante,  $V_u$  es la fuerza cortante actuante en la sección, y  $\phi$  toma el valor de 0.85 por ser un diseño por corte.

La resistencia nominal al cortante ( $V_n$ ) resulta ser la suma de resistencias nominales al cortante del concreto ( $V_c$ ) y del acero de refuerzo de cortante ( $V_s$ ):

$$V_n = V_c + V_s$$

Para calcular el valor de la resistencia nominal proporcionada por el concreto, se hará de la siguiente manera:

$$V_c = 0.53 \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d$$

Donde  $f'_c$  es la resistencia a compresión del concreto,  $b_w$  es el ancho y  $d$  es el peralte efectivo de la viga.

Asimismo, la resistencia nominal al cortante del acero de refuerzo se calcula como:

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s}$$

Donde  $A_v$  es el área de refuerzo de cortante dentro de un espaciamiento  $s$ ,  $f_y$  es la resistencia a la fluencia del refuerzo transversal. Cabe señalar que  $s$  no deberá exceder de  $d/2$  ni de 60 cm.

Además, será necesario contar con un área de refuerzo mínimo según la siguiente expresión:

$$A_{vmin} = 3.5 \frac{b_w \cdot s}{f_y}$$

## **CAPÍTULO III**

### **MÉTODO**

#### **3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Esta tesis, según Campbell y Stanley (1966), es una investigación del tipo cuantitativo pre-experimental con diseño de pre-prueba y post-prueba, ya que se manipula intencionalmente una variable independiente (diseño sismo resistente) para analizar la consecuencia que la manipulación tiene sobre una variable dependiente (vulnerabilidad estructural), dentro de una situación de control (Fleiss, 2013; O'Brien, 2009 y Green, 2003).

Dicho análisis será evaluado previo al estímulo (pre-prueba), y luego de éste (post-prueba), con el objetivo de contar con una referencia inicial de comparación.

#### **3.2 ÁMBITO TEMPORAL Y ESPACIAL**

La información recolectada ha sido tomada del AA.HH. El Progreso del distrito de Carabayllo en un tiempo único, por lo que se categoriza a la presente investigación, según Liu (2008) y Tucker (2004), como investigación transeccional o transversal.

#### **3.3 VARIABLES**

**3.3.1 VARIABLE INDEPENDIENTE:** Diseño sismo resistente

**3.3.2 VARIABLE DEPENDIENTE:** Vulnerabilidad estructural

### 3.3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	ITEMS
<p>Diseño sismo resistente</p> <p><b>(Variable Independiente)</b></p>	<p>Es el planteamiento de la ubicación y dimensionamiento de los elementos estructurales que dotan de sismo resistencia a la estructura.</p>	<p>Será medido a través de una pequeña encuesta a los propietarios, y de la inspección visual directa a la vivienda.</p>	<p>Nivel de intervención</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ausente</li> <li>- Presente</li> </ul>
<p>Vulnerabilidad estructural</p> <p><b>(Variable Dependiente)</b></p>	<p>Es el nivel de daño estructural que puede sufrir una estructura ante movimientos sísmicos.</p>	<p>Será medida a través del cálculo de la deriva máxima de entrepiso.</p>	<p>Nivel de daño</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ligero</li> <li>- Moderado</li> <li>- Severo</li> <li>- Colapso</li> </ul>

**Tabla 12: Operacionalización de las variables en estudio.**

*Fuente: Autor de tesis (2018).*

Según Fidias (2012), no todas las variables se pueden descomponer en más de un elemento (dimensión), debido principalmente por la naturaleza de la variable que se le da en la investigación.

Además según Sampieri (2014), existen variables que resultan ser sencillas (pudiendo tener un solo ítem) y otras que son compuestas o complejas (varias dimensiones, indicadores e ítems).

Es por ello que al realizar la operacionalización de variables se han tomado como indicadores a las categorías que permitan medir directamente a las variables en estudio, sin tener que subdividir las variables en dimensiones, puesto que las variables en esta investigación son simples o sencillas.

### **3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA**

Se ha considerado como población a las 1105 viviendas (según los reportes del INEI) del AA. HH. El Progreso del distrito de Carabayllo. De estas viviendas, se debe tomar una muestra representativa con la finalidad de ser objeto de estudio.

Para la estimación de la cantidad de elementos que conformará la muestra, existen dos tipos de muestreo que nos determinará que parte de la población debe ser investigada:

- **MUESTREO PROBABILÍSTICO**

Según López (2010), el muestreo probabilístico se basa en el principio de la equiprobabilidad. Es decir, todos y cada uno de los elementos de una población tienen la misma probabilidad (no nula) de ser seleccionados como muestra pudiéndose tomar de manera aleatoria, asegurando la representatividad de dicha población; por tanto, se considera como el más recomendable.

La estimación del tamaño de la muestra (n) será gracias a una expresión extraída del libro de César Pérez: *Muestreo Estadístico: conceptos y problemas resueltos*:

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot P \cdot Q}{\varepsilon^2(N - 1) + Z^2 \cdot P \cdot Q}$$

Donde:

N : Tamaño de la población

Z : Margen de confiabilidad (ver Tabla 13)

P : Probabilidad de que ocurra el evento

Q : Probabilidad de que no ocurra el evento ( $Q = 1 - P$ )

$\epsilon$  : Error de estimación

<b>Z</b>	1.15	1.28	1.44	1.65	1.96	2.00	2.58
<b>Margen de Confiabilidad</b>	75%	80%	85%	90%	95%	95.5%	99%

**Tabla 13: Valor del Margen de Confiabilidad.**

*Fuente: César, P. (2010). Muestreo Estadístico: conceptos y problemas resueltos.*

#### • MUESTREO NO PROBABILISTICO

Según Cueva (2009), el muestreo no probabilístico recoge como muestra a los elementos de una determinada población, que a diferencia del muestreo probabilístico, no brinda las mismas oportunidades de ser seleccionadas. Por tanto, la muestra es seleccionada frecuentemente en función del criterio personal e intencional del investigador o de su accesibilidad, haciendo que la cantidad de la muestra sea para fines exploratorios.

Luego de ser presentada una breve explicación de los tipos de muestreo, se ha considerado para la presente investigación el empleo del muestreo probabilístico, por ser de naturaleza cuantitativa y porque considera la equiprobabilidad de los elementos. A continuación, se procede a calcular la muestra que corresponde a la población seleccionada con los siguientes datos:

N = 1105	Representa la cantidad de viviendas ubicados en el AA.HH. El Progreso del distrito de Carabayllo.
Z = 1.44	El margen de confiabilidad se ha considerado como un 85%.
P = 0.90	Se considera que el 90% de las viviendas no cuentan con un diseño sismo resistente.

- Q = 0.10      Este valor se obtiene de 1-P, representando el porcentaje de viviendas que cuentan con un diseño sismo resistente.
- $\varepsilon = 0.20$       Representa al error de estimación esperado.

$$n = \frac{1105 \cdot 1.44^2 \cdot 0.90 \cdot 0.10}{0.20^2(1105 - 1) + 1.44^2 \cdot 0.90 \cdot 0.10}$$

$$n = 4.65$$

Por lo tanto, para realizar la investigación se considera una muestra de 5 viviendas del AA.HH. El Progreso del distrito de Carabayllo.

### 3.4.1 CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA

Para la realización de éste estudio, se tendrá que intervenir a las viviendas que cuenten con un sistema estructural de albañilería confinada, carentes de un diseño sismo resistente en su estructuración, las cuales son características que se presentan muy a menudo en el AA.HH. El Progreso del distrito de Carabayllo.

Cabe señalar que, las viviendas del lugar de estudio se caracterizan por tener dos pisos en su mayoría, como se puede apreciar en el siguiente cuadro:

N° de pisos	Cantidad	Porcentaje
1	192	17%
2	824	75%
3	89	8%
Total	1105	100%

**Tabla 14: Cuantificación de viviendas por número de pisos.**

*Fuente: Autor de tesis (2018).*

Por lo tanto, se toma como criterio de selección a 05 viviendas que, además de estar construidos sin diseño sismo resistente (construcción informal), tienen dos pisos de altura, lo cual representa la mayoría de las viviendas del lugar de estudio.

### **3.5 INSTRUMENTOS**

Para la realización de éste estudio, se plantea usar como instrumentos de investigación unas fichas técnicas que registrarán los datos necesarios para su procesamiento y análisis: fichas de campo y fichas de reporte.

#### **3.5.1 FICHA DE CAMPO**

La ficha de campo será el documento formal que registre información general de las viviendas, obtenidas a partir de las visitas realizadas.

La información que contiene estas fichas abarca a los detalles estructurales (carencia de elementos estructurales, errores constructivos, estado de los materiales, etc.) que impacten de forma significativa en la resistencia sísmica de la vivienda, además de presentar un bosquejo del levantamiento arquitectónico de la vivienda.

En el capítulo IX Anexos se adjunta las fichas de campo de las viviendas en estudio.

#### **3.5.2 FICHA DE REPORTE**

La ficha de reporte mostrará principalmente dos cosas: los resultados numéricos de los niveles de vulnerabilidad estructural y el análisis estructural de la vivienda. Para ambos puntos se considerará la estructuración inicial y final (estructura reforzada).

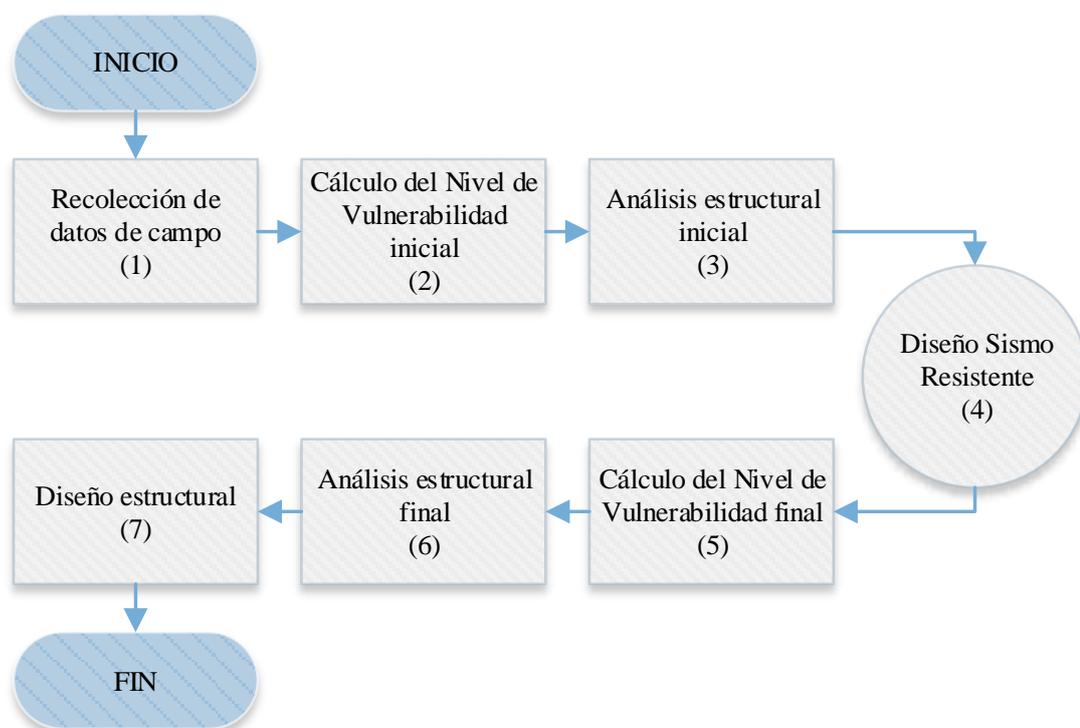
En el capítulo IX Anexos se adjunta las fichas de reporte de las viviendas en estudio.

### **3.6 PROCEDIMIENTOS**

#### **3.6.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO**

Para iniciar con la investigación, se tomó como punto de partida recopilar vasta información concerniente a la vulnerabilidad estructural y el diseño sismo resistente de estructuras bajo el sistema de albañilería confinada de distintos autores, nacionales e internacionales, y así cubrir diferentes perspectivas que puedan extender el horizonte del marco teórico, que ayude a dar una mejor orientación sobre el tema en estudio. Dicha información se extrae de distintos libros, documentos, revistas, páginas web,

investigaciones que tratan del tema seleccionado, las cuales son detalladas en la sección de Referencias, presentadas casi al final de éste estudio.



**Gráfico 4: Esquema general del procedimiento.**

*Fuente: Autor de tesis (2018).*

Posterior a la recolección de información existente, se hizo necesaria la recolección de datos de campo de la muestra seleccionada utilizando las fichas de campo, con el objetivo de procesarla y obtener un valor del nivel de vulnerabilidad inicial que servirá de referencia comparativa.

Se realizará un análisis y diseño sismo resistente a las viviendas que presenten un alto nivel de vulnerabilidad, con la intención de disminuirla, por lo que será necesario realizar nuevamente el cálculo del nivel de vulnerabilidad final, la cual será comparada con el nivel inicial, permitiendo validar o no la hipótesis planteada en el presente estudio. Toda esta información será volcada a las fichas de reporte para esquematizar de mejor manera la información resultante del análisis.

### 3.6.2 DESARROLLO DEL PROCEDIMIENTO

El procedimiento descrito anteriormente se debe realizar para cada una de las 5 viviendas pertenecientes a la muestra del presente estudio. Sin embargo, solo se expondrá el desarrollo de una vivienda, ya que se repite el mismo procedimiento para todas las demás viviendas. Asimismo, los resultados de todas y cada una de las viviendas se mostrarán en las fichas correspondientes en el Capítulo IX Anexos.

#### (1) RECOLECCIÓN DE DATOS DE CAMPO:

Se realiza la visita a la vivienda N° 01 (propietario Zenovio Rodriguez Soto) el día sábado 30/03/18, con dirección Mz. 5J Lote 18 AA.HH. El Progreso, Carabayllo.



**Figura 6: Fotografía de la fachada de la vivienda en análisis.**

*Fuente: Autor de tesis (2018).*

Según el propietario, la vivienda fue construida sin asesoría técnica ni supervisión debido principalmente al factor económico y a la falta de información. Durante la visita se determinó que la vivienda de dos pisos está distribuida de la siguiente manera:

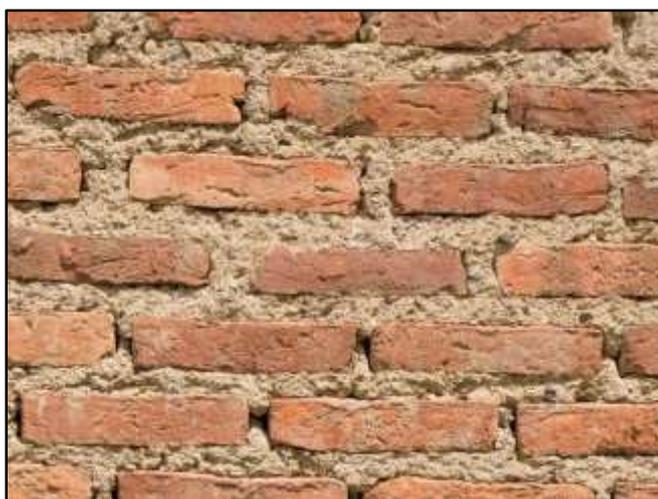
- 1er piso: sala comedor, cocina, tienda, depósito, baño, patio, lavandería y 02 dormitorios.
- 2do piso: sala comedor, cocina, almacén, baño, lavandería y 02 dormitorios.

Además, se identificó por simple inspección visual que el terreno donde descansa la estructura es un Suelo Intermedio – S2 (según el RNE - 2016).

Durante el recorrido por el interior de la vivienda se identificó que los muros de albañilería confinada son los elementos resistentes predominantes de la estructura, constituidos por ladrillos de arcilla KK sólidas artesanales de dimensiones 24 x 13 x 9 cm, asentados a través de juntas de mortero de 1.5 cm de espesor. Estos son confinados a través de columnetas de 13 x 20 cm. y vigas de amarre de 13 x 25 cm. El techo es de losa aligerada con un espesor de 20 cm. (15 cm. de ladrillo y 5 cm. de losa de concreto). Las columnas estructurales son de 25 x 25 cm y las vigas son de 25 x 25 cm.

Paralelamente se va realizando el levantamiento de la estructura a través de un bosquejo de la planta de distribución que posteriormente será trasladado al AutoCAD a mano alzada. Asimismo, se preparará un panel fotográfico que ilustre los aspectos más resaltantes de la vivienda con un breve comentario.

Durante la visita de campo se pudo determinar las siguientes características de los materiales iniciales:



**Figura 7: Muro de ladrillos KK artesanal, de  $f'm = 35 \text{ Kg/cm}^2$ .**

*Fuente: Autor de tesis (2018).*

Resistencia característica a la compresión axial

$$f'_m = 35 \text{ Kg/cm}^2$$

Resistencia característica al corte

$$v'_m = 5.1 \text{ Kg/cm}^2$$



**Figura 8: Elementos de concreto armado, de  $f'_c = 175 \text{ Kg/cm}^2$ .**

*Fuente: Autor de tesis (2018).*

Resistencia a la compresión

$$f'_c = 175 \text{ Kg/cm}^2$$

Toda esta información será volcada a la ficha de campo que corresponde a la vivienda en estudio (Ver Anexo IV).

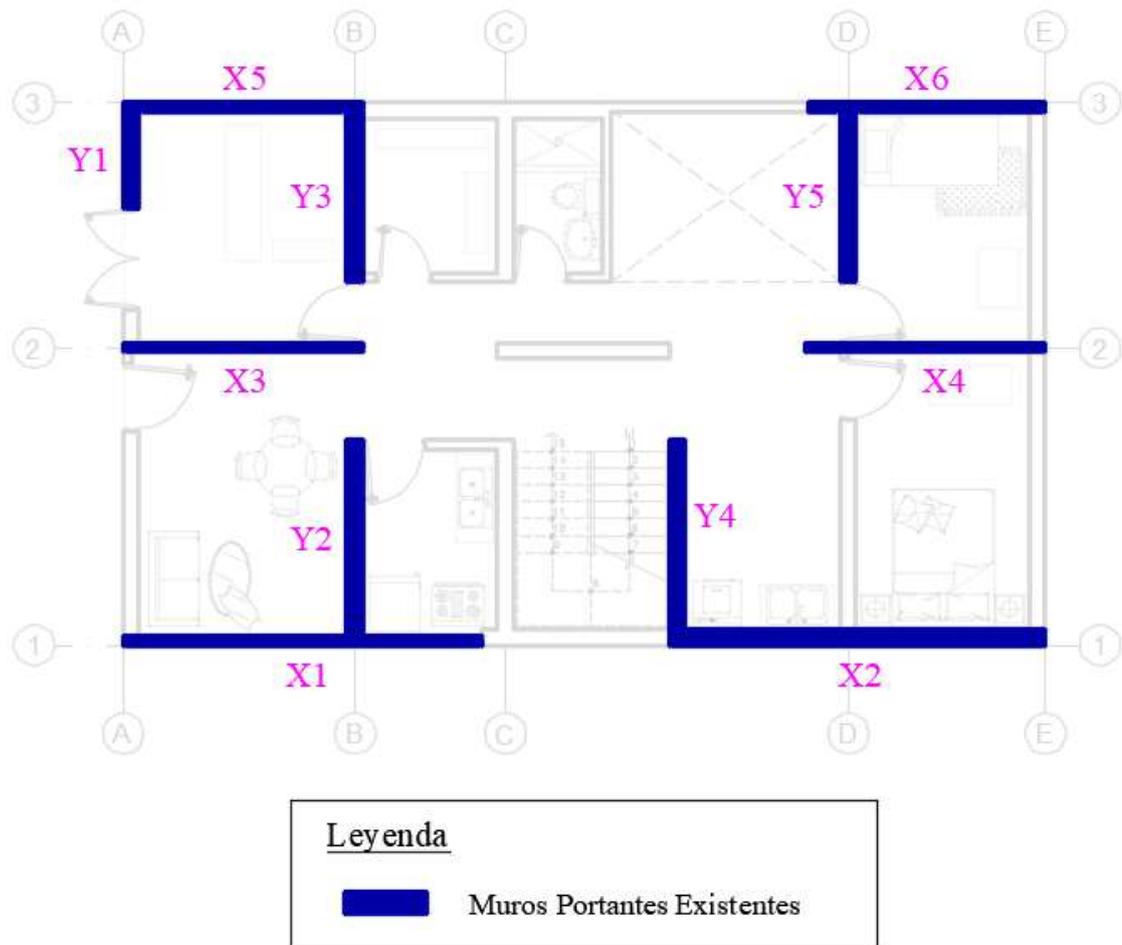
## **(2) CÁLCULO DE LA VULNERABILIDAD INICIAL:**

Para calcular el nivel de vulnerabilidad inicial de las viviendas se deben seguir los siguientes pasos:

- Conocer las características de los materiales iniciales.
- Estructurar y modelar las viviendas con la distribución levantada.
- Realizar un análisis (estático o dinámico) recomendado por el RNE y estimar la deriva o distorsión de entrepiso.

- Clasificar el nivel de vulnerabilidad según el daño estructural que se indica en la Tabla 2 correspondiente a la metodología seleccionada.

La estructuración inicial de la vivienda se ha obtenido del levantamiento de datos de campo, la cual se muestra a continuación:



**Figura 9: Distribución inicial de muros.**

*Fuente: Autor de tesis (2018).*

### Densidad de Muros

Para calcular la densidad de muros de la estructura inicial, se debe realizar por cada dirección con la siguiente expresión:

$$\frac{\text{Área de muros}}{\text{Área de planta}} = \frac{\sum Lt}{Ap} \geq \frac{ZUSN}{56}$$

Donde:

L: Longitud total de muros

t: Espesor efectivo del muro

Ap: Área de la planta =  $8 \times 13.50 = 108 \text{ m}^2$

Z: Factor de zona = 0.45

U: Factor de uso = 1.00

S: Factor de suelo = 1.05

N: Número de pisos de la estructura = 02

Eje X-X:

$$L = 0.13x(5.25 + 3.51 + 3.51 + 3.51 + 3.47) + 0.23x(5.51)$$

$$L = 3.7698 \text{ ml}$$

$$\frac{3.7698}{108} \geq \frac{0.45 \times 1.00 \times 1.05 \times 2}{56}$$

$$0.034906 \geq 0.016875 \quad \dots \text{ Ok, cumple}$$

Eje Y-Y:

$$L = 0.23x(1.42 + 2.89 + 2.52 + 2.79 + 2.52)$$

$$L = 2.7922 \text{ ml}$$

$$\frac{2.7922}{108} \geq \frac{0.45 \times 1.00 \times 1.05 \times 2}{56}$$

$$0.025854 \geq 0.016875 \quad \dots \text{ Ok, cumple}$$

### **Peso de la Estructura**

El cálculo del peso de la estructura se desarrolla de la siguiente manera:

#### **a) Peso de Muros Portantes (Pmp):**

Para la estimación del peso de los muros portantes, se considera lo siguiente:

- Peso de la albañilería: 1.8 Tn/m<sup>3</sup>
- Longitud de muros portantes en la dirección “X”:  
Para t = 0.13 m: 19.25 m  
Para t = 0.23 m: 5.51 m
- Longitud de muros portantes en la dirección “Y”:  
Para t = 0.23 m: 12.14 m
- Altura del muro: 2.60 m

Para el piso 1:

$$Pmp = (19.25 \times 0.13 + 5.51 \times 0.23 + 12.14 \times 0.23) \times 2.60 \times 1.80$$

$$Pmp = 30.71 \text{ Tn}$$

Para el piso 2:

$$Pmp = (19.25 \times 0.13 + 5.51 \times 0.23 + 12.14 \times 0.23) \times 2.60 \times 1.80$$

$$Pmp = 30.71 \text{ Tn}$$

**b) Peso de Muros No Portantes (Pmnp):**

De forma análoga al cálculo anterior, se procede a estimar el peso de los muros no portantes.

- Longitud de muros no portantes:  
Para t = 0.13 m: 8.32 m.  
Para t = 0.23 m: 28.22 m.

Para el piso 1:

$$Pmnp = (8.32 \times 0.13 + 28.22 \times 0.23) \times 2.60 \times 1.80$$

$$Pmnp = 35.44 \text{ Tn}$$

Para el piso 2:

$$Pmnp = (8.32 \times 0.13 + 28.22 \times 0.23) \times 2.60 \times 1.80$$

$$Pmnp = 35.44 \text{ Tn}$$

**c) Peso de Losa Aligerada (Pla):**

- Área techada:  $93.54 \text{ m}^2$
- Peso de aligerado:  $300 \text{ Kg/m}^2$

Para el piso 1:

$$Pla = 300 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \times 93.54 \text{ m}^2 = 0.30 \frac{\text{Tn}}{\text{m}^2} \times 93.54 \text{ m}^2$$

$$Pla = 28.06 \text{ Tn}$$

Para el piso 2:

$$Pla = 300 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \times 93.54 \text{ m}^2 = 0.30 \frac{\text{Tn}}{\text{m}^2} \times 93.54 \text{ m}^2$$

$$Pla = 28.06 \text{ Tn}$$

**d) Peso de Tabiquería (Ptab):**

- Área techada:  $93.54 \text{ m}^2$
- Peso de tabiquería:  $100 \text{ Kg/m}^2$

Para el piso 1:

$$Ptab = 100 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \times 93.54 \text{ m}^2 = 0.10 \frac{\text{Tn}}{\text{m}^2} \times 93.54 \text{ m}^2$$

$$Ptab = 9.35 \text{ Tn}$$

Para el piso 2:

$$Ptab = 100 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \times 93.54 \text{ m}^2 = 0.10 \frac{\text{Tn}}{\text{m}^2} \times 93.54 \text{ m}^2$$

$$Ptab = 9.35 \text{ Tn}$$

**e) Peso de Acabados (Pac):**

Área techada: 93.54 m<sup>2</sup>

Peso de acabado: 100 Kg/m<sup>2</sup>

Para el piso 1:

$$Pac = 100 \frac{Kg}{m^2} \times 93.54 m^2 = 0.10 \frac{Tn}{m^2} \times 93.54 m^2$$

$$Pac = 9.35 Tn$$

Para el piso 2:

$$Ptab = 50 \frac{Kg}{m^2} \times 93.54 m^2 = 0.05 \frac{Tn}{m^2} \times 93.54 m^2$$

$$Ptab = 4.68 Tn$$

**f) Carga Muerta (PD):**

La Carga Muerta total se calcula sumando todas las cargas muertas encontradas: de los muros portantes, los muros no portantes, de las losas aligeradas, de los acabados y las tabiquerías existentes.

Para el piso 1:

$$PD = 30.71 + 35.44 + 28.06 + 9.35 + 9.35$$

$$PD = 112.91 Tn$$

Para el piso 2:

$$PD = 30.71 + 35.44 + 28.06 + 9.35 + 4.68$$

$$PD = 108.24 Tn$$

**g) Carga Viva (PL):**

Con el objetivo de estimar la Fuerza Cortante Basal, se sigue la recomendación del E.030 del RNE – 2016, la cual considera sólo el 25% de la Carga Viva para el cálculo del peso de la estructura.

Sobrecarga 1° nivel: 200 Kg/m<sup>2</sup>

Sobrecarga 2° nivel: 100 Kg/m<sup>2</sup>

Para el piso 1:

$$P_{tab} = 25\% \times 200 \frac{Kg}{m^2} \times 93.54 m^2 = 0.05 \frac{Tn}{m^2} \times 93.54 m^2$$

$$P_{tab} = 4.68 Tn$$

Para el piso 2:

$$P_{tab} = 25\% \times 100 \frac{Kg}{m^2} \times 93.54 m^2 = 0.025 \frac{Tn}{m^2} \times 93.54 m^2$$

$$P_{tab} = 2.34 Tn$$

A continuación se presenta un cuadro con los pesos calculados de la estructura:

Nivel	PD (Tn)	25% PL (Tn)	PTotal (Tn)
1	112.91	4.68	117.59
2	108.24	2.34	110.58
Total	221.15	7.02	228.17

**Tabla 15: Peso de la estructura.**

*Fuente: Autor de tesis (2019).*

Por lo tanto, el peso total de la estructura a considerar para la obtención de la cortante basal, es de 228.17 Tn.

### **Cortante Basal**

Al contar con una estructura de altura menor de 15 m., el E.030 permite emplear el Análisis Estático o de Fuerzas Equivalentes. Este análisis simula el comportamiento del sismo mediante una fuerza horizontal ubicado en la base. La siguiente expresión permite el cálculo de dicha fuerza cortante basal o también llamada fuerza horizontal sísmica:

$$V = \frac{ZUCS}{R} P$$

Donde:

$$Z = 0.45$$

$$U = 1.00$$

$$S = 1.05$$

$$R = 3 \text{ (sismo severo)}$$

Para estimar el valor de C, se debe determinar previamente los períodos  $T_p$ ,  $T_L$  y T. Según el E.030, para un perfil de suelo S2, corresponde un  $T_p = 0.6$  s y  $T_L = 2.0$  s. El valor de T se calcula a través del cociente de la altura del edificio y el valor de 60 (valor que establece el E.030 para edificios de albañilería):

$$V = \frac{h_t}{C_t} = \frac{\text{altura del edificio}}{60} = \frac{5.60}{60} = 0.093 \text{ s.}$$

Como  $T < T_p$ , entonces  $C = 2.50$ .

Por lo tanto:

$$V = \frac{0.45 \times 1.00 \times 2.50 \times 1.05}{3} \times 228.17$$

$$V = 89.84 \text{ Tn}$$

### **Distribución de Fuerzas Sísmicas en Altura**

El efecto que ocasiona la fuerza cortante basal se representa mediante fuerzas sísmicas horizontales al nivel de los entresijos. El cálculo de dichas fuerzas se realiza a través de la siguiente manera:

$$F_i = \alpha_i \cdot V$$

$$\alpha_i = \frac{P_i(h_i)^k}{\sum P_j(h_j)}$$

Si  $T \leq 0.5$  s., entonces  $k = 1.0$

Por lo tanto, se procede a realizar los cálculos en el siguiente cuadro:

Nivel	Peso (Tn)	h <sub>i</sub> (m)	P <sub>i</sub> h <sub>i</sub>	α <sub>i</sub>	F <sub>i</sub> (Tn)	V <sub>i</sub> (Tn)
Piso 2	117.59	5.20	611.47	0.68	61.11	61.11
Piso 1	110.58	2.60	287.51	0.32	28.73	89.84
			898.98		89.84	

**Tabla 16: Distribución de Fuerzas Sísmicas en altura.**

*Fuente: Autor de tesis (2019).*

### Rigidez Lateral

La rigidez lateral que presenta la estructura se estima con la siguiente expresión indicada en el capítulo anterior:

$$K = \frac{E_m \cdot t}{4 \left(\frac{h}{L}\right)^3 + 3 \left(\frac{h}{L}\right)}$$

Donde:

$E_m$  : Modulo de elasticidad de la albañilería.

$t$  : Espesor efectivo del muro (dimensión perpendicular al análisis).

$h$  : Altura del muro = 2.60 m

$L$  : Longitud del muro (dimensión paralela al análisis).

A continuación, se presentan los valores calculados de las rigideces por eje en los siguientes cuadros:

Muros	Y (m)	t (m)	L (m)	K <sub>x</sub> (Tn/cm)	YK <sub>x</sub>	K <sub>x</sub> /ΣK <sub>x</sub>
X1	0.07	0.13	5.25	115.39	7.50	0.2012
X2	0.12	0.23	5.51	219.24	25.21	0.3823
X3	4.39	0.13	3.51	59.12	259.25	0.1031
X4	4.39	0.13	3.51	59.12	259.25	0.1031
X5	7.94	0.13	3.51	59.12	469.13	0.1031
X6	7.94	0.13	3.47	57.88	459.29	0.1009
Y1	7.16	1.42	0.23	0.43	3.06	0.0007
Y2	1.58	2.89	0.23	0.87	1.37	0.0015
Y3	6.61	2.52	0.23	0.76	5.02	0.0013
Y4	1.63	2.79	0.23	0.84	1.37	0.0015
Y5	6.61	2.52	0.23	0.76	5.02	0.0013
				573.53	1,495.46	

**Tabla 17: Rigidez lateral en el Eje X. Estructuración inicial.**

*Fuente: Autor de tesis (2019).*

La rigidez calculada en el eje X es 573.73 Tn/cm, pero se descontará un 25% debido a las fallas constructivas que se ha detectado durante la visita, por lo que resulta una rigidez  $K_x = 430.15$  Tn/cm.

Muros	X (m)	t (m)	L (m)	Ky (Tn/cm)	XKy	Ky/ΣKy
X1	2.63	5.25	0.13	0.29	0.75	0.0011
X2	10.75	5.51	0.23	1.66	17.83	0.0063
X3	1.76	3.51	0.13	0.19	0.34	0.0007
X4	11.75	3.51	0.13	0.19	2.25	0.0007
X5	1.76	3.51	0.13	0.19	0.34	0.0007
X6	11.77	3.47	0.13	0.19	2.23	0.0007
Y1	0.12	0.23	1.42	13.40	1.54	0.0511
Y2	3.40	0.23	2.89	71.73	243.51	0.2737
Y3	3.40	0.23	2.52	53.75	182.48	0.2051
Y4	8.11	0.23	2.79	66.72	540.75	0.2546
Y5	10.62	0.23	2.52	53.75	570.55	0.2051
				262.05	1,562.56	

**Tabla 18: Rigidez lateral en el Eje Y. Estructuración inicial.**

*Fuente: Autor de tesis (2019).*

De forma análoga al anterior se estima la rigidez del eje Y, obteniéndose  $K_y = 196.54 \text{ Tn/cm}$

### Cálculo de Derivas

Para calcular las derivas, primero se debe hallar los desplazamientos laterales inelásticos, que son calculados según el E.030 de la siguiente manera:

$$\delta = 0.75R \frac{V}{K}$$

Eje X-X:

$$\delta x = 0.75 \times 3 \times \frac{89.84}{430.15} = 0.470 \text{ cm}$$

Eje Y-Y:

$$\delta y = 0.75 \times 3 \times \frac{89.84}{196.54} = 1.029 \text{ cm}$$

Las derivas se obtienen dividiendo estos desplazamientos entre la altura de entepiso:

$$\text{Deriva X} = 0.470 / 260 = 0.00181$$

$$\text{Deriva Y} = 1.029 / 260 = 0.00396$$

Ahora bien, las derivas se deben contrastar con los valores de la Tabla 2, permitiéndonos determinar la vulnerabilidad estructural por eje:

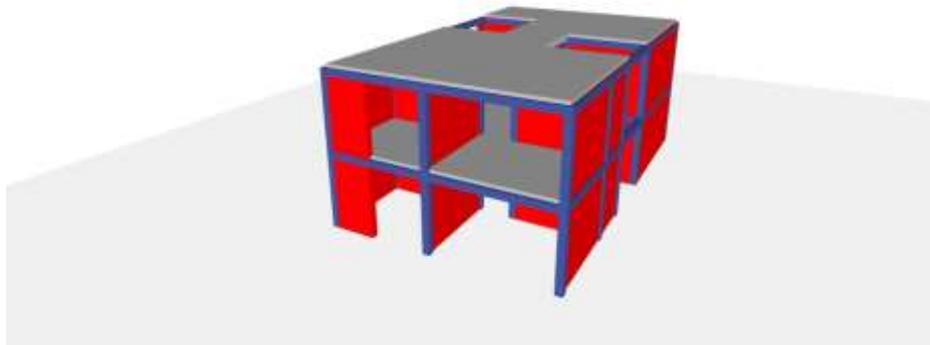
**Eje X: Moderado**

**Eje Y: Severo**

### **(3) ANÁLISIS ESTRUCTURAL INICIAL:**

#### **Fuerzas y Momentos en Muros**

Para iniciar con el análisis y diseño estructural se emplea todos los datos obtenidos hasta el momento, y se procede a realizar su modelación en el software Etabs v13.1, lo cual permite obtener las fuerzas cortantes y momentos internos en los muros, mismos que son mostrados a continuación:



**Figura 10: Modelo de la estructura inicial en Etabs.**

*Fuente: Autor de tesis (2019).*

Muros	Eje X-X		Eje Y-Y	
	Ve (Tn)	Me (Tn-m)	Ve (Tn)	Me (Tn-m)
X1	18.08	78.96	0.10	0.43
X2	34.34	150.03	0.57	2.48
X3	9.26	40.46	0.07	0.29
X4	9.26	40.46	0.07	0.29
X5	9.26	40.46	0.07	0.29
X6	9.07	39.61	0.06	0.28
Y1	0.07	0.29	4.59	20.06
Y2	0.14	0.60	24.59	107.42
Y3	0.12	0.52	18.43	80.50
Y4	0.13	0.57	22.87	99.92
Y5	0.12	0.52	18.43	80.50

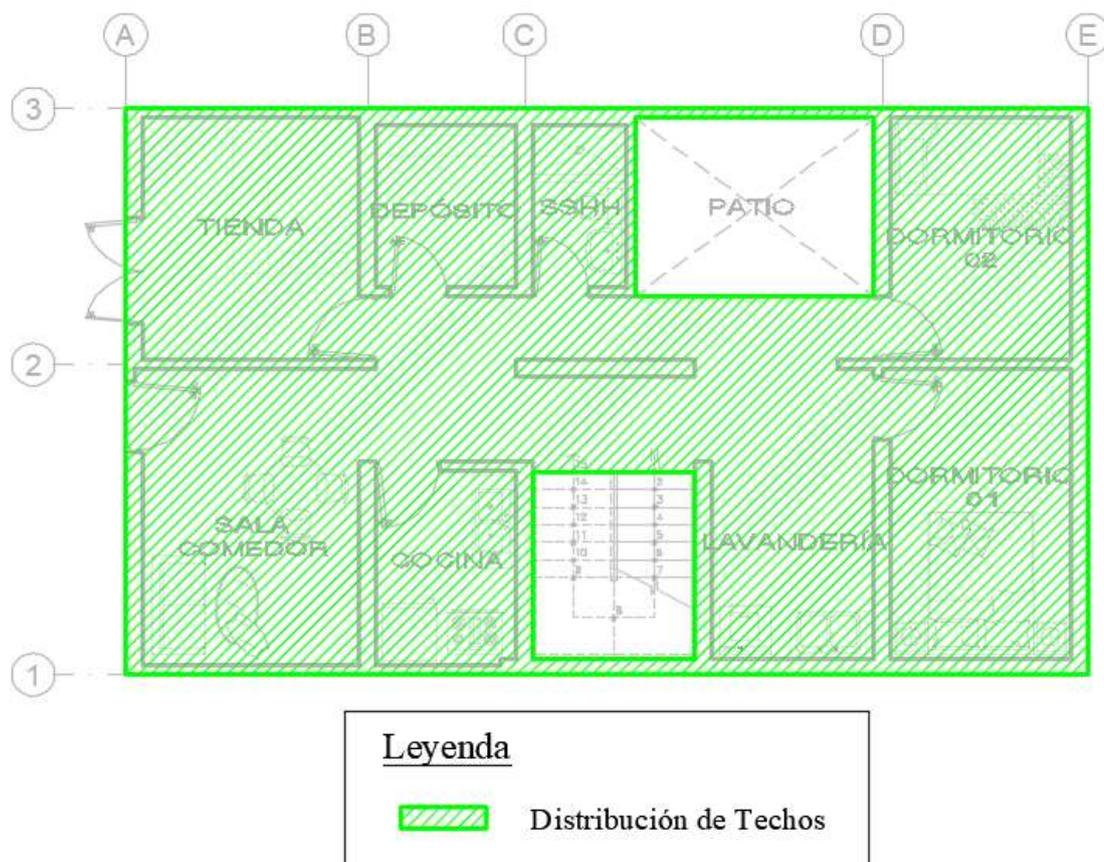
**Tabla 19: Fuerzas y Momentos en muros. Estructuración inicial.**

*Fuente: Autor de tesis (2019).*

### Centro de Masa y de Rigidez

El centro de masa es el punto donde actúan las fuerzas sísmicas horizontales, mientras que el centro de rigidez es el punto de resistencia de los elementos verticales ante las fuerzas que se apliquen. Es decir, si ambos puntos coinciden, el movimiento que experimentará la estructura ante fuerzas horizontales será solo de traslación. Sin embargo, generalmente ocurre que los centros no coinciden, por lo que se genera un brazo de acción que produce un momento torsional en la estructura, lo que conlleva finalmente a aumentar las fuerzas cortantes en los elementos verticales.

A continuación, se calculará el centro de masa de los entrepisos:



**Figura 11: Distribución de techos de la vivienda.**

*Fuente: Autor de tesis (2019).*

**Techo total:**

$\text{Área} = 13.50 \times 8.00 = 108 \text{ m}^2$

$X_{cm} = 13.50 / 2 = 6.75 \text{ m}$

$Y_{cm} = 8.00 / 2 = 4.00 \text{ m}$

$\text{Masa} = \text{Área} \times \text{espesor} \times \text{Peso unitario}$

$\text{Masa} = 108 \text{ m}^2 \times 0.20 \text{ m} \times 0.3 \text{ Tn/m}^2$

$\text{Masa} = 6.48 \text{ Tn}$

**Escaleras:**

$\text{Área} = 2.28 \times 2.64 = 6.02 \text{ m}^2$

$X_{cm} = 5.71 + 2.28 / 2 = 6.85 \text{ m}$

$Y_{cm} = 0.23 + 2.64 / 2 = 1.55 \text{ m}$

$$\begin{aligned} \text{Masa} &= \text{Área} \times \text{espesor} \times \text{Peso unitario} \\ \text{Masa} &= 6.02 \text{ m}^2 \times 0.20 \text{ m} \times 0.3 \text{ Tn/m}^2 \\ \text{Masa} &= 0.36 \text{ Tn} \end{aligned}$$

**Patio:**

$$\begin{aligned} \text{Área} &= 3.35 \times 2.52 = 8.44 \text{ m}^2 \\ X_{cm} &= 7.15 + 3.35 / 2 = 8.83 \text{ m} \\ Y_{cm} &= 5.35 + 2.52 / 2 = 6.61 \text{ m} \\ \text{Masa} &= \text{Área} \times \text{espesor} \times \text{Peso unitario} \\ \text{Masa} &= 8.44 \text{ m}^2 \times 0.20 \text{ m} \times 0.3 \text{ Tn/m}^2 \\ \text{Masa} &= 0.51 \text{ Tn} \end{aligned}$$

Ahora bien, se utiliza las siguientes fórmulas para estimar el centro de masa total:

$$X_{cm} = \frac{\sum(X_{cm} \cdot \text{Masa})}{\sum \text{Masas}}$$

$$Y_{cm} = \frac{\sum(Y_{cm} \cdot \text{Masa})}{\sum \text{Masas}}$$

$$X_{cm} = \frac{(6.75 \times 6.48) - (6.85 \times 0.36) - (8.83 \times 0.51)}{6.48 - 0.36 - 0.51}$$

$$X_{cm} = 6.556 \text{ m}$$

$$Y_{cm} = \frac{(4.00 \times 6.48) - (1.55 \times 0.36) - (6.61 \times 0.51)}{6.48 - 0.36 - 0.51}$$

$$Y_{cm} = 3.922 \text{ m}$$

Para calcular el centro de rigidez, se requiere de los valores obtenidos de **Kx**, **Ky**, **XKy** y **YKx** indicados en las Tablas 17 y 18 de la siguiente manera:

$$X_{cr} = \frac{\sum XKy}{\sum Ky}$$

$$Y_{cr} = \frac{\sum YKx}{\sum Kx}$$

$$X_{cr} = \frac{1562.56}{262.05} = 5.963 \text{ m}$$

$$Y_{cr} = \frac{1495.46}{573.53} = 2.607 \text{ m}$$

### **Excentricidades**

Excentricidades teóricas:

$$e'x = X_{cm} - X_{cr} = 0.593 \text{ m}$$

$$e'y = Y_{cm} - Y_{cr} = 1.315 \text{ m}$$

Excentricidades accidentales:

$$eaccx = 0.05 \cdot dx$$

$$eaccy = 0.05 \cdot dy$$

Donde **dx** representa la dimensión perpendicular del terreno respecto al eje en análisis (Eje X). De igual manera ocurre con **dy**, que corresponde a la dimensión perpendicular del terreno respecto al Eje Y. Por lo tanto, se obtiene:

$$eaccx = 0.05 \times 8.00 = 0.400 \text{ m}$$

$$eaccy = 0.05 \times 13.50 = 0.675 \text{ m}$$

Excentricidades totales:

$$ex = |e'x| \pm eaccx$$

$$ey = |e'y| \pm eaccy$$

De aquí se derivan dos excentricidades por eje:

$$ex1 = 0.593 + 0.400 = 0.993$$

$$ex2 = 0.593 - 0.400 = 0.193$$

$$ey1 = 1.315 + 0.675 = 1.990$$

$$ey2 = 1.315 - 0.675 = 0.640$$

### **Momentos torsionales**

El momento torsional que se genera en la estructura se calcula de la siguiente manera:

$$Mt = V \cdot e$$

Al tener 04 excentricidades, también se obtiene 04 momentos torsionales (02 por cada eje), las cuales son los siguientes:

$$Mtx1 = Vx \cdot ey1 = 178.75 \text{ Tn} \cdot \text{m}$$

$$Mtx2 = Vx \cdot ey2 = 57.47 \text{ Tn} \cdot \text{m}$$

$$Mty1 = Vy \cdot ex1 = 89.25 \text{ Tn} \cdot \text{m}$$

$$Mty2 = Vy \cdot ex2 = 17.38 \text{ Tn} \cdot \text{m}$$

### **Incremento de fuerza cortante por torsión**

Para cada muro se obtendrán dos incrementos de fuerza cortante por eje, calculados de la siguiente forma:

$$\Delta V_{x1} = \frac{Mtx1 \cdot Kx \cdot \bar{Y}}{J}$$

$$\Delta V_{x2} = \frac{Mtx2 \cdot Kx \cdot \bar{Y}}{J}$$

$$\Delta V_{y1} = \frac{Mty1 \cdot Ky \cdot \bar{X}}{J}$$

$$\Delta V_{y2} = \frac{Mty2 \cdot Ky \cdot \bar{X}}{J}$$

Muros	X	X <sup>2</sup>	Y	Y <sup>2</sup>	X <sup>2</sup> K <sub>y</sub>	Y <sup>2</sup> K <sub>x</sub>	J
X1	-3.34	11.14	-2.54	6.46	3.19	745.89	749.08
X2	4.78	22.87	-2.49	6.21	37.94	1361.99	1399.93
X3	-4.21	17.71	1.78	3.16	3.39	186.81	190.20
X4	5.78	33.43	1.78	3.16	6.41	186.81	193.21
X5	-4.21	17.71	5.33	28.38	3.39	1678.05	1681.44
X6	5.80	33.66	5.33	28.38	6.38	1642.83	1649.21
Y1	-5.85	34.20	4.55	20.73	458.10	8.86	466.97
Y2	-2.57	6.59	-1.03	1.07	472.96	0.93	473.88
Y3	-2.57	6.59	4.00	16.02	354.42	12.16	366.57
Y4	2.14	4.59	-0.98	0.97	306.15	0.81	306.96
Y5	4.65	21.64	4.00	16.02	1163.28	12.16	1175.43
							8652.88

**Tabla 20: Cálculo del Momento Polar. Estructuración Inicial.**

*Fuente: Autor de tesis (2019).*

Al determinar todos los incrementos de los muros, se debe seleccionar al mayor valor positivo (si existiese); de lo contrario, se toma un valor de cero. Se muestran todos los valores obtenidos en el cuadro siguiente:

Muros	$\Delta V_{x1}$	$\Delta V_{x2}$	$\Delta V_{y1}$	$\Delta V_{y2}$	$\Delta V$ asumido
X1	-6.06	-1.95	-0.01	0.00	0.00
X2	-11.29	-3.63	0.08	0.02	0.08
X3	2.17	0.70	-0.01	0.00	2.17
X4	2.17	0.70	0.01	0.00	2.17
X5	6.51	2.09	-0.01	0.00	6.51
X6	6.37	2.05	0.01	0.00	6.37
Y1	0.04	0.01	-0.81	-0.16	0.04
Y2	-0.02	-0.01	-1.90	-0.37	0.00
Y3	0.06	0.02	-1.42	-0.28	0.06
Y4	-0.02	-0.01	1.47	0.29	1.47
Y5	0.06	0.02	2.58	0.50	2.58

**Tabla 21: Incrementos de fuerza cortante en los muros. Estructuración inicial.**

*Fuente: Autor de tesis (2019).*

Luego de obtener los incrementos de la fuerza cortante debido al momento torsional, se les añade a los cortantes traslacionales anteriormente calculados:

Muros	Eje X-X	Eje Y-Y	Ve diseño (Tn)	% Variación
	Ve total (Tn)	Ve total (Tn)		
X1	18.08	0.10	18.08	0.00%
X2	34.43	0.65	34.43	0.24%
X3	11.43	2.24	11.43	18.99%
X4	11.43	2.24	11.43	18.99%
X5	15.77	6.57	15.77	41.27%
X6	15.44	6.44	15.44	41.27%
Y1	0.11	4.63	4.63	0.87%
Y2	0.14	24.59	24.59	0.00%
Y3	0.18	18.49	18.49	0.34%
Y4	1.61	24.35	24.35	6.05%
Y5	2.70	21.01	21.01	12.28%
	111.30	111.30		

**Tabla 22: Fuerzas cortantes finales. Estructuración inicial.**

*Fuente: Autor de tesis (2019).*

### Esfuerzos Axiales

El E.070 recomienda que los esfuerzos axiales actuantes de los muros no deben excederse al valor máximo de esfuerzo axial calculado a través de la siguiente expresión:

$$\sigma_m = 0.2f'm \left[ 1 - \left( \frac{h}{35t} \right)^2 \right]$$

Donde  $f'm$  representa la resistencia característica axial del muro,  $h$  es la altura del muro y  $t$  es el espesor efectivo del muro. Para su evaluación, se debe estimar los esfuerzos actuantes en los muros de la siguiente manera:

$$\sigma_e = \frac{Pm}{L \cdot t}$$

Donde **Pm** es la carga de gravedad máxima de servicio (incluyendo el 100% de la sobrecarga), **L** representa a la longitud y **t** el espesor del muro en análisis.

La comparativa de ambas expresiones por cada muro es mostrada en el siguiente cuadro:

Muros	Pm (Tn)	Área (m2)	$\sigma_e$ (Kg/cm2)	$\sigma_m$ (Kg/cm2)	
X1	20.23	0.6825	2.96	4.71	✓
X2	26.36	1.2673	2.08	6.27	✓
X3	38.62	0.4563	8.46	4.71	X
X4	41.53	0.4563	9.10	4.71	X
X5	8.39	0.4563	1.84	4.71	✓
X6	10.09	0.4511	2.24	4.71	✓
Y1	5.96	0.3266	1.82	6.27	✓
Y2	25.32	0.6647	3.81	6.27	✓
Y3	39.75	0.5796	6.86	6.27	X
Y4	25.59	0.6417	3.99	6.27	✓
Y5	7.41	0.5796	1.28	6.27	✓

**Tabla 23: Esfuerzos axiales en muros. Estructuración inicial.**

*Fuente: Autor de tesis (2019).*

### Control de Fisuración

El E.030 del RNE-2016 indica que los muros que conforman a la estructura deben estar exentos de fisuras ante un sismo moderado, lo cual se puede verificar mediante la siguiente expresión:

$$V_e \leq 0.55V_m$$

Por cada muro se realiza una evaluación, obteniéndose los siguientes resultados:

Muros	$\alpha$	Pg (Tn)	Vm (Tn)	Ve (Tn)	0.55Vm (Tn)	
X1	1.00	18.52	21.66	9.04	11.92	✓
X2	1.00	24.13	37.87	17.21	20.83	✓
X3	0.80	35.35	17.48	5.72	9.61	✓
X4	0.80	38.02	18.09	5.72	9.95	✓
X5	0.80	7.68	11.11	7.88	6.11	X
X6	0.79	9.24	11.26	7.72	6.19	X
Y1	0.33	5.45	4.00	2.32	2.20	X
Y2	0.66	23.18	16.54	12.30	9.10	X
Y3	0.58	36.39	16.90	9.25	9.29	✓
Y4	0.64	23.42	15.84	12.17	8.71	X
Y5	0.58	6.78	10.09	10.50	5.55	X

**Tabla 24: Control de fisuración en muros. Estructuración inicial.**

*Fuente: Autor de tesis (2019).*

### Esfuerzos cortantes

Muros	ve (Kg/cm2)	vm (Kg/cm2)	
X1	2.65	3.17	✓
X2	2.72	2.99	✓
X3	2.51	3.83	✓
X4	2.51	3.97	✓
X5	3.46	2.44	X
X6	3.42	2.50	X
Y1	1.42	1.23	X
Y2	3.70	2.49	X
Y3	3.19	2.91	X
Y4	3.79	2.47	X
Y5	3.62	1.74	X

**Tabla 25: Esfuerzos cortantes en muros. Estructuración inicial.**

*Fuente: Autor de tesis (2019).*

### Resistencia al corte total

La estructura debe contar con una resistencia y rigidez adecuada en cada dirección de cada entrepiso. Esto se puede verificar, según el E.070, mediante:

$$\sum Vm \geq VE$$

Donde  $\sum Vm$  representa a la sumatoria de resistencias al corte de todos los muros, mientras  $VE$  corresponde a la fuerza cortante actuante en el entrepiso en análisis.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos por cada eje:

Eje X: 117.48 Tn  $\geq$  106.57 Tn

✓

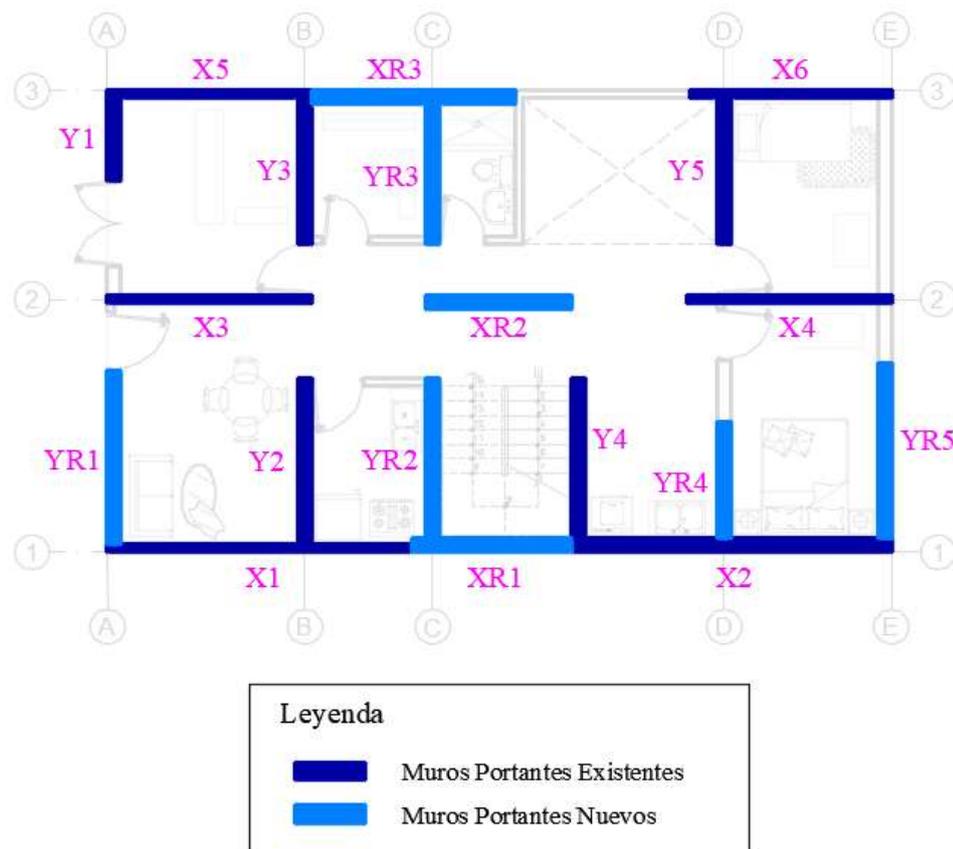
Eje Y: 63.36 Tn  $\geq$  93.07 Tn

X

A partir de los resultados obtenidos en el análisis se propone disminuir el nivel de vulnerabilidad dotando a la estructura de mayor rigidez y ductilidad, además de una adecuada resistencia a través de la adición de muros portantes empleando un mejor material (ladrillo KK 18 huecos industrial).

**(4) DISEÑO SISMO RESISTENTE:**

La estructuración inicial presenta niveles de vulnerabilidad indeseables en sus ejes principales, debido a sus altos valores de distorsión de entrepiso (deriva). Estos valores pueden mejorar si se añaden nuevos elementos estructurales con mejores características a las existentes. Es por ello que se realiza un adecuado planteamiento para la nueva estructuración de la vivienda, como se muestra a continuación:



**Figura 12: Distribución de muros. Estructuración final.**

*Fuente: Autor de tesis (2019).*

Ahora bien, se vuelve a estimar el nivel de vulnerabilidad final con la nueva distribución de muros.

#### **(5) CÁLCULO DE LA VULNERABILIDAD FINAL:**

De forma análoga a la sección 2, se vuelve a calcular el nivel de vulnerabilidad con la nueva distribución de los muros.

#### **Densidad de Muros**

<b>Eje X-X</b>		
<b>Muros</b>	<b>t (m)</b>	<b>Longitud (m)</b>
X1	0.13	5.25
X2	0.23	5.51
X3	0.13	3.51
X4	0.13	3.51
X5	0.13	3.51
X6	0.13	3.47
XR1	0.23	2.74
XR2	0.23	2.51
XR3	0.23	3.51

**Tabla 26: Dimensiones de los muros en el Eje X. Estructuración final.**

*Fuente: Autor de tesis (2019).*

Eje Y-Y		
Muros	t (m)	Longitud (m)
Y1	0.23	1.42
Y2	0.23	2.89
Y3	0.23	2.52
Y4	0.23	2.79
Y5	0.23	2.52
YR1	0.23	3.02
YR2	0.23	2.79
YR3	0.23	2.42
YR4	0.23	2.02
YR5	0.23	3.05

**Tabla 27: Dimensiones de los muros en el Eje Y. Estructuración final.**

*Fuente: Autor de tesis (2019).*

Eje X-X:

$$L = 0.13 \times (5.25 + 3.51 + 3.51 + 3.51 + 3.47) + 0.23 \times (5.51 + 2.74 + 2.51 + 3.51)$$

$$L = 5.7846 \text{ ml}$$

$$\frac{5.7846}{108} \geq \frac{0.45 \times 1.00 \times 1.05 \times 2}{56}$$

$$0.053561 \geq 0.016875 \quad \dots \text{ Ok, cumple}$$

Eje Y-Y:

$$L = 0.23 \times (1.42 + 2.89 + 2.52 + 2.79 + 2.52 + 3.02 + 2.79 + 2.42 + 2.02 + 3.05)$$

$$L = 5.8512 \text{ ml}$$

$$\frac{5.8512}{108} \geq \frac{0.45 \times 1.00 \times 1.05 \times 2}{56}$$

$$0.054178 \geq 0.016875 \quad \dots \text{Ok, cumple}$$

### Peso de la Estructura

Los muros a añadirse en la estructura para el reforzamiento de la misma, se encuentran en la misma ubicación que algunos muros no portantes existentes, lo cual se trata básicamente de un reemplazo de muro con mejores características por el uso de mejores materiales. Tal es así que, el peso de la estructura se mantiene constante (Ver Tabla 15).

$$P = 228.17 \text{ Tn}$$

### Cortante Basal

Al mantener constante el peso de la estructura, la cortante basal tiene el mismo valor que la calculada con la distribución inicial.

$$V = 89.84 \text{ Tn}$$

### Distribución de Fuerzas Sísmicas en Altura

Las fuerzas horizontales se distribuyen de igual manera que en la estructura inicial (ver Tabla 16).

Nivel	Peso (Tn)	h <sub>i</sub> (m)	P <sub>i</sub> h <sub>i</sub>	α <sub>i</sub>	F <sub>i</sub> (Tn)	V <sub>i</sub> (Tn)
Piso 2	117.59	5.20	611.46	0.68	61.11	61.11
Piso 1	110.58	2.60	287.50	0.32	28.73	89.84
			968.11		89.84	

**Copia de la Tabla 16: Distribución de Fuerzas Sísmicas en altura.**

### **Rigidez Lateral**

Para el cómputo de la rigidez lateral de la estructura, se toma en cuenta la reparación de muros portantes existentes, lo cual conlleva a considerar al 100% su rigidez lateral obtenida. Además, las características mecánicas de la nueva unidad de albañilería que se empleará en los muros de refuerzo deben ser insertados en los cálculos de la rigidez. Se plantea el uso de nuevos ladrillos KK industriales que presentan las siguientes resistencias:

Resistencia característica a la compresión axial

$$f'm = 65 \text{ Kg/cm}^2$$

Resistencia característica al corte

$$v'm = 8.1 \text{ Kg/cm}^2$$

Muros	Y (m)	t (m)	L (m)	K <sub>x</sub> (Tn/cm)	YK <sub>x</sub>	K <sub>x</sub> /ΣK <sub>x</sub>
X1	0.07	0.13	5.25	115.39	7.50	0.1161
X2	0.12	0.23	5.51	219.24	25.21	0.2207
X3	4.39	0.13	3.51	59.12	259.25	0.0595
X4	4.39	0.13	3.51	59.12	259.25	0.0595
X5	7.94	0.13	3.51	59.12	469.13	0.0595
X6	7.94	0.13	3.47	57.88	459.29	0.0583
XR1	0.12	0.23	2.74	119.33	13.72	0.1201
XR2	4.34	0.23	2.51	98.96	429.00	0.0996
XR3	7.89	0.23	3.51	194.26	1531.72	0.1955
Y1	7.16	1.42	0.23	0.43	3.06	0.0004
Y2	1.58	2.89	0.23	0.87	1.37	0.0009
Y3	6.61	2.52	0.23	0.76	5.02	0.0008
Y4	1.63	2.79	0.23	0.84	1.37	0.0008
Y5	6.61	2.52	0.23	0.76	5.02	0.0008
YR1	1.64	3.02	0.23	1.69	2.77	0.0017
YR2	1.63	2.79	0.23	1.56	2.54	0.0016
YR3	6.56	2.42	0.23	1.35	8.88	0.0014
YR4	1.24	2.02	0.23	1.13	1.40	0.0011
YR5	1.76	3.05	0.23	1.71	2.99	0.0017
				993.51	3,488.47	

**Tabla 28: Rigidez lateral en el Eje X. Estructuración final.**

*Fuente: Autor de tesis (2019).*

Muros	X (m)	t (cm)	L (cm)	Ky (Tn/cm)	XKy	Ky/ΣKy
X1	2.63	5.25	0.13	0.29	0.75	0.0003
X2	10.75	5.51	0.23	1.66	17.83	0.0020
X3	1.76	3.51	0.13	0.19	0.34	0.0002
X4	11.75	3.51	0.13	0.19	2.25	0.0002
X5	1.76	3.51	0.13	0.19	0.34	0.0002
X6	11.77	3.47	0.13	0.19	2.23	0.0002
XR1	6.62	2.74	0.23	1.53	10.14	0.0018
XR2	6.74	2.51	0.23	1.40	9.45	0.0017
XR3	5.27	3.51	0.23	1.96	10.33	0.0023
Y1	0.12	0.23	1.42	13.40	1.54	0.0160
Y2	3.40	0.23	2.89	71.73	243.51	0.0857
Y3	3.40	0.23	2.52	53.75	182.48	0.0643
Y4	8.11	0.23	2.79	66.72	540.75	0.0798
Y5	10.62	0.23	2.52	53.75	570.55	0.0643
YR1	0.12	0.23	3.02	145.56	16.74	0.1740
YR2	5.60	0.23	2.79	123.90	693.24	0.1481
YR3	5.60	0.23	2.42	91.34	511.05	0.1092
YR4	10.62	0.23	2.02	60.33	640.36	0.0721
YR5	13.39	0.23	3.05	148.45	1987.05	0.1775
				836.53	5,440.93	

**Tabla 29: Rigidez lateral en el Eje Y. Estructuración final.**

*Fuente: Autor de tesis (2019).*

Por lo tanto, las rigideces en cada eje que presenta la estructura luego del reforzamiento planteado serían:

$$K_x = 993.51 \text{ Tn/cm}$$

$$K_y = 836.53 \text{ Tn/cm}$$

### **Cálculo de Derivas**

Eje X-X:

$$\delta x = 0.75 \times 3 \times \frac{89.84}{993.51} = 0.203 \text{ cm}$$

$$\text{Deriva X} = 0.203 / 260 = 0.00078$$

Eje Y-Y:

$$\delta y = 0.75 \times 3 \times \frac{89.84}{836.53} = 0.242 \text{ cm}$$

$$\text{Deriva Y} = 0.242 / 260 = 0.00093$$

Por lo tanto, según la Tabla 2, el nivel de vulnerabilidad de la estructura se describe de la siguiente manera:

**Eje X: Ligero**

**Eje Y: Ligero**

### **(6) ANÁLISIS ESTRUCTURAL FINAL:**

#### **Fuerzas y Momentos en Muros**

Se procede a emplear el Etabs para el cálculo de las fuerzas y momentos de todos los muros.

Muros	Eje X		Eje Y	
	Ve (Tn)	Me (Tn-m)	Ve (Tn)	Me (Tn-m)
X1	10.43	45.58	0.03	0.13
X2	19.83	86.61	0.18	0.78
X3	5.35	23.36	0.02	0.09
X4	5.35	23.36	0.02	0.09
X5	5.35	23.36	0.02	0.09
X6	5.23	23.86	0.02	0.09
XR1	10.79	47.14	0.16	0.72
XR2	8.95	39.09	0.15	0.66
XR3	17.57	76.74	0.21	0.92
Y1	0.04	0.17	1.44	6.28
Y2	0.08	0.34	7.70	33.65
Y3	0.07	0.30	5.77	25.22
Y4	0.08	0.33	7.17	31.30
Y5	0.07	0.30	5.77	25.22
YR1	0.15	0.67	15.63	68.29
YR2	0.14	0.62	13.31	58.13
YR3	0.12	0.53	9.81	42.85
YR4	0.10	0.45	6.48	28.30
YR5	0.15	0.67	15.94	69.65

**Tabla 30: Fuerzas y Momentos en los muros. Estructuración final.**

*Fuente: Autor de tesis (2019).*

#### **Centro de Masa y de Rigidez**

En la estructuración final el área de techo no ha sido modificado, por lo tanto el centro de masa se mantiene constante:

$$X_{cm} = 6.556 \text{ m}$$

$$Y_{cm} = 3.922 \text{ m}$$

Para calcular el centro de rigidez, se requiere de los valores obtenidos de  $K_x$ ,  $K_y$ ,  $XK_y$  y  $YK_x$  indicados en las Tablas 28 y 29 de la siguiente manera:

$$X_{cr} = \frac{\sum XK_y}{\sum K_y}$$

$$Y_{cr} = \frac{\sum YK_x}{\sum K_x}$$

$$X_{cr} = \frac{5440.93}{836.53} = 6.504 \text{ m}$$

$$Y_{cr} = \frac{3488.47}{993.51} = 3.511 \text{ m}$$

### **Excentricidades**

Excentricidades teóricas:

$$e'x = X_{cm} - X_{cr} = 0.052 \text{ m}$$

$$e'y = Y_{cm} - Y_{cr} = 0.411 \text{ m}$$

Excentricidades accidentales:

$$e_{accx} = 0.05 \times 8.00 = 0.400 \text{ m}$$

$$e_{accy} = 0.05 \times 13.50 = 0.675 \text{ m}$$

Excentricidades totales:

$$e_x = |e'x| \pm e_{accx}$$

$$e_y = |e'y| \pm e_{accy}$$

De aquí se derivan dos excentricidades por eje:

$$ex1 = 0.052 + 0.400 = 0.452 \text{ m}$$

$$ex2 = 0.052 - 0.400 = -0.348 \text{ m}$$

$$ey1 = 0.411 + 0.675 = 1.086 \text{ m}$$

$$ey2 = 0.411 - 0.675 = -0.264 \text{ m}$$

### **Momentos torsionales**

$$Mt = V \cdot e$$

$$Mtx1 = Vx \cdot ey1 = 97.56 \text{ Tn} \cdot \text{m}$$

$$Mtx2 = Vx \cdot ey2 = -23.73 \text{ Tn} \cdot \text{m}$$

$$Mty1 = Vy \cdot ex1 = 40.62 \text{ Tn} \cdot \text{m}$$

$$Mty2 = Vy \cdot ex2 = -31.25 \text{ Tn} \cdot \text{m}$$

### Incremento de fuerza cortante por torsión

Muros	X	X <sup>2</sup>	Y	Y <sup>2</sup>	X <sup>2</sup> K <sub>y</sub>	Y <sup>2</sup> K <sub>x</sub>	J
X1	-3.88	15.05	-3.45	11.88	4.31	1370.44	1374.76
X2	4.24	17.98	-3.40	11.53	29.84	2528.83	2558.67
X3	-4.75	22.55	0.87	0.76	4.32	45.14	49.46
X4	5.24	27.47	0.87	0.76	5.26	45.14	50.40
X5	-4.75	22.55	4.42	19.57	4.32	1156.99	1161.31
X6	5.26	27.68	4.42	19.57	5.24	1132.71	1137.95
XR1	0.12	0.01	-3.40	11.53	0.02	1376.35	1376.38
XR2	0.23	0.05	0.82	0.68	0.07	67.15	67.23
XR3	-1.24	1.54	4.37	19.13	3.01	3716.10	3719.11
Y1	-6.39	40.82	3.65	13.31	546.83	5.69	552.53
Y2	-3.11	9.67	-1.94	3.75	693.36	3.26	696.62
Y3	-3.11	9.67	3.10	9.60	519.58	7.29	526.87
Y4	1.60	2.56	-1.89	3.56	170.98	2.99	173.97
Y5	4.11	16.90	3.10	9.60	908.33	7.29	915.61
YR1	-6.39	40.82	-1.87	3.50	5942.03	5.91	5947.94
YR2	-0.91	0.83	-1.89	3.56	102.41	5.55	107.96
YR3	-0.91	0.83	3.05	9.29	75.50	12.58	88.07
YR4	4.11	16.90	-2.27	5.16	1019.47	5.83	1025.29
YR5	6.88	47.35	-1.76	3.08	7028.70	5.26	7033.96
							28564.10

**Tabla 31: Cálculo del Momento Polar. Estructuración final.**

*Fuente: Autor de tesis (2019).*

Muros	$\Delta V_{x1}$	$\Delta V_{x2}$	$\Delta V_{y1}$	$\Delta V_{y2}$	$\Delta V$ asumido
X1	-1.36	0.33	0.00	0.00	0.33
X2	-2.54	0.62	0.01	-0.01	0.62
X3	0.18	-0.04	0.00	0.00	0.18
X4	0.18	-0.04	0.00	0.00	0.18
X5	0.89	-0.22	0.00	0.00	0.89
X6	0.87	-0.21	0.00	0.00	0.87
XR1	-1.38	0.34	0.00	0.00	0.34
XR2	0.28	-0.07	0.00	0.00	0.28
XR3	2.90	-0.71	0.00	0.00	2.90
Y1	0.01	0.00	-0.12	0.09	0.09
Y2	-0.01	0.00	-0.32	0.24	0.24
Y3	0.01	0.00	-0.24	0.18	0.18
Y4	-0.01	0.00	0.15	-0.12	0.15
Y5	0.01	0.00	0.31	-0.24	0.31
YR1	-0.01	0.00	-1.32	1.02	1.02
YR2	-0.01	0.00	-0.16	0.12	0.12
YR3	0.01	0.00	-0.12	0.09	0.09
YR4	-0.01	0.00	0.35	-0.27	0.35
YR5	-0.01	0.00	1.45	-1.12	1.45

**Tabla 32: Incremento de fuerzas cortantes en los muros. Estructuración final.**

*Fuente: Autor de tesis (2019).*

Luego de obtener los incrementos de la fuerza cortante debido al momento torsional, se les añade a los cortantes traslacionales anteriormente calculados:

Muros	Eje X-X	Eje Y-Y	Ve diseño (Tn)	% Variación
	Ve total (Tn)	Ve total (Tn)		
X1	10.76	0.36	10.76	3.07%
X2	20.44	0.80	20.44	3.03%
X3	5.52	0.20	5.52	3.19%
X4	5.52	0.20	5.52	3.19%
X5	6.24	0.91	6.24	14.32%
X6	6.11	0.89	6.11	14.32%
XR1	11.13	0.50	11.13	3.03%
XR2	9.23	0.43	9.23	3.02%
XR3	20.47	3.11	20.47	14.18%
Y1	0.13	1.53	1.53	6.11%
Y2	0.32	7.95	7.95	3.07%
Y3	0.25	5.96	5.96	3.07%
Y4	0.23	7.32	7.32	2.08%
Y5	0.38	6.09	6.09	5.16%
YR1	1.17	16.65	16.65	6.11%
YR2	0.26	13.43	13.43	0.92%
YR3	0.21	9.90	9.90	0.92%
YR4	0.45	6.83	6.83	5.16%
YR5	1.61	17.40	17.40	8.35%
	100.45	100.45		

**Tabla 33: Fuerzas cortantes finales. Estructuración final.**

*Fuente: Autor de tesis (2019).*

### Esfuerzos Axiales

Muros	Pm (Tn)	Área (m <sup>2</sup> )	$\sigma_e$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_m$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	
X1	10.70	0.6825	1.57	4.71	✓
X2	12.19	1.2673	0.96	6.27	✓
X3	18.92	0.4563	4.15	4.71	✓
X4	20.18	0.4563	4.42	4.71	✓
X5	7.80	0.4563	1.71	4.71	✓
X6	14.46	0.4511	3.21	4.71	✓
XR1	5.29	0.6302	0.84	11.64	✓
XR2	16.61	0.5773	2.88	11.64	✓
XR3	6.05	0.8073	0.75	11.64	✓
Y1	7.59	0.3266	2.32	6.27	✓
Y2	21.30	0.6647	3.20	6.27	✓
Y3	14.18	0.5796	2.45	6.27	✓
Y4	13.27	0.6417	2.07	6.27	✓
Y5	10.77	0.5796	1.86	6.27	✓
YR1	13.03	0.6946	1.88	11.64	✓
YR2	11.12	0.6417	1.73	11.64	✓
YR3	16.16	0.5566	2.90	11.64	✓
YR4	18.97	0.4646	4.08	11.64	✓
YR5	10.65	0.7015	1.52	11.64	✓

**Tabla 34: Esfuerzos axiales en muros. Estructuración final.**

*Fuente: Autor de tesis (2019).*

### Control de Fisuración

Muros	$\alpha$	Pg (Tn)	Vm (Tn)	Ve (Tn)	0.55Vm (Tn)	
X1	1.00	9.79	19.66	5.38	10.81	✓
X2	1.00	11.16	34.88	10.22	19.19	✓
X3	0.80	17.32	13.33	2.76	7.33	✓
X4	0.80	18.48	13.60	2.76	7.48	✓
X5	0.80	7.14	10.99	3.12	6.05	✓
X6	0.79	13.24	12.18	3.05	6.70	✓
XR1	0.63	4.84	17.12	5.56	9.42	✓
XR2	0.57	15.21	16.93	4.61	9.31	✓
XR3	0.80	5.54	27.54	10.23	15.15	✓
Y1	0.33	6.95	4.35	0.77	2.39	✓
Y2	0.66	19.50	15.70	3.97	8.63	✓
Y3	0.58	12.98	11.51	2.98	6.33	✓
Y4	0.64	12.15	13.24	3.66	7.28	✓
Y5	0.58	9.86	10.79	3.04	5.94	✓
YR1	0.69	11.93	22.19	8.33	12.21	✓
YR2	0.64	10.18	18.94	6.72	10.42	✓
YR3	0.55	14.80	15.89	4.95	8.74	✓
YR4	0.46	17.37	12.70	3.42	6.98	✓
YR5	0.70	9.75	22.08	8.70	12.14	✓

**Tabla 35: Control de fisuración en muros. Estructuración final.**

*Fuente: Autor de tesis (2019).*

### Esfuerzos cortantes

Muros	$v_e$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$v_m$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	
X1	0.79	2.88	✓
X2	0.81	2.75	✓
X3	0.61	2.92	✓
X4	0.61	2.98	✓
X5	0.68	2.41	✓
X6	0.68	2.70	✓
XR1	0.88	2.72	✓
XR2	0.80	2.93	✓
XR3	1.27	3.41	✓
Y1	0.23	1.33	✓
Y2	0.60	2.36	✓
Y3	0.51	1.99	✓
Y4	0.57	2.06	✓
Y5	0.53	1.86	✓
YR1	1.20	3.19	✓
YR2	1.05	2.95	✓
YR3	0.89	2.86	✓
YR4	0.74	2.73	✓
YR5	1.24	3.15	✓

**Tabla 36: Esfuerzos cortantes en muros. Estructuración final.**

*Fuente: Autor de tesis (2019).*

### Resistencia al corte total

Finalmente, se vuelve a corroborar si la estructura presenta una resistencia al corte mayor a las fuerzas cortantes producidas por un sismo severo, mediante la expresión:

$$\sum V_m \geq V_E$$

Donde  $\sum V_m$  representa a la sumatoria de resistencias al corte de todos los muros, mientras  $V_E$  corresponde a la fuerza cortante actuante en el entrepiso en análisis.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos por ejes:

Eje X: 166.24 Tn  $\geq$  95.43 Tn      ✓

Eje Y: 147.39 Tn  $\geq$  93.05 Tn      ✓

### (7) DISEÑO ESTRUCTURAL:

#### Diseño de Muros de Albañilería

A partir del predimensionamiento y del análisis estructural, los muros portantes ya han adoptado dimensiones geométricas adecuadas. Lo que resta dimensionar son sus elementos de arriostres (vigas soleras y columnas de amarre). A modo demostrativo se detallará el diseño los elementos de confinamiento del muro YR1, ya que el resto de los muros se diseñan bajo el mismo procedimiento.

#### • Área de sección de Columnas y Vigas de confinamiento:

$$A_c = \left( \frac{0.9}{\sqrt{f'_c}} \right) V$$

$$A_c = \left( \frac{0.9}{\sqrt{210}} \right) 16650 = 1034 \text{ cm}^2$$

El valor encontrado para la sección resulta ser muy elevado, ya que se obtendrían dimensiones de 23 x 45 cm para cumplir con la expresión. Para disminuir la sección se dividirá el paño en dos partes iguales, lo cual divide la cortante en dos fuerzas horizontales de  $V = 8135 \text{ Kg}$ .

$$A_c = \left( \frac{0.9}{\sqrt{210}} \right) 8325 = 517 \text{ cm}^2$$

Para el paño se asignarán columnas y vigas de confinamiento de 23 x 25 cm ( $A_c = 575 \text{ cm}^2$ ).

- **Área de acero de refuerzo en vigas soleras:**

$$A_{sh} = \left( \frac{1.4}{f_y} \right) V$$

$$A_{sh} = \left( \frac{1.4}{4200} \right) 8325 = 2.78 \text{ cm}^2$$

Este valor se debe comparar con el área de acero de refuerzo mínimo mostrado a continuación:

$$A_{smin} = \left( 0.1 \frac{f'_c}{f_y} \right) A_c$$

$$A_{smin} = \left( 0.1 \frac{210}{4200} \right) 575 = 2.88 \text{ cm}^2$$

Al ser  $A_{sh} < A_{smin}$  entonces se considera  $A_{sh} = 2.88 \text{ cm}^2$ . Para ello se colocarán 4Ø1/2" ( $A_{sh} = 5.16 \text{ cm}^2$ ) como acero de refuerzo en la sección de la viga solera.

- **Área de acero de refuerzo en columnas de amarre:**

$$A_{sv} = \frac{1.4V}{f_y} \left( \frac{H}{L} \right)$$

$$A_{sv} = \frac{1.4 \times 8325}{4200} \left( \frac{2.60}{1.51} \right) = 4.78 \text{ cm}^2$$

Al ser  $A_{sv} > A_{smin}$  entonces se considera  $A_{sv} = 4.78 \text{ cm}^2$ . Para ello se colocarán 4Ø1/2" ( $A_{sv} = 5.16 \text{ cm}^2$ ) como acero de refuerzo en la sección de las columnas de amarre.

- **Estribos:**

$$s = \left( \frac{A_v \cdot f_y}{1.5} \right) \frac{d}{V}$$

Se considerará colocar estribos de Ø3/8", lo cual genera un área de refuerzo  $A_v = 2 \times 0.71 = 1.42 \text{ cm}^2$ .

$$s = \left( \frac{1.42 \cdot 4200}{1.5} \right) \frac{21}{8325} = 10 \text{ cm}$$

Finalmente, se determina que los estribos a colocar en las vigas soleras y columnas de amarre será de Ø3/8" de la siguiente manera: 1@.05, 7@.10, Rto@.20.

### Diseño de Vigas

Se desarrollará el diseño, a modo de ejemplo, solo de la viga que atraviesa el Eje D, ya que el procedimiento es similar para el resto de las vigas.

- **Predimensionamiento:**

$$h = \frac{\text{Luz Libre}}{10} ; h = \frac{\text{Luz Libre}}{12}$$

$$h = \frac{3.30}{10} = 0.33 ; h = \frac{3.30}{12} = 0.275$$

Se considerará inicialmente una altura  $h = 0.25 \text{ m}$ ., y de no cumplirse se irá aumentando progresivamente la altura.

- **Metrado de Cargas:**

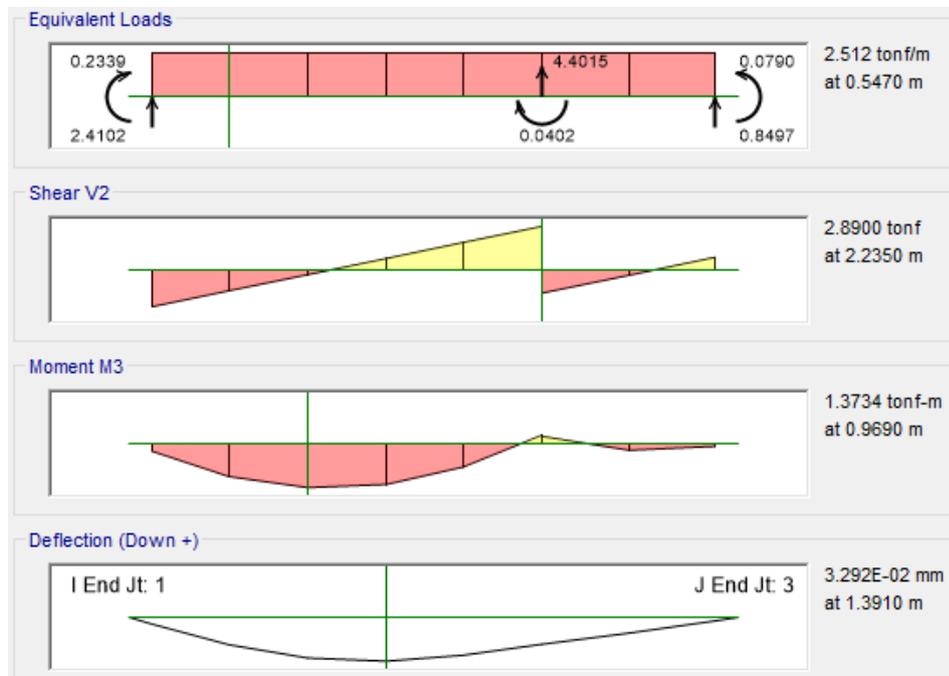
- Carga Muerta (C.M.):

Peso propio	: $0.25 \times 0.25 \times 2400$	= 150 kg/ml
Peso de losa aligerada	: $300 \times (2.28 + 2.54) / 2$	= 723 kg/ml
Peso piso terminado	: $100 \times (2.28 + 2.54) / 2$	= 241 kg/ml
		<hr/>
		= 1114 kg/ml

- Carga Viva (C.V.):  
Sobrecarga :  $200 \times (2.28 + 2.54) / 2 = 482 \text{ kg/ml}$
- Carga Última de Rotura:  
 $WD = 1.6 \times 1114 + 1.2 \times 482 = 2360.80 \text{ kg/ml}$

• **Análisis Estructural:**

Se realiza los cálculos de la máxima fuerza cortante y momento flector en la viga a través del Etabs v13.1.



**Figura 13: Análisis estructural de viga.**

*Fuente: Autor de tesis (2019).*

En la Figura 13 se observa una fuerza cortante máxima de  $V_{\max} = 2.89 \text{ Tn}$ , y un momento flector máximo de  $M_{\max} = 1.37 \text{ Tn-m}$ .

- **Diseño por Flexión:**

$$M_u = \phi f'_c b d^2 \omega (1 - 0.59\omega)$$

$$137000 = 0.90 \times 210 \times 25 \times 25^2 \times \omega (1 - 0.59\omega)$$

$$0.59\omega^2 - \omega + 0.046 = 0$$

$$\omega = 0.047, \omega = 1.648$$

Se toma el valor de  $\omega = 0.047$  por ser consecuente con la cuantía.

$$\rho = 0.00235$$

$$\rho_{max} = 0.75\rho_b = 0.75 \times 0.02125 = 0.0159$$

$$\rho_{min} = \frac{14}{4200} = 0.00333$$

Al ser  $\rho < \rho_{min}$  se considera el valor de  $\rho = 0.00333$

$$A_s = \rho b d = 0.00333 \times 25 \times 21 = 1.75 \text{ cm}^2 \text{ (2}\phi 1/2\text{")}$$

El diseño se está realizando con el momento flector positivo, y al arrojar una cuantía mínima, se considera la misma cantidad de refuerzo para el acero negativo, por lo tanto la sección contará con 4 $\phi 1/2$ ".

- **Diseño por Corte:**

$$V_{max} = 2.89 \text{ Tn}$$

La resistencia del concreto al corte es:

$$V_c = 0.53 \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d$$

$$V_c = 0.53 \sqrt{210} \times 25 \times 21 = 4.03 \text{ Tn}$$

Como  $V_{\max} < V_C$  entonces se colocará refuerzo transversal mínimo a través de la siguiente expresión:

$$A_{vmin} = 3.5 \frac{b_w \cdot s}{f_y}$$

$$A_{vmin} = 3.5 \frac{25 \cdot 10}{4200} = 0.21 \text{ cm}^2 (\text{Ø}3/8")$$

Por lo tanto, se colocará 4Ø1/2" con estribos de Ø3/8": 1@.05, 4@.10, Rto@.20 a cada extremo.

### 3.7 ANÁLISIS DE DATOS

El análisis de los datos y su respectiva interpretación se deben llevar a cabo de forma adecuada con el objetivo de tomar decisiones cuando existen condiciones de incertidumbre. Para ello, se puede recurrir a dos metodologías:

- **Estadística Descriptiva:** Se encarga principalmente de describir las mediciones de los datos recopilados y de los resultados, mediante herramientas gráficas y diversos cálculos de correlación bidimensional.
- **Estadística Inferencial:** Es utilizado para realizar generalizaciones de la muestra considerada a la población, basándose en la teoría de distribución muestral (Sampieri, 2014).

Para los fines de la presente investigación, resulta conveniente el uso de la Estadística Inferencial a través de un análisis paramétrico, de la siguiente manera: los valores iniciales y finales de la variable dependiente serán analizados a través de un gráfico de dispersión con líneas de tendencia que permita identificar el efecto ocasionado por la manipulación intencional de la variable independiente. Además, se estimará el nivel de correlación entre las variables a través de un estadígrafo denominado *Coefficiente de Correlación*.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS**

La presente investigación se ha enfocado en determinar la variación de la vulnerabilidad estructural luego de aplicar un diseño sismo resistente. Es decir, las viviendas en estudio tendrán dos distintas estructuraciones: una inicial y una final.

La estructuración inicial representa el estado actual de la vivienda, la cual carece de un diseño sismo resistente, o si lo tiene, se trata de un criterio empírico adoptado por un maestro constructor (construcción informal). Es por eso que aquí se considera la distribución actual de los elementos resistentes al sismo. Por otro lado, en la estructuración final se añaden algunos elementos verticales de refuerzo y se reparan los elementos existentes que presenten daños, con la finalidad de disminuir la vulnerabilidad estructural.

#### **4.1 VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL**

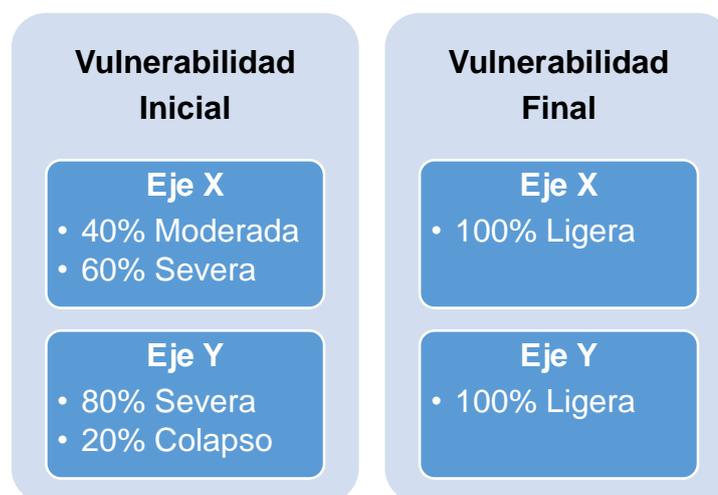
Al llevar a cabo el procedimiento descrito en el capítulo anterior se han obtenido resultados concernientes al nivel de vulnerabilidad y las derivas por eje de ambas estructuraciones, las cuales son contrastadas en los siguientes cuadros comparativos:

Vivienda	Vulnerabilidad Inicial		Vulnerabilidad Final	
	Eje X	Eje Y	Eje X	Eje Y
Vivienda 01	Moderada	Severa	Ligera	Ligera
Vivienda 02	Severa	Severa	Ligera	Ligera
Vivienda 03	Severa	Severa	Ligera	Ligera
Vivienda 04	Severa	Severa	Ligera	Ligera
Vivienda 05	Moderada	Colapso	Ligera	Ligera

**Tabla 37: Nivel de vulnerabilidad de las viviendas.**

*Fuente: Autor de tesis (2019).*

A raíz de la tabla anterior se desprende la frecuencia porcentual de las vulnerabilidades según los ejes de análisis, la cual es indicada en el siguiente gráfico:



**Gráfico 5: Nivel de vulnerabilidad de las viviendas.**

*Fuente: Autor de tesis (2019).*

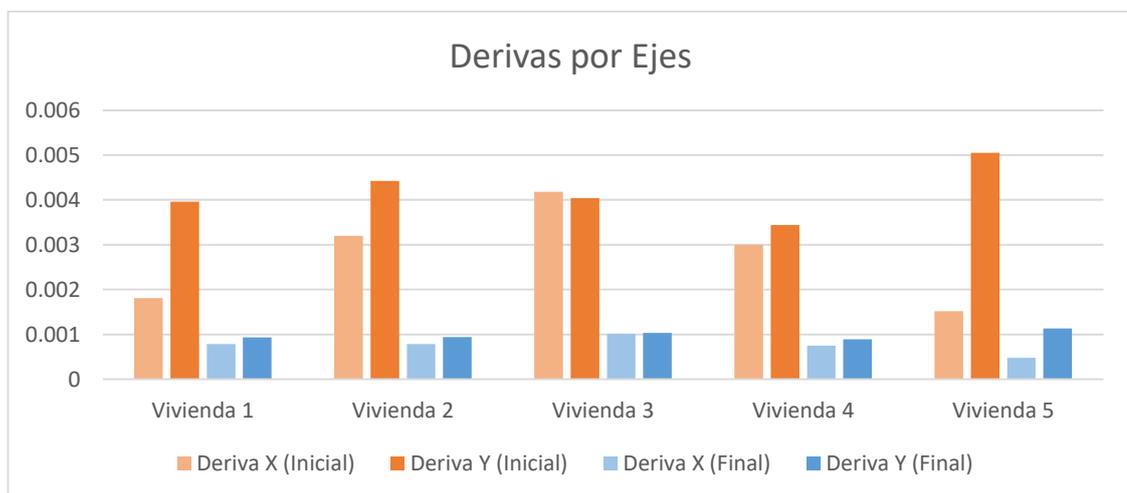
Los niveles de vulnerabilidad estructural de las viviendas han sido determinados en base a las derivas que presentan sus estructuras. Por lo tanto, es conveniente comparar los resultados numéricos.

Vivienda	Estructuración Inicial		Estructuración Final		Comparación	
	Deriva X	Deriva Y	Deriva X	Deriva Y	Eje X	Eje Y
Vivienda 01	0.00181	0.00396	0.00078	0.00093	43%	23%
Vivienda 02	0.00320	0.00442	0.00078	0.00094	24%	21%
Vivienda 03	0.00418	0.00404	0.00101	0.00103	24%	25%
Vivienda 04	0.00300	0.00344	0.00075	0.00089	25%	26%
Vivienda 05	0.00152	0.00505	0.00048	0.00113	32%	22%
<b>Promedio</b>					<b>30%</b>	<b>24%</b>

**Tabla 38: Resumen de derivas por eje.**

*Fuente: Autor de tesis (2019).*

Aquí se puede apreciar que las derivas del Eje Y de la estructuración final generalmente son mayores que las derivas del Eje X. Además, se observa que las derivas finales representan un 30% y un 24% de las derivas iniciales, para el Eje X y Eje Y respectivamente.



**Gráfico 6: Derivas por Ejes.**

*Fuente: Autor de tesis (2019).*

## 4.2 DISEÑO SISMO RESISTENTE

Para verificar que el diseño sismo resistente propuesto en las viviendas es válido, se ha llevado a cabo un análisis estructural a la distribución inicial y final, obteniéndose los valores correspondientes a: las rigideces, las excentricidades, los incrementos de las fuerzas cortantes debido a torsión, los esfuerzos cortantes, y la resistencia total al corte de la estructura.

### 4.2.1 RIGIDEZ

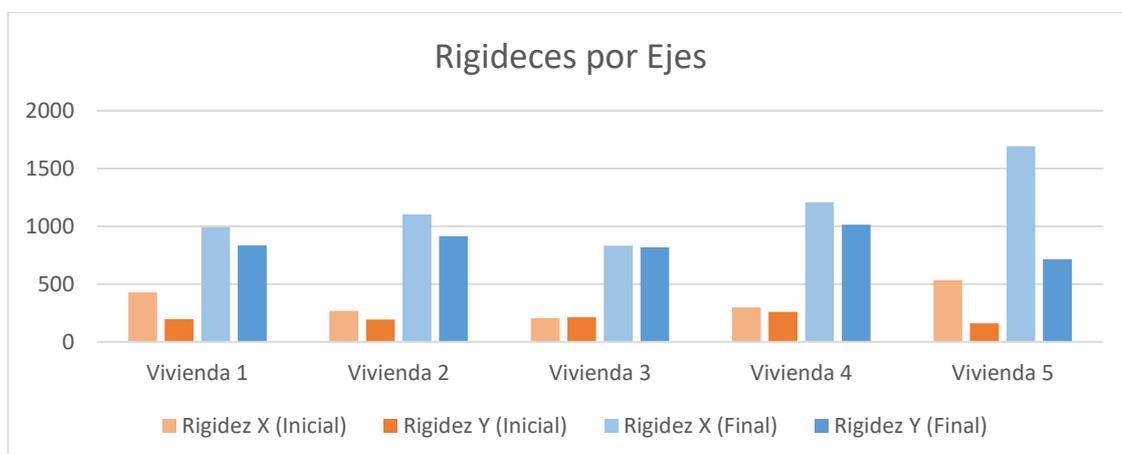
La rigidez está directamente ligada a la calidad del material empleado y a las dimensiones del elemento. Es por eso que, la reparación de los muros dañados existentes y el uso de unidades de albañilería KK 18 huecos industriales en los nuevos muros han mejorado significativamente los valores iniciales.

Vivienda	Rigidez inicial		Rigidez final		Comparación	
	Eje X	Eje Y	Eje X	Eje Y	Eje X	Eje Y
Vivienda 01	430.15	196.54	993.51	836.53	231%	426%
Vivienda 02	270.10	195.39	1103.44	914.25	409%	468%
Vivienda 03	206.51	213.98	831.47	817.63	403%	382%
Vivienda 04	300.15	261.34	1206.81	1015.58	402%	389%
Vivienda 05	532.84	160.29	1694.33	715.20	318%	446%
<b>Promedio</b>	<b>347.95</b>	<b>205.51</b>	<b>1165.91</b>	<b>859.84</b>	<b>352%</b>	<b>422%</b>

**Tabla 39: Resumen de rigideces por eje.**

*Fuente: Autor de tesis (2019).*

Como se puede observar, las rigideces en la estructuración final representan al 352% y al 422% de las rigideces de la estructuración inicial. Este aumento significativo de la rigidez repercute en los cálculos posteriores.



**Gráfico 7: Rigideces por Ejes.**

*Fuente: Autor de tesis (2019).*

#### 4.2.2 EXCENRICIDAD

Los entrepisos definen el centro de masa de una estructura, ya que es el elemento que más masa proporciona. Por otro lado, la ubicación de los muros y sus dimensiones juegan un papel importante, ya que determinan el centro de rigidez de la estructura. La distancia que existe entre estos puntos se le conoce como excentricidad.

Vivienda	Excentricidad inicial		Excentricidad final		Comparación	
	Eje X	Eje Y	Eje X	Eje Y	Eje X	Eje Y
Vivienda 01	0.593	1.315	0.052	0.411	9%	31%
Vivienda 02	2.390	0.752	0.532	0.217	22%	29%
Vivienda 03	-0.902	-1.146	0.388	0.042	43%	4%
Vivienda 04	-0.671	0.779	0.089	-0.348	13%	45%
Vivienda 05	-3.072	1.101	-0.151	-0.004	5%	0.4%
<b>Promedio</b>					<b>18%</b>	<b>22%</b>

**Tabla 40: Resumen de excentricidades por eje.**

*Fuente: Autor de tesis (2019).*

Se puede notar que las excentricidades han sido disminuidas hasta en un 18% y 22% en el Eje X y Y respectivamente, luego de la aplicación de un diseño sismo resistente.

#### 4.2.3 FUERZAS CORTANTES DEBIDO A TORSIÓN

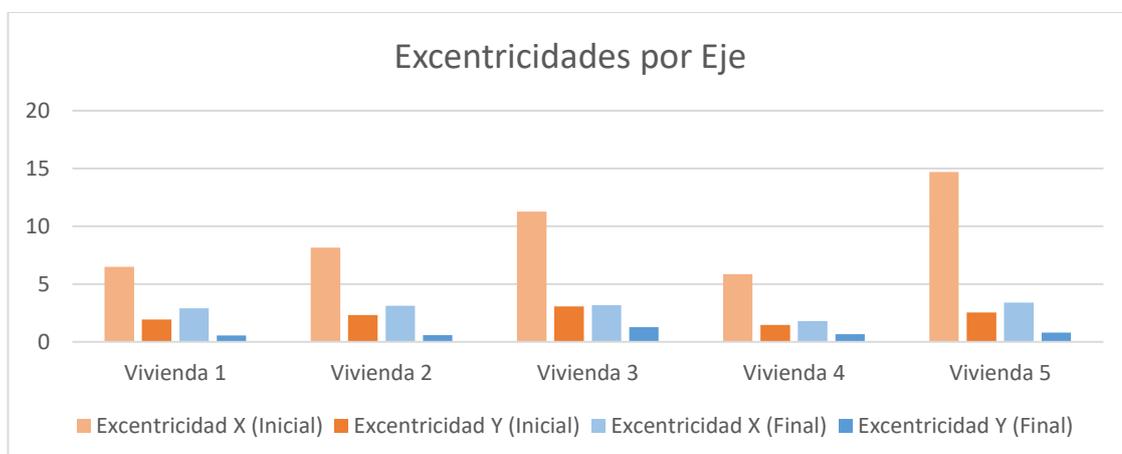
La excentricidad es el brazo de acción de un momento torsional en la estructura, la cual genera un incremento de las fuerzas cortantes que actúan directamente en los muros.

Vivienda	Estructuración inicial		Estructuración final		Comparación	
	$\Delta V_{\text{máx}}$ (Tn)	$\Delta V_{\text{prom}}$ (Tn)	$\Delta V_{\text{máx}}$ (Tn)	$\Delta V_{\text{prom}}$ (Tn)	$\Delta V_{\text{máx}}$ (%)	$\Delta V_{\text{prom}}$ (%)
Vivienda 01	6.51	1.95	2.90	0.56	45%	29%
Vivienda 02	8.16	2.32	3.12	0.58	38%	25%
Vivienda 03	11.27	3.08	3.20	1.28	28%	42%
Vivienda 04	5.86	1.47	1.81	0.66	31%	45%
Vivienda 05	14.70	2.54	3.41	0.80	23%	31%
<b>Promedio</b>					<b>33%</b>	<b>34%</b>

**Tabla 41: Incrementos máximos y promedio de fuerzas cortantes.**

*Fuente: Autor de tesis (2019).*

Luego de la comparación de los valores iniciales y finales, se obtiene una disminución del 33% y 34% en los valores de la fuerza cortante máxima y promedio respectivamente.



**Gráfico 8: Excentricidades por Ejes.**

*Fuente: Autor de tesis (2019).*

#### 4.2.4 ESFUERZOS CORTANTES

Posteriormente se estimó los esfuerzos cortantes que actúan en los elementos resistentes de las dos estructuraciones de cada una de las viviendas. Se detectó que en la estructuración inicial, existen muros que no cumplen con el esfuerzo admisible propuesto por el RNE - 2016; es por eso que se ha elaborado una tabla donde contabilice porcentualmente los muros que si lo cumplen.

Vivienda	Estructuración inicial		Estructuración final	
	Eje X	Eje Y	Eje X	Eje Y
Vivienda 01	67%	20%	100%	100%
Vivienda 02	20%	33%	100%	100%
Vivienda 03	25%	33%	100%	100%
Vivienda 04	40%	25%	100%	100%
Vivienda 05	100%	40%	100%	100%
<b>Promedio</b>	<b>50%</b>	<b>30%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

**Tabla 42: Muros iniciales (%) que cumplen el esfuerzo cortante admisible.**

*Fuente: Autor de tesis (2019).*

A partir del cuadro anterior, se puede observar que los muros iniciales en el Eje X cumplen la recomendación del RNE - 2016 en mayor medida que los muros iniciales del Eje Y, con valores del 50% y del 30% respectivamente.

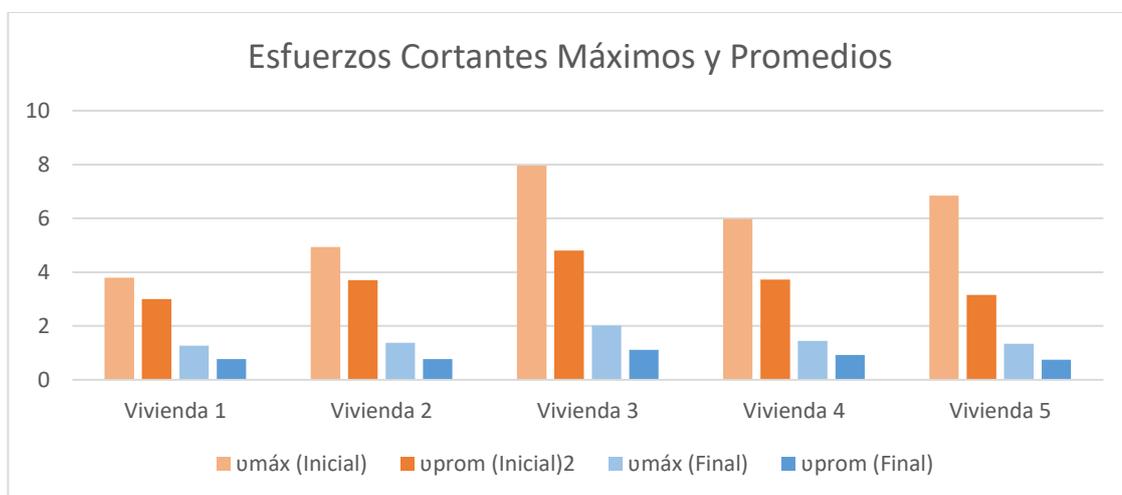
Además, se han volcado los valores máximos y promedio de los esfuerzos cortantes actuantes en la siguiente tabla:

Vivienda	Estructuración inicial		Estructuración final		Comparación	
	U <sub>máx</sub> (Tn)	U <sub>prom</sub> (Tn)	U <sub>máx</sub> (Tn)	U <sub>prom</sub> (Tn)	U <sub>máx</sub> (%)	U <sub>prom</sub> (%)
Vivienda 01	3.79	3.00	1.27	0.77	34%	26%
Vivienda 02	4.93	3.70	1.37	0.77	28%	21%
Vivienda 03	7.96	4.81	2.02	1.11	25%	23%
Vivienda 04	5.98	3.73	1.44	0.92	24%	25%
Vivienda 05	6.85	3.16	1.34	0.74	20%	23%
<b>Promedio</b>					<b>26%</b>	<b>24%</b>

**Tabla 43: Esfuerzos cortantes máximos y promedio en las viviendas.**

*Fuente: Autor de tesis (2019).*

Como se puede apreciar, en la estructuración final se ve una disminución de los esfuerzos cortantes máximo y promedio al 26% y al 24%, respectivamente, de los de la estructuración inicial.



**Gráfico 9: Esfuerzos Cortantes Máximos y Promedios.**

*Fuente: Autor de tesis (2019).*

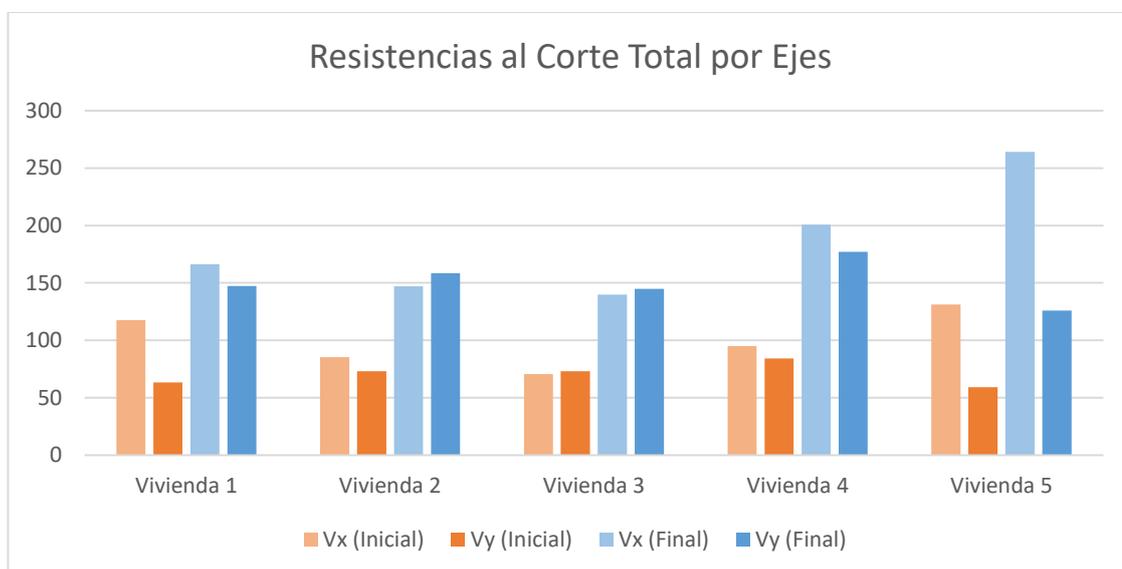
#### 4.2.5 RESISTENCIA AL CORTE TOTAL

Finalmente se estimó la resistencia al corte total en ambas situaciones: sin diseño sismo resistente, y con diseño sismo resistente, obteniéndose lo siguiente:

Vivienda	Estructuración inicial		Estructuración final		Comparación	
	Eje X (Tn)	Eje Y (Tn)	Eje X (Tn)	Eje Y (Tn)	Eje X (Tn)	Eje Y (Tn)
Vivienda 01	117.48	63.36	166.24	147.39	142%	233%
Vivienda 02	85.24	73.12	147.06	158.36	173%	217%
Vivienda 03	70.46	72.98	139.95	144.94	199%	199%
Vivienda 04	94.90	84.17	200.84	177.13	212%	210%
Vivienda 05	131.18	59.21	264.21	125.78	201%	212%
<b>Promedio</b>					<b>185%</b>	<b>214%</b>

**Tabla 44: Resistencias al corte total de las viviendas.**

*Fuente: Autor de tesis (2019).*



**Gráfico 10: Resistencias al Corte Total por Ejes.**

*Fuente: Autor de tesis (2019).*

Cabe señalar que en las estructuraciones iniciales, en muchas ocasiones, las resistencias al corte total son menores que las fuerzas cortantes actuantes en las viviendas. Es por eso que se elaboró la siguiente tabla, indicando con un aspa (✓) los que cumplen y con la letra equis (X) los que no lo cumplen:

Viviendas	Estructuración inicial		Estructuración final	
	Eje X	Eje Y	Eje X	Eje Y
Vivienda 01	✓	X	✓	✓
Vivienda 02	X	X	✓	✓
Vivienda 03	X	X	✓	✓
Vivienda 04	X	X	✓	✓
Vivienda 05	✓	X	✓	✓
<b>Total</b>	<b>40%</b>	<b>0%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

**Tabla 45: Viviendas que cumplen con la resistencia al corte total.**

*Fuente: Autor de tesis (2019).*

### 4.3 CORRELACIÓN DE VARIABLES

Según Mitacc (1988), la correlación es el método usado para determinar en qué medida están relacionadas dos variables. Esta correlación puede ser determinada mediante un gráfico llamado *Diagrama de Dispersión*, o también se puede recurrir al cálculo de un estadígrafo llamado *Coefficiente de Correlación*.

#### 4.3.1 DIAGRAMA DE DISPERSIÓN

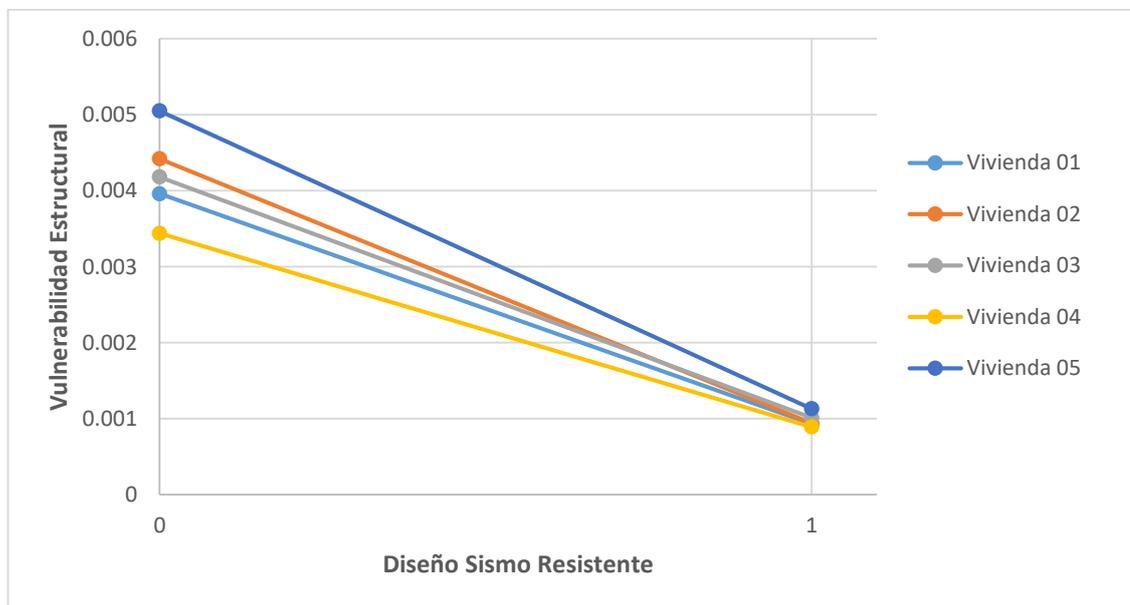
Para determinar el tipo de correlación que existe entre las variables se elabora un diagrama de dispersión con las siguientes consideraciones:

- La variable independiente **Diseño Sismo Resistente** tiene dos posibles valores para los siguientes casos:
  - Si la vivienda carece de diseño sismo resistente: 0
  - Si la vivienda cuenta con un diseño sismo resistente: 1
  
- La variable dependiente **Vulnerabilidad Estructural** está ligado directamente a la deriva máxima presente en la estructura, por lo que se tomará el valor de su deriva máxima como su representación.

Diseño Sismo Resistente	Vulnerabilidad Estructural
0	0.00396
	0.00442
	0.00418
	0.00344
	0.00505
1	0.00093
	0.00094
	0.00101
	0.00089
	0.00113

**Tabla 46: Valores de variables en diagrama de dispersión.**

*Fuente: Autor de tesis (2019).*



**Gráfico 11: Diagrama de dispersión con líneas de tendencias.**

*Fuente: Autor de tesis (2019).*

Según el Gráfico 11, uno puede observar que el comportamiento de las variables tiene una correlación *inversa o negativa*. Es decir, a mayores valores de la variable **Diseño sismo resistente** corresponden menores valores de la variable **Vulnerabilidad Estructural**.

#### 4.3.2 COEFICIENTE DE CORRELACIÓN

Sin embargo, también se puede estimar el grado de asociación que tienen dichas variables, a través de un número abstracto denominado *Coefficiente de Correlación*. Este coeficiente es calculado a partir de la siguiente expresión:

$$r = \frac{n \sum f_i x_i y_i - (\sum f_i x_i)(\sum f_i y_i)}{\sqrt{[n \sum f_i x_i^2 - (\sum f_i x_i)^2][n \sum f_i y_i^2 - (\sum f_i y_i)^2]}}$$

Cabe señalar que el valor de este coeficiente está comprendido entre -1 y 1. Los valores negativos indican una correlación inversa o negativa, mientras los valores positivos advierten una correlación directa o positiva. En caso de arrojar cero, significa que no existe ninguna asociación entre las dos variables.

Se elabora un cuadro que contenga los valores que intervienen en la expresión anterior.

DS	VE	f <sub>i</sub>	f <sub>i</sub> x <sub>i</sub>	f <sub>i</sub> y <sub>i</sub>	f <sub>i</sub> x <sub>i</sub> <sup>2</sup>	f <sub>i</sub> y <sub>i</sub> <sup>2</sup>	f <sub>i</sub> x <sub>i</sub> y <sub>i</sub>
0	0.00396	1	0	0.00396	0	0.000016	0.00000
0	0.00442	1	0	0.00442	0	0.000020	0.00000
0	0.00418	1	0	0.00418	0	0.000017	0.00000
0	0.00344	1	0	0.00344	0	0.000012	0.00000
0	0.00505	1	0	0.00505	0	0.000026	0.00000
1	0.00093	1	1	0.00093	1	0.000001	0.00093
1	0.00094	1	1	0.00094	1	0.000001	0.00094
1	0.00101	1	1	0.00101	1	0.000001	0.00101
1	0.00089	1	1	0.00089	1	0.000001	0.00089
1	0.00113	1	1	0.00113	1	0.000001	0.00113
<b>Total</b>		<b>10</b>	<b>5</b>	<b>0.02595</b>	<b>5</b>	<b>0.000095</b>	<b>0.00490</b>

**Tabla 47: Cálculo de Coeficiente de Correlación.**

*Fuente: Autor de tesis (2019).*

Reemplazando los valores en la fórmula anterior se obtiene:

$$r = \frac{10(0.00490) - (5)(0.02595)}{\sqrt{[10(5) - (5)^2][10(0.000095) - (0.02595)^2]}}$$

$$r = -0.9735$$

Por lo tanto, se obtiene un valor negativo muy cercano a -1, lo cual advierte una correlación inversa o negativa. Esto corrobora lo deducido en el diagrama de dispersión.

## **CAPÍTULO V**

### **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

A partir de los hallazgos encontrados, aceptamos la hipótesis general que establece que la aplicación de un diseño sismo resistente disminuye la vulnerabilidad estructural de las viviendas del AA.HH. El Progreso del distrito de Carabaylo.

Estos resultados guardan relación con lo que sostienen Tito (2018), Laucata (2013) y Retis (2015), quienes señalan que las viviendas informales son muy vulnerables a los sismos. Además, estos autores expresan en sus investigaciones que la manera de mejorar significativamente el nivel de vulnerabilidad estructural en viviendas autoconstruidas, es a través de un adecuado diseño sismo resistente que las refuerce. Ello es acorde con lo que en este estudio se halla.

Sin embargo, existe un aspecto discordante entre el estudio de los autores referidos con el presente, el método empleado para estimar el nivel de vulnerabilidad; lo cual impide la comparación numérica de los resultados obtenidos.

## **CAPÍTULO VI**

### **CONCLUSIONES**

En la presente investigación se concluye que la aplicación de un diseño sismo resistente disminuye la vulnerabilidad estructural de las viviendas del AA.HH. El Progreso del distrito de Carabaylo; según las Tablas 37 y 38, hasta en un 30% y 24% de la vulnerabilidad inicial en los ejes X y Y respectivamente.

Asimismo se concluye que la vulnerabilidad estructural de las viviendas del AA.HH. El Progreso del distrito de Carabaylo, que carezcan de un diseño sismo resistente, es alta. Según el Gráfico 5, el 40% de las viviendas en estudio inicialmente presentan una vulnerabilidad moderada y el 60% una vulnerabilidad severa, ambos valores en su eje X, mientras que en el eje Y el 80% de las viviendas presentan una vulnerabilidad severa y el 20% una vulnerabilidad categorizada como colapso.

Además, el estudio concluye que la vulnerabilidad estructural de las viviendas del AA.HH. El Progreso del distrito de Carabaylo, luego de la aplicación de un diseño sismo resistente es baja. Tal es así que, según el Gráfico 5, el 100% de las viviendas obtienen una vulnerabilidad ligera en sus dos ejes principales.

Por otro lado, se concluye que las viviendas que carezcan de un diseño sismo resistente presentan rigideces laterales muy bajas. Sin embargo, las viviendas que cuentan con un adecuado diseño sismo resistente presentan rigideces laterales más altas. En la Tabla 39 se puede observar que el valor de las rigideces aumentan hasta alcanzar valores del 352% y 422% en los Ejes X y Y respectivamente, de los valores iniciales.

Según la Tabla 40, las excentricidades disminuyen a un 18% y 22% en promedio de los valores iniciales en los ejes X y Y respectivamente. Por lo tanto se concluye que

el planteamiento de un adecuado diseño sismo resistente tiende a amenorar las excentricidades.

Los incrementos de las fuerzas cortantes también son disminuidos debido a la disminución de las excentricidades, ya que están relacionadas directamente. Como se puede notar en la Tabla 41, los máximos incrementos de las fuerzas cortantes disminuyen en promedio hasta en un 33% con respecto a su valor inicial, y los incrementos promedio de las fuerzas cortantes disminuyen hasta en un 34%.

Se ha detectado que no todos los muros portantes de la estructuración inicial de las viviendas cumplen con los esfuerzos cortantes admisibles indicados en el E.070. Según la Tabla 42, en promedio, solo las cumplen el 50% y el 30% de los muros portantes en los ejes X y Y respectivamente. Caso contrario ocurre con las viviendas que cuentan con un diseño sismo resistente, ya que todos sus muros portantes si cumplen con dicha recomendación.

Los resultados indicados en la Tabla 44 deja claramente en evidencia que la aplicación de un diseño sismo resistente en las viviendas en estudio aumentan la resistencia al corte total, en promedio, hasta en un 185% y 214% (en el eje X y Y respectivamente) de las resistencias iniciales. Además, según la Tabla 44, solo el 40% de las viviendas estudiadas cumplen con la resistencia al corte total en el eje X, mientras que ninguna cumple en el eje Y.

## **CAPÍTULO VII**

### **RECOMENDACIONES**

Se recomienda informar a la población en general, a través de instituciones públicas o privadas, de las altas probabilidades de ocurrir un evento sísmico en la zona en la que vivimos, y que el nivel de daño que podría generarse está en función del nivel de la vulnerabilidad estructural que presentan nuestras viviendas.

Se recomienda a las autoridades de turno, brindar asesorías a los propietarios y capacitaciones constantes a trabajadores del sector construcción, con la finalidad de fomentar en nuestro país viviendas seguras.

Se recomienda que se realicen capacitaciones orientados a la correcta construcción de los muros portantes conociendo la calidad de las unidades de albañilería a emplear; ya que es el tipo de elemento estructural que predomina en la mayoría de las viviendas.

Se recomienda a la Municipalidad distrital de Carabayllo elaborar un plan de emergencia para el AA.HH. El Progreso, que considere zonas de refugio para las familias perjudicadas, post evento, y un presupuesto para la reparación de las viviendas más afectadas.

Se recomienda a los futuros investigadores que extiendan el presente estudio considerando nuevas tipologías estructurales y viviendas que tengan otros usos, dentro de la misma zona de estudio.

Se recomienda aumentar en las dos direcciones de la estructura la cantidad de los muros portantes, principalmente del eje transversal. Esto permitirá aumentar la rigidez

y la resistencia global de la vivienda. Estos muros deben estar arriostrados vertical y horizontalmente, mediante vigas soleras y columnetas de amarre.

Se recomienda la reparación inmediata de los muros portantes de albañilería con daños visibles.

Se recomienda emplear unidades de albañilería industriales en viviendas de dos pisos, ya que otorga mayor resistencia a comparación de los ladrillos artesanales.

Se recomienda utilizar en morteros cemento portland, arena gruesa y agua potable, todas libre de impurezas. Además, el espesor mínimo del mortero debe ser de 1 cm, y máximo, de 1.5 cm.

## **CAPÍTULO VIII**

### **REFERENCIAS**

- Abanto, T. F. (2015). *Análisis y Diseño de Edificaciones de Albañilería*. Lima, Perú: Editorial San Marcos EIRL.
- Alonso, J. L. (2014). *Vulnerabilidad sísmica de edificaciones*. Caracas, Venezuela: PAG Marketing Soluciones.
- Andrade I., L. E., Pastor D., A. E. (2004). *Control de la deriva en las normas de diseño sismorresistente*. (Tesis Pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú). Recuperado de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/160>
- Arias, F. (2012). *El Proyecto de Investigación*. Caracas, Venezuela: Editorial Episteme.
- Barrera, O. E., Nieves, O. D. (2015). *Determinación de la vulnerabilidad en las casas coloniales ubicadas en el barrio de San Diego de la ciudad de Cartagena*. (Tesis Pregrado, Universidad de Cartagena, Bolívar, Colombia). Recuperado de <http://190.242.62.234:8080/jspui/handle/11227/2069>
- Beer, F. P., Johnston, E. R., De Wolf, J. T. (2007). *Mecánica de Materiales*. Distrito Federal de México, México: McGraw-Hill.
- Benedetti, D., Petrini, V. (1984). *Sulla Vulnerabilità Sísmica di Edifici in Muratura: Prioste di un Método di Valutazione*. Roma, Italia: Lindustria delle Costruzioni.

- Bonett, R. L. (2003). *Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada*. (Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España). Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/93542>
- Borda M., L. M. (2007). *Desempeño sísmico de un edificio aporticado peruano de seis pisos*. (Tesis Pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú). Recuperado de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/974>
- Borjas, M. (2012). *Metodología de la Investigación Científica para Ingenieros*. (Ebook en formato .pdf, Chiclayo, Perú). Recuperado de <http://unprg.academia.edu/ManuelBorjaSu%C3%A1rez>
- Cárdenas, L. A. (2008). *Análisis de Vulnerabilidad Estructural del Hotel Comercio*. (Tesis Pregrado, Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú). Recuperado de <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/urp/123>
- Centro de Estudios y Prevención de Desastres - PREDES (13 de enero de 2019). *Proyecto de apoyo a la población de Rioja y Moyobamba en las acciones de Reconstrucción, 1990*. Recuperado de [http://www.predes.org.pe/predes/p\\_moyobamba.htm](http://www.predes.org.pe/predes/p_moyobamba.htm)
- Chevarría, D. (2014). *Análisis y Diseño Estructural sismorresistente por el método de Elementos Finitos: Pabellón de aulas I.E.S. Charamaya – Mañazo*. (Tesis Pregrado, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú). Recuperado de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4552>
- Crispieri, A. A. (2011). *Caracterización y Diagnóstico Sísmico de las viviendas sociales de albañilería de la ciudad de Arica*. (Tesis Pregrado, Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile). Recuperado de <http://www.repositorio.uchile.cl/handle/2250/104088>
- Cueva, Ch. A. (2017). *Vulnerabilidad Sísmica del edificio de la Facultad de Filosofía, Comercio y Administración de la UCE con la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC SE-RE 2015)*. (Tesis Pregrado, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador). Recuperado de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/9605>

- Escamilo, J. P. (2017). *Diseño Estructural de una edificación de albañilería confinada de 8 pisos en la ciudad de Trujillo, La Libertad*. (Tesis Pregrado, Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú). Recuperado de <http://repositorio.upao.edu.pe/handle/upaorep/3587>
- FEMA (sf). *Multi-Hazard Loss Estimation Methodology Earthquake Model*. (Manual técnico en formato .pdf, Washington D.C., EE.UU.). Recuperado de <https://www.fema.gov/media-library/assets/documents/24609>
- Fortich G., C. C., López H., L. A. (2016). *Determinación de la vulnerabilidad en las estructuras ubicadas en casas coloniales en el barrio Getsemaní de la ciudad de Cartagena*. (Tesis Pregrado, Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia). Recuperado de <http://190.242.62.234:8080/jspui/handle/11227/3724>
- Gallegos, H. (1986). *Conceptos estructurales: índice de calidad estructural sismo – resistente*. Lima, Perú: PUCP. Facultad de Ciencias e Ingeniería.
- Guevara H., D. N., Torres A., P. O. (2012). *Diseño de un edificio con amortiguadores de fluido viscoso en disposición diagonal*. (Tesis Pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú). Recuperado de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/1477>
- Haindl, M. Ch. (2014). *Evaluación del desempeño sísmico de una vivienda de muros de hormigón armado*. (Tesis magistral, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile, Chile). Recuperado de <https://repositorio.uc.cl/handle/11534/16578>
- Hibbeler, R. C. (1997). *Análisis Estructural*. Naucalpan de Juárez, México: Prentice Hall Hispanoamericana S.A.
- Hurtado O., V. J., León M., A. C. (2008). *Implementación del modelo de índice de vulnerabilidad ajustado a una edificación histórica con estructura de varios materiales*. (Tesis Pregrado, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia). Recuperado de [http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/pags/cat/popup/pa\\_detalle\\_matbib.jsp?para metros=147849|%20|1|1](http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/pags/cat/popup/pa_detalle_matbib.jsp?para metros=147849|%20|1|1)

- Indeci (2019). *Compendio Estadístico de Prevención y Atención de Desastres*. (Informe en formato .pdf, Lima, Perú). Recuperado de [https://www.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2019/01/doc322\\_7.pdf](https://www.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2019/01/doc322_7.pdf)
- Iparraquirre G., L. A. (2018). *Evaluación de Vulnerabilidad Sísmica en las viviendas autoconstruidas de albañilería, en el sector central Barrio 2 distrito de El Porvenir, 2018*. (Tesis Pregrado, Universidad Privada del Norte, Lima, Perú). Recuperado de <http://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/14970>
- Laucata, J. E. (2013). *Análisis de la vulnerabilidad sísmica de las viviendas informales en la ciudad de Trujillo*. (Tesis Pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú). Recuperado de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/4967>
- Lira A., L. L. (2008). *Estimación de un escenario de daños por terremotos en la parroquia Domingo Peña, Municipio Libertador de la Ciudad de Mérida*. (Tesis Pregrado, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela). Recuperado de <http://bdigital.ula.ve/documento/3615>
- Lourenco, P. B., Roque, J. A. (2006). *Simplified indexes for the seismic vulnerability of ancient masonry buildings*. (Artículo, Universidad del Miño, Braga, Portugal). Recuperado de <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/6874>
- Maldonado R., E., Gómez A., I. D., Chio C., G. (2008). *Funciones de vulnerabilidad y matrices de probabilidad de daño sísmico para edificaciones de mampostería utilizando técnicas de simulación*. (Artículo, Revista DYNA Vol. 75 N° 155 p. 63-76, Universidad Nacional de Colombia (Sede Medellín), Medellín, Colombia). Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/1741/11579>
- Maldonado R., E., Gómez A., I. D., Chio C., G. (2008). *Simulación de funciones de vulnerabilidad y matrices de probabilidad de daño sísmico para edificaciones de hormigón armado en sistema pórtico*. (Artículo, Revista Ingeniería e Investigación Vol. 28 N° 3 p. 28-40, Santander, Colombia). Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ingevinv/article/view/15117>
- Mestanza, J. C. (2017). *Diseño Sísmico de las viviendas construídas por el programa Techo Propio en la provincia de San Marcos, 2017*. (Tesis Pregrado,

- Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú). Recuperado de <http://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/12674>
- Ministerio de Salud (2007). *Informe al 21 de septiembre*. (Informe en formato .doc, Lima, Perú). Recuperado de [ftp://ftp2.minsa.gob.pe/descargas/Especiales/2007/unidos/informe6set/Informe\\_21\\_setiembre.pdf](ftp://ftp2.minsa.gob.pe/descargas/Especiales/2007/unidos/informe6set/Informe_21_setiembre.pdf)
- Mitacc, M. (1989). *Tópicos de Estadística Descriptiva y Probabilidad*. Lima, Perú: Editorial San Marcos.
- Morales, R. M. (2016). *Diseño en Concreto Armado*. Lima, Perú: ICG, Instituto de la Construcción y Gerencia.
- Municipalidad Distrital de Carabayllo (2016). *Plan de Desarrollo Local Concertado del Distrito de Carabayllo al 2021*. (Informe en formato .pdf, Lima, Perú). Recuperado de <http://www.municarabayllo.gob.pe:8088/transparencia/PDCL-2017-2021.pdf>
- Municipalidad distrital de Carabayllo (28 de Junio de 2018). *Ficha técnica del distrito*. Recuperado de <http://www.municarabayllo.gob.pe/Distrito>
- Nervi L., M. (2017). *Análisis de la vulnerabilidad sísmica en viviendas de albañilería confinada según la norma E – 070 del RNE en la Ciudad de Juliaca, Puno*. (Tesis Pregrado, Universidad Peruana Unión, Puno, Perú). Recuperado de <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/940>
- Núñez C., M. A. (2010). *Análisis de los daños provocados por el terremoto del 27 de febrero de 2010 a los edificios de Villa Cordillera, Comuna de Rancagua*. (Tesis Pregrado, Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile). Recuperado de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/103907>
- Ortega, J. E. (2015). *Diseño de Estructuras de Concreto Armado. Tomo I*. Lima, Perú: Empresa Editora Macro EIRL.
- Peralta B., H. A. (2002). *Escenarios de vulnerabilidad y daño sísmico de las edificaciones de mampostería de uno y dos pisos en el barrio San Antonio, Cali*,

- Colombia. (Tesis Pregrado, Universidad del Valle, Cali, Colombia). Recuperado de [http://www.osso.org.co/docu/tesis/2002/escenarios/cap5\\_rev.pdf](http://www.osso.org.co/docu/tesis/2002/escenarios/cap5_rev.pdf)
- Quiun W., D. (s.f.). *Criterios para construcciones de ladrillo más seguras*. (Artículo en formato .pdf, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú). Recuperado de <http://www.acerosarequipa.com/fileadmin/templates/AcerosCorporacion/docs/Destacados-img/destacados/Aceros%20Aqp-%20ICA%20Alba%20Fileria.pdf>
- Retis, R. A. (2015). *Determinación de los Índices de Vulnerabilidad Estructural de edificaciones de albañilería confinada, empleando el método japonés*. (Tesis Pregrado, Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú). Recuperado de <http://cybertesis.urp.edu.pe/handle/urp/1162>
- Safina M., S. (2002). *Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Análisis de su contribución al riesgo sísmico*. (Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España). Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/93538>
- Salvador, S. M. (2002). *Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales, análisis de su contribución al riesgo sísmico*. (Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España). Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/93538>
- Sampieri, R. (2014). *Metodología de la investigación*. Distrito Federal, México: McGraw-Hill.
- Tejedor, C. M. (2016). *Análisis sismo resistente de una vivienda de hormigón armado de dos plantas altas situado al oeste en la parroquia Jambelí*. (Tesis Pregrado, Universidad Técnica de Machala, El Oro, Ecuador). Recuperado de <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/7980>
- Tito V., K. (2018). *Vulnerabilidad sísmica de viviendas autoconstruidas mediante la aplicación del modelo estático no lineal en la Av. El Parral, Comas*. (Tesis Pregrado, Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú). Recuperado de <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/19527>

Vásquez, O. (2016). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima, Perú: Oscar Vásquez Bustamante.

Yépez, F., Barbat, A. H., Canas, J. A. (1995). *Riesgo, Peligrosidad y vulnerabilidad sísmica de edificios de Mampostería*. Barcelona, España: Los Autores.

## CAPÍTULO IX

### ANEXOS

#### ANEXO I

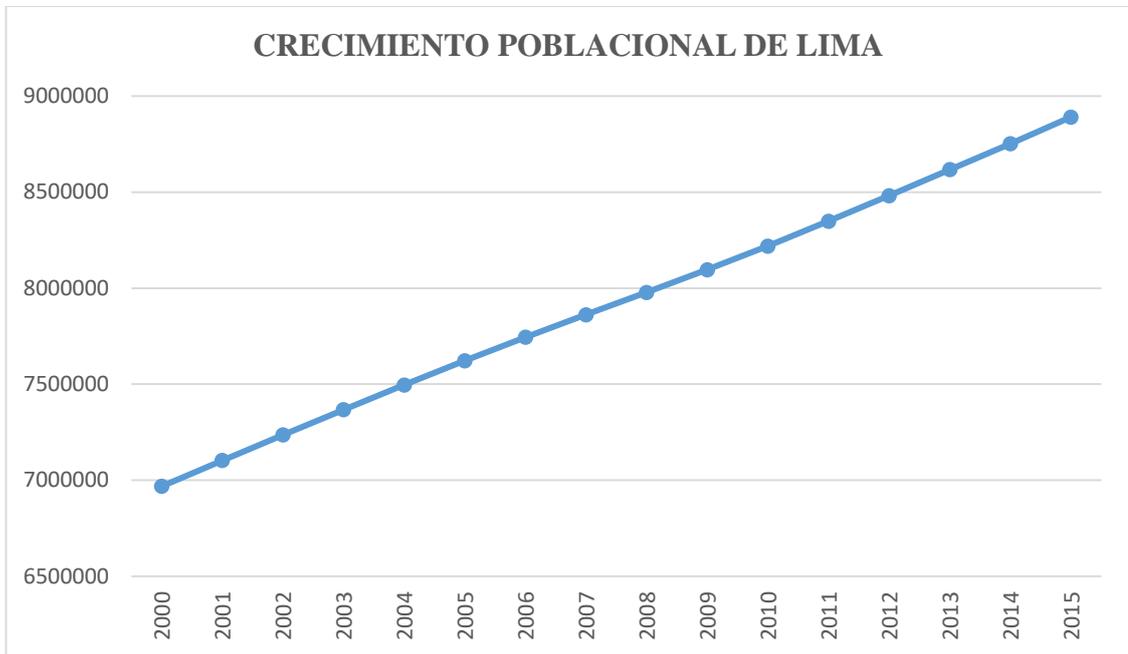
#### POBLACIÓN DE LIMA

A través del INEI, se obtuvo las últimas estimaciones anuales de la población limeña, la cual se presenta a continuación:

Población de Lima			
Año	Población	Año	Población
2000	6968339	2008	7977709
2001	7103087	2009	8095747
2002	7236194	2010	8219116
2003	7367376	2011	8348403
2004	7496342	2012	8481415
2005	7622792	2013	8617314
2006	7744537	2014	8751741
2007	7861745	2015	8890792

**Tabla 48: Población de Lima, desde el año 2000 al 2015.**

*Fuente: INEI (2018).*



**Gráfico 12: Crecimiento poblacional de Lima, desde el año 2000 al 2015.**

*Fuente: Autor de tesis (2018).*

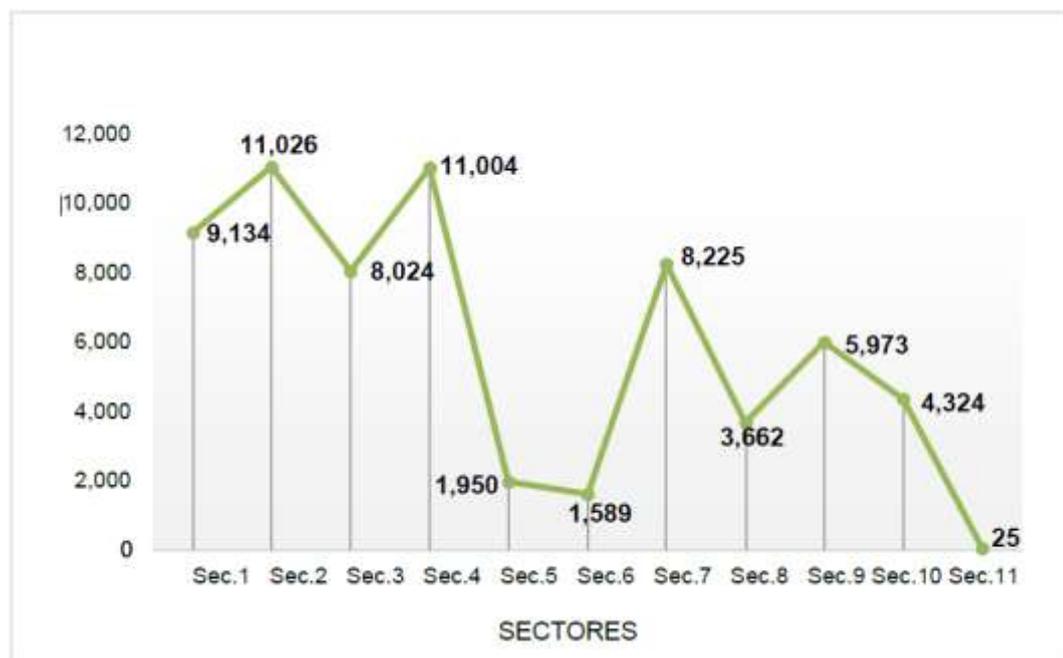
## ANEXO II

### POBLACIÓN DEL AA.HH. EL PROGRESO, CARABAYLLO

Para el cálculo de la población del AA.HH. El Progreso del distrito de Carabayllo, se requiere conocer dos factores:

- La densidad poblacional
- El área del AA.HH. El Progreso

Según La Municipalidad Distrital de Carabayllo (2016), en su informe llamado “Plan de Desarrollo Local Concertado del Distrito de Carabayllo al 2021”, se obtiene la Densidad Poblacional por sectores la cual se muestra en el gráfico siguiente:

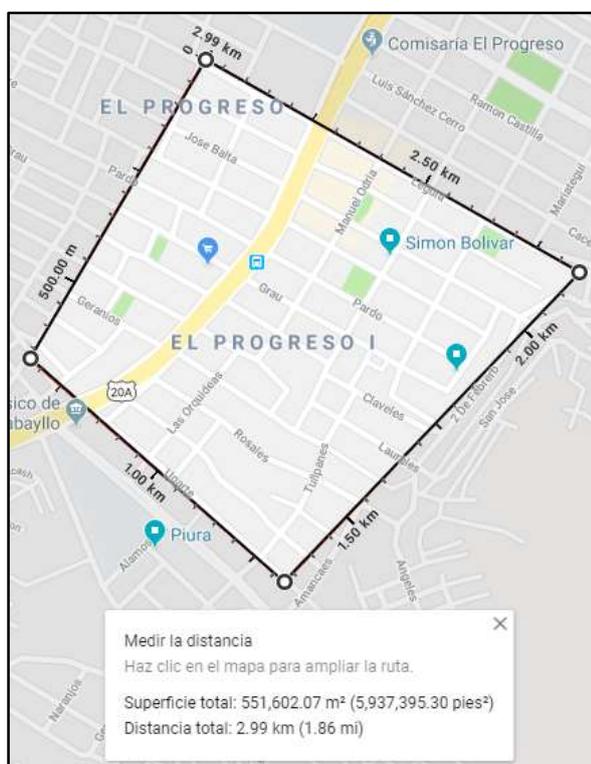


**Gráfico 13: Densidad poblacional según el sector del distrito.**

*Fuente: Municipalidad distrital de Carabayllo (2018).*

El AA.HH. El Progreso se encuentra en el Sector 3, como se puede apreciar en el siguiente plano:





**Figura 15: Cálculo del área de la zona de estudio.**

*Fuente: Herramienta de Google Maps (2018).*

La superficie calculada, según Google Maps, es 551 602.07 m<sup>2</sup>, equivalente a 0.55 km<sup>2</sup>.

El cálculo de la cantidad de habitantes se realizará mediante el producto de los valores de la Densidad Poblacional y el área de la superficie en estudio, como se muestra a continuación:

$$Población = Densidad Poblacional \times Área de Superficie$$

$$Población = 8024 \frac{hab}{km^2} \times 0.55 km^2 = 4426 hab$$

Por lo tanto, la población estimada en el AA.HH. El Progreso del distrito de Carabayllo asciende a 4426 habitantes.

### ANEXO III

#### MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: VULNERABILIDAD ESTRUCTURA Y DISEÑO SISMO RESISTENTE EN LAS VIVIENDAS DEL AA.HH. EL PROGRESO DEL DISTRITO DE CARABAYLLO					
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	ÍTEMS
<p><b>Problema General</b></p> <p>¿Cómo varía la vulnerabilidad estructural de las viviendas del AA.HH. El Progreso del distrito de Carabayllo al aplicar un diseño sismo resistente en aquellas que la carecen?</p>	<p><b>Objetivo General</b></p> <p>Determinar la variación de la vulnerabilidad estructural de las viviendas del AA.HH. El Progreso del distrito de Carabayllo al aplicar un diseño sismo resistente en aquellas que la carecen, a través de una comparativa porcentual.</p>	<p><b>Hipótesis General</b></p> <p>La aplicación de un diseño sismo resistente disminuye la vulnerabilidad estructural de las viviendas del AA.HH. El Progreso del distrito de Carabayllo.</p>	<p>Diseño sismo resistente</p> <p><b>(Variable Independiente)</b></p>	<p>Nivel de intervención</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ausente</li> <li>- Presente</li> </ul>
<p><b>Problemas específicos</b></p> <p>¿Cuál es el nivel de daño post terremoto de las viviendas del AA.HH. El Progreso del distrito de Carabayllo que no tengan un diseño sismo resistente?</p>	<p><b>Objetivos específicos</b></p> <p>Determinar el nivel de daño post terremoto de las viviendas del AA.HH. El Progreso del distrito de Carabayllo que no tengan un diseño sismo resistente a través del uso de la Matriz de Daños planteada por Zavala, Carlos (2016).</p>	<p><b>Hipótesis específicas</b></p> <p>El nivel de daño post terremoto de las viviendas del AA.HH. El Progreso del distrito de Carabayllo que no tengan un diseño sismo resistente es alto.</p>	<p>Vulnerabilidad estructural</p> <p><b>(Variable Dependiente)</b></p>	<p>Nivel de daño</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ligero</li> <li>- Moderado</li> <li>- Severo</li> <li>- Colapso</li> </ul>
<p>¿Cuál es el nivel de daño post terremoto de las viviendas del AA.HH. El Progreso del distrito de Carabayllo que si tengan un diseño sismo resistente?</p>	<p>Determinar el nivel de daño post terremoto de las viviendas del AA.HH. El Progreso del distrito de Carabayllo que si tengan un diseño sismo resistente a través del uso de la Matriz de Daños planteada por Zavala, Carlos (2016).</p>	<p>El nivel de daño post terremoto de las viviendas del AA.HH. El Progreso del distrito de Carabayllo que si tengan un diseño sismo resistente es bajo.</p>			

**Tabla 49: Matriz de Consistencia.**

*Fuente: Autor de tesis (2018).*

## **ANEXO IV**

### **FICHAS TÉCNICAS**

Las fichas técnicas se mostrarán acorde a la siguiente relación:

- Ficha de Campo: Vivienda N° 01.
- Ficha de Reporte: Vivienda N° 01.
  
- Ficha de Campo: Vivienda N° 02.
- Ficha de Reporte: Vivienda N° 02.
  
- Ficha de Campo: Vivienda N° 03.
- Ficha de Reporte: Vivienda N° 03.
  
- Ficha de Campo: Vivienda N° 04.
- Ficha de Reporte: Vivienda N° 04.
  
- Ficha de Campo: Vivienda N° 05.
- Ficha de Reporte: Vivienda N° 05.

## **ANEXO V**

### **PLANOS DE VIVIENDAS**

La siguiente relación de planos se presenta desde la siguiente página:

- Plano A-01: Plano de Arquitectura - Vivienda N° 01.
- Plano E-01: Plano de Estructuras - Vivienda N° 01.
  
- Plano A-02: Plano de Arquitectura - Vivienda N° 02.
- Plano E-02: Plano de Estructuras - Vivienda N° 02.
  
- Plano A-03: Plano de Arquitectura - Vivienda N° 03.
- Plano E-03: Plano de Estructuras - Vivienda N° 03.
  
- Plano A-04: Plano de Arquitectura - Vivienda N° 04.
- Plano E-04: Plano de Estructuras - Vivienda N° 04.
  
- Plano A-05: Plano de Arquitectura - Vivienda N° 05.
- Plano E-05: Plano de Estructuras - Vivienda N° 05.