

**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TEMA:**

**Evaluación estructural de un edificio de tres pisos y  
propuesta de rehabilitación con hormigón armado.**

**AUTOR**

**Quintana Jarrín Andrés Eduardo**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de  
INGENIERO CIVIL**

**TUTOR:**

**Ing. José Andrés Barros Cabezas, M.Sc.**

**Guayaquil, Ecuador**

**11 de marzo el 2022**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

## **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Quintana Jarrín, Andrés Eduardo**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

### **TUTOR**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. José Andrés Barros Cabezas M. Sc.**

### **DIRECTORA DE LA CARRERA**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Stefany Esther Alcívar Bastidas, M. Sc.**

**Guayaquil, a los 11 del mes de marzo del año 2022**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

## **DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Quintana Jarrín, Andrés Quintana**

### **DECLARO QUE:**

El Trabajo de Titulación, **Evaluación estructural de un edificio de tres pisos y propuesta de rehabilitación con hormigón armado**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

**Guayaquil, a los 11 del mes de marzo del año 2022**

### **EL AUTOR**

f. \_\_\_\_\_  
**Quintana Jarrín, Andrés Eduardo**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

## **AUTORIZACIÓN**

Yo, **Quintana Jarrín, Andrés Eduardo**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Evaluación estructural de un edificio de tres pisos y propuesta de rehabilitación con hormigón armado**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, a los 11 del mes de marzo del año 2022**

**EL AUTOR**

f. \_\_\_\_\_  
**Quintana Jarrín, Andrés Eduardo**

# REPORTE URKUND



## Document Information

Analyzed document	QUINTANA_ANDRES_FINAL.pdf (D129754354)
Submitted	2022-03-08T12:41:00.0000000
Submitted by	
Submitter email	clara.glas@cu.ucsg.edu.ec
Similarity	6%
Analysis address	clara.glas.ucsg@analysis.orkund.com

## Sources included in the report

<b>SA</b>	<b>Universidad Católica de Santiago de Guayaquil / Guido_Bayas.docx</b> Document Guido_Bayas.docx (D129371493) Submitted by: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec Receiver: clara.glas.ucsg@analysis.orkund.com	 9
<b>W</b>	URL: <a href="https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20314/1/CD%209782.pdf">https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20314/1/CD%209782.pdf</a> Fetched: 2021-12-04T09:21:51.5470000	 1
<b>W</b>	URL: <a href="https://maestros.ugr.es/geomet/pages/info_academica/asig/zonifica#:~:text=La%20microzonificaci%C3%B3n%20s%C3%ADmica%20consiste%20en,la%20construcci%C3%B3n%20de%20edificaciones%20sismorresistentes.">https://maestros.ugr.es/geomet/pages/info_academica/asig/zonifica#:~:text=La%20microzonificaci%C3%B3n%20s%C3%ADmica%20consiste%20en,la%20construcci%C3%B3n%20de%20edificaciones%20sismorresistentes.</a> Fetched: 2022-03-08T12:41:00.0000000	 2
<b>W</b>	URL: <a href="https://www.amiralkhalvati.com/wp-content/uploads/2021/11/ASCE-41-17-Sabzsaze.pdf">https://www.amiralkhalvati.com/wp-content/uploads/2021/11/ASCE-41-17-Sabzsaze.pdf</a> Fetched: 2022-03-08T12:41:46.2670000	 1

## **AGRADECIMIENTO**

Primero agradezco a Dios por haberme dado las fuerzas, inteligencia y sabiduría para poder culminar mis estudios universitarios.

A mis padres, que siempre han sido mi apoyo incondicional, ayudándome a siempre ser mejor persona cada día, quiero darles gracias por dejarme seguir los sueños que tengo a futuro y por sus consejos para seguir adelante en mi vida profesional.

A mi hermana, que siempre me ha ayudado con el sustento, por ser mi apoyo en todo y siempre ver las cosas de una manera diferente por más difíciles que sean, verlas de un modo más amplio y no perder el control.

A mi novia Domenica Bolaños, por siempre impulsarme a seguir en la carrera cuando había momentos en donde quería dejarla, por sus consejos para siempre crecer como persona, por su amor ya que hubo momentos en donde no quería seguir y gracias a su cálida compañía que me ha ayudado a través de todos estos años, por siempre haberme ayudado cuando necesitaba consejos para hacer trabajos de presentación y desarrollarlos de manera profesional.

A mi tutor de tesis, el Ing. José Andrés Barros Cabezas M. S.c. Por tener paciencia y haberme otorgado conocimientos con criterios excepcionales, desde la materia de resistencia de materiales 1 hasta mi trabajo de titulación, me ha demostrado que es una persona agradable, confiable y con criterio excelente.

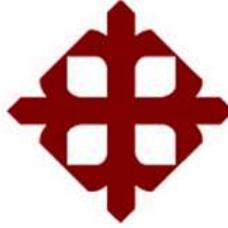
**Andrés Eduardo Quintana Jarrín.**

## **DEDICATORIA**

Primeramente, a Dios por ser mi pilar fundamental en mi vida y por brindarme salud y paz a lo largo de toda mi carrera.

Quiero dedicar este trabajo de titulación a mi familia que sin su ayuda tanto económica como apoyo emocional no hubiera podido terminar este trabajo de titulación, esto va por ustedes ya que siempre me han aconsejado en todo momento.

**Andrés Eduardo Quintana Jarrín.**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. José Andrés Barros Cabezas, M. Sc.**

TUTOR

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Stefany Esther Alcívar Bastidas, M. Sc**

DIRECTORA DE. CARRERA

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Guillermo Ponce Vásquez, RE M.Sc.**

DOCENTE DE LA CARRERA

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Jaime Francisco Hernández Barredo, M. Sc.**

OPONENTE

# ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	2
CAPÍTULO 1 .....	4
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA .....	4
1.2. OBJETIVO GENERAL.....	4
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	4
CAPÍTULO II.....	5
2.1. MARCO TEÓRICO .....	5
2.1.1. MUROS DE HORMIGÓN ARMADO (H.A).....	5
2.2. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN .....	6
2.2.1. ESCLEROMETRÍA .....	10
2.2.2. FACTOR DE CONOCIMIENTO “K” .....	12
2.3. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE EVALUACIÓN .....	13
2.4. CONSIDERACIONES DE ANÁLISIS.....	15
2.5. DETERMINACIÓN DE PERÍODO .....	16
2.6. DETERMINACIÓN DE FUERZAS.....	16
2.6.1. FUERZAS DE DIAFRAGMA PARA ANÁLISIS LINEAL ESTÁTICO (LSP). 19	
2.7. CRITERIO DE ACEPTACIÓN .....	20
2.8. CAPACIDADES DE LOS COMPONENTES.....	22
2.9. RIGIDEZ EFECTIVA.....	23
2.10. FACTORES “M” PARA EVALUACIÓN DE VIGAS, COLUMNAS Y UNIONES.....	23
2.11. MUROS ESTRUCTURALES DE HORMIGÓN.....	25
CAPÍTULO III .....	28
3.1. RESULTADOS .....	28

3.2.	TIPO DE SUELO DE LA ESTRUCTURA .....	28
3.3.	EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN ACTUAL.....	31
3.4.	DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN.....	40
3.5.	PROPUESTA DE METODOLOGÍA DE REHABILITACIÓN CON MUROS DE HORMIGÓN ARMADO. ....	40
3.5.1.	DISEÑO DE MURO DE HORMIGÓN ARMADO.....	43
3.5.2.	REVISIÓN SEGÚN NORMA ASCE 41-17 DE MUROS ESTRUCTURALES .....	52
3.5.3.	DISEÑO DE CIMENTACIÓN .....	54
3.6.	CANTIDADES ESTIMADAS PARA EMPLEAR LA REHABILITACIÓN .....	58
	CAPÍTULO IV.....	58
4.1.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	58
	ANEXOS.....	60

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1</b> Fachada de residencia Macías Villamar .....	3
<b>Ilustración 2</b> Fuerzas actuantes en muros de hormigón.....	5
<b>Ilustración 3</b> Picado de columna C4.....	6
<b>Ilustración 4</b> Acero de refuerzo de columna C4. ....	7
<b>Ilustración 5</b> Acero de refuerzo en viga de cimentación.....	7
<b>Ilustración 6</b> Plano Estructural de la edificación.....	8
<b>Ilustración 7.</b> Vista lateral de la estructura. ....	9
<b>Ilustración 8</b> Ensayo con esclerómetro a columna C8. ....	11
<b>Ilustración 9</b> Ensayo con esclerómetro a columna C14. ....	11
<b>Ilustración 10</b> Discontinuidad en plano en sistema sismorresistente. ....	14
<b>Ilustración 11</b> Edificación típica con irregularidad de desplazamiento fuera del plano. ....	14
<b>Ilustración 12</b> Curvas de componentes de fuerzas vs deformación. ....	20
<b>Ilustración 13</b> Clasificación de articulaciones.....	26
<b>Ilustración 14</b> Trazado de ejes para delimitar la zona de la residencia.....	29
<b>Ilustración 15</b> Equivalencias NEC-15 tipo de suelos.....	29
<b>Ilustración 16</b> Espectro de diseño para dicha zona.....	31
<b>Ilustración 17</b> Pórticos de coordenadas en x. ....	32
<b>Ilustración 18</b> Pórticos de coordenadas en eje Y. ....	32
<b>Ilustración 19</b> Cortante basal de diseño ( $V_b$ ). ....	33
<b>Ilustración 20</b> Condiciones para hallar K.....	34

<b>Ilustración 21</b>	Distribución de Fuerza sísmica por piso. ....	35
<b>Ilustración 22</b>	Fórmula de fuerza sísmica ( $F_x$ ). ....	35
<b>Ilustración 23</b>	Valores obtenidos del eje x de la condición actual de la estructura. ....	36
<b>Ilustración 24</b>	Valores obtenidos en eje y de la condición actual de la estructura. ....	37
<b>Ilustración 25</b>	Factor "m" seleccionado para evaluación. ....	38
<b>Ilustración 26</b>	Factor "m" seleccionado para evaluación. ....	39
<b>Ilustración 27</b>	Ubicación de muros estructurales de hormigón armado en planta baja. ....	41
<b>Ilustración 28</b>	Ubicación de muros estructurales de hormigón armado en primer nivel. ....	42
<b>Ilustración 29</b>	Factor R para muros estructurales. ....	43
<b>Ilustración 30</b>	Fuerzas sísmicas por nivel. ....	44
<b>Ilustración 31</b>	Pre-Dimensionamiento de muro especial. ....	45
<b>Ilustración 32</b>	Vista en planta de muro especial. ....	46
<b>Ilustración 33</b>	Zona crítica y longitud (L1). ....	47
<b>Ilustración 34</b>	Diagrama de interacción alrededor del eje Y. ....	48
<b>Ilustración 35</b>	Detalle de refuerzo longitudinal y transversal de muro. ....	50
<b>Ilustración 36</b>	Conexión muro-losa. ....	51
<b>Ilustración 37</b>	Factores "m" de columnas para revisión con la rehabilitación empleada. ....	52
<b>Ilustración 38</b>	Factores "m" de vigas para revisión con la rehabilitación empleada. ....	53
<b>Ilustración 39</b>	Dimensiones de cimentación y cargas actuantes. ....	55

<b>Ilustración 40</b>	Distribución de esfuerzos de presión de suelo. ....	56
<b>Ilustración 41</b>	Armado de cimentación de muro especial. ....	57
<b>Ilustración 42</b>	Planos arquitectónicos de residencia planta baja. ....	61
<b>Ilustración 43</b>	Planos arquitectónicos de residencia 1er nivel. ....	62
<b>Ilustración 44</b>	Planos arquitectónicos de residencia 2do nivel. ....	63
<b>Ilustración 45</b>	Planos estructurales de residencia. ....	64
<b>Ilustración 46</b>	Vista lateral de residencia. ....	65
<b>Ilustración 47</b>	Pre-Dimensionamiento de muro especial estructural.....	66
<b>Ilustración 48</b>	Vista en planta de muro especial con dimensiones de diseño. .....	67
<b>Ilustración 49</b>	Refuerzo longitudinal y transversal de muro estructural. ....	68
<b>Ilustración 50</b>	Alzado de muro estructural en unión con losa existente.....	69
<b>Ilustración 51</b>	Alzado de cimentación de acero de refuerzo. ....	70
<b>Ilustración 52</b>	Vista en planta de muro estructural. ....	71
<b>Ilustración 53</b>	Muro estructural y cimentación tipo. ....	72
<b>Ilustración 54</b>	Vista lateral de muro especial. ....	73

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Determinación del factor "k"según la norma (ASCE41-17).....	12
<b>Tabla 2.</b> Valores para factor efectivo de masa $C_m$ . Fuente (ASCE41-17, n.d.) .....	17
<b>Tabla 3.</b> Valores alternativos para factores de modificación $C_1$ y $C_2$ .....	18
<b>Tabla 4</b> Factores de carga para elementos controlados por fuerza.....	22
<b>Tabla 5.</b> Cálculo de la capacidad de acción de los componentes. ....	22
<b>Tabla 6</b> Valores de Rigidez efectiva. ....	23
<b>Tabla 7.</b> Factores "m" para columnas de hormigón armado.....	24
<b>Tabla 8.</b> Valores de "y" para esfuerzos en las articulaciones. ....	25
<b>Tabla 9.</b> Factores "m" para vigas de hormigón armado.....	25
<b>Tabla 10</b> Factores "m" para juntas entre viga-columna. ....	27
<b>Tabla 13.</b> Valores Para espectro de diseño según NEC-15. ....	30
<b>Tabla 14.</b> Valores para el cálculo de cortante basal. ....	33
<b>Tabla 15.</b> Valor cortante Basal ( $V_b$ ) en Ton. ....	34
<b>Tabla 16</b> Valores de fuerza sísmica por piso.....	36
<b>Tabla 17</b> Cortante basal ( $V_b$ ) con factor de reducción de resistencia R.....	43

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como propósito el análisis y el comportamiento de la residencia Macías Villamar. La estructura tiene tres pisos con marcadas deficiencias estructurales. Dicha edificación, sufrió durante el pasado sismo del 16 de abril de 2016, generando así fisuras en algunas de sus columnas. Se hace un estudio de la estructura para evaluar su desempeño sísmico y proponer un sistema de rehabilitación dada a las deficiencias que tiene, la propuesta son muros especiales de hormigón armado (H.A) que tienen como función rigidizar la estructura para aliviar el problema. Se realizará el cálculo de acero, hormigón y refuerzos cumpliendo las normativas según el ACI 318-19 para el diseño de muros especiales y haciendo revisión según la norma ASCE 41-17 del capítulo 10 de muros estructurales, en el diseño de muros se realizará una microzonificación para saber que tipo de suelo tiene dicha localidad y se ejecutará el espectro de diseño según el tipo de suelo en la zona según la norma NEC-15.

**Palabras Claves:** *Muros especiales, Espectro de diseño, Pórticos arriostrados, microzonificación, hormigón, Deficiencias estructurales.*

## ABSTRACT

The purpose of this degree work is the analysis and behavior of the Macías Villamar residence, a three-story structure with structural deficiencies. This building suffered during the last earthquake of April 16, 2016 and generated cracks in some of its columns. The study of this structure is made to propose a rehabilitation system of the same, such proposal are special walls or reinforced concrete walls (H. A) that have the function of stiffening the structure, thus generating a solution to the problem, the calculation of steel, concrete and reinforcements will be made in compliance with the regulations according to ACI 318-19 for the design of special walls and making a review according to ASCE 41-17 of chapter 10 of structural walls, In the design of walls, a micro-zoning will be performed to know the type of soil in that location and the design spectrum will be executed according to the type of soil in that area according to NEC-15.

**Key Words:** *Special walls, Design spectrum, Braced portal frames, microzonation, concrete, Structural deficiencie*

## INTRODUCCIÓN

La metodología constructiva en Ecuador es, en su mayoría, deficiente, ya que muchas familias ecuatorianas tienden a construir contratando a personal no capacitado que normalmente no respetan las normas, llevando a construcciones deficientes.

Por este motivo, el presente trabajo de titulación busca evaluar y proponer una metodología para la rehabilitación de estructuras que han sido construidas sin ningún tipo de supervisión técnica y que han sufrido algún tipo de daño en sus elementos por cualquier tipo de evento, el trabajo de estudio, ayudará a tener una idea de costo que involucra la construcción sin supervisión técnica.

La residencia de la familia Macías Villamar sufrió un problema en particular en su estructura ya que, con el pasado sismo del 16 de abril de 2016, la vivienda presentó fisuras en sus columnas. Dicha construcción no fue elaborada mediante apoyo técnico, por lo que la estructura tuvo consecuencias, el propósito de este trabajo de titulación es ofrecer una metodología de rehabilitación en dicha estructura mediante el refuerzo de muros de hormigón armado. En la **Ilustración 1**, se observa la fachada de la residencia de tres pisos que se estudiará en el presente trabajo de titulación.

El presente trabajo consistirá:

1. El relevamiento de la estructura total.
2. Modelación numérica para estimar el comportamiento de la estructura en caso de un sismo.
3. El diseño de la solución empleada.
4. Estimación de cantidades con la rehabilitación propuesta.

## Ilustración 1

*Fachada de residencia Macías Villamar*



Fuente. (Autor, 2021)

# **CAPÍTULO I**

## **1.1 DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA**

De acuerdo a lo observado en la residencia Macías Villamar, durante la visita realizada el pasado 15 de octubre de 2021, la edificación de tres pisos presenta varias deficiencias en su estructura: columnas discontinuas, vigas deformadas y problemas de presencia de filtración en paredes. El sismo del 16 de abril de 2016 provocó varios daños en las columnas de la planta baja de la residencia, generando fisuras y pérdida de recubrimiento, el propósito del presente trabajo de titulación es realizar una metodología de rehabilitación para dicha estructura.

## **1.2. OBJETIVO GENERAL**

Analizar el comportamiento de la estructura de tres pisos mediante el software Phyton y realizar la metodología de rehabilitación de la edificación mediante un diseño con muros especiales.

## **1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar un modelado de la estructura actual y observar si su comportamiento sísmico es eficiente.
- Proponer una metodología de rehabilitación de la estructura según la norma ACI 318-19 en base al diseño de muros especiales.
- Realizar un modelado estructural con la Rehabilitación estructural empleada y analizar si su comportamiento sísmico es satisfactorio.
- Realizar un cuadro de cantidades y comparar dichas estimaciones con la segunda metodología de rehabilitación que son Pórticos Arriostrados.

## CAPÍTULO II

### 2.1. MARCO TEÓRICO

#### 2.1.1. MUROS DE HORMIGÓN ARMADO (H.A)

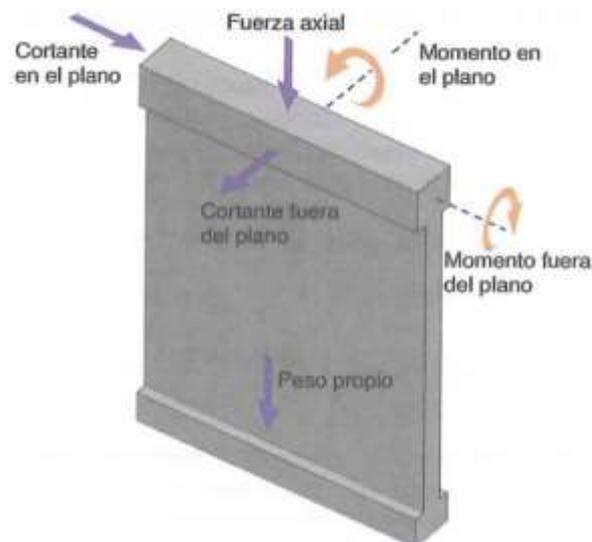
Los muros especiales de hormigón armado son diseñados para resistir grandes cantidades de cortante, momento y fuerza axial inducidas por los movimientos sísmicos. Este tipo de estructuras tienen las características de para afrontar altas demandas de rigidez y soportar grandes demandas de cortante y momento. La normativa del American Concrete Institute (ACI 318-19), en la sección 18.10.2.1 se estipulan las condiciones mínimas para su diseño, dichas condiciones tienen como intención evitar una falla brusca por corte dando ductilidad a la estructura.

En la **Ilustración 2** se puede observar un muro de hormigón armado (H.A.), con las respectivas fuerzas que actúan en el elemento.

#### Ilustración 2

*Fuerzas actuantes en muros de hormigón.*

R11.4.1.3 Las fuerzas que normalmente actúan en un muro se ilustran en la Fig. R11.4.1.3.



*Fig. R11.4.1.3 — Fuerzas dentro y fuera del plano.*

Fuente. (ACI 318-19)

## 2.2. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Se empezaron los trabajos con el relevamiento estructural del edificio de tres pisos que comprendería con las siguientes actividades:

- Se realizó la medición de las dimensiones de: vigas, columnas, losa, una parte de la cimentación, luces de vigas y alturas de columnas.
- Como se muestra en la **Ilustración 3**, se procedió a picar algunos elementos estructurales para observar el refuerzo estructural que contenían. En las vigas y columnas se observó que tenían varillas longitudinales de 12mm, con estribos de 10mm y separación de 20cm. En la cimentación se observó el mismo armado y refuerzo.
- En la norma ASCE 41-17 indica que, se debe tener una idea de la resistencia a compresión del hormigón y para este proyecto, se realizó un ensayo no destructivo con el esclerómetro para poder estimar la resistencia que tienen los elementos estructurales.

### Ilustración 3

*Picado de columna C4.*



Fuente. (Autor, 2021)

#### **Ilustración 4**

*Acero de refuerzo de columna C4.*



Fuente. (Autor, 2021)

#### **Ilustración 5**

*Acero de refuerzo en viga de cimentación.*

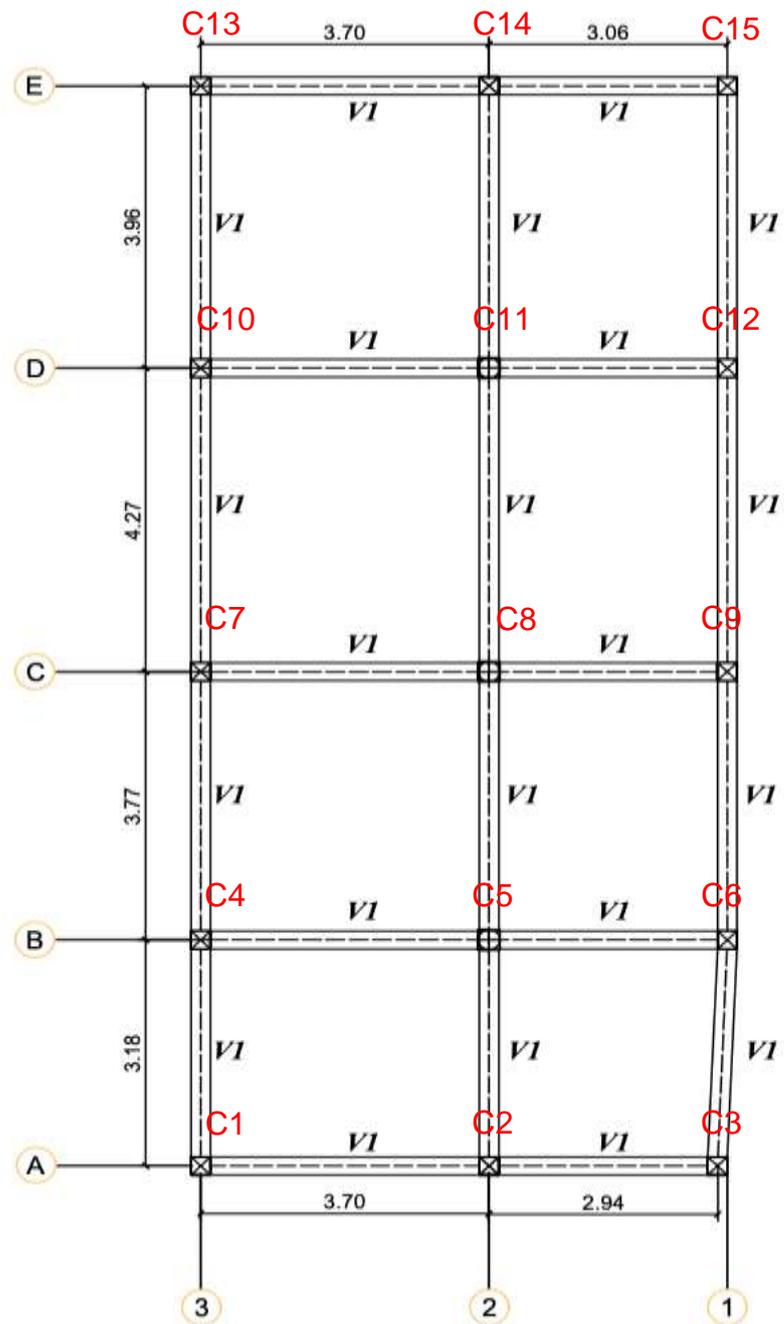


Fuente. (Autor, 2021)

Con los datos obtenidos de las mediciones, se pudo realizar un esquema de la información estructural y arquitectónica.

### Ilustración 6

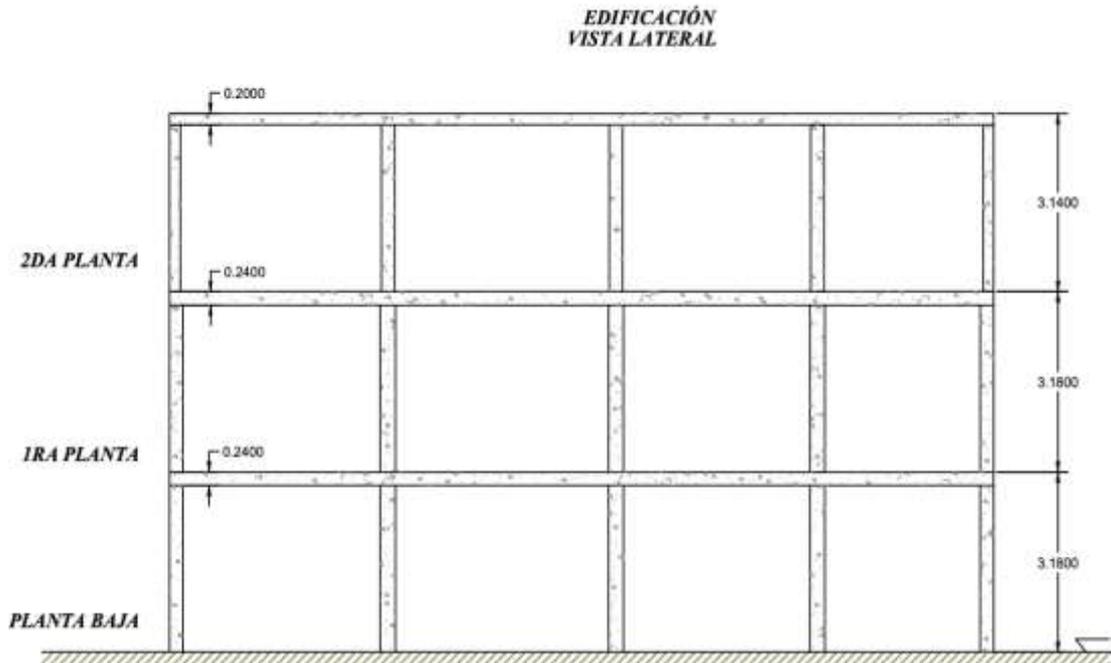
*Plano Estructural de la edificación.*



Fuente. (Guido, 2021)

## Ilustración 7.

*Vista lateral de la estructura.*



Fuente. (Guido, 2021)

Las secciones de los elementos estructurales que componen la edificación son:

- Columnas de planta baja y primer nivel: 250x250 y 280x280mm.
- Columnas de segundo nivel: 200x200 y 250x250mm.
- Vigas de primera y segunda losa: 250x240mm.
- Vigas de cubierta: 80x200mm

### 2.2.1. ESCLEROMETRÍA

El esclerómetro es un instrumento creado por el Ing. Schmidt en 1948 con el propósito de estimar la resistencia a compresión del hormigón, existen curvas de correlación para obtener dichos valores de resistencia.

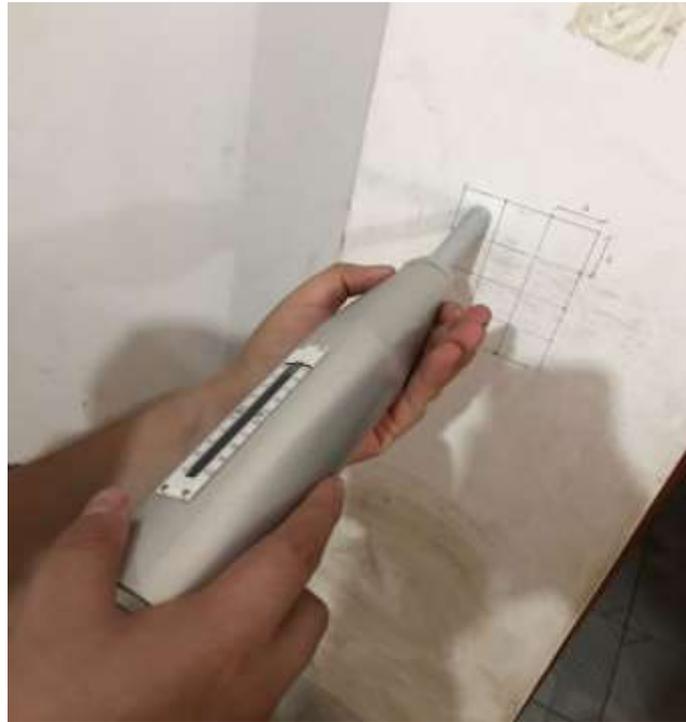
El funcionamiento de este instrumento consiste en una pesa tensada, al oprimir el botón dicha pesa es lanzada contra el elemento de hormigón que se está ensayando y se mide su rebote. Cabe recalcar que no es un método muy exacto, pero se tiene una idea de la resistencia del hormigón del elemento que se está ensayando.

Para realizar un ensayo de esclerometría, se deben tomar ciertas condiciones:

- Se debe sostener de manera firme y perpendicular el elemento al momento de ensayar.
- El ensayo no puede realizarse en elementos que estén recubiertos por enlucido o pintura.
- En este trabajo, se realizaron dos tipos de ensayos a columnas diferentes, la primera de ellas columna central C8 estaba con enlucido y pintura, al realizar el ensayo y estimar su resistencia a la compresión daba como resultado  $300 \text{ kg/cm}^2$ .
- La segunda de ellas, columna C14, estaba aún en obra gris, al limpiar la superficie y luego ensayar se obtuvo el promedio de golpes y se lo relacionó con las gráficas. Se obtuvo una resistencia a la compresión de  $240 \text{ kg/cm}^2$ .

### Ilustración 8

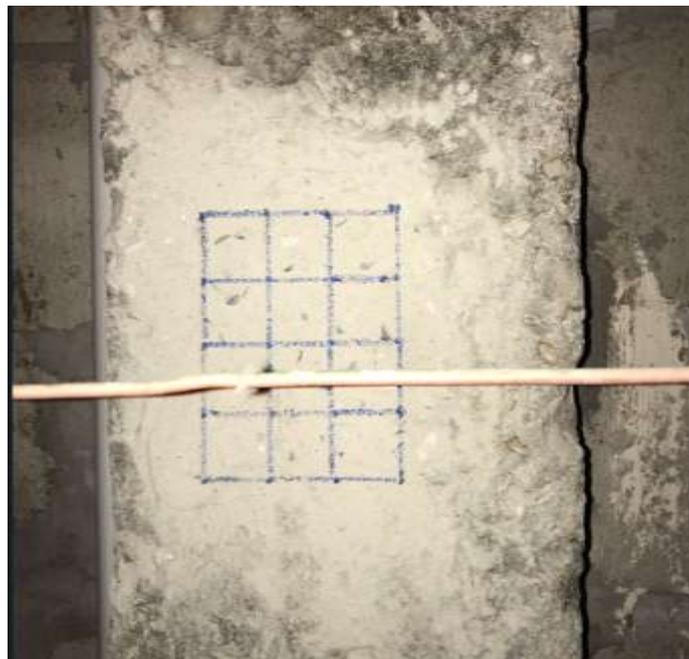
*Ensayo con esclerómetro a columna C8.*



Fuente. (Autor, 2021)

### Ilustración 9

*Ensayo con esclerómetro a columna C14.*



Fuente. (Autor, 2021)

## 2.2.2. FACTOR DE CONOCIMIENTO “K”

La normativa ASCE 41-17 en la sección 6.2, indica el cálculo del factor de conocimiento k por medio de la **Tabla 1**.

**Tabla 1.**

*Determinación del factor "k" según la norma (ASCE41-17).*

Data	Level of Knowledge					
	Minimum		Usual		Comprehensive	
Performance Level	Life Safety (S-3) or lower		Damage Control (S-2) or lower		Immediate Occupancy (S-1) or lower	
Analysis Procedures	LSP, LDP		All		All	
Testing	No tests <sup>a</sup>		Usual testing		Comprehensive testing	
Drawings	Design drawings	Field survey drawings prepared in absence of design drawings	Design drawings	Field survey drawings prepared in absence of design drawings	Design drawings	Field survey drawings prepared in absence of design drawings
Condition Assessment <sup>b</sup>	Visual	Comprehensive	Visual	Comprehensive	Visual	Comprehensive
Material Properties	From design drawings (or documents) <sup>c</sup>	From default values	From design drawings (or documents) and tests	From usual tests	From design drawings (or documents) and tests	From comprehensive tests
Knowledge Factor (k) <sup>d</sup>	0.9 <sup>e,f</sup>	0.75	1.00	1.00	1.00	1.00

Fuente. (ASCE41-17)

Siguiendo las recomendaciones de la tabla anterior, se llega a la conclusión que el factor de k que se utilizará en la edificación de estudio será 0.75, ya que hay documentación faltante en el relevamiento de la estructura y no se contaba con planos previos. Para procedimientos lineales, el ASCE 41-17 indica que los datos recolectados son permitidos con un nivel mínimo de conocimiento.

### 2.3. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE EVALUACIÓN

En el presente trabajo de titulación se utilizará el procedimiento estático lineal. La normativa ASCE 41-17 en el capítulo 7 muestra cuatro opciones para el análisis matemático de las estructuras. El análisis de una edificación que incluyan todas las medidas de adaptación y la evaluación que en este trabajo de titulación se va a realizar es: el análisis lineal sujeto a limitaciones específicas de la sección (LSP).

Para la determinación de irregularidades, se basa en la configuración de la condición original del edificio. La magnitud y distribución de la demanda inelástica para los elementos y componentes primarios existentes se definirán mediante relaciones de demanda y capacidad (DCR) y se calcularán con la ecuación:

$$DCR = \frac{Q_{ud}}{Q_{ce}}$$

Donde:

$Q_{ud}$  : Fuerza causada por gravedad y fuerzas de sismo.

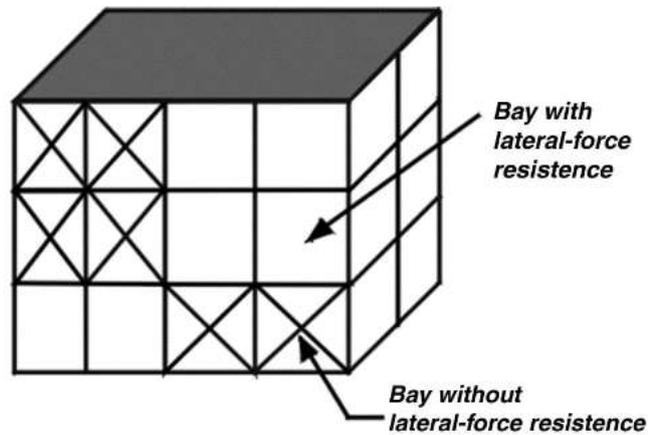
$Q_{ce}$  : Esfuerzo esperado del elemento calculado.

En particular de manera general no tiene irregularidades lo que permite el uso de este método. Las configuraciones habladas anteriormente con respecto a los métodos para determinar las limitaciones del uso del análisis lineal son:

- **Irregularidades de discontinuidad en el plano:** se considera esta irregularidad cuando existe la discontinuidad de un elemento primero en el sistema sismorresistente. En la **Ilustración 10** se puede observar el comportamiento.

### Ilustración 10

*Discontinuidad en plano en sistema sismorresistente.*

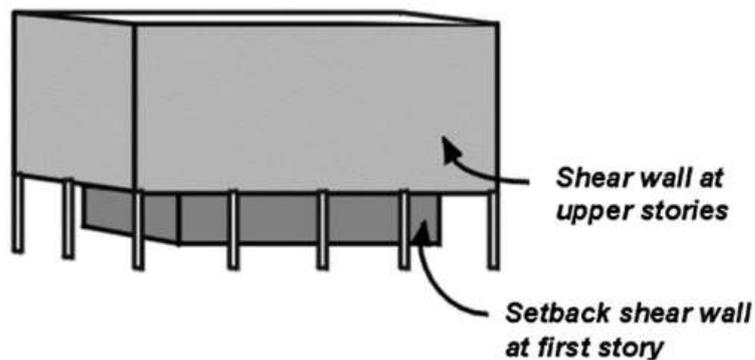


Fuente. (ASCE41-17)

- **Irregularidades discontinuas fuera del plano:** Esta irregularidad se refiere al cambio de posición en planta entre piso y piso del sistema primario sismorresistente como se puede ver en la **Ilustración 11**.

### Ilustración 11

*Edificación típica con irregularidad de desplazamiento fuera del plano.*



Fuente. (ASCE41-17)

- Irregularidades de piso débil: Se considera que existe un piso débil en cualquier consideración del edificio si la relación demanda-capacidad (DCR promedio) de elementos de cualquier piso al adyacente supere el 125% de DCR, se calculará este punto con la siguiente ecuación:

$$\overline{DCR} = \frac{\sum_1^n DCR_i V_i}{\sum_i^n V_i}$$

Donde:

$\overline{DCR}$  : Es el promedio DCR para elementos en un mismo nivel.

$DCR_i$  : Es la acción crítica DCR para elementos  $i$  de un nivel.

$V_i$  : Es el cortante lateral total calculado por un sismo.

$n$  : Es el número total de elementos de ese nivel.

#### 2.4. CONSIDERACIONES DE ANÁLISIS

La normativa ASCE 41-17 indica combinaciones de carga para procedimientos lineales, en donde “ $Q_g$ ” va a ser considerado para las combinaciones con acciones causadas por las fuerzas del sismo. La ecuación es la siguiente:

$$Q_g = 1.1(Q_D + Q_L + Q_S)$$

Donde:

$Q_D$ : Es la acción causada por carga muerta.

$Q_L$ : Es la acción causada por carga viva.

$Q_S$ : Es la acción causada por carga de nieve (0).

Cuando los efectos de las cargas gravitacionales y sísmicas están contrarrestados, la acción causada por la carga gravitacional será:

$$Q_g = 0.9(Q_D)$$

## 2.5. DETERMINACIÓN DE PERÍODO

Para determinar el período del análisis estático lineal, el período fundamental de una edificación será calculado para la dirección de respuesta considerando el método empírico, el cual se realiza el cálculo con la siguiente ecuación:

$$T = C_i h_n^\beta$$

Donde:

$T$  : Período fundamental en la dirección analizada.

$C_i$  : Es 0.018 para un sistema con marcos de hormigón resistente a momentos.

$h_n$  : Altura por encima de la base hasta el nivel de cubierta.

$\beta$  : 0.90 para marcos resistentes a momento con hormigón.

## 2.6. DETERMINACIÓN DE FUERZAS

El cálculo de la fuerza lateral para simular la acción sísmica se puede determinar usando la siguiente ecuación:

$$V = C_1 C_2 C_m S_a W$$

Donde:

$V$  : Fuerza lateral.

$C_m$ : Factor de masa efectivo, si el período  $T > 1.0s$ , el factor deberá ser tomado como 1.

$S_a$  : Aceleración de respuesta espectral.

$W$  : Peso sísmico total de la edificación.

Existen ciertos puntos que se deben tomar en cuenta con respecto al cálculo de fuerza lateral:

- En áreas de uso de bodega, se aplicará un 25% de carga viva del suelo, la cual se permite la reducción de carga viva para el área tributaria y la

carga viva del suelo en garajes públicos y estructuras de aparcamiento abiertos no es aplicable el porcentaje.

- La normativa indica con respecto a cargas de nieve, pero en el país no son consideradas este tipo de cargas.

En la **Tabla 2.** se podrá observar los valores de masa que corresponden de acuerdo al valor del período fundamental.

**Tabla 2.**

*Valores para factor efectivo de masa  $C_m$ . Fuente (ASCE41-17, n.d.)*

No. of Stories	Concrete Moment Frame	Concrete Shear Wall	Concrete Pier-Spandrel	Steel Moment Frame	Steel Concentrically Braced Frame	Steel Eccentrically Braced Frame	Other
1-2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
3 or more	0.9	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	1.0

*Note:  $C_m$  shall be taken as 1.0 if the fundamental period,  $T$ , in the direction of response under consideration is greater than 1.0 s.*

Fuente. (ASCE41-17)

$C_1$ : Factor de modificación que relaciona los desplazamientos para la respuesta elástica lineal. Si:  $T < 0.2s$ :  $C_1$  no es necesario tomar un valor mayor a  $T = 0.2s$ . Para períodos fundamentales mayores a  $1.0s$ ,  $C_1 = 1.0$ .

Para el cálculo de  $C_1$  se lo podrá realizar mediante la siguiente ecuación:

$$C_1 = 1 + \frac{\mu_{esfuerzo} - 1}{aT^2}$$

Donde:

$a$  : Factor de sitio: 130 (A-B), 90 (C), 60 (D-E-F).

$\mu_{esfuerzo}$  : Relación entre demanda elástica y coeficiente del límite elástico.

$C_2$ : Factor que representa el efecto de la forma de degradación de rigidez y el deterioro de la resistencia en la respuesta de desplazamiento máximo, Si:  $T > 0.7s$ , entonces  $C_2 = 1.0$ .

Para el cálculo de  $C_2$  se lo podrá realizar mediante la siguiente ecuación:

$$C_2 = 1 + \frac{1}{800} \left( \frac{\mu_{esfuerzo}}{T} \right)^2$$

Alternativamente, se deberá permitir el uso de  $C_1$  y  $C_2$  de acuerdo a la **Tabla 3.**, donde  $m_{max}$  es el factor (m) más largo para todos los elementos principales de la edificación.

Para el cálculo de la relación entre demanda elástica y límite elástico, la normativa otorga la siguiente ecuación:

$$\mu_{esfuerzo} = \frac{S_a}{V_y} * C_m$$

**Tabla 3.**

*Valores alternativos para factores de modificación  $C_1$  y  $C_2$ .*

<b>Fundamental Period</b>	<b><math>m_{max} &lt; 2</math></b>	<b><math>2 \leq m_{max} &lt; 6</math></b>	<b><math>m_{max} \geq 6</math></b>
$T \leq 0.3$	1.1	1.4	1.8
$0.3 < T \leq 1.0$	1.0	1.1	1.2
$T > 1.0$	1.0	1.0	1.1

Fuente. (ASCE41-17).

Para realizar el análisis, deben estimarse las fuerzas para cada piso por medio de la ecuación de distribución de fuerzas verticales que propone la norma ASCE 41-17. La fuerza sísmica  $F_x$  aplicada en cualquier piso de la edificación deberá ser determinada usando las siguientes ecuaciones:

$$F_x = C_{vx} V$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k}$$

Donde:

$C_{vx}$ : Factor de distribución vertical.

$k$  : Si:  $T > 2.5s$   $k = 2.0$

Si:  $T < 0.5s$   $k = 1.0$

$V$ : Fuerza sísmica lateral.

$w_i$ : Peso efectivo sísmico en nivel  $i$ .

$w_x$ : Peso efectivo sísmico en nivel  $x$ .

$h_x$ : Altura desde la base hasta nivel  $x$ .

$h_y$ : Altura desde la base hasta nivel  $i$ .

### **2.6.1. FUERZAS DE DIAFRAGMA PARA ANÁLISIS LINEAL ESTÁTICO (LSP).**

La norma ASCE 41-17 explica que los diafragmas deberán ser evaluados para resistir los efectos combinados de la fuerza de inercia lateral,  $F_{px}$ , que se calcula en siguiente ecuación y las fuerzas horizontales resultantes de los desplazamientos o cambios de rigidez de los elementos sísmicos se considerarán como fuerzas controladas a menos de que se justifique el uso de fuerzas menores mediante un análisis racional.

La fuerza lateral  $F_{px}$  se calcula con la siguiente ecuación:

$$F_{px} = \left( \frac{\sum_{i=x}^n F_i}{\sum_{i=x}^n W_i} \right) w_{px}$$

Donde:

$F_{px}$ : Fuerza inercial del diafragma en nivel  $x$ .

$F_i$ : Fuerza inercial en nivel  $i$ .

$w_i$ : Peso efectivo sísmico localizado en nivel  $i$ .

$w_{px}$ : Peso efectivo sísmico localizado en nivel  $x$ .

En la sección 7.4.3.3.4 en la norma ASCE 41-17 indica que, la fuerza sísmica que se aplica sobre cada diafragma flexible, se distribuirá a lo largo de la luz del elemento. Los diafragmas discontinuos que transfieren fuerzas horizontales se considerarán como elementos controlados por fuerza.

## 2.7. CRITERIO DE ACEPTACIÓN

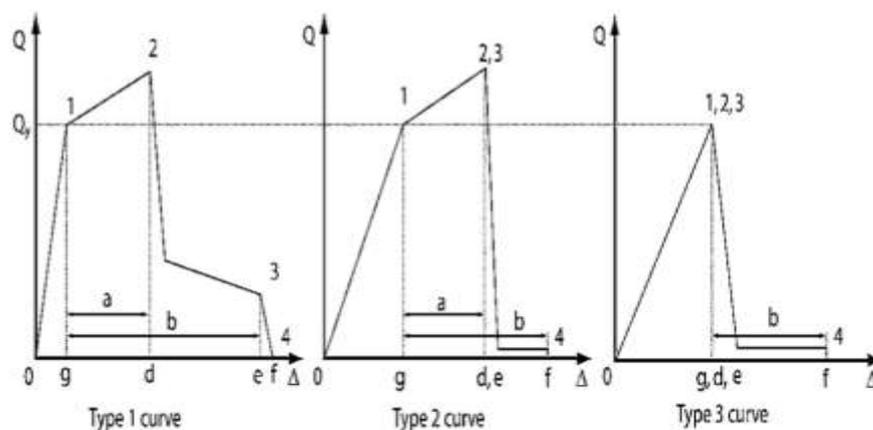
La aceptación de elementos estructurales, utilizando criterios de resistencia y capacidad de deformación en acciones de las fuerzas y deformaciones deberán ser evaluados por cada requerimiento según la norma ASCE 41-17. Antes de poder seleccionar algún tipo de criterio de aceptación, cada componente debe ser clasificado como elemento primario o secundario y cada estado limite deberá ser clasificado como controlado por deformación (elemento dúctil) o por fuerza (elemento no-dúctil). Por definición:

- **Componente estructural primario:** Se refiere a un elemento estructural que se necesita que resista fuerzas sísmicas y que acomoda las deformaciones de la estructura.
- **Componente estructural secundario:** Elemento que debe acomodar las deformaciones sísmicas, pero no es necesario que resista dichas fuerzas.

En la **Ilustración 12** muestra el comportamiento que se espera de los elementos controlados por fuerza y deformación.

### Ilustración 12

*Curvas de componentes de fuerzas vs deformación.*



Fuente. (ASCE41-17)

De acuerdo en la norma **ASCE 41-17** en la sección 7.5.1.3 se definen los tres tipos de comportamientos de la siguiente manera:

- **Curva tipo 1:** Representa un comportamiento dúctil controlado por deformaciones. Se observa que procede a un comportamiento elástico inicial (hasta el punto 1) seguido del comportamiento del rango elástico (hasta el punto 2) y una pérdida de resistencia hasta un valor residual (punto 3) hasta el punto que pierde resistencia de la carga por gravedad (hasta el punto 4).
- **Curva tipo 2:** Representa un comportamiento dúctil, en la pendiente del rango elástico existen efectos positivos y negativos seguidos por una pérdida sustancial de capacidad de resistencia sísmica en el (punto 4). Los elementos pueden ser clasificados como controlados por deformación.
- **Curva tipo 3:** Representa un comportamiento no-dúctil. Se observa un comportamiento elástico (hasta el punto 1) seguido de la pérdida de capacidad sísmica (hasta el punto 3) y la pérdida de capacidad por gravedad (hasta el punto 4). Los componentes primarios en este tipo de representaciones son controlados por fuerza y los secundarios por deformación.

La capacidad de límite de resistencia y deformación se determinarán a partir de un programa de ensayos donde se utilice múltiples resultados de ensayos para realizar el modelo y configuración. La norma recomienda que no deben ser menos de tres ensayos para determinar el comportamiento de los elementos.

En la **Tabla 4** se observan los factores de carga para elementos controlados por fuerza.

**Tabla 4**

*Factores de carga para elementos controlados por fuerza.*

<b>Action Type</b>	<b><math>\gamma</math></b>
Critical	1.3
Ordinary	1.0
Noncritical	1.0

Fuente. (ASCE41-17)

## 2.8. CAPACIDADES DE LOS COMPONENTES

Si se usa el análisis estático lineal, las capacidades que son controladas por deformación se deben definir con el producto de factores “m”, “k”, esfuerzos esperados y capacidad ( $Q_{ce}$ ). Cuando, son controlados por fuerza, la capacidad deberá ser definida como “lower bound”.

En la **Tabla 5**. Se observa el cálculo de la capacidad de acción de los componentes para el análisis lineal. Para el caso de estudio dado que se han realizado ensayos sobre los materiales se podrá adoptar la opción que indica en la tabla “Existing action capacity”. En la sección siguiente se evaluará para cada elemento si deben ser analizados.

**Tabla 5.**

*Cálculo de la capacidad de acción de los componentes.*

<b>Parameter</b>	<b>Deformation Controlled</b>	<b>Force Controlled</b>
Existing material strength	Expected mean value with allowance for strain hardening	Lower bound value (approximately mean value minus $1\sigma$ level)
Existing action capacity	$\kappa Q_{CE}$	$\kappa Q_{CL}$
New material strength	Expected material strength	Specified material strength
New action capacity	$Q_{CE}$	$Q_{CL}$

Fuente. (ASCE41-17).

## 2.9. RIGIDEZ EFECTIVA

Para análisis lineal la rigidez efectiva deberá corresponder al valor determinado y calculado en la tabla 6 obtenida de la norma ASCE 41-17 en la sección 10.3.1.2.1, en donde, para losas planas la rigidez a corte será el 40% del área gruesa por el módulo de elasticidad y en columnas donde la compresión es menor a  $0.1 A_g f'_c$ .

**Tabla 6**

*Valores de Rigidez efectiva.*

Component	Flexural Rigidity	Shear Rigidity	Axial Rigidity
Beams—nonprestressed <sup>a</sup>	$0.3E_{cE}I_g$	$0.4E_{cE}A_w$	—
Beams—prestressed <sup>a</sup>	$E_{cE}I_g$	$0.4E_{cE}A_w$	—
Columns with compression caused by design gravity loads $\geq 0.5A_g f'_c$ <sup>b</sup>	$0.7E_{cE}I_g$	$0.4E_{cE}A_w$	$E_{cE}A_g$
Columns with compression caused by design gravity loads $\leq 0.1A_g f'_c$ or with tension <sup>b</sup>	$0.3E_{cE}I_g$	$0.4E_{cE}A_w$	$E_{cE}A_g$ (compression) $E_{sE}A_s$ (tension)
Beam-column joints	Refer to Section 10.4.2.2.1		$E_{cE}A_g$
Flat slabs—nonprestressed	Refer to Section 10.4.4.2	$0.4E_{cE}A_g$	—
Flat slabs—prestressed	Refer to Section 10.4.4.2	$0.4E_{cE}A_g$	—
Walls—cracked <sup>c</sup>	$0.35E_{cE}A_g$	$0.4E_{cE}A_w$	$E_{cE}A_g$ (compression) $E_{sE}A_s$ (tension)

Fuente. (ASCE41-17)

## 2.10. FACTORES “M” PARA EVALUACIÓN DE VIGAS, COLUMNAS Y UNIONES.

En el capítulo 10 de la norma ASCE 41-17, se tiene factores que se denominan “m” que sirven para el tipo de análisis que se vaya a ejecutar, en caso de este trabajo de titulación se evaluará según el análisis lineal y en la norma existen criterios también en donde nos indica que factor “m” debemos de escoger para la correcta evaluación de la estructura.

El criterio numérico para columnas con hormigón armado con refuerzo ya sea con refuerzo normal o circular, que se definen en el ACI 318 varían según la cuantía de acero que tenga el elemento estructural, en la **Tabla 7**. se podrá ver los valores a utilizar como factor “m”.

**Tabla 7.**

*Factores "m" para columnas de hormigón armado.*

$\left(\frac{N_{UD}}{A_g f'_{cE}}\right)$	<i>m</i> -Factors <sup>a</sup>						
	Performance Level						
					Component Type		
	$\rho_t$	$V_{yE}/V_{CoIOE}$	IO	Primary		Secondary	
			LS	CP	LS	CP	
Columns not controlled by inadequate development or splicing along the clear height <sup>b</sup>							
≤ 0.1	≥ 0.0175	≥ 0.2	1.7	3.4	4.2	6.8	8.9
		< 0.6					
≥ 0.7	≥ 0.0175	≥ 0.2	1.2	1.4	1.7	1.4	1.7
		< 0.6					
≤ 0.1	≤ 0.0005	≥ 0.2	1.5	2.6	3.2	2.6	3.2
		< 0.6					
≥ 0.7	≤ 0.0005	≥ 0.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
		< 0.6					
≤ 0.1	≥ 0.0175	≥ 0.6	1.5	2.7	3.3	6.8	8.9
		< 1.0					
≥ 0.7	≥ 0.0175	≥ 0.6	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
		< 1.0					
≤ 0.1	≤ 0.0005	≥ 0.6	1.3	1.9	2.3	1.9	2.3
		< 1.0					
≥ 0.7	≤ 0.0005	≥ 0.6	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
		< 1.0					
≤ 0.1	≥ 0.0175	≥ 1.0	1.3	1.8	2.2	6.8	8.9
≥ 0.7	≥ 0.0175	≥ 1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
≤ 0.1	≤ 0.0005	≥ 1.0	1.1	1.0	1.1	1.7	2.1
≥ 0.7	≤ 0.0005	≥ 1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Columns controlled by inadequate development or splicing along the clear height <sup>b</sup>							
≤ 0.1	≥ 0.0075		1.0	1.7	2.0	5.3	6.8
≥ 0.7	≥ 0.0075		1.0	1.0	1.0	2.8	3.5
≤ 0.1	≤ 0.0005		1.0	1.0	1.0	1.4	1.6
≥ 0.7	≤ 0.0005		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Fuente. (ASCE41-17).

Para hacer el cálculo respectivo para poder definir un factor “m” es necesario tener en consideración los siguientes pasos:

- Conocer las secciones de columnas para poder realizar el cálculo de área gruesa.
- Realizar el cálculo de cuantía.
- Conocer la resistencia a la compresión de las columnas.
- Realizar la relación de corte.
- Proceder a interpolar y escoger un valor como componente primario en la condición CP.

De igual forma en la norma existen valores para los esfuerzos en las articulaciones, en la **Tabla 8.** se puede observar lo que la normativa indica.

**Tabla 8.**

Valores de "γ" para esfuerzos en las articulaciones.

Transverse Reinforcement <sup>b</sup>	Value of γ				
	Condition i: Interior Joints <sup>a</sup>		Condition ii: Other Joints		
	Interior Joint with Transverse Beams	Interior Joint without Transverse Beams	Exterior Joint with Transverse Beams	Exterior Joint without Transverse Beams	Knee Joint with or without Transverse Beams
C	20	15	15	12	8
NC	12	10	8	6	4

Fuente. (ASCE41-17).

En la **Tabla 9.** se puede observar los factores "m" para realizar la evaluación de vigas de hormigón armado, se deben cumplir los mismos pasos estipulados como en la evaluación de columnas, se escoge un valor de un elemento primario en condición CP.

**Tabla 9.**

Factores "m" para vigas de hormigón armado.

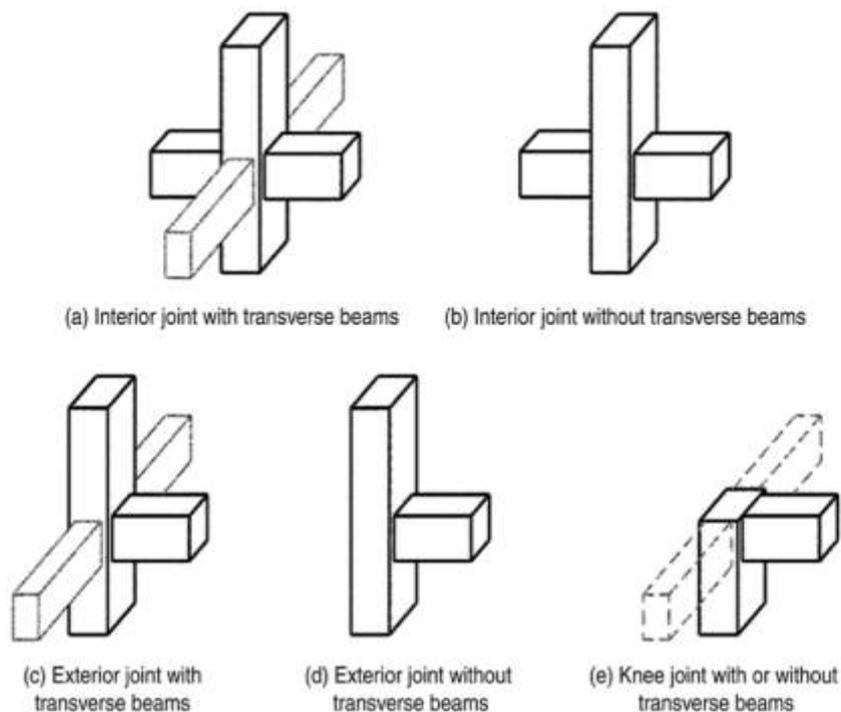
Conditions	m-Factors <sup>a</sup>				
	Performance Level				
	Component Type				
	IO	Primary		Secondary	
LS		CP	LS	CP	
Condition i. Beams controlled by flexure <sup>b</sup>					
$\rho - \rho'$					
$\rho_{bal}$	Transverse reinforcement <sup>c</sup>	$V^d$ $b_w d \sqrt{f'_{cE}}$			
≤0.0	C	≤3 (0.25)	3	6	7
≤0.0	C	≥6 (0.5)	2	3	4
≥0.5	C	≤3 (0.25)	2	3	4
≥0.5	C	≥6 (0.5)	2	2	3
≤0.0	NC	≤3 (0.25)	2	3	4
≤0.0	NC	≥6 (0.5)	1.25	2	3
≥0.5	NC	≤3 (0.25)	2	3	3
≥0.5	NC	≥6 (0.5)	1.25	2	2
Condition ii. Beams controlled by shear <sup>b</sup>					
Stirrup spacing ≤ d/2			1.25	1.5	1.75
Stirrup spacing > d/2			1.25	1.5	1.75
Condition iii. Beams controlled by inadequate development or splicing along the span <sup>b</sup>					
Stirrup spacing ≤ d/2			1.25	1.5	1.75
Stirrup spacing > d/2			1.25	1.5	1.75
Condition iv. Beams controlled by inadequate embedment into beam-column joint <sup>b</sup>					
			2	2	3

Fuente. (ASCE41-17).

En la norma explica también las distintas articulaciones que puedan existir entre la unión de viga-columna, para poder entender de mejor manera que condición utilizar al momento de hacer el análisis lineal o no lineal de la estructura, en la **Ilustración 13** se observa, las distintas juntas que existen para poder elegir de manera efectiva los valores y elegir un correcto valor de los factores “m”.

### Ilustración 13

*Clasificación de articulaciones.*



Fuente. (ASCE41-17).

Como se observa en la **Tabla 10**, los tipos de juntas se pueden definir o ver conforme a la **Ilustración 13** en donde explica detalladamente los tipos de uniones de viga-columna para distintos casos, en la tabla se puede observar que el cortante para calcularlo debe ser el cortante para la articulación que existen en la junta.

**Tabla 10**

*Factores "m" para juntas entre viga-columna.*

Conditions	IO	Component Type				
		Primary		Secondary		
		LS	CP	LS	CP	
Condition i. Interior joints (for classification of joints, refer to Fig. 10-3)						
$\frac{P^b}{A_g f_c E}$						
	Transverse reinforcement <sup>c</sup>					
		$\frac{V^d}{V_j}$				
≤0.1	C	≤1.2	1	1	3	4
≤0.1	C	≥1.5	1	1	2	3
≥0.4	C	≤1.2	1	1	3	4
≥0.4	C	≥1.5	1	1	2	3
≤0.1	NC	≤1.2	1	1	2	3
≤0.1	NC	≥1.5	1	1	2	3
≥0.4	NC	≤1.2	1	1	2	3
≥0.4	NC	≥1.5	1	1	2	3

Fuente. (ASCE41-17)

## **CAPÍTULO III**

### **3.1. RESULTADOS**

La primera visita se realizó un relevamiento estructural de toda la residencia, con un flexómetro y cinta métrica, se realizó el levantamiento de toda la estructura y de cada elemento. Se observaron grades discontinuidades en los elementos estructurales principales como columnas y vigas, ya que al momento de construir no hubo personal técnico.

En dichas irregularidades se encontraron: discontinuidad en las columnas, columnas sin refuerzo estructural, vigas con secciones irregulares, vigas flexadas y fisuradas, se pudo observar que la edificación está en malas condiciones.

Dentro de la visita se hizo la prueba con el esclerómetro en la sección **2.2.1**, donde su función es que, mediante un golpe, se estime la resistencia del hormigón cabe recalcar que este ensayo es una prueba no destructiva hacia los elementos estructurales.

### **3.2. TIPO DE SUELO DE LA ESTRUCTURA**

Para conocer el tipo de suelo de la estructura, se procede a utilizar un estudio de microzonificación. La definición de microzonificación sísmica consiste en establecer zonas de suelos con comportamiento similar durante un sismo, de manera que puedan definirse en dicho lugar, los mapas de microzonificación se utilizan ampliamente a escala urbana en planificación del uso del suelo y en medidas de prevención y mitigación para la seguridad sísmica de las estructuras e instalaciones existentes. Fuente: (Granada, 2010)

Para el trabajo de titulación, se realizó la investigación del tipo de suelo que tiene el sector de la estructura que se está analizando, con la ayuda de una investigación realizada por el Ing. Xavier Vera y con la delimitación de puntos en Google Earth se trazó ejes para ver el tipo de suelo que cruza por dicha zona. Se llegó a la conclusión de que el tipo de suelo es de tipo B, con estos datos se puede generar el espectro de diseño según NEC-15.

### Ilustración 14

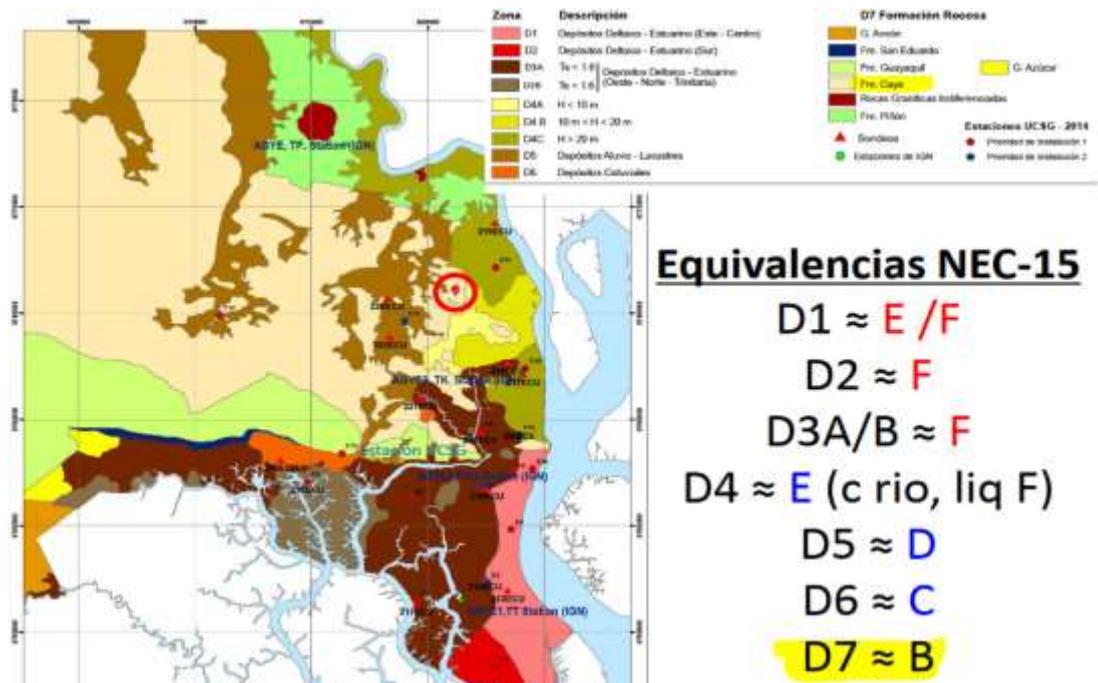
Trazado de ejes para delimitar la zona de la residencia.



Fuente. (Guido, 2021)

### Ilustración 15

Equivalencias NEC-15 tipo de suelos.



Fuente. (Vera, 2016)

La Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-15 en la sección 3.1.1 Indica los valores que se debe utilizar para generar el espectro de diseño, al tener un suelo de tipo “B” se conoce que es roca y al observar el valor de Z en la misma norma, se llega a la conclusión de que la caracterización del peligro sísmico es alta, ya que el valor de  $Z=0,40$ . Para los coeficientes de perfil de suelo  $F_a$ ,  $F_d$  y  $F_s$ , se tuvo que ir a las tablas 3, 4 y 5 de la sección 3.2.2 de la norma.

**Tabla 11.**

*Valores Para espectro de diseño según NEC-15.*

Datos Nec-15	
<b>fa</b>	1
<b>z</b>	0,4
<b>fd</b>	1
<b>fs</b>	0,75
<b>r</b>	1
<b>n</b>	1,8
<b>to</b>	0,075
<b>tc</b>	0,4125
<b>nzfa</b>	0,72
<b>Sa</b>	0,71
<b>T</b>	0,42

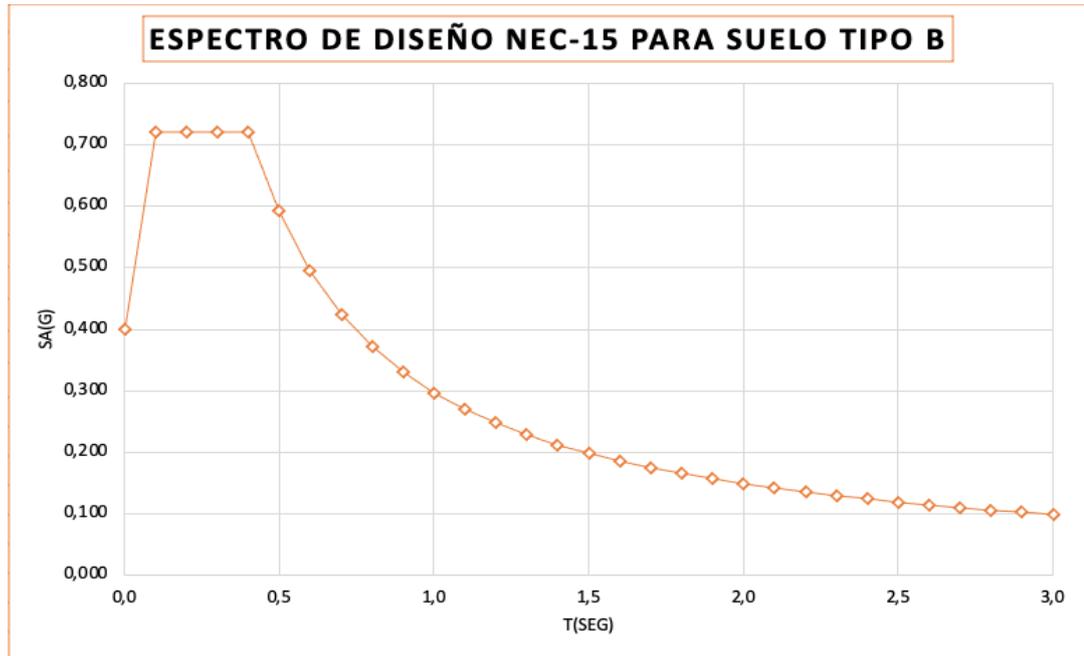
Fuente. (Autor, 2021).

Con la obtención de dichos valores de la norma se puede graficar el espectro de diseño para la estructura que se está analizando, también se llegó a la conclusión de que se va a necesitar un  $Q_{adm}$  para hacer el diseño de la cimentación con el diseño de muros que se quiere implementar como método de rehabilitación de estructura, como es una zona rocosa y tipo de suelo “B”, se asume que la capacidad admisible para dicha zona es de 50ton/m<sup>2</sup>.

Para el cálculo del espectro de diseño se hace conforme a la norma y en la **Ilustración 16** se podrá observar el resultado del mismo con una respuesta a  $T=3s$ .

## Ilustración 16

*Espectro de diseño para dicha zona.*



Fuente. (Autor, 2021)

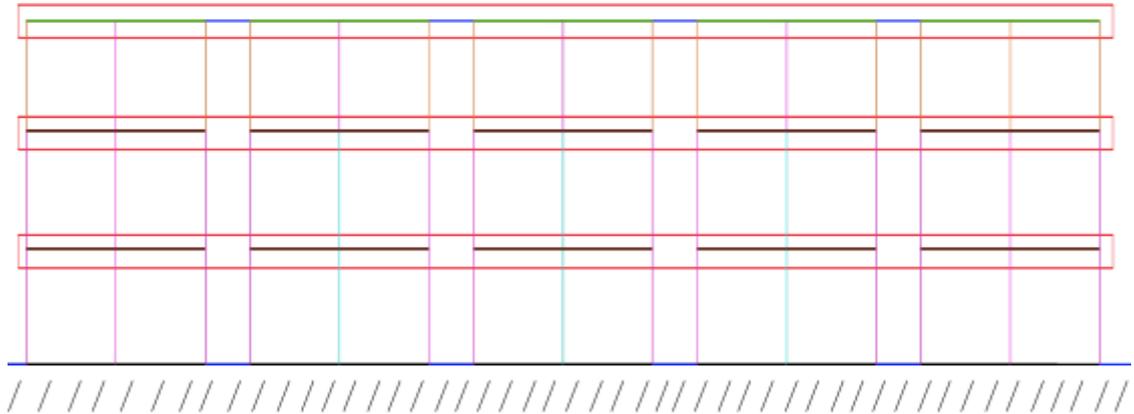
### 3.3. EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN ACTUAL

En el análisis a emplear en la estructura es el análisis estático lineal y se aplicará lo que se resumió de la norma ASCE41-17, donde la evaluación de la estructura se basará primero con sus elementos actuales, como se mencionó anteriormente, la estructura carece de criterio profesional y tiene muchas fallas, el software que se va a utilizar para analizar y ejecutar la evaluación actual de la estructura es Phyton.

En el software, se habrá que programar colocando ejes, secciones de elementos estructurales, entre otros datos. Se utilizó el análisis con el método matricial. Para modelar en el código se toma en consideración el diafragma rígido como se muestra en la **Ilustración 17** y **Ilustración 18** de color rojo como indica la leyenda.

### Ilustración 17

*Pórticos de coordenadas en x.*



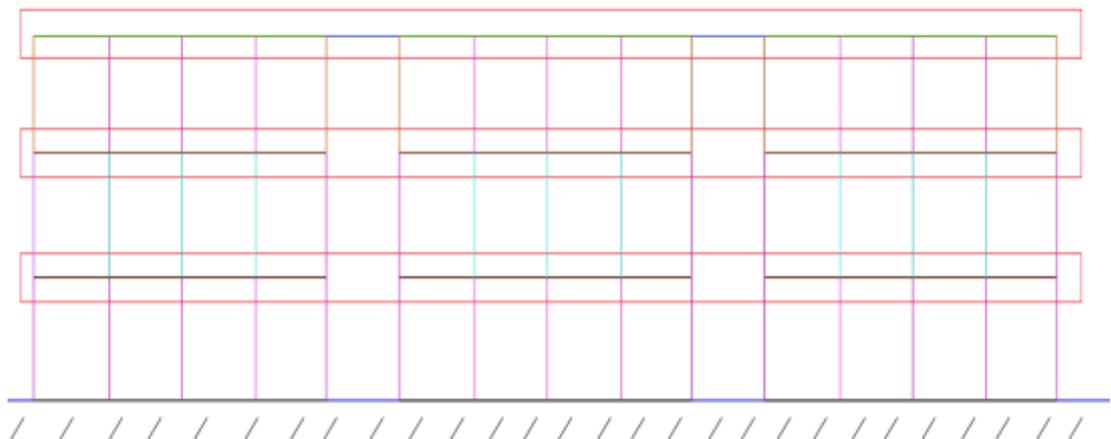
- VIGA 2 - 80x200mm
- VIGA 1 - 250x240mm
- COLUMNA 1 - 200x200mm
- COLUMNA 2 - 250x250mm
- COLUMNA 3 - 280x280mm
- DIAFRAGMA RÍGIDO

Fuente. (Autor, 2021)

Para el eje Y, cambia el orden de los pórticos, debido a que solo habría tres pórticos, pero con más columnas actuando en cada nivel.

### Ilustración 18

*Pórticos de coordenadas en eje Y.*



Fuente. (Autor, 2021).

Luego de colocar los datos de coordenadas y elevaciones, se procede a colocar los valores en el código de Phyton. El valor que se toma en consideración para el análisis estático es definir el cortante basal ( $V_b$ ), según NEC-15 en la sección 6.3.2, explica el significado de cada expresión dentro de la ecuación de ( $V_b$ ), en la **Ilustración 19** se podrá observar a detalle.

### Ilustración 19

*Cortante basal de diseño ( $V_b$ ).*

$V = \frac{IS_a(T_a)}{R\phi_p\phi_E} W$	
Dónde	
$S_a(T_a)$	Espectro de diseño en aceleración; véase en la sección <b>[3.3.2]</b>
$\phi_p$ y $\phi_E$	Coefficientes de configuración en planta y elevación; véase en la sección <b>[5.3]</b>
<b>I</b>	Coefficiente de importancia; se determina en la sección <b>[4.1]</b>
<b>R</b>	Factor de reducción de resistencia sísmica; véase en la sección <b>[6.3.4]</b>
<b>V</b>	Cortante basal total de diseño
<b>W</b>	Carga sísmica reactiva; véase en la sección <b>[6.1.7]</b>
$T_a$	Periodo de vibración; véase en la sección <b>[6.3.3]</b>

Fuente. (NEC, 2015)

Los valores de cada expresión para la ecuación se los obtienen a partir de la misma norma, cumpliendo con los requisitos de cada sección marcada, en la tabla, se puede observar los distintos valores para el cálculo de ( $V_b$ ).

**Tabla 12.**

*Valores para el cálculo de cortante basal.*

<b>I</b>	1
<b>S<sub>a</sub></b>	0,71
<b>T<sub>a</sub></b>	0,42
<b>R</b>	1
<b>φ<sub>p</sub></b>	1
<b>φ<sub>E</sub></b>	1
<b>F<sub>a</sub></b>	1
<b>F<sub>d</sub></b>	1
<b>F<sub>s</sub></b>	0,75
<b>n</b>	1,8
<b>Westructura</b>	176,24 ton

Fuente. (Autor, 2021)

En el peso de la estructura (Westructura) se tomó en consideración el peso total de la edificación, en el presente trabajo de titulación se utiliza el análisis estático lineal y se toma en cuenta las paredes externas e internas con su peso respectivo. En la **Tabla 13.**, se podrá observar el valor del cortante basal.

**Tabla 13.**

*Valor cortante Basal (Vb) en Ton.*

<b>Cortante basal (Vb)</b>	125,47	Ton
----------------------------	--------	-----

Fuente. (Autor, 2021).

En la norma NEC-15 explica en la sección 6.3.5 sobre las condiciones para el coeficiente K, dicho valor depende de período de vibración (T), se puede observar en la **Ilustración 20** las condiciones para hallar dicho valor.

**Ilustración 20**

*Condiciones para hallar K.*

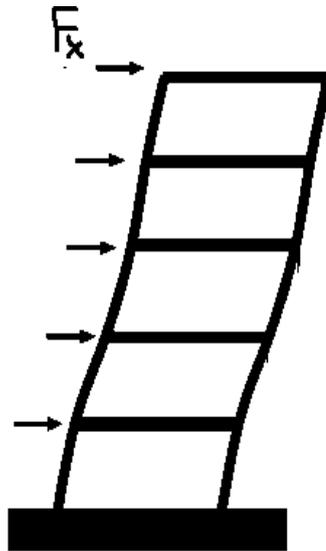
- Si  $T \leq 0,50s$ ,  $k = 1,00$
- Si  $0,50s \leq T \leq 2,50s$ ,  $k = 0,75 + 0,50T$
- Si  $T \geq 2,50s$ ,  $k = 2,00$

Fuente. (NEC, 2015)

Analizando las condiciones para el coeficiente K, el valor es de 1,00 debido a que el período de vibración es menor que 0,50s. Al obtener todos estos valores, se procede a sacar las fuerzas sísmicas que actúan en cada piso de la edificación. En la **Ilustración 21** se puede observar el comportamiento de las fuerzas sísmicas que actúan en una estructura.

## Ilustración 21

*Distribución de Fuerza sísmica por piso.*



Fuente. (NEC, 2015)

El cálculo de cada fuerza sísmica por piso tiene un requerimiento, este es, el peso por piso, considerando los pesos de losa, vigas, columnas y paredes. En la **Ilustración 22** se podrá observar la fórmula para hallar las fuerzas sísmicas aplicadas.

## Ilustración 22

*Fórmula de fuerza sísmica ( $F_x$ ).*

$$F_x = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} V_b$$

Donde:

- $w_x$  y  $w_i$  son el peso asignado al piso  $x$  o  $i$ , respectivamente (fracción de  $W$ )
- $h_x$  y  $h_i$  son las alturas del piso  $x$  o  $i$  desde la base de la estructura
- $n$  es el número de pisos de la estructura
- $V_b$  es el cortante basal de la estructura

Fuente. (NEC-2015).

En la **Tabla 14** se puede observar el cálculo de la fuerza sísmica por cada nivel de la edificación. Para la revisión de que cada fuerza esté correctamente calculada, el cortante basal del nivel 1 debe ser igual al cortante de diseño ( $V_b$ ).

**Tabla 14**

*Valores de fuerza sísmica por piso.*

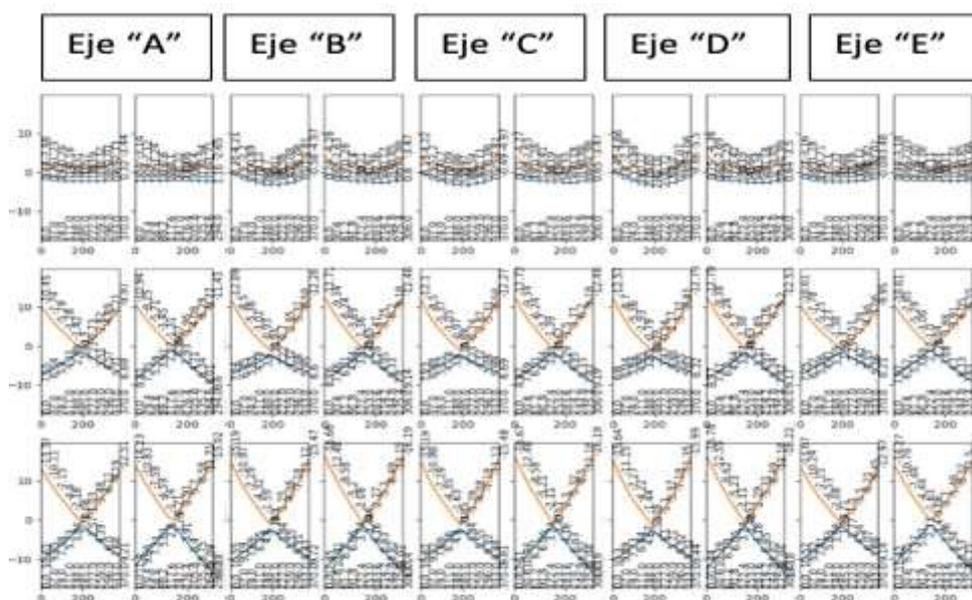
Nivel	h(m)	w(kg)	w*(h^k)	$F_x$ (kg)	$V_b$	$F_x$ (ton)
3	9,5	13480,56	128065,32	17766,61	17766,61	17,77
2	6,36	81379,53	517573,81	71803,45	89570,06	71,80
1	3,18	81379,53	258786,91	35901,72	125471,78	35,90
TOTAL		176239,62	9044260362			

Fuente. (Autor, 2021).

Luego de calcular los valores de: Peso total de estructura, Peso por piso, fuerzas sísmicas en cada nivel y cortante basal. Se procederá a colocar dichos valores en el programa y poder realizar la evaluación de condición actual de la estructura. Al correr el programa una vez que se haya colocado los valores de coordenadas X, Y, áreas e inercias de vigas y columnas, los resultados se podrán observar en la **Ilustración 23** y **Ilustración 24**.

**Ilustración 23**

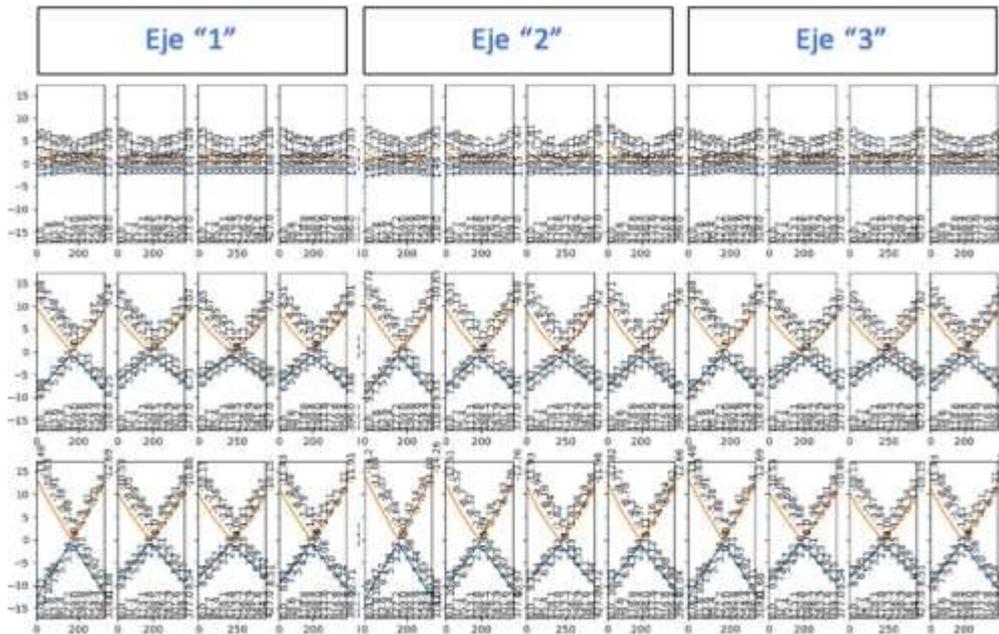
*Valores obtenidos del eje x de la condición actual de la estructura.*



Fuente. (Autor, 2021).

## Ilustración 24

Valores obtenidos en eje y de la condición actual de la estructura.



Fuente. (Autor, 2021).

De acuerdo al análisis luego de modelar la condición actual de la estructura, se procede a escoger los valores que tienen mayor demanda a flexión de vigas y columnas para evaluar según la norma ASCE 41-17 y ver si la estructura pasa la evaluación.

Para realizar la evaluación se tendría que tomar en cuenta los siguientes requerimientos:

- Momentos y cortantes con mayor demanda.
- Determinar el factor de conocimiento “k= 0.75”
- Determinar factor “m” para evaluar vigas y columnas.
- Si la estructura cumple la condición  $K*m*Q_{ce} > Q_{ud}$  quiere decir que la estructura cumple la revisión, caso contrario habría que diseñar una metodología de rehabilitación.

Se procederá a hacer la evaluación por flexión de vigas y columnas, al realizar el análisis la mayor demanda en vigas es 12.51 ton m y en columnas 19,5 ton. A, continuación, se podrá observar la revisión a flexión del elemento estructural y en la **Ilustración 25** se puede observar el factor “m” empleado para la evaluación.

## Ilustración 25

Factor "m" seleccionado para evaluación.

Conditions	Performance				
	Comp				
	Primary				
	IO	LS	CP		
Condition i. Beams controlled by flexure <sup>b</sup>					
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_{bal}}$	Transverse reinforcement <sup>c</sup>	$\frac{V^d}{b_w d \sqrt{f'_c E}}$			
$\leq 0.0$	C	$\leq 3 (0.25)$	3	6	7
$\leq 0.0$	C	$\geq 6 (0.5)$	2	3	4
$\geq 0.5$	C	$\leq 3 (0.25)$	2	3	4
$\geq 0.5$	C	$\geq 6 (0.5)$	2	2	3
$\leq 0.0$	NC	$\leq 3 (0.25)$	2	3	4
$\leq 0.0$	NC	$\geq 6 (0.5)$	1.25	2	3
$\geq 0.5$	NC	$\leq 3 (0.25)$	2	3	3
$\geq 0.5$	NC	$\geq 6 (0.5)$	1.25	2	2

Fuente. (ASCE41-17).

## MOMENTO NOMINAL VIGA

$$M_u \text{ viga} = 12.51 \text{ ton m}$$

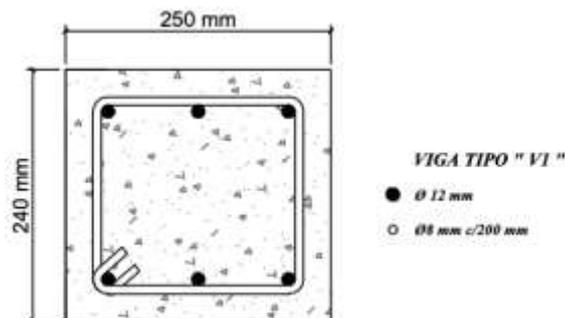
$$\phi M_n = \phi A_s F_y \left( d - \frac{a}{2} \right) = 0.9(6.79)(4200) \left( 20 - \frac{5.59}{2} \right) = 4.42 \text{ Ton m}$$

## REVISIÓN ASCE 41-17

$$m(k)(Q_{ce}) > Q_{ud}$$

$$3(0.75)(4.42 \text{ Ton m}) > 12.51 \text{ Ton m}$$

$$9.95 \text{ Ton m} < 12.51 \text{ Ton m} \therefore \text{NO CUMPLE}$$



Luego de revisar la viga con mayor demanda a flexión, se procede a hacer la evaluación para la columna con mayor demanda. La columna B2 tiene una carga axial de 19.5 ton.

$$M_n \text{columna} = 4510 \text{ kg} * m$$

$$M_u \text{columna} = 19531.78 \text{ kg} * m$$

En la **Ilustración 26** se puede observar el factor “m” que se escogió para la evaluación de la columna. Se realizó una interpolación y el factor “m” que se utilizó es 4.2.

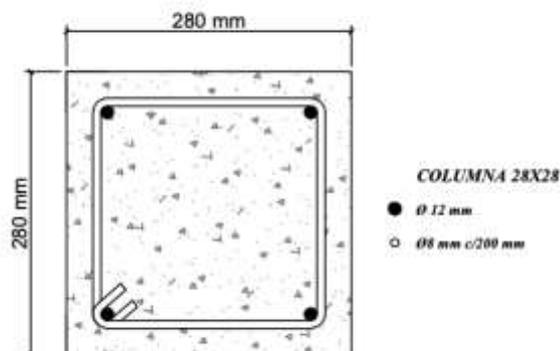
**Ilustración 26**

Factor "m" seleccionado para evaluación.

$\left(\frac{N_{UD}}{A_g F_{cE}}\right)$	m-Factors*					
	Performance Level					
	Component					
	Primary					
$P_t$	$V_{yE}/V_{c010E}$	IO	LS	CP		
Columns not controlled by inadequate development or splicing along the clear height <sup>b</sup>						
$\leq 0.1$	$\geq 0.0175$	$\geq 0.2$	1.7	3.4	4.2	←
$\geq 0.7$	$\geq 0.0175$	$\geq 0.2$	1.2	1.4	1.7	
$\leq 0.1$	$\leq 0.0005$	$\geq 0.2$	1.5	2.6	3.2	←
$\geq 0.7$	$\leq 0.0005$	$\leq 0.6$	1.0	1.0	1.0	
$\leq 0.1$	$> 0.0175$	$> 0.6$	1.5	2.7	3.3	

Fuente. (ASCE41-17).

Sección de columna utilizada para el cálculo de momento nominal.



## Revisión ASCE 41-17

$$K(m)(Q_{ce}) > Q_{ud}$$

$$(0.75)(4.2)(4.51 \text{ ton} * m) > 19.53 \text{ ton} * m$$

$$15.22 \text{ ton} * m < 19.53 \text{ ton} * m \therefore \text{NO CUMPLE}$$

Como se puede observar, la estructura no cumple con la revisión por lo que se propone una metodología de rehabilitación con muros especiales o muros de hormigón armado (H.A).

### 3.4. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN

La solución se basa en la implementación de muros especiales o muros de hormigón armado (H.A). El diseño estructural de la propuesta, se va a realizar conforme a los alineamientos de la norma ACI 318-19 a partir de la sección 18.10.1.1, los muros especiales dependen de la relación vertical de las dimensiones del segmento de muro en el plano del muro y la relación de su sección horizontal.

El refuerzo de muros especiales está directamente relacionado con la distribución uniforme del refuerzo por cortante, la intención es controlar el ancho de fisuras inclinadas. El requisito de disponer un refuerzo longitudinal mínimo en los extremos de la sección del muro es para promover la formación de fisuras de flexión secundarias bien distribuidas en la región de articulación plástica de muro con el fin de obtener la capacidad de deformación requerida para soportar un evento sísmico.

### 3.5. PROPUESTA DE METODOLOGÍA DE REHABILITACIÓN CON MUROS DE HORMIGÓN ARMADO.

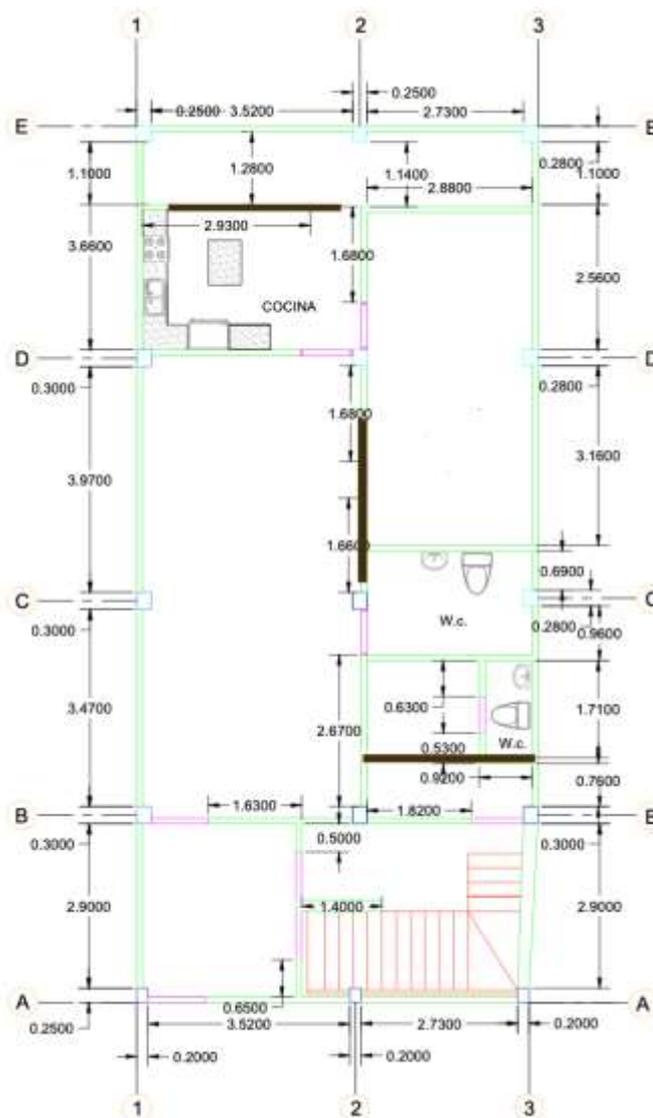
La metodología de rehabilitación de la estructura mencionada anteriormente es la aplicación de muros estructurales de hormigón armado, con el relevamiento estructural de la edificación, se realizaron planos estructurales y arquitectónicos para obtener una idea de la ubicación de la solución planteada. Al analizar la arquitectura de la edificación, se llegó a la conclusión

de que no existe forma de no dañar la parte arquitectónica debido a que, la estructura carece de refuerzo y existe mala práctica constructiva.

En la **Ilustración 27** y **Ilustración 28** se puede observar la ubicación de los muros especiales o muros estructurales de hormigón armado (H.A.), las dimensiones y propiedades del muro son de: 2m de longitud, espesor de 25cm,  $f'c = 24\text{Mpa}$  y  $f_y = 420\text{Mpa}$ . Se toma en consideración ambos ejes para el diseño de muros especiales, para que exista mayor rigidez y controlar la fuerza sísmica. Los muros se colocarán en planta baja y primer nivel, ya que en el segundo nivel no consta con una losa.

### Ilustración 27

*Ubicación de muros estructurales de hormigón armado en planta baja.*

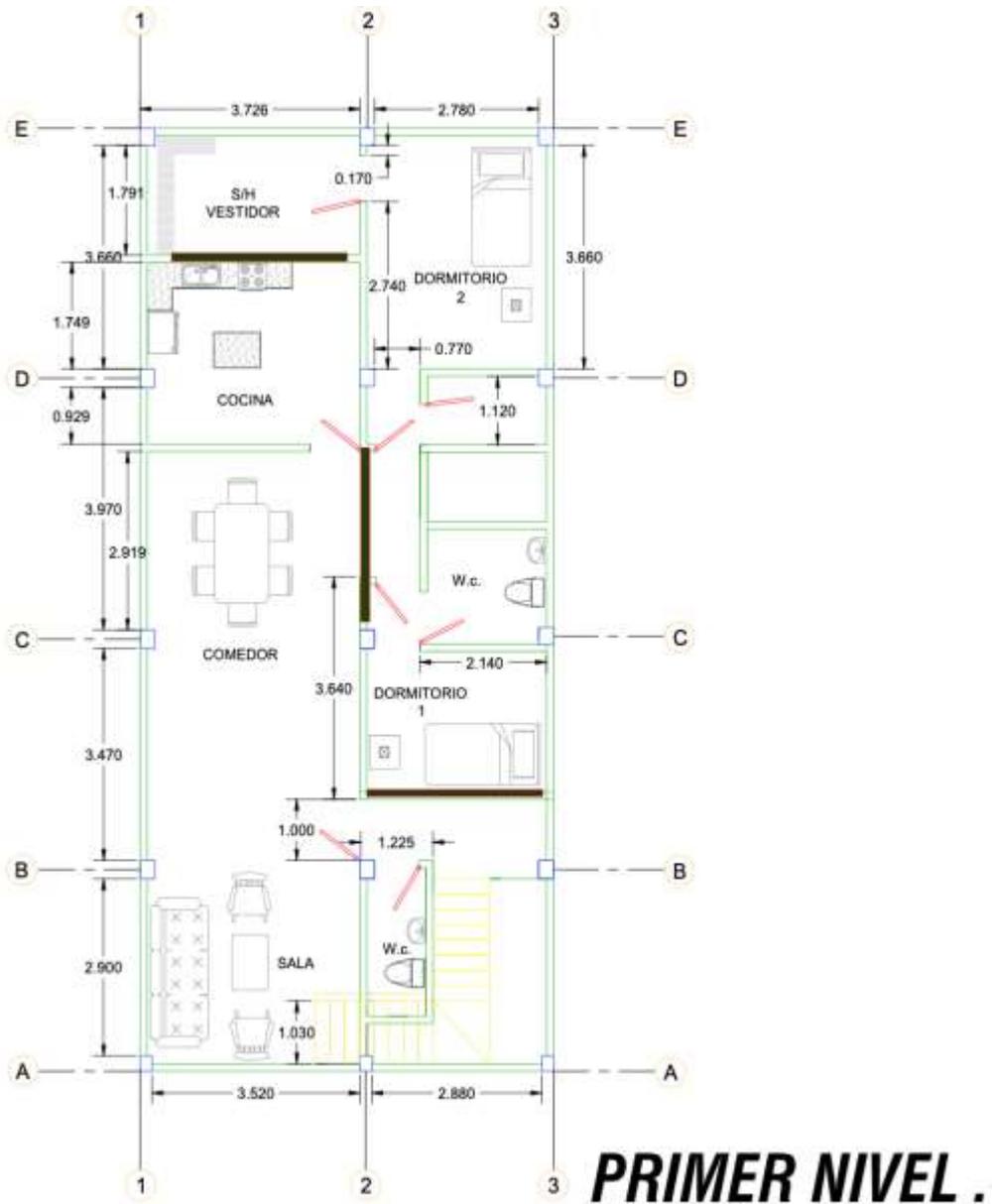


**PLANTA BAJA .--**

Fuente. (Autor, 2021)

## Ilustración 28

Ubicación de muros estructurales de hormigón armado en primer nivel.



Fuente. (Autor, 2021)

### 3.5.1. DISEÑO DE MURO DE HORMIGÓN ARMADO

El diseño del muro se debe tomar en cuenta que, al realizar el modelo hay que utilizar los factores de reducción que están en la norma ACI 318-19 sección 6.3.4, existen ciertos criterios para seleccionar el factor R:

- Tipo de estructura y suelo.
- Período de vibración considerado.

Los coeficientes para R en sistemas de muros de hormigón armado se muestran en la ilustración se adoptará un valor de R=3, ya que la estructura está limitada a 4 pisos.

#### Ilustración 29

*Factor R para muros estructurales.*

<b>Muros estructurales portantes</b>	
Mampostería no reforzada, limitada a un piso.	1
Mampostería reforzada, limitada a 2 pisos.	3
Mampostería confinada, limitada a 2 pisos.	3
Muros de hormigón armado, limitados a 4 pisos.	3

Fuente. (Autor, 2021)

Al colocar el factor de reducción de resistencia en la hoja de cálculo se obtienen nuevos valores de cortante basal y fuerzas sísmicas por nivel, en la **Ilustración 30** y **Tabla 15** se puede observar los nuevos valores para luego proceder al modelo del muro estructural.

**Tabla 15**

*Cortante basal ( $V_b$ ) con factor de reducción de resistencia R.*

<b>Cortante basal (<math>V_b</math>)</b>	41,82	Ton
--	-------	-----

Fuente. (Autor, 2021)

### Ilustración 30

Fuerzas sísmicas por nivel.

Nivel	h(m)	w(kg)	w*(h^k)	Fx (kg)	Vb	Fx (ton)
3	9,5	13480,56	128065,32	5922,20	5922,2	5,92
2	6,36	81379,53	517573,8108	23934,48	29856,69	23,93
1	3,18	81379,53	258786,9054	11967,24	41823,93	11,97
		176239,62	904426,0362			

Fuente. (Autor, 2021)

Con los valores obtenidos se procede a colocar dichos datos en el software de Phyton para obtener las cargas que actúan en la estructura del muro para luego diseñar la metodología de rehabilitación de la edificación.

### DISEÑO DE MURO ESTRUCTURAL EN EJE Y.

Al colocar los datos en el programa, los valores que actúan en el muro son los siguientes:

- $P_u = 0 \text{ Ton}$
- $M_u = 181.41 \text{ Ton m}$
- $V_u = 40 \text{ Ton}$

Con los valores obtenidos, se procede a realizar el diseño de muro estructural conforme a las indicaciones del ACI 318-19 en la sección 18.10.

Se realizó un pre-dimensionamiento del muro especial con las siguientes características:

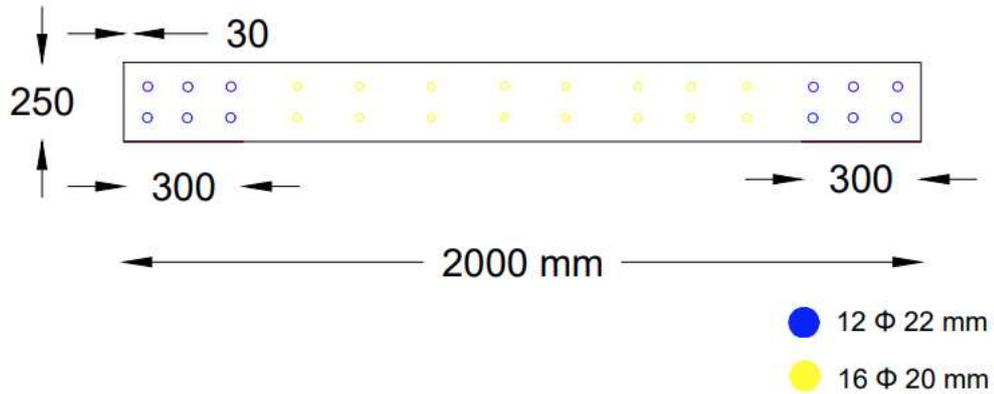
- Longitud: 2m.
- Ancho: 25cm.
- $f'_c = 240 \text{ Kg/cm}^2$ .
- $F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ .
- $h_w = 6.36 \text{ m}$ .

En la **Ilustración 31** se puede observar un alzado tipo muro para obtener una mejor idea.

### Ilustración 31

Pre-Dimensionamiento de muro especial.

## PREDIMENSIONAMIENTO DE MURO



Fuente. (Autor, 2021)

El diseño comienza en la sección 18.10.2.1, donde la normativa explica sobre el refuerzo distribuido e indica que  $\rho_l$  y  $\rho_t$  deben ser por lo menos 0.0025, pero primero se hace la revisión con la siguiente ecuación:

- **18.10.2.1:** Revisión de refuerzo distribuido

$$0.27\sqrt{f'_c}A_{cv}$$

$$A_{cv} = 200(25) = 5000\text{cm}^2$$

$$0.27\sqrt{240}(5000) = 20.9 \text{ Ton.}$$

Entonces, como  $V_u > 0.27\sqrt{f'_c}A_{cv} \therefore \rho_{t \text{ min}} = \rho_{l \text{ min}} = 0.0025$

- **18.10.2.2:** Definir si se va a utilizar una o dos mallas de refuerzo.

$$0.53\sqrt{f'_c}A_{cv}$$

$$0.53\sqrt{240}(5000) = 41.1 \text{ Ton.}$$

Entonces, como  $V_u < 0.53\sqrt{f'_c}A_{cv} \therefore$  Se requiere utilizar una malla.

- **18.10.2.4:** Indica que según la relación  $\frac{h_w}{l_w} > 2$  se deben cumplir dos requerimientos de la norma.

$$h_w = 6.36m \quad l_w = 2m$$

$$\frac{h_w}{l_w} = 3.18m > 2$$

Entonces al ser mayor que 2, el refuerzo longitudinal debe satisfacer los siguientes requerimientos:

**A) El fuerza longitudinal en  $0.15l_w$  tiene que ser por lo menos  $1.6 \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y}$ .**

Entonces;

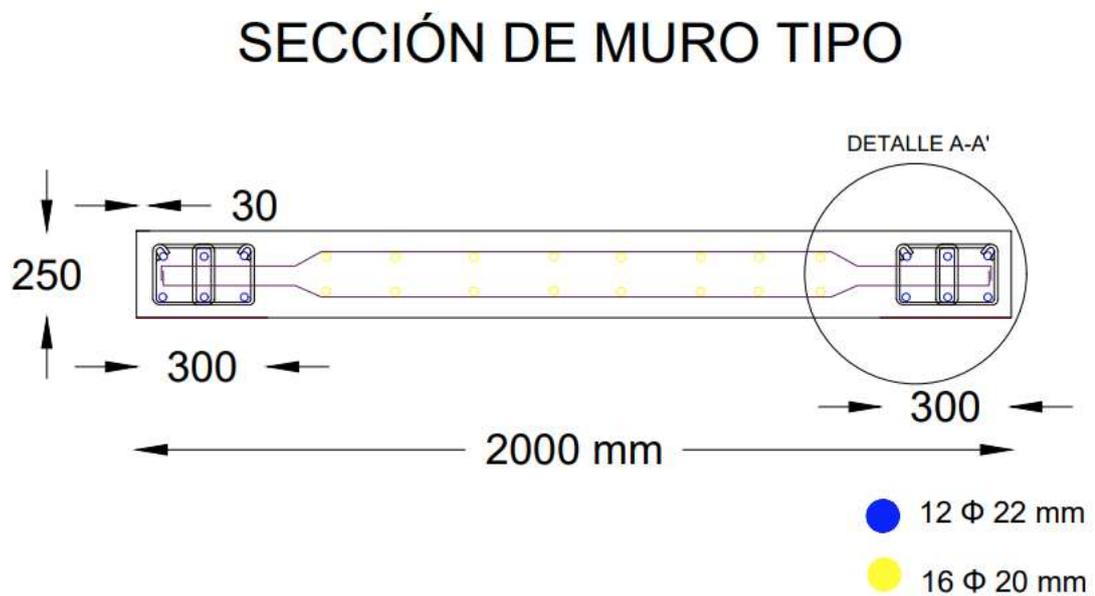
$$0.15 l_w = 0.15(2) = 0.30 m$$

$$\rho_{min} = 1.6 \frac{\sqrt{240}}{4200} = 5.9 \times 10^{-3}$$

$$A_{s_{min}} = 5.9 \times 10^{-3} (30)(25) = 4.42 \text{ cm}^2$$

### Ilustración 32

Vista en planta de muro especial.

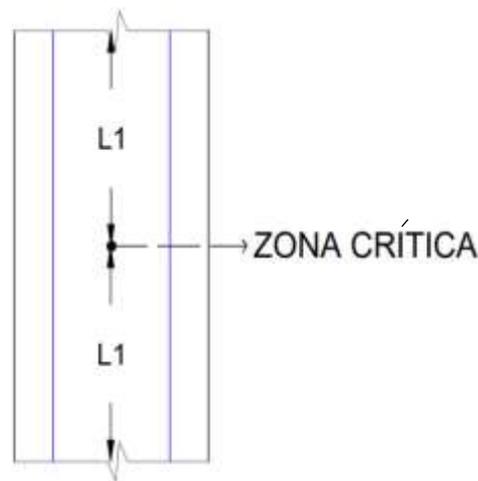


Fuente. (Autor, 2021)

**B)** Indica que el refuerzo longitudinal obtenido en A debe extenderse verticalmente por encima y debajo de la zona crítica por lo menos  $l_w$  o  $\frac{M_u}{3V_u}$ . En la **Ilustración 33** se puede observar en altura la zona crítica los aceros que están concentrados en las esquinas del muro y su longitud que debería tener como mín. De la relación mencionada anteriormente.

**Ilustración 33**

Zona crítica y longitud ( $L_1$ ).



Fuente. (Autor, 2021)

$$\frac{M_u}{3V_u} = \frac{181.71}{3(40)} = 1.51 \quad l_w = 2m$$

$$L_1 = \text{Máx}(l_w ; \frac{M_u}{3V_u})$$

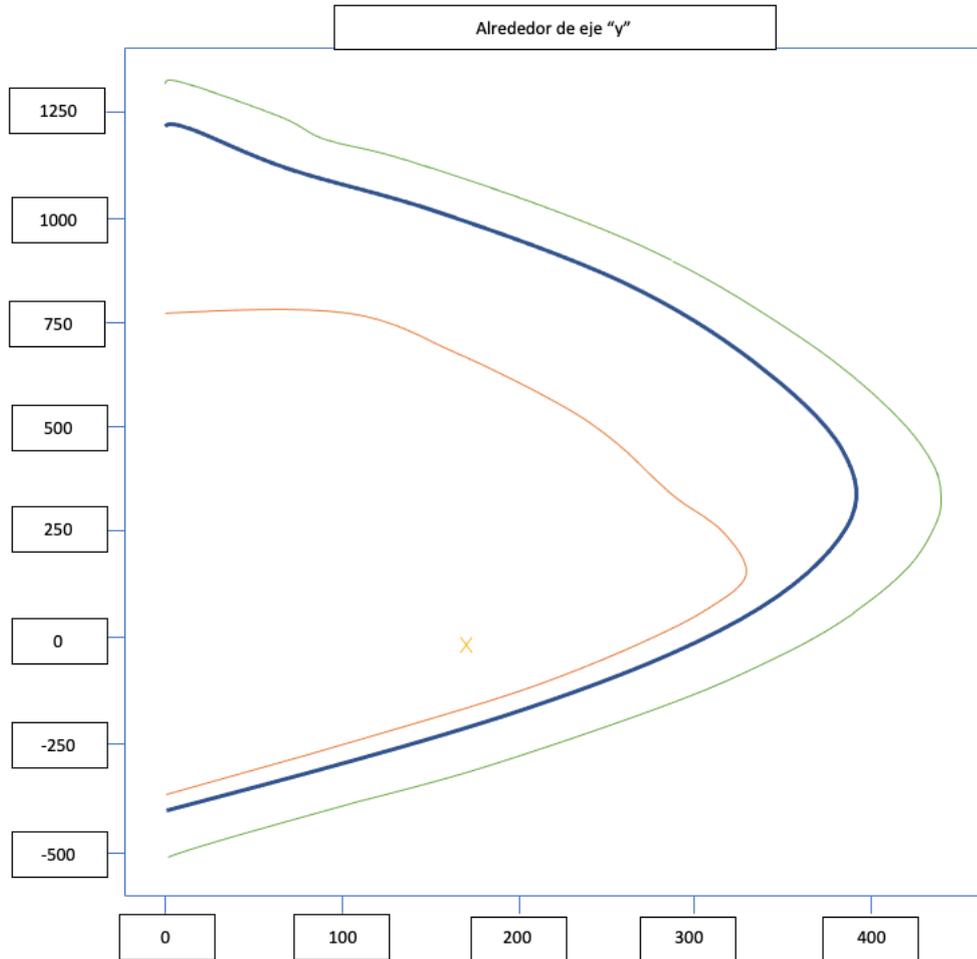
$$L_1 = \text{Máx}(2 ; 1.51) = 2m \text{ por lo menos.}$$

**REVISIÓN A FLEJO-COMPRESIÓN.**

Para la revisión a flexo-compresión se utilizó un diagrama de interacción para establecer el momento probable, que es necesario para el cálculo de la fuerza cortante. En la **Ilustración 34** se puede observar el diagrama de interacción que actúa alrededor del eje Y.

### Ilustración 34

Diagrama de interacción alrededor del eje Y.



Fuente. (Autor, 2021)

Donde,

$$M_{PR}, P_{PR} = (\text{Verde})$$

$$P_n, M_n = (\text{Azul})$$

$$\emptyset P_n, \emptyset M_n = (\text{Naranja})$$

$$P_u, M_u = X (\text{Amarillo})$$

- **18.10.3.1.2: Demanda por corte.**

En esta parte las alturas van a ser iguales debido a que en la estructura actual no existe ningún sótano.

$$h_w = h_{wCS}$$

$$\frac{h_{wCS}}{l_w} = 3.18 > 1.5 \quad \therefore \quad \Omega_v = \frac{M_{pr}}{M_u}$$

Es necesario saber el valor de  $M_{pr}$  que se puede obtener del diagrama de interacción del muro.

$$\Omega_v = \frac{M_{pr}}{M_u} = \frac{440}{181.71} = 2.42$$

- **18.10.3.1.3: Indica que el cálculo de  $\omega_v$  depende de la relación  $h_{wCS}/l_w$ .**

$$\frac{h_{wCS}}{l_w} = 3.18 > 2 \quad \therefore \quad \omega_v = 0.9 + \frac{n_s}{10}$$

Donde,  $n_s$ : Es el número de pisos por encima de la zona crítica, en el caso del estudio sería 1. Pero la normativa indica que dicho valor no debe tomarse menor que la cantidad de  $0.000276h_{wCS}$

$$0.000276h_{wCS} = 0.000276(6360) = 1.75 > 1 \quad \therefore \quad \text{usar } 1.75$$

$$\omega_v = 0.9 + \frac{1.75}{10} = 1.08$$

- **18.10.3.1: Cortante sísmico**

$$V_e = \Omega_v \omega_v V_u < 3V_u$$

$$V_e = 2.42(1.08)(40) < 3(40)$$

$$V_e = 104.54 < 120 \text{ Ton}$$

$$V_e = 104.54 \text{ Ton}$$

- **18.10.4.1: Resistencia a corte**

En esta sección el valor de  $\alpha_c$  depende de la relación  $\frac{h_{wCS}}{l_w}$ .

$$\frac{h_{wcs}}{l_w} = 3.18 > 2 \therefore \alpha_c = 0.53$$

El valor de  $V_n$  según la norma ACI 318-19 en la sección 18.10.4.5 no debe exceder de  $2.65\sqrt{f'_c} A_{cw}$ .

$$\phi V_n = 0.6 \text{ (Muros)}$$

$$2.65\sqrt{240} (200)(25) = 205.26 \therefore 0.6(205.26) = 123.16 > V_e \therefore \text{Ok}$$

Se puede observar que la revisión según 18.10.4.5 el cortante es mayor que el cortante sísmico, esto quiere decir que las dimensiones empleadas en el muro son satisfactorias para el diseño.

$$\phi V_n = A_{cv}(\alpha_c \sqrt{f'_c} + \rho_t f_y)$$

$$\phi V_n = (0.6)5000(0.53\sqrt{240} + \rho_t 4200) \therefore \rho_t \text{ requerido} = 6.3 \times 10^{-3}$$

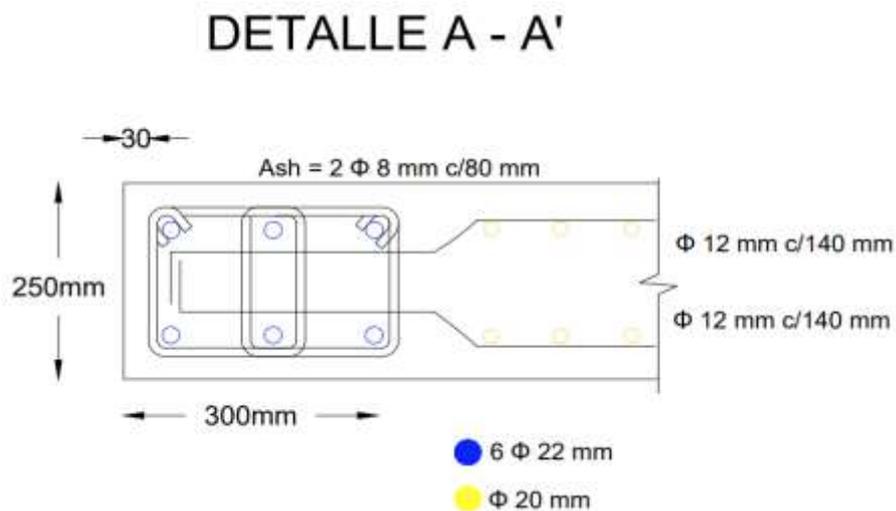
$$\rho_t \text{ requerido} = \frac{A_s}{bS} \therefore \text{Si } \phi = 12\text{mm } S = \frac{1.13(2)}{6.3 \times 10^{-3}(25)} = 14\text{cm}$$

*$\therefore$  usar  $\phi 12\text{mm } C/140\text{mm}$*

En la **Ilustración 35** se puede observar el detalle de muro en corte con el refuerzo longitudinal y transversal.

### Ilustración 35

*Detalle de refuerzo longitudinal y transversal de muro.*



Fuente. (Autor, 2021)

## DISEÑO DE MURO ESTRUCTURAL EN EJE X.

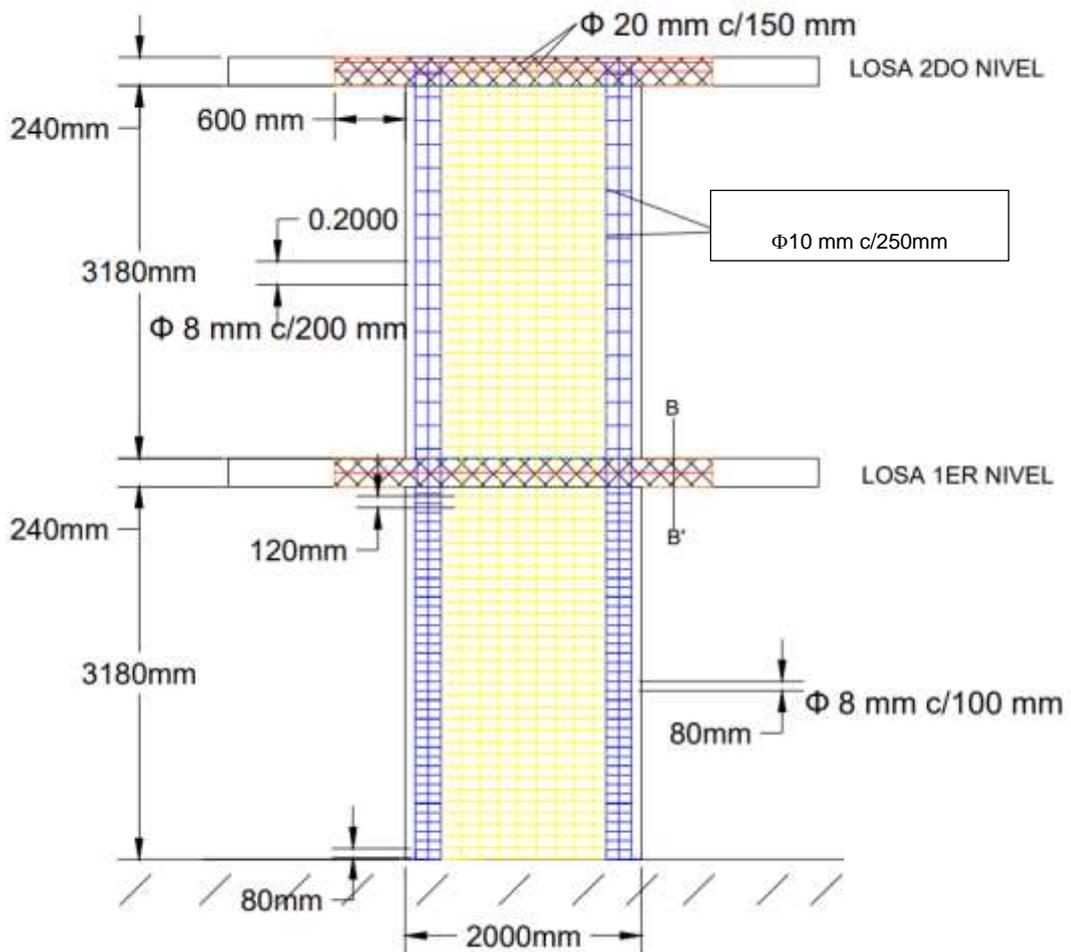
Las fuerzas actuantes para el muro en esta dirección son:

- $P_u = 0 \text{ Ton}$
- $M_u = 181.71 \text{ Ton m}$
- $V_u = 36.39 \text{ Ton}$

Para el diseño de muro estructural en el eje x, al obtener cargas similares al eje Y. Se adoptará el mismo diseño. Para realizar la rehabilitación se debe romper la pared existente con las dimensiones del muro de diseño y se debe romper parte de la losa para que ambos elementos trabajen como uno solo, se agregó una varilla transversal para que sirva de conector de corte, en la **Ilustración 36** se puede observar el plano de conexión.

### Ilustración 36

*Conexión muro-loza.*



Fuente. (Autor, 2021)

### 3.5.2. REVISIÓN SEGÚN NORMA ASCE 41-17 DE MUROS ESTRUCTURALES

La revisión según la normativa ASCE 41-17 en la sección 10.4.2.3 indica los valores para el factor “m” para revisar si la estructura es apta o no, en la **Ilustración 25** e **Ilustración 26** se puede observar la revisión que se realizó a los elementos estructurales antes de hacer la rehabilitación con el muro especial.

Para la nueva revisión se va a tomar en consideración los mismos elementos analizados, pero con la diferencia de que ahora los factores “m” se van a tomar como elementos secundarios en el rango CP que es la condición de colapso.

**Ilustración 37** Factores “m” de columnas para revisión con la rehabilitación empleada.

<i>m</i> -Factors*							
Performance Level							
Component Type							
	$P_f$	$V_{yE}/V_{calOE}$	IO	Primary		Secondary	
				LS	CP	LS	CP
<i>Columns not controlled by inadequate development or splicing along the clear height<sup>b</sup></i>							
$\left(\frac{N_{UD}}{A_g f_{cE}}\right) \leq 0.1$	$\geq 0.0175$	$\geq 0.2$	1.7	3.4	4.2	6.8	8.9
$\geq 0.7$	$\geq 0.0175$	$< 0.6$	1.2	1.4	1.7	1.4	1.7
$\leq 0.1$	$\leq 0.0005$	$\geq 0.2$	1.5	2.6	3.2	2.6	3.2

Fuente. (ASCE41-17)

Se realiza una interpolación para la selección del factor “m” y el valor es 6.05, entonces la revisión va a ser la siguiente:

$$k(m)(Q_c) > Q_u$$

$$0.75(6.05)(4.51) > 12.51 \text{ Ton}$$

$$20.46 > 12.51 \text{ Ton} \therefore \text{CUMPLE CON REVISIÓN}$$

De igual forma se realiza la revisión para las vigas, se debe escoger un nuevo factor “m” para elementos secundarios en la condición CP.

### Ilustración 38

Factores "m" de vigas para revisión con la rehabilitación empleada.

			m-Factors <sup>a</sup>				
			Performance Level				
			Component Type				
			Primary		Secondary		
Conditions			IO	LS	CP	LS	CP
Condition i. Beams controlled by flexure <sup>b</sup>							
$\frac{p - p'}{p_{total}}$	Transverse reinforcement <sup>c</sup>	$\frac{V^d}{b_w d \sqrt{f'_c E}}$					
$\leq 0.0$	C	$\leq 3 (0.25)$	3	6	7	6	10
$\leq 0.0$	C	$\geq 6 (0.5)$	2	3	4	3	5
$\geq 0.5$	C	$\leq 3 (0.25)$	2	3	4	3	5
$\geq 0.5$	C	$\geq 6 (0.5)$	2	2	3	2	4
$\leq 0.0$	NC	$\leq 3 (0.25)$	2	3	4	3	5

Fuente. (ASCE41-17)

Se escogió un factor "m" de 5 y la revisión del elemento estructural es el siguiente:

$$k(m)(Q_c) > Q_u$$

$$0.75(5)(4.42) > 12.51 \text{ Ton } m$$

$$16.58 \text{ Ton } m > 12.51 \text{ Ton } m \therefore \text{CUMPLE CON REVISIÓN}$$

Se puede observar que con la implementación de los muros estructurales se disipa la energía que actúa en la estructura, generando un mejor comportamiento sísmico y que los elementos estructurales cumplan con la revisión de la normativa.

### 3.5.3. DISEÑO DE CIMENTACIÓN

Para el diseño de cimentación para el muro estructural se va a tomar como referencia el libro de (M.Das, 2011) de fundamentos de Ingeniería en cimentaciones. En la sección 3.9 del libro, indica las cimentaciones con cargas excéntricas y explica que existen casos en donde existen casos que las cimentaciones están sujetas a momentos, además de la carga vertical y para este tipo de situaciones la distribución de la presión nominal es la siguiente:

Debido al tipo de suelo se optó por las siguientes dimensiones:

- $Q_{adm} = 50 \text{ ton}/m^2$
- $D = 3 \text{ m}$
- $P_{muro} = 11.81 \text{ ton}$
- $B = 6 \text{ m}$
- $M = 181.71 \text{ ton m}$
- $V = 40 \text{ ton}$
- $\gamma_s = 1.80 \text{ ton}/m^3$
- $\gamma_H = 2.4 \text{ ton}/m^3$
- $L = 4 \text{ m}$
- $P_p = 139.68 \text{ Ton}$

Al establecer dimensiones a la zapata, se procede a calcular el momento de volteo que actúa en la cimentación.

$$M_v = 181.71 + 40(3) = 301.71 \text{ Ton m}$$

Luego, se realiza el cálculo del momento resistente, que busca satisfacer la demanda del momento de volteo.

$$M_r = \frac{11.81(6)}{2} + (139.68) \left(\frac{6}{2}\right) = 454.47 \text{ ton m} \rightarrow M_r > M_v \therefore \text{OK}$$

A continuación, se realiza el cálculo del FS:

$$FS = \frac{301.71}{139.68} = 2.16$$

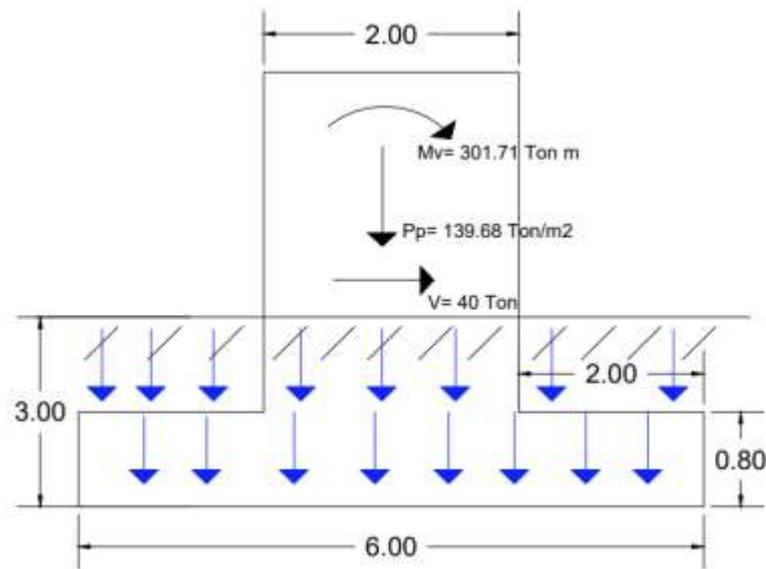
Como cumple con la revisión, luego se realiza el cálculo de “e” que es la excentricidad existente en la zapata debido a que la cimentación esta sujeta a momentos además de la carga vertical ejercida.

$$e = \frac{M_v}{P} = 2.04 \text{ m}$$

Al realizar la revisión de  $e > \frac{B}{6}$  ;  $2.04 > 1\text{m}$  la distribución de la presión nominal será de manera triangular. En la **Ilustración 39** se puede observar las dimensiones de muro empleadas para el diseño. En la **Ilustración 40** se observa la distribución de la presión del suelo.

### Ilustración 39

*Dimensiones de cimentación y cargas actuantes.*



Fuente. (Autor, 2021)

Como la excentricidad es mayor que la relación  $B/6$ , significa que se va a desarrollar una tensión y el suelo por ende no puede soportar tensiones, por lo que se debe calcular un  $Q_{\text{máx}}$  en la zapata, la ecuación para obtener dicho resultado está en el libro de (M.Das, 2011).

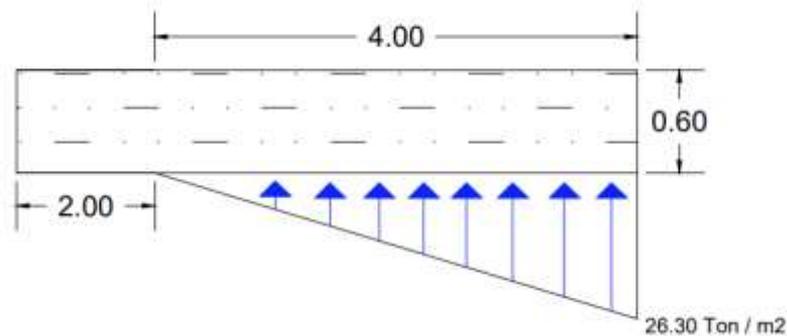
$$q_{\text{máx}} = \frac{4P_p}{3L(B - 2e)}$$

$$q_{\text{máx}} = 26.3 \text{ Ton/m}^2$$

Se obtuvo un  $q_{m\acute{a}x} = 26.3 \text{ ton/m}^2$  . Luego se debe calcular  $M_u$  y  $V_u$  , en los extremos, ya que en esa \u00e1rea se concentran los esfuerzos y tiende a producir un levantamiento. Se va a tomar dicha secci\u00f3n como si fuera una viga en voladizo para su c\u00e1lculo correspondiente. Al realizar los c\u00e1lculos se obtuvo un  $M_u = 210.4 \text{ Ton m}$  y  $V_u = 210.4 \text{ Ton}$ .

#### Ilustraci\u00f3n 40

*Distribuci\u00f3n de esfuerzos de presi\u00f3n de suelo.*



Fuente. (Autor, 2021)

Para el dise\u00f1o de la zapata, se procede a calcular la cuant\u00eda, al obtener este valor, se realiza el c\u00e1lculo de momento nominal de la zapata. Antes de colocar la ecuaci\u00f3n de momento nominal, se debe establecer el factor “w”. Primero, se procede a realizar el c\u00e1lculo para el acero de refuerzo de la zapata, con la siguiente ecuaci\u00f3n:

$$A_s = 26.44 \text{ cm}^2 \therefore \phi 20\text{mm } c/150\text{mm}$$

$$w = \frac{f_y}{f'_c} (\rho) = \frac{4200}{350} (2.79 \times 10^{-3}) = 0.033$$

Luego de haber obtenido el factor “w”, se procede a calcular el momento nominal de la zapata.

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

- $f'_c = 350 \text{ kg/cm}^2$
- $b = 400 \text{ cm}$
- $d = 75 \text{ cm}$

$$\phi M_n = 0.9(400)(75^2)(350)(0.033)(1 - 0.59(0.033)) = 229.33 \text{ ton m}$$

$$\phi M_n > M_u \therefore \text{OK!}$$

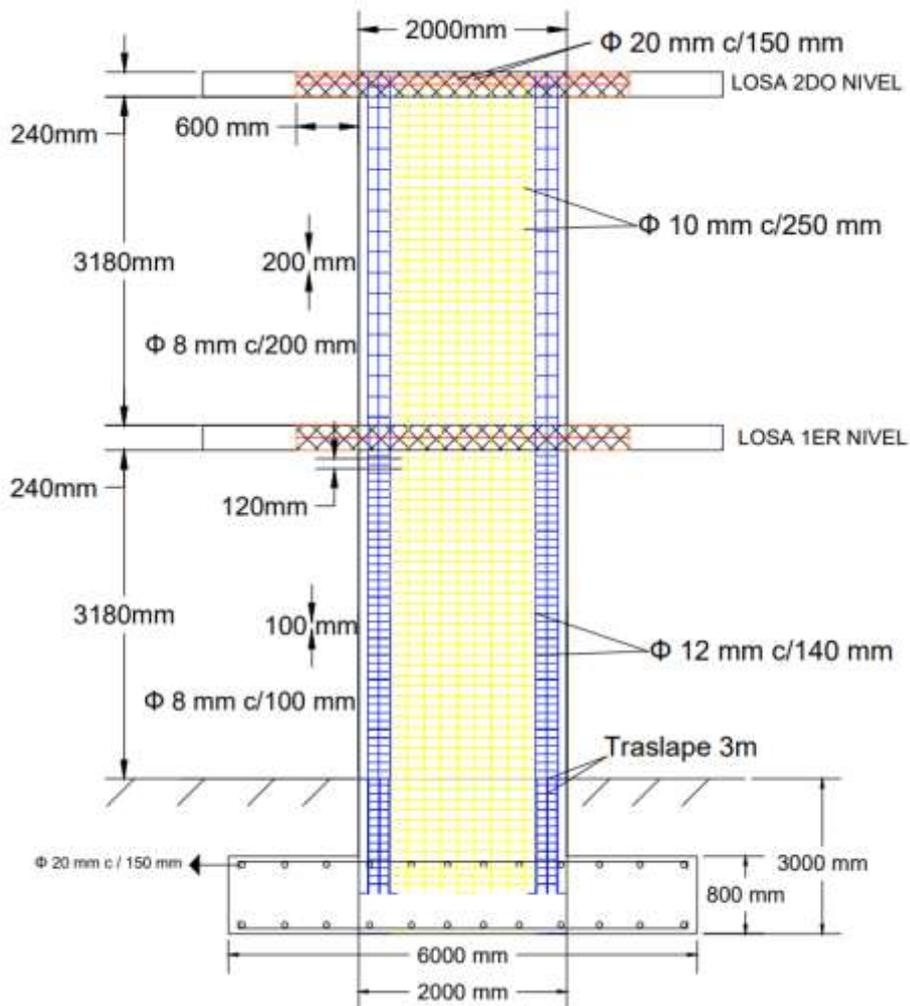
$$\phi V_c = 0.75 \left( 0.53 \sqrt{f'_c} b_w d \right) = 0.75(0.53)(\sqrt{350})(400)(75) = 223.1 \text{ Ton}$$

**Revisión por Corte:**  $223.1 > 210.4 \therefore \text{OK!}$

Al obtener un momento nominal, mayor a la demanda, quiere decir que las dimensiones de la zapata son satisfactorias para el diseño. El acero de refuerzo se deberá distribuir a lo largo de la cimentación. En la normativa del ACI 318-19, en la sección 18.13.2.5, indica que los efectos sísmicos crean fuerzas de levantamiento en los elementos de borde de los muros estructurales especiales de hormigón armado, en la **Ilustración 41** se puede observar el modelo final de la cimentación.

#### Ilustración 41

*Armado de cimentación de muro especial.*



Fuente. (Autor, 2021)

### **3.6. CANTIDADES ESTIMADAS PARA EMPLEAR LA REHABILITACIÓN**

Volumen de hormigón a utilizar: 57.06 m<sup>3</sup>.

Peso en Kg de acero a utilizar: 12128.21 Kg.

Estas son las cantidades estimadas para la elaboración de la rehabilitación de la residencia conforme al diseño estructural, cuenta con el acero del muro estructural especial, cimentación y cortes para la unión losa-muro.

## **CAPÍTULO IV**

### **4.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **Conclusiones:**

- Al implementar los muros especiales en la estructura cumple con la rehabilitación generando un equilibrio entre los elementos que se encuentran en la edificación, así la estructura ya cumple con la revisión de la normativa ASCE 41-17. Pero no es factible, ya que no existe espacio suficiente para la colocación de la cimentación.

#### **Recomendaciones:**

- Se debe realizar un estudio de suelo, ya que los valores de diseño de cimentación son asumidos debido a la falta de planos estructurales, se asume un  $Q_{adm}$  por el tipo de suelo que posee la estructura.

## REFERENCIAS

ACI (American Concrete Institute) Committee 318. (2019). *Building Code Requirements or Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary (ACI 318R-14)*. Farmington Hills, MI.

Bayas, G. (Guido Bayas). *Delimitación de puntos*. Guayaquil.

Construmática. (22 de octubre de 2018). *Construmática*. Obtenido de Construcción de muros de hormigón.: [https://www.construmatica.com/construpedia/Construcci%C3%B3n\\_de\\_Muros\\_de\\_Hormig%C3%B3n](https://www.construmatica.com/construpedia/Construcci%C3%B3n_de_Muros_de_Hormig%C3%B3n)

Granada, U. d. (2010). *Masteres.ugr.es*. Obtenido de Microzonificación sísmica y efectos de sitio: [https://masteres.ugr.es/geomet/pages/info\\_academica/asig/zonifica#:~:text=La%20microzonificaci%C3%B3n%20s%C3%ADsmica%20consiste%20en,la%20construcci%C3%B3n%20de%20edificaciones%20sismorresistentes](https://masteres.ugr.es/geomet/pages/info_academica/asig/zonifica#:~:text=La%20microzonificaci%C3%B3n%20s%C3%ADsmica%20consiste%20en,la%20construcci%C3%B3n%20de%20edificaciones%20sismorresistentes).

M.Das, B. (2011). *Fundamentos de Ingeniería en cimentaciones*. México: CENGAGE.

NEC-15. (2015). *Norma Ecuatoriana de Construcción*.

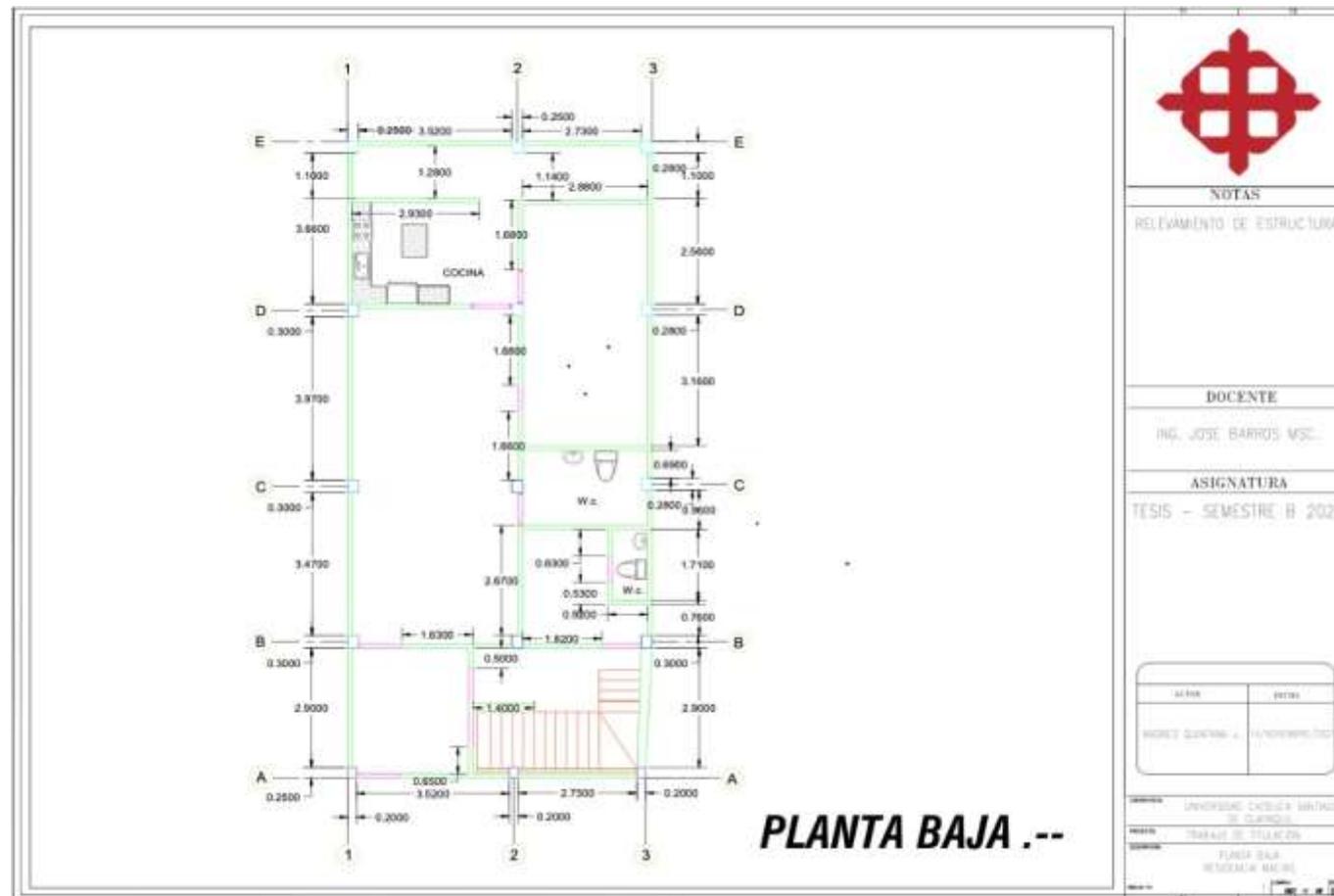
STANDARD, A.-1. (2017). *SEISMIC EVALUATION AND RETROFIT OF EXISTING BUILDING*. RESTON, VIRGINIA: AMERICAN SOCIETY OF ENGINEERS.

Vera, I. X. (2020). *Equivalencias NEC-15 tipo de suelos*. Guayaquil.

## **ANEXOS**

## Ilustración 42

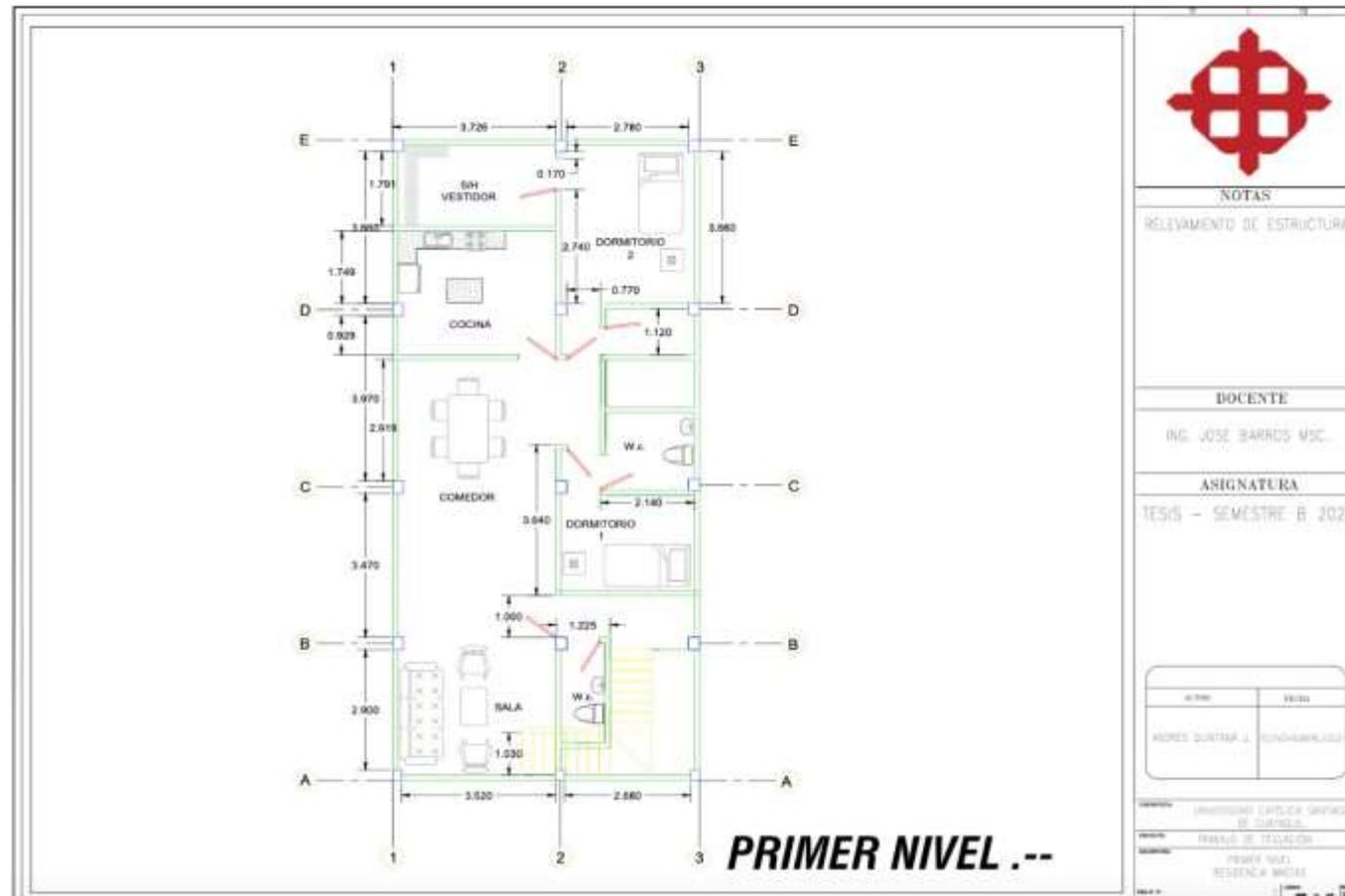
Planos arquitectónicos de residencia planta baja.



Fuente. (Autor, 2021)

### Ilustración 43

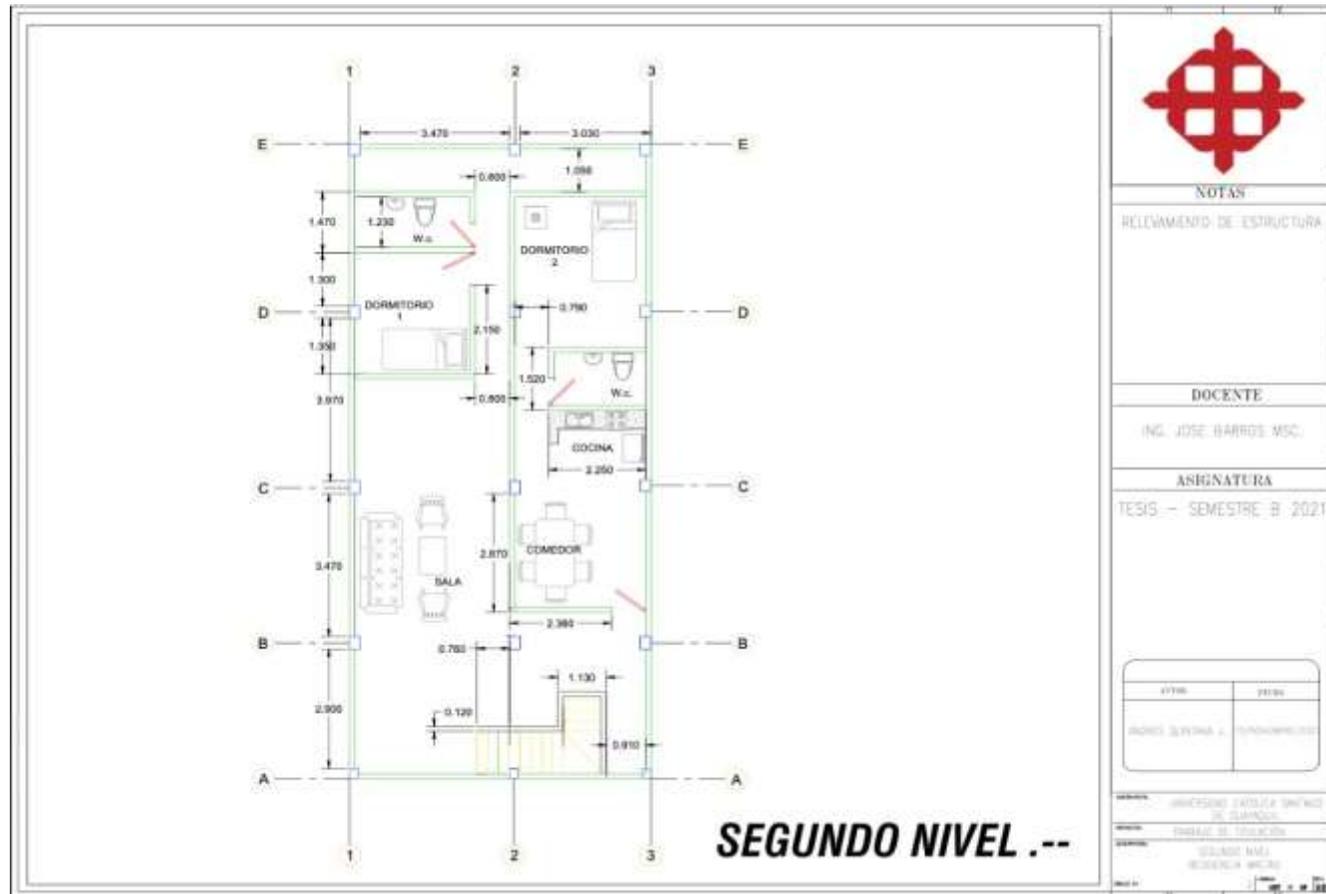
Planos arquitectónicos de residencia 1er nivel.



Fuente. (Autor, 2021)

### Ilustración 44

Planos arquitectónicos de residencia 2do nivel.

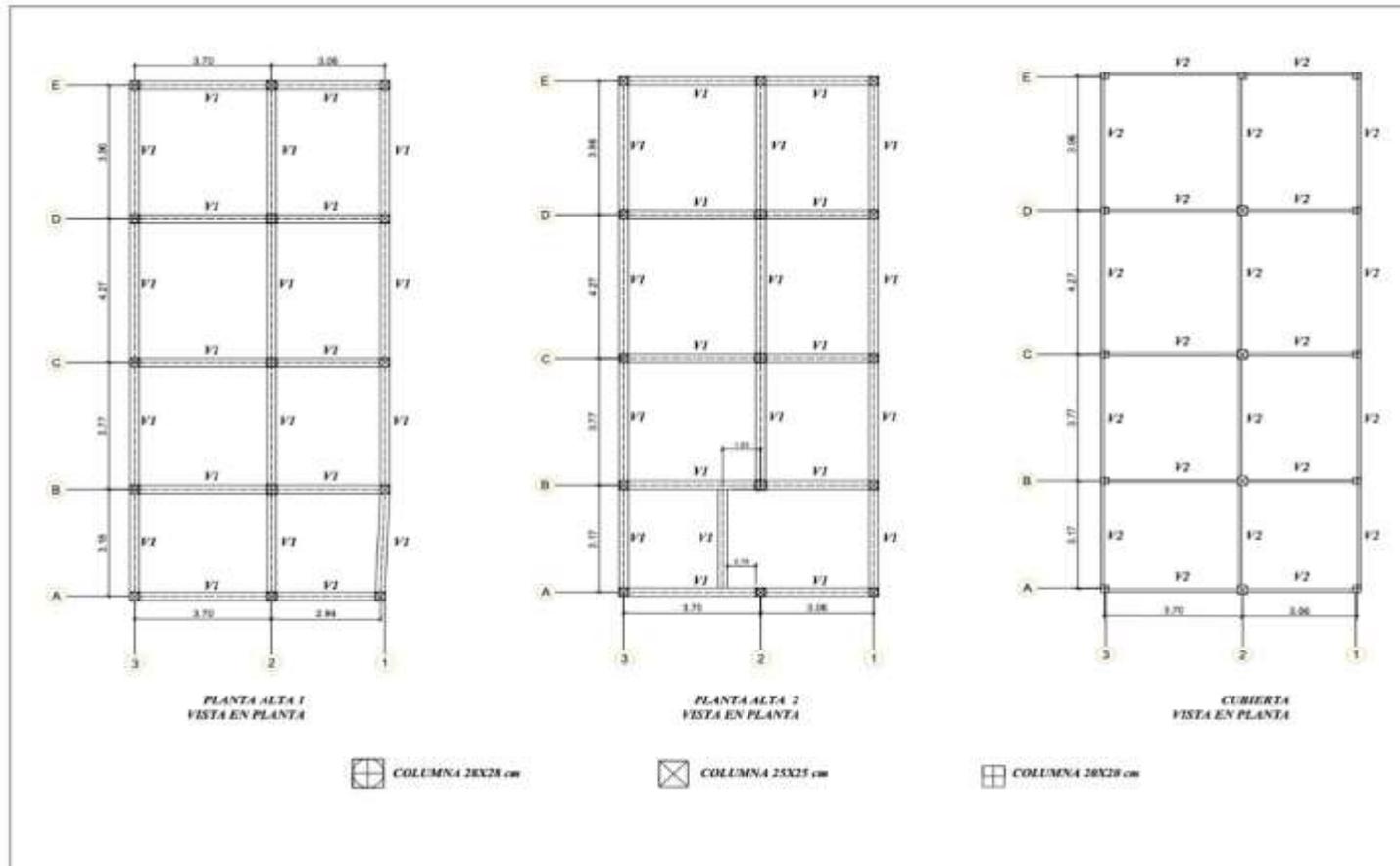


	
NOTAS	
RELEVAMIENTO DE ESTRUCTURA	
DOCENTE	
ING. JOSE BARRIOS MSC.	
ASIGNATURA	
TESIS - SEMESTRE B 2021	
NOMBRE	FECHA
RODRIG SUAREZ A.	FUNDACIONES
<small>                 INSTITUCION: INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES Y ENSEÑANZA TECNICA                  DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA                  ESCUELA: ESCUELA N° 1                  BOVENIA: BOVENIA MARACAIBO             </small>	

Fuente. (Autor, 2021)

### Ilustración 45

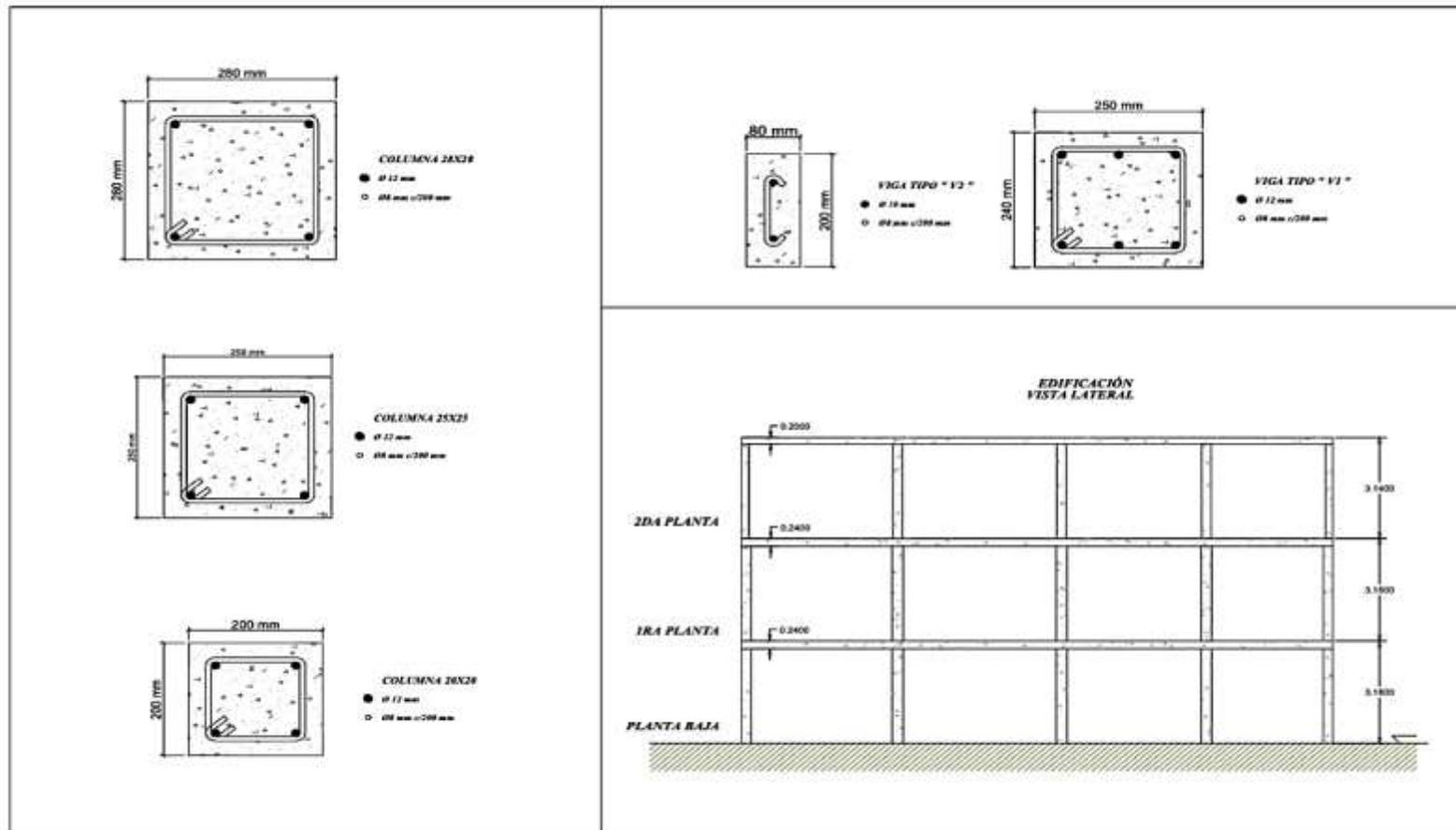
Planos estructurales de residencia.



Fuente. (Guido, 2021)

### Ilustración 46

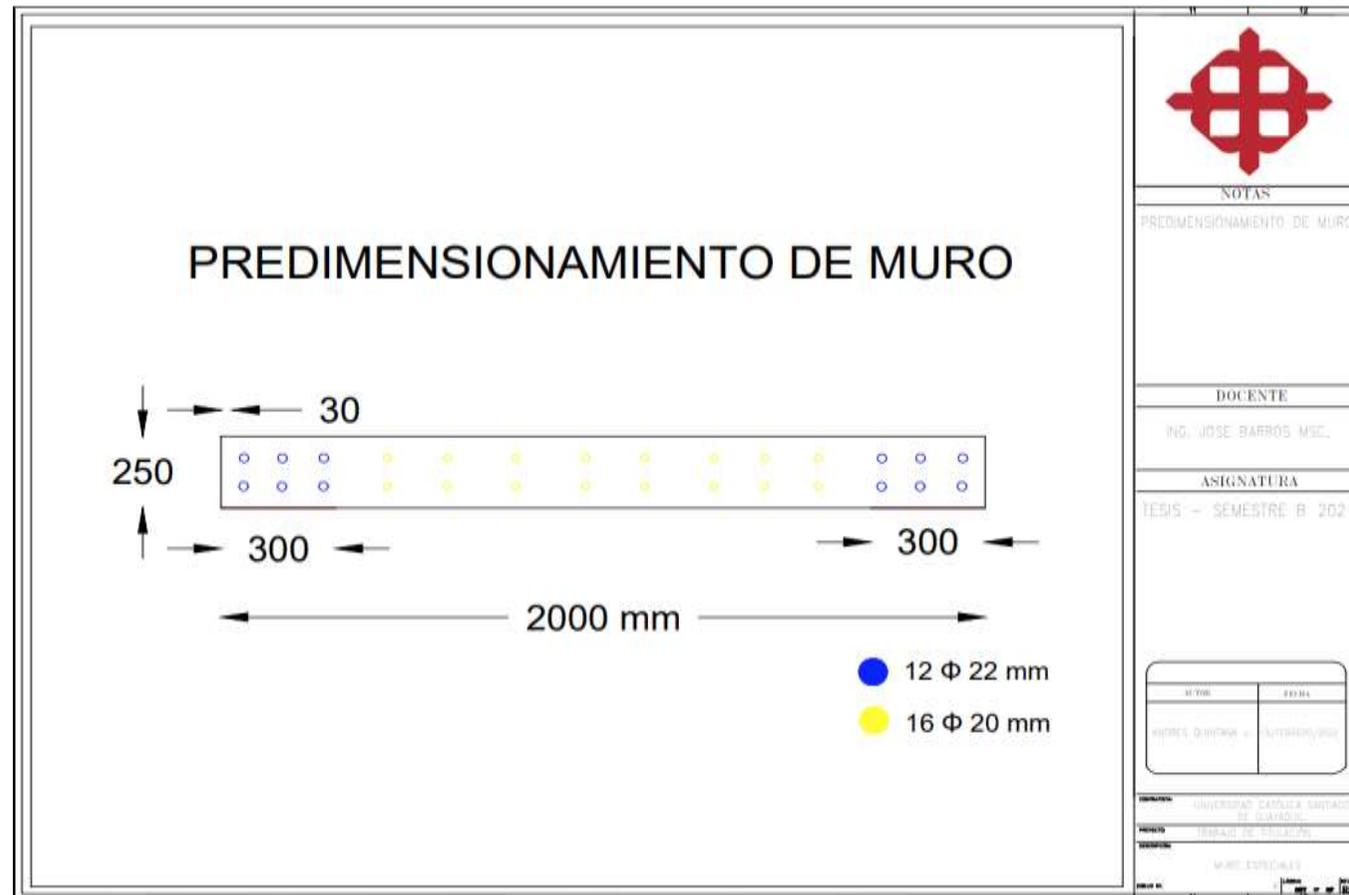
Vista lateral de residencia.



Fuente. (Guido, 2021)

### Ilustración 47

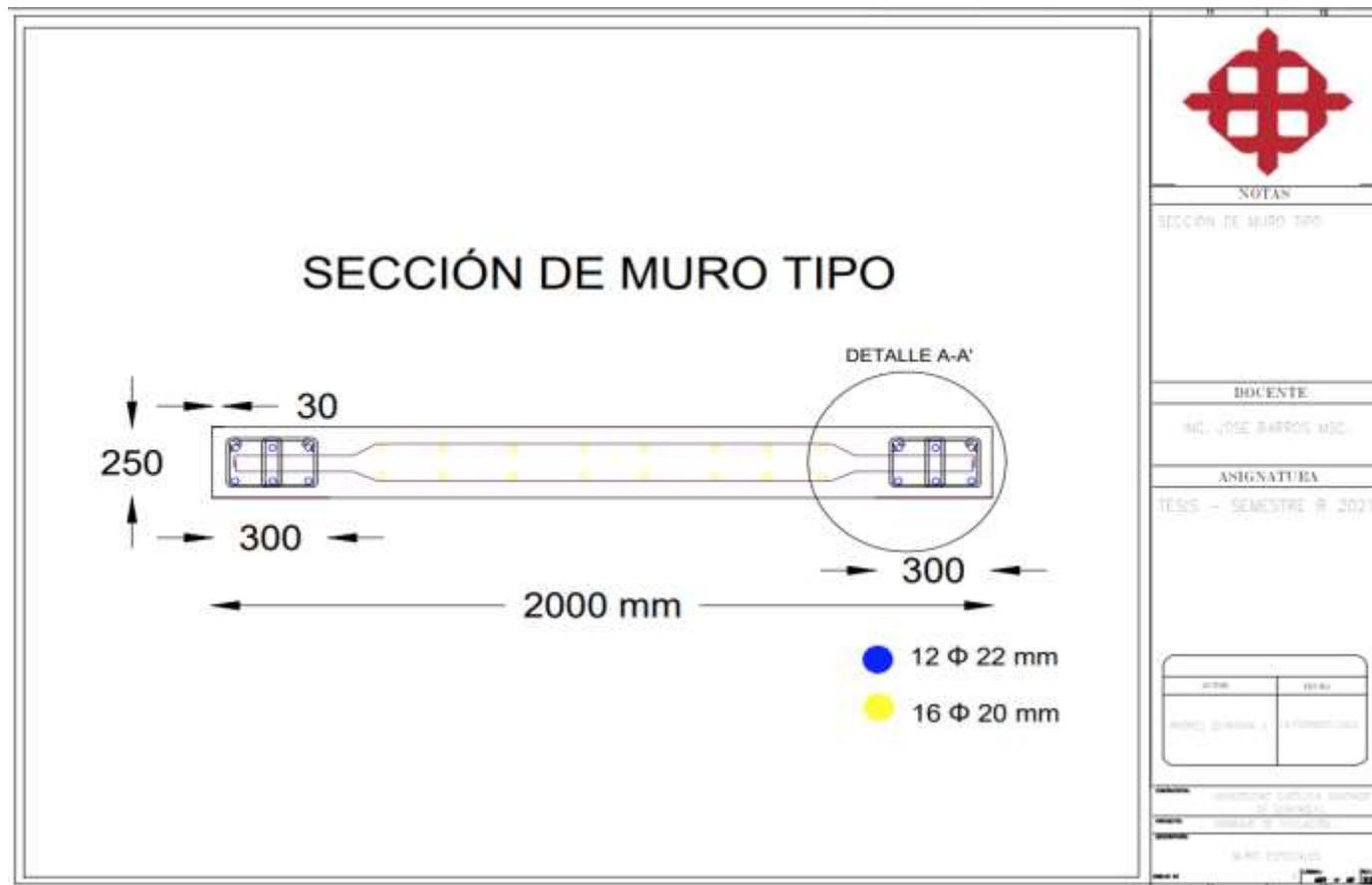
Pre-Dimensionamiento de muro especial estructural.



Fuente. (Autor, 2021)

### Ilustración 48

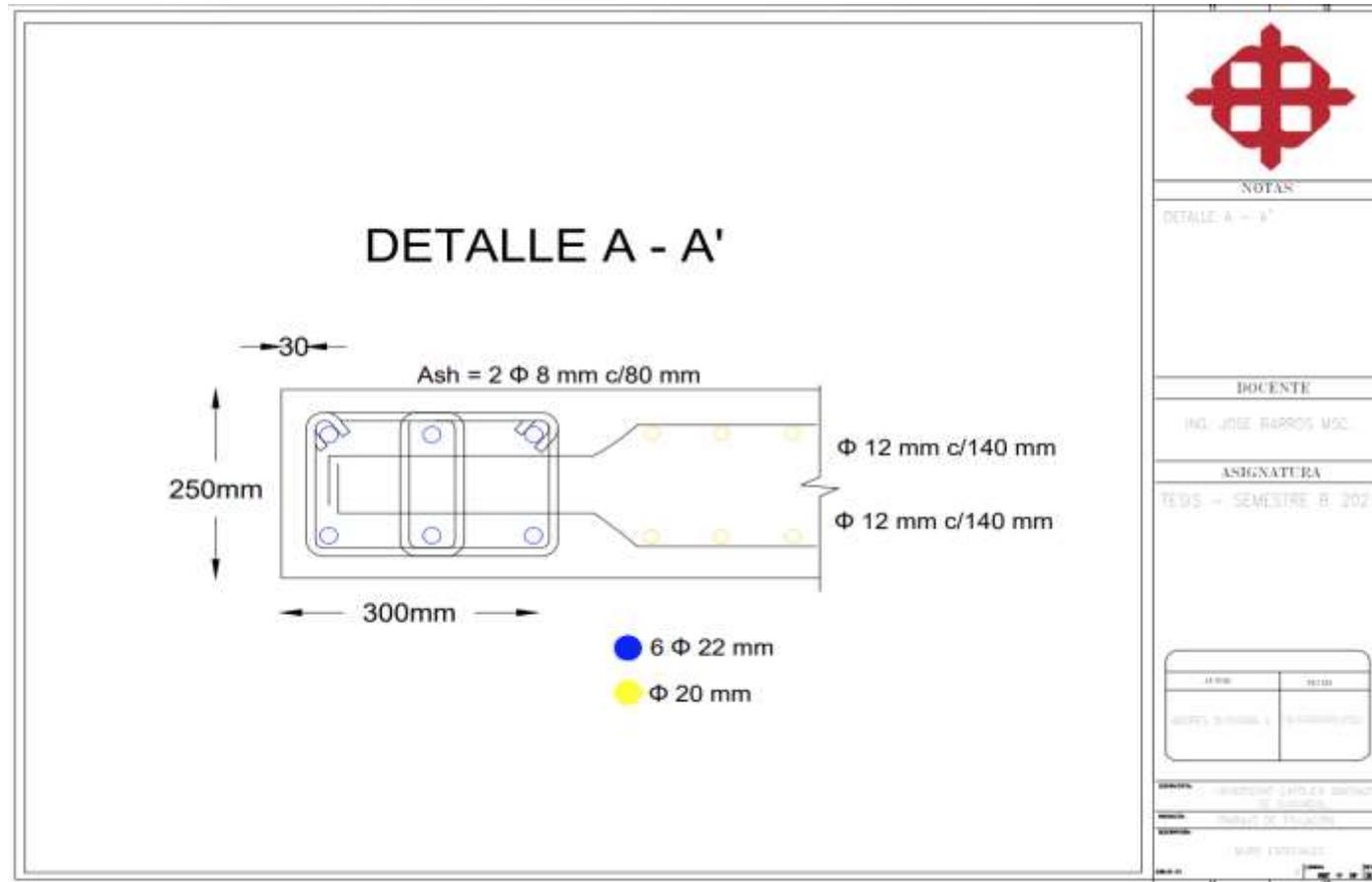
Vista en planta de muro especial con dimensiones de diseño.



Fuente. (Autor, 2021)

### Ilustración 49

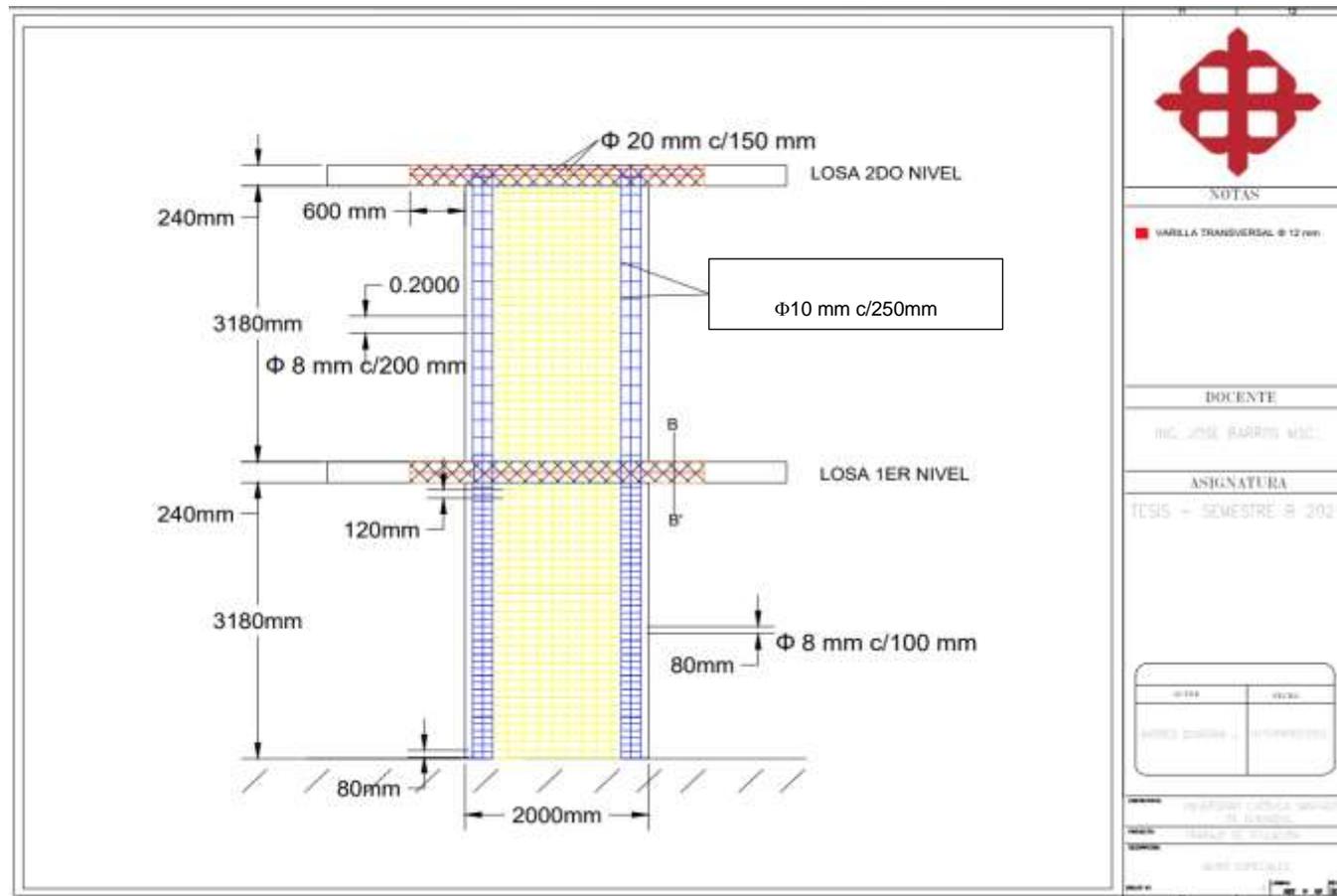
Refuerzo longitudinal y transversal de muro estructural.



Fuente. (Autor, 2021)

### Ilustración 50

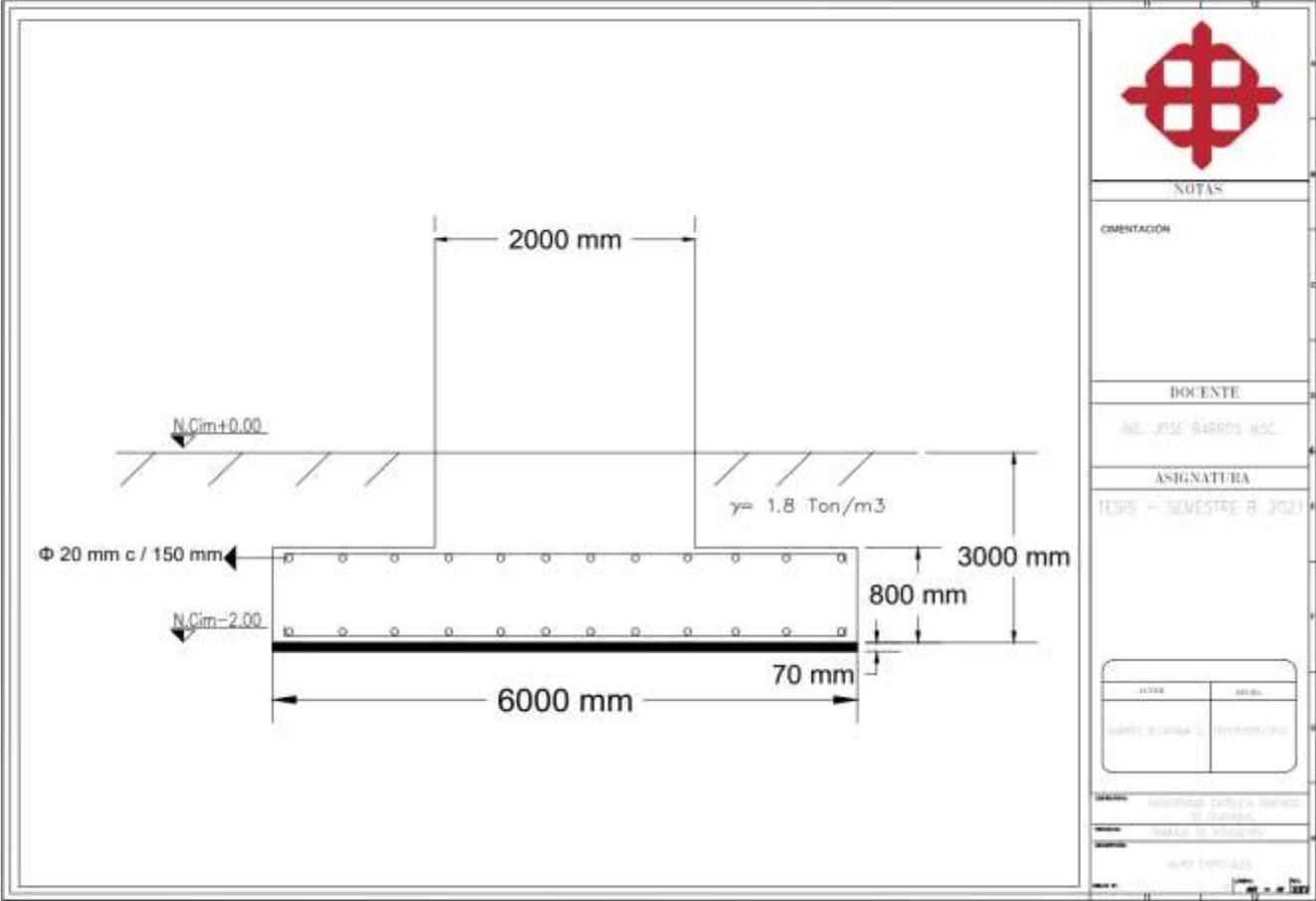
Alzado de muro estructural en unión con losa existente.



Fuente. (Autor, 2021)

**Ilustración 51**

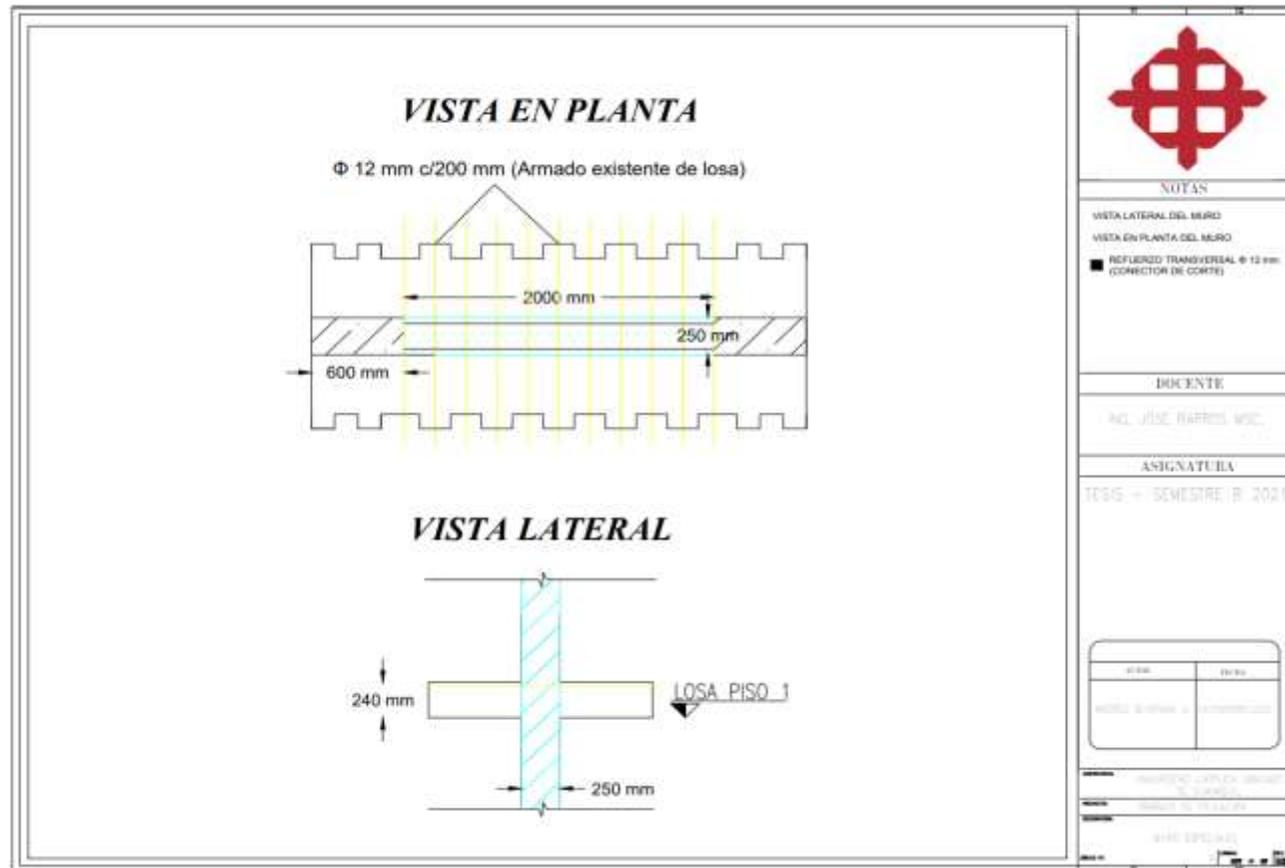
*Alzado de cimentación de acero de refuerzo.*



Fuente. (Autor, 2021)

## Ilustración 52

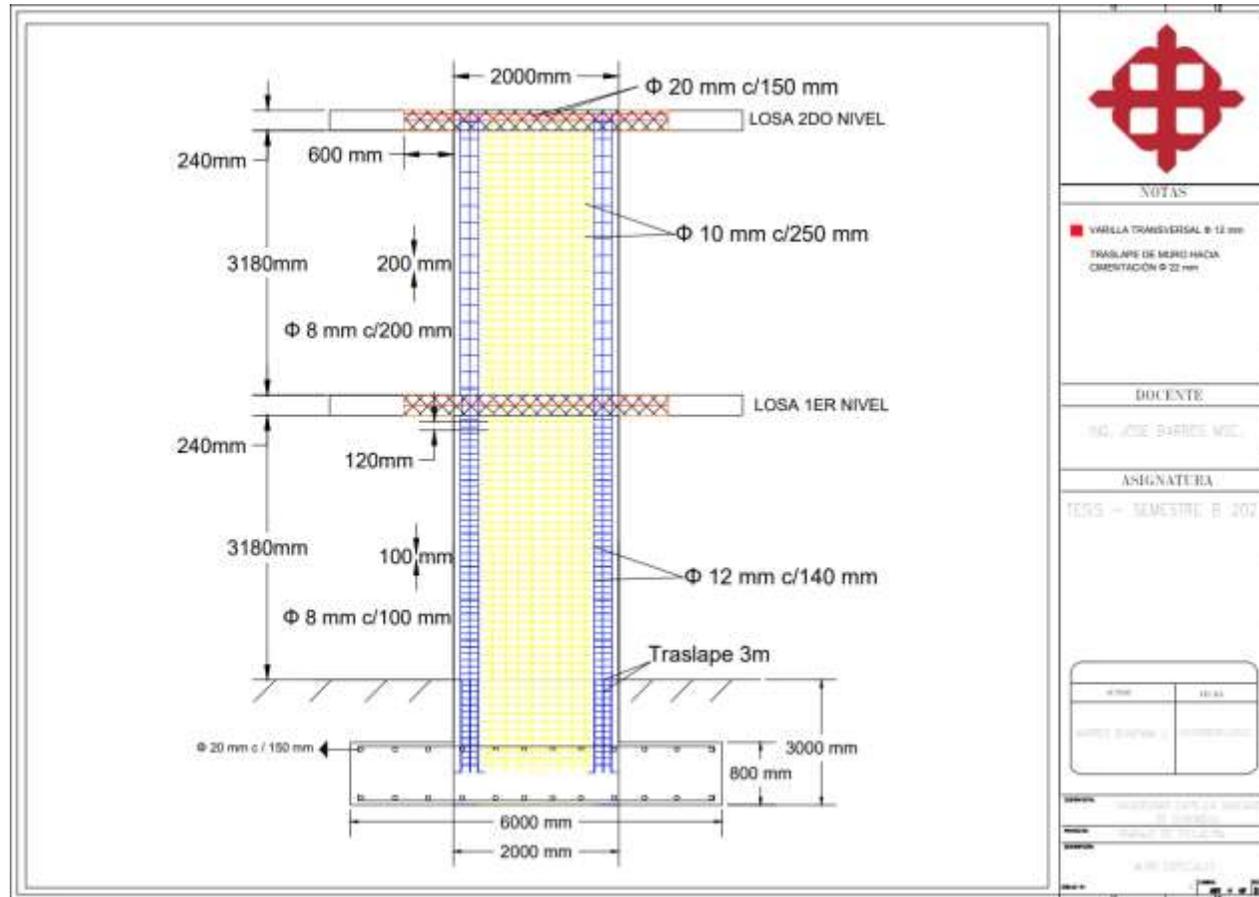
Vista en planta de muro estructural.



Fuente. (Autor, 2021)

### Ilustración 53

Muro estructural y cimentación tipo.



Fuente. (Autor, 2021)



## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Quintana Jarrín Andrés Eduardo**, con C.C: # 0926269333 autor/a del trabajo de titulación: **Evaluación estructural de un edificio de tres pisos y propuesta de rehabilitación con muros de hormigón armado** previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, **11 de marzo de 2022**

f. \_\_\_\_\_

Nombre: **Quintana Jarrín Andrés Eduardo**



## **REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

### **FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN**

<b>TEMA Y SUBTEMA:</b>	<b>Evaluación estructural de un edificio de tres pisos y propuesta de rehabilitación con muros de hormigón armado</b>		
<b>AUTOR(ES)</b>	Andrés Eduardo Quintana Jarrín		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	Ing. José Andrés Barros Cabezas, M. Sc.		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Ingeniería		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería Civil		
<b>TÍTULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero Civil		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	miércoles 11 de marzo de 2022	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	92
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Rehabilitación estructural y diseño estructural.		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	Muros especiales, Microzonificación, Pórticos arriostrados, Hormigón, Deficiencias estructurales, Espectro de diseño.		
<b>RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):</b>			
<p>El presente trabajo de titulación tiene como propósito el análisis y el comportamiento de la residencia Macías Villamar, esta es una estructura de tres pisos con deficiencias estructurales. Dicha edificación sufrió durante el pasado sismo del 16 de abril de 2016, generando así fisuras en algunas de sus columnas. Se hace el estudio de dicha estructura para proponer un sistema de rehabilitación de la misma, dicha propuesta son muros especiales o muros de hormigón armado (H.A) que tienen como función rigidizar la estructura generando así una solución al problema, se hará el cálculo de acero, hormigón y refuerzos cumpliendo las normativas según el ACI 318-19 para el diseño de muros especiales y haciendo revisión según la norma ASCE 41-17 del capítulo 10 de muros estructurales, en el diseño de muros se realizará una microzonificación para saber que tipo de suelo tiene dicha localidad y se ejecutará el espectro de diseño según el tipo de suelo en dicha zona según la norma NEC-15.</p>			
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593-996017579	<b>E-mail:</b> andresq96@hotmail.com	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::</b>	<b>Nombre: Clara Glas Cevallos</b>		
	<b>Teléfono:</b> +593-4 -2206956		
	<b>E-mail:</b> clara.glas@cu.ucsg.edu.ec		
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>			
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>			
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>			