

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Posgrados**

**Análisis y Diseño de alternativas para edificios de hormigón armado.  
Sistemas de muros estructurales vs. Sistemas duales de muros y pórticos.**

**Proyecto de Investigación y Desarrollo**

**Cristhian Alexander Cáceres Gaibor**

**Pablo Andrés Torres Rodas, PhD.  
Director de Trabajo de Titulación**

Trabajo de titulación de posgrado presentado como requisito  
para la obtención del título de: Magister en Ingeniería Civil, Mención Diseño y  
Construcción de Estructuras Sismo Resistentes

Quito, 16 de mayo de 2021

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**  
**COLEGIO DE POSGRADOS**

**HOJA DE APROBACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Análisis y Diseño de alternativas para edificios de hormigón armado.  
Sistemas de muros estructurales vs. Sistemas duales de muros y pórticos.**

**Cristhian Alexander Cáceres Gaibor**

Nombre Del Director Del Programa:	Fernando Romo
Título académico:	Máster of Science
Director del programa de:	Maestría en Ingeniería Civil
Nombre Del Decano Del Colegio Académico:	Eduardo Alba
Título académico:	Doctor of Philosophy
Decano del Colegio:	Colegio de Ciencias e Ingenierías
Nombre Del Decano Del Colegio De Posgrados:	Hugo Burgos
Título académico:	Doctor of Philosophy

Quito, 16 de mayo de 2021

## © DERECHOS DE AUTOR:

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Nombre del estudiante:

Cristhian Alexander Cáceres Gaibor

Código de estudiante:

00215815

C. I.:

1722241138

Lugar, Fecha

Quito, 16 de mayo de 2021

## ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

**Nota:** El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

## UNPUBLISHED DOCUMENT

**Note:** The following graduation project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

## DEDICATORIA

A mis padres:

Como un pequeño reconocimiento a su  
esfuerzo y al apoyo incondicional  
que me han brindado a lo largo de mi vida.

A mi hermana:

Por ser mi más grande inspiración, siempre  
recibiendo de ti palabras de aliento.

A ustedes debo este logro.

*Cristhian Cáceres*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mis padres y hermana por siempre haber confiado en mí.

A la Universidad San Francisco de Quito y a todos los docentes que impartieron sus conocimientos y enseñanzas en el transcurso de la maestría.

De manera especial al Ing. Pablo Torres Rodas, por ser un excelente profesor y haberme guiado en la realización del presente trabajo.

A mis amigos y compañeros.

## RESUMEN

En el presente trabajo de titulación se realizará un análisis comparativo entre el sistema de muros estructurales y el sistema dual de muros y pórticos, de un edificio de 15 pisos modelado en los dos sistemas para determinar cuál de los dos tiene un mejor comportamiento sísmico, además dentro de este análisis se realizará el diseño estructural de los distintos elementos que conforman cada sistema.

Para la modelación se utilizará el programa ETABS 18, en el cual se ingresará: la geometría del edificio, cargas, dimensiones de los elementos estructurales de cada sistema, solicitaciones que actuarán sobre la edificación como lo son el espectro de respuesta inelástica y el coeficiente de cortante basal estático, los cuales estarán basados en las especificaciones de la NEC 2015, así como otros factores que nos indica la norma.

Una vez que se haya verificado que los dos sistemas cumplan con lo referente a modos de vibración y derivas máximas de piso se procederá a comparar los resultados obtenidos, posteriormente con la ayuda de hojas de cálculo sustentadas en especificaciones NEC 15 y ACI 318-19 se diseñará los diferentes elementos estructurales de cada sistema y finalmente se elaborarán conclusiones sobre el análisis comparativo.

### **PALABRAS CLAVE:**

SISTEMA ESTRUCTURAL DUAL / SISTEMA ESTRUCTURAL DE MUROS / MUROS ESTRUCTURALES / ANALISIS ESTRUCTURAL / DISEÑO ESTRUCTURAL / NEC 15 / ACI 318-19.

## **ABSTRACT**

In the present degree work, a comparative analysis will be carried out between the structural wall system and the dual system of walls and porches, of a 15-story building modeled in the two systems to determine which of the two has better seismic behavior, in addition Within this analysis, the structural design of the different elements that make up each system will be carried out.

For the modeling, the ETABS 18 program will be used, in which it will be entered: the geometry of the building, loads, dimensions of the structural elements of each system, stresses that will act on the building such as the inelastic response spectrum and the coefficient of static basal shear, which will be based on the specifications of the NEC 2015, as well as other factors indicated by the standard.

Once it has been verified that the two systems comply with what refers to vibration modes and maximum floor drifts, the results obtained will be compared, later with the help of spreadsheets based on NEC 15 and ACI 318-19 specifications will be design the different structural elements of each system and finally conclusions will be drawn on the comparative analysis.

### **KEYWORDS:**

DUAL STRUCTURAL SYSTEM / STRUCTURAL WALL SYSTEM / STRUCTURAL WALLS / STRUCTURAL ANALYSIS / STRUCTURAL DESIGN / NEC 15 / ACI 318-19.



## TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	5
AGRADECIMIENTOS.....	6
RESUMEN .....	7
ABSTRACT.....	8
TABLA DE CONTENIDOS .....	9
ÍNDICE DE TABLAS.....	13
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	14
1. INTRODUCCIÓN.....	17
1.1 ANTECEDENTES .....	17
1.2 MOTIVACIÓN .....	18
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	18
1.4 OBJETIVOS.....	19
1.4.1 Objetivo General.....	19
1.4.2 Objetivos Específicos .....	19
1.5 ALCANCE.....	19
2. MODELACIÓN ESTRUCTURAL.....	21
2.1. DESCRIPCIÓN GEOMÉTRICA.....	21
2.2. CARGAS.....	25
2.2.1. Carga Viva.....	25
2.2.2. Carga Muerta.....	25
2.3. COMBINACIONES DE CARGA.....	25
2.4. ESPECTRO DE DISEÑO.....	26
2.4.1. Espectro de Diseño del Sistema Dual.....	27
2.4.2. Espectro de Diseño del Sistema de Muros.....	27
2.5. CORTANTE BASAL.....	28

	10
2.5.1. Cortante Basal del Sistema Dual .....	28
2.5.2. Cortante Basal del Sistema de Muros .....	29
2.6. DISTRIBUCIÓN VERTICAL DEL CORTANTE BASAL.....	31
2.6.1. Distribución del Sistema Dual.....	31
2.6.2. Distribución del Sistema de Muros.....	31
2.7. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.....	32
2.7.1. Hormigón .....	32
2.7.2. Acero de Refuerzo .....	32
2.8. ELEMENTOS .....	33
2.8.1. Losa.....	33
2.8.2. Vigas .....	34
2.8.3. Columnas.....	34
2.8.4. Muros .....	34
2.8.5. Inercia de secciones agrietadas.....	35
2.9. PERIODOS Y PARTICIPACION DE MASAS .....	35
2.9.1. Periodos y Masas del Sistema Dual.....	36
2.9.2. Periodos y Masas del Sistema de Muros.....	38
2.10. DERIVAS DE PISO .....	40
2.10.1. Derivas del Sistema Dual .....	40
2.10.2. Derivas del Sistema de Muros .....	41
2.10.3. Comparación de Derivas .....	43
3. DISEÑO ESTRUCTURAL DEL SISTEMA DUAL.....	47
3.1. VIGAS.....	47
3.1.1. Flexión .....	48
3.1.2. Cortante.....	51

3.2. COLUMNAS.....	55
3.2.1. Flexo-Compresión .....	55
3.2.2. Cortante/Confinamiento.....	56
3.3. CONEXIÓN VIGA-COLUMNA .....	59
3.3.1. Cortante.....	60
3.3.2. Confinamiento .....	60
3.3.3. Columna Fuerte – Viga Débil .....	62
3.4. MUROS.....	63
3.4.1. Refuerzo Longitudinal .....	63
3.4.2. Flexo-Compresión .....	65
3.4.3. Corte.....	67
3.4.4. Cabezales.....	68
3.4.5. Confinamiento .....	69
3.5. PESO DE MATERIALES .....	71
4. DISEÑO ESTRUCTURAL DEL SISTEMA DE MUROS .....	73
4.1. VIGAS.....	73
4.1.1. Flexión .....	74
4.1.2. Cortante.....	77
4.2. MUROS.....	81
4.2.1. Refuerzo Longitudinal .....	81
4.2.2. Flexo-Compresión .....	82
4.2.3. Corte.....	84
4.2.4. Cabezales.....	85
4.2.5. Confinamiento .....	86
4.3. PESO DE MATERIALES .....	88

4.3.1. Comparación De Peso De Materiales .....	89
5. CONCLUSIONES.....	91
6. BIBLIOGRAFÍA.....	95

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Carga Viva .....	25
Tabla 2: Carga permanente.....	25
Tabla 3: Coeficiente estático basal corregido del sistema dual.....	29
Tabla 4: Coeficiente dinámico basal corregido del sistema dual (X).....	29
Tabla 5: Coeficiente dinámico basal corregido del sistema dual (Y).....	29
Tabla 6: Coeficiente estático basal corregido del sistema de muros. ....	30
Tabla 7: Coeficiente dinámico basal corregido del sistema de muros (X). ....	30
Tabla 8: Coeficiente dinámico basal corregido del sistema de muros (Y). ....	30
Tabla 9: Distribución del cortante basal de sistema dual.....	31
Tabla 10: Distribución del cortante basal de sistema de muros. ....	31
Tabla 11: sección de vigas. ....	34
Tabla 12: Sección de columnas. ....	34
Tabla 13: Sección de muros. ....	34
Tabla 14: Porcentaje de participación de masas del sistema dual. ....	36
Tabla 15: Porcentaje de participación de masas del sistema de muros.....	38
Tabla 16: Derivas de piso inelásticas del sistema dual. ....	41
Tabla 17: Derivas de piso inelásticas del sistema de muros. ....	42
Tabla 18: Comparación de derivas de piso inelásticas (X-Dir.).....	44
Tabla 19: Comparación de derivas de piso inelásticas (Y-Dir.).....	45
Tabla 20: Peso y volumen de hormigón armado del sistema dual. ....	71
Tabla 21: Peso de acero del sistema dual.....	71
Tabla 22: Peso y volumen de hormigón armado del sistema de muros.....	88
Tabla 23: Peso de acero del sistema de muros. ....	88
Tabla 24: Comparación de peso de hormigón armado por m <sup>2</sup> . ....	89
Tabla 25: Comparación de peso de acero por m <sup>2</sup> . ....	89

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Vista en planta del sistema dual. ....	21
Ilustración 2: Vista en planta del sistema de muros.....	22
Ilustración 3: Vista en elevación del sistema dual.....	23
Ilustración 4: Vista en elevación del sistema de muros. ....	23
Ilustración 5: Vista en 3D del sistema dual.....	24
Ilustración 6: Vista en 3D del sistema de muros. ....	24
Ilustración 7: Espectro inelástico de diseño (sistema dual).....	27
Ilustración 8: Espectro inelástico de diseño (Sistema de Muros).....	27
Ilustración 9: Introducción de propiedades de hormigón.....	32
Ilustración 10: Introducción de propiedades de acero. ....	33
Ilustración 11: Detalle de losa. ....	33
Ilustración 12: Primer modo de vibración del sistema dual. ....	36
Ilustración 13: Segundo modo de vibración del sistema dual. ....	37
Ilustración 14: Tercer modo de vibración del sistema dual. ....	37
Ilustración 15: Primer modo de vibración del sistema de muros. ....	38
Ilustración 16: Segundo modo de vibración del sistema de muros. ....	39
Ilustración 17: Tercer modo de vibración del sistema de muros.....	39
Ilustración 18: Derivas de piso inelásticas del sistema dual. ....	40
Ilustración 19: Derivas de piso inelásticas del sistema de muros.....	41
Ilustración 20: Comparación de derivas de piso inelásticas (X-Dir.).....	44
Ilustración 21: Comparación de derivas de piso inelásticas (Y-Dir.).....	45
Ilustración 22: Ubicación de viga diseñada.....	47
Ilustración 23: Acero de refuerzo obtenido con ETABS. ....	50
Ilustración 24: Sección de viga diseñada. ....	54
Ilustración 25: Diagrama de interacción de columna. ....	56
Ilustración 26: Sección de columna diseñada.....	58
Ilustración 27: Estribos en nudo. ....	61
Ilustración 28:Acero longitudinal de muro ....	64

Ilustración 29: Traslape vertical en un muro estructural.....	65
Ilustración 30: Diagrama de interacción de muro.....	66
Ilustración 31: Acero transversal de muro. ....	67
Ilustración 32: Estribos de confinamiento en cabezal de muro. ....	70
Ilustración 33: Ubicación de viga diseñada (sistema de muros). ....	73
Ilustración 34: Acero de refuerzo obtenido con ETABS. ....	76
Ilustración 35: Sección de viga diseñada (Sistema Dual). ....	80
Ilustración 36: Acero longitudinal de muro de 12 m. ....	82
Ilustración 37: Diagrama de interacción de muro.....	83
Ilustración 38: Acero transversal de muro de 12m. ....	84
Ilustración 39: Estribos de confinamiento en cabezal de muro de 12 m. ....	87

# **CAPÍTULO 1**

## **INTRODUCCIÓN**

**CRISTHIAN CÁCERES G.**



# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 ANTECEDENTES

Uno de los mayores problemas a los que se exponen las edificaciones al rededor del mundo son los movimientos sísmicos y el Ecuador al estar ubicado en el cinturón de fuego del Pacífico es catalogado como un país de alto riesgo sísmico, por lo tanto la acción de los sismos sobre estructuras debe ser tomado en cuenta muy seriamente, tanto por la magnitud de los daños, así como por las pérdidas económicas y humanas que pueden llegar a ocasionar.

La progresiva innovación y mejora en los métodos de análisis ha permitido la creación de nuevos sistemas estructurales, cuya finalidad es mejorar el comportamiento estructural de las edificaciones ante eventos sísmicos, preservando en buenas condiciones tanto la estructura como los bienes que se encuentran en él, pero sobre todo lograr salvaguardar las vidas de quienes lo habitan.

A pesar de esto, en el país se continúa construyendo con sistemas tradicionales y no se ha logrado implementar ampliamente técnicas constructivas que cuentan con un mejor desempeño sísmico. Por lo tanto, es indudable que se necesita desarrollar e implementar tecnologías sismo resistentes que brinden una mejora a la seguridad y confiabilidad de las edificaciones.

Por ello, en el presente trabajo de titulación se propone el estudio del sistema estructural de muros de hormigón armado y el sistema dual conformado por muros y pórticos, mediante el análisis y diseño de un edificio tipo en el cual se utilizarán parámetros dictados por la NEC 15 y el ACI 318-19 para luego comparar sus resultados y determinar cuál posee un mejor comportamiento estructural.

## **1.2 MOTIVACIÓN**

La motivación radica en estudiar sistemas sismo resistentes que han demostrado tener éxito en otros países, como es el caso chileno donde desde hace varios años se llevan construyendo edificaciones con el sistema de muros de hormigón armado o el sistema dual conformado por muros y pórticos. En los cuales se pueden resaltar características tales como una elevada rigidez y ductilidad lo que permite resistir de forma eficiente cargas laterales debidas a acciones sísmicas, limitando a su vez los desplazamientos laterales y permitiendo gran disipación de energía.

Por consiguiente, se ha puesto gran interés en el estudio de estos sistemas con el fin de imprimirlo en el medio y ser una alternativa de construcción con mejor desempeño que los sistemas tradicionales.

## **1.3 JUSTIFICACIÓN**

Como se mencionó anteriormente el Ecuador es un país con un alto riesgo de sufrir movimientos sísmicos de gran magnitud, por ello es importante realizar aportes con estudios que presenten alternativas de sistemas estructurales sismorresistentes como lo son los muros de hormigón armado, de esta manera se podrá aprovechar las bondades de este sistema para obtener un comportamiento estructural más eficiente.

El sistema aporticado ha sido el más difundido en el país, si bien en la mayoría de los casos se utiliza muros alrededor de los ascensores, esta no es la localización ideal donde deberían estar colocados los muros, e incluso es raro ver un edificio construido exclusivamente con muros, por esta razón se trata de presentar estas alternativas las cuales tienen un mejor desempeño y podrían ser utilizados con más frecuencia en el país.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo General**

Elaborar el análisis y diseño de un edificio tipo aplicando dos sistemas estructurales, uno de muros y otro dual donde se combinan muros y pórticos, para posteriormente comparar sus parámetros de comportamiento global y determinar cual tiene un mejor comportamiento sísmico.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Definir las particularidades de un edificio tipo, tales como: geometría general, materiales, secciones de elementos, factores y cargas según la NEC 15.
- Modelar el edificio tipo con los dos sistemas estructurales en el programa ETABS.
- Simular la acción de cargas sísmicas en los edificios modelados con criterios basados en la NEC 15.
- Comparar parámetros estructurales globales de respuestas como cortantes, derivas y periodos, de las dos alternativas estructurales.
- Diseñar los elementos estructurales de cada sistema en base al ACI 318-19.

## **1.5 ALCANCE**

El propósito de este trabajo es realizar el análisis comparativo estructural entre los dos sistemas para llegar a conocer las ventajas y desventajas de cada uno y en base a estos resultados determinar cuál es el mejor sistema estructural. En cuanto a los muros estructurales el trabajo se limita al análisis y diseño de muros rectangulares simples con elementos de borde, excluyendo intersección de muros con sección T, C, L y similares. Cabe mencionar que los resultados obtenidos son expuestos solamente con fines académicos y no han sido utilizados en un proyecto real.

## **CAPÍTULO 2**

### **MODELACIÓN ESTRUCTURAL**

**CRISTHIAN CÁCERES G.**

## 2. MODELACIÓN ESTRUCTURAL

Al comparar dos sistemas estructurales se debe procurar mantener las mismas proporciones y distribuciones tanto en planta como en elevación para garantizar de esta forma la fidelidad de los resultados. Para modelar los sistemas estructurales propuestos se utilizará el software ETABS (18.0.2). A continuación, se muestra la geometría, definición de cargas, combinaciones, materiales, secciones de elementos de cada una de las edificaciones modeladas.

### 2.1. DESCRIPCIÓN GEOMÉTRICA

La estructura será destinada a un edificio de oficinas, consta de 15 niveles, con una altura de entrepiso de 3.6 m, la planta tipo consta de 6 ejes en el sentido “x” y 5 ejes en el sentido “y”, con una separación de 6 m entre ejes en ambos sentidos. La distribución de columnas y muros quedan dispuestos de la siguiente manera:

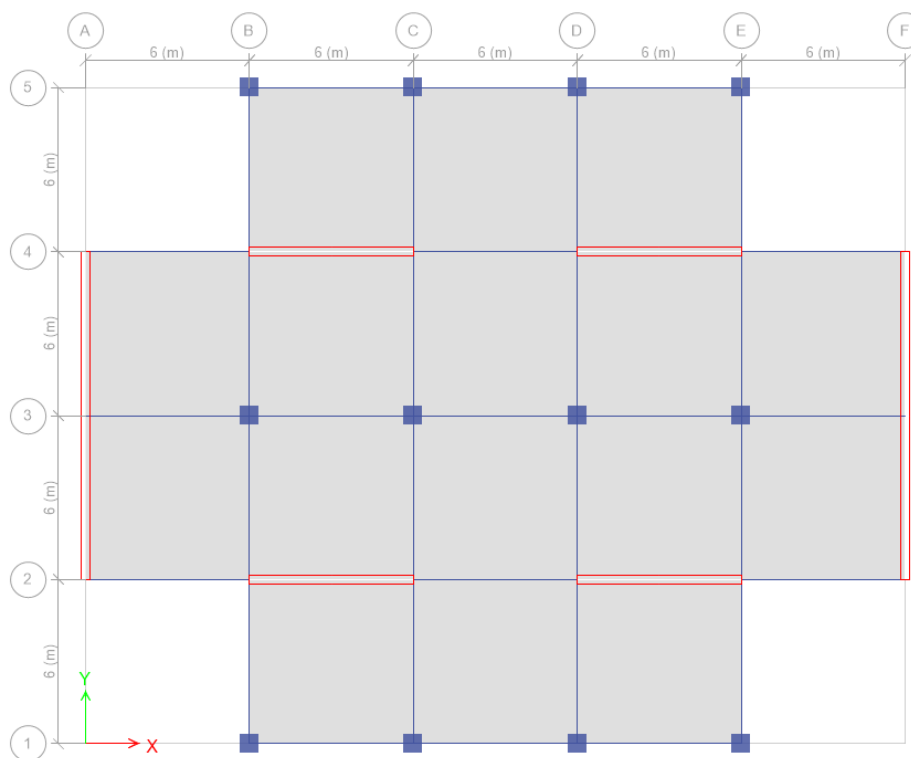


Ilustración 1: Vista en planta del sistema dual.  
Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

Como se mencionó anteriormente la distribución de los muros comúnmente utilizado en el país es en el ducto de ascensores, en gran medida por limitaciones arquitectónicas restringiendo el uso del espacio, siendo esta una de las desventajas más importantes con la que cuentan este sistema estructural.

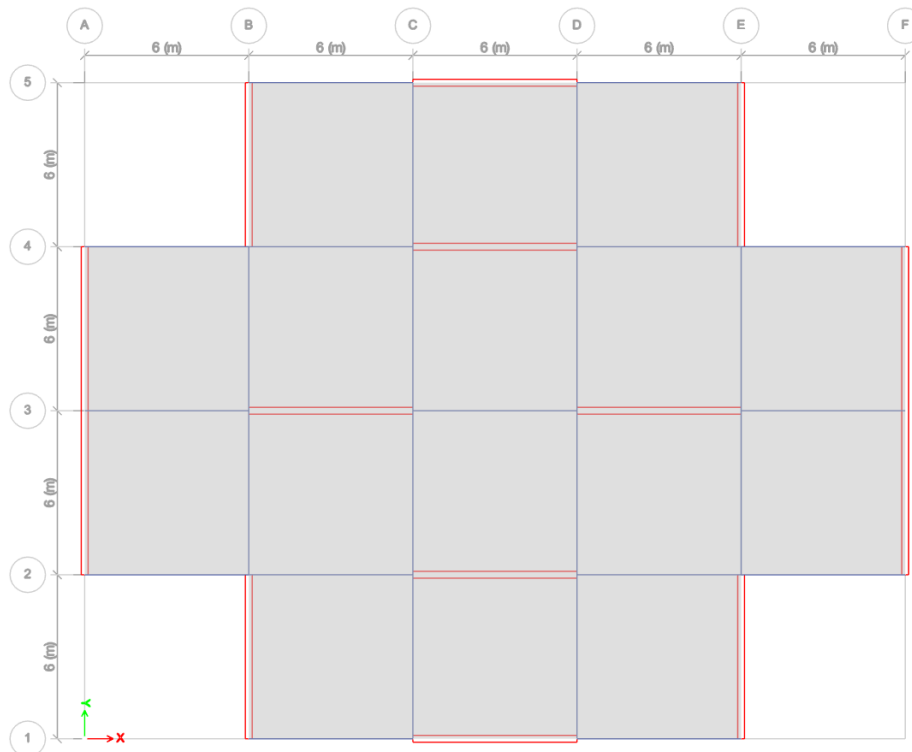


Ilustración 2: Vista en planta del sistema de muros.  
Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

Sin embargo, la ubicación ideal de los muros debería ser el punto más alejado del centro de masas para lograr un mayor brazo de palanca y priorizar la doble simetría para evitar efectos de torsión, como se muestra en el gráfico anterior.

En los gráficos presentados a continuación se pueden apreciar la distribución en elevación de ambos sistemas estructurales en cada sentido, así como las vistas en 3D de los modelos para una mejor apreciación.

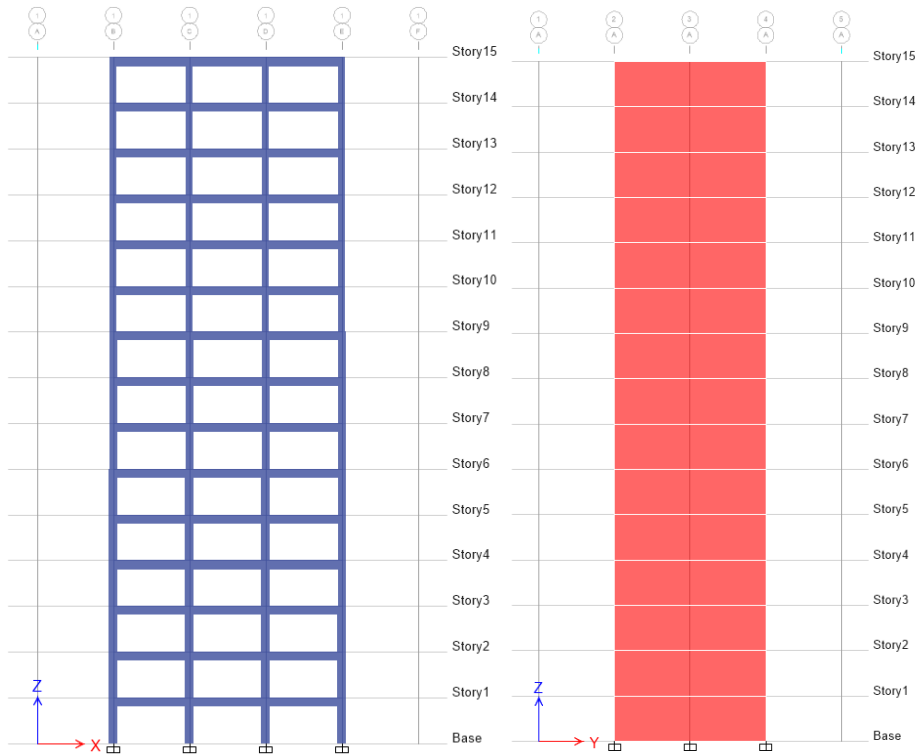


Ilustración 3: Vista en elevación del sistema dual.  
Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

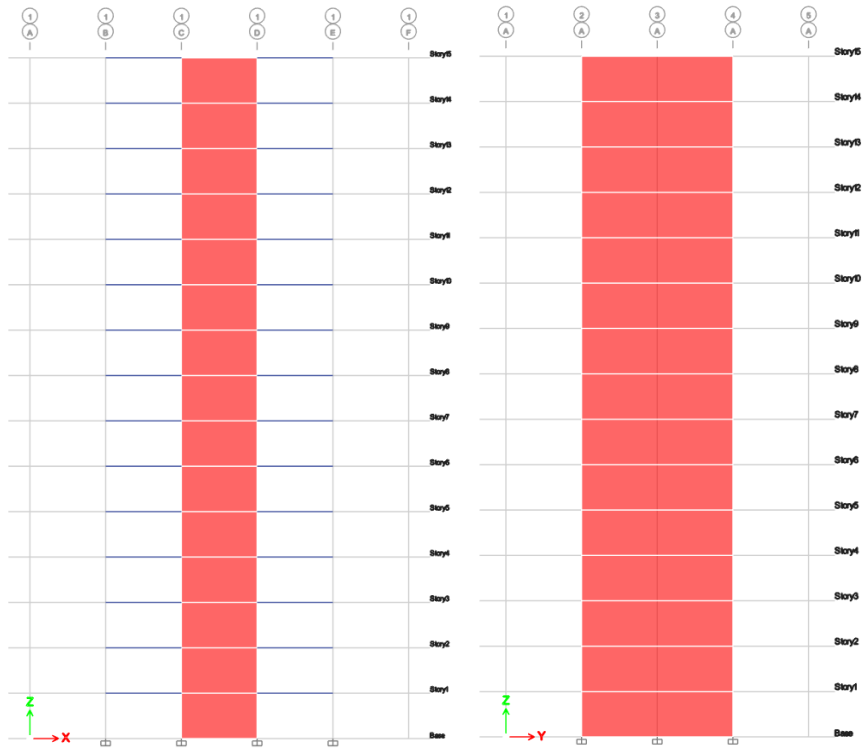


Ilustración 4: Vista en elevación del sistema de muros.  
Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

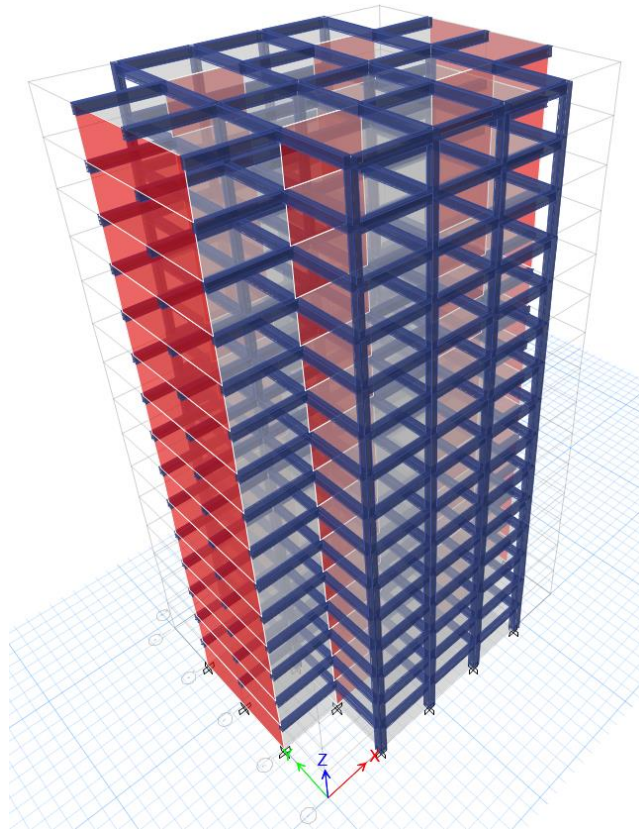


Ilustración 5: Vista en 3D del sistema dual.  
Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

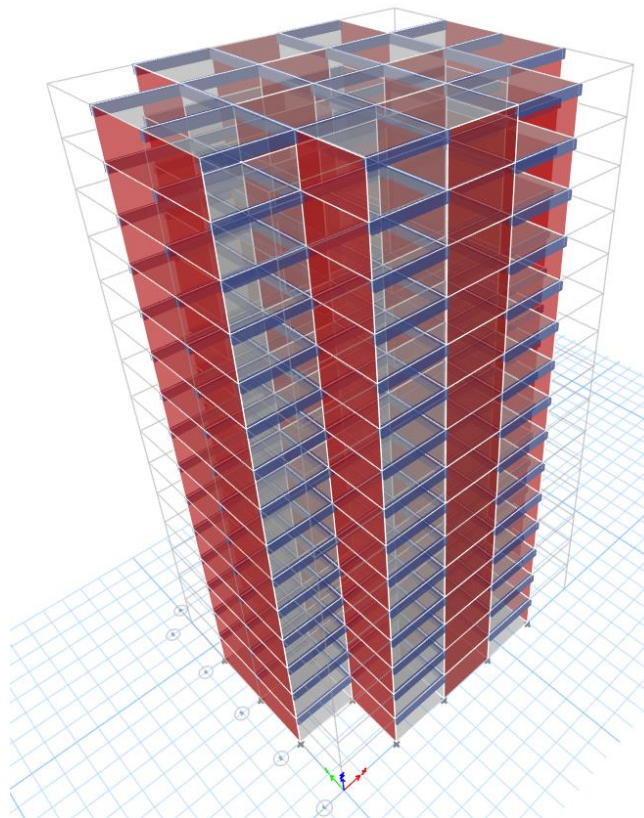


Ilustración 6: Vista en 3D del sistema de muros.  
Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.



## 2.2. CARGAS

### 2.2.1. Carga Viva

Las estructuras serán consideradas edificios de oficinas, por lo tanto nos dirigimos a la NEC-SE-CG: Cargas (no sísmicas) sección 4.2.1, tabla 9, donde se establecen las cargas de acuerdo con su ocupación y uso.

Superficie	Carga Uniforme	
	kN/m <sup>2</sup>	ton/m <sup>2</sup>
Oficinas	2.4	0.245

Tabla 1: Carga Viva.

Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

### 2.2.2. Carga Muerta

La carga muerta la calcula automáticamente el programa con el peso propio de los elementos estructurales, sin embargo se debe tomar en cuenta una sobrecarga que corresponde a pesos permanentes de elementos no estructurales tales como paredes, recubrimientos, instalaciones, etc.

Superficie	Descripción	Carga Uniforme	
		kN/m <sup>2</sup>	ton/m <sup>2</sup>
Oficinas	Mampostería	2.6	0.26
	Enlucidos	0.4	0.04
	Baldosa con mortero	0.6	0.06
	Cielorraso	0.2	0.02
	Instalaciones	0.2	0.02
<b>Total</b>		<b>4</b>	<b>0.4</b>

Tabla 2: Carga permanente.

Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

## 2.3. COMBINACIONES DE CARGA

Los elementos estructurales de las edificaciones deben ser diseñados para que resistan la demanda de cargas mayoradas. Estos factores de mayoración representan las cargas esperadas que actuarán en la estructura durante su vida útil. Para el análisis estructural se utilizarán las combinaciones definidas en la NEC 2015.

Combinación 1:	1.4 D
Combinación 2:	1.2 D + 1.6 L + 0.5 máx. [Lr; S; R]
Combinación 3:	1.2 D + 1.6 máx. [Lr; S; R] + máx. [L; 0.5W]
Combinación 4:	1.2 D + 1.0 W + L + 0.5 máx. [Lr; S; R]
Combinación 5:	1.2 D + 1.0 E + L + 0.2 S
Combinación 6:	0.9 D + 1.0 W
Combinación 7:	0.9 D + 1.0 E

Sin embargo, al no tomar en cuenta cargas de viento, lluvia o granizo en el análisis, las combinaciones 3 y 4 se vuelven redundantes, y la combinación 6 se vuelve innecesaria.

## 2.4. ESPECTRO DE DISEÑO

Para el cálculo del espectro de diseño asumiremos que las estructuras están ubicadas en la ciudad de Quito en un suelo tipo “D”, con lo cual la mayoría de los factores numéricos del espectro son iguales, a excepción del factor de reducción de resistencia “R”, donde el sistema dual tiene un factor de 8 y el sistema de muros 5.

$$Z = 0.40$$

$$F_a = 1.20$$

$$F_d = 1.19$$

$$F_s = 1.28$$

$$\eta = 2.48$$

$$r = 1.00$$

$$T_o = 0.13$$

$$T_c = 0.70$$

Con estos factores se obtienen los siguientes espectros de diseño, además para el análisis no se ha considerado efectos P delta o efectos de segundo orden en las estructuras modeladas.

### 2.4.1. Espectro de Diseño del Sistema Dual

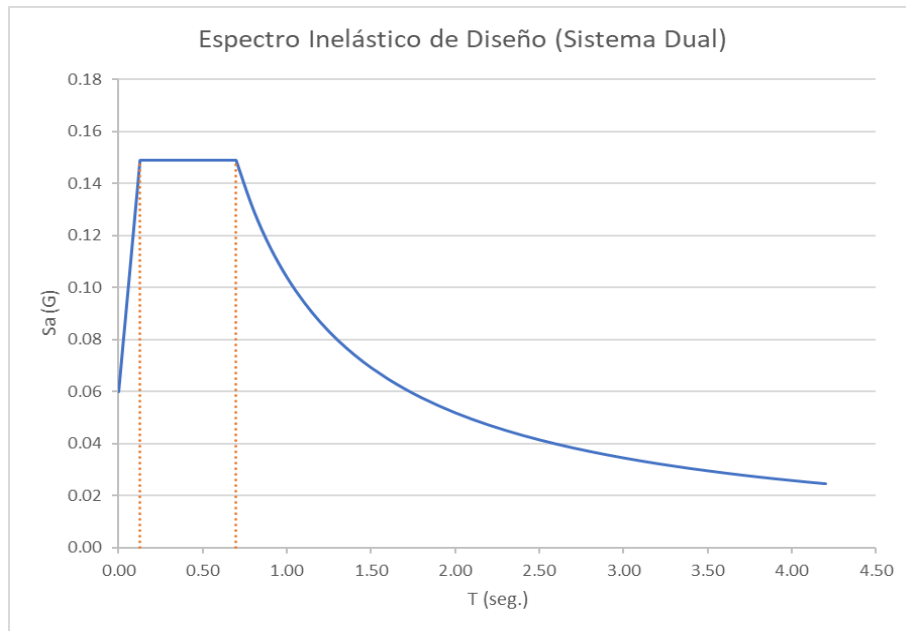


Ilustración 7: Espectro inelástico de diseño (sistema dual).  
Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

### 2.4.2. Espectro de Diseño del Sistema de Muros

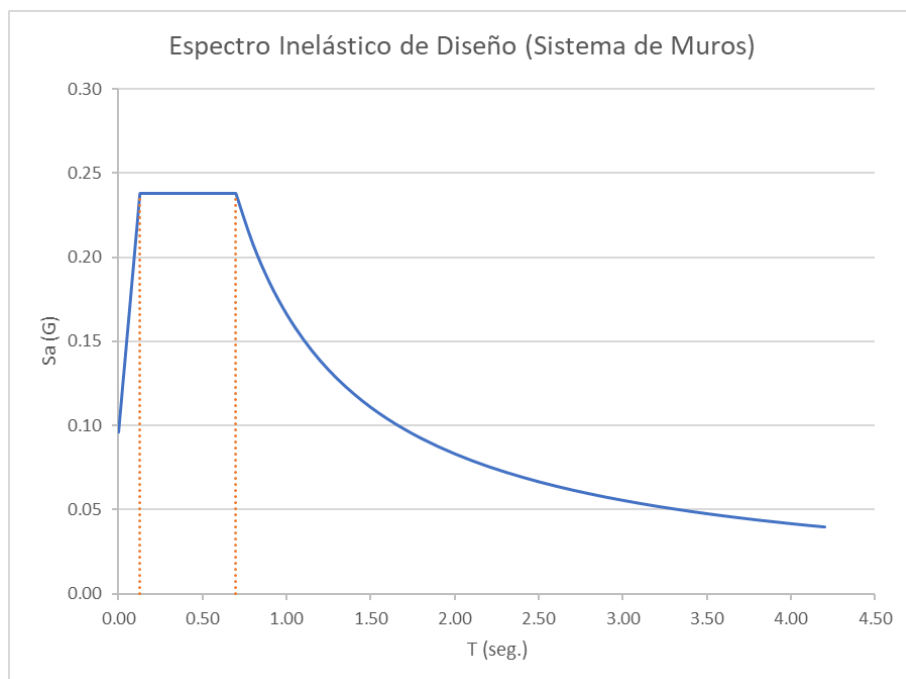


Ilustración 8: Espectro inelástico de diseño (Sistema de Muros).  
Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

## 2.5. CORTANTE BASAL

Para la determinación del cortante basal el coeficiente de importancia “I” para edificios de oficina es igual a 1, así mismo los coeficientes de regularidad en planta y elevación son igual a 1 debido a la simetría geométrica y distribución de sus elementos en ambos sistemas estructurales.

$$V = \frac{I \cdot S_a(T_a)}{R \cdot \phi_P \cdot \phi_E} W$$

### 2.5.1. Cortante Basal del Sistema Dual

Con los factores obtenidos se procede a calcular el coeficiente de cortante basal para el sistema dual:

**Período de la estructura:**

$$h_n = 54 \quad [\text{m}]$$

$$C_t = 0.055$$

$$\alpha = 0.75$$

$$T = 1.10 \quad [\text{s}]$$

**Factores del cortante basal:**

$$I = 1$$

$$S_a(T_a) = 0.76 \quad [\text{G}]$$

$$R = 8$$

$$\phi_P = 1$$

$$\phi_E = 1$$

**Cortante basal:**

$$V = 0.095$$

$$V = 9.48\%$$

#### 2.5.1.1. Corrección Del Cortante Basal Estático

Una vez obtenido el cortante basal se debe comprobar que el programa considere el peso real de la estructura de lo contrario se debe corregir el coeficiente de cortante basal estático como se observa a continuación.

<b>Corrección Del Coeficiente Estático</b>		
Peso usado por el programa:	10 774.39	Tonf.
Peso real:	11 293.18	Tonf.
Factor de corrección:	1.048	
Coeficiente corregido:	<b>0.0996</b>	

Tabla 3: Coeficiente estático basal corregido del sistema dual.

Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

### 2.5.1.2. Corrección Del Cortante Basal Dinámico

Así mismo se debe comprobar la condición que establece la NEC 15, la cual menciona que para estructuras regulares el valor del cortante dinámico total en el base obtenido por cualquier método de análisis dinámico, no debe ser menor al 80% del cortante basal obtenido por el método estático, de lo contrario se debe corregir el coeficiente de cortante basal dinámico como se observa a continuación.

<b>Corrección Del Coeficiente Dinámico X</b>		
Periodo (T):	1.591	Seg.
Sa (Ta):	0.52	G
Ve (X):	737.37	Tonf
0.8 * Ve (X):	589.90	Tonf
Vd (X):	571.9	Tonf
Factor de corrección:	1.031	
Coeficiente corregido:	10.119	

Tabla 4: Coeficiente dinámico basal corregido del sistema dual (X).

Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

<b>Corrección Del Coeficiente Dinámico Y</b>		
Periodo (T):	1.371	Seg.
Sa (Ta):	0.606	G
Ve (Y):	855.69	Tonf
0.8 * Ve (Y):	684.56	Tonf
Vd (Y):	685.27	Tonf
Factor de corrección:	0.998	
Coeficiente corregido:	9.799	

Tabla 5: Coeficiente dinámico basal corregido del sistema dual (Y).

Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

### 2.5.2. Cortante Basal del Sistema de Muros

Con los factores obtenidos se procede a calcular el coeficiente de cortante basal para el sistema de muros:

#### Período de la estructura:

$$h_n = 54 \quad [m]$$

$$C_t = 0.055$$

$$\alpha = 0.75$$

$$T = 1.10 \quad [s]$$

**Factores del cortante basal:**

$$\begin{aligned}
 I &= 1 \\
 S_a(T_a) &= 0.76 \quad [G] \\
 R &= 5 \\
 \emptyset P &= 1 \\
 \emptyset E &= 1
 \end{aligned}$$

**Cortante basal:**

$$\begin{aligned}
 V &= 0.152 \\
 V &= 15.17\%
 \end{aligned}$$

**2.5.2.1. Corrección Del Cortante Basal Estático**

Se procede a hacer la corrección del cortante basal estático:

<b>Corrección Del Coeficiente Estático</b>		
Peso usado por el programa:	11 292.22	Tonf.
Peso real:	11 252.31	Tonf.
Factor de corrección:	0.996	
Coefficiente corregido:	0.151	

Tabla 6: Coeficiente estático basal corregido del sistema de muros.  
Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

**2.5.2.2. Corrección Del Cortante Basal Dinámico**

Se procede a hacer la corrección del cortante basal dinámico:

<b>Corrección Del Coeficiente Dinámico X</b>		
Periodo (T):	1.449	Seg.
Sa (Ta):	0.573	G
Ve (X):	1 290.72	Tonf
0.8 * Vc (X):	1 032.58	Tonf
Vd (X):	779.93	Tonf
Factor de corrección:	1.323	
Coefficiente corregido:	12.987	

Tabla 7: Coeficiente dinámico basal corregido del sistema de muros (X).

Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

<b>Corrección Del Coeficiente Dinámico Y</b>		
Periodo (T):	1.201	Seg.
Sa (Ta):	0.691	G
Ve (Y):	1 557.25	Tonf
0.8 * Vc (Y):	1 245.80	Tonf
Vd (Y):	956.62	Tonf
Factor de corrección:	1.302	
Coefficiente corregido:	12.775	

Tabla 8: Coeficiente dinámico basal corregido del sistema de muros (Y).

Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

## 2.6. DISTRIBUCIÓN VERTICAL DEL CORTANTE BASAL

Una vez determinado el cortante basal se lo debe distribuir verticalmente a lo alto de la estructura, las fuerzas laterales resultantes dependen de un coeficiente “k” el cual está relacionado con el periodo fundamental de vibración de la estructura, en las tablas mostradas a continuación se presentan la distribución de cada sistema.

### 2.6.1. Distribución del Sistema Dual

$k = 1.30$

PISO	Altura [m]	Hi Altura acumulada	Wi (P Total) [Ton]	Wi * Hi <sup>k</sup>	(Wi * Hi <sup>k</sup> )/Σ	FUERZA TOTAL [Ton]	Vx Acumulada [Ton]
15	3.6	54.0	628.84	111392	0.128	209	209
14	3.6	50.4	693.73	112362	0.129	211	420
13	3.6	46.8	693.73	102059	0.117	192	612
12	3.6	43.2	695.78	92260	0.106	173	785
11	3.6	39.6	698.50	82731	0.095	155	941
10	3.6	36.0	708.89	74192	0.085	139	1080
9	3.6	32.4	721.58	65869	0.076	124	1204
8	3.6	28.8	724.56	56766	0.065	107	1311
7	3.6	25.2	724.56	47733	0.055	90	1400
6	3.6	21.6	727.12	39217	0.045	74	1474
5	3.6	18.0	740.75	31534	0.036	59	1533
4	3.6	14.4	751.14	23936	0.027	45	1578
3	3.6	10.8	753.96	16540	0.019	31	1609
2	3.6	7.2	757.46	9818	0.011	18	1628
1	3.6	3.6	757.46	3993	0.005	8	1635
		Σ	10778.07	870402	1.000	1635	

Tabla 9: Distribución del cortante basal de sistema dual.  
Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

### 2.6.2. Distribución del Sistema de Muros

$k = 1.30$

PISO	Altura [m]	Hi Altura acumulada	Wi (P Total) [Ton]	Wi * Hi <sup>k</sup>	(Wi * Hi <sup>k</sup> )/Σ	FUERZA TOTAL [Ton]	Vx Acumulada [Ton]
15	3.6	54.0	634.35	112369	0.124	212	212
14	3.6	50.4	725.21	117460	0.129	222	434
13	3.6	46.8	725.21	106689	0.118	201	635
12	3.6	43.2	725.21	96163	0.106	182	817
11	3.6	39.6	725.21	85894	0.095	162	979
10	3.6	36.0	743.38	77802	0.086	147	1126
9	3.6	32.4	761.55	69518	0.077	131	1257
8	3.6	28.8	761.55	59664	0.066	113	1370
7	3.6	25.2	761.55	50170	0.055	95	1465
6	3.6	21.6	761.55	41074	0.045	78	1542
5	3.6	18.0	779.72	33193	0.037	63	1605
4	3.6	14.4	797.89	25426	0.028	48	1653
3	3.6	10.8	797.89	17504	0.019	33	1686
2	3.6	7.2	797.89	10342	0.011	20	1706
1	3.6	3.6	797.89	4206	0.005	8	1714
		Σ	11296.09	907474	1.000	1714	

Tabla 10: Distribución del cortante basal de sistema de muros.  
Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

## 2.7. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Las propiedades mecánicas de los materiales empleados en la modelación, análisis y diseño se presentan a continuación:

### 2.7.1. Hormigón

Se considera las mismas propiedades de hormigón para vigas, columnas y muros.

- Resistencia del hormigón:  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
- Módulo de elasticidad ( $15100\sqrt{f'c}$ ):  $E_c = 218\,819.79 \text{ kg/cm}^2$
- Peso específico del hormigón:  $\gamma = 2400 \text{ kg/m}^3$
- Coeficiente de Poisson:  $\nu = 0.2$

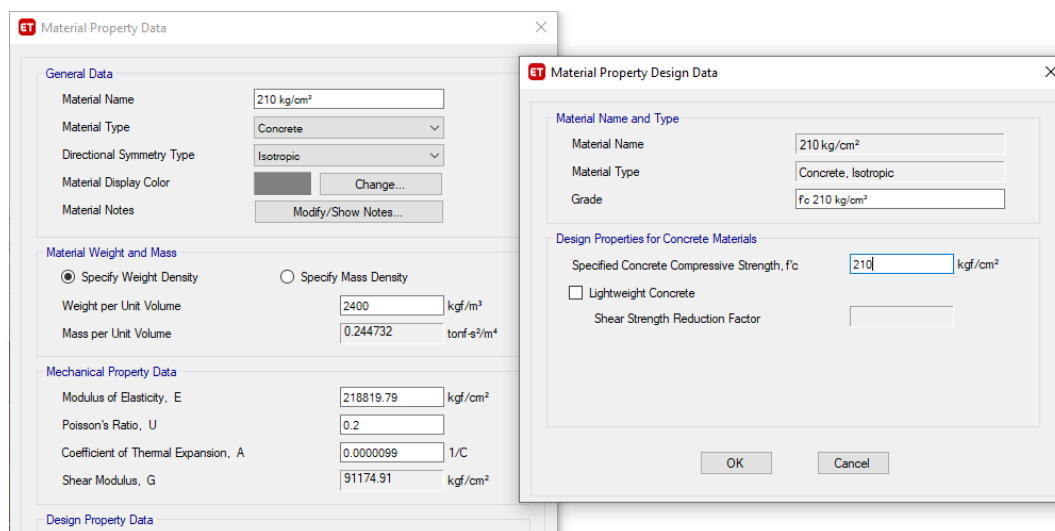


Ilustración 9: Introducción de propiedades de hormigón.  
Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

### 2.7.2. Acero de Refuerzo

Se considera un solo tipo de acero de refuerzo para todos los elementos con las siguientes propiedades:

- Fluencia del acero:  $F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$
- Fluencia ultima:  $F_u = 6300 \text{ kg/cm}^2$
- Fluencia esperada:  $F_{ye} = 4620 \text{ kg/cm}^2$
- Fluencia ultima esperada:  $F_{ue} = 6930 \text{ kg/cm}^2$
- Modulo de elasticidad:  $E_s = 2.100.000 \text{ kg/cm}^2$
- Peso especifico del acero:  $\gamma = 7850 \text{ kg/m}^3$



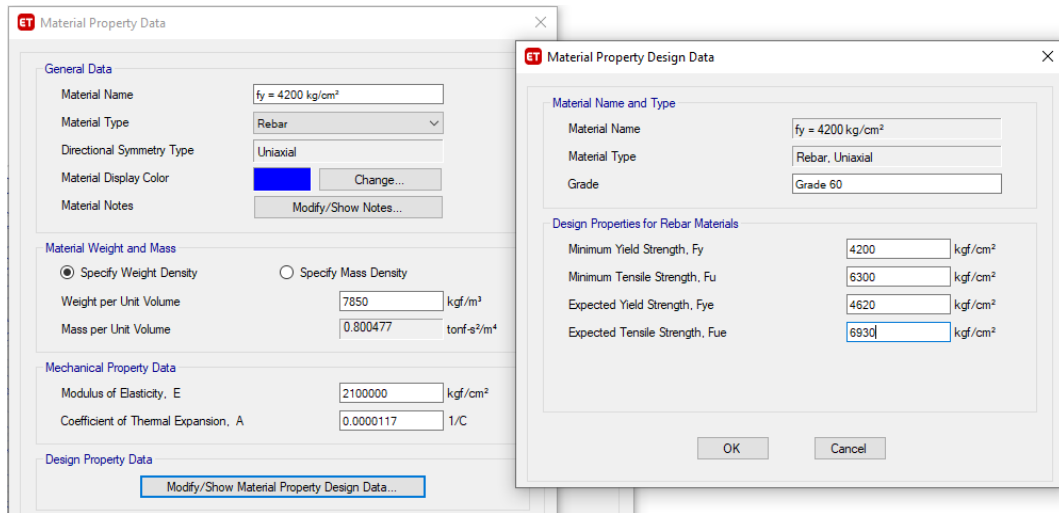


Ilustración 10: Introducción de propiedades de acero.  
Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

## 2.8. ELEMENTOS

Una vez realizado un predimensionamiento y de haber comprobado que las estructuras cumplan con participación de masas, modos de vibración y derivas de piso, los elementos estructurales, tipos y características quedan definidos de la siguiente forma.

### 2.8.1. Losa

Para la modelación se empleará una losa tipo Waffle, que representa una losa aligerada en dos direcciones, la geometría de la losa se presenta a continuación:

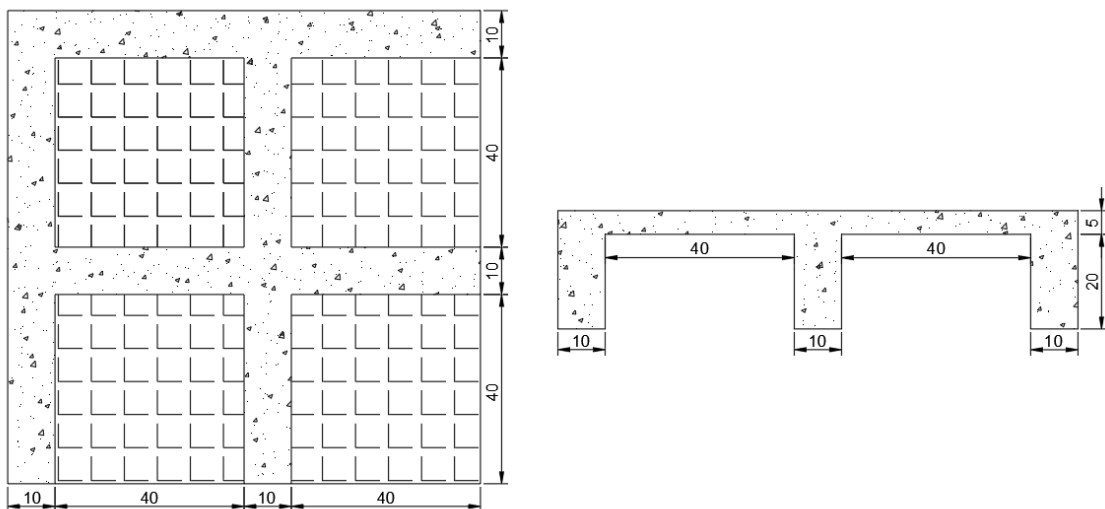


Ilustración 11: Detalle de losa.  
Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

### 2.8.2. Vigas

Se empleará vigas descolgadas rectangulares de sección única para la modelación de los dos sistemas estructurales mostrada a continuación:

<b>Sección de vigas</b>	
<b>Pisos</b>	<b>Sección (cm)</b>
1-15	45 x 70

Tabla 11: sección de vigas.

Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

### 2.8.3. Columnas

Se empleará para la modelación del sistema dual, columnas cuadradas cuya sección ira descendiendo a medida que se vaya ascendiendo 3 pisos como se muestra en la siguiente tabla:

<b>Sección de Columnas</b>	
<b>Pisos</b>	<b>Sección (cm)</b>
12-15	50 x 50
10-12	55 x 55
7-9	60 x 60
4-6	65 x 65
1-3	70 x 70

Tabla 12: Sección de columnas.

Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

### 2.8.4. Muros

Para la modelación de los dos sistemas analizados se empleará muros rectangulares con cabezales cuyo espesor ira descendiendo a medida que se vaya ascendiendo 5 pisos como se muestra en la siguiente tabla:

<b>Sección de Muros</b>	
<b>Pisos</b>	<b>Espesor (cm)</b>
11-15	25
6-10	30
1-5	35

Tabla 13: Sección de muros.

Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

### 2.8.5. Inercia de secciones agrietadas

Se debe agrietar las secciones debido a que se considera que los elementos estructurales están agrietados desde el momento de su construcción, Estos factores son requeridos en la determinación de las rigideces de los elementos estructurales y de derivas máximas de la estructura (NEC, 2015):

- Vigas:  $0.5 I_g$ .
- Columnas:  $0.8 I_g$ .
- Muros  $0.6 I_g$ .

### 2.9. PERIODOS Y PARTICIPACION DE MASAS

Los periodos y modos de vibración no dependen de las acciones a la que está sujeta la estructura, sino que son parámetros intrínsecos de la masa de los elementos que la constituyen. Una estructura tendrá tantos modos de vibración como grados de libertad posea, si generalmente se considera que cada piso cuenta con 3 grados de libertad, una estructura de 15 pisos contará con 45 modos de vibración. Sin embargo, la NEC 15 establece que para el análisis se debe considerar lo siguiente:

- Todos los modos de vibración que contribuyan significativamente a la respuesta total de la estructura, mediante los varios períodos de vibración (NEC, 2015).
- Todos los modos que involucren la participación de una masa modal acumulada de al menos el 90% de la masa total de la estructura, en cada una de las direcciones horizontales principales consideradas (NEC, 2015).

Los periodos y participaciones de masa para los primeros y más influyentes modos de vibración en el comportamiento sísmico de las estructuras analizadas se presentan a continuación:

### 2.9.1. Periodos y Masas del Sistema Dual

Porcentaje de Participación de Masas							
Modo	Periodo (s)	UX	UY	RZ	SumUX	SumUY	SumRZ
1	1.591	68.9%	0.0%	0.0%	68.9%	0.0%	0.0%
2	1.371	0.0%	64.3%	0.0%	68.9%	64.3%	0.0%
3	0.947	0.0%	0.0%	64.5%	68.9%	64.3%	64.5%
4	0.432	14.7%	0.0%	0.0%	83.6%	64.3%	64.5%
5	0.301	0.0%	19.8%	0.0%	83.6%	84.1%	64.5%
6	0.214	0.0%	0.0%	19.4%	83.6%	84.1%	83.9%
7	0.194	6.4%	0.0%	0.0%	89.9%	84.1%	83.9%
8	0.129	0.0%	7.4%	0.0%	89.9%	91.5%	83.9%
9	0.111	3.6%	0.0%	0.0%	93.5%	91.5%	83.9%
10	0.092	0.0%	0.0%	7.4%	93.5%	91.5%	91.3%

Tabla 14: Porcentaje de participación de masas del sistema dual.  
Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

Se considera que una estructura tiene un buen comportamiento sísmico cuando sus dos primeros modos de vibración son traslacionales y el tercero modo rotacional. En los gráficos mostrados a continuación se muestra el comportamiento de los tres primeros modos de vibración de la estructura dual.

- **Primer modo de vibración:**

Su comportamiento es exclusivamente traslacional en el sentido “X” y no cuenta con puntos de inflexión a lo alto de la estructura.

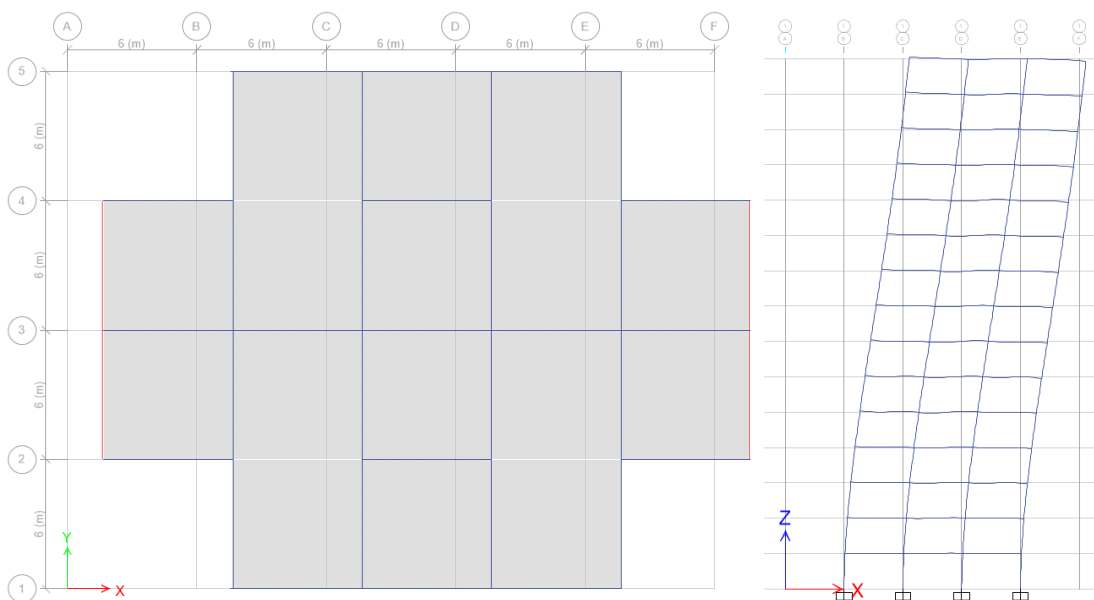


Ilustración 12: Primer modo de vibración del sistema dual.  
Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

- **Segundo modo de vibración:**

Su comportamiento es exclusivamente traslacional en el sentido “Y” y no cuenta con puntos de inflexión a lo alto de la estructura.

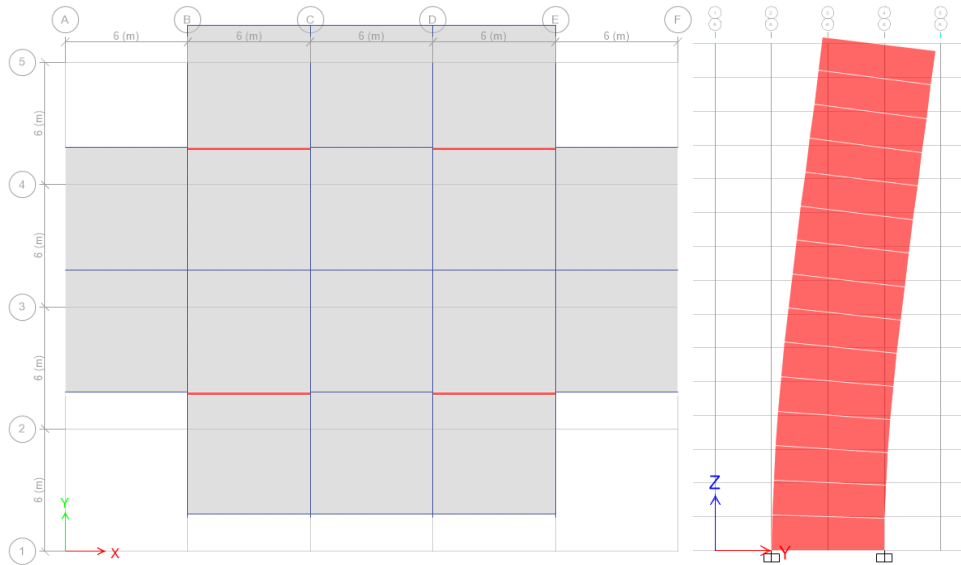


Ilustración 13: Segundo modo de vibración del sistema dual.  
Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

- **Tercer modo de vibración:**

Su comportamiento es exclusivamente rotacional en torno al sentido “Z” y no cuenta con puntos de inflexión a lo alto de la estructura.

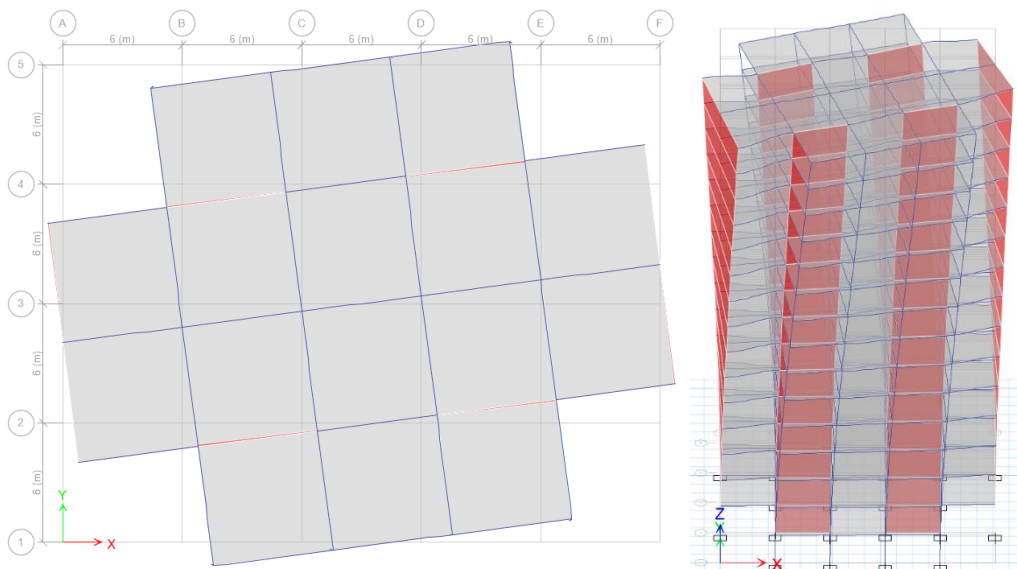


Ilustración 14: Tercer modo de vibración del sistema dual.  
Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

## 2.9.2. Periodos y Masas del Sistema de Muros

Porcentaje de Participación de Masas							
Modo	Periodo (s)	UX	UY	RZ	SumUX	SumUY	SumRZ
1	1.449	67.9%	0.0%	0.0%	67.9%	0.0%	0.0%
2	1.201	0.0%	64.4%	0.0%	67.9%	64.4%	0.0%
3	0.883	0.0%	0.0%	64.4%	67.9%	64.4%	64.4%
4	0.381	15.3%	0.0%	0.0%	83.2%	64.4%	64.4%
5	0.266	0.0%	19.2%	0.0%	83.2%	83.5%	64.4%
6	0.201	0.0%	0.0%	19.1%	83.2%	83.5%	83.5%
7	0.167	6.6%	0.0%	0.0%	89.8%	83.5%	83.5%
8	0.113	0.0%	7.2%	0.0%	89.8%	90.8%	83.5%
9	0.094	3.7%	0.0%	0.0%	93.5%	90.8%	83.5%
10	0.086	0.0%	0.0%	7.3%	93.5%	90.8%	90.8%

Tabla 15: Porcentaje de participación de masas del sistema de muros.

Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

En los gráficos mostrados a continuación se muestra el comportamiento de los tres primeros modos de vibración de la estructura de muros.

- **Primer modo de vibración:**

Su comportamiento es exclusivamente traslacional en el sentido “X” y no cuenta con puntos de inflexión a lo alto de la estructura.

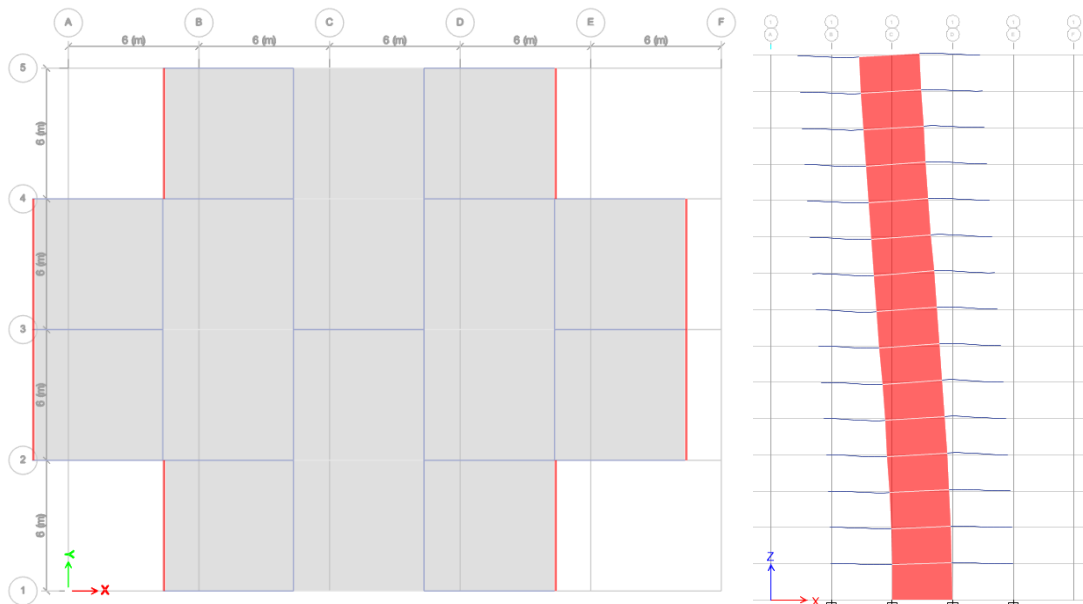


Ilustración 15: Primer modo de vibración del sistema de muros.

Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

- **Segundo modo de vibración:**

Su comportamiento es exclusivamente traslacional en el sentido “Y” y no cuenta con puntos de inflexión a lo alto de la estructura.



Ilustración 16: Segundo modo de vibración del sistema de muros.  
Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

- **Tercer modo de vibración:**

Su comportamiento es exclusivamente rotacional en torno al sentido “Z” y no cuenta con puntos de inflexión a lo alto de la estructura.

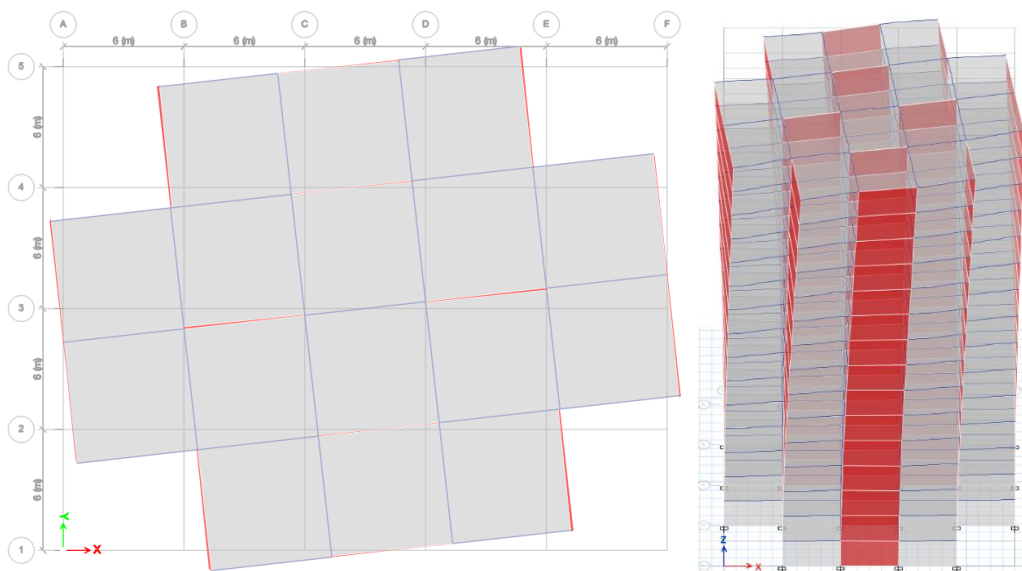


Ilustración 17: Tercer modo de vibración del sistema de muros.  
Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

## 2.10. DERIVAS DE PISO

La deriva de piso ( $\Delta E$ ) es el desplazamiento lateral relativo medido entre dos puntos de una misma línea vertical de un piso con respecto al piso siguiente generado por la acción de una fuerza horizontal. Se calcula restando el desplazamiento lateral del piso superior con respecto al piso inferior y dividiéndolo para su altura de entrepiso.

La deriva máxima para cualquier edificación de uso común no debe exceder los límites de deriva inelástica establecidos en la NEC 15 donde se indica que en el caso de estructuras de hormigón armado, la deriva máxima para cualquier piso no de exceder el valor de 0.02.

$$\Delta_M = 0.75 \cdot R \cdot \Delta_E \leq 0.02$$

### 2.10.1. Derivas del Sistema Dual

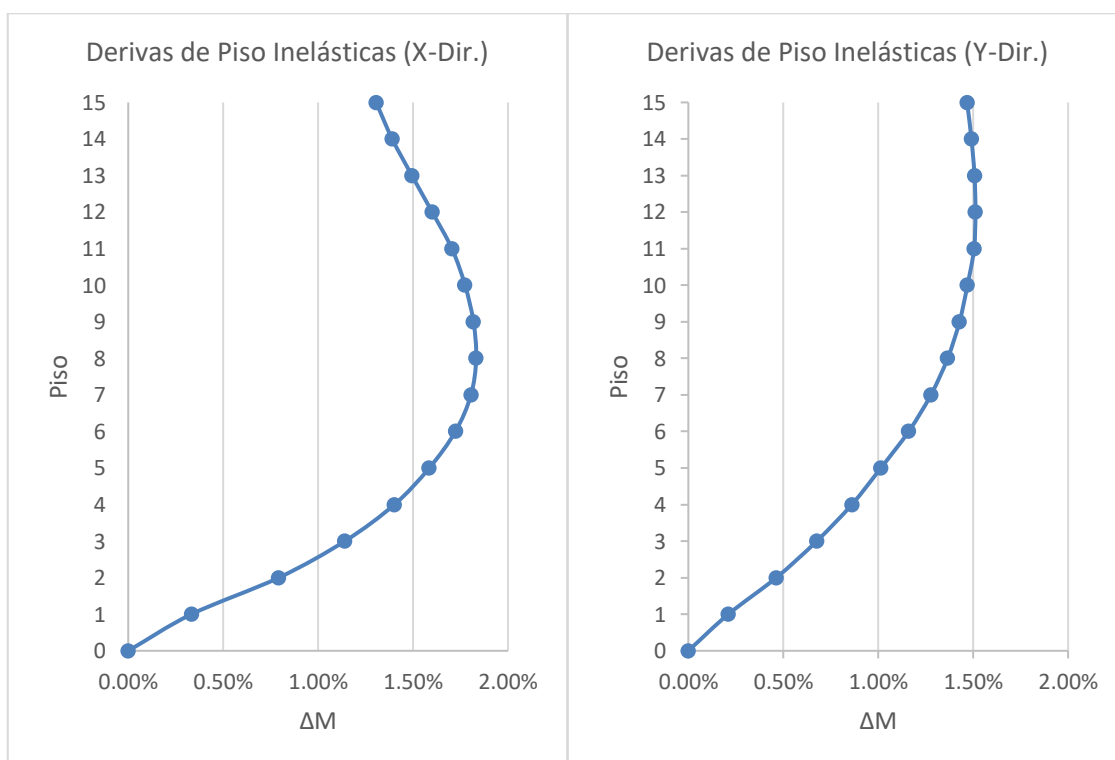


Ilustración 18: Derivas de piso inelásticas del sistema dual.  
Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.



Derivas de Piso Inelásticas del Sistema Dual							
Piso	Elevación (m)	Sentido X			Sentido Y		
		$\Delta E$	$\Delta M$	$\Delta M < 0.02$	$\Delta E$	$\Delta M$	$\Delta M < 0.02$
15	54.0	0.002176	0.013056	Cumple	0.002447	0.014682	Cumple
14	50.4	0.002317	0.013902	Cumple	0.002485	0.014910	Cumple
13	46.8	0.002490	0.014940	Cumple	0.002512	0.015072	Cumple
12	43.2	0.002668	0.016008	Cumple	0.002520	0.015120	Cumple
11	39.6	0.002841	0.017046	Cumple	0.002508	0.015048	Cumple
10	36.0	0.002956	0.017736	Cumple	0.002450	0.014700	Cumple
9	32.4	0.003030	0.018180	Cumple	0.002380	0.014280	Cumple
8	28.8	0.003054	0.018324	Cumple	0.002276	0.013656	Cumple
7	25.2	0.003008	0.018048	Cumple	0.002129	0.012774	Cumple
6	21.6	0.002872	0.017232	Cumple	0.001934	0.011604	Cumple
5	18.0	0.002642	0.015852	Cumple	0.001690	0.010140	Cumple
4	14.4	0.002336	0.014016	Cumple	0.001435	0.008610	Cumple
3	10.8	0.001901	0.011406	Cumple	0.001127	0.006762	Cumple
2	7.2	0.001321	0.007926	Cumple	0.000772	0.004632	Cumple
1	3.6	0.000555	0.003330	Cumple	0.000351	0.002106	Cumple
Base	0.0	0.000000	0.000000	Cumple	0.000000	0.000000	Cumple

Tabla 16: Derivas de piso inelásticas del sistema dual.  
Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

## 2.10.2. Derivas del Sistema de Muros

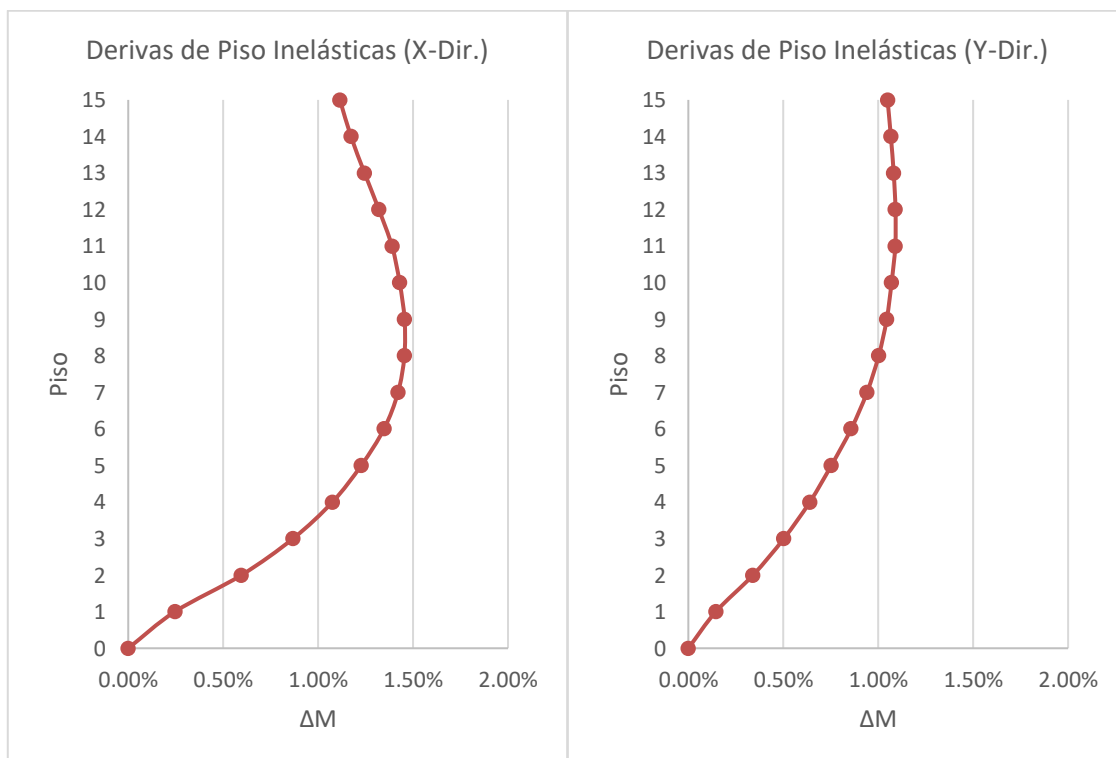


Ilustración 19: Derivas de piso inelásticas del sistema de muros.  
Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

Derivas de Piso Inelásticas del Sistema de Muros							
Piso	Elevación (m)	Sentido X			Sentido Y		
		$\Delta E$	$\Delta M$	$\Delta M < 0.02$	$\Delta E$	$\Delta M$	$\Delta M < 0.02$
15	54.0	0.002973	0.011149	Cumple	0.002798	0.010493	Cumple
14	50.4	0.003128	0.011730	Cumple	0.002844	0.010665	Cumple
13	46.8	0.003319	0.012446	Cumple	0.002884	0.010815	Cumple
12	43.2	0.003520	0.013200	Cumple	0.002909	0.010909	Cumple
11	39.6	0.003704	0.013890	Cumple	0.002906	0.010898	Cumple
10	36.0	0.003812	0.014295	Cumple	0.002854	0.010703	Cumple
9	32.4	0.003880	0.014550	Cumple	0.002786	0.010448	Cumple
8	28.8	0.003878	0.014543	Cumple	0.002673	0.010024	Cumple
7	25.2	0.003789	0.014209	Cumple	0.002509	0.009409	Cumple
6	21.6	0.003592	0.013470	Cumple	0.002287	0.008576	Cumple
5	18.0	0.003272	0.012270	Cumple	0.002008	0.007530	Cumple
4	14.4	0.002868	0.010755	Cumple	0.001706	0.006398	Cumple
3	10.8	0.002314	0.008678	Cumple	0.001341	0.005029	Cumple
2	7.2	0.001588	0.005955	Cumple	0.000908	0.003405	Cumple
1	3.6	0.000655	0.002456	Cumple	0.000386	0.001448	Cumple
Base	0.0	0.000000	0.000000	Cumple	0.000000	0.000000	Cumple

Tabla 17: Derivas de piso inelásticas del sistema de muros.  
Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

### 2.10.3. Comparación de Derivas

Los controles de las derivas de piso son fundamentales en el diseño de una estructura, a tal punto que en la mayoría de los casos las columnas y vigas son diseñadas en base a este criterio, se hace este control con el fin de asegurar un buen comportamiento estructural y evitar daños no estructurales excesivos en la edificación.

Lo que se busca con el uso de muros estructurales es controlar de una mejor manera los desplazamientos laterales causados por sismos y disminuir considerablemente las derivas de piso, de esta manera incluso se puede conseguir que la estructura tenga un mejor comportamiento ante un sismo más intenso que el sismo de diseño.

Como se puede apreciar en los siguientes gráficos, precisamente existe una disminución en las derivas del sistema de muros con respecto al sistema dual, concretamente entre un 15% al 26% en el sentido “X” y entre el 26% al 31% en el sentido “Y”. Se puede notar incluso que en este último sentido sus derivas en general son mucho más pequeñas, no pasan del 1.5% en el sistema dual y sobrepasan por muy poco el 1% en el sistema de muros.

Esto se puede explicar en gran medida debido a que en este sentido se usó un solo muro continuo de 12 m de ancho mientras que en el sentido “X” se usaron dos muros de 6 m con una separación entre ellos, demostrando que entre mayor sea el ancho continuo del muro mejor será su comportamiento estructural y que dos muros continuos no trabajan igual que uno solo, por lo tanto se los debería conectar con una viga de acople.

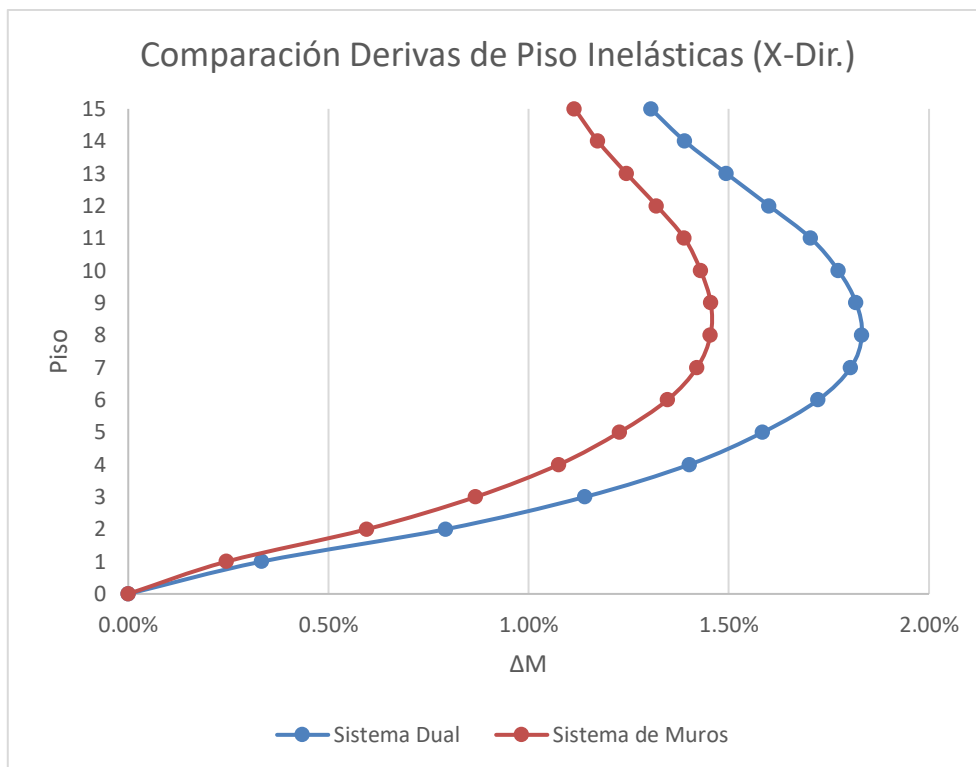


Ilustración 20: Comparación de derivas de piso inelásticas (X-Dir.).  
Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

<b>Comparación Derivas de Piso Inelásticas (X-Dir.)</b>				
<b>Piso</b>	<b>Elevación (m)</b>	<b>ΔM (Dual)</b>	<b>ΔM (Muros)</b>	<b>Δ%</b>
15	54.0	0.013056	0.011149	15%
14	50.4	0.013902	0.011730	16%
13	46.8	0.014940	0.012446	17%
12	43.2	0.016008	0.013200	18%
11	39.6	0.017046	0.013890	19%
10	36.0	0.017736	0.014295	19%
9	32.4	0.018180	0.014550	20%
8	28.8	0.018324	0.014543	21%
7	25.2	0.018048	0.014209	21%
6	21.6	0.017232	0.013470	22%
5	18.0	0.015852	0.012270	23%
4	14.4	0.014016	0.010755	23%
3	10.8	0.011406	0.008678	24%
2	7.2	0.007926	0.005955	25%
1	3.6	0.003330	0.002456	26%
Base	0.0	0.000000	0.000000	-

Tabla 18: Comparación de derivas de piso inelásticas (X-Dir.).  
Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

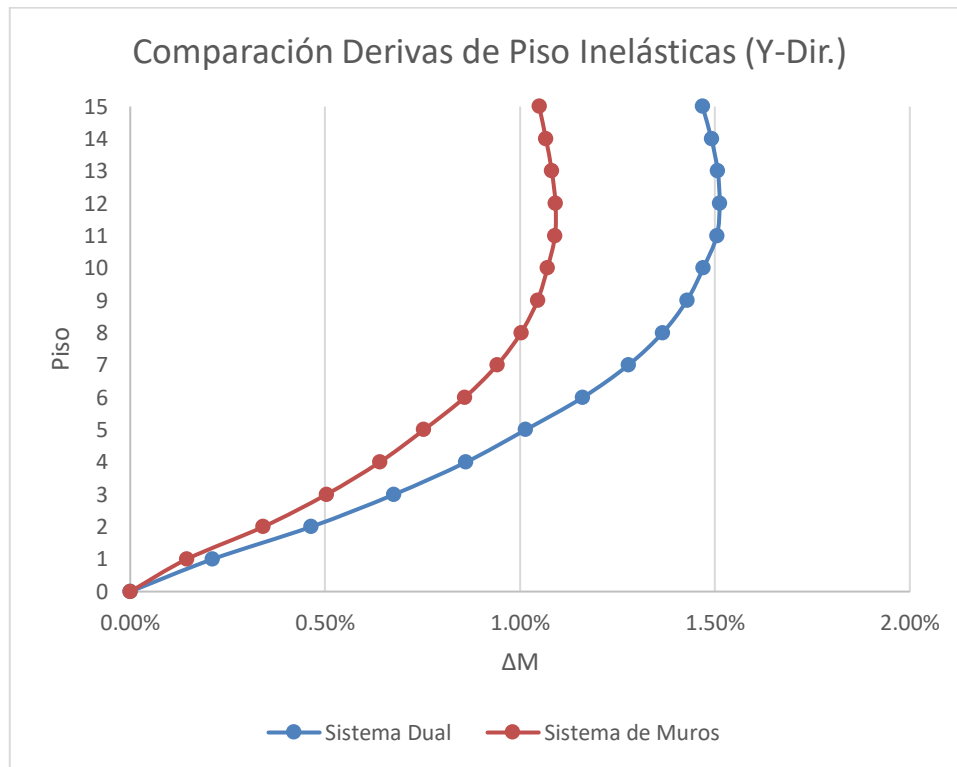


Ilustración 21: Comparación de derivas de piso inelásticas (Y-Dir.).  
Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

<b>Comparación Derivas de Piso Inelásticas (Y-Dir.)</b>				
<b>Piso</b>	<b>Elevación (m)</b>	<b><math>\Delta M</math> (Dual)</b>	<b><math>\Delta M</math> (Muros)</b>	<b><math>\Delta\%</math></b>
15	54.0	0.014682	0.010493	29%
14	50.4	0.014910	0.010665	28%
13	46.8	0.015072	0.010815	28%
12	43.2	0.015120	0.010909	28%
11	39.6	0.015048	0.010898	28%
10	36.0	0.014700	0.010703	27%
9	32.4	0.014280	0.010448	27%
8	28.8	0.013656	0.010024	27%
7	25.2	0.012774	0.009409	26%
6	21.6	0.011604	0.008576	26%
5	18.0	0.010140	0.007530	26%
4	14.4	0.008610	0.006398	26%
3	10.8	0.006762	0.005029	26%
2	7.2	0.004632	0.003405	26%
1	3.6	0.002106	0.001448	31%
Base	0.0	0.000000	0.000000	-

Tabla 19: Comparación de derivas de piso inelásticas (Y-Dir.).  
Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

## **CAPÍTULO 3**

### **DISEÑO ESTRUCTURAL DEL SISTEMA DUAL**

**CRISTHIAN CÁCERES G.**

### 3. DISEÑO ESTRUCTURAL DEL SISTEMA DUAL

Para la realización del diseño estructural se basará en la: “Guía práctica para el diseño de estructuras de hormigón armado”. La cual muestra una metodología a seguir tomando en cuenta los requerimientos y consideraciones de la norma ecuatoriana de la construcción (NEC-SE-HM) como también del código ACI-318.

#### 3.1. VIGAS

Para el ejemplo se tomará la viga con número de etiqueta 549 ubicada en el octavo piso entre los ejes C y D de la tercera hilera, el programa calcula la cantidad de acero requerido por las vigas, sin embargo, para efectos de comprobación se procederá hacer el diseño manual de una viga con la ayuda de una hoja de cálculo previamente desarrollada.

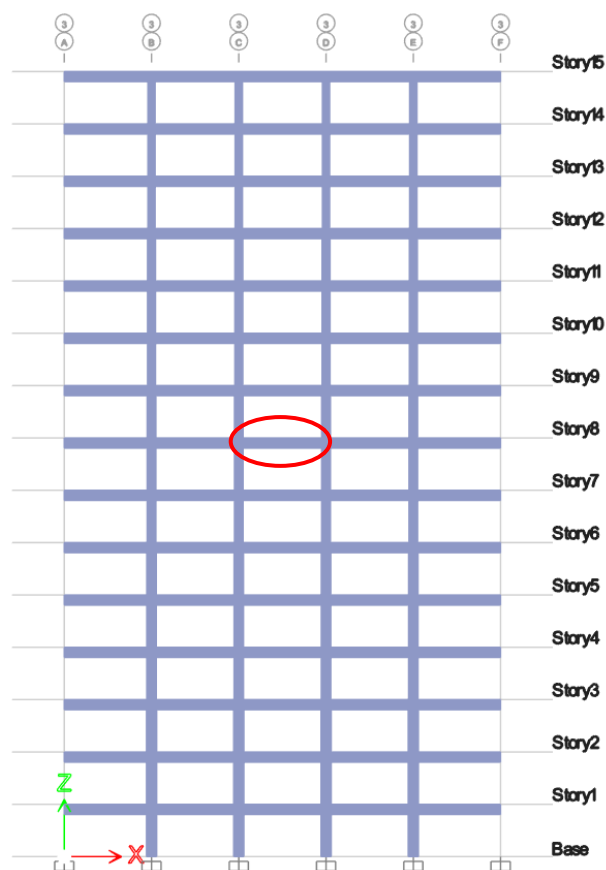


Ilustración 22: Ubicación de viga diseñada.  
Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

### 3.1.1. Flexión

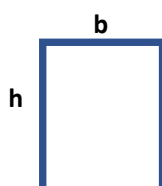
Para el diseño por flexión en primer lugar se introducen en la hoja de cálculo las características específicas de la viga como dimensiones, recubrimiento, materiales y cargas, con estos datos la hoja se encarga de obtener el área de acero requerido, posteriormente se determina el acero que será colocado y finalmente se comprueba que la cuantía de acero este dentro de los límites permitidos.

#### DISEÑO DE VIGA A FLEXIÓN

##### Sección:

Viga: 549

b =	45	[cm]
h =	70	[cm]
rec. =	6	[cm]
d =	64	[cm]



##### Materiales:

$f'c =$	210	[kg/cm <sup>2</sup> ]
$f_y =$	4200	[kg/cm <sup>2</sup> ]

##### Cargas:

MD (-)	4.41	[ton*m]	0	[ton*m]	4.41	[ton*m]
ML (-)	2.08	[ton*m]	0	[ton*m]	2.08	[ton*m]
MS (-)	32.57	[ton*m]			32.57	[ton*m]
MD (+)			3.33	[ton*m]		
ML (+)			1.63	[ton*m]		
MS (+)	32.57	[ton*m]			35.57	[ton*m]

##### Combinaciones de carga:

##### Envolvente

MU (-)	39.94	[ton*m]	0.00	[ton*m]	39.94	[ton*m]
MU (+)	28.60	[ton*m]	6.60	[ton*m]	28.60	[ton*m]



### Área mínima de acero longitudinal

$$A_{s_{min}} = \frac{0.8 * \sqrt{f'c}}{f_y} * b * d \qquad A_{s_{min}} = \frac{14}{f_y} * b * d$$

$$A_{s_{min}} = 9.60 \quad [\text{cm}^2]$$

### Área de acero calculado

$$k = \frac{0.85 * f'c * b * d}{f_y} \qquad A_s = k \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_u}{\phi * k * d * f_y}} \right)$$

As (-)	17.81	[cm <sup>2</sup> ]	0.00	[cm <sup>2</sup> ]	17.81	[cm <sup>2</sup> ]
As (+)	12.46	[cm <sup>2</sup> ]	2.76	[cm <sup>2</sup> ]	12.46	[cm <sup>2</sup> ]

### Área requerida

As (-)	17.81	[cm <sup>2</sup> ]	9.60	[cm <sup>2</sup> ]	17.81	[cm <sup>2</sup> ]
As (+)	12.46	[cm <sup>2</sup> ]	9.60	[cm <sup>2</sup> ]	12.46	[cm <sup>2</sup> ]

### Área final

As (-)	8.21	[cm <sup>2</sup> ]	9.60	[cm <sup>2</sup> ]	8.21	[cm <sup>2</sup> ]
As (+)	2.86	[cm <sup>2</sup> ]	9.60	[cm <sup>2</sup> ]	2.86	[cm <sup>2</sup> ]

### Acero colocado

As (-)	2 $\phi$ 25 mm 9.82 cm <sup>2</sup> OK	2 $\phi$ 25 mm 9.82 cm <sup>2</sup> OK	2 $\phi$ 25 mm 9.82 cm <sup>2</sup> OK
As (+)	1 $\phi$ 20 mm 3.14 cm <sup>2</sup> OK	2 $\phi$ 25 mm 9.82 cm <sup>2</sup> OK	1 $\phi$ 20 mm 3.14 cm <sup>2</sup> OK

### Cuantía de acero

$$\beta_1 = 0.85$$

$$E_s = 2100000 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

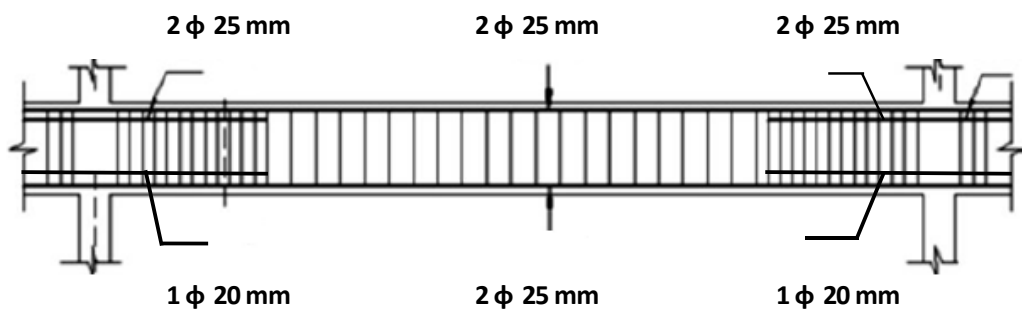
$$\rho = \frac{A_s}{b * d} = 0.68\%$$

$$\rho_b = 0.85 * \beta_1 * \frac{f'_c}{f_y} * \frac{0.003}{\frac{f_y}{E_s} + 0.003} = 2.17\%$$

$$\rho_{max} = 0.5 * \rho_b = 1.08\%$$

$$\rho_{max} > \rho \text{ Ok}$$

### Gráfico



Como se puede apreciar en la siguiente imagen las áreas obtenidas a mano son muy similares a las obtenidas con el programa, la única diferencia notable que se encuentra es el refuerzo superior en la mitad de la viga. Esto se debe a que la NEC no permite el uso de refuerzo menor al  $A_s$  min, por lo tanto el valor de  $7.57 \text{ cm}^2$  debe ser remplazado por  $9.6 \text{ cm}^2$ .

25.67	10.20	10.94	10.81	3.66	10.33	17.13	7.20	17.13	10.33	3.66	10.81	10.94	10.20	25.67	Story9
12.09	9.64	14.24	7.78	6.21	7.86	11.82	9.51	11.82	7.86	6.21	7.78	14.24	8.87	12.09	
		36.00			36.00			36.00			36.00				
25.34	9.95	11.65	11.94	4.30	11.35	17.80	7.57	17.80	11.35	4.30	11.94	11.65	9.95	25.34	Story8
11.94	9.64	14.39	9.01	6.76	9.17	12.45	9.64	12.45	9.17	6.76	9.01	14.39	9.12	11.94	
		36.00			36.00			36.00			36.00				
24.53	9.64	11.74	11.94	4.30	11.48	17.36	7.33	17.36	11.48	4.30	11.94	11.74	9.64	24.53	Story7
11.58	9.64	13.60	9.10	6.77	9.21	12.03	9.62	12.03	9.21	6.77	9.10	13.60	8.76	11.58	


Ilustración 23: Acero de refuerzo obtenido con ETABS.  
Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

### 3.1.2. Cortante

Igualmente para el diseño por cortante se introducen en la hoja de cálculo las mismas características definidas anteriormente, las cuales son: dimensiones, recubrimiento, materiales y cargas, adicionalmente se introducen las áreas del acero longitudinal determinados en el paso anterior con la adición del aporte que nos brindaría la losa, el cual en este caso se definió en  $10 \text{ cm}^2$ , con estos datos la hoja se encarga de obtener el área de acero requerido en función de la separación que se asuma, tanto en las zonas de confinamiento como en la zona central de la viga y finalmente se determina la cantidad de acero que será colocado.

## DISEÑO DE ESTRIBOS EN VIGAS

**Sección:**



**Materiales:**

$b = 45.0 \text{ [cm]}$

$h = 70.0 \text{ [cm]}$

$r = 6.0 \text{ [cm]}$

$d = 64.0 \text{ [cm]}$

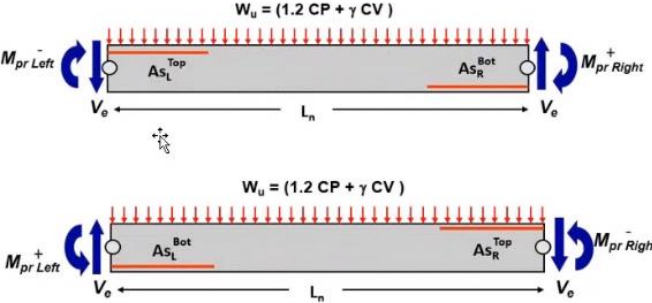
$f'c = 210 \text{ [kgf/cm}^2\text{]}$

$f_y = 4200 \text{ [kgf/cm}^2\text{]}$

$E_s = 2100000 \text{ [kgf/cm}^2\text{]}$

$E_c = 218820 \text{ [kgf/cm}^2\text{]}$

**Corte Probable:**



$W_u = (1.2 \text{ CP} + \gamma \text{ CV})$

$V_{p1} = \left( \frac{M_{pr}^- \text{ Left} + M_{pr}^+ \text{ Right}}{L_n} \right)$

$V_{p2} = \left( \frac{M_{pr}^+ \text{ Left} + M_{pr}^- \text{ Right}}{L_n} \right)$

**Carga Distribuida:**

$VD = 4.99 \text{ [tonf]}$

$VL = 2.18 \text{ [tonf]}$

$$V_u \text{ vert.} = 9.48 \text{ [tonf]}$$

### Refuerzo Longitudinal:

$$A_s \text{ sup. Izq.} = 29.64 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$A_s \text{ sup. Der.} = 29.64 \text{ [cm}^2\text{]}$$



$$A_s \text{ inf. Izq.} = 12.96 \text{ [cm}^2\text{]}$$

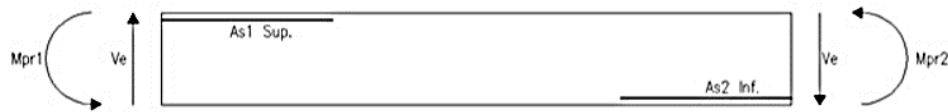
$$A_s \text{ inf. Der.} = 12.96 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$L_c = 5.3 \text{ [m]}$$

### Momentos Probables:

$$\phi = 0.75 \quad \alpha = 1.4$$

$$V_c = 0.53 * \sqrt{f'c} * b * d = 22.12 \text{ [tonf]}$$



$$M_{pr.i}^- = A_s2 \text{ inf.} * a * f_y * \left( d - \frac{A_s2 \text{ inf.} * \alpha * f_y}{1.7 * f'c * b} \right) = 92.63 \text{ [Tonf*m]}$$

$$M_{pr.d}^+ = A_s1 \text{ sup.} * a * f_y * \left( d - \frac{A_s1 \text{ sup.} * \alpha * f_y}{1.7 * f'c * b} \right) = 45.16 \text{ [Tonf*m]}$$

$$V_{sismo} = \frac{M_{pr.i}^- + M_{pr.d}^+}{L_n} = 26.00 \text{ [tonf]} \quad V_c = 0$$

$$V_u1 = V_{sismo} + V_u \text{ vert.} = 35.47 \text{ [tonf]}$$



$$M_{pr.i}^+ = A_s1 \text{ inf.} * a * f_y * \left( d - \frac{A_s1 \text{ inf.} * \alpha * f_y}{1.7 * f'c * b} \right) = 45.16 \text{ [Tonf*m]}$$

$$M_{pr.d}^- = A_s2 \text{ sup.} * a * f_y * \left( d - \frac{A_s2 \text{ sup.} * \alpha * f_y}{1.7 * f'c * b} \right) = 92.63 \text{ [Tonf*m]}$$

$$V_{sismo} = \frac{M_{pr.i}^+ + M_{pr.d}^-}{L_n} = 26.00 \text{ [tonf]} \quad V_c = 0$$

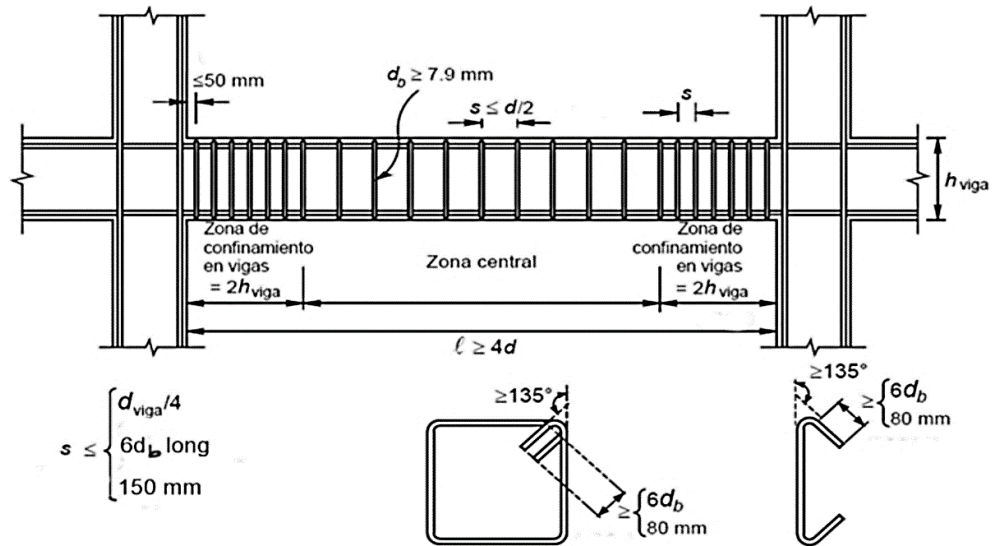
$$V_u2 = V_{sismo} + V_u \text{ vert.} = 35.47 \text{ [tonf]}$$

$$V_u = \max(V_u1 ; V_u2) = 35.47 \text{ [tonf]}$$

$$V_c = 0.00 \text{ [tonf]}$$

$$V_s = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} = 47.30 \text{ [tonf]} < 4V_c \quad \text{Ok}$$

### Área requerida de estribos



### Zona de confinamiento:

$$d_b = 20 \text{ [mm]} \quad 2h = 140.0 \text{ [cm]}$$

$s \leq$	{	Confinamiento:	$\frac{d}{4} = 16.00 \text{ [cm]}$			
		Pandeo:	$6d_b = 12.00 \text{ [cm]}$			
		Corte:	$\frac{d}{2} = 32.00 \text{ [cm]}$	rige :	12.00 [cm]	Asumido: 10.00 [cm]
		Normativo:	15.00 [cm]			

$$A_v = \frac{V_s * s}{f_y * d} = 1.76 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$A_v \text{ colocado} = 2 \phi 12 \text{ mm} = 2.26 \text{ cm}^2 \quad \text{OK}$$

2 Ramas	$\phi 12 \text{ [mm]}$	@ 10.00 [cm]
---------	------------------------	--------------

### Zona central:

$$V_u \text{ vert.} = 4.47 \text{ [tonf]}$$

$$V_u = V_u \text{ vert.} + V_s \text{ sismo} = 30.47 \text{ [tonf]}$$

$$V_c = 22.12 \text{ [tonf]}$$

$$V_s = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} = 18.50 \text{ [tonf]} < 4V_c \quad \text{Ok}$$

$$s \leq \begin{cases} \text{Corte: } \frac{d}{2} = 32.00 \text{ [cm]} \\ \text{Normativo: } 25.00 \text{ [cm]} \end{cases} \quad \text{rige: } 25.00 \text{ [cm]} \quad \text{Asumido: } 20.00 \text{ [cm]}$$

$$A_v = \frac{V_s * s}{f_y * d} = 1.38 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$A_v \text{ colocado} = 2 \phi 12 \text{ mm} = 2.26 \text{ cm}^2 \quad \text{OK}$$

2 Ramas  $\phi 12$  [mm] @ 20.00 [cm]

Gráfico:

Zona de confinamiento:      Zona central:      Zona de confinamiento:

1.4 [m]	2.5 [m]	1.4 [m]
2 Ramas $\phi 12$ [mm] @ 10[cm]	2 Ramas $\phi 12$ [mm] @ 20[cm]	2 Ramas $\phi 12$ [mm] @ 10[cm]

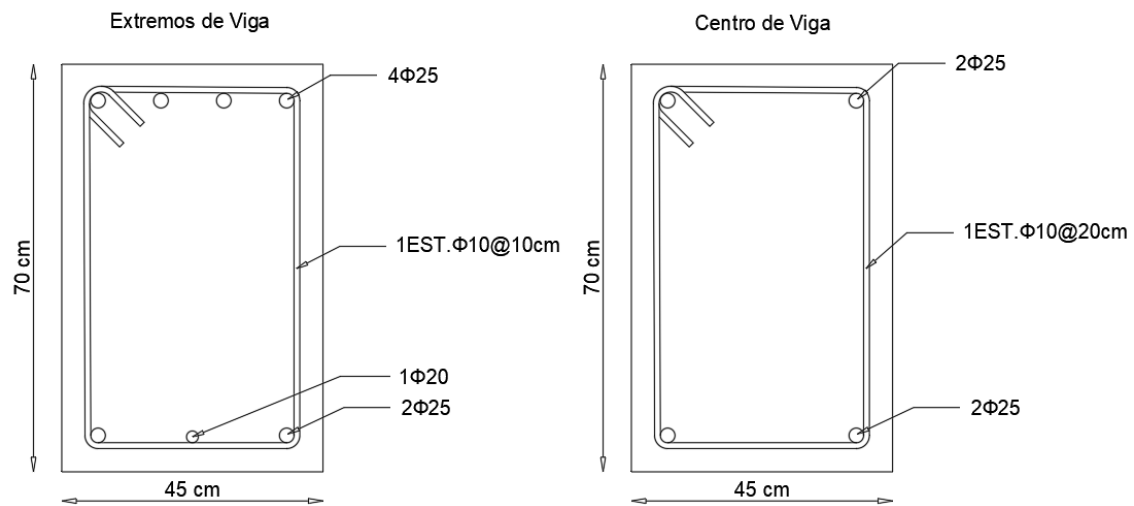


Ilustración 24: Sección de viga diseñada.  
Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

## 3.2. COLUMNAS

Para el ejemplo se tomará la columna más cargada ubicada en el primer piso entre los ejes C y D de la tercera hilera, al igual que en el caso de las vigas para efectos de comprobación se procederá hacer el diseño manual de una columna con la ayuda de una hoja de cálculo previamente desarrollada.

### 3.2.1. Flexo-Compresión

Las columnas requieren una cuantía de entre el 1% al 3% para el acero longitudinal, por lo tanto iniciaremos el diseño con el límite inferior:

$$\begin{aligned}
 A_{s_{req.}} &= 1\% * 70 \text{ cm} * 70 \text{ cm} = 49 \text{ cm}^2 \\
 A_{s_{colocado}} &= 16 \Phi 20 \text{ mm} = 50.27 \text{ cm}^2 \\
 1\% &\leq \frac{A_s}{b \cdot h} \leq 3\% \\
 1\% &\leq \frac{50.27 \text{ cm}^2}{70 \text{ cm} \cdot 70 \text{ cm}} \leq 3\% \\
 1\% &\leq 1.03\% \leq 3\% \quad \text{Ok}
 \end{aligned}$$

Posteriormente se realiza el diagrama de interacción para poder establecer si las solicitaciones que soportará la columna se encuentran dentro de la curva ( $\emptyset P_n - \emptyset M_n$ ) y determinar así si el diseño de la columna es correcto.

Generalmente el diagrama de interacción se lo debe hacer para los sentidos “X” y “Y” de la columna, sin embargo la columna en estudio es cuadrada por lo tanto no se necesita revisar los dos sentidos.

En el grafico que se presenta a continuación se muestra el diagrama de interacción de la columna diseñada, donde se aprecia que la carga máxima solicitada está dentro del área de la curva ( $\emptyset P_n - \emptyset M_n$ ), además también se muestra en línea purpura puntuada el diagrama de interacción que genera en el ETABS comprobando que los resultados obtenidos manualmente son muy parecidos al programa.

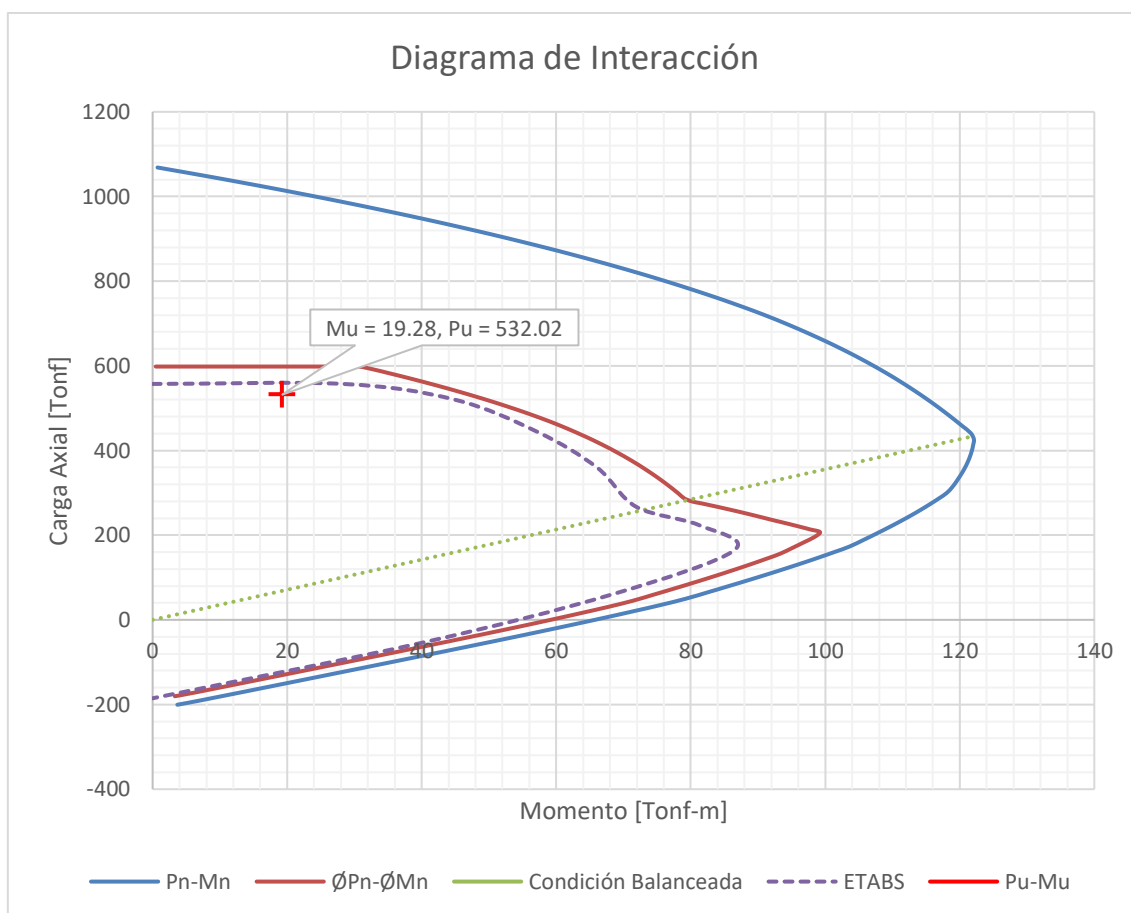


Ilustración 25: Diagrama de interacción de columna.  
Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

### 3.2.2. Cortante/Confinamiento

Es particularmente importante revisar el diseño de estribos de una columna, en primer lugar debido a que se debe evitar que la columna se agote primero por cortante y/o confinamiento antes que por flexo-compresión, además que el hormigón confinado tiene mayor ductilidad y soporta mayores cargas.

Y en segundo lugar debido a que el programa ETABS solo realiza el diseño de estribos por cortante, no realiza el análisis por confinamiento, por lo tanto siempre es recomendable realizar una hoja de cálculo personal donde se tome en cuenta este tema, ya que en algunas ocasiones el área de confinamiento es mayor al de cortante.



## Diseño de Estribos en Columnas

### Datos de la seccion:

h =	70	cm	Carga Aplicada =	532.02	t	
b =	70	cm	↑ Mb	122.13	t-m	Ash1,Ash2,Ash3
rec =	4	cm	→ Mb	122.13	t-m	
# Varrilas =	16					
∅ Varrilla =	20	mm				
Hc =	2.9	m				
f'c =	210	kg/cm <sup>2</sup>	h'' =	62		
fy =	4200	kg/cm <sup>2</sup>	d =	62		
			Ag =	4900		
			Ac =	3844		

### Espaciamientos:

Lo =	<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="font-size: 2em; margin-right: 5px;">{</div> <table style="border-collapse: collapse;"> <tr><td style="padding: 2px 5px;">b</td><td style="padding: 2px 5px;">70</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 5px;">h</td><td style="padding: 2px 5px;">70</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 5px;">Hc/6</td><td style="padding: 2px 5px;">48</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 5px;">45</td><td style="padding: 2px 5px;">45</td></tr> </table> </div>	b	70	h	70	Hc/6	48	45	45	70	cm	
b	70											
h	70											
Hc/6	48											
45	45											
S en Lo ≤	<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="font-size: 2em; margin-right: 5px;">{</div> <table style="border-collapse: collapse;"> <tr><td style="padding: 2px 5px;">b/4</td><td style="padding: 2px 5px;">17.5</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 5px;">h/4</td><td style="padding: 2px 5px;">17.5</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 5px;">6db</td><td style="padding: 2px 5px;">12</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 5px;">Normativo</td><td style="padding: 2px 5px;">10</td></tr> </table> </div>	b/4	17.5	h/4	17.5	6db	12	Normativo	10	10	Asumido:	10
b/4	17.5											
h/4	17.5											
6db	12											
Normativo	10											
S en Centro ≤	<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="font-size: 2em; margin-right: 5px;">{</div> <table style="border-collapse: collapse;"> <tr><td style="padding: 2px 5px;">d/2</td><td style="padding: 2px 5px;">31</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 5px;">6db</td><td style="padding: 2px 5px;">12</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 5px;">Normativo</td><td style="padding: 2px 5px;">15</td></tr> </table> </div>	d/2	31	6db	12	Normativo	15	12	Asumido:	12		
d/2	31											
6db	12											
Normativo	15											

### Areas:

#### Fibras Cortas y Largas

Confinamiento	$Ash1 = \frac{0.3 * s * h'' * f'c}{fy} \left( \frac{Ag}{Ac} - 1 \right) =$	2.55	cm <sup>2</sup> @ 10 cm
	$Ash2 = \frac{0.09 * s * h'' * f'c}{fy} =$	2.79	cm <sup>2</sup> @ 10 cm
	$Ash3 = \frac{0.2 * kf * kn * s * h'' * Pu}{fy * As} =$	4.67	cm <sup>2</sup> @ 10 cm
	$kf = \frac{f'c}{1750} + 0.6 \geq 1$	1	
	$kf = \frac{n}{n - 2} =$	1.14	

Corte

$$Vu = \frac{2 * Mb}{Hc} * 1.15 = 96.86 \text{ t}$$

$$Vc = 0,53 * \sqrt{f'c} * b * d = 33.33 \text{ t}$$

$$4 * Vc = 133.33 \text{ t}$$

$$Vs = \frac{Vu - \phi Vc}{\phi} = 80.62 \text{ t} \quad \text{Cumple } 4Vc$$

$$Av = \frac{Vs * s}{fy * d} = 3.10 \text{ cm}^2 @ 10 \text{ cm}$$

Para Lo rige:  cm<sup>2</sup>

5  $\phi$  12 mm = 5.65 cm<sup>2</sup> Ok

$\phi$  12 mm @ 10 cm

Para Centro rige:  cm<sup>2</sup>

4  $\phi$  12 mm = 4.52 cm<sup>2</sup> Ok

$\phi$  12 mm @ 12 cm

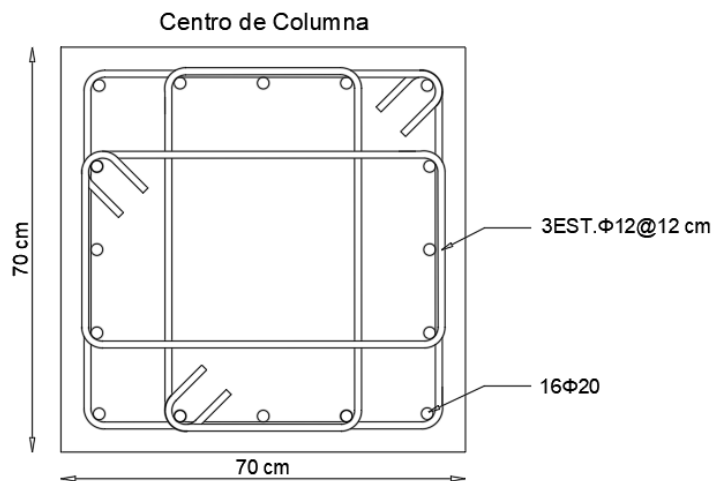
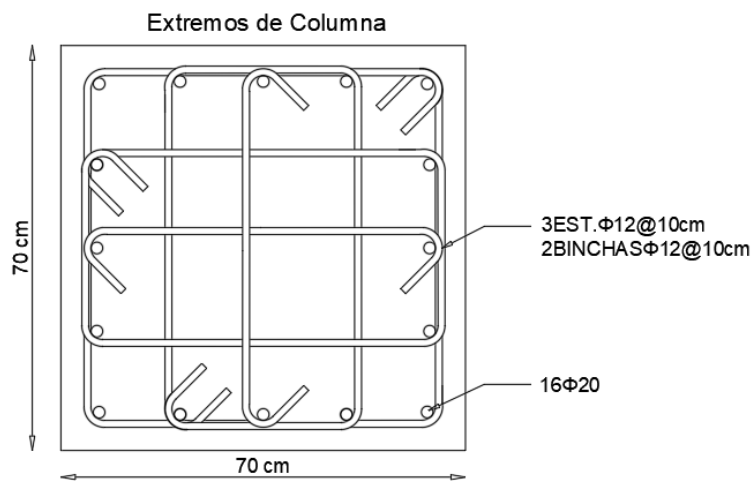


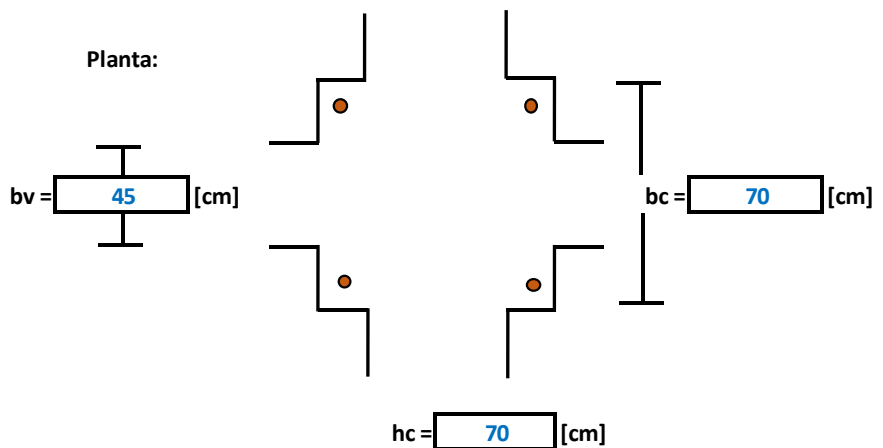
Ilustración 26: Sección de columna diseñada.  
Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

### 3.3. CONEXIÓN VIGA-COLUMNA

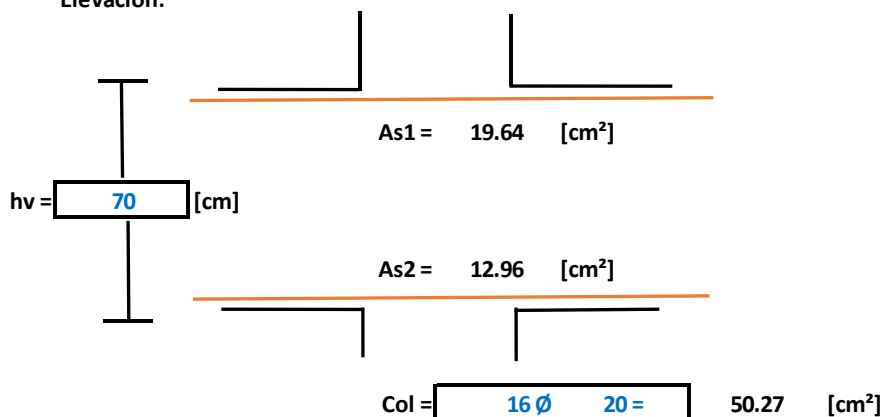
El diseño de la conexión o nudo se divide en dos, el primero de nudo fuerte – viga débil, donde se analiza el corte, confinamiento, deterioro por adherencia y anclajes en caso de nudos esquineros y exteriores. Y el segundo de columna fuerte – viga débil, donde se revisa que la capacidad de las columnas sea mayor que 1.2 veces la capacidad de las vigas.

#### Conexión Viga Columna Central

##### Datos:



##### Elevación:



$f'c =$	210	[kg/cm <sup>2</sup> ]
$hc =$	3.6	[m]
$Rec =$	4	[cm]
$d' =$	6	[cm]
$fy =$	4200	[kg/cm <sup>2</sup> ]

$dv =$	64	[cm]
$h'' =$	62	[cm]
$dc =$	62	[cm]

### 3.3.1. Cortante

Se debe calcular el momento probable con el área de las varillas longitudinales de las vigas que concurren al nudo, de esta manera se determina la resistencia a cortante del nudo y a la vez servirá para la verificación de columna fuerte-viga débil.

$$\text{Cortante: } V_j \leq \phi V_n$$

$$V_j = T_1 + T_2 - V_{col} = 160.92 \quad [\text{Tonf}]$$

$$T_1 = A_{s1} * 1.4 * f_y = 115.48 \quad [\text{Tonf}]$$

$$T_2 = A_{s2} * 1.4 * f_y = 76.20 \quad [\text{Tonf}]$$

$$M_{pr1} = T_1 \left( d_v - \left( \frac{T_1}{1.7 * f'_c * b_v} \right) \right) = 65.61 \quad [\text{Tonf-m}]$$

$$M_{pr2} = T_2 \left( d_v - \left( \frac{T_2}{1.7 * f'_c * b_v} \right) \right) = 45.16 \quad [\text{Tonf-m}]$$

$$V_{col} = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{H_c} = 30.77 \quad [\text{Tonf}]$$

$$\phi V_n = 0.85 * \gamma * \sqrt{f'_c} * b_j * h_c = 198.314 \quad [\text{Tonf}]$$

Cumple

$$\begin{aligned} \gamma &= 4 \\ b_j &= 57.5 \quad [\text{cm}] \end{aligned}$$

### 3.3.2. Confinamiento

El cálculo del confinamiento del nudo es prácticamente idéntico al confinamiento de la columna con la excepción de la separación normativa entre estribos, en la cual para la columna es de 10 cm y para el nudo es de 15 cm.

Confinamiento:

$$\begin{aligned} P_d &= 293.12 \\ P_l &= 109.76 \\ P_s &= 66.42 \end{aligned}$$

$$P_u = 527.924$$

Ash1, Ash2, Ash3

$$S \leq \left\{ \begin{array}{ll} b/4 = 17.5 & [\text{cm}] \\ h/4 = 17.5 & [\text{cm}] \\ 6d_b = 12 & [\text{cm}] \\ \text{Normativo} = 15 & [\text{cm}] \end{array} \right. \quad \boxed{12} \quad \text{Asumido: } \boxed{10}$$

## Fibras cortas y largas

$$Ash1 = \frac{0.3 * s * h'' * f'c}{fy} \left( \frac{Ag}{Ac} - 1 \right) = 2.55 \text{ cm}^2 @ 10 \text{ cm}$$

$$Ash2 = \frac{0.09 * s * h'' * f'c}{fy} = 2.79 \text{ cm}^2 @ 10 \text{ cm}$$

$$Ash3 = \frac{0.2 * kf * kn * s * h'' * Pu}{fy * As} = 4.63 \text{ cm}^2 @ 10 \text{ cm}$$

$$kf = \frac{f'c}{1750} + 0.6 \geq 1 \quad 1$$

$$kf = \frac{n}{n-2} = 1.14$$

Rige:  [cm<sup>2</sup>]

Ash diseño:  [cm<sup>2</sup>]

5  $\phi$  12 mm = 5.65 cm<sup>2</sup> **Ok**

## Adherencia:

$$db_{viga} = 25 \text{ [mm]}$$

$$hc \geq 20 * db_{viga}$$

**Cumple**

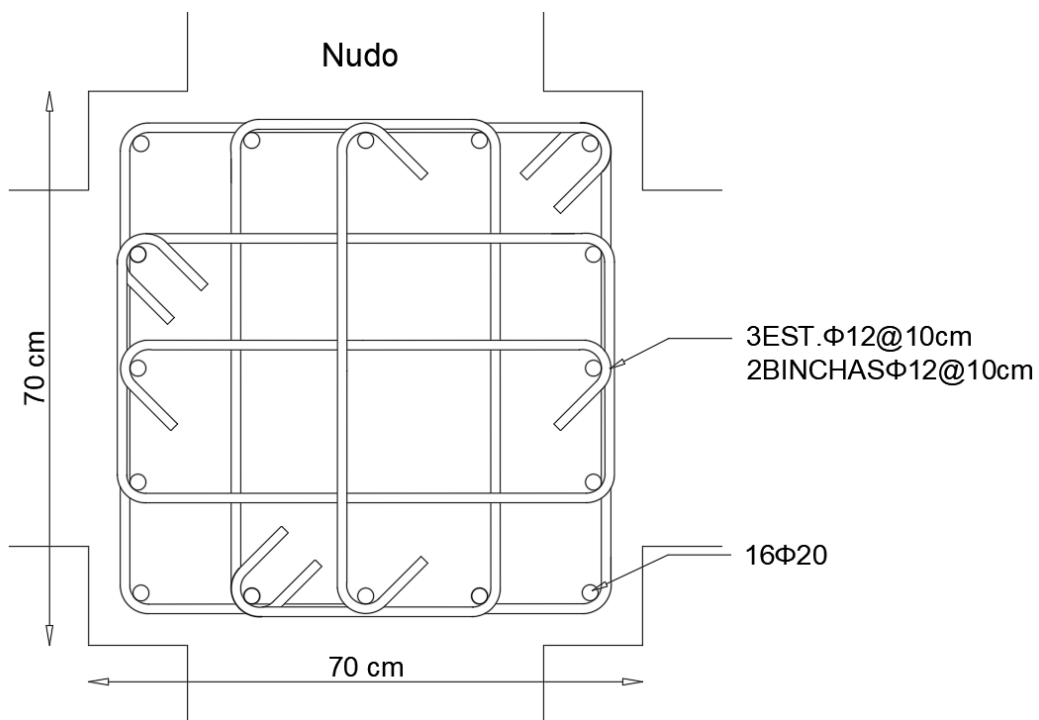


Ilustración 27: Estribos en nudo.

Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

### 3.3.3. Columna Fuerte – Viga Débil

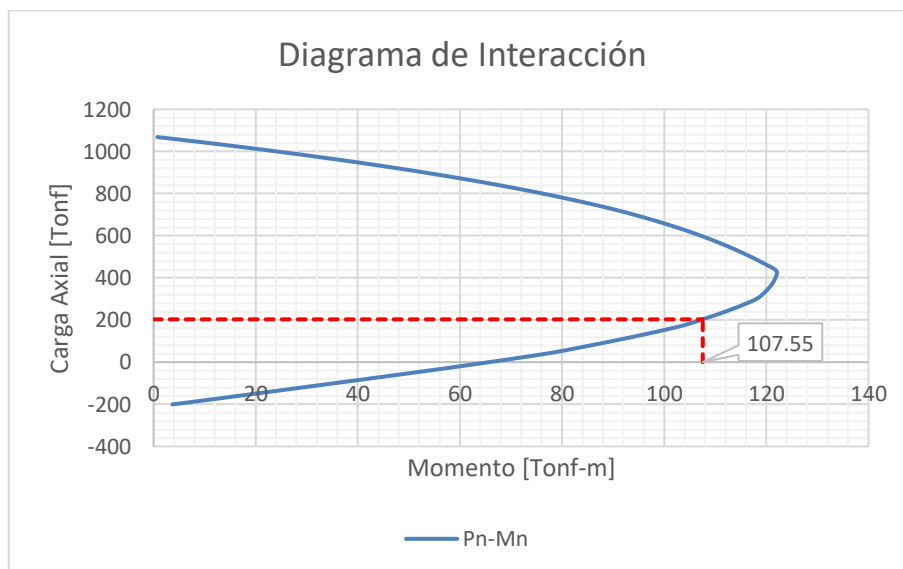
Se revisa que la capacidad de las columnas que llegan al nudo sea mayor o igual a 1.2 veces la capacidad de las vigas que llegan al mismo nudo.

#### Columna fuerte - Viga débil

Momentos en Columnas:

$$\begin{aligned} P_d &= 293.12 \text{ [Tonf]} \\ P_l &= 109.76 \text{ [Tonf]} \\ P_s &= 66.42 \text{ [Tonf]} \end{aligned}$$

$$P_u = 197.39 \text{ [Tonf]} \quad \text{Ingresar en diagrama}$$



$$M_n = 107.55 \text{ [Tonf-m]} \quad \text{Obtenido del diagrama}$$

$$\Sigma M_n \text{ col} = 215.1 \text{ [Tonf-m]}$$

Momentos en vigas:

Mayorado:

$$M_{n1} = A_{s1} * 1.4 * f_y * \left( d - \frac{A_{s1} * 1.4 * f_y}{1.7 * f'_c * b} \right) = 65.61 \text{ [Tonf-m]}$$

$$M_{n2} = A_{s2} * 1.4 * f_y * \left( d - \frac{A_{s2} * 1.4 * f_y}{1.7 * f'_c * b} \right) = 45.16 \text{ [Tonf-m]}$$

$$\Sigma M_n \text{ viga} = 110.76 \text{ [Tonf-m]}$$

$$R = \frac{\Sigma M_n \text{ Col.}}{\Sigma M_n \text{ viga}} = 1.94 \geq 1.2 \quad \text{Cumple}$$

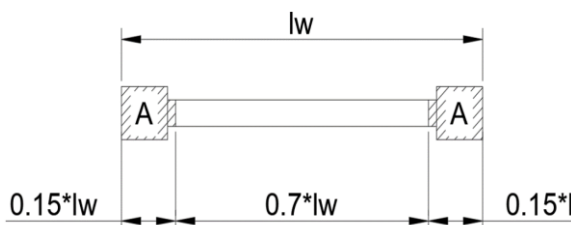
### 3.4. MUROS

Los muros estructurales también conocidos como muros de corte son elementos relativamente rígidos y voluminosos que influyen significativamente en el comportamiento estructural y la distribución arquitectónica de un edificio. Por ende, sus dimensiones y ubicación deben ser diseñadas no sólo para resistir adecuadamente las solicitaciones a las que estará sometido una estructura durante su vida útil. Sino que, adicionalmente, deben ser colocados de forma tal que no perturben las distribuciones arquitectónicas del proyecto. Debido a que una apropiada ubicación de muros proporciona rigidez y resistencia a la estructura, necesarios para controlar las deflexiones laterales y limitar los efectos de torsión.

#### 3.4.1. Refuerzo Longitudinal

Independientemente de la configuración de la estructura, y a pesar de que el cálculo de como resultado que no se requiere elementos de borde, siempre es recomendable utilizarlos debido a que los esfuerzos en los extremos de los muros son elevados y por lo tanto se requiere un refuerzo longitudinal y transversal adecuado.

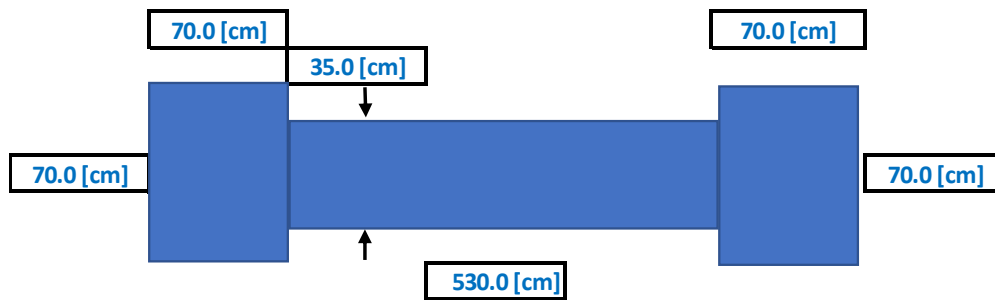
Particularmente este último debe ser diseñado de forma tal que se debe lograr un buen confinamiento del núcleo aumentando la resistencia a compresión del hormigón y conseguir un buen comportamiento ante la flexión que se puede generar en un sismo. El área de flexo-compresión debe contar con un refuerzo mínimo dentro del área A señalada en el gráfico.



$$A: \rho_{s \min} = \frac{1.6 \cdot \sqrt{f'_c}}{f_y}$$

$$Alma: \rho_{s \min} = 0.0025$$

## Diseño de Muro



$f'c =$	210	[kgf/cm <sup>2</sup> ]
$f_y =$	4200	[kgf/cm <sup>2</sup> ]
Rec. =	6	[cm]
hc =	3.6	[m]
Pisos =	15	

Acero longitudinal:

Alma:

$$A = 18550 \quad [\text{cm}^2]$$

$$\rho_s \text{ min} = 0.0025$$

$$A_s \text{ min} = 46.38 \quad [\text{cm}^2]$$

$$s = 45 \leq 45 \quad [\text{cm}]$$

$$A_s \text{ colocado} = 24 \varnothing \quad 16 \text{ [mm]} = 48.25 \quad [\text{cm}^2] \quad \text{Ok}$$

2  $\varnothing$  16 [mm] @ 45 [cm]

Cabezales:

$$l_w = 670 \quad [\text{cm}]$$

$$0.15 * l_w = 100.5 \quad [\text{cm}]$$

$$A = 5967.50 \quad [\text{cm}^2]$$

$$\rho_s = \frac{1.6 * \sqrt{f'c}}{f_y} = 0.00552$$

$$A_s = 32.94 \quad [\text{cm}^2]$$

As colocado:

Cabezal:	12 $\varnothing$	18 [mm] =	30.54	[cm <sup>2</sup> ]
Alma:	2 $\varnothing$	16 [mm] =	4.02	[cm <sup>2</sup> ]
			34.56	[cm <sup>2</sup> ]

Ok

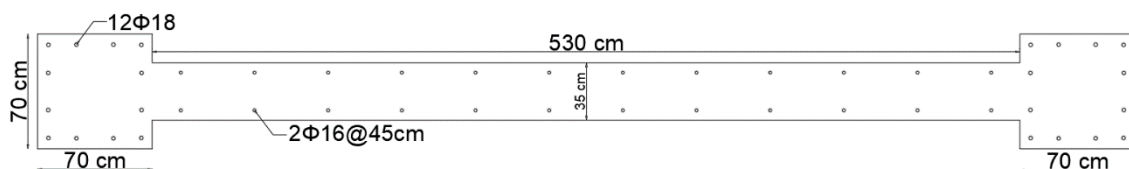


Ilustración 28: Acero longitudinal de muro  
Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.



Verticalmente no se debe traslapar en  $l_w$  medido desde el nivel de terreno hacia arriba y  $l_w$  medido desde nivel de terreno hacia abajo por ser una zona crítica de cortes y momentos, en el resto del muro se puede traslapar donde se desee pues no se cuenta con demasiados puntos de inflexión.

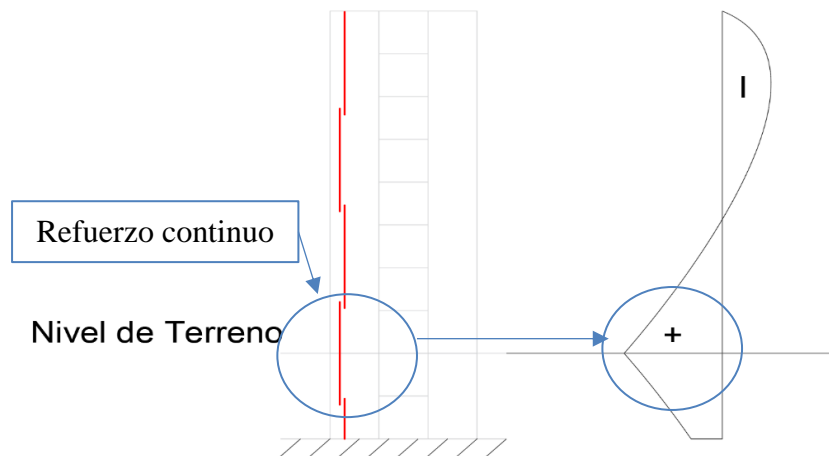


Ilustración 29: Traslape vertical en un muro estructural.  
Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

### 3.4.2. Flexo-Compresión

Se comprueba que los puntos de las combinaciones de carga queden dentro del área de la curva “ $\phi P_n - \phi M_n$ ” para determinar si las dimensiones del muro y el refuerzo longitudinal asumido son adecuados.

#### Flexo-Compresión:

Cargas:

	P [tonf]	M [tonf-m]	V [tonf]
D:	798.45	7.85	1.45
L:	249.05	5.51	1.01
S:	108.49	3849.02	249.30

Combinaciones:

	Pu [tonf]	Mu [tonf-m]	Vu [tonf]
C1: 1,4D	1117.83	10.99	2.03
C2: 1,2D+1,6L	1356.62	18.236	3.356
C3: 1,2D+L+S	1315.68	3863.95	252.05
C4: 1,2D+L-S	1098.7	-3834.09	-246.55
C5: 0,9D+S	827.095	3856.085	250.605
C6: 0,9D-S	610.115	-3841.955	-247.995

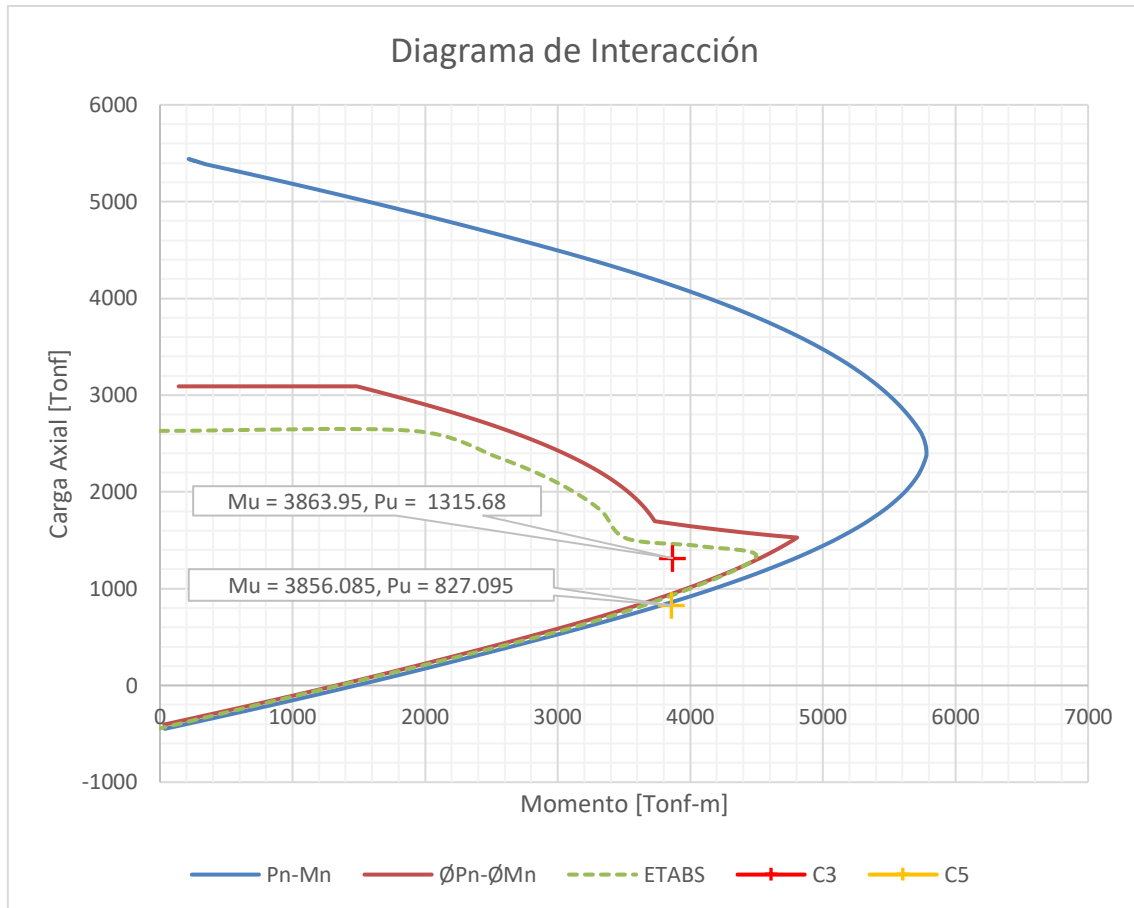


Ilustración 30: Diagrama de interacción de muro.  
Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

Diagrama:

C3:		C5:	
C =	210 [cm]	C =	122 [cm]
ØPn =	1316.65 Ok	ØPn =	827.27 Ok
ØMn =	4526.94 Ok	ØMn =	3596.35 No Ok
Ø =	0.9	Ø =	0.9
Mn =	5029.93 [tonf-m]	Mn =	3995.94 [tonf-m]
Mpr =	5784.42 [tonf-m]	Mpr =	4595.34 [tonf-m]

Las combinaciones de carga C3 y C5 son las más importantes, sin embargo como se puede observar en el diagrama de interacción la C5 no está dentro del área de la curva “ØPn-ØMn”, no obstante se la puede aceptar debido a tres factores: no existe una diferencia importante entre los valores el cual es apenas del 6%, este no es el armado definitivo que va a tener el muro y finalmente es preferible que el muro tenga mayor resistencia a corte que a flexión.

### 3.4.3. Corte

Se puede considerar al diseño a corte del muro como el más importante, por lo cual debe ser revisado y analizado con atención.

**Corte:**  $V_e \leq \phi V_n$

**Alma:**

$$V_e = \Omega * w * V_u = 680.54 \quad [\text{Tonf}] \quad < 3 * V_u = 756.2 \quad [\text{Tonf}] \quad \text{Ok}$$

$$\Omega = \frac{M_{pr}}{M_u} = 1.50$$

$$w = 1.3 + \frac{Ns}{30} = 1.80$$

$$hw/lw = 8.06$$

$$\alpha = 0.53$$

$$b_w = \frac{V_e}{0.75 * l_w * (2.12 + \alpha) * \sqrt{f'_c}} = 35.3 \quad [\text{cm}] \quad \text{Asumo: } \boxed{35.0 \quad [\text{cm}]}$$

$$\rho_s = \frac{V_e - ((0.53 * \sqrt{f'_c}) * (0.75 * b_w * l_w))}{0.75 * b_w * l_w * f_y} = 0.00738 \quad s = \boxed{20.0 \quad [\text{cm}]}$$

$$A_v = \rho_s * b_w * s = 5.17 \quad [\text{cm}^2]$$

$$\text{As colocado} = \boxed{2 \phi} \quad \boxed{20 \quad [\text{mm}]} = 6.28 \quad [\text{cm}^2] \quad \text{Ok}$$

$$\boxed{2 \phi 20 \quad [\text{mm}] \quad @ \quad 20 \quad [\text{cm}]}$$

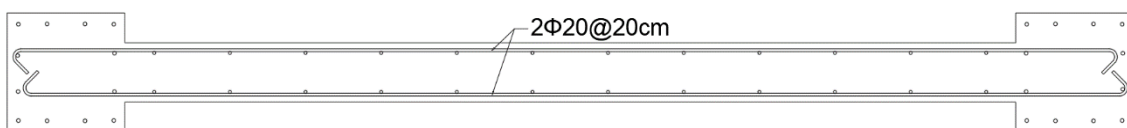


Ilustración 31: Acero transversal de muro.  
Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

Se deben colocar los ganchos como se representa en el dibujo, pues en construcción es muy difícil lograr que los dos ganchos a 135 grados queden anclados a los aceros longitudinales de borde, por lo que se recomienda que el gancho a un lado abraze y al otro lado no lo haga alternadamente, también es recomendable que los aceros longitudinales de los cabezales que estén cerca de las varillas transversales se coloquen dentro de estas a pesar de no quedar equidistantes con el resto de aceros longitudinales del cabezal.

### 3.4.4. Cabezales

Como se mencionó anteriormente, a pesar de que en un caso supuesto el cálculo nos dé como resultado que no requiere cabezales, siempre es recomendable utilizarlos, debido a que los esfuerzos en los extremos de los muros son elevados y por lo tanto se requiere un refuerzo longitudinal y transversal adecuado.

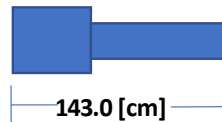
**Cabezales:**  $\sigma_{max} > 0.2 * f'c$

$$\sigma_{max} = \frac{Pu}{bw * lw} + \frac{6 * Mu}{bw * lw^2} = 203.66 \quad [\text{kg/cm}^2]$$

$$0.2 * f'c = 42 \quad [\text{kg/cm}^2] \quad \therefore \text{Requiere Cabezales}$$

**Propiedades del Cabezal:**

a) Longitud de confinamiento:  $Long. \geq \max \left[ c - \frac{lw}{10} ; \frac{c}{2} \right]$



b) Ancho mínimo de cabezal:  $b \geq \frac{hc}{16}$

$$\frac{hc}{16} = 22.5 \text{ [cm]} \leq b \quad \text{Ok}$$

c)  $\frac{hw}{lw} > 2$  y  $\frac{c}{lw} > \frac{3}{8}$   $b \geq 30 \text{ [cm]}$

$$\frac{hw}{lw} = 8.06 > 2 \quad \text{Ok}$$

$$\frac{c}{lw} = 0.31 > 0.375 \quad \text{No Ok} \quad \therefore b < 30 \text{ [cm]}$$

El literal C es un requerimiento que establece el ACI en su apartado 18.10.6.4.(c), el cual menciona que si se cumplen ambos requisitos ( $\frac{hw}{lw} > 2$  y  $\frac{c}{lw} > \frac{3}{8}$ ) el espesor del muro debería ser igual o mayor a 30 cm, en nuestro caso no cumple el segundo de ellos lo que se interpretaría como que no es necesario un espesor de muro mayor a 30 cm, sin embargo como se evidencia en el diseño por cortante el espesor mínimo de muro debe ser 35 cm y aquel diseño es el que predomina.

### 3.4.5. Confinamiento

El confinamiento en los muros es muy importante ya que ante un sismo el muro se balanceará en torno a sus extremos, transmitiendo gran parte de la carga vertical por el extremo comprimido, lo que puede ocasionar la trituración del concreto con el subsiguiente pandeo del refuerzo vertical.

#### Confinamiento:

Cabezal:

$$S \leq \begin{cases} b/3 = 23.33 \text{ [cm]} \\ h/3 = 23.33 \text{ [cm]} \\ 6 \cdot db_{\text{vert.}} = 10.80 \text{ [cm]} \\ \text{Normativo} = 10.00 \text{ [cm]} \end{cases} \quad \begin{matrix} \boxed{10.00 \text{ [cm]}} \\ \boxed{10.00 \text{ [cm]}} \\ \boxed{10.00 \text{ [cm]}} \\ \boxed{10.00 \text{ [cm]}} \end{matrix} \quad \text{Asumido: } \boxed{10.0 \text{ [cm]}}$$

Fibras Cortas:

$$Ash1 = \frac{0.3 \cdot s \cdot h'' \cdot f'c}{fy} \left( \frac{Ag}{Ac} - 1 \right) = 3.97 \quad \text{cm}^2 @ 10 \text{ cm}$$

$$Ash2 = \frac{0.09 \cdot s \cdot h'' \cdot f'c}{fy} = 2.61 \quad \text{cm}^2 @ 10 \text{ cm}$$

$$\text{Ash diseño: } \boxed{3.97} \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$4 \phi 12 \text{ mm} = 4.52 \text{ cm}^2 \quad \text{Ok}$$

$$\boxed{4 \text{ Ramas } \phi 12 \text{ mm } @ 10 \text{ cm}}$$

Fibras Largas:

$$Ash1 = \frac{0.3 \cdot s \cdot h'' \cdot f'c}{fy} \left( \frac{Ag}{Ac} - 1 \right) = 3.97 \quad \text{cm}^2 @ 10 \text{ cm}$$

$$Ash2 = \frac{0.09 \cdot s \cdot h'' \cdot f'c}{fy} = 2.61 \quad \text{cm}^2 @ 10 \text{ cm}$$

$$\text{Ash diseño: } \boxed{3.97} \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$4 \phi 12 \text{ mm} = 4.52 \text{ cm}^2 \quad \text{Ok}$$

$$\boxed{4 \text{ Ramas } \phi 12 \text{ mm } @ 10 \text{ cm}}$$

Alma:

$$S \text{ Vert. } \leq \begin{cases} b/3 = 11.67 \text{ [cm]} \\ h/3 = 24.33 \text{ [cm]} \\ 6 \cdot db_{\text{vert.}} = 9.60 \text{ [cm]} \\ \text{Normativo} = 10.00 \text{ [cm]} \end{cases} \quad \begin{matrix} \boxed{9.60 \text{ [cm]}} \\ \boxed{9.60 \text{ [cm]}} \\ \boxed{9.60 \text{ [cm]}} \\ \boxed{10.00 \text{ [cm]}} \end{matrix} \quad \text{Asumido: } \boxed{10.0 \text{ [cm]}}$$

$$S \text{ Horiz. } \leq \begin{cases} 2b/3 = 23.33 \text{ [cm]} \\ \text{Normativo} = 35 \text{ [cm]} \end{cases} \quad \begin{matrix} \boxed{23.33 \text{ [cm]}} \\ \boxed{35 \text{ [cm]}} \end{matrix} \quad \text{Asumido: } \boxed{20.0 \text{ [cm]}}$$

Fibras Cortas:

$$Ash1 = \frac{0.3 * s * h'' * f'c}{fy} \left( \frac{Ag}{Ac} - 1 \right) = 5.71 \quad \text{cm}^2 @ 10 \text{ cm}$$

$$Ash2 = \frac{0.09 * s * h'' * f'c}{fy} = 3.29 \quad \text{cm}^2 @ 10 \text{ cm}$$

Ash diseño:  [cm<sup>2</sup>]

4  $\phi$  14 mm = 6.16 cm<sup>2</sup> **Ok**

Vertical:

Horizontal :

Fibras Largas:

$$Ash1 = \frac{0.3 * s * h'' * f'c}{fy} \left( \frac{Ag}{Ac} - 1 \right) = 1.80 \quad \text{cm}^2 @ 10 \text{ cm}$$

$$Ash2 = \frac{0.09 * s * h'' * f'c}{fy} = 1.04 \quad \text{cm}^2 @ 10 \text{ cm}$$

Ash diseño:  [cm<sup>2</sup>]

2  $\phi$  12 mm = 2.26 cm<sup>2</sup> **Ok**

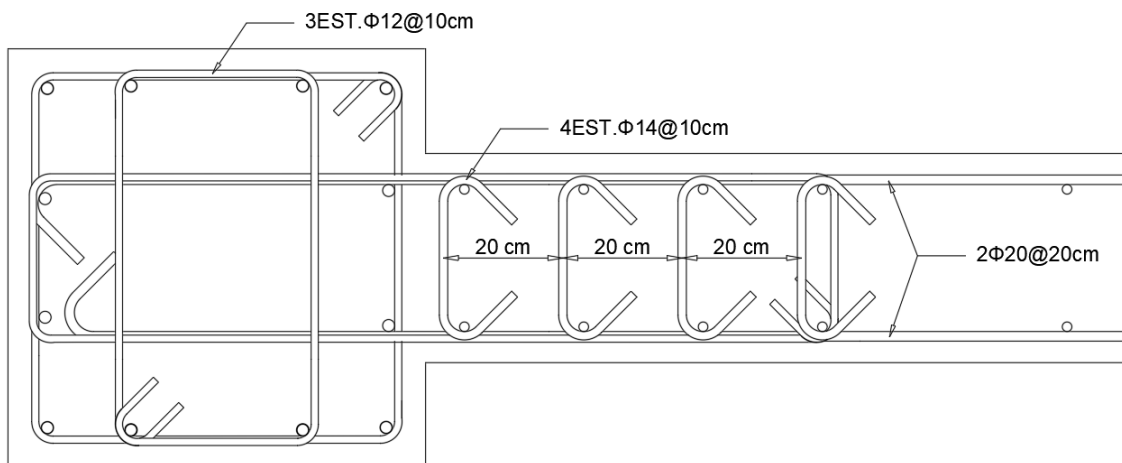


Ilustración 32: Estribos de confinamiento en cabezal de muro.  
Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

Para generar un armado de confinamiento más robusto y lograr una mejor vinculación entre el cabezal y el alma para que trabajen mejor en conjunto, se recomienda pasar un estribo del cabezal a lo largo del alma, de esta manera existirían más varillas de vínculo entre el cabezal y el alma a más de las del acero transversal de corte.

### 3.5. PESO DE MATERIALES

Finalizado el diseño de los elementos estructurales del sistema dual se muestra a continuación las tablas con los pesos obtenidos de los materiales que lo constituyen. Como se puede apreciar se obtiene un peso total de 7416.5 Tonf para el hormigón y 334.5 tonf de acero de refuerzo, los cuales divididos para los 8640 m<sup>2</sup> del área total de construcción dan como resultado 0.858 y 0.039 tonf/m<sup>2</sup> respectivamente.

Peso y Volumen de Hormigón Armado por m <sup>2</sup>								
Objeto	Número de Piezas	Material	Área	Peso específico	Peso	Peso por m <sup>2</sup>	Volumen	Volumen por m <sup>2</sup>
			m <sup>2</sup>	tonf/m <sup>3</sup>	tonf	tonf/m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Columnas	180	Hormigón	8640	2.402	568.3	0.066	236.6	0.027
Vigas	495				2125.3	0.246	884.8	0.102
Muros	6				1868.4	0.216	777.8	0.090
Losas	15				2854.5	0.330	1188.4	0.138
					<b>7416.5</b>	<b>0.858</b>	<b>3087.6</b>	<b>0.357</b>

Tabla 20: Peso y volumen de hormigón armado del sistema dual.

Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021

Peso de Acero por m <sup>2</sup>					
Objeto	Número de Piezas	Material	Área	Peso	Peso por m <sup>2</sup>
			m <sup>2</sup>	tonf	tonf/m <sup>2</sup>
Columnas	180	Acero	8640	29.3	0.003
Vigas	495			94.4	0.011
Muro 6m	4			97.3	0.011
Muro 12m	2			113.5	0.013
				<b>334.5</b>	<b>0.039</b>

Tabla 21: Peso de acero del sistema dual.

Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021

## **CAPÍTULO 4**

### **DISEÑO ESTRUCTURAL DEL SISTEMA DE MUROS**

**CRISTHIAN CÁCERES G.**



## 4. DISEÑO ESTRUCTURAL DEL SISTEMA DE MUROS

Se procede hacer el diseño de los elementos estructurales que conforma el sistema de muros con el mismo procedimiento aplicado en el capítulo anterior.

### 4.1. VIGAS

Para el ejemplo se tomará la viga con número de etiqueta 350 ubicada en el segundo piso entre los ejes C y D de la tercera hilera, el programa calcula la cantidad de acero requerido por las vigas, sin embargo, para efectos de comprobación se procederá hacer el diseño manual de una viga con la ayuda de una hoja de cálculo previamente desarrollada.

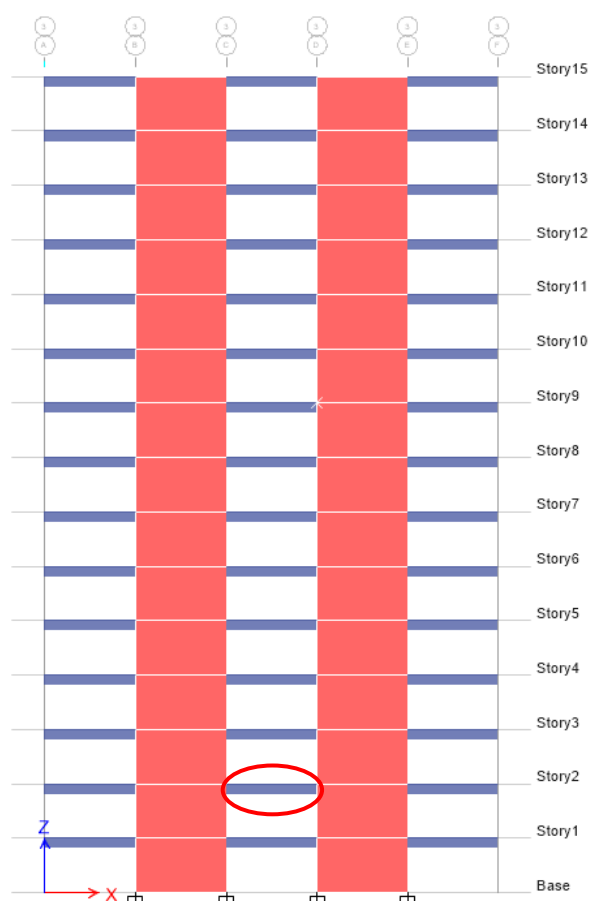


Ilustración 33: Ubicación de viga diseñada (sistema de muros).  
Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

### 4.1.1. Flexión

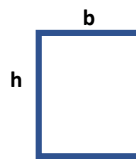
Se usa el mismo procedimiento que se utilizó para diseñar la viga del sistema dual, se introducen en la hoja de cálculo las características específicas de la viga como dimensiones, recubrimiento, materiales y cargas, con estos datos la hoja se encarga de obtener el área de acero requerido, posteriormente se determina el acero que será colocado y finalmente se comprueba que la cuantía de acero este dentro de los límites permitidos.

#### DISEÑO DE VIGA A FLEXIÓN

##### Sección:

Viga: 350

b =	45	[cm]
h =	70	[cm]
rec. =	6	[cm]
d =	64	[cm]



##### Materiales:

f'c =	210	[kg/cm <sup>2</sup> ]
fy =	4200	[kg/cm <sup>2</sup> ]

##### Cargas:

MD (-)	5.97 [ton*m]	0 [ton*m]	5.97 [ton*m]
ML (-)	2.75 [ton*m]	0 [ton*m]	2.75 [ton*m]
MS (-)	49.65 [ton*m]		49.65 [ton*m]
MD (+)		3.38 [ton*m]	
ML (+)		1.66 [ton*m]	
MS (+)	49.65 [ton*m]		49.65 [ton*m]

##### Combinaciones de carga:

##### Envolvente

MU (-)	59.56 [ton*m]	24.22 [ton*m]	0.00 [ton*m]	24.22 [ton*m]	59.56 [ton*m]
MU (+)	44.28 [ton*m]	25.92 [ton*m]	6.71 [ton*m]	25.92 [ton*m]	44.28 [ton*m]

##### Área mínima de acero longitudinal

$$A_{s_{min}} = \frac{0.8 * \sqrt{f'c}}{fy} * b * d$$

$$A_{s_{min}} = \frac{14}{fy} * b * d$$

$$A_{s_{min}} = 9.60 \text{ [cm}^2\text{]}$$

## Área de acero calculado

$$k = \frac{0.85 * f'c * b * d}{fy} \quad As = k \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * Mu}{\phi * k * d * fy}} \right)$$

As (-)	27.77	[cm <sup>2</sup> ]	10.46	[cm <sup>2</sup> ]	27.77	[cm <sup>2</sup> ]
As (+)	19.92	[cm <sup>2</sup> ]	11.23	[cm <sup>2</sup> ]	19.92	[cm <sup>2</sup> ]

## Área requerida

As (-)	27.77	[cm <sup>2</sup> ]	10.46	[cm <sup>2</sup> ]	27.77	[cm <sup>2</sup> ]
As (+)	19.92	[cm <sup>2</sup> ]	11.23	[cm <sup>2</sup> ]	19.92	[cm <sup>2</sup> ]

## Área final

As (-)	17.31	[cm <sup>2</sup> ]	10.46	[cm <sup>2</sup> ]	17.31	[cm <sup>2</sup> ]
As (+)	8.69	[cm <sup>2</sup> ]	11.23	[cm <sup>2</sup> ]	8.69	[cm <sup>2</sup> ]

## Acero colocado

As (-)	3 $\phi$ 28 mm 18.47 cm <sup>2</sup> OK		2 $\phi$ 28 mm 12.32 cm <sup>2</sup> OK		3 $\phi$ 28 mm 18.47 cm <sup>2</sup> OK	
As (+)	3 $\phi$ 20 mm 9.42 cm <sup>2</sup> OK		2 $\phi$ 28 mm 12.32 cm <sup>2</sup> OK		3 $\phi$ 20 mm 9.42 cm <sup>2</sup> OK	

Cuantía de acero

$\beta_1 = 0.85$   
 $E_s = 2100000 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$

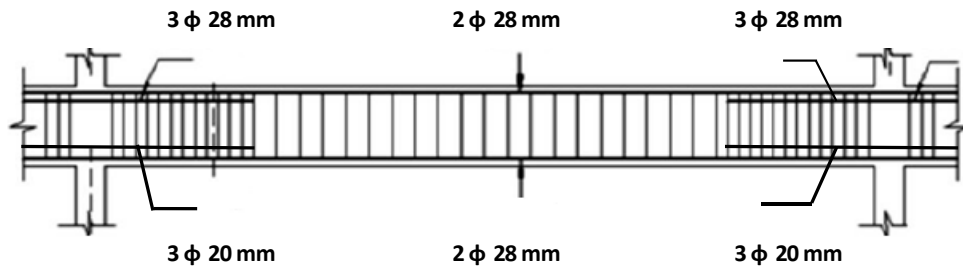
$$\rho = \frac{A_s}{b * d} = 1.07\%$$

$$\rho_b = 0.85 * \beta_1 * \frac{f'_c}{f_y} * \frac{0.003}{\frac{f_y}{E_s} + 0.003} = 2.17\%$$

$$\rho_{max} = 0.5 * \rho_b = 1.08\%$$

$$\rho_{max} > \rho \text{ Ok}$$

Gráfico



Como se puede apreciar en la siguiente imagen las áreas de acero longitudinal obtenidas a mano son exactamente las mismas a las obtenidas en el programa.

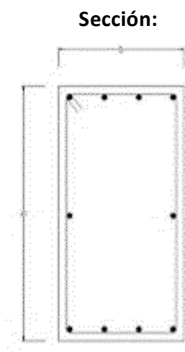
28.78	10.49	26.94	37.06	14.26	37.06	26.94	10.49	28.78	Story3
19.21	12.22	21.09	28.44	15.06	28.44	21.09	12.22	19.21	
21.95	9.64	20.86	27.77	10.46	27.77	20.86	9.64	21.95	Story2
13.56	9.64	14.72	19.93	11.23	19.93	14.72	9.64	13.56	
13.81	5.67	13.57	16.90	7.60	16.90	13.57	5.67	13.81	Story1
9.04	7.00	9.45	9.82	8.60	9.82	9.45	7.00	9.04	

Ilustración 34: Acero de refuerzo obtenido con ETABS.  
 Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

### 4.1.2. Cortante

Con la misma hoja de cálculo empleada anteriormente se obtiene el área de acero requerido en función de la separación que se asuma, tanto en las zonas de confinamiento como en la zona central de la viga determinando la cantidad de acero que será colocado.

## DISEÑO DE ESTRIBOS EN VIGAS



$$b = 45.0 \text{ [cm]}$$

$$h = 70.0 \text{ [cm]}$$

$$r = 6.0 \text{ [cm]}$$

$$d = 64.0 \text{ [cm]}$$

Materiales:

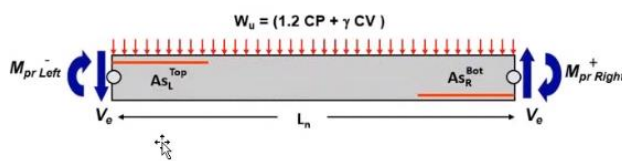
$$f'c = 210 \text{ [kgf/cm}^2\text{]}$$

$$f_y = 4200 \text{ [kgf/cm}^2\text{]}$$

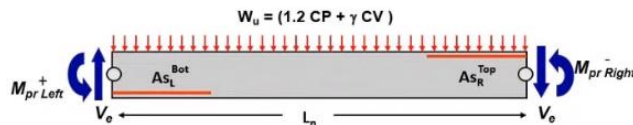
$$E_s = 2100000 \text{ [kgf/cm}^2\text{]}$$

$$E_c = 218820 \text{ [kgf/cm}^2\text{]}$$

Corte Probable:



$$V_{p1} = \left( \frac{M_{pr}^- \text{ Left} + M_{pr}^+ \text{ Right}}{L_n} \right)$$



$$V_{p2} = \left( \frac{M_{pr}^+ \text{ Left} + M_{pr}^- \text{ Right}}{L_n} \right)$$

Carga Distribuida:

$$VD = 5.24 \text{ [tonf]}$$

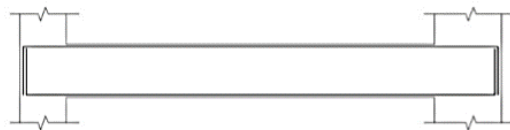
$$VL = 2.21 \text{ [tonf]}$$

$$Vu \text{ vert.} = 9.82 \text{ [tonf]}$$

Refuerzo Longitudinal:

$$As \text{ sup. Izq.} = 40.79 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$As \text{ sup. Der.} = 40.79 \text{ [cm}^2\text{]}$$



$$As \text{ inf. Izq.} = 22.13 \text{ [cm}^2\text{]}$$

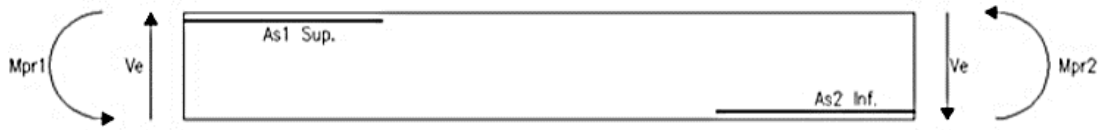
$$As \text{ inf. Der.} = 22.13 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$L_c = 5.3 \text{ [m]}$$

**Momentos Probables:**

$$\phi = 0.75 \quad \alpha = 1.4$$

$$Vc = 0.53 * \sqrt{f'c} * b * d = 22.12 \text{ [tonf]}$$



$$M_{pr.i}^- = As2 \text{ inf.} * a * fy * \left( d - \frac{As2 \text{ inf.} * \alpha * fy}{1.7 * f'c * b} \right) = 117.69 \text{ [Tonf*m]}$$

$$M_{pr.d}^+ = As1 \text{ sup.} * a * fy * \left( d - \frac{As1 \text{ sup.} * \alpha * fy}{1.7 * f'c * b} \right) = 72.75 \text{ [Tonf*m]}$$

$$V \text{ sismo} = \frac{M_{pr.i}^- + M_{pr.d}^+}{Ln} = 35.93 \text{ [tonf]} \quad Vc = 0$$

$$Vu1 = V \text{ sismo} + Vu \text{ vert.} = 45.76 \text{ [tonf]}$$



$$M_{pr.i}^+ = As1 \text{ inf.} * a * fy * \left( d - \frac{As1 \text{ inf.} * \alpha * fy}{1.7 * f'c * b} \right) = 72.75 \text{ [Tonf*m]}$$

$$M_{pr.d}^- = As2 \text{ sup.} * a * fy * \left( d - \frac{As2 \text{ sup.} * \alpha * fy}{1.7 * f'c * b} \right) = 117.69 \text{ [Tonf*m]}$$

$$V \text{ sismo} = \frac{M_{pr.i}^+ + M_{pr.d}^-}{Ln} = 35.93 \text{ [tonf]} \quad Vc = 0$$

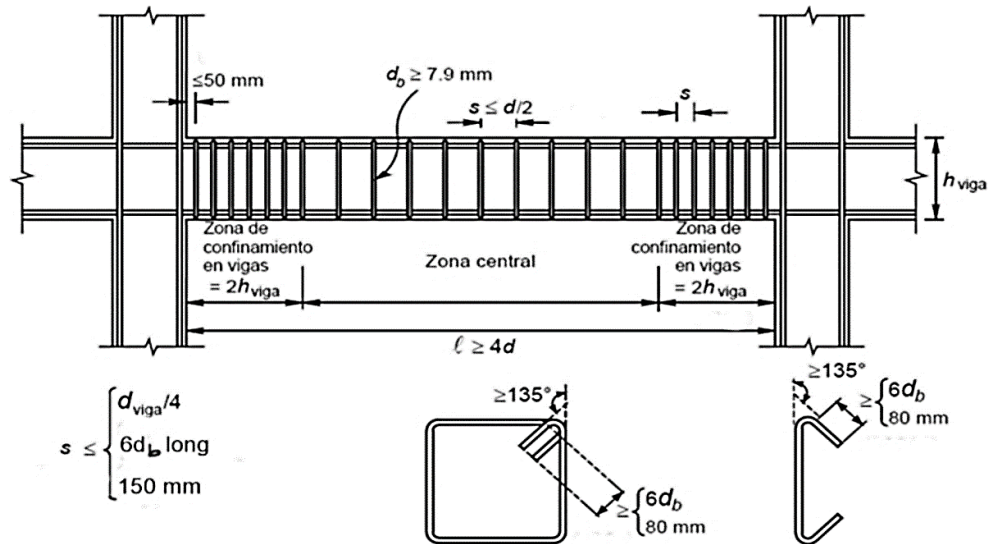
$$Vu2 = V \text{ sismo} + Vu \text{ vert.} = 45.76 \text{ [tonf]}$$

$$Vu = \max(Vu1 ; Vu2) = 45.76 \text{ [tonf]}$$

$$Vc = 0.00 \text{ [tonf]}$$

$$Vs = \frac{Vu - \phi Vc}{\phi} = 61.01 \text{ [tonf]} < 4Vc \quad \text{Ok}$$

### Área requerida de estribos



### Zona de confinamiento:

$$d_b = 20 \text{ [mm]} \quad 2h = 140.0 \text{ [cm]}$$

$s \leq$	Confinamiento:	$\frac{d}{4} = 16.00 \text{ [cm]}$		
	Pandeo:	$6d_b = 12.00 \text{ [cm]}$		
	Corte:	$\frac{d}{2} = 32.00 \text{ [cm]}$	rige : 12.00 [cm]	Asumido: 10.00 [cm]
	Normativo:	15.00 [cm]		

$$A_v = \frac{V_s * s}{f_y * d} = 2.26 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$A_v \text{ colocado} = 3 \phi 12 \text{ mm} = 3.39 \text{ cm}^2 \quad \text{OK}$$

3 Ramas  $\phi 12 \text{ [mm]}$  @ 10.00 [cm]

### Zona central:

$$V_u \text{ vert.} = 4.63 \text{ [tonf]}$$

$$V_u = V_u \text{ vert.} + V_{sismo} = 40.36 \text{ [tonf]}$$

$$V_c = 22.12 \text{ [tonf]}$$

$$V_s = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} = 31.69 \text{ [tonf]} < 4V_c \quad \text{Ok}$$

$$s \leq \begin{cases} \text{Corte: } \frac{d}{2} = 32.00 \text{ [cm]} \\ \text{Normativo: } 25.00 \text{ [cm]} \end{cases} \quad \text{rige: } 25.00 \text{ [cm]} \quad \text{Asumido: } 15.00 \text{ [cm]}$$

$$A_v = \frac{V_s * s}{f_y * d} = 1.78 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$A_v \text{ colocado} = 2 \phi 12 \text{ mm} = 2.26 \text{ cm}^2 \quad \text{OK}$$

2 Ramas	$\phi 12$ [mm]	@ 15.00 [cm]
---------	----------------	--------------

Gráfico:

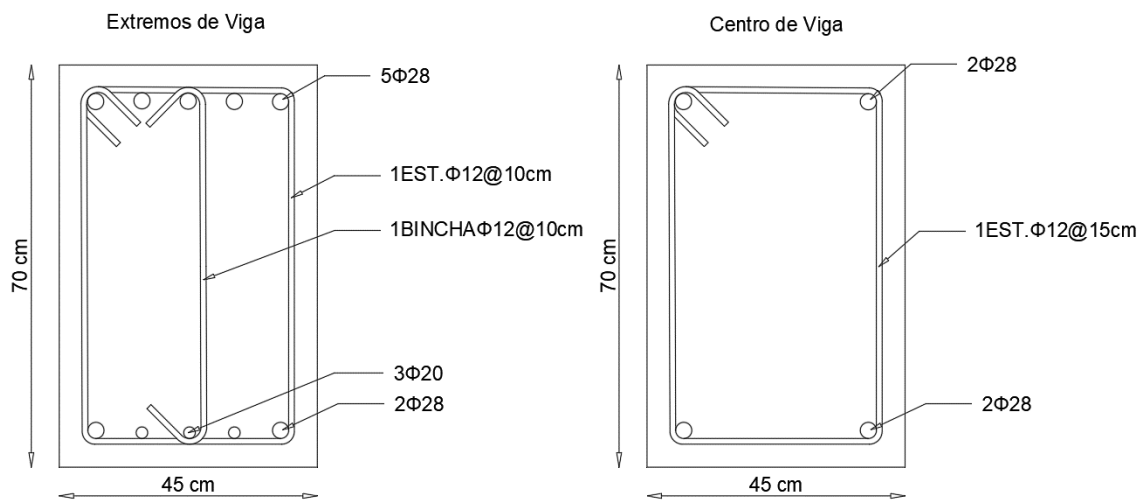
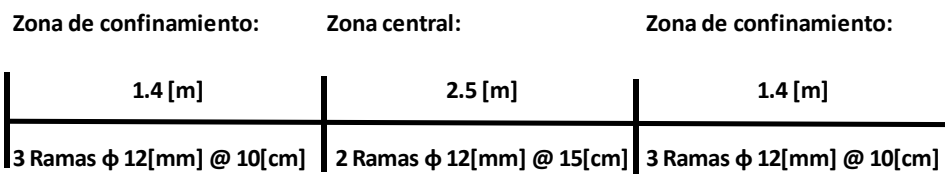


Ilustración 35: Sección de viga diseñada (Sistema Dual).  
Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

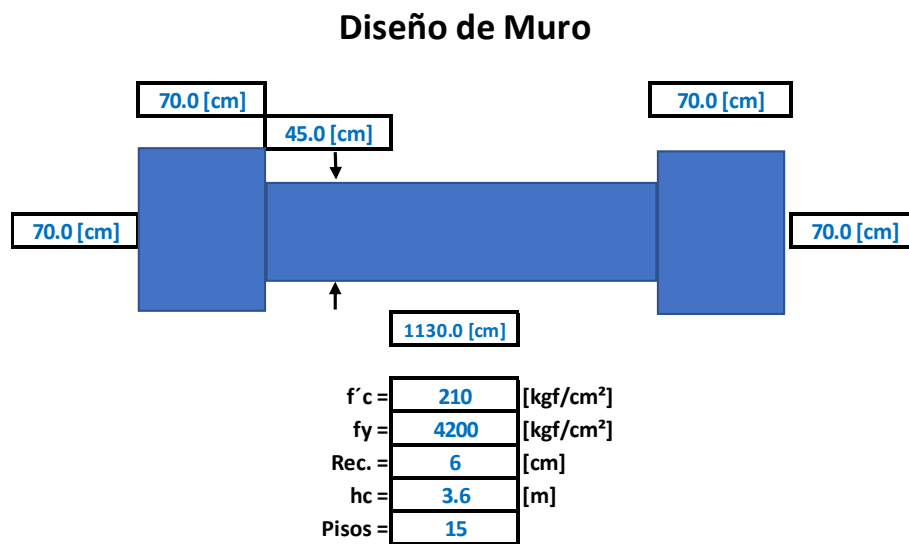


## 4.2. MUROS

Debido a que los anchos de los muros de los dos sistemas es el mismo, el diseño del muro de 6 m para este sistema va a ser muy parecido al sistema dual, por lo tanto se procede a diseñar el muro de 12 m.

### 4.2.1. Refuerzo Longitudinal

Luego de varias iteraciones se propone el siguiente armado longitudinal:



**Acero longitudinal:**

**Alma:**

$$A = 50850 \quad [\text{cm}^2]$$

$$\rho_s \text{ min} = 0.0025 \quad s = \boxed{45} \leq 45 \quad [\text{cm}]$$

$$A_s \text{ min} = 127.13 \quad [\text{cm}^2]$$

$$A_s \text{ colocado} = 52 \varnothing \quad 28 \text{ [mm]} = 320.19 \quad [\text{cm}^2] \quad \text{Ok}$$

$$2 \varnothing 28 \text{ [mm]} @ 45 \text{ [cm]}$$

**Cabezales:**

$$l_w = 1270 \quad [\text{cm}]$$

$$0.15 * l_w = 190.5 \quad [\text{cm}]$$

$$A = 10322.50 \quad [\text{cm}^2]$$

$$\rho_s = \frac{1.6 * \sqrt{f'c}}{f_y} = 0.00552$$

$$A_s = 56.99 \quad [\text{cm}^2]$$

As colocado:

Cabezal:	16 $\emptyset$	28 [mm] =	98.52	[cm <sup>2</sup> ]
Alma:	6 $\emptyset$	28 [mm] =	36.95	[cm <sup>2</sup> ]
			135.47	[cm <sup>2</sup> ]

Ok

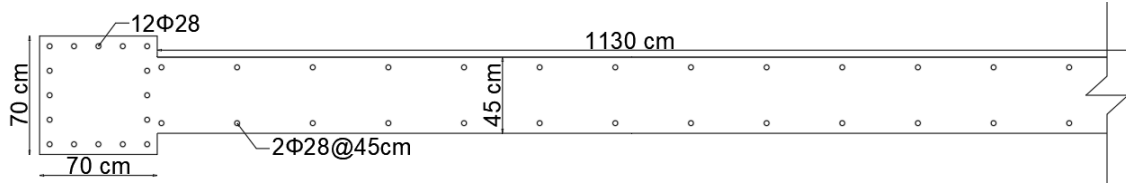


Ilustración 36: Acero longitudinal de muro de 12 m.  
Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

#### 4.2.2. Flexo-Compresión

Se comprueba que los puntos de las combinaciones de carga queden dentro del área de la curva “ $\emptyset P_n - \emptyset M_n$ ” para determinar si las dimensiones del muro y el refuerzo longitudinal asumido son adecuados.

##### Flexo-Compresión:

Cargas:

	P [tonf]	M [tonf-m]	V [tonf]
D:	766.55	0.00	0.00
L:	140.55	0.00	0.00
S:	596.03	17515.95	591.28

Combinaciones:

	Pu [tonf]	Mu [tonf-m]	Vu [tonf]
C1: 1,4D	1073.17	0.00	0.00
C2: 1,2D+1,6L	1144.74	0.00	0.00
C3: 1,2D+L+S	1656.44	17515.95	591.28
C4: 1,2D+L-S	464.38	-17515.95	-591.28
C5: 0,9D+S	1285.93	17515.95	591.28
C6: 0,9D-S	93.87	-17515.95	-591.28

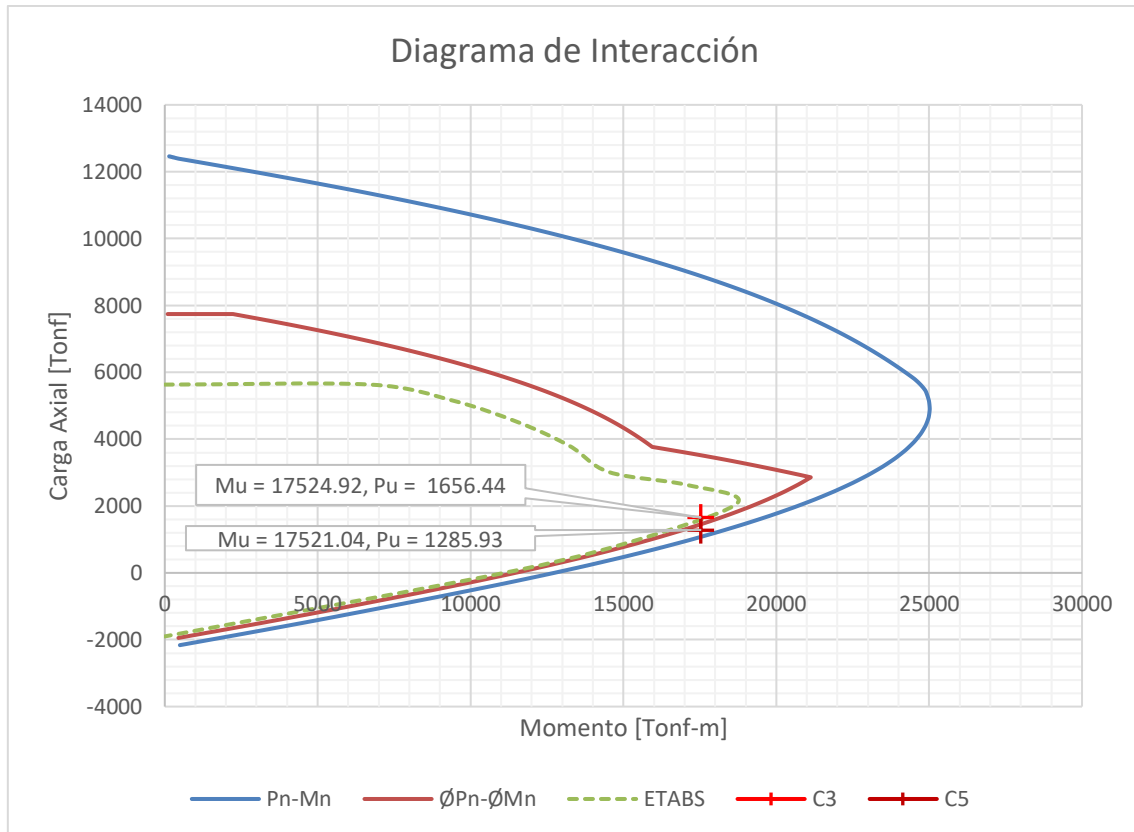


Ilustración 37: Diagrama de interacción de muro.  
Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

Diagrama:

<b>C3:</b>	<b>C5:</b>
C = <b>328</b> [cm]	C = <b>283</b> [cm]
$\phi P_n$ = <b>1657.78</b> <b>Ok</b>	$\phi P_n$ = <b>1286.69</b> <b>Ok</b>
$\phi M_n$ = <b>18192.16</b> <b>Ok</b>	$\phi M_n$ = <b>16958.46</b> <b>No Ok</b>
$\phi$ = <b>0.9</b>	$\phi$ = <b>0.9</b>
<b>M<sub>n</sub></b> = <b>20213.51</b> [tonf-m]	<b>M<sub>n</sub></b> = <b>18842.73</b> [tonf-m]
<b>M<sub>pr</sub></b> = <b>23245.54</b> [tonf-m]	<b>M<sub>pr</sub></b> = <b>21669.14</b> [tonf-m]

C5 no está dentro del área de la curva “ØPn-ØMn”, no obstante se aplica los tres factores mencionados anteriormente: no existe una diferencia importante entre los valores; el cual es apenas del 3%, este no es el armado definitivo que va a tener el muro y finalmente es preferible que el muro tenga mayor resistencia a corte que a flexión.

### 4.2.3. Corte

Como se mencionó anteriormente se puede considerar al diseño a corte del muro como el más importante, por lo cual debe ser revisado y analizado con atención. Además se recomienda seguir la sugerencia brindada sobre la colocación del acero transversal del muro en una obra en construcción.

**Corte:**  $V_e \leq \phi V_n$

**Alma:**

$$V_e = \Omega * w * V_u = 1596.46 \text{ [Tonf]} < 3 * V_u = 1773.8 \text{ [Tonf]} \text{ Ok}$$

$$\Omega = \frac{M_{pr}}{M_u} = 1.50$$

$$w = 1.3 + \frac{N_s}{30} = 1.80$$

$$h_w/l_w = 4.25$$

$$\alpha = 0.53$$

$$b_w = \frac{V_e}{0.75 * l_w * (2.12 + \alpha) * \sqrt{f'_c}} = 43.6 \text{ [cm]} \quad \text{Asumo: } \boxed{45.0 \text{ [cm]}}$$

$$\rho_s = \frac{V_e - ((0.53 * \sqrt{f'_c}) * (0.75 * b_w * l_w))}{0.75 * b_w * l_w * f_y} = 0.00704 \quad s = \boxed{20.0 \text{ [cm]}}$$

$$A_v = \rho_s * b_w * s = 6.34 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$\text{As colocado} = \boxed{2 \phi} \quad \boxed{22 \text{ [mm]}} = 7.60 \text{ [cm}^2\text{]} \quad \text{Ok}$$

$$\boxed{2 \phi 22 \text{ [mm]} @ 20 \text{ [cm]}}$$

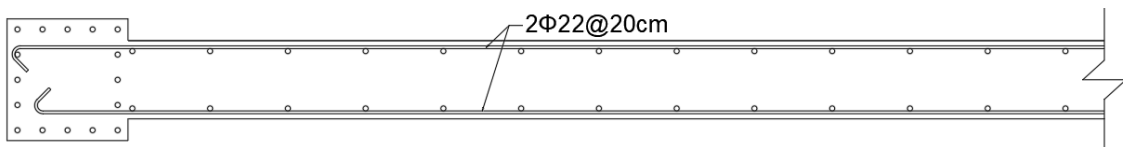


Ilustración 38: Acero transversal de muro de 12m.  
Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

#### 4.2.4. Cabezales

Se reitera la importancia del uso de cabezales en los muros, tanto si se quiere evitar fallas por flexión o cortante explicadas previamente, como también por la facilidad constructiva, ya que si se cuenta con estos elementos es mucho más fácil el acoplamiento de las vigas al muro, caso contrario la mayoría de las veces la viga tendría un espesor mayor al del muro.

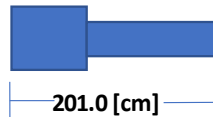
**Cabezales:**  $\sigma_{max} > 0.2 * f'c$

$$\sigma_{max} = \frac{Pu}{bw * lw} + \frac{6 * Mu}{bw * lw^2} = 173.78 \quad [\text{kg/cm}^2]$$

$$0.2 * f'c = 42 \quad [\text{kg/cm}^2] \therefore \text{Requiere Cabezales}$$

**Propiedades del Cabezal:**

a) Longitud de confinamiento:  $Long. \geq \max \left[ c - \frac{lw}{10} ; \frac{c}{2} \right]$



b) Ancho mínimo de cabezal:  $b \geq \frac{hc}{16}$

$$\frac{hc}{16} = 22.5 \text{ [cm]} \leq b \quad \text{Ok}$$

c)  $\frac{hw}{lw} > 2$  y  $\frac{c}{lw} > \frac{3}{8}$   $b \geq 30 \text{ [cm]}$

$$\frac{hw}{lw} = 4.25 > 2 \quad \text{Ok}$$

$$\frac{c}{lw} = 0.26 > 0.375 \quad \text{No Ok} \quad \therefore b < 30 \text{ [cm]}$$

El literal C es un requerimiento que establece el ACI en su apartado 18.10.6.4.(c), el cual menciona que si se cumplen ambos requisitos ( $\frac{hw}{lw} > 2$  y  $\frac{c}{lw} > \frac{3}{8}$ ) el espesor del muro debería ser igual o mayor a 30 cm, en nuestro caso no cumple el segundo de ellos lo que se interpretaría como que no es necesario un espesor de muro mayor a 30 cm, sin embargo como se evidencia en el diseño por cortante el espesor mínimo de muro debe ser 45 cm y aquel diseño es el que predomina.

### 4.2.5. Confinamiento

A más de lo que ya se ha mencionado sobre los elementos de borde se puede añadir lo siguiente: una vez formada la grieta de tracción por flexión en el borde del muro, y a las continuas aberturas y cierres de las grietas debido al vaivén generado en un sismo, es muy probable que se genere trituración del concreto en el borde carente de confinamiento, es por esta razón que se pone tanto énfasis en el que siempre se debe utilizar estos elementos en los bordes de los muros.

#### Confinamiento:

Cabezal:

$$S \leq \begin{cases} b/3 = 23.33 \text{ [cm]} \\ h/3 = 23.33 \text{ [cm]} \\ 6*db_{vert.} = 16.80 \text{ [cm]} \\ \text{Normativo} = 10.00 \text{ [cm]} \end{cases} \quad \text{Asumido: } \boxed{10.0 \text{ [cm]}}$$

Fibras Cortas:

$$Ash1 = \frac{0.3 * s * h'' * f'c}{fy} \left( \frac{Ag}{Ac} - 1 \right) = 3.97 \quad \text{cm}^2 @ 10 \text{ cm}$$

$$Ash2 = \frac{0.09 * s * h'' * f'c}{fy} = 2.61 \quad \text{cm}^2 @ 10 \text{ cm}$$

$$\text{Ash diseño: } \boxed{3.97} \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$4 \phi 12 \text{ mm} = 4.52 \text{ cm}^2 \quad \text{Ok}$$

$$\boxed{4 \text{ Ramas } \phi 12 \text{ mm } @ 10 \text{ cm}}$$

Fibras Largas:

$$Ash1 = \frac{0.3 * s * h'' * f'c}{fy} \left( \frac{Ag}{Ac} - 1 \right) = 3.97 \quad \text{cm}^2 @ 10 \text{ cm}$$

$$Ash2 = \frac{0.09 * s * h'' * f'c}{fy} = 2.61 \quad \text{cm}^2 @ 10 \text{ cm}$$

$$\text{Ash diseño: } \boxed{3.97} \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$4 \phi 12 \text{ mm} = 4.52 \text{ cm}^2 \quad \text{Ok}$$

$$\boxed{4 \text{ Ramas } \phi 12 \text{ mm } @ 10 \text{ cm}}$$

Alma:

$$S \text{ Vert.} \leq \begin{cases} b/3 = 15.00 \text{ [cm]} \\ h/3 = 43.67 \text{ [cm]} \\ 6 \cdot db_{\text{vert.}} = 16.80 \text{ [cm]} \\ \text{Normativo} = 10.00 \text{ [cm]} \end{cases} \quad \text{Asumido: } \boxed{10.0 \text{ [cm]}}$$

$$S \text{ Horiz.} \leq \begin{cases} 2b/3 = 30.00 \text{ [cm]} \\ \text{Normativo} = 35 \text{ [cm]} \end{cases} \quad \text{Asumido: } \boxed{30.0 \text{ [cm]}}$$

Fibras Cortas:

$$Ash1 = \frac{0.3 \cdot s \cdot h' \cdot f'c}{fy} \left( \frac{Ag}{Ac} - 1 \right) = 7.15 \text{ cm}^2 @ 10 \text{ cm}$$

$$Ash2 = \frac{0.09 \cdot s \cdot h' \cdot f'c}{fy} = 5.90 \text{ cm}^2 @ 10 \text{ cm}$$

$$\text{Ash diseño: } \boxed{7.15} \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$5 \phi 14 \text{ mm} = 7.70 \text{ cm}^2 \text{ Ok}$$

Vertical:  $\boxed{5 \text{ Ramas } \phi 14 \text{ mm } @ 10 \text{ cm}}$ Horizontal:  $\boxed{1 \text{ Ramas } \phi 14 \text{ mm } @ 30 \text{ cm}}$ 

Fibras Largas:

$$Ash1 = \frac{0.3 \cdot s \cdot h' \cdot f'c}{fy} \left( \frac{Ag}{Ac} - 1 \right) = 1.80 \text{ cm}^2 @ 10 \text{ cm}$$

$$Ash2 = \frac{0.09 \cdot s \cdot h' \cdot f'c}{fy} = 1.49 \text{ cm}^2 @ 10 \text{ cm}$$

$$\text{Ash diseño: } \boxed{1.80} \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$2 \phi 12 \text{ mm} = 2.26 \text{ cm}^2 \text{ Ok}$$

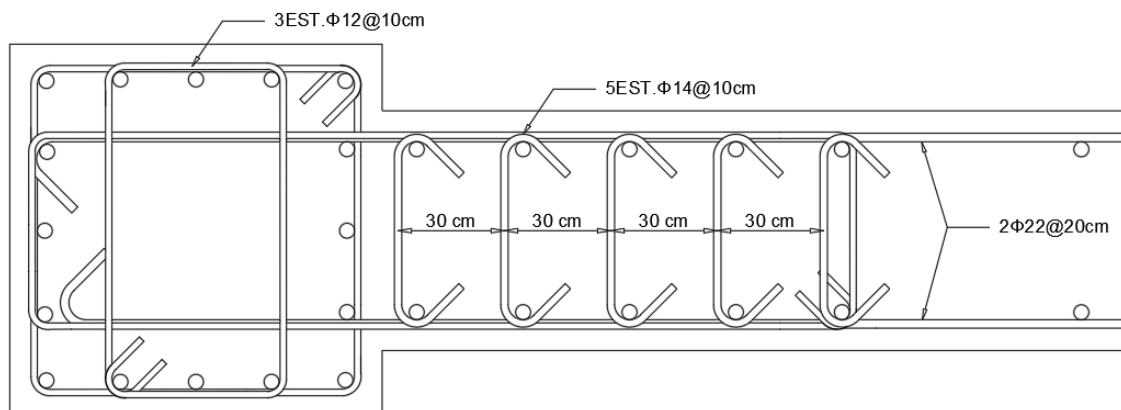
 $\boxed{2 \text{ Ramas } \phi 12 \text{ mm } @ 10 \text{ cm}}$ 


Ilustración 39: Estribos de confinamiento en cabezal de muro de 12 m.  
Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

### 4.3. PESO DE MATERIALES

Finalizado el diseño de los elementos estructurales del sistema de muros se muestra a continuación las tablas con los pesos obtenidos de los materiales que lo constituyen. Como se puede apreciar se obtiene un peso total de 7963.38 Tonf para el hormigón y 458 tonf de acero de refuerzo, los cuales divididos para los 8640 m<sup>2</sup> del área total de construcción dan como resultado 0.922 y 0.053 tonf/m<sup>2</sup> respectivamente.

Peso y Volumen de Hormigón Armado por m <sup>2</sup>								
Objeto	Número de Piezas	Material	Área	Peso específico	Peso	Peso por m <sup>2</sup>	Volumen	Volumen por m <sup>2</sup>
			m <sup>2</sup>	tonf/m <sup>3</sup>	tonf	tonf/m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Vigas	495	Hormigón	8640	2.402	1839.2	0.213	765.7	0.089
Muros	12				3269.69	0.378	1361.2	0.158
Losas	15				2854.49	0.330	1188.4	0.138
					<b>7963.38</b>	<b>0.922</b>	<b>3315.3</b>	<b>0.384</b>

Tabla 22: Peso y volumen de hormigón armado del sistema de muros.  
Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

Peso de Acero por m <sup>2</sup>					
Objeto	Número de Piezas	Material	Área	Peso	Peso por m <sup>2</sup>
			m <sup>2</sup>	tonf	tonf/m <sup>2</sup>
Vigas	495	Acero	8640	153.7	0.018
Muro 6m	10			190.9	0.022
Muro 12m	2			113.5	0.013
				<b>458.0</b>	<b>0.053</b>

Tabla 23: Peso de acero del sistema de muros.  
Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.



### 4.3.1. Comparación De Pesos De Materiales

Como se puede observar en las siguientes tablas, existe un ahorro de 0.064 tonf/m<sup>2</sup> de hormigón del sistema dual con respecto del sistema de muros, lo que representa apenas una reducción del 7.4% en el uso de este material para el proyecto. Lo que en otras palabras quiere decir que, se obtendría un mejor desempeño sísmico con un poco más de inversión en este material.

Si nos fijamos en el apartado de acero, se aprecia una diferencia considerable, teniendo un ahorro del 37% de este material en el sistema dual en comparación al sistema de muros, lo cual estaría dentro de lo esperado, debido a que los muros necesitan mucho más acero que las columnas y demostrando que en fases iniciales de construcción podría existir un aumento apreciable del costo total de la obra gris, sin embargo en fases posteriores se esperaría que exista un ahorro en los rubros referentes a tabiquería.

<b>Comparación de Peso de Hormigón Armado por m<sup>2</sup></b>			
<b>Objeto</b>	<b>Sistema Dual</b>	<b>Sistema de Muros</b>	<b>Δ%</b>
	tonf/m <sup>2</sup>	tonf/m <sup>2</sup>	
<b>Columnas</b>	0.066	0.000	100.0%
<b>Vigas</b>	0.246	0.213	13.5%
<b>Muros</b>	0.216	0.378	-75.0%
<b>Losas</b>	0.330	0.330	0.0%
	<b>0.858</b>	<b>0.922</b>	<b>-7.4%</b>

Tabla 24: Comparación de peso de hormigón armado por m<sup>2</sup>.  
Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

<b>Comparación de Peso de Acero por m<sup>2</sup></b>			
<b>Objeto</b>	<b>Sistema Dual</b>	<b>Sistema de Muros</b>	<b>Δ%</b>
	tonf/m <sup>2</sup>	tonf/m <sup>2</sup>	
<b>Columnas</b>	0.003	0.000	100.0%
<b>Vigas</b>	0.011	0.018	-62.8%
<b>Muro 6m</b>	0.011	0.022	-96.2%
<b>Muro 12m</b>	0.013	0.013	0.0%
	<b>0.039</b>	<b>0.053</b>	<b>-37.0%</b>

Tabla 25: Comparación de peso de acero por m<sup>2</sup>.  
Elaborado por: Cristhian Alexander Cáceres Gaibor, 2021.

## **CAPÍTULO 5**

### **CONCLUSIONES**

**CRISTHIAN CÁCERES G.**

## 5. CONCLUSIONES

En el presente trabajo de titulación se llevó a cabo el análisis comparativo entre dos sistemas estructurales, el sistema conformado por muros de hormigón armado y el sistema dual conformado por muros y pórticos. En el cual se realizó el modelamiento de un edificio tipo en el programa ETABS en los dos sistemas estructurales, se precedió al análisis estructural, posteriormente se efectuó el diseño de estos y una vez concluidos los diseños se procedió a comparar de los resultados obtenidos. Es así como, de acuerdo con los resultados conseguidos se extraen las siguientes conclusiones:

- El uso de muros en edificaciones soluciona varios problemas que poseen los sistemas que cuentan con pórticos, por ejemplo: protege a los pórticos al ser capaz de absorber gran cantidad del cortante, también protege elementos no estructurales, aumenta la rigidez de la estructura, es un elemento muy dúctil, neutraliza efectos de piso blando y columna corta, lo que lo convierte en un sistema con mejor desempeño sísmico.
- Pero así como cuenta con ventajas muy importantes también cuenta con desventajas que deben ser tomadas en cuenta, por ejemplo: por su configuración presenta limitaciones arquitectónicas serias y dependiendo de la orientación y ubicación de los muros puede ser sensible a la torsión, por eso se recomienda que los muros deben tener una adecuada disposición en la periferia de la estructura y priorizar la doble simetría.
- Un apartado interesante es en cuanto al costo, ya que en fases iniciales de construcción podría parecer que existe un aumento en el costo de la obra gris en comparación al sistema dual, sin embargo de manera global y dependiendo de la distribución de los muros, podría ser más económico debido a que existe un ahorro en el uso de materiales referentes a tabiquería.

- A pesar de que los dos sistemas cuentan con muros estructurales la NEC castiga al sistema de muros con un factor de resistencia ( $R = 5$ ) menor en comparación al sistema dual ( $R = 8$ ), lo que representa aproximadamente un 40% de reducción, esto es debido a que en el sistema de muros a pesar de que son elementos muy dúctiles, la manera de disipar energía es generar rotulas plásticas directamente en la base del muro lo que perjudica de manera global a la estructura, debido a que en el vaivén generado en un sismo se puede generar una trituración del hormigón ubicado en los bordes del muro con el correspondiente pandeo del refuerzo vertical del mismo, a diferencia del sistema dual donde se empezaría a disipar energía y generar rotulas en las vigas de los pórticos.
- Adicional a lo anteriormente dicho, la configuración estructural del sistema de muros hace que este sea más pesado que el sistema dual, en consecuencia el edificio con muros portantes presenta mayores valores de cortante basal estático y dinámico, lo que implicaría que un sismo afectara más a este sistema y por lo tanto su diseño se vuelve más riguroso.
- En cuanto al uso de materiales existe una reducción del 7.4% de hormigón y del 37% de acero en el sistema dual con respecto del sistema de muros, lo cual estaría dentro de lo esperado, debido a que los muros necesitan mucho más acero que las columnas y demostrando que en fases iniciales de construcción podría existir un aumento apreciable del costo total de la obra gris, sin embargo en fases posteriores se esperaría que exista un ahorro en los rubros referentes a tabiquería.
- Al comparar las derivas de los dos sistemas se puede concluir que ambos están dentro de los requerimientos de la NEC 15, sin embargo, existe una disminución en las derivas del sistema de muros con respecto al sistema dual, concretamente entre un 15% al 26% en el sentido “X” y entre el 26% al 31% en el sentido “Y”.

- Se puede apreciar incluso que en el sentido “Y” donde está ubicado el muro con mayor dimensión, que las derivas en general son mucho más pequeñas, no pasan del 1.5% en el sistema dual y exceden por muy poco el 1% en el sistema de muros por lo tanto al sistema dual se lo puede considerar menos rígido y a la vez más susceptible a daños.
- Es de vital importancia que edificios ubicados en zonas con un alto peligro sísmico como es el caso de nuestro país, se cumplan con todos los requisitos y recomendaciones dictadas por normas nacionales e internacionales para el diseño de elementos estructurales, por lo tanto, otra finalidad del presente trabajo es que pueda servir a manera de manual, donde se explica de manera sencilla y concisa, el procedimiento para el análisis y diseño de elementos de hormigón armado en especial de muros estructurales.
- El software de análisis utilizado en el presente trabajo ETABS 18, así como otros programas utilizados en el medio, son una herramienta practica y muy poderosa que facilita el trabajo del ingeniero calculista, sin embargo, ya sea por falla humana o del mismo programa, no están exentos de errores u omisiones referentes al diseño.
- Por ese motivo siempre se debe comprobar los resultados obtenidos por el programa con la ayuda de hojas de cálculo elaboradas personalmente para tener certeza del diseño que se está elaborando y evitar caer en errores serios y potencialmente mortales como son los colapsos estructurales.
- Como se mencionó en el diseño de muro del sistema dual, independientemente de la configuración de la estructura, y a pesar de que el cálculo de como resultado que no se requiere elementos de borde, siempre es recomendable utilizarlos, debido a que los esfuerzos en los extremos de los muros son muy elevados y por lo tanto se requiere un refuerzo longitudinal y transversal adecuado.

- Particularmente este último debe ser diseñado de forma tal que se debe lograr un buen confinamiento del núcleo aumentando la resistencia a compresión del hormigón y consiguiendo un mejor comportamiento ante la flexión que se puede generar en un sismo.
- Una consideración importante para tomar en cuenta es que el espesor mínimo de muro en ningún caso debe ser menor a los 30 cm, debido a que en espesores más pequeños se dificulta en gran medida el confinamiento del alma de los elementos de borde.
- Finalmente en este trabajo se abordó únicamente las consideraciones en cuanto al diseño de muros rectangulares simples con elementos de borde, por lo tanto, resulta importante considerar para futuros trabajos el diseño de intersecciones de muros como T, C, L y demás configuraciones, ya que cuentan con consideraciones particulares para cada caso y no se recomienda analizarlos como muros rectangulares independientes.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

American Concrete Institute. (2014). *The Reinforced Concrete Design Handbook (ACI 318-14)*. Farmington Hills.

American Concrete Institute. (2019). *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19)*. Farmington Hills.

MIDUVI. (2014). *Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-DS*. Quito.

MIDUVI. (2015). *Guía práctica para el diseño de estructuras de hormigón armado*. Quito: Imprenta Activa.

Moehle, J. (2015). *Seismic Design of Reinforced Concrete Buildings*. McGraw Hill.

Structural Engineers Association of California (SEAOC). (2018). *2018 IBC SEAOC STRUCTURAL/SEISMIC DESIGN MANUAL*. Sacramento: International Code Council.