



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Maestría en Ciencias en Estructuras

**COMPROBACIÓN DE RESULTADOS DE MÉTODO ACI 318-2014 PARA EL  
DISEÑO ESTRUCTURAL DE MUROS DE CORTE DE CONCRETO REFORZADO  
CON ABERTURAS, UTILIZANDO EL PROGRAMA MATHCAD**

**Inga. Ana Celeste Coutiño Mendizábal**

Asesorada por el Mtro. Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera

Guatemala, junio de 2019



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**COMPROBACIÓN DE RESULTADOS DE MÉTODO ACI 318-2014 PARA EL  
DISEÑO ESTRUCTURAL DE MUROS DE CORTE DE CONCRETO REFORZADO  
CON ABERTURAS, UTILIZANDO EL PROGRAMA MATHCAD**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ING. ANA CELESTE COUTIÑO MENDIZÁBAL**

ASESORADA POR EL Mtro. ING. RONALD ESTUARDO GALINDO CABRERA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**MAESTRA EN CIENCIAS EN ESTRUCTURAS**

GUATEMALA, JUNIO DE 2019



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Armando Fuentes Roca
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Cesar Augusto Castillo Morales
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López



## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**COMPROBACIÓN DE RESULTADOS DE MÉTODO ACI 318-2014 PARA EL  
DISEÑO ESTRUCTURAL DE MUROS DE CORTE DE CONCRETO REFORZADO  
CON ABERTURAS, UTILIZANDO EL PROGRAMA MATHCAD**

Tema que me fuera aprobado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería con fecha 11 de agosto de 2011.



**Ing. Ana Celeste Coutiño Mendizábal**





## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por darme sabiduría e inteligencia y así culminar otro sueño más alcanzado.
<b>Mis padres</b>	Roberto Coutiño y Ana Mendizábal, por ser mi ejemplo y apoyo durante toda mi vida.
<b>Mi familia</b>	Rudy Cifuentes, Ariana Celeste, Ana Carolina, Briana Paola, por ser el motivo de inspiración, para alcanzar mis sueños.
<b>Mis hermanos</b>	Luis Roberto y José Alejandro, por su cariño y apoyo.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>MSc. Ing. Ronald Galindo</b>	Por asesorarme en la realización de mi trabajo de graduación.
<b>MSc. Ing. Cesar Castillo</b>	Por su dedicación al revisar mi trabajo de graduación.
<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser forjadora de profesionales con éxito y brindar la oportunidad de seguir especializando en los diferentes campos de la ingeniería.
<b>Centro Universitario de Occidente</b>	Por haberme formado como profesional de Ingeniera Civil.



Ref.APT-2019-017

En mi calidad como Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, al Trabajo de Graduación de la Maestría en Ciencias en Estructuras titulado: **"COMPROBACIÓN DE RESULTADOS DE MÉTODO ACI 318-2014 PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE MUROS DE CORTE DE CONCRETO REFORZADO CON ABERTURAS, UTILIZANDO EL PROGRAMA MATHCAD"** presentado por la Ingeniera Civil Ana Celeste Coutiño Mendizábal quien se identifica con Carné 100017302, procedo a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

*"Id y Enseñad a Todos"*

*[Firma]*  
Maestro. Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

Decano

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, junio de 2019.

Cc: archivo/L.Z.L.A.



Ref.APT-2019-017

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y verificar la aprobación del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística al Trabajo de Tesis titulado **"COMPROBACIÓN DE RESULTADOS DE MÉTODO ACI 318-2014 PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE MUROS DE CORTE DE CONCRETO REFORZADO CON ABERTURAS, UTILIZANDO EL PROGRAMA MATHCAD"** presentado por la Ingeniera Civil **Ana Celeste Coutiño Mendizábal** quien se identifica con Carné **100017302**, correspondiente al programa de Maestría en Ciencias en Estructuras; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
**Maestro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí**  
Director

**Escuela de Estudios de Postgrado**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Universidad de San Carlos de Guatemala**



Guatemala, junio de 2019.

Cc archivo/LZLA.





En mi calidad como Asesor de la Ingeniera Civil **Ana Celeste Coutiño Mendizábal** quien se identifica con carné No. **100017302** procedo a dar el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Tesis titulado **"COMPROBACIÓN DE RESULTADOS DE MÉTODO ACI 318-2014 PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE MUROS DE CORTE DE CONCRETO REFORZADO CON ABERTURAS, UTILIZANDO EL PROGRAMA MATHCAD"** quien se encuentra en el programa de Maestría en Ciencias en Estructuras en la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
**Maestro, Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera**  
Asesor(a)

MSc. Ronald E. Galindo C.  
Ingeniero Civil  
Colegiado No. 3,770

Guatemala, junio de 2019.

Cc: archivo/L.Z.L.A.



Ref.APT-2019-017

Como Coordinador de la Maestría en Ciencias en Estructuras doy el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Tesis titulado **"COMPROBACIÓN DE RESULTADOS DE MÉTODO ACI 318-2014 PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE MUROS DE CORTE DE CONCRETO REFORZADO CON ABERTURAS, UTILIZANDO EL PROGRAMA MATHCAD"** presentado por la Ingeniera Civil Ana Celeste Coutiño Mendizábal quien se identifica con Carné 100017302.

Atentamente,

*"Id. y Enseñad a Todos"*



**Maestro. Ing. Armando Fuentes Roca**  
**Coordinador(a) de Maestría**  
**Escuela de Estudios de Postgrado**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Universidad de San Carlos de Guatemala**



Guatemala, junio de 2019.

Cc: archivo/L.Z.L.A.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XIII
RESUMEN .....	XXIII
HIPÓTESIS .....	XXV
OBJETIVOS .....	XXVII
INTRODUCCIÓN .....	XXIX
1. MURO DE CORTE DE CONCRETO REFORZADO.....	1
1.1. Definición.....	1
1.2. Aplicación .....	1
1.3. Comportamiento .....	2
1.4. Dimensiones más empleadas .....	3
1.5. Secciones transversales típicas.....	3
1.6. Muro de cortante con abertura.....	3
1.7. Muro en voladizo .....	3
1.8. Viga de acople.....	4
1.9. Requisitos generales ACI 318-14 .....	5
1.10. Muros con vigas de acople .....	10
1.11. Localización.....	11
1.12. Refuerzo de muros de corte .....	13
1.13. Requisitos y normas específicos del ACI 318-2014 para diseños de muro de corte .....	14
1.13.1. Previsiones del ACI para muros de corte .....	15
1.13.2. Otros requisitos del reglamento ACI 318-2014.....	18

1.13.2.1.	Cuantía mínima para refuerzo vertical .....	18
1.13.2.2.	Cuantía mínima para refuerzo horizontal .....	19
1.13.2.3.	Capas paralelas dentro del muro mayor a 25 cm 15 pulgadas.....	19
1.13.2.4.	Espaciamiento .....	20
1.13.2.5.	Aspectos sísmicos .....	20
1.13.2.6.	Flexión y compresión .....	22
1.13.2.7.	Vigas de acople .....	22
1.13.2.8.	Elementos de borde.....	22
2.	PROGRAMA MATHCAD .....	25
2.1.	<i>Mathcad</i> versión 14 .....	25
2.2.	Ventajas .....	26
2.3.	Elementos del programa a utilizar .....	26
3.	DISEÑO ESTRUCTURAL DEL MURO DE CORTE DE CONCRETO REFORZADO EN <i>MATHCAD</i> .....	31
3.1.	Algoritmo del diseño estructural del muro de corte .....	31
3.2.	Esquema del programa .....	31
3.3.	Ingreso de datos .....	31
3.4.	Condiciones .....	32
3.5.	Propuesta de armado .....	32
3.6.	Guía de uso .....	33
3.7.	Diagrama del diseño .....	33
3.8.	Comentarios del programa .....	33
3.9.	Notación y definiciones del programa.....	34
3.10.	Diseño estructural del programa en <i>Mathcad</i> .....	41



3.10.1.	Algoritmo.....	41
3.10.2.	Viga de acople .....	50
3.11.	Diagrama de esfuerzos de un muro con abertura .....	51
3.11.1.	Propiedades geométricas del muro.....	51
4.	ANÁLISIS Y RESULTADOS OBTENIDOS.....	53
4.1.	Características de muros ejemplares, según análisis estructural en ETABS 2016 .....	53
4.1.1.	Resultados de análisis estructural, muro ejemplar uno .....	53
4.1.2.	Resultados de análisis estructural, muro ejemplar dos .....	57
4.1.3.	Resultados de análisis estructural, muro ejemplar tres .....	61
4.2.	Resultados obtenidos con el programa <i>Mathcad</i> .....	66
4.2.1.	Resultados utilizando <i>Mathcad</i> , ejemplar 1 .....	66
4.2.2.	Resultados utilizando <i>Mathcad</i> , ejemplar 2 .....	77
4.2.3.	Resultados utilizando <i>Mathcad</i> , ejemplar 3 .....	83
4.3.	Análisis de los resultados .....	87
	CONCLUSIONES.....	89
	RECOMENDACIONES.....	91
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93
	APÉNDICES.....	97





## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Esfuerzos en viga de acople .....	4
2.	Modelo de Paulay y Binney geometría del refuerzo .....	5
3.	Modelo de Paulay y Binney reacciones externas .....	6
4.	Modelo de Paulay y Binney fuerzas internas .....	6
5.	Detalle de viga de acople armada .....	8
6.	Diseño alternativo para vigas de acople, según ACI .....	9
7.	Diseño alternativo para vigas de acople, según ACI .....	10
8.	Flexión de muros.....	13
9.	Operadores aritméticos comunes.....	27
10.	Tipos de Gráficos 2D y 3D .....	27
11.	Operadores matriciales y vectoriales.....	28
12.	Operadores de evaluación, ( <i>Mathcad</i> , 14) .....	28
13.	Operadores de cálculo .....	29
14.	Operadores boolean, ( <i>Mathcad</i> , 14).....	29
15.	Operadores de programación.....	30
16.	Diagrama de diseño dispuesto en el programa del diseño de muros con abertura.....	35
17.	Diagrama de diseño dispuesto en el programa del diseño de muros con abertura.....	36
18.	Diagrama de diseño dispuesto en el programa del diseño de muros con abertura.....	37
19.	Diagrama de diseño dispuesto en el programa del diseño de muros con abertura.....	38

20.	Diagrama de diseño dispuesto en el programa del diseño de muros con abertura .....	39
21.	Diagrama de diseño dispuesto en el programa del diseño de muros con abertura .....	40
22.	Resultado ejemplar 1, diagrama de momentos.....	54
23.	Resultado ejemplar 2, diagrama de corte .....	55
24.	Resultado ejemplar 1, acero longitudinal .....	56
25.	Resultado ejemplar 1, acero transversal.....	57
26.	Resultado ejemplar 2, diagrama de momentos.....	58
27.	Resultado ejemplar 2, diagrama de corte .....	59
28.	Resultado ejemplar 2, acero longitudinal .....	60
29.	Resultado ejemplar 2, acero transversal.....	61
30.	Resultado ejemplar 3, diagrama de momentos.....	62
31.	Resultado ejemplar 3, diagrama de corte .....	63
32.	Resultado ejemplar 3, acero longitudinal .....	64
33.	Resultado ejemplar 3, acero transversal.....	65
34.	Dimensiones del muro ejemplar uno.....	67
35.	Acotado de muro ejemplar uno .....	68
36.	Detalle de refuerzo longitudinal muro 1 y 2, ejemplar uno.....	69
37.	Detalle de refuerzo transversal muro 1 y 2, ejemplar uno .....	69
38.	Detalle de refuerzo longitudinal inferior viga de acople, ejemplar uno .....	70
39.	Detalle de refuerzo longitudinal superior viga de acople, ejemplar uno .....	71
40.	Detalle de refuerzo longitudinal superficial, ejemplar uno .....	72
41.	Medidas de estribos de refuerzo diagonal, ejemplar uno .....	73
42.	Espaciamiento de estribos de refuerzo diagonal, ejemplar uno .....	74
43.	Distribución de varillas de elemento de borde, ejemplar uno .....	75

44.	Colocación de estribos y ganchos de elemento de borde, ejemplar uno.....	75
45.	Distribución de estribos confinados y no confinados, ejemplar uno.....	76
46.	Dimensiones del muro ejemplar dos .....	77
47.	Acotado de muro ejemplar dos.....	78
48.	Detalle de refuerzo longitudinal muro 1 y 2, ejemplar dos .....	78
49.	Detalle de refuerzo transversal muro 1 y 2, ejemplar dos.....	79
50.	Detalle de refuerzo longitudinal inferior viga de acople, ejemplar dos .....	79
51.	Detalle de refuerzo longitudinal superior viga de acople, ejemplar dos .....	80
52.	Detalle de refuerzo longitudinal superficial, ejemplar dos .....	81
53.	Medidas de estribos de refuerzo diagonal, ejemplar dos.....	82
54.	Espaciamiento de estribos de refuerzo diagonal, ejemplar dos.....	83
55.	Acotado de muro ejemplar tres .....	84
56.	Acotado de muro ejemplar tres .....	85
57.	Detalle de refuerzo longitudinal muro 1 y 2, ejemplar 3.....	86
58.	Detalle de refuerzo transversal muro 1 y 2, ejemplar tres.....	86



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A</b>	Longitud del elemento de borde.
<b>AchA</b>	Área encerrada por el eje del refuerzo transversal cerrado más extremo dispuesto para resistir torsión.
<b>AgA</b>	Área bruta de la sección de concreto.
<b>Asmin</b>	Área de acero mínimo por flexión.
<b>Asneg1</b>	Área de refuerzo solicitado por momento negativo en viga de acople.
<b>Aspos1</b>	Área de refuerzo solicitado por momento positivo en viga de acople.
<b>Avt</b>	Área de varilla transversal.
<b>b</b>	Ancho de la cara en compresión del elemento.
<b>Bv</b>	Ancho de la cara en compresión de la viga de acople.
<b>c1</b>	Distancia medida desde la fibra extrema en compresión al eje neutro.
<b>c2</b>	Parámetro de comparación de distancia del eje de compresión al eje neutro.
<b>Ccv</b>	Distancia libre entre el centroide del refuerzo, más extremo a la cara lateral de la viga de acople.
<b>ChequeoSt</b>	Chequeo de espaciamiento transversal.
<b>Chsinf</b>	Chequeo de refuerzo en cama inferior de viga de acople.

<b>Chsinf2</b>	Chequeo de refuerzo inferior en cama inferior para paquetes de barra en vigas de acople.
<b>Chssup</b>	Chequeo de refuerzo en cama superior de viga de acople.
<b>Chssup2</b>	Chequeo de refuerzo inferior en cama superior para paquetes de barra en vigas de acople.
<b>D</b>	Distancia desde la fibra extrema en compresión al centroide del refuerzo longitudinal en tracción.
<b>Dv</b>	Distancia desde la fibra extrema en compresión al centroide del refuerzo longitudinal en tracción de la viga de acople.
<b>EAs</b>	Módulo de elasticidad del acero.
<b>f'c</b>	Resistencia especificada a la compresión del concreto.
<b>Fs</b>	Esfuerzo en el refuerzo en su respectivo nivel, calculado para cargas mayoradas.
<b>Fy</b>	Resistencia especificada a la fluencia del refuerzo.
<b>Hv</b>	Altura de la viga de acople.
<b>Hw</b>	Altura total de un muro medida desde la base hasta la parte superior o altura del segmento de muro considerado.
<b>Ic</b>	Altura a sección crítica de un muro.
<b>Lv</b>	Luz de la viga de acople.
<b>Lw</b>	Longitud del muro completo o longitud del segmento de muro considerada en dirección de la fuerza cortante.
<b>Mn</b>	Resistencia nominal a flexión en la sección.
<b>Mr</b>	Momento resistor de un nivel de refuerzo.

<b>Mu</b>	Factor de relación de profundidad de bloque rectangular equivalente de esfuerzos de compresión con la profundidad del eje neutro. ACI 318-08 10.2.7.3.
<b>Mu</b>	Momento de flexión en muro.
<b>NoVt</b>	Número de varilla transversal recomendado.
<b>Pu</b>	Fuerza axial mayorada.
<b>R</b>	Recubrimiento de concreto.
<b>Rec</b>	Recubrimiento de concreto.
<b>Rδhw</b>	Relación entre desplazamiento de diseño y altura del muro.
<b>SI</b>	Espaciamiento de refuerzo superficial.
<b>So1</b>	Separación propuesta para refuerzo horizontal por corte.
<b>So2</b>	Separación propuesta para refuerzo vertical por corte.
<b>Tm</b>	Espesor del muro.
<b>Vc</b>	Resistencia nominal al cortante proporcionada por el concreto.
<b>Vn</b>	Resistencia nominal a cortante.
<b>Vu</b>	Momento de corte en muro.
<b>A</b>	Ángulo formado entre la horizontal de la viga de acople y el refuerzo longitudinal diagonal para grupo de barras.
<b>α3</b>	Factor de relación de profundidad de bloque rectangular, equivalente de esfuerzos de compresión con la profundidad del eje neutro.
<b>δu</b>	Desplazamiento de diseño.

<b><math>\Lambda</math></b>	Factor de modificación que tiene en cuenta las propiedades mecánicas reducidas del concreto de peso liviano, relativa a los concretos de peso normal de igual resistencia a la compresión.
<b>PI</b>	Relación entre el área de refuerzo longitudinal distribuido al área bruta de concreto perpendicular a este refuerzo.
<b>Pt</b>	Cuantía balanceada de refuerzo.
<b><math>\Phi</math></b>	Factor de reducción de resistencia a corte.
<b><math>\rho_{max}</math></b>	Cuantía máxima de refuerzo.
<b>Pt</b>	Cuantía del área de refuerzo transversal distribuido al área bruta de concreto de una sección perpendicular a este refuerzo.
<b><math>\Phi_f</math></b>	Factor de reducción de resistencia a flexión.
<b><math>\phi_{Vt}</math></b>	Diámetro de varilla transversal.



## GLOSARIO

<b>ACI 318-14</b>	<i>American Concrete Institute (Instituto Americano del Concreto)</i> Código de requisitos para construcción para concreto estructural, normativa vigente a nivel internacional.
<b>Algoritmo</b>	Son listas de instrucciones para resolver un problema abstracto, es decir, que un número finito de pasos convierten los datos de un problema (entrada) en una solución (salida).
<b>Análisis estructural</b>	Se refiere al uso de las ecuaciones de la resistencia de materiales para encontrar los esfuerzos internos, deformaciones y tensiones que actúan sobre una estructura resistente, como edificaciones o esqueletos resistentes de maquinaria.
<b>Armadura</b>	Es la estructura formada por un conjunto de piezas lineales (de madera o metálicas) ensambladas entre sí, que se utiliza para soportar la cubierta inclinada de algunos edificios.
<b>Arriostrar</b>	Se consideran habitualmente elementos secundarios en las estructuras, sin embargo, conviene no prescindir de ellos, así que el comportamiento del conjunto estructural sea el adecuado (restringir

traslacionalidad). Aparte de los arriostramientos transversales utilizados en las vigas para reducir las longitudes de pandeo lateral, la misión fundamental de los arriostramientos en los edificios industriales es absorber los empujes longitudinales provocados por el viento, debido a su presión sobre las paredes frontales, así como las fuerzas de inercia longitudinal originadas por los puentes grúa en su movimiento.

**Articulaciones Plásticas** Estado plástico que alcanzan todas las fibras de un elemento estructural al producirse una articulación en la sección transversal del mismo. También llamada rótula plástica.

**Boolean** El tipo boolean representa valores de verdadero/falso.

**Cargas** Son las fuerzas externas que actúan sobre las estructuras. Dichas fuerzas son las que causarían la caída de la estructura si no fuese suficientemente resistente.

**Carga de pandeo de Euler** Carga axial máxima que se puede aplicar a una columna o pilar sin producir el pandeo de la misma. También llamada carga crítica de pandeo.

**Carga admisible** Induce la máxima fatiga admisible en una sección crítica de un miembro estructural.

<b>Columnas</b>	Son elementos estructurales sometidos principalmente a carga axial de compresión o a compresión y flexión, incluyendo o no torsión o esfuerzos cortantes y con una relación de longitud a la menor dimensión de la sección de tres o más.
<b>Compresión</b>	Cuando las cargas tienden a aplastar una parte de una estructura, se dice que aparece un esfuerzo de compresión. Este es el esfuerzo típico en un pilar o columna que soporta un peso.
<b><i>Computer Algebra System (CAS)</i></b> <b><i>(Sistema de algebra Computacional)</i></b>	Es un programa de software que facilita las matemáticas simbólicas. La funcionalidad básica de un CAS es la manipulación de expresiones matemáticas en forma simbólica.
<b>Deformación</b>	El análisis de las deformaciones se relaciona con los cambios en la forma de la estructura que generan las cargas aplicadas.
<b>Desplazamiento</b>	Se define como el cambio de posición de un cuerpo entre dos instantes o tiempos bien definidos.
<b>Despliegue</b>	Mostrar en un dispositivo de salida los resultados de las acciones anteriormente realizadas en un programa.

<b>Diseño</b>	Se define como el proceso previo de configuración mental, "pre-figuración", en la búsqueda de una solución en cualquier campo. Utilizado habitualmente en el contexto de la industria, ingeniería, arquitectura, comunicación y otras disciplinas creativas.
<b>Ductilidad</b>	Es una propiedad que presentan algunos materiales, como las aleaciones metálicas o materiales asfálticos, los cuales bajo la acción de una fuerza, pueden deformarse sosteniblemente sin romperse.
<b>Edificio</b>	Se trata de una obra de fábrica, dedicado a albergar distintas actividades humanas: vivienda, templo, teatro, comercio, etc.
<b>Esfuerzo crítico de pandeo</b>	Cociente entre la carga crítica de pandeo y el área de su sección transversal.
<b>Espaciamiento</b>	Es la distancia entre dos o más objetos.
<b>Estabilidad</b>	Se refiere a la capacidad de una estructura bajo las fuerzas que actúan sobre ella de alcanzar un estado de equilibrio mecánico. Las combinaciones de fuerzas o acciones bajo las cuales una estructura no es estable se denominan inestabilidades.

<b>Fluencia</b>	Es el esfuerzo de un material producido por la combinación de los efectos combinados de las fuerzas de tensión y de compresión, la cual produce deformaciones permanentes en el rango plástico.
<b>Fuerza axial</b>	Actúa a lo largo del eje longitudinal de un miembro estructural aplicada al centroide de la sección transversal del mismo, produciendo un esfuerzo uniforme. También llamada carga axial.
<b>Fuerzas cortantes</b>	Es la fuerza o resultante de las tensiones paralelas a la sección transversal de un prisma mecánico como por ejemplo, una viga o una columna. Se designa variadamente como T, V o Q.
<b>Fundación</b>	Es aquella parte de la estructura que tiene como función transmitir en forma adecuada las cargas de la estructura al suelo y brindar a la misma un sistema de apoyo estable.
<b>Intensidad sísmica</b>	Se basa sobre los efectos producidos por los daños ocasionados en las ciudades o poblaciones cercanas al epicentro del sismo.
<b>Interfaz</b>	En informática, esta noción se utiliza para nombrar a la conexión física y funcional entre dos sistemas o dispositivos de cualquier tipo, dando una comunicación entre distintos niveles.

<b>Longitud eficaz de pandeo</b>	Distancia entre dos puntos de inflexión de un elemento estructural sometido a pandeo. También llamada longitud libre de pandeo, longitud virtual de pandeo.
<b>Losas</b>	Son elementos estructurales bidimensionales, en los que la tercera dimensión es pequeña. Las cargas que actúan sobre las losas son esencialmente perpendiculares al plano principal de las mismas, por lo que su comportamiento está dominado por la flexión.
<b><i>Mathcad</i></b>	Es un entorno de documentación técnica con prestaciones de cálculo numérico y simbólico, que permite explorar problemas, formular ideas, analizar datos, modelar y chequear escenarios, determinar la mejor solución, como así también documentar, presentar y comunicar los resultados.
<b>Matrices</b>	Una matriz es un arreglo bidimensional de números (llamados entradas de la matriz) ordenados en filas (o renglones) y columnas, donde una fila es cada una de las líneas horizontales de la matriz y una.
<b>Momentos flexionantes</b>	Esfuerzo que se aplica sobre alguna de las caras laterales de una viga. Este esfuerzo se calcula con diferentes fórmulas, según diferentes casos. Pero antes de analizar cada caso, es importante mencionar el concepto de momento de inercia y

también se define como un diagrama de fuerzas cortantes o un diagrama de momentos flexionantes de una gráfica que muestra la magnitud de la fuerza cortante o momento flexionante a lo largo de la viga.

**Muro**

Toda estructura continua que de forma activa o pasiva produce un efecto estabilizador sobre una masa de terreno”. El carácter fundamental de los muros es el de servir de elemento de contención de un terreno, que en unas ocasiones es un terreno natural y en otras un relleno artificial.

**Pandeo**

El pandeo es un fenómeno que puede darse en elementos comprimidos esbeltos, y que se manifiesta por la aparición de desplazamientos importantes transversales a la dirección principal de compresión.

**Resistencia**

En un elemento estructural se define como su capacidad para resistir esfuerzos y fuerzas aplicadas sin romperse, adquirir deformaciones permanentes o deteriorarse de algún modo.

**Rigidez**

Es la capacidad de un elemento estructural para soportar esfuerzos sin adquirir grandes deformaciones y/o desplazamientos.

<b>Rótula plástica</b>	Estado plástico que alcanzan todas las fibras de un elemento estructural al producirse una articulación en la sección transversal del mismo. También llamada articulación plástica.
<b>Sismo</b>	Son movimientos que se producen por el choque de las placas tectónicas. La colisión libera energía, mientras los materiales de la corteza terrestre se reorganizan para volver a alcanzar el equilibrio mecánico.
<b>Software</b>	Es el equipamiento lógico o soporte lógico de un sistema informático, que comprende el conjunto de los componentes lógicos necesarios que hacen posible la realización de tareas específicas, en contraposición a los componentes físicos que son llamados hardware.
<b>Torsión</b>	Es la sollicitación que se presenta cuando se aplica un momento sobre el eje longitudinal de un elemento constructivo o prisma mecánico, como pueden ser ejes o, en general, elementos donde una dimensión predomina sobre las otras dos, aunque es posible encontrarla en situaciones diversas.
<b>Traslación</b>	Movimiento que cambia la posición de un objeto.
<b>Vectores</b>	Es una herramienta geométrica utilizada para representar una magnitud física definida por su módulo (o longitud), su dirección y su sentido.



**Viga**

En Ingeniería y Arquitectura se denomina viga a un elemento estructural lineal que trabaja principalmente a flexión. En las vigas, la longitud predomina sobre las otras dos dimensiones y suele ser horizontal.



## RESUMEN

La utilización de elementos de concreto reforzado posee una alta demanda en el país, siendo uno de los elementos estructurales más utilizados, los muros de corte con aberturas de concreto reforzado. Lo cual ayuda a resistir los efectos de las fuerzas sísmicas a las que será sometido.

El diseño de muros de corte de concreto reforzado, principalmente los que tienen aberturas, son utilizados porque es necesario crear áreas abiertas como ventanas, puertas o paso de ductos. Este diseño es bastante extenso, para reducir este tiempo es necesario el uso de *software* u hojas electrónicas, con esto garantizamos facilitar el diseño y crear mayores opciones en menor tiempo.

El siguiente trabajo de investigación involucra versatilidad como información, acerca del diseño de un muro de corte con abertura de concreto reforzado, quedando a criterio del diseñador su uso adecuado.

La interpretación de los resultados en el diseño dependerá del criterio del diseñador, quien tiene limitantes, las cuales se citan dentro del cuerpo del trabajo; el programa *Mathcad* es versátil, por lo que se utiliza para hallar el armado eficiente del muro de concreto reforzado con abertura y obtiene, a su vez, una memoria de cálculo de fácil interpretación con referencia a la norma ACI 318-2014.

El contenido del trabajo se divide en cuatro fases: la primera, la interpretación e investigación de las fórmulas y secciones de ACI 318-2014 a utilizar; la segunda, la elaboración del algoritmo con el que se realizó el programa, el cual comprende los pasos utilizados en *Mathcad* explicando los comandos utilizados en *Mathcad*, en el tercer paso, los resultados obtenidos de los tres ejemplos de muros de corte de concreto reforzado con diferentes tipos de aberturas elaborados con *Mathcad* cada uno con un diagrama de flujo explicando cada paso y los valores que se deben ingresar en el programa, y el último paso, en el anexo lo que comprende la hoja de cálculo elaborada en *Mathcad*.

## **HIPÓTESIS**

La falta de conocimiento del diseño de muros con aberturas de concreto reforzado y su extenso cálculo, influye en que la mayoría de los profesionales de la ingeniería civil disminuya su uso o su mala aplicación.



## OBJETIVOS

### General

Comprobar los resultados del método ACI 318-2014 para el diseño estructural de muros de corte de concreto reforzado con aberturas, utilizando el programa mathcad en formato de hoja de cálculo.

### Específicos

1. Utilizar la normativa vigente ACI 318-2014 para el diseño de muros de concreto de concreto reforzado con aberturas, mediante el uso de la hoja de cálculo del programa *Mathcad*.
2. Facilitar la interpretación y comparación de los resultados obtenidos, mediante la elaboración del algoritmo en el programa *Mathcad*.
3. Desplegar resultados mediante ejemplos realizados en el programa *Mathcad*, para su mayor comprensión.
4. Comparar mediante programas de diseño estructural los resultados obtenidos.
5. Facilitar al análisis y diseño de muros de corte de concreto reforzado con aberturas, mediante el desglose del diseño en el programa *Mathcad*.





## INTRODUCCIÓN

La utilización de programas de computadora para el diseño de elementos estructurales ha venido a ser una herramienta muy útil en el trabajo del ingeniero estructural. Actualmente con el uso de diferentes programas de computación, es posible diseñar losas, vigas, columnas, muros de corte, entre otros.

Para el diseño de muros de corte con aberturas de concreto reforzado, es necesario una serie de cálculos extensos, los cuales se reducirían sustancialmente con el uso de programas o *software* especializados. Por lo anterior, se propone el uso de una hoja de cálculo, derivada de dicho *software*, para el diseño de dicho elemento estructural, con lo cual se obtendrá una herramienta profesional y de uso estudiantil, que proporciona información del diseño de muros de corte con aberturas de concreto reforzado.

El presente trabajo de graduación se basa en la comprobación de resultados de método ACI 318-2014, para el diseño estructural de muros de corte de concreto reforzado con aberturas en el cual se utiliza el programa *Mathcad*, para la realización de los cálculos matemáticos de las fórmulas respectivas solicitadas por la norma ACI 318-2014, dejando dentro del mismo citadas las secciones de la normativa en el diseño estructural.

El capítulo uno se refiere a los conceptos o definiciones utilizadas, la aplicación de los muros, los cuales son dispuestos para resistir cargas laterales sísmicas. La aplicación y comportamiento del muro ante cargas gravitacionales

y laterales, las dimensiones más empleadas y espesores, cuantificación de los muros en cuanto su relación y aspecto.

El capítulo dos describe qué es y para qué se utiliza el programa *Mathcad*, las ventajas de utilizarlo usando operadores matemáticos, barras de herramientas, cómo se calcula, descripción de los operadores tipo boolean y operadores condicionantes estos últimos son su mayor potencial, para utilizarlo en la programación de operaciones más complejas.

El capítulo tres detalla el algoritmo para la realización del diseño del muro de corte con abertura, indicando con el ingreso de las propiedades geométrica del muro, ingreso de propiedades de diseño del muro y los cálculos respectivos, paso a paso del diseño estructural.

Se presenta también la propuesta de diseño de un muro ejemplar con el mismo ancho y altura, con diferentes dimensiones de abertura para ver su comportamiento ante el cambio de dimensiones de la abertura.

El siguiente capítulo incluye el diagrama de esfuerzo y momentos, según ETABS 2016, para las cargas iniciales propuestas para el ingreso de datos, y, por último, para cada muro se realiza un diagrama de diseño, utilizando gráficos de jerarquía como el algoritmo realizado descrito anteriormente. Dicho gráfico describe paso a paso, según la elección de diseño, dos opciones; la primera como un muro en conjunto y la segunda proponiendo vigas de acople.

El último capítulo el despliegue de los resultados obtenidos en *Mathcad*, así como presentación y comprobación de resultados con el programa ETABS 2016 y el programa *Mathcad* del refuerzo requerido transversal y longitudinal.

# **1. MURO DE CORTE DE CONCRETO REFORZADO**

## **1.1. Definición**

Según Parker, debido a su rigidez en su plano, peso muerto y elevada resistencia, con frecuencia, se utilizan muros de corte para arriostrar edificios contra los efectos de fuerzas horizontales de viento y sismo. Aun cuando se utilicen otros sistemas de arriostramiento, la rigidez de los muros de concreto hace que sea lo que resista las cargas laterales, debido a su resistencia elevada a la deformación. (Parker, 2008)

El diseño de muros de cortante para resistencia a efectos de fuerzas sísmicas requiere muchas consideraciones con respecto al proyecto de un edificio. Determinación de las cargas, diseño del sistema general resistente a fuerzas laterales, anclaje de los componentes del sistema y análisis de los muros para diseño. (AMBROSE, 2008).

## **1.2. Aplicación**

Según (McCormac, 2011) dice que: en edificios altos es necesario proveer de una rigidez adecuada para resistir las fuerzas laterales causadas por sismo. Cuando tales edificios no son adecuadamente diseñados, debido a estas fuerzas pueden presentarse esfuerzos muy altos, vibraciones y deflexiones laterales. Los resultados pueden incluir no solo molestias a sus ocupantes sino severos daños a la estructura.

Cuando es posible la aplicación de considerables cargas horizontales como las que genera un sismo, se utilizan muros estructurales de concreto reforzado (también llamados muros de cortante). Los muros de concreto que encierran las escaleras y los núcleos del ascensor también pueden aprovecharse como muros de cortante.

### **1.3. Comportamiento**

(AMBROSE, 2008) dice que la sección transversal estrecha (es decir, ancho pequeño) indica que puede plantearse el problema de la inestabilidad del borde a compresión. Por lo general, las losas del piso de un edificio de niveles múltiples, dan apoyo lateral local; en consecuencia, se puede considerar que la carga crítica de Euler por pandeo, se determina con la altura de los pisos. Esto se puede demostrar con el concepto básico de la forma modal de una columna, sometida a una carga axial, que provoca el pandeo en una longitud, limitada por apoyos que restringen la rotación, o traslación, como las losas a los muros.

El muro cortante, estará sujeto a momentos flexionantes y fuerzas cortantes, por ello se puede evaluar la resistencia de la sección crítica del muro, a través de la relación de interacción momento - fuerzas axial.

Los muros resisten en planos paralelos a la fuerza y no resiste las fuerzas perpendiculares a su plano, por ello hay que colocarlos en direcciones perpendiculares, gracias a la capacidad inercial en ese sentido. Además, es esencial tener fundaciones adecuadas que dan fijación total a la base y suficiente conexión de los muros cortantes a cada piso para transmitir la carga horizontal.

#### **1.4. Dimensiones más empleadas**

(Medina, 2003), los largos están comprendidos entre 2 y 8 m con espesores de 15, 20 y 25 cm que son las más empleadas, cada una aplicada a la necesidad de la demanda estructural (Arnal, E. y Epelboim, S., 1985).

#### **1.5. Secciones transversales típicas**

Según (Briceño, 2013) se refiere a Frateli M (1999) , los muros se clasifican en cuanto a su relación de aspecto en:

- Muros bajos: cuando la relación de altura vrs longitud  $H/L < 2$
- Muros intermedios: cuando la relación de altura vrs longitud  $2 \leq H/L \leq 5$
- Muros altos: cuando la relación de altura vrs longitud  $H/L > 5$

#### **1.6. Muro de cortante con abertura**

Es frecuente que sea necesario dejar aberturas en los muros para permitir el paso o alojar los ductos. Esto origina concentraciones de esfuerzos en las esquinas de los huecos en los que se requiere colocar refuerzo especial. Si los huecos son de grandes dimensiones, es deseable colocar columnas embebidas en el espesor del muro. (Bazán, 2008).

#### **1.7. Muro en voladizo**

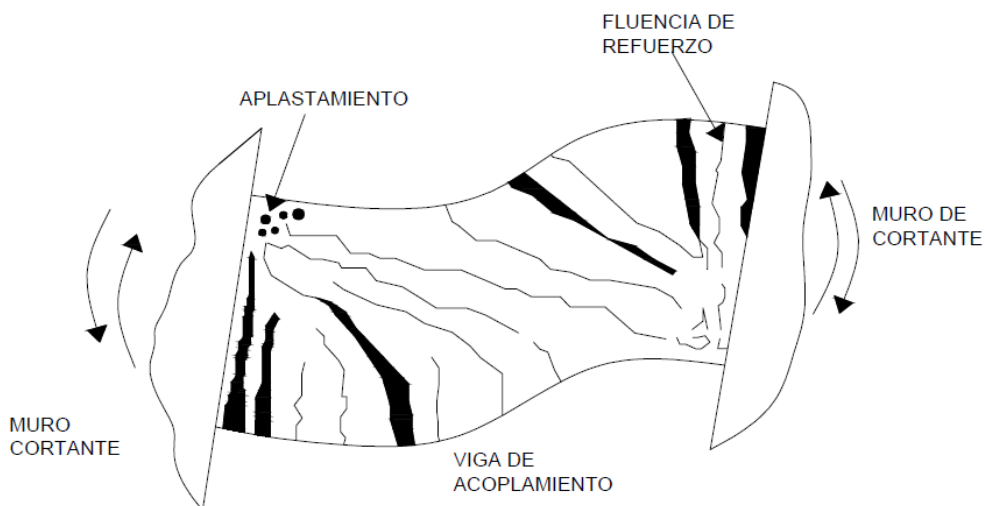
Los muros de corte actúan como vigas en voladizo empotradas en su base y estos a su vez transmiten la carga hacia la cimentación (Nilson A., 1999)

## 1.8. Viga de acople

Una forma muy eficiente de rigidización es mediante el uso de macro-marcos en los que los muros de rigidez, o contravientos, están acoplados por elementos horizontales (vigas de acople) de toda la altura del entrepiso (Bazán, 2008).

Generalmente, las aberturas (ventanas, puertas, etc.), se colocan en filas verticales y simétricas en los muros sobre la altura de la estructura. Las secciones de muro en los lados de estas aberturas se unen entre sí por medio de vigas encerradas en los muros, por las losas de los pisos o por una combinación de ambas. Como puede verse, el análisis estructural de tal situación es extremadamente complicado. Si bien los diseños de los muros de cortante son generalmente efectuados con ecuaciones empíricas, ellos pueden ser considerablemente afectados por la experiencia previa del proyectista (McCormac, 2011).

Figura 1. Esfuerzos en viga de acople

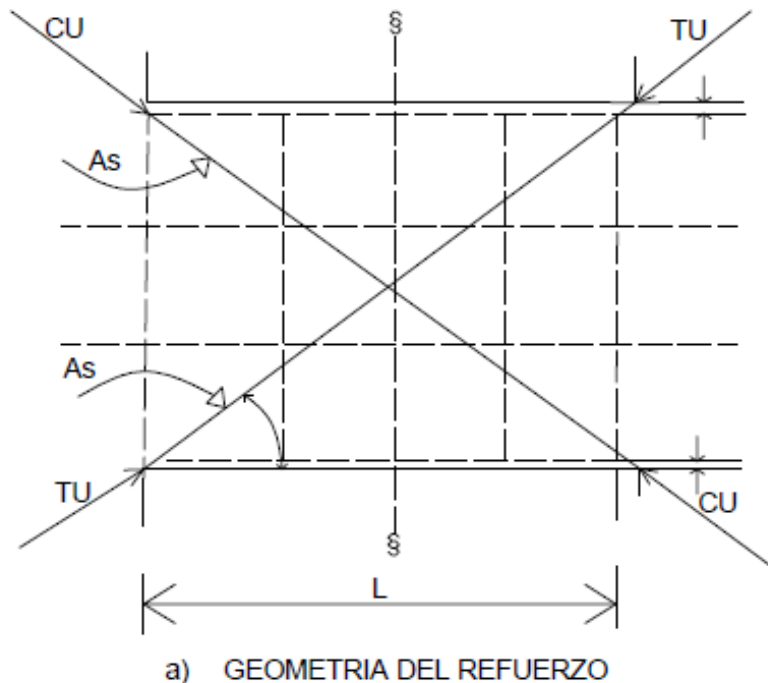


Fuente: (Alcocer, 1995)

## 1.9. Requisitos generales ACI 318-14

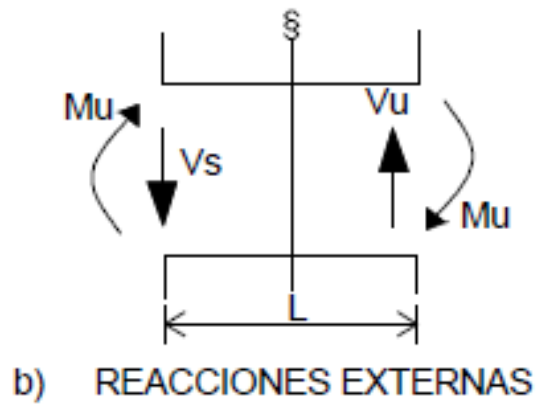
Según (ACI, 2014), fundamenta en la sección 18.10.7 deben reforzarse con dos grupos de barras dispuestas diagonalmente que se intersectan, colocadas en forma simétrica respecto al centro de la luz, a menos que se pueda demostrar que la pérdida de rigidez y resistencia de las vigas de acople no debilita la capacidad de la estructura para soportar carga vertical, o la evacuación de la estructura, o la integridad de los miembros no estructurales y sus conexiones con la estructura. Este diseño fue incorporado por el código ACI 318, a partir de su versión del año 1999 (Escobar J. , 2008).

Figura 2. **Modelo de Paulay y Binney geometría del refuerzo**



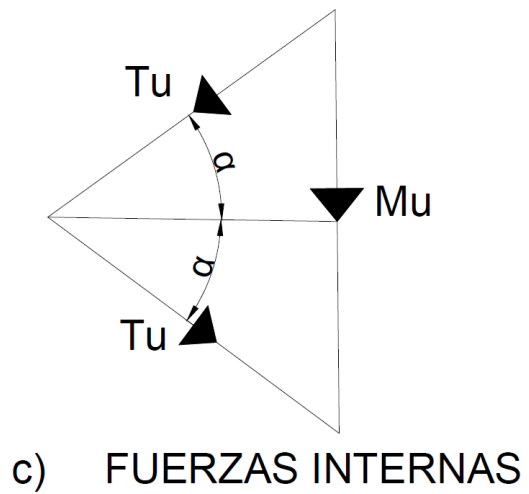
Fuente: (Paulay, 1992)

Figura 3. **Modelo de Paulay y Binney reacciones externas**



Fuente: (Paulay, 1992)

Figura 4. **Modelo de Paulay y Binney fuerzas internas**



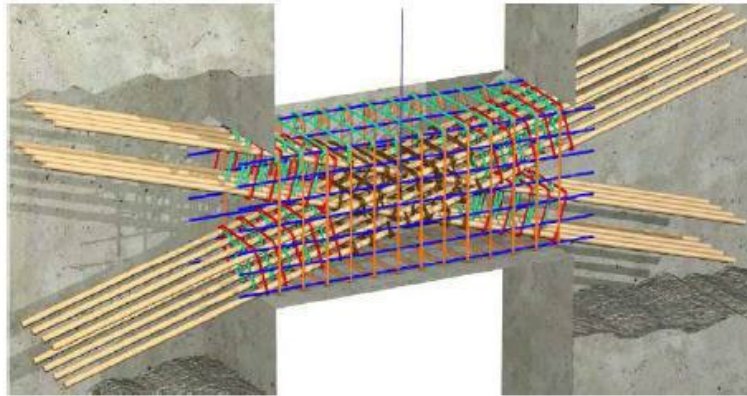
Fuente: (Paulay, 1992)



Diversos investigadores han planteado soluciones alternativas a las disposiciones de armadura diagonal. Pese a que existe consenso en que se trata de un buen diseño desde el punto de vista de la capacidad, ductilidad y disipación de energía, las críticas apuntan a las dificultades constructivas relacionadas con esta solución. Debido al nivel de detalles (ver Figura 3), que incluye además de las diagonales, armadura horizontal y vertical para confinar la sección y estribos para confinar las mismas diagonales, se produce una congestión de armaduras que condiciona el espesor de la viga, el cual no siempre está disponible para los requerimientos de ingeniería. Por otra parte, los refuerzos deben ir anclados en los muros vecinos, donde además existen otras armaduras a flexo-compresión y corte, propias del muro, que también ocupan el espacio disponible y que se deben compatibilizar con las del dintel. Todo lo anterior redundará en mayores costos y tiempos de construcción debido a la complejidad de su materialización en terreno (Escobar J. , 2008).

(ACI, 2014), Los experimentos demuestran que el refuerzo orientado diagonalmente únicamente es efectivo si las barras están colocadas con una gran inclinación. Por lo tanto, las vigas de acople con refuerzo diagonal están restringidas a vigas que tengan una relación de aspecto  $L_n/h < 4$ . En la sección 18.10.7.4 Las vigas de acople reforzadas con dos grupos de barras que se intersectan diagonalmente colocadas en forma simétrica respecto al centro de la luz deben cumplir con (a), (b) y ya sea con (c) o con (d). No se necesita cumplir con los requisitos de 9.9: Este valor limita la tensión de corte en vigas de acople  $V_n = 2A_{vd} f_y \sin \alpha \leq 10 \sqrt{f'_c} A_{cw}$ .

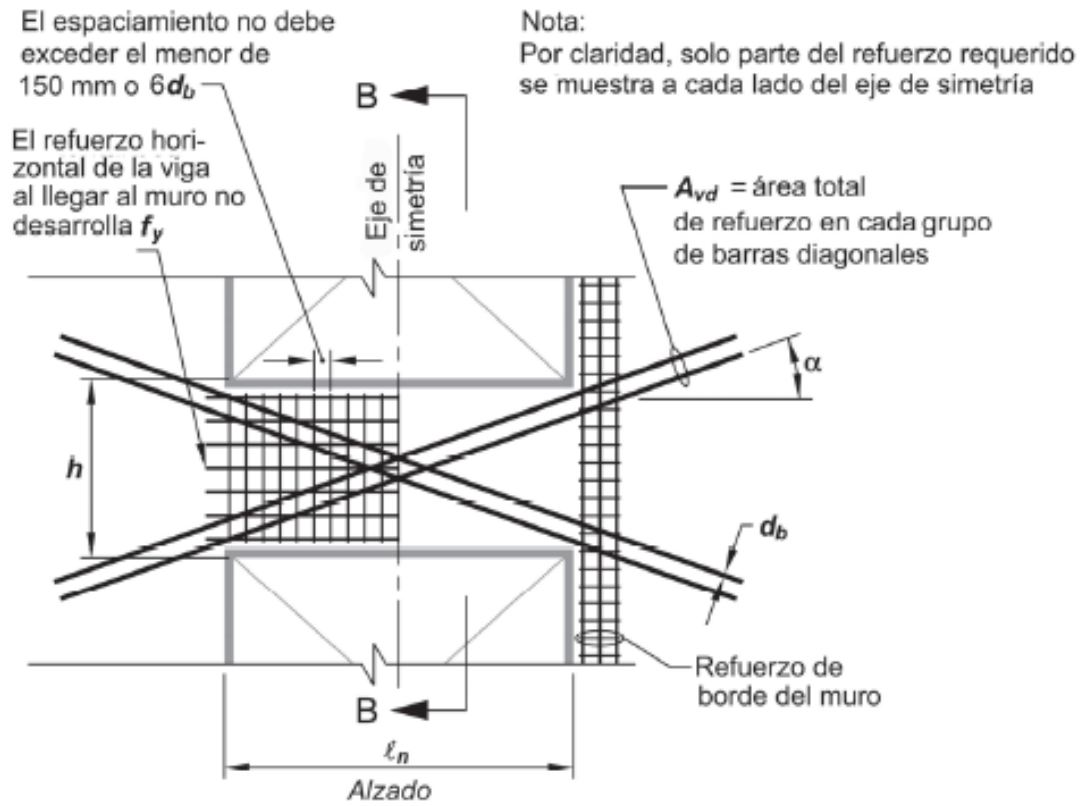
Figura 5. **Detalle de viga de acople armada**



Fuente: (ACI, 2014)

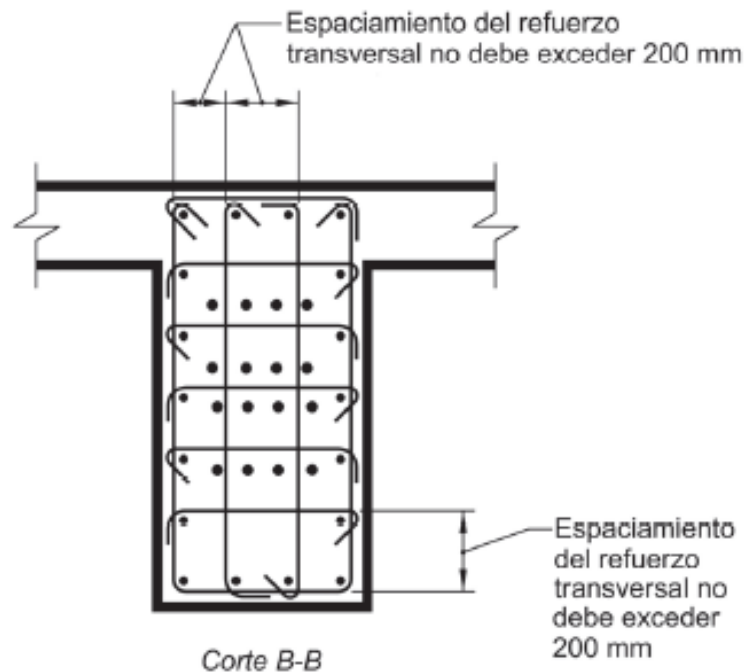
Dice (Escobar J. , 2008), La figura 5 se muestra un corte y una elevación tomada de donde se detalla el diseño alternativo a la opción tradicional. En lugar de estribar el grupo de barras definido por  $A_{vd}$ , se permite confinar mejor la sección de la viga que contiene las diagonales. Se coloca una malla menos espaciada como armadura transversal y ganchos en el plano de la sección. El refuerzo utilizado como malla y que se dispone a lo largo de la viga no se ancla a tracción en los muros adyacentes, puesto que se considera que no desarrolla la fluencia, esto quiere decir que su papel es solo confinar y no requieren estar desarrollados en los muros como el caso de las diagonales. Este diseño simplificado lo aplica el código como una opción válida para el diseño.

Figura 6. **Diseño alternativo para vigas de acople, según ACI**



Fuente: (ACI, 2014)

Figura 7. **Diseño alternativo para vigas de acople, según ACI**



Fuente: (ACI, 2014)

### 1.10. Muros con vigas de acople

(Medina, 2003), “Las vigas de acoplamiento, generalmente cortas y altas, son más débiles que los muros, los muros se comportan como voladizos, imponiendo a las vigas rotaciones en sus extremos”.

El mecanismo de falla se inicia con la fluencia de las vigas de acoplamiento sistemas estructurales muy eficientes, especialmente capaces de desarrollar altos niveles de deformaciones y disipar energía en el rango no lineal, especialmente en las vigas de acoplamiento (Medina, 2003).

Los elementos de acoplamiento al poner restricciones a la deformación angular del muro actuando como voladizo, rigidizan al sistema y modifican su comportamiento. La deformación forzada impuesta por los muros en los elementos horizontales de acoplamiento genera en estos, momentos de flexión y fuerzas de corte. El dimensionamiento y diseño de los elementos, debe llevar a sistemas que formen rotula plástica; primero en los extremos de los elementos de acoplamiento que actúan como disipadores primarios de energía en tanto que los muros permanecen elásticos. En muchos casos las proporciones de las vigas de acoplamiento (relaciones de luz libre a peralte pequeñas) las conducen a un comportamiento frágil y les impide actuar de disipadores efectivos de energía; para garantizar que estos elementos tengan el comportamiento supuesto en el análisis. En los muros acoplados, al igual que en los muros en voladizo, debe orientarse el diseño de manera de forzar la formación de rotulas plásticas solo en su base (Medina, 2003).

### **1.11. Localización**

(Medina, 2003), “Muros individuales pueden estar sujetos a desplazamientos axiales, traslacionales y torsionales. Para saber cuál muro contribuirá a la resistencia del volcamiento, fuerzas de corte y torsión de piso depende de su configuración geométrica, orientación y localización dentro del plano del edificio”.

(Medina, 2003), “En colaboración con el arquitecto y el ingeniero estructural debe estar en posición de sugerir la localización más deseable de los muros, para optimizar la respuesta sísmica.

La principal consideración debe ser la simetría de las rigideces, la estabilidad torsional y la capacidad disponible de volcamiento de la fundación.

También es deseable que la deformación inelástica se distribuya razonablemente uniforme”.

Dice (Medina, 2003): para escoger la mejor ubicación de los muros estructurales se requiere un planteamiento cuidadoso para evitar fuertes torsiones, por lo que debe realizar lo siguiente:

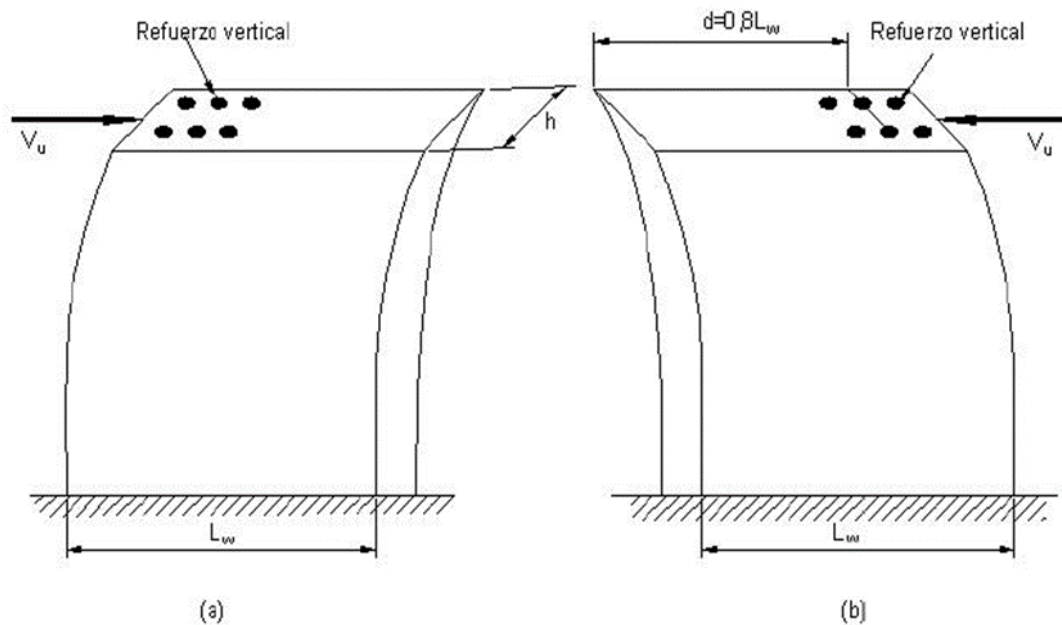
- Hacer una distribución regular de los muros, estableciendo simetría preferente.
- Procurar que los centros de masas y rigideces deben estar los más cerca posibles.
- Para mejor resistencia torsional se deben colocar en la periferia de la planta.
- En edificios de muchos pisos sobre zonas de alto riesgo sísmico, una concentración de toda la fuerza lateral en solamente uno o dos muros implica introducir grandes fuerzas a las fundaciones, por lo que se requiere una fundación muy grande.
- En edificios de altura media, la sección transversal no debe variar con la altura. En dado caso se puede reducir el espesor del muro.
- Las plantas deben coincidir de un nivel al otro.
- Los grandes muros tienden a limitar la flexibilidad en la distribución de los espacios internos, por lo que se recomienda en edificios de oficina, colocar las pantallas limitando las áreas de circulación vertical y de servicios.
- Los sistemas de fachada resistente, si bien condicionan bastante el aspecto externo del edificio, facilita mucho la organización del espacio interno.

### 1.12. Refuerzo de muros de corte

(Suarez, 2009), “La figura de abajo 1.5, muestra un muro cortante sometido a una fuerza cortante  $V_u$ . El muro es en realidad una viga en voladizo de ancho  $h$  y profundidad total  $L_w$ . En la parte de la figura (a) el muro esta flexionado por el  $V_u$  de izquierda a derecha, por lo que se requieren barras de tensión a la izquierda o lado a tensión”.

Según (Medina, 2003) dice: lo mismo ocurre si  $V_u$  es aplicada a izquierda, entonces se requerirá acero en el lado derecho sometido a tensión. Se ve entonces en la figura 7, que un muro de cortante necesita refuerzo de tensión en ambos lados, ya que  $V_u$  puede actuar desde cualquier dirección.

Figura 8. Flexión de muros



Fuente: (Suarez, 2009).

Dice (Suarez, 2009): un muro cortante actúa como una viga vertical en voladizo y al proporcionar soporte lateral queda sometido a flexión y fuerzas cortantes. Para tal muro, la fuerza cortante máxima es  $V_u$  y el momento flexionante máximo es  $M_u$ , los cuales se calculan en la base.

La fuerza cortante es más importante en muros con relaciones pequeñas de altura a longitud. Los momentos son más importantes en los muros altos particularmente en aquellos con refuerzo distribuido uniformemente.

Es necesario proporcionar a los muros de cortante, refuerzo cortante tanto horizontal como vertical. El comentario anterior establece que en muros de poca altura el refuerzo es más importante el cortante vertical. Y en muros de gran altura la situación es al revés.

Cuando haya aberturas las barras de refuerzo se colocan alrededor de las mismas, ya sea que el análisis estructural lo considere necesario o no. Tal práctica es necesaria para prevenir grietas por tensión diagonal que tienden a desarrollarse en forma radial desde las esquinas de las aberturas.

### **1.13. Requisitos y normas específicos del ACI 318-2014 para diseños de muro de corte**

Los requisitos son catorce todos se basan en un principio, según (ACI, 2014):

Donde la fuerza de corte lateral sísmica debe ser igual o menor a la resistencia de corte permisible del muro.



### 1.13.1. Previsiones del ACI para muros de corte

- El corte factorizado debe ser menor o igual al corte de diseño del muro.

#### Ecuación 1: Corte factorizado

$$V_u \leq \phi V_n$$

Fuente: (Medina, 2003)

- El corte de diseño debe de ser menor o igual a el corte que resiste el concreto más el corte que resiste el acero.

#### Ecuación 2: Corte Último

$$V_u \leq \phi V_c + \phi V_s$$

Fuente: (Medina, 2003)

- Corte resistente  $V_n$  horizontal en el plano del muro no será mayor que:

#### Ecuación 3: Corte horizontal

$$\phi * 0.25 \sqrt{f'_c} * b * d$$

Fuente: (Medina, 2003)

- Para el diseño de fuerzas de corte  $d$  ó el peralte debe ser igual a 0.80  $l_w$ , donde  $l_w$  es la longitud horizontal del muro a rostro de las caras de los apoyos, de lo contrario si y solo si se justifica mediante un análisis de deformaciones.
- (ACI, 2014) define a menos que se analice más detalladamente  $V_c$  no debe de ser mayor a  $2\lambda \sqrt{f'_c} * b * d$  cuando se aplique carga axial factorizada  $N_u$  el valor de  $V_c$  no debe de exceder el valor de la siguiente ecuación:

**Ecuación 4: Corte del concreto**

$$0.53 \left( 1 + \frac{N_u}{35A_g} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_w d$$

Fuente: (ACI, 2014)

- El valor  $V_c$  debe de tomarse como el más pequeño que se obtenga de las dos ecuaciones siguientes, donde  $N_u$  es la carga axial factorizada perpendicular a la sección transversal, debe considerarse positiva para compresión.

**Ecuación 5: Corte de concreto factorizado (1)**

$$V_c = 0.88 \lambda \sqrt{f'_c} h d + \frac{N_u d}{4 \ell_w}$$

Fuente: (ACI, 2014)

**Ecuación 6: Corte del concreto factorizado (2)**

$$V_c = \left[ 0.16 \lambda \sqrt{f'_c} + \frac{\ell_w \left( 0.33 \lambda \sqrt{f'_c} + \frac{0.2 N_u}{\ell_w h} \right)}{\frac{M_u}{V_u} - \frac{\ell_w}{2}} \right] h d$$

Fuente: (ACI, 2014)

La primera de estas ecuaciones fue desarrollada para predecir la resistencia al agrietamiento inclinado en cualquier sección de un muro de cortante, que corresponda a un esfuerzo de tensión principal de alrededor de  $\sqrt{f'_c}/3$  en el centroide de la sección transversal del muro. La segunda ecuación fue formulada para corresponder a la presencia de un esfuerzo de tensión por

flexión de  $2(f'c)/3$  en una sección  $lw/2$  arriba de la sección siendo investigada. Si  $M_u/lw - Lw/2$  fuera negativa, la segunda ecuación no tendrá sentido y no se usará.

- Los valores  $V_c$  calculados en las dos ecuaciones anteriores a una distancia desde la base igual a  $lw$ , el valor menor se utilizará para todo el procedimiento en toda la sección del muro.
- Si el cortante fuera mayor, a  $\phi V_c/2$  calculada como se describe anteriormente, se le agregara una cantidad mínima de refuerzo horizontal y vertical.
- Si  $V_u$  es más grande que  $\phi V_c/2$  el refuerzo que requiere el muro será como dice en el código.
- Si la fuerza de corte factorizada  $V_u$ , es mayor a la resistencia de corte  $\phi V_c$  el valor de  $V_s$  debe determinará con la siguiente expresión, donde  $A_s$  es el área del refuerzo de corte horizontal y  $S_2$  es la separación del refuerzo por corte o torsión en la dirección perpendicular al refuerzo horizontal.

**Ecuación 7: Corte último del acero**

$$V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{s}$$

Fuente: (ACI, 2014)

- La cuantía por corte horizontal  $\rho_h$  (que es un porcentaje del área total de la sección transversal de concreto) no será menor que el valor resultante de la siguiente ecuación, que no debe ser menor que 0.0025.

**Ecuación 8: Cuantía horizontal**

$$\rho_\ell \geq 0.0025 + 0.5 \left( 2.5 - \frac{h_w}{\ell_w} \right) (\rho_t - 0.0025)$$

Fuente: (ACI, 2014)

En muros con más altura el refuerzo vertical es menos eficaz que en los muros más bajos. Este hecho se refleja en la ecuación siguiente, donde para muros con una relación altura/longitud menor que 0.5, la cantidad necesaria de refuerzo vertical es igual al refuerzo horizontal requerido. Si la relación es más grande que 2.5, se requiere solamente la cantidad del refuerzo vertical (que es .00025 S1d).

- La separación máxima del refuerzo por cortante vertical S1 no deberá ser mayor que  $l_w / 3$  ni que  $3h$ , ó 450 mm.

**Ecuación 9: Corte último**

$$Vu \leq \phi V_n = \phi V_c + \phi V_s$$

Fuente: (ACI, 2014)

**1.13.2. Otros requisitos del reglamento ACI 318-2014**

**1.13.2.1. Cuantía mínima para refuerzo vertical**

Según (ACI, 2014), “la cuantía mínima para refuerzo vertical  $\rho_t$ , es”:

- 0.0012 para barras corrugadas no mayores que No. 5 con  $f_y$  no menor que 4200 kg/cm<sup>2</sup>, o
- 0.0015 para otras barras corrugadas, o
- 0.0012 para refuerzo electrosoldado de alambre liso o corrugado no mayor que MW200 ó MD200.

#### **1.13.2.2. Cuantía mínima para refuerzo horizontal**

La cuantía mínima para refuerzo horizontal,  $\rho_t$ , es:

- 0.0020 para barras corrugadas no mayores que No. 5 con  $F_y$  no menor que 4200 Kg/cm<sup>2</sup>, o
- 0.0025 para otras barras corrugadas, o
- 0.0020 para refuerzo electrosoldado de alambre lisos o corrugado no mayor que MW200 y MD20.
- Las cuantías mínimas anteriores están dispuestas, según (ACI, 2014).

#### **1.13.2.3. Capas paralelas dentro del muro mayor a 25 cm 15 pulgadas**

La colocación del refuerzo del muro en cada dirección colocada en dos camas paralelas a las caras del muro de acuerdo a:

- Una cama que consiste que no sea menor a 1/2, y mayor que 2/3 del refuerzo total requerido para cada dirección, debe colocarse a una distancia no menor que 5 cm o 2 pulgadas ni mayor a 1/3 del espesor del muro, a partir de la superficie exterior.

- La otra cama, que tiene el resto del refuerzo requerido en esa dirección, debe colocarse a una distancia menor que 5 cm ni mayor que 1/3 del espesor del muro, a partir de la superficie interior.

#### 1.13.2.4. Espaciamiento

El refuerzo vertical y horizontal el espaciamiento no debe de ser mayor que de tres veces el espesor del muro, ni de 45 cm. Según (ACI, 2014) .

#### 1.13.2.5. Aspectos sísmicos

Entre los que aplican a los muros en el diseño por medio del programa, Mathcad, se toman los siguientes:

- Si  $V_u$  excede a el valor de:

**Ecuación 10: Corte último sísmico**

$$V_u > 0.53 A_{cv} \lambda \sqrt{f'_c} \text{ o } h_w / \ell_w \geq 2.0$$

Fuente: (ACI, 2014).

- El refuerzo en los muros de corte debe tener la longitud de desarrollo adecuado para  $f_y$  o resistencia a la fluencia mínima, de acuerdo con (ACI, 2014), excepto que: se debe permitir que la altura efectiva del elemento que se menciona en el (ACI, 2014) en 21.2 sea  $0.8 l_w$ , para muros y en lugares donde es probable que se produzca la fluencia del refuerzo longitudinal como resultado de los desplazamientos laterales,

las longitudes de desarrollo del refuerzo longitudinal debe ser 1.25 veces los valores calculados para  $f_y$  en tracción, según (ACI, 2014).

- $V_n$ , de muros estructurales no debe exceder:

**Ecuación 11: Corte nominal**

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

Fuente: (ACI, 2014)

- En el párrafo anterior el valor de la relación  $h_w/l_w$  utilizada para determinar  $V_n$  en cualquier parte del muro.
- Los muros deben tener refuerzo por corte distribuido que proporcione resistencia en dos direcciones perpendicular en el plano del muro. Si  $h_w/l_w$  no excede de 2.0, la cuantía de refuerzo  $\rho_l$  no debe ser menor que la cuantía de refuerzo  $\rho_t$ , según (ACI, 2014).
- Para todos los machones que comparten una fuerza lateral común,  $V_n$  no debe ser mayor que  $0.66 \cdot A_{cv} \cdot \sqrt{f'_c}$ , donde  $A_{cv}$  es el área bruta de concreto referida por el ancho del alma del muro y la longitud de la sección. Para cualquiera de los machones individuales,  $V_n$  no debe ser mayor que  $0.83 \cdot A_{cw}$ , donde  $A_{cw}$  representa el área de la sección transversa del concreto del machón considerado, según (ACI, 2014)
- Para segmentos horizontales de muro y vigas de acople,  $V_n$  no debe ser mayor que  $0.83 \cdot A_{cw} \cdot \sqrt{f'_c}$  donde  $A_{cw}$  representa el área de la sección de concreto del segmento horizontal de muro o viga de acople, según (ACI, 2014).

### **1.13.2.6. Flexión y compresión**

Para el diseño a flexión y compresión debe basarse en (ACI, 2014), donde se deberán de cumplir los conceptos básicos de compresión y flexión.

### **1.13.2.7. Vigas de acople**

Las vigas de acople con  $(l_n/h) < 2$  y con  $V_u$  que exceda de  $0.33\sqrt{f'_c}A_{cw}$  se reforzará con dos grupos de barras que se intersecten diagonalmente, colocadas en forma simétrica respecto al centro de la luz, a menos que se demuestre que la pérdida de rigidez y resistencia de las vigas de acople no debilitará la capacidad de la estructura para soportar carga vertical, o la evacuación de la estructura, o la integridad de los elementos no estructurales y sus conexiones con la estructura, según (ACI, 2014).

### **1.13.2.8. Elementos de borde**

Cuando se aplican cargas laterales por sismos o vientos, los cuales actúan sobre los muros de corte, estos se comportan como una viga en voladizo, por lo que, en la base, donde fueron aplicadas las cargas existirán esfuerzos de tensión y en el lado contrario existirán esfuerzos de compresión. Se tomará en cuenta que las cargas pueden actuar con sentido contrario y su dirección es aleatoria, por lo que al diseñar estos elementos hay que considerar los esfuerzos de tensión y compresión en cualquier parte del muro, según (ACI, 2014).

Además de considerar que los muros pueden estar sometidos a cargas gravitacionales producidas por las cargas vivas y cargas muertas, las cuales



producen cargas de compresión, lo que puede originar pandeo en el elemento, debido a su poco espesor en la sección transversal del muro o espesor.

Por eso a veces se considera incluir dentro de la sección del muro elementos rigidizantes en sus esquinas, para así evitar el pandeo y que el muro se comporte más dúctil ante las solicitaciones actuantes, estos son llamados elementos de borde.

Los elementos de borde pueden estar dentro del espesor del muro o dependiendo de la flexión causada y si la cuantía de acero es mayor que la permitida, se puede requerir agrandar los extremos del muro.

La norma según (ACI, 2014), explica que para muros estructurales que no sean diseñados cuando el esfuerzo a compresión máximo de la fibra extrema, correspondiente a las combinaciones de carga de diseño que incluyen efectos sísmicos  $E$ , sobrepasen  $0.2 f_c$ , los elementos especiales de borde pueden ser descontinuados donde el esfuerzo de compresión calculado sea menor que  $0.15 f_c$  los esfuerzos deben calcularse usando un modelo lineal elástico y las propiedades de la sección bruta. Para muros con alas, debe usarse un ancho de ala efectiva como se define en (ACI, 2014).



## 2. PROGRAMA MATHCAD

Según (*Mathcad, 14*), el programa en la sección de ayuda dice lo siguiente:

### 2.1. *Mathcad* versión 14

(*Mathcad, 14*), es uno de los llamados "*Computer algebra System (CAS)*". Estos programas se caracterizan por su potente habilidad gráfica y por ello son muy útiles en la enseñanza de la física y las matemáticas apoyada por el computador.

Es una poderosa herramienta que crea un entorno de trabajo que permite el uso de las matemáticas para los cálculos de ingeniería, científicos y técnicos, así como para el manejo y la documentación de proyectos técnicos.

En *Mathcad* es posible combinar ecuaciones, cálculos (numéricos y simbólicos), gráficas y texto. Estas características y su presentación e íconos facilitan su uso, lo hacen casi intuitivo.

Puede utilizar *Mathcad* para ejecutar, documentar y compartir cálculos y trabajos de diseño. El formato visual y la interfaz de bloc de notas de *Mathcad* integran notaciones matemáticas estándar, texto y gráficos en una única hoja de trabajo, lo que convierte a *Mathcad* en la aplicación ideal de captura de conocimientos, reutilización de cálculos y cooperación de ingeniería. *Mathcad* permite diseñar y documentar sus trabajos de ingeniería con cálculos de unidades.

## **2.2. Ventajas**

Al contrario de las hojas de cálculo, se pueden seguir fácilmente el flujo de los cálculos. Sumado a esto, las fórmulas matemáticas, comentarios, unidades y gráficos, se documentan y se utilizan tal cual como se ven en la pantalla y son muy similares a la manera de hacer los cálculos a mano. El cálculo es más que trabajar solo con números, en Mathcad se puede trabajar también con unidades.

Las modificaciones de las entradas a las fórmulas son muy fáciles y el cómputo es instantáneo.

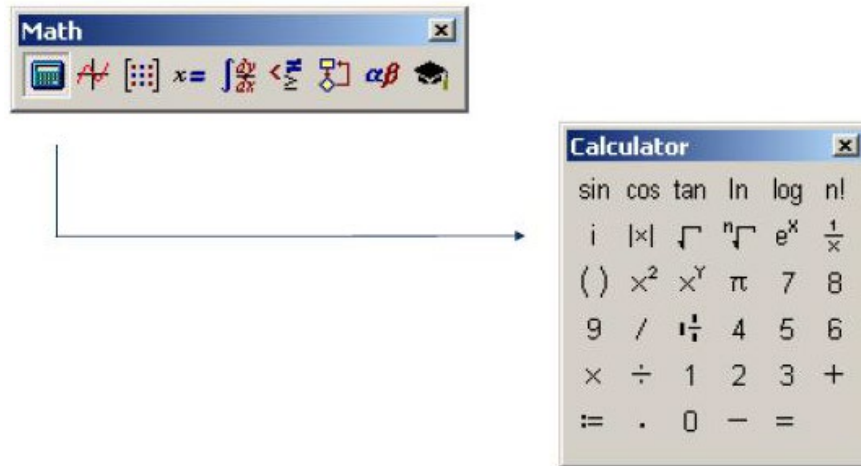
## **2.3. Elementos del programa a utilizar**

Entre los elementos principales del programa a utilizar están:

- Los operadores aritméticos comunes.

En la barra de herramientas del programa se pueden encontrar los operadores aritméticos más utilizados, tales como los que se ven en la figura 8.

Figura 9. Operadores aritméticos comunes

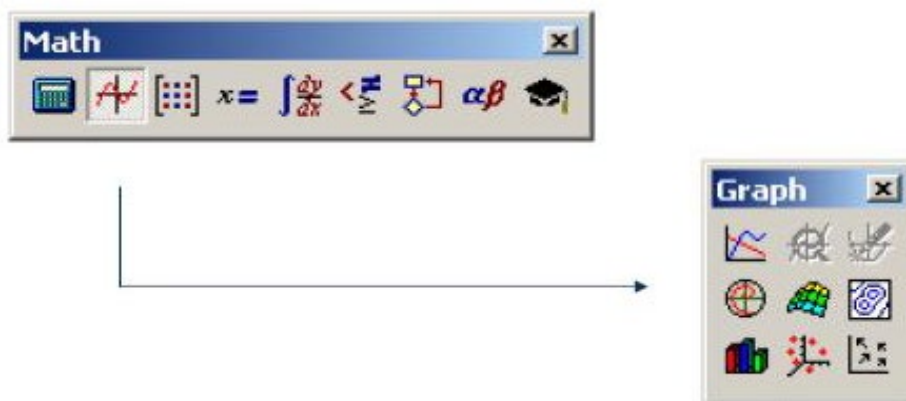


Fuente: (Mathcad, 14)

- Tipos de gráficos

En la barra de herramientas se puede encontrar la casilla de tipos de gráficos 2D y 3D, utilizados para superficies y representaciones.

Figura 10. Tipos de gráficos 2D y 3D

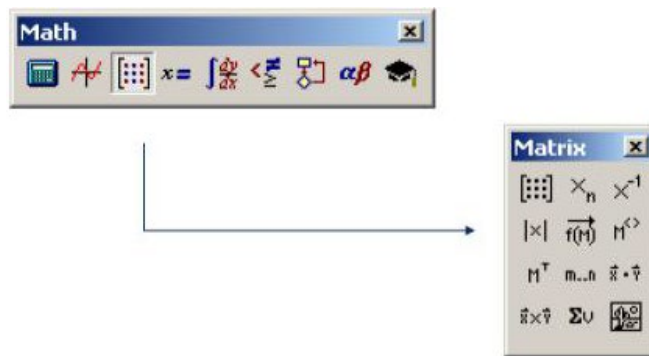


Fuente: (Mathcad, 14)

- Operadores matriciales y vectoriales

Herramienta utilizada para resolución de matrices y sus operaciones con efectivos resultados.

Figura 11. Operadores matriciales y vectoriales

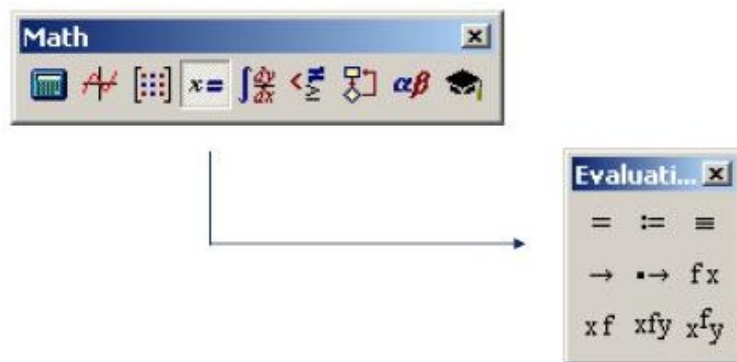


Fuente: (ACI, 2014)

- Evaluación

Evaluación de ecuaciones matemáticas, con diferentes opciones.

Figura 12. Operadores de evaluación, (Mathcad, 14)



Fuente: (ACI, 2014).

- Cálculo

Resolución de problemas de cálculo

Figura 13. Operadores de cálculo

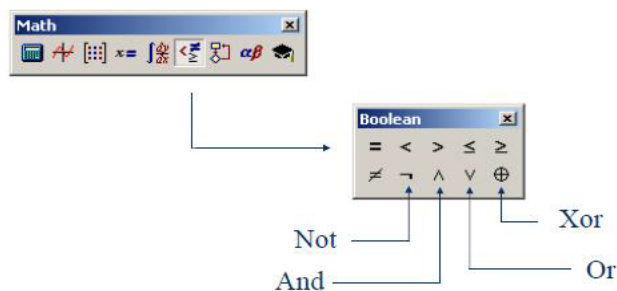


Fuente: (Mathcad, 14).

- Operadores Boolean

Los operadores Boolean, que sirven para apoyar alguna programación de determinado algoritmo matemático.

Figura 14. Operadores boolean, (Mathcad, 14)

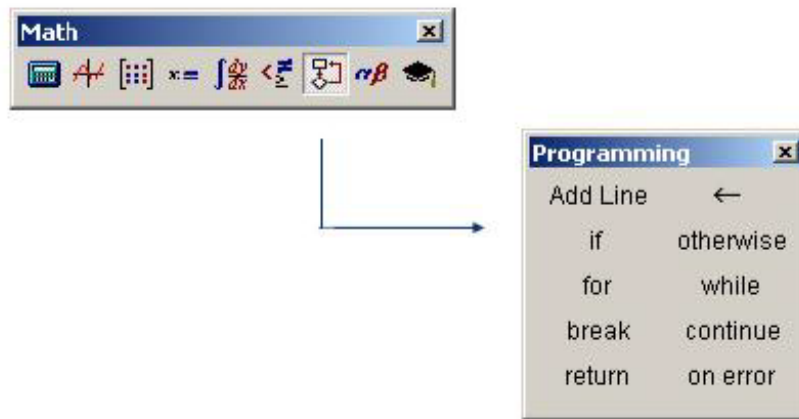


Fuente: (ACI, 2014).

- Programación

Opciones de programación para realizar operaciones condicionadas.

Figura 15. Operadores de programación



Fuente: (Mathcad, 14).

Éste es el mayor potencial del programa que permite al calculista realizar sus diseños o plantillas de los mismos de una manera eficaz, ya que éste permite evaluar directamente de las fórmulas y dirigirlas al procedimiento requerido según se desee, y es por ésta particular característica del programa y sumado a su excelente presentación a la hora de requerir desplegar datos de cálculo como un reporte.



### **3. DISEÑO ESTRUCTURAL DEL MURO DE CORTE DE CONCRETO REFORZADO EN *MATHCAD***

#### **3.1. Algoritmo del diseño estructural del muro de corte**

Según las necesidades del diseño del muro de corte, que van desde el ingreso de datos hasta la propuesta de armado; el programa *Mathcad* proporciona herramientas para verificar el cumplimiento de requisitos, que están descritos en 1.13, que a continuación se describe su estructura:

#### **3.2. Esquema del programa**

El programa está compuesto básicamente por dos partes: el diseño del muro y el diseño de la viga de acople. Al recibir los datos del análisis estructural del sistema resuelto, calculará los refuerzos necesarios para cada elemento independiente.

Este programa como función, diseña los muros con mayor rapidez, independientemente de la forma general del edificio o estructura, ingresando los datos por separado requeridos en el programa.

#### **3.3. Ingreso de datos**

El programa está dispuesto en la primera parte, con la elección del diseño, según la concepción estructural del muro; seguido con el ingreso de propiedades geométricas, mecánicas y esfuerzos principales a los cuales está sometido el muro. Igualmente, el ingreso de datos de la viga de acople en una

segunda parte, en donde el sistema de unidades internacional es el utilizado. El diseño del muro consta de dos fases principales, el muro y la viga de acople que tienen como algoritmo, el ingreso de datos, estos son los esfuerzos a los que están sometidos. En este caso, los momentos flexionantes y corte a los cuales está sometida la viga, según el resultado del análisis estructural del sistema, en donde es independiente al método. Para fines de ejemplo se toman los datos de los resultados del análisis de un muro con una abertura.

Seguidamente, con el diseño del muro, cada cálculo está justificado según la norma (ACI, 2014), finalmente se obtiene la propuesta estructural requerida del diseño, y que el diseñador chequeará, según los requerimientos arquitectónicos y estructurales, para su final aprobación.

### **3.4. Condiciones**

El programa de *Mathcad*, se basa en el cálculo con el chequeo de esfuerzos, en función del cumplimiento de requisitos, por medio de condiciones, a través de las herramientas boolean del programa. Para cada condición no cumplida desplegará un mensaje erróneo, y para cada condición chequeada, dará un mensaje “ok” o “error”, incluso la recomendación a tomar, que al final se deberá de chequear todo el programa, donde de no ser así, se deberá modificar las propiedades geométricas o mecánicas,

### **3.5. Propuesta de armado**

Como parte final y objetiva del programa, se despliega la propuesta de armado del muro conjunto con la viga de acople a criterio del diseñador, en función a la norma, deberá de verificar la conveniencia del armado.

### **3.6. Guía de uso**

El programa desplegará los resultados o propuestas de armado correctos, en función a la concepción estructural y cumplimientos de normas que aplican al muro a diseñar. Como principal punto de partida, el programa al inicio solicita las dimensiones del muro desde la base o elemento a diseñar, hasta la altura de diseño, donde automáticamente, el programa clasificará al muro, recomendando su diseño como muro en conjunto o diseño del muro con vigas de acople. A partir de ahí, se sigue un algoritmo de diseño para cada caso, a través del diagrama de diseño que a continuación se presenta, se logra la comprensión de la forma de utilización del programa de diseño de muros con aberturas en *Mathcad*.

### **3.7. Diagrama del diseño**

En el programa de diseño en *Mathcad* para muros con aberturas está dispuesto un diagrama de diseño, para facilitar el uso del programa y así cumplir con todos los requerimientos, tal y como se observa en la figura 13 diagrama, del algoritmo del programa.

### **3.8. Comentarios del programa**

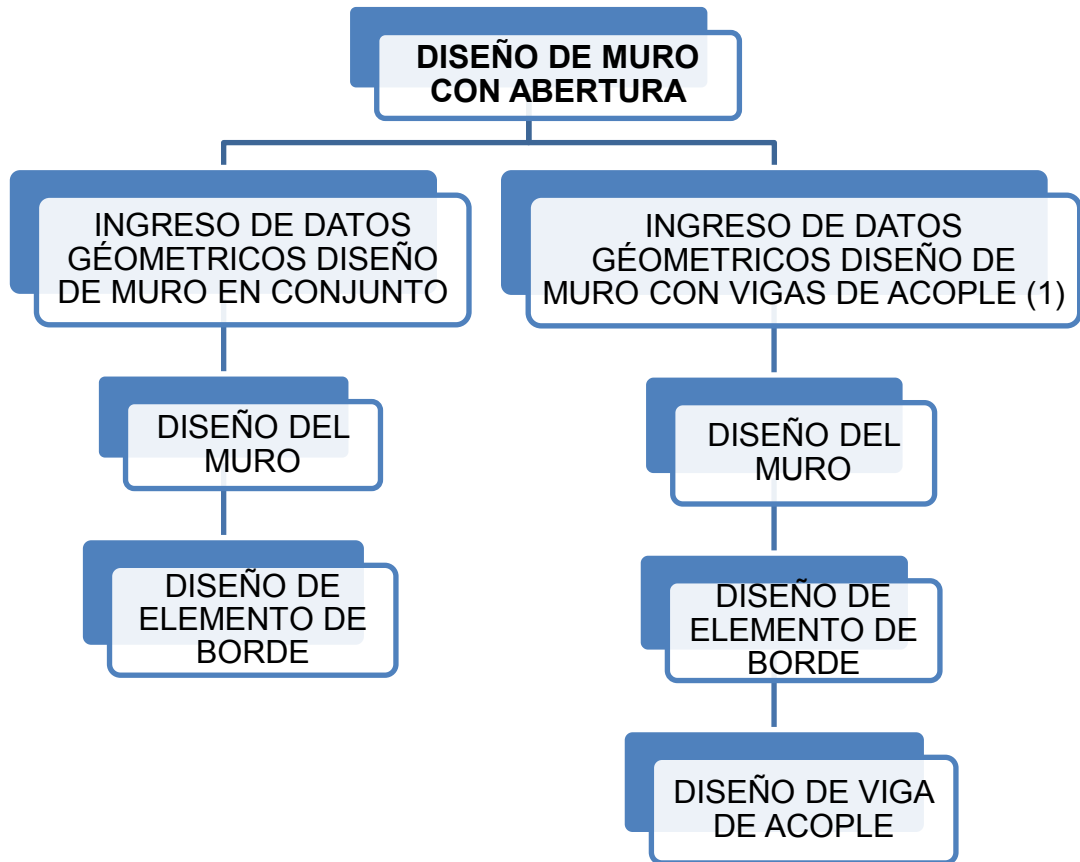
Los comentarios son parte del programa en *Mathcad*, para diseño de muros con abertura, en donde se especifican las definiciones de las variables de ingreso de datos, se colocan las referencias bibliográficas específicamente del (ACI, 2014), de las fórmulas más importantes del programa y se hacen notas para orientar el diseño del muro.

### **3.9. Notación y definiciones del programa**

El programa utiliza una serie de notaciones que se definen en el Anexo I, cada una de las notaciones o variables utilizadas en el programa, éstos se definen principalmente respecto al reglamento de concreto estructural del (ACI, 2014), haciendo una relación de ellos, sin modificar el concepto de cada uno, definidos en el reglamento.

La figura 16 muestra las 2 opciones que tiene para el ingreso de datos de la geometría del muro y la ruta de diseño a seguir de los elementos estructurales a diseñar.

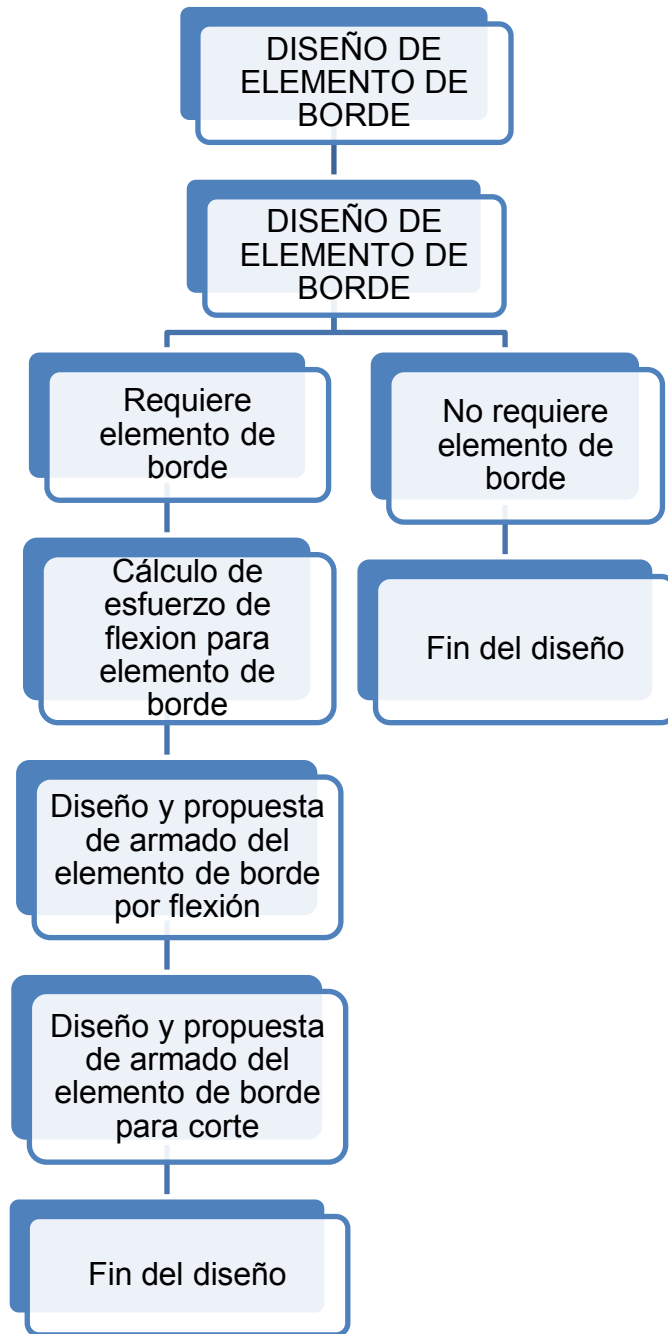
Figura 16. Diagrama de diseño dispuesto en el programa del diseño de muros con abertura



Fuente: elaboración propia.

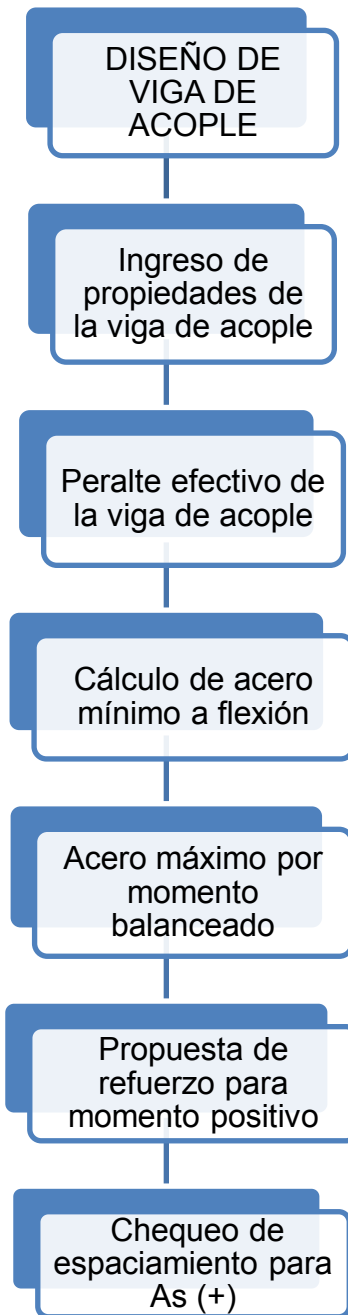
A continuación, se describe paso a paso, cada opción y su ruta de cálculo, así:

Figura 17. Diagrama de diseño dispuesto en el programa del diseño de muros con abertura



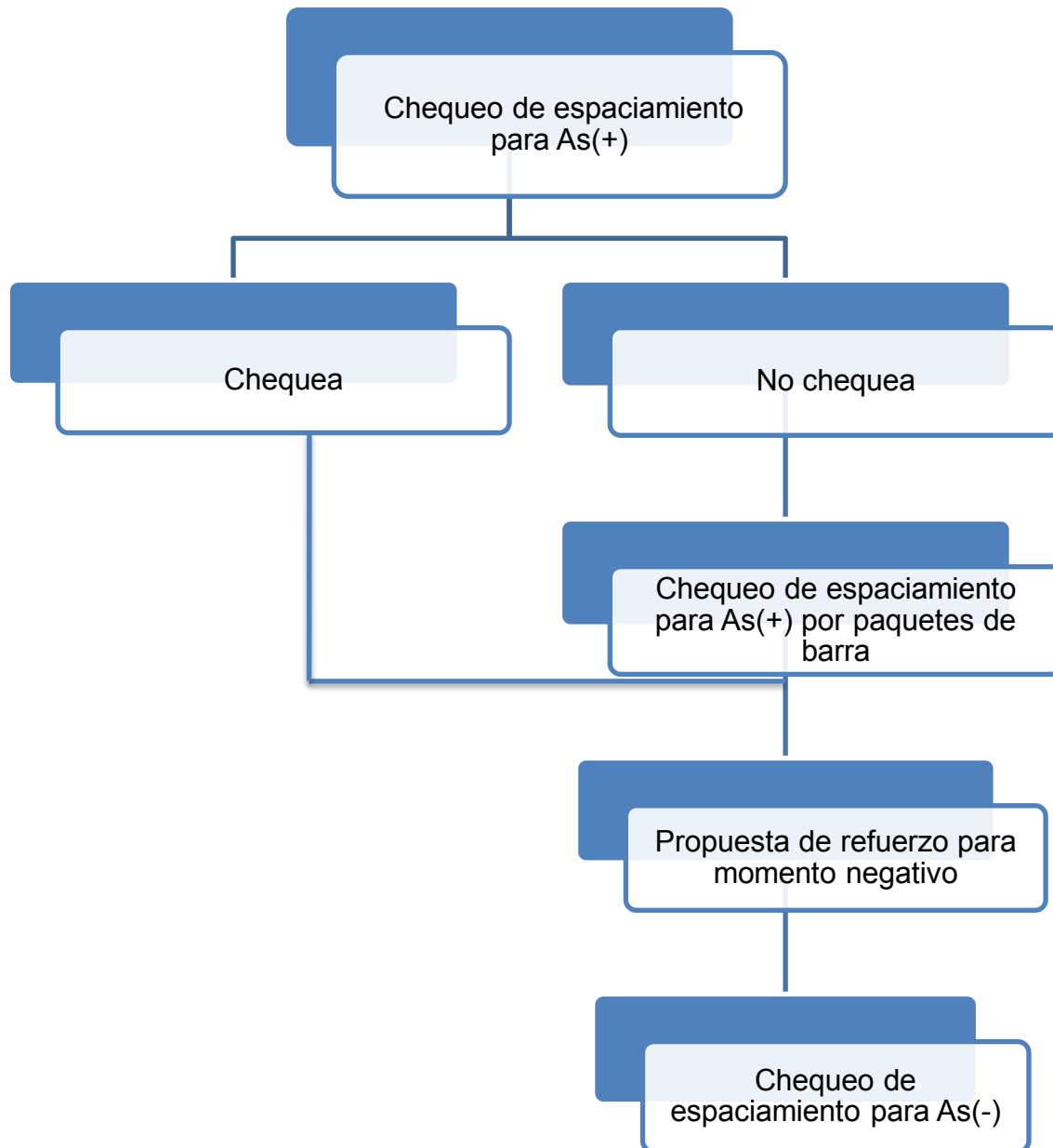
Fuente: elaboración propia.

Figura 18. **Diagrama de diseño dispuesto en el programa del diseño de muros con abertura**



Fuente: elaboración propia.

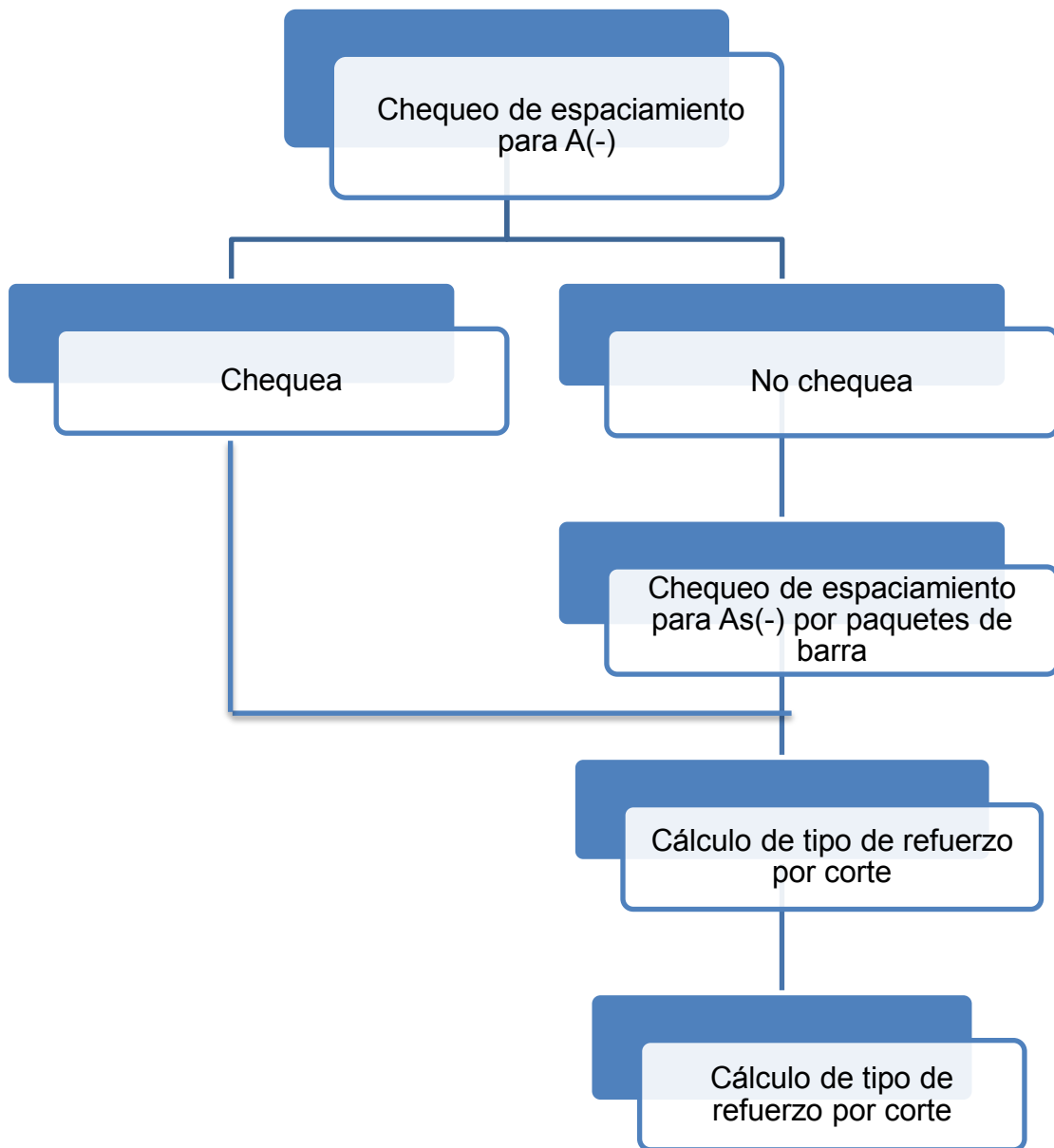
Figura 19. Diagrama de diseño dispuesto en el programa del diseño de muros con abertura



Fuente: elaboración propia.

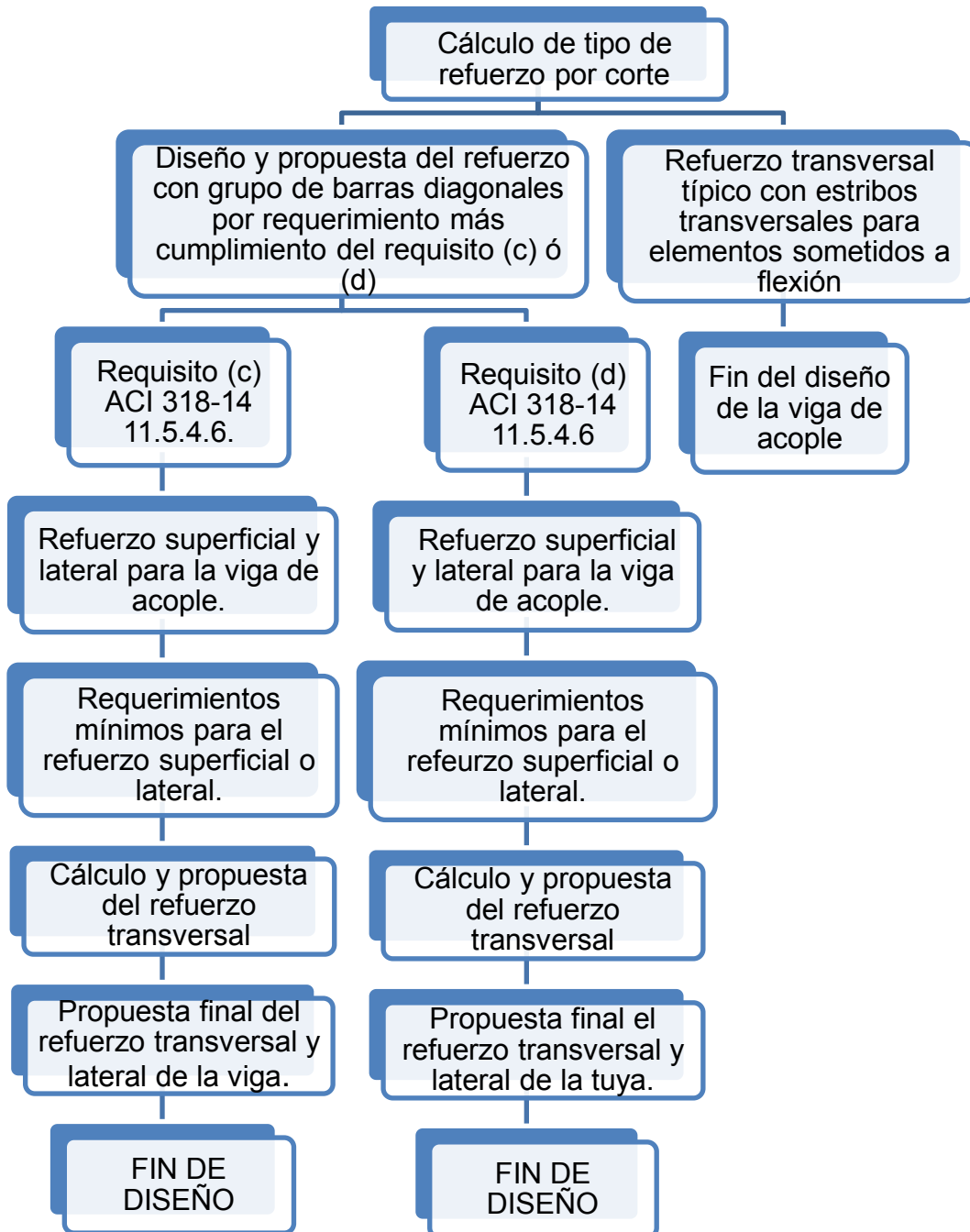


Figura 20. Diagrama de diseño dispuesto en el programa del diseño de muros con abertura



Fuente: elaboración propia.

Figura 21. Diagrama de diseño dispuesto en el programa del diseño de muros con abertura



Fuente: elaboración propia.

### **3.10. Diseño estructural del programa en *Mathcad***

#### **3.10.1. Algoritmo**

Como todo programa, el criterio del diseñador, según su concepción estructural es el que definirá un buen diseño, ya que el programa está limitado al chequeo de normas, éste no remplazará el dimensionamiento efectivo, según las necesidades del edificio o del elemento estructural que se requiera. A continuación, se explican cada uno de los algoritmos del programa.

- Algoritmo 1.0. ingreso de propiedades geométricas del muro

Se deben ingresar datos geométricos del muro a diseñar, donde pueden existir dos casos; el primero el de un muro con abertura, y el segundo, sin abertura. Para el primer caso, el muro uno se ingresará los datos, según la figura 15, y para el segundo, se tomará el muro total como la parte del muro a diseñar colocando valores en  $B_t$  y en  $H_t$  de ese paso y se chequeará únicamente los pasos indicados en el diagrama de flujo.

- Algoritmo 1.1. ingreso de propiedades de diseño del muro

Se requiere ingresar las propiedades que se resaltan en color rosa, especificados en el mismo paso, donde el diseño puede ser un valor de uno, dos o tres, uno para diseñar el muro uno o sea la parte izquierda, dos para diseñar el muro dos de la parte derecha, y tres para diseñar el muro sin abertura descrito con el símbolo  $B_t$ . Los valores de los esfuerzos se deben de ingresar conforme a los que actúan en el muro a diseñar, según el análisis estructural calculado.

- Algoritmo 1.2. cálculo de la sección crítica por corte.

Se calcula el punto crítico para una falla por corte del muro, en relación a su altura.

- Algoritmo 2.0. resistencia máxima permitida por corte.

Según las dimensiones del muro, se calcula el corte máximo que puede ser capaz el muro de resistir, según la norma ACI, que se cita en el paso.

- Algoritmo 2.1. resistencia al corte del concreto

Según la sección crítica del corte, y los esfuerzos que en el muro actúan, según la carga aplicada, se calcula con forme a la norma referenciada en este paso, el corte máximo resistente del muro solo por el concreto.

- Algoritmo 3.0. determinación del refuerzo horizontal por corte.

Se determina el refuerzo horizontal por corte, según lo estipulado en la norma especificada en ese paso, donde en la primera condición se verifica, la necesidad de utilizar acero horizontal.

- Algoritmo 4.0. determinación del refuerzo vertical por corte.

Se debe determinar el refuerzo vertical por corte, a través de cálculos referenciados a la norma especificada en ese paso, proponiendo el número de varilla y la separación, entre ellas, verificando si el refuerzo propuesto es el adecuado.

- Algoritmo 5.0. diseño por flexión.

Cálculo del acero por flexión, según el momento actuante en el muro, donde se propone acero en los extremos al no cumplir con el acero mínimo propuesto verticalmente por corte.

- Algoritmo 6.0. chequeo de diseño de elemento de borde.

Conforme a la norma, se verifica la necesidad de diseñar el muro con elementos de borde confinados, que están en función a la deriva máxima del muro calculado en el análisis estructural, y de las dimensiones del muro, principalmente en su relación base-altura.

- Algoritmo 6.1. diseño de elemento de borde.

En este algoritmo se calcula la longitud del elemento de borde a diseñar y el eje neutro del muro en cuestión.

- Algoritmo 6.2. propuesta de armado para 14 varillas.

Establecido el requerimiento de elementos de borde, se propone una distribución de siete niveles de acero con catorce varillas para cada lado, en donde se debe proponer el número de varilla que requiere el diseño para esta propuesta, verificando al final si es satisfactoria la propuesta.

- Algoritmo 6.3. propuesta de armado para 8 varillas.

Establecido el requerimiento de elementos de borde, equivalente al algoritmo anterior se propone una distribución de 4 niveles de acero con ocho

varillas para cada lado, en donde se debe proponer el número de varilla que requiere el diseño para esta propuesta, verificando al final si es satisfactoria la propuesta.

- Algoritmo 6.4. confinamiento de elemento de borde.

Se debe verificar únicamente el confinamiento de varillas transversales en planta, donde la distribución del refuerzo transversal en los elementos de borde en el sentido longitudinal es equivalente al requerido en una columna, que está representada gráficamente, donde el cálculo específico no es del objetivo del presente trabajo.

- Algoritmo 6.5. resumen de armado de muro.

Solo es aplicable a muros que no han sido diseñados con elementos de borde en el muro, en donde el refuerzo en muros con elementos de borde, son distribuidos a criterio del diseñador, con la guía del programa.

- Algoritmo 7.0. ingreso de los datos para diseño de viga de acople.

Algoritmo donde se ingresan las propiedades de esfuerzos que actúan sobre la viga de acople, además del ingreso de la resistencia nominal a la fluencia del acero transversal de refuerzo a utilizar y la altura de la viga que es un dato principal en el diseño completo de la viga de acople. Al final del mismo, se presentan el resumen de datos a utilizar, según los datos precedentes del diseño.

- Algoritmo 8.0. cálculo del peralte de la viga de acople y definición del espesor del muro.

Se calcula el peralte de la viga, donde el recubrimiento lateral se toma equivalente al sentido vertical, donde también se define el espesor del muro, continuo del muro general.

- Algoritmo 9.0. cálculo del acero mínimo por flexión.

Automáticamente, se calcula el acero longitudinal por flexión mínimo en la viga de acople, donde naturalmente define el refuerzo requerido para el mismo, conforme a la norma establecida de diseño general del programa.

- Algoritmo 10.0. cálculo del acero máximo por acero balanceado.

Como límite de diseño se calcula el área de acero máximo a colocar en la viga de acople, con el cálculo típico de acero balanceado, que típicamente no requerirá de un diseño del tipo doblemente reforzado, por el área de la sección de la viga suficientemente capaz de confinar acero a flexión.

- Algoritmo 11.0. cálculo del acero para momento positivo.

El cálculo de acero para momento positivo se calcula, a partir del número de varillas por cama propuesto por el diseñador, donde los límites programados se dan por el acero máximo y mínimo permitido como diseño por acero balanceado, que al final se despliega el número de acero requerido para la cantidad de varillas propuestas.

- Algoritmo 12.0. chequeo de espaciamiento para varillas de acero positivo requeridas en la viga.

Se debe chequear el espaciamiento o distribución típica del refuerzo propuesto por el diseñador y el programa en el algoritmo precedente conforme a la norma que aplica, así el diseñador decida hacer cambios en el acero, o calcular conforme al algoritmo 12.1, donde se distribuye el mismo por paquetes de barras.

- Algoritmo 12.1. chequeo de espaciamiento para paquetes de barras para acero positivo dentro de la viga.

Este algoritmo es requerido utilizarlo únicamente si el espaciamiento entre barras distribuidas típicamente en el algoritmo 12.0 no chequea, donde los datos requeridos de ingreso deben de ir conforme a los datos del algoritmo que resumen los algoritmos anteriores, en el dato de paquetes de barras se ingresa la cantidad de paquetes de barras que irán dentro de la viga, en barras por paquete se ingresa la cantidad de varillas que se colocarán por paquete dentro de la viga, en barras en H por paquete se deberá de ingresar el número de barras que están dispuestas en forma horizontal, por ejemplo, en un paquete de barras de cuatro varillas dispuestas en forma cuadrada de dos varillas por dos varillas, el número de barras en H o barras que ocupan espacio en la viga en el sentido horizontal es de dos, y en barras individuales se coloca la varilla faltante si hubiera disponibilidad de espacio y de varillas.

- Algoritmo 13.0. cálculo del acero para momento negativo.

El cálculo de acero para momento negativo se calcula, a partir del número de varillas por cama propuesto por el diseñador, donde los límites programados



se dan por el acero máximo y mínimo permitido como diseño por acero balanceado, que al final se despliega el número de acero requerido para la cantidad de varillas propuestas.

- Algoritmo 14.0. chequeo de espaciamiento para varillas de acero negativo requeridas en la viga.

Se debe chequear el espaciamiento o distribución típica del refuerzo propuesto por el diseñador y el programa en el algoritmo precedente conforme a la norma que aplica, para que el diseñador decida hacer cambios en el acero, o calcular conforme al algoritmo 14.1, donde se distribuye el mismo por paquetes de barras.

- Algoritmo 14.1. chequeo de espaciamiento para paquetes de barras para acero negativo dentro de la viga.

Este algoritmo es requerido utilizarlo únicamente si el espaciamiento entre barras distribuidas típicamente en el algoritmo 13.0 no chequea, donde los datos requeridos de ingreso deben de ir conforme a los datos del algoritmo que resumen los algoritmos anteriores, en el dato de paquetes de barras se ingresa la cantidad de paquetes de barras que irán dentro de la viga, en barras por paquete se ingresa la cantidad de varillas que se colocaran por paquete dentro de la viga, en barras en H por paquete se deberá de ingresar el número de barras que están dispuestas en forma horizontal, por ejemplo, en un paquete de barras de cuatro varillas dispuestas en forma cuadrada de dos varillas por dos varillas, el número de barras en H o barras que ocupan espacio en la viga en el sentido horizontal es de dos, y en barras individuales se coloca la varilla faltante si hubiera disponibilidad de espacio y de varillas.

- Algoritmo 15.0. Refuerzo superficial (refuerzo lateral).

El refuerzo superficial o refuerzo lateral mínimo, que es el requerido para torsión, o pandeo lateral torsional, que depende de la altura de la viga, en el cual se despliega un mensaje al final con el espaciamiento requerido, y si lo requiere o no, según la figura 20 del programa principal.

- Algoritmo 16.0. cálculo de relación de tipo de refuerzo por corte.

La relación de tipo de refuerzo por corte determina el tipo de refuerzo que requiere la viga por corte, conforme a la norma, según ensayos del Instituto Americano del Concreto, han demostrado un comportamiento adecuado de las vigas de acople por cargas sísmicas con el refuerzo eficazmente dispuesto. El tipo de refuerzo consecuente a la fórmula que lo determina depende de la relación de las dimensiones de la viga de acople, donde un mayor peralte requerirá de grupos de barras diagonales, y a un menor peralte tenderá a requerir refuerzo típico por corte, confinamiento con estribos de acero corrugado a lo largo de la viga. En este paso se calculan también el ángulo de dirección de los grupos de barras diagonales en caso de requerirlos y el corte nominal en función al corte último definido en los datos de ingreso de la viga de acople.

- Algoritmo 17.0. cálculo del tipo de diseño para corte.

Según la relación del tipo de refuerzo de corte el algoritmo determina el tipo de refuerzo recomendado o requerido, según las dimensiones de la viga de acople.

- Algoritmo 18.0. cálculo de refuerzo para corte por medio de grupos de barras diagonales.

Este algoritmo calcula el número de grupos de barras en donde cada grupo de barras consiste en dos grupos de cuatro varillas cada una requeridos para satisfacer la demanda de esfuerzos cortantes por cargas fluctuantes, donde el número de varilla mínimo para el grupo de barras diagonales también es calculado para ser avalada por el diseñador. Este algoritmo es válido si en el algoritmo 17.0 especifica la necesidad obligatoria o recomendada de este tipo de refuerzo.

- Algoritmo 18.1. propuesta del refuerzo transversal para vigas de acople con grupos de barras, según (ACI, 2014).

Este inciso consiste en confinar los grupos de barras, donde los datos de ingreso de este paso refieren a las características de la sección del grupo de barras y el refuerzo propuesto cumple con los requerimientos para el confinamiento de los grupos de barras, donde el diseñador deberá adicionar el refuerzo mínimo por corte para la sección grande.

- Algoritmo 18.2. propuesta del refuerzo transversal para vigas de acople con grupos de barras, según (ACI, 2014).

En este inciso, se confinará la viga en su sección grande, donde los datos de ingreso de este paso refieren a las características de la sección de la viga y el refuerzo propuesto cumple con los requerimientos para el confinamiento de la viga en su sección grande, donde el diseñador deberá adicionar el refuerzo mínimo por corte para la sección del grupo de barras.

- Algoritmo 19.0. cálculo de refuerzo para corte por medio de estribos transversales, para elementos sometidos a flexión en pórticos especiales resistentes a momento.

En el caso que en el algoritmo 17.0 refiera a este paso, el diseño se vuelve en un pórtico tradicional donde el refuerzo se calcula por medio del ingreso del espaciamiento propuesto por el diseñador, desplegando al final el número de varilla requerido, para cumplir con la cuantía mínima requerida por el esfuerzo cortante en la viga.

- Algoritmo 19.1. chequeo de separación máxima entre el refuerzo transversal.

Este es un chequeo adicional al algoritmo 19.0, donde se programa cumplir con los requisitos mínimos del capítulo 18 para pórticos especiales resistentes a momento, donde automáticamente el programa desplegará un mensaje del refuerzo y su espaciamiento adecuado o por lo contrario su respectiva recomendación que refiere al algoritmo 19.0.

### **3.10.2. Viga de acople**

El diseño de la viga de acople en el programa está limitado a dimensiones mínimas en función del refuerzo mínimo requerido por el elemento estructural, y las dimensiones máximas, quedan a criterio del diseñador, según las condiciones económicas del proyecto.

### **3.11. Diagrama de esfuerzos de un muro con abertura**

A continuación, se presenta un ejemplo de los esfuerzos de un muro con abertura, flexionantes y de corte, calculados con Etabs 2016, después de recibir una carga lateral de 15,000 kg.

#### **3.11.1. Propiedades geométricas del muro**

El muro inicialmente requiere una longitud  $l_w$  de 4.50 m por una altura de 3.80 m y una abertura de 1.00 m de ancho por 1.50 m de alto, con un espesor pre-dimensionado de 40 cm; el muro dos con la misma longitud con una abertura de 2.10 m de ancho por 2.40 m de alto con 50 cm de espesor; muro tres con la misma longitud de muro con una abertura de 0.50 m de ancho y 1.00 de alto, con 50 cm de espesor. Esto se hace con el fin de analizar los resultados, según la abertura propuesta.



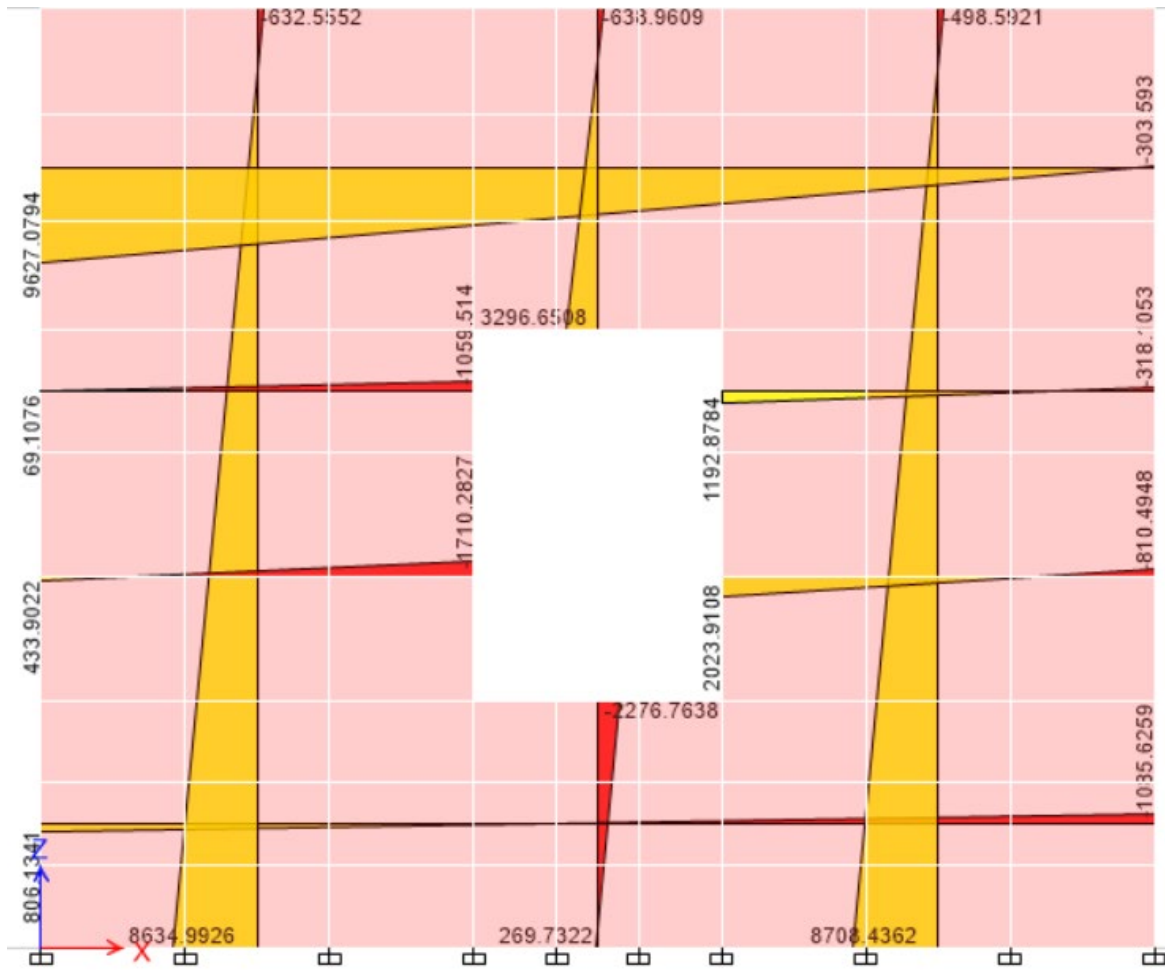
## **4. ANÁLISIS Y RESULTADOS OBTENIDOS**

### **4.1. Características de muros ejemplares, según análisis estructural en ETABS 2016**

#### **4.1.1. Resultados de análisis estructural, muro ejemplar uno**

El muro después de recibir una carga lateral de 15,000.00 kg, los diagramas de momentos flexionantes, corte, acero longitudinal y transversal para el muro uno, quedan como en la figura 21, 22, 23 y 24 respectivamente; en el sistema internacional, estos diagramas nos servirán para comparar los datos obtenidos del *Mathcad*, y los del ETABS 2016. Dimensiones del muro 4.50 m de ancho, 3.80 m de altura, dimensiones de abertura 1.00 m de ancho y 1.50 m de altura.

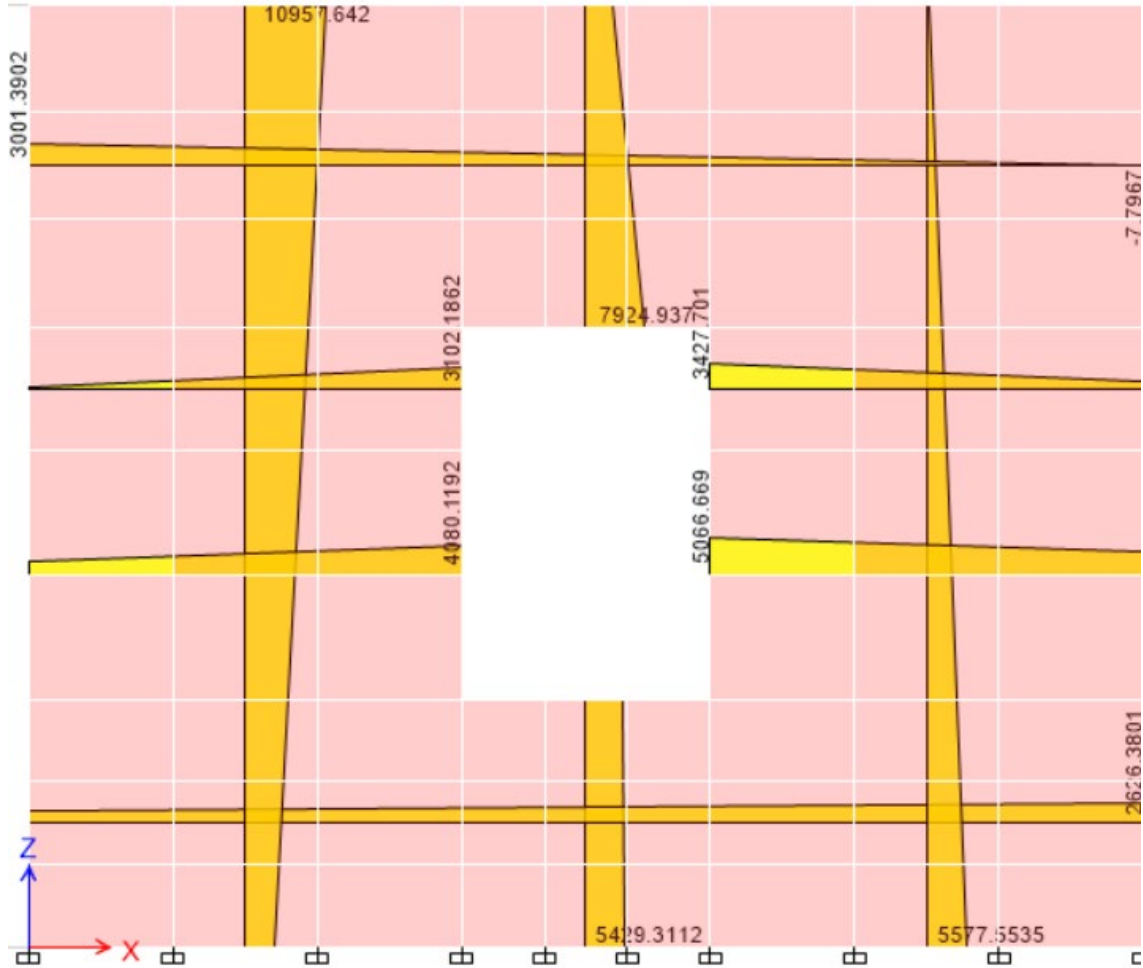
Figura 22. Resultado ejemplar 1, diagrama de momentos



Fuente: (ETABS, 2016)

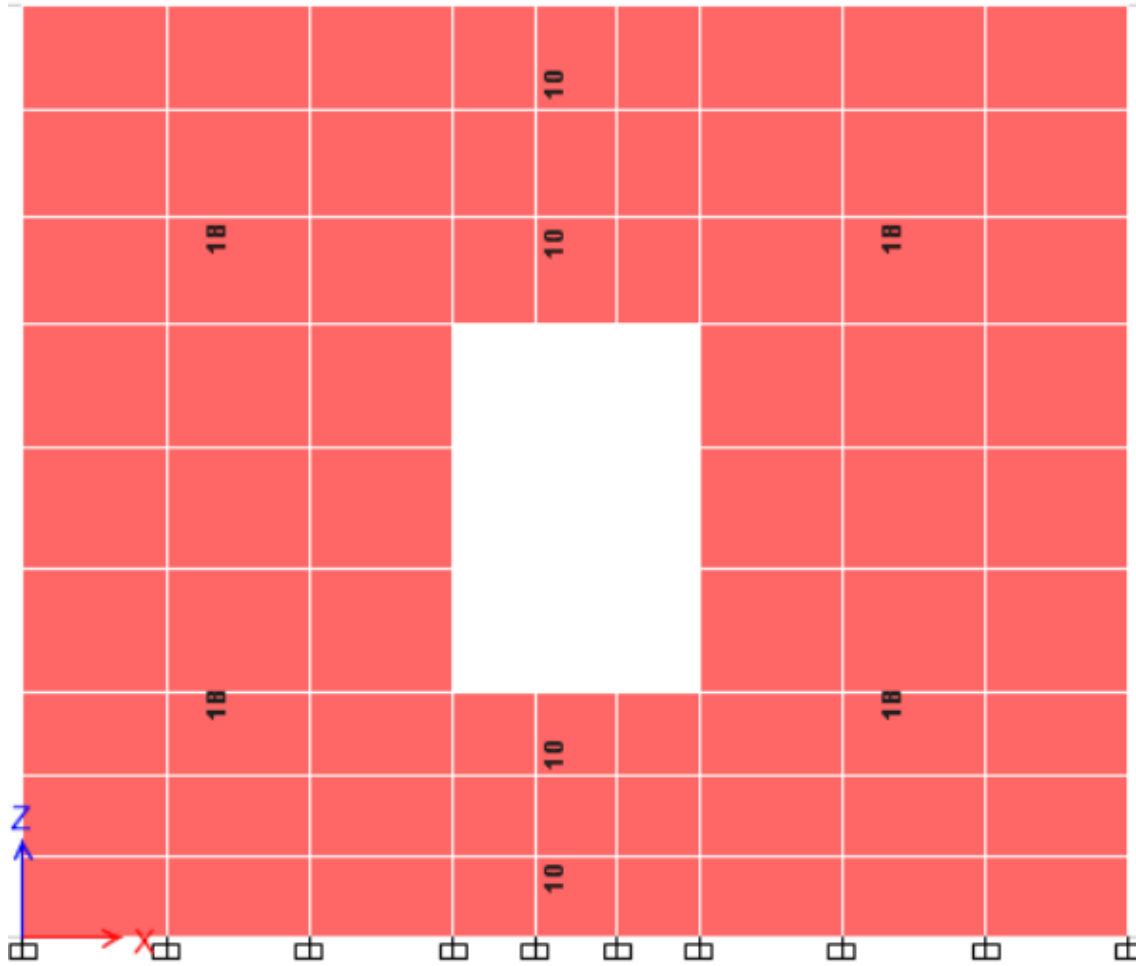


Figura 23. Resultado ejemplar 2, diagrama de corte



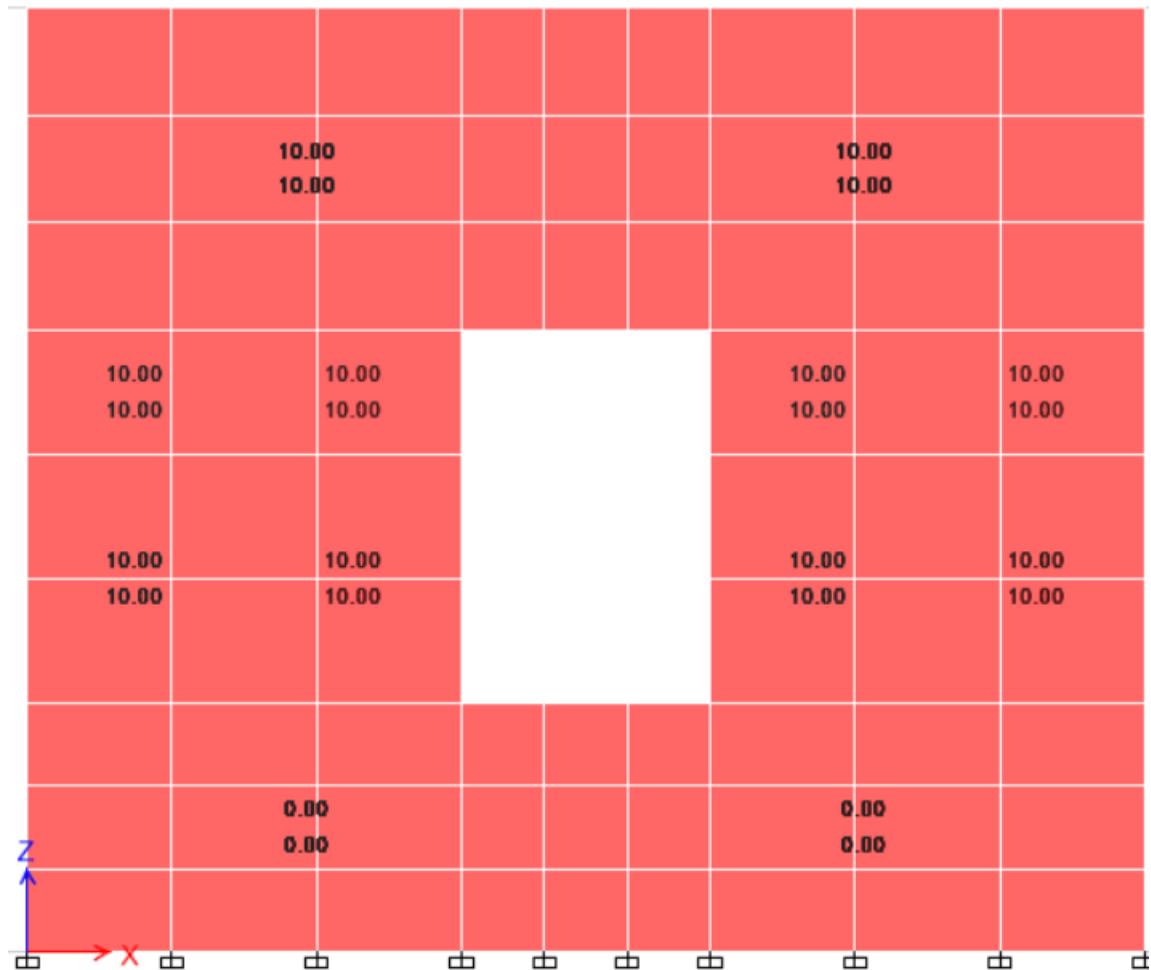
Fuente: (ETABS, 2016)

Figura 24. Resultado ejemplar 1, acero longitudinal



Fuente: (ETABS, 2016)

Figura 25. **Resultado ejemplar 1, acero transversal**



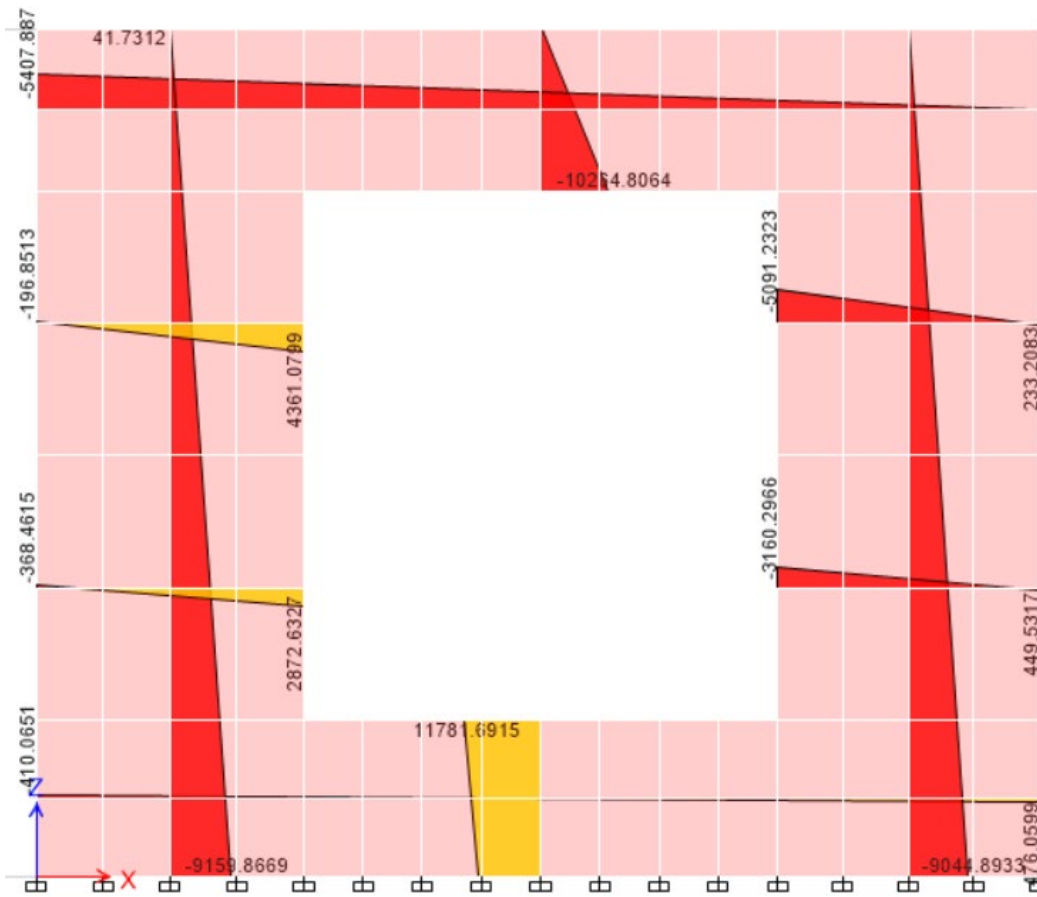
Fuente: (ETABS, 2016)

#### 4.1.2. **Resultados de análisis estructural, muro ejemplar dos**

El muro después de recibir una carga lateral de 15,000.00 kg, los diagramas de momentos flexionantes, corte, acero longitudinal y transversal para el muro dos, quedan como en la figura 25, 26, 27 y 28 respectivamente; en el sistema internacional, estos diagramas servirán para comparar los datos

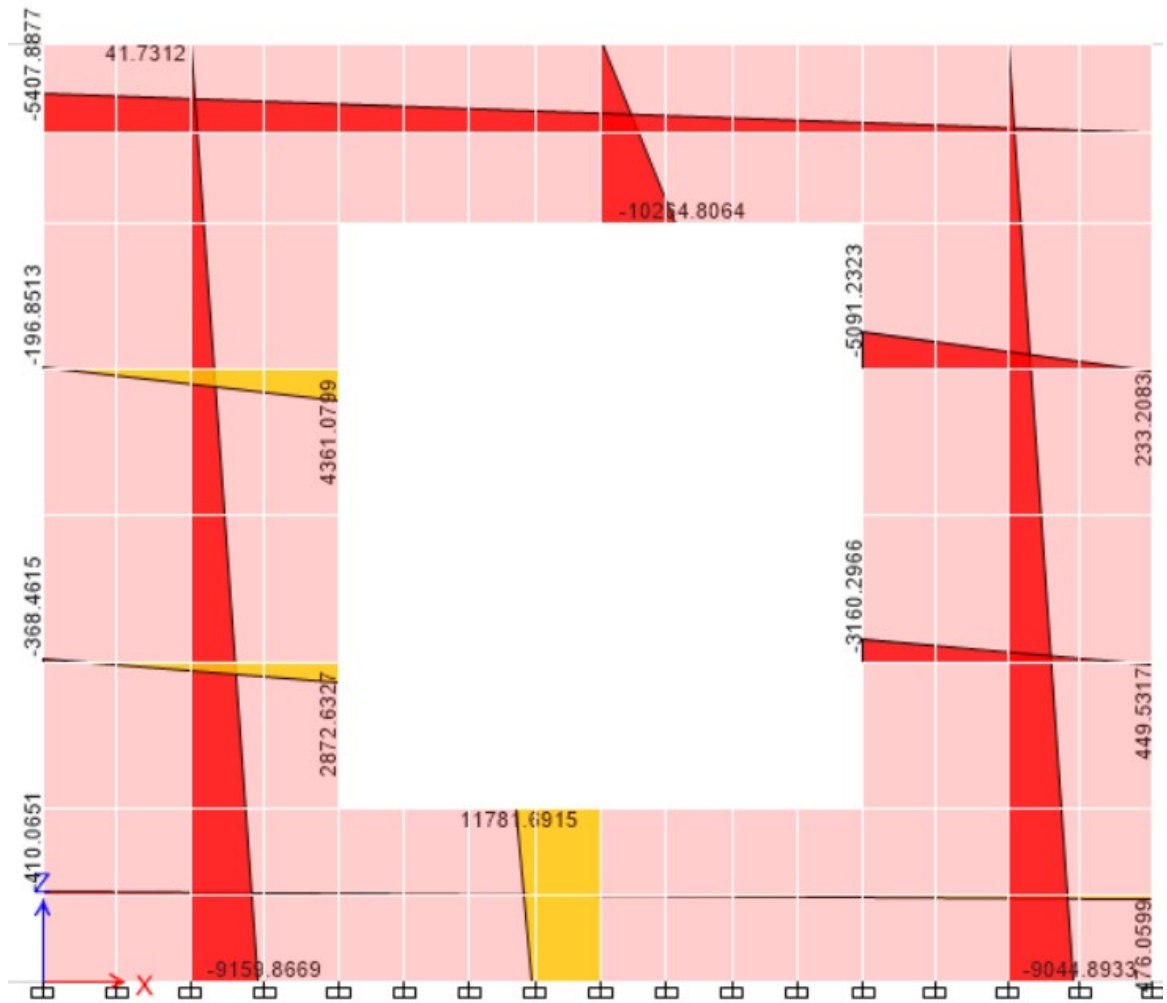
obtenidos del Mathcad y los del Etabs 2016, dimensiones del muro 4.50 m de ancho, 3.80 m de altura, dimensiones de abertura 0.40 m de ancho y 1.00 m de altura.

Figura 26. Resultado ejemplar 2, diagrama de momentos



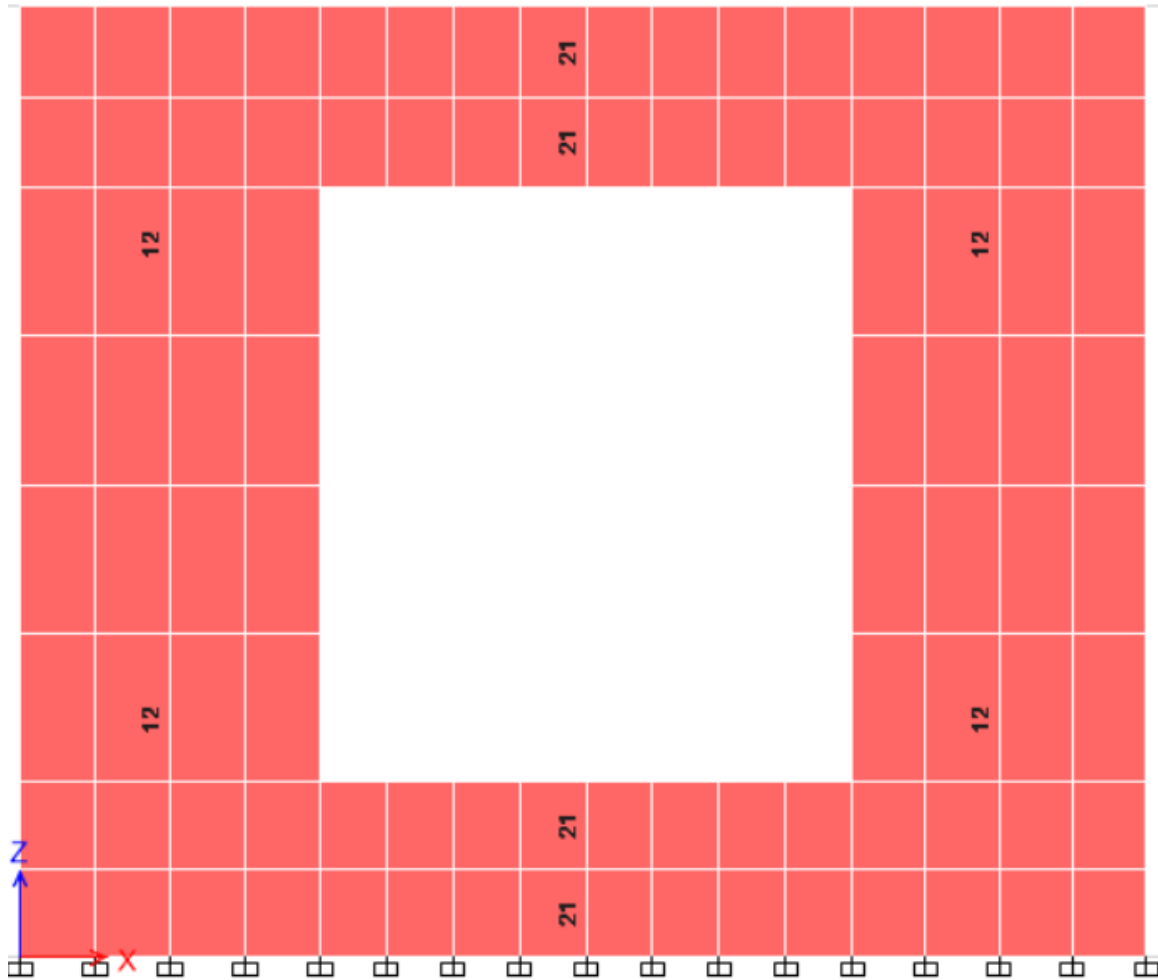
Fuente: (ETABS, 2016)

Figura 27. Resultado ejemplar 2, diagrama de corte



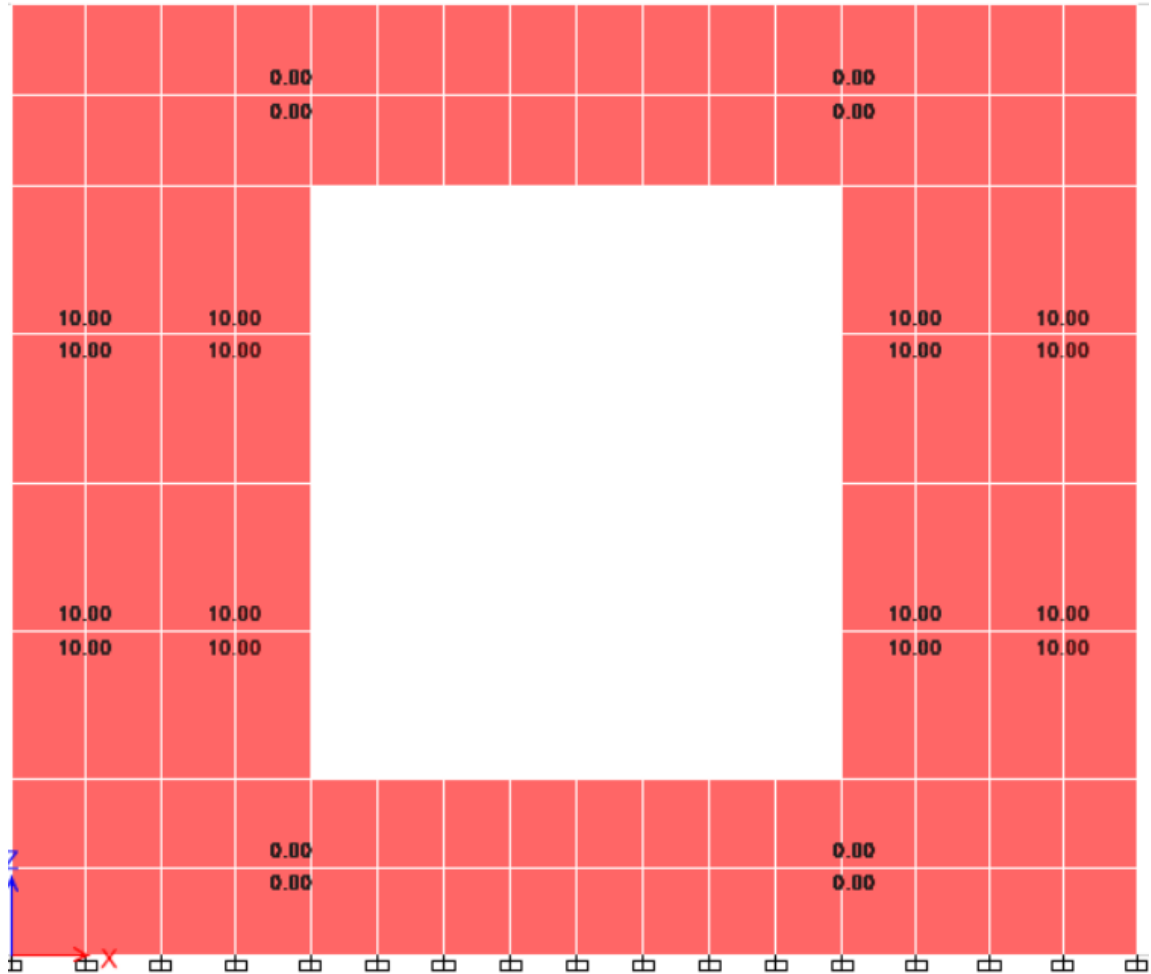
Fuente: (ETABS, 2016)

Figura 28. Resultado ejemplar 2, acero longitudinal



Fuente: (ETABS, 2016)

Figura 29. **Resultado ejemplar 2, acero transversal**

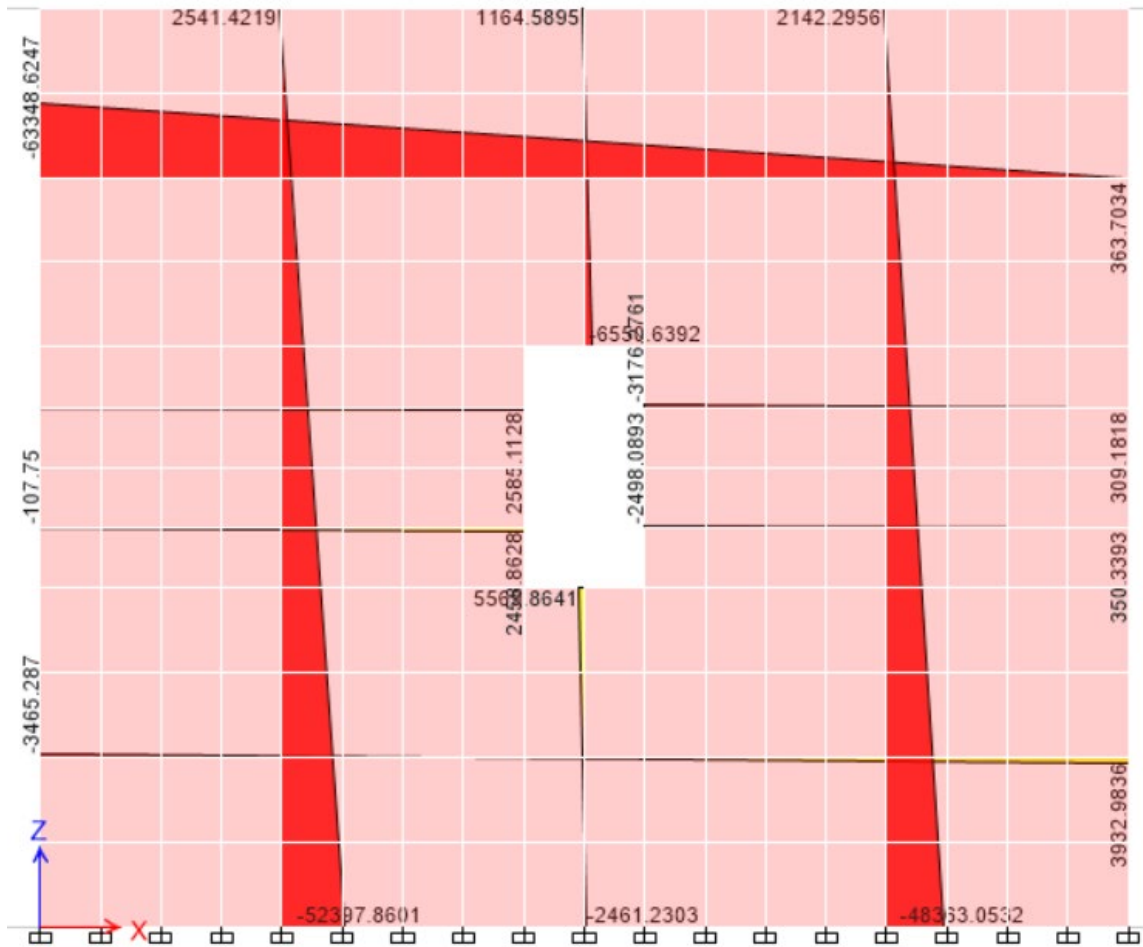


Fuente: (ETABS, 2016)

#### 4.1.3. **Resultados de análisis estructural, muro ejemplar tres**

El muro después de recibir una carga lateral de 15,000.00 kg, los diagramas de momentos flexionantes, corte, acero longitudinal y transversal para el muro tres, quedan como en la figura 29, 30, 31 y 32 respectivamente, en el sistema internacional.

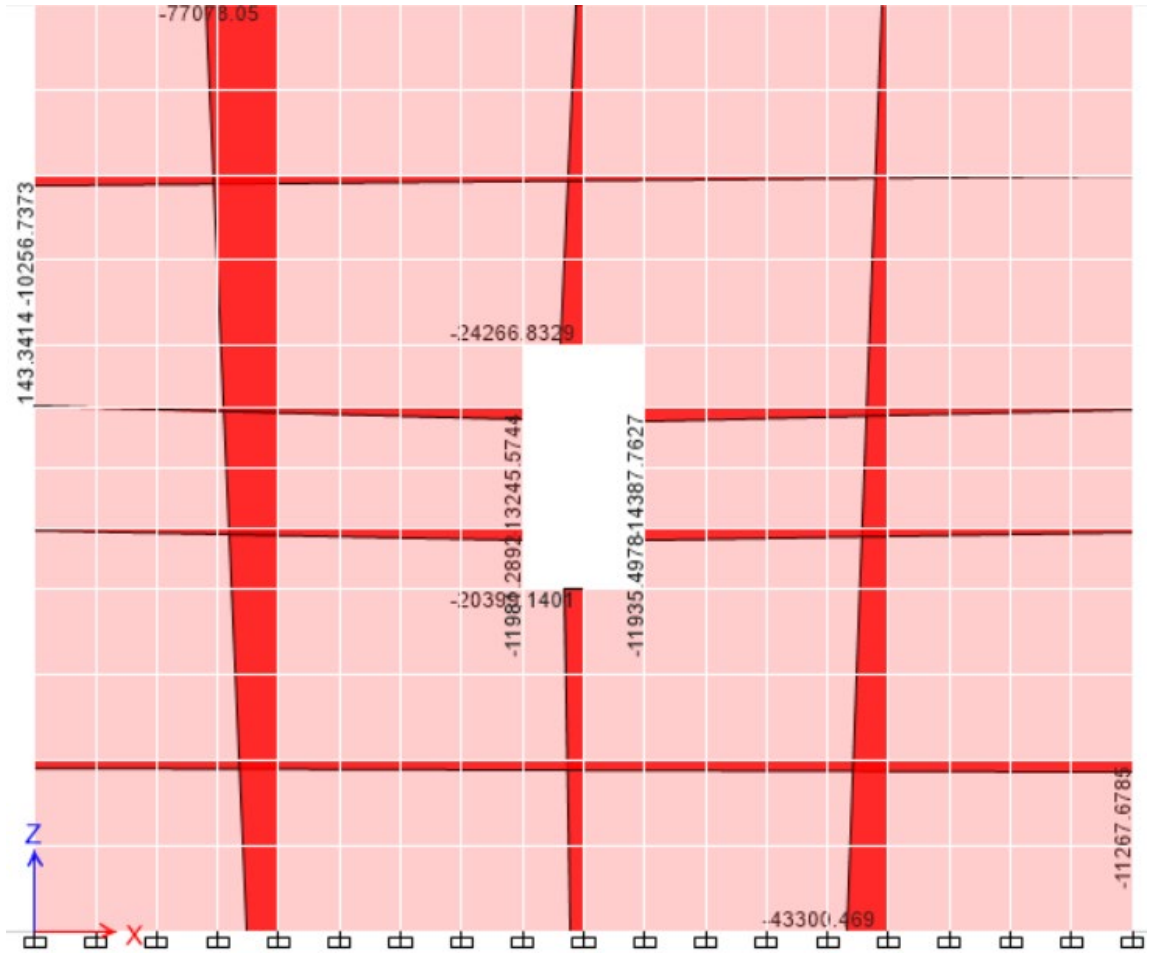
Figura 30. Resultado ejemplo 3, diagrama de momentos



Fuente: (ETABS, 2016).

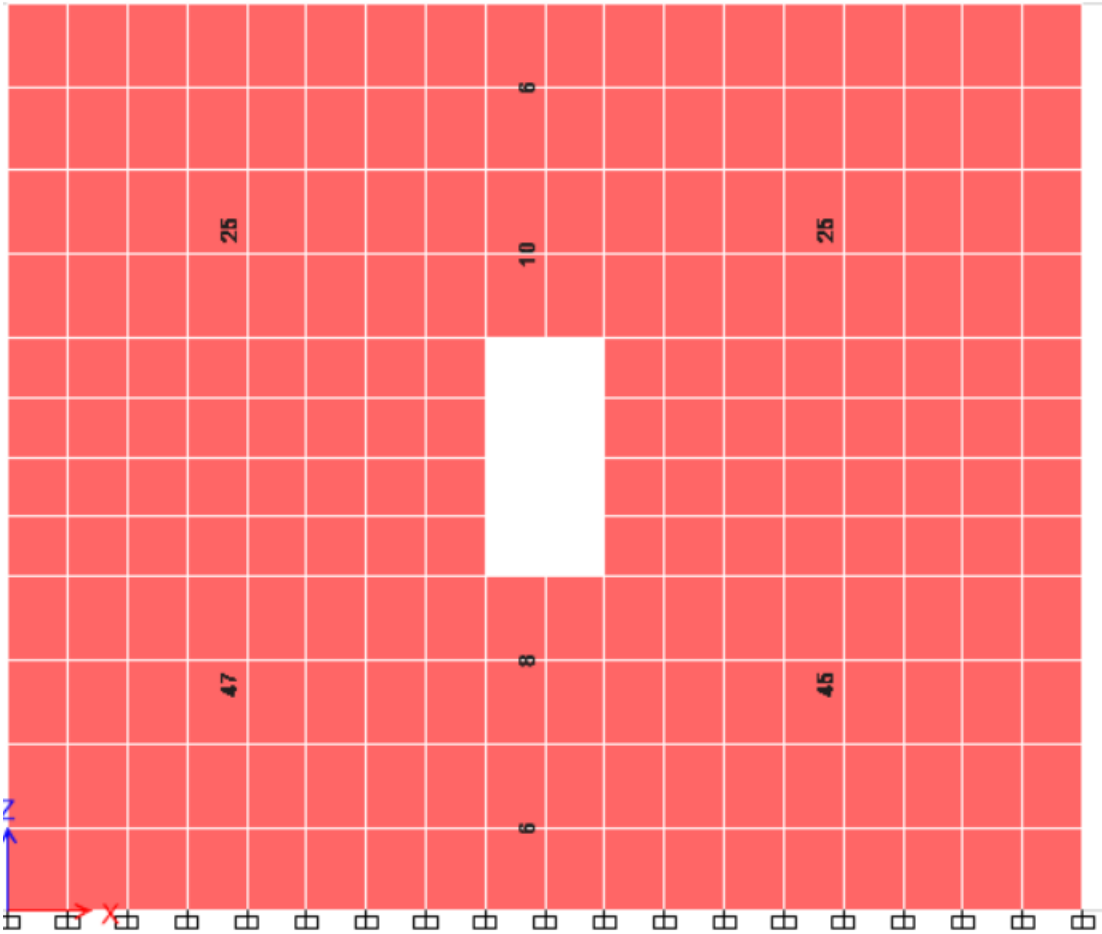


Figura 31. Resultado ejemplo 3, diagrama de corte



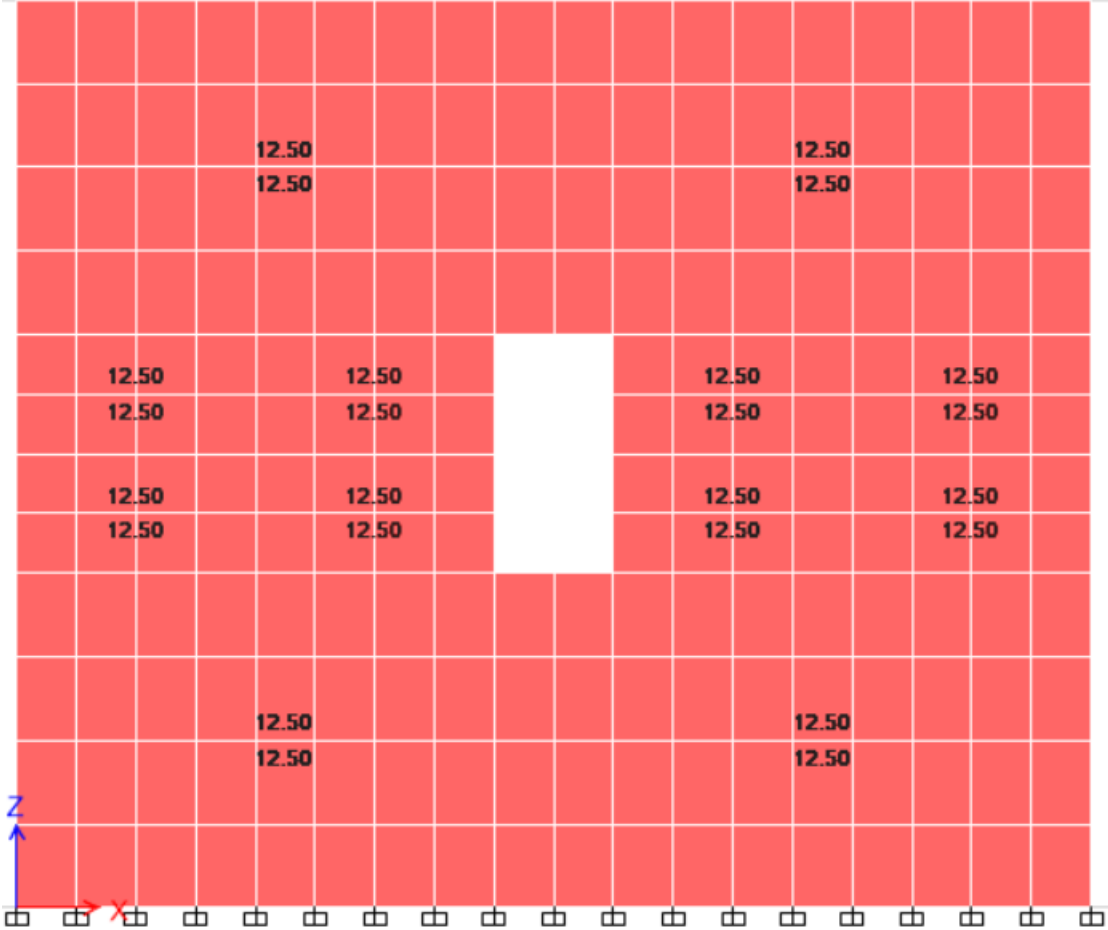
Fuente: (ETABS, 2016).

Figura 32. Resultado ejemplar 3, acero longitudinal



Fuente: (ETABS, 2016).

Figura 33. Resultado ejemplar 3, acero transversal



Fuente: (ETABS, 2016).

## **4.2. Resultados obtenidos con el programa *Mathcad***

### **4.2.1. Resultados utilizando *Mathcad*, ejemplar 1**

El muro después de recibir una carga lateral de 15,000.00 kg, se presentan los resultados obtenidos para el refuerzo de acero longitudinal y transversal del muro uno, en el sistema internacional.

B1: = 1.75 m

H1: = 1.15 m

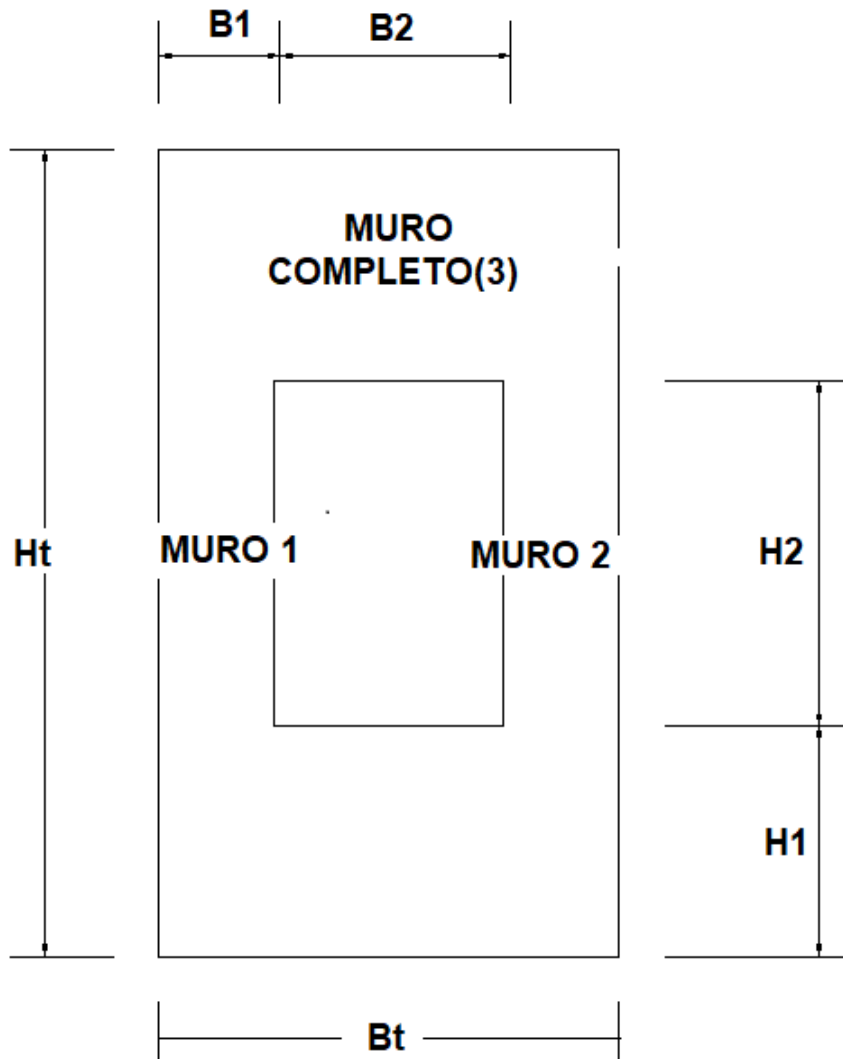
B2: = 1.00 m

H2: = 1.50 m

Bt: = 4.50 m

Ht: = 3.80 m

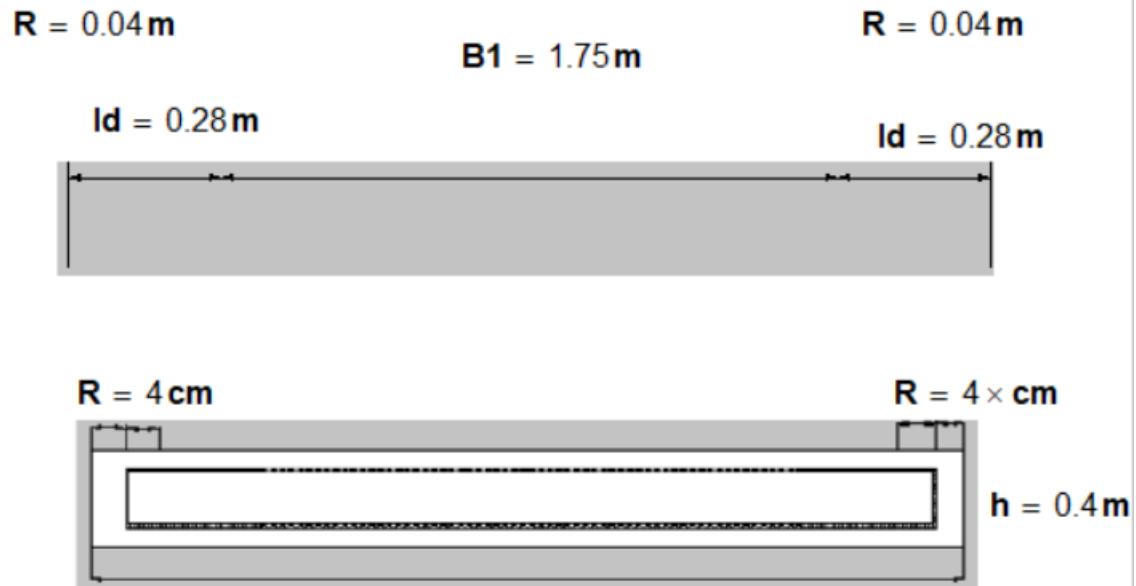
Figura 34. Dimensiones del muro ejemplar uno



Fuente: elaboración propia.

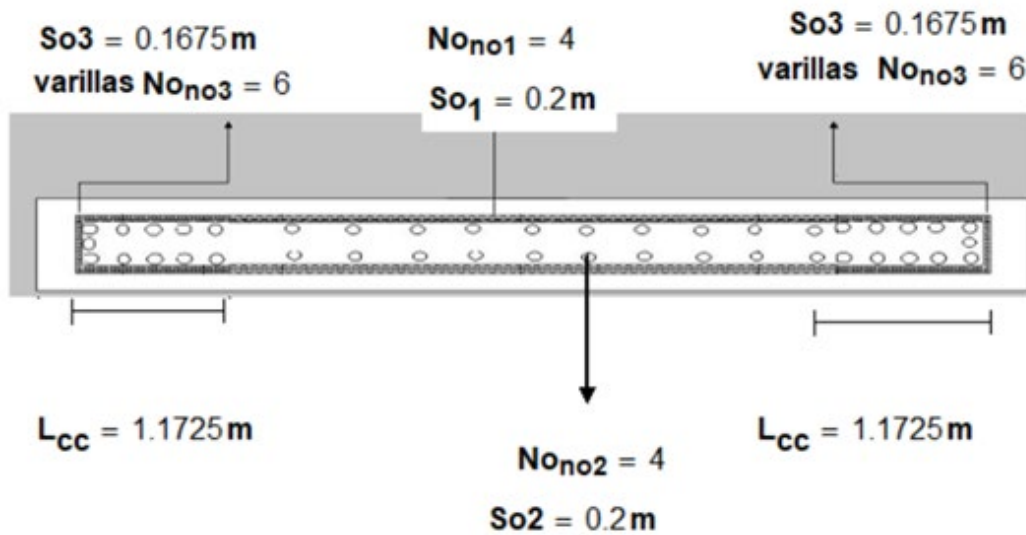
- Acero longitudinal muro 1 y muro 2

Figura 35. Acotado de muro ejemplar uno



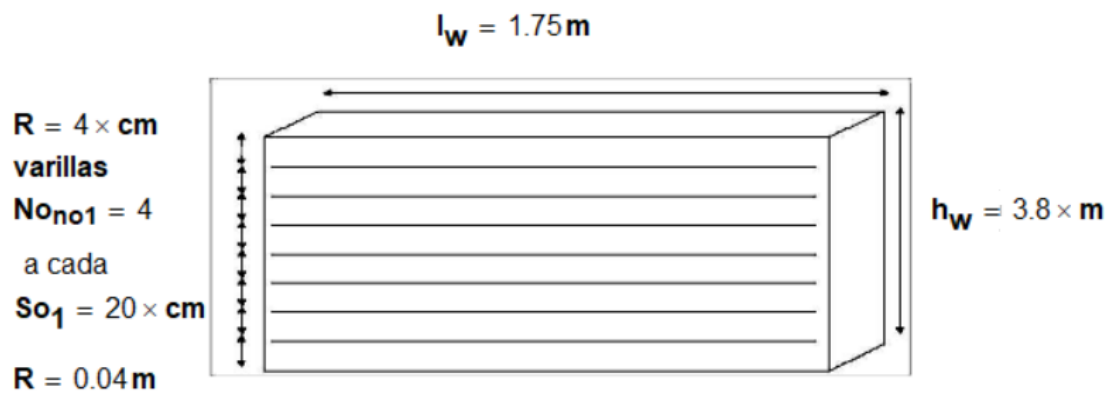
Fuente: elaboración propia.

Figura 36. Detalle de refuerzo longitudinal muro 1 y 2, ejemplar uno



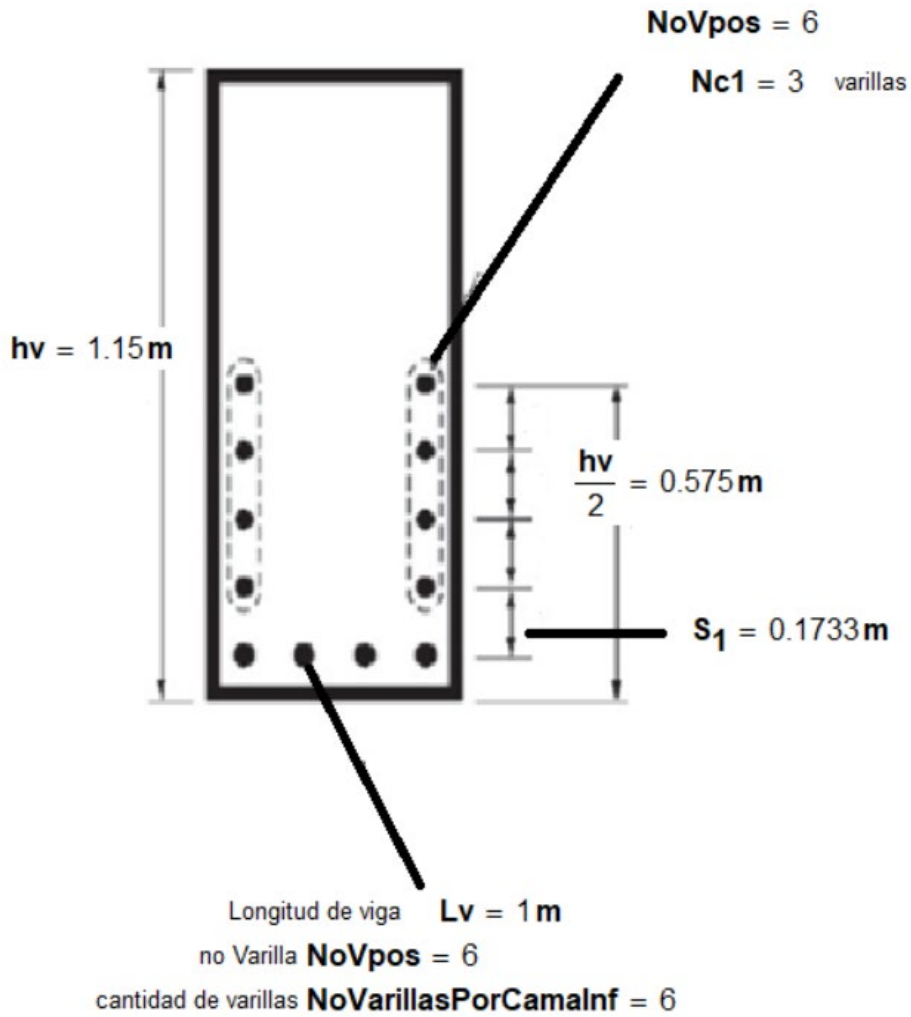
Fuente: elaboración propia.

Figura 37. Detalle de refuerzo transversal muro 1 y 2 ejemplar uno



Fuente: elaboración propia.

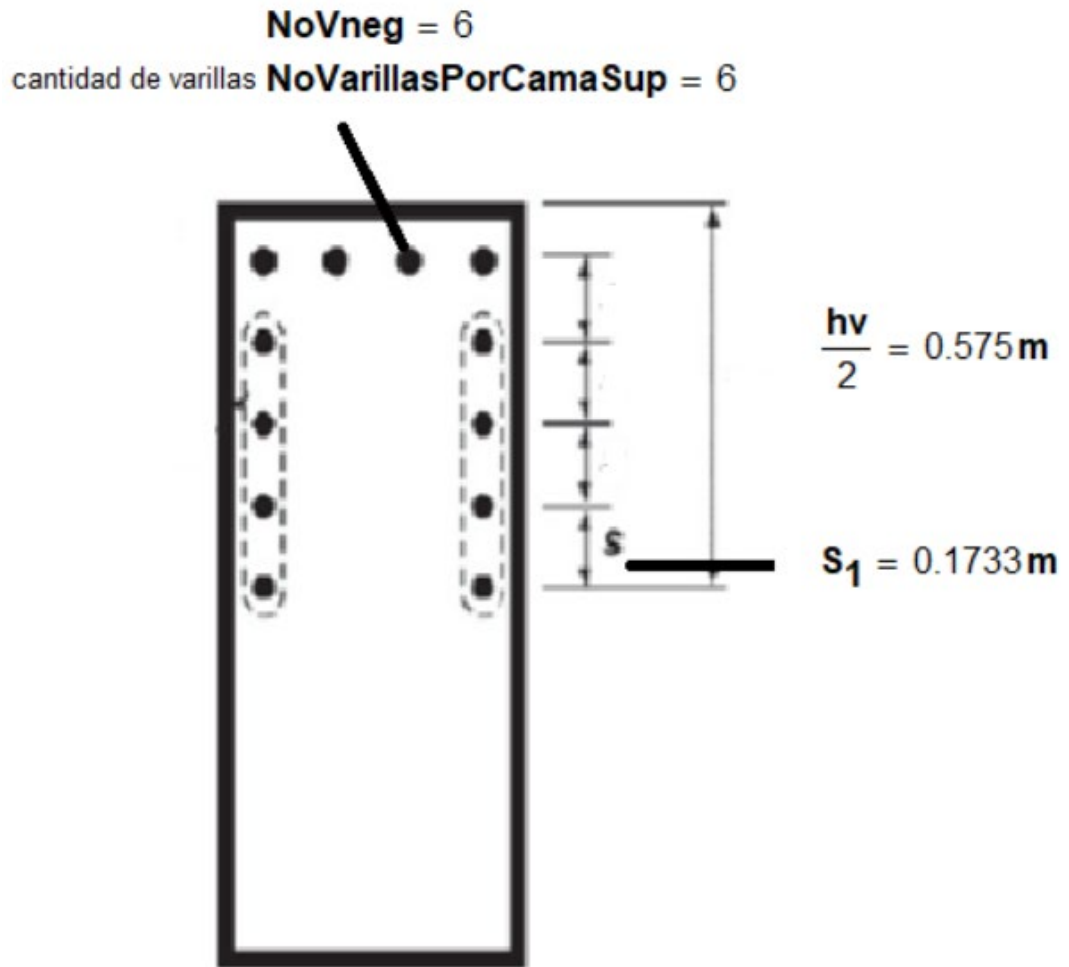
Figura 38. **Detalle de refuerzo longitudinal inferior viga de acople, ejemplar uno**



Fuente: elaboración propia.

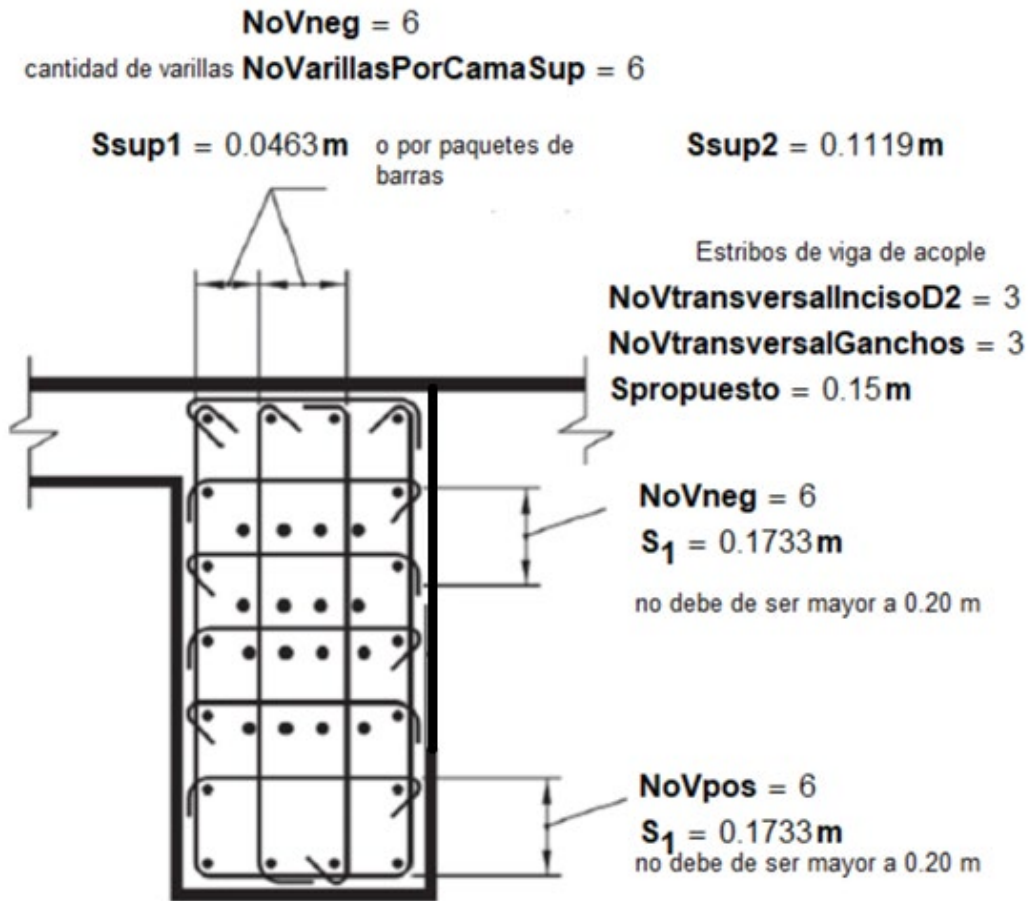


Figura 39. **Detalle de refuerzo longitudinal superior viga de acople, ejemplar uno**



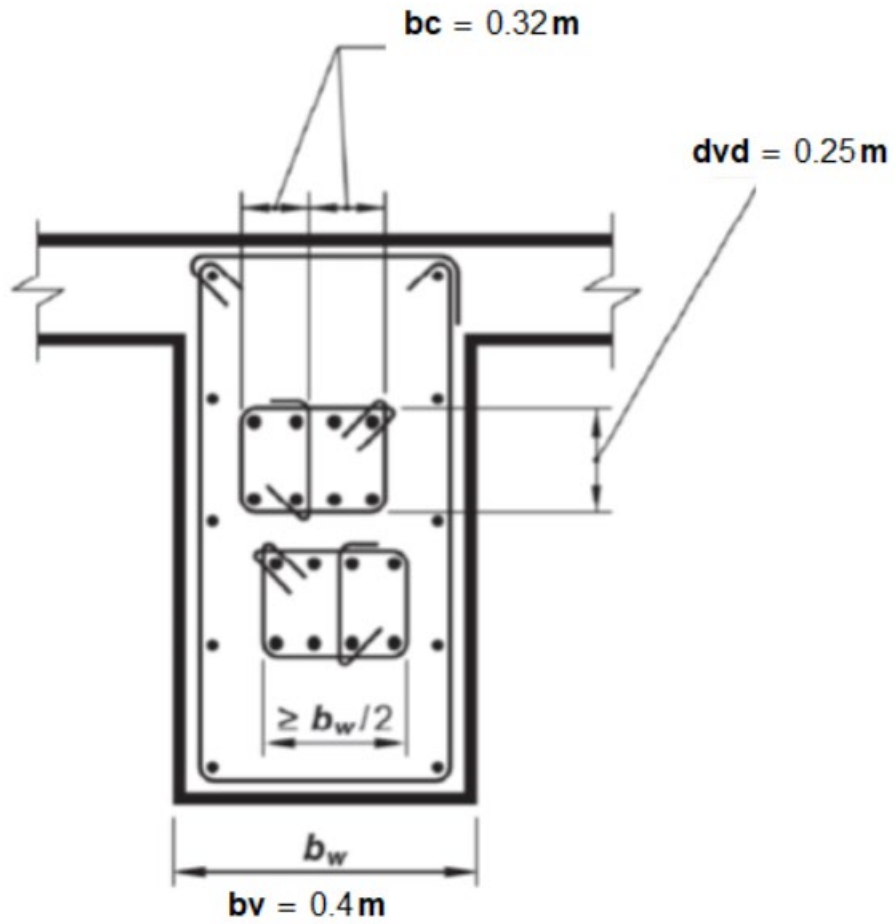
Fuente: elaboración propia.

Figura 40. Detalle de refuerzo longitudinal superficial, ejemplar uno



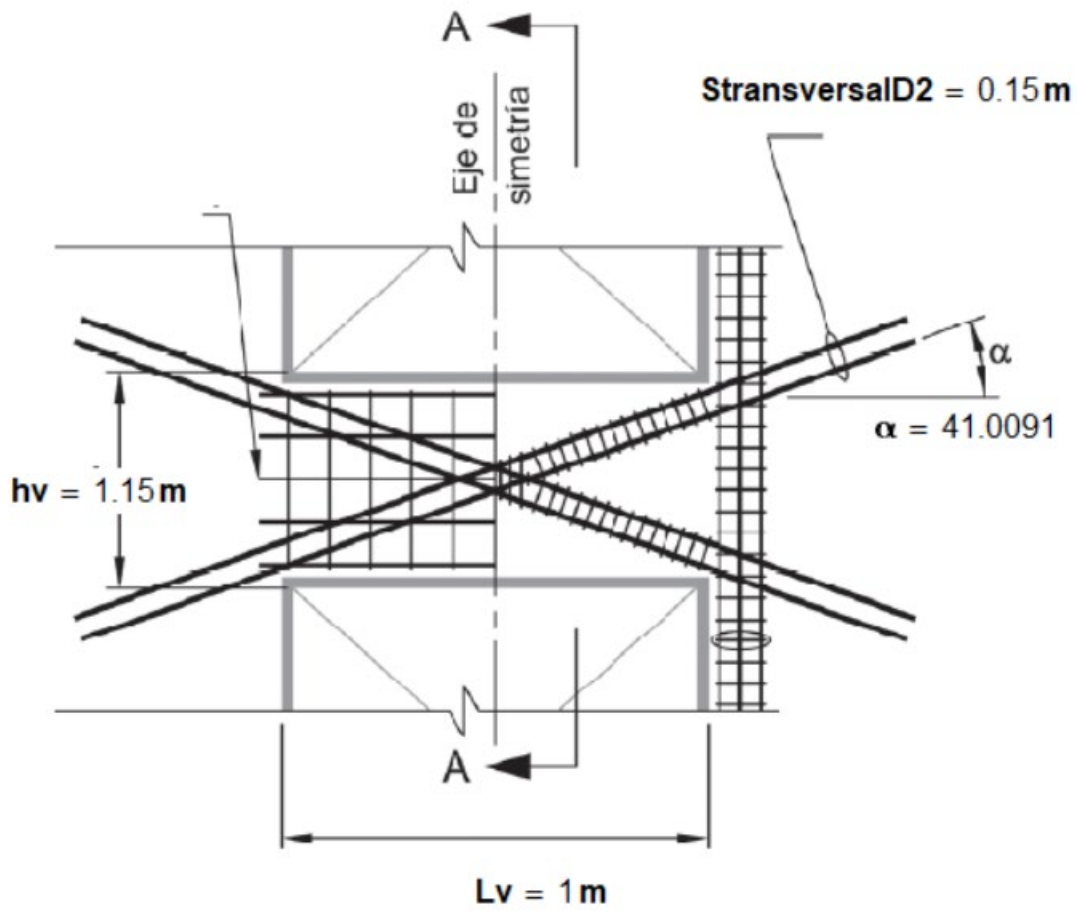
Fuente: elaboración propia.

Figura 41. Medidas de estribos de refuerzo diagonal, ejemplar uno



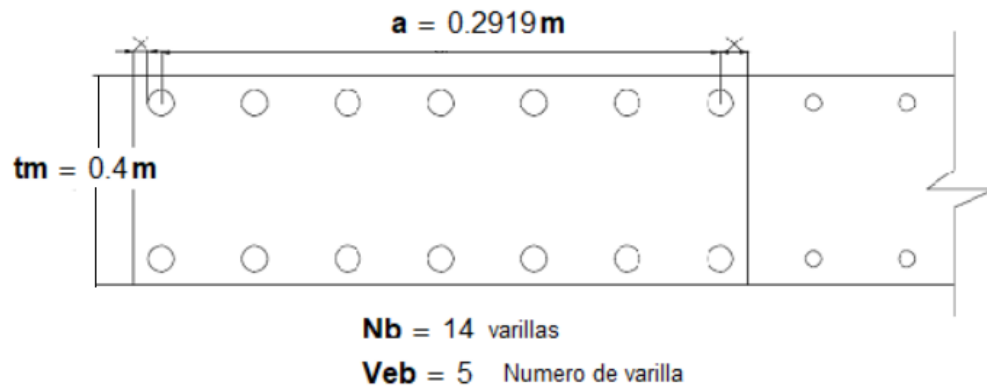
Fuente: elaboración propia.

Figura 42. **Espaciamiento de estribos de refuerzo diagonal, ejemplar uno**



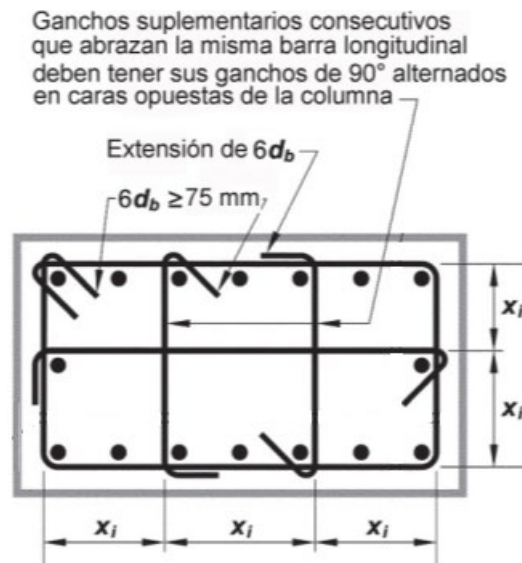
Fuente: elaboración propia.

Figura 43. **Distribución de varillas de elemento de borde, ejemplar uno**



Fuente: elaboración propia.

Figura 44. **Colocación de estribos y ganchos de elemento de borde, ejemplar uno**

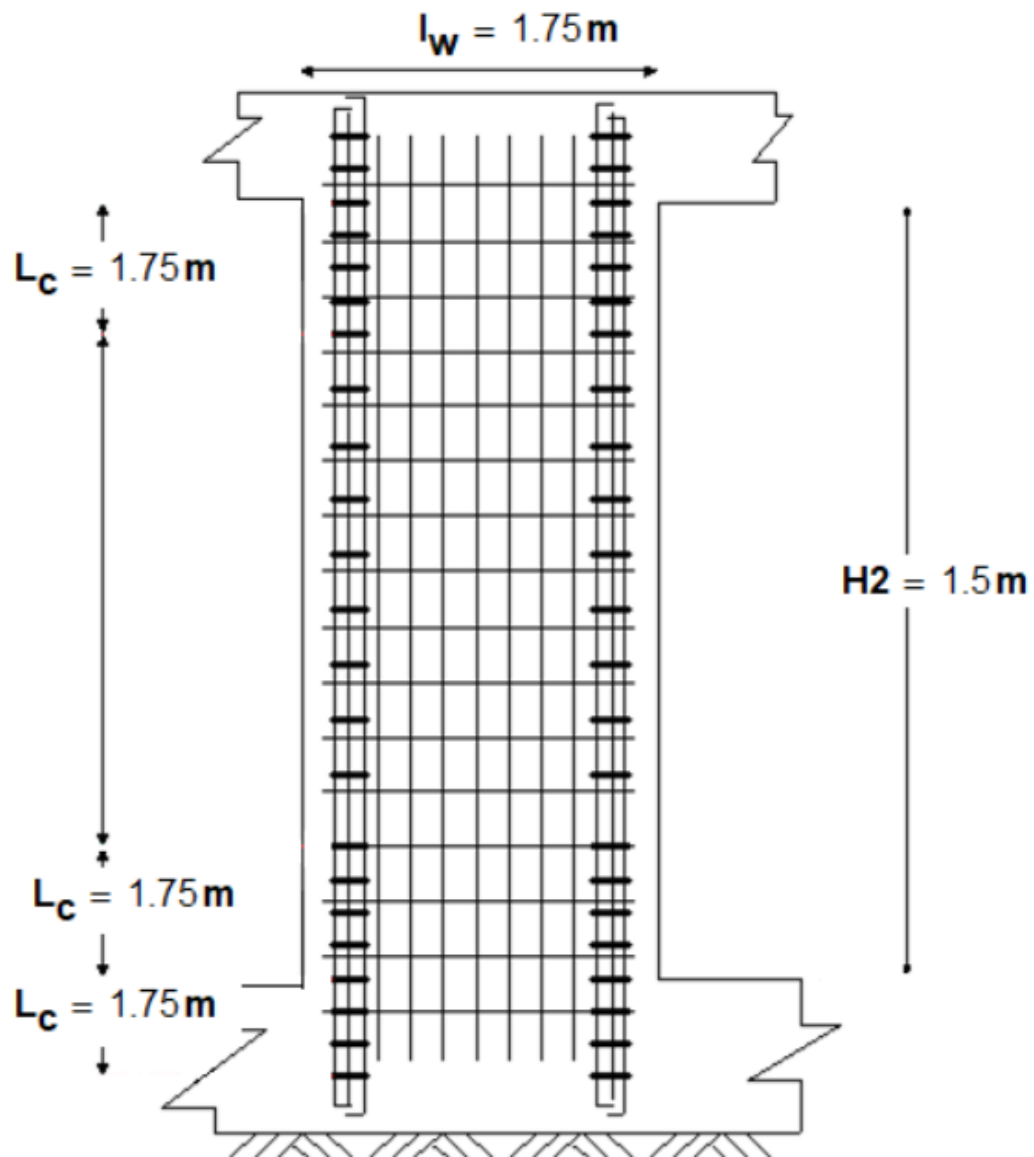


Estribos No 3 a cada  $S_c=10. \text{ Cm}$

Estribos No 3 a cada  $S_{cc}= 7 \text{ cm}$  en confinamiento

Fuente: elaboración propia.

Figura 45. **Distribución de estribos confinados y no confinados, ejemplar uno**



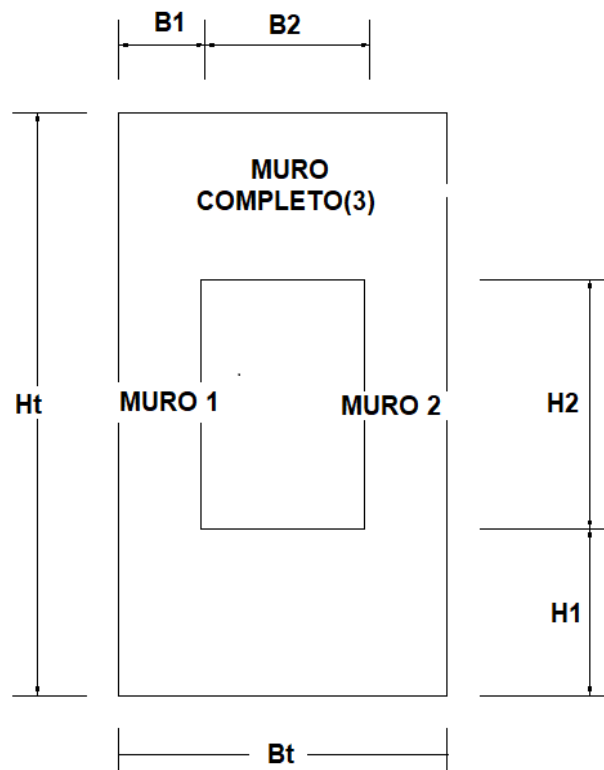
Fuente: elaboración propia

#### 4.2.2. Resultados utilizando *Mathcad*, ejemplar 2

El muro después de recibir una carga lateral de 15,000.00 kg, se presentan los resultados obtenidos para el refuerzo de acero longitudinal y transversal del muro dos, en el sistema internacional.

B1: = 1.2 m	H1: = 0.70 m
B2: = 2.10 m	H2: = 2.40 m
Bt: = 4.50 m	Ht: = 3.80 m

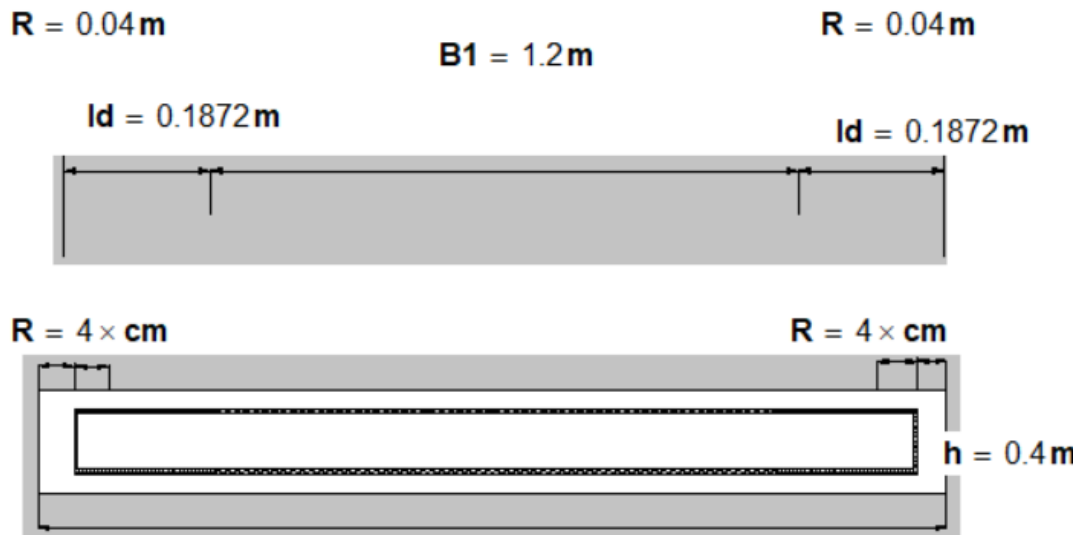
Figura 46. Dimensiones del muro ejemplar dos



Acero longitudinal muro 1 y muro 2

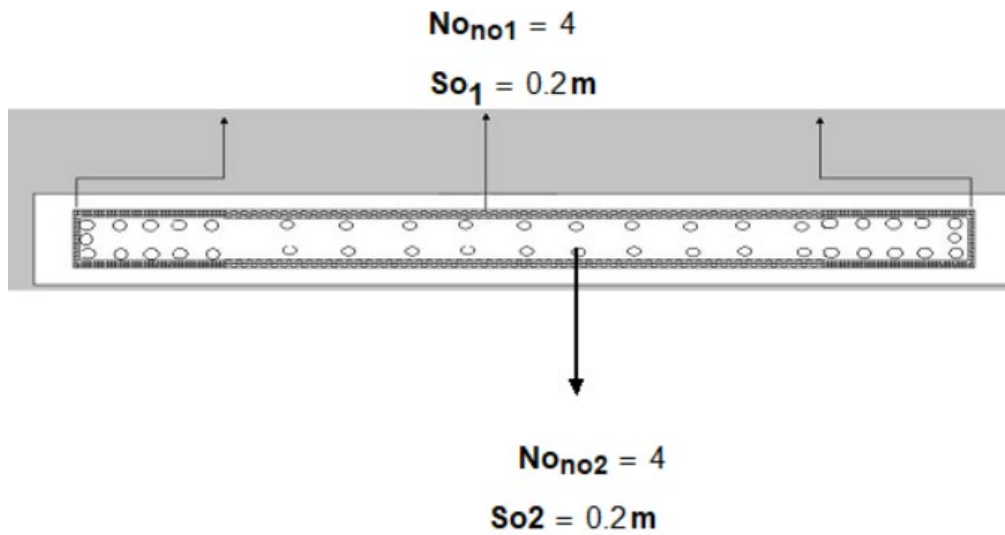
Fuente: elaboración propia.

Figura 47. Acotado de muro, ejemplar dos



Fuente: elaboración propia.

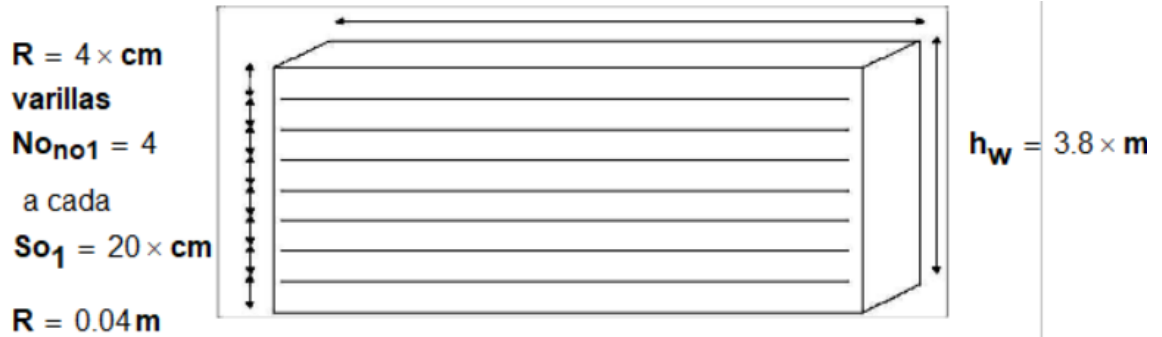
Figura 48. Detalle de refuerzo longitudinal muro 1 y 2, ejemplar dos



Fuente: elaboración propia.

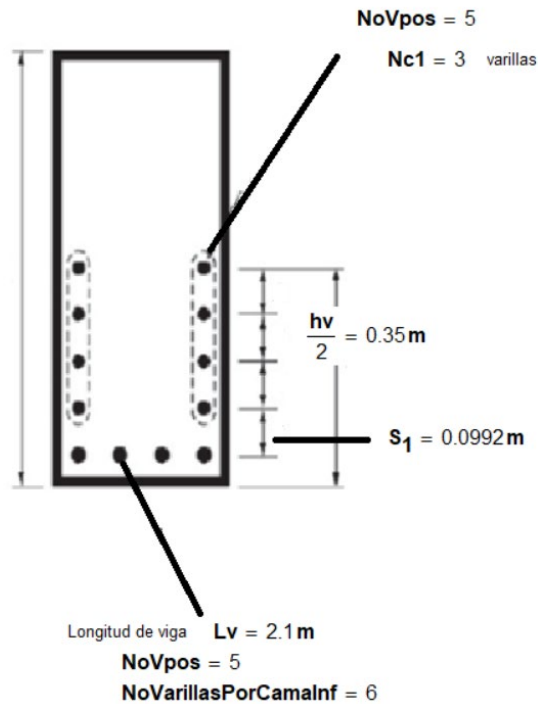


Figura 49. **Detalle de refuerzo transversal muro 1 y 2, ejemplar dos**



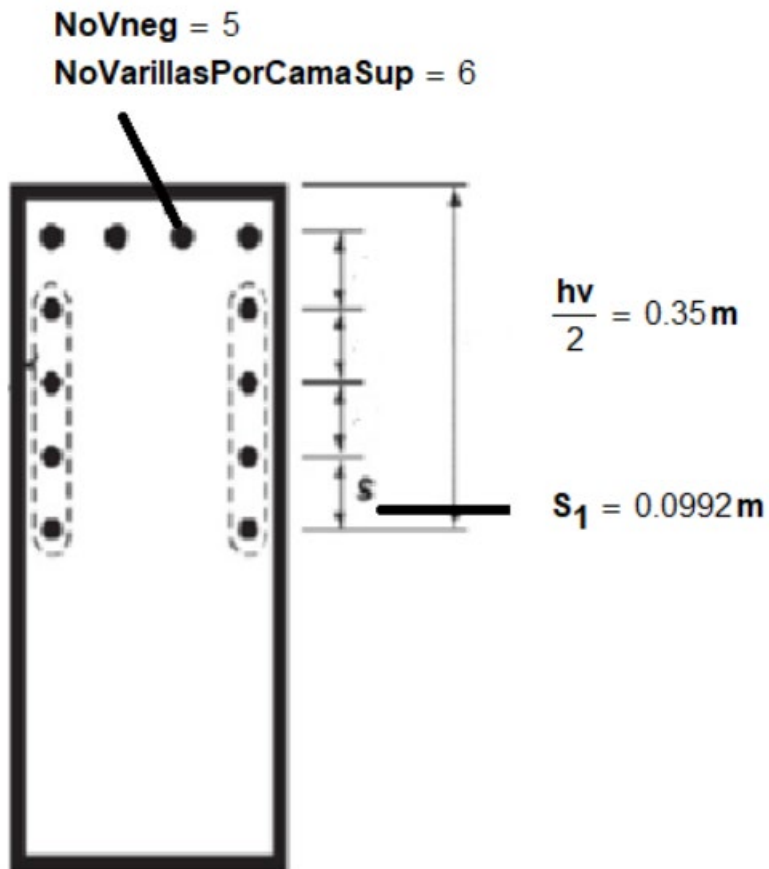
Fuente: elaboración propia.

Figura 50. **Detalle de refuerzo longitudinal inferior viga de acople, ejemplar dos**



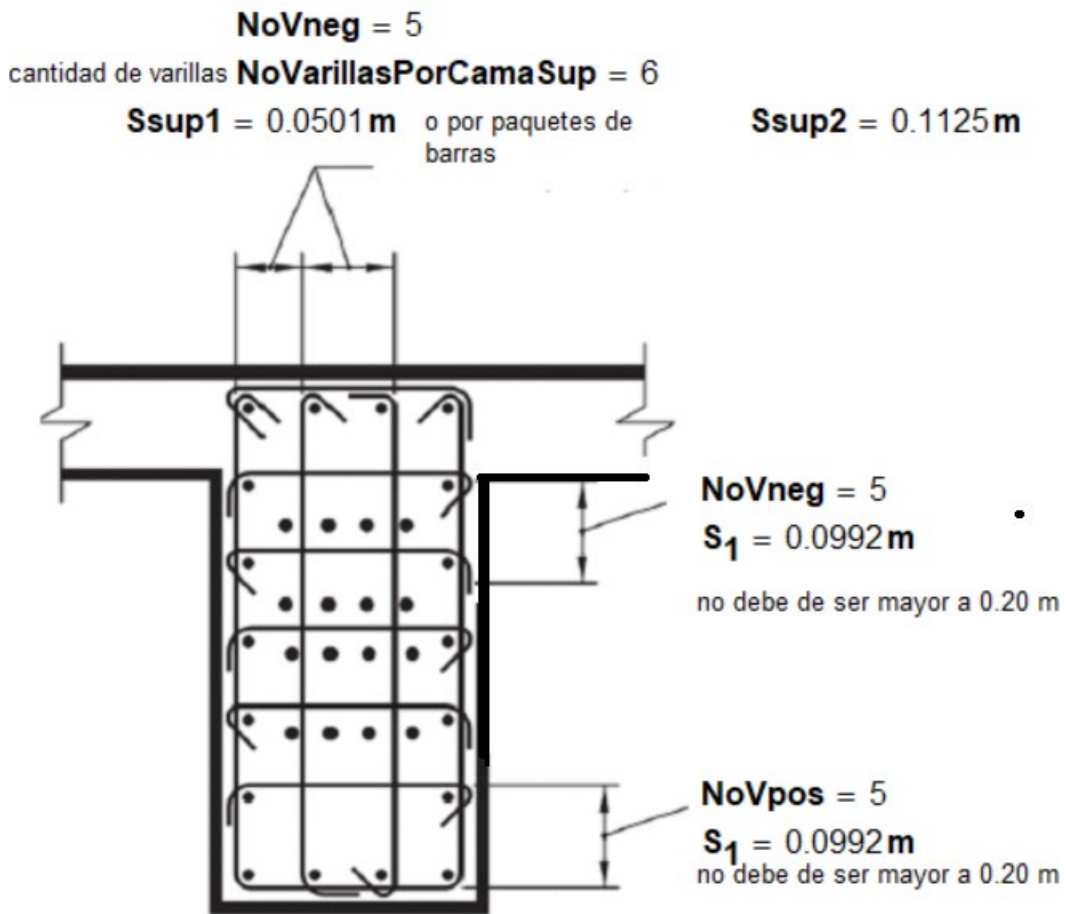
Fuente: elaboración propia.

Figura 51. Detalle de refuerzo longitudinal superior viga de acople, ejemplar dos



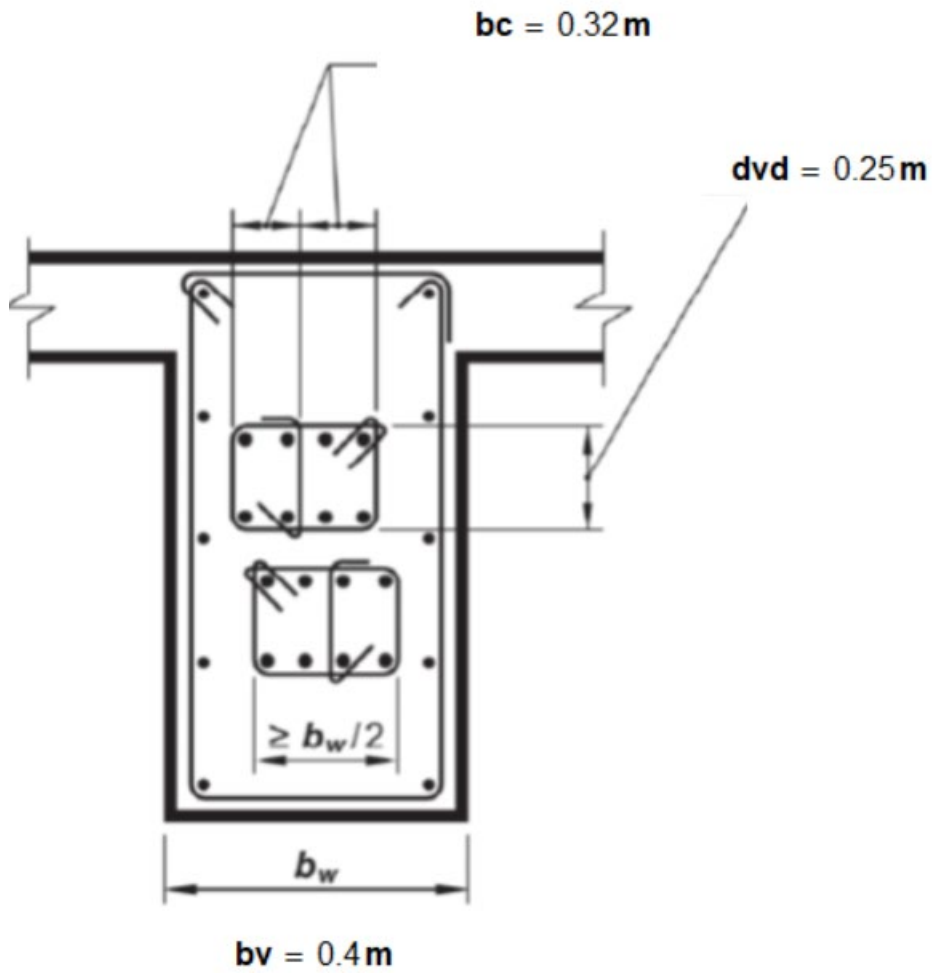
Fuente: elaboración propia.

Figura 52. Detalle de refuerzo longitudinal superficial, ejemplar dos



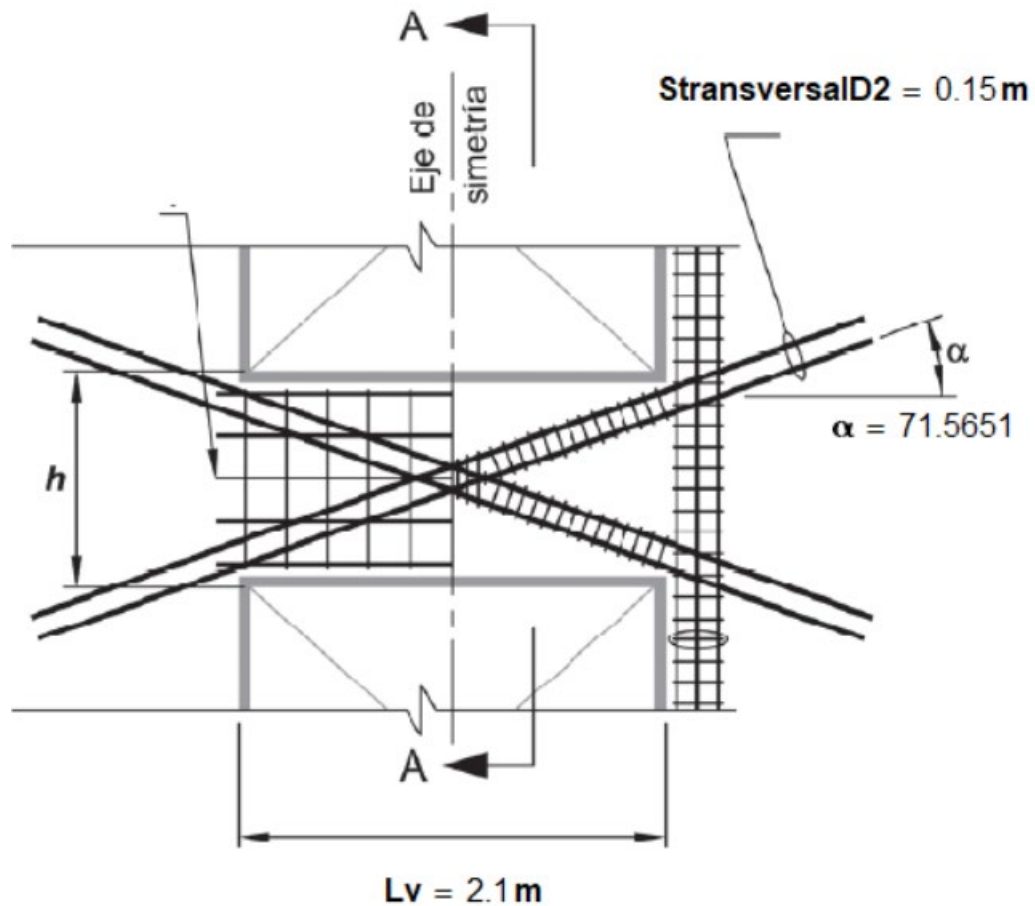
Fuente: elaboración propia.

Figura 53. Medidas de estribos de refuerzo diagonal, ejemplar dos



Fuente: elaboración propia.

Figura 54. **Espaciamiento de estribos de refuerzo diagonal, ejemplar dos**



Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.3. Resultados utilizando *Mathcad*, ejemplar 3

El muro después de recibir una carga lateral de 15,000.00 kg, se presentan los resultados obtenidos para el refuerzo de acero longitudinal y transversal del muro tres, en el sistema internacional.

B1: = 2.00 m

H1: = 1.40 m

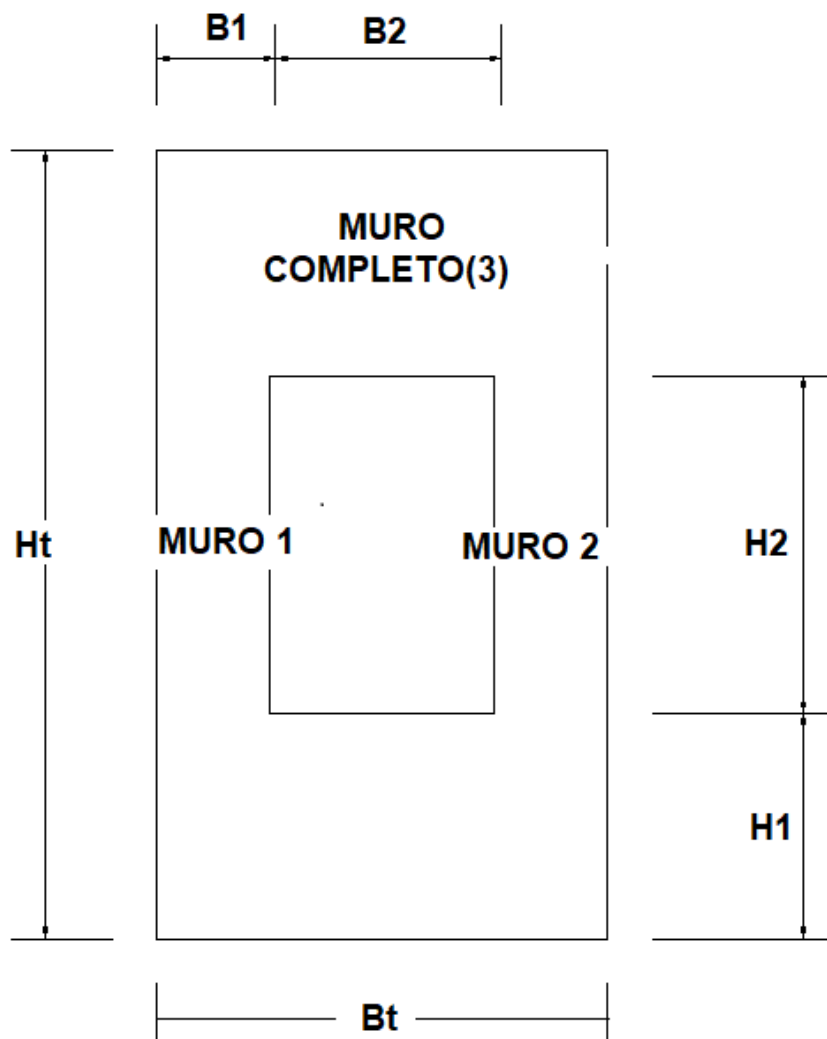
B2: = 0.4 m

H2: = 1.00 m

Bt: = 4.50 m

Ht: = 3.80 m

Figura 55. Acotado de muro, ejemplar tres

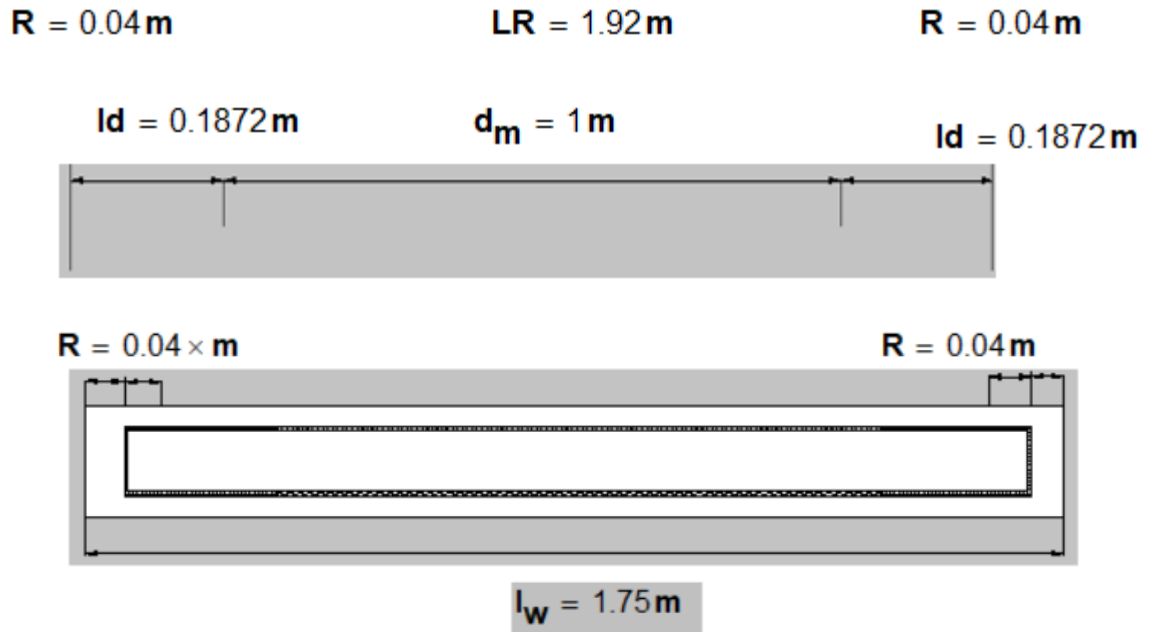


Acero longitudinal muro 1 y muro 2

Fuente: elaboración propia

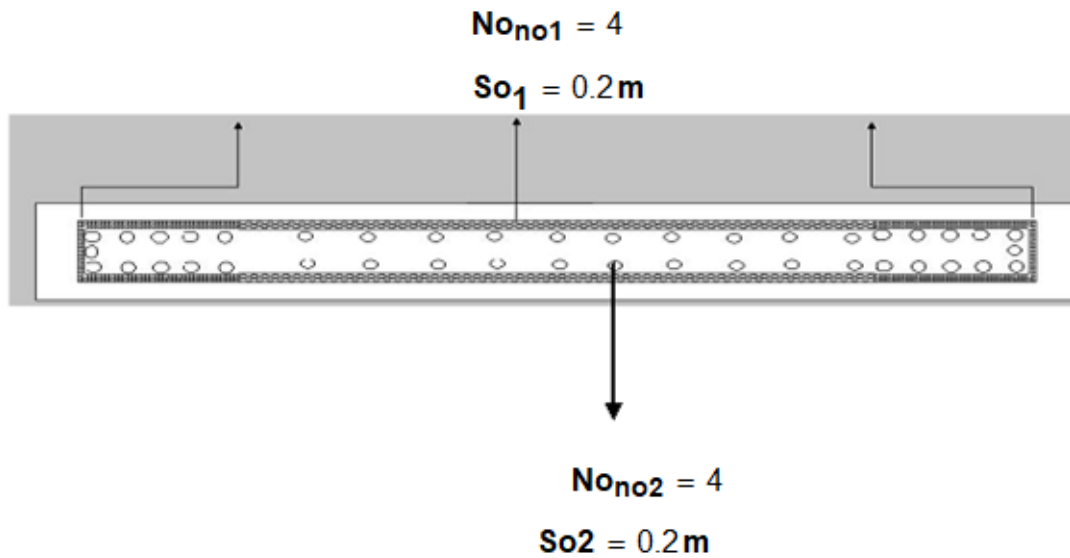
Figura 56. Acotado de muro, ejemplar tres

DETALLE DE MURO ACOTADO



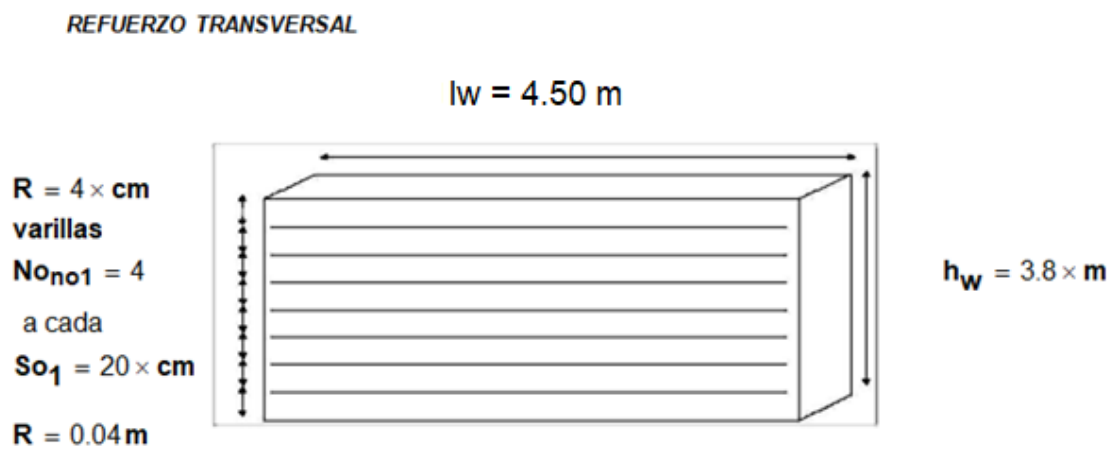
Fuente: elaboración propia.

Figura 57. Detalle de refuerzo longitudinal muro 1 y 2, ejemplar 3



Fuente: elaboración propia.

Figura 58. Detalle de refuerzo transversal muro 1 y 2, ejemplar tres



Fuente: elaboración propia.



### 4.3. Análisis de los resultados

De los resultados procedentes del programa realizado en la plataforma *Mathcad*, se obtuvo el armado de cada uno de los muros. Dejando aclaraciones en el algoritmo de donde es necesario ingresar datos para diseños posteriores.

Se verificó la utilidad de la hoja de cálculo, donde basado en los ejemplos realizados con tres muros con aberturas de diferente tamaño, dando los resultados siguientes, según el caso propuesto:

- El primer muro se diseña con una abertura de regular tamaño, en este ejemplo se diseñó el elemento de borde y viga de acople.
- En el segundo ejemplo, se propuso una abertura más grande, se diseñó el muro crítico y la viga de acople, no siendo necesario el elemento de borde.
- En el muro del ejemplo tres, se propone una abertura más pequeña que la de los dos ejemplos anteriores, por lo que no es necesario diseñar la viga de acople; también se le aumentó el espesor y entonces no fue necesario diseñar el elemento de borde.

Por último, tomando en cuenta los resultados obtenidos con el programa ETABS comparando con los resultados de *Mathcad* se diferencian por que el armado del muro se especifica para cada elemento, lo cual es más entendible a lo contrario de ETABS donde los resultados del armado se representan por medio de cantidad de área de acero en centímetros cuadrados para lo cual hay que tener conocimiento de la norma y detallar cada elemento como lo despliega el *Mathcad*.



## CONCLUSIONES

1. La utilización de un *software* en el diseño de elementos estructurales reduce sustancialmente el tiempo de trabajo, debido a su versatilidad.
2. El diseño de un muro de corte de concreto reforzado con abertura, realizado con el programa *Mathcad*, en formato de hoja de cálculo facilita el diseño.
3. El uso del *software Mathcad*, genera una memoria de cálculo de fácil entendimiento, basado en las normas ACI 318-2014, orientando paso a paso los procesos seguidos, por ello su uso e interpretación dependerá del criterio del diseñador.
4. Los muros de corte con aberturas, según su tamaño, se pueden diseñar como un solo muro, si la abertura es pequeña o diseñando el muro crítico sin la abertura y con vigas de acople.
5. El diseño de elementos de borde depende del tamaño de la abertura, tal como lo muestran los ejemplos realizados, donde las aberturas mayores al 30 % de tamaño, no requieren elemento de borde. Al contrario, cuando no se quieren diseñar elementos de borde, se puede aumentar el espesor del muro.



## RECOMENDACIONES

1. Utilizar la normativa vigente y dar seguimiento a su actualización es un proceso indispensable y permanente, ya que con ello se garantiza un mejor diseño y funcionamiento de los elementos estructurales resultantes.
2. Manejar programas para el diseño estructural de edificios, puentes, muros, etc, los cuales encierran una serie de extensos cálculos, pueden reducir este proceso de manera práctica, tomando en cuenta que los resultados de su uso dependen del criterio y conocimientos del diseñador.
3. Conocer los datos a ingresar al *software Mathcad*, y la forma en que los mismos se desplegarán mediante formato de hoja de cálculo, ayuda a la mejor interpretación de los resultados al concluir su proceso de análisis, la cual será información necesaria para su evaluación final y toma de decisiones.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ACI. (2014). (*AMERICAN CONCRETE INTERNATIONAL*) *Requisitos de Reglamento para concreto estructura y comentarios ACI 318SUS-14.* (c. ACI, Trad.) Estados Unidos.
2. AGIES. (2010).
3. AGIES. (2018). *Normas Guatemaltecas estructurales establecidas.* GUATEMALA.
4. AGIES, N. (2010). *NSE 2.1.* GUATEMALA.
5. Alcocer, S. (1995). *Comportamiento y diseño de estructuras de concreto reforzado: Muros estructurales.* Mexico D.F.
6. Ambrose, P. (2008). *Diseño simplificado de concreto reforzado.* México: Limusa.
7. AMBROSE, p. (2008). *Diseño simplificado de concreto reforzado.* México: Limusa.
8. Arnal, E. y Epelboim, S. (1985). *Manual para el proyecto de estructuras de concreto armado para edificaciones.* CARACAS, VENEZUELA: COLEGIO DE INGENIEROS DE VENEZUELA.

9. ASCE. (2010). *Minimum Design Loads for Buildings and other structures*. (A. S. INSTITUTE), Ed.) ESTADOS UNIDOS.
10. ASENJO, S. A. (2012). *ESTUDIO DE LA NORMATIVA DE DISEÑO DE MUROS SOMETIDOS A CARGAS DE SISMOS (TESIS DE PREGRADO, Ingeniero Civil en Obras Civiles.)*. VALDIVIA, CHILE.
11. Bazán, E. y. (2008). *Diseño Sísmico de edificios*. México: Limusa.
12. Briceño, A. (2013). *Análisis y diseño de muros estructurales de concreto considerando las experiencias de los terremotos de Chile 2010 y nueva Zelanda 2011 (tesis pregrado, Ingeniería Civil)*. Caracas, Venezuela.
13. Camacho, L. (2001-2002). *Curso de aprendizaje de MathCad*.
14. CSI, E. (s.f.). <http://www.csiespana.com/>. Recuperado el 2018, de <http://www.csiespana.com/>.
15. Escobar, J. (2008). *ESTUDIO ANÁLITICO DE SOLUCIONES ALTERNATIVAS A LAS DISPOSICIONES DE ARMADURA DIAGONAL EN DINTELES CORTOS*. SANTIAGO DE CHILE: TESIS DE PREGRADO, INGENIERÍA CIVIL, UNIVERSIDAD DE CHILE, FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS, DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL.
16. Escobar, J. A. (2008). *Estudio analítico de soluciones alternativas a las disposiciones de armadura diagonal en dinteles cortos ( Tesis de*



*pregrado de Ingeniería Civil*). Universidad de Chile Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas departamento de Ingeniería Civil. Santiago de Chile.

17. Flores, T. M. (2003). *ESTUDIO DEL CONTROL DE RÓTULAS PLÁSTICAS EN PÓRTICOS DE CONCRETO ARMADO (TESIS DE POSTGRADO, INGENIERÍA CIVIL)*. LIMA, PERÚ.
18. Garcia. (2003). *Sistemas*. España: Mickey.
19. Gere, J. (s.f.). *2008* (Sexta ed.). (R. y. Arrijoa, Trad.) México: CENGAGE Learning.
20. Gere, J. M. (2008). *Mecánica de materiales* (Sexta ed.). (A. R. J., Trad.) México: CENGAGE learning.
21. IBC. (2006). *INTERNATIONAL BUILDING CODE*. (I. INTERNATIONAL CODE COUNCIL, Ed.) ESTADOS UNIDOS .
22. Larrain, A. (2006). Manual de cálculo de hormigon armado. En F. Yañez. Santiago de Chile: Gerdzu Aza.
23. LUCAS. (2011). *PILOTES*. GUATEMALA.
24. Mathcad. (14.0.0.163). PROGRAMA.
25. McCormac, J. (2011). *Diseño de concreto reforzado* (Octava ed.). (ALFAOMEGA, Ed., & R. Arrijoa, Trad.) México: ALFAOMEGA.

26. Medina, J. (2003). *Apuntes de curso de sistemas estructurales 20*. (U. d. Facultad de Arquitectura y Diseño, Ed.) Los Andes, Venezuela.
27. Nguyen, M. (s.f.). MathCAD Tutorial.
28. Nilson, A. (1999). *Diseño de estructuras de concreto* (Duodécima ed.). Colombia: McGRAW- HILL INTERAMERICANA, S.A.
29. Nilson, A. H. (1999). Diseño de estructuras de concreto. En A. H. Nilson, *Diseño de estructuras de concreto* (Duodécima ed., pág. 772).
30. Parker, A. (2008). *DISEÑO SIMPLIFICADO DE CONCRETO REFORZADO*. Mexico: Limusa.
31. Parker, A. (2008). *DISEÑO SIMPLIFICADO DE CONCRETO REFORZADO*. México: Limusa.
32. Paulay, T. (1992). *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*. A Wiley Interscience Publication.
33. PCA, N. (2008). Comentarios ACI 318-08.
34. Perez. (2012). *Cimentaciones*. Guatemala: USAC.
35. Suarez, M. (2009). <http://moisesduarez.files.wordpress.com/2009/09/apuntes-de-clase.pdf>.
36. Ulsamer, P. (2007). *Las humedades*.

## APÉNDICES

### Apéndice 1. **Despliegue de resultados utilizando la hoja de cálculo de *Mathcad* (ACI, 2014)**

Diseño en el programa para muro, ejemplar uno

Diseño en el programa para muro, ejemplar uno

Ingreso de propiedades geométricas del muro

B1: = 1.75 m

H1: = 1.15 m

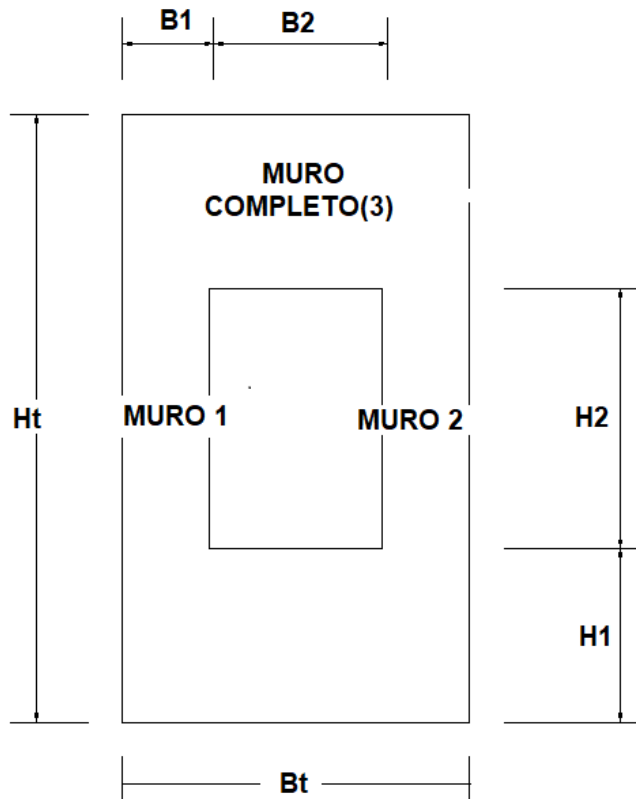
B2: = 1.00 m

H2: = 1.50 m

Bt: = 4.50 m

Ht: = 3.80 m

Figura 1. Dimensiones de muro 1



Fuente: elaboración propia.

### Ingreso de propiedades de diseño del muro

$f'_c$  = resistencia nominal a la compresión del concreto

$f_y$  = resistencia nominal a la fluencia del acero de refuerzo principal

$h$  = espesor del muro

$M_u$  = momento último de flexión

$V_u$  = corte del muro o la carga lateral de sismo

$P_u$  = carga axial mayorada normal a la sección transversal, que ocurre simultáneamente con  $V_u$

R= recubrimiento del muro diseño = Tipo de diseño, 1, 2 y 3, para muro 1, muro 2 y muro en conjunto o sin tomar en cuenta abertura respectivamente.

R = es el recubrimiento del muro

$$f'c = 281 \frac{kg}{cm^2}$$

$$fy = 4,200 \frac{kg}{cm^2}$$

$$R = 4 \text{ cm}$$

$$h = 40 \text{ cm}$$

$$Vu = 15000 \text{ kg}$$

$$Pu = 0 \text{ kg}$$

Cálculos:

$$Hw = Ht = 3.80 \text{ m}$$

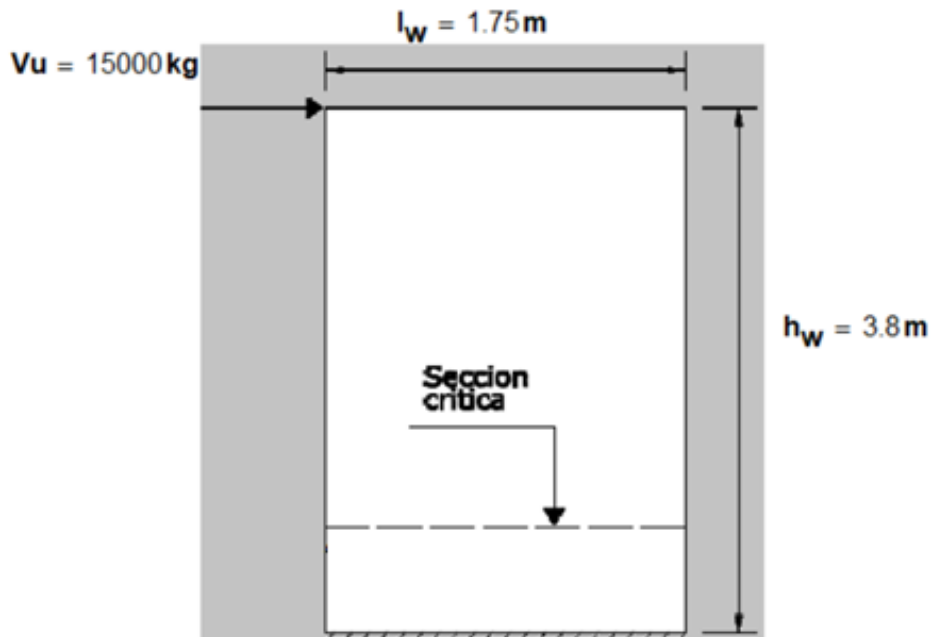
$$b = h = 40 \text{ cm}$$

$$\beta_v = 0.85$$

$$EAs = 2038552.829 \frac{kg}{cm^2}$$

Cálculo de sección crítica de corte

Figura 2. Sección crítica de corte



Fuente: elaboración propia.

$$lc1 = \frac{hw}{2} = \frac{3.80 \text{ m}}{2} = 1.90 \text{ m}$$

$$lc2 = \frac{Lw}{2} = \frac{1.75 \text{ m}}{2} = 0.875 \text{ m}$$

Ecuación 12: longitud de la sección crítica

El mínimo entre estos dos es:

$$lc = 0.875 \text{ m}$$

Cálculo de momento último:

$$Mu = (hw - lc) Vu = (3.80 \text{ m} - 0.875 \text{ m}) \times 15,000.00 \text{ kg} = 43,875.00 \text{ kg}$$

Ecuación 13: Momento último

Chequeo de la resistencia máxima de corte permitida

$$\phi = 0.75$$

$$d = 0.80 \times 1.75 \text{ m} = 1.40 \text{ m}$$

Factor de reducción de capacidad a corte

$$\phi V_{u1} = \phi 2.65 \sqrt{f'c} b d$$

Ecuación 14: corte último 1

$$\phi V_{u1} = 0.75 \times 2.65 \times \sqrt{281 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} \times 40 \text{ cm} \times 140 \text{ cm} = 186,572.80 \text{ kg}$$

Ecuación 15: corte último 2

Entonces:

Si  $[\phi V_{u1} > V_u, "Ok" \text{ de lo contrario Aumentar el espesor del muro}] = "ok"$

Cálculo de la resistencia al corte del concreto

Sección crítica del corte

$$l_c = 87.5 \text{ cm}$$

$$\lambda = 1$$

Ecuación 16: factor de corte

$$V_{c1} = 0.88 \times \lambda \times \sqrt{f'c} \ b d + \frac{P_u \times d}{4 \times l_w}$$

Ecuación 17: corte último 3

$$V_{c1} = 0.88 \times 1.00 \times \sqrt{210 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} \times 40\text{cm} \times 140 \text{ cm} + \frac{0 \times 140 \text{ cm}}{4 \times 175 \text{ cm}}$$

$$V_{c1} = 82,608.33 \text{ kg}$$

$$R_m = \frac{Mu}{Vu} = h_w - l_c = 380 \text{ cm} - 87.5 \text{ cm}$$

$$V_{c2} = \left[ \left( 0.16 \lambda \sqrt{f'c} \right) + \frac{lw \left[ 0.33 \lambda \sqrt{f'c} + \frac{0.20 Pu}{lw h} \right]}{\left( \frac{Mu}{Vu} \right) - \frac{lw}{2}} \right] d b$$

Ecuación 18: (ACI, 2014) sección 11.5.4.6 (e)

$$V_{c2} = \left[ \left( 0.16 \times 1.00 \sqrt{281 \text{ kg/cm}^2} \right) + \frac{1.75 \text{ m} \left[ 0.33 \times 1.00 \sqrt{(281 \text{ kg/cm}^2)} + 0 \right]}{\left( \frac{43,875.00 \text{ kg}}{15,000.00 \text{ kg}} \right) - \frac{1.75 \text{ m}}{2}} \right] \times 140 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}$$

$$V_{c2} = 41,464.44 \text{ kg}$$

Si  $R_m$  es mayor a 0

Entonces  $V_c$  es el menor entre  $V_{c1}$  y  $V_{c2}$

De lo contrario  $V_c$  es  $V_{c1}$

$$V_c = 41,464.44 \text{ kg}$$



Determinación del refuerzo horizontal de corte

$$Vu2 = \phi \times \frac{Vc}{2} = 0.75 \times \frac{41,464.44 \text{ kg}}{2} = 15549.16 \text{ kg}$$

Ecuación 19: corte horizontal

Si  $Vu2 > Vu$  entonces Ok concreto espaciamiento máximo requerido, de lo contrario reforzar con acero, según diagrama de corte.

$$Vn \leq \phi Vn$$

Ecuación 20: factor de corte

$$Vn \leq \phi(Vc + Vs)$$

Ecuación 21: corte último

Proponer o probar armado:

Ingresar datos:

$N_{no1} = 4$  número de varilla

$S_{o1} = 20$  cm separación propuesta

$$Vs = \frac{A b_{no1}}{S_{o1}} f_y d = \frac{1.27 \text{ cm}^2}{20 \text{ cm}} \times 281 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 140 \text{ cm} = 37,338.00 \text{ kg}$$

$$Vn = Vc + Vs = 41464.44 \text{ kg} + 37,338.00 \text{ kg} = 78802.44 \text{ kg}$$

Ecuación 22: corte nominal

RESULTADO ACERO HORIZONTAL:

$$\rho t = \frac{Ab_{no1}}{b \times So_1} \times 2 = \frac{1.27 \text{ cm}^2}{40 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}} = 0.0032$$

Ecuación 23: Cuantía de acero horizontal

Si  $\rho t$  es mayor a 0.0025 o  $V_u$  menor a  $V_n$  entonces “usar acero propuesto” de lo contrario “aumentar varilla de acero”

$$S_{\text{máximo1}} = \left( \begin{array}{c} lw / 3 \\ 3 \times b \\ 45 \text{ cm} \end{array} \right)$$

Ecuación 24: espaciamiento máximo

Cálculos:

$S_{\text{máx}}$  es el mínimo entre los anteriores

Si  $So_1$  es menor que  $S_{\text{máx}}$  entonces “usar el acero propuesto” de lo contrario “aumentar varilla de acero”.

Determinación del refuerzo vertical para cortante

$$\rho l = 0.0025 \left[ 0.50 \times \left( 2.5 - \frac{hw}{lw} \right) \times (\rho t - 0.0025) \right]$$

$$\rho l = 0.0025 \times (0.50 \times (2.5 - \frac{3.80 \text{ m}}{1.75 \text{ m}})) \times (0.0032 - 0.0025) = 0.0026$$

Ecuación 25: cuantía vertical

Si  $\rho_t$  es mayor o igual a  $\rho_l$  y a 0.0025 entonces “propuesta es correcta” de lo contrario “cambiar propuesta de acero”.

0.0032 es mayor a 0.0026 y a 0.0025 entonces la “propuesta es correcta”.

$$S_{\text{máximo1}} = \left( \begin{array}{c} lw / 3 \\ 3 \times b \\ 45 \text{ cm} \end{array} \right)$$

Ecuación 24: espaciamiento máximo

$S_{\text{máximo1}}$  es el menor entre los anteriores

$S_{\text{máximo1}} = 45 \text{ cm}$

Proponer o probar armado:

Ingreso de datos:

Resultado de acero vertical propuesto

$N_{\text{no2}} = 4$  número de varilla

$S_{\text{o2}} = 20 \text{ cm}$  separación propuesta

Cálculos:

$$\rho_{t1} = \frac{A_{b_{no2}}}{b \times S_{o2}} \times 2 = \frac{1.27 \text{ cm}^2}{40 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}} \times 2 = 0.0032$$

Ecuación 26: cuantía de acero longitudinal

Si  $\rho_l$  es menor que  $\rho_{t1}$  entonces “usar acero propuesto” de lo contrario “cambiar propuesta de acero”.

0.0026 es menor que 0.0032 entonces “usar acero propuesto”

Si  $S_{o2}$  es menor o igual al  $S_{\text{máximo}1}$  entonces “usar acero propuesto” de lo contrario “cambiar propuesta de acero”.

20 cm es menor que 45 cm entonces “usar acero propuesto”

Diseño por flexión:

$$M_u = 43,875 \text{ m} \times \text{kg}$$

Secciones controladas por tracción el factor de reducción es 0.90

$$\phi_f = 0.90$$

Ecuación 27: factor de flexión

$$d_1 = 0.80 \times l_w = 0.80 \times 1.75 = 1.40 \text{ m}$$

Ecuación 28: longitud efectiva del área del muro

Un valor más exacto será determinado dependiendo los resultados siguientes:

$$R_n = \frac{Mu}{\phi f_c b d^2} = \frac{43,875 \text{ kgxm}}{0.90 \times 40 \text{ cm} \times 140^2} = 62,181.12 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Ecuación 29: Relación momento último

$$\rho = \frac{0.85 f'_c}{f_y} \times \left[ 1 - \sqrt{\left( 1 - \frac{R_n \times 2}{0.85 \times f'_c} \right)} \right]$$

$$\rho = \frac{0.85 \times 281 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{4200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} \times \left[ 1 - \sqrt{\left( 1 - \frac{62,181.12 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 2}{0.85 \times 281 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} \right)} \right]$$

$$\rho = 0.0015$$

Ecuación 30: Cuantía de acero a flexión

Encontrando el área requerida según, el momento último de flexión en el muro.

$$A_s f = \rho \times b \times d_1 = 0.0015 \times 40 \text{ cm} \times 140 \text{ cm} = 8.40 \text{ cm}^2$$

Ecuación 31: Acero a flexión

Ingrese la longitud propuesta para el acero vertical:

Proponer acero en los extremos:

$$d_m = 100 \text{ cm}$$

$n_{var} = 7$  cantidad de varillas de cada lado

$N_{no3} = 6$  número de varilla

Cálculo de número de varillas de acero por fuerza vertical de corte:

Varillas de cada lado:

$$C_v = \frac{dm}{So2} = \frac{100 \text{ cm}}{20 \text{ cm}} = 5.00$$

Ecuación 32: Cantidad de varillas de acero

$$A_{sc} = C_v \times 2 \times A_{bno3} = 5.00 \times 2 \times 2.85 \text{ cm}^2 = 10.16 \text{ cm}^2$$

Ecuación 33: Acero de cama superior

Si  $f'c$  es menor o igual a  $281 \text{ kg/cm}^2$  entonces  $\beta = 0.85$  de lo contrario

$$\beta = \left[ 0.85 - \frac{0.0007}{\frac{KG}{cm^2}} \times \left( f'c - 281 \frac{kg}{cm^2} \right) \right]$$

Ecuación 34: factor de resistencia

Entonces como  $f'c = 281 \text{ kg/cm}^2$  entonces  $\beta = 0.85$ .

$$\mu = \beta \times \left( \frac{f'c}{f_y} \right) = 0.85 \times (281 \text{ kg/cm}^2 / 4200 \text{ kg/cm}^2) = 0.0569$$

Ecuación 35: relación resistencia de concreto y acero

$$A_{sf} = A_{sE} \times 2 + A_{sc} = 39.9 \times 2 \text{ cm}^2 + 10.16 \text{ cm}^2 = 89.96 \text{ cm}^2$$

Ecuación 36: Área de acero de fluencia

$$M_n = \frac{0.90 \times d_m \times A_{sf} \times f_y}{\beta} - \frac{0.529 \times A_{sf}^2 \times f_y^2}{\beta^2 \times f'c \times b}$$

Ecuación 37: Momento nominal a flexión

$$M_n = \frac{0.90 \times 1.00 \text{ m} \times 89.96 \text{ cm}^2 \times 4200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{0.85} - \frac{0.529 \times 89.96^2 \times 4200^2}{0.85^2 \times 281 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 40 \text{ cm}} = 307064.68 \text{ kg} \times \text{m}$$

$$M = \phi_f \times M_n = 0.90 \times 307,064.68 \text{ kg} \times \text{m} = 276,358.2163 \text{ kg} \times \text{m}$$

$$M_u = 43,875 \text{ m} \times \text{kg}$$

Si  $M_u$  es menor o igual a  $M$  entonces “usar acero propuesto” de lo contrario “proponer más acero”.

Como  $43,875 \text{ kg} \times \text{m}$  es menor a  $276,358.21 \text{ kg} \times \text{m}$  entonces “usar acero propuesto”

$$S_{o3} = \left( \frac{l_w - d_m - 2 \times R}{n_{var} - 3} \right) = \left( \frac{175 \text{ cm} - 100 \text{ cm} - 2(4)}{7 - 3} \right) = 16.75 \text{ cm}$$

Ecuación 38: separación de varillas de acero a flexión

$$ld := \frac{fy \times d_{b_{no3}}}{17 \times \sqrt{f'c}} \times kg^{-0.5} \times cm$$

Ecuación 39: longitud de desarrollo

$$ld := \frac{4,200 \text{ kg/cm}^2 \times 1.9 \text{ cm}}{17 \times \sqrt{281 \text{ kg/cm}^2}} = 28 \text{ cm}$$

$$LR := 175 \text{ cm} - 2(4.00 \text{ cm}) = 167 \text{ cm}$$

Ecuación 40: longitud efectiva del muro

Chequeo de diseño de elemento de borde

Datos:

$$b = 50 \text{ cm}$$

$$h = 50 \text{ cm}$$

$$h_w = 3.8 \text{ m}$$

$$l_w = 1.75 \text{ m}$$

$$f'c = 281 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$d = 1.4 \text{ m}$$

Ingreso de datos:

$$\delta u = 0.66 \text{ cm desplazamiento de diseño}$$

Cálculos:

$$\text{Relacion } \delta u / h_w = \frac{\delta u}{h_w} = \frac{0.66 \text{ cm}}{380 \text{ cm}} = 0.0017$$

Ecuación 41: relación desplazamiento altura



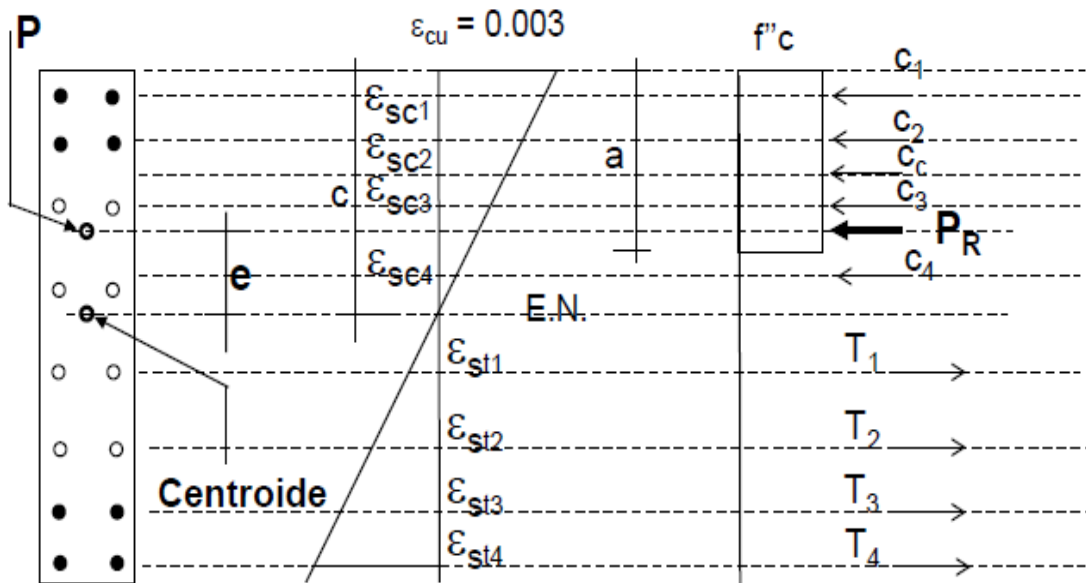
si Relación  $\delta h w$  es mayor o igual a 0.005 entonces relación  $\delta h w$  de lo contrario 0.005.

como 0.0017 es menor a 0.005 entonces relación  $\delta h w = 0.005$

$$c_2 = \frac{l_w}{600 \times (1.5 \times \text{Relacion } \delta h w)} = \frac{380 \text{ cm}}{600 \times (1.5 \times 0.005)} = 38.89 \text{ cm}$$

Ecuación 42: profundidad del eje neutro

Figura 3. Deformaciones unitarias en muro a flexión muro 1



Fuente: (Nilson A. H., 1999)

Ecuación 43: Parámetros de esfuerzos de bloques de concreto

$$\alpha_3 = \begin{cases} 0.72 & \text{si } f'_c < 351 \frac{kg}{cm^2} \\ 0.68 & \text{si } f'_c < 421 \frac{kg}{cm^2} \wedge f'_c \geq 351 \frac{kg}{cm^2} \\ 0.64 & \text{si } f'_c < 490 \frac{kg}{cm^2} \wedge f'_c \geq 421 \frac{kg}{cm^2} \\ 0.60 & \text{si } f'_c < 562 \frac{kg}{cm^2} \wedge f'_c \geq 490 \frac{kg}{cm^2} \\ 0.56 & \text{de lo contrario} \end{cases}$$

Fuente: (Nilson A. H., 1999)

$$c_1 = \frac{(A_s f_y)}{\alpha_3 \times f'_c \times b} = \frac{89.96 \times 4200 \text{ kg/cm}^2}{0.72 \times 281 \text{ kg/cm}^2 \times 40 \text{ cm}} = 47 \text{ cm}$$

Ecuación 44: longitud de esfuerzos a compresión

Si  $c_1$  es mayor a  $c_2$  entonces “requiere elemento de borde” de lo contrario “no requiere elemento de borde”.

Como 47 cm es mayor a 38.89 cm entonces “requiere elemento de borde”.

Diseño de elemento de borde

Longitud de elemento de borde

Si  $c_1 - 0.10lw$  es mayor o igual a  $c_1/2$  entonces  $a = c_1 - lw$

De lo contrario  $a = c_1/2$

Ecuación 45: longitud de elemento de borde

$c1 - 0.10lw = 47 \text{ cm} - (0.10 \times 175 \text{ cm}) = 29.50 \text{ cm}$  es mayor  $c1/2 = 47 \text{ cm}/2 = 23.50 \text{ cm}$  entonces  $a = 29.50 \text{ cm}$

$$a = 29 \text{ cm}$$

$$2a = 58 \text{ cm}$$

$$lw = 1.75 \text{ m}$$

$$fy = 42,000,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$EAs = 2038552.829 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$C_{neutro} := \left( \frac{fy \times d}{EAs} \right) \times \left( \frac{1}{0.003 + \frac{fy}{EAs}} \right)$$

Ecuación 46: eje neutro elemento de borde

$$C_{neutro} = \left( \frac{4200 \text{ kg/cm}^2 \times 140 \text{ cm}}{2038552.83 \text{ kg/cm}^2} \right) \times \left( \frac{1}{0.003 + \frac{4200 \text{ kg/cm}^2}{2038552.83 \text{ kg/cm}^2}} \right)$$

$$= 57.00 \text{ cm}$$

Propuesta de armado para 14 varillas

Ingreso de propuesta de armado:

NoVarillaBorde = 5

Cálculos:

Total, de varillas distribuidas en 2 capas, simétricamente

NoVarillasDeBorde = 14

$$AsB = \text{NovarillasDeBorde} \times \left[ \pi \times \left( \frac{\text{NovarillaBorde} \times 2.54}{16} \right)^2 \times \text{cm}^2 \right]$$

Ecuación 47: Área de 14 varillas de elemento de borde

$$AsB = 14 \times \left[ \pi \times \left( \frac{5 \times 2.54}{16} \right)^2 \times \text{cm}^2 \right] = 27.71 \text{ cm}^2$$

$$\rho Eb = \frac{AsB}{(b) \times (2R + a)} = \frac{27.71 \text{ cm}^2}{40 \text{ cm} \times ((2 \times 4 \text{ cm}) + 29 \text{ cm})} = 0.0186$$

Ecuación 48: cuantía de 14 varillas de elemento de borde

$$\text{SelementoBorde} := \frac{2a}{\text{NovarillaDeBorde}} = \frac{2 \times 29 \text{ cm}}{14} = 4.17 \text{ cm}$$

Ecuación 49: espaciamiento de 14 varillas de elemento de borde

Distancia de cada varilla desde el recubrimiento:

$$d_{14t1} = R + \text{SelementoBorde} = 4 \text{ cm} + 4.17 \text{ cm} = 8.17 \text{ cm}$$

$$d_{14t2} = R + 2\text{SelementoBorde} = 4 \text{ cm} + (2 \times 4.17 \text{ cm}) = 12.34 \text{ cm}$$

$$d_{14t3} = R + 3\text{SelementoBorde} = 4 \text{ cm} + (3 \times 4.17 \text{ cm}) = 16.51 \text{ cm}$$

$$d_{14t4} = R + 4\text{SelementoBorde} = 4 \text{ cm} + (4 \times 4.17 \text{ cm}) = 20.67 \text{ cm}$$

$$d_{14t5} = R + 5\text{SelementoBorde} = 4 \text{ cm} + (5 \times 4.17 \text{ cm}) = 24.85 \text{ cm}$$

$$d_{14t6} = R + 6\text{SelementoBorde} = 4 \text{ cm} + (6 \times 4.17 \text{ cm}) = 29.02 \text{ cm}$$

$$d_{14t7} = R + 7\text{SelementoBorde} = 4 \text{ cm} + (7 \times 4.17 \text{ cm}) = 33.19 \text{ cm}$$

Esfuerzos a tensión de las varillas del elemento de borde:

$$F_{s14t2} = \left[ \frac{(C_{neutro} - d_{14t1})x(f_y)}{C_{neutro}} \right] = \frac{(57 \text{ cm} - 12.34 \text{ cm}) x 4,200 \text{ kg/cm}^2}{57 \text{ cm}}$$

$$= 3,598 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{s14t3} = \left[ \frac{(C_{neutro} - d_{14t2})x(f_y)}{C_{neutro}} \right] = \frac{(57 \text{ cm} - 16.51 \text{ cm}) x 4,200 \text{ kg/cm}^2}{57 \text{ cm}}$$

$$= 3,290.80 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{s14t4} = \left[ \frac{(C_{neutro} - d_{14t3})x(f_y)}{C_{neutro}} \right] = \frac{(57 \text{ cm} - 20.67 \text{ cm}) x 4,200 \text{ kg/cm}^2}{57 \text{ cm}}$$

$$= 2,983.60 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{s14t5} = \left[ \frac{(C_{neutro} - d_{14t4})x(f_y)}{C_{neutro}} \right] = \frac{(57 \text{ cm} - 24.85 \text{ cm}) x 4,200 \text{ kg/cm}^2}{57 \text{ cm}}$$

$$= 2,676.30 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{s14t6} = \left[ \frac{(C_{neutro} - d_{14t5})x(f_y)}{C_{neutro}} \right] = \frac{(57 \text{ cm} - 29.02 \text{ cm}) x 4,200 \text{ kg/cm}^2}{57 \text{ cm}}$$

$$= 2,369.10 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{s14t7} = \left[ \frac{(C_{neutro} - d_{14t6})x(f_y)}{C_{neutro}} \right] = \frac{(57 \text{ cm} - 33.19 \text{ cm}) x 4,200 \text{ kg/cm}^2}{57 \text{ cm}}$$

$$= 2,061.90 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{s14t1} = f_y = 4,200 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_2 = \left[ \frac{(l_w - C_{neutro})x \frac{f_y}{EAs}}{0.003} \right] = \left[ \frac{(175 \text{ cm} - 57 \text{ cm})x \frac{4200 \text{ kg/cm}^2}{2038552.82 \text{ kg/cm}^2}}{0.003} \right]$$

$$= 8.10 \text{ cm}$$

Distancia de cada varilla desde el recubrimiento:

$$d_{14t8} = R + \text{SelementoBorde} = 4 \text{ cm} + 4.17 \text{ cm} = 8.17 \text{ cm}$$

$$d_{14t9} = R + 2\text{SelementoBorde} = 4 \text{ cm} + 2 \times 4.17 \text{ cm} = 12.37 \text{ cm}$$

$$d_{14t10} = R + 3\text{SelementoBorde} = 4 \text{ cm} + 2 \times 4.17 \text{ cm} = 16.51 \text{ cm}$$

$$d_{14t11} = R + 4\text{SelementoBorde} = 4 \text{ cm} + 2 \times 4.17 \text{ cm} = 20.68 \text{ cm}$$

$$d_{14t12} = R + 5\text{SelementoBorde} = 4 \text{ cm} + 2 \times 4.17 \text{ cm} = 24.85 \text{ cm}$$

$$d_{14t13} = R + 6\text{SelementoBorde} = 4 \text{ cm} + 2 \times 4.17 \text{ cm} = 29.02 \text{ cm}$$

$$d_{14t14} = R + 7\text{SelementoBorde} = 4 \text{ cm} + 2 \times 4.17 \text{ cm} = 33.19 \text{ cm}$$

$$c_2 = 8.10 \text{ cm}$$

$$l_5 = l_w - C_2 - C_{\text{neutro}} = 175 \text{ cm} - 8.10 \text{ cm} - 57.00 \text{ cm} = 110 \text{ cm}$$

Ecuación 50: longitud restante menos longitud de elemento de bor

Si  $d_{14t8}$  es mayor a  $l_5$  entonces realizar las fórmulas de lo contrario  $F_{s14}$  en cada punto es igual a  $f_y$ .

Esfuerzos a tensión de las varillas del elemento de borde:

$$\sum_8^{14} F_{s14n} = \left[ \frac{[(C_2 - d_{14tn}) \times (f_y)]}{C_2} \right]$$

Como

$d_{14t8}$  a  $d_{14t14}$  es menor a  $l_5$

Entonces

$$\sum_8^{14} F_{s14n} = 4,200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Momentos resistentes de las varillas de elemento de borde:

$$\begin{aligned}
 Mr2 &= \left[ \left( F_s 14 t 2 x 2 \frac{AsB}{14} \right) x (C_{neutro} - d_{14} t 1) \right] \\
 &= \left( 3,598 \text{ kg/cm}^2 x \frac{27.10 \text{ cm}^2}{14} \right) x (57 \text{ cm} - 8.17 \text{ cm}) \\
 &= 6,955.20 \text{ kg x m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mr3 &= \left[ \left( F_s 14 t 3 x 2 \frac{AsB}{14} \right) x (C_{neutro} - d_{14} t 2) \right] \\
 &= \left( 3,290.80 \text{ kg/cm}^2 x \frac{27.10 \text{ cm}^2}{14} \right) x (57 \text{ cm} - 12.37 \text{ cm}) \\
 &= 5,818.11 \text{ kg x m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mr4 &= \left[ \left( F_s 14 t 4 x 2 \frac{AsB}{14} \right) x (C_{neutro} - d_{14} t 3) \right] \\
 &= \left( 2,983.60 \text{ kg/cm}^2 x \frac{27.10 \text{ cm}^2}{14} \right) x (57 \text{ cm} - 16.51 \text{ cm}) \\
 &= 4,782.46 \text{ kg x m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mr5 &= \left[ \left( F_s 14 t 5 x 2 \frac{AsB}{14} \right) x (C_{neutro} - d_{14} t 4) \right] \\
 &= \left( 2,676.30 \text{ kg/cm}^2 x \frac{27.10 \text{ cm}^2}{14} \right) x (57 \text{ cm} - 20.68 \text{ cm}) \\
 &= 3,848.23 \text{ kg x m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mr6 &= \left[ \left( F_s 14 t 6 x 2 \frac{AsB}{14} \right) x (C_{neutro} - d_{14} t 5) \right] \\
 &= \left( 2,369.10 \text{ kg/cm}^2 x \frac{27.10 \text{ cm}^2}{14} \right) x (57 \text{ cm} - 24.85 \text{ cm}) \\
 &= 3,015.42 \text{ kg x m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Mr7 &= \left[ \left( Fs_{14t7} \times 2 \frac{AsB}{14} \right) \times (C_{neutro} - d_{14t6}) \right] \\
&= (2,061.90 \text{ kg/cm}^2 \times \frac{27.10 \text{ cm}^2}{14}) \times (57 \text{ cm} - 29.02 \text{ cm}) \\
&= 2,284.03 \text{ kg} \times m
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Mr1 &= \left[ \left( Fs_{14t1} \times 2 \frac{AsB}{14} \right) \times (C_{neutro}) \right] \\
&= (4,200.00 \text{ kg/cm}^2 \times \frac{27.10 \text{ cm}^2}{14}) \times (57 \text{ cm} - 33.19 \text{ cm}) \\
&= 9,477.13 \text{ kg} \times m
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Mr9 &= \left[ \left( Fs_{14t9} \times 2 \frac{AsB}{14} \right) \times (C_{neutro} - d_{14t8}) \right] \\
&= (4,200.00 \text{ kg/cm}^2 \times \frac{27.10 \text{ cm}^2}{14}) \times (57 \text{ cm} - 8.17 \text{ cm}) \\
&= 2,075.67 \text{ kg} \times m
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Mr10 &= \left[ \left( Fs_{14t10} \times 2 \frac{AsB}{14} \right) \times (C_{neutro} - d_{14t9}) \right] \\
&= (4,200.00 \text{ kg/cm}^2 \times \frac{27.10 \text{ cm}^2}{14}) \times (57 \text{ cm} - 12.37 \text{ cm}) \\
&= 3,398.92 \text{ kg} \times m
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Mr11 &= \left[ \left( Fs_{14t11} \times 2 \frac{AsB}{14} \right) \times (C_{neutro} - d_{14t10}) \right] \\
&= (4,200.00 \text{ kg/cm}^2 \times \frac{27.10 \text{ cm}^2}{14}) \times (57 \text{ cm} - 16.51 \text{ cm}) \\
&= 4,092.18 \text{ kg} \times m
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Mr12 &= \left[ \left( Fs_{14t12} \times 2 \frac{AsB}{14} \right) \times (C_{neutro} - d_{14t11}) \right] \\
&= (4,200.00 \text{ kg/cm}^2 \times \frac{27.10 \text{ cm}^2}{14}) \times (57 \text{ cm} - 20.68 \text{ cm}) \\
&= 4,785.44 \text{ kg} \times m
\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 Mr_{13} &= \left[ \left( F_{s14t13} x 2 \frac{AsB}{14} \right) x (C_{neutro} - d_{14t12}) \right] = \\
 &= (4,200.00 \text{ kg/cm}^2 x \frac{27.10 \text{ cm}^2}{14}) x (57 \text{ cm} - 24.85 \text{ cm}) \\
 &= 5478.70 \text{ kg x m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mr_{14} &= \left[ \left( F_{s14t14} x 2 \frac{AsB}{14} \right) x (C_{neutro} - d_{14t13}) \right] = \\
 &= (4,200.00 \text{ kg/cm}^2 x \frac{27.10 \text{ cm}^2}{14}) x (57 \text{ cm} - 29.02 \text{ cm}) \\
 &= 6,171.95 \text{ kg x m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mr_8 &= \left[ \left( F_{s14t1} x 2 \frac{AsB}{14} \right) x (C_2) \right] = \\
 &= (4,200.00 \text{ kg/cm}^2 x \frac{27.10 \text{ cm}^2}{14}) x (57 \text{ cm} - 33.19 \text{ cm}) \\
 &= 1,347.35 \text{ kg x m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{conc} &= (f'c) x C_2 x b x C_2 = 281 \text{ kg/cm}^2 x 8.10 \text{ cm} x 8.10 \text{ cm} x 100 \text{ cm} \\
 &= 7381.3726 \text{ kg x m}
 \end{aligned}$$

Ecuación 51: Momento soportado por el concreto

$$\begin{aligned}
 M_{resistor1} &= Mr_1 + Mr_2 + Mr_3 + Mr_4 + Mr_5 + Mr_6 + Mr_7 = 9,477.13 \text{ kg x m} \\
 &+ 6,955.20 \text{ kg x m} + 5,818.11 \text{ kg x m} + 4,782.46 \text{ kg x m} + 3,848.23 \text{ kg x m} + \\
 &3,015.42 \text{ kg x m} + 2,284.03 \text{ kg x m} = 36,180.57 \text{ kg x m}
 \end{aligned}$$

Ecuación 52: Momento resistente punto 1 al 7

$$\begin{aligned} M_{resistor2} &= M_{r8} + M_{r9} + M_{r10} + M_{r11} + M_{r12} + M_{r13} + M_{r14} = 1,347.35 \\ &\text{kg x m} + 2,075.67 \text{ kg x m} + 3,398.92 \text{ kg x m} + 4,092.18 \text{ kg x m} + 4,785.44 \text{ kg x} \\ &\text{m} + 5,478.70 \text{ kg x m} + 6,171.95 \text{ kg x m} = 27,980.20 \text{ kg x m} \end{aligned}$$

Ecuación 53: Momento resistente punto del 7-14

$$\begin{aligned} M_{resistor} &= M_{resistor1} + M_{resistor2} + M_{conc} = 7,381.37 \text{ kg x m} + \\ &36,180.57 \text{ kg x m} + 27,980.20 \text{ kg x m} = 71,542.15 \text{ kg x m} \end{aligned}$$

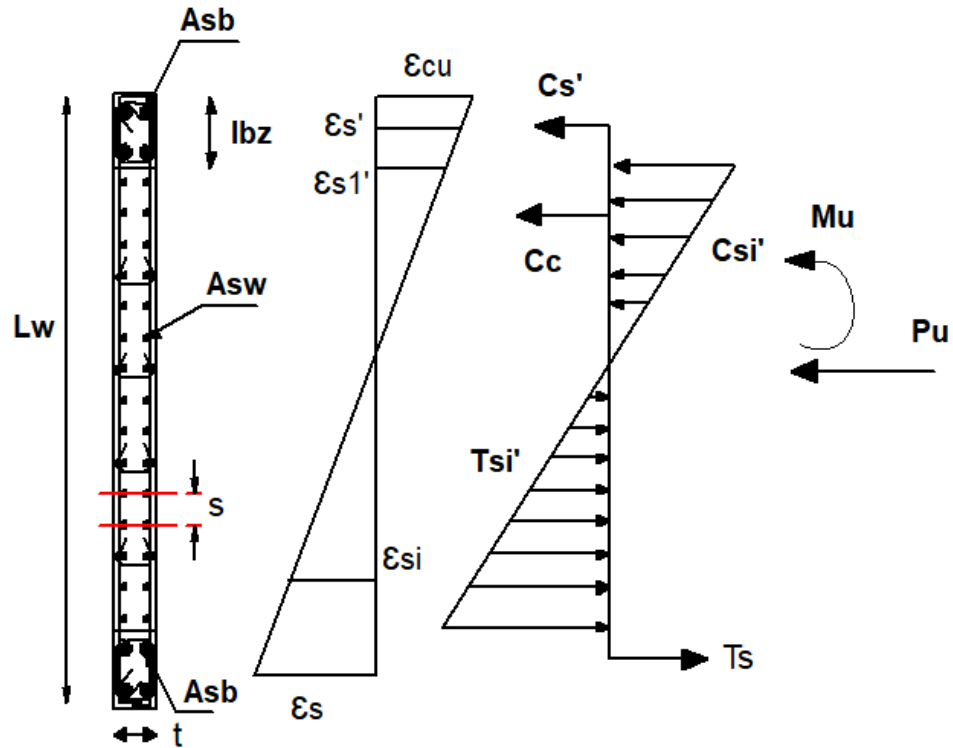
Ecuación 54: Momento resistente de las 14 varillas del elemento de borde

$$M_u = 43,875 \text{ kg x m}$$

Si  $M_u$  es menor o igual a  $0.85M_{resistor}$  entonces “propuesta de acero propuesta” de lo contrario “proponer más acero”.

$$43,875 \text{ kg x m} \leq 0.85 \times 71,542.15 \text{ kg x m}.$$

Figura 4. Distribución de esfuerzos para elementos de borde



Fuente: (ACI, 2014)

Propuesta de armado para 8 varillas

Ingreso de propuesta de armado:

NoVarilla4Borde = 8

Cálculos:

8 varillas de acero distribuido en 2 capas, simétricamente

NoVarillas4DeBorde= 8

$$A_{sB4} = NoVarillas4DeBorde \times \left[ \pi \times \left( \frac{NoVarillaBordex2.54}{16} \right)^2 \times cm^2 \right]$$

Ecuación 55: Área de 8 varillas de elemento de borde

$$AsB4 = 8 \times \left[ \pi \times \left( \frac{8 \times 2.54}{16} \right)^2 \times cm^2 \right] = 40.54 \text{ cm}^2$$

$$\rho Eb = \frac{AsB4}{(b) \times (2R + a)} = \frac{40.54 \text{ cm}^2}{100 \text{ cm} \times (2 \times 4.00 + 29.00 \text{ cm})} = 0.0273$$

Ecuación 56: cuantía de 8 varillas de elemento de borde

$$Selemento4Borde := \frac{2a}{NovarillaDeBorde} = \frac{(2 \times 29 \text{ cm})}{8} = 3.65 \text{ m}$$

Ecuación 57: espaciamiento de 8 varillas de elemento de borde

Distancia de cada varilla desde el recubrimiento:

$$d4t1 = R + Selemento4Borde = 4.00 \text{ cm} + 3.65 \text{ cm} = 7.65 \text{ cm}$$

$$d4t2 = R + 2Selemento4Borde = 4.00 \text{ cm} + (2 \times 3.65 \text{ cm}) = 11.30 \text{ cm}$$

$$d4t3 = R + 3Selemento4Borde = 4.00 \text{ cm} + (3 \times 3.65 \text{ cm}) = 14.95 \text{ cm}$$

$$d4t4 = R + 4Selemento4Borde = 4.00 \text{ cm} + (4 \times 3.65 \text{ cm}) = 18.60 \text{ cm}$$

Esfuerzos a tensión de las varillas del elemento de borde:

$$Fs4t2 = \left[ \frac{(Cneutro - d4t1) \times (fy)}{Cneutro} \right] = \left[ \frac{(57 \text{ cm} - 7.65 \text{ cm}) \times (4200 \text{ kg/cm}^2)}{57 \text{ cm}} \right]$$

$$= 3,636.40 \text{ kg/cm}^2$$

$$Fs4t3 = \left[ \frac{(Cneutro - d4t2) \times (fy)}{Cneutro} \right] = \left[ \frac{(57 \text{ cm} - 11.30 \text{ cm}) \times (4200 \text{ kg/cm}^2)}{57 \text{ cm}} \right]$$

$$= 3,367.60 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{s4t4} = \left[ \frac{(C_{neutro} - d_{4t3}) \times (f_y)}{C_{neutro}} \right] = \left[ \frac{(57 \text{ cm} - 14.95 \text{ cm}) \times (4200 \text{ kg/cm}^2)}{57 \text{ cm}} \right]$$

$$= 3,098.80 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{s4t1} = f_y = 4,200.00 \text{ kg/cm}^2$$

Distancia de cada varilla desde el recubrimiento:

$$d_{4t5} = R + \text{Selemento4Borde} = 4.00 \text{ cm} + 3.65 \text{ cm} = 7.65 \text{ cm}$$

$$d_{4t6} = R + 2\text{Selemento4Borde} = 4.00 \text{ cm} + (2 \times 3.65 \text{ cm}) = 11.30 \text{ cm}$$

$$d_{4t7} = R + 3\text{Selemento4Borde} = 4.00 \text{ cm} + (3 \times 3.65 \text{ cm}) = 14.95 \text{ cm}$$

$$d_{4t8} = R + 4\text{Selemento4Borde} = 4.00 \text{ cm} + (4 \times 3.65 \text{ cm}) = 18.90 \text{ cm}$$

$$l_w - C_2 - C_{neutro} = 175 \text{ cm} - 8.10 \text{ cm} - 57 \text{ cm} = 109 \text{ cm}$$

Si  $d_{4t5}$  es mayor a  $l_5$  entonces realizar las fórmulas de lo contrario  $F_{s4}$  en cada punto es igual a  $f_y$ .

Esfuerzos a tensión de las varillas del elemento de borde:

$$\sum_8^{14} F_{s4n} = \left[ \frac{(C_2 - d_{4tn}) \times (f_y)}{C_2} \right]$$

Como:

$d_{4t5}$  a  $d_{4t8}$  es menor a  $l_5$

Entonces:

$$\sum_8^{14} F_{s4n} = 4,200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Momentos resistentes de las varillas de elemento de borde:

$$\begin{aligned}
 Mr_{2d4} &= \left[ \left( Fs_{4t2} x 2 x \frac{As_{B4}}{8} \right) x (C_{neutro} - d_{4t1}) \right] \\
 &= (4,200 \text{ kg/cm}^2 x 2 x \frac{40.54 \text{ cm}^2}{8}) x (57 \text{ cm} - 7.65 \text{ cm}) \\
 &= 18,187.41 \text{ kg x m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mr_{3d4} &= \left[ \left( Fs_{4t3} x 2 x \frac{As_{B4}}{8} \right) x (C_{neutro} - d_{4t2}) \right] \\
 &= (4,200 \text{ kg/cm}^2 x 2 x \frac{40.54 \text{ cm}^2}{8}) x (57 \text{ cm} - 11.30 \text{ cm}) \\
 &= 15,597.76 \text{ kg x m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mr_{4d4} &= \left[ \left( Fs_{4t4} x 2 x \frac{As_{B4}}{8} \right) x (C_{neutro} - d_{4t3}) \right] \\
 &= (4,200 \text{ kg/cm}^2 x 2 x \frac{40.54 \text{ cm}^2}{8}) x (57 \text{ cm} - 14.95 \text{ cm}) \\
 &= 13,206.89 \text{ kg x m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mr_{1d4} &= \left[ \left( Fs_{4t1} x 2 x \frac{As_{B4}}{8} \right) x (C_{neutro}) \right] \\
 &= (4,200 \text{ kg/cm}^2 x 2 x \frac{40.54 \text{ cm}^2}{8}) x (57 \text{ cm}) = 24,261.46 \text{ kg x m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mr_{6d4} &= \left[ \left( Fs_{4t6} x 2 x \frac{As_{B4}}{8} \right) x (C_2 - d_{4t5}) \right] \\
 &= (4,200 \text{ kg/cm}^2 x 2 x \frac{40.54 \text{ cm}^2}{8}) x (57 \text{ cm} - 11.30 \text{ cm}) \\
 &= 6,704.66 \text{ kg x m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mr7d4: &= \left[ \left( Fs4t7x2 \frac{AsB4}{8} \right) x (C2 - d4t6) \right] \\
 &= (4,200 \text{ kg/cm}^2 \times 2 \times \frac{40.54 \text{ cm}^2}{8} \times (57 \text{ cm} - 14.95 \text{ cm})) \\
 &= 6,704.66 \text{ kg x m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mr8d4: &= \left[ \left( Fs4t8x2 \frac{AsB4}{8} \right) x (C2 - d4t7) \right] \\
 &= (4,200 \text{ kg/cm}^2 \times 2 \times \frac{40.54 \text{ cm}^2}{8} \times (57 \text{ cm} - 14.95 \text{ cm})) \\
 &= 9,810.45 \text{ kg x m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mr5d4: &= \left[ \left( Fs4t5x2 \frac{AsB5}{8} \right) x (C2) \right] \\
 &= (4,200 \text{ kg/cm}^2 \times 2 \times \frac{40.54 \text{ cm}^2}{8} \times (8.10 \text{ cm})) = 3,449.23 \text{ kg x m}
 \end{aligned}$$

Mconc= 7,381.37 kgxm Ecuación 51

$$\begin{aligned}
 M1resistor4: &= Mr1d4 + Mr2d4 + Mr3d4 + Mr4d4 = 24,261.46 \text{ kg x m} + \\
 &18,187.41 \text{ kg x m} + 15,597.76 \text{ kg x m} + 13,206.89 \text{ kg x m} = 71, 253.52 \text{ kg x m}
 \end{aligned}$$

Ecuación 58: Momento resistente punto del 1-4

$$\begin{aligned}
 M2resistor4: &= Mr5d4 + Mr6d4 + Mr7d4 + Mr8d4 = 3,449.23 \text{ kg x m} + \\
 &6,704.66 \text{ kg x m} + 8,257.56 \text{ kg x m} + 9,810.45 \text{ kg x m} = 28,221.90 \text{ kg x m}
 \end{aligned}$$

Ecuación 59: Momento resistente punto del 5-8

$$M_{resistor4} = M1_{resistor4} + M2_{resistor4} + M_{conc} = 71,253.52 \text{ kg x m} + 28,221.90 \text{ kg x m} + 7,381.37 \text{ kg x m} = 106,856.60 \text{ kg x m}$$

Ecuación 60: Momento resistente de las 8 varillas del elemento de borde

$$M_u = 43,875 \text{ kg x m}$$

Si  $M_u$  es menor o igual a  $0.85 \times M_{resistor4}$  entonces “propuesta de acero propuesta” de lo contrario “proponer más acero”.

$$43,875 \text{ kg x m} \leq 0.85 \times 106,856.60 \text{ kg x m}.$$

Nota: si requiere elemento de borde, si la fibra a compresión extrema es mayor a  $0.20f_c$ .

Se requiere elegir si se colocan 14 u 8 varillas de acero para el elemento de borde:

Ingresar cantidad de varillas elemento de borde

$$N_b = 14$$

Confinamiento de elemento de borde

$$\frac{6N_{no2}}{8} \times 2.54 \text{ cm} = 7.6 \text{ cm}$$

$$S_{cc} = 7.6 \text{ cm}$$

$$L_c := \begin{cases} l_w & \text{if } l_w > \frac{M_u}{4V_u} \\ \frac{M_u}{4V_u} & \text{otherwise} \end{cases}$$



$$L_c = 1.75 \text{ m}$$

$$S_c = \begin{cases} 20 \text{ cm} & \text{if } 20 \text{ cm} > \frac{8N_{ono2}}{8} \times 2.54 \text{ cm} \\ \frac{8N_{ono2}}{8} \times 2.54 \text{ cm} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$S_c = 10.15 \text{ cm}$$

Diseño de viga de acople:

Ingreso de los datos

Donde:

$f_{ytv}$  = Resistencia especificada a la fluencia del acero transversal

$t_v$  = Espesor del muro o viga

$h_v$  = Altura de la viga de extremo a extremo

$V_{uv}$  = Fuerza cortante mayorada máxima

$M_{negv}$  = momento negativo mayorado máximo

$M_{posv}$  = Momento positivo mayorado máximo

$C_{cv}$  = Recubrimiento

Ingreso de datos

$$f_{ytv} = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$h_v = 109.72 \text{ x cm}$$

$$V_{uv} = 3,001.40 \text{ Kg}$$

$$M_{negv} = 9,627.10 \text{ kgxm}$$

$$M_{posv} = 9,627.10 \text{ kgxm}$$

$$C_{cv} = 4 \text{ x cm}$$

$$f'_{cv} = f'_c$$

$$f_{yv} = f_y$$

$$t_m = h$$

$$R_{ec} = R$$

$$B_{v1} = 0.85$$

$$L_v = (B_2)$$

$$\phi_{\text{flexion}} = 0.90$$

$$\phi_{\text{corte}} = 0.75$$

Cálculo del peralte de la viga de acople:

$$b_v = t_m$$

$$b_v = 0.40 \text{ m}$$

$$d_v = h_v - C_{cv}$$

$$d_v = 1.0572 \text{ m}$$

Cálculo del acero mínimo por flexión

$$A_{smin1} = \frac{0.8 \times \sqrt{f'_{cv}}}{f_{yv}} \times b_v \times d_v$$

Ecuación 61: Acero mínimo

$$A_{smin1} = \frac{0.8 \times \sqrt{281 \text{ kg/cm}^2}}{4,200 \text{ kg/cm}^2} \times 40 \text{ cm} \times 105.72 \text{ cm}$$

$$A_{smin1} = 16.878 \text{ cm}^2$$

$$A_{smin2} = \left[ \frac{14}{f_{yv}} \right] \times b_v \times d_v \times \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Ecuación 62: Acero mínimo

$$As_{min2} = \left[ \frac{14}{4200 \text{ kg/cm}^2} \right] \times 40 \text{ cm} \times 105.72 \text{ cm}$$

$$As_{min2} = 17.62 \text{ cm}^2$$

Si  $As_{min1} \geq As_{min2}$  entonces  $As_{min1}$

De lo contrario  $As_{min2}$

$$As_{min} = 17.62 \text{ cm}^2$$

Cálculo del acero máximo por acero balanceado:

$$\rho_b = \beta_v \times 0.85 \frac{f'_{cv}}{f_{yv}} \times \left( \frac{600}{600 + f_{yv} \times \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} \right)$$

Ecuación 63: cuantía balanceada

$$\rho_b = 0.80 \times 0.85 \frac{281 \text{ kg/cm}^2}{4,200 \text{ kg/cm}^2} \times \left( \frac{600}{600 + 4,200.00 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} \right)$$

$$\rho_b = 0.006$$

$$\rho_{\text{máx}} = 0.55 \times \rho_b$$

Ecuación 64: cuantía máxima

$$A_{sm\acute{a}x} = \rho_{m\acute{a}x} \times b_v \times d_v$$

Ecuación 65: acero máximo

$$\rho_{m\acute{a}x} = 0.55 \times 0.006$$

$$A_{sm\acute{a}x} = 0.0033 \times 40 \text{ cm} \times 105.72 \text{ cm}$$

$$A_{sm\acute{a}x} = 13.95 \text{ cm}^2$$

Cálculo de acero para momento positivo:

Datos:

$$b_v = 0.40 \text{ m}$$

$$d_v = 1.0572 \text{ m}$$

$$Rec = 0.04 \text{ m}$$

Ingreso de datos:

Cálculos:

$$A_{p1} = \frac{0.85 \times f'_{cv}}{f_{yv}}$$

Ecuación 66: relación resistencia de concreto y acero

$$A_{spos1} = A_{p1} \times \left[ (b_v \times d_v) - \sqrt{(b_v \times d_v)^2 - \frac{M_{posv} \times b_v}{0.3825 \times f'_{cv}}} \right]$$

Ecuación 67: Área de acero positivo

$$A_{p1} = \frac{0.85 \times 281 \text{ kg/cm}^2}{4,200 \text{ kg/cm}^2} = 0.057$$

$$Aspos1 = 0.057 x \left[ (40 \text{ cm} x 105.72 \text{ cm}) - \sqrt{(40 \text{ cm} x 105.72 \text{ cm})^2 - \frac{9,627.10 \text{ kgxm} x 40 \text{ cm}}{0.3825 x 281 \text{ kg/cm}^2}} \right]$$

$$Aspos1 = 2.42 \text{ cm}^2$$

Si  $Asmín > Aspos1$  entonces  $Asmín$

Si  $Aspos1 \geq Asmín$  Y  $Aspos1 \leq Asmáx$  entonces  $Aspos1$

De lo contrario "Diseño doblemente reforzado"

$$Aspos = 14.10 \text{ cm}^2$$

$$Av = \frac{Aspos}{NoVarillasPorCamaInf}$$

Ecuación 68: cantidad de área de acero

$$Av = \frac{14.10 \text{ cm}^2}{6} = 2.35 \text{ cm}^2$$

Refuerzo requerido:

$$NoVpos = 6$$

$$NoVarillasPorCamaInf = 6$$

Chequeo de espaciamiento para varillas de As (+):

Datos:

$$bv = 0.40 \text{ m}$$

$$Rec = 0.04 \text{ m}$$

NoVarillasPorCamaInf =6

NoVpos = 6

Cálculos:

Sinf1:

$$= \frac{bv - R - 1.42cm - \left( \frac{NoVarillasPorCamaInf \times NoVpos}{8} \times 2.54 \right)}{NoVarillasPorCamaInf - 1}$$

Ecuación 69: espaciamiento para cama inferior

Sinf1=0.0463 m

Sinf1 no debe ser menor a 0.0254 m

Ecuación 70: espaciamiento para cama inferior

Datos:

NoVarillasPorCamaInf = 6

NoVpos = 6

Ingreso de datos:

PaquetesDeBarras = 3

BarrasPorPaquete = 2

BarrasEnHPorPaquete = 2

BarrasIndividuales = 0

Cálculos:

$$\phi_{Equivalente} = \left(\frac{NoVpos}{8}\right) \times 2.54 \text{ cm} \times \sqrt{BarrasPorPaquete}$$

Ecuación 70: diámetro equivalente del paquete de barras

$$\phi_{Equivalente} = \left(\frac{6}{8}\right) \times 2.54 \text{ cm} \times \sqrt{2}$$

$$\phi_{Equivalente} = 0.0269 \text{ m}$$

$$Sinf2 = \frac{bv - R - 1.42 \text{ cm} - \left(\frac{PaquetesDeBarras \times \phi_{equivalente}}{8}\right)}{PaquetesDeBarras}$$

Ecuación 72: espaciamiento para cama inferior 2

$$Sinf2 = 0.11 \text{ m}$$

Sinf2= no debe de ser menor a 0.025 m

Cálculo de acero para momento negativo

Datos:

$$bv = 0.40 \text{ m}$$

$$dv = 1.0572 \text{ m}$$

$$Rec = 0.04 \text{ m}$$

Ingreso de datos:

$$NoVarillasPorCamaSup = 6$$

Cálculos:

$$Asneg1 = Ap1x \left[ (bvxdv) - \sqrt{(bvxdv)^2 - \left( \frac{Mnegvxbv}{0.3825xf'cv} \right)} \right]$$

Ecuación 71: Acero negativo de viga de acople

$$Asneg1 = 0.057x \left[ (40 \text{ cm} \times 105.72 \text{ cm}) - \sqrt{(40 \text{ cm} \times 105.72 \text{ cm})^2 - \left( \frac{9,627.10 \text{ kgxm} \times 40 \text{ cm}}{0.3825 \times 281 \text{ kg/cm}^2} \right)} \right]$$

Si  $Asmín > Asneg1$  entonces  $Asmín$

Si  $Asneg1 > Asmín$  entonces  $Asneg1$

De lo contrario "Diseño doblemente reforzado"

$Asneg = 14.096 \text{ cm}^2$

$$Avneg = \frac{Aspos}{NoVarillasPorCamaSup}$$

Ecuación 72: cantidad de acero negativo

$$Avneg = \frac{14.10 \text{ cm}^2}{6} = 2.35 \text{ cm}^2$$

Refuerzo requerido:

$NoVneg = 6$



NoVarillasPorCamaSup = 6

Chequeo de espaciamiento para varillas de As(-) requeridas:

Datos:

bv = 0.40 m

Ccv = 0.04 m

NoVarillasPorCamaSup = 6

NoVneg = 6

Cálculos:

$$S_{sup1} = bv - R - 1.42 \text{ cm} - \frac{\left( \frac{\text{NoVarillasPorCamaSup} \times \text{NoVneg}}{8} \times 2.54 \text{ cm} \right)}{\text{NoVarillasPorCamaSup} - 1}$$

Ecuación 73: Separación acero cama superior

Ssup= 0.0501 m no debe ser menor a 0.0254 m

Chequeo de espaciamiento para paquetes de barras

Datos:

NoVarillasPorCamaInf = 6

NoVneg = 6

Ingreso de condiciones:

PaquetesDeBarras2= 3

BarrasPorPaquete2= 2

BarrasEnHPorPaquete2=2

BarrasIndividuales2=0

Cálculos:

$$\phi_{Equivalente2} = \left(\frac{NoVpos}{8}\right) \times 2.54 \text{ cm} \times \sqrt{BarrasPorPaquete2}$$

Ecuación 74: diámetro equivalente 2

$$\phi_{Equivalente2} = \left(\frac{6}{8}\right) \times 2.54 \text{ cm} \times \sqrt{2}$$

$$\phi_{Equivalente2} = 0.0269 \text{ m}$$

$$S_{sup2} = \frac{bv - R - 1.42 \text{ cm} - \left(\frac{PaquetesDeBarras2 \times \phi_{equivalente2}}{8}\right)}{PaquetesDeBarras2}$$

Ecuación 77: separación de acero cama superior 2

$$S_{sup2} = 0.1119 \text{ m}$$

$S_{sup2}$  no debe ser mayor a 2.54 cm

Refuerzo superficial (refuerzo lateral):

Datos:

$$h_v = 1.0972 \text{ m}$$

$$d_v = 1.0572 \text{ m}$$

$$C_{cv} = 0.04 \text{ m}$$

Msj11 = "Si requiere refuerzo superficial, con el espaciamiento siguiente"

Msj12 = "No requiere refuerzo superficial conforme a esta sección"

Msj11 Si  $h_v > 90 \text{ cm}$  entonces Msj11

De lo contrario Msj12

$$f_s = \frac{2}{3} f_{yv}$$

Ecuación 78: esfuerzo de fluencia

$$f_s = \frac{2}{3} \times 4,200 \text{ kg/cm}^2 = 2,800.00 \text{ kg/cm}^2$$

$$s_l = 380 \times \text{cm} \frac{280 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{f_s} - 2.5 C_{cv}$$

Ecuación 79: distancia a esfuerzo de tensión

$$s_l = 380 \times \text{cm} \frac{280 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{2,800.00 \text{ kg/cm}^2} - 2.5 C_{cv} = 28.00 \text{ cm}$$

$$s_{l2} = 300 \times \text{cm} \frac{280 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{f_s}$$

Ecuación 75: distancia a esfuerzo de tensión

$$s_{l2} = 300 \times \text{cm} \frac{280 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{2,800.00 \text{ kg/cm}^2}$$

$$s_{l2} = 0.30 \text{ m}$$

$$s_{l3} = 30 \text{ cm}$$

Si  $s_{l1} < s_{l2}$  entonces  $s_{l1}$

Si  $s_{l2} \leq s_{l1}$  entonces  $s_{l2}$

Si  $s_{l2} \geq 30 \text{ cm}$  O  $s_{l1}$  entonces  $s_{l3}$

## RESUMEN Y REQUERIMIENTOS:

ChVsuperficial = "Si requiere refuerzo superficial, con el espaciamiento siguiente"

$$sl = 0.30 \text{ m}$$

Cálculo de relación de tipo de refuerzo por corte

$$Rlh: = \frac{Lv}{hv}$$

Ecuación 76: relación longitud y peralte de viga de acople

$$Rlh: = \frac{100 \text{ cm}}{109.75 \text{ cm}} = 0.91$$

$$\alpha_1 = \arctan(Rlh)$$

Ecuación 77: ángulo de inclinación de las barras diagonales

$$\alpha_1 = \arctan(0.91)$$

$$\alpha_1 = 0.7391$$

$$\alpha_1 = \frac{(0.7391 \times 360)}{2\pi} = 42.35^\circ$$

$$V_n = V_{uv} \times 1.3333$$

Ecuación 83: corte nominal viga de acople

$$V_n = 3,001.40 \text{ kg} \times 1.3333 = 4,002.00 \text{ kg}$$

$$A_{cw} = hv \times tm$$

$$A_{cw} = 109.75 \text{ cm} \times 40 \text{ cm} = 4,390.00 \text{ cm}^2$$

$\alpha$  = ángulo formado entre la horizontal y el grupo de barras diagonales según dimensiones de la viga.

Cálculo de tipo de diseño para corte

Msj13= "requiere grupo de barras diagonales"

$$Vn2 = 2.65x\sqrt{f'cv} x Acw$$

Ecuación 78: Corte barras diagonales

$$Vn2 = 2.65x\sqrt{281 \text{ kg/cm}^2 x 4,390.00 \text{ cm}^2} = 195,013 \text{ Kg}$$

$$Vnr = 1.1 x \sqrt{f'cv} x Acw$$

$$Vnr = 1.1 x \sqrt{281 \text{ kg/cm}^2 x 4,390.00 \text{ cm}^2} = 80,949.00 \text{ kg}$$

Ecuación 79: Corte barras diagonales

Tdediseño:

Si  $RIh < 2$  Y  $Vn < Vn2$  Y  $Vn > Vnr$  entonces "Requiere Grupo de Barras Diagonales "

Si  $RIh \geq 4$  O  $Vn \leq Vnr$  entonces "Diseño se requiere grupo de barras diagonales"

Si  $RIh \geq 2$  Y  $RIh < 4$  entonces "Diseño a criterio del diseñador"

De lo contrario "Aumentar espesor del muro"

Tdediseño = "Requiere grupo de barras diagonales"

Cálculo de refuerzo para corte por medio de grupo de barras diagonales:

Datos:

$$Rlh = 0.9114$$

$$bv = 0.40 \text{ m}$$

$$dv = 1.0572 \text{ m}$$

$$\alpha = 42.3464 \text{ deg respecto a la horizontal}$$

Cálculos:

$$A_{vd} = \left( \frac{V_{uv}}{0.53 f_y v_x \sin(\alpha) \phi_{vcorte}} \right)$$

Ecuación 80: Área de acero de barras diagonales

$$A_{vd} = \left( \frac{3,001.40 \text{ kg}}{0.53 \times 4,200 \text{ kg/cm}^2 \times \sin(42.35^\circ) \times 0.75} \right)$$

$$A_{vd} = 2.67 \text{ cm}^2$$

Nobarras = 6 como mínimo son 4 barras distribuidas en grupos de 2 o más capas.

$$A_{vdu} = \frac{A_{vd}}{Nobarras}$$

Ecuación 81: área requerida por varilla

$$A_{vdu} = \frac{2.67 \text{ cm}^2}{6} = 1.335 \text{ cm}^2$$

1.25 veces la longitud de desarrollo para  $f_y$

Se propone:

$$Nobarras = 6$$

GrupoDeBarras = 1

Nvp = 3

Propuesta del refuerzo transversal para vigas de acople con grupo de barras:

Ingreso de datos:

bvd = 25 cm

dvd = 25 cm

bcd = 25 cm

$f_{ytvd} = 4200 \frac{kg}{cm^2}$

Ingreso de propuesta:

SpropuestoA = 6.00 cm

NoVtA = 3

Cálculo:

Según:

Separaciona = Si SpropuestoA > dvd/4 = 25 cm/4 = 6.25 cm “Reducir espaciamiento, para dv/4 = 105.72/4 = 26.43 cm”

Si SpropuestoA > Nvp x 2.54/8 cm = 3x2.54/8 = 0.71 cm entonces “¿Reducir espaciamiento, para 8? Varilla longitudinal más pequeña”

Si SpropuestoA > Nvp x 2.54/8 = 3x2.54 cm/8 = 0.71 entonces “¿Reducir espaciamiento, para 8? Varilla longitudinal más pequeña”

Si SpropuestoA > 24 x Nvp x 2.54/8 = 24x3x2.54/8 = 17.04 cm cm entonces “¿Reducir espaciamiento, para 24? Varilla estribo de confinamiento”

Si  $S_{propuestoA} > 30\text{cm}$  entonces “Reducir espaciamento, para 30 cm máximo requerido”.

Separaciona = “Espaciamento adecuado de 6 cm”

$$AgA = d \times b \times c \times 1.2$$

Ecuación 82: Área grande de viga

$$AgA = 25 \text{ cm} \times 25 \text{ cm} \times 1.2 = 750.00 \text{ cm}^2$$

$$AchA = d \times b \times c$$

Ecuación 83: Área chica de viga

$$AchA = 25 \text{ cm} \times 25 \text{ cm} = 625.00 \text{ cm}^2$$

$$AshR1A = \left( 0.30 \times S_{propuestoA} \times b \times c \times \frac{f'_{cv}}{f_{ytv}} \right) \left[ \frac{AgA}{AchA} - 1 \right]$$

Ecuación 84: Área requerida de acero 1

$$AshR1A = \left( 0.30 \times 6 \text{ cm} \times 25 \text{ cm} \times \frac{281.00 \text{ kg/cm}^2}{4,200.00 \text{ kg/cm}^2} \right) \left[ \frac{750 \text{ cm}^2}{625 \text{ cm}^2} - 1 \right]$$

$$AshR1A = 0.6021 \text{ cm}^2$$

$$AshR2A = 0.09 \times (S_{propuestoA} \times b \times c \times \frac{f'_{cv}}{f_{ytv}})$$

Ecuación 85: Área requerida de acero 2



$$AshR2A = 0.09 \times (6 \text{ cm} \times 25 \text{ cm} \times \frac{281.00 \text{ kg/cm}^2}{4,200.00 \text{ kg/cm}^2})$$

$$AshR2A = 0.90 \text{ cm}^2$$

$$\phi VtdA = \left( \frac{NoVtA}{8} \right) \times 2.54 \text{ cm}$$

Ecuación 86: diámetro de varilla de acero propuesta

$$\phi VtdA = \left( \frac{3}{8} \right) \times 2.54 \text{ cm} = 0.9525 \text{ cm}$$

$$A\phi VtdA = \pi \times \left( \frac{\phi VtdA}{2} \right)^2$$

Ecuación 87: área de varilla de acero propuesta

$$A\phi VtdA = \pi \times \left( \frac{0.9525 \text{ cm}}{2} \right)^2$$

$$A\phi VtdA = 0.71 \text{ cm}^2.$$

$$AshRealA = 2 \times A\phi VtdA$$

$$AshRealA = 2 \times 0.71 \text{ cm}^2$$

$$AshRealA = 1.42 \text{ cm}^2$$

ChequeoAshA = Si  $AshRealA \geq AshR1A$  y  $AshRealA \geq AshR2A$  entonces”  
Espaciamiento y número de varillas adecuados” de lo contrario” “Aumentar  
número de estribo de confinamiento, ganchos o disminuir  $S_{transversalD2}$ ”

ChequeoAshA= “Espaciamiento y No. de varillas adecuados”

Chequeo del refuerzo transversal para vigas de acople con grupos de  
barras :

Datos:

$$\text{AseccionViga} = b_v \times d_v$$

$$b_v = 0.40 \text{ m}$$

$$h_v = 1.0972 \text{ m}$$

$$d_v = 1.0572 \text{ m}$$

$$\text{AseccionViga} = 40 \text{ cm} \times 105.72 \text{ cm} = 4,228.72 \text{ cm}^2$$

$$s_l = 0.30 \text{ m}$$

Ingreso de condiciones:

$$\text{NoVtransversalIncisoD2} = 4 \text{ número de varilla transversal}$$

$$\text{NoVtransversalGanchos} = 4 \text{ número de varilla transversal de ganchos}$$

$$\text{StransversalGanchos} = 15 \times \text{cm no menor a } 15 \text{ cm}$$

Cálculos:

$$\text{NoGPorseccion} = \frac{d_v}{s_l}$$

Ecuación 88: número de varillas corte viga de acople

$$\text{NoGPorseccion} = \frac{105.72 \text{ cm}}{30 \text{ cm}} = 3.524$$

$$\text{NoGPorseccion} = 3.524$$

$$\phi V_{td2} = \frac{\text{NoVtransversalIncisoD2}}{8} \times 2.54 \text{ cm}$$

Ecuación 89: diámetro de varillas sección transversal viga de acople

$$\phi V_{td2} = \frac{4}{8} \times 2.54 \text{ cm} = 1.27 \text{ cm}$$

$$A_{\phi Vtd2} = \pi \times \left( \frac{\phi Vtd2}{2} \right)^2$$

Ecuación 90: área de varillas sección transversal viga de acople

$$A_{\phi Vtd2} = \pi \times \left( \frac{1.27 \text{ cm}}{2} \right)^2$$

$$A_{\phi Vtd2} = 1.27 \text{ cm}^2$$

$$A_{shReal} = NoGPorSección \times \pi \times \left( \frac{NoV \text{ transversal Ganchos}}{8 \times 2} \right)^2 + 2 \times A_{\phi Vtd2}$$

Ecuación 91: área propuesta para corte sección trasversal viga de acople

$$A_{shReal} = 3.524 \times 3.1416 \times \left( \frac{4 \times 2.54 \text{ cm}}{16} \right)^2 + 2 \times 1.27 \text{ cm}^2$$

$$A_{shReal} = 7.00 \text{ cm}^2$$

$$A_g = A_{seccionViga}$$

Ecuación 88

$$A_g = (h_v - Rec) \times b_v$$

Ecuación 89

$$A_g = (109.72 \text{ cm} - 4 \text{ cm}) \times 40.00 \text{ cm}$$

$$A_g = 4,228.80 \text{ cm}^2$$

$$A_{ch} = (h_v - 2 \times Rec) \times (b_v - 2 \times C_{cv})$$

$$A_{ch} = (109.72 \text{ cm} - 2 \times 4.00 \text{ cm}) \times (40 \text{ cm} - 2 \times 4.00 \text{ cm})$$

$$A_{ch} = 3255.04 \text{ cm}^2$$

$$b_c = b_v - 2 \times C_{cv}$$

Ecuación 92: ancho efectivo de viga de acople

$$bc = 40.00 \text{ cm} - 2 \times 4.00 \text{ cm}$$

$$bc = 0.32 \text{ m} \text{ (ACI, 2014), sección 18.10.7.4 (b)}$$

$$AshR1 = \left( 0.30 \times StransversalD2 \times bc \times \frac{f'cv}{fytv} \right) \left[ \left( \frac{Ag}{Ach} \right) - 1 \right]$$

Ecuación 93: Área requerida transversal de acero 1

$$AshR1 = \left( 0.30 \times 15 \text{ cm} \times 32 \text{ cm} \times \frac{281 \text{ kg/cm}^2}{4,200.00 \text{ kg/cm}^2} \right) \left[ \left( \frac{4,228.80 \text{ cm}^2}{3,255.04 \text{ cm}^2} \right) - 1 \right]$$

$$AshR1 = 2.88 \text{ cm}^2$$

$$AshR2 = 0.09 \times \left( stransversalD2 \times bc \times \frac{f'cv}{fytv} \right)$$

Ecuación 94: Área requerida transversal de acero 2

$$AshR2 = 0.09 \times \left( 15 \text{ cm} \times 32 \text{ cm} \times \frac{281 \text{ kg/cm}^2}{4,200.00 \text{ kg/cm}^2} \right)$$

$$AshR2 = 2.89 \text{ cm}^2$$

ChequeoAsh = Si  $AshReal \geq AshR1 \geq AshR2$  entonces “Espaciamiento y número de varillas adecuados”

De lo contrario “Aumentar estribo de confinamiento, ganchos ó disminuir StransversalD2”

chequeoAsh = “Espaciamiento y número de varillas adecuados”

$$NoVtransversalIncisoD2 = 4$$

$$Stransversal = 0.15 \text{ m}$$

Resumen o requerimientos:

$$StransversalD2 = 0.15 \text{ m}$$

NoVtransversalIncisoD2 = 4 Novarilla

NoVtransversalGanchos = 4 Novarilla

sl = 30 cm

NoGPorSeccion = 3.524

Cálculo de refuerzo para corte por medio de estribos transversales, para elementos sometidos a flexión en pórticos especiales resistentes a momento:

Datos:

bv = 0.40 m

dv = 1.0572 m

Vuv = 3,001.40 kg

$f_{ytv} = 4200 \frac{kg}{cm^2}$

Ingreso de datos:

Spropuesto = 5 cm

Cálculos:

$$V_{cv} = 0.85 \times 0.53 \sqrt{f'_{cv}} b_v d_v$$

Ecuación 95: corte resistente del concreto en viga de acople

$$V_{cv} = 0.85 \times 0.53 \sqrt{281 \frac{kg}{cm^2}} \times 40.00 \text{ cm} \times 105.72 \text{ cm} =$$

$$V_{cv} = 31.935 \times 10^3 \text{ kg}$$

$$V_s = \frac{(V_{uv} - V_{cv})}{0.85}$$

Ecuación 96: Corte resistente del acero

$$V_s = \frac{(3,001.40 \text{ kg} - 31,935 \text{ kg})}{0.85}$$

$$V_s = -34.04 \times 10^3$$

$$A_{vt1} = \frac{V_s \times S_{propuesto}}{f_{yt} \times v \times d \times v}$$

Ecuación 97: Área de acero requerida

$$A_{vt1} = -0.38 \text{ cm}^2$$

$$N_o V_t V_u = 3$$

Chequeo de separación máxima entre el refuerzo transversal:

Chequeo  $S_t$  = "Reducir espaciamiento  $S_t$ , para  $d_v/4 = 105.72/4$ " si  $S_{propuesto} > 26.25$  cm, "Reducir espaciamiento  $S_t$ " si  $S_{propuesto} > N_o V_{pos} \times 2.54/8 = 6 \times 2.54/8 = 1.90$  cm, "Reducir espaciamiento  $S_t$ " si  $S_{propuesto} > N_o V_{neg} \times 2.54$  cm =  $6 \times 2.54/8 = 1.90$  cm, "Reducir espaciamiento  $S_t$ " si  $S_{propuesto} > 24 \times \frac{N_o V_t V_u}{8} \times 2.54$  cm =  $24 \times 4 \times 2.54$  cm / 8 = 30.48 cm, "Reducir espaciamiento  $S_t$ , para 5 cm, máximo requerido" Si  $S_{propuesto} > 30$  cm, de lo contrario "Espaciamiento adecuado"

Chequeo  $S_t$  = "Espaciamiento adecuado".

Diseño de muro con abertura ejemplo 2

Ingreso de propiedades geométricas del muro

$$B_1: = 1.2 \text{ m}$$

$$H_1: = 0.70 \text{ m}$$

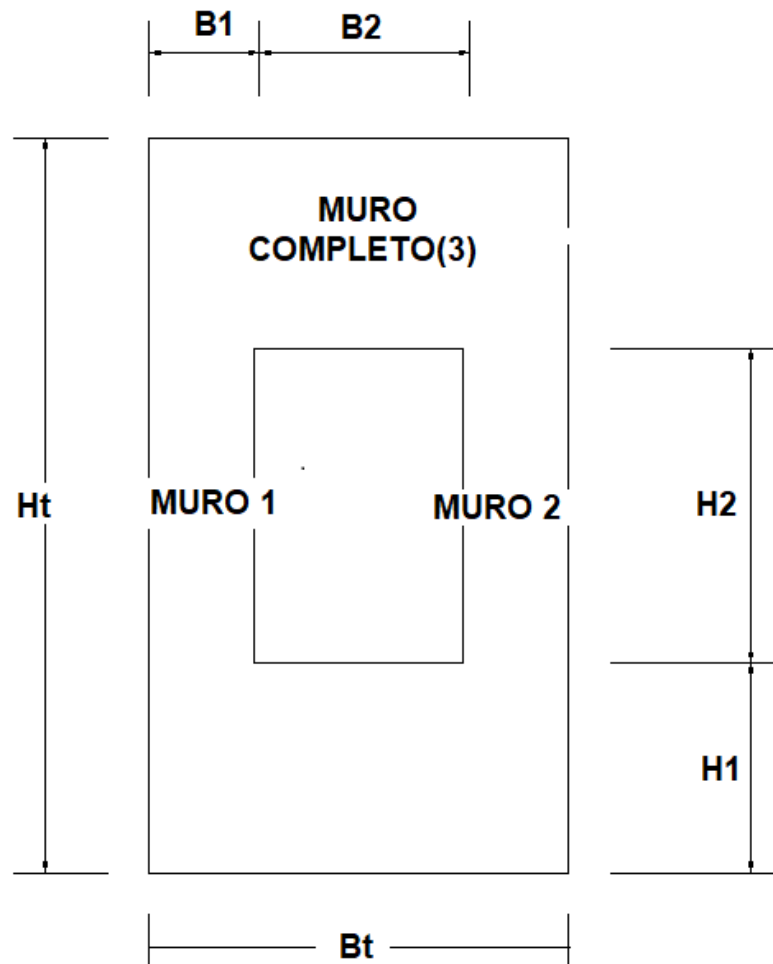
$$B_2: = 2.10 \text{ m}$$

$$H_2: = 2.40 \text{ m}$$

$$B_t: = 4.50 \text{ m}$$

$$H_t: = 3.80 \text{ m}$$

Figura 5. Dimensiones de muro general para programa muro 2



Fuente: elaboración propia.

Ingreso de propiedades de diseño del muro:

$f'_c$  = resistencia nominal a la compresión del concreto

$f_y$  = resistencia nominal a la fluencia del acero de refuerzo principal

$h$  = espesor del muro

$M_u$  = momento último de flexión

$V_u$  = corte del muro o la carga lateral de sismo

Pu = carga axial mayorada normal a la sección transversal, que ocurre simultáneamente con Vu

R= recubrimiento del muro diseño = Tipo de diseño, 1, 2 y 3, para muro 1, muro 2 y muro en conjunto o sin tomar en cuenta abertura respectivamente

R = es el recubrimiento del muro

$$f'c := 281 \frac{kg}{cm^2}$$

$$fy := 4,200 \frac{kg}{cm^2}$$

$$R := 4 \text{ cm}$$

$$h := 40 \text{ cm}$$

$$Vu := 15000 \text{ kg}$$

$$Pu := 0 \text{ kg}$$

Cálculos:

$$hw := Ht$$

$$b := h$$

$$\beta v := 0.85$$

$$EAs := 2,038,552.829 \frac{kg}{cm^2}$$

$$\text{Diseño} := 1$$

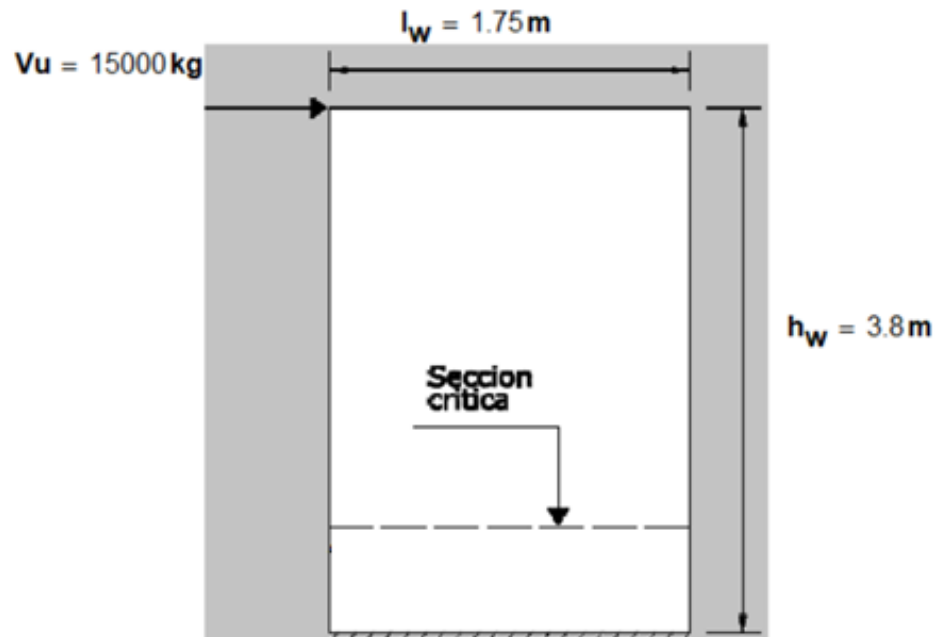
$$lw := \begin{cases} B1 & \text{if Diseño} = 1 \\ Bt - B1 - B2 & \text{if Diseño} = 2 \\ Bt & \text{if Diseño} = 3 \end{cases}$$

$$lw = 1.20 \text{ m}$$

Cálculo de sección crítica de corte



Figura 6. Sección crítica de corte



Fuente: elaboración propia.

$$lc1 := \frac{hw}{2}$$

ó

$$lc2 := \frac{lw}{2}$$

Ecuación 98: longitud de la sección crítica

$$lc := \min (lc1, lc2)$$

$$lc := 0.60 \text{ m}$$

$$Mu := (hw - lc) \times Vu$$

Ecuación 99: Momento último

Chequeo de la resistencia máxima de corte permitida

$$\phi: = 0.75$$

$$d: = 0.80 \times l_w$$

Factor de reducción de capacidad a corte

$$\phi V_{u1}: = \phi \times 2.65 \times \sqrt{f'_{c} \times \frac{kg}{cm^2}} \times b \times d$$

Ecuación 100: corte último 1

Msj20: = "Aumentar espesor o largo del muro"

Entonces:

$$if [\phi V_{u1} > V_u, "Ok", (Msj20)] = "ok"$$

Cálculo de la resistencia al corte del concreto

Sección crítica del corte

$$l_c: = 60 \text{ cm}$$

$$\lambda: = 1$$

Ecuación 101: factor de corte

$$V_{c1}: = 0.88 \times \lambda \times \sqrt{f'_{c} \times \frac{kg}{cm^2}} \times b \times d + \frac{P_u \times d}{4 \times l_w}$$

Ecuación 102: corte último 3

$$V_{c1} = 82,608.33 \text{ kg}$$

(ACI, 2014) sección 11.5.4.6

$$\frac{Mu}{Vu} = h_w - l_c$$

$$V_{c2} := \left[ \left( 0.16 \times \lambda \times \sqrt{f'c \times \frac{kg}{cm^2}} \right) + \frac{lw \times \left[ 0.33 \times \lambda \times \sqrt{\left( f'c \times \frac{kg}{cm^2} \right) + \frac{0.20 \times Pu}{lw \times h}} \right]}{\left( \frac{Mu}{Vu} \right) - \frac{lw}{2}} \right] \times d \times b$$

Ecuación 103: corte resistente del concreto

$$V_{c2} = 41,464.44 \text{ kg}$$

$$V_c := \begin{cases} \text{mín}(V_{c1}, V_{c2}) & \text{if } \left[ \left( \frac{Mu}{Vu} \right) - \frac{lw}{2} \right] > 0 \\ V_{c1} \text{ otherwise} & \end{cases}$$

$$V_c = 41464.43 \text{ kg}$$

Determinación del refuerzo horizontal de corte

$$Vu2 := \phi \times \frac{V_c}{2}$$

Ecuación 104:corte horizontal

If  $(Vu2 > Vu)$ , “Ok concreto”, “reforzar con acero”) = “ok concreto”

El refuerzo debe proporcionarse, según lo estipulado en (ACI, 2014)  
sección 11.5:

$$V_n \leq \phi V_n$$

Ecuación 105: factor de corte

$$V_n \leq \phi(V_c + V_s)$$

Ecuación 106: corte último

Codificación de # de barra y área de barra, sistema internacional:

El número de barra, diámetro y área se consignan respectivamente con 3 vectores, el número de barra coincide con el subíndice de las componentes del vector “No”, así mismo el subíndice de las componentes del vector diámetro  $d_b$  identifica el número de la barra, similar criterio para el área de la barra  $A_b$ , donde la variable “No” representa la posición del número de la varilla.

$$n_o = (0 \ 1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \ 6 \ 7 \ 8 \ 9 \ 10 \ 11 \ 12 \ 13 \ 14 \ 15)^T$$

$$N_o = (3 \ 4 \ 5 \ 6 \ 7 \ 8 \ 9 \ 10 \ 11 \ 12 \ 13 \ 14 \ 15 \ 16 \ 17 \ 18)^T$$

$$d_b = (0.95 \ 1.27 \ 1.59 \ 1.90 \ 2.22 \ 2.54 \ 2.86 \ 3.18 \ 3.50 \ 3.81 \ 4.13 \ 4.44 \ 4.76 \\ 5.08 \ 5.40 \ 5.71)^T \text{ cm}$$

$$A_b = (0.71 \ 1.27 \ 1.99 \ 2.85 \ 3.87 \ 5.06 \ 6.41 \ 7.91 \ 9.58 \ 11.40 \ 13.38 \ 15.52 \\ 17.81 \ 20.26 \ 22.88 \ 25.65)^T \text{ cm}^2$$

Ejemplo para la barra # 5 (o en GT varilla No 5)

no:= 2

No<sub>no</sub> = 5

Ab<sub>no</sub> = 1.99 cm<sup>2</sup>

db<sub>no</sub> = 1.59 cm

Proponer o probar armado:

Ingresar datos:

no1: = 1 Posición de la varilla propuesta

No<sub>no1</sub> = 4

So1: = 20 cm Separación propuesta

$$V_s := \frac{A b_{no1}}{S o_1} \times f_y \times d$$

V<sub>n</sub>: = V<sub>c</sub> + V<sub>s</sub>

Ecuación 107: corte nominal

RESULTADO ACERO HORIZONTAL:

$$\rho_t := \frac{A b_{no1}}{b \times S o_1}$$

Ecuación 108: Cuantía de acero horizontal

Msj5: = “ok usar acero propuesto”

Msj6: = “cambiar propuesta de acero”

If ( $\rho_t > 0.0025 \wedge V_u \leq V_n$ , Msj5, Msj6)

$$S_{\text{máximo1}} := \left( \begin{array}{c} lw / 3 \\ 3 \times b \\ 45 \text{ cm} \end{array} \right)$$

Ecuación 109: espaciamiento máximo

Cálculos:

$S_{\text{máx}} := \text{mín}(S_{\text{máximo}})$

If ( $S_{o1} < S_{\text{máx}}$ , Msj5, Msj6) = “ok usar acero propuesto”

Determinación del refuerzo vertical para cortante:

$$\rho_l := 0.0025 \left[ 0.50 \times \left( 2.5 - \frac{hw}{lw} \right) \times (\rho_t - 0.0025) \right]$$

Ecuación 110: cuantía vertical

If  $\left( \left( \begin{array}{l} \rho_t \geq \rho_{l \max} \\ 0.0025 \end{array} \right) , \text{ "ok" , "cambiar propuesta de acero" = "ok"} \right)$

Smáximo1: =  $\left( \begin{array}{l} l_w / 3 \\ 3 \times b \\ 45 \text{ cm} \end{array} \right)$

Ecuación 24: espaciamiento máximo

Smáximo1: = mín (Smáximo1)

Proponer o probar armado:

Ingreso de datos:

Resultado de acero vertical propuesto

no2: = 1 Posición de la varilla propuesta

No<sub>no2</sub> = 4 número de varilla

So2: = 20 cm separación propuesta

Cálculos:

$$\rho_{t1}: = \frac{A_{b_{no2}}}{b \times S_{o2}} \times 2$$

Ecuación 111: cuantía de acero longitudinal

If ( $\rho_l \leq \rho_{t1}$ , Msj5, Msj6) = "ok usar acero propuesto"

If ( $S_{o2} \leq S_{maximo1}$ , Msj5, Msj6) = "ok usar acero propuesto"

Diseño por flexión:

$$M_u = 43,875 \text{ kg} \times \text{m}$$

Ecuación 112: factor de flexión

Secciones controladas por tracción el factor de reducción es 0.90

$$\phi_f = 0.90$$

$$d_1 = 0.80 \times l_w$$

Ecuación 113: longitud efectiva del área del muro

Un valor más exacto será determinado dependiendo los resultados siguientes:

$$R_n := \frac{M_u}{\phi_f \times b \times d_1^2}$$

Ecuación 114: relación momento último

$$\rho := \frac{0.85 \times f'_c}{f_y} \times \left[ 1 - \sqrt{\left( 1 - \frac{R_n \times 2}{0.85 \times f'_c} \right)} \right]$$

Ecuación 115: cuantía de acero a flexión



Encontrando el área requerida según el momento último de flexión en el muro:

$$A_{sf} = \rho \times b \times d$$

Ecuación 116: acero a flexión

Ingrese la longitud propuesta para el acero vertical:

Proponer acero en los extremos:

$$d_m = 100 \text{ cm}$$

$$n_{var} = 7 \text{ cantidad de varillas de cada lado}$$

$$n_{o3} = 1 \text{ posición de la varilla}$$

$$N_{o_{n_{o3}}} = 4 \text{ número de varilla}$$

Cálculos:

$$A_{b_{n_{o3}}} = 1.27 \text{ cm}^2$$

$$A_{sE} = A_{b_{n_{o3}}} \times n_{var} \times 2$$

Cálculo de número de varillas de acero por fuerza vertical de corte:

Varillas de cada lado:

$$C_v := \frac{dm}{S_o 2}$$

Ecuación 117: cantidad de varillas de acero

$$A_{sc} = C_v \times 2 \times A_{bno2}$$

Ecuación 118: acero de cama superior

$$\beta = \begin{cases} 0.85 & \text{if } f'c \leq 281 \text{ kg/cm}^2 \\ \left[ 0.85 - \frac{0.0007}{\frac{KG}{cm^2}} \times \left( f'c - 281 \frac{kg}{cm^2} \right) \right] & \text{otherwise} \end{cases}$$

Ecuación 119: factor de resistencia

$$\beta = 0.85$$

$$\mu = \beta \times \left( \frac{f'c}{f_y} \right)$$

Ecuación 120: relación resistencia de concreto y acero

$$A_{sf} = A_{sE} \times 2 + A_{sc}$$

Ecuación 121: área de acero de fluencia

$$M_n := \frac{0.90 \times d_m \times A_{sf} \times f_y}{\beta} - \frac{0.529 \times A_{sf}^2 \times f_y^2}{\beta^2 \times f'c \times b}$$

Ecuación 122: Momento nominal a flexión

$$M: = \phi f \times M_n$$

$$M_u = 43,875 \text{ m x kg}$$

If ( $M_u \leq M$ ,  $M_{sj5}$ ,  $M_{sj6}$ ) = "ok usar acero propuesto"

$$S_o3: = \left( \frac{l_w - d_m - 2xR}{nvar - 3} \right) = 0.03$$

Ecuación 123: separación de varillas de acero a flexión

$$l_d: = \frac{f_y \times d_{b_{no3}}}{17 \times \sqrt{f'_c}} \times kg^{-0.5} \times cm$$

Ecuación 124: longitud de desarrollo

$$LR: = l_w - 2xR$$

Ecuación 125: longitud efectiva del muro

Chequeo de diseño de elemento de borde

Datos:

$$b = 40 \text{ cm}$$

$$h = 50 \text{ cm}$$

$$h_w = 3.8 \text{ m}$$

$$l_w = 1.20 \text{ m}$$

$$f'_c = 281 \frac{kg}{cm^2}$$

$$d = 0.96 \text{ m}$$

Ingreso de datos:

$\delta u := 0.66 \text{ cm}$

Cálculos:

$$\text{Relacion}\delta hw := \frac{\delta u}{h_w}$$

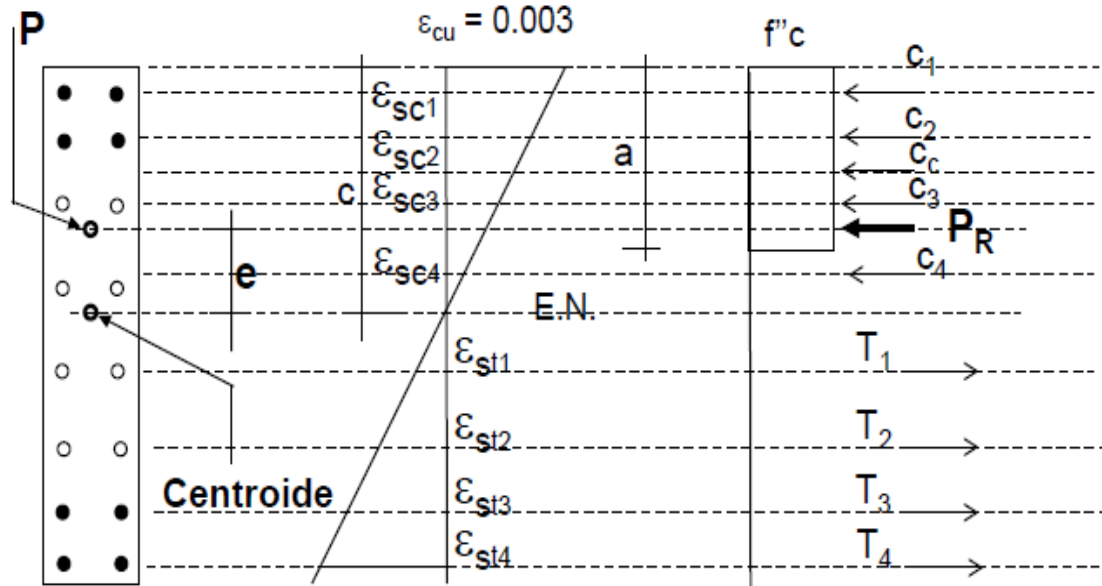
Ecuación 126: relación desplazamiento altura

$$\text{Relacion}\delta hw := \begin{cases} \text{Relacion}\delta hw & \text{if } \text{Relacion}\delta hw \geq 0.005 \\ 0.005 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$c2 := \frac{l_w}{600 \times (1.5 \times \text{Relacion}\delta hw)}$$

Ecuación 127: profundidad del eje neutro

Figura 6. Deformaciones unitarias en muro a flexión, muro 2



Fuente: (Nilson A. H., 1999)

$$\alpha_3 = \begin{cases} 0.72 & \text{if } f_c < 351 \frac{kg}{cm^2} \\ 0.68 & \text{if } f_c < 421 \frac{kg}{cm^2} \wedge f_c \geq 351 \frac{kg}{cm^2} \\ 0.64 & \text{if } f_c < 490 \frac{kg}{cm^2} \wedge f_c \geq 421 \frac{kg}{cm^2} \\ 0.60 & \text{if } f_c < 562 \frac{kg}{cm^2} \wedge f_c \geq 490 \frac{kg}{cm^2} \\ 0.56 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Ecuación 128: parámetros de esfuerzos de bloques de concreto

Diseño de viga de acople:

Ingreso de los datos

Donde:

$f_{ytv}$  = Resistencia especificada a la fluencia del acero transversal

$t_v$  = Espesor del muro o viga

$h_v$  = Altura de la viga de extremo a extremo

$V_{uv}$  = Fuerza cortante mayorada máxima

$M_{negv}$  = momento negativo mayorado máximo

$M_{posv}$  = Momento positivo mayorado máximo

$C_{cv}$  = Recubrimiento

Ingreso de datos

$f_{ytv} := 4200 \text{ kg/cm}^2$

$h_v := 70 \text{ x cm}$

$V_{uv} := 1,425.25 \text{ kg}$

$M_{negv} = 5,407.00 \text{ kgxm}$

$M_{posv} = 5,407.00 \text{ kgxm}$

$C_{cv} := 4 \text{ x cm}$

$f'_{cv} := f'_c$

$f_{yv} := f_y$

$t_m := h$

$Rec := R$

$B_{v1} := 0.85$

$L_v := (B2)$

$\phi_{vflexion} := 0.90$

$\phi_{vcorte} := 0.75$

Cálculo del peralte de la viga de acople

$b_v := t_m$

$$b_v = 0.40 \text{ m}$$

$$d_v := h_v - C_{cv}$$

$$d_v = 1.11 \text{ m}$$

Cálculo del acero mínimo por flexión

$$A_{smín1} := \frac{0.8 \times \sqrt{f'_{cv}}}{f_{yv}} \times b_v \times d_v \times \frac{\text{kg}^{0.5}}{\text{cm}^2}$$

Ecuación 129: acero mínimo

$$A_{smín1} = 8.43 \text{ cm}^2$$

$$A_{smín2} := \left[ \frac{14}{f_{yv}} \right] \times b_v \times d_v \times \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Ecuación 130: acero mínimo 2

$$A_{smín2} = 8.80 \text{ cm}^2$$

$$A_{smín} := \begin{cases} A_{smín1} & \text{if } A_{smín1} \geq A_{smín2} \\ A_{smín2} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$A_{smín} = 8.80 \text{ cm}^2$$

Cálculo del acero máximo por acero balanceado:

$$\rho_b := \beta_v \times 1 \times 0.85 \times \frac{f'_{cv}}{f_{yv}} \times \left( \frac{600}{600 + f_{yv} \times \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} \right)$$

Ecuación 131: cuantía balanceada

$$\rho_b = 0.006$$

$$\rho_{\text{máx}} := 0.55 \times \rho_b$$

Ecuación 132: cuantía máxima

$$A_{s\text{máx}} := \rho_{\text{máx}} \times \rho_v \times d_v$$

Ecuación 133: acero máximo

$$A_{s\text{máx}} := 8.77 \text{ cm}^2$$

Cálculo de acero para momento positivo:

Datos:

$$b_v = 0.40 \text{ m}$$

$$d_v = 0.70 \text{ m}$$

$$Rec = 0.04 \text{ m}$$

Ingreso de datos:

Cálculos:

$$A_{p1} := \frac{0.85 \times f'_{cv}}{f_{yv}}$$

Ecuación 134: relación resistencia de concreto y acero

$$A_{spos1} := A_{p1} \times \left[ (b_v \times d_v) - \sqrt{(b_v \times d_v)^2 - \frac{M_{posv} \times b_v}{0.3825 \times f'_{cv}}} \right]$$

Ecuación 135: Área de acero positivo



$$Aspos1 = 2.18 \text{ cm}^2$$

$$Aspos := \begin{cases} Asmín & \text{if } Asmín > Aspos1 \\ Aspos1 & \text{if } Aspos1 \geq Asmin \wedge Aspos1 \leq Asmax \\ \text{"Diseño doblemente reforzado"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Aspos = 8.80 \text{ cm}^2$$

$$Av := \frac{Aspos}{NoVarillasPorCamaInf} = 1.47 \text{ cm}^2$$

Ecuación 136: cantidad de área de acero

$$NoVpos := \begin{cases} 3 & \text{if } Avpos \geq 0 \text{ cm}^2 \wedge Avpos < 0.71 \text{ cm}^2 \\ 4 & \text{if } Avpos \geq 0.71 \text{ cm}^2 \wedge Avpos < 1.27 \text{ cm}^2 \\ 5 & \text{if } Avpos \geq 1.27 \text{ cm}^2 \wedge Avpos < 1.98 \text{ cm}^2 \\ 6 & \text{if } Avpos \geq 1.98 \text{ cm}^2 \wedge Avpos < 2.85 \text{ cm}^2 \\ 7 & \text{if } Avpos \geq 2.85 \text{ cm}^2 \wedge Avpos < 3.88 \text{ cm}^2 \\ 8 & \text{if } Avpos \geq 3.88 \text{ cm}^2 \wedge Avpos < 5.07 \text{ cm}^2 \\ 9 & \text{if } Avpos \geq 5.07 \text{ cm}^2 \wedge Avpos < 6.41 \text{ cm}^2 \\ 10 & \text{if } Avpos \geq 6.41 \text{ cm}^2 \wedge Avpos < 7.92 \text{ cm}^2 \\ 11 & \text{if } Avpos \geq 7.92 \text{ cm}^2 \wedge Avpos < 9.58 \text{ cm}^2 \\ \text{"distribuir en más varillas por cama inferior"} & \text{Otherwise} \end{cases}$$

Refuerzo requerido:

$$NoVpos = 5$$

$$NoVarillasPorCamaInf = 6$$

Chequeo de espaciamiento para varillas de As (+):

Datos:

$bv = 0.40 \text{ m}$

$Rec = 0.04 \text{ m}$

$NoVarillasPorCamaInf = 6$

$NoVpos = 5$

Cálculos:

$$Sinf1: = \frac{bv - R - 1.42cm - \left( \frac{NoVarillasPorCamaInf \times NoVpos}{8} \times 2.54 \right)}{NoVarillasPorCamaInf - 1}$$

Ecuación 137: espaciamiento para cama inferior

$Sinf1 = 0.05 \text{ m}$

$Sinf1$  no debe ser menor a  $0.0254 \text{ m}$

Chequeo de espaciamiento para paquetes de barras As (+) dentro de la viga

Datos:

$NoVarillasPorCamaInf = 6$

$NoVpos = 5$

Ingreso de datos:

$PaquetesDeBarras := 3$

$BarrasPorPaquete := 2$

$BarrasEnHPorPaquete := 2$

$BarrasIndividuales := 0$

Cálculos:

$$\phi_{Equivalente} := \left( \frac{NoVpos}{8} \right) \times 2.54 \text{ cm} \times \sqrt{BarrasPorPaquete}$$

Ecuación 138: diámetro equivalente del paquete de barras

$$\phi_{Equivalente} := 0.00269 \text{ m}$$

$$Sinf2 := \frac{bv - R - 1.42 \text{ cm} - \left( \frac{PaquetesDeBarras \times \phi_{equivalente}}{8} \right)}{PaquetesDeBarras}$$

Ecuación 72: espaciamiento para cama inferior 2

$$Sinf2 = 0.11 \text{ m}$$

Sinf2= no debe de ser menor a 0.025 m

Cálculo de acero para momento negativo

Datos:

$$bv = 0.40 \text{ m}$$

$$dv = 0.66 \text{ m}$$

$$Rec = 0.04 \text{ m}$$

Ingreso de datos:

$$NoVarillasPorCamaSup := 6$$

Cálculos:

$$Asneg1 := Ap1x \left[ (bvxdv) - \sqrt{(bvxdv)^2 - \left( \frac{Mnegvxbv}{0.3825xf'cv} \right)} \right]$$

Ecuación 139: acero negativo de viga de acople

$$\text{Asneg} := \begin{cases} \text{Asmin} & \text{if } \text{Asmin} > \text{Asneg1} \\ \text{Asneg1} & \text{if } \text{Asneg1} > \text{Asmin} \\ \text{"Diseño doblemente refrozado"} & \text{Otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Asneg} = 8.80 \text{ cm}^2$$

$$\text{Avneg} := \frac{\text{Aspos}}{\text{NoVarillasPorCamaSup}}$$

Ecuación 140: cantidad de acero negativo

$$\text{NoVneg} := \begin{cases} 3 & \text{if } \text{Avpos} \geq 0 \text{ cm}^2 \wedge \text{Avpos} < 0.71 \text{ cm}^2 \\ 4 & \text{if } \text{Avpos} \geq 0.71 \text{ cm}^2 \wedge \text{Avpos} < 1.27 \text{ cm}^2 \\ 5 & \text{if } \text{Avpos} \geq 1.27 \text{ cm}^2 \wedge \text{Avpos} < 1.98 \text{ cm}^2 \\ 6 & \text{if } \text{Avpos} \geq 1.98 \text{ cm}^2 \wedge \text{Avpos} < 2.85 \text{ cm}^2 \\ 7 & \text{if } \text{Avpos} \geq 2.85 \text{ cm}^2 \wedge \text{Avpos} < 3.88 \text{ cm}^2 \\ 8 & \text{if } \text{Avpos} \geq 3.88 \text{ cm}^2 \wedge \text{Avpos} < 5.07 \text{ cm}^2 \\ 9 & \text{if } \text{Avpos} \geq 5.07 \text{ cm}^2 \wedge \text{Avpos} < 6.41 \text{ cm}^2 \\ 10 & \text{if } \text{Avpos} \geq 6.41 \text{ cm}^2 \wedge \text{Avpos} < 7.92 \text{ cm}^2 \\ 11 & \text{if } \text{Avpos} \geq 7.92 \text{ cm}^2 \wedge \text{Avpos} < 9.58 \text{ cm}^2 \\ \text{"distribuir en más varillas por cama superior"} & \text{Otherwise} \end{cases}$$

Refuerzo requerido:

$$\text{NoVneg} = 5$$

$$\text{NoVarillasPorCamaSup} = 6$$

Chequeo de espaciamiento para varillas de As(-) requeridas:

Datos:

$$bv = 0.40 \text{ m}$$

$$Ccv = 0.04 \text{ m}$$

$$\text{NoVarillasPorCamaSup} = 6$$

$$\text{NoVneg} = 5$$

Cálculos:

$$S_{sup1} := bv - R - 1.42 \text{ cm} - \frac{\left( \frac{\text{NoVarillasPorCamaSup} \times \text{NoVneg}}{8} \times 2.54 \text{ cm} \right)}{\text{NoVarillasPorCamaSup} - 1}$$

Ecuación 141: Separación acero cama superior

$$S_{sup} = 0.0501 \text{ m} \text{ no debe ser menor a } 0.0254 \text{ m}$$

Chequeo de espaciamiento para paquetes de barras

Datos:

$$\text{NoVarillasPorCamaInf} = 6$$

$$\text{NoVneg} = 5$$

Ingreso de condiciones:

$$\text{PaquetesDeBarras2} = 3$$

$$\text{BarrasPorPaquete2} = 2$$

$$\text{BarrasEnHPorPaquete2} = 2$$

$$\text{BarrasIndividuales2} = 0$$

Cálculos:

$$\phi_{Equivalente2} := \left(\frac{NoVpos}{8}\right) \times 2.54 \text{ cm} \times \sqrt{BarrasPorPaquete2}$$

Ecuación 142: diámetro equivalente 2

$$\phi_{Equivalente2} := 2.24 \text{ m}$$

$$S_{sup2} := \frac{bv - R - 1.42 \text{ cm} - \left(\frac{PaquetesDeBarras2 \times \phi_{equivalente2}}{8}\right)}{PaquetesDeBarras2}$$

Ecuación 77: separación de acero cama superior 2

$$S_{sup2} = 0.1125 \text{ m}$$

$S_{sup2}$  no debe ser mayor a 2.54 cm

Refuerzo superficial (refuerzo lateral)

Datos:

$$h_v = 0.70 \text{ m}$$

$$d_v = 0.66 \text{ m}$$

$$C_{cv} = 0.04 \text{ m}$$

Msj11 := "Si requiere refuerzo superficial, con el espaciamiento siguiente"

Msj12 := "No requiere refuerzo superficial conforme a esta sección"

$$ChV_{superficial} := \begin{cases} \text{Msj11} & \text{if } h_v > 90 \text{ cm} \\ \text{Msj12} & \text{Otherwise} \end{cases}$$

$$f_s := \frac{2}{3} f_{yv}$$

Ecuación 78: esfuerzo de fluencia

$$sl1 := 380 \times cm \frac{280 \frac{kg}{cm^2}}{fs} - 2.5Ccv$$

Ecuación 79: distancia a esfuerzo de tensión

$$sl2 := 300 \times cm \frac{280 \frac{kg}{cm^2}}{fs}$$

Ecuación 143: distancia a esfuerzo de tensión

$$sl2 = 0.30m$$

$$sl3 = 30 \text{ cm}$$

$$sl := \begin{cases} sl1 & \text{if } sl1 < sl2 \\ sl2 & \text{if } sl2 \leq sl1 \\ sl3 & \text{if } sl2 \geq 30 \text{ cm v } sl1 \end{cases}$$

RESUMEN Y REQUERIMIENTOS:

ChVsuperficial = “Si requiere refuerzo superficial, con el espaciamiento siguiente”

$$sl = 0.30 \text{ m}$$

Cálculo de relación de tipo de refuerzo por corte

$$Rlh := \frac{Lv}{hv}$$

Ecuación 144: relación longitud y peralte de viga de acople

$$\alpha_1 = \text{atan}(R/h)$$

Ecuación 145: ángulo de inclinación de las barras diagonales

$$\alpha_1 = 1.249$$

$$\alpha_1 = \frac{(\alpha_1 \times 360)}{2\pi}$$

$$\alpha_1 = 71 \text{ grados}$$

$$V_n = V_u \times 1.3333$$

Ecuación 83: corte nominal viga de acople

$$A_{cw} = h \times t_m$$

$\alpha$  = ángulo formado entre la horizontal y el grupo de barras diagonales según dimensiones de la viga.

Cálculo de tipo de diseño para corte

Msg13 := "requiere grupo de barras diagonales"

$$V_{n2} = 2.65 \times \sqrt{f'_{cv}} \times A_{cw} \times \frac{kg^{0.5}}{cm}$$

Ecuación 146: corte barras diagonales

$$V_{nr} := 1.1 \times \sqrt{f'_{cv}} \times A_{cw} \times \frac{kg^{0.5}}{cm}$$

Ecuación 147: corte barras diagonales



Tdediseño:=  $\left\{ \begin{array}{l} \text{Msj13 if } Rlh < 2 \wedge Vn < Vn2 \wedge Vn > Vnr \\ \text{"Diseño en barras diagonales" if } Rlh \geq 4 \vee Vn \leq Vnr \\ \text{"Diseño a criterio del diseñador" if } Rlh \geq 2 \wedge Rlh < 4 \\ \text{"Aumentar espesor del muro" Otherwise} \end{array} \right.$

Tdediseño = "Diseño en barras diagonales"

Cálculo de refuerzo para corte por medio de grupo de barras diagonales:

Datos:

Rlh= 3.00

bv = 0.50 m

dv= 0.66 m

$\alpha$  = 71.5651 grados respecto a la horizontal

Cálculos:

$$A_{vd} := \left( \frac{V_{uv}}{0.53 f_{yv} x \sin(\alpha) x \phi v_{corte}} \right)$$

Ecuación 148: área de acero de barras diagonales

A<sub>vd</sub>= 0.95 cm<sup>2</sup>

Nobarras:= 6 como mínimo son 4 barras distribuidas en grupos de 2 o más capas

$$Avdu := \frac{Avd}{Nobarras}$$

Ecuación 149: área requerida por varilla

1.25 veces la longitud de desarrollo para fy

$$Avdu2 := \frac{Avdu}{2}$$

Nvp1:=	3	if	$Avdu \geq 0 \text{ cm}^2 \wedge Avdu < 0.71 \text{ cm}^2$
	4	if	$Avdu \geq 0.71 \text{ cm}^2 \wedge Avdu < 1.27 \text{ cm}^2$
	5	if	$Avdu \geq 1.27 \text{ cm}^2 \wedge Avdu < 1.98 \text{ cm}^2$
	6	if	$Avdu \geq 1.98 \text{ cm}^2 \wedge Avdu < 2.85 \text{ cm}^2$
	7	if	$Avdu \geq 2.85 \text{ cm}^2 \wedge Avdu < 3.88 \text{ cm}^2$
	8	if	$Avdu \geq 3.88 \text{ cm}^2 \wedge Avdu < 5.07 \text{ cm}^2$
	9	if	$Avdu \geq 5.07 \text{ cm}^2 \wedge Avdu < 6.41 \text{ cm}^2$
	10	if	$Avdu \geq 6.41 \text{ cm}^2 \wedge Avdu < 7.92 \text{ cm}^2$
	11	if	$Avdu \geq 7.92 \text{ cm}^2 \wedge Avdu < 9.58 \text{ cm}^2$
			“distribuir en más varillas por cama superior” <b>Otherwise</b>

Nvp2:=

3	if $Avdu2 \geq 0 \text{ cm}^2 \wedge Avdu2 < 0.71 \text{ cm}^2$
4	if $Avdu2 \geq 0.71 \text{ cm}^2 \wedge Avdu2 < 1.27 \text{ cm}^2$
5	if $Avdu2 \geq 1.27 \text{ cm}^2 \wedge Avdu2 < 1.98 \text{ cm}^2$
6	if $Avdu2 \geq 1.98 \text{ cm}^2 \wedge Avdu2 < 2.85 \text{ cm}^2$
7	if $Avdu2 \geq 2.85 \text{ cm}^2 \wedge Avdu2 < 3.88 \text{ cm}^2$
8	if $Avdu2 \geq 3.88 \text{ cm}^2 \wedge Avdu2 < 5.07 \text{ cm}^2$
9	if $Avdu2 \geq 5.07 \text{ cm}^2 \wedge Avdu2 < 6.41 \text{ cm}^2$
10	if $Avdu2 \geq 6.41 \text{ cm}^2 \wedge Avdu2 < 7.92 \text{ cm}^2$
11	if $Avdu2 \geq 7.92 \text{ cm}^2 \wedge Avdu2 < 9.58 \text{ cm}^2$
	“distribuir en más varillas por cama superior” <b>Otherwise</b>

GrupoDeBarras : =

1	if $Avdu < 9.58 \text{ cm}^2$
2	if $Avdu2 < 9.58 \text{ cm}^2 \wedge Avdu \geq 9.58 \text{ cm}^2$
	“Aumentar espesor de muro o número de barras” otherwise

GrupoDeBarras = 1

Nvp : =

Nvp1	if GrupoDeBarras = 1
Nvp2	if GrupoDeBarras = 2
	“Aumentar espesor de muro y requiere diseño especial” otherwise

Nobarras = 6

GrupoDeBarras = 1

Nvp = 3

Propuesta del refuerzo transversal para vigas de acople con grupo de barras.

Ingreso de datos:

bvd:= 25 cm

dvd:= 25 cm

bcd:= 25 cm

fytvd:=  $4200 \frac{kg}{cm^2}$

Ingreso de propuesta:

SpropuestoA := 5.00 cm

NoVtA:= 3

Cálculo:

Msj14: = “Reducir espaciamiento, para  $dv/4$ ”

Msj15: = “¿Reducir espaciamiento, para 8? Varilla longitudinal más pequeña”

Msj16: = “¿Reducir espaciamiento, para 8? Varilla longitudinal más pequeña”

Msj17:= “Reducir espaciamiento, para 24? Varilla estribo de confinamiento”

Msj18:= “Reducir espaciamiento, para 30 cm máximo requerido”

Separaciona:=  $\left| \begin{array}{l} \text{Msj14 if } S\text{propuestoA} > \frac{dvd}{4} \\ \text{Msj15 if } S\text{propuestoA} > Nvp \times 2.54 \text{cm} \\ \text{Msj16 if } S\text{propuestoA} > Nvp \times 2.54 \text{cm} \\ \text{Msj17 if } S\text{propuestoA} > Nvp \times 2.54 \text{cm} \\ \text{Msj18 if } S\text{propuestoA} > 30 \text{cm} \end{array} \right.$

Separaciona = “Espaciamiento adecuado”

$$AgA:=dvdxbcdx1.2$$

Ecuación 150: área grande de viga

$$AchA:= dvdxbcd$$

Ecuación 151: área chica de viga

$$AshR1A:= \left( 0.30 \times S_{propuesto} \times bcdx \frac{f'cv}{fytv} \right) \left[ \frac{AgA}{AchA} - 1 \right]$$

Ecuación 152: área requerida de acero 1

$$AshR1A=0.50 \text{ cm}^2$$

$$AshR2A:= 0.09 \times \left( S_{propuesto} \times bcdx \frac{f'cv}{fytv} \right)$$

Ecuación 153: área requerida de acero 2

$$AshR2A=0.7527 \text{ cm}^2$$

$$\phi VtdA:= \left( \frac{NoVtA}{8} \right) \times 2.54 \text{ cm}$$

Ecuación 154: diámetro de varilla de acero propuesta

$$A_{\phi VtdA} := \pi \times \left( \frac{\phi VtdA}{2} \right)^2$$

Ecuación 155: área de varilla de acero propuesta

$A_{\phi VtdA} = 0.71 \text{ cm}^2$ .

$A_{shRealA} = 2 \times A_{\phi VtdA}$

$A_{shRealA} = 1.42 \text{ cm}^2$

Msj1:="Espaciamiento y número de varillas adecuados"

Msj2:="Aumentar número de varillas y de estribo de confinamiento, ganchos o disminuir  $S_{transversalD2}$ "

ChequeoAshA :=  $\begin{cases} \text{Msj1} & \text{if } A_{shRealA} \geq A_{shR1A} \wedge A_{shRealA} \geq A_{shR2A} \\ \text{Msj2} & \text{otherwise} \end{cases}$

ChequeoAshA = "Espaciamiento y No. de varillas adecuados"

Chequeo del refuerzo transversal para vigas de acople con grupos de barras.

Datos:

$A_{seccionViga} := b_v \times d_v$

$b_v = 0.40 \text{ m}$

$h_v = 0.70 \text{ m}$

$d_v = 0.66 \text{ m}$

$s_l = 0.30 \text{ m}$

Ingreso de condiciones:

NoVtransversalIncisoD2 : = 4 número de varilla transversal

NoVtransversalGanchos : = 4 número de varilla transversal de ganchos

StransversalGanchos : = 15xcm no menor a 15 cm

Cálculos:

$$\text{NoGPorseccion} = \frac{dv}{sl}$$

Ecuación 156: número de varillas corte viga de acople

$$\text{NoGPorseccion} = 2.20$$

$$\phi Vtd2 = \frac{\text{NoVtransversalIncisoD2}}{8} \times 2.54 \text{ cm}$$

Ecuación 157: diámetro de varillas sección transversal viga de acople

$$A\phi Vtd2 = \pi \times \left( \frac{\phi Vtd2}{2} \right)^2$$

Ecuación 158: área de varillas sección transversal viga de acople

$$A\phi Vtd2 = 1.27 \text{ cm}^2$$

$$\text{AshReal} = \text{NoGPorSección} \times \pi \times \left( \frac{\text{NoV transversalGanchos}}{8 \times 2} \right)^2 + 2 \times A\phi Vtd2$$

Ecuación 159: área propuesta para corte sección trasversal viga de acople

$$\text{AshReal} = 5.32 \text{ cm}^2$$

$$\text{Ag} := \text{AseccionViga}$$

Ecuación 88

$$\text{Ag} = 3,300.00 \text{ cm}^2$$

$$\text{Ach} := (\text{hv} - 2 \times \text{Rec})(\text{bv} - 2 \times \text{Ccv})$$

Ecuación 89

$$\text{Ach} = 2,604.00 \text{ cm}^2$$

$$\text{bc} := \text{bv} - 2 \times \text{Ccv}$$

Ecuación 160: Ancho efectivo de viga de acople

$$\text{bc} = 0.42 \text{ m}$$

$$\text{AshR1} := \left( 0.30 \times \text{Stransversal} \times D \times \text{bc} \times \frac{f'_{cv}}{f_{ytv}} \right) \left[ \left( \frac{\text{Ag}}{\text{Ach}} \right) - 1 \right]$$

Ecuación 161: área requerida transversal de acero 1

$$\text{AshR1} = 3.18 \text{ cm}^2$$

$$\text{AshR2} := 0.09 \times \left( \text{stransversal} \times D \times \text{bc} \times \frac{f'_{cv}}{f_{ytv}} \right)$$

Ecuación 162: área requerida transversal de acero 2

$$\text{AshR2} = 2.89 \text{ cm}^2$$



$$\text{AshR2} = 2,640.00 \text{ cm}^2$$

Msj3: = “Espaciamiento y número de varillas adecuados”

Msj4: = “Aumentar estribo de confinamiento, ganchos o disminuir StransversalD2”

ChequeoAsh:= Msj3 if AshReal $\geq$ AshR1 $\geq$ AshR2

Msj4 otherwise

chequeoAsh = “Espaciamiento y número de varillas adecuados”

NoVtransversalIncisoD2 = 4

Stransversal = 0.15 m

Resumen o requerimientos:

StransversalD2 = 0.15 m

NoVtransversalIncisoD2 = 4 Novarilla

NoVtransversalGanchos = 4 Novarilla

sl = 30 cm

NoGPorSeccion = 2.20

Cálculo de refuerzo para corte por medio de estribos transversales, para elementos sometidos a flexión en pórticos especiales resistentes a momento:

Datos:

$$b_v = 0.50 \text{ m}$$

$$d_v = 0.66 \text{ m}$$

$$V_{uv} = 1,495.25 \text{ kg}$$

$$f_{ytv} = 4200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Ingreso de datos:

$$S_{propuesto} = 5 \text{ cm}$$

Cálculos:

$$V_{cv} = 0.82 \times 0.53 \sqrt{f'_{cv} b_v d_v} \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Ecuación 163: corte resistente del concreto en viga de acople.

$$V_{cv} := 19.93 \times 10^3 \text{ kg}$$

$$V_s := \frac{(V_{uv} - V_{cv})}{0.85}$$

Ecuación 164: corte resistente del acero

$$V_s = - 21.77 \times 10^3$$

$$A_{vt1} := \frac{V_s \times S_{propuesto}}{f_y t_v x d_v}$$

$$A_{vt1} = -0.39 \text{ cm}^2$$

Ecuación 165: área de acero requerida

NoVtVu:=	3	if	$A_{vt1} \geq 0 \text{ cm}^2 \wedge A_{vt1} < 0.71 \text{ cm}^2$
	4	if	$A_{vt1} \geq 0.71 \text{ cm}^2 \wedge A_{vt1} < 1.27 \text{ cm}^2$
	5	if	$A_{vt1} \geq 1.27 \text{ cm}^2 \wedge A_{vt1} < 1.98 \text{ cm}^2$
	6	if	$A_{vt1} \geq 1.98 \text{ cm}^2 \wedge A_{vt1} < 2.85 \text{ cm}^2$
	7	if	$A_{vt1} \geq 2.85 \text{ cm}^2 \wedge A_{vt1} < 3.88 \text{ cm}^2$
	8	if	$A_{vt1} \geq 3.88 \text{ cm}^2 \wedge A_{vt1} < 5.07 \text{ cm}^2$
	9	if	$A_{vt1} \geq 5.07 \text{ cm}^2 \wedge A_{vt1} < 6.41 \text{ cm}^2$
	10	if	$A_{vt1} \geq 6.41 \text{ cm}^2 \wedge A_{vt1} < 7.92 \text{ cm}^2$
	11	if	$A_{vt1} \geq 7.92 \text{ cm}^2 \wedge A_{vt1} < 9.58 \text{ cm}^2$
			“distribuir en más varillas por cama superior” <b>Otherwise</b>

$$NoVtVu = 3$$

Chequeo de separación máxima entre el refuerzo transversal:

Msj19: = "Reducir espaciamiento St, para 5 cm, máximo requerido"

ChequeoSt:= | "Reducir espaciamiento St, para  $dv/4$ " if  $Spropuesto > \frac{dv}{4}$   
"Reducir espaciamiento St" if  $Spropuesto > NoVpos \times 2.54$  cm  
"Reducir espaciamiento St" if  $Spropuesto > NoVneg \times 2.54$  cm  
"Reducir espaciamiento St" if  $Spropuesto > 24 \times \frac{NoVtVu}{8} \times 2.54$  cm  
Msj19 if  $Spropuesto > 30$  cm  
"Espaciamiento adecuado" otherwise

ChequeoSt = "Espaciamiento adecuado"

Diseño de muro con abertura, ejemplo 3

Ingreso de propiedades geométricas del muro

$$B1: = 2.00 \text{ m}$$

$$H1: = 1.40 \text{ m}$$

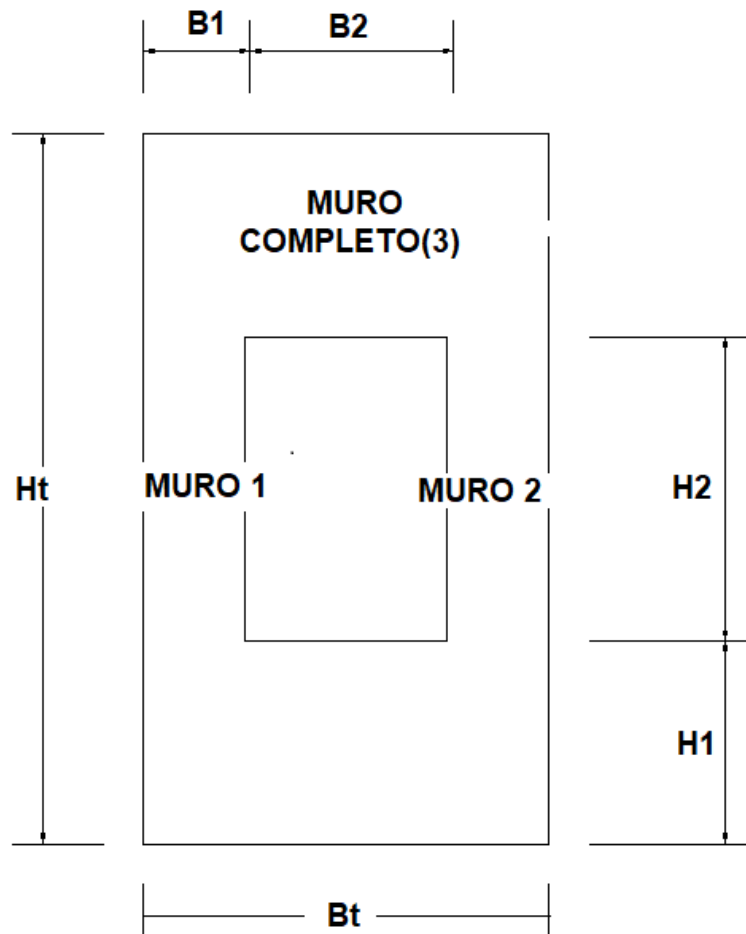
$$B2: = 0.4 \text{ m}$$

$$H2: = 1.00 \text{ m}$$

$$Bt: = 4.50 \text{ m}$$

$$Ht: = 3.80 \text{ m}$$

Figura 7. Dimensiones de muro general, para programa muro 3



Fuente: elaboración propia.

Ingreso de propiedades de diseño del muro:

$f'c$  = resistencia nominal a la compresión del concreto

$f_y$  = resistencia nominal a la fluencia del acero de refuerzo principal

$h$  = espesor del muro

$M_u$  = momento último de flexión

$V_u$  = corte del muro o la carga lateral de sismo

$P_u$  = carga axial mayorada normal a la sección transversal, que ocurre simultáneamente con  $V_u$

$R$  = recubrimiento del muro Diseño = Tipo de diseño, 1, 2 y 3, para muro 1, muro 2 y muro en conjunto o sin tomar en cuenta abertura respectivamente

$R$  = es el recubrimiento del muro

$$f'_c := 281 \frac{kg}{cm^2}$$

$$f_y := 4,200 \frac{kg}{cm^2}$$

$$R := 4 \text{ cm}$$

$$h := 40 \text{ cm}$$

$$V_u := 15000 \text{ kg}$$

$$P_u := 0 \text{ kg}$$

Cálculos:

$$h_w := H_t$$

$$b := h$$

$$\beta_v := 0.85$$

$$EAs := 2038552.83 \frac{kg}{cm^2}$$

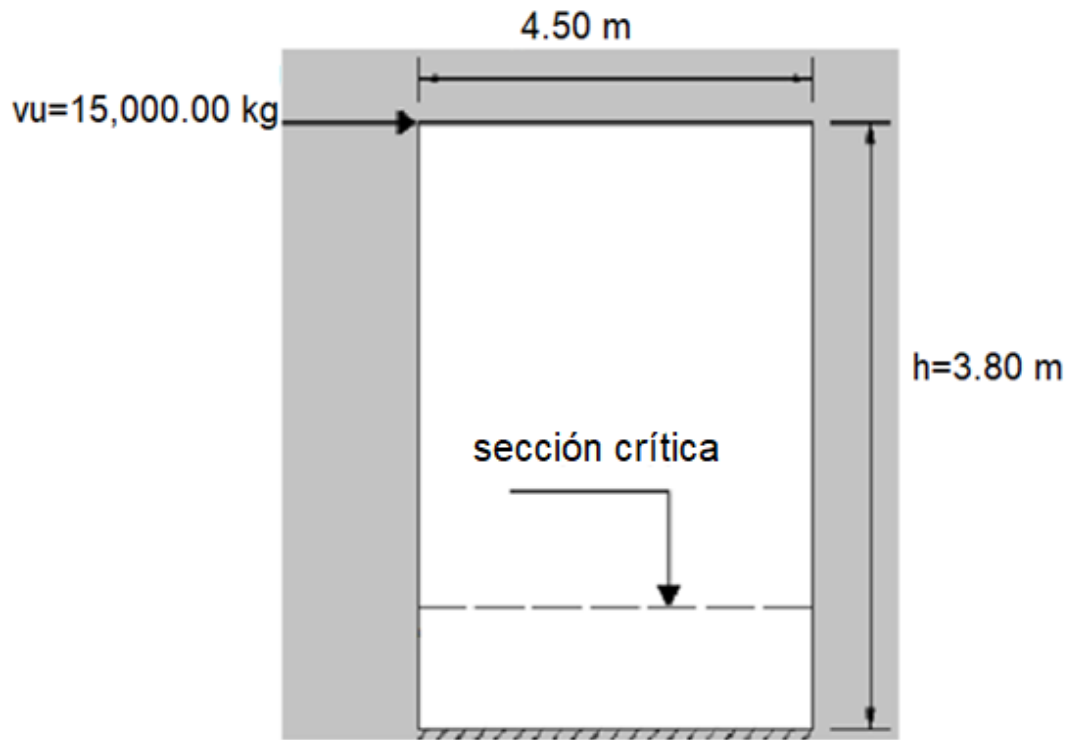
Diseño: = 3

$$I_w := \begin{cases} B1 & \text{if Diseño} = 1 \\ Bt - B1 - B2 & \text{if Diseño} = 2 \end{cases}$$

$Bt$  if Diseño = 3

Cálculo de sección crítica de corte

Figura 8. **Sección crítica de corte muro 3**



Fuente: elaboración propia.

$$lc1 := \frac{hw}{2}$$

ó

$$lc2 := \frac{lw}{2}$$

Ecuación 166: longitud de la sección crítica

lc: = mín (lc1, lc2)

lc: = 1.90 m

Mu: = (hw-lc) xVu

Ecuación 167: momento último

Chequeo de la resistencia máxima de corte permitida

$\phi$ : = 0.75

d: = 0.80 x lw

Factor de reducción de capacidad a corte

$$\phi Vu1: = \phi \times 2.65 \times \sqrt{f'cx \frac{kg}{cm^2}} \times b \times d$$

Ecuación 168: corte último 1

Msj20: = "Aumentar espesor o largo del muro"

Entonces:

*if* [ $\phi Vu1 > Vu$ , "Ok", (Msj20)] = "ok"

Cálculo de la resistencia al corte del concreto

Sección crítica del corte

lc: = 90 cm

$\lambda$ : = 1

Ecuación 169: factor de corte

$$V_{c1} := 0.88 \times \lambda \times \sqrt{f'c \times \frac{kg}{cm^2}} \times b \times d + \frac{Pu \times d}{4 \times lw}$$

Ecuación 170: corte último 3

$$V_{c1} = 212,421 \text{ kg}$$

$$\frac{Mu}{Vu} = h_w - l_c$$

$$V_{c2} := \left[ \left( 0.16 \times \lambda \times \sqrt{f'c \times \frac{kg}{cm^2}} \right) + \frac{lw \times \left[ 0.33 \times \lambda \times \sqrt{\left( f'c \times \frac{kg}{cm^2} \right) + \frac{0.20 \times Pu}{lw \times h}} \right]}{\left( \frac{Mu}{Vu} \right) - \frac{lw}{2}} \right] \times d \times b$$

Ecuación 171: corte resistencia de concreto

$$V_{c2} = -985,552. \text{ kg}$$

$$V_c := \begin{cases} \min(V_{c1}, V_{c2}) & \text{if } \left[ \left( \frac{Mu}{Vu} \right) - \frac{lw}{2} \right] > 0 \\ V_{c1} \text{ otherwise} \end{cases}$$



$$V_c = 212,421 \text{ kg}$$

Determinación del refuerzo horizontal de corte:

ACI 318-14 11.6.2

$$Vu2 := \phi \times \frac{V_c}{2}$$

Ecuación 172: corte horizontal

If ( $Vu2 > Vu$ , “Ok concreto”, “reforzar con acero”) = “ok concreto”

El refuerzo debe proporcionarse, según lo estipulado en ACI 318-14 11.5:

$$V_n \leq \phi V_n$$

Ecuación 173: factor de corte

$$V_n \leq \phi(V_c + V_s)$$

Ecuación 174: corte último

Codificación de # de barra y área de barra, sistema internacional:

El número de barra, diámetro y área se consignan respectivamente con 3 vectores, el número de barra coincide con el subíndice de las componentes del vector variable “No” así mismo el subíndice de las componentes del vector diámetro  $d_b$  identifica el número de la barra, similar criterio para el área de la barra  $A_b$ , donde variable “No” representa la posición del número de la varilla.

$$no: = (0 \ 1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \ 6 \ 7 \ 8 \ 9 \ 10 \ 11 \ 12 \ 13 \ 14 \ 15)^T$$

$$No: = (3 \ 4 \ 5 \ 6 \ 7 \ 8 \ 9 \ 10 \ 11 \ 12 \ 13 \ 14 \ 15 \ 16 \ 17 \ 18)^T$$

$$db: = (0.95 \ 1.27 \ 1.59 \ 1.90 \ 2.22 \ 2.54 \ 2.86 \ 3.18 \ 3.50 \ 3.81 \ 4.13 \ 4.44 \ 4.76 \\ 5.08 \ 5.40 \ 5.71)^T \text{ cm}$$

$$Ab: = (0.71 \ 1.27 \ 1.99 \ 2.85 \ 3.87 \ 5.06 \ 6.41 \ 7.91 \ 9.58 \ 11.40 \ 13.38 \ 15.52 \\ 17.81 \ 20.26 \ 22.88 \ 25.65 )^T \text{ cm}^2$$

Ejemplo para la barra # 5 (o en GT varilla No 5)

$$no:= 1$$

$$No_{no} = 4$$

$$Ab_{no} = 1.27 \text{ cm}^2$$

$$db_{no} = 1.27 \text{ cm}$$

Proponer o probar armado:

Ingresar datos:

no1: = 1 Posición de la varilla propuesta

$$No_{no1} = 4$$

So1: = 20 cm Separación propuesta

$$V_s := \frac{Ab_{no1}}{So_1} \times f_y \times d$$

$$V_n := V_c + V_s$$

Ecuación 175: corte nominal

RESULTADO ACERO HORIZONTAL:

$$\rho t := \frac{Ab_{no1}}{b \times So_1}$$

Ecuación 176: Cuantía de acero horizontal

Msj5: = “ok usar acero propuesto”

Msj6: = “cambiar propuesta de acero”

If ( $\rho t > 0.0025 \wedge Vu \leq Vn$ , Msj5, Msj6)

$$Sm\acute{a}ximo1: = \left( \begin{array}{c} lw / 3 \\ 3 \times b \\ 45 \text{ cm} \end{array} \right)$$

Ecuación 177: espaciamiento máximo

Cálculos:

Smáx: = min (Smáximo)

If ( $So_1 < Sm\acute{a}x$ , Msj5, Msj6) = “ok usar acero propuesto”

Determinación del refuerzo vertical para cortante:

$$\rho l := 0.0025 \left[ 0.50 \times \left( 2.5 - \frac{hw}{lw} \right) \times (\rho t - 0.0025) \right]$$

Ecuación 178:(ACI, 2014) cuantía longitudinal

$$\text{If } \left( \left( \left( \rho_t \geq \max \rho_l \right), \text{ "ok" }, \text{ "cambiar propuesta de acero" } = \text{ "ok" } \right) \right)$$

$$\text{Smáximo1:} = \left( \begin{array}{l} lw / 3 \\ 3 \times b \\ 45 \text{ cm} \end{array} \right)$$

Ecuación 179: cuantía vertical

$$\text{Smáximo1:} = \text{mín (Smáximo1)}$$

Proponer o probar armado:

Ingreso de datos:

Resultado de acero vertical propuesto

no2: = 1 Posición de la varilla propuesta

No<sub>no2</sub> = 4 número de varilla

So2: = 20 cm separación propuesta

Cálculos:

$$\rho_{t1}: = \frac{A_{b_{no2}}}{b \times S_{o2}} \times 2$$

Ecuación 180: cuantía de acero longitudinal

If ( $\rho_l \leq \rho_{t1}$ , Msj5, Msj6) = "ok usar acero propuesto"

If ( $S_{o2} \leq S_{maximo1}$ , Msj5, Msj6) = "ok usar acero propuesto"

Diseño por flexión:

$M_u = 28,500 \text{ m} \times \text{kg}$

Ecuación 181: momento de flexión último

Secciones controladas por tracción el factor de reducción es 0.90

$\phi_f = 0.90$

Ecuación 182: factor de flexión

$d_1 = 0.80 \times l_w$

Ecuación 183: longitud efectiva del área del muro

Un valor más exacto será determinado dependiendo los resultados siguientes:

$$R_n := \frac{M_u}{\phi_f \times b \times d_1^2}$$

Ecuación 184: relación momento último y área

$$\rho := \frac{0.85 x f'c}{fy} x \left[ 1 - \sqrt{\left( 1 - \frac{R_n x 2}{0.85 x f'c} \right)} \right]$$

Ecuación 185: relación momento último

Encontrando el área requerida, según el momento último de flexión en el muro

$$Asf := \rho x b x d1$$

Ecuación 186: Cuantía de acero a flexión

Ingrese la longitud propuesta para el acero vertical:

Proponer acero en los extremos:

$$d_m := 100 \text{ cm}$$

$$nvar := 7 \text{ cantidad de varillas de cada lado}$$

$$no3 := 1 \text{ posición de la varilla}$$

$$No_{no3} := 4 \text{ número de varilla}$$

Calculos:

$$A_{bno3} = 1.27 \text{ cm}^2$$

$$A_{sE} = A_{bno3} x nvar x 2$$

Cálculo de número de varillas de acero por fuerza vertical de corte:

Varillas de cada lado:

$$C_v := \frac{dm}{S_o2}$$

Ecuación 187: cantidad de varillas de acero

$$A_{sc} = C_v \times 2 \times A_{bno2}$$

Ecuación 188: acero de cama superior

$$\beta = \begin{cases} 0.85 & \text{if } f'c \leq 281 \text{ kg/cm}^2 \\ \left[ 0.85 - \frac{0.0007}{\frac{KG}{cm^2}} \times \left( f'c - 281 \frac{kg}{cm^2} \right) \right] & \text{otherwise} \end{cases}$$

Ecuación 189: factor de resistencia

$$\beta = 0.85$$

$$\mu = \beta \times \left( \frac{f'c}{f_y} \right)$$

Ecuación 190: relación resistencia de concreto y acero

$$A_{sf} = A_{SE} \times 2 + A_{sc}$$

Ecuación 191: área de acero de fluencia

$$M_n := \frac{0.90 \times d_m \times A_{s_f} \times f_y}{\beta} - \frac{0.529 \times A_{s_f}^2 \times f_y^2}{\beta^2 \times f'_c \times b}$$

Ecuación 192: momento nominal a flexión

$$M := \phi_f \times M_n$$

$$M_u = 28,500.00 \text{ m} \times \text{kg}$$

If ( $M_u \leq M$ , Msj5, Msj6) = "ok usar acero propuesto"

$$So3 := \left( \frac{l_w - d_m - 2xR}{nvar - 3} \right) = 0.855$$

Ecuación 193: separación de varillas de acero a flexión

$$ld := \frac{f_y \times d_{b_{no3}}}{17 \times \sqrt{f'_c}} \times \text{kg}^{-0.5} \times \text{cm}$$

Ecuación 194: longitud de desarrollo

$$LR := l_w - 2xR$$

Ecuación 195: longitud efectiva del muro

Chequeo de diseño de elemento de borde:

Datos:

$$b = 40 \text{ cm}$$



$$h = 40 \text{ cm}$$

$$h_w = 3.80 \text{ m}$$

$$l_w = 4.50 \text{ m}$$

$$f'_c = 281 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$d = 3.60 \text{ m}$$

Ingreso de datos:

$\delta_u := 0.66 \text{ cm}$  desplazamiento de diseño

Cálculos:

$$\text{Relacion } \delta_{hw} = \frac{\delta_u}{h_w}$$

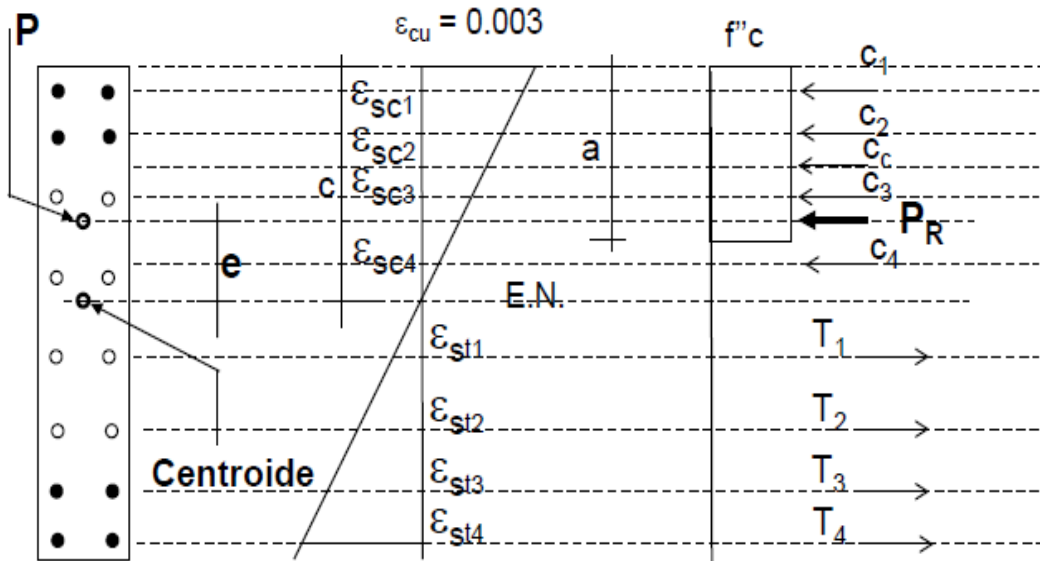
Ecuación 196: relación desplazamiento altura

$$\text{Relacion } \delta_{hw} = \begin{cases} \text{Relacion } \delta_{hw} & \text{if } \text{Relacion } \delta_{hw} \geq 0.005 \\ 0.005 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$c_2 = \frac{l_w}{600 \times (1.5 \times \text{Relacion } \delta_{hw})}$$

Ecuación 197: profundidad del eje neutro

Figura 9. Deformaciones unitarias en muro a flexión, muro 3



Fuente: (Nilson A. H., 1999)

$$\alpha_3 = \begin{cases} 0.72 & \text{if } f'c < 351 \frac{kg}{cm^2} \\ 0.68 & \text{if } f'c < 421 \frac{kg}{cm^2} \wedge f'c \geq 351 \frac{kg}{cm^2} \\ 0.64 & \text{if } f'c < 490 \frac{kg}{cm^2} \wedge f'c \geq 421 \frac{kg}{cm^2} \\ 0.60 & \text{if } f'c < 562 \frac{kg}{cm^2} \wedge f'c \geq 490 \frac{kg}{cm^2} \\ 0.56 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Ecuación 198: Parámetros de esfuerzos de bloques de concreto

$$c1 := \frac{(Asft \times fy)}{\alpha3 \times f'c \times b}$$

Ecuación 199: longitud de esfuerzos a compresión

ElementoDeBorde = 

=	“requiere elemento de borde” if $c1 > c2$
	“no requiere elemento de borde” otherwise

ElementoDeBorde = “no requiere elemento de borde”

