

DISEÑO DE ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES EN
EDIFICACIONES CON EL FIN DE EVITAR DAÑOS Y COLAPSO A
CAUSA DE LA ACTIVIDAD SÍSMICA.



JHON ALEXANDER GALINDO URIBE.
JUAN SEBASTIÁN MURCIA ARDILA.

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS.
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL.
BOGOTÁ D.C.
2020

DISEÑO DE ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES EN EDIFICACIONES CON EL FIN
DE EVITAR DAÑOS Y COLAPSO A CAUSA DE LA ACTIVIDAD SÍSMICA.

DOCUMENTO FINAL PARA OPTAR POR EL TITULO DE INGENIRO CIVIL.

DIRECTOR: GABRIEL SANTIAGO SILVA VEGA.

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS.
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL.
BOGOTÁ D.C.
2020

RESUMEN

El proyecto está enfocado en realizar el diseño de los Elementos No Estructurales para una edificación de seis pisos en la ciudad de Bogotá, analizándola en una zona de amenaza sísmica alta y un perfil de suelo tipo E. Los elementos a diseñar serán los antepechos y los muros divisorios en cada uno de los niveles de la estructura, esto con el fin de evaluar el comportamiento de cada uno al momento de someterse a diferentes fuerzas sísmicas y solicitaciones.

Además, comprende un software, el cual permitirá diseñar los Elementos No Estructurales previamente mencionados de manera automática, optimizando para cada uno de los niveles de la estructura la distancia entre los anclajes a la estructura y su respectivo acero de refuerzo.

Palabras claves: Elementos no estructurales, zona de amenaza sísmica, anclajes, muros divisorios, muros en mampostería

ABSTRACT

This project aims to design the Non-Structural Elements of a six-story building, located in Bogotá D.C. The study object lies in a high seismic risk and E-type soil profile zone. The specific objects to be designed are the parapets and the dividing walls for each of the stories. This will be done in order to evaluate their behavior under different seismic forces and physical stress.

In order to achieve this goal, an Excel-Visual Basic software has been developed. This tool will allow previously mentioned Non-Structural Elements to be designed automatically. Furthermore, it calculates and optimizes the distance between the anchorages, the structure and its respective reinforcing steel, for each of the levels of the building.

Keywords: Non-structural elements, seismic risk, anchors, parapets, dividing walls

Tabla de contenido

1	INTRODUCCIÓN	11
2	OBJETIVOS	13
2.1	OBJETIVO GENERAL	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	14
4	JUSTIFICACIÓN	15
5	ANTECEDENTES	17
6	MARCO TEÓRICO	18
6.1	DEFINICIONES	18
6.2	TIPOS DE ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES	19
6.2.1	ACABADOS, ELEMENTOS ARQUITECTÓNICOS Y DECORATIVOS.....	20
6.3	AMPLIFICACIÓN POR EFECTOS DINÁMICOS.....	21
6.4	FUERZA SISMICA HORIZONTAL SOBRE EL ELEMENTO NO ESTRUCTURAL 23	
6.5	ACELERACIÓN EN EL PUNTO DE SOPORTE DEL ELEMENTO, a_x	24
6.6	TIPO DE ANCLAJE QUE DEBE EMPLEARSE PARA OBTENER EL COEFICIENTE DE CAPACIDAD DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA R_p	24
6.7	TIPOS DE ANCLAJE	24
6.8	CRITERIO DE DISEÑO	25
6.9	FUERZA DOMINANTE DE DISEÑO	26
7	PATOLOGIAS	26
7.1	MURO MACIZO, FISURACIÓN POR FLEXIÓN, APLASTAMIENTO DE BORDE O DESPLAZAMIENTO DE JUNTA.	26
7.2	MURO SÓLIDO, FISURACIÓN POR FLEXIÓN O APLASTAMIENTO DEL BORDE INFERIOR.	27
7.3	MURO SÓLIDO, COMPORTAMIENTO POR FLEXIÓN FUERA DEL PLANO... 28	
7.4	MURO DIAFRAGMA (RELLENO DE PÓRTICO), COMPORTAMIENTO DE APLASTAMIENTO EN LAS UNIDADES.	29
7.5	MURO DIAFRAGMA (RELLENO DE PÓRTICO), DESPLAZAMIENTO DE JUNTAS.....	29
7.6	MURO DIAFRAGMA (RELLENO DE PÓRTICO), TRACCIÓN DIAGONAL	30
7.7	MURO DIAFRAGMA (RELLENO DE PÓRTICO), APLASTAMIENTO DE ESQUINAS Y FIGURACIÓN DIAGONAL	30
7.8	MUROS DIAFRAGMA, COMPORTAMIENTO FUERA DEL PLANO.	31
8	MECANISMO DE COLAPSO DE LOS ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES. 32	
8.1	RUTA DE FALLA	32
8.2	FUERZAS PERPENDICULARES AL PLANO DEL MURO	32
8.2.1	MURO APOYADO SOLO ABAJO.....	32
8.2.2	MURO APOYADO ARRIBA Y ABAJO	33

8.2.3	MURO APOYADO ABAJO Y A LOS LADOS	35
8.2.4	MURO APOYADO EN TODOS SUS BORDES	37
8.3	FUERZAS PARALELAS AL PLANO DEL MURO.	39
9	MATERIALES	41
10	CLASIFICACIÓN DE LOS MUROS SEGÚN SU FUNCIÓN Y REFUERZO... 42	
10.1	FUNCIÓN ESTRUCTURAL.	42
10.1.1	NO PORTANTE.....	42
10.1.2	EN MUROS EXTERIORES.	42
10.1.3	EN MUROS INTERIORES.....	42
10.1.4	PORTANTE.....	43
11	VULNERABILIDAD DE LOS ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES.	43
12	SISMOS EN COLOMBIA.....	44
12.1	SISMO DEL QUINDÍO.....	44
12.2	SISMO DE PIZARRO.	44
12.3	SISMO DE QUETAME.....	44
13	METODOLOGÍA.....	45
13.1	RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN ACERCA DE LOS ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES.....	45
13.2	PROCESOS CONSTRUCTIVOS.....	46
13.3	CASO DE ESTUDIO.....	46
13.4	DISEÑO DE ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES.	47
13.5	PROCEDIMIENTO DE DISEÑO.....	47
13.5.1	MASA DEL ELEMENTO NO ESTRUCTURAL.....	47
13.5.2	ACELERACIÓN HORIZONTAL a_x	48
13.5.3	FUERZA SÌSMICA HORIZONTAL SOBRE EL ELEMENTO NO ESTRUCTURAL	48
13.5.4	MOMENTO DE DISEÑO M_u	49
13.5.5	CUANTIA ρ	49
13.5.6	ACERO REQUERIDO A_s	50
13.5.7	SINTESIS DEL DISEÑO DE ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES.	50
14	CASO DE ESTUDIO.....	51
14.1	DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA.....	51
14.2	AVALÚO DE CARGAS.	53
14.3	ANÁLISIS SÍSMICO.....	55
14.4	DISEÑO ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES.	59
14.4.1	DATOS DE ENTRADA	59
14.4.2	DISEÑO.....	63
14.4.3	ANÁLISIS DE COSTO.....	101

15	SOFTWARE DE DISEÑO DE ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES	114
16	CONCLUSIONES	115
17	BIBLIOGRAFÍA	117

Tabla de ilustraciones

Ilustración 1: Amplificación por efectos dinámicos.....	22
Ilustración 2: Daños en los Elementos No Estructurales de una edificación.....	25
Ilustración 3: Falla en muro por deslizamiento de la junta.....	27
Ilustración 4: Falla en muro por fisuración o aplastamiento del borde inferior.....	28
Ilustración 5: Falla en muro por flexión fuera del plano.....	29
Ilustración 6: Falla en muro por comportamiento de aplastamiento en las unidades.....	29
Ilustración 7: Falla de muro por desplazamiento de juntas.....	30
Ilustración 8: Falla en muro por tracción diagonal.....	30
Ilustración 9: Falla en muro por aplastamiento de esquinas.....	31
Ilustración 10: Falla en muro por comportamiento fuera del plano.....	31
Ilustración 11: Elemento No Estructural apoyado solo abajo.....	32
Ilustración 12: Mecanismo de colapso mediante fuerza perpendicular en un muro apoyado solo abajo.	33
Ilustración 13: Elemento No Estructural apoyado abajo y arriba.....	34
Ilustración 14: Mecanismo de colapso mediante fuerza perpendicular en un muro apoyado arriba y abajo.....	34
Ilustración 15: Mecanismo de colapso mediante fuerza perpendicular en un muro apoyado arriba y abajo.....	35
Ilustración 16: Elemento No Estructural apoyado abajo y a los lados.....	35
Ilustración 17: Mecanismo de colapso mediante fuerza perpendicular en un muro apoyado abajo y a los lados.....	36
Ilustración 18: Mecanismo de colapso mediante fuerza perpendicular en un muro apoyado abajo y a los lados.....	36
Ilustración 19: Muro apoyado en todos sus bordes.....	37
Ilustración 20: Mecanismo de colapso mediante fuerza perpendicular en un muro apoyado en todos sus bordes.....	37
Ilustración 21: Mecanismo de colapso mediante fuerza perpendicular en un muro apoyado en todos sus bordes.....	38
Ilustración 22: Muro colapsado apoyado en todos sus bordes.....	38
Ilustración 23: Falla por tracción indirecta en un muro confinado, fuerza paralela al plano.....	39
Ilustración 24: Muro separado de la estructura.....	40
Ilustración 25: Mangueras embebidas en el mortero para la separación del muro de la estructura..	40
Ilustración 26: Planta primer nivel de la estructura.....	52
Ilustración 27: Planta nivel tipo estructura.....	52
Ilustración 28: Geometría de la estructura.....	53
Ilustración 29. Espectro de respuesta.....	57
Ilustración 30: Muro divisorio diseñado.....	59
Ilustración 31: Antepecho diseñado.....	60
Ilustración 32: Dimensiones bloque número 5 perforación vertical.....	60
Ilustración 33: Dimensiones bloque número 5 perforación horizontal.....	61
Ilustración 34: Esquema distribución del refuerzo con dovelas.....	75
Ilustración 35: Esquema de distribución del refuerzo utilizando columnetas.....	100
Ilustración 36: Cuantificación resultados cimentación.....	105
Ilustración 37: Cuantificación resultados Nivel 2.....	106
Ilustración 38: Cuantificación resultados Nivel 3.....	107
Ilustración 39: Cuantificación resultados Nivel 4.....	108
Ilustración 40: Cuantificación resultados Nivel 5.....	109
Ilustración 41: Cuantificación resultados Nivel 6.....	110

Ilustración 42: Cuantificación resultados Cubierta.	111
Ilustración 43: Optimización de los resultados utilizando Barra #3.	112
Ilustración 44: Optimización de los resultados utilizando Barra #4.	113
Ilustración 45: Optimización de los resultados utilizando Barra #5.	114

Índice de tablas

Tabla 1: Grado de desempeño mínimo requerido.	18
Tabla 2: Coeficiente de amplificación dinámica a_p y tipo de anclajes o amarres requeridos	22
Tabla 3: Cargas muertas mínimas de Elementos No Estructurales verticales-muros	48
Tabla 4: Cargas muertas estructura.	54
Tabla 5: Cargas vivas estructura.	55
Tabla 6: Avalúo de cargas estructura.....	55
Tabla 7: Datos de entrada.	56
Tabla 8: Coeficientes espectro de respuesta.	56
Tabla 9: Valor del periodo aproximado de la estructura.	56
Tabla 10: Reacciones de la estructura.....	57
Tabla 11: Reacciones de la estructura después de haber realizado los ajustes.	58
Tabla 12: Resultados del diseño de los antepechos mediante dovelas.	70
Tabla 13: Resultados del diseño de los antepechos mediante dovelas	71
Tabla 14: Resultados del diseño de los antepechos mediante columnetas.	81
Tabla 15: Resultados del diseño de los antepechos mediante columnetas.....	82
Tabla 16: Resultados del diseño de los muros divisorios mediante dovelas.	89
Tabla 17: Resultados del diseño de los muros divisorios mediante dovelas.	90
Tabla 18: Resultados del diseño de los muros divisorios mediante columnetas.	98
Tabla 19: Resultados del diseño de los muros divisorios mediante columnetas.....	99
Tabla 20: Resultados diseño muros divisorios utilizando Barra #3	101
Tabla 21: Resultados diseño muros divisorios utilizando Barra #4.....	102
Tabla 22: Resultados diseño muros divisorios utilizando Barra #5.....	103
Tabla 23: Cuantificación resultados cimentación.	104
Tabla 24: Cuantificación resultados Nivel 2.	105
Tabla 25: Cuantificación resultados Nivel 3.	106
Tabla 26: Cuantificación resultados Nivel 4.	107
Tabla 27: Cuantificación resultados Nivel 5.	108
Tabla 28: Cuantificación resultados Nivel 6.	109
Tabla 29: Cuantificación resultados Cubierta.	110
Tabla 30: Optimización de los resultados utilizando Barra #3.	111
Tabla 31: Optimización de los resultados utilizando Barra #4.	112
Tabla 32: Optimización de los resultados utilizando Barra #5.	113

Tabla de ecuaciones

Ecuación 1: Fuerza sísmica horizontal sobre el Elemento No Estructural.....	23
Ecuación 2: Cálculo masa del Elemento No Estructural.....	47
Ecuación 3: Cálculo aceleración horizontal a_x	48
Ecuación 4: Cálculo fuerza sísmica horizontal sobre el E.N.E.	49
Ecuación 5: Cálculo del momento último actuante en un antepecho.	49
Ecuación 6: Cálculo del momento último actuante en un muro divisorio o de fachada.	49
Ecuación 7: Cálculo de la cuantía requerida.	50
Ecuación 8: Cálculo acero requerido.....	50

Tabla de anexos

ANEXO 1	119
---------------	-----

1 INTRODUCCIÓN

El presente documento, muestra de manera detallada mediante cálculos, gráficas y esquemas, el proceso de diseño de los Elementos no Estructurales - E.N.E. en una edificación de seis pisos de altura, acorde a lo estipulado en el Título A.9 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. El documento está orientado para todos los actores participes en la construcción de este tipo de elementos como son los constructores, ya sean profesionales o no, diseñadores o calculistas, docentes y estudiantes.

Los E.N.E. son de gran importancia al momento de llevar a cabo el diseño y la construcción de una estructura, debido a que cumplen la función de ser elementos que permiten la división de espacios, sirven como soporte para instalaciones de todo tipo y en muchos casos son elementos arquitectónicos que desempeñan una función estética cuando ya ha concluido la construcción del proyecto. El diseño de los E.N.E que abarca este proyecto de grado está enfocado para cualquier tipo de edificación, con cualquier tipo de sistema estructural ya sean muros de carga, pórticos, combinado o dual en el cual sus Elementos no Estructurales sean diseñados por medio de dovelas o columnetas.

Para el desarrollo de proyecto, en un principio se recolectó información de diferentes fuentes entre las que se destacan, el Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (IDIGER) y el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10). Por medio de estas fuentes se obtuvo información acerca de los principales problemas que afectan a las edificaciones al momento de ocurrir un evento sísmico, en donde se destaca que uno de los principales problemas se debe a la inestabilidad de los Elementos no Estructurales (E.N.E.); además se identificaron los diferentes tipos de fallas y procesos constructivos que generalmente ocurren al momento de construir los Elementos no Estructurales (E.N.E.), con el fin de generar alternativas que garanticen la seguridad al momento de diseñar y construir estos.

Finalmente, se analizó un caso de estudio en donde se modeló una estructura de seis niveles localizada en una zona de amenaza sísmica alta, con un perfil de suelo tipo E y un grupo de uso IV para realizar el diseño de los E.N.E. y evaluar el comportamiento de los diferentes factores que afectan a estos como lo son la fuerza sísmica, altura del nivel y el

criterio de diseño. Además, se realizó un software en el cual se podrán diseñar los E.N.E. de dos maneras distintas acorde a parámetros y datos de entrada que un usuario elija.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

1. Realizar el diseño de los Elementos No Estructurales (E.N.E.) de una edificación de seis (6) pisos, con base en lo indicado en el Título A.9 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), y de esta manera realizar un software que permita diseñar estos de una manera óptima y sencilla.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Recopilar información y datos necesarios para efectuar un análisis acerca de las afectaciones más comunes que se presentan en los Elementos No Estructurales.
2. Ejecutar el diseño de los Elementos no Estructurales mediante un estudio de caso para obtener una fuente de datos confiable que permita analizar el comportamiento de estos.
3. Establecer una metodología para el diseño de los Elementos No Estructurales, la cual asegure y avale el cumplimiento de los parámetros mínimos contemplados en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10).
4. Realizar un software que permita diseñar los Elementos no Estructurales en edificaciones.

3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Debido a la ubicación de Colombia, en la que la mayoría de sus ciudades principales se encuentran localizadas en zonas que presentan amenaza sísmica media y alta, al momento de realizar el diseño de una estructura es de gran importancia ejecutar el correcto diseño tanto de los Elementos Estructurales como de los no Estructurales, ya que cuando se genera un sismo y los Elementos No Estructurales no cuentan con un correcto anclaje a la estructura principal, presentan riesgos de falla como lo son el volcamiento, deslizamiento, caída y balanceo, ocasionando daños en la estructura, colapso de la misma y pérdida de vidas.

4 JUSTIFICACIÓN

A lo largo de la historia, se han presentado eventos sísmicos que han afectado gravemente a Colombia debido a su localización, ya que se encuentra ubicada dentro de una de las zonas sísmicas más activas del planeta tierra, la cual se denomina el Anillo del Circumpacífico en donde convergen la placa Nazca, Suramericana y del Caribe. Acorde a las estadísticas presentadas en el año 2005 por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), el 39.7 por ciento de la población colombiana habita en zonas de amenaza sísmica alta, mientras que el 47.3 por ciento en zonas de amenaza sísmica intermedia, encontrándose en resumidas cuentas el 87 por ciento de la población colombiana en riesgo de amenaza sísmica constante.

Para el caso de Bogotá, esta cuenta con una microzonificación (decreto 523 de 2010), que sectoriza la ciudad en diferentes rangos de amenaza. Bogotá al tener una gran extensión superficial cuenta con gran cantidad de sectores vulnerables estructuralmente, donde los códigos y las normas no se contemplaron al momento de la construcción de las viviendas y es allí donde se ve más afectado el siniestro, principalmente por su inexistente sistema estructural, el cual en la mayoría de los casos no cumple con los parámetros mínimos de sismo-resistencia; Es importante resaltar que la mortalidad de los sismos se debe a varias causas y varía dependiendo de la zona en donde se produzca el siniestro. Entre los factores que afectan a este, se destacan, la profundidad, la magnitud, el tipo de construcción, y también la pronta respuesta de los organismos de control. Acorde a la Organización Sismología de Chile, las principales causas de muerte tras un evento sísmico son:

- Traumatismos (síndrome de aplastamiento, contusiones).
- Quemaduras (electrocuciones).
- Infartos (problemas cardiacos).
- Asfixia (inhalación de polvo).
- Exposición al entorno (hipotermia).

En Bogotá se han presentado sismos, que, aunque no se puedan predecir, es importante y necesario convivir con la posibilidad de vernos afectados en algún momento por esa amenaza. Es por ello, que los Elementos No Estructurales se vuelven tan importantes

ya que estos son los primeros en verse afectados tras un siniestro y son los que producen la mayor parte de los accidentes. Debido a lo anterior se pretende identificar las principales patologías que se presentan en estos elementos, para de este modo realizar un estudio sistemático y ordenado que permita observar el comportamiento irregular de estos cuando presentan algún tipo de falla o daño causado por factores internos o externos que hacen que el elemento no garantice una estabilidad y seguridad ante la ocurrencia de un evento sísmico.

Por lo anterior, la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, plantea diferentes retos para las profesiones pertenecientes al sector de la construcción, como los son los ingenieros, arquitectos y constructores, en donde argumenta que, aunque el usuario espera que las edificaciones no presenten daños ante la ocurrencia de un evento sísmico, existe un peligro grave para la vida humana debido al desprendimiento de los elementos de fachada y otros Elementos No Estructurales. Es por esto, que se plantea el reto de buscar estrategias en la reducción del daño de este tipo de elementos, mediante el cambio en las prácticas constructivas y la flexibilidad de las estructuras ante efectos horizontales, esto con el fin de buscar darle mayor rigidez a las estructuras.

5 ANTECEDENTES

En Colombia, desde el año 1.922 se han instalado 26 estaciones sismológicas remotas y aproximadamente 250 acelerógrafos autónomos digitales de movimiento fuerte, pertenecientes a la Red Acelerográfica adscrita al INGEOMINAS. Gracias a estas herramientas, se ha podido estudiar el comportamiento sísmico en el territorio nacional y generar los mapas de amenaza sísmica, los cuales fueron realizados con datos que registraron 28.000 eventos sísmicos de los cuales aproximadamente 9.000 presentaron una magnitud igual o superior a 3 en la escala de Richter.

El sismo de Quindío, ocurrido en el año 1.999 permitió realizar un diagnóstico del comportamiento de las edificaciones, destacándose que los daños estructurales graves ocurrieron en las estructuras que habían sido construidas antes de la vigencia del Decreto 1400/84, mientras que los daños en elementos como fachadas y muros interiores se presentaron tanto en edificaciones construidas antes y después de la vigencia del Decreto de 1984. Así mismo un gran número de pérdidas humanas, fueron ocasionadas por el desprendimiento de los Elementos No Estructurales principalmente de las fachadas. “Durante muchos años, ha sido la práctica común en la ingeniería colombiana que los Elementos No Estructurales se tengan en cuenta en el cálculo de las cargas permanentes, pero que se ignoren durante el resto del proceso de análisis y diseño, siendo entonces un albur su comportamiento y estabilidad y, por consiguiente, sus efectos sobre la estructura”.

Debido a lo anterior, es preocupante la desprotección que generan los Elementos No Estructurales tal y como se han construido tradicionalmente en el país, y su potencial peligrosidad para la vida humana, por ejemplo, cuando un muro divisorio no ha sido diseñado y es sometido a una fuerza sísmica, es común que presente fallas como desprendimiento en las uniones y en las peores condiciones ante este efecto produce el volteo del muro. Acorde a esto, nace la necesidad de hacer un análisis físico de las fuerzas y un diseño para el anclaje de estos elementos al sistema estructural principal.

6 MARCO TEÓRICO

6.1 DEFINICIONES

Al momento de realizar el diseño de cualquier tipo de estructura, lo más importante son los Elementos Estructurales, ya que estos son los que reciben las cargas y las distribuyen para permitir la estabilidad y seguridad de la estructura, “los Elementos No Estructurales son aquellos que no hacen parte del sistema estructural, sino que deben responder únicamente por su propio peso y por las cargas que le aplican directamente” (Farbiarz,2007).

Al momento de realizar el diseño de los Elementos No Estructurales, acorde a lo que menciona Rochel (2012), se debe tener en cuenta diferentes aspectos, entre los que se destacan:

1. El grado de desempeño, que define el comportamiento esperado del Elemento No Estructural ante el sismo de diseño; se define cualitativamente como superior, bueno o malo.

(A) SUPERIOR — Es aquel en el cual el daño que se presenta en los Elementos No Estructurales es mínimo y no interfiere con la operación de la edificación debido a la ocurrencia del sismo de diseño.

(B) BUENO — Es aquel en el cual el daño que se presenta en los Elementos No Estructurales es totalmente reparable y puede haber alguna interferencia con la operación de la edificación con posterioridad a la ocurrencia del sismo de diseño.

(C) BAJO — Es aquel en el cual se presentan daños graves en los Elementos No Estructurales, inclusive no reparables, pero sin desprendimiento o colapso, debido a la ocurrencia del sismo de diseño.

El grado de desempeño mínimo, establece que se deben cumplir por lo menos los requisitos mencionados en la Tabla A.9.2.1 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), para cada uno de los grupos de uso definidos en A.2.5.1.

Tabla 1: Grado de desempeño mínimo requerido.

Tabla A.9.2-1
Grado de desempeño mínimo requerido

Grupo de Uso	Grado de desempeño
IV	Superior
III	Superior
II	Bueno
I	Bajo

Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente Título A.

6.2 TIPOS DE ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES

Acorde al Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, en el Título A.9 los Elementos No Estructurales se clasifican de la siguiente manera:

- Acabados, elementos arquitectónicos y decorativos.
- Instalaciones hidráulicas y sanitarias.
- Instalaciones eléctricas.
- Instalaciones de gas.
- Equipos mecánicos
- Instalaciones especiales.

En resumen, los Elementos No Estructurales son todos aquellos elementos que no transfieren carga y que van a estar adheridos o vinculados al sistema estructural principal. Para el desarrollo de este documento, este estará enfocado en el primer grupo, el cual comprende los muros divisorios, antepechos y elementos de fachada.

6.2.1 ACABADOS, ELEMENTOS ARQUITECTÓNICOS Y DECORATIVOS.

En este grupo, se pueden identificar elementos como muros de fachada, muros interiores, cielos rasos, enchapes de fachada, áticos, parapetos, antepechos, vidrios, paneles prefabricados de fachada, y demás elementos decorativos de la edificación.

Algunos de estos elementos, tienen funciones como la división de espacios y la protección contra la intemperie, mientras que otros son netamente ornamentales; sin embargo, todos deben diseñarse para evitar que colapsen y causen daños al momento de un sismo.

6.2.1.1 Muros interiores.

Deben diseñarse para evitar su volcamiento, sin interferir con el comportamiento estructural de la edificación. Aunque no tienen la función de proteger contra la intemperie, en la mayoría de los casos deben servir para aislar el sonido y la luz.

6.2.1.2 Parapetos y antepechos.

Por ser elementos en voladizo, los parapetos y los antepechos son particularmente vulnerables al vuelco, por lo que deben diseñarse adecuadamente empotrados en su base.

6.2.1.3 Enchapes y ornamentos.

Los acabados sobre muros interiores o exteriores, fabricados con enchapes adheridos a la superficie vertical, deben anclarse con elementos capaces de resistir tracción y cortante y que no sean susceptibles de flujo plástico significativo. Así mismo, deben especificarse juntas adecuadamente espaciadas, para evitar la fisuración y el desgarre de los enchapes, verticales u horizontales debido a movimientos por cambios volumétricos o por diferencias térmicas. Los ornamentos que se instalen en la edificación, como cornisas, pasamanos, lagrimales, calados, frisos, etc., deben diseñarse y anclarse adecuadamente para evitar que se desprendan de la estructura.

6.3 AMPLIFICACIÓN POR EFECTOS DINÁMICOS

Los Elementos No Estructurales, funcionan como pequeñas estructuras vinculadas a una estructura más grande, por lo cual estos se van a desplazar acorde a características que condicionarán la manera de transferir la carga como son: la fuerza que ejerza cada uno de los pisos sobre estos elementos, la geometría del Elemento No Estructural, el material y la vinculación entre estos. Esto quiere decir que no necesariamente la aceleración calculada en el espectro para el análisis sísmico de la estructura va a ser la misma que llegará al Elemento No Estructural.

Es necesario entonces, definir un parámetro “local de aceleración” acorde a los movimientos de la estructura, para poder calcular una fuerza partiendo con lo que se define en la segunda ley de Newton, $F=m \cdot a$. El Reglamento Colombia de Construcción Sismo Resistente define este parámetro y lo denomina como a_p .

La amplificación dinámica del Elemento No Estructural depende de la rigidez y de la distribución de la masa de la estructura, el Elemento No Estructural amplificará en su base las aceleraciones transmitidas por el sismo y los efectos que recibirá dependerán de la relación que haya entre el periodo fundamental de la estructura y el Elemento No Estructural.

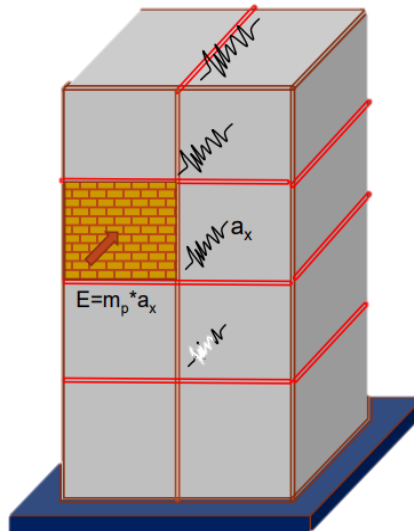
Lo anterior significa que cuando el Elemento No Estructural es rígido, o cuando su masa se encuentra cerca a la base del apoyo, esta amplificación será mucho menor a aproximadamente 0.006s, o menos cuando el Elemento No estructural es flexible o su masa se encuentra más lejos del apoyo y estos permiten más desplazamientos, causando que las aceleraciones aumenten a lo largo del elemento respecto a la base de este; en este caso el a_p se determina por medio de análisis dinámicos o ensayos dinámicos experimentales. En ausencia de estos análisis dinámicos el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente cuenta con una tabla con valores aproximados. Estas tablas se encuentran en A.9.5-1 y A.9.6-1, y los valores varían entre 1.0 y 2.5.

Tabla 2: Coeficiente de amplificación dinámica a_p y tipo de anclajes o amarres requeridos

Elemento no estructural	a_p	Tipo de anclajes o amarres para determinar el coeficiente de capacidad de disipación de energía, R_p , mínimo requerido en A.9.4.9		
		Grado de desempeño		
		Superior	Bueno	Bajo
Fachadas				
• paneles prefabricados apoyados arriba y abajo	1.0	Dúctiles	No dúctiles	No dúctiles
• en vidrio apoyadas arriba y abajo	1.0	Dúctiles	No dúctiles	No dúctiles
• lámina en yeso, con costillas de acero	1.0	No dúctiles	No dúctiles	No dúctiles
• mampostería reforzada, separada lateralmente de la estructura, apoyadas arriba y abajo	1.0	Dúctiles	No dúctiles	No dúctiles
• mampostería reforzada, separada lateralmente de la estructura, apoyadas solo abajo	2.5	Dúctiles	No dúctiles	No dúctiles
• mampostería no reforzada, separada lateralmente de la estructura, apoyadas arriba y abajo	1.0	No se permite este tipo de elemento no estructural		No dúctiles ⁽¹⁾
• mampostería no reforzada, separada lateralmente de la estructura, apoyadas solo abajo	2.5	No se permite este tipo de elemento no estructural		No dúctiles ⁽¹⁾
• mampostería no reforzada, confinada por la estructura	1.0	No se permite este tipo de elemento no estructural		No dúctiles ⁽²⁾
Muros que encierran puntos fijos y ductos de escaleras, ascensores, y otros	1.0	Dúctiles	No dúctiles	Húmedos ⁽¹⁾
Muros divisorios y particiones				
• corredores en áreas públicas	1.0	Dúctiles	No dúctiles	Húmedos ⁽¹⁾
• muros divisorios de altura total	1.0	No dúctiles	No dúctiles	Húmedos ⁽¹⁾
• muros divisorios de altura parcial	2.5	No dúctiles	No dúctiles	Húmedos ⁽¹⁾
Elementos en voladizo vertical				
• áticos, parapetos y chimeneas	2.5	Dúctiles	No dúctiles	No dúctiles
Anclaje de enchapes de fachada	1.0	Dúctiles	No dúctiles	Húmedos
Altos	1.5	Dúctiles	No dúctiles	No dúctiles
Cielos rasos	1.0	No dúctiles	No dúctiles	No requerido ⁽³⁾
Anaqueles, estanterías y bibliotecas de más de 2.50 m de altura, incluyendo el contenido				
• Diseñadas de acuerdo al Título F	2.5	Especiales	Dúctiles	No requerido ⁽³⁾
• Otras	2.5	Dúctiles	No dúctiles	No requerido ⁽³⁾
Tejas	1.0	No dúctiles	No dúctiles	No requerido ⁽³⁾

Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10

Ilustración 1: Amplificación por efectos dinámicos



Fuente: Análisis y diseño sísmico de edificios / Roberto Rochel Awad.

6.4 FUERZA SISMICA HORIZONTAL SOBRE EL ELEMENTO NO ESTRUCTURAL

Corresponde a la fuerza sísmica de diseño la cual actúa sobre los Elementos No Estructurales causados por los efectos dinámicos. Esta fuerza se calcula mediante la siguiente ecuación.

Ecuación 1: Fuerza sísmica horizontal sobre el Elemento No Estructural.

$$F_p = (a_x a_p / R_p) * g * M_p \geq (A_a * I / 2) * g * M_p$$

Los anteriores parámetros, acorde al Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente corresponden a:

a_p = Coeficiente de amplificación dinámica del Elemento No Estructural, este coeficiente se obtiene en la Tabla A.9.5-1 de la NSR-10.

a_x = Aceleración horizontal, expresada como un porcentaje de la aceleración de la gravedad, sobre el Elemento No Estructural, localizado en el piso x.

R_p = Coeficiente de capacidad de disipación de energía del Elemento No Estructural y su sistema de soporte se obtiene en la Tabla A.9.5-1 de la NSR-10.

M_p = Masa del elemento no estructural.

A_a = Coeficiente que representa la aceleración horizontal pico efectiva, este valor corresponde al espectro de respuesta de la estructura.

I = Coeficiente de importancia. Depende del grupo de uso de la estructura.

6.5 ACELERACIÓN EN EL PUNTO DE SOPORTE DEL ELEMENTO, a_x

Corresponde a la aceleración horizontal que ocurre en el punto donde el Elemento No Estructural está soportado, o anclado al sistema estructural de la edificación, cuando ésta se ve afectada por movimientos sísmicos de diseño.

6.6 TIPO DE ANCLAJE QUE DEBE EMPLEARSE PARA OBTENER EL COEFICIENTE DE CAPACIDAD DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA R_p

La capacidad de disipación de energía en el rango inelástico del Elemento No Estructural, representa el tipo de anclaje que se utiliza para amarrar los Elementos No Estructurales a la estructura principal. Según el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, en el Título A.9.4.2.3 “un valor de R_p bajo, cercano a la unidad indica fragilidad, poca capacidad de disipación de energía y anclajes o amarres a la estructura con poca capacidad de deformarse inelásticamente” (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010). El reglamento indica los valores mínimos permitidos para cada grado de desempeño, los cuales varían entre 0.5 y 6.0.

6.7 TIPOS DE ANCLAJE.

Los sistemas de anclaje de los Elementos No Estructurales deben tener la capacidad de disipar la energía en el rango inelástico, esto quiere decir que el anclaje soportará un esfuerzo máximo y posteriormente volverá a su estado natural. A continuación, se indican algunos de los tipos de anclaje empleados en el medio y su grado de aceptabilidad para los diferentes valores de R_p :

Especiales ($R_p= 6$): Utilizados especialmente para estructuras de acero estructural con capacidad de disipación especial (DES)

Dúctiles ($R_p= 6$): Cuando el anclaje se realiza por medio de anclajes profundos que emplean químicos (epóxicos).

No dúctiles ($R_p= 1.5$): Cuando el anclaje se realiza por medio de pernos de expansión o anclajes superficiales que emplean químicos (epóxico).

Húmedos ($R_p= 6$): Cuando se utiliza mortero, o adhesivos que pegan directamente al mortero o al concreto, sin ningún tipo de anclaje mecánico resistente a tracción.

6.8 CRITERIO DE DISEÑO.

Acorde a la NSR-10, “el diseñador de los Elementos No Estructurales puede adoptar una de dos estrategias en el diseño” (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010). La primera en la que los elementos van separados de la estructura, es decir que “en este tipo de diseño los Elementos No Estructurales se aíslan lateralmente de la estructura dejando una separación suficiente para que la estructura al deformarse como consecuencia del sismo, no los afecte adversamente” (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

La segunda estrategia es disponer de elementos que admitan las deformaciones de la estructura. “En este tipo de diseño, se disponen Elementos No Estructurales que tocan la estructura y que por lo tanto deben ser lo suficientemente flexibles, para poder resistir las deformaciones que la estructura les impone, sin sufrir daño mayor que el que admite el grado de desempeño prefijado para los elementos no estructurales” (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2011).

Ilustración 2: Daños en los Elementos No Estructurales de una edificación.



6.9 FUERZA DOMINANTE DE DISEÑO.

Un Elemento No Estructural no solamente debe resistir las fuerzas sísmicas, o la misma fuerza producida por la estructura, también debe tener en cuenta su propia masa o fuerzas externas como la del viento o acabados que añaden peso en toda su superficie. Ahora, es necesario tener en cuenta el desplazamiento en los apoyos, ya que si al momento de diseñar se opta por el criterio de diseño en el que a los Elementos No Estructurales van separados de la estructura, éste E.N.E estará repetido en todos los niveles, lo que significa que la deriva máxima tenderá a desplazarse más, y se deberá tener en cuenta este fenómeno para constatar la capacidad de resistir esfuerzos adicionales inducidos por el movimiento.

7 PATOLOGIAS

Las patologías en los Elementos No Estructurales son de gran importancia identificarlas, y entender el origen de estas debido a que cuando los elementos tanto estructurales como no estructurales presentan un comportamiento irregular o algún tipo de falla o daño causado por factores internos o externos generan inseguridad y un gran riesgo de colapso.

En muchas edificaciones de Bogotá no se ejecutaron correctos diseños en los Elementos No Estructurales (E.N.E) y es por esto que cuando no son diseñados para absorber cargas sísmicas, estos terminan siendo afectados en varios grados. Debido a lo anterior el Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (IDIGER) y el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) hacen hincapié en que se debe ejecutar un adecuado diseño de estos elementos, ya que, al momento de presentarse un evento sísmico, estos son los que más vidas cobran.

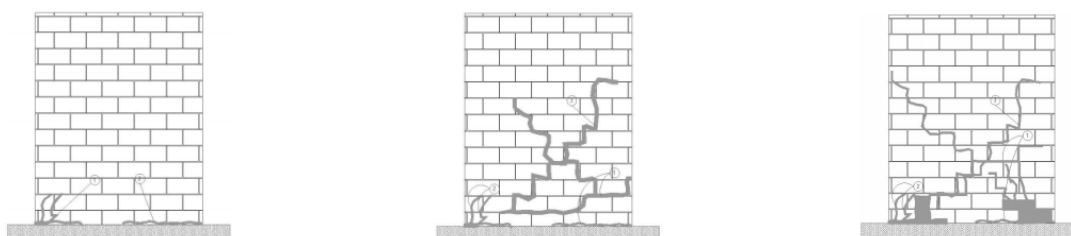
7.1 MURO MACIZO, FISURACIÓN POR FLEXIÓN, APLASTAMIENTO DE BORDE O DESLIZAMIENTO DE JUNTA.

Debido a la acción de la fuerza sísmica, esta afecta al Elemento No Estructural, en este caso a un muro macizo, el cual sufre fisuras horizontales delgadas, mientras que en la

parte inferior sufre por tracción una fractura delgada diagonal y finalmente desprendimiento en la parte sometida a compresión.

A medida que la fuerza sísmica va aumentando, el daño igualmente, es por esto que se presentan fisuras de mayor calibre, principalmente horizontales. Se puede evidenciar descascaramiento o pérdida parcial del mortero en la base del muro, causado por un desplazamiento el cual “puede llegar a medir hasta 6mm” (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2011) acorde a estudios realizados por la AIS. También es importante resaltar que es posible que aparezca una grieta diagonal, acompañada por fisuras horizontales que causarán pérdida de unidades de mampostería.

Ilustración 3: Falla en muro por deslizamiento de la junta.



Fuente: Guía de patologías constructivas, estructurales y no estructurales. (2011).

7.2 MURO SÓLIDO, FISURACIÓN POR FLEXIÓN O APLASTAMIENTO DEL BORDE INFERIOR.

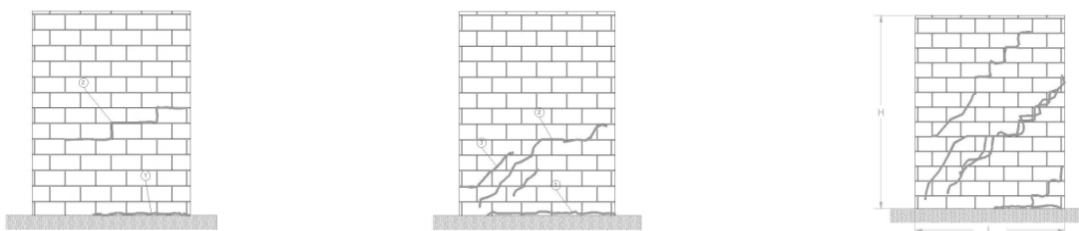
Un daño leve, en este caso en un muro sólido por aplastamiento en el borde inferior, presenta fisuras leves horizontalmente en la parte inferior, donde el mortero de pega y las unidades se juntan. Asumiendo que no hay desplazamiento del elemento no hay fisuras en las unidades.

En tal situación donde se evidencie que el daño es mayor, el muro macizo podría presentar fisuras de alto calibre horizontales, donde puede haber por cada fisura hasta 3 grietas en la parte central del Elemento No Estructural. En dado caso puede ocurrir que se vea un corrimiento a lo largo de la grieta, efectuando una fisura diagonal donde puede ya

haber afectaciones en las unidades de mampostería, estas unidades podrían sufrir descascaramiento.

El escenario más grave ocurre cuando se presentan fisuras de mayor calibre, horizontales en el mortero de la parte inferior del elemento. También presentará fisuras horizontales con desplazamiento de la grieta, y generando posiblemente problemas de esbeltez.

Ilustración 4: Falla en muro por Fisuración o aplastamiento del borde inferior.



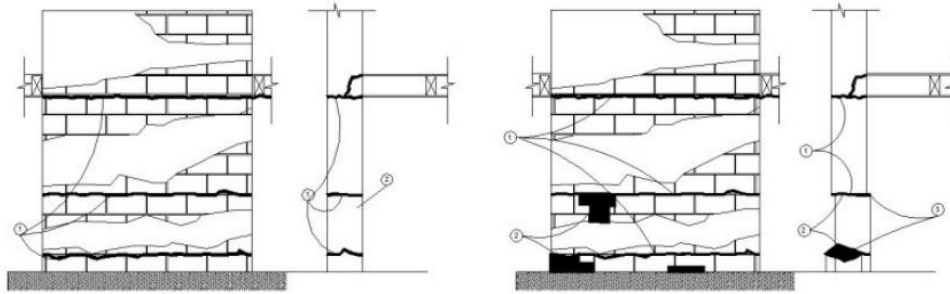
Fuente: Guía de patologías constructivas, estructurales y no estructurales. (2011).

7.3 MURO SÓLIDO, COMPORTAMIENTO POR FLEXIÓN FUERA DEL PLANO.

En primera instancia el elemento sufrirá un daño mínimo, presentará fisuras cada tercio de la altura del elemento, repitiendo así en el siguiente elemento de cada piso de la estructura. Es importante que no presente en este nivel de daño descascaramiento de la pega o desprendimiento de ella. A medida que aumente la fuerza el daño será mayor.

Cuando se considera una fuerza mucho mayor, en este caso se presentarán daños graves y fisuras en la parte inferior y superior (piso y techo) de cada nivel de la estructura. El caso más extremo se presenta ante la ocurrencia de un sismo de gran magnitud, en este evento habrá evidencia de desprendimiento de pega en la junta, el mortero caerá y se verán afectadas las unidades con desprendimientos de ella en todas las alturas del elemento.

Ilustración 5: Falla en muro por flexión fuera del plano.

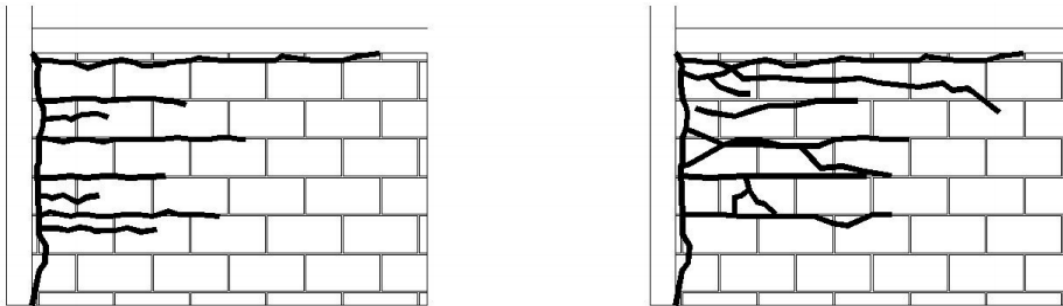


Fuente: Guía de patologías constructivas, estructurales y no estructurales. (2011).

7.4 MURO DIAFRAGMA (RELLENO DE PÓRTICO), COMPORTAMIENTO DE APLASTAMIENTO EN LAS UNIDADES.

En caso de presentarse un sismo leve, ocurrirá un desprendimiento del mortero alrededor del elemento, además puede ocurrir algún aplastamiento del mortero cerca de las esquinas. Si la intensidad del sismo es media, el Elemento No Estructural sufrirá Fisuración en las unidades de mampostería. Finalmente, si la magnitud del sismo es mayor se presentarán pérdidas de las unidades en las esquinas y fisuras de gran calibre diagonalmente.

Ilustración 6: Falla en muro por comportamiento de aplastamiento en las unidades.



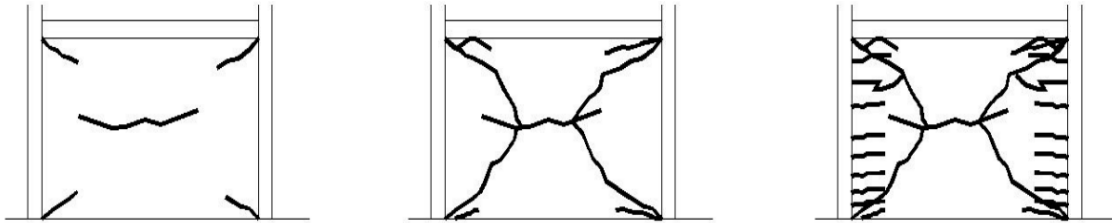
Fuente: Guía de patologías constructivas, estructurales y no estructurales. (2011).

7.5 MURO DIAFRAGMA (RELLENO DE PÓRTICO), DESPLAZAMIENTO DE JUNTAS.

En el caso de un sismo de baja magnitud, el Elemento No Estructural presentará aplastamiento en el mortero, afectando así las esquinas de este y provocando fisuras. En el caso de un sismo de mayor magnitud, el elemento presentará fisuras de mayor calibre que

podrían llegar a cubrir la superficie de todo el muro. Finalmente, si el sismo es de una gran magnitud, el muro sufrirá bastantes fisuras horizontales en toda la superficie.

Ilustración 7: Falla de muro por desplazamiento de juntas.



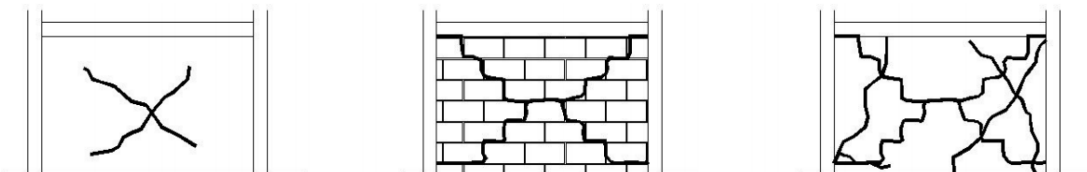
Fuente: Guía de patologías constructivas, estructurales y no estructurales. (2011).

7.6 MURO DIAFRAGMA (RELLENO DE PÓRTICO), TRACCIÓN DIAGONAL

En el caso de un sismo leve, el Elemento No Estructural sufrirá pequeñas fisuras diagonales y el desprendimiento del mortero de pega, afectando la adherencia de este con las unidades de mampostería; por lo general estas patologías ocurrirán en la parte central del muro. En otro caso, si la magnitud del sismo es media, se presentarán una cadena de fisuras en forma de “escalera” en toda la diagonal del muro.

Finalmente, si la magnitud del sismo es mayor, las fisuras en forma de “escalera” aumentarán su grosor hasta unos 3 mm lo cual generará gran pérdida en el mortero de pega.

Ilustración 8: Falla en muro por tracción diagonal.



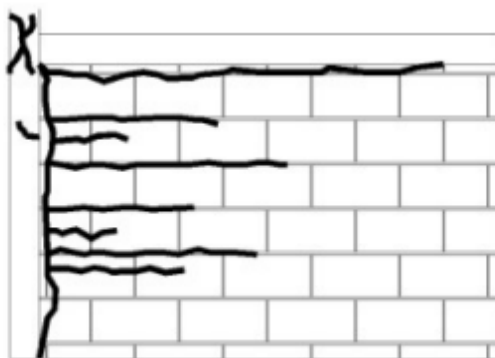
Fuente: Guía de patologías constructivas, estructurales y no estructurales. (2011).

7.7 MURO DIAFRAGMA (RELLENO DE PÓRTICO), APLASTAMIENTO DE ESQUINAS Y FIGURACIÓN DIAGONAL.

En el caso de un sismo leve, el Elemento No Estructural presentará una separación del mortero a lo largo de la viga y la columna, evidenciando fisuras horizontales. En un sismo

moderado la viga sufrirá fisuras que irán hasta el E.N.E y podrá presentar fisuras en los nudos en donde se encuentran las columnas y las vigas.

Ilustración 9: Falla en muro por aplastamiento de esquinas.



Fuente: Guía de patologías constructivas, estructurales y no estructurales. (2011).

7.8 MUROS DIAFRAGMA, COMPORTAMIENTO FUERA DEL PLANO.

Cuando el Elemento No Estructural presenta daños mínimos, causados por un sismo considerado de baja magnitud al principio se harán visibles fisuras alrededor de todo el muro y muy pocas fisuras en el centro de este. Si la magnitud del sismo es media, se generará aplastamiento y pérdida de mortero en todo el perímetro. Finalmente, cuando el sismo presenta una magnitud mayor, el muro presentará fisuras de gran longitud que se extenderán en toda la diagonal del elemento, además de fisuras en forma de “escalera” o escalonadas acompañadas de una grieta horizontal en la mitad del muro.

Ilustración 10: Falla en muro por comportamiento fuera del plano.



Fuente: Guía de patologías constructivas, estructurales y no estructurales. (2011).

8 MECANISMO DE COLAPSO DE LOS ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES.

8.1 RUTA DE FALLA

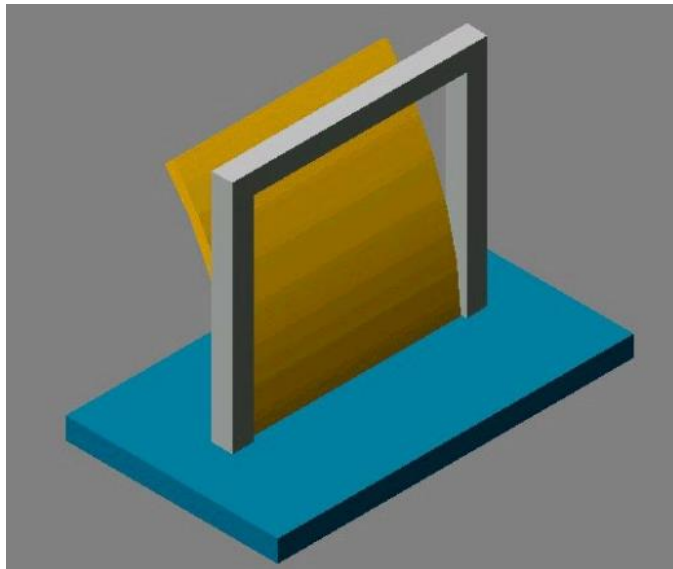
Debido a las fuerzas externas producidas por el sismo y el viento, la ruta de falla de un Elemento No Estructural será: En un primer momento sufrirá agrietamiento, superará la resistencia a la tracción lo que causará una primera fisura y al cabo de un tiempo ocasionará una propagación de las fisuras. A medida que la fuerza externa es mayor, el efecto en el E.N.E. será el debilitamiento en las secciones debido a las aberturas en los muros, perderá estabilidad a causa del agrietamiento y por carencia de soporte, lo que eventualmente generará el colapso de la estructura.

8.2 FUERZAS PERPENDICULARES AL PLANO DEL MURO

8.2.1 MURO APOYADO SOLO ABAJO

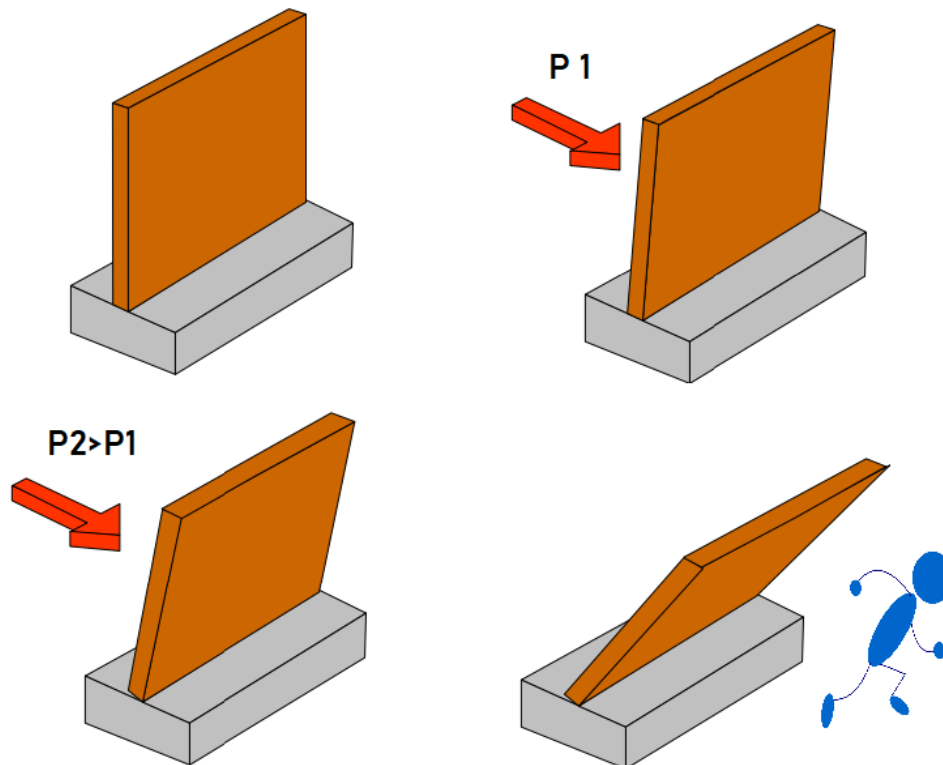
Debido a la fuerza externa en el E.N.E. ocurrirá la máxima flexión en la parte inferior, y posteriormente este rotará en la base para finalmente colapsar.

Ilustración 11: Elemento No Estructural apoyado solo abajo.



Fuente: Curso-taller de actualización, Ing. Andrés Mauricio Bernal Zuluaga. (2018).

Ilustración 12: Mecanismo de colapso mediante fuerza perpendicular en un muro apoyado solo abajo.

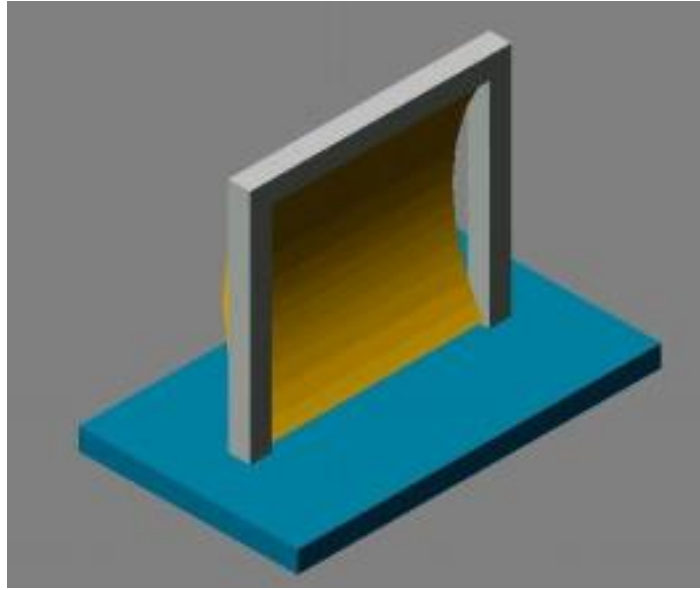


Fuente: Curso-taller de actualización, Ing. Andrés Mauricio Bernal Zuluaga. (2018).

8.2.2 MURO APOYADO ARRIBA Y ABAJO

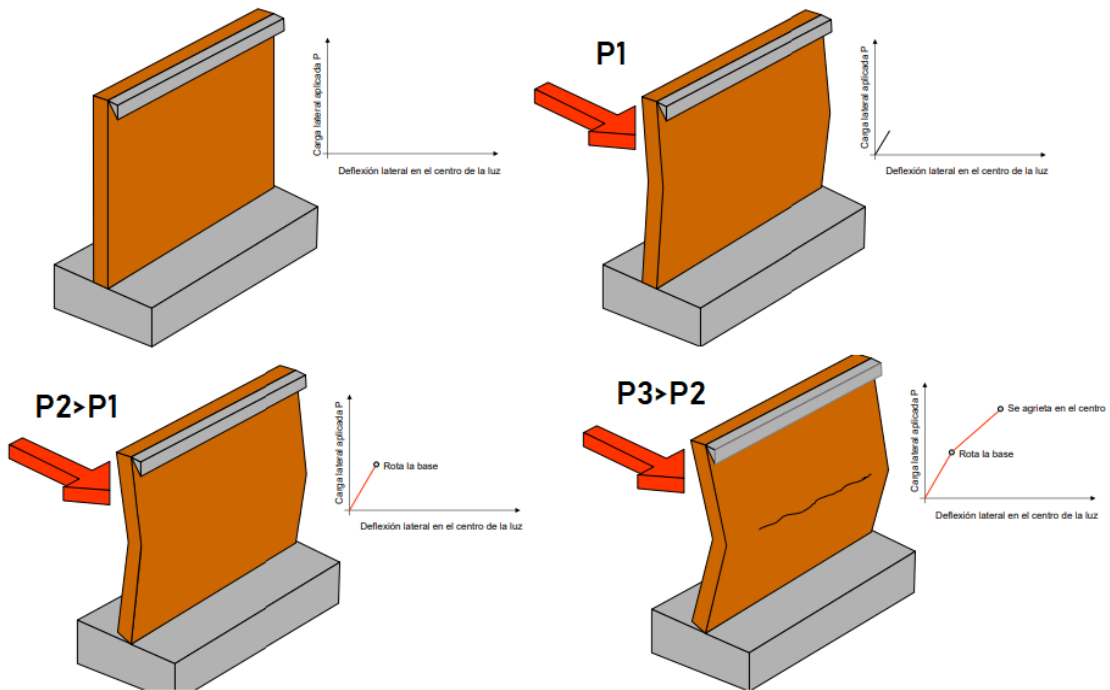
En el momento en que la fuerza se aplica en el centro del muro, este se empezará a flectar lo que generará poco a poco una rotación en la base del elemento. Luego en el centro comenzará a aparecer una primera grieta longitudinal, seguidamente el elemento se deformará y finalmente fallará causando el colapso.

Ilustración 13: Elemento No Estructural apoyado abajo y arriba.



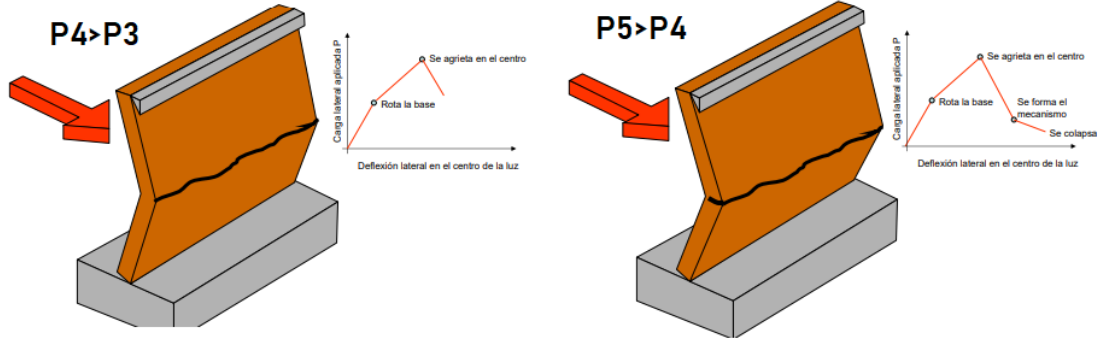
Fuente: Curso-taller de actualización, Ing. Andrés Mauricio Bernal Zuluaga. (2018).

Ilustración 14: Mecanismo de colapso mediante fuerza perpendicular en un muro apoyado arriba y abajo.



Fuente: Curso-taller de actualización, Ing. Andrés Mauricio Bernal Zuluaga. (2018).

Ilustración 15: Mecanismo de colapso mediante fuerza perpendicular en un muro apoyado arriba y abajo.

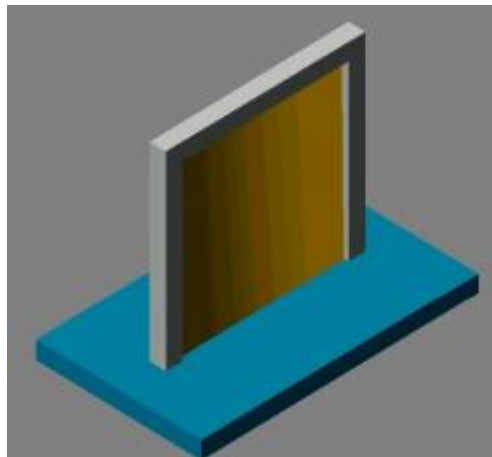


Fuente: Curso-taller de actualización, Ing. Andrés Mauricio Bernal Zuluaga. (2018).

8.2.3 MURO APOYADO ABAJO Y A LOS LADOS

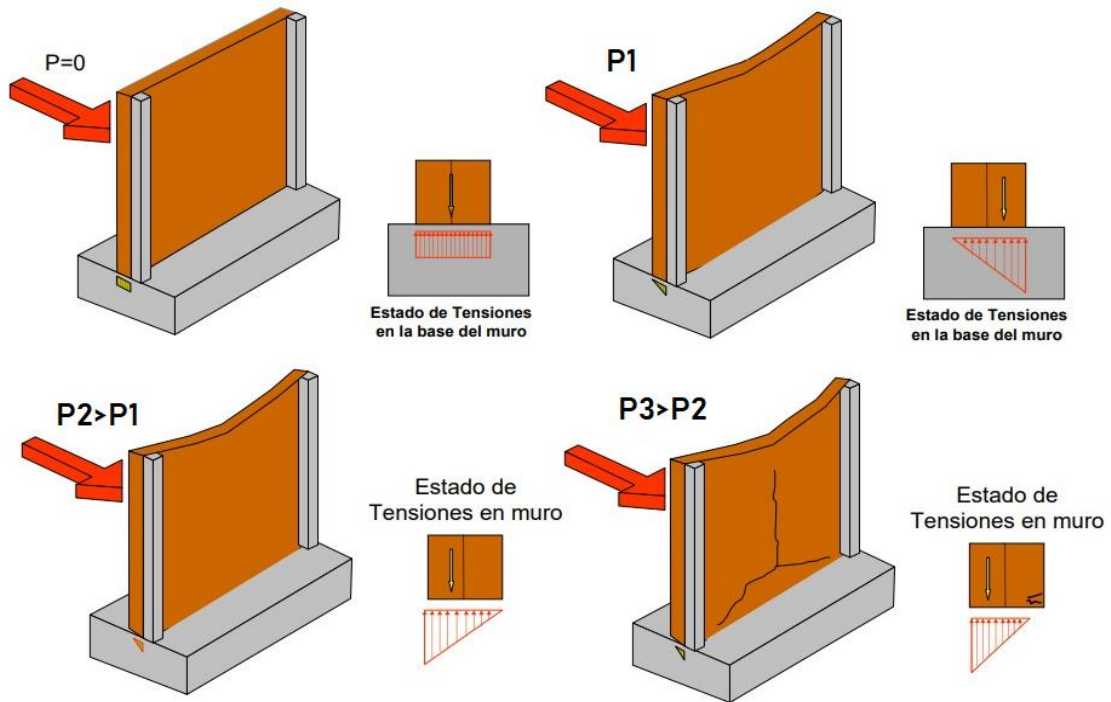
El elemento inicialmente no es sometido a ninguna fuerza, lo que significa que el estado de tensiones en la base es normal, es decir no hay deformaciones. Al momento de aplicar una fuerza la tensión en el elemento varía, comenzando a flexionarse a tal punto que comienza a agrietarse tal y como se muestra en la ilustración 18. Finalmente, si esta fuerza se sigue aplicando el muro fallará, lo que generará un riesgo para la seguridad e integridad de los seres vivos.

Ilustración 16: Elemento No Estructural apoyado abajo y a los lados.



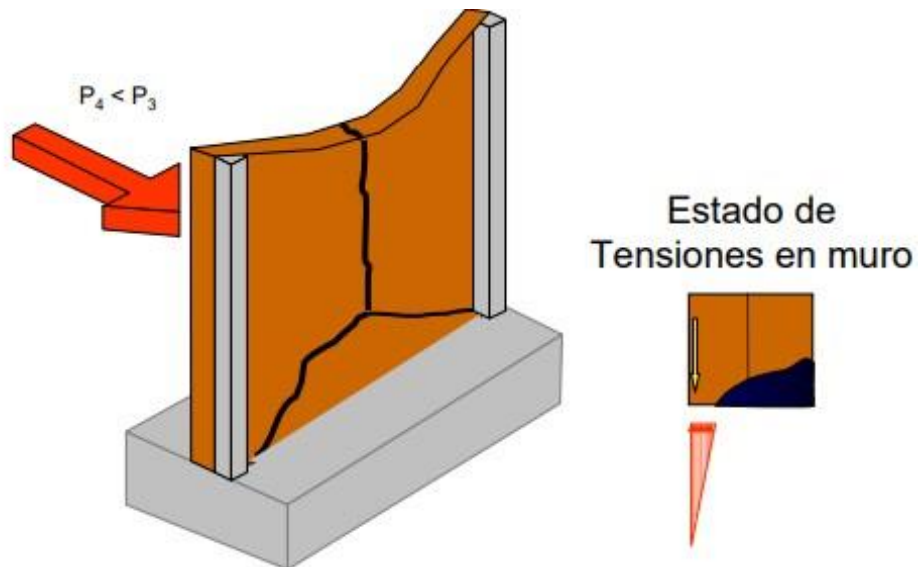
Fuente: Curso-taller de actualización, Ing. Andrés Mauricio Bernal Zuluaga. (2018).

Ilustración 17: Mecanismo de colapso mediante fuerza perpendicular en un muro apoyado abajo y a los lados.



Fuente: Curso-taller de actualización, Ing. Andrés Mauricio Bernal Zuluaga. (2018).

Ilustración 18: Mecanismo de colapso mediante fuerza perpendicular en un muro apoyado abajo y a los lados.

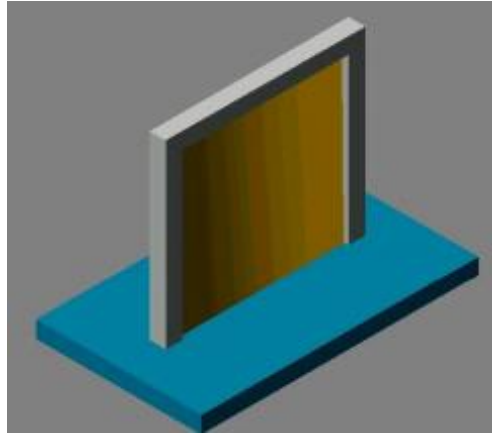


Fuente: Curso-taller de actualización, Ing. Andrés Mauricio Bernal Zuluaga. (2018).

8.2.4 MURO APOYADO EN TODOS SUS BORDES

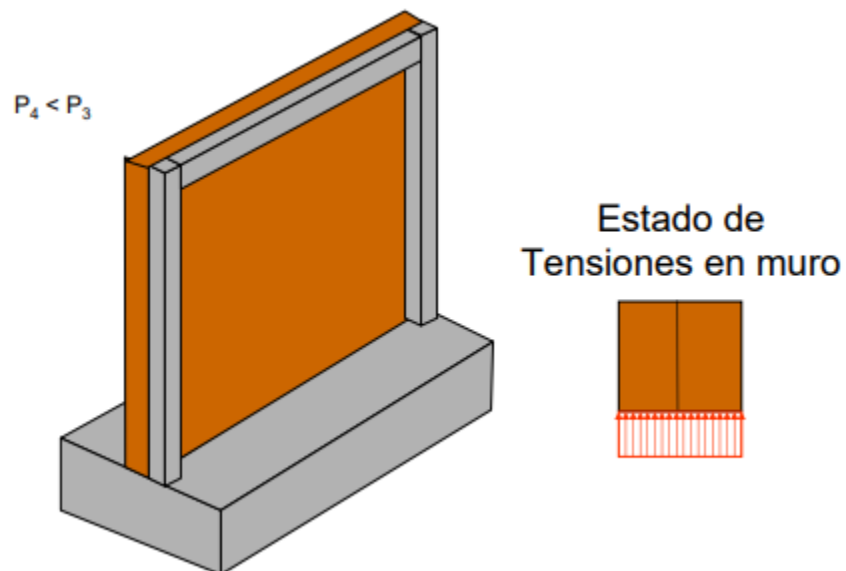
Al ser un elemento rígido no sufrirá deformaciones, y podrá soportar mayores cargas. El mecanismo de falla será repentino.

Ilustración 19: Muro apoyado en todos sus bordes.



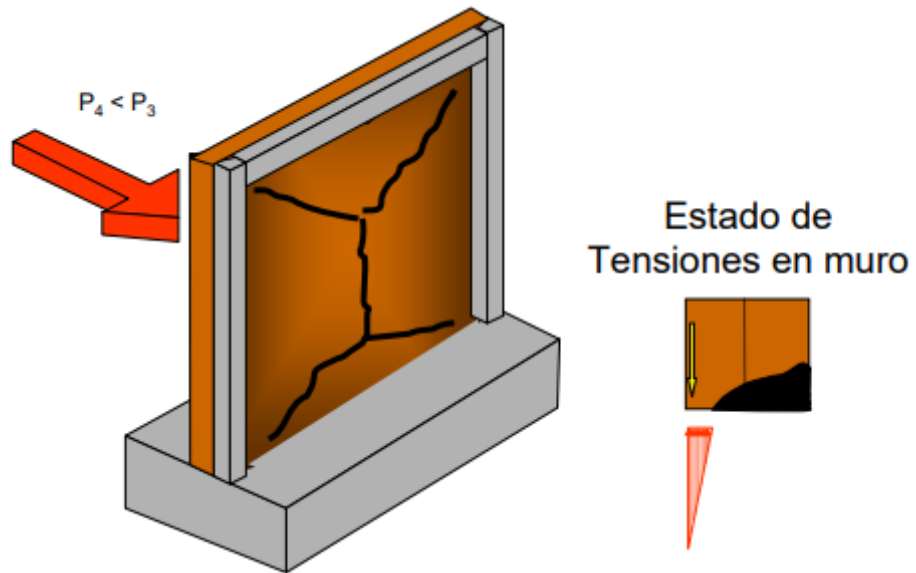
Fuente: Curso-taller de actualización, Ing. Andrés Mauricio Bernal Zuluaga. (2018).

Ilustración 20: Mecanismo de colapso mediante fuerza perpendicular en un muro apoyado en todos sus bordes.



Fuente: Curso-taller de actualización, Ing. Andrés Mauricio Bernal Zuluaga. (2018).

Ilustración 21: Mecanismo de colapso mediante fuerza perpendicular en un muro apoyado en todos sus bordes.



Fuente: Curso-taller de actualización, Ing. Andrés Mauricio Bernal Zuluaga. (2018).

Ilustración 22: Muro colapsado apoyado en todos sus bordes

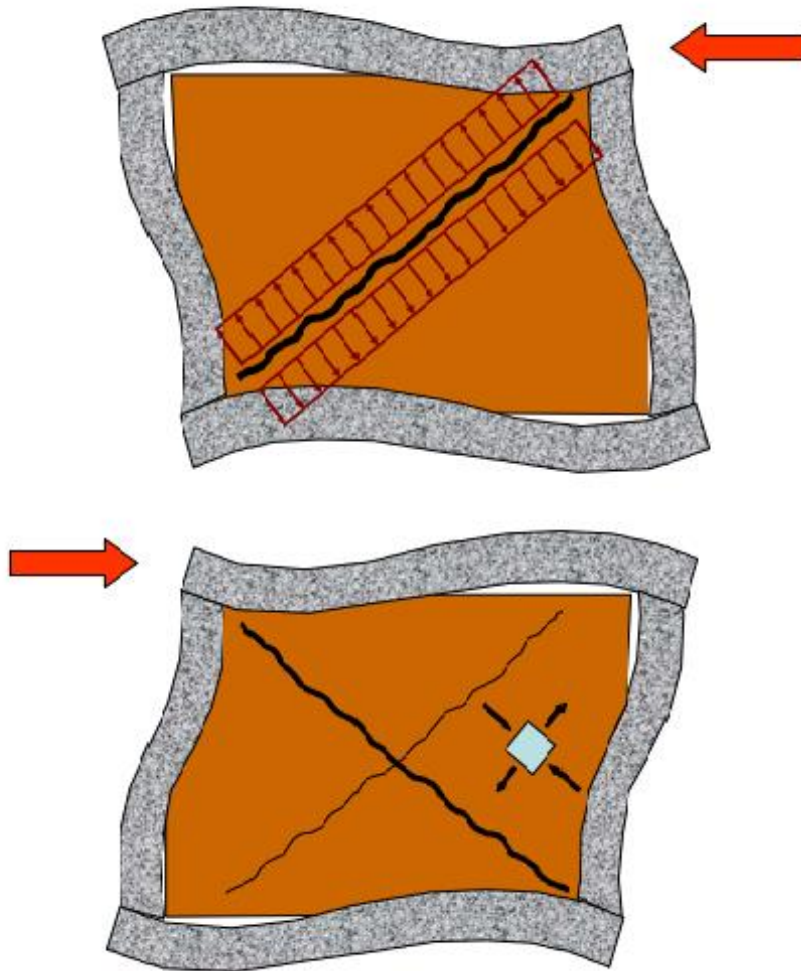


Fuente: Investigación del profesor Juan D. Jaramillo Universidad EAFIT. (2010).

8.3 FUERZAS PARALELAS AL PLANO DEL MURO.

Generalmente las fallas ocasionadas por las fuerzas paralelas al plano del muro se caracterizan por un movimiento del muro respecto a sus extremos, transmitiendo de esta manera las fuerzas a la parte más comprimida y ocasionando el desprendimiento de unidades, grietas y deformación del Elemento No Estructural.

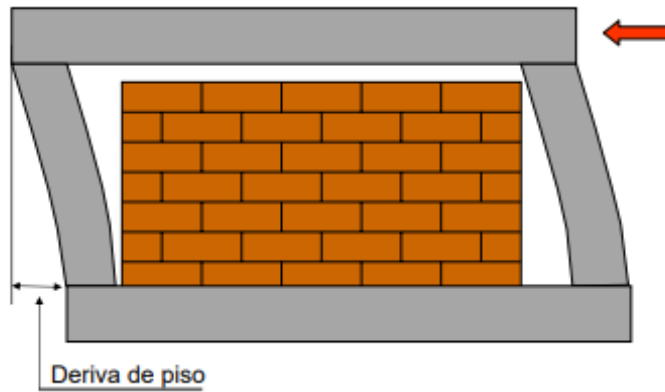
Ilustración 23: Falla por tracción indirecta en un muro confinado, fuerza paralela al plano.



Fuente: Curso-taller de actualización, Ing. Andrés Mauricio Bernal Zuluaga. (2018).

Una solución a este problema es separar el elemento de la estructura de confinamiento, para de esta manera evitar que este sea sometido a fuerzas diferentes a las inerciales.

Ilustración 24: Muro separado de la estructura.



Fuente: Curso- taller de actualización, Ing. Andrés Mauricio Bernal Zuluaga. (2018).

Esta solución se puede realizar de diferentes maneras, la más eficaz es aislar las juntas mediante espumas sintéticas, morteros elásticos o con mangueras como las mostradas a continuación.

Ilustración 25: Mangueras embebidas en el mortero para la separación del muro de la estructura.



Fuente: Análisis y diseño sísmico de edificios / Roberto Rochel Awad.

9 MATERIALES

Los materiales son fundamentales para llevar a cabo cualquier proyecto, es por esto que es de gran importancia conocer las características, propiedades y clases de materiales que se pueden utilizar para la construcción de los diferentes Elementos no Estructurales. Para este documento solo se tendrá en cuenta elementos en mampostería.

En Colombia las unidades de mampostería son muy utilizadas en las obras, ya sea por su precio, facilidad de uso o fácil accesibilidad. Dicho material es el más utilizado ya que comparado con las cantidades de acero o de concreto, este es el que generalmente mayor área ocupa. Las unidades de mampostería están clasificadas en tres categorías que la normativa establece:

-Unidades estructurales.

-Unidades no estructurales.

-Unidades para fachada.

Para el caso de las unidades estructurales, estas cuentan con mayor control y rigurosidad, ya que como su nombre lo dice este tipo de unidad se utiliza para construir el sistema estructural, el cual es el más importante. “Se distinguen tres tipos básicos de unidades de mampostería estructural de arcilla cocida, según la disposición de sus orificios y del volumen que estas ocupen: perforación horizontal (PH), perforación vertical (PV) y macizas (M)”.

Para el caso de las unidades no estructurales estas “en cualquier caso e independientemente de que se cumplan los requisitos indicados para cada tipo de unidad, el dimensionamiento estructural, el dimensionamiento de los muros no estructurales y los procedimientos de cálculo, deben llevarse a cabo siguiendo los métodos y especificaciones del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente”

La Ladrillera Santafé es la empresa en Colombia con mayor reconocimiento en la fabricación de bloques estructurales, no estructurales y de fachada, ya que sus productos cumplen con los estándares de calidad que se establecen en las Normas Técnicas

Colombianas (NTC). Cada una de las unidades que fabrican, cuenta con una ficha técnica en la que están establecidas sus propiedades, dimensiones y geometría. Además, es importante resaltar que esta empresa clasifica sus productos en estructurales, de fachada y divisorios, en este último aparecen las unidades más utilizadas en Colombia que son el Bloque No 4 y el Bloque No 5 con sus diferentes variantes: liso, perforación vertical y perforación horizontal.

10 CLASIFICACIÓN DE LOS MUROS SEGÚN SU FUNCIÓN Y REFUERZO.

Los muros son elementos lineales diseñados para soportar cargas, dividir espacios y soportar fuerzas de elementos externos tales como: anclajes, tuberías y demás redes. Acorde a Arenas (2009), los muros se clasifican acorde a su función y tipo de refuerzo.

10.1 FUNCIÓN ESTRUCTURAL.

La función estructural está ligada a la capacidad del muro para soportar o no cargas, diferentes a la de su propio peso, por lo cual se tendrán los siguientes tipos de mampostería:

10.1.1 NO PORTANTE.

Es aquel cuya función principal es la de conformar muros que sirvan para dividir espacios, sin tener una función expresa o tácita de soportar techos o niveles superiores. Este tipo de mampostería conforma las particiones o fachadas en edificios con sistemas portantes en pórticos de concreto, acero o, incluso, madera.

10.1.2 EN MUROS EXTERIORES.

Las condiciones de exposición en fachadas, fundaciones, etc., donde puede haber presencia de agua, sea el muro portante o no, conlleva a la necesidad de unidades de baja permeabilidad y absorción con el fin de impedir la entrada de agua a través del muro. Por supuesto, este fenómeno se ve muy reducido cuando el muro es protegido mediante revoques, pinturas, hidrófugos, etc. Desde el punto de vista de la resistencia, no se presenta como factor crítico, siempre y cuando soporte la intemperie y sea estable con el tiempo.

10.1.3 EN MUROS INTERIORES.

En muros interiores o particiones las condiciones son las mínimas debido a que generalmente desde el punto de vista de cargas, hidráulico o térmico se van a presentar solicitaciones importantes. En estas condiciones merece un cuidado especial la uniformidad y estabilidad dimensional de las unidades, con el fin de reducir la cantidad de materiales de acabado y evitar la fisuración de los muros por separación de las unidades y el mortero.

10.1.4 PORTANTE.

La mampostería portante requiere adicionalmente a las características enunciadas anteriormente, una resistencia superior en las unidades suficiente para soportar las cargas que se le impongan. Estas unidades irán en conjunto con el acero de refuerzo, lo que permitirá la utilización de este tipo de mampostería como sistema estructural.

11 VULNERABILIDAD DE LOS ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES.

“Al igual que los elementos estructurales (vigas, columnas, muros estructurales, placas) los Elementos No Estructurales también se ven afectados por las fuerzas generadas por el sismo. Ahora, su especificación o su grado de interacción con el sistema estructural permitirá saber el grado de vulnerabilidad de este Elemento No Estructural dentro de la estructura, sabiendo que tan peligroso puede ser si dicho elemento falla” (Jimenez,2010).

Según Fournier (1985), la diferencia entre la amenaza y el riesgo está en que la amenaza se relaciona con la probabilidad de que un evento ocurra, mientras que el riesgo está relacionado con la probabilidad de que se manifiesten ciertas consecuencias, relacionadas con el grado de exposición de los elementos sometidos y con la vulnerabilidad que tienen dichos elementos a ser afectados por el evento.

12 SISMOS EN COLOMBIA

El primer evento sísmico en el país del cual se tiene registro escrito ocurrió en el año 1541. Existen registros de numerosos sismos históricos desde la colonia y hasta 1922, en que se instaló el primer sismógrafo en el país, traído por la Compañía de Jesús. “Dentro de los sismos históricos, pero registrados por instrumentos en el exterior es importante destacar el terremoto del 31 de enero de 1906 frente a la costa Pacífica Colombiana cuya magnitud se estima de 8.9 en la escala de Richter y que es considerado uno de los sismos más fuertes de la humanidad en tiempos modernos” (Sarabia,2010).

A partir de 1922 se dispuso de información instrumental, sobre lo que se denominan sismos instrumentales. Desde 1957 hasta 1992 estuvieron en funcionamiento siete estaciones sismológicas permanentes en el país, las cuales fueron operadas por el Instituto Geofísico de la Universidad Javeriana de Bogotá. La Red Sismológica Nacional cuenta en la actualidad de 26 estaciones sismológicas remotas con lo cual se cubre gran parte del territorio nacional; su procesamiento es en tiempo real y se realiza en Bogotá por enlace satelital.

12.1 SISMO DEL QUINDÍO.

La zona cafetera de Colombia fue afectada por un terremoto de magnitud moderada (ML = 6.2) el día 25 de enero de 1999, que causó graves daños a las ciudades de Armenia y Pereira y un amplio número de poblaciones menores en sus alrededores.

12.2 SISMO DE PIZARRO.

El 15 de noviembre de 2004, un sismo de magnitud local ML=6.7, se sintió en gran parte del occidente del país en especial en la ciudad de Cali. El epicentro se localizó en el Océano Pacífico, frente a las costas del departamento del Chocó, 50 km al suroeste del municipio de Bajo Baudó y tuvo una profundidad superficial. La localización del sismo permite asociarlo al segmento central de la Zona de Subducción del Pacífico Colombiano.

12.3 SISMO DE QUETAME.

El 24 de mayo de 2008 se produjo un sismo de magnitud ML = 5.7 que se sintió en todo el centro del país. El epicentro se localizó cerca a la población de Quetame, Cundinamarca, localizado aproximadamente a 35 km al sur- oriente de la ciudad de Bogotá.

Hubo colapso de edificaciones de adobe principalmente en la zona epicentro. La mayoría de los daños reportados en la ciudad de Bogotá se presentaron en Elementos No Estructurales y hubo daño mínimo en elementos estructurales.

13 METODOLOGÍA

13.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN ACERCA DE LOS ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES.

Los Elementos No Estructurales son “aquellos elementos o componentes de la edificación que no hacen parte de la estructura o su cimentación” (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010) y debido a esto el análisis y diseño de los mismos cobra gran importancia ya que al momento de presentarse eventos sísmicos de gran magnitud generalmente son los primeros en colapsar y causar muerte o graves heridas a seres vivientes. Teniendo en cuenta lo anterior, es de vital importancia entender cómo es el comportamiento de estos elementos ante diferentes sollicitaciones.

El grupo de uso en el que estará clasificada la estructura, obliga al diseñador a cumplir con un grado de desempeño el cual “mide el comportamiento de los elementos no estructurales de la edificación ante la ocurrencia de un sismo que la afecte” (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010). Este se clasifica en tres categorías que son: superior, bueno y bajo.

El grado de desempeño superior es aquel en el cual el daño que se presenta en los Elementos No Estructurales es mínimo y no infiere con la operación de la edificación en ningún aspecto; el grado de desempeño bueno es en el cual el daño que se presenta en los Elementos No Estructurales es totalmente reparable y puede haber alguna interferencia con la operación de la edificación con posterioridad a la ocurrencia del sismo, mientras que el grado de desempeño bajo es en el cual se presentan daños graves en los Elementos No Estructurales, inclusive no reparables.

13.2 PROCESOS CONSTRUCTIVOS.

Al momento de llevar a cabo la ejecución de un proyecto, es de vital importancia ejecutar un proceso constructivo que cumpla con los estándares de calidad que garanticen la estabilidad y seguridad de los Elementos No Estructurales.

Un proceso constructivo puede definirse como “el conjunto de técnicas que se utilizan para edificar cualquiera de las unidades que constituyen los sistemas constructivos” (Monjo,2019) que a su vez son “el conjunto de elementos y unidades de un edificio que forman una organización funcional con una misión constructiva común, sea esta de sostén (estructura), de definición y de protección de espacios habitables (cerramientos)” (Monjo,2019).

La aparición de nuevos materiales en los últimos años, ha permitido desarrollar nuevos procesos constructivos, en el caso de los Elementos No Estructurales, se puede tomar como ejemplo los muros divisorios, los cuales en muchos casos han pasado de ser en mampostería, para ser reemplazados por materiales como el Drywall o PVC.

13.3 CASO DE ESTUDIO.

Las edificaciones en Colombia están clasificadas de acuerdo a cuatro grupos de uso los cuales sirven para “clasificar a las edificaciones según su importancia para la atención y recuperación de las personas que habitan en una región que puede ser afectada por un sismo, o cualquier tipo de desastre “(Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

Los Elementos No Estructurales deben ser diseñados para estructuras que se clasifican en los grupos de uso III y IV sin importar la zona de amenaza sísmica, mientras que las estructuras clasificadas en los grupos de uso I y II localizadas en las zonas de amenaza sísmica baja quedan exentas del diseño de estos, esto acorde a las exenciones que se mencionan en A.9.1.3 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. Para realizar el análisis y diseño de los Elementos No Estructurales, se opta por hacer el análisis a una edificación de 6 pisos, la cual está localizada en la ciudad de Bogotá y pertenece al grupo de uso IV.

13.4 DISEÑO DE ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES.

El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente contempla en el Título A.9 todo lo referido al diseño de los Elementos No Estructurales para cualquier grupo de uso de las edificaciones en Colombia. Entre los diferentes aspectos que se deberán tener en cuenta al momento de diseñar están:

- Grupo de uso.
- Grado de desempeño.
- Criterio de diseño.
- Fuerza sísmica de diseño.
- Tipos de anclaje.

Teniendo pleno conocimiento de los anteriores aspectos mencionados, se procede a realizar el diseño tanto de los antepechos como de los muros divisorios en cada uno de los niveles de la estructura, esto con el fin de analizar el comportamiento en cada uno de los niveles, magnitud de fuerzas, momentos y cantidad de refuerzo necesario.

13.5 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO.

13.5.1 MASA DEL ELEMENTO NO ESTRUCTURAL.

La masa del Elemento No Estructural es importante debido a que este es uno de los parámetros necesarios para efectuar el cálculo de la fuerza sísmica que actúa sobre el E.N.E. Este cálculo depende de la altura del E.N.E, el espesor de este, la distancia entre anclajes (para el caso en que se utilizan dovelas), o la distancia entre columnetas. Se expresa en kgf.

Ecuación 2: Cálculo masa del Elemento No Estructural.

$$M_p = Carga \left(\frac{kgf}{m^2} \right) \times Altura \ E.N.E \times LongitudAferente$$

Para el valor de la carga, se utiliza la tabla 3 con la cual se puede obtener la carga que ejerce el E.N.E en kgf/m².

Tabla 3: Cargas muertas mínimas de Elementos No Estructurales verticales-muros

Componente	Carga (kN/m ²) por m ² de superficie vertical (multiplicar por la altura del elemento en m para obtener cargas distribuidas en kN/m)	Carga (kgf/m ²) por m ² de superficie vertical (multiplicar por la altura del elemento en m para obtener cargas distribuidas en kgf/m)								
Muros										
Mampostería de bloque de arcilla:	Espesor del muro (en mm)					Espesor del muro (en cm)				
	100	150	200	250	300	10	15	20	25	30
Pañetado en ambas caras	1.80	2.50	3.10	3.80	4.40	180	250	310	380	440
Sin pañetar	1.30	2.00	2.60	3.30	3.90	130	200	260	330	390

Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

13.5.2 ACELERACIÓN HORIZONTAL a_x

La aceleración horizontal, expresada como un porcentaje de la aceleración de la gravedad sobre el Elemento No Estructural, localizado en el piso x se calcula dependiendo de la altura equivalente del sistema de un grado de libertad que simula la edificación (h_{eq}), la altura medida desde la base del nivel de apoyo del Elemento No Estructural (h_x). La altura equivalente (h_{eq}) se estima como el 75 por ciento de la altura de la estructura.

Ecuación 3: Cálculo aceleración horizontal a_x

$$a_x = A_s + \frac{(S_a - A_s) \times h_x}{h_{eq}} \text{ si } h_x \leq h_{eq}$$

$$a_x = S_a \times \frac{h_x}{h_{eq}} \text{ si } h_x \geq h_{eq}$$

13.5.3 FUERZA SÍSMICA HORIZONTAL SOBRE EL ELEMENTO NO ESTRUCTURAL

Un Elemento No Estructural puede verse sometido a otras fuerzas diferentes a la producida por el sismo. De hecho, debe ser capaz de resistir su peso propio, el peso de los acabados, la carga viva que puede aplicársele directamente y las fuerzas de viento ejercidas directamente sobre su superficie, etc. Para calcular la fuerza sísmica horizontal que actúa sobre el E.N.E. es necesario haber calculado la aceleración horizontal a_x , el coeficiente de amplificación dinámica del Elemento No Estructural a_p , el coeficiente de capacidad de disipación de energía del Elemento No Estructural R_p , la masa del Elemento No Estructural M_p y el coeficiente que representa la aceleración horizontal pico efectiva A_a .

Ecuación 4: Cálculo fuerza sísmica horizontal sobre el E.N.E.

$$F_p = \frac{a_x \times a_p}{R_p} \times g \times M_p \geq \frac{A_a \times I}{2} \times g \times M_p$$

13.5.4 MOMENTO DE DISEÑO M_u

Ya habiendo calculado la magnitud de la fuerza sísmica horizontal, se procede a calcular el momento último de diseño. Para calcular este, dependerá del tipo de E.N.E. que se quiera diseñar. Si es un antepecho, el momento último de diseño se calculará como el momento máximo que actúa en una viga en voladizo, mientras que, si es un muro divisorio o de fachada, este se calculará como una viga simplemente apoyada. De esta manera se obtendrá el momento último de diseño, y se podrá calcular la cuantía para de esta forma obtener el acero que requerirá el Elemento No Estructural.

Ecuación 5: Cálculo del momento último actuante en un antepecho.

$$M_u = F_p \times \frac{\text{Altura Antepecho}}{2}$$

Ecuación 6: Cálculo del momento último actuante en un muro divisorio o de fachada.

$$M_u = \frac{F_p \times \text{Altura del muro}}{4}$$

13.5.5 CUANTIA ρ

Para el cálculo de la cuantía requerida será necesario resolver una ecuación cuadrática y tomar el valor que arroja la resta.

$$M_n = \phi \times \rho \times f_y \times b \times d^2 \times \left[1 - 0.59 \times \rho \times \frac{f_y}{f'_c} \right]$$

$$M_n = \phi \times \rho \times f_y \times b \times d^2 - 0.59 \times \rho^2 \times \phi \times \frac{f_y^2}{f'_c} \times b \times d^2$$

$$\rho^2 \times 0.59 \times \phi \times \frac{f_y^2}{f'_c} \times b \times d^2 - \rho \times \phi \times f_y \times b \times d^2 + M_n = 0$$

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$a = 0.59 \times \phi \times \frac{f_y^2}{f'_c} \times b \times d^2$$

$$b = -\phi \times f_y \times b \times d^2$$

$$c = M_n$$

Ecuación 7: Cálculo de la cuantía requerida.

$$\rho = \frac{\phi \times f_y \times b \times d^2 \pm \sqrt{[-\phi \times f_y \times b \times d^2]^2 - 4 \times 0.59 \times \phi \times \frac{f_y^2}{f'_c} \times b \times d^2 \times M_n}}{2 \times 0.59 \times \phi \times \frac{f_y^2}{f'_c} \times b \times d^2}$$

13.5.6 ACERO REQUERIDO A_s

Ya teniendo el dato de la cuantía requerida, lo último es calcular el acero requerido con la siguiente fórmula.

Ecuación 8: Cálculo acero requerido

$$A_s = \rho \times b \times d$$

13.5.7 SINTESIS DEL DISEÑO DE ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES.

1. Definición de parámetros de entrada: localización del proyecto, tipo de suelo, zona de amenaza sísmica, grupo de uso de la estructura, coeficiente de importancia.
2. Realizar el análisis sísmico de la estructura, revisión derivas y periodo. Es de gran importancia revisar que el valor del periodo fundamental de la estructura cumpla con lo que se establece en el Título A del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, debido a que con el espectro de respuesta de la estructura se establece el valor de S_a , necesario para llevar a cabo el diseño de los Elemento No Estructurales.
3. Definir el grado de desempeño que deberán cumplir los Elementos No Estructurales.
4. Especificar el criterio de diseño.
5. Definir el tipo de anclaje para de esta manera establecer el coeficiente de capacidad de disipación de energía R_p
6. Calcular la aceleración máxima en la superficie del suelo A_s y el coeficiente de aceleración horizontal pico efectiva A_a .
7. Establecer el coeficiente de amplificación dinámica del Elemento No Estructural a_p .

8. Definir como se quiere realizar el diseño de los Elementos No Estructurales, si mediante el uso de dovelas o columnetas.

9. Calcular la aceleración horizontal a_x para cada uno de los niveles de la estructura.

10. Calcular la masa del Elemento No Estructural M_p .

11. Calcular la fuerza sísmica horizontal para cada uno de los niveles de la estructura.

12. Calcular el momento último actuante sobre el Elemento No Estructural en cada uno de los niveles de la estructura.

13. Calcular la cuantía para de esta manera hallar la cantidad de acero que se requiere.

14. Establecer la relación entre el Acero suministrado y el Acero requerido, teniendo en cuenta importante que el valor de esta relación debe estar por encima de 1 para tener la certeza de que el refuerzo es el adecuado.

15. Establecer la configuración final de acero de refuerzo que llevarán las dovelas o las columnetas.

14 CASO DE ESTUDIO

14.1 DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA.

La estructura analizada se localiza en la ciudad de Bogotá D.C., en una zona de amenaza sísmica alta, esto acorde a la microzonificación de la ciudad (DECRETO N.º523 DE 2010). El tipo de estructura es en pórticos resistentes a momentos, estará clasificada en el grupo de uso IV y el perfil de suelo es tipo E.

Ilustración 26: Planta primer nivel de la estructura.

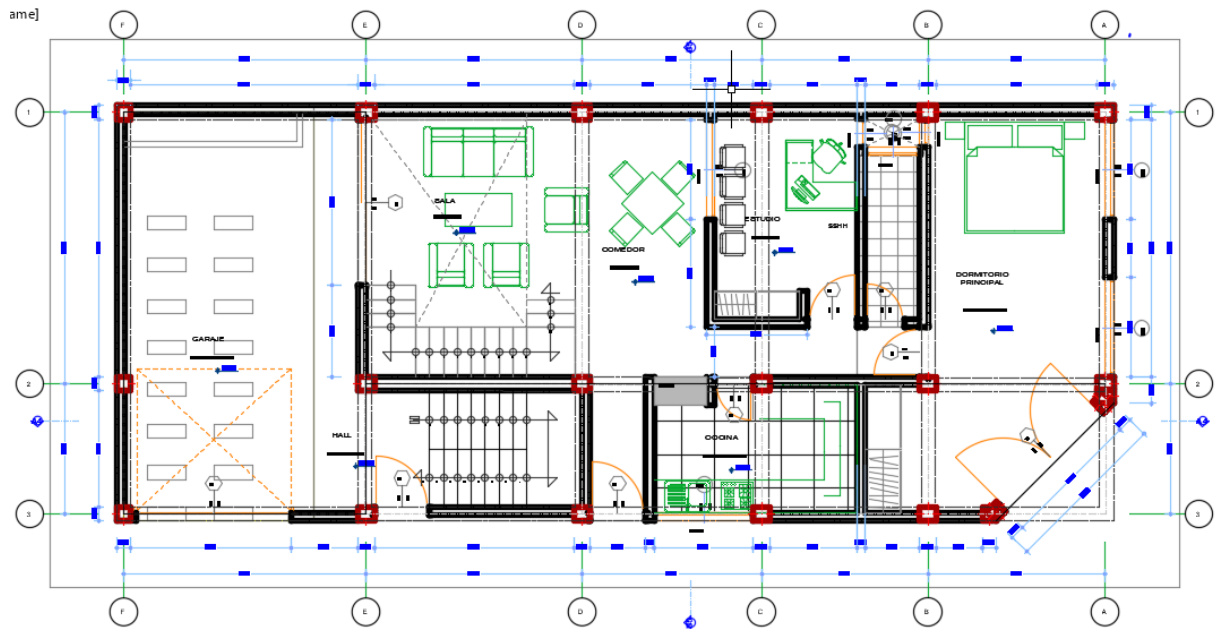


Ilustración 27: Planta nivel tipo estructura.

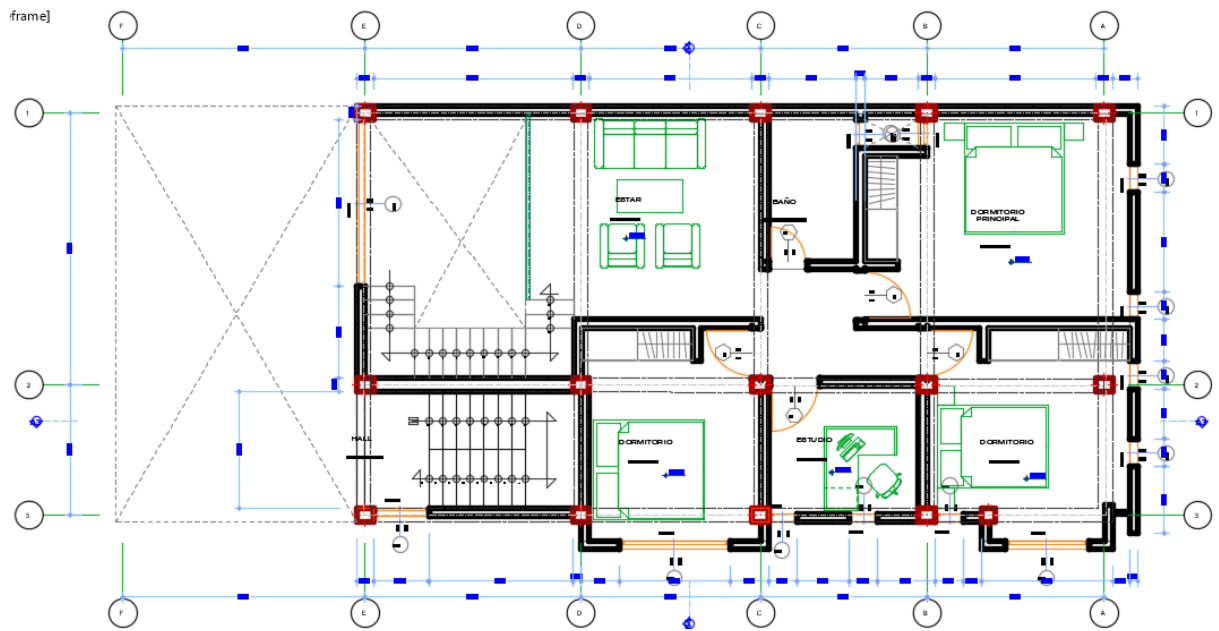
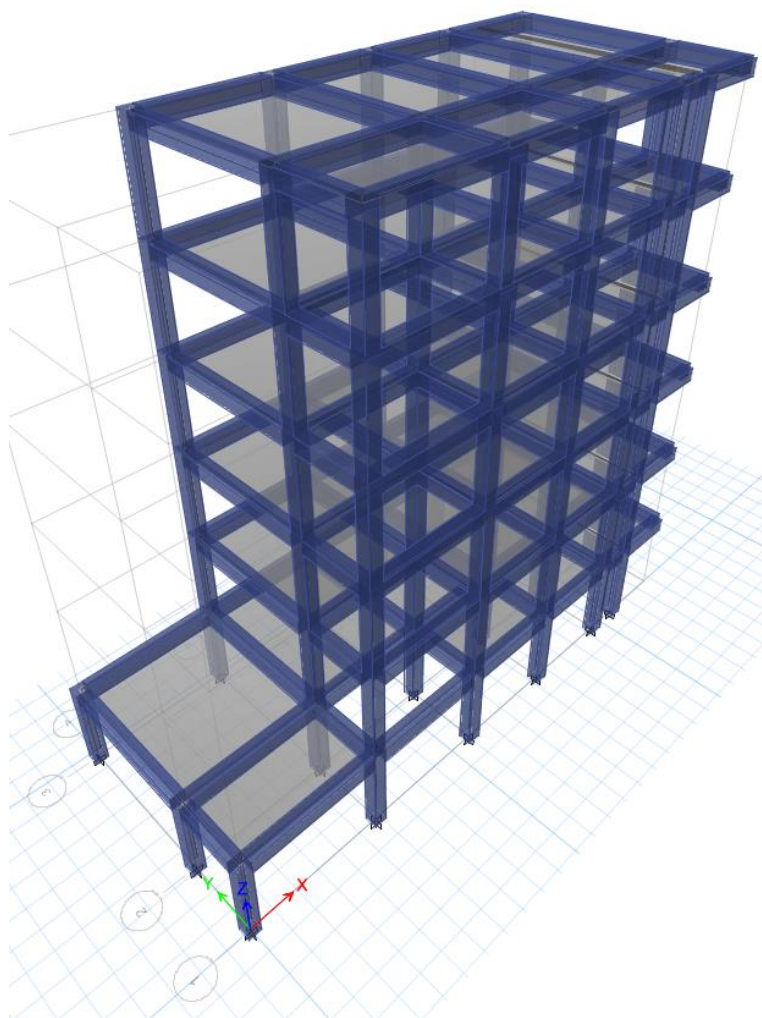


Ilustración 28: Geometría de la estructura.



Fuente: Elaboración propia.

14.2 AVALÚO DE CARGAS.

Inicialmente con la arquitectura de la estructura se propusieron columnas de 0.35x0.35 m, vigas de 0.35x0.40 m y una losa maciza en cada uno de los pisos de 0.15 m de espesor. Al momento de realizar el análisis dinámico de la estructura, esta no cumplió con el límite de la deriva (A.6.4) que para estructuras en concreto reforzado el máximo está contemplado en el 1.0%. Con esta configuración inicial, el periodo fundamental que arrojó el análisis dinámico después del ajuste de los resultados que se exige en A.5.4.5 en donde para estructuras regulares debe ser el 80 por ciento del cortante en la base de la edificación, estaba entre el 10 por ciento que se establece en A.4.2.3.

Posterior a revisar las derivas y el periodo fundamental, se definieron las columnas con una geometría 0.40x0.40 m, vigas de 0.40x0.45 m y una losa maciza de 0.45 m de espesor para realizar de nuevo el análisis de la estructura, la cual con esta nueva configuración cumplió con el límite de derivas y periodo.

A continuación, se presentan las cargas vivas y muertas que se adoptaron para realizar el análisis de la estructura. Todas estas cargas fueron tomadas del título B del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

Tabla 4: Cargas muertas estructura.

CARGAS MUERTAS	COMPONENTE	CARGA(KN/m²)	TABLA
CIELO RASO	<i>Cielo raso</i>		
	Pañete en yeso o concreto	0.25	Tabla B.3.4.1-1
ACABADOS	<i>Relleno de piso</i>		
	Concreto ligero	0.015	Tabla B.3.4.1-2
	<i>Piso y acabados</i>		
	Madera densa, 25 mm	0.2	Tabla B.3.4.1-3
CUBIERTA	<i>Cubierta</i>		
	Membrana impermeable bituminosa cubierta de grava	0.25	Tabla B.3.4.1-4
CARGAS MUERTAS DE ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES VERTICALES	<i>Recubrimiento de muros</i>		
	Tableros de fibra, 12 mm	0.05	Tabla B.3.4.2-1
	<i>Enchape</i>		
	Enchape cerámico	0.015	Tabla B.3.4.2-3
	<i>Ventanas</i>		
	Ventanas, vidrio, entramado y marco	0.45	Tabla B.3.4.2-5

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5: Cargas vivas estructura.

CARGAS VIVAS	COMPONENTE	CARGA(KN/m ²)	TABLA
CARGA VIVA	<i>Institucional</i>		
	Cuartos privados	2	Tabla B.4.2.1-1
CARGA VIVA CORREDORES Y ESCALERAS	<i>Institucional</i>		
	Corredores y escaleras	5.0	Tabla B.4.2.1-1
CARGA VIVA SOBRE CUBIERTA	<i>Cubiertas, azoteas y terrazas</i>		
	La misma del resto de la edificación	5.0	Tabla B.4.2.1-2
EMPOZAMIENTO DE AGUA			
	Empozamiento de agua (e=0,08)	10 kN/m ³	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6: Avalúo de cargas estructura.

Piso	Área piso	Altura del elemento	D _{PROPIO}	D _{SOBREIMPUESTA}	D	L	L _r	L _e
CUBIERTA	96.81 m ²	0.15 m	804.96 kN	48.41 kN	853.36 kN	0.00 kN	484.05 kN	77.45 kN
PISO 6		2.85 m						
ENTREPISO PISO 6	87.64 m ²	0.15 m	815.11 kN	304.99 kN	1,120.10 kN	227.86 kN	0.00 kN	0.00 kN
PISO 5		2.85 m						
ENTREPISO PISO 5	87.64 m ²	0.15 m	815.11 kN	304.99 kN	1,120.10 kN	227.86 kN	0.00 kN	0.00 kN
PISO 4		2.85 m						
ENTREPISO PISO 4	87.64 m ²	0.15 m	815.11 kN	304.99 kN	1,120.10 kN	227.86 kN	0.00 kN	0.00 kN
PISO 3		2.85 m						
ENTREPISO PISO 3	87.64 m ²	0.15 m	815.11 kN	304.99 kN	1,120.10 kN	227.86 kN	0.00 kN	0.00 kN
PISO 2		2.85 m						
ENTREPISO PISO 2	119.36 m ²	0.15 m	1,064.90 kN	415.37 kN	1,480.28 kN	310.34 kN	0.00 kN	0.00 kN
PISO 1		2.85 m						
LOSA CIMENTACIÓN								
TOTAL	566.73 m²	18.00 m	5,130.31 kN	1,683.73 kN	6,814.04 kN	1,221.79 kN	484.05 kN	77.45 kN

Fuente: Elaboración propia.

14.3 ANÁLISIS SÍSMICO.

La estructura después de haber sido modelada en el software ETABS, se analizó para dar cumplimiento con los requisitos de periodo y derivas, como lo exige el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. A continuación, se presenta la secuencia del análisis sísmico de la estructura.

Tabla 7: Datos de entrada.

Localización	Bogotá D.C.
Tipo de suelo	E
Zona de amenaza sísmica	Alta
Grupo de uso	IV

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8: Coeficientes espectro de respuesta.

A_a	0.35
A_v	0.35
A_e	0.25
A_d	0.13
F_a	1.05
F_v	2.60
I	1.50

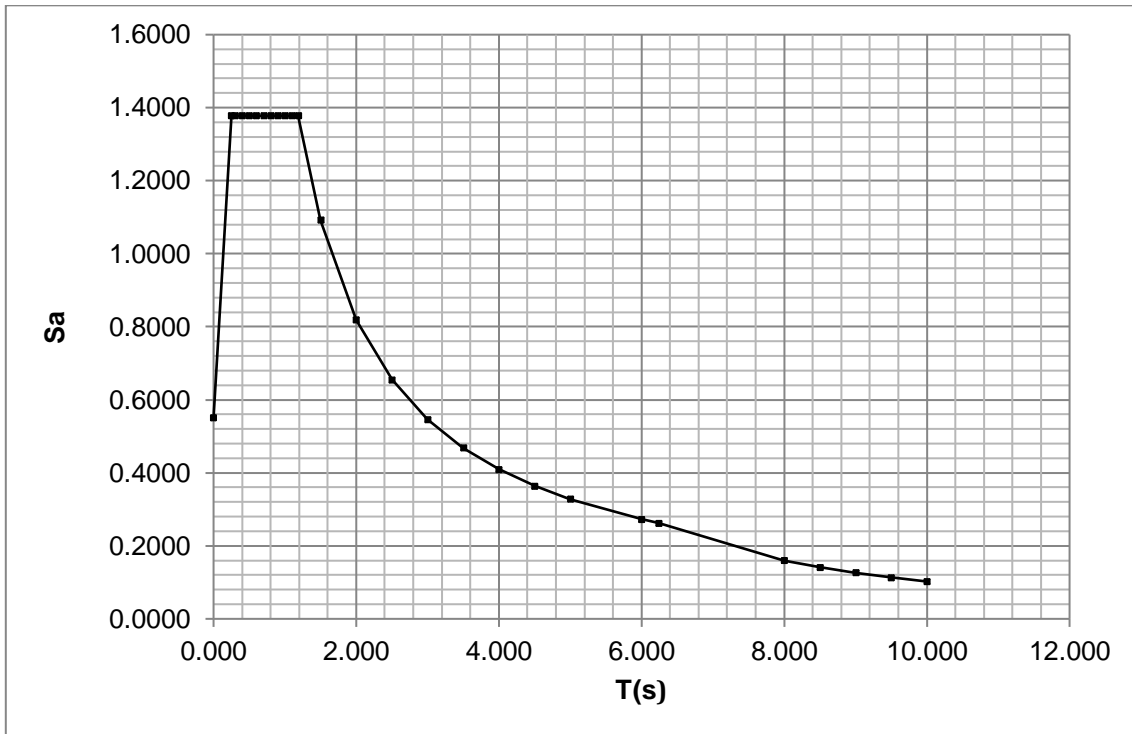
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9: Valor del periodo aproximado de la estructura.

T₀	0.248
T_c	1.189
T_L	6.240
C_t	0.047
a	0.90
h	18.00
T_a	0.63
C_u	1.20
S_a	1.38
k	1.07

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 29. Espectro de respuesta.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10: Reacciones de la estructura.

TABLE: Base Reactions						
Load Case/Combo	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
	kN	kN	kN	kN-m	kN-m	kN-m
Dead	0.00 kN	0.00 kN	4,940.17 kN	17,515.57 kN m	-53,489.65 kN m	0.00 kN m
Live	0.00 kN	0.00 kN	1,221.56 kN	4,720.06 kN m	-13,330.33 kN m	0.00 kN m
VIVA DE CUBIERTA	0.00 kN	0.00 kN	483.94 kN	1,754.27 kN m	-5,347.51 kN m	0.00 kN m
EMPOZAMIENTO	0.00 kN	0.00 kN	77.43 kN	280.68 kN m	-855.60 kN m	0.00 kN m
MUERTA SOBREPUESTA	0.00 kN	0.00 kN	1,683.41 kN	6,493.05 kN m	-18,376.89 kN m	0.00 kN m
SISMO X 1	-6,665.16 kN	0.00 kN	0.00 kN	0.00 kN m	-85,126.75 kN m	23,651.97 kN m
SISMO X 2	-6,665.16 kN	0.00 kN	0.00 kN	0.00 kN m	-85,126.75 kN m	25,170.41 kN m
SISMO X 3	-6,665.16 kN	0.00 kN	0.00 kN	0.00 kN m	-85,126.75 kN m	22,133.53 kN m
SISMO Y 1	0.00 kN	-6,665.16 kN	0.00 kN	85,126.75 kN m	0.00 kN m	-74,175.88 kN m
SISMO Y 2	0.00 kN	-6,665.16 kN	0.00 kN	85,126.75 kN m	0.00 kN m	-77,026.71 kN m
SISMO Y 3	0.00 kN	-6,665.16 kN	0.00 kN	85,126.75 kN m	0.00 kN m	-71,325.05 kN m
SISMO DINÁMICO X Max	5,118.10 kN	869.37 kN	0.00 kN	10,951.69 kN m	63,784.05 kN m	17,816.56 kN m
SISMO DINÁMICO Y Max	869.37 kN	5,109.02 kN	0.00 kN	64,022.84 kN m	10,802.37 kN m	62,974.58 kN m

Fuente: Elaboración propia.

Después de haber obtenido las reacciones arrojadas por el software, es necesario realizar la corrección del sismo dinámico en x y y. Para realizar esta corrección se debe asegurar que el sismo dinámico sea al menos el 80 por ciento del valor del cortante basal.

S_a	1.38
Peso Edificio	4,940.17 kN

$$\text{Factor de corrección} = \frac{S_a \times \text{Peso de la estructura} \times 0.80}{\text{Valor sismo dinámico}}$$

Después de haber obtenido el factor de corrección, en el software se realizar la corrección, para de este modo dar cumplimiento con lo establecido en la normativa.

CASO	100%	80%	F.C
DINAMICO X	6,808.04 kN	5,446.44 kN	1.07
DINAMICO Y	6,808.04 kN	5,446.44 kN	1.07

Tabla 11: Reacciones de la estructura después de haber realizado los ajustes.

TABLE: Base Reactions						
Load Case/Combo	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
	kN	kN	kN	kN-m	kN-m	kN-m
Dead	0.00 kN	0.00 kN	4,940.17 kN	17,515.57 kN m	-53,489.65 kN m	0.00 kN m
Live	0.00 kN	0.00 kN	1,221.56 kN	4,720.06 kN m	-13,330.33 kN m	0.00 kN m
VIVA DE CUBIERTA	0.00 kN	0.00 kN	483.94 kN	1,754.27 kN m	-5,347.51 kN m	0.00 kN m
EMPOZAMIENTO	0.00 kN	0.00 kN	77.43 kN	280.68 kN m	-855.60 kN m	0.00 kN m
MUERTA SOBREIMPUESTA	0.00 kN	0.00 kN	1,683.41 kN	6,493.05 kN m	-18,376.89 kN m	0.00 kN m
SISMO X 1	-6,665.16 kN	0.00 kN	0.00 kN	0.00 kN m	-85,126.75 kN m	23,651.97 kN m
SISMO X 2	-6,665.16 kN	0.00 kN	0.00 kN	0.00 kN m	-85,126.75 kN m	25,170.41 kN m
SISMO X 3	-6,665.16 kN	0.00 kN	0.00 kN	0.00 kN m	-85,126.75 kN m	22,133.53 kN m
SISMO Y 1	0.00 kN	-6,665.16 kN	0.00 kN	85,126.75 kN m	0.00 kN m	-74,175.88 kN m
SISMO Y 2	0.00 kN	-6,665.16 kN	0.00 kN	85,126.75 kN m	0.00 kN m	-77,026.71 kN m
SISMO Y 3	0.00 kN	-6,665.16 kN	0.00 kN	85,126.75 kN m	0.00 kN m	-71,325.05 kN m
SISMO DINÁMICO X Max	5,476.37 kN	930.22 kN	0.00 kN	11,718.31 kN m	68,248.93 kN m	19,063.72 kN m
SISMO DINÁMICO Y Max	930.22 kN	5,466.65 kN	0.00 kN	68,504.44 kN m	11,558.53 kN m	67,382.80 kN m

Fuente: Elaboración propia.

14.4 DISEÑO ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES.

El diseño de los Elementos No Estructurales se basó en el diseño de los antepechos y muros divisorios, en cada uno de los niveles de la estructura. Estos elementos se diseñaron de dos formas, la primera mediante dovelas y la segunda por medio de columnetas.

14.4.1 DATOS DE ENTRADA

14.4.1.1 ESPECIFICACIONES DE LA ESTRUCTURA.

Número de pisos: 6 pisos.

Altura de piso: 3 m.

Altura total: 18 m.

Altura equivalente h_{eq} : 13,50 m

14.4.1.2 GRADO DE DESEMPEÑO DE LOS ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES

Debido a que el grupo de uso de la estructura es IV, el grado de desempeño que deberán garantizar los Elementos No Estructurales es Superior.

14.4.1.3 CRITERIO DE DISEÑO

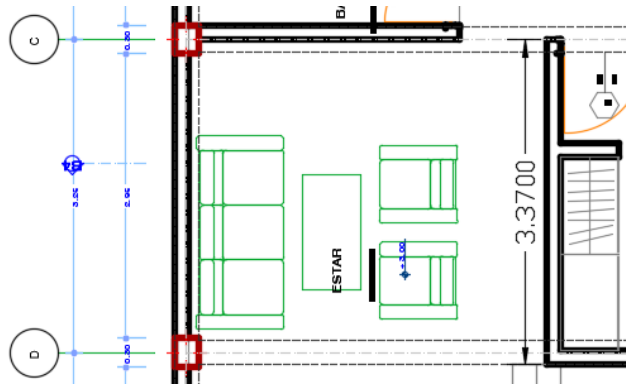
Acorde a lo estipulado en el Título A.9.4 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, se estableció que los Elementos No Estructurales irán separados de la estructura debido a que estos serán independientes del sistema estructural de la edificación. Esto quiere decir que se aíslan lateralmente del sistema estructural.

14.4.1.4 TIPO DE ELEMENTO NO ESTRUCTURAL

Los tipos de Elementos No Estructurales que se diseñaron fueron:

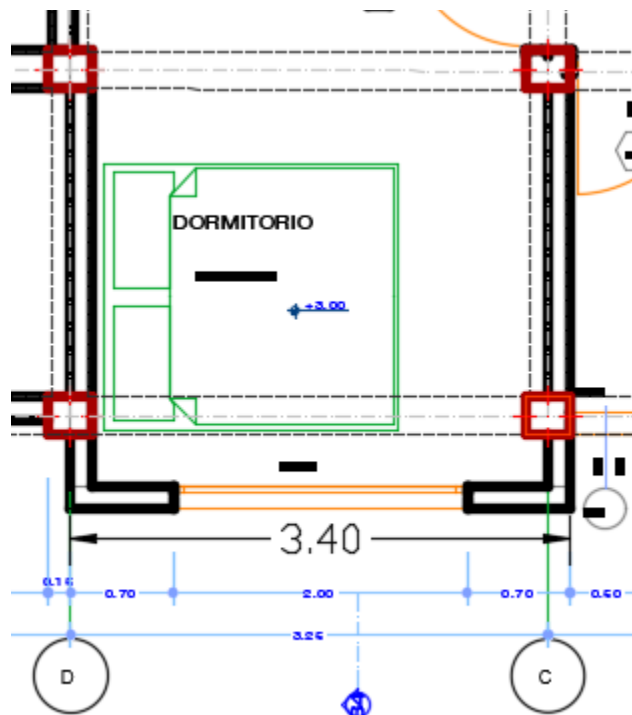
1. Muro divisorio.

Ilustración 30: Muro divisorio diseñado.



2. Antepecho.

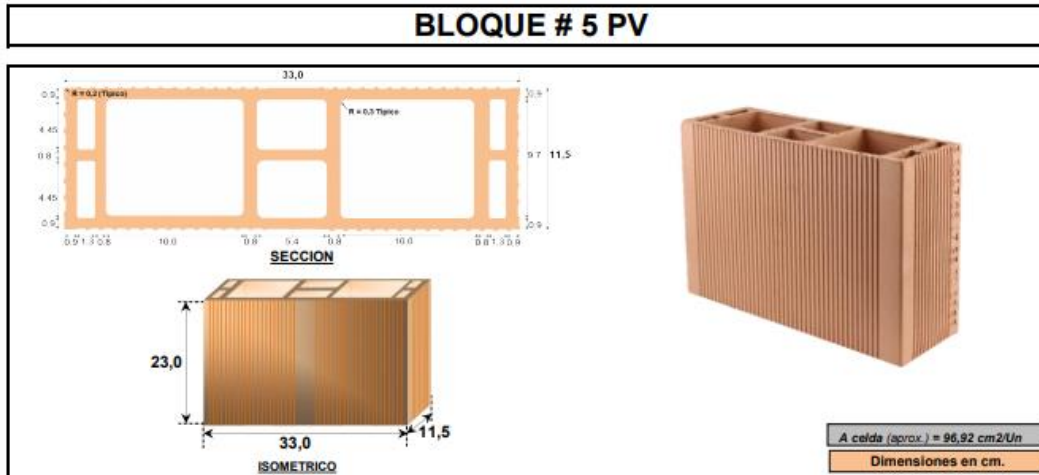
Ilustración 31: Antepecho diseñado.



14.4.1.5 TIPO DE BLOQUE

Para el diseño por medio de dovelas, se utilizó el Bloque número 5 de perforación vertical, fabricado por la ladrillera Santa Fe. Sus dimensiones son las siguientes:

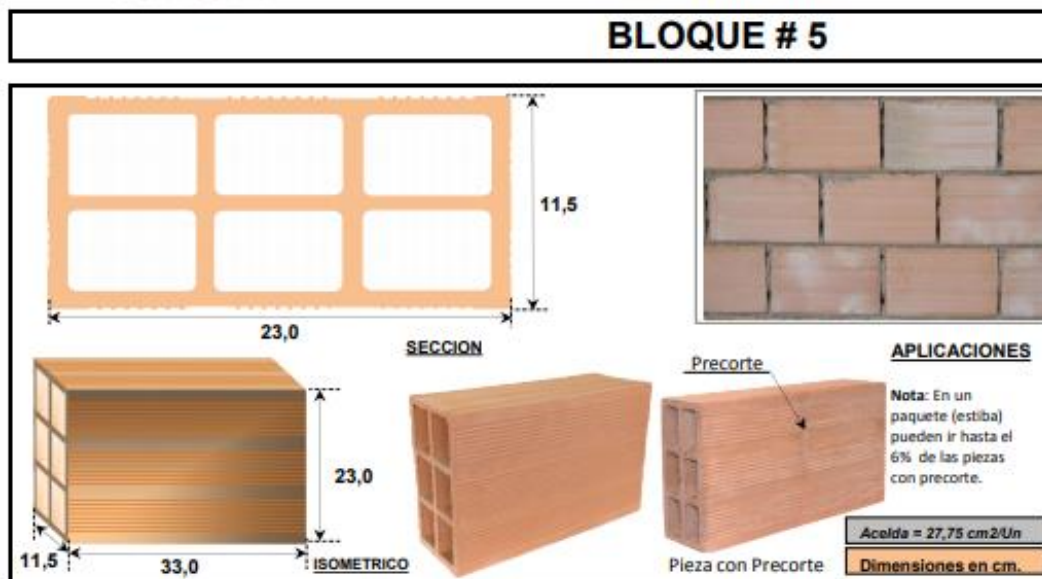
Ilustración 32: Dimensiones bloque número 5 perforación vertical.



Fuente: Ladrillera Santa Fe.

Para el diseño mediante columnetas, se utilizó el Bloque número 5 de perforación horizontal, sus dimensiones son las siguientes:

Ilustración 33: Dimensiones bloque número 5 perforación horizontal.



Fuente: Ladrillera Santa Fe.

14.4.1.6 TIPO DE ANCLAJE

Teniendo en cuenta el tipo de Elemento No Estructural y el grado de desempeño, para el caso de los antepechos el tipo de anclaje será dúctil, mientras que para los muros divisorios el tipo de anclaje será no dúctil ya que estos son muros divisorios de altura total.

14.4.1.7 COEFICIENTE DE CAPACIDAD DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA R_p

Para el caso de los antepechos teniendo en cuenta que el tipo de anclaje es *dúctil*, el coeficiente de capacidad de disipación de energía es 6,0, mientras que para los muros divisorios es 1,5 ya que los anclajes de estos serán *no dúctiles*.

14.4.1.8 COEFICIENTE DE AMPLIFICACIÓN DINÁMICA DEL E.N.E a_p

Este coeficiente depende del tipo de Elemento No Estructural, para el caso de los antepechos el valor es 2,5, mientras que para los muros divisorios es 1,0.

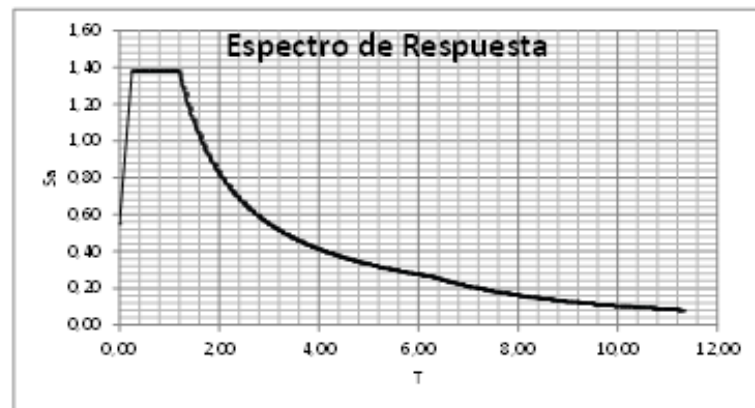
14.4.1.9 ACELERACIÓN MÁXIMA EN LA SUPERFICIE DEL SUELO A_s Y COEFICIENTE DE ACELERACIÓN HORIZONTAL PICO EFECTIVA A_a

Estos coeficientes se toman del espectro de respuesta de la estructura. Para este caso, la aceleración máxima en la superficie del suelo A_s es 0,55, mientras que la aceleración horizontal pico efectiva A_a es 0,35.

Localización	Bogotá D.C
Tipo de suelo	E
Zona de amenaza sísmica	Ata
Grupo de uso	IV

A_a	0,35
A_v	0,35
F_a	1,05
F_v	2,60
I	1,50

T_0	0,25
T_c	1,19
T_L	6,24
S_a	1,38
A_s	0,55
A_a	0,35



14.4.2 DISEÑO

14.4.2.1 FUERZA SÍSMICA HORIZONTAL F_p

Para calcular esta fuerza, es necesario dividir el Elemento No Estructural en diferentes áreas, esto con el fin de distribuir la fuerza sísmica horizontal F_p y lograr un diseño óptimo. Por ejemplo, un muro cuya longitud sea de 3.0 metros, podría estar dividido en 3 muros de 1.0 m cada uno. Al haber dividido el elemento este abarcará una longitud aferente, que recibirá una fracción de la fuerza sísmica, la cual servirá para hallar el momento actuante en cada porción del E.N.E.

14.4.2.2 DISEÑO ANTEPECHOS

Los antepechos tendrán una longitud de 3,40 m y una altura de 1,20 m.

14.4.2.2.1 MEDIANTE DOVELAS

Debido a las dimensiones del Bloque número 5, es posible dividir el antepecho en porciones de 0,17 m. Esto quiere decir que se puede ubicar una barra de acero cada 0,17 m; estas barras serán los anclajes del E.N.E. Para hallar la masa del elemento se utiliza la *Ecuación 2*:

$$M_p = 200 \frac{kgf}{m^2} \times 1,20 m \times 0,17 m = 40,80 kgf$$

Ya teniendo la masa de la porción del E.N.E., se debe calcular la aceleración horizontal a_x (*Ecuación 3*) para posteriormente hallar la fuerza sísmica horizontal actuante (*Ecuación 4*).

Para el nivel de la losa de cimentación:

$$h_x = 0,00 m$$

$$h_{eq} = 13,50 m$$

$$a_x = A_s + \frac{(S_a - A_s) \times h_x}{h_{eq}} \text{ si } h_x \leq h_{eq}$$

$$a_x = 0,55 + \frac{(1,38 - 0,55) \times 0,00}{13,50} = 0,55$$

Para el nivel 2:

$$h_x = 3,00 \text{ m}$$

$$h_{eq} = 13,50 \text{ m}$$

$$a_x = 0,55 + \frac{(1,38 - 0,55) \times 3,00}{13,50} = 0,74$$

Para el nivel 3:

$$h_x = 6,00 \text{ m}$$

$$h_{eq} = 13,50 \text{ m}$$

$$a_x = 0,55 + \frac{(1,38 - 0,55) \times 6,00}{13,50} = 0,92$$

Para el nivel 4:

$$h_x = 9,00 \text{ m}$$

$$h_{eq} = 13,50 \text{ m}$$

$$a_x = 0,55 + \frac{(1,38 - 0,55) \times 9,00}{13,50} = 1,10$$

Para el nivel 5:

$$h_x = 12,00 \text{ m}$$

$$h_{eq} = 13,50 \text{ m}$$

$$a_x = 0,55 + \frac{(1,38 - 0,55) \times 12,00}{13,50} = 1,29$$

Para el nivel 6:

$$h_x = 15,00 \text{ m}$$

$$h_{eq} = 13,50 \text{ m}$$

$$a_x = 1,38 \times \frac{15,00}{13,50} = 1,53$$

Para el nivel de cubierta:

$$h_x = 18,00 \text{ m}$$

$$h_{eq} = 13,50 \text{ m}$$

$$a_x = 1,38 \times \frac{18,00}{13,50} = 1,84$$

Posterior a hallar la aceleración horizontal en cada uno de los niveles de la estructura, se procede a calcular fuerza sísmica horizontal F_p (Ecuación 4).

Para el nivel de la losa de cimentación:

$$F_p = \frac{\frac{0,55 \times 2,50}{6,00} \times 9,81 \times 40,80}{1000} \geq \frac{\frac{0,35 \times 1,50}{2} \times 9,81 \times 40,80}{1000}$$

$$F_p = 0,09 \text{ kN} \leq 0,11 \text{ kN}$$

$$F_p = 0,11 \text{ kN}$$

Para el nivel 2:

$$F_p = \frac{\frac{0,74 \times 2,50}{6,00} \times 9,81 \times 40,80}{1000} \geq \frac{\frac{0,35 \times 1,50}{2} \times 9,81 \times 40,80}{1000}$$

$$F_p = 0,12 \text{ kN} \geq 0,11 \text{ kN}$$

$$F_p = 0,12 \text{ kN}$$

Para el nivel 3:

$$F_p = \frac{\frac{0,92 \times 2,50}{6,00} \times 9,81 \times 40,80}{1000} \geq \frac{\frac{0,35 \times 1,50}{2} \times 9,81 \times 40,80}{1000}$$

$$F_p = 0,15 \text{ kN} \geq 0,11 \text{ kN}$$

$$F_p = 0,15 \text{ kN}$$

Para el nivel 4:

$$F_p = \frac{\frac{1,10 \times 2,50}{6,00} \times 9,81 \times 40,80}{1000} \geq \frac{\frac{0,35 \times 1,50}{2} \times 9,81 \times 40,80}{1000}$$

$$F_p = 0,18 \text{ kN} \geq 0,11 \text{ kN}$$

$$F_p = 0,18 \text{ kN}$$

Para el nivel 5:

$$F_p = \frac{\frac{1,29 \times 2,50}{6,00} \times 9,81 \times 40,80}{1000} \geq \frac{\frac{0,35 \times 1,50}{2} \times 9,81 \times 40,80}{1000}$$

$$F_p = 0,22 \text{ kN} \geq 0,11 \text{ kN}$$

$$F_p = 0,22 \text{ kN}$$

Para el nivel 6:

$$F_p = \frac{\frac{1,53 \times 2,50}{6,00} \times 9,81 \times 40,80}{1000} \geq \frac{\frac{0,35 \times 1,50}{2} \times 9,81 \times 40,80}{1000}$$

$$F_p = 0,26 \text{ kN} \geq 0,11 \text{ kN}$$

$$F_p = 0,26 \text{ kN}$$

Para el nivel de cubierta:

$$F_p = \frac{\frac{1,84 \times 2,50}{6,00} \times 9,81 \times 40,80}{1000} \geq \frac{\frac{0,35 \times 1,50}{2} \times 9,81 \times 40,80}{1000}$$

$$F_p = 0,31 \text{ kN} \geq 0,11 \text{ kN}$$

$$F_p = 0,31 \text{ kN}$$

Ya habiendo calculado la fuerza sísmica de diseño, es posible obtener el momento actuante en cada uno de los antepechos. Se debe tener en cuenta que por ser un antepecho, este se comporta como una viga en voladizo, por lo cual el momento máximo que se produce estará en la base del muro.

Para el nivel de la losa de cimentación:

$$M_u = 0,11 \times \frac{1,20}{2}$$

$$M_u = 0,063 \text{ kN m}$$

Para el nivel 2:

$$M_u = 0,12 \times \frac{1,20}{2}$$

$$M_u = 0,074 \text{ kN m}$$

Para el nivel 3:

$$M_u = 0,15 \times \frac{1,20}{2}$$

$$M_u = 0,092 \text{ kN m}$$

Para el nivel 4:

$$M_u = 0,18 \times \frac{1,20}{2}$$

$$M_u = 0,110 \text{ kN m}$$

Para el nivel 5:

$$M_u = 0,22 \times \frac{1,20}{2}$$

$$M_u = 0,129 \text{ kN m}$$

Para el nivel 6:

$$M_u = 0,26 \times \frac{1,20}{2}$$

$$M_u = 0,153 \text{ kN m}$$

Para el nivel de cubierta:

$$M_u = 0,31 \times \frac{1,20}{2}$$

$$M_u = 0,184 \text{ kN m}$$

Con los momentos calculados, ya es posible hallar la cuantía requerida y seguidamente el acero requerido. Para el diseño se utilizará concreto de 17,5 MPa y acero de 420 MPa. Acorde a las dimensiones del Bloque número 5, el ancho de la cara en compresión del elemento (b) es 100 mm, mientras que la distancia desde la fibra extrema en compresión hasta el centroide del refuerzo longitudinal a tracción (d) es 48,50 mm.

Para el nivel de la losa de cimentación:

$$\rho = \frac{0,90 \times 420 \text{ MPa} \times 100 \text{ mm} \times [48,50 \text{ mm}]^2 \pm \sqrt{[-0,90 \times 420 \text{ MPa} \times 100 \text{ mm} \times [48,50 \text{ mm}]^2]^2 - 4 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420 \text{ MPa}]^2}{17,50 \text{ MPa}} \times 100 \text{ mm} \times [48,50 \text{ mm}]^2 \times 63018 \text{ Nmm}}{2 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420 \text{ MPa}]^2}{17,50 \text{ MPa}} \times 100 \text{ mm} \times [48,50 \text{ mm}]^2}$$

$$\rho = 0,0007$$

$$A_s = 0,0007 \times 10 \text{ cm} \times 4,85 \text{ cm}$$

$$A_s = 0,03 \text{ cm}^2$$

Para el nivel 2:

$$\rho = \frac{0,90 \times 420\text{MPa} \times 100\text{mm} \times [48,50\text{mm}]^2 \pm \sqrt{[-0,90 \times 420\text{MPa} \times 100\text{mm} \times [48,50\text{mm}]^2]^2 - 4 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420\text{MPa}]^2}{17,50\text{MPa}} \times 100\text{mm} \times [48,50\text{mm}]^2 \times 273520\text{Nmm}}{2 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420\text{MPa}]^2}{17,50\text{MPa}} \times 100\text{mm} \times [48,50\text{mm}]^2}$$

$$\rho = 0,0008$$

$$A_s = 0,0008 \times 10\text{ cm} \times 4,85\text{ cm}$$

$$A_s = 0,04\text{ cm}^2$$

Para el nivel 3:

$$\rho = \frac{0,90 \times 420\text{MPa} \times 100\text{mm} \times [48,50\text{mm}]^2 \pm \sqrt{[-0,90 \times 420\text{MPa} \times 100\text{mm} \times [48,50\text{mm}]^2]^2 - 4 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420\text{MPa}]^2}{17,50\text{MPa}} \times 100\text{mm} \times [48,50\text{mm}]^2 \times 91901\text{Nmm}}{2 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420\text{MPa}]^2}{17,50\text{MPa}} \times 100\text{mm} \times [48,50\text{mm}]^2}$$

$$\rho = 0,0010$$

$$A_s = 0,0010 \times 10\text{ cm} \times 4,85\text{ cm}$$

$$A_s = 0,05\text{ cm}^2$$

Para el nivel 4:

$$\rho = \frac{0,90 \times 420\text{MPa} \times 100\text{mm} \times [48,50\text{mm}]^2 \pm \sqrt{[-0,90 \times 420\text{MPa} \times 100\text{mm} \times [48,50\text{mm}]^2]^2 - 4 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420\text{MPa}]^2}{17,50\text{MPa}} \times 100\text{mm} \times [48,50\text{mm}]^2 \times 110281\text{Nmm}}{2 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420\text{MPa}]^2}{17,50\text{MPa}} \times 100\text{mm} \times [48,50\text{mm}]^2}$$

$$\rho = 0,0013$$

$$A_s = 0,0013 \times 10\text{ cm} \times 4,85\text{ cm}$$

$$A_s = 0,06\text{ cm}^2$$

Para el nivel 5:

$$\rho = \frac{0,90 \times 420\text{MPa} \times 100\text{mm} \times [48,50\text{mm}]^2 \pm \sqrt{[-0,90 \times 420\text{MPa} \times 100\text{mm} \times [48,50\text{mm}]^2]^2 - 4 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420\text{MPa}]^2}{17,50\text{MPa}} \times 100\text{mm} \times [48,50\text{mm}]^2 \times 128661\text{Nmm}}{2 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420\text{MPa}]^2}{17,50\text{MPa}} \times 100\text{mm} \times [48,50\text{mm}]^2}$$

$$\rho = 0,0015$$

$$A_s = 0,0015 \times 10\text{ cm} \times 4,85\text{ cm}$$

$$A_s = 0,07\text{ cm}^2$$

Para el nivel 6:

$$\rho = \frac{0,90 \times 420\text{MPa} \times 100\text{mm} \times [48,50\text{mm}]^2 \pm \sqrt{[-0,90 \times 420\text{MPa} \times 100\text{mm} \times [48,50\text{mm}]^2]^2 - 4 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420\text{MPa}]^2}{17,50\text{MPa}} \times 100\text{mm} \times [48,50\text{mm}]^2 \times 153168\text{Nmm}}{2 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420\text{MPa}]^2}{17,50\text{MPa}} \times 100\text{mm} \times [48,50\text{mm}]^2}$$

$$\rho = 0,0018$$

$$A_s = 0,0018 \times 10\text{ cm} \times 4,85\text{ cm}$$

$$A_s = 0,09\text{ cm}^2$$

Para el nivel de cubierta:

$$\rho = \frac{0,90 \times 420\text{MPa} \times 100\text{mm} \times [48,50\text{mm}]^2 \pm \sqrt{[-0,90 \times 420\text{MPa} \times 100\text{mm} \times [48,50\text{mm}]^2]^2 - 4 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420\text{MPa}]^2}{17,50\text{MPa}} \times 100\text{mm} \times [48,50\text{mm}]^2 \times 183801\text{Nmm}}{2 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420\text{MPa}]^2}{17,50\text{MPa}} \times 100\text{mm} \times [48,50\text{mm}]^2}$$

$$\rho = 0,0021$$

$$A_s = 0,0021 \times 10\text{ cm} \times 4,85\text{ cm}$$

$$A_s = 0,10\text{ cm}^2$$

Finalmente, ya habiendo calculado el acero requerido, se selecciona la configuración más óptima. Para este caso, con una barra numero 3 es más que suficiente ya que el área de esta es 0,71 cm² y en ningún nivel exige más de 0,10 cm².

Tabla 12: Resultados del diseño de los antepechos mediante dovelas.

Entrepiso	Distancia entre Anclajes	hx	ax	Mp	Fp	Mu	ρ	As Req (cm ²)	Nomenclatura	A _s SUMINISTRADO (cm ²)	A _s REQUERIDO / A _s SUMINISTRADO	Valoración	Configuración
Cimentación	0,17 m	0,00 m	0,55	41 kg	0,11 kN	63018 N mm	0,0007	0,03	#3	0,71	20,45	CUMPLE	1#3@0,17
Nivel 2	0,17 m	3,00 m	0,74	41 kg	0,12 kN	73520 N mm	0,0008	0,04	#3	0,71	17,49	CUMPLE	1#3@0,17
Nivel 3	0,17 m	6,00 m	0,92	41 kg	0,15 kN	91901 N mm	0,0010	0,05	#3	0,71	13,95	CUMPLE	1#3@0,17
Nivel 4	0,17 m	9,00 m	1,10	41 kg	0,18 kN	110281 N mm	0,0013	0,06	#3	0,71	11,59	CUMPLE	1#3@0,17
Nivel 5	0,17 m	12,00 m	1,29	41 kg	0,21 kN	128661 N mm	0,0015	0,07	#3	0,71	9,91	CUMPLE	1#3@0,17
Nivel 6	0,17 m	15,00 m	1,53	41 kg	0,26 kN	153168 N mm	0,0018	0,09	#3	0,71	8,29	CUMPLE	1#3@0,17
Cubierta	0,17 m	18,00 m	1,84	41 kg	0,31 kN	183801 N mm	0,0021	0,10	#3	0,71	6,87	CUMPLE	1#3@0,17

Fuente: Elaboración propia.

En la *Tabla 12* es posible apreciar los resultados obtenidos utilizando anclajes cada 0,17 m, y se observa que con esta configuración se estaría sobrediseñando en todos los niveles de la estructura, esto al ver que la relación entre el acero suministrado y el requerido para el nivel de cimentación es 20,45 mientras que para el nivel de cubierta esta relación es 6,87. Partiendo de lo anterior, mediante el software que se realizó es posible encontrar el diseño

más óptimo para este antepecho. A continuación, se presentan todos los resultados y se concluye cuál es el diseño más óptimo.

Tabla 13: Resultados del diseño de los antepechos mediante dovelas

Entrepiso	Distancia entre Anclajes	hx	ax	Mp	Fp	Mu	ρ	As Req (cm ²)	Nomenclatura	As SUMINISTRADO (cm ²)	As SUMINISTRADO/As REQUERIDO	Valoración	Configuración
Cimentación	0,17 m	0,00 m	0,55	41 kg	0,11 kN	63018 N mm	0,0007	0,03	#3	0,71	20,45	CUMPLE	1#3@0,17
Cimentación	0,34 m	0,00 m	0,55	82 kg	0,21 kN	126035 N mm	0,0014	0,07	#3	0,71	10,12	CUMPLE	1#3@0,34
Cimentación	0,51 m	0,00 m	0,55	122 kg	0,32 kN	189053 N mm	0,0022	0,11	#3	0,71	6,67	CUMPLE	1#3@0,51
Cimentación	0,68 m	0,00 m	0,55	163 kg	0,42 kN	252070 N mm	0,0030	0,14	#3	0,71	4,95	CUMPLE	1#3@0,68
Cimentación	0,85 m	0,00 m	0,55	204 kg	0,53 kN	315088 N mm	0,0037	0,18	#3	0,71	3,91	CUMPLE	1#3@0,85
Cimentación	1,02 m	0,00 m	0,55	245 kg	0,63 kN	378105 N mm	0,0045	0,22	#3	0,71	3,22	CUMPLE	1#3@1,02
Cimentación	1,19 m	0,00 m	0,55	286 kg	0,74 kN	441123 N mm	0,0054	0,26	#3	0,71	2,73	CUMPLE	1#3@1,19
Cimentación	1,36 m	0,00 m	0,55	326 kg	0,84 kN	504140 N mm	0,0062	0,30	#3	0,71	2,35	CUMPLE	1#3@1,36
Cimentación	1,53 m	0,00 m	0,55	367 kg	0,95 kN	567158 N mm	0,0071	0,34	#3	0,71	2,06	CUMPLE	1#3@1,53
Cimentación	1,70 m	0,00 m	0,55	408 kg	1,05 kN	630175 N mm	0,0080	0,39	#3	0,71	1,83	CUMPLE	1#3@1,7
Cimentación	1,87 m	0,00 m	0,55	449 kg	1,16 kN	693193 N mm	0,0089	0,43	#3	0,71	1,64	CUMPLE	1#3@1,87
Cimentación	2,04 m	0,00 m	0,55	490 kg	1,26 kN	756210 N mm	0,0099	0,48	#3	0,71	1,48	CUMPLE	1#3@2,04
Cimentación	2,21 m	0,00 m	0,55	530 kg	1,37 kN	819228 N mm	0,0109	0,53	#3	0,71	1,34	CUMPLE	1#3@2,21
Cimentación	2,38 m	0,00 m	0,55	571 kg	1,47 kN	882245 N mm	0,0119	0,58	#3	0,71	1,23	CUMPLE	1#3@2,38
Cimentación	2,55 m	0,00 m	0,55	612 kg	1,58 kN	945263 N mm	0,0130	0,63	#3	0,71	1,12	CUMPLE	1#3@2,55
Cimentación	2,72 m	0,00 m	0,55	653 kg	1,68 kN	1008281 N mm	0,0142	0,69	#3	0,71	1,03	CUMPLE	1#3@2,72
Cimentación	2,89 m	0,00 m	0,55	694 kg	1,79 kN	1071298 N mm	0,0154	0,75	#3	0,71	0,95	NO CUMPLE	1#3@2,89
Cimentación	3,06 m	0,00 m	0,55	734 kg	1,89 kN	1134316 N mm	0,0167	0,81	#3	0,71	0,88	NO CUMPLE	1#3@3,06
Cimentación	3,23 m	0,00 m	0,55	775 kg	2,00 kN	1197333 N mm	0,0181	0,88	#3	0,71	0,81	NO CUMPLE	1#3@3,23
Cimentación	3,40 m	0,00 m	0,55	816 kg	2,10 kN	1260351 N mm	0,0196	0,95	#3	0,71	0,75	NO CUMPLE	1#3@3,4
Nivel 2	0,17 m	3,00 m	0,74	41 kg	0,12 kN	73520 N mm	0,0008	0,04	#3	0,71	17,49	CUMPLE	1#3@0,17
Nivel 2	0,34 m	3,00 m	0,74	82 kg	0,25 kN	147041 N mm	0,0017	0,08	#3	0,71	8,64	CUMPLE	1#3@0,34
Nivel 2	0,51 m	3,00 m	0,74	122 kg	0,37 kN	220561 N mm	0,0026	0,12	#3	0,71	5,69	CUMPLE	1#3@0,51
Nivel 2	0,68 m	3,00 m	0,74	163 kg	0,49 kN	294082 N mm	0,0035	0,17	#3	0,71	4,21	CUMPLE	1#3@0,68
Nivel 2	0,85 m	3,00 m	0,74	204 kg	0,61 kN	367602 N mm	0,0044	0,21	#3	0,71	3,32	CUMPLE	1#3@0,85
Nivel 2	1,02 m	3,00 m	0,74	245 kg	0,74 kN	441123 N mm	0,0054	0,26	#3	0,71	2,73	CUMPLE	1#3@1,02
Nivel 2	1,19 m	3,00 m	0,74	286 kg	0,86 kN	514643 N mm	0,0064	0,31	#3	0,71	2,30	CUMPLE	1#3@1,19
Nivel 2	1,36 m	3,00 m	0,74	326 kg	0,98 kN	588164 N mm	0,0074	0,36	#3	0,71	1,98	CUMPLE	1#3@1,36
Nivel 2	1,53 m	3,00 m	0,74	367 kg	1,10 kN	661684 N mm	0,0085	0,41	#3	0,71	1,73	CUMPLE	1#3@1,53
Nivel 2	1,70 m	3,00 m	0,74	408 kg	1,23 kN	735205 N mm	0,0096	0,46	#3	0,71	1,53	CUMPLE	1#3@1,7
Nivel 2	1,87 m	3,00 m	0,74	449 kg	1,35 kN	808725 N mm	0,0107	0,52	#3	0,71	1,37	CUMPLE	1#3@1,87
Nivel 2	2,04 m	3,00 m	0,74	490 kg	1,47 kN	882245 N mm	0,0119	0,58	#3	0,71	1,23	CUMPLE	1#3@2,04
Nivel 2	2,21 m	3,00 m	0,74	530 kg	1,59 kN	955766 N mm	0,0132	0,64	#3	0,71	1,11	CUMPLE	1#3@2,21
Nivel 2	2,38 m	3,00 m	0,74	571 kg	1,72 kN	1029286 N mm	0,0146	0,71	#3	0,71	1,00	CUMPLE	1#3@2,38
Nivel 2	2,55 m	3,00 m	0,74	612 kg	1,84 kN	1102807 N mm	0,0161	0,78	#3	0,71	0,91	NO CUMPLE	1#3@2,55
Nivel 2	2,72 m	3,00 m	0,74	653 kg	1,96 kN	1176327 N mm	0,0176	0,86	#3	0,71	0,83	NO CUMPLE	1#3@2,72
Nivel 2	2,89 m	3,00 m	0,74	694 kg	2,08 kN	1249848 N mm	0,0194	0,94	#3	0,71	0,76	NO CUMPLE	1#3@2,89
Nivel 2	3,06 m	3,00 m	0,74	734 kg	2,21 kN	1323368 N mm	0,0213	1,03	#3	0,71	0,69	NO CUMPLE	1#3@3,06
Nivel 2	3,23 m	3,00 m	0,74	775 kg	2,33 kN	1396889 N mm	0,0236	1,14	#3	0,71	0,62	NO CUMPLE	1#3@3,23
Nivel 2	3,40 m	3,00 m	0,74	816 kg	2,45 kN	1470409 N mm	0,0264	1,28	#3	0,71	0,55	NO CUMPLE	1#3@3,4
Nivel 3	0,17 m	6,00 m	0,92	41 kg	0,15 kN	91901 N mm	0,0010	0,05	#3	0,71	13,95	CUMPLE	1#3@0,17
Nivel 3	0,34 m	6,00 m	0,92	82 kg	0,31 kN	183801 N mm	0,0021	0,10	#3	0,71	6,87	CUMPLE	1#3@0,34
Nivel 3	0,51 m	6,00 m	0,92	122 kg	0,46 kN	275702 N mm	0,0033	0,16	#3	0,71	4,50	CUMPLE	1#3@0,51
Nivel 3	0,68 m	6,00 m	0,92	163 kg	0,61 kN	367602 N mm	0,0044	0,21	#3	0,71	3,32	CUMPLE	1#3@0,68
Nivel 3	0,85 m	6,00 m	0,92	204 kg	0,77 kN	459503 N mm	0,0056	0,27	#3	0,71	2,61	CUMPLE	1#3@0,85
Nivel 3	1,02 m	6,00 m	0,92	245 kg	0,92 kN	551403 N mm	0,0069	0,33	#3	0,71	2,13	CUMPLE	1#3@1,02
Nivel 3	1,19 m	6,00 m	0,92	286 kg	1,07 kN	643304 N mm	0,0082	0,40	#3	0,71	1,79	CUMPLE	1#3@1,19
Nivel 3	1,36 m	6,00 m	0,92	326 kg	1,23 kN	735205 N mm	0,0096	0,46	#3	0,71	1,53	CUMPLE	1#3@1,36
Nivel 3	1,53 m	6,00 m	0,92	367 kg	1,38 kN	827105 N mm	0,0110	0,53	#3	0,71	1,33	CUMPLE	1#3@1,53
Nivel 3	1,70 m	6,00 m	0,92	408 kg	1,53 kN	919006 N mm	0,0126	0,61	#3	0,71	1,16	CUMPLE	1#3@1,7
Nivel 3	1,87 m	6,00 m	0,92	449 kg	1,68 kN	1010906 N mm	0,0142	0,69	#3	0,71	1,03	CUMPLE	1#3@1,87

Nivel 3	2,04 m	6,00 m	0,92	490 kg	1,84 kN	1102807 N mm	0,0161	0,78	#3	0,71	0,91	NO CUMPLE	1#3@2,04
Nivel 3	2,21 m	6,00 m	0,92	530 kg	1,99 kN	1194707 N mm	0,0180	0,88	#3	0,71	0,81	NO CUMPLE	1#3@2,21
Nivel 3	2,38 m	6,00 m	0,92	571 kg	2,14 kN	1286608 N mm	0,0203	0,99	#3	0,71	0,72	NO CUMPLE	1#3@2,38
Nivel 3	2,55 m	6,00 m	0,92	612 kg	2,30 kN	1378509 N mm	0,0230	1,11	#3	0,71	0,64	NO CUMPLE	1#3@2,55
Nivel 3	2,72 m	6,00 m	0,92	653 kg	2,45 kN	1470409 N mm	0,0264	1,28	#3	0,71	0,55	NO CUMPLE	1#3@2,72
Nivel 3	2,89 m	6,00 m	0,92	694 kg	2,60 kN	1562310 N mm	0,0329	1,59	#3	0,71	0,45	NO CUMPLE	1#3@2,89
Nivel 3	3,06 m	6,00 m	0,92	734 kg	2,76 kN	1654210 N mm	N/A	N/A	#3	0,71	N/A	NO CUMPLE	1#3@3,06
Nivel 3	3,23 m	6,00 m	0,92	775 kg	2,91 kN	1746111 N mm	N/A	N/A	#3	0,71	N/A	NO CUMPLE	1#3@3,23
Nivel 3	3,40 m	6,00 m	0,92	816 kg	3,06 kN	1838011 N mm	N/A	N/A	#3	0,71	N/A	NO CUMPLE	1#3@3,4
Nivel 4	0,17 m	9,00 m	1,10	41 kg	0,18 kN	110281 N mm	0,0013	0,06	#3	0,71	11,59	CUMPLE	1#3@0,17
Nivel 4	0,34 m	9,00 m	1,10	82 kg	0,37 kN	220561 N mm	0,0026	0,12	#3	0,71	5,69	CUMPLE	1#3@0,34
Nivel 4	0,51 m	9,00 m	1,10	122 kg	0,55 kN	330842 N mm	0,0039	0,19	#3	0,71	3,71	CUMPLE	1#3@0,51
Nivel 4	0,68 m	9,00 m	1,10	163 kg	0,74 kN	441123 N mm	0,0054	0,26	#3	0,71	2,73	CUMPLE	1#3@0,68
Nivel 4	0,85 m	9,00 m	1,10	204 kg	0,92 kN	551403 N mm	0,0069	0,33	#3	0,71	2,13	CUMPLE	1#3@0,85
Nivel 4	1,02 m	9,00 m	1,10	245 kg	1,10 kN	661684 N mm	0,0085	0,41	#3	0,71	1,73	CUMPLE	1#3@1,02
Nivel 4	1,19 m	9,00 m	1,10	286 kg	1,29 kN	771965 N mm	0,0101	0,49	#3	0,71	1,44	CUMPLE	1#3@1,19
Nivel 4	1,36 m	9,00 m	1,10	326 kg	1,47 kN	882245 N mm	0,0119	0,58	#3	0,71	1,23	CUMPLE	1#3@1,36
Nivel 4	1,53 m	9,00 m	1,10	367 kg	1,65 kN	992526 N mm	0,0139	0,67	#3	0,71	1,05	CUMPLE	1#3@1,53
Nivel 4	1,70 m	9,00 m	1,10	408 kg	1,84 kN	1102807 N mm	0,0161	0,78	#3	0,71	0,91	NO CUMPLE	1#3@1,7
Nivel 4	1,87 m	9,00 m	1,10	449 kg	2,02 kN	1213088 N mm	0,0185	0,90	#3	0,71	0,79	NO CUMPLE	1#3@1,87
Nivel 4	2,04 m	9,00 m	1,10	490 kg	2,21 kN	1323368 N mm	0,0213	1,03	#3	0,71	0,69	NO CUMPLE	1#3@2,04
Nivel 4	2,21 m	9,00 m	1,10	530 kg	2,39 kN	1433649 N mm	0,0249	1,21	#3	0,71	0,59	NO CUMPLE	1#3@2,21
Nivel 4	2,38 m	9,00 m	1,10	571 kg	2,57 kN	1543930 N mm	0,0308	1,49	#3	0,71	0,48	NO CUMPLE	1#3@2,38
Nivel 4	2,55 m	9,00 m	1,10	612 kg	2,76 kN	1654210 N mm	N/A	N/A	#3	0,71	N/A	NO CUMPLE	1#3@2,55
Nivel 4	2,72 m	9,00 m	1,10	653 kg	2,94 kN	1764491 N mm	N/A	N/A	#3	0,71	N/A	NO CUMPLE	1#3@2,72
Nivel 4	2,89 m	9,00 m	1,10	694 kg	3,12 kN	1874772 N mm	N/A	N/A	#3	0,71	N/A	NO CUMPLE	1#3@2,89
Nivel 4	3,06 m	9,00 m	1,10	734 kg	3,31 kN	1985052 N mm	N/A	N/A	#3	0,71	N/A	NO CUMPLE	1#3@3,06
Nivel 4	3,23 m	9,00 m	1,10	775 kg	3,49 kN	2095333 N mm	N/A	N/A	#3	0,71	N/A	NO CUMPLE	1#3@3,23
Nivel 4	3,40 m	9,00 m	1,10	816 kg	3,68 kN	2205614 N mm	N/A	N/A	#3	0,71	N/A	NO CUMPLE	1#3@3,4
Nivel 5	0,17 m	12,00 m	1,29	41 kg	0,21 kN	128661 N mm	0,0015	0,07	#3	0,71	9,91	CUMPLE	1#3@0,17
Nivel 5	0,34 m	12,00 m	1,29	82 kg	0,43 kN	257322 N mm	0,0030	0,15	#3	0,71	4,84	CUMPLE	1#3@0,34
Nivel 5	0,51 m	12,00 m	1,29	122 kg	0,64 kN	385982 N mm	0,0046	0,23	#3	0,71	3,15	CUMPLE	1#3@0,51
Nivel 5	0,68 m	12,00 m	1,29	163 kg	0,86 kN	514643 N mm	0,0064	0,31	#3	0,71	2,30	CUMPLE	1#3@0,68
Nivel 5	0,85 m	12,00 m	1,29	204 kg	1,07 kN	643304 N mm	0,0082	0,40	#3	0,71	1,79	CUMPLE	1#3@0,85
Nivel 5	1,02 m	12,00 m	1,29	245 kg	1,29 kN	771965 N mm	0,0101	0,49	#3	0,71	1,44	CUMPLE	1#3@1,02
Nivel 5	1,19 m	12,00 m	1,29	286 kg	1,50 kN	900626 N mm	0,0123	0,59	#3	0,71	1,19	CUMPLE	1#3@1,19
Nivel 5	1,36 m	12,00 m	1,29	326 kg	1,72 kN	1029286 N mm	0,0146	0,71	#3	0,71	1,00	CUMPLE	1#3@1,36
Nivel 5	1,53 m	12,00 m	1,29	367 kg	1,93 kN	1157947 N mm	0,0172	0,84	#3	0,71	0,85	NO CUMPLE	1#3@1,53
Nivel 5	1,70 m	12,00 m	1,29	408 kg	2,14 kN	1286608 N mm	0,0203	0,99	#3	0,71	0,72	NO CUMPLE	1#3@1,7
Nivel 5	1,87 m	12,00 m	1,29	449 kg	2,36 kN	1415269 N mm	0,0242	1,18	#3	0,71	0,60	NO CUMPLE	1#3@1,87
Nivel 5	2,04 m	12,00 m	1,29	490 kg	2,57 kN	1543930 N mm	0,0308	1,49	#3	0,71	0,48	NO CUMPLE	1#3@2,04
Nivel 5	2,21 m	12,00 m	1,29	530 kg	2,79 kN	1672590 N mm	N/A	N/A	#3	0,71	N/A	NO CUMPLE	1#3@2,21
Nivel 5	2,38 m	12,00 m	1,29	571 kg	3,00 kN	1801251 N mm	N/A	N/A	#3	0,71	N/A	NO CUMPLE	1#3@2,38
Nivel 5	2,55 m	12,00 m	1,29	612 kg	3,22 kN	1929912 N mm	N/A	N/A	#3	0,71	N/A	NO CUMPLE	1#3@2,55
Nivel 5	2,72 m	12,00 m	1,29	653 kg	3,43 kN	2058573 N mm	N/A	N/A	#3	0,71	N/A	NO CUMPLE	1#3@2,72
Nivel 5	2,89 m	12,00 m	1,29	694 kg	3,65 kN	2187234 N mm	N/A	N/A	#3	0,71	N/A	NO CUMPLE	1#3@2,89
Nivel 5	3,06 m	12,00 m	1,29	734 kg	3,86 kN	2315894 N mm	N/A	N/A	#3	0,71	N/A	NO CUMPLE	1#3@3,06
Nivel 5	3,23 m	12,00 m	1,29	775 kg	4,07 kN	2444555 N mm	N/A	N/A	#3	0,71	N/A	NO CUMPLE	1#3@3,23
Nivel 5	3,40 m	12,00 m	1,29	816 kg	4,29 kN	2573216 N mm	N/A	N/A	#3	0,71	N/A	NO CUMPLE	1#3@3,4
Nivel 6	0,17 m	15,00 m	1,53	41 kg	0,26 kN	153168 N mm	0,0018	0,09	#3	0,71	8,29	CUMPLE	1#3@0,17
Nivel 6	0,34 m	15,00 m	1,53	82 kg	0,51 kN	306335 N mm	0,0036	0,18	#3	0,71	4,03	CUMPLE	1#3@0,34
Nivel 6	0,51 m	15,00 m	1,53	122 kg	0,77 kN	459503 N mm	0,0056	0,27	#3	0,71	2,61	CUMPLE	1#3@0,51
Nivel 6	0,68 m	15,00 m	1,53	163 kg	1,02 kN	612670 N mm	0,0077	0,38	#3	0,71	1,89	CUMPLE	1#3@0,68
Nivel 6	0,85 m	15,00 m	1,53	204 kg	1,28 kN	765838 N mm	0,0100	0,49	#3	0,71	1,46	CUMPLE	1#3@0,85
Nivel 6	1,02 m	15,00 m	1,53	245 kg	1,53 kN	919006 N mm	0,0126	0,61	#3	0,71	1,16	CUMPLE	1#3@1,02
Nivel 6	1,19 m	15,00 m	1,53	286 kg	1,79 kN	1072173 N mm	0,0154	0,75	#3	0,71	0,95	NO CUMPLE	1#3@1,19
Nivel 6	1,36 m	15,00 m	1,53	326 kg	2,04 kN	1225341 N mm	0,0188	0,91	#3	0,71	0,78	NO CUMPLE	1#3@1,36
Nivel 6	1,53 m	15,00 m	1,53	367 kg	2,30 kN	1378509 N mm	0,0230	1,11	#3	0,71	0,64	NO CUMPLE	1#3@1,53
Nivel 6	1,70 m	15,00 m	1,53	408 kg	2,55 kN	1531676 N mm	0,0298	1,45	#3	0,71	0,49	NO CUMPLE	1#3@1,7
Nivel 6	1,87 m	15,00 m	1,53	449 kg	2,81 kN	1684844 N mm	N/A	N/A	#3	0,71	N/A	NO CUMPLE	1#3@1,87
Nivel 6	2,04 m	15,00 m	1,53	490 kg	3,06 kN	1838011 N mm	N/A	N/A	#3	0,71	N/A	NO CUMPLE	1#3@2,04
Nivel 6	2,21 m	15,00 m	1,53	530 kg	3,32 kN	1991179 N mm	N/A	N/A	#3	0,71	N/A	NO CUMPLE	1#3@2,21
Nivel 6	2,38 m	15,00 m	1,53	571 kg	3,57 kN	2144347 N mm	N/A	N/A	#3	0,71	N/A	NO CUMPLE	1#3@2,38
Nivel 6	2,55 m	15,00 m	1,53	612 kg	3,83 kN	2297514 N mm	N/A	N/A	#3	0,71	N/A	NO CUMPLE	1#3@2,55
Nivel 6	2,72 m	15,00 m	1,53	653 kg	4,08 kN	2450682 N mm	N/A	N/A	#3	0,71	N/A	NO CUMPLE	1#3@2,72
Nivel 6	2,89 m	15,00 m	1,53	694 kg	4,34 kN	2603849 N mm	N/A	N/A	#3	0,71	N/A	NO CUMPLE	1#3@2,89
Nivel 6	3,06 m	15,00 m	1,53	734 kg	4,60 kN	2757017 N mm	N/A	N/A	#3	0,71	N/A	NO CUMPLE	1#3@3,06
Nivel 6	3,23 m	15,00 m	1,53	775 kg	4,85 kN	2910185 N mm	N/A	N/A	#3	0,71	N/A	NO CUMPLE	1#3@3,23
Nivel 6	3,40 m	15,00 m	1,53	816 kg	5,11 kN	3063352 N mm	N/A	N/A	#3	0,71	N/A	NO CUMPLE	1#3@3,4

Cubierta	0,17 m	18,00 m	1,84	41 kg	0,31 kN	183801 N mm	0,0021	0,10	#3	0,71	6,87	CUMPLE	1#3@0,17
Cubierta	0,34 m	18,00 m	1,84	82 kg	0,61 kN	367602 N mm	0,0044	0,21	#3	0,71	3,32	CUMPLE	1#3@0,34
Cubierta	0,51 m	18,00 m	1,84	122 kg	0,92 kN	551403 N mm	0,0069	0,33	#3	0,71	2,13	CUMPLE	1#3@0,51
Cubierta	0,68 m	18,00 m	1,84	163 kg	1,23 kN	735205 N mm	0,0096	0,46	#3	0,71	1,53	CUMPLE	1#3@0,68
Cubierta	0,85 m	18,00 m	1,84	204 kg	1,53 kN	919006 N mm	0,0126	0,61	#3	0,71	1,16	CUMPLE	1#3@0,85
Cubierta	1,02 m	18,00 m	1,84	245 kg	1,84 kN	1102807 N mm	0,0161	0,78	#3	0,71	0,91	NO CUMPLE	1#3@1,02
Cubierta	1,19 m	18,00 m	1,84	286 kg	2,14 kN	1286608 N mm	0,0203	0,99	#3	0,71	0,72	NO CUMPLE	1#3@1,19
Cubierta	1,36 m	18,00 m	1,84	326 kg	2,45 kN	1470409 N mm	0,0264	1,28	#3	0,71	0,55	NO CUMPLE	1#3@1,36
Cubierta	1,53 m	18,00 m	1,84	367 kg	2,76 kN	1654210 N mm	N/A	N/A	#3	0,71	N/A	NO CUMPLE	1#3@1,53
Cubierta	1,70 m	18,00 m	1,84	408 kg	3,06 kN	1838011 N mm	N/A	N/A	#3	0,71	N/A	NO CUMPLE	1#3@1,7
Cubierta	1,87 m	18,00 m	1,84	449 kg	3,37 kN	2021813 N mm	N/A	N/A	#3	0,71	N/A	NO CUMPLE	1#3@1,87
Cubierta	2,04 m	18,00 m	1,84	490 kg	3,68 kN	2205614 N mm	N/A	N/A	#3	0,71	N/A	NO CUMPLE	1#3@2,04
Cubierta	2,21 m	18,00 m	1,84	530 kg	3,98 kN	2389415 N mm	N/A	N/A	#3	0,71	N/A	NO CUMPLE	1#3@2,21
Cubierta	2,38 m	18,00 m	1,84	571 kg	4,29 kN	2573216 N mm	N/A	N/A	#3	0,71	N/A	NO CUMPLE	1#3@2,38
Cubierta	2,55 m	18,00 m	1,84	612 kg	4,60 kN	2757017 N mm	N/A	N/A	#3	0,71	N/A	NO CUMPLE	1#3@2,55
Cubierta	2,72 m	18,00 m	1,84	653 kg	4,90 kN	2940818 N mm	N/A	N/A	#3	0,71	N/A	NO CUMPLE	1#3@2,72
Cubierta	2,89 m	18,00 m	1,84	694 kg	5,21 kN	3124619 N mm	N/A	N/A	#3	0,71	N/A	NO CUMPLE	1#3@2,89
Cubierta	3,06 m	18,00 m	1,84	734 kg	5,51 kN	3308420 N mm	N/A	N/A	#3	0,71	N/A	NO CUMPLE	1#3@3,06
Cubierta	3,23 m	18,00 m	1,84	775 kg	5,82 kN	3492222 N mm	N/A	N/A	#3	0,71	N/A	NO CUMPLE	1#3@3,23
Cubierta	3,40 m	18,00 m	1,84	816 kg	6,13 kN	3676023 N mm	N/A	N/A	#3	0,71	N/A	NO CUMPLE	1#3@3,4

Fuente: Elaboración propia.

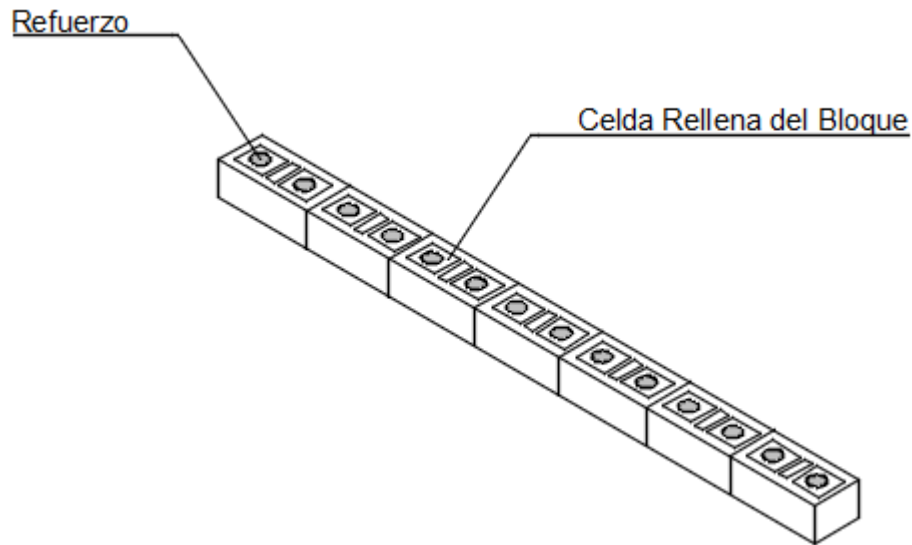
A continuación, se presentan los resultados que cumplen, siendo el primer valor en la columna de “Distancia entre Anclajes”, la configuración más óptima para el antepecho en cada uno de los niveles de la estructura.

Entrepiso	Distancia entre Anclajes	Configuración	
Cubierta	0,85 m	1#3@0,85	
	0,68 m	1#3@0,68	
	0,51 m	1#3@0,51	
	0,34 m	1#3@0,34	
	0,17 m	1#3@0,17	
	Losas de cimentación	2,72 m	1#3@2,72
		2,55 m	1#3@2,55
2,38 m		1#3@2,38	
2,21 m		1#3@2,21	
2,04 m		1#3@2,04	
1,87 m		1#3@1,87	
1,70 m		1#3@1,7	
1,53 m		1#3@1,53	
1,36 m		1#3@1,36	
1,19 m		1#3@1,19	
1,02 m		1#3@1,02	
0,85 m		1#3@0,85	
0,68 m		1#3@0,68	
0,51 m		1#3@0,51	
0,34 m	1#3@0,34		
0,17 m	1#3@0,17		
Nivel 2	2,38 m	1#3@2,38	
	2,21 m	1#3@2,21	

	2,04 m	1#3@2,04
	1,87 m	1#3@1,87
	1,70 m	1#3@1,7
	1,53 m	1#3@1,53
	1,36 m	1#3@1,36
	1,19 m	1#3@1,19
	1,02 m	1#3@1,02
	0,85 m	1#3@0,85
	0,68 m	1#3@0,68
	0,51 m	1#3@0,51
	0,34 m	1#3@0,34
	0,17 m	1#3@0,17
Nivel 3	1,87 m	1#3@1,87
	1,70 m	1#3@1,7
	1,53 m	1#3@1,53
	1,36 m	1#3@1,36
	1,19 m	1#3@1,19
	1,02 m	1#3@1,02
	0,85 m	1#3@0,85
	0,68 m	1#3@0,68
	0,51 m	1#3@0,51
	0,34 m	1#3@0,34
	0,17 m	1#3@0,17
Nivel 4	1,53 m	1#3@1,53
	1,36 m	1#3@1,36
	1,19 m	1#3@1,19
	1,02 m	1#3@1,02
	0,85 m	1#3@0,85
	0,68 m	1#3@0,68
	0,51 m	1#3@0,51
	0,34 m	1#3@0,34
	0,17 m	1#3@0,17
Nivel 5	1,36 m	1#3@1,36
	1,19 m	1#3@1,19
	1,02 m	1#3@1,02
	0,85 m	1#3@0,85
	0,68 m	1#3@0,68
	0,51 m	1#3@0,51
	0,34 m	1#3@0,34
	0,17 m	1#3@0,17
Nivel 6	1,02 m	1#3@1,02
	0,85 m	1#3@0,85
	0,68 m	1#3@0,68
	0,51 m	1#3@0,51
	0,34 m	1#3@0,34
	0,17 m	1#3@0,17

Lo anterior significa que para el nivel de cimentación, colocando anclajes cada 2,72 m es más que suficiente y no se estaría sobrediseñando, mientras que para el nivel de cubierta es necesario colocar anclajes cada 0,85 m ya que la fuerza sísmica que actúa en el E.N.E es mayor a medida que la altura aumenta.

Ilustración 34: Esquema distribución del refuerzo con dovelas.



Fuente: Elaboración propia.

14.4.2.2 MEDIANTE COLUMNETAS

Primeramente, se define el tamaño de las columnetas, que en este caso serán de 150 mm (b) por 115 mm (h). Seguidamente se fija la cantidad de columnetas y la distancia centro a centro entre estas. Como el largo del Bloque #5 es 33 cm, más dos centímetros de mortero de pega en ambos lados, la distancia mínima centro a centro entre columnetas podría ser 50 cm. De este modo se define la cantidad máxima de columnetas que podrían ir, y se comienza el diseño.

Inicialmente el proceso de diseño es el igual que mediante dovelas, los parámetros de diseño son los mismos y la aceleración horizontal a_x sigue siendo la misma, mientras que la masa del E.N.E, fuerza sísmica horizontal F_p y momento de diseño son diferentes y es necesario calcularlos. Para los cálculos, se tomará la distancia centro a centro entre

columnetas como 1,50 m, y se calcula la masa del E.N.E de la misma forma que se calculó en el diseño mediante dovelas.

$$M_p = Carga \left(\frac{kgf}{m^2} \right) \times Altura \ E.N.E \times Longitud \ Afuerente$$

$$M_p = 200 \frac{kgf}{m^2} \times 1,20 \text{ m} \times 1,50 \text{ m}$$

$$M_p = 360 \text{ kg}$$

Teniendo la masa del Elemento No Estructural ahora se calcula la fuerza sísmica horizontal F_p en cada uno de los niveles.

Para el nivel de la losa de cimentación:

$$F_p = \frac{\frac{0,55 \times 2,50}{6,00} \times 9,81 \times 360}{1000} \geq \frac{\frac{0,35 \times 1,50}{2} \times 9,81 \times 360}{1000}$$

$$F_p = 0,81 \text{ kN} \leq 0,93 \text{ kN}$$

$$F_p = 0,93 \text{ kN}$$

Para el nivel 2:

$$F_p = \frac{\frac{0,74 \times 2,50}{6,00} \times 9,81 \times 360}{1000} \geq \frac{\frac{0,35 \times 1,50}{2} \times 9,81 \times 360}{1000}$$

$$F_p = 1,08 \text{ kN} \geq 0,93 \text{ kN}$$

$$F_p = 1,08 \text{ kN}$$

Para el nivel 3:

$$F_p = \frac{\frac{0,92 \times 2,50}{6,00} \times 9,81 \times 360}{1000} \geq \frac{\frac{0,35 \times 1,50}{2} \times 9,81 \times 360}{1000}$$

$$F_p = 1,35 \text{ kN} \geq 0,93 \text{ kN}$$

$$F_p = 1,35 \text{ kN}$$

Para el nivel 4:

$$F_p = \frac{\frac{1,10 \times 2,50}{6,00} \times 9,81 \times 360}{1000} \geq \frac{\frac{0,35 \times 1,50}{2} \times 9,81 \times 360}{1000}$$

$$F_p = 1,62 \text{ kN} \geq 0,93 \text{ kN}$$

$$F_p = 1,62 \text{ kN}$$

Para el nivel 5:

$$F_p = \frac{\frac{1,29 \times 2,50}{6,00} \times 9,81 \times 360}{1000} \geq \frac{\frac{0,35 \times 1,50}{2} \times 9,81 \times 360}{1000}$$

$$F_p = 1,89 \text{ kN} \geq 0,93 \text{ kN}$$

$$F_p = 1,89 \text{ kN}$$

Para el nivel 6:

$$F_p = \frac{\frac{1,53 \times 2,50}{6,00} \times 9,81 \times 360}{1000} \geq \frac{\frac{0,35 \times 1,50}{2} \times 9,81 \times 360}{1000}$$

$$F_p = 2,25 \text{ kN} \geq 0,93 \text{ kN}$$

$$F_p = 2,25 \text{ kN}$$

Para el nivel de cubierta:

$$F_p = \frac{\frac{1,84 \times 2,50}{6,00} \times 9,81 \times 360}{1000} \geq \frac{\frac{0,35 \times 1,50}{2} \times 9,81 \times 360}{1000}$$

$$F_p = 2,70 \text{ kN} \geq 0,93 \text{ kN}$$

$$F_p = 2,70 \text{ kN}$$

Luego de calcular la fuerza sísmica horizontal, se calcula el momento que esta ejerce sobre el antepecho.

Para el nivel de la losa de cimentación:

$$M_u = 0,93 \times \frac{1,20}{2}$$

$$M_u = 0,556 \text{ kN m}$$

Para el nivel 2:

$$M_u = 1,08 \times \frac{1,20}{2}$$

$$M_u = 0,649 \text{ kN m}$$

Para el nivel 3:

$$M_u = 1,35 \times \frac{1,20}{2}$$

$$M_u = 0,811 \text{ kN m}$$

Para el nivel 4:

$$M_u = 1,62 \times \frac{1,20}{2}$$

$$M_u = 0,973 \text{ kN m}$$

Para el nivel 5:

$$M_u = 1,89 \times \frac{1,20}{2}$$

$$M_u = 1,135 \text{ kN m}$$

Para el nivel 6:

$$M_u = 2,25 \times \frac{1,20}{2}$$

$$M_u = 1,351 \text{ kN m}$$

Para el nivel de cubierta:

$$M_u = 2,70 \times \frac{1,20}{2}$$

$$M_u = 1,621 \text{ kN m}$$

Con los momentos calculados, ya es posible hallar la cuantía requerida y seguidamente el acero requerido. Para el diseño se utilizará concreto de 17,5 MPa y acero de 420 MPa. Acorde a las dimensiones de las columnetas, el ancho de la cara en compresión del elemento (b) es 150 mm, mientras que la distancia desde la fibra extrema en compresión hasta el centroide del refuerzo longitudinal a tracción (d) es 90 mm.

Para el nivel de la losa de cimentación:

$$\rho = \frac{0,90 \times 420 \text{ MPa} \times 150 \text{ mm} \times [90 \text{ mm}]^2 \pm \sqrt{[-0,90 \times 420 \text{ MPa} \times 150 \text{ mm} \times [90 \text{ mm}]^2]^2 - 4 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420 \text{ MPa}]^2}{17,50 \text{ MPa}} \times 150 \text{ mm} \times [90 \text{ mm}]^2 \times 556037 \text{ Nmm}}{2 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420 \text{ MPa}]^2}{17,50 \text{ MPa}} \times 150 \text{ mm} \times [90 \text{ mm}]^2}$$

$$\rho = 0,0012$$

Debido a que se diseña un elemento en concreto (columneta), la cuantía mínima acorde al Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 es 0,0033; en este caso la cuantía fue mucho menor a este valor, por lo que se toma finalmente 0,0033 como cuantía.

$$A_s = 0,0033 \times 15 \text{ cm} \times 9 \text{ cm}$$

$$A_s = 0,45 \text{ cm}^2$$

Para el nivel 2:

$$\rho = \frac{0,90 \times 420 \text{ MPa} \times 150 \text{ mm} \times [90 \text{ mm}]^2 \pm \sqrt{[-0,90 \times 420 \text{ MPa} \times 150 \text{ mm} \times [90 \text{ mm}]^2]^2 - 4 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420 \text{ MPa}]^2}{17,50 \text{ MPa}} \times 150 \text{ mm} \times [90 \text{ mm}]^2 \times 648710 \text{ Nmm}}{2 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420 \text{ MPa}]^2}{17,50 \text{ MPa}} \times 150 \text{ mm} \times [90 \text{ mm}]^2}$$

$$\rho = 0,0014$$

$$A_s = 0,0033 \times 15 \text{ cm} \times 9 \text{ cm}$$

$$A_s = 0,45 \text{ cm}^2$$

Para el nivel 3:

$$\rho = \frac{0,90 \times 420 \text{ MPa} \times 150 \text{ mm} \times [90 \text{ mm}]^2 \pm \sqrt{[-0,90 \times 420 \text{ MPa} \times 150 \text{ mm} \times [90 \text{ mm}]^2]^2 - 4 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420 \text{ MPa}]^2}{17,50 \text{ MPa}} \times 150 \text{ mm} \times [90 \text{ mm}]^2 \times 810887 \text{ Nmm}}{2 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420 \text{ MPa}]^2}{17,50 \text{ MPa}} \times 150 \text{ mm} \times [90 \text{ mm}]^2}$$

$$\rho = 0,0018$$

$$A_s = 0,0033 \times 15 \text{ cm} \times 9 \text{ cm}$$

$$A_s = 0,45 \text{ cm}^2$$

Para el nivel 4:

$$\rho = \frac{0,90 \times 420 \text{ MPa} \times 150 \text{ mm} \times [90 \text{ mm}]^2 \pm \sqrt{[-0,90 \times 420 \text{ MPa} \times 150 \text{ mm} \times [90 \text{ mm}]^2]^2 - 4 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420 \text{ MPa}]^2}{17,50 \text{ MPa}} \times 150 \text{ mm} \times [90 \text{ mm}]^2 \times 973065 \text{ Nmm}}{2 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420 \text{ MPa}]^2}{17,50 \text{ MPa}} \times 150 \text{ mm} \times [90 \text{ mm}]^2}$$

$$\rho = 0,0022$$

$$A_s = 0,0033 \times 15 \text{ cm} \times 9 \text{ cm}$$

$$A_s = 0,45 \text{ cm}^2$$

Para el nivel 5:

$$\rho = \frac{0,90 \times 420 \text{ MPa} \times 150 \text{ mm} \times [90 \text{ mm}]^2 \pm \sqrt{[-0,90 \times 420 \text{ MPa} \times 150 \text{ mm} \times [90 \text{ mm}]^2]^2 - 4 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420 \text{ MPa}]^2}{17,50 \text{ MPa}} \times 150 \text{ mm} \times [90 \text{ mm}]^2 \times 1135242 \text{ Nmm}}{2 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420 \text{ MPa}]^2}{17,50 \text{ MPa}} \times 150 \text{ mm} \times [90 \text{ mm}]^2}$$

$$\rho = 0,0026$$

$$A_s = 0,0033 \times 15 \text{ cm} \times 9 \text{ cm}$$

$$A_s = 0,45 \text{ cm}^2$$

Para el nivel 6:

$$\rho = \frac{0,90 \times 420 \text{ MPa} \times 150 \text{ mm} \times [90 \text{ mm}]^2 \pm \sqrt{[-0,90 \times 420 \text{ MPa} \times 150 \text{ mm} \times [90 \text{ mm}]^2]^2 - 4 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420 \text{ MPa}]^2}{17,50 \text{ MPa}} \times 150 \text{ mm} \times [90 \text{ mm}]^2 \times 1351479 \text{ Nmm}}{2 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420 \text{ MPa}]^2}{17,50 \text{ MPa}} \times 150 \text{ mm} \times [90 \text{ mm}]^2}$$

$$\rho = 0,0031$$

$$A_s = 0,0033 \times 15 \text{ cm} \times 9 \text{ cm}$$

$$A_s = 0,45 \text{ cm}^2$$

Para el nivel de cubierta:

$$\rho = \frac{0,90 \times 420 \text{ MPa} \times 150 \text{ mm} \times [90 \text{ mm}]^2 \pm \sqrt{[-0,90 \times 420 \text{ MPa} \times 150 \text{ mm} \times [90 \text{ mm}]^2]^2 - 4 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420 \text{ MPa}]^2}{17,50 \text{ MPa}} \times 150 \text{ mm} \times [90 \text{ mm}]^2 \times 1621775 \text{ Nmm}}{2 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420 \text{ MPa}]^2}{17,50 \text{ MPa}} \times 150 \text{ mm} \times [90 \text{ mm}]^2}$$

$$\rho = 0,0037$$

$$A_s = 0,0037 \times 15 \text{ cm} \times 9 \text{ cm}$$

$$A_s = 0,50 \text{ cm}^2$$

Finalmente, ya habiendo calculado el acero que requieren las columnetas, se selecciona la configuración más óptima. Para este caso, cada columneta requiere solo una barra número 3 ya que el área de esta es $0,71 \text{ cm}^2$ y en ningún nivel se requiere más de $0,50 \text{ cm}^2$.

Tabla 14: Resultados del diseño de los antepechos mediante columnetas.

Entrepiso	Distancia centro a centro Columnetas	h_x	a_x	M_p	F_p	M_u	ρ	$A_{s \text{ Req}} (\text{cm}^2)$	Nomenclatura	Número de barras	A_s SUMINISTRADO (cm^2)	A_s SUMINISTRADO/A REQUERIDO	Valoración	Configuración Columnetas	Refuerzo Columnetas
Cimentación	1,50 m	0,00 m	0,55	360 kg	0,93 kN	556037 N mm	0,0033	0,45	#3	1	0,71	1,59	CUMPLE	Columneta@ 1,5m	1#3
Nivel 2	1,50 m	3,00 m	0,74	360 kg	1,08 kN	648710 N mm	0,0033	0,45	#3	1	0,71	1,59	CUMPLE	Columneta@ 1,5m	1#3
Nivel 3	1,50 m	6,00 m	0,92	360 kg	1,35 kN	810887 N mm	0,0033	0,45	#3	1	0,71	1,59	CUMPLE	Columneta@ 1,5m	1#3
Nivel 4	1,50 m	9,00 m	1,10	360 kg	1,62 kN	973065 N mm	0,0033	0,45	#3	1	0,71	1,59	CUMPLE	Columneta@ 1,5m	1#3
Nivel 5	1,50 m	12,00 m	1,29	360 kg	1,89 kN	1135242 N mm	0,0033	0,45	#3	1	0,71	1,59	CUMPLE	Columneta@ 1,5m	1#3
Nivel 6	1,50 m	15,00 m	1,53	360 kg	2,25 kN	1351479 N mm	0,0033	0,45	#3	1	0,71	1,59	CUMPLE	Columneta@ 1,5m	1#3
Cubierta	1,50 m	18,00 m	1,84	360 kg	2,70 kN	1621775 N mm	0,0037	0,50	#3	1	0,71	1,41	CUMPLE	Columneta@ 1,5m	1#3

Fuente: Elaboración propia.

En la *Tabla 14* es posible apreciar los resultados obtenidos ubicando columnetas cada 1,50 m (centro a centro), y se observa que con esta configuración se lograría un diseño adecuado ya que la relación entre el acero suministrado y el requerido para el nivel de cimentación es 1,59 mientras que para el nivel de cubierta es 1,41, lo que abarcaría un factor de seguridad que no significa que se esté sobrediseñando. A continuación, se presentan todos los resultados y se concluye cuál es el diseño más óptimo.

Tabla 15: Resultados del diseño de los antepechos mediante columnetas.

Entrepiso	Distancia centro a		h_c	α_c	M_D	F_D	M_U	ρ	$A_{s,Req}$ (cm ²)	Nomenclatura	A_s		Valoración	Configuración Columnetas	Refuerzo Columnetas
	centro	Columnetas									SUMINISTRADO (cm ²)	SUMINISTRADO/ A_s REQUERIDO			
Cimentación	0,50 m	0,00 m	0,55	120 kg	0,31 kN	185346 N mm	0,0033	0,45	#3	0,71	1,59	CUMPLE	Columneta@0,5m	1#3	
Cimentación	1,00 m	0,00 m	0,55	240 kg	0,62 kN	370691 N mm	0,0033	0,45	#3	0,71	1,59	CUMPLE	Columneta@1m	1#3	
Cimentación	1,50 m	0,00 m	0,55	360 kg	0,93 kN	556037 N mm	0,0033	0,45	#3	0,71	1,59	CUMPLE	Columneta@1,5m	1#3	
Cimentación	2,00 m	0,00 m	0,55	480 kg	1,24 kN	741383 N mm	0,0033	0,45	#3	0,71	1,59	CUMPLE	Columneta@2m	1#3	
Cimentación	2,50 m	0,00 m	0,55	600 kg	1,54 kN	926728 N mm	0,0033	0,45	#3	0,71	1,59	CUMPLE	Columneta@2,5m	1#3	
Cimentación	3,00 m	0,00 m	0,55	720 kg	1,85 kN	1112074 N mm	0,0033	0,45	#3	0,71	1,59	CUMPLE	Columneta@3m	1#3	
Nivel 2	0,50 m	3,00 m	0,74	120 kg	0,36 kN	216237 N mm	0,0033	0,45	#3	0,71	1,59	CUMPLE	Columneta@0,5m	1#3	
Nivel 2	1,00 m	3,00 m	0,74	240 kg	0,72 kN	432473 N mm	0,0033	0,45	#3	0,71	1,59	CUMPLE	Columneta@1m	1#3	
Nivel 2	1,50 m	3,00 m	0,74	360 kg	1,08 kN	648710 N mm	0,0033	0,45	#3	0,71	1,59	CUMPLE	Columneta@1,5m	1#3	
Nivel 2	2,00 m	3,00 m	0,74	480 kg	1,44 kN	864947 N mm	0,0033	0,45	#3	0,71	1,59	CUMPLE	Columneta@2m	1#3	
Nivel 2	2,50 m	3,00 m	0,74	600 kg	1,80 kN	1081183 N mm	0,0033	0,45	#3	0,71	1,59	CUMPLE	Columneta@2,5m	1#3	
Nivel 2	3,00 m	3,00 m	0,74	720 kg	2,16 kN	1297420 N mm	0,0033	0,45	#3	0,71	1,59	CUMPLE	Columneta@3m	1#3	
Nivel 3	0,50 m	6,00 m	0,92	120 kg	0,45 kN	270296 N mm	0,0033	0,45	#3	0,71	1,59	CUMPLE	Columneta@0,5m	1#3	
Nivel 3	1,00 m	6,00 m	0,92	240 kg	0,90 kN	540592 N mm	0,0033	0,45	#3	0,71	1,59	CUMPLE	Columneta@1m	1#3	
Nivel 3	1,50 m	6,00 m	0,92	360 kg	1,35 kN	810887 N mm	0,0033	0,45	#3	0,71	1,59	CUMPLE	Columneta@1,5m	1#3	
Nivel 3	2,00 m	6,00 m	0,92	480 kg	1,80 kN	1081183 N mm	0,0033	0,45	#3	0,71	1,59	CUMPLE	Columneta@2m	1#3	
Nivel 3	2,50 m	6,00 m	0,92	600 kg	2,25 kN	1351479 N mm	0,0033	0,45	#3	0,71	1,59	CUMPLE	Columneta@2,5m	1#3	
Nivel 3	3,00 m	6,00 m	0,92	720 kg	2,70 kN	1621775 N mm	0,0037	0,50	#3	0,71	1,41	CUMPLE	Columneta@3m	1#3	
Nivel 4	0,50 m	9,00 m	1,10	120 kg	0,54 kN	324355 N mm	0,0033	0,45	#3	0,71	1,59	CUMPLE	Columneta@0,5m	1#3	
Nivel 4	1,00 m	9,00 m	1,10	240 kg	1,08 kN	648710 N mm	0,0033	0,45	#3	0,71	1,59	CUMPLE	Columneta@1m	1#3	
Nivel 4	1,50 m	9,00 m	1,10	360 kg	1,62 kN	973065 N mm	0,0033	0,45	#3	0,71	1,59	CUMPLE	Columneta@1,5m	1#3	
Nivel 4	2,00 m	9,00 m	1,10	480 kg	2,16 kN	1297420 N mm	0,0033	0,45	#3	0,71	1,59	CUMPLE	Columneta@2m	1#3	
Nivel 4	2,50 m	9,00 m	1,10	600 kg	2,70 kN	1621775 N mm	0,0037	0,50	#3	0,71	1,41	CUMPLE	Columneta@2,5m	1#3	
Nivel 4	3,00 m	9,00 m	1,10	720 kg	3,24 kN	1946130 N mm	0,0045	0,61	#3	0,71	1,16	CUMPLE	Columneta@3m	1#3	
Nivel 5	0,50 m	12,00 m	1,29	120 kg	0,63 kN	378414 N mm	0,0033	0,45	#3	0,71	1,59	CUMPLE	Columneta@0,5m	1#3	
Nivel 5	1,00 m	12,00 m	1,29	240 kg	1,26 kN	756828 N mm	0,0033	0,45	#3	0,71	1,59	CUMPLE	Columneta@1m	1#3	
Nivel 5	1,50 m	12,00 m	1,29	360 kg	1,89 kN	1135242 N mm	0,0033	0,45	#3	0,71	1,59	CUMPLE	Columneta@1,5m	1#3	
Nivel 5	2,00 m	12,00 m	1,29	480 kg	2,52 kN	1513656 N mm	0,0035	0,47	#3	0,71	1,52	CUMPLE	Columneta@2m	1#3	
Nivel 5	2,50 m	12,00 m	1,29	600 kg	3,15 kN	1892071 N mm	0,0044	0,59	#3	0,71	1,20	CUMPLE	Columneta@2,5m	1#3	
Nivel 5	3,00 m	12,00 m	1,29	720 kg	3,78 kN	2270485 N mm	0,0053	0,72	#3	1,42	1,97	CUMPLE	Columneta@3m	2#3	
Nivel 6	0,50 m	15,00 m	1,53	120 kg	0,75 kN	450493 N mm	0,0033	0,45	#3	0,71	1,59	CUMPLE	Columneta@0,5m	1#3	
Nivel 6	1,00 m	15,00 m	1,53	240 kg	1,50 kN	900986 N mm	0,0033	0,45	#3	0,71	1,59	CUMPLE	Columneta@1m	1#3	
Nivel 6	1,50 m	15,00 m	1,53	360 kg	2,25 kN	1351479 N mm	0,0033	0,45	#3	0,71	1,59	CUMPLE	Columneta@1,5m	1#3	
Nivel 6	2,00 m	15,00 m	1,53	480 kg	3,00 kN	1801972 N mm	0,0042	0,56	#3	0,71	1,26	CUMPLE	Columneta@2m	1#3	
Nivel 6	2,50 m	15,00 m	1,53	600 kg	3,75 kN	2252465 N mm	0,0053	0,72	#3	1,42	1,98	CUMPLE	Columneta@2,5m	2#3	
Nivel 6	3,00 m	15,00 m	1,53	720 kg	4,50 kN	2702958 N mm	0,0065	0,87	#3	1,42	1,62	CUMPLE	Columneta@3m	2#3	
Cubierta	0,50 m	18,00 m	1,84	120 kg	0,90 kN	540592 N mm	0,0033	0,45	#3	0,71	1,59	CUMPLE	Columneta@0,5m	1#3	
Cubierta	1,00 m	18,00 m	1,84	240 kg	1,80 kN	1081183 N mm	0,0033	0,45	#3	0,71	1,59	CUMPLE	Columneta@1m	1#3	
Cubierta	1,50 m	18,00 m	1,84	360 kg	2,70 kN	1621775 N mm	0,0037	0,50	#3	0,71	1,41	CUMPLE	Columneta@1,5m	1#3	
Cubierta	2,00 m	18,00 m	1,84	480 kg	3,60 kN	2162366 N mm	0,0051	0,68	#3	0,71	1,04	CUMPLE	Columneta@2m	1#3	
Cubierta	2,50 m	18,00 m	1,84	600 kg	4,50 kN	2702958 N mm	0,0065	0,87	#3	1,42	1,62	CUMPLE	Columneta@2,5m	2#3	
Cubierta	3,00 m	18,00 m	1,84	720 kg	5,41 kN	3243549 N mm	0,0080	1,07	#3	1,42	1,32	CUMPLE	Columneta@3m	2#3	

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presentan los resultados que cumplen.

Entrepiso	Distancia centro a centro Columnetas	Configuración Columnetas	Refuerzo Columnetas
Cubierta	3,00 m	Columneta@3m	2#3
	2,50 m	Columneta@2,5m	2#3
	2,00 m	Columneta@2m	1#3
	1,50 m	Columneta@1,5m	1#3
	1,00 m	Columneta@1m	1#3
	0,50 m	Columneta@0,5m	1#3
Losa de cimentación	3,00 m	Columneta@3m	1#3
	2,50 m	Columneta@2,5m	1#3
	2,00 m	Columneta@2m	1#3
	1,50 m	Columneta@1,5m	1#3

	1,00 m	Columneta@1m	1#3
	0,50 m	Columneta@0,5m	1#3
Nivel 2	3,00 m	Columneta@3m	1#3
	2,50 m	Columneta@2,5m	1#3
	2,00 m	Columneta@2m	1#3
	1,50 m	Columneta@1,5m	1#3
	1,00 m	Columneta@1m	1#3
	0,50 m	Columneta@0,5m	1#3
Nivel 3	3,00 m	Columneta@3m	1#3
	2,50 m	Columneta@2,5m	1#3
	2,00 m	Columneta@2m	1#3
	1,50 m	Columneta@1,5m	1#3
	1,00 m	Columneta@1m	1#3
	0,50 m	Columneta@0,5m	1#3
Nivel 4	3,00 m	Columneta@3m	1#3
	2,50 m	Columneta@2,5m	1#3
	2,00 m	Columneta@2m	1#3
	1,50 m	Columneta@1,5m	1#3
	1,00 m	Columneta@1m	1#3
	0,50 m	Columneta@0,5m	1#3
Nivel 5	3,00 m	Columneta@3m	2#3
	2,50 m	Columneta@2,5m	1#3
	2,00 m	Columneta@2m	1#3
	1,50 m	Columneta@1,5m	1#3
	1,00 m	Columneta@1m	1#3
	0,50 m	Columneta@0,5m	1#3
Nivel 6	3,00 m	Columneta@3m	2#3
	2,50 m	Columneta@2,5m	2#3
	2,00 m	Columneta@2m	1#3
	1,50 m	Columneta@1,5m	1#3
	1,00 m	Columneta@1m	1#3
	0,50 m	Columneta@0,5m	1#3

14.4.2.3 DISEÑO MUROS DIVISORIOS

Los muros divisorios tendrán una longitud de 3,37 m y una altura de 2,85 m.

14.4.2.3.1 MEDIANTE DOVELAS

El proceso de diseño de un muro divisorio es el mismo que se siguió en los antepechos, solo que debido al tipo de elemento algunos de los parámetros cambian y el comportamiento de este ante la fuerza sísmica horizontal es diferente (se comporta como una viga simplemente apoyada). Respecto a los antepechos, para este diseño los anclajes deben

ser *no dúctiles*, el coeficiente de capacidad de disipación de energía R_p es 1,5 y el coeficiente de amplificación dinámica a_p es 1,00.

Inicialmente la aceleración horizontal a_x es la misma que se calculó para los antepechos, ya que esta solo depende de la altura de piso, altura de la estructura y parámetros del espectro de respuesta. Para este diseño se tomarán anclajes cada 0,34 m.

Masa del muro divisorio:

$$M_p = 200 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} \times 2,85 \text{ m} \times 0,34 \text{ m}$$

$$M_p = 194 \text{ kg}$$

A continuación, se calcula la fuerza sísmica horizontal F_p .

Para el nivel de la losa de cimentación:

$$F_p = \frac{\frac{0,55 \times 1,00}{1,50} \times 9,81 \times 194}{1000} \geq \frac{\frac{0,35 \times 1,50}{2} \times 9,81 \times 194}{1000}$$

$$F_p = 0,70 \text{ kN} \geq 0,50 \text{ kN}$$

$$F_p = 0,70 \text{ kN}$$

Para el nivel 2:

$$F_p = \frac{\frac{0,74 \times 1,00}{1,50} \times 9,81 \times 194}{1000} \geq \frac{\frac{0,35 \times 1,50}{2} \times 9,81 \times 194}{1000}$$

$$F_p = 0,93 \text{ kN} \geq 0,50 \text{ kN}$$

$$F_p = 0,93 \text{ kN}$$

Para el nivel 3:

$$F_p = \frac{\frac{0,92 \times 1,00}{1,50} \times 9,81 \times 194}{1000} \geq \frac{\frac{0,35 \times 1,50}{2} \times 9,81 \times 194}{1000}$$

$$F_p = 1,16 \text{ kN} \geq 0,50 \text{ kN}$$

$$F_p = 1,16 \text{ kN}$$

Para el nivel 4:

$$F_p = \frac{\frac{1,10 \times 1,00}{1,50} \times 9,81 \times 194}{1000} \geq \frac{\frac{0,35 \times 1,50}{2} \times 9,81 \times 194}{1000}$$

$$F_p = 1,40 \text{ kN} \geq 0,50 \text{ kN}$$

$$F_p = 1,40 \text{ kN}$$

Para el nivel 5:

$$F_p = \frac{\frac{1,29 \times 1,00}{1,50} \times 9,81 \times 194}{1000} \geq \frac{\frac{0,35 \times 1,50}{2} \times 9,81 \times 194}{1000}$$

$$F_p = 1,63 \text{ kN} \geq 0,50 \text{ kN}$$

$$F_p = 1,63 \text{ kN}$$

Para el nivel 6:

$$F_p = \frac{\frac{1,53 \times 1,00}{1,50} \times 9,81 \times 194}{1000} \geq \frac{\frac{0,35 \times 1,50}{2} \times 9,81 \times 194}{1000}$$

$$F_p = 1,94 \text{ kN} \geq 0,50 \text{ kN}$$

$$F_p = 1,94 \text{ kN}$$

Para el nivel de cubierta:

$$F_p = \frac{\frac{1,84 \times 1,00}{1,50} \times 9,81 \times 194}{1000} \geq \frac{\frac{0,35 \times 1,50}{2} \times 9,81 \times 194}{1000}$$

$$F_p = 2,33 \text{ kN} \geq 0,50 \text{ kN}$$

$$F_p = 2,33 \text{ kN}$$

Posterior al cálculo de la fuerza sísmica horizontal F_p , se calcula el momento de diseño utilizando la *ecuación 6*.

$$M_u = \frac{F_p \times \text{Altura del muro}}{4}$$

Para el nivel de la losa de cimentación:

$$M_u = \frac{0,70 \text{ kN} \times 2,85 \text{ m}}{4}$$

$$M_u = 0,50 \text{ kN m}$$

Para el nivel 2:

$$M_u = \frac{0,93 \text{ kN} \times 2,85 \text{ m}}{4}$$

$$M_u = 0,66 \text{ kN m}$$

Para el nivel 3:

$$M_u = \frac{1,16 \text{ kN} \times 2,85 \text{ m}}{4}$$

$$M_u = 0,83 \text{ kN m}$$

Para el nivel 4:

$$M_u = \frac{1,40 \text{ kN} \times 2,85 \text{ m}}{4}$$

$$M_u = 1,00 \text{ kN m}$$

Para el nivel 5:

$$M_u = \frac{1,63 \text{ kN} \times 2,85 \text{ m}}{4}$$

$$M_u = 1,16 \text{ kN m}$$

Para el nivel 6:

$$M_u = \frac{1,94 \text{ kN} \times 2,85 \text{ m}}{4}$$

$$M_u = 1,38 \text{ kN m}$$

Para el nivel de cubierta:

$$M_u = \frac{2,33 \text{ kN} \times 2,85 \text{ m}}{4}$$

$$M_u = 1,66 \text{ kN m}$$

Seguidamente se calcula la cuantía, el acero requerido y se culmina el diseño. Se utilizará concreto de 17,5 MPa y acero de 420 MPa. Acorde a las dimensiones del Bloque número 5, el ancho de la cara en compresión del elemento (b) es 100 mm, mientras que la distancia desde la fibra extrema en compresión hasta el centroide del refuerzo longitudinal a tracción (d) es 48,50 mm.

Para el nivel de la losa de cimentación:

$$\rho = \frac{0,90 \times 420 \text{ MPa} \times 100 \text{ mm} \times [48,50 \text{ mm}]^2 \pm \sqrt{[-0,90 \times 420 \text{ MPa} \times 100 \text{ mm} \times [48,50 \text{ mm}]^2]^2 - 4 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420 \text{ MPa}]^2}{17,50 \text{ MPa}} \times 100 \text{ mm} \times [48,50 \text{ mm}]^2 \times 497642 \text{ Nmm}}{2 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420 \text{ MPa}]^2}{17,50 \text{ MPa}} \times 100 \text{ mm} \times [48,50 \text{ mm}]^2}$$

$$\rho = 0,0061$$

$$A_s = 0,0061 \times 10 \text{ cm} \times 4,85 \text{ cm}$$

$$A_s = 0,30 \text{ cm}^2$$

Para el nivel 2:

$$\rho = \frac{0,90 \times 420 \text{ MPa} \times 100 \text{ mm} \times [48,50 \text{ mm}]^2 \pm \sqrt{[-0,90 \times 420 \text{ MPa} \times 100 \text{ mm} \times [48,50 \text{ mm}]^2]^2 - 4 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420 \text{ MPa}]^2}{17,50 \text{ MPa}} \times 100 \text{ mm} \times [48,50 \text{ mm}]^2 \times 663522 \text{ Nmm}}{2 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420 \text{ MPa}]^2}{17,50 \text{ MPa}} \times 100 \text{ mm} \times [48,50 \text{ mm}]^2}$$

$$\rho = 0,0085$$

$$A_s = 0,0085 \times 10 \text{ cm} \times 4,85 \text{ cm}$$

$$A_s = 0,41 \text{ cm}^2$$

Para el nivel 3:

$$\rho = \frac{0,90 \times 420\text{MPa} \times 100\text{mm} \times [48,50\text{mm}]^2 \pm \sqrt{[-0,90 \times 420\text{MPa} \times 100\text{mm} \times [48,50\text{mm}]^2]^2 - 4 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420 \text{MPa}]^2}{17,50 \text{MPa}} \times 100\text{mm} \times [48,50\text{mm}]^2 \times 829403\text{Nmm}}{2 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420 \text{MPa}]^2}{17,50\text{MPa}} \times 100\text{mm} \times [48,50\text{mm}]^2}$$

$$\rho = 0,0111$$

$$A_s = 0,0111 \times 10 \text{ cm} \times 4,85 \text{ cm}$$

$$A_s = 0,54 \text{ cm}^2$$

Para el nivel 4:

$$\rho = \frac{0,90 \times 420\text{MPa} \times 100\text{mm} \times [48,50\text{mm}]^2 \pm \sqrt{[-0,90 \times 420\text{MPa} \times 100\text{mm} \times [48,50\text{mm}]^2]^2 - 4 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420 \text{MPa}]^2}{17,50 \text{MPa}} \times 100\text{mm} \times [48,50\text{mm}]^2 \times 995283\text{Nmm}}{2 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420 \text{MPa}]^2}{17,50\text{MPa}} \times 100\text{mm} \times [48,50\text{mm}]^2}$$

$$\rho = 0,0139$$

$$A_s = 0,0139 \times 10 \text{ cm} \times 4,85 \text{ cm}$$

$$A_s = 0,68 \text{ cm}^2$$

Para el nivel 5:

$$\rho = \frac{0,90 \times 420\text{MPa} \times 100\text{mm} \times [48,50\text{mm}]^2 \pm \sqrt{[-0,90 \times 420\text{MPa} \times 100\text{mm} \times [48,50\text{mm}]^2]^2 - 4 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420 \text{MPa}]^2}{17,50 \text{MPa}} \times 100\text{mm} \times [48,50\text{mm}]^2 \times 1161164\text{Nmm}}{2 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420 \text{MPa}]^2}{17,50\text{MPa}} \times 100\text{mm} \times [48,50\text{mm}]^2}$$

$$\rho = 0,0173$$

$$A_s = 0,0173 \times 10 \text{ cm} \times 4,85 \text{ cm}$$

$$A_s = 0,84 \text{ cm}^2$$

Para el nivel 6:

$$\rho = \frac{0,90 \times 420\text{MPa} \times 100\text{mm} \times [48,50\text{mm}]^2 \pm \sqrt{[-0,90 \times 420\text{MPa} \times 100\text{mm} \times [48,50\text{mm}]^2]^2 - 4 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420 \text{MPa}]^2}{17,50 \text{MPa}} \times 100\text{mm} \times [48,50\text{mm}]^2 \times 1382338\text{Nmm}}{2 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420 \text{MPa}]^2}{17,50\text{MPa}} \times 100\text{mm} \times [48,50\text{mm}]^2}$$

$$\rho = 0,0231$$

$$A_s = 0,0231 \times 10 \text{ cm} \times 4,85 \text{ cm}$$

$$A_s = 1,12 \text{ cm}^2$$

Para el nivel de cubierta:

$$\rho = \frac{0,90 \times 420\text{MPa} \times 100\text{mm} \times [48,50\text{mm}]^2 \pm \sqrt{[-0,90 \times 420\text{MPa} \times 100\text{mm} \times [48,50\text{mm}]^2]^2 - 4 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420\text{MPa}]^2}{17,50\text{MPa}} \times 100\text{mm} \times [48,50\text{mm}]^2 \times 1658805\text{Nmm}}{2 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420\text{MPa}]^2}{17,50\text{MPa}} \times 100\text{mm} \times [48,50\text{mm}]^2}$$

Debido a que el momento en este nivel es muy alto, la raíz no es posible resolverla por lo que no se permite colocar anclajes cada 0,34 m en este nivel. Se debe rediseñar y calcular si es posible con anclajes a menor distancia. Finalmente, ya habiendo calculado el acero requerido, se selecciona la configuración más óptima. Para este caso, con una barra número 4 es más que suficiente ya que el área de esta es 1,29 cm² y en ningún nivel exige más de 1,12 cm².

Tabla 16: Resultados del diseño de los muros divisorios mediante dovelas.

Entrepiso	Distancia entre Anclajes	hx	ax	Mp	Fp	Mu	ρ	As Req (cm ²)	Nomenclatura	As SUMINISTRADO (cm ²)	As SUMINISTRADO /As REQUERIDO	Valoración	Configuración
Cimentación	0,34 m	0,00 m	0,55	194 kg	0,70 kN	497642 N mm	0,0061	0,30	#4	1,29	4,34	CUMPLE	1#4@0,34
Nivel 2	0,34 m	3,00 m	0,74	194 kg	0,93 kN	663522 N mm	0,0085	0,41	#4	1,29	3,14	CUMPLE	1#4@0,34
Nivel 3	0,34 m	6,00 m	0,92	194 kg	1,16 kN	829403 N mm	0,0111	0,54	#4	1,29	2,40	CUMPLE	1#4@0,34
Nivel 4	0,34 m	9,00 m	1,10	194 kg	1,40 kN	995283 N mm	0,0139	0,68	#4	1,29	1,91	CUMPLE	1#4@0,34
Nivel 5	0,34 m	12,00 m	1,29	194 kg	1,63 kN	1161164 N mm	0,0173	0,84	#4	1,29	1,54	CUMPLE	1#4@0,34
Nivel 6	0,34 m	15,00 m	1,53	194 kg	1,94 kN	1382338 N mm	0,0231	1,12	#4	1,29	1,15	CUMPLE	1#4@0,34
Cubierta	0,34 m	18,00 m	1,84	194 kg	2,33 kN	1658805 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@0,34

Fuente: Elaboración propia.

En la *Tabla 16* se aprecia el resumen del diseño. Se observa que con anclajes cada 0,34 m es óptimo para varios niveles de la estructura, mientras que para la cimentación se estaría sobrediseñando por lo que mediante el software será posible encontrar un resultado más óptimo que permita economizar acero y concreto. Finalmente, para el nivel de cubierta, será necesario reducir la distancia entre los anclajes. A continuación, se presentan los resultados hallados mediante el software.

Tabla 17: Resultados del diseño de los muros divisorios mediante dovelas.

Entrepiso	Distancia entre Anclajes	hx	ax	Mp	Fp	Mu	ρ	As Req (cm ²)	Nomenclatura	As SUMINISTRADO (cm ²)	As SUMINISTRADO /As REQUERIDO	Valoración	Configuración
Cimentación	0,17 m	0,00 m	0,55	97 kg	0,35 kN	248821 N mm	0,0029	0,14	#4	1,29	9,11	CUMPLE	1#4@0,17
Cimentación	0,34 m	0,00 m	0,55	194 kg	0,70 kN	497642 N mm	0,0061	0,30	#4	1,29	4,34	CUMPLE	1#4@0,34
Cimentación	0,51 m	0,00 m	0,55	291 kg	1,05 kN	746462 N mm	0,0097	0,47	#4	1,29	2,73	CUMPLE	1#4@0,51
Cimentación	0,68 m	0,00 m	0,55	388 kg	1,40 kN	995283 N mm	0,0139	0,68	#4	1,29	1,91	CUMPLE	1#4@0,68
Cimentación	0,85 m	0,00 m	0,55	485 kg	1,75 kN	1244104 N mm	0,0192	0,93	#4	1,29	1,38	CUMPLE	1#4@0,85
Cimentación	1,02 m	0,00 m	0,55	581 kg	2,10 kN	1492925 N mm	0,0275	1,33	#4	1,29	0,97	NO CUMPLE	1#4@1,02
Cimentación	1,19 m	0,00 m	0,55	678 kg	2,44 kN	1741746 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@1,19
Cimentación	1,36 m	0,00 m	0,55	775 kg	2,79 kN	1990566 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@1,36
Cimentación	1,53 m	0,00 m	0,55	872 kg	3,14 kN	2239387 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@1,53
Cimentación	1,70 m	0,00 m	0,55	969 kg	3,49 kN	2488208 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@1,7
Cimentación	1,87 m	0,00 m	0,55	1066 kg	3,84 kN	2737029 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@1,87
Cimentación	2,04 m	0,00 m	0,55	1163 kg	4,19 kN	2985849 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@2,04
Cimentación	2,21 m	0,00 m	0,55	1260 kg	4,54 kN	3234670 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@2,21
Cimentación	2,38 m	0,00 m	0,55	1357 kg	4,89 kN	3483491 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@2,38
Cimentación	2,55 m	0,00 m	0,55	1454 kg	5,24 kN	3732312 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@2,55
Cimentación	2,72 m	0,00 m	0,55	1550 kg	5,59 kN	3981133 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@2,72
Cimentación	2,89 m	0,00 m	0,55	1647 kg	5,94 kN	4229953 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@2,89
Cimentación	3,06 m	0,00 m	0,55	1744 kg	6,29 kN	4478774 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@3,06
Cimentación	3,23 m	0,00 m	0,55	1841 kg	6,64 kN	4727595 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@3,23
Nivel 2	0,17 m	3,00 m	0,74	97 kg	0,47 kN	331761 N mm	0,0040	0,19	#4	1,29	6,73	CUMPLE	1#4@0,17
Nivel 2	0,34 m	3,00 m	0,74	194 kg	0,93 kN	663522 N mm	0,0085	0,41	#4	1,29	3,14	CUMPLE	1#4@0,34
Nivel 2	0,51 m	3,00 m	0,74	291 kg	1,40 kN	995283 N mm	0,0139	0,68	#4	1,29	1,91	CUMPLE	1#4@0,51
Nivel 2	0,68 m	3,00 m	0,74	388 kg	1,86 kN	1327044 N mm	0,0214	1,04	#4	1,29	1,24	CUMPLE	1#4@0,68
Nivel 2	0,85 m	3,00 m	0,74	485 kg	2,33 kN	1658805 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@0,85
Nivel 2	1,02 m	3,00 m	0,74	581 kg	2,79 kN	1990566 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@1,02
Nivel 2	1,19 m	3,00 m	0,74	678 kg	3,26 kN	2322327 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@1,19
Nivel 2	1,36 m	3,00 m	0,74	775 kg	3,73 kN	2654088 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@1,36
Nivel 2	1,53 m	3,00 m	0,74	872 kg	4,19 kN	2985849 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@1,53
Nivel 2	1,70 m	3,00 m	0,74	969 kg	4,66 kN	3317611 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@1,7
Nivel 2	1,87 m	3,00 m	0,74	1066 kg	5,12 kN	3649372 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@1,87
Nivel 2	2,04 m	3,00 m	0,74	1163 kg	5,59 kN	3981133 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@2,04
Nivel 2	2,21 m	3,00 m	0,74	1260 kg	6,05 kN	4312894 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@2,21
Nivel 2	2,38 m	3,00 m	0,74	1357 kg	6,52 kN	4644655 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@2,38
Nivel 2	2,55 m	3,00 m	0,74	1454 kg	6,98 kN	4976416 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@2,55
Nivel 2	2,72 m	3,00 m	0,74	1550 kg	7,45 kN	5308177 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@2,72
Nivel 2	2,89 m	3,00 m	0,74	1647 kg	7,92 kN	5639938 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@2,89
Nivel 2	3,06 m	3,00 m	0,74	1744 kg	8,38 kN	5971699 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@3,06
Nivel 2	3,23 m	3,00 m	0,74	1841 kg	8,85 kN	6303460 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@3,23
Nivel 3	0,17 m	6,00 m	0,92	97 kg	0,58 kN	414701 N mm	0,0050	0,24	#4	1,29	5,30	CUMPLE	1#4@0,17
Nivel 3	0,34 m	6,00 m	0,92	194 kg	1,16 kN	829403 N mm	0,0111	0,54	#4	1,29	2,40	CUMPLE	1#4@0,34
Nivel 3	0,51 m	6,00 m	0,92	291 kg	1,75 kN	1244104 N mm	0,0192	0,93	#4	1,29	1,38	CUMPLE	1#4@0,51
Nivel 3	0,68 m	6,00 m	0,92	388 kg	2,33 kN	1658805 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@0,68
Nivel 3	0,85 m	6,00 m	0,92	485 kg	2,91 kN	2073507 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@0,85
Nivel 3	1,02 m	6,00 m	0,92	581 kg	3,49 kN	2488208 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@1,02
Nivel 3	1,19 m	6,00 m	0,92	678 kg	4,07 kN	2902909 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@1,19
Nivel 3	1,36 m	6,00 m	0,92	775 kg	4,66 kN	3317611 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@1,36
Nivel 3	1,53 m	6,00 m	0,92	872 kg	5,24 kN	3732312 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@1,53
Nivel 3	1,70 m	6,00 m	0,92	969 kg	5,82 kN	4147013 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@1,7
Nivel 3	1,87 m	6,00 m	0,92	1066 kg	6,40 kN	4561714 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@1,87
Nivel 3	2,04 m	6,00 m	0,92	1163 kg	6,98 kN	4976416 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@2,04
Nivel 3	2,21 m	6,00 m	0,92	1260 kg	7,57 kN	5391117 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@2,21
Nivel 3	2,38 m	6,00 m	0,92	1357 kg	8,15 kN	5805818 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@2,38
Nivel 3	2,55 m	6,00 m	0,92	1454 kg	8,73 kN	6220520 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@2,55
Nivel 3	2,72 m	6,00 m	0,92	1550 kg	9,31 kN	6635221 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@2,72
Nivel 3	2,89 m	6,00 m	0,92	1647 kg	9,89 kN	7049922 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@2,89
Nivel 3	3,06 m	6,00 m	0,92	1744 kg	10,48 kN	7464624 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@3,06
Nivel 3	3,23 m	6,00 m	0,92	1841 kg	11,06 kN	7879325 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@3,23

Nivel 4	0,17 m	9,00 m	1,10	97 kg	0,70 kN	497642 N mm	0,0061	0,30	#4	1,29	4,34	CUMPLE	1#4@0,17
Nivel 4	0,34 m	9,00 m	1,10	194 kg	1,40 kN	995283 N mm	0,0139	0,68	#4	1,29	1,91	CUMPLE	1#4@0,34
Nivel 4	0,51 m	9,00 m	1,10	291 kg	2,10 kN	1492925 N mm	0,0275	1,33	#4	1,29	0,97	NO CUMPLE	1#4@0,51
Nivel 4	0,68 m	9,00 m	1,10	388 kg	2,79 kN	1990566 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@0,68
Nivel 4	0,85 m	9,00 m	1,10	485 kg	3,49 kN	2488208 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@0,85
Nivel 4	1,02 m	9,00 m	1,10	581 kg	4,19 kN	2985849 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@1,02
Nivel 4	1,19 m	9,00 m	1,10	678 kg	4,89 kN	3483491 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@1,19
Nivel 4	1,36 m	9,00 m	1,10	775 kg	5,59 kN	3981133 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@1,36
Nivel 4	1,53 m	9,00 m	1,10	872 kg	6,29 kN	4478774 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@1,53
Nivel 4	1,70 m	9,00 m	1,10	969 kg	6,98 kN	4976416 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@1,7
Nivel 4	1,87 m	9,00 m	1,10	1066 kg	7,68 kN	5474057 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@1,87
Nivel 4	2,04 m	9,00 m	1,10	1163 kg	8,38 kN	5971699 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@2,04
Nivel 4	2,21 m	9,00 m	1,10	1260 kg	9,08 kN	6469341 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@2,21
Nivel 4	2,38 m	9,00 m	1,10	1357 kg	9,78 kN	6966982 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@2,38
Nivel 4	2,55 m	9,00 m	1,10	1454 kg	10,48 kN	7464624 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@2,55
Nivel 4	2,72 m	9,00 m	1,10	1550 kg	11,18 kN	7962265 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@2,72
Nivel 4	2,89 m	9,00 m	1,10	1647 kg	11,87 kN	8459907 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@2,89
Nivel 4	3,06 m	9,00 m	1,10	1744 kg	12,57 kN	8957548 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@3,06
Nivel 4	3,23 m	9,00 m	1,10	1841 kg	13,27 kN	9455190 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@3,23
Nivel 5	0,17 m	12,00 m	1,29	97 kg	0,81 kN	580582 N mm	0,0073	0,35	#4	1,29	3,65	CUMPLE	1#4@0,17
Nivel 5	0,34 m	12,00 m	1,29	194 kg	1,63 kN	1161164 N mm	0,0173	0,84	#4	1,29	1,54	CUMPLE	1#4@0,34
Nivel 5	0,51 m	12,00 m	1,29	291 kg	2,44 kN	1741746 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@0,51
Nivel 5	0,68 m	12,00 m	1,29	388 kg	3,26 kN	2322327 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@0,68
Nivel 5	0,85 m	12,00 m	1,29	485 kg	4,07 kN	2902909 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@0,85
Nivel 5	1,02 m	12,00 m	1,29	581 kg	4,89 kN	3483491 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@1,02
Nivel 5	1,19 m	12,00 m	1,29	678 kg	5,70 kN	4064073 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@1,19
Nivel 5	1,36 m	12,00 m	1,29	775 kg	6,52 kN	4644655 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@1,36
Nivel 5	1,53 m	12,00 m	1,29	872 kg	7,33 kN	5225237 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@1,53
Nivel 5	1,70 m	12,00 m	1,29	969 kg	8,15 kN	5805818 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@1,7
Nivel 5	1,87 m	12,00 m	1,29	1066 kg	8,96 kN	6386400 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@1,87
Nivel 5	2,04 m	12,00 m	1,29	1163 kg	9,78 kN	6966982 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@2,04
Nivel 5	2,21 m	12,00 m	1,29	1260 kg	10,59 kN	7547564 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@2,21
Nivel 5	2,38 m	12,00 m	1,29	1357 kg	11,41 kN	8128146 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@2,38
Nivel 5	2,55 m	12,00 m	1,29	1454 kg	12,22 kN	8708728 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@2,55
Nivel 5	2,72 m	12,00 m	1,29	1550 kg	13,04 kN	9289309 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@2,72
Nivel 5	2,89 m	12,00 m	1,29	1647 kg	13,85 kN	9869891 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@2,89
Nivel 5	3,06 m	12,00 m	1,29	1744 kg	14,67 kN	10450473 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@3,06
Nivel 5	3,23 m	12,00 m	1,29	1841 kg	15,48 kN	11031055 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@3,23
Nivel 6	0,17 m	15,00 m	1,53	97 kg	0,97 kN	691169 N mm	0,0089	0,43	#4	1,29	2,99	CUMPLE	1#4@0,17
Nivel 6	0,34 m	15,00 m	1,53	194 kg	1,94 kN	1382338 N mm	0,0231	1,12	#4	1,29	1,15	CUMPLE	1#4@0,34
Nivel 6	0,51 m	15,00 m	1,53	291 kg	2,91 kN	2073507 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@0,51
Nivel 6	0,68 m	15,00 m	1,53	388 kg	3,88 kN	2764675 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@0,68
Nivel 6	0,85 m	15,00 m	1,53	485 kg	4,85 kN	3455844 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@0,85
Nivel 6	1,02 m	15,00 m	1,53	581 kg	5,82 kN	4147013 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@1,02
Nivel 6	1,19 m	15,00 m	1,53	678 kg	6,79 kN	4838182 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@1,19
Nivel 6	1,36 m	15,00 m	1,53	775 kg	7,76 kN	5529351 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@1,36
Nivel 6	1,53 m	15,00 m	1,53	872 kg	8,73 kN	6220520 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@1,53
Nivel 6	1,70 m	15,00 m	1,53	969 kg	9,70 kN	6911689 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@1,7
Nivel 6	1,87 m	15,00 m	1,53	1066 kg	10,67 kN	7602857 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@1,87
Nivel 6	2,04 m	15,00 m	1,53	1163 kg	11,64 kN	8294026 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@2,04
Nivel 6	2,21 m	15,00 m	1,53	1260 kg	12,61 kN	8985195 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@2,21
Nivel 6	2,38 m	15,00 m	1,53	1357 kg	13,58 kN	9676364 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@2,38
Nivel 6	2,55 m	15,00 m	1,53	1454 kg	14,55 kN	10367533 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@2,55
Nivel 6	2,72 m	15,00 m	1,53	1550 kg	15,52 kN	11058702 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@2,72
Nivel 6	2,89 m	15,00 m	1,53	1647 kg	16,49 kN	11749871 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@2,89
Nivel 6	3,06 m	15,00 m	1,53	1744 kg	17,46 kN	12441040 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@3,06
Nivel 6	3,23 m	15,00 m	1,53	1841 kg	18,43 kN	13132208 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@3,23

Cubierta	0,17 m	18,00 m	1,84	97 kg	1,16 kN	829403 N mm	0,0111	0,54	#4	1,29	2,40	CUMPLE	1#4@0,17
Cubierta	0,34 m	18,00 m	1,84	194 kg	2,33 kN	1658805 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@0,34
Cubierta	0,51 m	18,00 m	1,84	291 kg	3,49 kN	2488208 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@0,51
Cubierta	0,68 m	18,00 m	1,84	388 kg	4,66 kN	3317611 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@0,68
Cubierta	0,85 m	18,00 m	1,84	485 kg	5,82 kN	4147013 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@0,85
Cubierta	1,02 m	18,00 m	1,84	581 kg	6,98 kN	4976416 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@1,02
Cubierta	1,19 m	18,00 m	1,84	678 kg	8,15 kN	5805818 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@1,19
Cubierta	1,36 m	18,00 m	1,84	775 kg	9,31 kN	6635221 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@1,36
Cubierta	1,53 m	18,00 m	1,84	872 kg	10,48 kN	7464624 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@1,53
Cubierta	1,70 m	18,00 m	1,84	969 kg	11,64 kN	8294026 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@1,7
Cubierta	1,87 m	18,00 m	1,84	1066 kg	12,80 kN	9123429 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@1,87
Cubierta	2,04 m	18,00 m	1,84	1163 kg	13,97 kN	9952832 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@2,04
Cubierta	2,21 m	18,00 m	1,84	1260 kg	15,13 kN	10782234 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@2,21
Cubierta	2,38 m	18,00 m	1,84	1357 kg	16,30 kN	11611637 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@2,38
Cubierta	2,55 m	18,00 m	1,84	1454 kg	17,46 kN	12441040 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@2,55
Cubierta	2,72 m	18,00 m	1,84	1550 kg	18,63 kN	13270442 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@2,72
Cubierta	2,89 m	18,00 m	1,84	1647 kg	19,79 kN	14099845 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@2,89
Cubierta	3,06 m	18,00 m	1,84	1744 kg	20,95 kN	14929247 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@3,06
Cubierta	3,23 m	18,00 m	1,84	1841 kg	22,12 kN	15758650 N mm	N/A	N/A	#4	1,29	N/A	NO CUMPLE	1#4@3,23

Fuente: Elaboración propia.

Para concluir el diseño, se presenta a continuación el resumen de las configuraciones que cumplen, observando que para el nivel de cubierta fue necesario reducir la distancia entre los anclajes a 0,17 m.

Entrepiso	Distancia entre Anclajes	Configuración
Cubierta	0,17 m	1#4@0,17
Losa de cimentación	0,85 m	1#4@0,85
	0,68 m	1#4@0,68
	0,51 m	1#4@0,51
	0,34 m	1#4@0,34
	0,17 m	1#4@0,17
Nivel 2	0,68 m	1#4@0,68
	0,51 m	1#4@0,51
	0,34 m	1#4@0,34
Nivel 3	0,17 m	1#4@0,17
	0,51 m	1#4@0,51
	0,34 m	1#4@0,34
Nivel 4	0,17 m	1#4@0,17
	0,34 m	1#4@0,34
	0,17 m	1#4@0,17
Nivel 5	0,34 m	1#4@0,34
	0,17 m	1#4@0,17
Nivel 6	0,34 m	1#4@0,34
	0,17 m	1#4@0,17

14.4.2.3.2 MEDIANTE COLUMNETAS

Inicialmente, se define el tamaño de las columnetas, en este caso serán de 150 mm (b) por 115 mm (h). Para los cálculos, se tomará la distancia centro a centro entre columnetas como 1,00 m, y se calcula la masa del E.N.E de la misma forma que se calculó en el diseño mediante dovelas.

$$M_p = Carga \left(\frac{kgf}{m^2} \right) \times Altura \ E.N.E \times Longitud \ Afuerente$$

$$M_p = 200 \frac{kgf}{m^2} \times 2,85 \text{ m} \times 1,00 \text{ m}$$

$$M_p = 570 \text{ kg}$$

Teniendo la masa del Elemento No Estructural ahora se calcula la fuerza sísmica horizontal F_p en cada uno de los niveles.

Para el nivel de la losa de cimentación:

$$F_p = \frac{\frac{0,55 \times 1,00}{1,50} \times 9,81 \times 570}{1000} \geq \frac{\frac{0,35 \times 1,50}{2} \times 9,81 \times 570}{1000}$$

$$F_p = 2,05 \text{ kN} \geq 1,47 \text{ kN}$$

$$F_p = 2,05 \text{ kN}$$

Para el nivel 2:

$$F_p = \frac{\frac{0,74 \times 1,00}{1,50} \times 9,81 \times 570}{1000} \geq \frac{\frac{0,35 \times 1,50}{2} \times 9,81 \times 360}{1000}$$

$$F_p = 2,74 \text{ kN} \geq 1,47 \text{ kN}$$

$$F_p = 2,74 \text{ kN}$$

Para el nivel 3:

$$F_p = \frac{\frac{0,92 \times 1,00}{1,50} \times 9,81 \times 570}{1000} \geq \frac{\frac{0,35 \times 1,50}{2} \times 9,81 \times 570}{1000}$$

$$F_p = 3,42 \text{ kN} \geq 1,47 \text{ kN}$$

$$F_p = 3,42 \text{ kN}$$

Para el nivel 4:

$$F_p = \frac{\frac{1,10 \times 1,00}{1,50} \times 9,81 \times 570}{1000} \geq \frac{\frac{0,35 \times 1,50}{2} \times 9,81 \times 570}{1000}$$

$$F_p = 4,11 \text{ kN} \geq 1,47 \text{ kN}$$

$$F_p = 4,11 \text{ kN}$$

Para el nivel 5:

$$F_p = \frac{\frac{1,29 \times 1,00}{1,50} \times 9,81 \times 570}{1000} \geq \frac{\frac{0,35 \times 1,50}{2} \times 9,81 \times 570}{1000}$$

$$F_p = 4,79 \text{ kN} \geq 1,47 \text{ kN}$$

$$F_p = 4,79 \text{ kN}$$

Para el nivel 6:

$$F_p = \frac{\frac{1,53 \times 1,00}{1,50} \times 9,81 \times 570}{1000} \geq \frac{\frac{0,35 \times 1,50}{2} \times 9,81 \times 570}{1000}$$

$$F_p = 5,71 \text{ kN} \geq 1,47 \text{ kN}$$

$$F_p = 5,71 \text{ kN}$$

Para el nivel de cubierta:

$$F_p = \frac{\frac{1,84 \times 1,00}{1,50} \times 9,81 \times 570}{1000} \geq \frac{\frac{0,35 \times 1,50}{2} \times 9,81 \times 570}{1000}$$

$$F_p = 6,85 \text{ kN} \geq 1,47 \text{ kN}$$

$$F_p = 6,85 \text{ kN}$$

Luego de calcular la fuerza sísmica horizontal, se calcula el momento que esta ejerce sobre el muro.

Para el nivel de la losa de cimentación:

$$M_u = \frac{2,05 \text{ kN} \times 2,85 \text{ m}}{4}$$

$$M_u = 1,46 \text{ kN m}$$

Para el nivel 2:

$$M_u = \frac{2,74 \text{ kN} \times 2,85 \text{ m}}{4}$$

$$M_u = 1,95 \text{ kN m}$$

Para el nivel 3:

$$M_u = \frac{3,42 \text{ kN} \times 2,85 \text{ m}}{4}$$

$$M_u = 2,44 \text{ kN m}$$

Para el nivel 4:

$$M_u = \frac{4,11 \text{ kN} \times 2,85 \text{ m}}{4}$$

$$M_u = 2,93 \text{ kN m}$$

Para el nivel 5:

$$M_u = \frac{4,79 \text{ kN} \times 2,85 \text{ m}}{4}$$

$$M_u = 3,42 \text{ kN m}$$

Para el nivel 6:

$$M_u = \frac{5,71 \text{ kN} \times 2,85 \text{ m}}{4}$$

$$M_u = 4,07 \text{ kN m}$$

Para el nivel de cubierta:

$$M_u = \frac{6,85 \text{ kN} \times 2,85 \text{ m}}{4}$$

$$M_u = 4,88 \text{ kN m}$$

Con los momentos calculados, ya es posible hallar la cuantía requerida y seguidamente el acero requerido. Para el diseño se utilizará concreto de 17,5 MPa y acero de 420 MPa. Acorde a las dimensiones de las columnetas, el ancho de la cara en compresión del elemento (b) es 150 mm, mientras que la distancia desde la fibra extrema en compresión hasta el centroide del refuerzo longitudinal a tracción (d) es 90 mm.

Para el nivel de la losa de cimentación:

$$\rho = \frac{0,90 \times 420 \text{ MPa} \times 150 \text{ mm} \times [90 \text{ mm}]^2 \pm \sqrt{[-0,90 \times 420 \text{ MPa} \times 150 \text{ mm} \times [90 \text{ mm}]^2]^2 - 4 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420 \text{ MPa}]^2}{17,50 \text{ MPa}} \times 150 \text{ mm} \times [90 \text{ mm}]^2 \times 1463652 \text{ Nmm}}{2 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420 \text{ MPa}]^2}{17,50 \text{ MPa}} \times 150 \text{ mm} \times [90 \text{ mm}]^2}$$

$$\rho = 0,0033$$

$$A_s = 0,0033 \times 15 \text{ cm} \times 9 \text{ cm}$$

$$A_s = 0,45 \text{ cm}^2$$

Para el nivel 2:

$$\rho = \frac{0,90 \times 420\text{MPa} \times 150\text{mm} \times [90\text{mm}]^2 \pm \sqrt{[-0,90 \times 420\text{MPa} \times 150\text{mm} \times [90\text{mm}]^2]^2 - 4 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420\text{MPa}]^2}{17,50\text{MPa}} \times 150\text{mm} \times [90\text{mm}]^2 \times 1951536\text{Nmm}}{2 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420\text{MPa}]^2}{17,50\text{MPa}} \times 150\text{mm} \times [90\text{mm}]^2}$$

$$\rho = 0,0045$$

$$A_s = 0,0045 \times 15\text{ cm} \times 9\text{ cm}$$

$$A_s = 0,61\text{ cm}^2$$

Para el nivel 3:

$$\rho = \frac{0,90 \times 420\text{MPa} \times 150\text{mm} \times [90\text{mm}]^2 \pm \sqrt{[-0,90 \times 420\text{MPa} \times 150\text{mm} \times [90\text{mm}]^2]^2 - 4 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420\text{MPa}]^2}{17,50\text{MPa}} \times 150\text{mm} \times [90\text{mm}]^2 \times 2439420\text{Nmm}}{2 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420\text{MPa}]^2}{17,50\text{MPa}} \times 150\text{mm} \times [90\text{mm}]^2}$$

$$\rho = 0,0058$$

$$A_s = 0,0058 \times 15\text{ cm} \times 9\text{ cm}$$

$$A_s = 0,78\text{cm}^2$$

Para el nivel 4:

$$\rho = \frac{0,90 \times 420\text{MPa} \times 150\text{mm} \times [90\text{mm}]^2 \pm \sqrt{[-0,90 \times 420\text{MPa} \times 150\text{mm} \times [90\text{mm}]^2]^2 - 4 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420\text{MPa}]^2}{17,50\text{MPa}} \times 150\text{mm} \times [90\text{mm}]^2 \times 2927303\text{Nmm}}{2 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420\text{MPa}]^2}{17,50\text{MPa}} \times 150\text{mm} \times [90\text{mm}]^2}$$

$$\rho = 0,0071$$

$$A_s = 0,0071 \times 15\text{ cm} \times 9\text{ cm}$$

$$A_s = 0,96\text{ cm}^2$$

Para el nivel 5:

$$\rho = \frac{0,90 \times 420\text{MPa} \times 150\text{mm} \times [90\text{mm}]^2 \pm \sqrt{[-0,90 \times 420\text{MPa} \times 150\text{mm} \times [90\text{mm}]^2]^2 - 4 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420\text{MPa}]^2}{17,50\text{MPa}} \times 150\text{mm} \times [90\text{mm}]^2 \times 3415187\text{Nmm}}{2 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420\text{MPa}]^2}{17,50\text{MPa}} \times 150\text{mm} \times [90\text{mm}]^2}$$

$$\rho = 0,0084$$

$$A_s = 0,0084 \times 15\text{ cm} \times 9\text{ cm}$$

$$A_s = 1,14\text{ cm}^2$$

Para el nivel 6:

$$\rho = \frac{0,90 \times 420\text{MPa} \times 150\text{mm} \times [90\text{mm}]^2 \pm \sqrt{[-0,90 \times 420\text{MPa} \times 150\text{mm} \times [90\text{mm}]^2]^2 - 4 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420\text{MPa}]^2}{17,50\text{MPa}} \times 150\text{mm} \times [90\text{mm}]^2 \times 4065699\text{Nmm}}{2 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420\text{MPa}]^2}{17,50\text{MPa}} \times 150\text{mm} \times [90\text{mm}]^2}$$

$$\rho = 0,0104$$

$$A_s = 0,0104 \times 15\text{ cm} \times 9\text{ cm}$$

$$A_s = 1,40\text{cm}^2$$

Para el nivel de cubierta:

$$\rho = \frac{0,90 \times 420\text{MPa} \times 150\text{mm} \times [90\text{mm}]^2 \pm \sqrt{[-0,90 \times 420\text{MPa} \times 150\text{mm} \times [90\text{mm}]^2]^2 - 4 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420\text{MPa}]^2}{17,50\text{MPa}} \times 150\text{mm} \times [90\text{mm}]^2 \times 4878839\text{Nmm}}{2 \times 0,59 \times 0,90 \times \frac{[420\text{MPa}]^2}{17,50\text{MPa}} \times 150\text{mm} \times [90\text{mm}]^2}$$

$$\rho = 0,0130$$

$$A_s = 0,0130 \times 15\text{ cm} \times 9\text{ cm}$$

$$A_s = 1,76\text{ cm}^2$$

Finalmente, ya habiendo calculado el acero requerido en las columnetas, se busca la configuración más óptima. Para este caso, se escoge la barra número 4 y acorde a la necesidad en cada nivel se escoge el número de barras necesarias.

Tabla 18: Resultados del diseño de los muros divisorios mediante columnetas.

Entrepiso	Distancia centro a centro Columnetas	h_x	α_x	M_p	F_p	M_u	ρ	A_s Req (cm ²)	Nomenclatura	Número de barras	A_s		Valoración	Configuración Columnetas	Refuerzo Columnetas
											SUMINISTRADO (cm ²)	SUMINISTRADO/ A_s REQUERIDO			
Cimentación	1,00 m	0,00 m	0,55	570 kg	2,05 kN	1463652 N mm	0,0033	0,45	#4	1	1,29	2,86	CUMPLE	Columneta@1m	1#4
Nivel 2	1,00 m	3,00 m	0,74	570 kg	2,74 kN	1951536 N mm	0,0045	0,61	#4	1	1,29	2,10	CUMPLE	Columneta@1m	1#4
Nivel 3	1,00 m	6,00 m	0,92	570 kg	3,42 kN	2439420 N mm	0,0058	0,78	#4	1	1,29	1,65	CUMPLE	Columneta@1m	1#4
Nivel 4	1,00 m	9,00 m	1,10	570 kg	4,11 kN	2927303 N mm	0,0071	0,96	#4	1	1,29	1,35	CUMPLE	Columneta@1m	1#4
Nivel 5	1,00 m	12,00 m	1,29	570 kg	4,79 kN	3415187 N mm	0,0084	1,14	#4	1	1,29	1,13	CUMPLE	Columneta@1m	1#4
Nivel 6	1,00 m	15,00 m	1,53	570 kg	5,71 kN	4065699 N mm	0,0104	1,40	#4	2	2,58	1,84	CUMPLE	Columneta@1m	2#4
Cubierta	1,00 m	18,00 m	1,84	570 kg	6,85 kN	4878839 N mm	0,0130	1,76	#4	2	2,58	1,47	CUMPLE	Columneta@1m	2#4

Fuente: Elaboración propia.

En la *Tabla 18* se aprecian los resultados obtenidos ubicando columnetas cada 1,00 m (centro a centro), y se observa que con esta configuración se lograría un diseño adecuado, aunque para el nivel de cimentación se podría reducir el tamaño de barra por un número 3 ya que la relación entre el acero suministrado y el requerido es 2,86, lo que implicaría un sobre

diseño. A continuación, se presentan todos los resultados y se concluye cuál es el diseño más óptimo.

Tabla 19: Resultados del diseño de los muros divisorios mediante columnetas.

Entrepiso	Distancia centro a centro Columnetas	h _x	α _x	M _p	F _p	M _u	ρ	A _{s Req} (cm ²)	Nomenclatura	Número de barras	A _s (cm ²)		Valoración	Configuración Columnetas	Refuerzo Columnetas
											SUMINISTRADO	A _s SUMINISTRADO/ A _s REQUERIDO			
Cimentación	0,50 m	0,00 m	0,55	285 kg	1,03 kN	731826 N mm	0,0033	0,45	#4	1	1,29	2,90	CUMPLE	Columneta@0,5m	1#4
Cimentación	1,00 m	0,00 m	0,55	570 kg	2,05 kN	1463652 N mm	0,0033	0,45	#4	1	1,29	2,86	CUMPLE	Columneta@1m	1#4
Cimentación	1,50 m	0,00 m	0,55	855 kg	3,08 kN	2195478 N mm	0,0052	0,70	#4	1	1,29	1,85	CUMPLE	Columneta@1,5m	1#4
Cimentación	2,00 m	0,00 m	0,55	1140 kg	4,11 kN	2927303 N mm	0,0071	0,96	#4	1	1,29	1,35	CUMPLE	Columneta@2m	1#4
Cimentación	2,50 m	0,00 m	0,55	1425 kg	5,14 kN	3659129 N mm	0,0092	1,24	#4	1	1,29	1,04	CUMPLE	Columneta@2,5m	1#4
Cimentación	3,00 m	0,00 m	0,55	1710 kg	6,16 kN	4390955 N mm	0,0114	1,54	#4	2	2,58	1,68	CUMPLE	Columneta@3m	2#4
Nivel 2	0,50 m	3,00 m	0,74	285 kg	1,37 kN	975748 N mm	0,0033	0,45	#4	1	1,29	2,90	CUMPLE	Columneta@0,5m	1#4
Nivel 2	1,00 m	3,00 m	0,74	570 kg	2,74 kN	1951536 N mm	0,0045	0,61	#4	1	1,29	2,10	CUMPLE	Columneta@1m	1#4
Nivel 2	1,50 m	3,00 m	0,74	855 kg	4,11 kN	2927303 N mm	0,0071	0,96	#4	1	1,29	1,35	CUMPLE	Columneta@1,5m	1#4
Nivel 2	2,00 m	3,00 m	0,74	1140 kg	5,48 kN	3903071 N mm	0,0099	1,33	#4	2	2,58	1,93	CUMPLE	Columneta@2m	2#4
Nivel 2	2,50 m	3,00 m	0,74	1425 kg	6,85 kN	4878839 N mm	0,0130	1,76	#4	2	2,58	1,47	CUMPLE	Columneta@2,5m	2#4
Nivel 2	3,00 m	3,00 m	0,74	1710 kg	8,22 kN	5854607 N mm	0,0167	2,25	#4	2	2,58	1,14	CUMPLE	Columneta@3m	2#4
Nivel 3	0,50 m	6,00 m	0,92	285 kg	1,71 kN	1219710 N mm	0,0033	0,45	#4	1	1,29	2,90	CUMPLE	Columneta@0,5m	1#4
Nivel 3	1,00 m	6,00 m	0,92	570 kg	3,42 kN	2439420 N mm	0,0058	0,78	#4	1	1,29	1,65	CUMPLE	Columneta@1m	1#4
Nivel 3	1,50 m	6,00 m	0,92	855 kg	5,14 kN	3659129 N mm	0,0092	1,24	#4	1	1,29	1,04	CUMPLE	Columneta@1,5m	1#4
Nivel 3	2,00 m	6,00 m	0,92	1140 kg	6,85 kN	4878839 N mm	0,0130	1,76	#4	2	2,58	1,47	CUMPLE	Columneta@2m	2#4
Nivel 3	2,50 m	6,00 m	0,92	1425 kg	8,56 kN	6098549 N mm	0,0177	2,39	#4	2	2,58	1,08	CUMPLE	Columneta@2,5m	2#4
Nivel 3	3,00 m	6,00 m	0,92	1710 kg	10,27 kN	7318259 N mm	0,0243	3,28	#4	3	3,87	1,18	CUMPLE	Columneta@3m	3#4
Nivel 4	0,50 m	9,00 m	1,10	285 kg	2,05 kN	1463652 N mm	0,0033	0,45	#4	1	1,29	2,86	CUMPLE	Columneta@0,5m	1#4
Nivel 4	1,00 m	9,00 m	1,10	570 kg	4,11 kN	2927303 N mm	0,0071	0,96	#4	1	1,29	1,35	CUMPLE	Columneta@1m	1#4
Nivel 4	1,50 m	9,00 m	1,10	855 kg	6,16 kN	4390955 N mm	0,0114	1,54	#4	2	2,58	1,68	CUMPLE	Columneta@1,5m	2#4
Nivel 4	2,00 m	9,00 m	1,10	1140 kg	8,22 kN	5854607 N mm	0,0167	2,25	#4	2	2,58	1,14	CUMPLE	Columneta@2m	2#4
Nivel 4	2,50 m	9,00 m	1,10	1425 kg	10,27 kN	7318259 N mm	0,0243	3,28	#4	3	3,87	1,18	CUMPLE	Columneta@2,5m	3#4
Nivel 4	3,00 m	9,00 m	1,10	1710 kg	12,33 kN	8781910 N mm	N/A	N/A	#4	N/A	N/A	N/A	N/A	Columneta@3m	N/A
Nivel 5	0,50 m	12,00 m	1,29	285 kg	2,40 kN	1707594 N mm	0,0039	0,53	#4	1	1,29	2,43	CUMPLE	Columneta@0,5m	1#4
Nivel 5	1,00 m	12,00 m	1,29	570 kg	4,79 kN	3415187 N mm	0,0084	1,14	#4	1	1,29	1,13	CUMPLE	Columneta@1m	1#4
Nivel 5	1,50 m	12,00 m	1,29	855 kg	7,19 kN	5122781 N mm	0,0139	1,87	#4	2	2,58	1,38	CUMPLE	Columneta@1,5m	2#4
Nivel 5	2,00 m	12,00 m	1,29	1140 kg	9,59 kN	6830375 N mm	0,0213	2,87	#4	3	3,87	1,35	CUMPLE	Columneta@2m	3#4
Nivel 5	2,50 m	12,00 m	1,29	1425 kg	11,98 kN	8537968 N mm	N/A	N/A	#4	N/A	N/A	N/A	N/A	Columneta@2,5m	N/A
Nivel 5	3,00 m	12,00 m	1,29	1710 kg	14,38 kN	10245562 N mm	N/A	N/A	#4	N/A	N/A	N/A	N/A	Columneta@3m	N/A
Nivel 6	0,50 m	15,00 m	1,53	285 kg	2,85 kN	2032850 N mm	0,0047	0,64	#4	1	1,29	2,01	CUMPLE	Columneta@0,5m	1#4
Nivel 6	1,00 m	15,00 m	1,53	570 kg	5,71 kN	4065699 N mm	0,0104	1,40	#4	2	2,58	1,84	CUMPLE	Columneta@1m	2#4
Nivel 6	1,50 m	15,00 m	1,53	855 kg	8,56 kN	6098549 N mm	0,0177	2,39	#4	2	2,58	1,08	CUMPLE	Columneta@1,5m	2#4
Nivel 6	2,00 m	15,00 m	1,53	1140 kg	11,41 kN	8131398 N mm	N/A	N/A	#4	N/A	N/A	N/A	N/A	Columneta@2m	N/A
Nivel 6	2,50 m	15,00 m	1,53	1425 kg	14,27 kN	10164248 N mm	N/A	N/A	#4	N/A	N/A	N/A	N/A	Columneta@2,5m	N/A
Nivel 6	3,00 m	15,00 m	1,53	1710 kg	17,12 kN	12197098 N mm	N/A	N/A	#4	N/A	N/A	N/A	N/A	Columneta@3m	N/A
Cubierta	0,50 m	18,00 m	1,84	285 kg	3,42 kN	2439420 N mm	0,0058	0,78	#4	1	1,29	1,65	CUMPLE	Columneta@0,5m	1#4
Cubierta	1,00 m	18,00 m	1,84	570 kg	6,85 kN	4878839 N mm	0,0130	1,76	#4	2	2,58	1,47	CUMPLE	Columneta@1m	2#4
Cubierta	1,50 m	18,00 m	1,84	855 kg	10,27 kN	7318259 N mm	0,0243	3,28	#4	3	3,87	1,18	CUMPLE	Columneta@1,5m	3#4
Cubierta	2,00 m	18,00 m	1,84	1140 kg	13,69 kN	9757678 N mm	N/A	N/A	#4	N/A	N/A	N/A	N/A	Columneta@2m	N/A
Cubierta	2,50 m	18,00 m	1,84	1425 kg	17,12 kN	12197098 N mm	N/A	N/A	#4	N/A	N/A	N/A	N/A	Columneta@2,5m	N/A
Cubierta	3,00 m	18,00 m	1,84	1710 kg	20,54 kN	14636517 N mm	N/A	N/A	#4	N/A	N/A	N/A	N/A	Columneta@3m	N/A

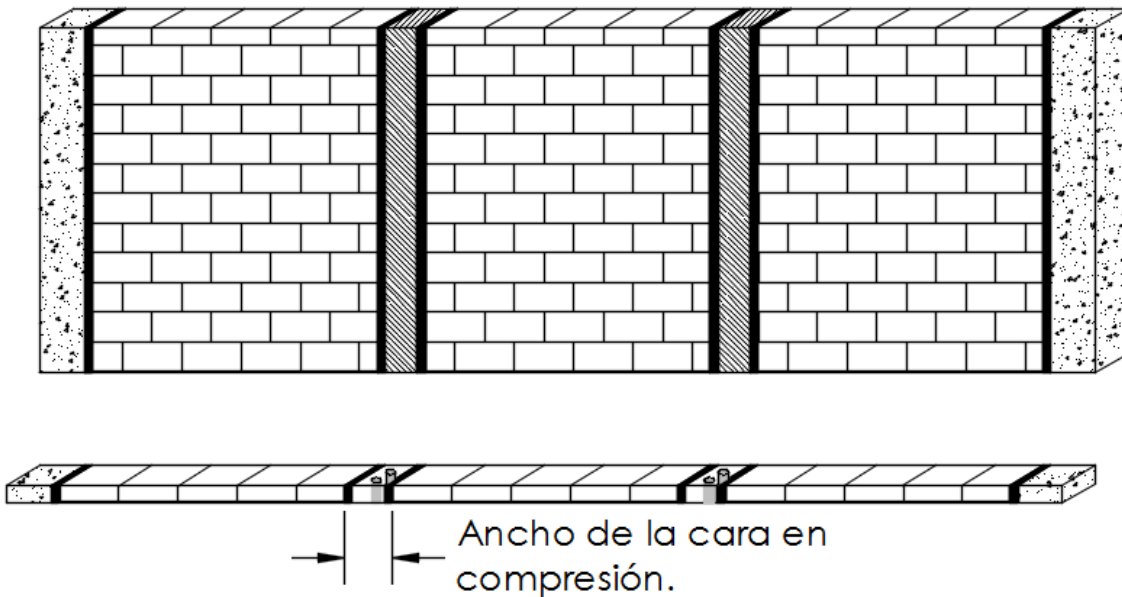
Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presentan los resultados que cumplen.

Entrepiso	Distancia centro a centro Columnetas	Configuración Columnetas	Refuerzo Columnetas
Cubierta	1,50 m	Columneta@1,5m	3#4
	1,00 m	Columneta@1m	2#4
	0,50 m	Columneta@0,5m	1#4
Losas de cimentación	3,00 m	Columneta@3m	2#4
	2,50 m	Columneta@2,5m	1#4
	2,00 m	Columneta@2m	1#4
	1,50 m	Columneta@1,5m	1#4
	1,00 m	Columneta@1m	1#4
	0,50 m	Columneta@0,5m	1#4

Nivel 2	3,00 m	Columneta@3m	2#4
	2,50 m	Columneta@2,5m	2#4
	2,00 m	Columneta@2m	2#4
	1,50 m	Columneta@1,5m	1#4
	1,00 m	Columneta@1m	1#4
	0,50 m	Columneta@0,5m	1#4
Nivel 3	3,00 m	Columneta@3m	3#4
	2,50 m	Columneta@2,5m	2#4
	2,00 m	Columneta@2m	2#4
	1,50 m	Columneta@1,5m	1#4
	1,00 m	Columneta@1m	1#4
	0,50 m	Columneta@0,5m	1#4
Nivel 4	2,50 m	Columneta@2,5m	3#4
	2,00 m	Columneta@2m	2#4
	1,50 m	Columneta@1,5m	2#4
	1,00 m	Columneta@1m	1#4
	0,50 m	Columneta@0,5m	1#4
Nivel 5	2,00 m	Columneta@2m	3#4
	1,50 m	Columneta@1,5m	2#4
	1,00 m	Columneta@1m	1#4
	0,50 m	Columneta@0,5m	1#4
Nivel 6	1,50 m	Columneta@1,5m	2#4
	1,00 m	Columneta@1m	2#4
	0,50 m	Columneta@0,5m	1#4

Ilustración 35: Esquema de distribución del refuerzo utilizando columnetas.



Fuente: Elaboración propia.

14.4.3 ANÁLISIS DE COSTO

Para visualizar el rendimiento del software, se realizó un análisis respecto a la cantidad de acero que se podría optimizar en el caso de los muros divisorios diseñados mediante dovelas. El software permite obtener varias configuraciones de diseño, ya sea mediante Barras #3, Barras #4 o Barras #5. Con estas tres configuraciones se analizó y se encontró la mejor combinación de acero y de este modo se obtuvo el diseño más óptimo y seguro para la estructura. Los datos de entrada para realizar este análisis fueron:

1. Peso de las barras #3, #4 y #5 en kg/m.
2. Precio actual del kilogramo de acero corrugado.
3. Dimensiones del muro.

Peso Barra #5	1,560 kg/m
Peso Barra #4	0,997 kg/m
Peso Barra #3	0,557 kg/m
Precio del kg de acero	\$ 2.800
Longitud del muro	3,37 m
Altura del muro	2,85 m
Numero de pisos	6

Con los resultados obtenidos mediante el software se realiza el análisis en cada uno de los niveles de la estructura.

Tabla 20: Resultados diseño muros divisorios utilizando Barra #3

Entrepiso	Distancia entre Anclajes	Configuración
Cubierta	0,17 m	1#3@0,17
Losa de cimentación	0,68 m	1#3@0,68
	0,51 m	1#3@0,51
	0,34 m	1#3@0,34
	0,17 m	1#3@0,17
	0,51 m	1#3@0,51
Nivel 2	0,34 m	1#3@0,34
	0,17 m	1#3@0,17
	0,34 m	1#3@0,34
Nivel 3	0,17 m	1#3@0,17
	0,34 m	1#3@0,34
Nivel 4	0,34 m	1#3@0,34

	0,17 m	1#3@0,17
Nivel 5	0,17 m	1#3@0,17
Nivel 6	0,17 m	1#3@0,17

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21: Resultados diseño muros divisorios utilizando Barra #4

Entrepiso	Distancia entre Anclajes	Configuración
Cubierta	0,17 m	1#4@0,17
Losa de cimentación	0,85 m	1#4@0,85
	0,68 m	1#4@0,68
	0,51 m	1#4@0,51
	0,34 m	1#4@0,34
	0,17 m	1#4@0,17
Nivel 2	0,68 m	1#4@0,68
	0,51 m	1#4@0,51
	0,34 m	1#4@0,34
Nivel 3	0,17 m	1#4@0,17
	0,51 m	1#4@0,51
	0,34 m	1#4@0,34
Nivel 4	0,17 m	1#4@0,17
	0,34 m	1#4@0,34
	0,17 m	1#4@0,17
Nivel 5	0,34 m	1#4@0,34
	0,17 m	1#4@0,17
Nivel 6	0,34 m	1#4@0,34
	0,17 m	1#4@0,17

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22: Resultados diseño muros divisorios utilizando Barra #5

Entrepiso	Distancia entre Anclajes	Configuración
Cubierta	0,17 m	1#5@0,17
Losa de cimentación	1,02 m	1#5@1,02
	0,85 m	1#5@0,85
	0,68 m	1#5@0,68
	0,51 m	1#5@0,51
	0,34 m	1#5@0,34
	0,17 m	1#5@0,17
Nivel 2	0,68 m	1#5@0,68
	0,51 m	1#5@0,51
	0,34 m	1#5@0,34
Nivel 3	0,17 m	1#5@0,17
	0,51 m	1#5@0,51
	0,34 m	1#5@0,34
Nivel 4	0,17 m	1#5@0,17
	0,51 m	1#5@0,51
	0,34 m	1#5@0,34
Nivel 5	0,17 m	1#5@0,17
	0,34 m	1#5@0,34
Nivel 6	0,17 m	1#5@0,17
	0,34 m	1#5@0,34

Fuente: Elaboración propia.

Con los resultados, se realiza una cuantificación en cada uno de los niveles de la estructura con cada una de las configuraciones y la cantidad de barras que se necesitan.

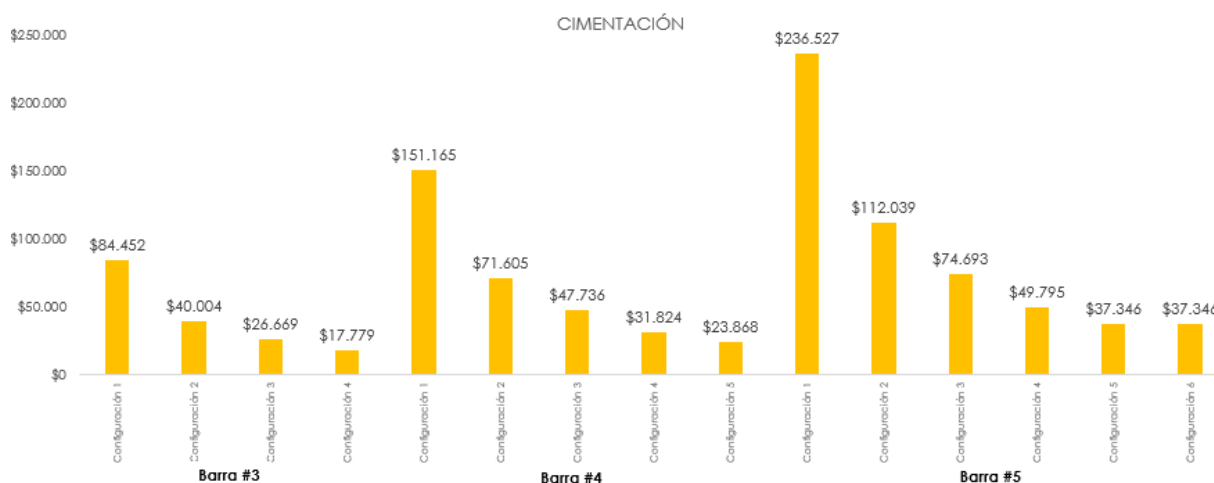
Tabla 23: Cuantificación resultados cimentación.

CIMENTACIÓN				
Configuración	Distancia entre anclajes	# de barras	Total	Precio del elemento
Configuración utilizando barras #3				
Configuración 1	Barra @ 0,17 m	19	30,16 kg	\$84.452
Configuración 2	Barra @ 0,34 m	9	14,29 kg	\$40.004
Configuración 3	Barra @ 0,51 m	6	9,52 kg	\$26.669
Configuración 4	Barra @ 0,68 m	4	6,35 kg	\$17.779
Configuración utilizando barras #4				
Configuración 1	Barra @ 0,17 m	19	53,99 kg	\$151.165
Configuración 2	Barra @ 0,34 m	9	25,57 kg	\$71.605
Configuración 3	Barra @ 0,51 m	6	17,05 kg	\$47.736
Configuración 4	Barra @ 0,68 m	4	11,37 kg	\$31.824
Configuración 5	Barra @ 0,85 m	3	8,52 kg	\$23.868
Configuración utilizando barras #5				
Configuración 1	Barra @ 0,17 m	19	84,47 kg	\$236.527
Configuración 2	Barra @ 0,34 m	9	40,01 kg	\$112.039
Configuración 3	Barra @ 0,51 m	6	26,68 kg	\$74.693
Configuración 4	Barra @ 0,68 m	4	17,78 kg	\$49.795
Configuración 5	Barra @ 0,85 m	3	13,34 kg	\$37.346
Configuración 6	Barra @ 1,02 m	3	13,34 kg	\$37.346

Fuente: Elaboración propia.

En la *Tabla 23* se observa que acorde a cada configuración se calculó el total de barras, y teniendo en cuenta la altura del muro, se calculó el peso total de acero y finalmente el precio total. Con estos datos es posible obtener un gráfico en el cual es posible observar cual sería la configuración más económica.

Ilustración 36: Cuantificación resultados cimentación.



Fuente: Elaboración propia.

En la *Ilustración 34* se observa que la configuración más económica es la 4 utilizando Barras #3. Además, es posible ver otras opciones utilizando diferentes barras, las cuales podrían ser factibles si se tiene en cuenta el factor de seguridad que cada una de estas proporciona. A medida que aumenta la altura de la estructura, las opciones y configuraciones se reducen.

Tabla 24: Cuantificación resultados Nivel 2.

NIVEL 2				
Configuración	Distancia entre anclajes	# de barras	Total	Precio del elemento
Configuración utilizando barras #3				
Configuración 1	Barra @ 0,17 m	19	30,16 kg	\$84.452
Configuración 2	Barra @ 0,34 m	9	14,29 kg	\$40.004
Configuración 3	Barra @ 0,51 m	6	9,52 kg	\$26.669
Configuración utilizando barras #4				
Configuración 1	Barra @ 0,17 m	19	53,99 kg	\$151.165
Configuración 2	Barra @ 0,34 m	9	25,57 kg	\$71.605
Configuración 3	Barra @ 0,51 m	6	17,05 kg	\$47.736
Configuración 4	Barra @ 0,68 m	4	11,37 kg	\$31.824
Configuración utilizando barras #5				
Configuración 1	Barra @ 0,17 m	19	84,47 kg	\$236.527
Configuración 2	Barra @ 0,34 m	9	40,01 kg	\$112.039
Configuración 3	Barra @ 0,51 m	6	26,68 kg	\$74.693
Configuración 4	Barra @ 0,68 m	4	17,78 kg	\$49.795

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 37: Cuantificación resultados Nivel 2.



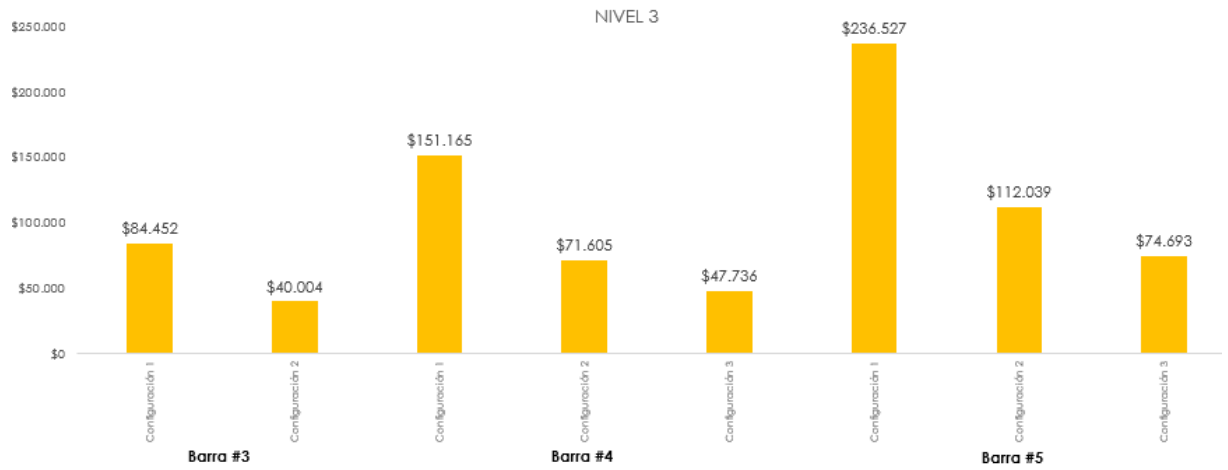
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25: Cuantificación resultados Nivel 3.

NIVEL 3				
Configuración	Distancia entre anclajes	# de barras	Total	Precio del elemento
Configuración utilizando barras #3				
Configuración 1	Barra @ 0,17 m	19	30,16 kg	\$84.452
Configuración 2	Barra @ 0,34 m	9	14,29 kg	\$40.004
Configuración utilizando barras #4				
Configuración 1	Barra @ 0,17 m	19	53,99 kg	\$151.165
Configuración 2	Barra @ 0,34 m	9	25,57 kg	\$71.605
Configuración 3	Barra @ 0,51 m	6	17,05 kg	\$47.736
Configuración utilizando barras #5				
Configuración 1	Barra @ 0,17 m	19	84,47 kg	\$236.527
Configuración 2	Barra @ 0,34 m	9	40,01 kg	\$112.039
Configuración 3	Barra @ 0,51 m	6	26,68 kg	\$74.693

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 38: Cuantificación resultados Nivel 3.



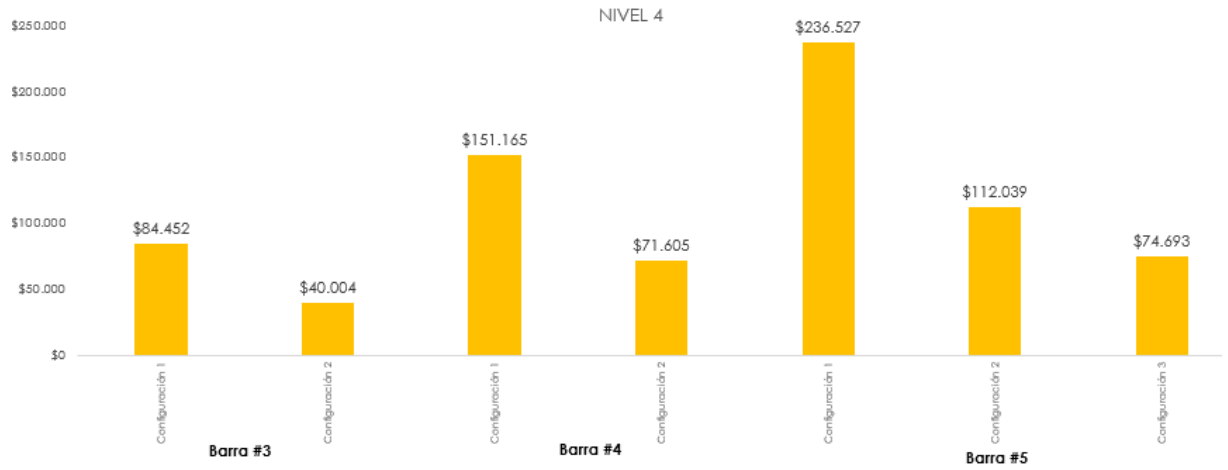
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26: Cuantificación resultados Nivel 4.

NIVEL 4				
Configuración	Distancia entre anclajes	# de barras	Total	Precio del elemento
Configuración utilizando barras #3				
Configuración 1	Barra @ 0,17 m	19	30,16 kg	\$84.452
Configuración 2	Barra @ 0,34 m	9	14,29 kg	\$40.004
Configuración utilizando barras #4				
Configuración 1	Barra @ 0,17 m	19	53,99 kg	\$151.165
Configuración 2	Barra @ 0,34 m	9	25,57 kg	\$71.605
Configuración utilizando barras #5				
Configuración 1	Barra @ 0,17 m	19	84,47 kg	\$236.527
Configuración 2	Barra @ 0,34 m	9	40,01 kg	\$112.039
Configuración 3	Barra @ 0,51 m	6	26,68 kg	\$74.693

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 39: Cuantificación resultados Nivel 4.



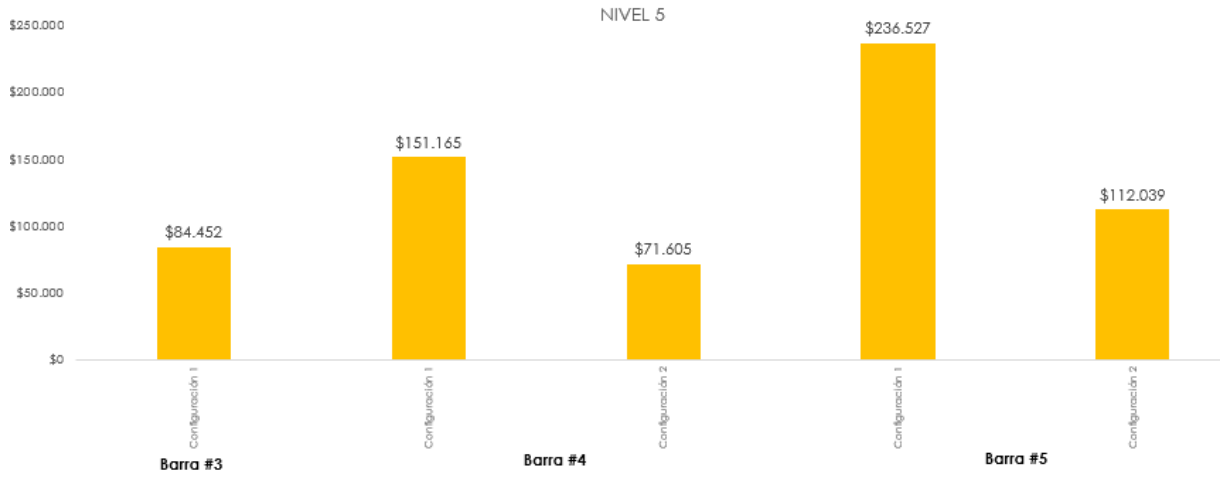
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 27: Cuantificación resultados Nivel 5.

NIVEL 5				
Configuración	Distancia entre anclajes	# de barras	Total	Precio del elemento
Configuración utilizando barras #3				
Configuración 1	Barra @ 0,17 m	19	30,16 kg	\$84.452
Configuración utilizando barras #4				
Configuración 1	Barra @ 0,17 m	19	53,99 kg	\$151.165
Configuración 2	Barra @ 0,34 m	9	25,57 kg	\$71.605
Configuración utilizando barras #5				
Configuración 1	Barra @ 0,17 m	19	84,47 kg	\$236.527
Configuración 2	Barra @ 0,34 m	9	40,01 kg	\$112.039

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 40: Cuantificación resultados Nivel 5.



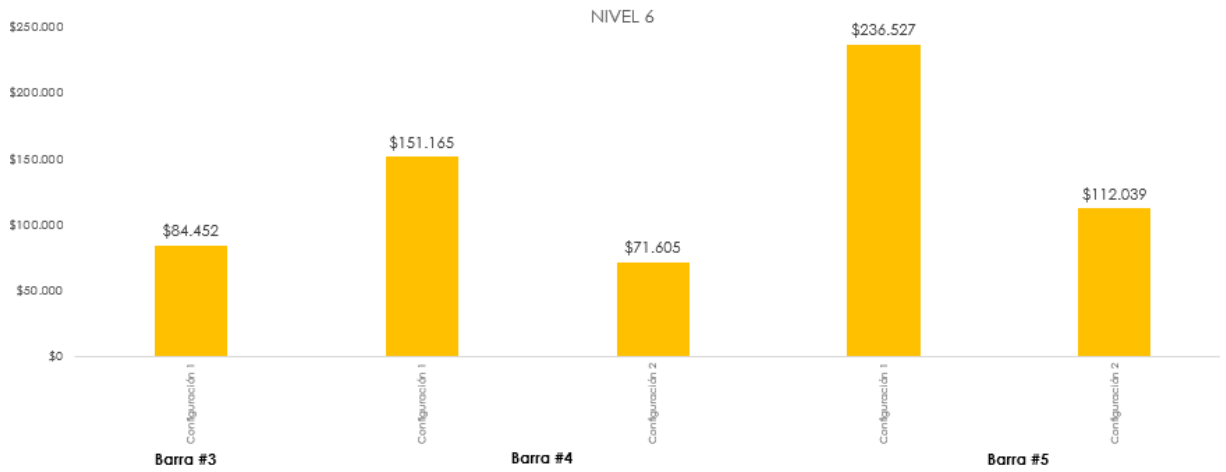
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28: Cuantificación resultados Nivel 6.

NIVEL 6				
Configuración	Distancia entre anclajes	# de barras	Total	Precio del elemento
Configuración utilizando barras #3				
Configuración 1	Barra @ 0,17 m	19	30,16 kg	\$84.452
Configuración utilizando barras #4				
Configuración 1	Barra @ 0,17 m	19	53,99 kg	\$151.165
Configuración 2	Barra @ 0,34 m	9	25,57 kg	\$71.605
Configuración utilizando barras #5				
Configuración 1	Barra @ 0,17 m	19	84,47 kg	\$236.527
Configuración 2	Barra @ 0,34 m	9	40,01 kg	\$112.039

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 41: Cuantificación resultados Nivel 6.



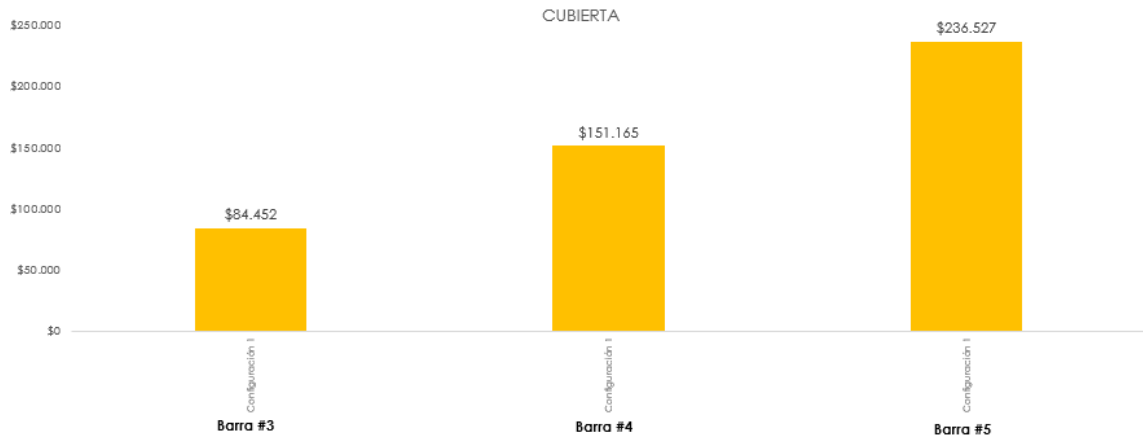
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 29: Cuantificación resultados Cubierta.

CUBIERTA				
Configuración	Distancia entre anclajes	# de barras	Total	Precio del elemento
Configuración utilizando barras #3				
Configuración 1	Barra @ 0,17 m	19	30,16 kg	\$84.452
Configuración utilizando barras #4				
Configuración 1	Barra @ 0,17 m	19	53,99 kg	\$151.165
Configuración utilizando barras #5				
Configuración 1	Barra @ 0,17 m	19	84,47 kg	\$236.527

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 42: Cuantificación resultados Cubierta.



Fuente: Elaboración propia.

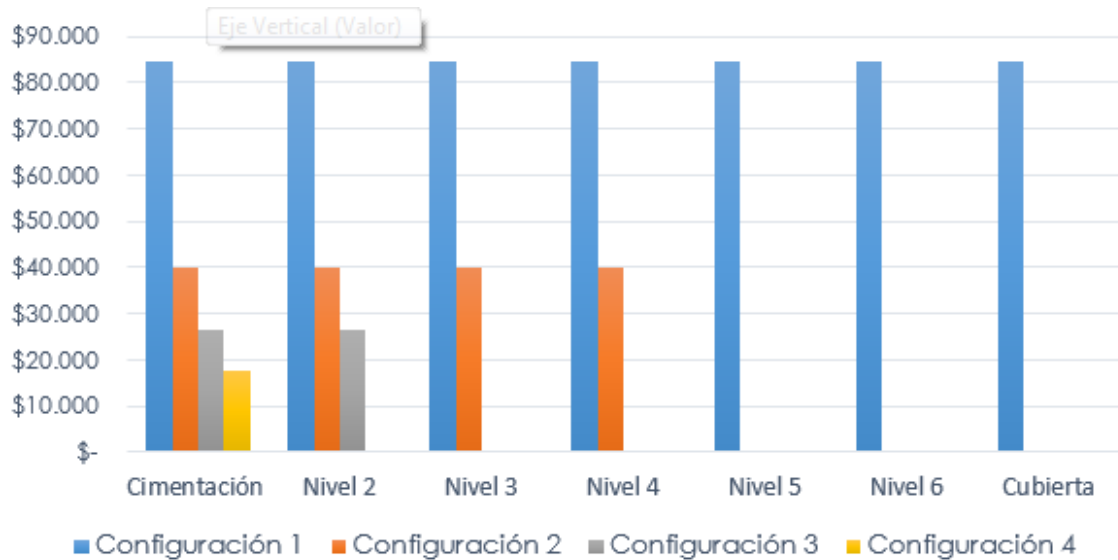
Teniendo las configuraciones en cada uno de los niveles es posible observar las más óptimas y económicas. Si se construyera el muro divisorio con barras #3 en cada uno de los niveles se obtiene el siguiente resultado:

Tabla 30: Optimización de los resultados utilizando Barra #3.

Barra #3							
	Cimentación	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	Nivel 6	Cubierta
Configuración 1	\$ 84.452	\$ 84.452	\$ 84.452	\$ 84.452	\$ 84.452	\$ 84.452	\$ 84.452
Configuración 2	\$ 40.004	\$ 40.004	\$ 40.004	\$ 40.004			
Configuración 3	\$ 26.669	\$ 26.669					
Configuración 4	\$ 17.779						
Totales							
Sin optimizar	\$ 591.166	Se ahorra		36 %			
Optimizado	\$ 377.813						

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 43: Optimización de los resultados utilizando Barra #3.



Fuente: Elaboración propia.

Utilizando Barras #3 en toda la estructura, se obtienen 4 configuraciones que podrían ser factibles para la construcción de los muros. Si se elige la configuración 1 para toda la estructura, la cual abarca la mínima distancia entre los anclajes, se obtiene un precio mucho mayor a si se optimiza y se reduce la distancia entre los anclajes en algunos de los niveles. Realizando lo anterior, es posible ahorrar un 36% en el total.

A continuación, se muestran los resultados del análisis y optimización utilizando Barra #4 y #5 en cada uno de los niveles de la estructura.

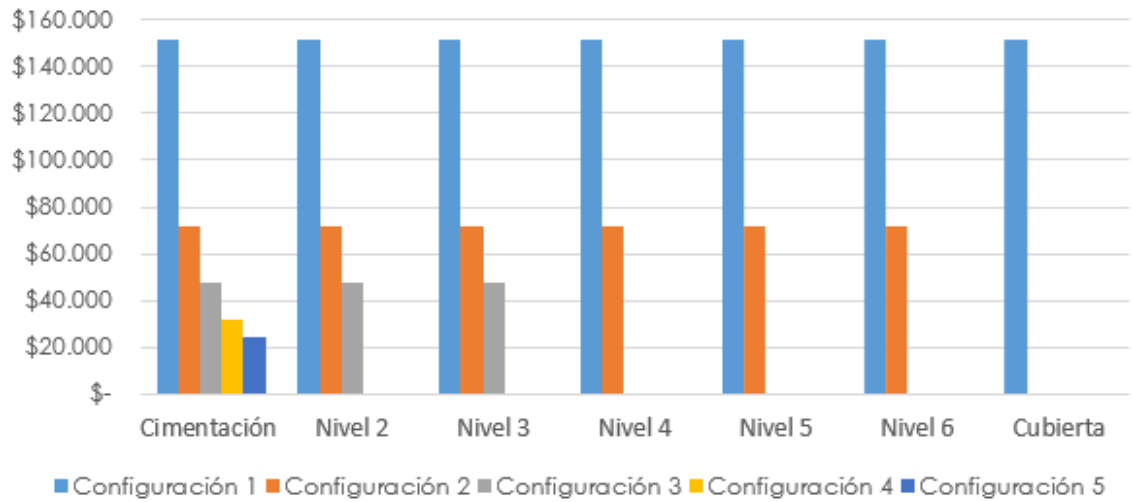
Tabla 31: Optimización de los resultados utilizando Barra #4.

Barra #4							
	Cimentación	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	Nivel 6	Cubierta
Configuración 1	\$ 151.165	\$ 151.165	\$ 151.165	\$ 151.165	\$ 151.165	\$ 151.165	\$ 151.165
Configuración 2	\$ 71.605	\$ 71.605	\$ 71.605	\$ 71.605	\$ 71.605	\$ 71.605	
Configuración 3	\$ 47.736	\$ 47.736	\$ 47.736				
Configuración 4	\$ 31.824						
Configuración 5	\$ 23.868						

Totales		Se ahorra	54 %
Sin optimizar	\$ 1.058.156		
Optimizado	\$ 485.320		

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 44: Optimización de los resultados utilizando Barra #4.



Fuente: Elaboración propia.

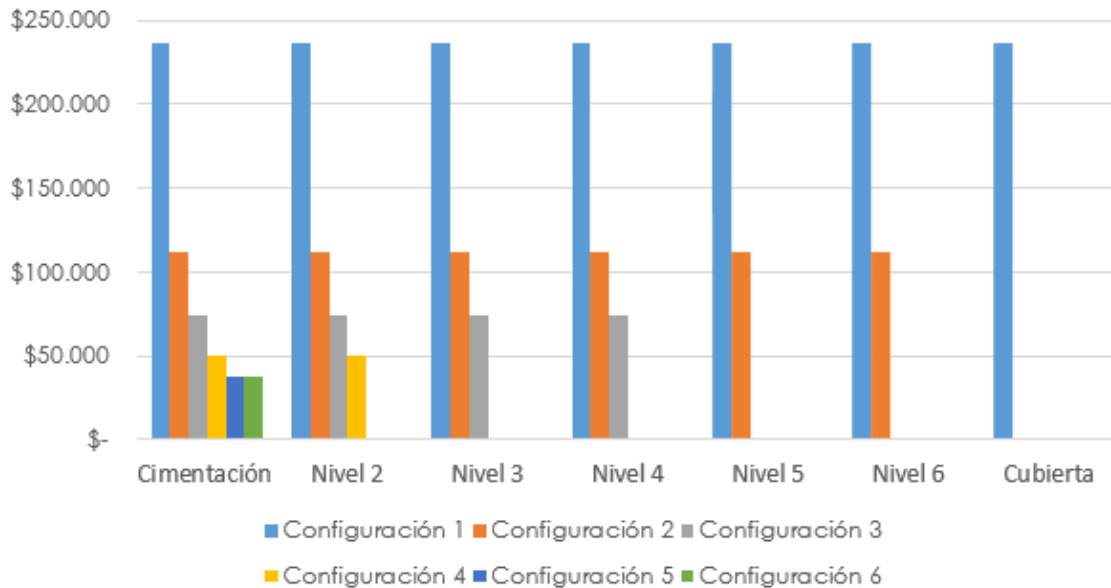
Tabla 32: Optimización de los resultados utilizando Barra #5.

Barra #5							
	Cimentación	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	Nivel 6	Cubierta
Configuración 1	\$ 236.527	\$ 236.527	\$ 236.527	\$ 236.527	\$ 236.527	\$ 236.527	\$ 236.527
Configuración 2	\$ 112.039	\$ 112.039	\$ 112.039	\$ 112.039	\$ 112.039	\$ 112.039	
Configuración 3	\$ 74.693	\$ 74.693	\$ 74.693	\$ 74.693			
Configuración 4	\$ 49.795	\$ 49.795					
Configuración 5	\$ 37.346						
Configuración 6	\$ 37.346						

Totales		Se ahorra	58 %
Sin optimizar	\$ 1.655.690		
Optimizado	\$ 697.133		

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 45: Optimización de los resultados utilizando Barra #5.



Fuente: Elaboración propia.

Para terminar el análisis, es posible concluir que la mejor opción para construir los muros de la estructura, sería utilizando barras #3, ya que comparado con las opciones de utilizar barras #4 o #5, se reduce a casi la mitad del precio total utilizando barras número 3, comparado con las barras número 5.

15 SOFTWARE DE DISEÑO DE ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES

Mediante este software es posible realizar el diseño de los antepechos y muros divisorios de cualquier estructura regida por el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Entre las limitaciones que se tiene es que la altura de los niveles debe ser tipo y los diseños se deben realizar con el Bloque #4 o #5 de la Ladrillera Santa Fe. El anexo 1 ayuda al usuario a entender el proceso de diseño de los Elementos No Estructurales mediante el uso de este software.

16 CONCLUSIONES

Generalmente el diseñador estructural por tiempo o por simple practicidad, suele utilizar un solo diseño para todos los Elementos No Estructurales del proyecto, siendo esto poco económico debido a que la magnitud de la fuerza sísmica a medida que el nivel de referencia es mayor, aumenta. Esto quiere decir que, si una estructura tiene 6 niveles, los niveles 1,2 y 3 requerirán mucho menos refuerzo que los niveles 4,5 y 6, lo que representa un ahorro económico.

Debido a que hasta hace poco tiempo se ha venido prestando verdadera importancia al diseño de los Elementos No Estructurales, sería de gran importancia realizar estudios de patologías a las edificaciones que se construyeron antes del año 1.998, esto debido a que según estudios presentados por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica en el prólogo del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, el comportamiento estructural de las edificaciones construidas entre el año 1.984 y 1.998 mejoró considerablemente respecto a las estructuras construidas antes del año 1.984, pero el comportamiento de los Elementos No Estructurales siguió siendo el mismo, lo que hoy en día representa un riesgo para las estructuras existentes.

En obra es de gran importancia llevar un adecuado seguimiento y control de calidad acerca de los procesos constructivos, ya que en numerosas ocasiones las estructuras se empiezan a deteriorar en sus fachadas, elementos decorativos, divisorios o arquitectónicos por un mal proceso constructivo que no garantiza los estándares de seguridad y calidad que la estructura requiere.

Debido al poco interés e importancia que a lo largo de los años se le ha dado al correcto diseño de los Elementos no Estructurales, estos en la mayoría de estructuras existentes en la ciudad de Bogotá representan un riesgo para la seguridad y la vida.

En el transcurrir de los años a nivel global se ha avanzado mucho en técnicas y correctos métodos de diseño para garantizar la seguridad de los Elementos No Estructurales, sin embargo, es importante seguir avanzando e innovando para que cada día existan más posibilidades y alternativas para diseñar y construir con nuevos materiales como por ejemplo

el Drywall. que ha venido representando una gran alternativa para la construcción de elementos divisorios ya que es más liviano y más rápido de instalar.

17 BIBLIOGRAFÍA

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, & Colombia. Ministerio del Medio Ambiente, V. y D. T. (2010). Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10. Bogotá, D.C.: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Lomnitz, C. (2015). EL PRÓXIMO SISMO EN LA CIUDAD DE MÉXICO. 1st ed. MÉXICO D.F: Dirección General de Divulgación de la Ciencia, pp.9, 10.

Hibbeler, R. and Murrieta Murrieta, J. (2012). Análisis estructural. 8th ed. México, D.F.: Pearson Educación, p.3.

Secretaría de Gobernación Coordinación Nacional de Protección Civil Centro Nacional de Prevención de Desastres. (2019). [FOLLETO] Ciudad De México: Colegio Pedregal de Santo Domingo.

GUÍA DE PATOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS, ESTRUCTURALES Y NO ESTRUCTURALES. (2011). 3rd ed. Bogotá D.C: PUBLICACIÓN DE LA ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D. C., Capítulo 4.

GUÍA TÉCNICA PARA LA INSPECCIÓN DE EDIFICACIONES DESPUÉS DE UN SISMO MANUAL DE CAMPO. (2018). 4th ed. Bogotá D.C: Alcaldía Mayor de Bogotá. (marzo 2018), p.Anexo A.

Sarabia Gómez, A., Cifuentes Avendaño, H. and Robertson, K. (2010). Historical analysis of earthquakes occurred in 1785 and 1917 in the center of Colombia. 1st ed. Bogotá D.C: Universidad Nacional de Colombia, pp.155-160.

San Bartolomé, Ángel, Quiun, Daniel, & Silva, Wilson. (2011). Comentarios relativos al tipo de falla en los muros de concreto de edificios chilenos en el sismo del 27 de febrero de 2010. Concreto y cemento. Investigación y desarrollo, 3(1), 36-48. Recuperado en 30 de enero de 2020, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-30112011000200004&lng=es&tlng=es.

ANEXO 1

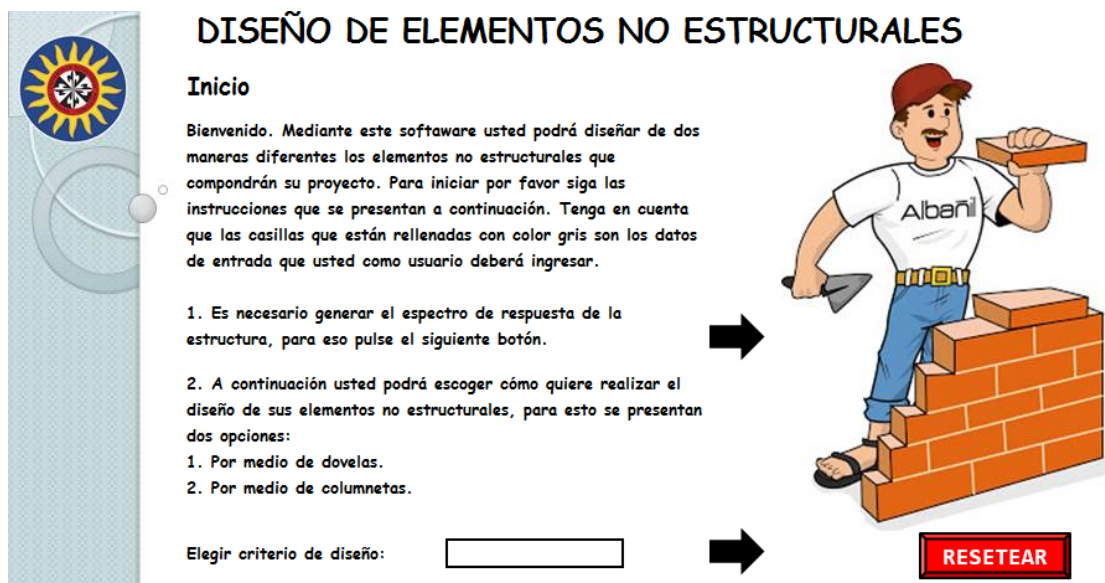
MANUAL DE USUARIO SOFTWARE DISEÑO DE ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES

Mediante el software, el usuario podrá diseñar dos clases de Elementos No Estructurales, los cuales son: Antepechos y muros divisorios. El diseño se podrá hacer de dos maneras acorde a la preferencia del usuario, las cuales serán: mediante dovelas o mediante el uso de columnetas.

MANUAL DE USO / GUÍA DE USUARIO.

Interfaz inicial

Al ingresar al software, lo primero que se visualiza es un pequeño texto de inicio el cual indica la manera de iniciar el programa y realizar el diseño de los Elementos No Estructurales, ya sean antepechos o muros divisorios. Ahora, es importante resaltar que las casillas rellenas de color gris son datos de entrada que el usuario debe ingresar.



The screenshot shows the initial design interface. On the left is a vertical sidebar with a logo at the top. The main area has the title "DISEÑO DE ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES" and a sub-section "Inicio". Below the title is a welcome message and instructions. A list of two main steps is provided, with the first step pointing to a black arrow. Below the list is a label "Elegir criterio de diseño:" followed by an empty rectangular input box, with another black arrow pointing to a red "RESETEAR" button. On the right side of the screen is a cartoon illustration of a bricklayer named "Albani" building a brick wall.

DISEÑO DE ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES

Inicio

Bienvenido. Mediante este software usted podrá diseñar de dos maneras diferentes los elementos no estructurales que compondrán su proyecto. Para iniciar por favor siga las instrucciones que se presentan a continuación. Tenga en cuenta que las casillas que están rellenas con color gris son los datos de entrada que usted como usuario deberá ingresar.

1. Es necesario generar el espectro de respuesta de la estructura, para eso pulse el siguiente botón.
2. A continuación usted podrá escoger cómo quiere realizar el diseño de sus elementos no estructurales, para esto se presentan dos opciones:
 1. Por medio de dovelas.
 2. Por medio de columnetas.

Elegir criterio de diseño:

RESETEAR

El primer paso para comenzar el diseño, es generar el espectro de repuesta de la estructura, para ello es necesario dirigirse a la primera flecha negra que se encuentra en la pantalla de inicio.



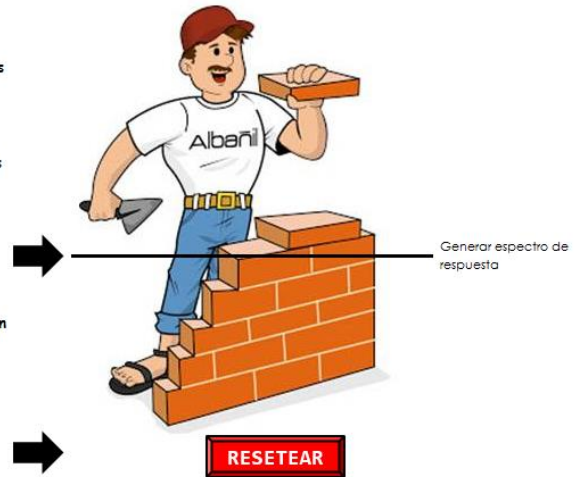
DISEÑO DE ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES

Inicio

Bienvenido. Mediante este software usted podrá diseñar de dos maneras diferentes los elementos no estructurales que compondrán su proyecto. Para iniciar por favor siga las instrucciones que se presentan a continuación. Tenga en cuenta que las casillas que están rellenas con color gris son los datos de entrada que usted como usuario deberá ingresar.

1. Es necesario generar el espectro de respuesta de la estructura, para eso pulse el siguiente botón.
2. A continuación usted podrá escoger cómo quiere realizar el diseño de sus elementos no estructurales, para esto se presentan dos opciones:
 1. Por medio de dovelas.
 2. Por medio de columnetas.

Elegir criterio de diseño:



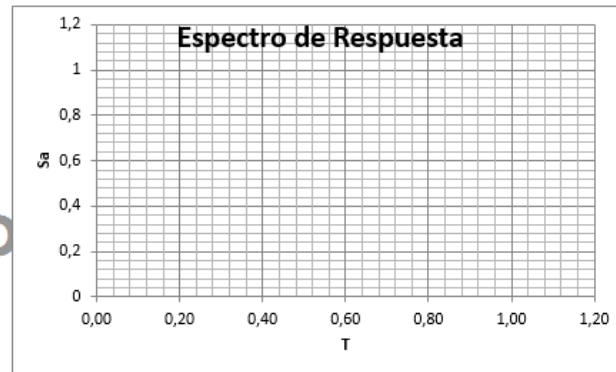
Al ejecutar lo anterior, se abrirá una hoja de cálculo para ingresar los datos y de esta manera generar el espectro de respuesta. Es importante recordar que las casillas en color gris son las que se deben rellenar. El programa también tiene casillas en donde se podrán seleccionar diferentes opciones, por ejemplo, están integrados los diferentes tipos de suelo y grupos de uso que se especifican en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

Localización	
Tipo de suelo	
Zona de amenaza sísmica	
Grupo de uso	

A_o	
A_v	
F_o	
F_v	
I	#N/D

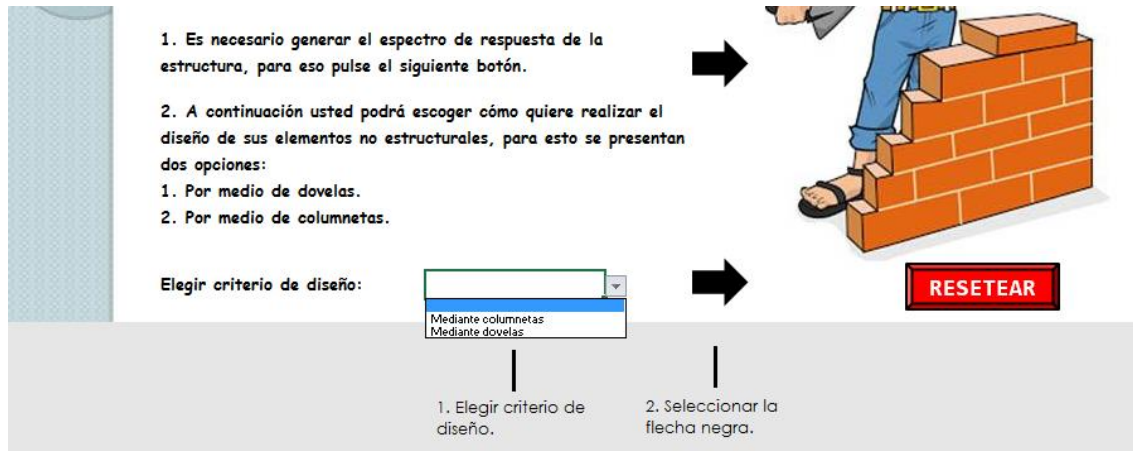
T_o	✓ #iDIV/0!
T_c	✓ #iDIV/0!
T_l	0,00
S_o	✓ #iREF!
A_s	✓ #iREF!
A_o	0,00

T S_o

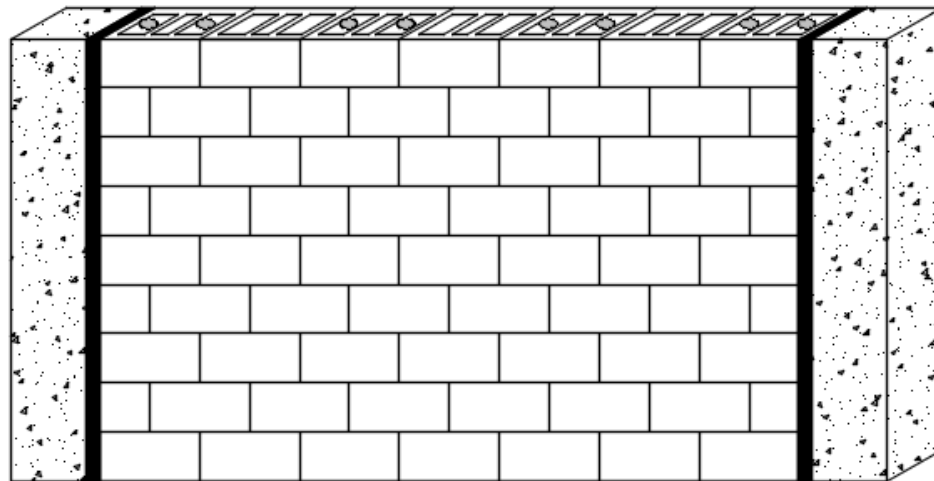


Habiendo rellenado las casillas, se selecciona la flecha de color negro que dice “Generar espectro”, y se espera unos segundos hasta que termine el proceso. Seguidamente se presiona la flecha gris para volver al inicio. En la pantalla de inicio, ya habiendo generado

el espectro de respuesta, el programa permite escoger dos maneras para diseñar los Elementos No Estructurales, ya sea mediante dovelas o columnetas. Si se selecciona mediante columnetas, automáticamente se diseñarán con bloques de perforación horizontal, mientras que si se diseñan mediante dovelas se diseñaran con bloques de perforación vertical.

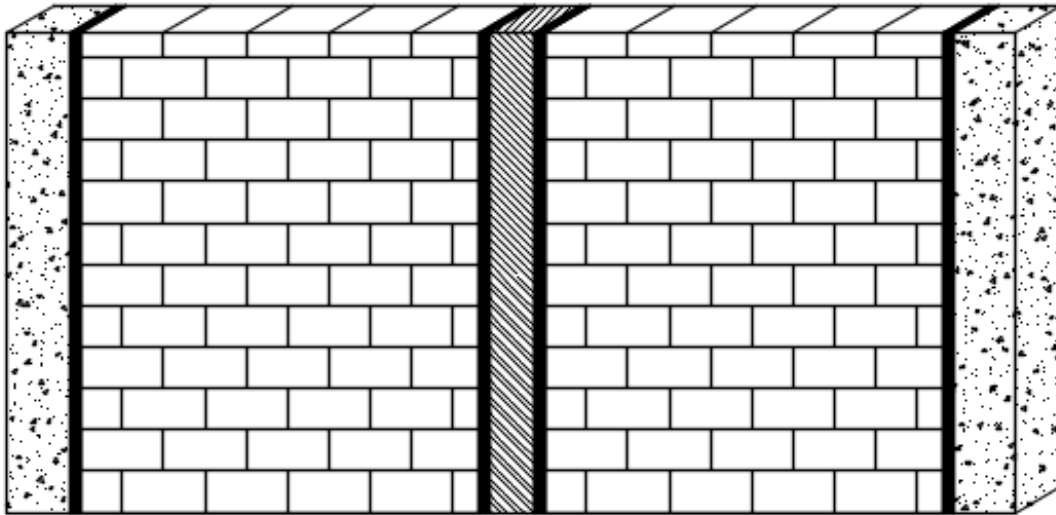


Bloques de perforación vertical, con anclajes en sus celdas.



Muro divisorio con bloques de perforación vertical.

Muro construido con
columentas y bloques
de perforación
horizontal



Muro divisorio con bloques de perforación horizontal.

Teniendo en cuenta lo anterior, se debe seleccionar alguno de los dos criterios de diseño y seguidamente seleccionar la flecha negra. Si no se selecciona ningún criterio de diseño el programa automáticamente mostrará un mensaje de error y pedirá seleccionar alguno de los dos criterios.

ERROR



POR FAVOR ELIJA EL CRITERIO DE DISEÑO

Aceptar

Después de seleccionar la flecha, se abrirá una hoja de cálculo acorde al criterio elegido.

CRITERIO DE DISEÑO MEDIANTE COLUMNETAS Y DOVELAS.

Habiendo escogido el criterio de diseño, ahora se deben rellenar las celdas para completar el diseño. A continuación, se dará detalle de cada una de las celdas y de este modo lograr un diseño exitoso.

DISEÑO ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES MEDIANTE COLUMNETAS

1. Datos de entrada.	
Grupo de uso de la estructura	0
Grado de desempeño Elementos no Estructurales	#N/D
Coefficiente de importancia I	#N/D
Criterio de diseño	
Número de pisos	
Altura del piso tipo (m)	
Altura del edificio	0,00 m
S_a	#¡REF!
Tipo de Elemento No estructural	
Tipo de Bloque	Perforación Horizontal
Bloque	
Longitud E.N.E. (m)	
Altura E.N.E (m)	
Tipo de anclaje	

Las primeras tres celdas son datos que automáticamente serán rellenados, ya que estos son datos que previamente se deberán haber ingresado al momento de generar el espectro de respuesta.

El primer campo que se debe seleccionar es el criterio de diseño. Para este hay dos opciones: Separarlos de la estructura o Disponer elementos que admitan las deformaciones de la estructura.

Criterio de diseño	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; font-size: small;"> Separarlos de la Estructura Disponer Elementos que admitan las deformaciones </div>
--------------------	--

Este criterio está establecido en el Título A.9.4 de la NSR-10, el cual indica que existen dos posibilidades. El primero en el que el Elemento No Estructural va estar integrado a la estructura, es decir deberá permitir deformaciones por lo cual los E.N.E. deberán ser más flexibles. El segundo criterio indica que el E.N.E. estará separado de la estructura, es decir será independiente del sistema estructural y se aísla lateralmente de este. Este criterio es el más utilizado y generalmente la mayoría de los E.N.E se diseñan de esta manera.

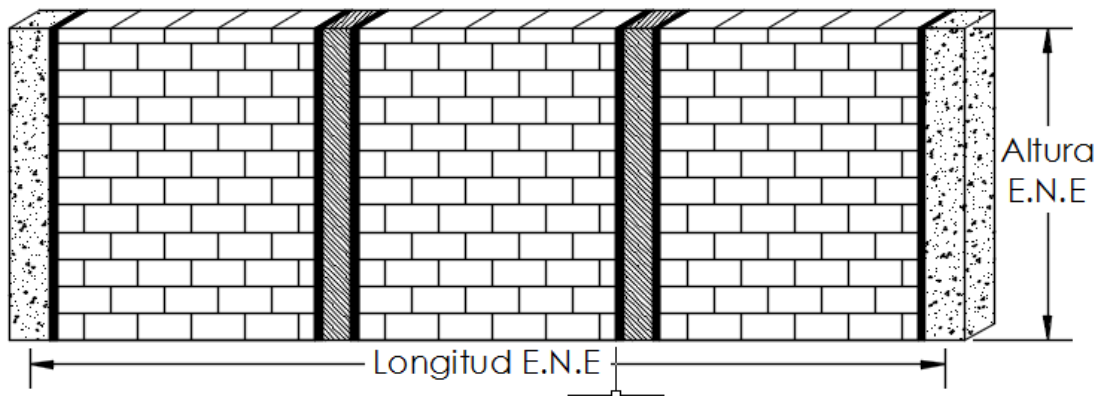
El segundo y tercer campo que se deben rellenar son el de números de pisos y altura de piso tipo de la estructura.

En el cuarto campo es posible seleccionar tres opciones respecto al tipo de Elemento No Estructural.

Tipo de Elemento No estructural	▼
	Antepecho Muro divisorio Muro de fachada

En el quinto campo se selecciona el tipo de bloque acorde a las preferencias del diseñador. Es posible elegir el bloque #4 o #5.

En el sexto y séptimo campo se deben especificar las propiedades geométricas del E.N.E, las cuales son la longitud y la altura respectivamente.



En el octavo campo se elige el tipo de anclaje. Para este existen 4 posibilidades que se especifican en el Título A.9.4.9 de la NSR-10, este campo es muy importante ya que cada tipo de anclaje tiene un R_p , el cual es de vital importancia al momento de ejecutar el diseño.

Tipo de anclaje	▼
	Especiales Dúctiles No dúctiles Húmedos

Altura equivalente del sistema de un grado de libertad que simula la edificación h_{eq}		0,00 m
Coeficiente de capacidad de disipación de energía del elemento no estructural y su sistema de soporte R_p		#N/D
Aceleración máxima en la superficie del suelo estimada como la aceleración espectral correspondiente a un periodo de vibración igual a cero A_s		#¡REF!
Coeficiente que representa la aceleración horizontal pico efectiva, para diseño A_a		0,00
Coeficiente de amplificación dinámica del elemento no estructural α_p		
Factor de reducción de resistencia ϕ		
Resistencia especificada a la compresión del concreto MPa f'_c		
Resistencia especificada a la fluencia del refuerzo MPa f_y		
Dimensiones (mm)	Ancho de la cara en compresión del elemento b	
	Altura del elemento h	#N/D
	Recubrimiento del elemento r	
	Distancia desde la fibra extrema en compresión hasta el centroide del refuerzo longitudinal a tracción d	#N/D
Máxima cantidad de columnetas		0
Barra de Refuerzo		#3

Diseñar

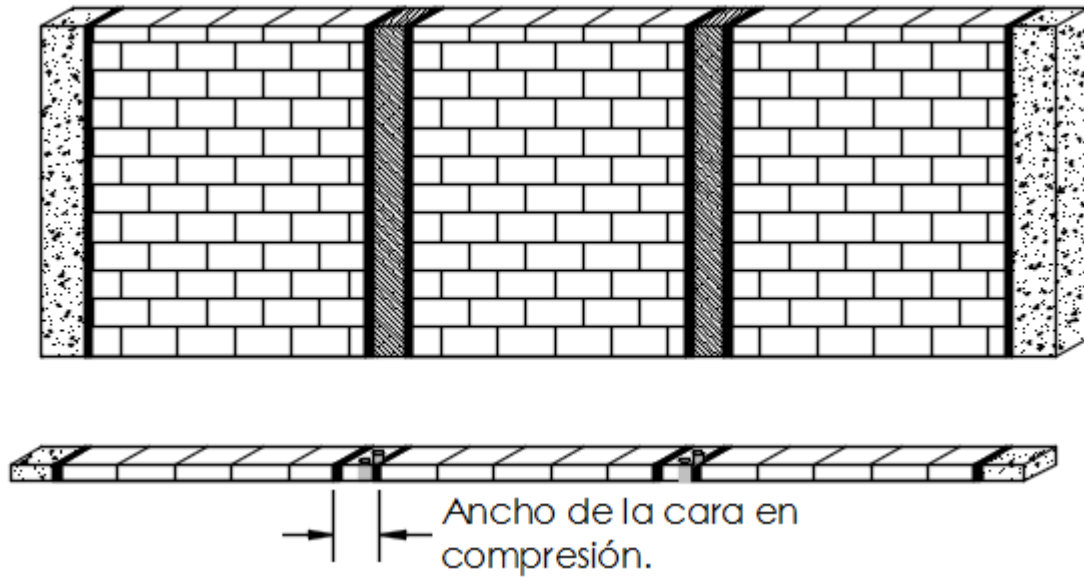
En el noveno campo se debe ingresar el Coeficiente de amplificación dinámica del Elemento No Estructural, el cual está estipulado en la Tabla A.9.5-1 de la NSR-10. Este coeficiente depende del tipo de E.N.E. Debido a lo anterior para este software serán permitidos los relacionados con: Fachadas, muros divisorios y particiones y elementos en voladizo.

Elemento no estructural	a_p
Fachadas	
• paneles prefabricados apoyados arriba y abajo	1.0
• en vidrio apoyadas arriba y abajo	1.0
• lámina en yeso, con costillas de acero	1.0
• mampostería reforzada, separada lateralmente de la estructura, apoyadas arriba y abajo	1.0
• mampostería reforzada, separada lateralmente de la estructura, apoyadas solo abajo	2.5
• mampostería no reforzada, separada lateralmente de la estructura, apoyadas arriba y abajo	1.0
• mampostería no reforzada, separada lateralmente de la estructura, apoyadas solo abajo	2.5
• mampostería no reforzada, confinada por la estructura	1.0
Muros que encierran puntos fijos y ductos de escaleras, ascensores, y otros	1.0
Muros divisorios y particiones	
• corredores en áreas públicas	1.0
• muros divisorios de altura total	1.0
• muros divisorios de altura parcial	2.5
Elementos en voladizo vertical	
• áticos, parapetos y chimeneas	2.5
Anclaje de enchapes de fachada	1.0
Altillos	1.5
Cielos rasos	1.0
Anaqueles, estanterías y bibliotecas de más de 2.50 m de altura, incluyendo el contenido	
• Diseñadas de acuerdo al Título F	2.5
• Otras	2.5
Tejas	1.0

En el décimo campo se debe indicar el factor de reducción de resistencia. Generalmente este se toma como 0.90.

Los campos once y doce son relacionados con propiedades mecánicas del acero y del concreto. Estas deben ser dadas en MPa.

En los campos trece y catorce se establecen para el caso del diseño mediante columnetas, el ancho de la cara en compresión y el recubrimiento respectivamente.



Finalmente, el decimoquinto campo es el número de barra a escoger, el programa tiene establecido las barras #2, #3, #4 y #5. El usuario escogerá acorde a lo que se acomode a sus necesidades, y podrá realizar varios diseños y analizar cuál es el mejor de todos.

DISEÑO.

Ahora, ya habiendo rellenado todos los campos, se debe seleccionar el botón azul que dice “diseñar” y de este modo el programa ejecutará el diseño.

Máxima cantidad de columnetas	0
Barra de Refuerzo	#3



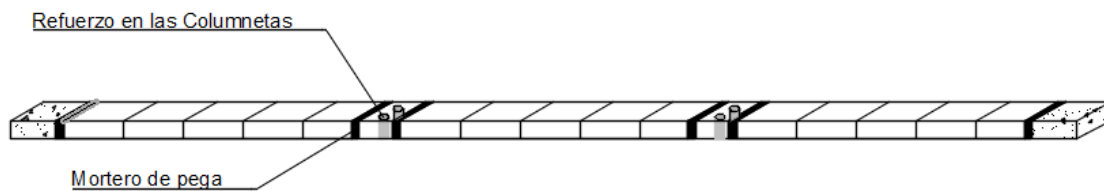
Al momento de presionar este botón el programa hará una serie de cálculos y se observará como la tabla de abajo se empezará a rellenar. Finalmente, cuando ya se haya ejecutado el diseño, el programa redirigirá automáticamente a una hoja de resultados.

RESULTADOS DE DISEÑO POR COLUMNETAS.

Valoración		CUMPLE <input type="checkbox"/>	
Entrepiso	Distancia centro a centro Columneta	Configuración Columnetas	Refuerzo Columnetas
Cubierta	3,50 m	Columneta@3,5m	2#3
	3,00 m	Columneta@3m	2#3
	2,50 m	Columneta@2,5m	2#3
	2,00 m	Columneta@2m	1#3
	1,50 m	Columneta@1,5m	1#3
	1,00 m	Columneta@1m	1#3
	0,50 m	Columneta@0,5m	1#3
Losas de cimentación	3,50 m	Columneta@3,5m	1#3
	3,00 m	Columneta@3m	1#3
	2,50 m	Columneta@2,5m	1#3
	2,00 m	Columneta@2m	1#3
	1,50 m	Columneta@1,5m	1#3
	1,00 m	Columneta@1m	1#3
	0,50 m	Columneta@0,5m	1#3
Nivel 2	3,50 m	Columneta@3,5m	1#3
	3,00 m	Columneta@3m	1#3
	2,50 m	Columneta@2,5m	1#3
	2,00 m	Columneta@2m	1#3
	1,50 m	Columneta@1,5m	1#3
	1,00 m	Columneta@1m	1#3
	0,50 m	Columneta@0,5m	1#3



Al terminar el diseño, se mostrará de forma detallada las configuraciones que cumplen el diseño. El resultado será una tabla en donde lo primero que se observa es la valoración del diseño y al lado el resultado. La tabla está conformada por 4 columnas que son: Entrepiso, distancia centro a centro entre columnetas, configuración de las columnetas y el refuerzo de estas. Es importante resaltar que la configuración de columnetas indica cuántas columnetas pueden ir, mientras que el refuerzo indica cuántas barras deben ir en cada una de estas.



Finalmente, se podrá generar un documento PDF resumen, el cual servirá como memoria de cálculo. Para esto solo se debe dar click en el botón que dice “Generar memoria” y automáticamente se genera y se guarda en la ruta en la que se haya guardado el software.

