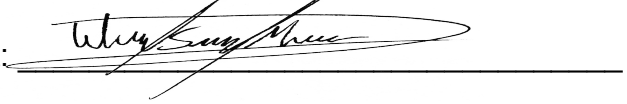
MEMORIA DE CÁLCULO
E INFORME ESTRUCTURAL

INSTITUCIÓN EDUCATIVA AGROECOLÓGICO AMAZÓNICO BUINAIMA
MÓDULO DE DOS AULAS ESCOLARES

Florencia, Caquetá

Dato	Información
Proyecto	Construcción de un (01) módulo de dos (02) aulas escolares - IE Agroecológico Amazónico Buinaima
Sistema principal	Mampostería estructural reforzada - DMO
Cubierta	Estructura metálica liviana a dos aguas
Cimentación	cimiento corrido de concreto ciclópeo con viga cinta de concreto reforzado para muros portantes.
Diseñador estructural	William Andres Sanchez Montilla
Matrícula profesional	091037-0662871 CND
Fecha base del documento	21/08/2026
Cliente	**Ing. Sebastian Ruiz**
Versión	02

RESPONSABLE DEL DISEÑO ESTRUCTURAL

Firma: 

William Andrés Sánchez Montilla
Ingeniero estructural
Matrícula Profesional No. **091037-0662871 CND**
Fecha: 08/09/2026

Contenido

1. OBJETO Y ALCANCE 4
1.1 Objeto 4
1.2 Alcance 4
2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO 4
3. INFORMACIÓN DE ENTRADA Y CRITERIOS DE DISEÑO 6
4. NORMATIVIDAD DE REFERENCIA 6
5. MATERIALES Y PROPIEDADES DE MODELACIÓN 7
5.1 Mampostería reforzada 7
5.2 Peso y espesor equivalente de mampostería parcialmente inyectada 8
5.3 Concreto, acero de refuerzo y acero estructural 9
6. ESTUDIO GEOTÉCNICO Y PARÁMETROS SÍSMICOS 9
6.1 Parámetros geotécnicos de diseño 9
6.2 Parámetros sísmicos 10
7. SISTEMA ESTRUCTURAL 11
7.1 Muros estructurales 11
7.2 Cubierta y coronación 11
7.3 Cimentación 12
8. AVALÚO DE CARGAS 12
8.1 Carga muerta D 12
8.2 Carga viva L / Lr 13
8.3 Viento W 13
8.4 Acción sísmica E 14
9. MODELACIÓN ESTRUCTURAL EN ETABS 15
9.1 Modelo estructural 15
9.2 Idealización de los muros de mampostería 15
9.3 Discretización y tipificación de muros 16
9.4 Condiciones de apoyo y fuente de masa 17
9.4.1 Condiciones de apoyo 17
9.5 Analisis Modal 18
10. ANÁLISIS SISMO RESISTENTE Y VERIFICACIONES GLOBALES 20
10.1 Método de análisis sísmico y cortante basal 20
10.2 Regularidad, torsión accidental y efectos direccionales 21
10.3 Verificación de derivas 21
10.4 Verificaciones globales del modelo 22
11. DISEÑO DE MUROS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA 22
11.1 Propiedades y criterios de diseño 22
11.2 Tipificación y solicitaciones de diseño de los muros 23

11.3 Verificación a carga axial y esbeltez 25
11.4 Verificación Flexo-compresión 26
11.5 Verificación Cortante 27
11.6 Celdas inyectadas y refuerzo 27
11.7 Elementos de borde y zonas críticas 28
11.8 Tabla integral de verificación y diseño de muros 29
12. DISEÑO DE CIMENTACIÓN 29
12.1 Criterios de diseño 30
12.2 Geometria adoptada 30
12.4 Conclusión 30
13. DISEÑO DE CUBIERTA METÁLICA 31
13.1 Geometría y cargas de la memoria de correas 31
13.2 Verificación de correa 2P-150-16 31
13.3 Cerchas, arriostramientos y conexiones 31
14. ESPECIFICACIONES CONSTRUCTIVAS Y CONTROL DE CALIDAD 32
14.1 Mampostería 32
14.2 Concreto y acero de refuerzo 32
14.3 Estructura metálica 32
15. CONCLUSIONES 32
16. DOCUMENTOS DE REFERENCIA 34

1. OBJETO Y ALCANCE

1.1 Objeto

Presentar de manera ordenada y trazable las hipótesis, parámetros, cargas, procedimientos de análisis, resultados y verificaciones adoptadas para el diseño estructural de un (01) módulo de dos (02) aulas escolares de la Institución Educativa Agroecológico Amazónico Buinaima, en Florencia, Caquetá. El sistema principal de resistencia corresponde a muros de mampostería estructural reforzada con capacidad moderada de disipación de energía (DMO), apoyados sobre cimentación superficial continua y con cubierta metálica liviana.

1.2 Alcance

- Caracterización geométrica del módulo de dos aulas y definición del sistema resistente en ambas direcciones.
- Definición de materiales y propiedades mecánicas de mampostería, acero, concreto y elementos metálicos.
- Incorporación del estudio geotécnico real del sitio y de los parámetros sísmicos asociados.
- Avalúo de cargas permanentes, variables, sísmicas y de viento.
- Modelación tridimensional en ETABS mediante elementos de área para muros, etiquetas Pier y elementos lineales cuando corresponda.
- Verificación de periodos, participación modal, cortante basal, irregularidades, desplazamientos y derivas.
- Diseño de muros a carga axial, flexo-compresión y cortante con fuerzas concurrentes Pu, Vu y Mu.
- Dimensionamiento de la cimentación a partir de reacciones del modelo y capacidad portante del estudio de suelos.
- Integración de la estructura metálica de cubierta, correas, cerchas, conexiones, anclajes y transferencia de cargas a la mampostería.
- Definición de requisitos de construcción, control de calidad, documentos anexos y lista de cierre previa a firma.

2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

El proyecto corresponde a una edificación educativa de un solo nivel, conformada por un módulo rectangular que contiene dos aulas escolares contiguas. La planta estructural tiene una longitud global aproximada de 16.76 m y un ancho aproximado de 7.13 m, consistentes con un área construida cercana a 119.50 m². Los muros estructurales reciben las acciones gravitacionales y laterales y transmiten las reacciones a una cimentación corrida. La cubierta metálica liviana se apoya sobre elementos de coronación y debe garantizarse su anclaje frente a presión y succión de viento.

Parámetro	Valor adoptado / estado
Número de niveles	1
Número de módulos	1
Número de aulas	2
Uso	Institucional - educativo
Sistema resistente	Mampostería estructural reforzada - DMO
Área construida aproximada	119.50 m²
Dimensiones globales aproximadas	16.76 m x 7.13 m
Altura de muro / alero	2.70 m
Altura máxima / cumbrera	3.70 m
Cubierta	Metálica liviana a dos aguas
Cimentación	cimiento corrido de concreto ciclópeo con viga cinta

Parámetro	Valor adoptado / estado
Municipio / Departamento	Florencia / Caquetá
Planos arquitectónicos finales	Buinaima REVIT

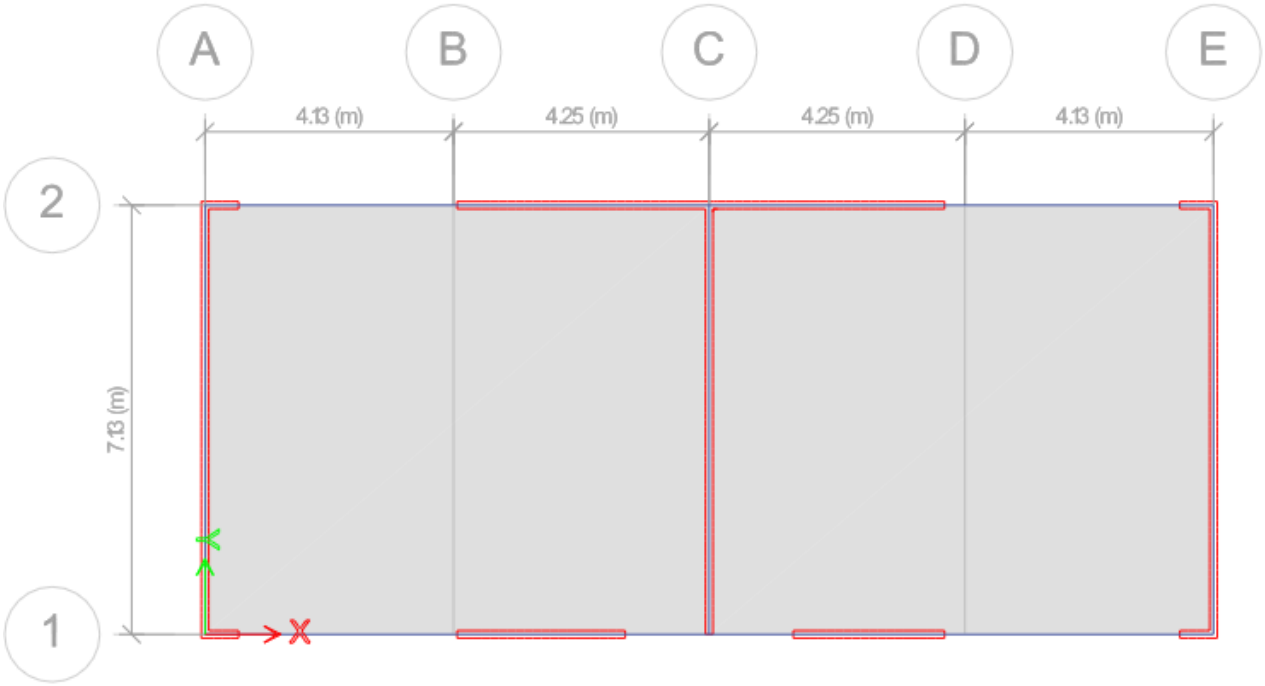


Ilustración 1 Planta estructural de referencia del módulo de dos aulas.

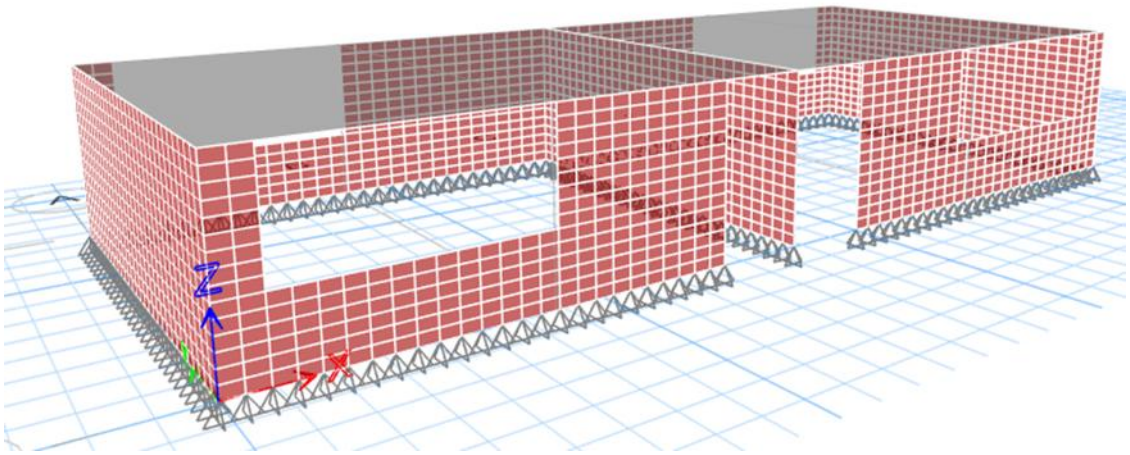


Ilustración 2 Modelo 3D modulo de dos aulas

3. INFORMACIÓN DE ENTRADA Y CRITERIOS DE DISEÑO

La trazabilidad del diseño se basa en cuatro fuentes: arquitectura, geotecnia, definición del sistema constructivo y modelo analítico. Cada cambio de geometría, abertura, ubicación de apoyo de cubierta o especificación de material obliga a revisar el modelo y las verificaciones asociadas.

Entrada	Documento / dato	Estado
Arquitectura	Planos arquitectonico Proyecto Buinaima	INCORPORADO
Geotecnia	Estudio S006-0925, IE Agroecológico Amazónico Buinaima	INCORPORADO
Mampostería	Diseño_Mamp Buinaima.xlsx	INCORPORADO
Peso equivalente	Espesor equivalente.xlsx	INCORPORADO
Cubierta - correas	Correa Buinaima.pdf	INCORPORADO
Cubierta - cercha	Cargas Cercha.xlsx	INCORPORADO
Sismo / FHE	FHE Buinaima.xlsx	INCORPORADO
Modelo	Buinaima mamposteria.edb	INCORPORADO

4. NORMATIVIDAD DE REFERENCIA

El diseño estructural se organiza con base en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 y las normas de producto y ejecución que resulten aplicables a los materiales efectivamente suministrados.

- NSR-10, Título A: requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente.
- NSR-10, Título B: cargas.
- NSR-10, Título C: concreto estructural para cimentación, vigas de amarre, dinteles y elementos de concreto.
- NSR-10, Título D: mampostería estructural.
- NSR-10, Título F: estructuras metálicas.
- NSR-10, Título H: estudios geotécnicos y cimentaciones.
- NTC 2289 / ASTM A706, cuando corresponda, para acero de refuerzo.
- Normas ASTM aplicables a perfiles, láminas, pernos y anclajes del sistema metálico.
- AISC 360 y AWS como documentos complementarios para el diseño y ejecución de elementos y conexiones metálicas cuando apliquen.

5. MATERIALES Y PROPIEDADES DE MODELACIÓN

5.1 Mampostería reforzada

Propiedad	Valor / especificación
Resistencia especificada de la mampostería f'm	15 MPa
Módulo de elasticidad Em	11,250 MPa
Módulo de cortante Gm	4,500 MPa
Unidad de mampostería	30x15x8
Resistencia mínima de la unidad f'cu	40 MPa
Espesor de muro usado en hoja de diseño	125 mm
Mortero de pega	3000 psi
Mortero de relleno (grout)	21 MPa
Acero de refuerzo fy	420 MPa
Módulo del acero Es	200,000 MPa

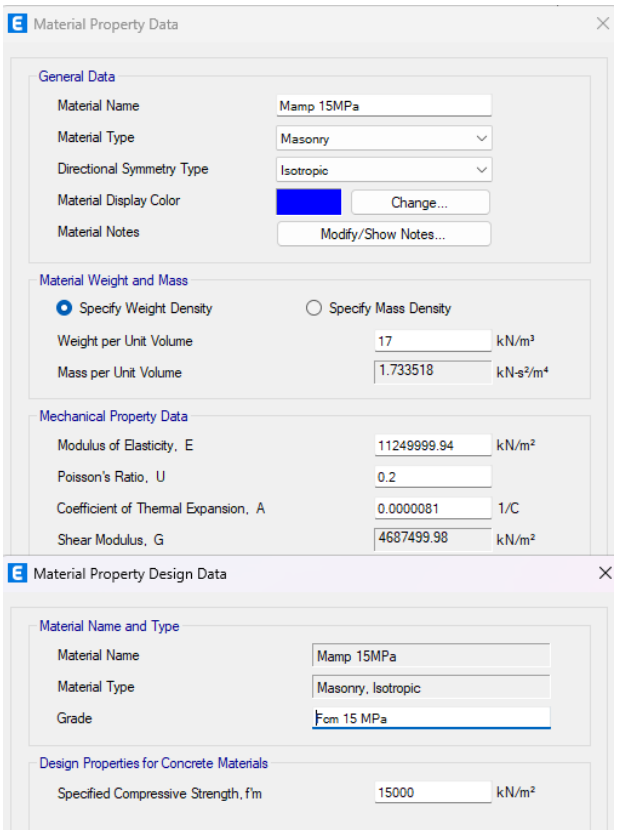


Ilustración 3 Propiedades de mamposteria

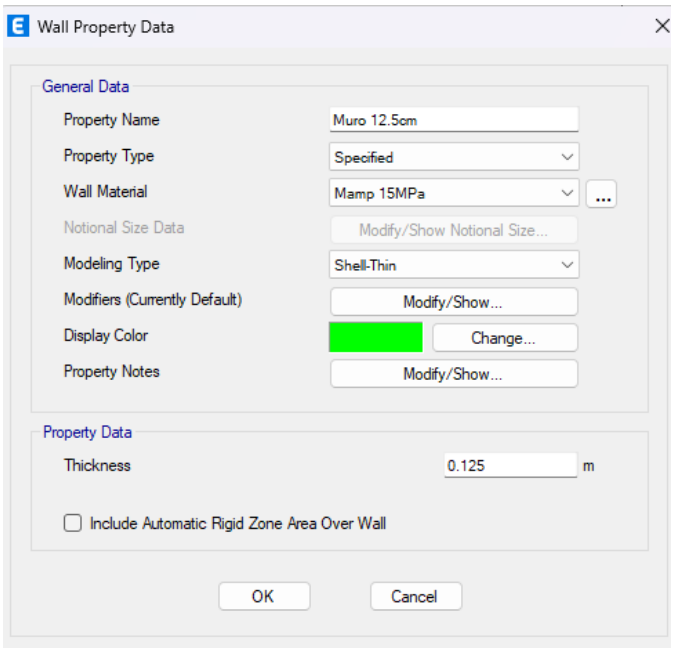


Ilustración 4 propiedades de mamposteria espesor

5.2 Peso y espesor equivalente de mampostería parcialmente inyectada

Espesor equivalente estima una idealización para representar la masa y el peso de un muro parcialmente inyectado. Este cálculo no reemplaza el espesor resistente usado para la verificación de la mampostería.

Parámetro	Valor
Espesor nominal de muro tm	125 mm
Longitud módulo considerada	250 mm
Longitud libre	750 mm
Abertura de celda	60 mm
Número de celdas rellenas nr	2
Número total de celdas nt	6
Peso unitario mampostería γm	18 kN/m³
Peso unitario relleno γc	24 kN/m³
Espesor equivalente mampostería	89.00 mm
Espesor equivalente relleno	13.57 mm
Espesor equivalente total	102.57 mm
Peso unitario equivalente γeq	15.42 kN/m³

5.3 Concreto, acero de refuerzo y acero estructural

Material	Propiedad	Valor
Concreto de cimentación	f'c	**21 MPa**
Vigas de amarre	f'c	**21 MPa**
Acero de refuerzo	fy	420 MPa
Correa 2P-150-16	Fy	2800 kg/cm²
Correa 2P-150-16	Fu	3650 kg/cm²
Cerchas	Fy	

6. ESTUDIO GEOTÉCNICO Y PARÁMETROS SÍSMICOS

6.1 Parámetros geotécnicos de diseño

El estudio geotécnico S006-0925 se elaboró específicamente para la construcción de un módulo de dos aulas en la IE Agroecológico Amazónico Buinaima. Se ejecutaron tres perforaciones con ensayos SPT y se definió un perfil de diseño único para cimentación.

Parámetro	Valor adoptado / reporte
Perfil geotécnico	Suelo cohesivo de alta plasticidad MH-CH; perfil sísmico D
Nivel freático	No encontrado en las perforaciones
Peso unitario del suelo γ	17.7 kN/m³
Su a 1.0 m	45.0 kPa
Es a 1.0 m	5,553 kPa
Su a 1.5 m	82.5 kPa
Es a 1.5 m	7,603 kPa
Profundidad de desplante recomendada	1.00 a 1.50 m
Ancho mínimo indicado	1.00 m, sujeto a cargas
qadm a Df=1.0 m, B=1.0 m	128.94 kPa
Factor de seguridad reportado	3.0
Asentamiento total estimado a qadm	3.25 cm para Df=1.0 m y B=1.0 m
Drenaje superficial	Prever manejo de aguas, canales y filtros perimetrales

6.2 Parámetros sísmicos

Parámetro	Valor
Zona de amenaza sísmica	Intermedia
Aa	0.20
Av	0.15
Ae	0.10
Ad	0.05
Perfil de suelo	D
Fa	1.40
Fv	2.20
Grupo de uso	III - Edificaciones de atención a la comunidad
Coeficiente de importancia I	1.25
Sistema de disipación	DMO
R0	2.50
Factores φp, φa, φr	1.0,1.0,1.0
R definitivo	2.50

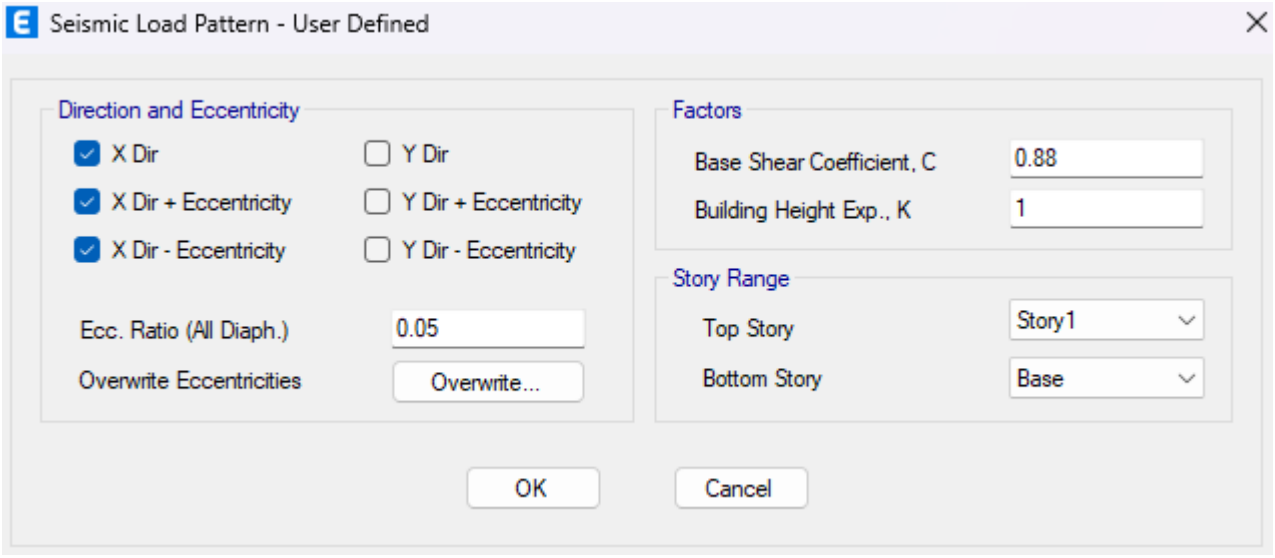


Ilustración 5 patrón de carga sismo x

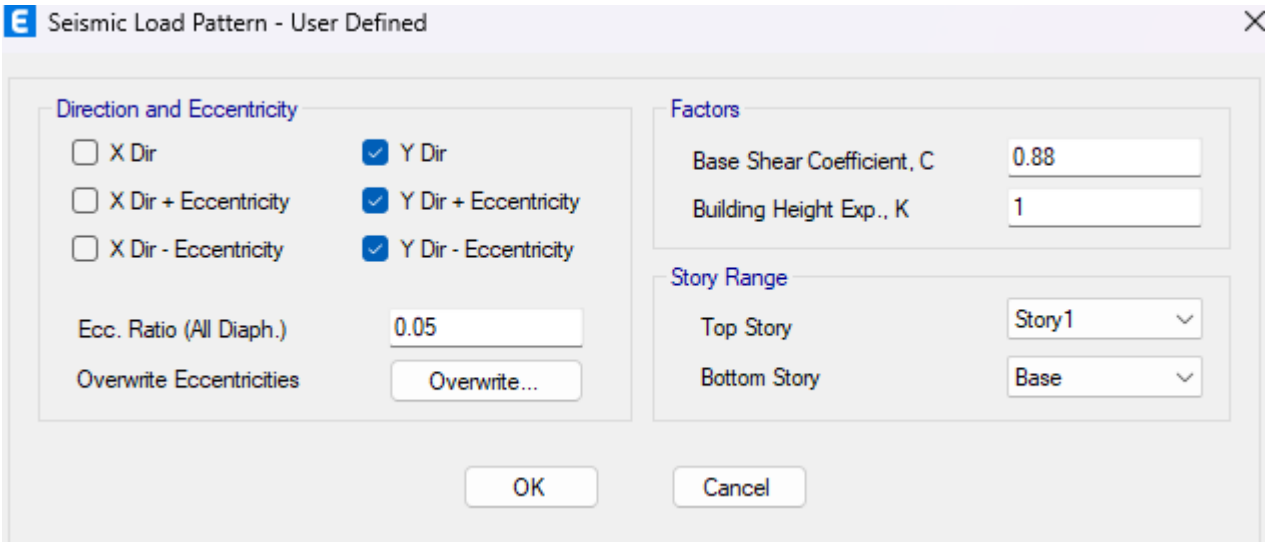


Ilustración 6 patrón de carga sismo y

7. SISTEMA ESTRUCTURAL

El sistema principal está conformado por muros de mampostería reforzada distribuidos en las dos direcciones principales. Los muros se vinculan mediante vigas de amarre y se apoyan sobre zapatas corridas. Las cargas de la cubierta metálica se transfieren por correas a cerchas o vigas principales, de estas a las vigas y muros, y finalmente a la cimentación y al suelo.

7.1 Muros estructurales

Los segmentos resistentes se identifican mediante etiquetas Pier. La hoja de cálculo disponible contiene seis grupos principales P1 a P6, con longitudes de 6.988 m, 7.130 m y 16.760 m. Las aberturas, machones, dinteles y tímpanos deben coincidir exactamente con la arquitectura final.

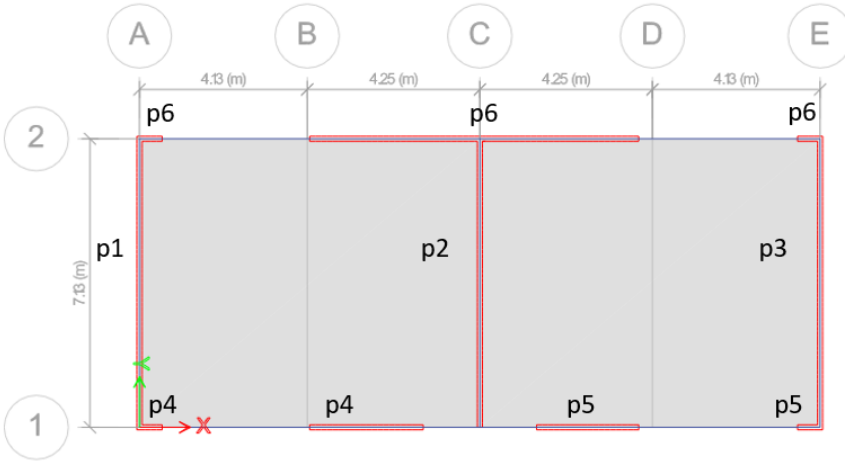


Ilustración 7 distribución de muros etabs

7.2 Cubierta y coronación

La cubierta se resuelve mediante estructura metálica liviana a dos aguas. Las reacciones de presión, succión y peso propio deben distribuirse sobre zonas de mampostería capaces de recibirlas, mediante elementos de coronación diseñados.

7.3 Cimentación

El cimiento corrido de concreto ciclópeo se adopta con geometría trapezoidal, ancho inferior **B=1.00 m**, ancho superior **b=0.30 m** y altura **H=0.60 m**. El ancho superior coincide con el ancho de la viga cinta de concreto reforzado de sección **0.30×0.30 m**. Debido a la geometría simétrica del elemento, el desarrollo horizontal de cada cara inclinada es **T=(B−b)/2=0.35 m**, correspondiente a una inclinación aproximada de **59.74∘** respecto de la horizontal.

El ancho requerido exclusivamente por capacidad portante se obtiene mediante **Breq=P/qadm**, considerando un metro lineal de cimentación. Para las cargas de servicio obtenidas en los muros P1 a P6 se obtienen anchos teóricos inferiores al ancho mínimo recomendado por el estudio geotécnico. En consecuencia, gobierna el ancho mínimo de **1.00 m** establecido por dicho estudio. Para el muro crítico P2, con una carga de **17.571 kN/m**, la presión de contacto resulta **q=27.77 kPa**, inferior a la capacidad portante admisible **qadm=128.94 kPa**, por lo cual la dimensión adoptada satisface la verificación geotécnica por capacidad portante.

8. AVALÚO DE CARGAS

8.1 Carga muerta D

Componente	Dato / criterio
Muros de mampostería	Idealización de peso equivalente: γeq = 15.42 kN/m³, teq = 102.57 mm
Correa / cubierta - peso muerto Corpasoft	12.3458 kg/m² ≈ 0.121 kN/m²
Master 1000, 0.36 mm	0.031 kN/m²
Cerchas, placas y tornillería	**52.9 KN dividida en 2 reacciones**
Cielo raso / instalaciones adicionales/ luminarias	**0.3 kN/m²**
Vigas de coronación / dinteles / cimentación	Peso propio según secciones reales

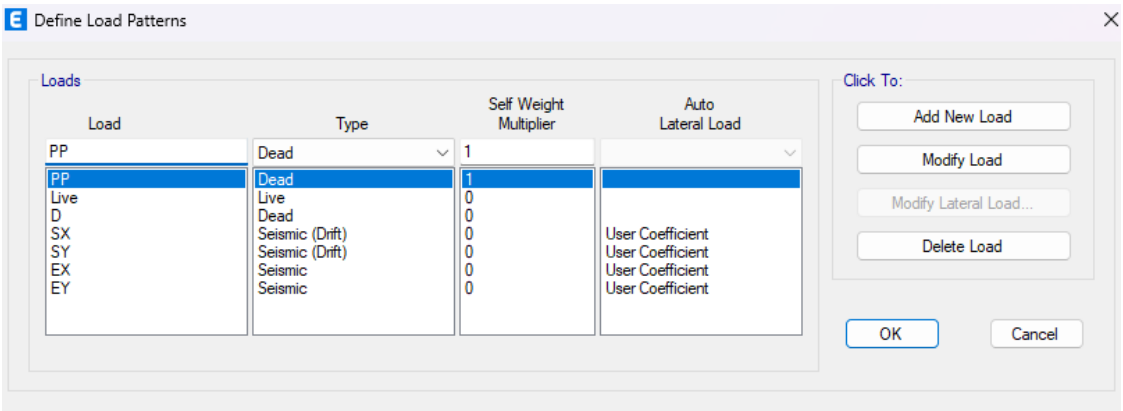


Ilustración 8 load patterns etabs

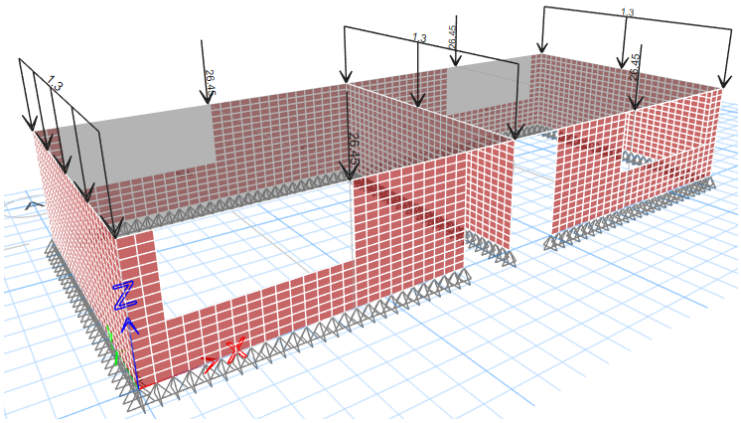


Ilustración 9 asignacion de cargas Muertas en el modelo

8.2 Carga viva L / Lr

Zona	Carga de diseño
Cubierta liviana	0.50 kN/m² (50 kg/m²)

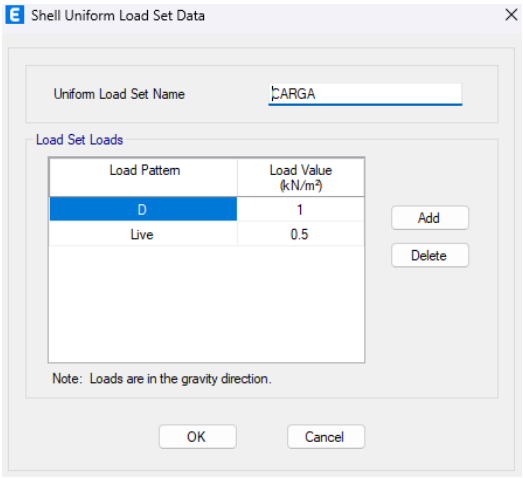


Ilustración 10 asignación de cargas vivas en el modelo

8.3 Viento W

Parámetro	Valor / estado
Presión usada	+50 kg/m² ≈ +0.490 kPa
Succión usada	-50 kg/m² ≈ -0.490 kPa

8.4 Acción sísmica E

La acción sísmica se determinó con los parámetros correspondientes al municipio de Florencia, Caquetá, adoptando Aa =0.20, Av=0.15, perfil de suelo Tipo D, Fa=1.40 y Fv=2.20. La edificación se clasifica dentro del Grupo de Uso III, con coeficiente de importancia I=1.25.

La fuente de masa del modelo estructural está conformada por el peso propio de los elementos modelados y las cargas muertas permanentes adicionales. De acuerdo con la tabla Mass Summary by Story de ETABS, se obtiene una masa total de:

$$M=55.0375ton$$

equivalente a un peso sísmico:

$$W=539.73\ kN$$

Para el período fundamental de la estructura, ubicado dentro de la zona de aceleración constante del espectro, se obtiene:

$$Sa(T)=0.875$$

Por tanto, el cortante sísmico basal correspondiente al método de Fuerza Horizontal Equivalente es:

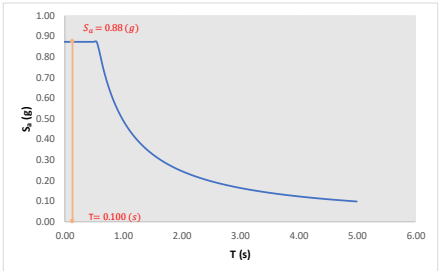
$$Vs=SaW=0.875(539.73\ )$$
$$Vs=472.27\ kN$$

debido a que se trata de una estructura de un solo nivel, la totalidad del cortante basal se distribuye al único nivel sísmico. En consecuencia:

$$VsX=472.27\ KN$$
$$VsY=472.27\ kN$$

Para el diseño de los elementos estructurales, los casos EX y EY incorporan el factor I/R=1.25/2.50=0.50 sobre un coeficiente sísmico base C=0.70, resultando un coeficiente efectivo de diseño de 0.35.

Zona de amenaza sísmica (Florencia, Caqueta):	Intermedia
Coeficiente de aceleración horizontal pico efectiva:	A_a = 0.20
Coeficiente de velocidad horizontal pico efectiva:	A_v = 0.15
Tipo de perfil de suelo:	Tipo D
Coeficiente de amplificación que afecta la aceleración:	F_a = 1.40
Coeficiente de amplificación que afecta la velocidad:	F_v = 2.20
Grupo de uso (Edificaciones indispensables):	Grupo I
Coeficiente de Importancia (Título A NSR - 10):	I = 1.25
Período Corto:	T_C = 0.57 s
Período Largo:	T_L = 5.28 s
Valor máximo del espectro de aceleraciones:	$S_{a.max}$ = 0.875
Coeficiente para calcular el período aproximado:	C_t = 0.049
Exponente para cálcular el período aproximado:	α = 0.75
Altura del piso más alto del edificio:	h_n = 2.70
Período fundamental aproximado:	T_a = 0.10 s
Coeficiente para calcular período máximo permisible:	C_U = 1.35
Período máximo permisible la estructura:	$C_U T_a$ = 0.140 s
Período fundamental de la estructura (ETABS):	T = 0.220 s
Período fundamental de la estructura:	T = 0.14 s
Exponente relacionado con el período:	k = 1.00
Valor del espectro de aceleraciones de diseño:	S_a = 0.88



Peso total estructrura:	W = 539.70 kN
Cortante sísmico en la base:	V_s = 472.23 kN

Nivel	m_x	h_x	$m_x h_x^k$	C_{vx}	Fx
1st	55.0374	0	0	1.000	472.23 kN

Cargas para ETABS		
Nivel	Derivas R=1.0	Diseño R=1.25
1st	377.79	188.89

Ilustración 11 accion sismica E

9. MODELACIÓN ESTRUCTURAL EN ETABS

9.1 Modelo estructural

El análisis estructural se realizó mediante ETABS versión 21.1.0, empleando un modelo tridimensional de elementos finitos. La edificación se representó como un único módulo estructural conformado por dos salones de clase, con dimensiones generales aproximadas de:

16.76m×7.13m

Los muros estructurales tienen una altura efectiva de **2.70 m** y la cubierta alcanza una altura de **3.70 m** en la cumbrera.

Las cuchillas o tímpanos triangulares comprendidos entre la coronación de los muros y la cumbrera no fueron modelados explícitamente mediante elementos Shell. Su peso se incorporó al modelo mediante cargas lineales distribuidas equivalentes.

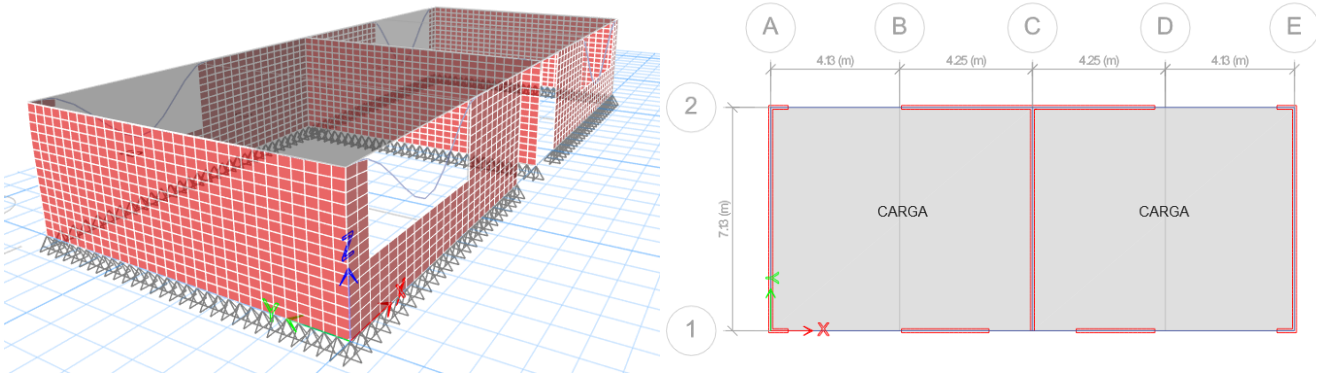


Ilustración 12 Vista tridimensional y planta general del modelo ETABS.

9.2 Idealización de los muros de mampostería

Los muros de mampostería se encuentran vinculados en su coronación mediante una viga de amarre continua de concreto reforzado de sección 0.15 × 0.20 m, modelada mediante elementos tipo FRAME y conectada nodalmente a los elementos Shell que conforman los muros. La continuidad entre el refuerzo vertical dispuesto en las celdas inyectadas y la viga de coronación garantiza el amarre superior de los paños y permite la transferencia de las acciones provenientes de la estructura metálica de cubierta.

$f_m' = 15 MPa$

y módulo de elasticidad:

$E_m = 750 f_m'$ $E_m = 11250 MPa$

El espesor nominal de la mampostería es de 0.15 m y para el modelo estructural se adoptó un espesor efectivo de:

$t = 0.125 m$

La propiedad definida en ETABS corresponde a “Muro 12.5 cm”, asociada al material “Mamp 15 MPa”.

Elemento	Idealizacion
Muros estructurales	WALL / SHELL-THIN
Espesor nominal	0.15 m
Espesor efectivo ETABS	0.125 m

Elemento	Idealizacion
(f'_m)	15 MPa
(E_m)	11,250 MPa
Dinteles – viga de amarre	15 cm x 20 cm
Cubierta metálica	Reacciones/cargas equivalentes provenientes del diseño independiente

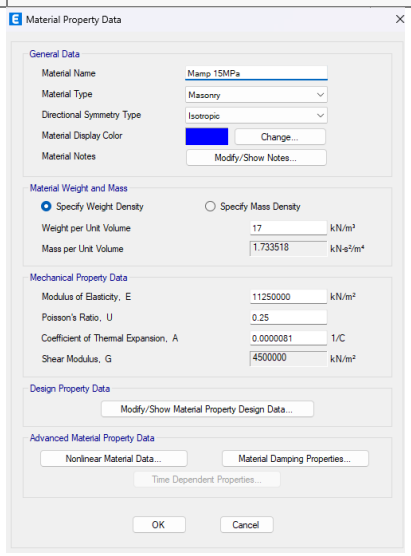


Ilustración 13 Propiedades mecánicas del material de mampostería definido en ETABS.

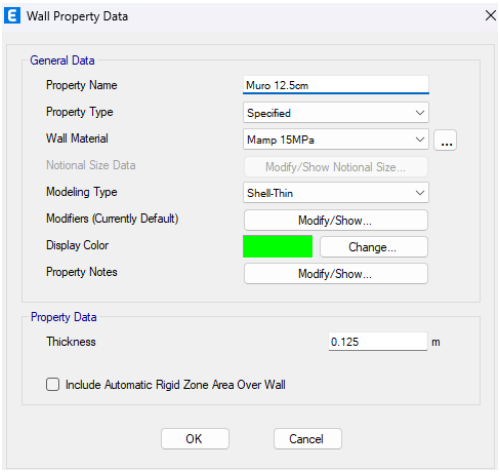


Ilustración 14 Propiedad de sección de muro adoptada en ETABS.

9.3 Discretización y tipificación de muros

Los muros fueron discretizados mediante objetos independientes tipo Shell, ajustando la malla a las intersecciones de muros y a la geometría de puertas y ventanas.

En las zonas regulares del modelo se verificó una dimensión característica aproximada de:

0.24m×0.18m

Las dimensiones pueden variar localmente alrededor de vanos y cambios geométricos para conservar la compatibilidad nodal.

Debido a que los muros fueron previamente discretizados, para los muros rectos se mantiene desactivada una subdivisión automática adicional de ETABS.

Los diferentes elementos finitos pertenecientes a cada muro se agruparon mediante etiquetas tipo Pier, definiéndose:

P1, P2, P3, P4, P5, P6

Estas etiquetas permiten obtener las resultantes integradas:

Pu,Vu,Mu

utilizadas posteriormente en el diseño de cada muro.

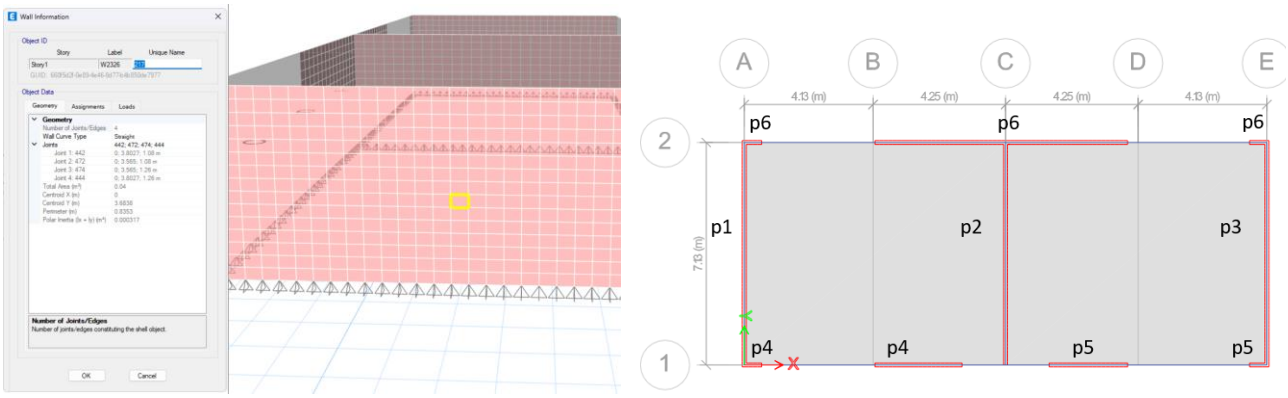


Ilustración 15 Malla de elementos finitos y planta con identificación de Piers P1–P6.

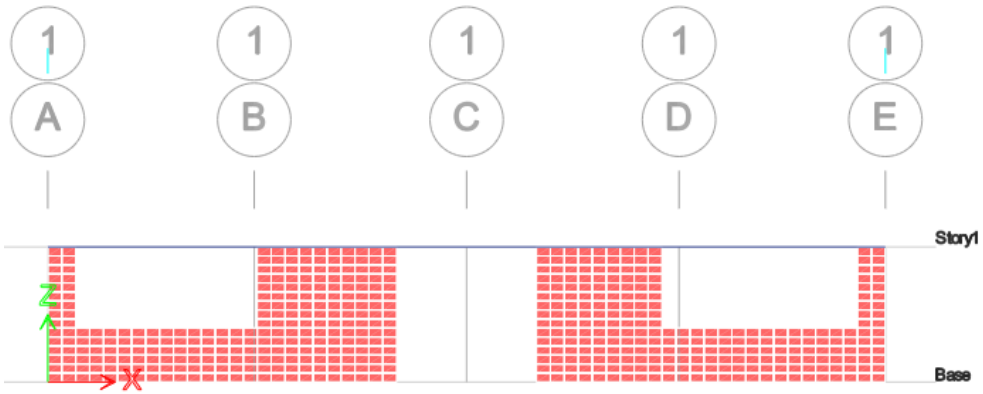


Ilustración 16 Discretización mediante elementos finitos de los muros de mampostería en ETABS.

La figura muestra la malla de elementos tipo SHELL-THIN utilizada para representar los muros estructurales. La discretización se realizó de manera compatible con los bordes de puertas y ventanas, las intersecciones entre muros y los elementos lineales asociados, con el fin de garantizar continuidad nodal y una adecuada transferencia de esfuerzos.

9.4 Condiciones de apoyo y fuente de masa

9.4.1 Condiciones de apoyo

Para el análisis global de la superestructura, los nodos ubicados en la base de los muros estructurales se idealizaron mediante **apoyos empotrados**, restringiendo los seis grados de libertad:

UX=UY=UZ=RX=RY=RZ=0

Esta condición representa la continuidad entre los muros de mampostería reforzada, la viga cinta de cimentación y el sistema de cimentación adoptado. El refuerzo vertical dispuesto en las celdas inyectadas de los muros deberá quedar

debidamente desarrollado y anclado en la viga de cimentación, garantizando la transferencia de las acciones verticales y horizontales hacia el terreno.

En el modelo global no se incorporó explícitamente la flexibilidad del suelo mediante resortes. Las reacciones obtenidas en la base del modelo se utilizan posteriormente para la verificación independiente del sistema de cimentación de acuerdo con los parámetros del estudio geotécnico.

9.4.2 Fuente de masa

La fuente de masa sísmica del modelo se definió mediante **MsSrc1**, considerando los patrones de carga permanente **PP** y **D**.

El patrón **PP** corresponde al peso propio automático de los elementos estructurales modelados y posee un factor:

Self Weight Multiplier=1.00

El patrón **D** contiene las cargas muertas permanentes adicionales que no se encuentran representadas directamente mediante el peso propio de los elementos, tales como las cargas permanentes de la cubierta metálica, correas, reacciones gravitacionales de la cercha, cielo raso, luminarias, instalaciones y demás elementos permanentes considerados en el modelo. Para este patrón se adoptó:

Self Weight Multiplier=0.00

Por consiguiente, la fuente de masa se expresa conceptualmente como:

M=PP+D

evitando la duplicación del peso propio de los elementos estructurales.

Los elementos de área auxiliares empleados para la distribución de las cargas de cubierta no representan una losa estructural real. En consecuencia, se les asignó **masa y peso propio nulos**, así como una rigidez de membrana despreciable, evitando introducir en el modelo masa o rigidez lateral ficticia asociada a una losa inexistente.

A partir de la tabla **Mass Summary by Group** de ETABS se obtuvo una masa sísmica total en las direcciones horizontales de:

MX=MY=55.0375 ton

El peso sísmico correspondiente es:

W=Mg W=55.0375(9.80665) W=539.73 kN

La igualdad entre las masas en las direcciones X y Y confirma que la misma fuente de masa es utilizada para el análisis sísmico en ambas direcciones principales.

9.5 Analisis Modal

El comportamiento dinámico de la estructura se evaluó mediante un análisis modal en **ETABS 21.1.0**, utilizando el método de extracción de vectores propios **Eigen** y la fuente de masa definida para el modelo estructural. Se consideró un número suficiente de modos de vibración hasta alcanzar la participación acumulada de masa requerida en las dos direcciones horizontales principales.

La revisión de los resultados muestra que los primeros modos presentan una participación traslacional reducida y corresponden principalmente a deformaciones locales de los paños de mampostería. Este comportamiento es consistente con la idealización adoptada para la cubierta, la cual **no se considera como un diafragma rígido**, por lo que la respuesta dinámica global se distribuye entre varios modos de vibración.

En la dirección X, la participación de masa se acumula progresivamente principalmente a partir de los modos 5 a 13. Entre las contribuciones individuales más significativas se encuentran el modo 6 con 20.76 %, el modo 8 con 16.32 %, el modo 10 con 12.61 %, el modo 13 con 11.78 % y el modo 9 con 10.60 %.

En la dirección Y, las mayores contribuciones individuales corresponden al modo 12 con 27.86 %, modo 14 con 22.72 %, modo 4 con 13.88 % y modo 3 con 11.46 %. En consecuencia, la respuesta en esta dirección tampoco se encuentra concentrada en un único modo traslacional.

La participación acumulada alcanza, en el **modo 17**:

$$\sum UX = 0.9081 = 90.81\%$$
$$\sum UY = 0.9139 = 91.39\%$$

por lo cual a partir de este modo se supera el **90 % de participación de masa en ambas direcciones principales**. El modelo fue configurado con un máximo de 30 modos, proporcionando un margen adicional para la representación de la respuesta dinámica.

Los primeros períodos obtenidos son:

$$T1 = 0.229 \text{ s}$$
$$T2 = 0.223 \text{ s}$$
$$T3 = 0.171 \text{ s}$$

No obstante, debido a la baja participación traslacional de estos primeros modos, dichos períodos no deben interpretarse individualmente como períodos de traslación global de toda la edificación. La respuesta global se obtiene mediante la combinación de los diferentes modos considerados en el análisis.

Parámetro	Resultado
Método de extracción modal	Eigen
Fuente de masa	MsSrc1
Número máximo de modos considerado	30
Periodo del modo 1	0.229 s
Participación acumulada X en modo 17	90.81%
Participación acumulada Y en modo 17	91.39%
Número mínimo de modos requerido para superar 90 % en X e Y	17
Verificación de participación modal	CUMPLE

TABLE: Modal Participating Mass Ratios														
Case	Mode	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
		sec												
Modal	1	0.229	0.000002111	0.0096	0	0.000002111	0.0096	0	0.0096	0.000002111	0.0294	0.0096	0.000002111	0.0294
Modal	2	0.223	0.0007	0.0007	0	0.0007	0.0103	0	0.0007	0.0007	0.0922	0.0103	0.0007	0.1216
Modal	3	0.171	0.0004	0.1146	0	0.0011	0.1249	0	0.1146	0.0004	0.0002	0.1249	0.0011	0.1217
Modal	4	0.13	0.0381	0.1388	0	0.0392	0.2637	0	0.1388	0.0381	0.0002	0.2637	0.0392	0.1219
Modal	5	0.084	0.0764	0.0321	0	0.1155	0.2957	0	0.0321	0.0764	0.0009	0.2957	0.1155	0.1228
Modal	6	0.038	0.2076	0.0053	0	0.3232	0.301	0	0.0053	0.2076	0.0544	0.301	0.3232	0.1772
Modal	7	0.034	0.0376	0.0015	0	0.3608	0.3026	0	0.0015	0.0376	0.0072	0.3026	0.3608	0.1844
Modal	8	0.031	0.1632	0.0007	0	0.524	0.3032	0	0.0007	0.1632	0.0545	0.3032	0.524	0.2389
Modal	9	0.03	0.106	0.0023	0	0.63	0.3055	0	0.0023	0.106	0.0095	0.3055	0.63	0.2484
Modal	10	0.024	0.1261	0.0015	0	0.7562	0.307	0	0.0015	0.1261	0.033	0.307	0.7562	0.2814
Modal	11	0.021	0	0.0426	0	0.7562	0.3496	0	0.0426	0	0.0002	0.3496	0.7562	0.2816
Modal	12	0.02	0.000002259	0.2786	0	0.7562	0.6283	0	0.2786	0.000002259	0.0005	0.6283	0.7562	0.2821
Modal	13	0.016	0.1178	0.00001868	0	0.874	0.6283	0	0.00001868	0.1178	0.2349	0.6283	0.874	0.517
Modal	14	0.016	0.004	0.2272	0	0.878	0.8555	0	0.2272	0.004	0.1716	0.8555	0.878	0.6887
Modal	15	0.015	0.0075	0.0514	0	0.8855	0.9069	0	0.0514	0.0075	0.1341	0.9069	0.8855	0.8227
Modal	16	0.015	0.0128	0.0069	0	0.8983	0.9138	0	0.0069	0.0128	0.0107	0.9138	0.8983	0.8334
Modal	17	0.003	0.0099	0.00004577	0	0.9081	0.9139	0	0.00004577	0.0099	0.0042	0.9139	0.9081	0.8376
Modal	18	0.003	0.0001	0.000004755	0	0.9082	0.9139	0	0.000004755	0.0001	0.0001	0.9139	0.9082	0.8376

Ilustración 17 Participación de masa modal acumulada del modelo estructural en ETABS.

10. ANÁLISIS SISMO RESISTENTE Y VERIFICACIONES GLOBALES

10.1 Método de análisis sísmico y cortante basal

El análisis sísmico de la estructura se realizó mediante el **método de la Fuerza Horizontal Equivalente (FHE)**, considerando independientemente las direcciones principales X e Y de la edificación. Los casos sísmicos de diseño EX y EY fueron definidos como casos estáticos lineales, incorporando los efectos de torsión accidental mediante una excentricidad del 5 %.

El coeficiente sísmico base adoptado en los patrones EX y EY es C=0.70, correspondiente al espectro calculado con I=1.0. Para las fuerzas de diseño se aplica un factor I/R=1.25/2.50=0.50, obteniéndose un coeficiente efectivo:

$$CE=0.70(0.50)=0.35$$

Con un peso sísmico de:

$$W=539.73\ kN$$

el cortante basal elástico de referencia es:

$$Vs=0.875W=472.27\ kN$$

mientras que el cortante correspondiente a las fuerzas sísmicas reducidas de diseño es:

$$VE=0.35W=188.91\ kN$$

Base Reactions

File Edit Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted Hidden Columns: No Sort: None Base Reactions

Filter: ([Output Case] = 'EX' OR [Output Case] = 'EY')

Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	FX kN	FY kN	FZ kN	MX kN-m	MY kN-m	MZ kN-m
EX	LinStatic	Step By Step	1	-185.4182	0	0	0	-383.4829	680.3468
EX	LinStatic	Step By Step	2	-185.4182	0	0	0	-383.4829	680.3468
EX	LinStatic	Step By Step	3	-185.4182	0	0	0	-383.4829	680.3468
EY	LinStatic	Step By Step	1	0	-185.4182	0	383.4829	0	-1551.0784
EY	LinStatic	Step By Step	2	0	-185.4182	0	383.4829	0	-1551.0784
EY	LinStatic	Step By Step	3	0	-185.4182	0	383.4829	0	-1551.0784

Ilustración 18 cortante basal modelo ETABS

10.2 Regularidad, torsión accidental y efectos direccionales

La configuración estructural fue revisada respecto a las irregularidades en planta y altura aplicables a una edificación de un nivel. Los patrones sísmicos incorporan una excentricidad accidental del 5 % de la dimensión correspondiente del nivel, evaluada con signo positivo y negativo.

Debido a que la edificación presenta un único nivel, varias irregularidades verticales definidas para edificaciones de varios pisos no resultan aplicables; no obstante, se revisan la distribución de rigidez, discontinuidades de los muros, concentración de masa y posibles efectos torsionales en planta.

10.3 Verificación de derivas

La verificación de desplazamientos laterales se realizó mediante los casos sísmicos **SX** y **SY**, definidos específicamente para el control de derivas, utilizando el coeficiente sísmico correspondiente sin reducción por el coeficiente de capacidad de disipación de energía R.

La estructura corresponde a una edificación de **un solo nivel**, con altura estructural aproximada de:

$$h=2.70\ m$$

De acuerdo con los resultados obtenidos en ETABS, las máximas relaciones de deriva son:

$$\Delta X=0.000961=0.0961\%$$

para la dirección X, y:

$$\Delta Y=0.001834=0.1834\%$$

para la dirección Y.

Los desplazamientos relativos equivalentes son aproximadamente:

$$\delta X=(0.000961)(2.70)=0.00259\ m\approx 2.59\ mm$$ **CUMPLE**
$$\delta Y=(0.001834)(2.70)=0.00495\ m\approx 4.95\ mm$$ **CUMPLE**

El numeral A.6.4.1.5 de la NSR-10 establece que **no se imponen límites de deriva a edificaciones de un piso**, siempre que los muros, particiones interiores y exteriores y los cielorrasos sean diseñados y detallados para acomodar las deformaciones correspondientes.

No obstante, como control adicional de comportamiento, las derivas obtenidas son inferiores incluso al límite más restrictivo de 0.005hp establecido por la NSR-10 para ciertos sistemas de mampostería gobernados por cortante, por lo que los desplazamientos laterales obtenidos son reducidos.

En consecuencia, el comportamiento global de la estructura frente a desplazamientos laterales se considera satisfactorio, debiéndose garantizar constructivamente que los elementos no estructurales, acabados, cielorrasos y conexiones de cubierta sean capaces de acomodar los desplazamientos calculados.

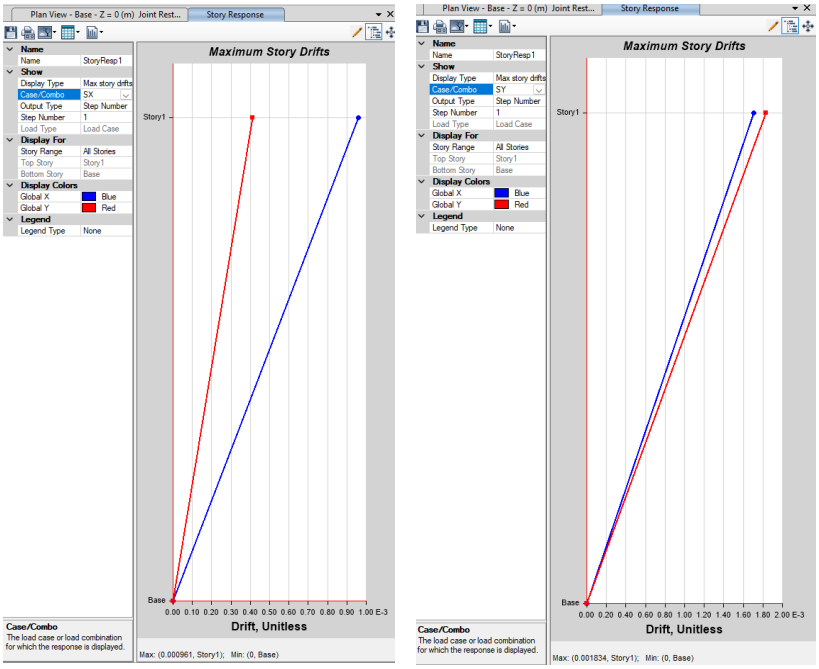


Ilustración 19 Story Drifts para SX y SY

10.4 Verificaciones globales del modelo

Como control global del modelo se verificaron la participación modal, el equilibrio de fuerzas, las condiciones de apoyo, la fuente de masa, la estabilidad general y la compatibilidad entre la idealización estructural y el sistema construido.

11. DISEÑO DE MUROS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA

11.1 Propiedades y criterios de diseño

Los muros estructurales P1 a P6 se diseñan como mampostería reforzada con capacidad moderada de disipación de energía (DMO), utilizando las solicitaciones obtenidas del modelo estructural definitivo desarrollado en ETABS.

Para el diseño se adoptan:

Parámetro	Valor
f'm	15 MPa
Em	11,250 MPa
fy	420 MPa
Es	200,000 MPa

Parámetro	Valor
Altura libre de diseño h'	2,700 mm
Espesor tw	**125 mm**

Las celdas que contienen el refuerzo vertical y aquellas adicionales requeridas por resistencia, anclajes o concentración de cargas se inyectarán con mortero de relleno de resistencia especificada de 21 MPa.

11.2 Tipificación y solicitaciones de diseño de los muros

Los muros estructurales de mampostería fueron agrupados en el modelo ETABS mediante etiquetas tipo **Pier**, de manera que los esfuerzos correspondientes a los diferentes elementos finitos que conforman cada paño se integren y puedan ser utilizados directamente para su diseño.

De acuerdo con la distribución estructural en planta, se definieron seis muros resistentes principales identificados como:

P1, P2, P3, P4, P5, P6

Los Piers **P1, P2 y P3** corresponden a los muros orientados en el eje “Y”una de las direcciones principales de la edificación, mientras que **P4, P5 y P6** corresponden al sistema resistente en la dirección perpendicular “X”. La identificación adoptada permite relacionar directamente cada muro del modelo con las verificaciones posteriores de carga axial, flexo-compresión y cortante.

Las longitudes asociadas a la tipificación utilizada en la hoja de diseño son:

Pier	**Longitud** Lw
P1	**7.130 m**
P2	**7.130 m**
P3	**7.130 m**
P4	**6.988 m**
P5	**6.988 m**
P6	**16.760 m**

Solicitaciones obtenidas de ETABS

Las fuerzas internas se obtuvieron mediante la tabla **Pier Forces** de ETABS, evaluando las resultantes en la base de cada muro, dado que esta sección representa la zona de mayor interés para las verificaciones de carga axial, cortante y flexión.

Para la convención local adoptada en el modelo se utilizarán:

P=Pu

V2=Vu

M3=Mu

A partir de la envolvente preliminar de las combinaciones de resistencia se obtienen los siguientes valores máximos absolutos en la base:

Tabla solicitaciones envolvente

Pier	Pu **máx. compresión**	Vu **máx.**	Mu **máx.**
P1	109.40 kN	10.15 kN	35.40 kN·m
P2	125.28 kN	69.68 kN	127.31 kN·m
P3	121.91 kN	37.93 kN	59.17 kN·m
P4	98.61 kN	40.18 kN	182.33 kN·m
P5	95.49 kN	43.65 kN	169.79 kN·m
P6	232.36 kN	81.29 kN	121.55 kN·m

Los valores anteriores corresponden a envolventes máximas utilizadas para identificar las solicitaciones críticas. Para la verificación a flexo-compresión no se combinará el máximo Pu con el máximo Mu cuando provengan de diferentes combinaciones de carga. La resistencia flexional de cada Pier será evaluada utilizando el par concurrente Pu−Mu correspondiente a la combinación que produce la condición crítica.

Para las verificaciones de flexo-compresión se identificó, para cada Pier, la combinación de carga que produce el máximo valor absoluto de momento en la base, conservando simultáneamente la carga axial correspondiente a la misma combinación. De esta manera se evita combinar máximos independientes provenientes de distintos estados de carga.
Los pares concurrentes obtenidos para los muros P1 a P6 se presentan en la tabla anterior. La mayor demanda flexional corresponde al Pier P4, con Mu=182.33 kN·mM_u=182.33\ kN·m, seguido por P5 con 169.79 kN·m169.79\ kN·m. El Pier P6 presenta la mayor carga axial concurrente, con Pu=206.56 kNP_u=206.56\ kN. Estos valores serán utilizados en las verificaciones de resistencia a flexo-compresión desarrolladas posteriormente.

Tabla definitiva de pares Pu−Mu concurrentes

Pier	Combinación crítica	Ubicación	Pu **concurrente (kN)**	Mu **(kN·m)**
P1	**RU4.2**	**Bottom**	96.57	35.40
P2	**RU4.4**	**Bottom**	125.28	127.31
P3	**RU5.4**	**Bottom**	74.87	59.17
P4	**RU4.1**	**Bottom**	89.93	182.33
P5	**RU4.2**	**Bottom**	95.49	169.79
P6	**RU4.2**	**Bottom**	206.56	121.55

TABLE: Pier Forces

Story	Pier	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Location	P	V2	V3	T	M2	M3
							kN	kN	kN	kN-m	kN-m	kN-m
Story1	P1	ENV	Combination	Max		Top	-16.9096	17.1216	1.4754	7.0888	1.1362	9.6206
Story1	P1	ENV	Combination	Max		Bottom	-51.5966	9.6237	8.8882	7.1397	6.7466	35.3972
Story1	P1	ENV	Combination	Min		Top	-37.5559	-17.1415	-4.8681	-4.1363	-0.7205	-4.2725
Story1	P1	ENV	Combination	Min		Bottom	-109.4024	-10.146	-8.1108	-6.6696	-6.3208	13.0445
Story1	P2	ENV	Combination	Max		Top	-36.9796	53.9387	3.2025	1.784	0.2112	-2.6948
Story1	P2	ENV	Combination	Max		Bottom	-53.1829	68.7195	9.6958	0.9593	7.118	86.751
Story1	P2	ENV	Combination	Min		Top	-62.8601	-53.934	-3.2888	-1.8576	-0.1631	-11.6333
Story1	P2	ENV	Combination	Min		Bottom	-125.2808	-69.6808	-9.6875	-0.7022	-7.167	-127.3085
Story1	P3	ENV	Combination	Max		Top	-18.5585	21.9059	3.6005	12.7992	0.2804	18.9547
Story1	P3	ENV	Combination	Max		Bottom	-61.7914	37.9254	8.938	12.7918	7.732	58.4814
Story1	P3	ENV	Combination	Min		Top	-34.0586	-21.9137	0.4973	-12.927	-0.6841	-18.9313
Story1	P3	ENV	Combination	Min		Bottom	-121.9145	-37.925	-10.0564	-12.8133	-8.516	-59.1686
Story1	P4	ENV	Combination	Max		Top	-34.3169	29.1054	1.9393	2.5744	0.2846	13.5862
Story1	P4	ENV	Combination	Max		Bottom	-59.3153	40.1843	5.9764	5.2529	3.9012	182.3257
Story1	P4	ENV	Combination	Min		Top	-66.4357	0.1881	-2.472	-0.0669	-0.1512	-37.6118
Story1	P4	ENV	Combination	Min		Bottom	-98.6111	-8.4564	-6.4194	-3.8714	-4.0739	43.9649
Story1	P5	ENV	Combination	Max		Top	-42.9629	17.5798	1.7118	11.8051	0.9674	70.7488
Story1	P5	ENV	Combination	Max		Bottom	-54.0483	26.7896	8.9383	1.9289	7.8111	-29.8507
Story1	P5	ENV	Combination	Min		Top	-73.3967	-31.8141	-2.0769	-13.6099	-0.8609	25.4672
Story1	P5	ENV	Combination	Min		Bottom	-95.4909	-43.6468	-9.4677	-3.6508	-7.9872	-169.7877
Story1	P6	ENV	Combination	Max		Top	-86.3478	55.3321	3.8526	6.9843	1.4519	38.6314
Story1	P6	ENV	Combination	Max		Bottom	-118.2915	81.2418	22.7995	10.5676	18.2729	77.1954
Story1	P6	ENV	Combination	Min		Top	-148.5918	-54.6199	-3.3215	-5.0741	-1.6685	4.2178
Story1	P6	ENV	Combination	Min		Bottom	-232.3552	-81.2925	-20.7337	-10.9098	-17.6734	-121.5512

Ilustración 20 Fuerzas internas envolventes obtenidas en los Piers P1–P6 mediante ETABS.

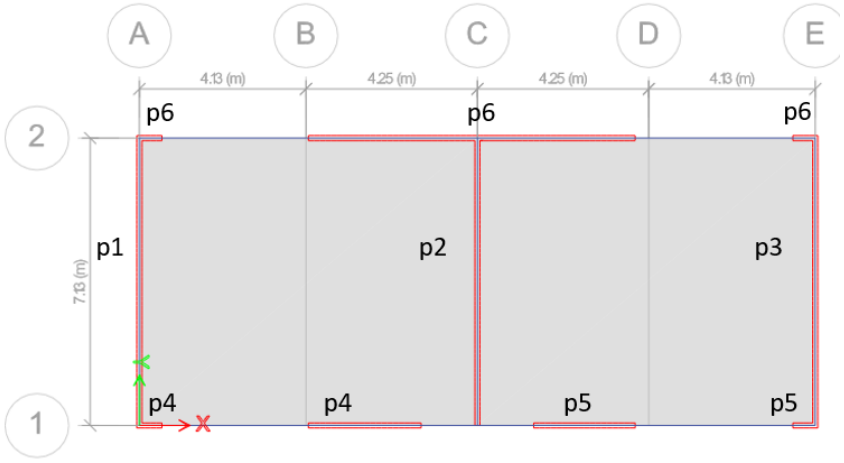


Ilustración 21 Tipificación e identificación de los muros estructurales P1–P6 en el modelo ETABS.

11.3 Verificación a carga axial y esbeltez

La verificación a carga axial de los muros estructurales P1 a P6 se realiza considerando las propiedades geométricas y mecánicas de la mampostería reforzada, las condiciones reales de apoyo lateral y las solicitaciones obtenidas del modelo estructural.

Para cada muro se verifica la relación de esbeltez, definida a partir de la altura efectiva y el espesor efectivo del elemento. La altura efectiva utilizada debe ser consistente con las condiciones de restricción existentes en la base y en la coronación del muro, teniendo en cuenta la continuidad proporcionada por la cimentación y la viga de amarre superior. El borrador consolidado ya establece que la altura libre y el espesor efectivo deben mantenerse compatibles con la configuración real de los paños, vanos y apoyos de cubierta.

La resistencia axial se determina considerando el área efectiva de mampostería, el refuerzo vertical dispuesto en las celdas inyectadas, la resistencia especificada de la mampostería fm′, la resistencia del acero fy y la reducción de capacidad correspondiente a la esbeltez del muro.

Para la aceptación de cada Pier deberán verificarse, como mínimo, los siguientes aspectos:

- que la relación entre la altura efectiva y el espesor efectivo se encuentre dentro de los límites reglamentarios aplicables;
- que la altura efectiva adoptada sea coherente con las condiciones reales de apoyo lateral del muro;
- que el área efectiva resistente corresponda a la geometría real del paño, considerando la presencia de vanos y la disposición de las celdas inyectadas;
- que el refuerzo vertical considerado en la capacidad axial coincida con el refuerzo efectivamente especificado en planos;
- que se incorpore en la resistencia la reducción asociada a los efectos de esbeltez;
- que la resistencia axial de diseño del muro sea superior a la solicitación axial última obtenida del modelo:

$$Pu \leq \phi Pn$$

- y que el resultado sea posteriormente compatible con la verificación combinada de flexo-compresión, dado que la carga axial actúa simultáneamente con los momentos producidos por las acciones laterales.

Los resultados numéricos de estas verificaciones se presentan en la tabla de cálculo de los muros P1 a P6, en la cual se resumen la geometría, relación de esbeltez, factores de reducción, resistencia axial disponible, solicitación Pu y relación demanda/capacidad.

Finalmente, la aceptación de la resistencia axial no exime de las verificaciones posteriores de flexo-compresión, cortante, cuantías mínimas de refuerzo y detalle de celdas inyectadas, las cuales deben cumplirse simultáneamente para definir el refuerzo final de cada muro.

11.4 Verificación Flexo-compresión

La verificación a flexo-compresión de los muros estructurales P1 a P6 se realiza considerando la acción simultánea de la **fuerza axial Pu** y del **momento flector Mu** obtenidos del modelo estructural.

Para cada Pier se utiliza el par concurrente Pu−Mu correspondiente a una misma combinación de carga, evitando asociar artificialmente el máximo axial de una combinación con el máximo momento proveniente de otra. Este criterio permite que la demanda utilizada represente un estado de fuerzas físicamente simultáneo. La memoria consolidada ya establece expresamente este control.

En la verificación se consideran la geometría efectiva del muro, la resistencia especificada de la mampostería, el refuerzo vertical dispuesto en las celdas inyectadas, la resistencia del acero y los factores de reducción de resistencia correspondientes.

Para la aceptación de cada muro deberán comprobarse, como mínimo, los siguientes aspectos:

- que el Pu y el Mu utilizados correspondan a la **misma combinación crítica**;
- que el área de refuerzo vertical considerada en el cálculo coincida con el refuerzo especificado en planos;
- que la distribución del refuerzo vertical sea compatible con la modulación de las unidades y con las celdas disponibles para inyección;
- que se consideren adecuadamente las barras concentradas en extremos cuando sean requeridas;
- que la resistencia flexional disponible se determine para la carga axial concurrente correspondiente;
- y que se satisfaga la condición general:

$$Mu \leq \phi Mn \text{ para el Pu concurrente}$$

Los resultados de la verificación de flexo-compresión de los Piers P1 a P6 se presentan en la tabla integral de diseño incluida al final del presente capítulo.

11.5 Verificación Cortante

La resistencia a cortante de los muros P1 a P6 se verifica empleando las solicitaciones Vu obtenidas del modelo estructural para las combinaciones de resistencia.

El diseño considera la contribución resistente de la mampostería y el aporte del **refuerzo horizontal**, cuando este resulte necesario, verificando además que la cuantía y separación adoptadas sean compatibles con la modulación de las unidades, las juntas de pega y la solución constructiva especificada. Este criterio coincide con el planteamiento adoptado en la memoria consolidada.

Para cada muro deberán verificarse, como mínimo:

- que el cortante de diseño corresponda a la solicitación crítica obtenida del modelo;
- que la resistencia disponible de la mampostería sea determinada con las propiedades efectivamente especificadas para el proyecto;
- que el refuerzo horizontal satisfaga las cuantías mínimas aplicables;
- que el espaciamiento del refuerzo horizontal sea compatible con la altura modular de las unidades;
- que el refuerzo pueda desarrollarse y anclarse adecuadamente en los extremos e intersecciones de los muros;
- que las zonas próximas a vanos, cambios de sección y concentraciones de carga sean debidamente detalladas;
- y que se satisfaga:

$$\mathbf{Vu \leq \phi Vn}$$

Los resultados numéricos para P1 a P6 se presentan conjuntamente en la tabla integral de diseño de muros.

11.6 Celdas inyectadas y refuerzo

El refuerzo vertical y horizontal de los muros estructurales P1 a P6 se define a partir de las solicitaciones de diseño y de las **cuantías mínimas aplicables al sistema de mampostería reforzada DMO**. El refuerzo finalmente especificado deberá satisfacer simultáneamente los requerimientos mínimos y las áreas de acero obtenidas de las verificaciones a flexo-compresión y cortante.

Para cada Pier deberá comprobarse que:

- el área de **refuerzo vertical suministrado** sea igual o superior al mínimo requerido y al necesario por resistencia;
- la separación de las barras verticales sea compatible con la modulación y ubicación de las celdas de las unidades de mampostería;
- el refuerzo horizontal cumpla la cuantía mínima correspondiente y su separación sea compatible con las juntas, hiladas y solución constructiva utilizada;
- las barras verticales presenten continuidad desde la cimentación hasta la viga de coronación, mediante longitudes de desarrollo, empalmes y anclajes adecuados;
- el refuerzo horizontal se encuentre debidamente anclado en extremos, intersecciones y encuentros entre muros;
- se disponga refuerzo adicional cuando sea requerido en bordes de aberturas, apoyos de dinteles, intersecciones o zonas de concentración de esfuerzos.

Las **celdas que contienen refuerzo vertical deberán ser inyectadas con mortero de relleno**, al igual que aquellas celdas adicionales que resulten necesarias por resistencia, anclaje, bordes de muros, proximidad de vanos o concentración de cargas. Para el presente proyecto se adopta una resistencia especificada del mortero de relleno de:

$$\mathbf{f'_{cr} = 21\ MPa}$$

La memoria consolidada ya establece que deben inyectarse las celdas que contienen refuerzo y todas aquellas adicionales requeridas por resistencia, anclajes, bordes o concentraciones de carga.

La distribución final de celdas inyectadas deberá quedar expresamente representada en los **planos estructurales**, evitando que la disposición constructiva dependa únicamente de la interpretación en obra. En dichos planos se deberán identificar, como mínimo, las barras verticales, las celdas rellenas, los empalmes, la continuidad hacia la cimentación y la conexión con la viga de coronación. El documento de especificaciones también exige asegurar el anclaje de las barras verticales desde la cimentación hasta los muros y coronación.

Criterio de aceptación

Para cada muro deberá cumplirse:

$$A_{sv,\,suministrado} \geq A_{sv,\,requerido}$$

y:

$$A_{sh,\,suministrado} \geq A_{sh,\,requerido}$$

manteniendo adicionalmente los límites reglamentarios de separación y disposición del refuerzo.

Los resultados numéricos de cuantías, áreas de acero, número de barras y separación del refuerzo se presentan en la **tabla integral de diseño de muros** incluida en el numeral 11.8.

11.7 Elementos de borde y zonas críticas

La necesidad de elementos de borde en los muros de mampostería reforzada P1 a P6 se verifica a partir del esfuerzo máximo de compresión desarrollado en sus extremos, considerando las combinaciones mayoradas de diseño. Para el proyecto se adopta como límite de control:

$$\sigma_b \leq 0.20 f_m$$

Con:

$$f_m' = 15 \text{ MPa}$$

se obtiene:

$$0.20 f_m' = 3.00 \text{ MPa}$$

Por tanto, para cada Pier se compara el esfuerzo máximo de compresión en el borde σ_b con el límite de **3.00 MPa**. Cuando:

$$\sigma_b \leq 3.00 \text{ MPa}$$

se considera que **no se requiere elemento de borde especial por este criterio**. En caso contrario, deberá realizarse el detallado correspondiente conforme a las disposiciones aplicables del Título D de la NSR-10. El documento de referencia contempla igualmente el control de los elementos de borde y remite a los requisitos específicos de D.5.8.5 cuando resultan necesarios.

11.8 Tabla integral de verificación y diseño de muros

En la tabla siguiente se consolidan las verificaciones realizadas para los muros estructurales P1 a P6, incluyendo geometría, solicitaciones de diseño, carga axial y esbeltez, flexo-compresión, cortante, cuantías de refuerzo vertical y horizontal y las verificaciones complementarias aplicables. Los cálculos detallados constituyen el soporte numérico de las especificaciones de refuerzo adoptadas para cada Pier.

Capacidad de Disipación de Energía	DMO

f'_m =	15.0 MPa
E_m =	11250 MPa

f_y =	420 MPa
E_s =	2E+05 MPa

Nivel	Muro	Combo	Fuerzas Actuantes				Información Mampostería						Refuerzo Horizontal					Refuerzo Vertical								
			P_u kN	V_u kN	M_u kN-m	δ_u mm	L_w mm	h' mm	t_w mm	b ó t mm	b_v mm	d mm	$\rho_{H.min}$	$A_{SH.min}$ mm^2/m	A_{SH} mm^2/m	Malla	ρ_H	$\rho_{V.min}$	$A_{SV.min}$ mm^2	A_{SV} mm^2	Ref.	ρ_V	a_b mm	A_e mm^2	P_{Lim} kN	Ø
Story1	P1	ENV	96.6	10.2	35.4	4.950	7130	2700	125	125	125	6417	0.0007	88	133	2Ø4.5 c/240	0.0011	0.0013	1159	1207	17 #3	0.0014	3209	891250	1203	0.83
Story1	P2	ENV	125.3	69.7	127.3	4.950	7130	2700	125	125	125	6417	0.0007	88	133	2Ø4.5 c/240	0.0011	0.0013	1159	1207	17 #3	0.0014	3209	891250	1203	0.82
Story1	P3	ENV	74.9	37.9	59.2	4.950	7130	2700	125	125	125	6417	0.0007	88	133	2Ø4.5 c/240	0.0011	0.0013	1159	1207	17 #3	0.0014	3209	891250	1203	0.83
Story1	P4	ENV	89.9	40.2	182.3	2.590	6988	2700	125	125	125	6289	0.0007	88	133	2Ø4.5 c/240	0.0011	0.0013	1136	1136	16 #3	0.0013	3145	873500	1179	0.83
Story1	P5	ENV	95.5	43.7	169.8	2.590	6988	2700	125	125	125	6289	0.0007	88	133	2Ø4.5 c/240	0.0011	0.0013	1136	1136	16 #3	0.0013	3145	873500	1179	0.83
Story1	P6	ENV	206.6	81.3	121.6	2.590	16760	2700	125	125	125	15084	0.0007	88	133	2Ø4.5 c/240	0.0011	0.0013	2724	2769	39 #3	0.0013	7542	2095000	2828	0.83

Ilustración 22 Cuadro integral 1 de diseño y verificación de los muros estructurales P1–P6.

Capacidad de Disipación de Energía	DMO

f'_m =
E_m =

h_w =	2700 mm

Nivel	Muro	Combo	Fuerzas Actuantes				Carga Axial				Flexo - Compresión			Cortante				Elementos De Borde			Elementos De Borde		
			P_u kN	V_u kN	M_u kN-m	δ_u mm	R_e	P_0 kN	ØPn kN	P_u < ØPn	c / L_w	ØMn kN-m	M_u < ØMn	$\frac{M_u}{V_u d}$	A_{mv} mm^2	ØVn kN	V_u < ØVn	0.20 f'm MPa	σ_b MPa	σ_b < 0.20 f'm	δ_u / h_w	1/(600*δ_u / h_w)	> c / L_w
Story1	P1	ENV	96.6	10.2	35.4	4.950	0.74	11187	3950	O.K.	0.058	1736	O.K.	0.54	891250	555	O.K.	3.00	0.14	O.K.	0.0035	0.476	O.K.
Story1	P2	ENV	125.3	69.7	127.3	4.950	0.74	11187	3950	O.K.	0.062	1816	O.K.	0.28	891250	631	O.K.	3.00	0.26	O.K.	0.0035	0.476	O.K.
Story1	P3	ENV	74.9	37.9	59.2	4.950	0.74	11187	3950	O.K.	0.056	1676	O.K.	0.24	891250	633	O.K.	3.00	0.14	O.K.	0.0035	0.476	O.K.
Story1	P4	ENV	89.9	40.2	182.3	2.590	0.74	10945	3864	O.K.	0.056	1604	O.K.	0.72	873500	495	O.K.	3.00	0.28	O.K.	0.0035	0.476	O.K.
Story1	P5	ENV	95.5	43.7	169.8	2.590	0.74	10945	3864	O.K.	0.057	1619	O.K.	0.62	873500	524	O.K.	3.00	0.28	O.K.	0.0035	0.476	O.K.
Story1	P6	ENV	206.6	81.3	121.6	2.590	0.74	26270	9274	O.K.	0.056	9282	O.K.	0.10	#######	1491	O.K.	3.00	0.12	O.K.	0.0035	0.476	O.K.

Ilustración 23 cuadro integral 2 de diseño y verificación de los muros estructurales P1–P6.

12. DISEÑO DE CIMENTACIÓN

La cimentación de los muros estructurales P1 a P6 se resuelve mediante un cimiento corrido de concreto ciclópeo de sección trapezoidal, complementado en su parte superior con una viga cinta de concreto reforzado, encargada del amarre de la cimentación y del anclaje del refuerzo vertical de los muros.

Muro	Carga kN/m	Esf adm kPa	Area m^2	$B_{calculada}$ m	$B_{propuesta}$ m	c m	T m	H m	Angulo grados	Esf act kPa	cumple
P1	13.544	128.94	0.105	0.6	1	0.3	0.35	0.6	59.74	13.5442	O.K.
P2	17.571	128.94	0.136	0.6	1	0.3	0.35	0.6	59.74	17.5708	O.K.
P3	10.501	128.94	0.081	0.6	1	0.3	0.35	0.6	59.74	10.5007	O.K.
P4	12.869	128.94	0.100	0.6	1	0.3	0.35	0.6	59.74	12.8692	O.K.
P5	13.665	128.94	0.106	0.6	1	0.3	0.35	0.6	59.74	13.6649	O.K.
P6	12.325	128.94	0.096	0.6	1	0.3	0.35	0.6	59.74	12.3246	O.K.

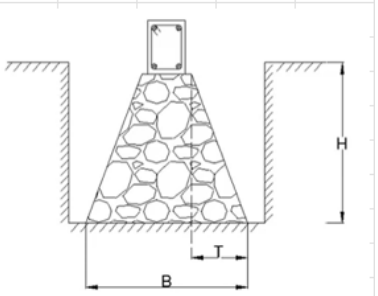


Ilustración 24 cuadro integral diseño de cimentación

12.1 Criterios de diseño

El dimensionamiento se realiza con base en las cargas lineales de servicio transmitidas por los muros y la capacidad portante admisible establecida para el terreno:

qadm=128.94 kPa

Para cada tramo de cimentación se verifica que la presión actuante de servicio sea inferior a la capacidad admisible:

qact≤qadm

La presión actuante se determina mediante:

$$q_{act} = \frac{B}{N}$$

donde N corresponde a la carga lineal transmitida por el muro y BB al ancho de cimentación adoptado.

12.2 Geometria adoptada

Aunque la hoja de cálculo reporta un ancho calculado de **0.60 m**, se adopta conservadoramente y de acuerdo con el criterio geotécnico un ancho de:

B=1.00 m

La sección típica del cimiento corrido queda definida por:

B=1.00 m
c=0.30
T=0.35 m
H=0.60 m

con una inclinación lateral aproximada de:

59.74∘

Sobre el cimiento ciclópeo se dispone la viga cinta de concreto reforzado correspondiente.

12.4 Conclusión

De acuerdo con las cargas de servicio transmitidas por los muros P1 a P6 y las condiciones establecidas por el estudio geotécnico, se adopta un cimiento corrido de concreto ciclópeo de 1.00 m de ancho inferior, 0.30 m de ancho superior y 0.60 m de altura. Las presiones actuantes obtenidas son inferiores a la capacidad portante admisible del terreno, verificándose satisfactoriamente la condición:

$$q_{act} < q_{adm}$$

La ejecución deberá garantizar el apoyo sobre terreno competente, el adecuado manejo de aguas y la continuidad de la viga cinta y de los arranques del refuerzo vertical de los muros.

13. DISEÑO DE CUBIERTA METÁLICA

13.1 Geometría y cargas de la memoria de correas

Parámetro	Valor
Sistema	Cubierta metálica liviana a dos aguas
Pendiente	17.6 %
Correas	Sección cajón 2P-150-16
Separación entre correas	1.55 m
Luz principal de correa	4.25 m
Voladizo mostrado	0.55 m
Tensores	Sin tensores
Teja	Arquitectónica, 4.32 kg/m²
Luminarias	4 kg/m²
Carga viva de cubierta	50 kg/m²
Viento presión / succión	+50 / -50 kg/m²
Granizo	0 kg/m²

13.2 Verificación de correa 2P-150-16

Concepto	Demanda / dato	Capacidad / límite	Resultado
Mux	458 kg·m ≈ 4.49 kN·m	φMnx = 993.46 kg·m ≈ 9.74 kN·m	Cumple
Muy	58 kg·m ≈ 0.57 kN·m	φMny = 459.8 kg·m ≈ 4.51 kN·m	Cumple
Vux	445 kg ≈ 4.36 kN	Vnx = 4313 kg ≈ 42.30 kN	Cumple
Interacción flexión	0.59	<= 1.00	Cumple
Interacción flexión + corte	0.22	<= 1.00	Cumple
Deflexión por carga viva	0.571 cm	L/240 = 1.771 cm	Cumple
Deflexión total	0.707 cm	L/180 = 2.361 cm	Cumple
Deflexión voladizo - CV	0.239 cm	L/180 = 0.306 cm	Cumple
Deflexión voladizo - total	0.293 cm	L/120 = 0.458 cm	Cumple

La selección 2P-150-16 reportada por Corpasoft cumple las verificaciones de resistencia e inercia/deflexión indicadas en la memoria aportada.

13.3 Cerchas, arriostramientos y conexiones

La cercha metálica posee una luz aproximada de 9.60 m y una altura estructural de 0.90 m. El cordón inferior está constituido por perfil tubular rectangular de 120×60×3.0 mm, mientras que el cordón superior se conforma mediante perfil tubular rectangular de 100×50×2.0 mm. Los elementos de alma, correspondientes a diagonales y montantes, están constituidos por perfiles tubulares rectangulares de 90×50×1.5 mm.

Las cargas provenientes de las correas y de la cubierta se transmiten al cordón superior de la cercha y posteriormente, mediante los elementos diagonales y verticales, hacia los apoyos extremos y los elementos de coronación de los muros de mampostería.

14. ESPECIFICACIONES CONSTRUCTIVAS Y CONTROL DE CALIDAD

14.1 Mampostería

- Usar unidades estructurales certificadas y compatibles con el f'm adoptado.
- Controlar la dosificación, resistencia y consistencia del mortero de pega y del grout.
- Garantizar limpieza y continuidad de las celdas antes de inyección.
- Ubicar el refuerzo vertical y horizontal conforme a planos, con separaciones, empalmes y anclajes especificados.
- No realizar perforaciones o cortes posteriores que interrumpan barras o celdas reforzadas.
- Coordinar instalaciones antes de ejecutar los muros estructurales.
- Ejecutar dinteles, vigas de amarre y coronación con continuidad al refuerzo de muro.
- Registrar ensayos y certificados de materiales que respalden f'm = 15 MPa.

14.2 Concreto y acero de refuerzo

- Verificar f'c mediante control de producción y ensayos.
- Cumplir recubrimientos y tolerancias de colocación.
- No modificar diámetros, cantidad o espaciamiento sin aprobación del diseñador.
- Asegurar anclajes de barras verticales desde cimentación hacia los muros y coronación.

14.3 Estructura metálica

- Verificar certificados de material y espesores reales.
- Ejecutar soldadura conforme a procedimiento y con personal calificado.
- Controlar diámetro, clase y apriete de pernos.

15. CONCLUSIONES

1. El proyecto estructural corresponde a un **módulo de un nivel conformado por dos aulas**, con dimensiones aproximadas en planta de **16.76 m × 7.13 m**, altura estructural de muros de **2.70 m** y cubierta metálica liviana a dos aguas. El sistema resistente principal se encuentra constituido por **muros de mampostería estructural reforzada con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)**.
2. El análisis estructural se desarrolló mediante un modelo tridimensional en **ETABS**, representando los muros mediante elementos tipo SHELL-THIN/WALL y agrupándolos mediante etiquetas **Pier P1 a P6**, con el propósito de obtener las fuerzas integradas necesarias para las verificaciones de carga axial, flexo-compresión y cortante. Este procedimiento mantiene la trazabilidad entre el modelo estructural y el diseño individual de los muros.
3. Para el análisis sísmico se adoptaron los parámetros correspondientes al estudio geotécnico y a la localización del proyecto en Florencia, Caquetá, incluyendo **perfil de suelo D, Aa=0.20, Av=0.15, Fa=1.40, Fv=2.20, Grupo de Uso III e I=1.25**. El modelo modal definitivo consideró 30 modos de vibración, alcanzándose una participación acumulada del 90 % en ambas direcciones a partir del modo 17.
4. Las derivas máximas obtenidas del análisis fueron equivalentes aproximadamente a desplazamientos relativos de **2.59 mm y 4.95 mm**, respectivamente, para la altura estructural de 2.70 m. Los resultados muestran un comportamiento lateral suficientemente rígido para la configuración estructural analizada.

5. Los muros de mampostería se diseñaron utilizando una resistencia especificada:

$$f_m' = 15 \text{ MPa}$$

y las solicitaciones definitivas obtenidas del modelo. Para las verificaciones de flexo-compresión se conservaron los pares concurrentes Pu−Mu, evitando combinar máximos pertenecientes a estados de carga diferentes. Entre los casos estudiados, el **Pier P4 presenta la mayor demanda flexional**, con:

$$\mathbf{Mu=182.33\ kN\cdot m}$$

mientras que P6 presenta la mayor carga axial concurrente entre los casos críticos de flexo-compresión. El diseño de los muros debe conservar el refuerzo vertical, horizontal y las celdas inyectadas consignadas en el cuadro integral definitivo.

6. Las verificaciones de los muros comprenden **carga axial y esbeltez, flexo-compresión, cortante, cuantías mínimas de refuerzo y disposición de celdas inyectadas**. Las celdas que contienen refuerzo vertical y aquellas adicionales requeridas por resistencia, anclaje o concentración de esfuerzos se especifican con mortero de relleno de resistencia:

$$\mathbf{f'cr=21\ MPa}$$

El detalle de barras, celdas inyectadas, empalmes y continuidad entre cimentación, muro y coronación deberá coincidir estrictamente con los planos estructurales. El documento base exige precisamente garantizar la continuidad de los anclajes desde cimentación hasta la coronación.

7. La revisión de **elementos de borde** debe efectuarse con las disposiciones aplicables del **Título D de la NSR-10**. Para la mampostería reforzada se adopta como control del esfuerzo extremo de compresión el valor correspondiente a:

$$\mathbf{0.20fm'=3.00\ MPa}$$

8. El estudio geotécnico establece una capacidad portante admisible de:

$$\mathbf{qadm=128.94\ kPa}$$

y recomienda una cimentación superficial compatible con un ancho mínimo de **1.00 m**. El estudio específico del proyecto identifica además un perfil sísmico D y no reporta nivel freático en las perforaciones realizadas.

9. La cimentación se resuelve mediante **cimiento corrido de concreto ciclópeo de sección trapezoidal**, con dimensiones adoptadas:

$$\mathbf{B=1.00\ m}$$
$$\mathbf{c=0.30\ m}$$
$$\mathbf{H=0.60\ m}$$

y proyección lateral:

$$\mathbf{T=0.35\ m}$$

complementado en su parte superior mediante una **viga cinta de concreto reforzado de 0.30 × 0.30 m**.

10. La viga cinta 30 × 30 cm debe garantizar la continuidad longitudinal de la cimentación, el amarre entre muros y el adecuado anclaje de las barras verticales de mampostería. Su detallado definitivo deberá conservar los requisitos de recubrimiento para elemento enterrado, continuidad del acero, refuerzo transversal y anclajes establecidos en los planos estructurales.
11. La seguridad del sistema estructural depende de que durante la construcción se respeten las resistencias de materiales, dimensiones, refuerzos, celdas inyectadas, anclajes, recubrimientos y detalles definidos en planos. No deberán realizarse modificaciones de diámetros, separación de barras, dimensiones de elementos, ubicación de vanos ni geometría de la cubierta sin revisión y aprobación previa del diseñador estructural.

16. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

- Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 y modificaciones aplicables.
- Estudio de suelos y geotecnia S006-0925 - IE Agroecológico Amazónico Buinaima.
- Correa Buinaima.pdf - Corpasoft 3, 16/08/2026.
- Archivo ETABS final y reporte de resultados.
- Planos estructurales finales.