

LEVANTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MURO PERIMETRAL DEL INSTITUTO GONZALO SUAREZ RENDON – TUNJA, BOYACA

Ing._____

Matricula profesional: 15202 154590 BYC
Nombre: Jonathan José Cala Monroy
Especialista en Estructuras

REVISIÓN Revision	FECHA DE REVISIÓN Revision Date	DESCRIPCIÓN DE LA REVISIÓN Revision Description	PREPARÓ Prepared by	CHEQUEÓ Checked by	APROBÓ Approved by	AUTORIZÓ Authorized by
B	11-03-2025	EMISIÓN PARA REVISIÓN				
A	04-11-2024	EMISIÓN PARA REVISIÓN	R. CALIXTO	J. CALA	J. CALA	J. CALA

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE CONSULTORÍA Y SUPERVISIÓN DE ESTRUCTURAS SAS Y NO DEBE SER COPIADO, REPRODUCIDO Y/O CIRCULADO SIN SU AUTORIZACIÓN

CONTENIDO

1. ALCANCE 3
2. DOCUMENTOS DE REFERENCIA 4
3. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO 5
4. ESTUDIOS DE REFERENCIA 6
5. UNIDADES DE MEDIDA 6
6. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES 6
7. sistema estructural predominante 7
8. AFECTACIONES PRESENTADAS TANTO EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES COMO EN NO ESTRUCTURALES 7
9. Evaluación de la calidad de la estructura 8
10. EVALUACIÓN DE CARGAS PARA MODELO MATEMÁTICO 9
11. COMBINACIONES DE CARGA 15
12. MODELO ESTRUCTURAL 16
13. RESISTENCIA MURO MAMPOSTERÍA 20
14. ÍNDICE DE SOBREESFUERZO MURO DE MAMPOSTERÍA 22
15. Sobreesfuerzo por fuerza de viento 23
16. ÍNDICE DE FLEXIBILIDAD MURO DE MAMPOSTERÍA 26
17. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE MURO DE GRAVEDAD 28
18. ÍNDICE DE FLEXIBILIDAD MURO DE CONTENCIÓN 38
19. CONCLUSIONES 41

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE CONSULTORÍA Y SUPERVISIÓN DE ESTRUCTURAS SAS Y NO DEBE SER COPIADO, REPRODUCIDO Y/O CIRCULADO SIN SU AUTORIZACIÓN

1. ALCANCE

El alcance de este documento es realizar LEVANTAMIENTO ESTRUCTURAL al MURO PERIMETRAL del instituto técnico Gonzalo Suarez Rendón, ubicado en Cl. 19 #15-52 del Municipio de Tunja – Boyacá, La estructura se compone de dos elementos, un muro de contención reforzado con acero y, sobre este, un muro de cerramiento construido en mampostería.

Figura 1. Localización del proyecto.



Fuente: Google Earth.

Figura 2. Vista Fachada



ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE CONSULTORÍA Y SUPERVISIÓN DE ESTRUCTURAS SAS Y NO DEBE SER COPIADO, REPRODUCIDO Y/O CIRCULADO SIN SU AUTORIZACIÓN

2. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

REGULACIONES LOCALES

- Reglamento Colombiano de Diseño y Construcción Sismo Resistente, NSR-10
- Normas Técnicas Colombianas, NTC (121,321,174,3459,2289,1925,2310,161,1920)

CÓDIGOS INTERNACIONALES DE DISEÑO

- ASCE 7-16 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures
- IBC-14 International Building Code – International Code Council
- ACI 318-08 Building Code Requirements for Structural Concrete - American Concrete Institute
- ACI 224.1 Causes, Evaluation, and Repair of Cracks in Concrete Structures – American Concrete Institute
- AISC 360-16 Specification for Structural Steel Buildings - AISC
- AISC 325-10 Steel Construction Manual, 13th Edition (5th Printing)
- AISC 327-05 AISC Seismic Design Manual

OTROS DOCUMENTOS DE REFERENCIA

- Planos de levantamiento arquitectónico realizados por CSE

1 ESTUDIOS DE REFERENCIA

Para el estudio se cuenta con:

- Planos de levantamiento arquitectónico realizados por CSE
- Planos de levantamiento Topográfico realizados por CSE
- Estudios Realizados por CSE

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE CONSULTORÍA Y SUPERVISIÓN DE ESTRUCTURAS SAS Y NO DEBE SER COPIADO, REPRODUCIDO Y/O CIRCULADO SIN SU AUTORIZACIÓN

3. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

Localización:	Municipio de Tunja – Boyacá
Tipo de Estructura:	Muros de concreto y Muros de mampostería no reforzada
Altura de la edificación:	9.85 m Aprox
Cimentación:	Concreto
Longitud del muro:	340.1 m
Nivel cimentación aprox.:	-0.45 m

A continuación, se entrega información más detallada sobre el proyecto descrito anteriormente:

MURO DEL INSTITUTO GONZALO SUAREZ RENDON Cl. 19 #15-52– MUNICIPIO DE TUNJA, BOYACA				
Nombre del inmueble	**MURO DEL INSTITUTO GONZALO SUAREZ RENDON Cl. 19 #15-52**			
Ciudad	Tunja – Boyacá			
Año de construcción	20 AÑOS			
¿Se aplicó algún tipo de norma sismo resistente?	SI	X	NO	
Norma bajo la cual se construyó la edificación	NSR-98			
¿Cumple con la normativa actual vigente (NSR10)?	SI		NO	X
Longitud del muro según contrato (m)	394.1 m			
Longitud del muro levantamiento (m)	340.1 m			
¿Existen sótanos?	SI		NO	X
Clasificación según grupo de ocupación (NSR10 TABLA K.2.1-1)	Grupo de ocupación lugares de reunión (I), subgrupo de ocupación INSTITUCIONAL (3) – Educación			
Clasificación según grupo de uso (NSR10 A.2.5.1.3)	Grupo (III) – Edificaciones de atención a la comunidad			
Valor coeficiente de importancia, I (NSR10 – Tabla A.2.5-1)	Coeficiente de importancia 1.25			

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE CONSULTORÍA Y SUPERVISIÓN DE ESTRUCTURAS SAS Y NO DEBE SER COPIADO, REPRODUCIDO Y/O CIRCULADO SIN SU AUTORIZACIÓN

4. ESTUDIOS DE REFERENCIA

Se cuenta con la siguiente información del estudio de suelos

PARÁMETROS SÍSMICOS	
Aa coeficiente que representa la aceleración horizontal pico efectiva	0.20
Av coeficiente que representa la velocidad horizontal pico efectiva	0.20
Nivel de amenaza sísmica	INTERMEDIA
Perfil de suelo	D

PARÁMETROS GEOTÉCNICOS	
Capacidad portante	200 kPa

5. UNIDADES DE MEDIDA

Los diseños y cálculos serán desarrollados usando las siguientes Unidades:

- Longitud: Metro m; Milímetro mm
- Área: Metro cuadrado m^2; Milímetro cuadrado mm^2
- Volumen: Metro cúbico m^3; Milímetro cúbico mm^3
- Fuerza: Kilo newton kN; Kilogramo kg
- Masa: Kilogramo kg
- Presión: Kilo pascal $kPa=KN/m^2$; Mega pascal $MPa=N/mm^2$
- Peso específico: Kilo newton/ metro cúbico kN/m^3

6. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

Los ensayos realizados en el estudio de patología para la determinación de la resistencia del concreto permitieron concluir que el concreto del muro de contención posee una resistencia a la compresión correspondiente a 8.5Mpa, por lo que su módulo de rotura considerando un concreto de peso normal se calcula con la siguiente expresión (C. 9.10)

$$fr = 0.62\lambda\sqrt{f'c}$$

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE CONSULTORÍA Y SUPERVISIÓN DE ESTRUCTURAS SAS Y NO DEBE SER COPIADO, REPRODUCIDO Y/O CIRCULADO SIN SU AUTORIZACIÓN

$$fr = 1.81\ Mpa$$

Por otra parte, se toma la resistencia mínima para la mampostería del muro de cerramiento definida en la normativa NSR 10 (D12.1.4) establecida de 8.0Mpa.

ELEMENTOS	RESISTENCIA	MODULO DE ELASTICIDAD
Muro de Gravedad en concreto	8.5 N/mm^2	e= 13702.74 N/mm^2
Muro de mampostería, ladrillo macizo en arcilla	8 N/mm^2	e= 6000 N/mm^2

7. SISTEMA ESTRUCTURAL PREDOMINANTE

El sistema estructural de la edificación predomina el muro de contención el cual varia su altura ya que el muro es escalonado. Es el encargado de soportar la presión de la tierra adyacente, pero aparentemente no cuenta con refuerzos de acero, sobre este muro de contención se encuentra un muro de ladrillo cumple una función de cerramiento y no aporta a la estabilidad estructural del muro de contención.



8. AFECTACIONES PRESENTADAS TANTO EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES COMO EN NO ESTRUCTURALES

Muro de contención: El muro de contención principal muestra signos de desgaste en la superficie y está expuesto a la intemperie. La falta de refuerzo de acero podría comprometer su estabilidad y capacidad de soportar las cargas laterales del terreno, especialmente en caso de sismos. Esta ausencia de refuerzos incrementa el riesgo de fisuras las cuales está presentando.

Elementos no estructurales (muro de mampostería): Este muro de ladrillo sobre el muro de contención cumple una función de cerramiento y no aporta resistencia estructural. Sin embargo, su peso extra sobre el muro de contención puede añadir carga no diseñada para el muro inferior, especialmente sin refuerzo de acero. Además, la mampostería parece estar

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE CONSULTORÍA Y SUPERVISIÓN DE ESTRUCTURAS SAS Y NO DEBE SER COPIADO, REPRODUCIDO Y/O CIRCULADO SIN SU AUTORIZACIÓN

expuesta a la humedad y vegetación, lo que podría acelerar el deterioro de los materiales. Por otra parte, se logra observar que no cuenta con anclajes en ninguna parte del muro.

En el informe de patología elaborado para la estructura en cuestión, se han identificado diversas afectaciones tanto en los elementos estructurales como en los no estructurales, por lo que allí se puede tener a detalle todas las afectaciones, ya que en este documento se mencionan como las más relevantes

9. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LA ESTRUCTURA

Teniendo en cuenta el informe de patología presentado de la estructura, se utilizan los siguientes factores de reducción de resistencia tanto para elementos estructurales como no estructurales, según A.10.4.1.

ANALISIS DE VULNERABILIDAD SISMICA	CONSULTORÍA Y SUPERVISIÓN DE ESTRUCTURAS SAS Una nueva generación de servicios NIT 901027483-1	CASA DE CULTURA YOPAL

COEFICIENTES DE REDUCCION DE RESISTENCIA

Calidad del diseño y de la estructura original	REGULAR **fc =**	**0.8**
Estado de mantenimiento y conservación de la estructura	MALO **fe =**	**0.6**

Para aplicar los coeficientes de reducción de resistencia indicados en el capitulo A-10 la NSR10, a la evaluación del índice de sobreesfuerzo de las columnas, se afectaran los valores de **f** (coeficiente de reducción de resistencia C.9.3 NSR-10) utilizados por el programa de diseño.

Valores de **f** indicados en el articulo C.9.3.2 de la NSR-10

Phi (Tension)	0.90	Flexión.
Phi (Compresion/Tied)	0.65	Compresión axial, refuerzo estribos.
Phi (Compresión/Spiral)	0.75	Compresión axial, refuerzo espiral.
Phi (Shear)	0.75	Cortante y torsión

Valores de **f** a utilizar en el modelo, afectados por los coeficientes de reducción de resistencia (**f** x **fc** x **fe**)

Phi (Tension)	0.43	Flexión.
Phi (Compresion/Tied)	0.31	Compresión axial, refuerzo estribos.
Phi (Compresion/Spiral)	0.36	Compresión axial, refuerzo espiral.
Phi (Shear)	0.36	Cortante y torsión

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE CONSULTORÍA Y SUPERVISIÓN DE ESTRUCTURAS SAS Y NO DEBE SER COPIADO, REPRODUCIDO Y/O CIRCULADO SIN SU AUTORIZACIÓN

10. EVALUACIÓN DE CARGAS PARA MODELO MATEMÁTICO

Los tipos de cargas que serán consideradas en el diseño se describen a continuación.

Carga Muerta	(D)
Carga de Viento	(W)
Carga de Sismo	(E)
Carga Viva	(L)

CARGA MUERTA (D)

Corresponde a las solicitaciones transmitidas por el peso propio de la estructura, y por el peso de todos los materiales permanentemente fijados a esta o soportados por la misma. El peso propio de los elementos fue automáticamente generado por el programa de análisis a partir de la geometría y propiedades asignadas.

CARGA VIVA (L)

Muro de contención: La carga viva depende del tipo de uso que vaya a tener la estructura, específicamente en cada piso, no obstante, para el elemento estructural del presente proyecto correspondiente al muro de contención solo se tiene en cuenta la carga viva transmitida por el Tránsito de la carretera que soporta dicha estructura.

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE CONSULTORÍA Y SUPERVISIÓN DE ESTRUCTURAS SAS Y NO DEBE SER COPIADO, REPRODUCIDO Y/O CIRCULADO SIN SU AUTORIZACIÓN

Tabla B.4.2.1-1
Cargas vivas mínimas uniformemente distribuidas

Ocupación o uso		Carga uniforme (kN/m^2) m^2 de área en planta	Carga uniforme (kgf/m^2) m^2 de área en planta
Reunión	Balcones	5.0	500
	Corredores y escaleras	5.0	500
	Sillería fija (fijada al piso)	3.0	300
	Gimnasios	5.0	500
	Vestíbulos	5.0	500
	Sillería móvil	5.0	500
	Áreas recreativas	5.0	500
	Plataformas	5.0	500
	Escenarios	7.5	750
Oficinas	Corredores y escaleras	3.0	300
	Oficinas	2.0	200
	Restaurantes	5.0	500
Educativos	Salones de clase	2.0	200
	Corredores y escaleras	5.0	500
	Bibliotecas		
	Salones de lectura	2.0	200
	Estanterías	7.0	700
Fábricas	Industrias livianas	5.0	500
	Industrias pesadas	10.0	1000
Institucional	Cuartos de cirugía, laboratorios	4.0	400
	Cuartos privados	2.0	200
	Corredores y escaleras	5.0	500
Comercio	Minorista	5.0	500
	Mayorista	6.0	600
Residencial	Balcones	5.0	500
	Cuartos privados y sus corredores	1.8	180
	Escaleras	3.0	300
Almacenamiento	Liviano	6.0	600
	Pesado	12.0	1200
Garajes	Garajes para automóviles de pasajeros	2.5	250
	Garajes para vehículos de carga de hasta 2.000 kg de capacidad.	5.0	500
Coliseos y Estadios	Graderías	5.0	500
	Escaleras	5.0	500

Carga de tránsito

$$T(KN/m2) = 5.0\frac{KN}{m2} * Ka$$

$$T(KN/m2) = 5.0\frac{KN}{m2} * 0.347$$

$$T(KN/m2) = 1.735\ \frac{KN}{m2}$$

Siendo Ka el coeficiente de presión activa del suelo

Muro de mampostería: No se considera carga viva para el muro de cerramiento

CARGA DE VIENTO (W)

Muro de contención y muro de mampostería:

Se usará para este apartado las presiones de viento producidas sobre un muro autosoportante según NSR-10 B.6., usando el método de analítico.

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE CONSULTORÍA Y SUPERVISIÓN DE ESTRUCTURAS SAS Y NO DEBE SER COPIADO, REPRODUCIDO Y/O CIRCULADO SIN SU AUTORIZACIÓN

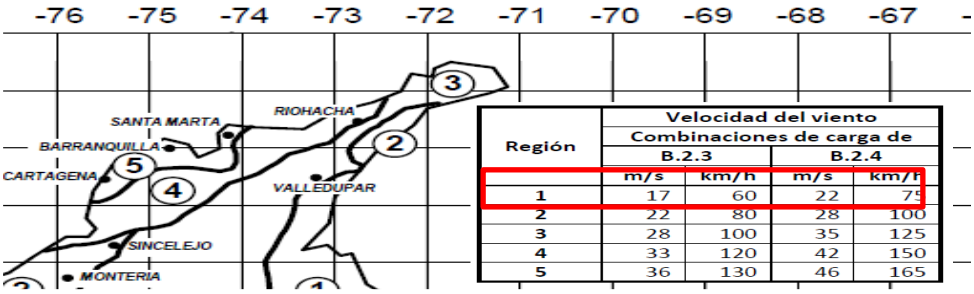
1) Categoria de riesgo

CATEGORIA	Regiones no propensas a huracanes y regiones con posibilidad de huracanes de V= 40 - 45 m/s	Regiones con posibilidades de huracanes y V>45 m/s
I	0.87	0.77
II	1	1.00
III	1.15	1.15
IV	1.15	1.15

NSR-10 Tabla B.6.5-1

2) Velocidad básica del viento

Factor de direccionalidad del viento



Región	Velocidad del viento Combinaciones de carga de B.2.3 m/s	B.2.3 km/h	B.2.4 m/s	B.2.4 km/h
1	17	60	22	75
2	22	80	28	100
3	28	100	35	125
4	33	120	42	150
5	36	130	46	165

TIPO DE ESTRUCTURA	Factor de direccionalidad del viento
Edificios	
Sistema principal de resistencia de cargas de viento	0.85
Componentes y recubrimientos	0.85
Cubiertas aAbovedadas	0.85
Chimeneas, Tanques y estructuras similares	
Cuadradas	0.9
Hexagonales	0.95
Redondas	0.95
Avisos sólidos	0.85
Avisos abiertos ty estructura rectangular	0.85
Torres en celosia	
Triangular, cuadrada y rectangular	0.85
Todas las otras secciones transversales	0.95

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE CONSULTORÍA Y SUPERVISIÓN DE ESTRUCTURAS SAS Y NO DEBE SER COPIADO, REPRODUCIDO Y/O CIRCULADO SIN SU AUTORIZACIÓN

3) Categoria de exposición NSR 10 B.6.5.6

RUGOSIDAD	CARACTERÍSTICAS
B	Áreas urbanas y suburbanas, áreas boscosas u otros terrenos con numerosas obstrucciones del tamaño, iguales o mayores al de una vivienda unifamiliar y con poca separación entre ellas.
C	Terreno abierto con pocas obstrucciones y con alturas inferiores a 9.0 m. Esta categoría incluye campos planos abiertos, praderas y todas las superficies acuáticas en zonas propensas a huracanes.
D	Áreas planas y no obstruidas y superficies acuáticas por fuera de regiones propensas a huracanes. Esta categoría incluye pantanos, salinas y superficies de hielo.

RUGOSIDAD	CARACTERÍSTICAS
B	La categoría de exposición B aplica cuando la rugosidad del terreno, como se define en Rugosidad de Terreno B, prevalece por una distancia de al menos 800 m o 20 veces la altura del edificio, la que sea mayor, en la dirección al viento.
C	La categoría de exposición C aplicará para todos los casos donde no apliquen las categorías B y D.
D	La categoría de exposición D aplica cuando la rugosidad del terreno, como se define en Rugosidad de Terreno D, prevalece por una distancia mayor a 1500 m o 20 veces la altura del edificio, la que sea mayor, en la dirección de barlovento. La categoría de exposición D se extenderá hacia las áreas viento abajo de las Rugosidades de Terreno B o C por una distancia de 200 m o 20 veces la altura de la edificación, la que sea mayor.

4) Factor de efecto ráfaga

$$f_1 = \frac{1}{2\pi}\left[\frac{3.5156}{L^2}\right]\sqrt{\frac{EI}{\rho}}$$

f'c=	8	N/mm^2	Resistencia a la compresión de la mampostería
p=	1850	kg/m^3	Densidad
h=	9.65	m	Altura total del edificio
b=	0.05		Coeficiente de amortiguamiento, porcentaje crítico para edificios y otras estructuras
B=	5	m	Dimensión horizontal del edificio medido en dirección normal a la dirección del viento, en m
L=	0.15	m	Dimensión horizontal del edificio medida en dirección paralela a la dirección del viento, en m
I=	1.41E+09	mm^4	Inercia de la pared
E=	6000	N/mm^2	Modulo de elasticidad del concreto
f=	0.41	hz	Frecuencia del muro
T=	2.464	s	Periodo fundamental del edificio

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE CONSULTORÍA Y SUPERVISIÓN DE ESTRUCTURAS SAS Y NO DEBE SER COPIADO, REPRODUCIDO Y/O CIRCULADO SIN SU AUTORIZACIÓN

5) Coeficiente por exposición a la presión por velocidad (NSR-10 Tabla B.6.5-3)

$4.0\ \text{m} \le Z \le Z_g$ Para Z < 4.0 m

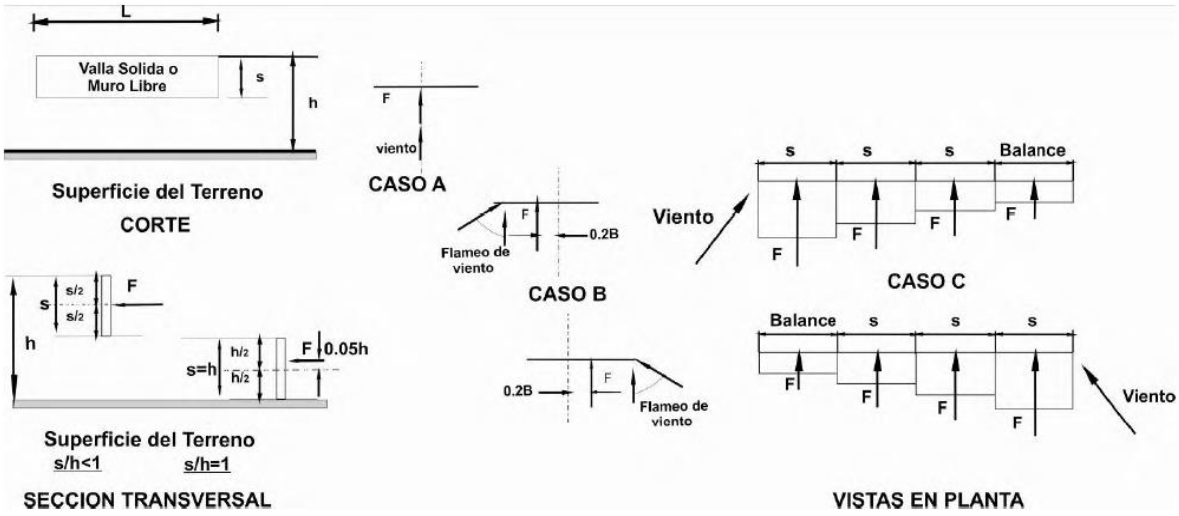
$$K_z = 2.01\left(Z/Z_g\right)^{2/\alpha} \qquad K_z = 2.01\left(4.0/Z_g\right)^{2/\alpha}$$

K_z= 0.993

Presión por velocidad

q_z= 0.172 kN/m2 $q_z = 0.613 K_z K_{zt} K_d V^2 I$

6) Coeficiente de fuerza



7) Fuerza de viento

7. Fuerza de viento

$F = q_h G C_f A_s$

	CASO					
	A	B	C			
			0 a 2.6	2.6 a 5		
F (kN)	***17.31***	***17.31***	***14.43***	***13.32***		
Posición vertical (m)	5.31	5.31	5.31	5.31		
Posición horizontal (m)	2.5	1	1.30	3.7		
q (kN/m2)	***0.359***	***0.359***	***0.57***	***0.57***		

8. Fuerzas de diseño

	A	*B*	*C*			
			0 a 2.6	***2.6 a 5***		
q (kN/m2)	***0.40***	***0.40***	***0.57***	***0.57***		
F (kN)	***19.30***	***19.30***	***14.43***	***13.32***		

De tal manera, se considera una fuerza de viento de acuerdo con el caso C correspondiente a **0.57 KN/m2** sobre los elementos estructurales y no estructurales.

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE CONSULTORÍA Y SUPERVISIÓN DE ESTRUCTURAS SAS Y NO DEBE SER COPIADO, REPRODUCIDO Y/O CIRCULADO SIN SU AUTORIZACIÓN

Muro de contención:

Para determinar de la distribución de fuerza ejercida por un sismo (S) se realiza el cálculo de empuje dinámico de tierras de acuerdo con Mononobe Okabe donde se emplean los parámetros propios del suelo de lleno, así como el coeficiente de aceleración horizontal pico efectiva Aa (0.2) definido para la ciudad de Tunja. El cálculo se muestra a continuación dando como resultado una fuerza de 15.2 KN/m/m.

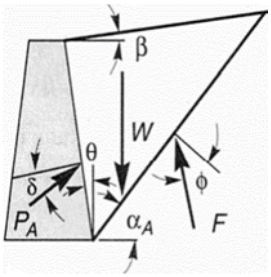
CALCULO DE EMPUJE DINÁMICO DE TIERRAS DE ACUERDO A MONONOBE OKABE

ϕ =	29.00 º	Coeficiente de fricción interna del suelo.
θ =	0.00 º	Ángulo que forma la pared interior del muro con la vertical.
δ =	14.50 º	Ángulo de fricción entre el muro y el suelo.
Aa=K_h=	0.2	Coeficiente que representa la aceleración horizontal pico efectiva
K_v=	0.100	Coeficiente que representa la aceleración vertical pico efectiva
ψ =	12.53 º	
β =	0.00 º	Ángulo que forma la superficie del suelo con la horizontal.
H=	7.70 m	Altura del muro
γ =	20.57 kN/m3	Peso activo del suelo.

$$\delta := \frac{\phi}{2}$$

$$k_v = \pm \frac{k_h}{2}$$

$$\psi := \operatorname{atan}\left(\frac{K_h}{1 - K_v}\right)$$



K_a=	0.314	$\psi := 0 \cdot deg$
K_{ae}=	0.491	
P_A=	49.68 kN/m/m	
P_{AE}=	69.95 kN/m/m	

$$K_A := \frac{\cos(\phi - \theta - \psi)^2}{\cos(\psi)\cdot\cos(\theta)^2\cdot\cos(\delta + \theta + \psi)\cdot\left[\left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \phi)\cdot\sin(\phi - \beta - \psi)}{\cos(\delta + \theta + \psi)\cdot\cos(\beta - \theta)}}\right)^2\right]}$$

$$P_A := \frac{1}{2}\cdot K_A\cdot\gamma\cdot H^2 \qquad P_{AE} := \frac{1}{2}\cdot K_{AE}\cdot\gamma\cdot H^2\cdot(1 - K_v)$$

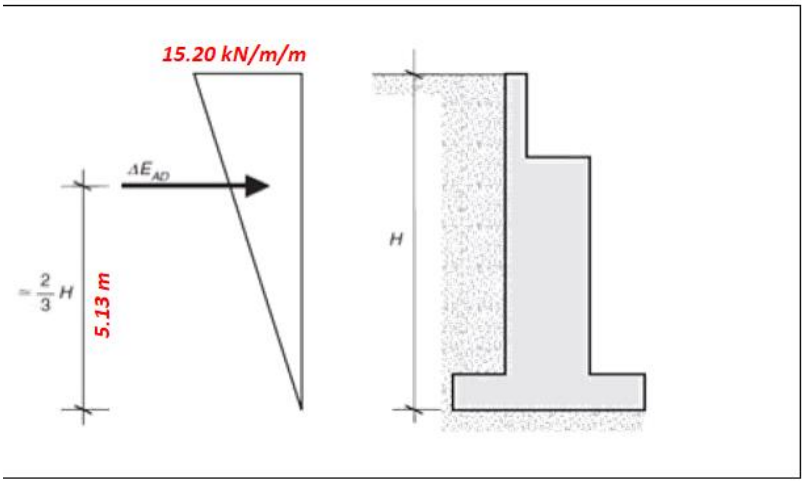


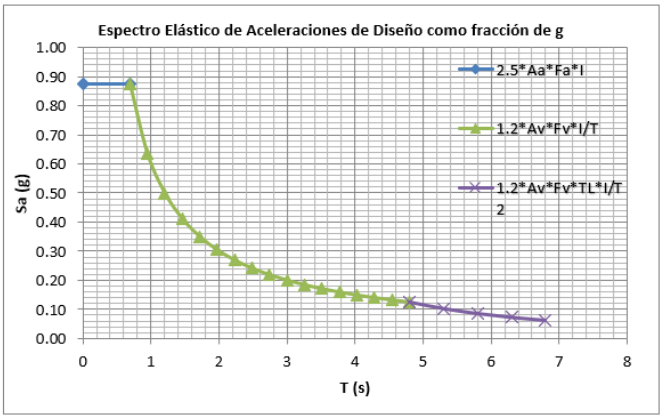
Figura 1. Empuje dinámico de tierras

Muro de Mampostería:

Para este apartado se usa el espectro de diseño elástico, encontrado en NSR-10 A.2, y remplazando con los parámetros sísmicos definidos por el estudio de suelos se obtiene:

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE CONSULTORÍA Y SUPERVISIÓN DE ESTRUCTURAS SAS Y NO DEBE SER COPIADO, REPRODUCIDO Y/O CIRCULADO SIN SU AUTORIZACIÓN

Ciudad	Tunja
Departamento	BOYACÁ
ZONA DE AMENAZA SÍSMICA	Intermedia
Aa	0.2
Av	0.2
Perfil de suelos	D
Fa	1.40
Fv	2.00
I	III
	1.25
To	0.143
Tc	0.69
TL	4.8



Fuente:NSR-10, Titulo A

Para aplicar la carga de sismo en el muro de cerramiento se evalúa el espectro de aceleración como factor de la fuerza ejercida por una sección del muro. Para evaluar la condición más crítica se selecciona una sección del muro cuyo ancho es de 5m.

$$Sa = 2.5 * Aa * Fa * I$$

$$Sa = 0.88$$

h_x	2.60 m	Altura en metros, medida desde la base, del nivel de apoyo del elemento no estructural.
e_{pieza}	120.00 m	Espesor de la pieza
L_{muro}	5000 mm	Largo del muro
h_{muro}	2600 mm	Altura netal del muro
e_{pega}	10 mm	Espesor del mortero de pega
$nc_{pañ}$	0	Numero de caras pañetadas
$e_{pañ}$	25 mm	Espesor de los pañetes
W_{pega}	7.29 kN	Peso del mortero de pega
$W_{pañ}$	0.00 kN	Peso del pañete
W_{mamp}	22.62 kN	Peso de la mamposteria
W_{total}	29.91 kN	Peso del muro

$$Sa * W = 0.88 * 29.91kN$$

$$Sa * W = 26.32\ KN$$

Dicha carga se aplica sobre el muro teniendo en cuenta las dos direcciones sobre las que actúa (X y Y), aplicando para Sx el 30% de Sy y viceversa.

11. COMBINACIONES DE CARGA

COMBINACIONES DE CARGA PARA LA VERIFICACIÓN DEL ESTADO LIMITE DE SERVICIO (MÉTODO DE ESFUERZOS DE TRABAJO)

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE CONSULTORÍA Y SUPERVISIÓN DE ESTRUCTURAS SAS Y NO DEBE SER COPIADO, REPRODUCIDO Y/O CIRCULADO SIN SU AUTORIZACIÓN

Las siguientes combinaciones fueron utilizadas para el análisis de estabilidad de estructuras y fundaciones para la evaluación de la presión de suelo bajo fundaciones.

D	B.2.3-1
D+H+L	B.2.3-2
D+H+0.75L	B.2.3-4
D+H+W	B.2.3-5
D+H+0.7E	B.2.3-6
D+H+0.75W+0.75L	B.2.3-7
D+0.75(0.7E) +0.75L	B.2.3-8
0.6D+W+H	B.2.3-9
0.6D±0.7E+H	B.2.3-10

12. MODELO ESTRUCTURAL

Se realiza un modelo matemático de una sección de 10 m del muro, teniendo en cuenta la geometría del muro de contención mostrada en la Imagen 1 y una sección del muro de mampostería de 5m x 2,6m.

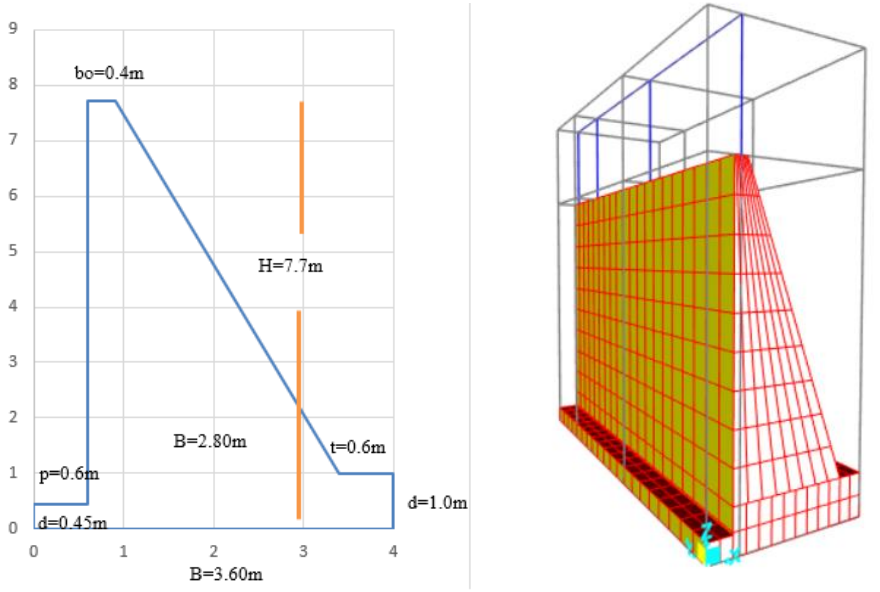
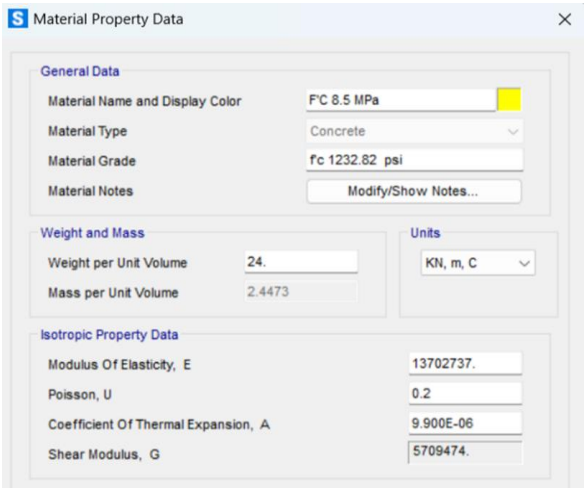


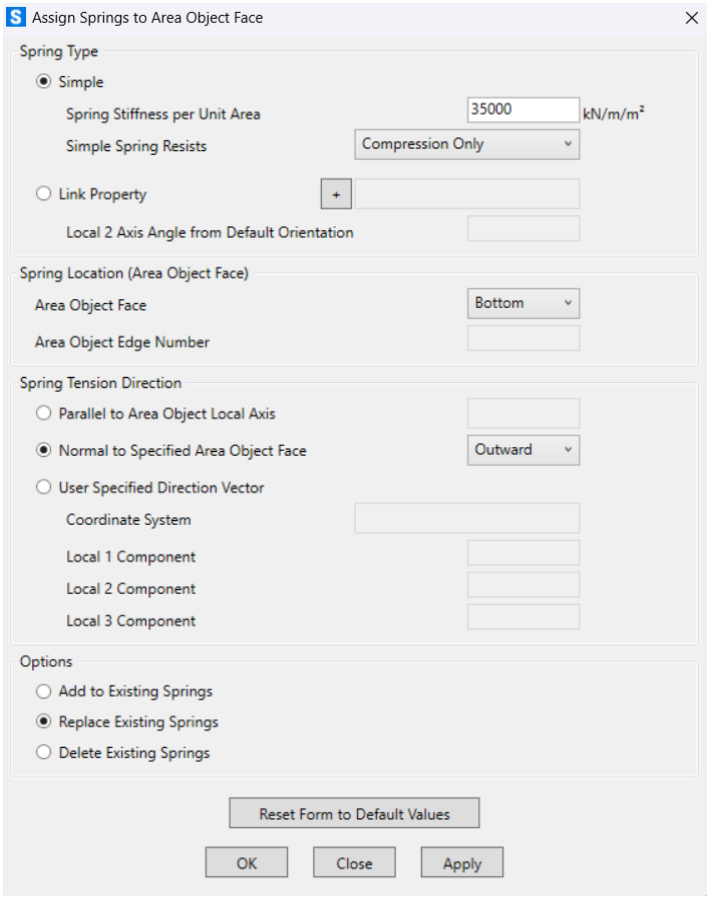
Imagen 1. Geometría muro de contención

Definición del material

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE CONSULTORÍA Y SUPERVISIÓN DE ESTRUCTURAS SAS Y NO DEBE SER COPIADO, REPRODUCIDO Y/O CIRCULADO SIN SU AUTORIZACIÓN

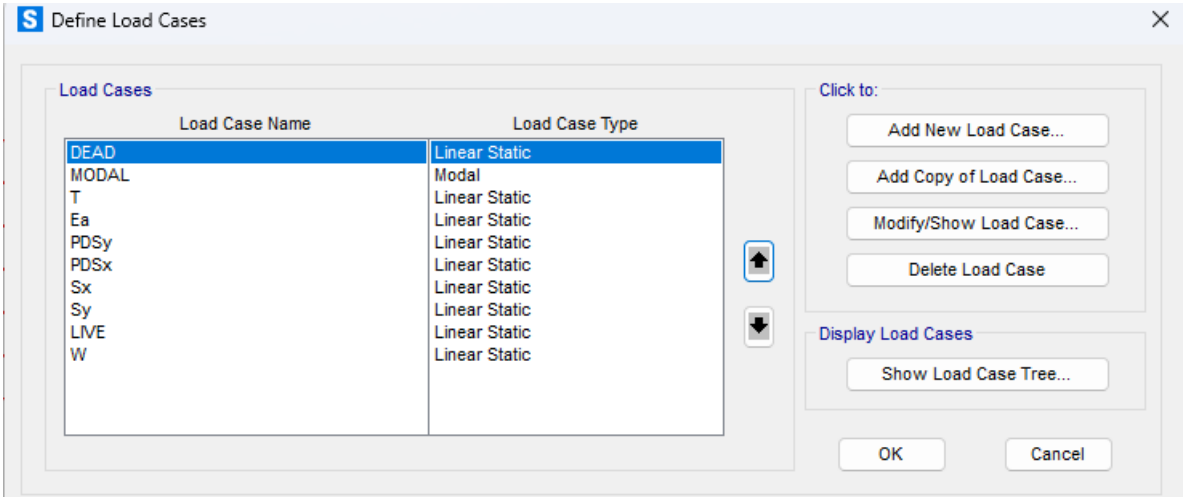


Módulo de reacción suministrado por el estudio de suelos



Casos de carga suministrados al modelo

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE CONSULTORÍA Y SUPERVISIÓN DE ESTRUCTURAS SAS Y NO DEBE SER COPIADO, REPRODUCIDO Y/O CIRCULADO SIN SU AUTORIZACIÓN



Donde se aplicaron los siguientes casos para el muro de contención

T=Carga viva por tánsito

Ea=Empuje activo del suelo

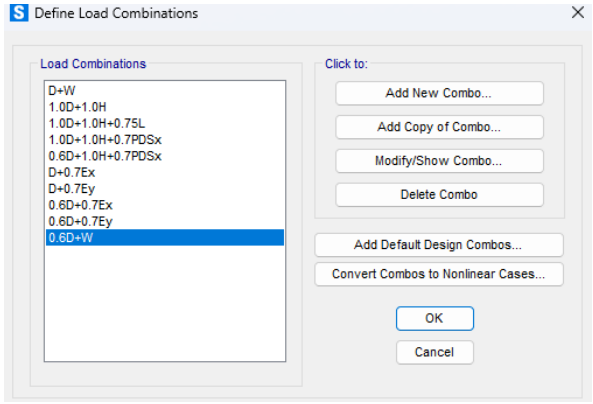
PDS= Presión dinámica por sismo

Y los siguientes para el muro de mampostería

Sx, Sy = Fuerza de sismo en cada dirección

W= Fuerza de viento

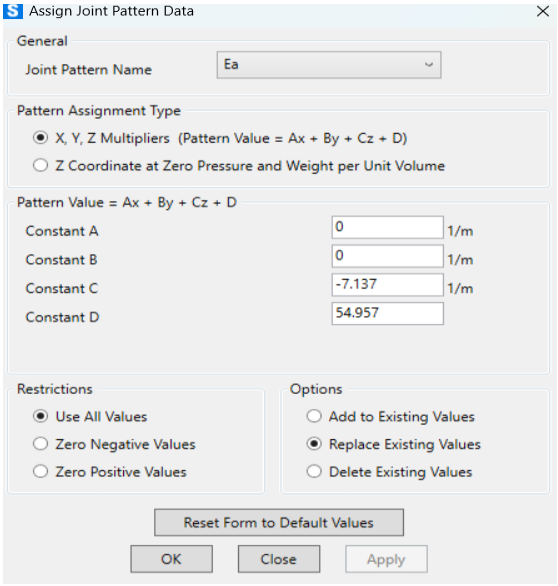
Combinaciones de carga aplicadas:

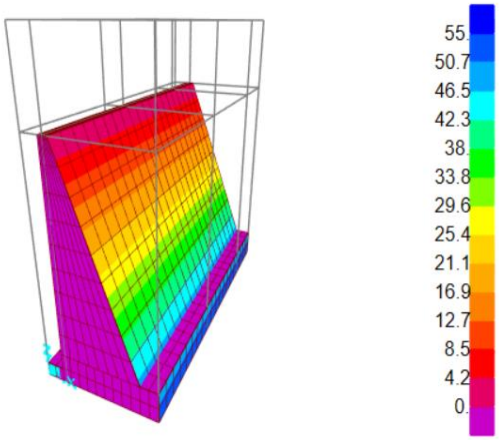


Empujes asignados al modelo

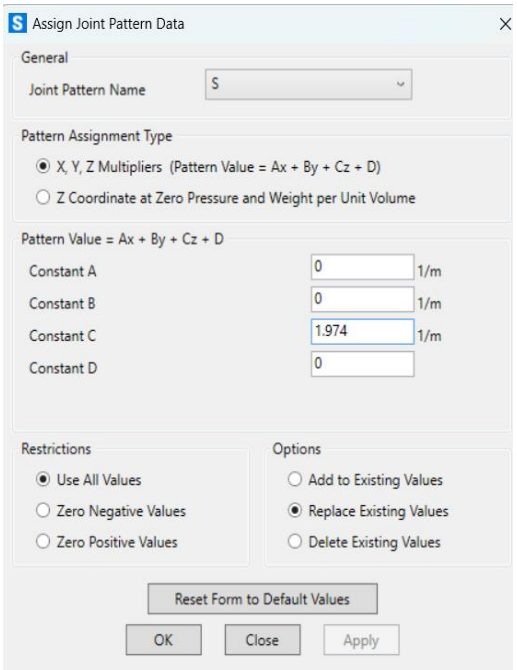
Empuje Activo

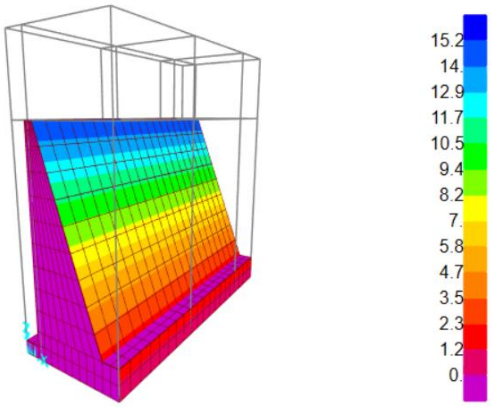
ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE CONSULTORÍA Y SUPERVISIÓN DE ESTRUCTURAS SAS Y NO DEBE SER COPIADO, REPRODUCIDO Y/O CIRCULADO SIN SU AUTORIZACIÓN





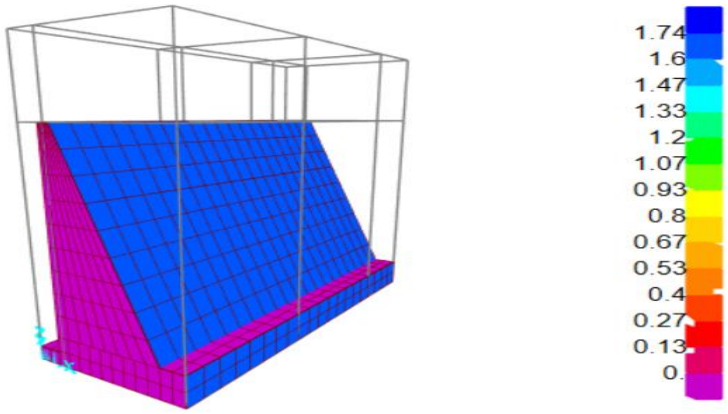
- Presión Dinámica del sismo





- Sobrecarga por tránsito

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE CONSULTORÍA Y SUPERVISIÓN DE ESTRUCTURAS SAS Y NO DEBE SER COPIADO, REPRODUCIDO Y/O CIRCULADO SIN SU AUTORIZACIÓN



13. RESISTENCIA MURO MAMPOSTERÍA

Se calcula la Resistencia del muro de mampostería en términos de momento nominal Mn estimado para a una sección de 2.6 m de alto por metro lineal (considerando una sección crítica). Dicho calculo se realiza a partir de las propiedades de su geometría y módulo de rotura, afectando la resistencia por los coeficientes de reducción definidos en la evaluación del estado estructural.



$bw := 1000\ mm$ Ancho del muro

$tw := 150\ mm$ Espesor del muro

$hw := 2600\ mm$ Altura del muro

Propiedades geométricas del ladrillo

$aj := 10\ mm$ Ancho de la junta

$bb := 250\ mm$ Ancho del ladrillo

$be := aj + bb = 260\ mm$ Ancho efectivo del ladrillo

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE CONSULTORÍA Y SUPERVISIÓN DE ESTRUCTURAS SAS Y NO DEBE SER COPIADO, REPRODUCIDO Y/O CIRCULADO SIN SU AUTORIZACIÓN



En azul se agrega el espesor de la junta de 10 mm

Elemento	b (mm)	h (mm)	Area (mm^2)	I (mm^4)	d (mm)	A*d^2 (mm^4)	I+A*d^2 (mm^4)
1	250	150	37500	70312500	75	210937500	281250000
Junta	10	150	1500	2812500	0	0	2812500
Σ							***284062500***

$$I_{ladrillo} = 284062500\ mm^4$$

$$Y_{ladrillo} := 0.5 \cdot tw = 75\ mm$$

$$S_{ladrillo} := \frac{I_{ladrillo}}{Y_{ladrillo}} = 3787500\ mm^3$$

$$S_{muro} := S_{ladrillo} \cdot \frac{bw}{be} = 14567307.692\ mm^3$$

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE CONSULTORÍA Y SUPERVISIÓN DE ESTRUCTURAS SAS Y NO DEBE SER COPIADO, REPRODUCIDO Y/O CIRCULADO SIN SU AUTORIZACIÓN

Calculo de la capacidad estructural

Dirección de los esfuerzos de tracción por flexión y tipo de manipostería.	Morteros de cemento portland y cal		Morteros de cemento para mampostería	
	H, M, Ó S	N	H, M, Ó S	N
Perpendicular a las juntas horizontales				
- Unidades Macizas	0,69	0,52	0,41	0,26
Unidades de perforación vertical- Sin rellenar	0,43	0,33	0,26	0,16
Unidades de perforación vertical- Rellenas con morteros de inyección	1,12	1,1	1,06	1
Perpendicular a la junta vertical				
- Unidades Macizas	1,38	1,03	0,83	0,52
Unidades de perforación vertical - Sin rellenar	0,86	0,66	0,52	0,33
Unidades de perforación vertical -Rellenas y parcialmente rellenas con morteros de inyección	1,38	1	0,83	0,5

Perpendicular a las juntas horizontales - Unidades Macizas Morteros de cemento para mampostería N	fr=	0,26	MPa

$$fr = 0.26\ MPa$$

$$Mn := fr \cdot S_{muro} = 3.788\ kN \cdot m$$

$$\phi_e := 0.6$$
$$\phi_c := 0.8$$

$$\phi Mn := \phi_c \cdot \phi_e \cdot Mn = 1.818\ kN \cdot m$$

El momento resistente del muro corresponde a un valor se 1.818KNm teniendo en cuenta los factores de reducción por estado de la estructura.

14. ÍNDICE DE SOBREESFUERZO MURO DE MAMPOSTERÍA

Se realiza el cálculo del índice de sobreesfuerzo para el muro de mampostería en dos casos, considerando la fuerza de viento y el movimiento por fuerza sísmica. Inicialmente se calcula la resistencia en términos del momento nominal *Mn* del muro de 2.6 m de alto por metro lineal (considerando una sección crítica) a partir de la geometría y propiedades del ladrillo que lo compone, luego se determina el momento último *Mu* generados por las fuerzas de viento o sismo que actúan sobre el muro.

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE CONSULTORÍA Y SUPERVISIÓN DE ESTRUCTURAS SAS Y NO DEBE SER COPIADO, REPRODUCIDO Y/O CIRCULADO SIN SU AUTORIZACIÓN

15. SOBREESFUERZO POR FUERZA DE VIENTO

Se determina el Momento último teniendo en cuenta la fuerza de viento hallada por el método analítico (0.57 KN*m2), y se compara con el momento nominal determinado con la geometría y propiedades del muro de mampostería.

$$Ww := 0.57\ kPa$$

$$Mu := \frac{(Ww \cdot bw) \cdot hw^2}{8} = 0.482\ kN \cdot m$$

$$\phi Mn := \phi_c \cdot \phi_e \cdot Mn = 1.818\ kN \cdot m$$

$$DCR := \frac{Mu}{\phi Mn} = 0.265$$

$$\text{if}(DCR < 1, \text{“CUMPLE”}, \text{“NO CUMPLE”}) = \text{“CUMPLE”}$$

Dado un índice de sobreesfuerzo inferior a la unidad, el muro de mampostería resiste las solicitaciones de una carga de viento de 0.56 KN/m2

2 SOBREESFUERZO POR MOVIMIENTOS SÍSMICOS

Para determinar el momento último generado por el sismo se extrae del modelo los resultados de momentos provocados por diferentes combinaciones de carga

Area	Joint	OutputCase	F11	F22	F12	FMax	M11	M22	M12
Text	Text	Text	KN/m	KN/m	KN/m	KN/m	KN-m/m	KN-m/m	KN-m/m
6	1992	DEAD	-0.67	-2.66	-8.327E-17	-0.67	-8.084E-14	-3.233E-13	1.904E-15
6	47	DEAD	-0.08645	-2.52	-0.17	-0.07475	-8.514E-15	1.114E-16	-2.458E-17
6	12	DEAD	-0.21	-3	-0.32	-0.17	2.959E-14	6.183E-15	-7.526E-15
6	2012	DEAD	-0.79	-3.14	-0.16	-0.78	-7.497E-14	-2.999E-13	-5.598E-15
6	1992	Sx	1.293E-14	5.185E-14	-1.43	1.43	-3.4373	-13.7491	0.6405
6	47	Sx	2.71	0.68	-3.04	4.89	-4.4979	-0.4235	1.7498
6	12	Sx	2.19	-1.39	-3.17	4.04	3.428	0.4471	2.1635
6	2012	Sx	-0.52	-2.07	-1.56	0.45	-5.9853	-23.9413	1.0543
6	1992	Sy	0.6	2.39	-1.47	3.21	-0.0291	-0.1164	0.5548
6	47	Sy	17.15	6.52	-5.64	19.59	-1.4166	-0.1609	1.2998
6	12	Sy	14.69	-3.3	-8.28	17.93	1.1874	0.2003	1.3917
6	2012	Sy	-1.86	-7.44	-4.11	0.32	-1.8621	-7.4484	0.6467
6	1992	D+W	-0.67	-2.66	-8.327E-17	-0.67	-0.4619	-1.8478	0.0084
6	47	D+W	-0.08645	-2.52	-0.17	-0.07475	-0.0354	-0.0009876	-0.006
6	12	D+W	-0.21	-3	-0.32	-0.17	0.1579	0.0059	-0.0526

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE CONSULTORÍA Y SUPERVISIÓN DE ESTRUCTURAS SAS Y NO DEBE SER COPIADO, REPRODUCIDO Y/O CIRCULADO SIN SU AUTORIZACIÓN

6	2012	D+W	-0.79	-3.14	-0.16	-0.78	-0.4139	-1.6558	-0.0382
6	1992	D+0.7Ex	-0.67	-2.66	-1	-0.25	-2.4061	-9.6244	0.4483
6	47	D+0.7Ex	1.81	-2.05	-2.29	2.88	-3.1485	-0.2964	1.2248
6	12	D+0.7Ex	1.33	-3.97	-2.55	2.35	2.3996	0.313	1.5145
6	2012	D+0.7Ex	-1.15	-4.59	-1.25	-0.74	-4.1897	-16.7589	0.738
6	1992	D+0.7Ey	-0.25	-1	-1.03	0.47	-0.0204	-0.0815	0.3884
6	47	D+0.7Ey	11.92	2.05	-4.12	13.41	-0.9916	-0.1126	0.9099
6	12	D+0.7Ey	10.08	-5.31	-6.12	12.22	0.8312	0.1402	0.9742
6	2012	D+0.7Ey	-2.09	-8.35	-3.03	-0.86	-1.3035	-5.2139	0.4527
6	1992	0.6D+0.7Ex	-0.4	-1.6	-1	0.17	-2.4061	-9.6244	0.4483
6	47	0.6D+0.7Ex	1.84	-1.04	-2.23	3.05	-3.1485	-0.2964	1.2248
6	12	0.6D+0.7Ex	1.41	-2.77	-2.42	2.51	2.3996	0.313	1.5145
6	2012	0.6D+0.7Ex	-0.83	-3.33	-1.19	-0.36	-4.1897	-16.7589	0.738
6	1992	0.6D+0.7Ey	0.01773	0.07094	-1.03	1.07	-0.0204	-0.0815	0.3884
6	47	0.6D+0.7Ey	11.95	3.05	-4.05	13.52	-0.9916	-0.1126	0.9099
6	12	0.6D+0.7Ey	10.16	-4.11	-5.99	12.35	0.8312	0.1402	0.9742
6	2012	0.6D+0.7Ey	-1.77	-7.09	-2.97	-0.45	-1.3035	-5.2139	0.4527
6	1992	0.6D+W	-0.4	-1.6	-4.996E-17	-0.4	-0.4619	-1.8478	0.0084
6	47	0.6D+W	-0.05187	-1.51	-0.1	-0.04485	-0.0354	-0.0009876	-0.006
6	12	0.6D+W	-0.12	-1.8	-0.19	-0.1	0.1579	0.0059	-0.0526
6	2012	0.6D+W	-0.47	-1.89	-0.09334	-0.47	-0.4139	-1.6558	-0.0382
10	326	DEAD	-0.79	-3.14	0.16	-0.78	-7.497E-14	-2.999E-13	5.598E-15
10	48	DEAD	-0.21	-3	0.32	-0.17	2.959E-14	6.183E-15	7.526E-15
10	47	DEAD	-0.08645	-2.52	0.17	-0.07475	-8.514E-15	1.114E-16	2.458E-17
10	1992	DEAD	-0.67	-2.66	-2.776E-17	-0.67	-8.084E-14	-3.233E-13	-1.904E-15
10	326	Sx	0.52	2.07	-1.56	3.04	-5.9853	-23.9413	-1.0543
10	48	Sx	-2.19	1.39	-3.17	3.24	3.428	0.4471	-2.1635
10	47	Sx	-2.71	-0.68	-3.04	1.51	-4.4979	-0.4235	-1.7498
10	1992	Sx	1.288E-14	5.218E-14	-1.43	1.43	-3.4373	-13.7491	-0.6405
10	326	Sy	-0.26	-1.02	0.33	-0.13	0.0668	0.2672	-0.1516
10	48	Sy	-0.33	-1.04	1.02	0.39	0.1843	0.0426	-0.1347
10	47	Sy	0.52	2.37	-0.78	2.65	-1.1286	-0.0889	0.2241
10	1992	Sy	0.6	2.39	-1.47	3.21	-0.0291	-0.1164	0.2071
10	326	D+W	-0.79	-3.14	0.16	-0.78	-0.4139	-1.6558	0.0382
10	48	D+W	-0.21	-3	0.32	-0.17	0.1579	0.0059	0.0526
10	47	D+W	-0.08645	-2.52	0.17	-0.07475	-0.0354	-0.0009876	0.006
10	1992	D+W	-0.67	-2.66	-2.776E-17	-0.67	-0.4619	-1.8478	-0.0084
10	326	D+0.7Ex	-0.42	-1.7	-0.94	0.07358	-4.1897	-16.7589	-0.738
10	48	D+0.7Ex	-1.74	-2.02	-1.9	0.02003	2.3996	0.313	-1.5145

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE CONSULTORÍA Y SUPERVISIÓN DE ESTRUCTURAS SAS Y NO DEBE SER COPIADO, REPRODUCIDO Y/O CIRCULADO SIN SU AUTORIZACIÓN

10	47	D+0.7Ex	-1.98	-2.99	-1.96	-0.47	-3.1485	-0.2964	-1.2248
10	1992	D+0.7Ex	-0.67	-2.66	-1	-0.25	-2.4061	-9.6244	-0.4483
10	326	D+0.7Ey	-0.97	-3.86	0.39	-0.91	0.0468	0.187	-0.1061
10	48	D+0.7Ey	-0.44	-3.73	1.04	-0.14	0.129	0.0298	-0.0943
10	47	D+0.7Ey	0.28	-0.86	-0.38	0.39	-0.79	-0.0622	0.1568
10	1992	D+0.7Ey	-0.25	-1	-1.03	0.47	-0.0204	-0.0815	0.145
10	326	0.6D+0.7Ex	-0.11	-0.44	-1	0.74	-4.1897	-16.7589	-0.738
10	48	0.6D+0.7Ex	-1.66	-0.82	-2.03	0.83	2.3996	0.313	-1.5145
10	47	0.6D+0.7Ex	-1.95	-1.99	-2.02	0.05809	-3.1485	-0.2964	-1.2248
10	1992	0.6D+0.7Ex	-0.4	-1.6	-1	0.17	-2.4061	-9.6244	-0.4483
10	326	0.6D+0.7Ey	-0.65	-2.6	0.32	-0.6	0.0468	0.187	-0.1061
10	48	0.6D+0.7Ey	-0.36	-2.53	0.91	-0.02817	0.129	0.0298	-0.0943
10	47	0.6D+0.7Ey	0.31	0.14	-0.44	0.68	-0.79	-0.0622	0.1568
10	1992	0.6D+0.7Ey	0.01773	0.07094	-1.03	1.07	-0.0204	-0.0815	0.145
10	326	0.6D+W	-0.47	-1.89	0.09334	-0.47	-0.4139	-1.6558	0.0382
10	48	0.6D+W	-0.12	-1.8	0.19	-0.1	0.1579	0.0059	0.0526
10	47	0.6D+W	-0.05187	-1.51	0.1	-0.04485	-0.0354	-0.0009876	0.006
10	1992	0.6D+W	-0.4	-1.6	-1.665E-17	-0.4	-0.4619	-1.8478	-0.0084

De esta manera el momento máximo dentro del plano M11 y fuera del plano M22 corresponden a:

OutputCase	M11	M22
Text	KN-m/m	KN-m/m
Sx	3.428	0.4471

Para determinar el índice de sobrecarga se toma Mu como el valor del momento en el plano M11 y el Momento resistente Mn se calcula de acuerdo con las propiedades del ladrillo tal como en el caso anterior, multiplicándose por los coeficientes de reducción por el estado de la estructura.

$$Mu := 3.428\ kN \cdot m$$

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE CONSULTORÍA Y SUPERVISIÓN DE ESTRUCTURAS SAS Y NO DEBE SER COPIADO, REPRODUCIDO Y/O CIRCULADO SIN SU AUTORIZACIÓN

$$\phi Mn := \phi_e \cdot \phi_c \cdot Mn = 1.818 \ kN \cdot m$$

$$DCR := \frac{Mu}{\phi Mn} = 1.886$$

$$\text{if}(DCR < 1, \text{“CUMPLE”}, \text{“NO CUMPLE”}) = \text{“NO CUMPLE”}$$

El índice de sobreesfuerzo por movimiento sísmico corresponde a un valor de 1.89 el cual supera la unidad, por lo que se supera un 89% su capacidad demanda cuando debe resistir una carga de sismo.

16. ÍNDICE DE FLEXIBILIDAD MURO DE MAMPOSTERÍA

La NSR10 en su apartado **A.10.4.3.5** define el índice de flexibilidad como el indicador de la susceptibilidad de la estructura a tener deflexiones o derivas excesivas, con respecto a las permitidas por el Reglamento. Para evaluarlo se calcula la deriva con la ecuación **A.6.3-1** para un punto superior e inferior del nudo**,** y se verifica con la **Tabla A.6.4-1**

$$\Delta^{i}_{max} = \sqrt{\sum_{j=1}^{2} \left(\delta^{i}_{tot,j} - \delta^{i-1}_{tot,j} \right)^2}$$

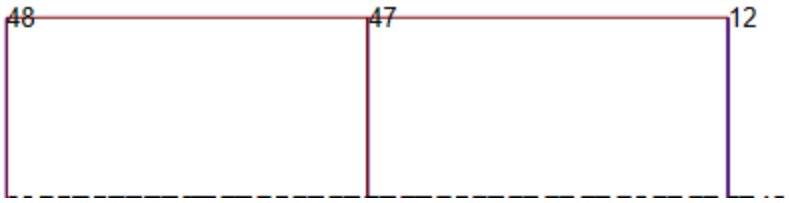


Imagen 2. numeración de nudos

La deriva máxima se calcula con los desplazamientos del nudo superior generados en el programa:

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE CONSULTORÍA Y SUPERVISIÓN DE ESTRUCTURAS SAS Y NO DEBE SER COPIADO, REPRODUCIDO Y/O CIRCULADO SIN SU AUTORIZACIÓN

TABLE: Joint Displacements

Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians
12	Sx	LinStatic	0,059071	0,000031	-0,000007005	-0,000013	0,034388	-0,003113
12	Sy	LinStatic	0,018337	0,000107	-0,000025	-0,000053	0,010652	-0,002794
2012	Sx	LinStatic	0	0	0	0	0	0
2012	Sy	LinStatic	0	0	0	0	0	0
47	Sx	LinStatic	0,032703	0,000014	-1,43E-15	-6,881E-07	0,01834	1,117E-17
47	Sy	LinStatic	0,000033	-0,000001224	0,000008076	0,000011	-0,000127	-0,002103
1992	Sx	LinStatic	0	0	0	0	0	0
1992	Sy	LinStatic	0	0	0	0	0	0
48	Sx	LinStatic	0,059071	0,000031	0,000007005	-0,000013	0,034388	0,003113
48	Sy	LinStatic	-0,000649	-7,165E-07	-0,000003468	-0,00000174	-0,000372	0,000596
326	Sx	LinStatic	0	0	0	0	0	0
326	Sy	LinStatic	0	0	0	0	0	0

Tabla 1. Derivas máximas NSR10 A.6.4.1

Tabla A.6.4-1
Derivas máximas como porcentaje de h_{pi}

Estructuras de:	Deriva máxima
concreto reforzado, metálicas, de madera, y de mampostería que cumplen los requisitos de A.6.4.1.3	$1.0\% \left(\Delta^{i}_{max} \leq 0.010 \ h_{pi}\right)$
de mampostería que cumplen los requisitos de A.6.4.1.4	$0.5\% \left(\Delta^{i}_{max} \leq 0.005 \ h_{pi}\right)$

Para el muro de 2.6m se determina:

$$0.005 * 2.6m = 0.013m$$

Tabla 2. Índice de flexibilidad muro de mampostería

Joint	OutputCase	Deriva		Índice de flexibilidad
12	Sx	0,059071	NO CUMPLE	4,54
12	Sy	0,018337	NO CUMPLE	1,41
47	Sx	0,032703	NO CUMPLE	2,52
47	Sy	0,000033	CUMPLE	0,00
48	Sx	0,059071	NO CUMPLE	4,54
48	Sy	0,000649	CUMPLE	0,05

El muro es afectado en su mayoría por el sismo en dirección X, es decir su plano principal, encontrando índices superiores a la unidad; los índices de mayor valor se ubican en las esquinas de la sección modelada, no obstante, al ser un muro continuo de cerca de 340m se toma como representativo el valor intermedio evidenciando un índice de flexibilidad de 2.52.

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE CONSULTORÍA Y SUPERVISIÓN DE ESTRUCTURAS SAS Y NO DEBE SER COPIADO, REPRODUCIDO Y/O CIRCULADO SIN SU AUTORIZACIÓN

17. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE MURO DE GRAVEDAD

En este numeral, se presentan los resultados de un análisis de estabilidad del muro de gravedad de concreto ciclópeo el cual funciona como estructura de contención para el suelo situado bajo la vía transversal 15ª. Dicho análisis comprende el cálculo de fuerzas estabilizantes, como el peso propio y el peso del suelo, y fuerzas desestabilizantes como el empuje activo del suelo (Ea), la sobrecarga del tránsito sobre la vía (T) y la fuerza sísmica (S). El cálculo de estas magnitudes da lugar a determinar si la estructura es resistente tanto a volcamiento como a deslizamiento.

El análisis de estabilidad se aplicó sobre una sección crítica de la extensión total del muro para verificar el funcionamiento de este en su condición crítica, es decir, la que recibe un mayor empuje del suelo debido a la altura del talud. De esta manera se realizó el análisis desde la longitud 0+160.0m a +255.0m considerando que el punto 0+00m es el que se muestra en la figura 1. Cabe mencionar que desde 118m hasta los 160m se encuentra un talud natural (Figura 2) por lo que existe un muro desde los 0m a116m que recibe cargas más bajas y otro desde 160m hasta aproximadamente 260m (dentro del colegio) que recibe cargas altas.

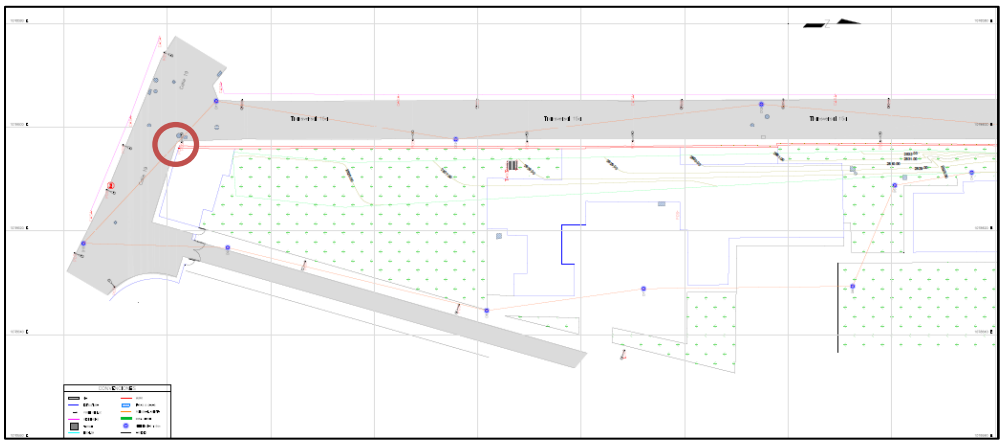


Imagen 3. Vista en planta punto de inicio de medición del muro.



Imagen 4. Sección de talud natural

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE CONSULTORÍA Y SUPERVISIÓN DE ESTRUCTURAS SAS Y NO DEBE SER COPIADO, REPRODUCIDO Y/O CIRCULADO SIN SU AUTORIZACIÓN

Para el análisis del muro se consideró la siguiente configuración geométrica de acuerdo con las dimensiones calculadas en el levantamiento arquitectónico, las excavaciones de suelos y el estudio de patología. Cabe resaltar que dimensiones como el ancho del vástago en la parte superior y la altura del talón fueron determinados siguiendo el predimensionamiento indicado en la Figura .

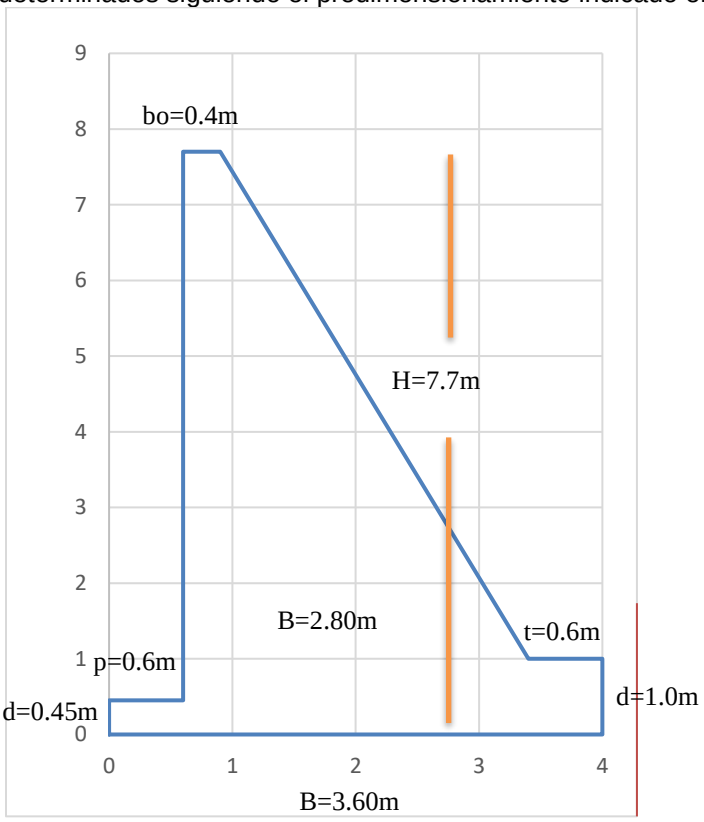


Imagen 5. Sección tipo del muro de gravedad

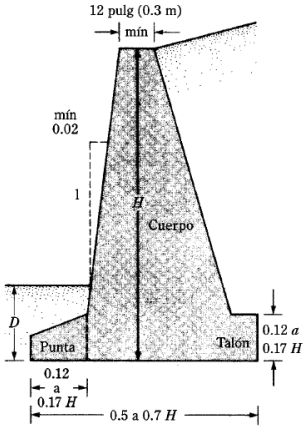


Imagen 6. Predimensionamiento de un muro de contención

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE CONSULTORÍA Y SUPERVISIÓN DE ESTRUCTURAS SAS Y NO DEBE SER COPIADO, REPRODUCIDO Y/O CIRCULADO SIN SU AUTORIZACIÓN

Por otra parte, la distribución de fuerzas se analizó como se muestra a continuación donde T: Sobrecarga del tránsito, S: Sismo y Ea: empuje activo del suelo:

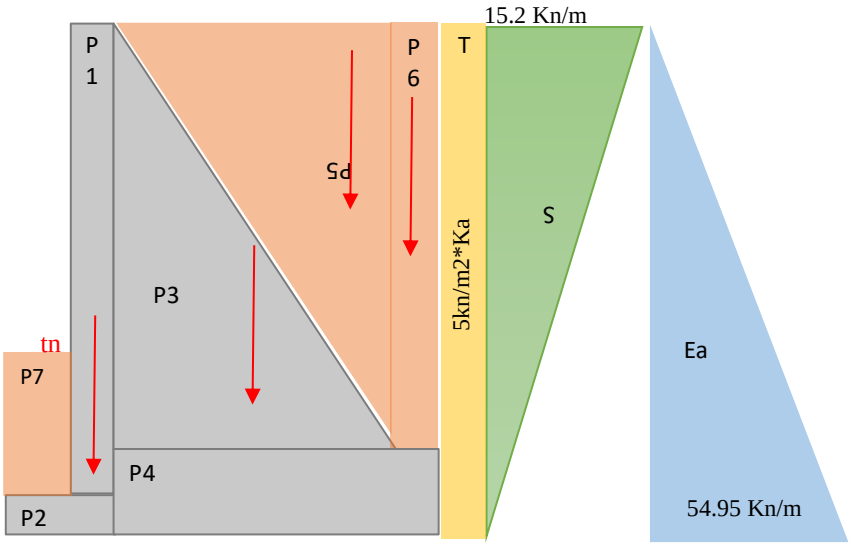


Imagen 7. Distribución de cargas

T	5KN/m2 * Ka	5KN/m2 * 0.347	=1.735 KN/m
Ea	Ka*ɣs*h	0.347*20.57Kn/m3*7.7m	= 54.956 KN/m2
PDS	15 KN/m2		15 KN/m2

A partir de lo anterior se evalúan tres puntos a lo largo de la longitud del muro, esto debido a que en diferentes distancias existe una altura variable en el terreno natural sobre la puntera.

Los factores de seguridad se determinaron así:

FACTOR DE SEGURIDAD	
F.S VOLCAMIENTO	$\frac{\sum M_d \ Fzas \ estabilizadoras}{\sum M_d \ del \ empuje \ de \ tierras}$
F.S DESLIZAMIENTO	$\frac{\mu \sum V}{\sum H}$

Se evalúan los Factores de seguridad para condiciones estáticas (teniendo en cuenta Ea y T) y seudoestáticas (considerando Ea y S) y se comparan con los establecidos por la NSR10 en la Tabla

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE CONSULTORÍA Y SUPERVISIÓN DE ESTRUCTURAS SAS Y NO DEBE SER COPIADO, REPRODUCIDO Y/O CIRCULADO SIN SU AUTORIZACIÓN

Tabla H.6.9-1
Factores de seguridad indirectos mínimos

Condición	Construcción	Estático	Sismo	Seudo estático
Deslizamiento	1.60	1.60	Diseño	1.05
Volcamiento: el que resulte más crítico de				
Momento Resistente/ Momento Actuante	≥ 3.00	≥ 3.00	Diseño	≥ 2.00
Excentricidad en el sentido del momento (e/B)	≤ 1/6	≤ 1/6	Diseño	≤ 1/4
Capacidad portante	Iguales a los de la Tabla H.4.1			
Estabilidad Intrínseca materiales térreos (reforzados o no)	Iguales a los de la Tabla H.2.1			
Estabilidad Intrínseca materiales manufacturados	Según material (Concreto-Titulo C; Madera-Título G; etc.)			
Estabilidad general del sistema:				
Permanente o de Larga duración (> 6 meses)	1.20	1.50	Diseño	1.05
Temporal o de Corta duración (< 6 meses)	1.20	1.30	50% de Diseño	1.00
Laderas adyacentes (Zona de influencia > 2.5H)	1.20	1.50	Diseño	1.05

Cabe mencionar que las Fuerzas estabilizadoras se afectan por los factores de reducción establecidos por el estado de la estructura (A.10.4-1)

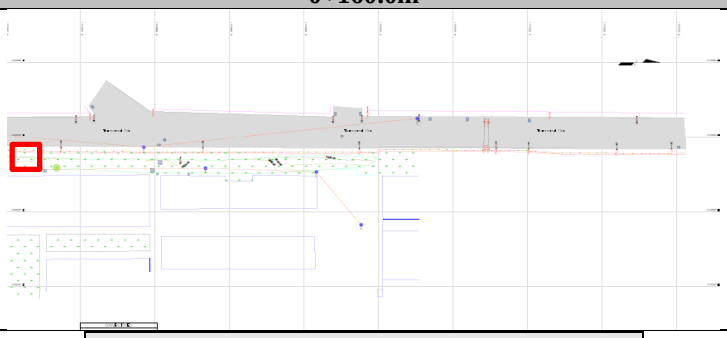
Factores de reducción de resistencia	
fc =	**0.8**
fe =	**0.6**

Por otra parte, se determinaron las presiones ejercidas por la estructura con la siguiente ecuación, cuyo resultado debería ser inferior a la presión admisible del suelo:

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sum V}{B}\left(1 \pm \frac{6e}{B}\right)$$

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE CONSULTORÍA Y SUPERVISIÓN DE ESTRUCTURAS SAS Y NO DEBE SER COPIADO, REPRODUCIDO Y/O CIRCULADO SIN SU AUTORIZACIÓN

0+160.0m



DATOS INICIALES		
Pa	0.2	Mpa
f'c	8.5	Mpa
ɣsuelo	20.57	KN/m3
ɣc	24	KN/m3
φ	29	°
μ	0.5	
Ka	0.347	
cota tn	2828.46	msnm
cota puntera	2827.25	msnm
h tn	1.21	m
ɣtn	21.87	KN/m3
φ tn	25	
Ka tn	0.405858517	
H	7.70	m

Análisis de estabilidad

Fuerza KN			X(m)	y(m)	Mv (KN*m)	Mh (KN*m)
F	V	H				
P1	52.2		0.75		39.15	0.00
P2	9.72		0.45		4.37	0.00
P3	201.00		1.73		348.40	0.00
P4	74.4		2.6		193.44	0.00
P5	172.27		2.57		442.17	0.00
P6	82.69		3.70		305.96	0.00
P7	5.90		0.30		1.77	0.00
Transito.		13.36		3.85	0.00	51.43
Sismo		58.52		5.13	0.00	300.40
Ea		211.584		2.57	0.00	543.07
Ep		0.899		0.15		0.13
Σ	598.19	283.462			1335.26	894.90

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE CONSULTORÍA Y SUPERVISIÓN DE ESTRUCTURAS SAS Y NO DEBE SER COPIADO, REPRODUCIDO Y/O CIRCULADO SIN SU AUTORIZACIÓN

Factores de reducción de resistencia	
fc =	**0.8**
fe =	**0.6**

Factores de seguridad			
Volcamiento	F.S	1.08	NO CUMPLE
Deslizamiento	F.S	0.65	NO CUMPLE

VERIFICACIÓN DE CAPACIDAD ADMISIBLE

Pto app carga	1.22	
excentricidad	0.78	
B/6	0.667	AUMENTAR PIE

Presiones		
σ_1	329.25	NO CUMPLE
σ_2	-25.17	CUMPLE

ÍNDICE DE SOBREESFUERZO		
Volcamiento	2.78	NO CUMPLE
Deslizamiento	2.46	NO CUMPLE
Presión del suelo	1.65	NO CUMPLE

Factores de seguridad seudoestático			
Volcamiento	F.S	0.76	NO CUMPLE
Deslizamiento	F.S	0.54	NO CUMPLE

VERIFICACIÓN DE CAPACIDAD ADMISIBLE

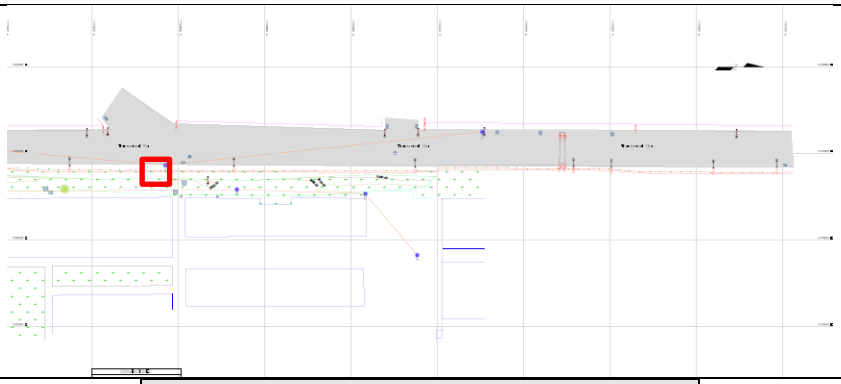
Pto appq	0.81	
e	1.19	
B/6	0.667	AUMENTAR PIE

Presiones		
σ_1	329.25	NO CUMPLE
σ_2	-25.17	CUMPLE

ÍNDICE DE SOBREESFUERZO SEUDOESTÁTICO		
Volcamiento	2.63	NO CUMPLE
Deslizamiento	1.94	NO CUMPLE
Presión del suelo	2.11	NO CUMPLE

160.0+205.0

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE CONSULTORÍA Y SUPERVISIÓN DE ESTRUCTURAS SAS Y NO DEBE SER COPIADO, REPRODUCIDO Y/O CIRCULADO SIN SU AUTORIZACIÓN



DATOS INICIALES		
Pa	0.2	Mpa
f'c	8.5	Mpa
ɣsuelo	20.57	KN/m3
ɣc	24	KN/m3
φ	29	°
μ	0.5	
Ka	0.347	
cota tn	2827.90	msnm
cota puntera	2827.25	msnm
h tn	0.65	m
ɣtn	21.87	KN/m3
φ tn	25	
Ka tn	0.405858517	
H	7.70	m

Análisis de estabilidad

Fuerza KN			X(m)	y(m)	Mv (KN*m)	Mh (KN*m)
F	V	H				
P1	52.2		0.75		39.15	0.00
P2	9.72		0.45		4.37	0.00
P3	201.00		1.73		348.40	0.00
P4	74.4		2.6		193.44	0.00
P5	172.27		2.57		442.17	0.00
P6	82.69		3.70		305.96	0.00
P7	8.53		0.30		2.56	0.00
Transito.		13.36		3.85	0.00	51.43
Sismo		58.52		5.13	0.00	300.40
Ea		211.584		2.57	0.00	543.07
Ep		0.899		0.15		0.13
Σ	600.81	283.462			1336.05	894.90

Factores de seguridad

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE CONSULTORÍA Y SUPERVISIÓN DE ESTRUCTURAS SAS Y NO DEBE SER COPIADO, REPRODUCIDO Y/O CIRCULADO SIN SU AUTORIZACIÓN

Volcamiento	F.S	1.08	NO CUMPLE
Deslizamiento	F.S	0.64	NO CUMPLE

VERIFICACIÓN DE CAPACIDAD ADMISIBLE

Pto appq	1.23	
e	0.77	
B/6	0.667	AUMENTAR PIE

Presiones		
σ_1	322.73	NO CUMPLE
σ_2	-22.32	CUMPLE

ÍNDICE DE SOBREESFUERZO		
Volcamiento	2.78	NO CUMPLE
Deslizamiento	2.49	NO CUMPLE
Presión del suelo	1.61	NO CUMPLE

Factores de seguridad seudoestático			
Volcamiento	F.S	0.76	NO CUMPLE
Deslizamiento	F.S	0.53	NO CUMPLE

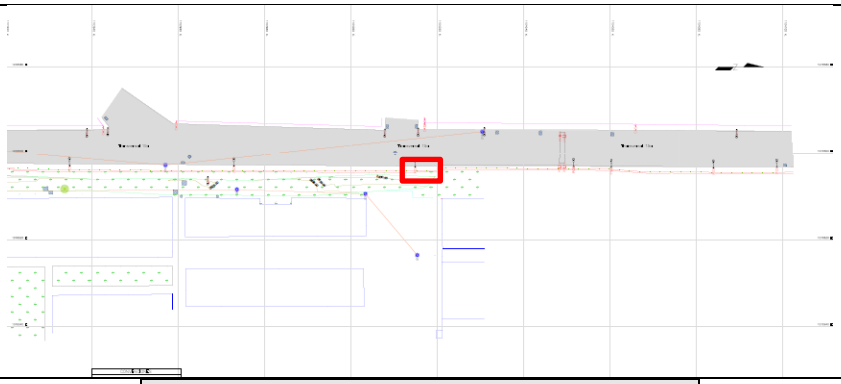
Pto appq	0.82	
e	1.18	
B/6	0.667	AUMENTAR PIE

Presiones		
σ_1	416.10	NO CUMPLE
σ_2	-115.69	CUMPLE

ÍNDICE DE SOBREESFUERZO SEUDOESTÁTICO		
Volcamiento	2.63	NO CUMPLE
Deslizamiento	1.97	NO CUMPLE
Presión del suelo	2.08	NO CUMPLE

250.0+255.0m

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE CONSULTORÍA Y SUPERVISIÓN DE ESTRUCTURAS SAS Y NO DEBE SER COPIADO, REPRODUCIDO Y/O CIRCULADO SIN SU AUTORIZACIÓN



DATOS INICIALES		
Pa	0.2	Mpa
f'c	8.5	Mpa
ɣsuelo	20.57	KN/m3
ɣc	24	KN/m3
φ	29	°
μ	0.5	
Ka	0.347	
cota tn	2831.00	msnm
cota puntera	2827.25	msnm
h tn	3.75	m
ɣtn	21.87	KN/m3
φ tn	25	
Ka tn	0.405858517	
H	7.70	m

Análisis de estabilidad

Fuerza KN			X(m)	y(m)	Mv (KN*m)	Mh (KN*m)
F	V	H				
P1	52.2		0.75		39.15	0.00
P2	9.72		0.45		4.37	0.00
P3	201.00		1.73		348.40	0.00
P4	74.4		2.6		193.44	0.00
P5	172.27		2.57		442.17	0.00
P6	82.69		3.70		305.96	0.00
P7	49.21		0.30		14.76	0.00
Transito.		13.36		3.85	0.00	51.43
Sismo		58.52		5.13	0.00	300.40
Ea		211.584		2.57	0.00	543.07
Ep		0.899		0.15		0.13
Σ	641.49	283.462			1348.25	894.90

Factores de seguridad

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE CONSULTORÍA Y SUPERVISIÓN DE ESTRUCTURAS SAS Y NO DEBE SER COPIADO, REPRODUCIDO Y/O CIRCULADO SIN SU AUTORIZACIÓN

Volcamiento	F.S	1.09	NO CUMPLE
Deslizamiento	F.S	0.69	NO CUMPLE

Pto appq	1.18	
e	0.82	
B/6	0.667	AUMENTAR PIE

Presiones		
σ_1	358.83	NO CUMPLE
σ_2	-38.09	CUMPLE

ÍNDICE DE SOBREESFUERZO		
Volcamiento	2.76	NO CUMPLE
Deslizamiento	2.33	NO CUMPLE
Presión del suelo	1.79	NO CUMPLE

Factores de seguridad seudoestático			
Volcamiento	F.S	0.77	NO CUMPLE
Deslizamiento	F.S	0.57	NO CUMPLE

Pto appq	0.79	
e	1.21	
B/6	0.100	AUMENTAR PIE

Presiones		
σ_1	452.20	NO CUMPLE
σ_2	-131.45	CUMPLE

ÍNDICE DE SOBREESFUERZO SEUDOESTÁTICO		
Volcamiento	2.61	NO CUMPLE
Deslizamiento	1.84	NO CUMPLE
Presión del suelo	2.26	NO CUMPLE

En resumen, se obtuvieron los siguientes resultados respecto a los factores de seguridad de deslizamiento y volcamiento; el índice de sobreesfuerzo se obtuvo a partir del cociente entre el factor de seguridad normativo y el obtenido con las fuerzas actuantes y resistentes.

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE CONSULTORÍA Y SUPERVISIÓN DE ESTRUCTURAS SAS Y NO DEBE SER COPIADO, REPRODUCIDO Y/O CIRCULADO SIN SU AUTORIZACIÓN

MURO	CONDICIÓN		F.S	F.S NSR10		INDICE DE SOBREESFUERZO	
0+160	Estática	Volcamiento	1.08	3.00	NO CUMPLE	2.78	NO CUMPLE
		Deslizamiento	0.65	1.60	NO CUMPLE	2.46	NO CUMPLE
	Seudoestática	Volcamiento	0.76	2.00	NO CUMPLE	2.63	NO CUMPLE
		Deslizamiento	0.54	1.05	NO CUMPLE	1.94	NO CUMPLE
160+205	Estática	Volcamiento	1.08	3.00	NO CUMPLE	2.78	NO CUMPLE
		Deslizamiento	0.64	1.60	NO CUMPLE	2.49	NO CUMPLE
	Seudoestática	Volcamiento	0.76	2.00	NO CUMPLE	2.63	NO CUMPLE
		Deslizamiento	0.53	1.05	NO CUMPLE	1.97	NO CUMPLE
205+255	Estática	Volcamiento	1.09	3.00	NO CUMPLE	2.76	NO CUMPLE
		Deslizamiento	0.69	1.60	NO CUMPLE	2.33	NO CUMPLE
	Seudoestática	Volcamiento	0.77	2.00	NO CUMPLE	2.61	NO CUMPLE
		Deslizamiento	0.57	1.05	NO CUMPLE	1.84	NO CUMPLE

En términos de presión de suelo se determinaron los siguientes valores de sobreesfuerzo a partir del cociente entre la presión ejercida por la estructura y la presión admisible del suelo.

SECCIÓN	σ EJERCIDO (Mpa)	σ EXISTENTE (Mpa)	INDICE DE SOBREESFUERZO	
0+160 m	329.25	200.00	1.65	NO CUMPLE
160+205 m	322.73		1.61	NO CUMPLE
205+255 m	358.83		1.79	NO CUMPLE

18. ÍNDICE DE FLEXIBILIDAD MURO DE CONTENCIÓN

Se determina el índice de flexibilidad del muro de contención a partir del análisis de las presiones en el vástago (Empuje de tierras Ea y Presión dinámica de sismo) evaluando la deflexión en un punto superior e inferior de los bordes de este.

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE CONSULTORÍA Y SUPERVISIÓN DE ESTRUCTURAS SAS Y NO DEBE SER COPIADO, REPRODUCIDO Y/O CIRCULADO SIN SU AUTORIZACIÓN

TABLE: Joint Displacements

Joint	OutputCase	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians
1	PDSx	-0,000002637	-0,000064	0,000055	0	0	0
1	1.0D+1.0H+0.7PDSx	0,000015	-0,000091	-0,000099	0	0	0
1	0.6D+1.0H+0.7PDSx	0,000006949	-0,000113	-0,000008358	0	0	0
6	PDSx	-0,000035	-7,345E-08	-0,000144	1,631E-07	-0,000079	0
6	1.0D+1.0H+0.7PDSx	-0,000117	1,858E-07	-0,001126	-4,137E-07	-0,00026	0
6	0.6D+1.0H+0.7PDSx	-0,000112	2,457E-07	-0,000856	-5,468E-07	-0,00025	0
2	PDSx	-0,000007942	0,000066	-0,000081	0	0	0
2	1.0D+1.0H+0.7PDSx	0,000005582	0,000233	-0,000519	0	0	0
2	0.6D+1.0H+0.7PDSx	-0,000003501	0,000204	-0,000401	0	0	0
3	PDSx	-0,000079	-3,256E-07	0,000073	0	0	0
3	1.0D+1.0H+0.7PDSx	-0,000265	-0,000004097	-0,000427	0	0	0
3	0.6D+1.0H+0.7PDSx	-0,000254	-0,000004043	-0,000186	0	0	0
492	PDSx	-0,000035	7,345E-08	-0,000144	-1,631E-07	-0,000079	0
492	1.0D+1.0H+0.7PDSx	-0,000117	-2,055E-07	-0,001126	4,575E-07	-0,000261	0
492	0.6D+1.0H+0.7PDSx	-0,000113	-2,654E-07	-0,000857	5,906E-07	-0,00025	0
1270	PDSx	-0,000002637	0,000064	0,000055	0	0	0
1270	1.0D+1.0H+0.7PDSx	0,000015	0,000091	-0,000099	0	0	0
1270	0.6D+1.0H+0.7PDSx	0,00000694	0,000113	-0,00000815	0	0	0
2812	PDSx	-0,000007942	-0,000066	-0,000081	0	0	0
2812	1.0D+1.0H+0.7PDSx	0,000005558	-0,000234	-0,000519	0	0	0
2812	0.6D+1.0H+0.7PDSx	-0,000003525	-0,000204	-0,000401	0	0	0
570	PDSx	-0,000079	3,256E-07	0,000073	0	0	0
570	1.0D+1.0H+0.7PDSx	-0,000266	0,000004251	-0,000426	0	0	0
570	0.6D+1.0H+0.7PDSx	-0,000255	0,000004197	-0,000185	0	0	0

Evaluando la flexibilidad como una deriva se determina el siguiente límite admitido

$$h\,muro\ = 7.7$$

$$D\,max = 7.7 * 0.01 = 0.007m$$

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE CONSULTORÍA Y SUPERVISIÓN DE ESTRUCTURAS SAS Y NO DEBE SER COPIADO, REPRODUCIDO Y/O CIRCULADO SIN SU AUTORIZACIÓN

Joint	OutputCase	Deriva		Índice de flexibilidad
6	PDSx	3,24E-05	CUMPLE	0,0004
6	1.0D+1.0H+0.7PDSx	1,32E-04	CUMPLE	0,0017
6	0.6D+1.0H+0.7PDSx	1,19E-04	CUMPLE	0,0015
3	PDSx	7,11E-05	CUMPLE	0,0009
3	1.0D+1.0H+0.7PDSx	2,71E-04	CUMPLE	0,0035
3	0.6D+1.0H+0.7PDSx	2,50E-04	CUMPLE	0,0033
1270	PDSx	3,24E-05	CUMPLE	0,0004
1270	1.0D+1.0H+0.7PDSx	1,32E-04	CUMPLE	0,0017
1270	0.6D+1.0H+0.7PDSx	1,20E-04	CUMPLE	0,0016
570	PDSx	7,11E-05	CUMPLE	0,0009
570	1.0D+1.0H+0.7PDSx	2,72E-04	CUMPLE	0,0035
570	0.6D+1.0H+0.7PDSx	2,51E-04	CUMPLE	0,0033

El índice de flexibilidad calculado es inferior a la unidad por lo que el muro no es susceptible a deflectarse por efectos del empuje de tierras o la presión de sismo.

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE CONSULTORÍA Y SUPERVISIÓN DE ESTRUCTURAS SAS Y NO DEBE SER COPIADO, REPRODUCIDO Y/O CIRCULADO SIN SU AUTORIZACIÓN

19. CONCLUSIONES

- La presión ejercida por el muro de contención supera la capacidad portante determinada para el suelo por lo que podrían existir riesgos de asentamiento.

- Dada la antigüedad de la estructura del muro contención pudieron no haberse tenido en cuenta los parámetros mínimos de diseño y proceso constructivo establecidos en la normativa, razón por la cual el muro es más inestable en la distribución de cargas propias, del terreno o de sismo y tránsito como las consideradas en el análisis.

- Teniendo en cuenta que el índice de sobreesfuerzo del muro de mampostería es superior a la unidad, indica que se excede más del 100% la capacidad de demanda de este cuando debe resistir una carga de viento.

- La sección reforzada recientemente del muro de mampostería comprende anchos de aproximadamente 5.0m y 6.0m por lo que exceden la separación máxima establecida (4m) de acuerdo a la normativa NSR 10. (D.10.5.3)

- La ausencia de un anclaje adecuado del muro de mampostería incrementa el riesgo de derrumbe cuando este debe soportar grandes cargas de viento o efectos de sismo.

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE CONSULTORÍA Y SUPERVISIÓN DE ESTRUCTURAS SAS Y NO DEBE SER COPIADO, REPRODUCIDO Y/O CIRCULADO SIN SU AUTORIZACIÓN