

Bogotá, 19 de diciembre del 2023

Señores
CONSORCIO VÍAS Y EQUIPOS TOLIMA SUR 2023
Ing. Jhon Jairo Morales Guzmán.
Director de Obra.
Calle 36 No. 18 – 23 Oficina 201

INGENIERIA DE VIAS S.A.S
Fecha y hora: Martes 19 Diciembre 2023 10:54:31
Dirigido a: Jhon Jairo Morales Guzmán

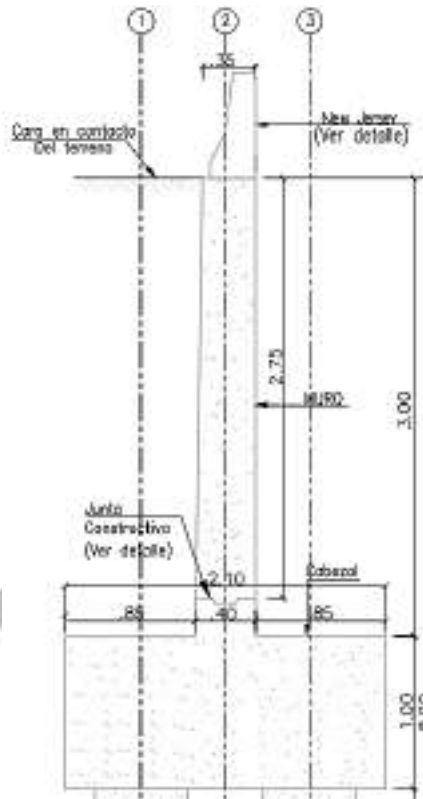
Enviado por: Javier Leandro Castellanos Benítez
Procesado por: Javier Leandro Castellanos Benítez
Asunto: Diseño Estructural Muro K21+900. Proyecto Ataco – Planadas.
IYD001907

Referencia: CONTRATO DE OBRA PÚBLICA NO. 290 DE 2021. “MEJORAMIENTO DE LA VÍA ATACO – PLANADAS EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA”.

Asunto: Diseño Estructural Muro K21+900. Proyecto Ataco – Planadas.

El presente oficio corresponde al diseño estructural de las obras de confinamiento proyectadas aproximadamente en el K21+900 del contrato de obra pública No. 290 de 2021 “Mejoramiento de la Vía Ataco – Planadas en el Departamento del Tolima”. Se diseñan dos muros de 4.0m de altura apoyados sobre pilas a 4.0m y 8.0m de profundidad. El diseño se realiza siguiendo los lineamientos fijados en la Norma Colombiana de Diseño de Puentes LRFD – CCP – 14. En la Figura 1 se presenta el dimensionamiento de las estructura propuestas.

Figura 1. Obras de Confinamiento K21+900.



1. Parámetros de Diseño

En la Tabla 1 se presentan los parámetros de diseño sísmico del sitio. La estructura deberá diseñarse para una zona de desempeño sísmico 3.

Tabla 1. Parámetros Sísmicos.

PGA [g]	0.25	Región 5
Ss [g]	0.5	Región 5
S1 [g]	0.25	Región 5
Suelo	Tipo C	
Fpga	1.15	
Fa	1.2	
Fv	1.55	
As [g]	0.287	
kh [g]	0.23	

El material de lleno no podrá tener un peso unitario que exceda los 20 kN/m³ y, su ángulo de fricción deberá ser de al menos 30°. A continuación, se presentan los parámetros geotécnicos que definen los empujes producidos por el material de lleno, a los que estará sometida la estructura:

- ϕ : 30° Ángulo de fricción interna del suelo
- k_0 : 0.5 Coeficiente de empuje en reposo
- k_a : 0.30 Coeficiente de empuje activo
- γ_s : 20 kN/m³ Peso específico del suelo
- k_{ae} : 0.49 Coeficiente de empuje sísmico

Deberán emplearse concretos Clase A cuya relación agua/cemento será máximo de 0.45, su resistencia mínima a la compresión a los 28 días deberá ser de 28 MPa y, con tamaño máximo de agregado grueso de 25 mm. A continuación, se detallan las demás especificaciones que deberán cumplir los materiales que compondrán la estructura:

- f'_c : 28 MPa Resistencia a la compresión del concreto
- f_y : 420 MPa Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo
- γ_c : 24 kN/m³ Peso específico del concreto reforzado
- E_c : 25 GPa Módulo de elasticidad del concreto
- E_s : 200 GPa Módulo de elasticidad del acero

La condición de apoyos ha sido modelada a partir del módulo de reacción del suelo (ver Tabla 2). Estos han sido definidos por el especialista en geotecnia del consorcio para pilotes de 0.6m de diámetro.

Tabla 2. Módulo de Reacción Para Pilotes.

Profundidad del Pilote [m]		Módulo de Reacción [kN/m³]	
INICIO	FIN	Pilas a 4.0m	Pilas a 8.0m
0.0	1.0	5000	5000
1.0	2.0	10000	10000
2.0	3.0	45000	15000
3.0	4.0	60000	80000
4.0	5.0	75000	100000
5.0	6.0	120000	120000
6.0	7.0	140000	140000
7.0	8.0	160000	160000
8.0	9.0	180000	180000
9.0	10.0	200000	150000
10.0	11.0	220000	165000
11.0	12.0	240000	180000
12.0	13.0	260000	195000
13.0	14.0	280000	210000
14.0	15.0	300000	300000

2. Cargas y Combinaciones de Carga

La estructura estará sometida a la acción de los empujes horizontales y verticales producidos por el suelo (EH y EV), la sobrecarga por sismo (EQ), la sobrecarga vehicular (LS), el peso propio de los elementos (DC) y, la carga de colisión vehicular (CT).

Se evaluarán las combinaciones de carga derivadas de los estados límite Resistencia I, Servicio I, Evento Extremo I y Evento Extremo II. En la Tabla 3, se presentan las combinaciones de carga evaluadas en el diseño.

De acuerdo con el diseño geotécnico de los sitios, se considera que la superficie de falla se extiende 0.6m bajo el nivel de la zarpa del muro apoyado sobre pilas a 4.0m y 1.8m bajo el nivel de la zarpa del muro apoyado sobre pilas a 8.0m.

Tabla 3. Combinaciones de Carga.

Combo	Factor de Mayoración de Carga					
	DC	EH	EV	LS	EQ	CT
Res. I. 01	1.25	1.5	1.3	1.75	0	0
Res. I. 02	1	1.5	1	1.75	0	0
Ser. I. 01	1	1	1	1.3	0	0
E. Ext. I. 01	1.25	1	1	0.5	1	0
E. Ext. I. 02	0.9	1	0.9	0.5	1	0
E. Ext. II. 01	1.25	1	1	1	0	1

El peso propio de los elementos (DC) se calcula a partir de peso específico y la dimensión nominal de los elementos.

La sobrecarga viva vehicular (LS) se define como una altura de suelo equivalente que ejerce una presión uniforme sobre la cara de la estructura, tal como se define en el artículo 3.11.6.4 del CCP - 14. Para los análisis aquí realizados se adopta una altura de suelo equivalente igual a 1.0 m (ver Tabla 4).

Tabla 4. Alturas Equivalentes de Suelo para Carga Vehicular.

Altura del Muro de Contención (mm)	h_{eq} (m)	
	Distancia desde el respaldo del muro al borde del tráfico	
	0.0 mm	300 mm o más
1500	1500	600
3000	1000	600
≥ 6000	600	600

Fuente: Tabla 3.11.6.3-2 del CCP-14

Se considera una condición de empujes horizontales definida por el coeficiente de presión activa del suelo de relleno. El cálculo del empuje debido al sismo se realiza siguiendo el procedimiento recomendado por el CCP-14 y aplicando la teoría de Mononobe - Okabe. A continuación, se presenta el cálculo de la carga derivada del evento sísmico.

- Muro Sobre Pilotes a 4.0m:

$$P_{AE} = 0.5\gamma h^2 k_{ae} = 97.96 \text{ kN/m}$$

$$P_{IR} = k_h(W_w + W_s) = 30.85 \text{ kN/m}$$

$$EQ = 50\% P_{AE} + 100\% P_{IR} = 79.83 \text{ kN/m}$$

$$EQ = 50\% P_{IR} + 100\% P_{AE} = 113.38 \text{ kN/m}$$

$$\Delta EQ = EQ - EH = 53.23 \text{ kN/m}$$

- Muro Sobre Pilotes a 8.0m:

$$P_{AE} = 0.5\gamma h^2 k_{ae} = 155.89 \text{ kN/m}$$

$$P_{IR} = k_h(W_w + W_s) = 32.09 \text{ kN/m}$$

$$EQ = 50\% P_{AE} + 100\% P_{IR} = 110.04 \text{ kN/m}$$

$$EQ = 50\% P_{IR} + 100\% P_{AE} = 171.94 \text{ kN/m}$$

$$\Delta EQ = EQ - EH = 76.24 \text{ kN/m}$$

Considerando que el tramo superior del vástago servirá de barrera vehicular, las limitaciones de tránsito y, que la velocidad de diseño de la vía en la zona de estudio no supera los 50 km/h, sobre la cota superior del vástago se asigna una carga de colisión vehicular (CT) correspondiente a un nivel de ensayo TL-2.

Tabla 5. Fuerza de Diseño Según Nivel de Ensayo.

Fuerzas de diseño y simbología	Niveles de Ensayo para las Barandas					
	TL-1	TL-2	TL-3	TL-4	TL-5	TL-6
Transversal F_t (N)	60.000	120.000	240.000	240.000	550.000	780.000
Longitudinal F_L (N)	20.000	40.000	80.000	80.000	183.000	260.000
Vertical descendente F_v (N)	20.000	20.000	20.000	80.000	355.000	355.000
L_c y L_d (mm)	1220	1220	1220	1070	2440	2440
L_v (mm)	5500	5500	5500	5500	12.200	12.200
H_s (mín.) (mm)	460	510	610	810	1070	1420
Mínima altura del riel H (mm)	685	685	685	810	1070	2290

Fuente: Tabla A13.2-1 del CCP-14

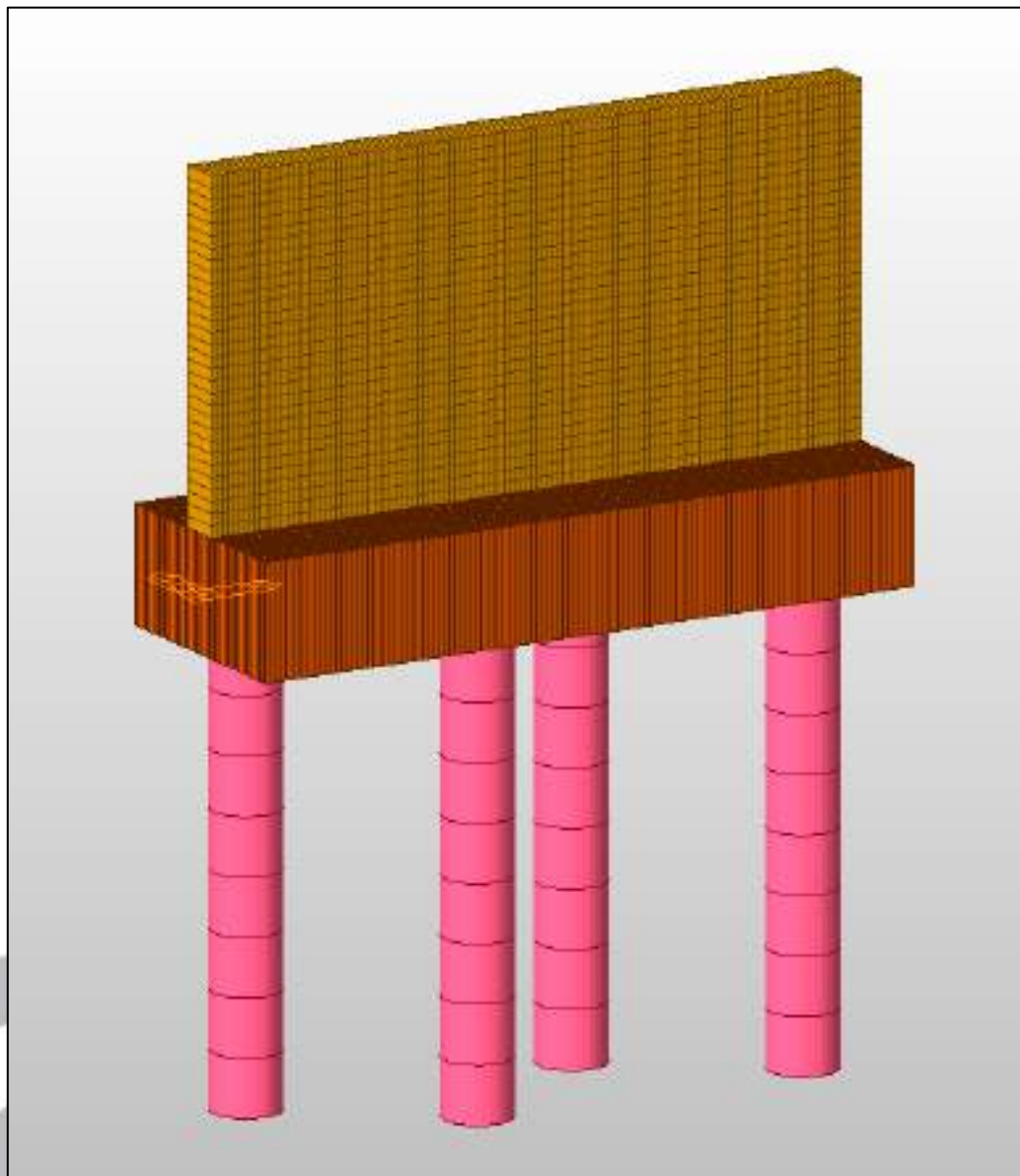
3. Análisis Estructural

3.1. Muro H=4.0m Pilas D=0.6m L=4.0m

La estructura es modelada mediante un software de análisis y diseño estructural. Allí se ha generado un modelo en elementos finitos donde el vástago y la zarpa se asignan como un elemento tipo Plate y, las pilas como elemento tipo Beam. En la Figura 2 se presenta un isométrico del modelo de análisis generado.

La condición de apoyo es definida por el módulo de balasto del suelo, y se asigna directamente sobre los nudos de las pilas, discretizándolas cada 50 cm.

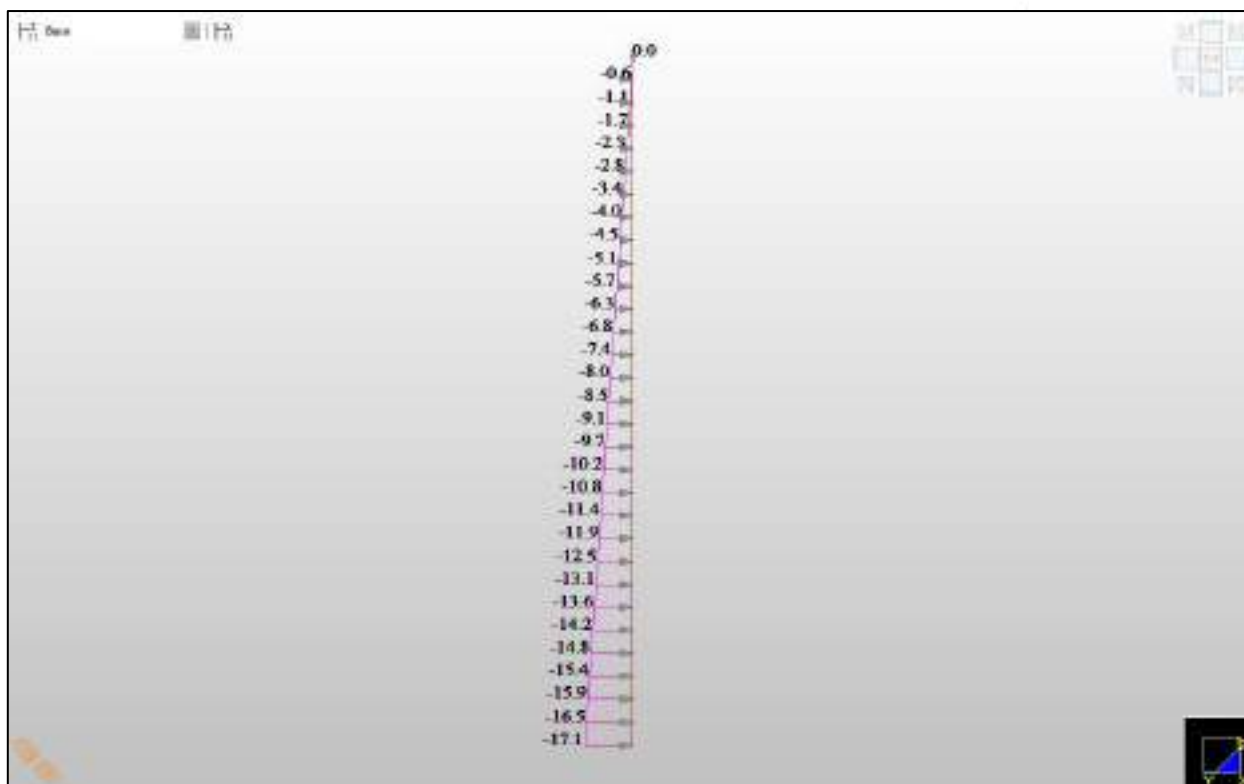
Figura 2. Modelo de Análisis Muro H=4.0m Pilas D=0.6m L=4.0m.



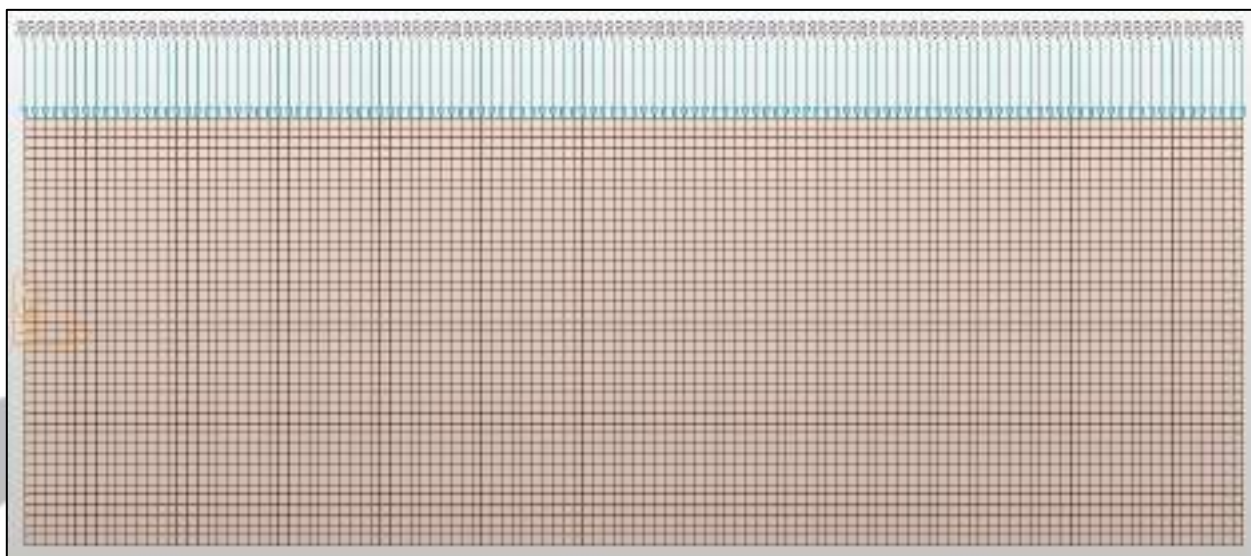
A continuación, en la Figura 3 se presentan las cargas asignadas al modelo de análisis.

Figura 3. Asignación de Cargas Muro $H=4.0m$ Pilas $D=0.6m$ $L=4.0m$

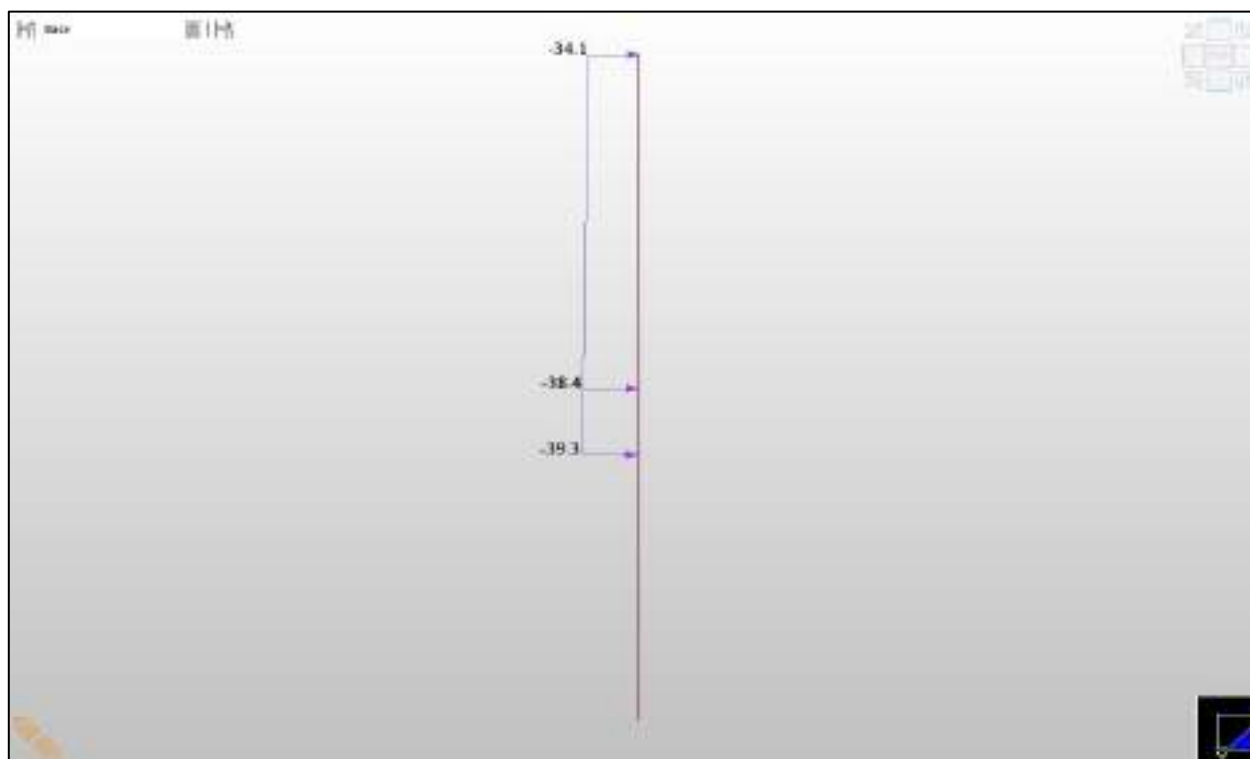
Presión Horizontal Del Suelo EH Ejercida Sobre El Vástago - kPa



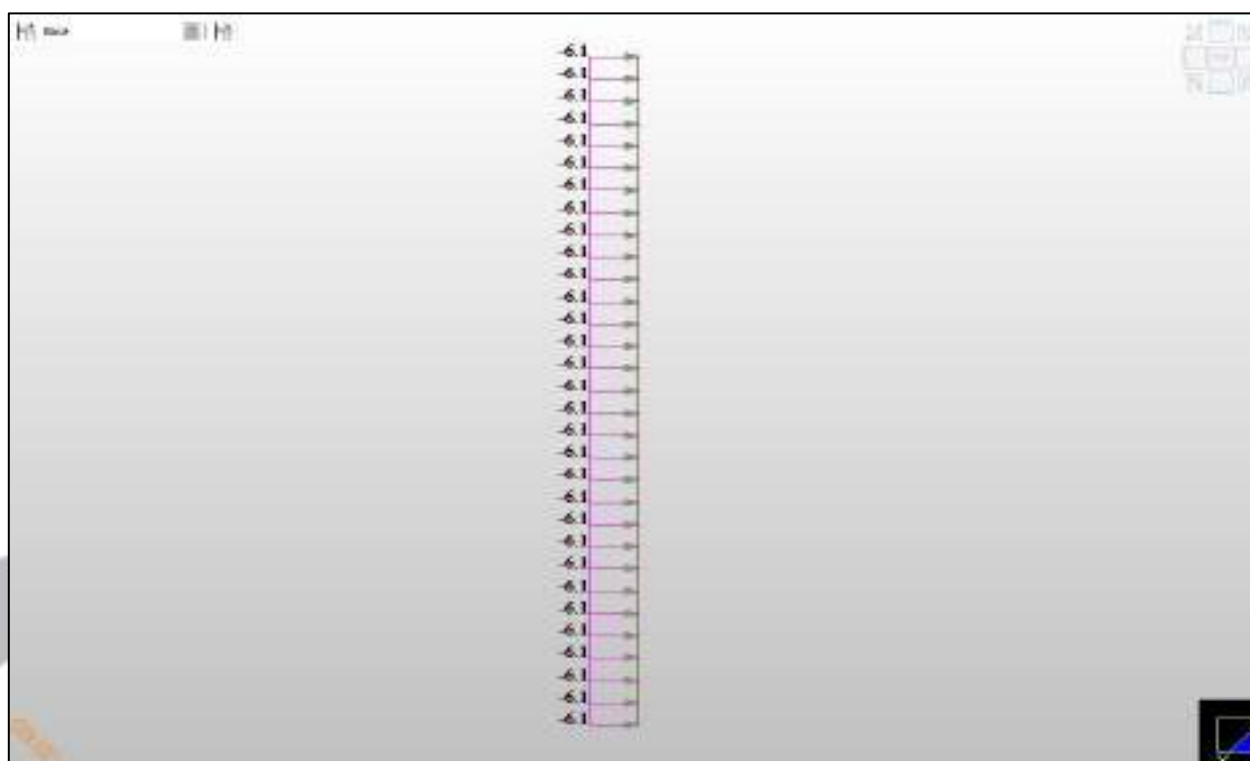
Presión Horizontal Del Suelo EH Ejercida Sobre La Zarpa – kN

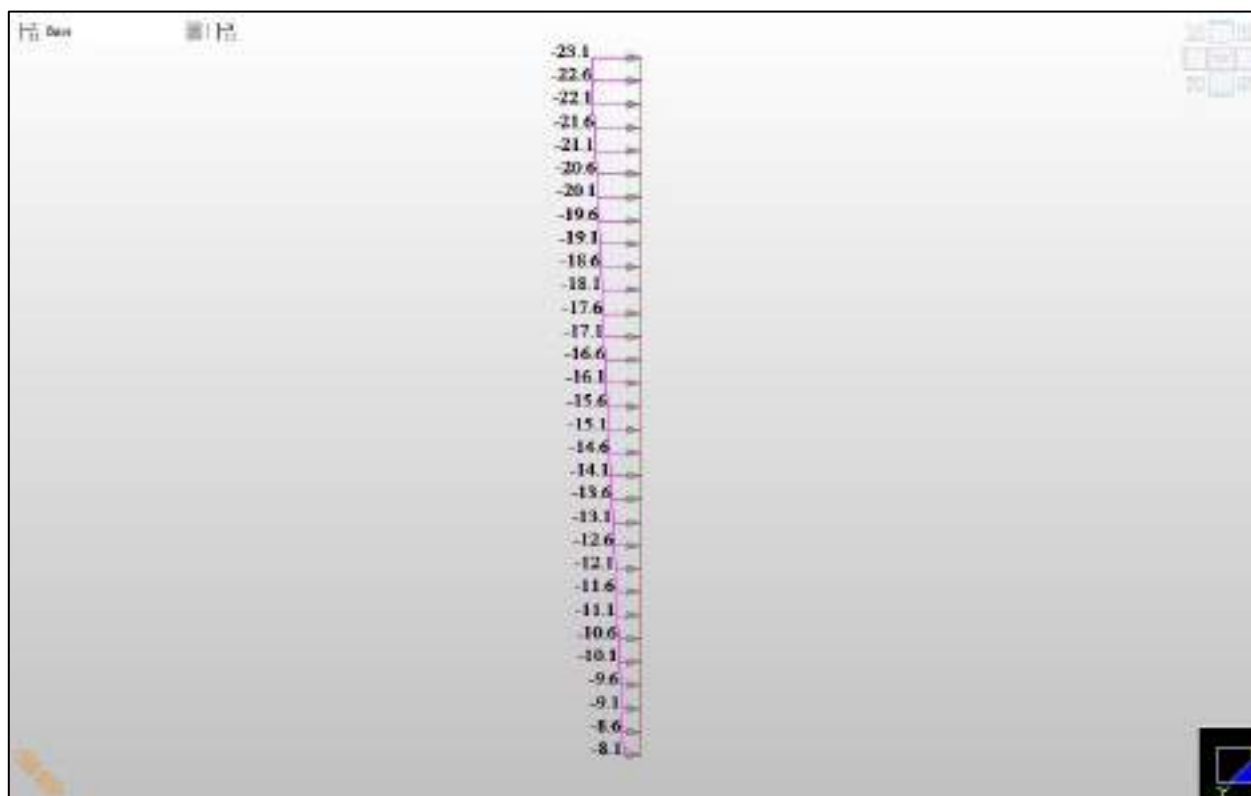
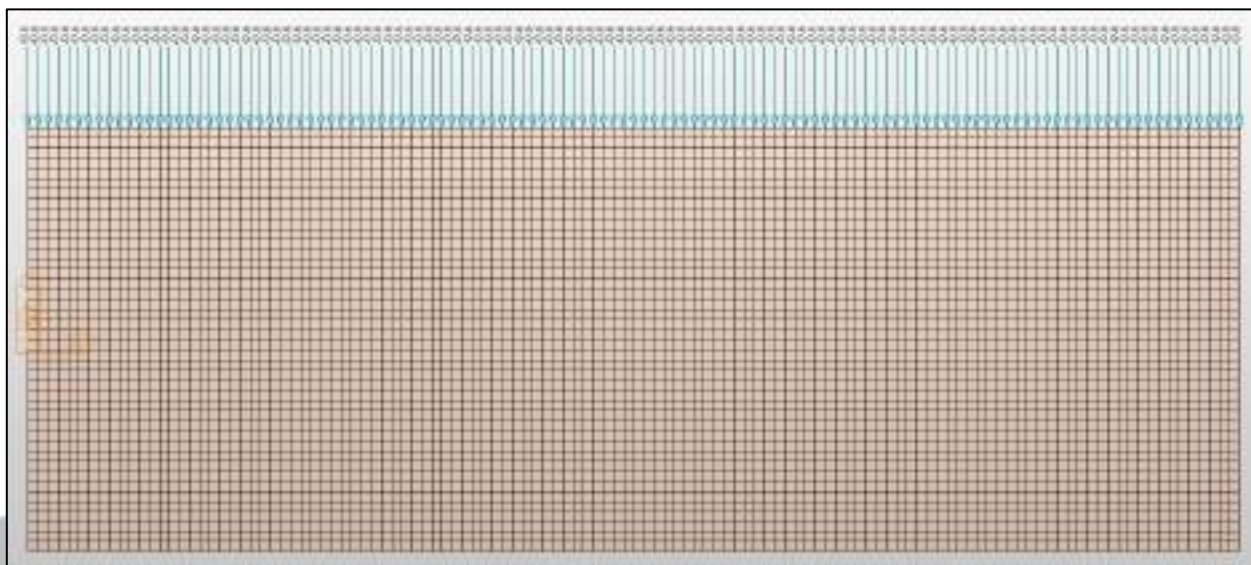


Presión Horizontal Del Suelo EH Ejercida Sobre Las Pilas – kN/m

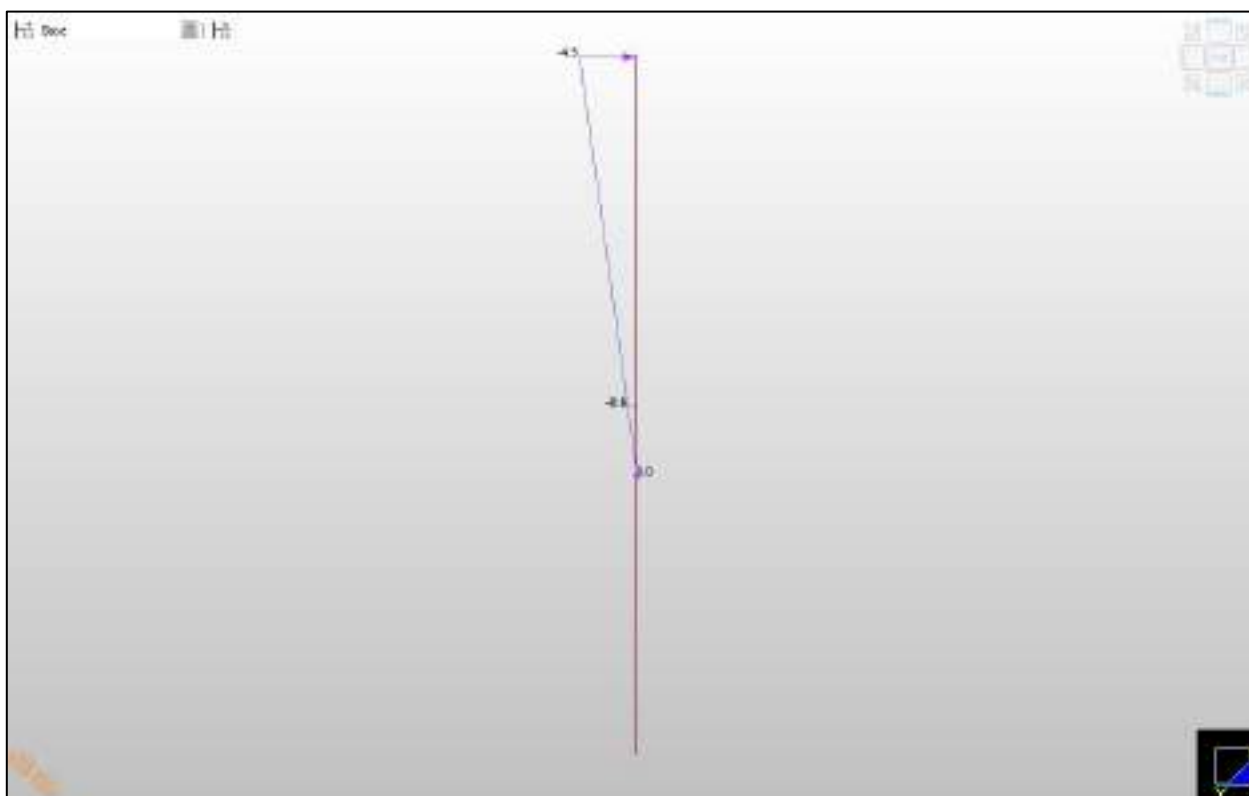


Sobre Carga Vehicular LS Ejercida Sobre el Vástago - kPa

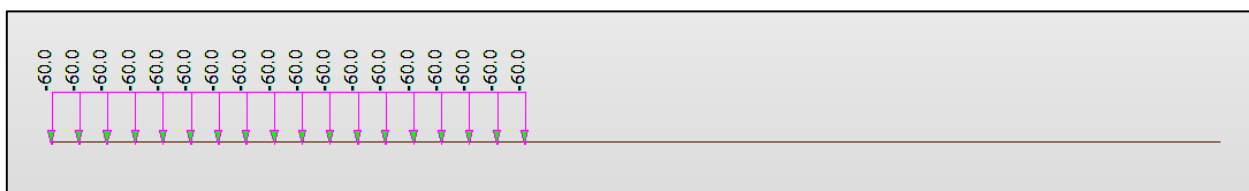


Sobre Carga Por Sismo ΔEQ Ejercida Sobre el Vástago - kPaSobre Carga Por Sismo ΔEQ Ejercida Sobre La Zarpa - kN

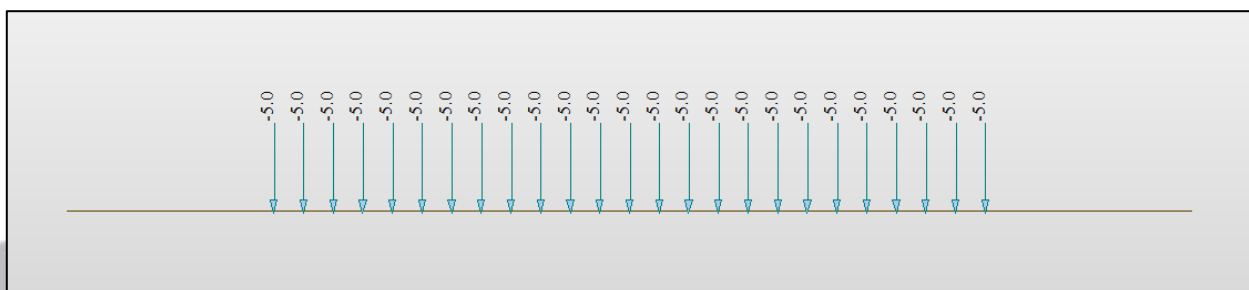
Sobre Carga Por Sismo ΔEQ Ejercida Sobre Las Pilas – kN/m



Presión Vertical Del Suelo EV Ejercida Sobre la Zarpa – kPa



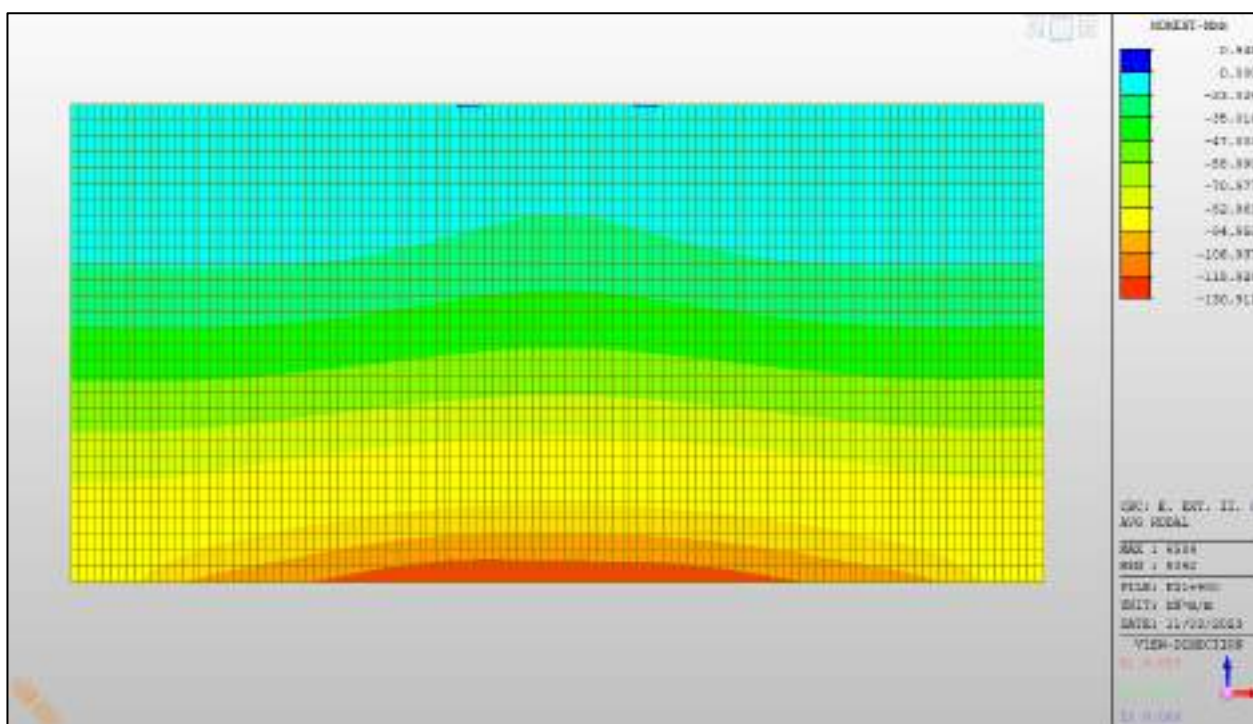
Carga de Colisión Vehicular CT Ejercida Sobre el Vástago – kN



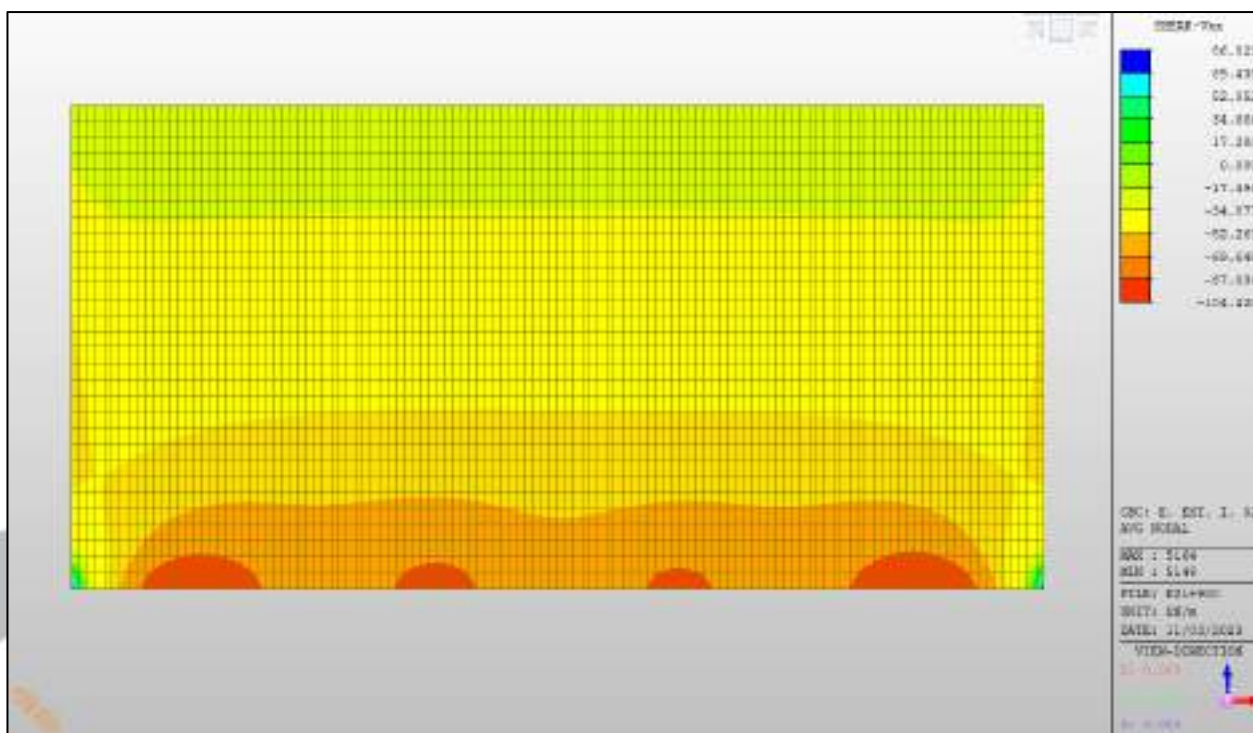
A continuación, en la Figura 4 se presentan las solicitaciones de carga que rigen el diseño de cada uno de los elementos.

Figura 4. Solicitaciones de Diseño Muro $H=4.0m$ Pilas $D=0.6m$ $L=4.0m$.

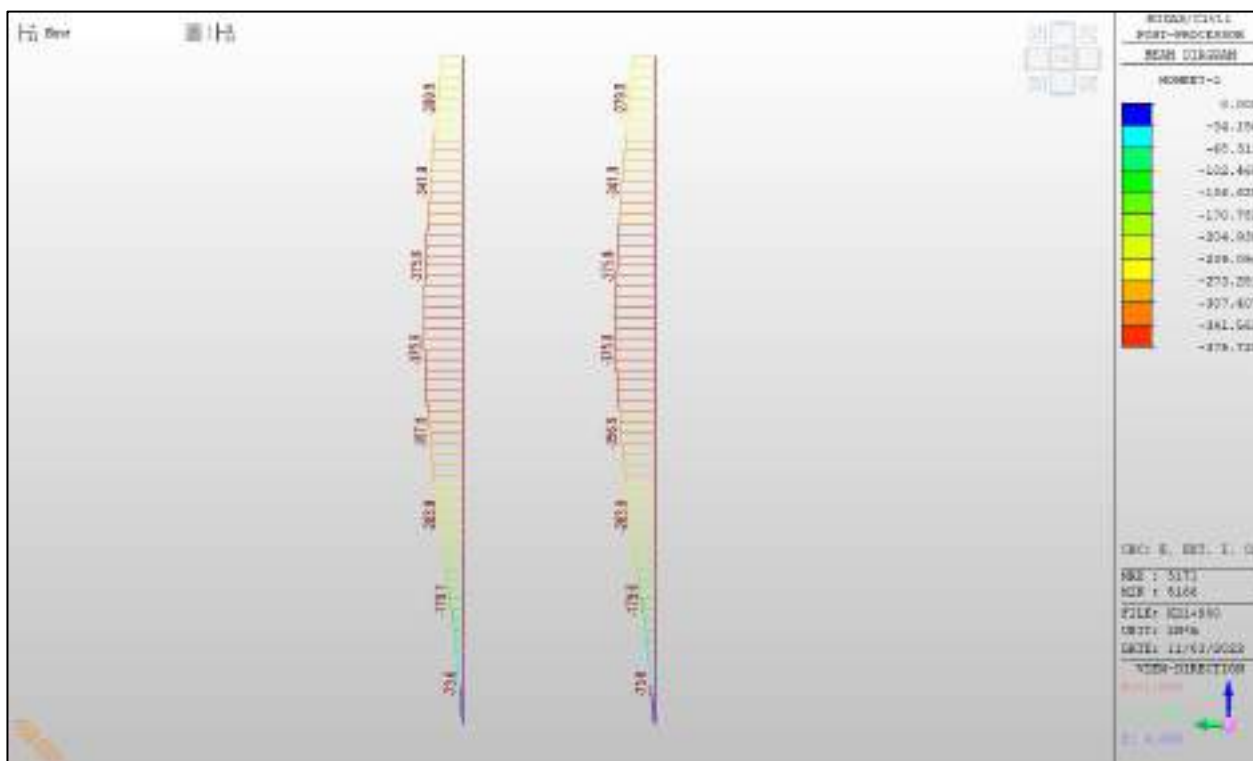
Momento Último en Vástago – E. Ext. II. – kN-m



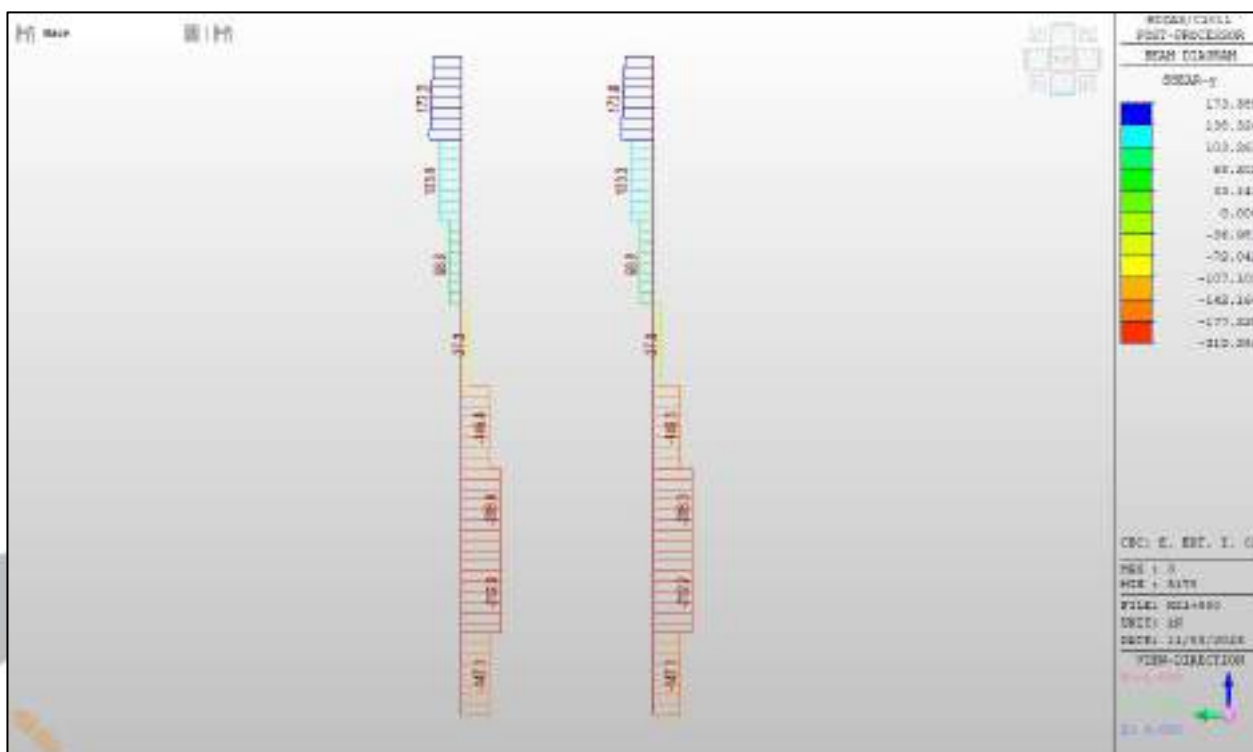
Cortante Última en Vástago – E. Ext. I. – kN



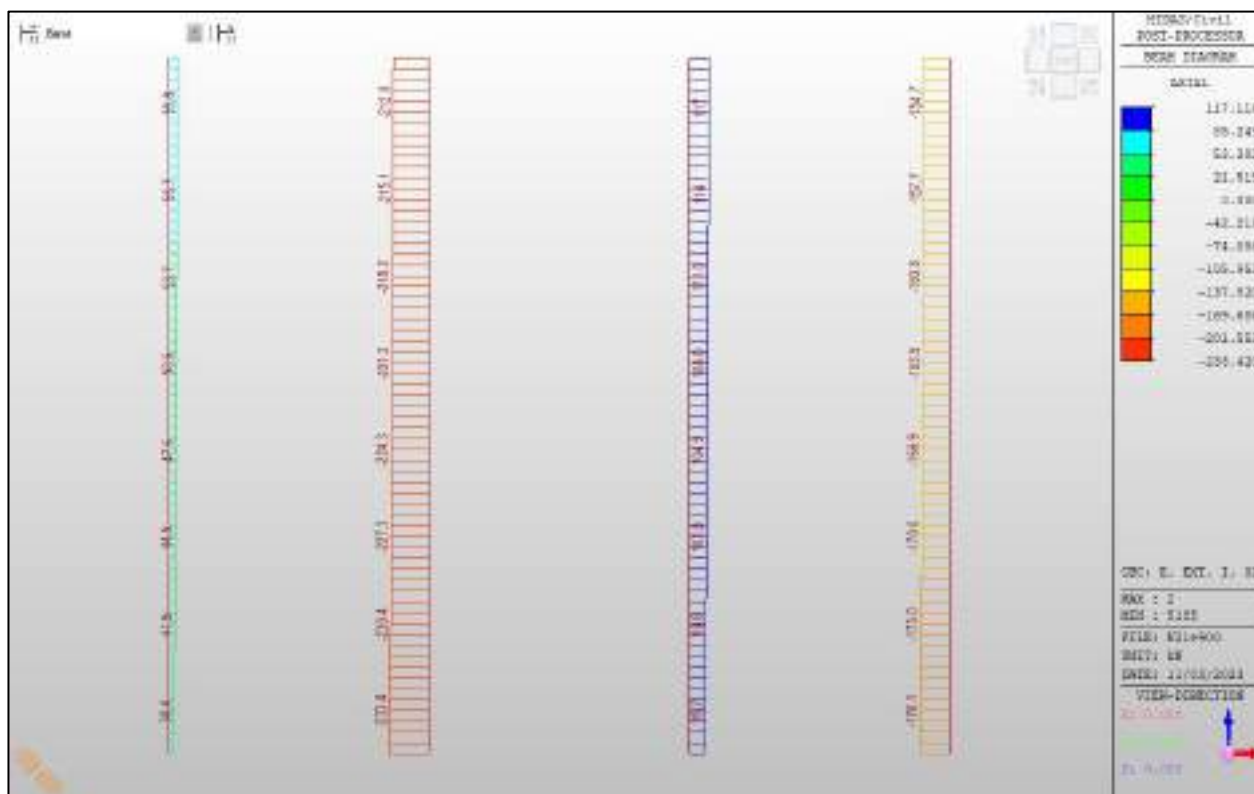
Momento Último en Pilas – E. Ext. I. – kN-m



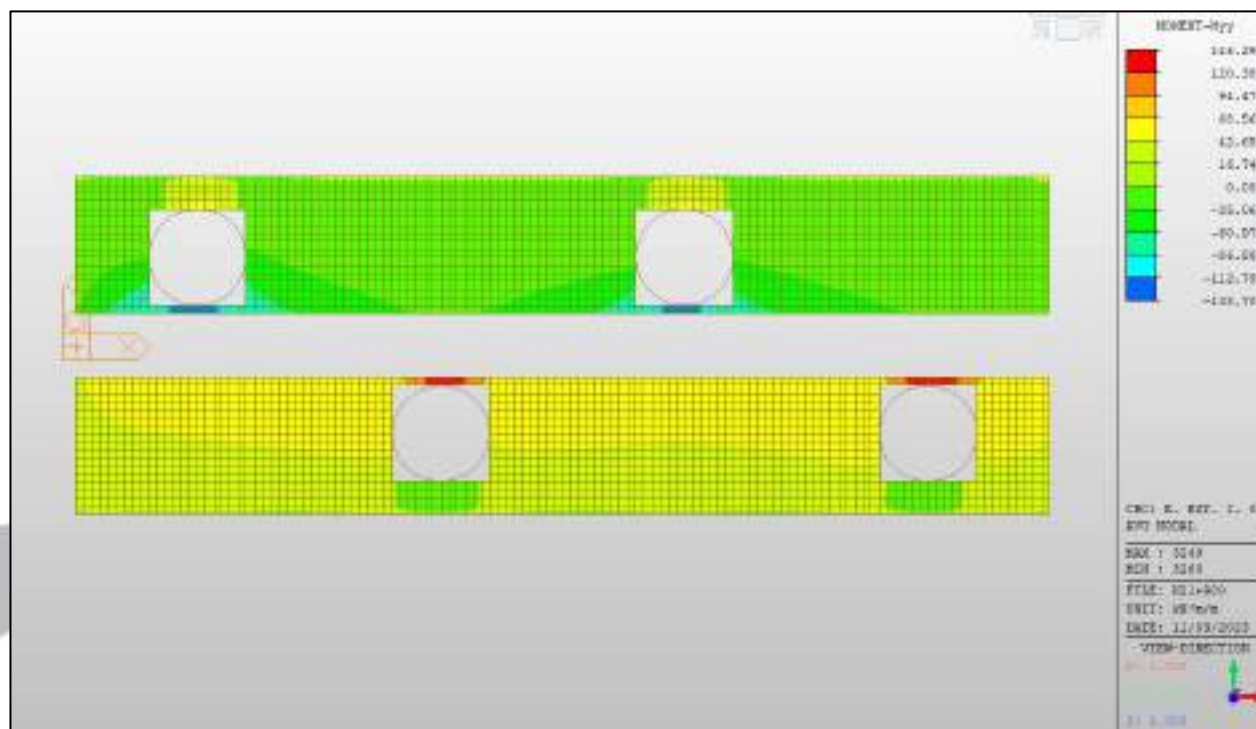
Cortante Última en Pilas – E. Ext. I. – kN



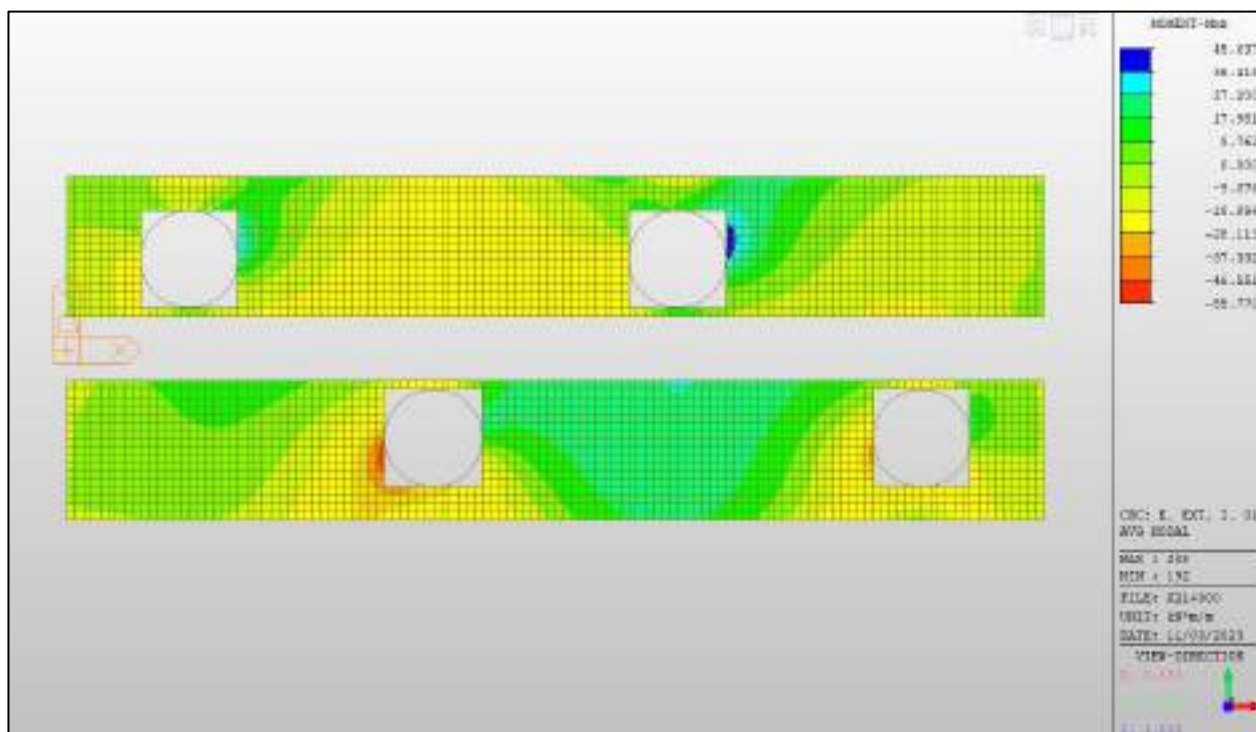
Carga Axial Última en Pilas – E. Ext. I. – kN



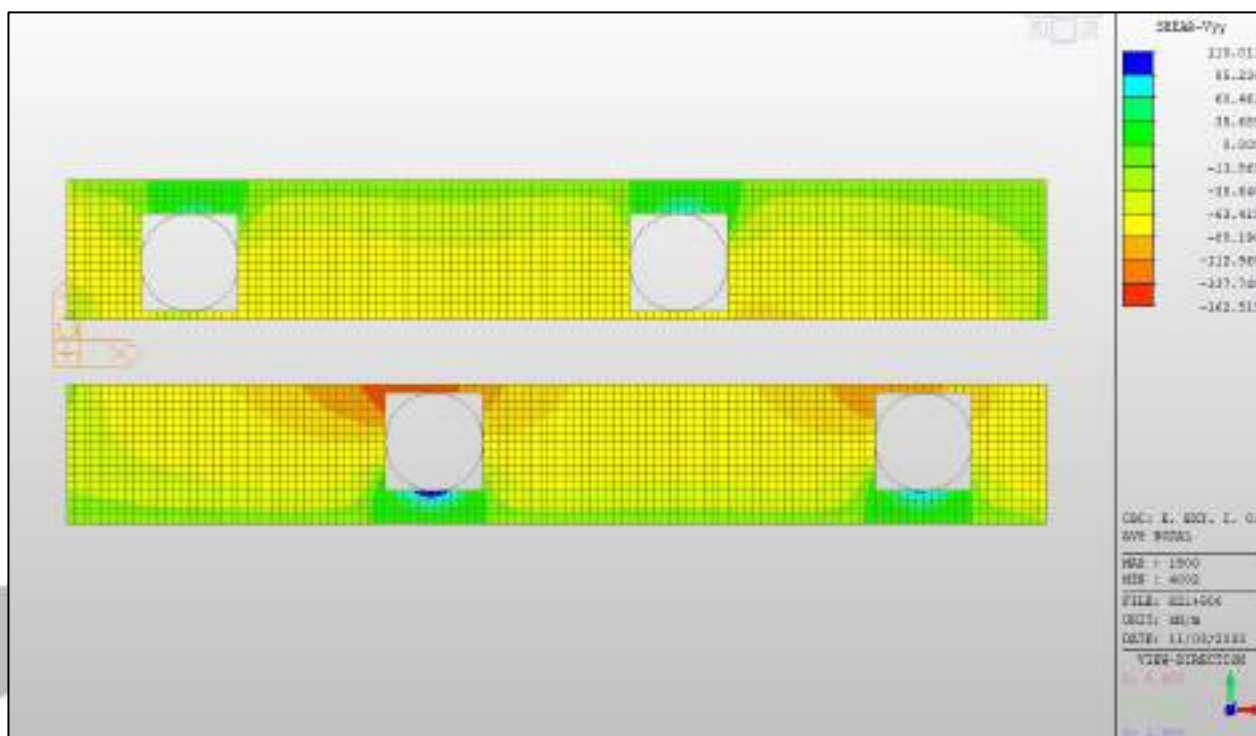
Momento Último en Zarpa – E. Ext. I. – M_{yy} – kN-m



Momento Último en Zarpa – E. Ext. I. – M_{xx} - kN-m



Cortante Último en Zarpa – E. Ext. I. – V_{yy} - kN

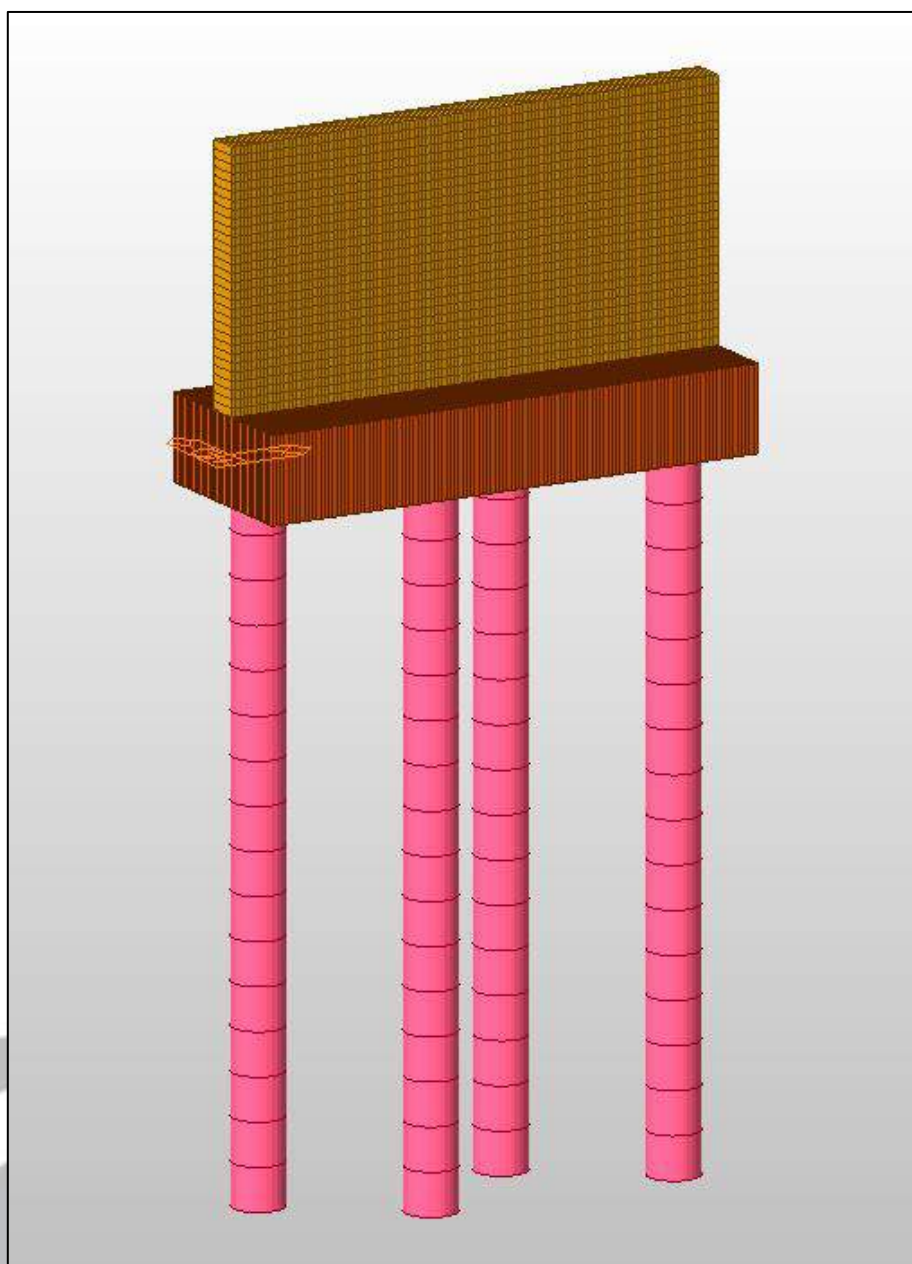


3.2. Muro H=4.0m Pilas D=0.6m L=8.0m

La estructura es modelada mediante un software de análisis y diseño estructural. Allí se ha generado un modelo en elementos finitos donde el vástago y la zarpa se asignan como un elemento tipo Plate y las pilas como elemento tipo Beam. En la Figura 5 se presenta un isométrico del modelo de análisis generado.

La condición de apoyo es definida por el módulo de balasto del suelo, y se asigna directamente sobre los nudos de las pilas, discretizándolas cada 50 cm.

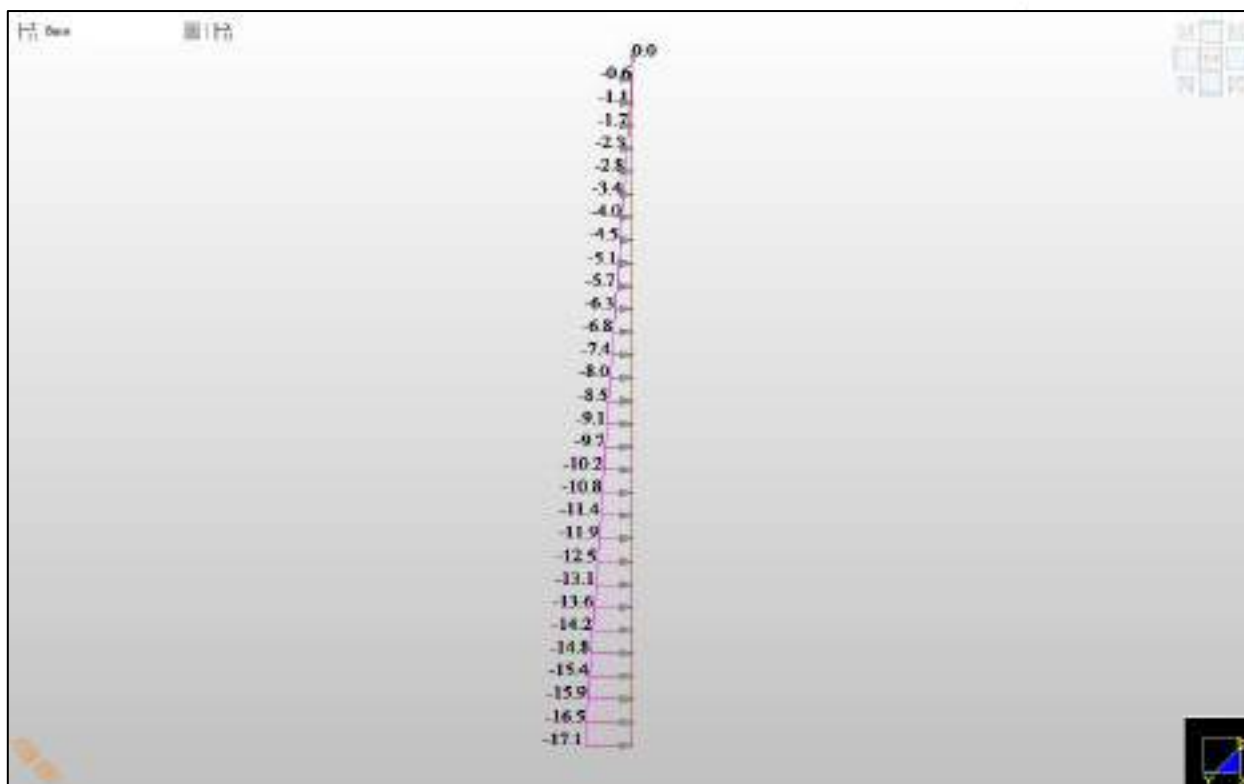
Figura 5. Modelo de Análisis Muro H=4.0m Pilas D=0.6m L=8.0m.



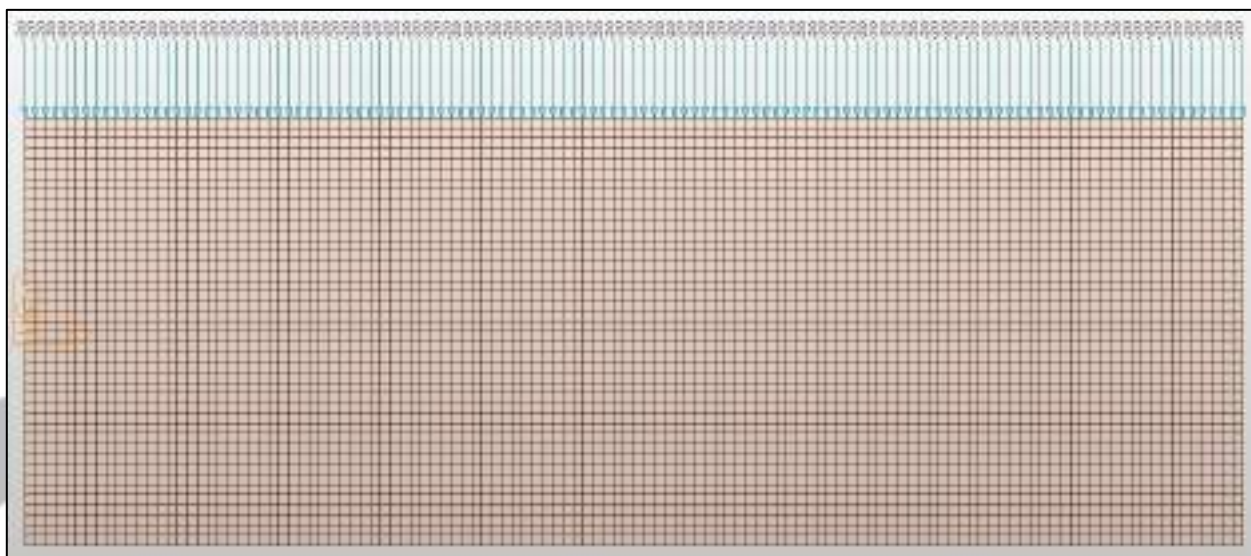
A continuación, en la Figura 6 se presentan las cargas asignadas al modelo de análisis.

Figura 6. Asignación de Cargas Muro $H=4.0m$ Pilas $D=0.6m$ $L=8.0m$

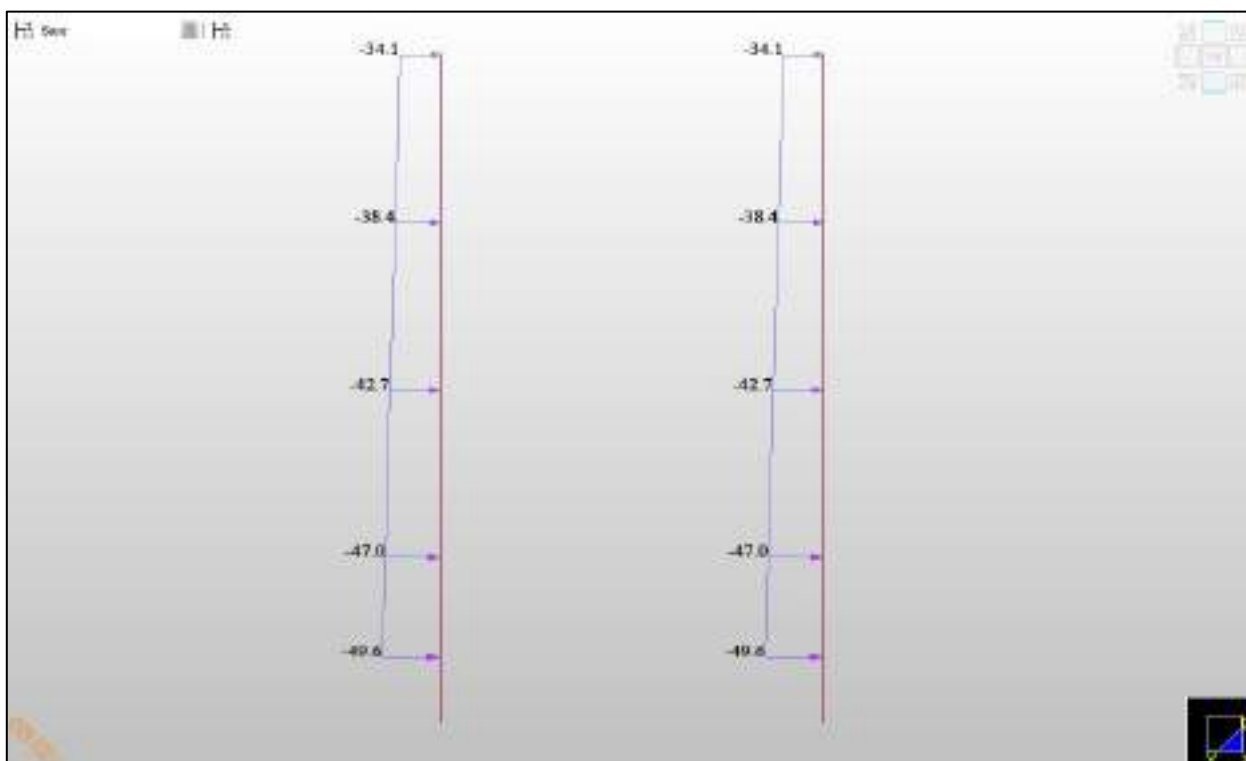
Presión Horizontal Del Suelo EH Ejercida Sobre El Vástago - kPa



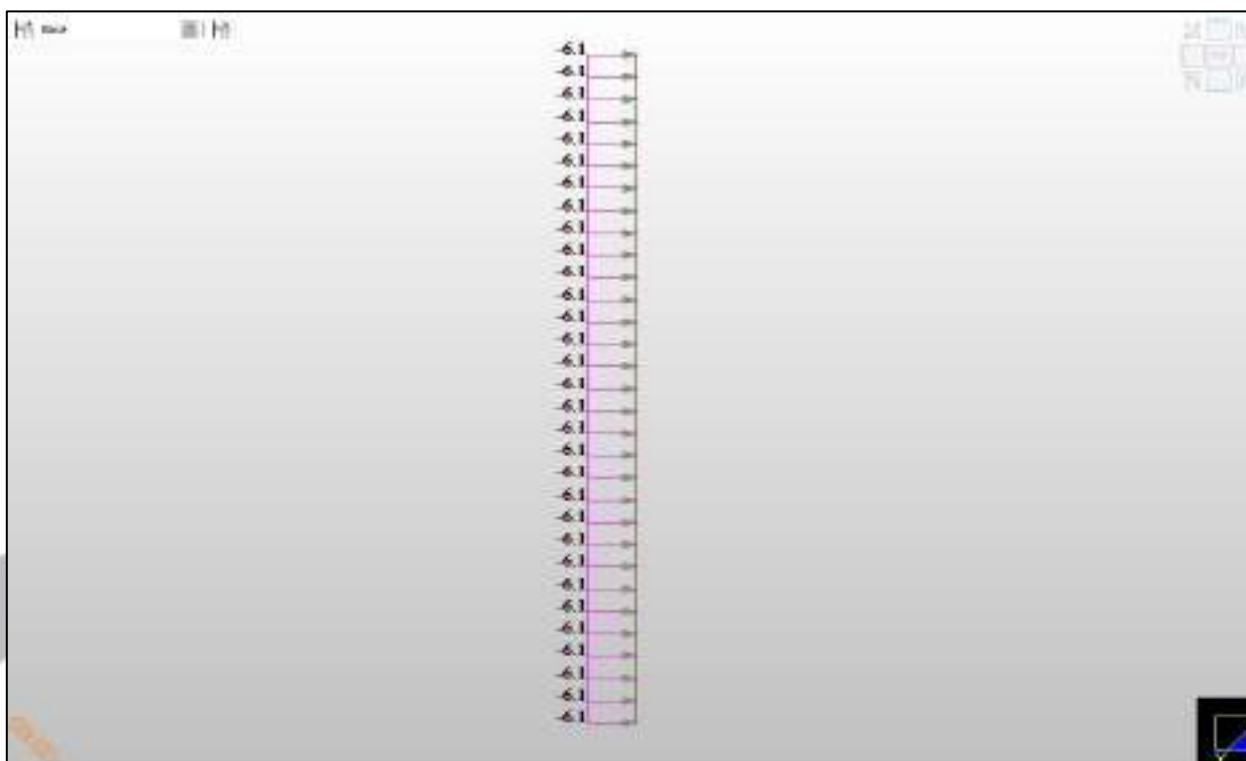
Presión Horizontal Del Suelo EH Ejercida Sobre La Zarpa – kN



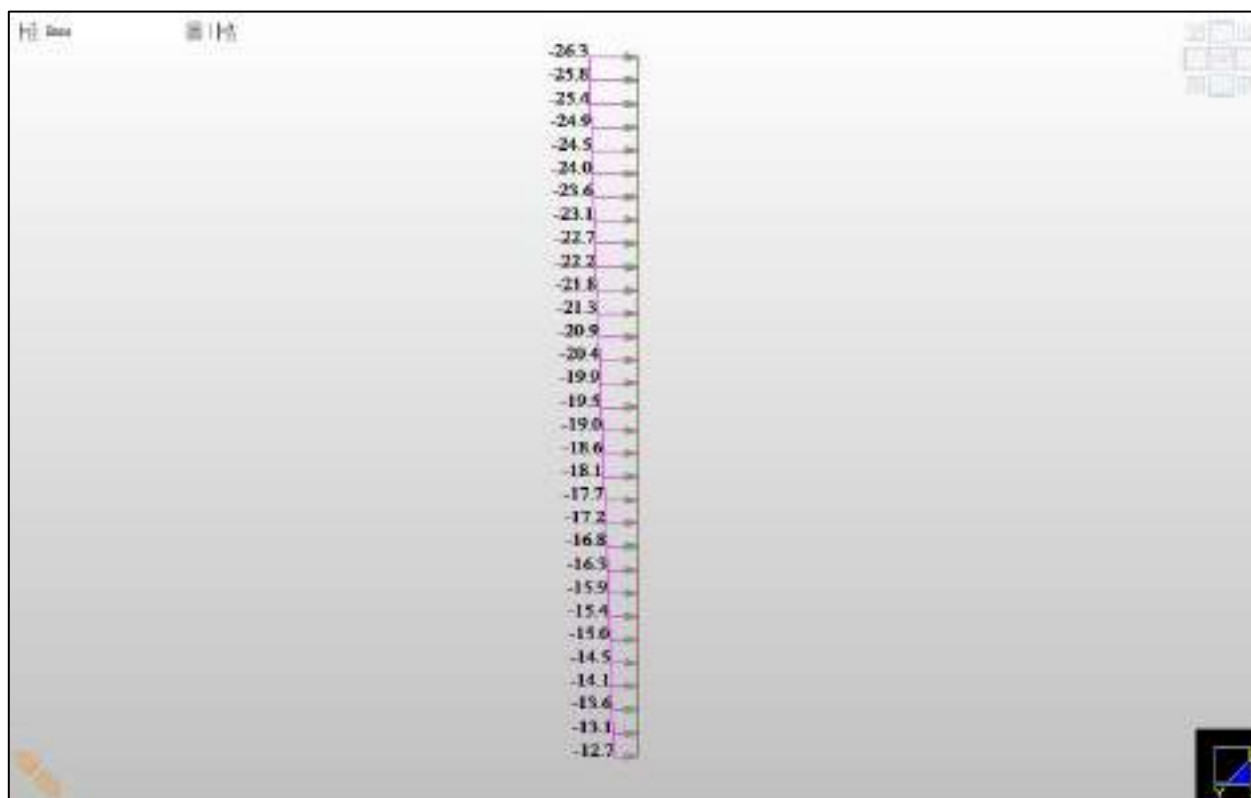
Presión Horizontal Del Suelo EH Ejercida Sobre Las Pilas – kN/m



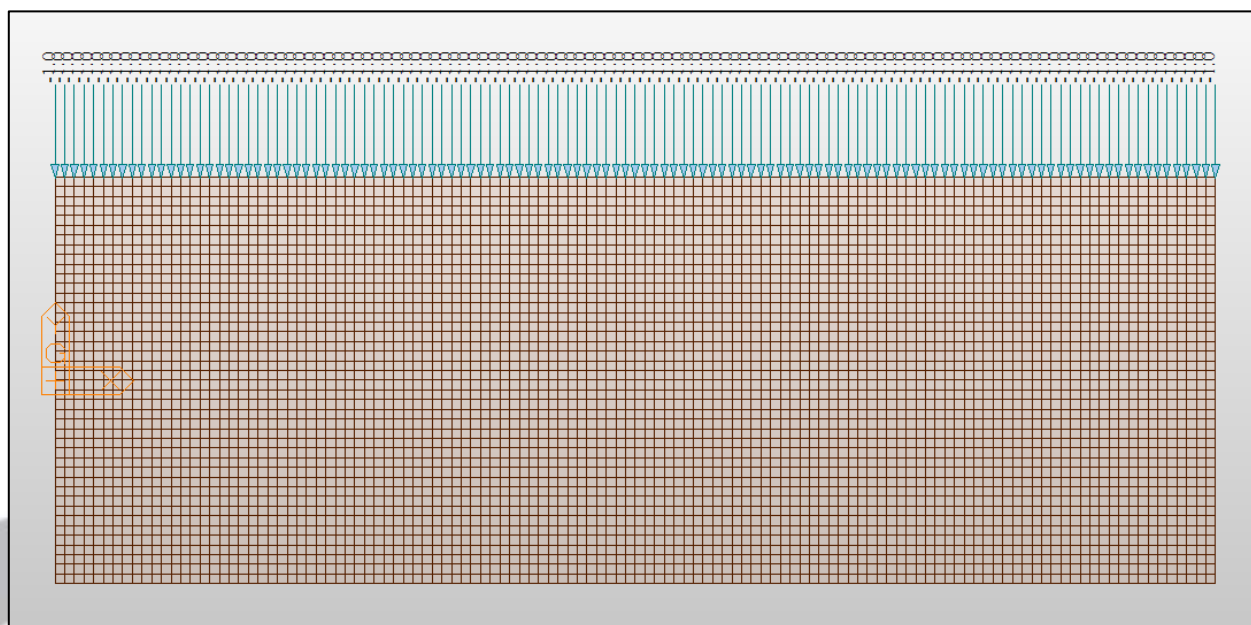
Sobre Carga Vehicular LS Ejercida Sobre el Vástago - kPa



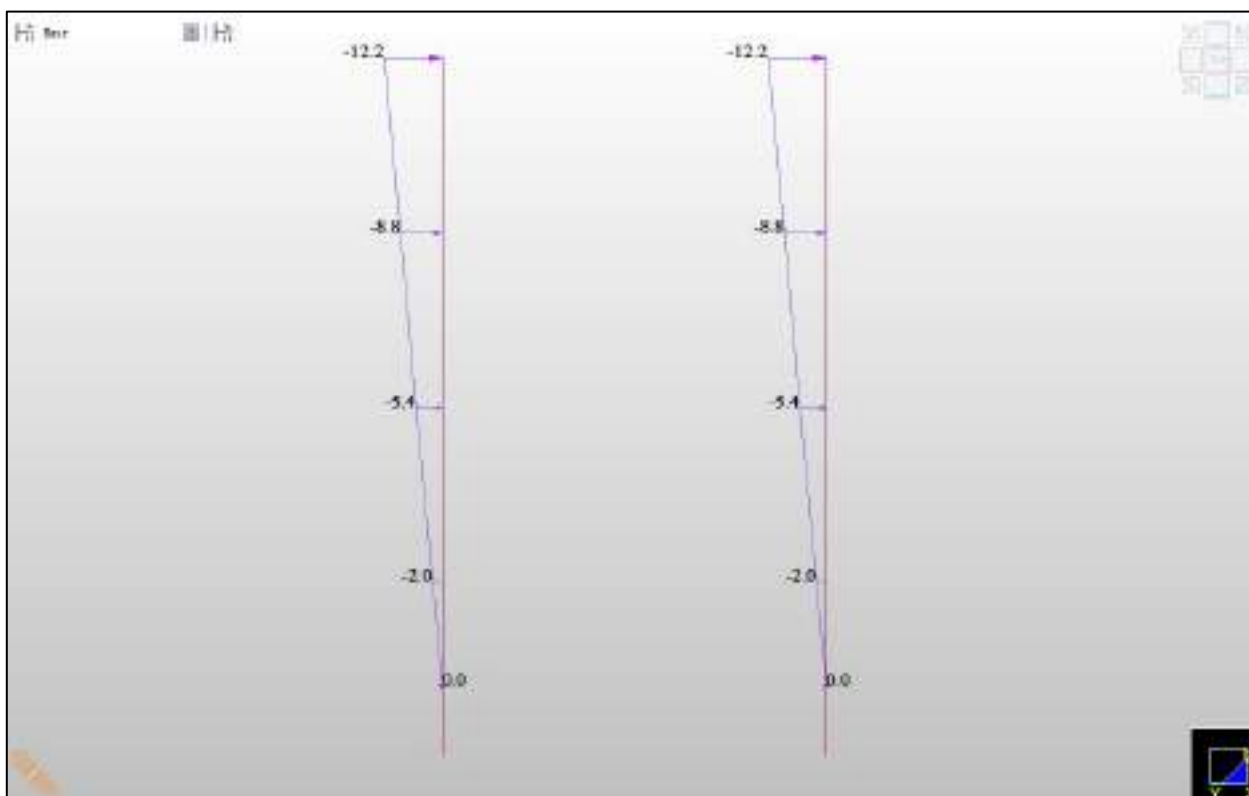
Sobre Carga Por Sismo ΔEQ Ejercida Sobre el Vástago - kPa



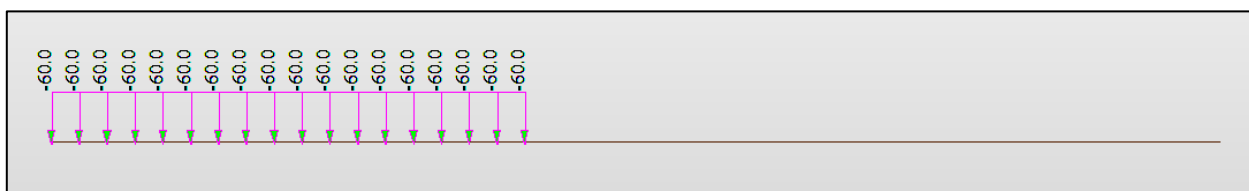
Sobre Carga Por Sismo ΔEQ Ejercida Sobre La Zarpa - kN



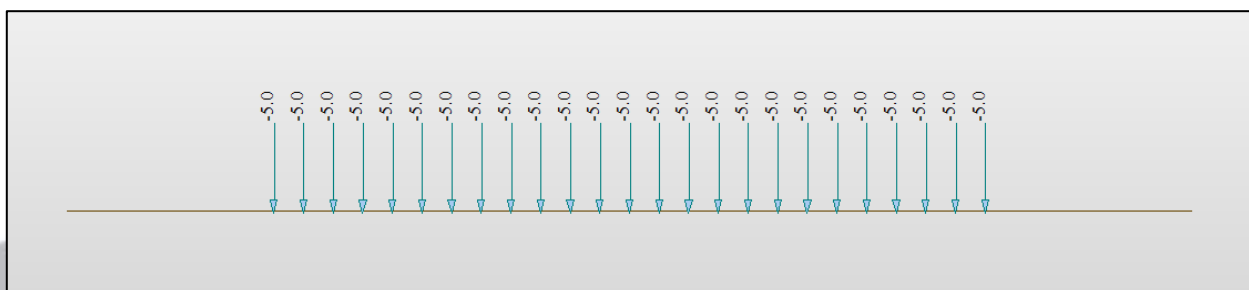
Sobre Carga Por Sismo ΔEQ Ejercida Sobre Las Pilas – kN/m



Presión Vertical Del Suelo EV Ejercida Sobre la Zarpa – kPa



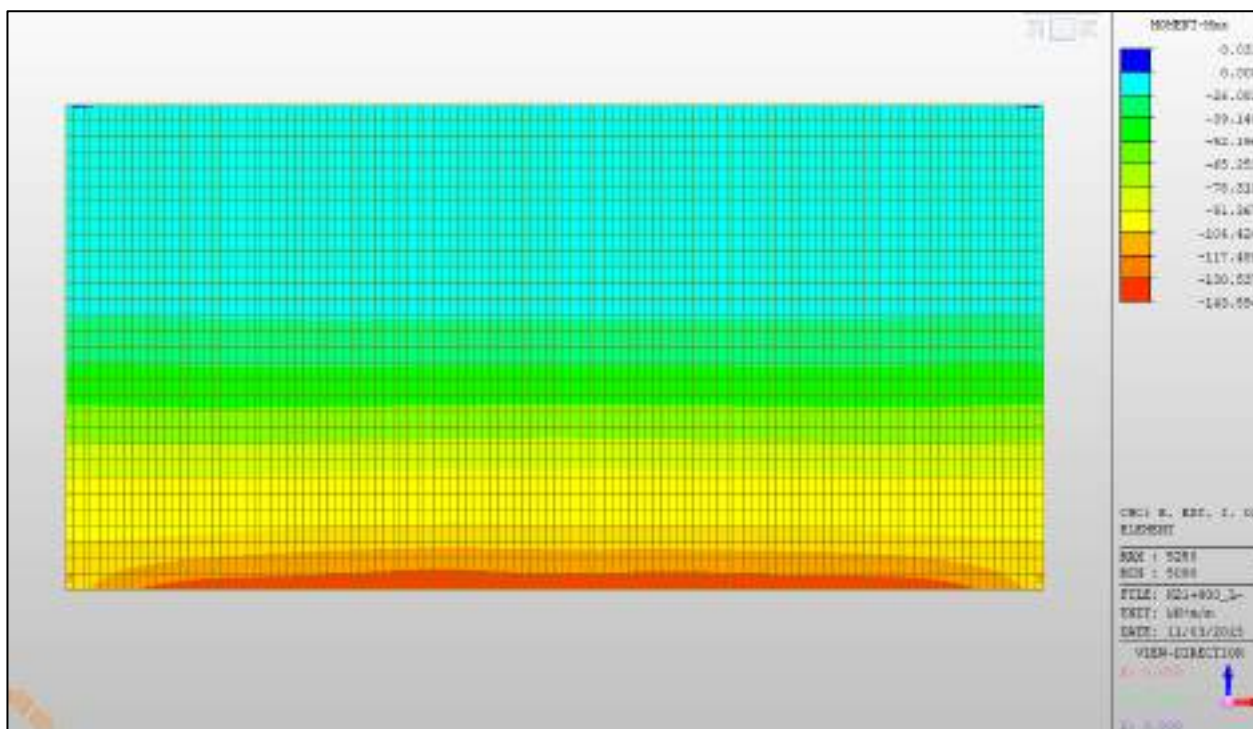
Carga de Colisión Vehicular CT Ejercida Sobre el Vástago – kN



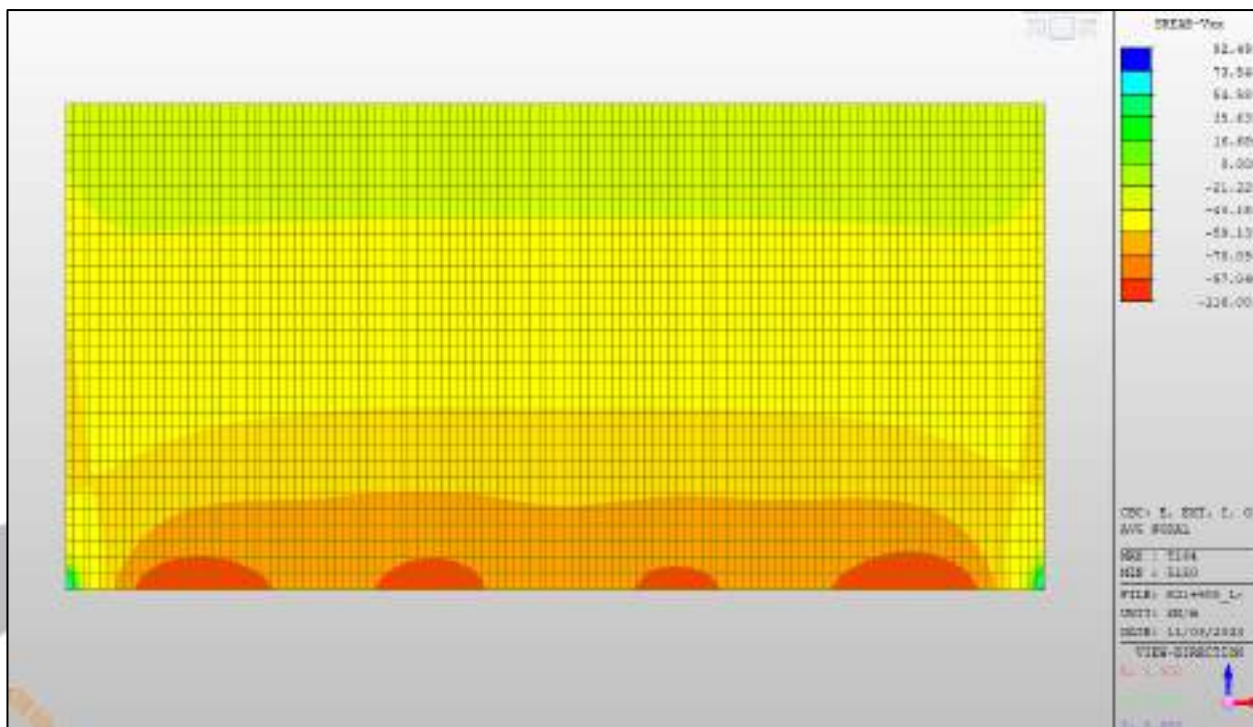
A continuación, en la Figura 7 se presentan las solicitaciones de carga que rigen el diseño de cada uno de los elementos.

Figura 7. Solicitaciones de Diseño Muro $H=4.0m$ Pilas $D=0.6m$ $L=8.0m$.

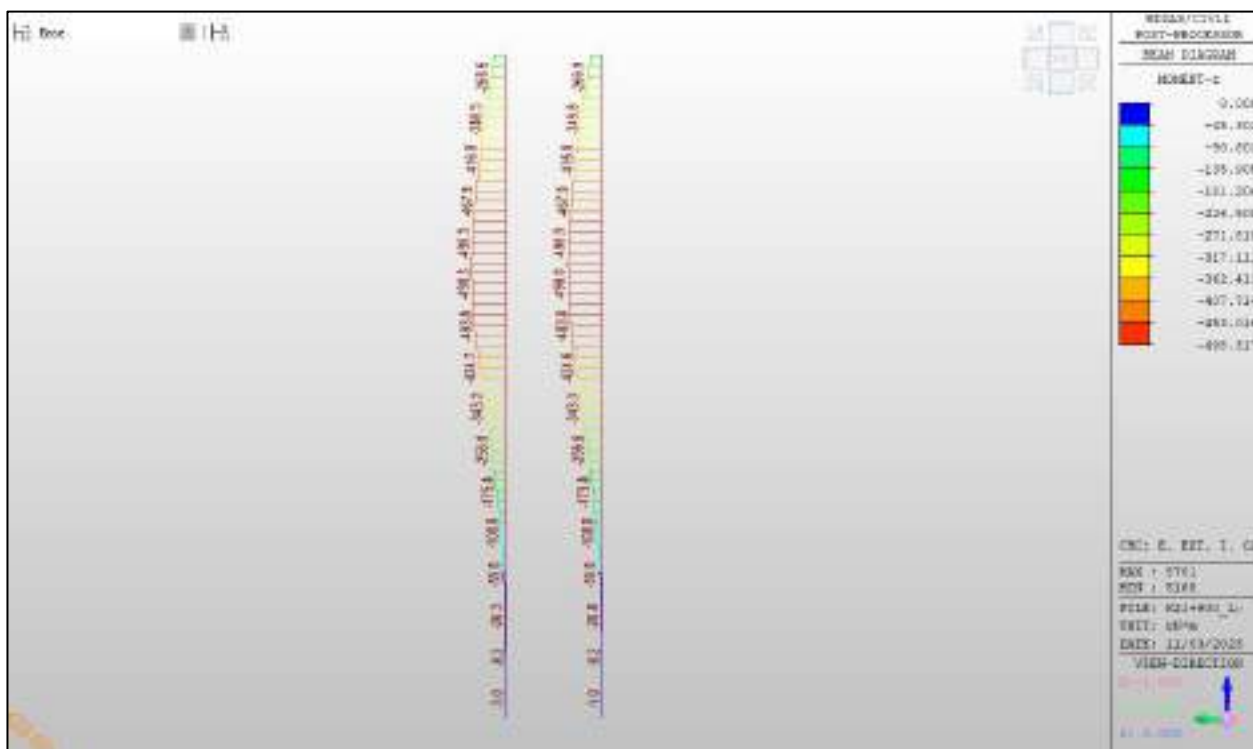
Momento Último en Vástago – E. Ext. I. – kN-m



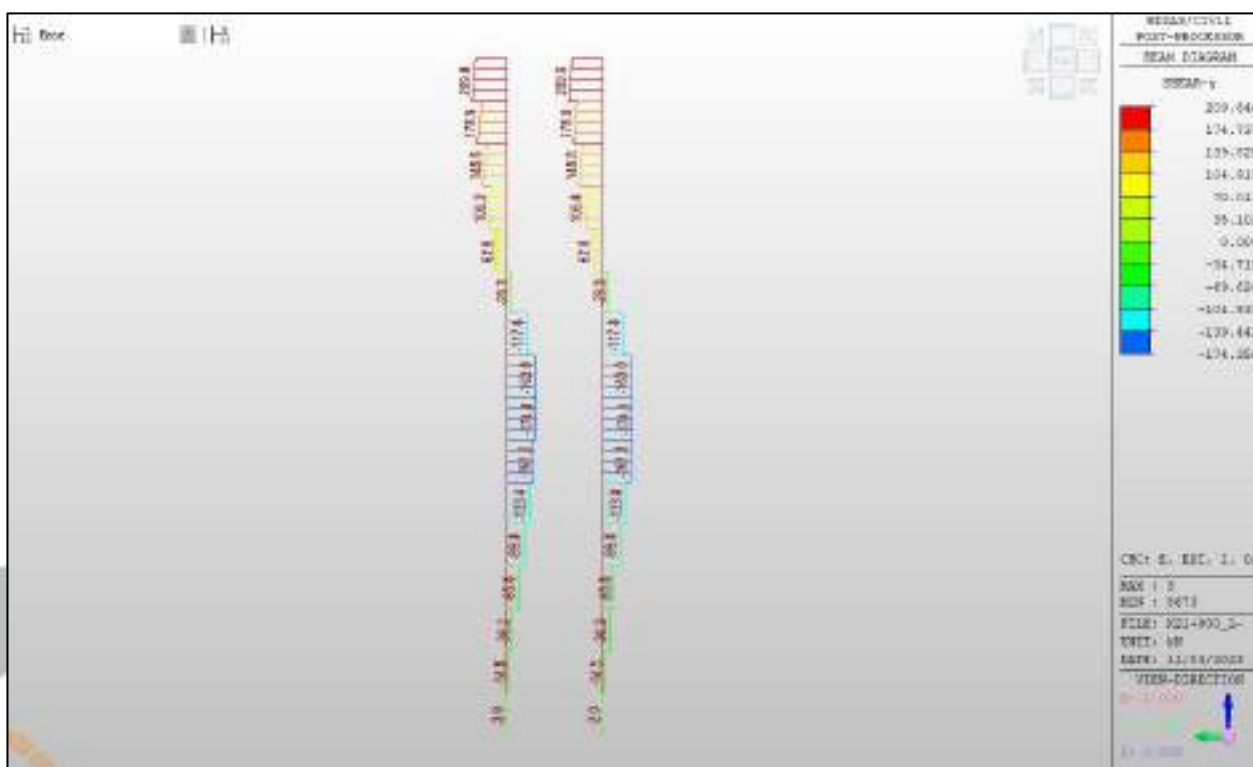
Cortante Última en Vástago – E. Ext. I. – kN



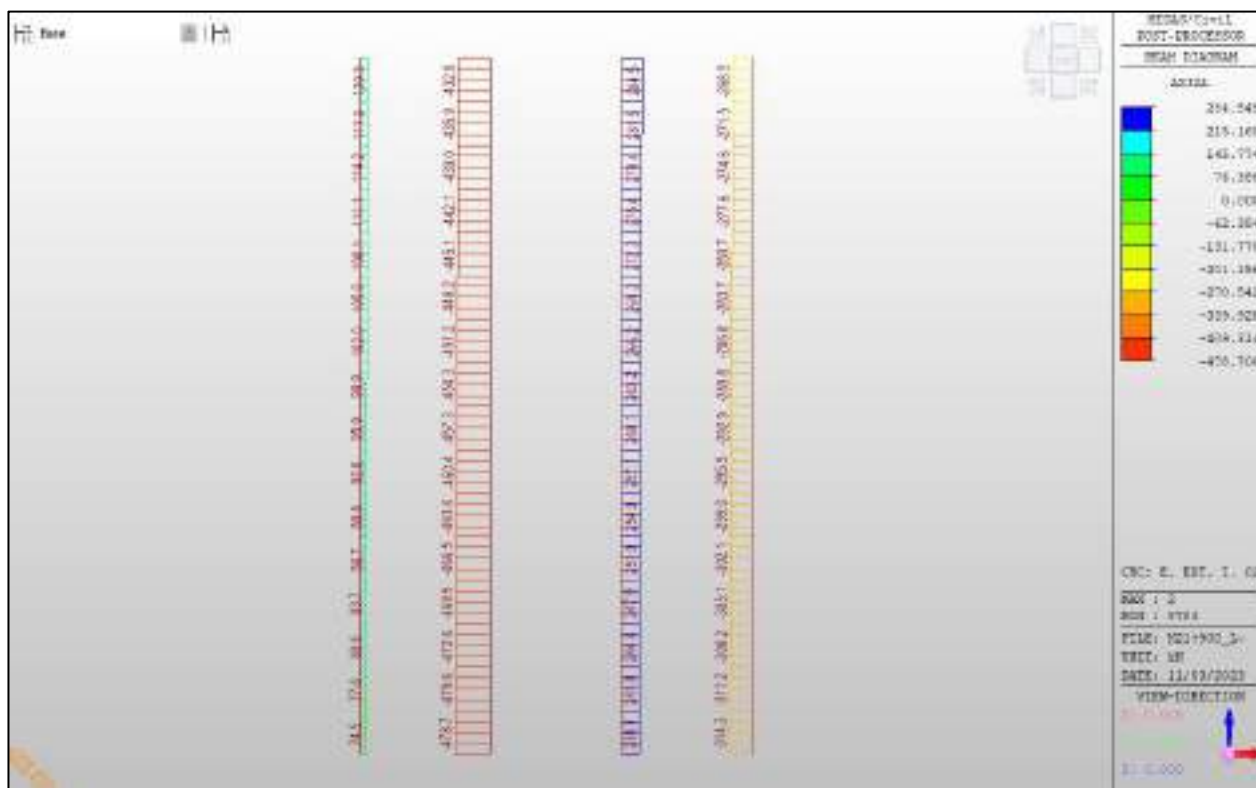
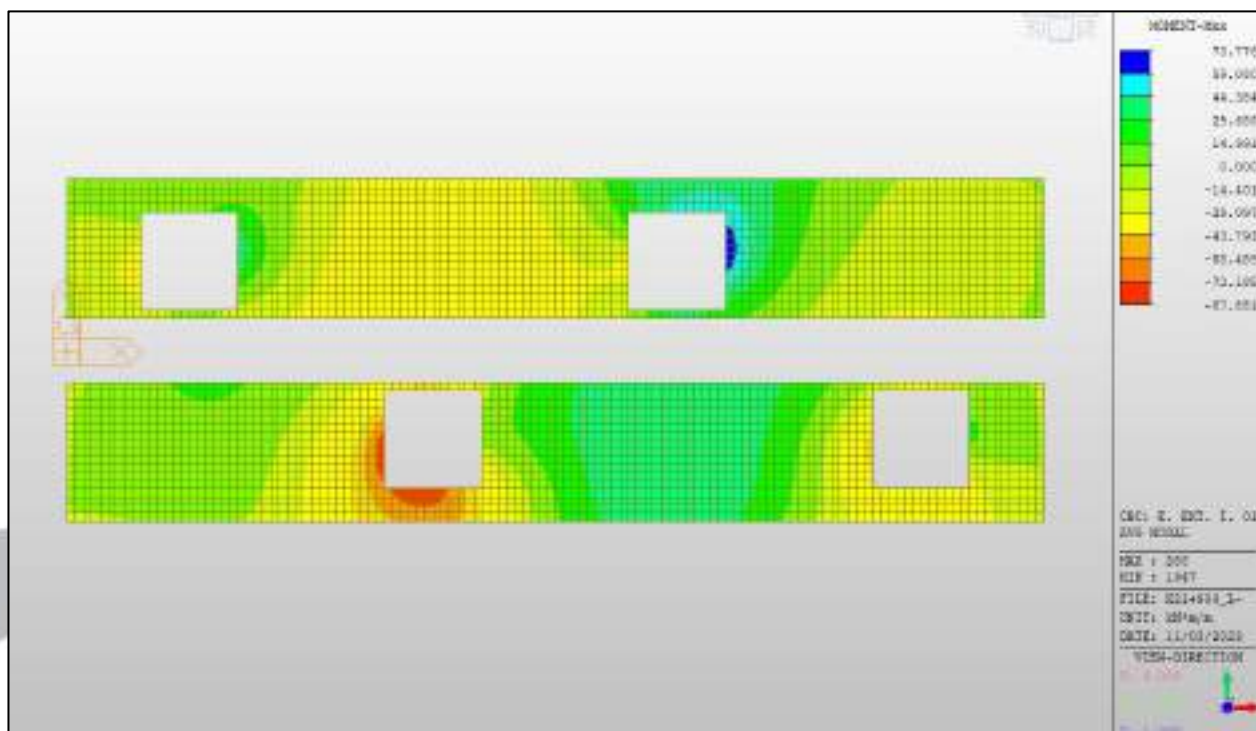
Momento Último en Pilas – E. Ext. I. – kN-m



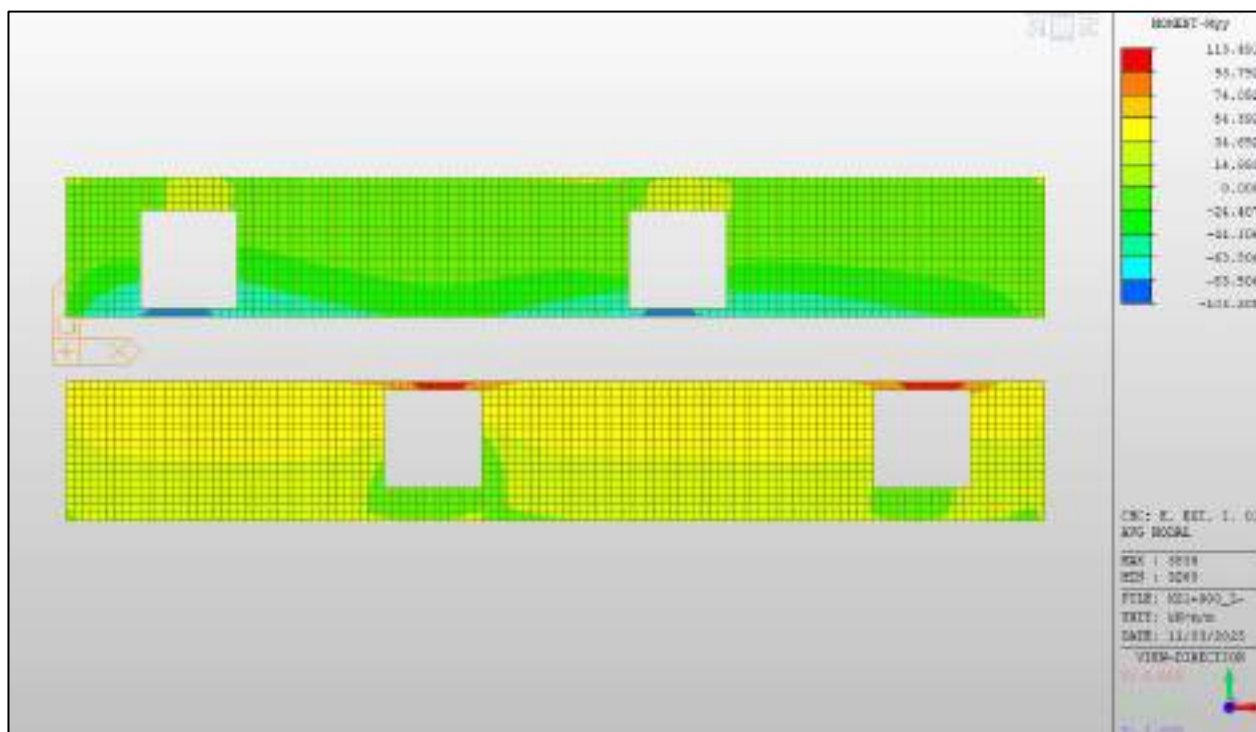
Cortante Última en Pilas – E. Ext. I. – kN



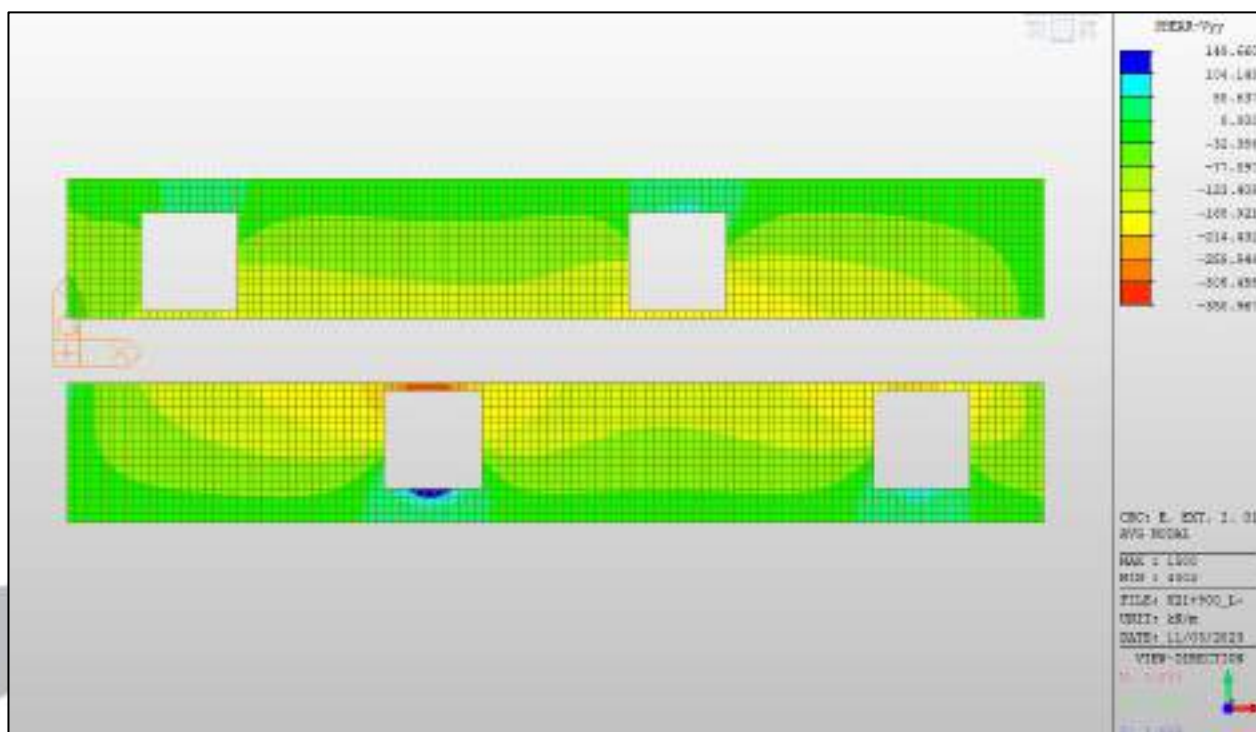
Carga Axial Última en Pilas – E. Ext. I. – kN

Momento Último en Zarpa – E. Ext. I. – M_{xx} – kN-m

Momento Último en Zarpa – E. Ext. I. – M_{yy} - kN-m



Cortante Último en Zarpa – E. Ext. I. – V_{yy} - kN



4. Diseño Estructural

4.1. Muro H=4.0m Pilas D=0.6m L=4.0m

Es diseño estructural de los elementos, se realiza considerando las máximas solicitaciones de flexión, cortante, y carga axial de las secciones críticas.

4.1.1. Zarpa

Para el diseño de la zarpa, se considera un recubrimiento de 75 mm en todas las caras. Como refuerzo a flexión, en la dirección transversal se instalan barras N°4 @ 20 cm; mientras que, en la dirección longitudinal se instalan 11 N°4. Para atender las solicitaciones por cortante, se instalan estribos de cuatro ramales N°4 @ 20 cm. En la Tabla 6 se presenta el diseño de la zarpa.

Tabla 6. Diseño a Momento y Cortante Zarpa.

Diseño Zarpa							
Momento resistente B=2.1m H=1.0m				Resistencia al Corte B=2.1m H=1.0m			
Mu [kN-m]	55	cuantía Req.	0.00011	Vu [kN]	165	Tu [kN-m]	0
b [m]	2.10	As req [mm2]	605	Φ	0.9	Tcr [kN-m]	1235
h [m]	1.00	# Barras N°4	11	No Investigar Torsión			
d' [m]	0.09	As Ins. [mm2]	1419	A0 [m2]	1.32	dv [m]	0.90
d [m]	0.91	cuantía inst.	0.00075	Ph [m]	5.45	wu [kPa]	97
Φ	0.9	s [mm]	191	Vu [kN]	165	S_max [mm]	600
fc [MPa]	28	a [m]	0.0119	εs	0.0012	Nu [kN]	0
fy [MPa]	420	c [m]	0.0140	θ [°]	33	Vc [kN]	2128
Mcr [kN-m]	1156	es	0.1907	β	2.56	No Requiere Av de Refuerzo	
Ru [kPa]	47.157	ΦMr [kN-m]	483	ag [mm]	25		
cuantía max.	0.02833			Sxe [mm]	48	s [mm]	200
Espaciamiento máximo (CCP-14 5.7.3.4)				# Barras N°4	4	Av min [mm2]	439
Bs	1.15	fss [Mpa]	280	Vs [kN]	1498	Av Inst. [mm2]	516
Gamma e	1	S_max [mm]	194			ΦV [kN]	3263
Momento resistente B=1.0m H=1.0m				Resistencia al Corte B=1.0m H=1.0m			
Mu [kN-m]	150	cuantía Req.	0.00063	Vu [kN]	165	Tu [kN-m]	0
b [m]	1.00	As req [mm2]	578	Φ	0.9	Tcr [kN-m]	434
h [m]	1.00	# Barras N°4	4	No Investigar Torsión			
d' [m]	0.08	As Ins. [mm2]	578	A0 [m2]	0.60	dv [m]	0.91
d [m]	0.92	cuantía inst.	0.00063	Ph [m]	3.35	wu [kPa]	201
Φ	0.9	s [mm]	223	Vu [kN]	165	S_max [mm]	600
fc [MPa]	28	a [m]	0.0102	εs	0.0029	Nu [kN]	0
fy [MPa]	420	c [m]	0.0120	θ [°]	39	Vc [kN]	613
Mcr [kN-m]	550	es	0.2268	β	1.53	No Requiere Av de Refuerzo	
Ru [kPa]	262.664	ΦMr [kN-m]	200	ag [mm]	25		
cuantía max.	0.02833			Sxe [mm]	49	s [mm]	350
Espaciamiento máximo (CCP-14 5.7.3.4)				# Barras N°4	3	Av min [mm2]	366
Bs	1.13	fss [Mpa]	280	Vs [kN]	524	Av Inst. [mm2]	387
Gamma e	1	S_max [mm]	227			ΦV [kN]	1023

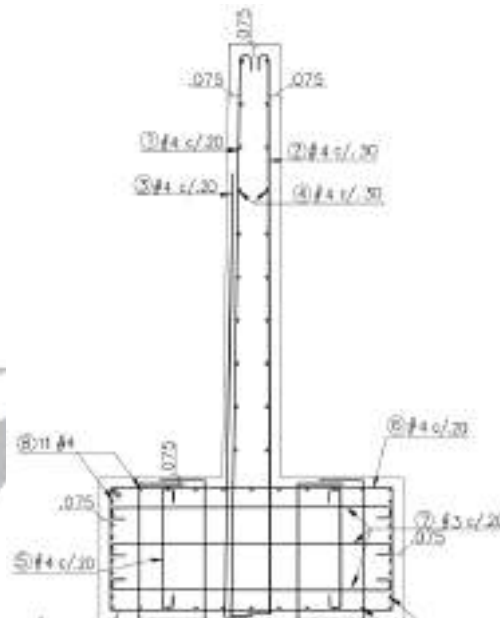
4.1.2. Vástago

Para el diseño del vástago, se considera un recubrimiento de 75 mm en la cara contra el terreno y de 50 mm en la cara al aire libre. Como refuerzo a flexión, se instalan barras N°4 @ 10 cm, las cuales irán distribuidas en dos tendidos espaciados cada 20 cm. Para atender los incrementos de esfuerzos producto de la retracción y los cambios de temperatura, se instalan barras N°4 @ 30 cm. En la Tabla 7 se presenta el diseño del vástago del muro.

Tabla 7. Diseño a Momento y Cortante Vástago.

Diseño Vástago							
Momento resistente a flexión				Momento resistente temp.			
Mu [kN-m]	130	cuantía Req.	0.00349	Mu [kN-m]	-	cuantía Req.	0.00180
b [m]	1	As req [mm ²]	1114	b [m]	1	As req [mm ²]	287
h [m]	0.40	# Barras N°4	9	h [m]	0.40	# Barras N°4	3
d' [m]	0.08	As Ins. [mm ²]	1161	d' [m]	0.08	As Ins. [mm ²]	387
d [m]	0.32	cuantía inst.	0.00364	d [m]	0.32	cuantía inst.	0.00243
Φ	0.9	s [mm]	111	Φ	0.9	s [mm]	333
f _c [MPa]	28	a [m]	0.0205	f _c [MPa]	28	a [m]	0.0068
f _y [MPa]	420	c [m]	0.0241	f _y [MPa]	420	c [m]	0.0080
M _{cr} [kN-m]	88	es	0.0367	M _{cr} [kN-m]	-	es	0.1160
Ru [kPa]	1422.568	ΦM _r [kN-m]	135	Ru [kPa]	-	ΦM _r [kN-m]	46
cuantía max.	0.02833			cuantía max.	0.02833		
Espaciamiento máximo (CCP-14 5.7.3.4)				Espaciamiento máximo (CCP-14 5.7.3.4)			
Bs	1.36	f _{ss} [Mpa]	280	Bs	1.36	f _{ss} [Mpa]	280
Gamma e	1	S _{max} [mm]	159	Gamma e	1	S _{max} [mm]	-
Resistencia al Corte				Resistencia al Corte			
Vu [kN]	125	Vc [kN]	280	Vu [kN]	125	Vc [kN]	280
φ	0.9	φVc [kN]	252	φ	0.9	φVc [kN]	252

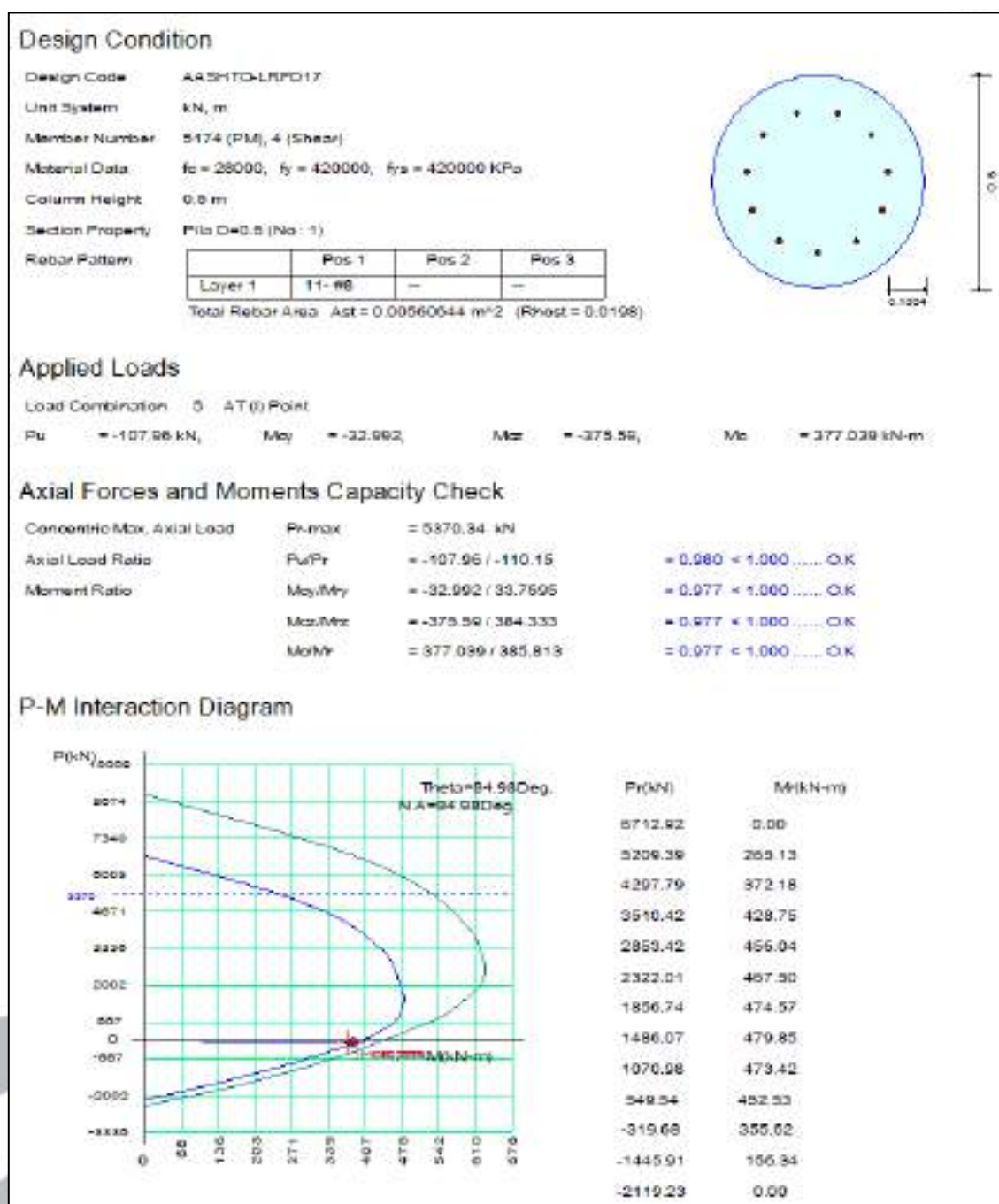
Figura 8. Despiece Vástago y Viga Cabezal Muro H=4.0m Pilas D=0.6m L=4.0m.



4.1.3. Pilas

El diagrama de interacción de las pilas se hizo directamente mediante el software de análisis y diseño. Se obtuvo que instalando 11 N°8 es suficiente para atender las solicitaciones de carga axial y momento a las que se encuentran sometidas las pilas. En la Figura 9 se presenta el diagrama de interacción obtenido.

Figura 9. Verificación Flexo - Compresión Pilas $D=0.6\text{m}$ $L=4.0\text{m}$.

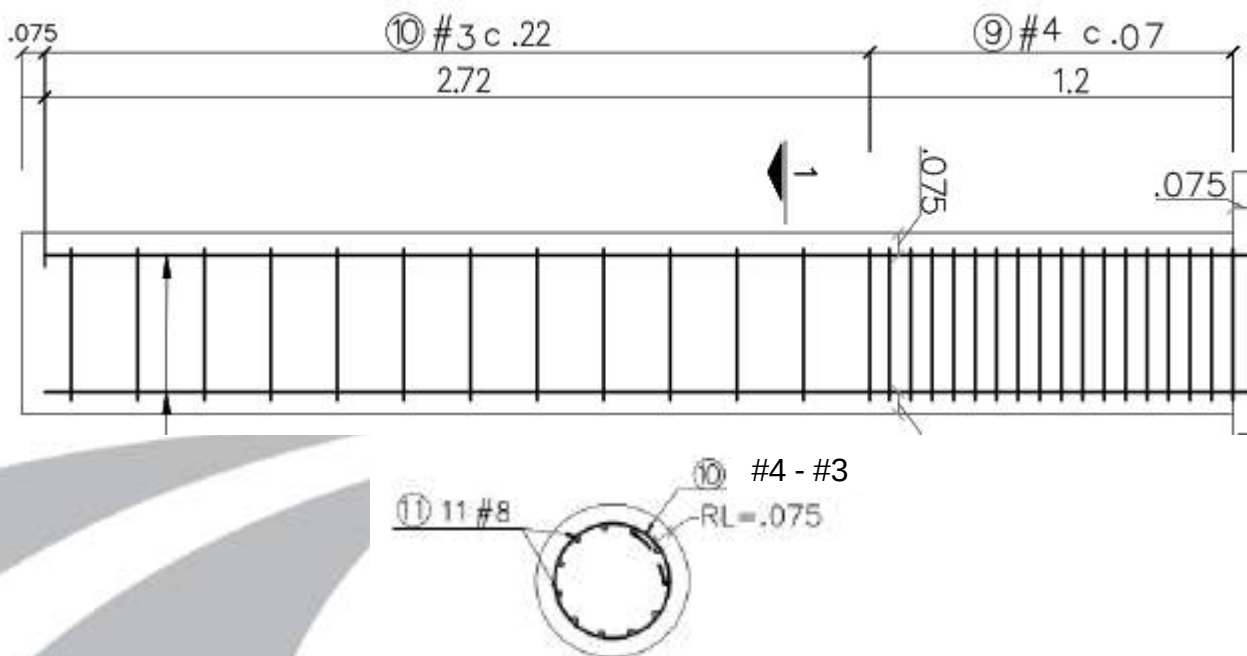


Tras definir el diámetro y cantidad de barras de refuerzo a flexo compresión, se procedió a revisar las solicitaciones a cortante y chequear las cuantías volumétricas tal como exige la normatividad vigente. La zona confinada de los pilotes es igual a 1.2 m. La zona confinada será reforzada mediante estribos N°4 @ 70 mm; mientras que la zona no confinada será reforzada mediante estribos N°3 @ 220 mm. En la Tabla 8 se presenta la revisión de la resistencia al corte de las pilas. En la Figura 10 se presenta el despiece de los elementos diseñados.

Tabla 8. Resistencia al Corte en Pilas D=0.6m L=4.0m.

Zona Confinada				Zona No Confinada			
f _c [MPa]	28	Av min [mm ²]	44	f _c [MPa]	28	Av min [mm ²]	138
f _y [MPa]	420	Av [mm ²]	258	f _y [MPa]	420	Av [mm ²]	142
E _s [MPa]	200000	As [mm ²]	5610	E _s [MPa]	200000	As [mm ²]	5610
φ	0.9	es	0.00086	φ	0.9	es	0.00065
r [mm]	75	θ	32.0	r [mm]	75	θ	31.3
V _u [MN]	0.174	β	2.92	V _u [MN]	0.213	β	3.23
M _u [kN-m]	280	V _c [MN]	0.296	M _u [kN-m]	180	V _c [MN]	0.328
N _u [MN]	0.117	V _s [MN]	0.952	N _u [MN]	0.1	V _s [MN]	0.172
D-bv [mm]	600	V _p [MN]	0.000	D-bv [mm]	600	V _p [MN]	0.000
db _v [mm]	12.7	V _n [MN]	1.248	db _v [mm]	9.5	V _n [MN]	0.501
db _l [mm]	25.4	φV _n [MN]	1.123	db _l [mm]	25.4	φV _n [MN]	0.451
D _r [mm]	399	D _c [mm]	450	D _r [mm]	406	D _c [mm]	450
d _e [mm]	427	A _g [mm ²]	282743	d _e [mm]	429	A _g [mm ²]	282743
d _v [mm]	384	A _c [mm ²]	159043	d _v [mm]	386	A _c [mm ²]	159043
v _u [MPa]	0.838	Cuantía min 1	0.0156	v _u [MPa]	1.021	Cuantía min 1	-
S _{max} [mm]	600	Cuantía min 2	0.0080	S _{max} [mm]	600	Cuantía min 2	-
S [mm]	70	Cuantía vol	0.0159	S [mm]	220	Cuantía vol	0.0028

Figura 10. Despiece Pilas D=0.6m L=4.0m.



4.2. Muro H=4.0m Pilas D=0.6m L=8.0m

Es diseño estructural de los elementos, se realiza considerando las máximas solicitaciones de flexión, cortante, y carga axial de las secciones críticas.

4.2.1. Zarpa

Para el diseño de la zarpa, se considera un recubrimiento de 75 mm en todas las caras. Como refuerzo a flexión, en la dirección transversal se instalan barras N°4 @ 20 cm; mientras que, en la dirección longitudinal se instalan 11 N°4 cm. Para atender las solicitaciones por cortante, se instalan estribos de cuatro ramales N°4 @ 20 cm. En la Tabla 9 se presenta el diseño de la zarpa.

Tabla 9. Diseño a Momento y Cortante Zarpa.

Diseño Zarpa							
Momento resistente B=2.1m H=1.0m				Resistencia al Corte B=2.1m H=1.0m			
Mu [kN-m]	88	cuantía Req.	0.00018	Vu [kN]	350	Tu [kN-m]	0
b [m]	2.10	As req [mm2]	605	Φ	0.9	Tcr [kN-m]	1235
h [m]	1.00	# Barras N°4	11	No Investigar Torsión			
d' [m]	0.09	As Ins. [mm2]	1419	A0 [m2]	1.32	dv [m]	0.90
d [m]	0.91	cuantía inst.	0.00075	Ph [m]	5.45	wu [kPa]	206
Φ	0.9	s [mm]	191	Vu [kN]	350	S_max [mm]	600
fc [MPa]	28	a [m]	0.0119	εs	0.0025	Nu [kN]	0
fy [MPa]	420	c [m]	0.0140	θ [°]	38	Vc [kN]	1398
Mcr [kN-m]	1156	es	0.1907	β	1.68	No Requiere Av de Refuerzo	
Ru [kPa]	75.451	ΦMr [kN-m]	483	ag [mm]	25		
cuantía max.	0.02833			Sxe [mm]	48	s [mm]	200
Espaciamiento máximo (CCP-14 5.7.3.4)				# Barras N°4	4	Av min [mm2]	439
Bs	1.15	fss [Mpa]	280	Vs [kN]	1265	Av Inst. [mm2]	516
Gamma e	1	S_max [mm]	194			ΦV [kN]	2397
Momento resistente B=1.0m H=1.0m				Resistencia al Corte B=1.0m H=1.0m			
Mu [kN-m]	150	cuantía Req.	0.00063	Vu [kN]	350	Tu [kN-m]	0
b [m]	1.00	As req [mm2]	578	Φ	0.9	Tcr [kN-m]	434
h [m]	1.00	# Barras N°4	4	No Investigar Torsión			
d' [m]	0.08	As Ins. [mm2]	578	A0 [m2]	0.60	dv [m]	0.91
d [m]	0.92	cuantía inst.	0.00063	Ph [m]	3.35	wu [kPa]	426
Φ	0.9	s [mm]	223	Vu [kN]	350	S_max [mm]	600
fc [MPa]	28	a [m]	0.0102	εs	0.0060	Nu [kN]	0
fy [MPa]	420	c [m]	0.0120	θ [°]	50	Vc [kN]	350
Mcr [kN-m]	550	es	0.2268	β	0.87	Requiere Av de Refuerzo	
Ru [kPa]	262.664	ΦMr [kN-m]	200	ag [mm]	25		
cuantía max.	0.02833			Sxe [mm]	49	s [mm]	350
Espaciamiento máximo (CCP-14 5.7.3.4)				# Barras N°4	3	Av min [mm2]	366
Bs	1.13	fss [Mpa]	280	Vs [kN]	356	Av Inst. [mm2]	387
Gamma e	1	S_max [mm]	227			ΦV [kN]	636

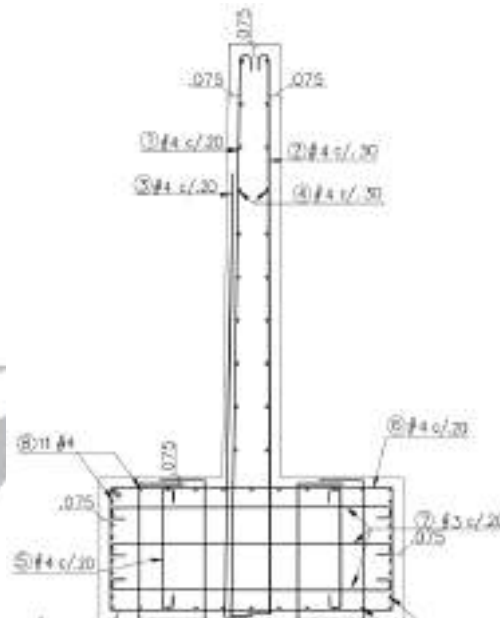
4.2.2. Vástago

Para el diseño del vástago, se considera un recubrimiento de 75 mm en la cara contra el terreno y de 50 mm en la cara al aire libre. Como refuerzo a flexión, se instalan barras N°4 @ 10 cm, las cuales irán distribuidas en dos tendidos espaciados cada 20 cm. Para atender los incrementos de esfuerzos producto de la retracción y los cambios de temperatura, se instalan barras N°4 @ 30 cm. En la Tabla 10 se presenta el diseño del vástago del muro.

Tabla 10. Diseño a Momento y Cortante Vástago.

Diseño Vástago							
Momento resistente a flexión				Momento resistente temp.			
Mu [kN-m]	143	cuantía Req.	0.00386	Mu [kN-m]	-	cuantía Req.	0.00180
b [m]	1	As req [mm ²]	1229	b [m]	1	As req [mm ²]	309
h [m]	0.40	# Barras N°4	10	h [m]	0.40	# Barras N°4	3
d' [m]	0.08	As Ins. [mm ²]	1290	d' [m]	0.06	As Ins. [mm ²]	387
d [m]	0.32	cuantía inst.	0.00405	d [m]	0.34	cuantía inst.	0.00225
Φ	0.9	s [mm]	100	Φ	0.9	s [mm]	333
f _c [MPa]	28	a [m]	0.0228	f _c [MPa]	28	a [m]	0.0068
f _y [MPa]	420	c [m]	0.0268	f _y [MPa]	420	c [m]	0.0080
M _{cr} [kN-m]	88	es	0.0327	M _{cr} [kN-m]	-	es	0.1253
Ru [kPa]	1564.825	ΦM _r [kN-m]	150	Ru [kPa]	-	ΦM _r [kN-m]	50
cuantía max.	0.02833			cuantía max.	0.02833		
Espaciamiento máximo (CCP-14 5.7.3.4)				Espaciamiento máximo (CCP-14 5.7.3.4)			
Bs	1.36	fss [Mpa]	280	Bs	1.23	fss [Mpa]	280
Gamma e	1	S _{max} [mm]	159	Gamma e	1	S _{max} [mm]	-
Resistencia al Corte				Resistencia al Corte			
Vu [kN]	117	Vc [kN]	280	Vu [kN]	117	Vc [kN]	302
φ	0.9	φVc [kN]	252	φ	0.9	φVc [kN]	272

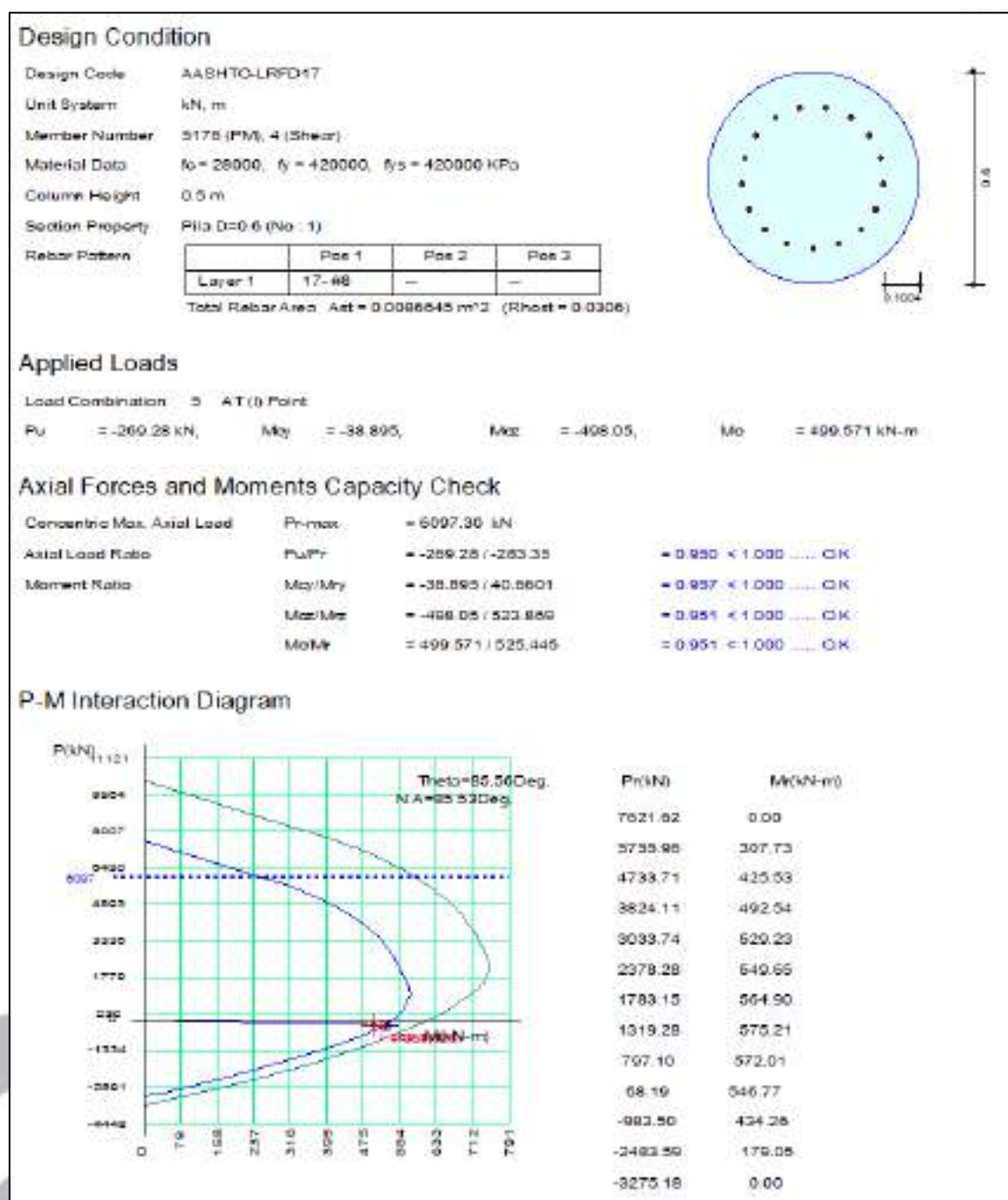
Figura 11. Despiece Vástago y Viga Cabezal Muro H=4.0m Pilas D=0.6m L=8.0m.



4.2.3. Pilas

El diagrama de interacción de las pilas se hizo directamente mediante el software de análisis y diseño. Se obtuvo que instalando 17 N°8 es suficiente para atender las solicitaciones de carga axial y momento a las que se encuentran sometidas las pilas. En la Figura 12 se presenta el diagrama de interacción obtenido.

Figura 12. Verificación Flexo - Compresión Pilas $D=0.6\text{m}$ $L=8.0\text{m}$.

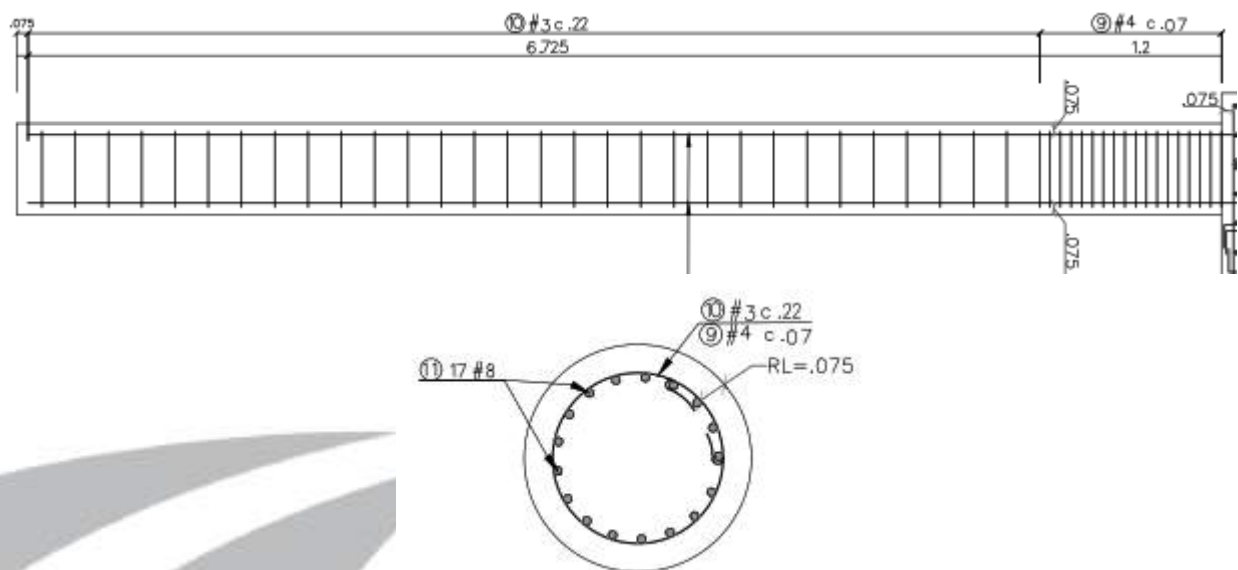


Tras definir el diámetro y cantidad de barras de refuerzo a flexo compresión, se procedió a revisar las solicitaciones a cortante y chequear las cuantías volumétricas tal como exige la normatividad vigente. La zona confinada de los pilotes es igual a 1.6 m. La zona confinada será reforzada mediante estribos N°4 @ 70 mm; mientras que la zona no confinada será reforzada mediante estribos N°3 @ 220 mm. En la Tabla 11 se presenta la revisión de la resistencia al corte de las pilas. En la Figura 13 se presenta el despiece de los elementos diseñados.

Tabla 11. Resistencia al Corte en Pilas.

Zona Confinada				Zona No Confinada			
f_c [MPa]	28	A_v min [mm ²]	44	f_c [MPa]	28	A_v min [mm ²]	138
f_y [MPa]	420	A_v [mm ²]	258	f_y [MPa]	420	A_v [mm ²]	142
E_s [MPa]	200000	A_s [mm ²]	8670	E_s [MPa]	200000	A_s [mm ²]	8670
ϕ	0.9	e_s	0.00061	ϕ	0.9	e_s	0.00069
r [mm]	75	θ	31.1	r [mm]	75	θ	31.4
V_u [MN]	0.210	β	3.30	V_u [MN]	0.175	β	3.16
μ_u [kN-m]	270	V_c [MN]	0.334	μ_u [kN-m]	345	V_c [MN]	0.322
N_u [MN]	0.284	V_s [MN]	0.985	N_u [MN]	0.260	V_s [MN]	0.171
D_{-bv} [mm]	600	V_p [MN]	0.000	D_{-bv} [mm]	600	V_p [MN]	0.000
db_v [mm]	12.7	V_n [MN]	1.319	db_v [mm]	9.5	V_n [MN]	0.493
db_l [mm]	25.4	ϕV_n [MN]	1.187	db_l [mm]	25.4	ϕV_n [MN]	0.444
D_r [mm]	399	D_c [mm]	450	D_r [mm]	406	D_c [mm]	450
d_e [mm]	427	A_g [mm ²]	282743	d_e [mm]	429	A_g [mm ²]	282743
d_v [mm]	384	A_c [mm ²]	159043	d_v [mm]	386	A_c [mm ²]	159043
w_u [MPa]	1.012	Cuantía min 1	0.0156	w_u [MPa]	0.839	Cuantía min 1	-
S_{max} [mm]	600	Cuantía min 2	0.0080	S_{max} [mm]	600	Cuantía min 2	-
S [mm]	70	Cuantía vol	0.0159	S [mm]	220	Cuantía vol	0.0028

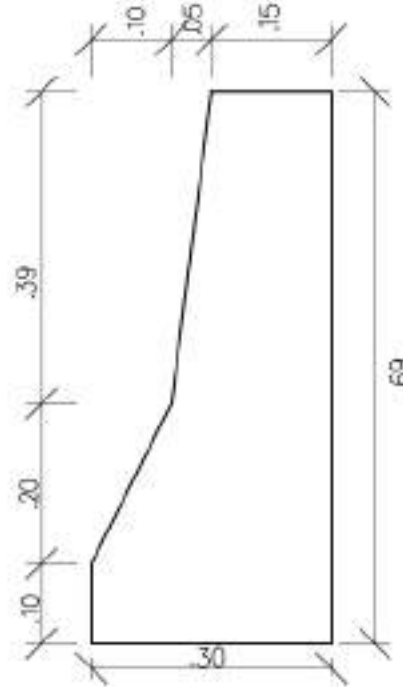
Figura 13. Despiece Pilas D=0.6m L=8.0m.



4.3. Baranda Vehicular

Se propone una baranda vehicular en concreto tipo New Jersey con las dimensiones indicadas en la Figura 14.

Figura 14. Dimensionamiento Baranda Vehicular Tipo New Jersey.



El procedimiento de diseño estructural se realiza de acuerdo con el Apéndice A13.3.1 del CCP – 14 para barandas en concreto. A continuación, se presentan las ecuaciones que definen la resistencia nominal R_w de la baranda ante la carga transversal:

- Para impactos en un segmento de muro:

$$R_w = \left(\frac{2}{2L_c - L_t} \right) \left(8M_b + 8M_w + \frac{M_c L_c^2}{H} \right)$$

$$L_c = \frac{L_t}{2} \sqrt{\left(\frac{L_t}{2} \right)^2 + \frac{8H(M_b + M_w)}{M_c}}$$

- Para impactos en los extremos o juntas:

$$R_w = \left(\frac{2}{2L_c - L_t} \right) \left(M_b + M_w + \frac{M_c L_c^2}{H} \right)$$

$$L_c = \frac{L_t}{2} \sqrt{\left(\frac{L_t}{2} \right)^2 + \frac{H(M_b + M_w)}{M_c}}$$

En la Tabla 12 se presenta la verificación de la resistencia R_w de la baranda vehicular.

Tabla 12. Verificación Resistencia R_w Baranda Vehicular.

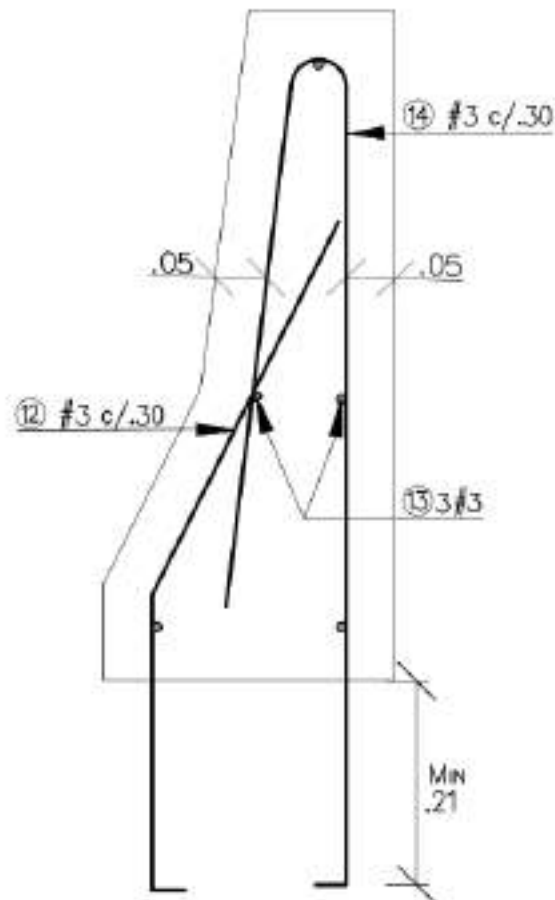
Resistencia Nominal R_w Barrera en Concreto			
Geometría Barrera y Materiales			
h1 [mm]	390	b1 [mm]	150
h2 [mm]	200	b2 [mm]	200
h3 [mm]	100	b1 [mm]	300
Area [mm ²]	148250	f _c [MPa]	21
e _{prom} [mm]	215	F _y [MPa]	420
r [mm]	50	Φ	1
Momento Resistente Respecto al Eje Vertical			
# Barras N°3	3	d [mm]	151
As [mm ²]	213	a [mm]	7
s [mm]	230	M _w [kN-m]	13.148
Momento Resistente Respecto al Eje Longitudinal			
# Barras N°3	3	d [mm]	245
As1 [mm ²]	237	a [mm]	6
s1 [mm]	300	Mc1 [kN-m]	24.101
# Barras N°3	3	d [mm]	195
As2 [mm ²]	237	a [mm]	6
s2 [mm]	300	Mc2 [kN-m]	19.131
# Barras N°3	3	d [mm]	120
As3 [mm ²]	237	a [mm]	6
s3 [mm]	300	Mc3 [kN-m]	11.676
		Mc [kN-m]	15.638
Momento Resistente de la Viga			
# Barras N°4	0	d [mm]	0
As [mm ²]	0	a [mm]	0
s [mm]	-	M _b [kN-m]	0.000
Resistencia Transversal Total			
Lc1 [m]	1.947	Rw1 [kN]	289.492
Lc2 [m]	1.351	Rw2 [kN]	200.891

El chequeo de la resistencia al corte en la base de la sección se realiza de acuerdo con el numeral 5.8.4.3 del CCP-14 tal como se presenta en la Tabla 13.

Tabla 13. Verificación Resistencia al Corte.

Diseño a Cortante Barrera Vehicular			
f _c [MPa]	21	c [MPa]	0.5
F _y [MPa]	420	u	0.6
b _v [mm]	300	k1	0.2
l _v [mm]	1000	k2 [MPa]	5.5
Ac _v [mm ²]	300000	V _{ni} [kN]	271
Av _f min [mm ²]	250	V _{ni} [kN]	1260
Av _f [mm ²]	473	V _{ni} [kN]	1650
P _c [N/m]	3558	ΦV _{ni} [kN]	244

Figura 15. Despiece Baranda Vehicular.



El presente comunicado se acompaña del correspondiente plano constructivo referenciado a continuación: PL_EST_K21+900 Caisson 4m.pdf y PL_EST_K21+900 Caisson 8m.pdf

Cordialmente,


 Javier Leandro Castellanos Benítez
 Especialista Estructural