

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 11:06:49
Dirigido a: Jhon Jairo Morales Guzmán

Enviado por: Javier Leandro Castellanos Benitez
Procesado por: Javier Leandro Castellanos Benitez
Asunto: Diseño Estructural Muro K22+700. Proyecto Ataco – Planadas.

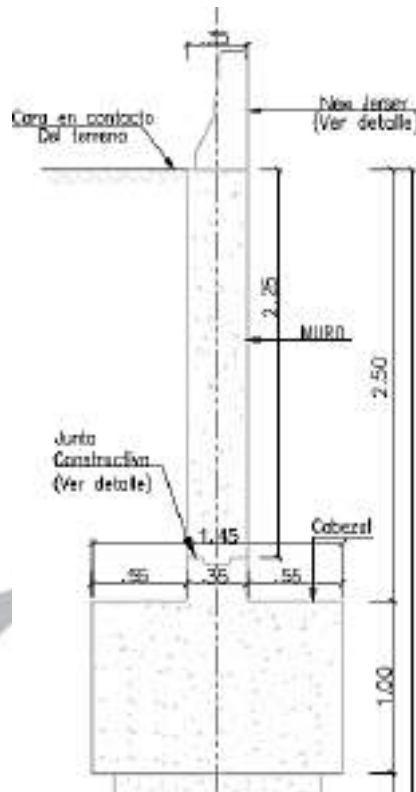
IYD001908

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

Asunto: Diseño Estructural Muro K22+700. Proyecto Ataco – Planadas.

El presente oficio corresponde al diseño estructural de las obras de confinamiento proyectadas aproximadamente en el K22+700 del contrato de obra pública No. 290 de 2021 “Mejoramiento de la Vía Ataco – Planadas en el Departamento del Tolima”. Se diseña un muro de 3.5m de altura apoyados sobre pilas a 8.0m 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 la estructura propuestas.

Figura 1. Obras de Confinamiento K22+700.



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 1.2m de diámetro.

Tabla 2. Módulo de Reacción Para Pilotes.

Profundidad del Pilote [m]		Módulo de Reacción [kN/m ³]
INICIO	FIN	
0.0	1.0	2500
1.0	2.0	5000
2.0	3.0	7500
3.0	4.0	10000
4.0	5.0	50000
5.0	6.0	60000
6.0	7.0	70000
7.0	8.0	80000
8.0	9.0	90000
9.0	10.0	100000
10.0	11.0	110000
11.0	12.0	120000
12.0	13.0	130000
13.0	14.0	140000
14.0	15.0	150000

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 2.0m bajo el nivel de la viga cabzal del muro.

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 1.17 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.

$$P_{AE} = 0.5\gamma h^2 k_{ae} = 138.004 \text{ kN/m}$$

$$P_{IR} = k_h(W_w + W_s) = 22.627 \text{ kN/m}$$

$$EQ = 50\% P_{AE} + 100\% P_{IR} = 91.629 \text{ kN/m}$$

$$EQ = 50\% P_{IR} + 100\% P_{AE} = 149.318 \text{ kN/m}$$

$$\Delta EQ = EQ - EH = 64.805 \text{ kN/m}$$

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_L (mm)	1220	1220	1220	1070	2440	2440
L_v (mm)	5500	5500	5500	5500	12.200	12.200
H_s (min.) (mm)	460	510	610	810	1070	1420
Mínima altura del riel H (mm)	685	685	685	810	1070	2290

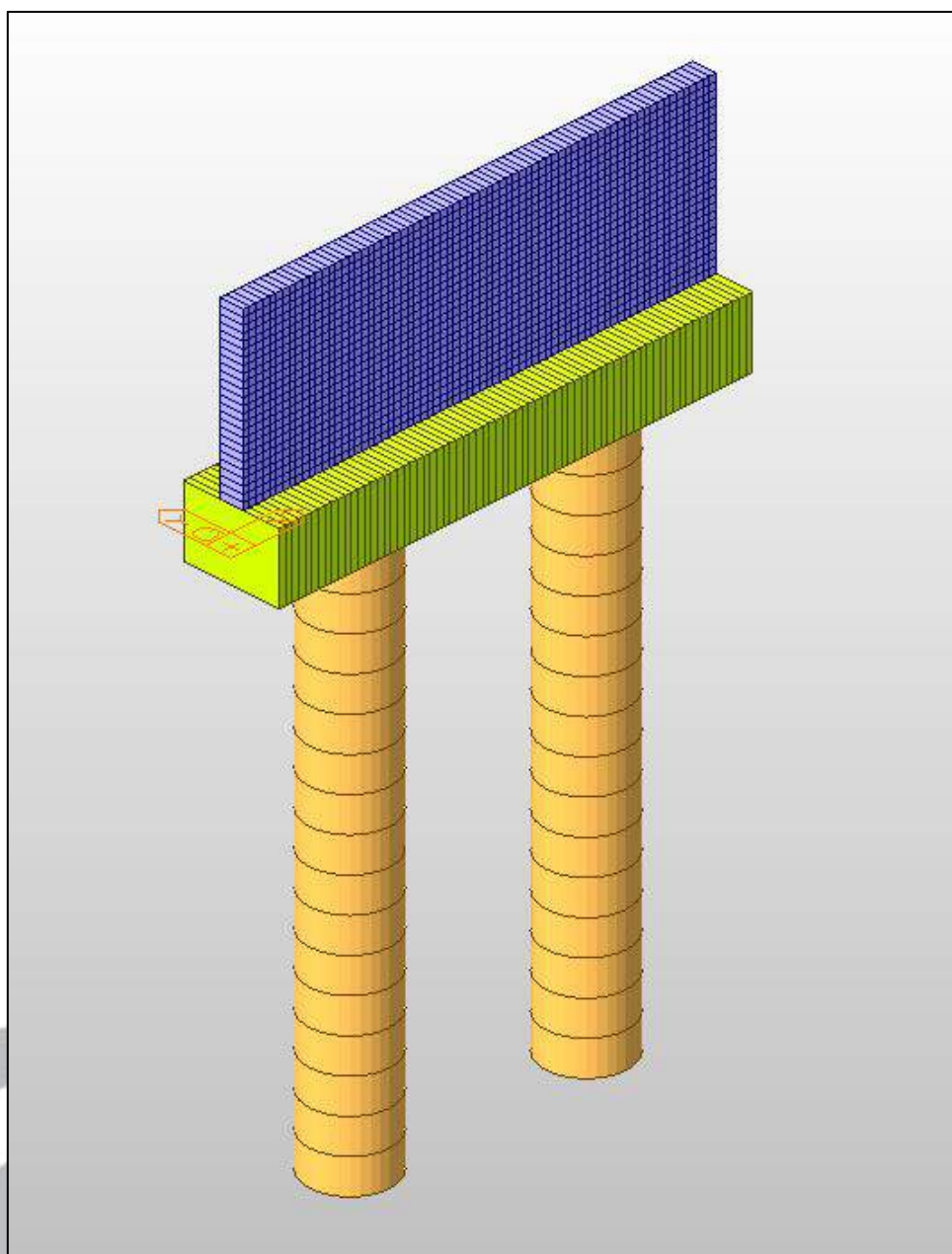
Fuente: Tabla A13.2-1 del CCP-14

3. Análisis Estructural

La estructura es modelada mediante un software de análisis y diseño estructural. Allí se ha generado un modelo en elementos finitos donde el vástago se asigna como un elemento tipo Plate y las pilas y la viga cabezal 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.

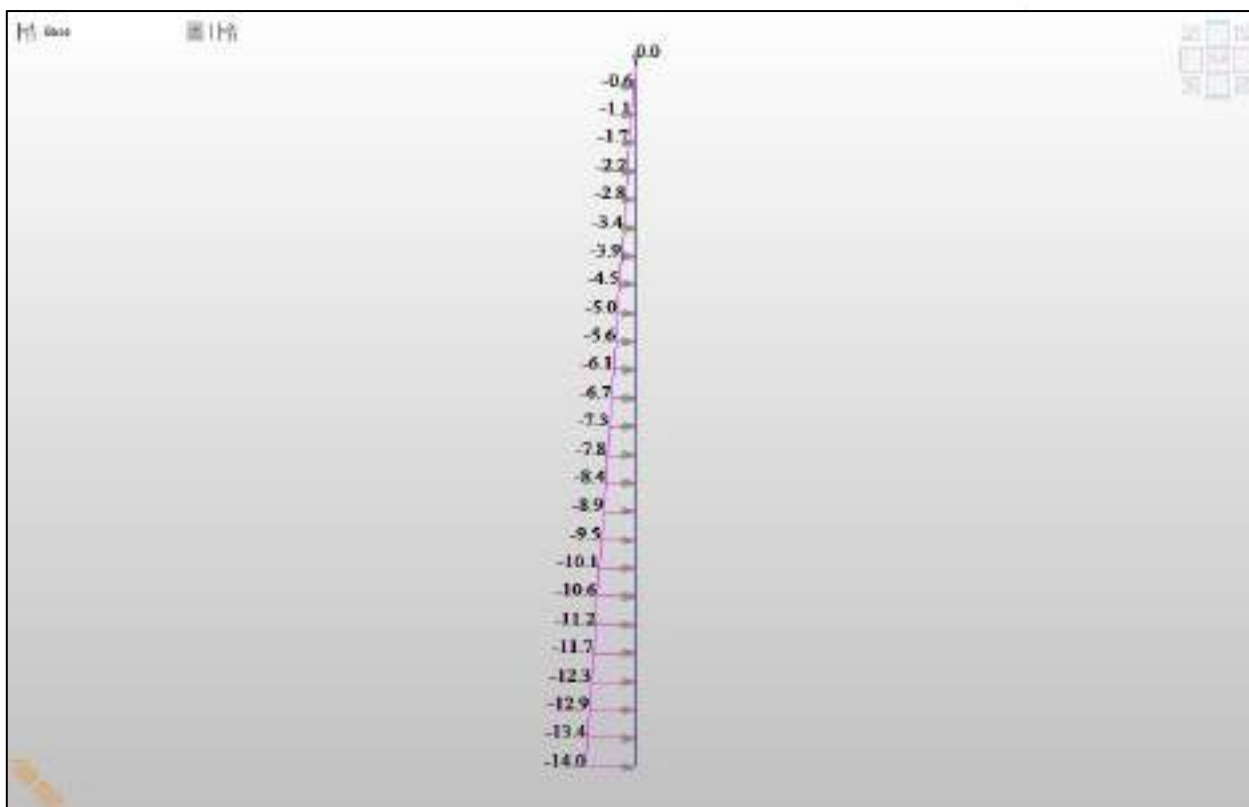
Figura 2. Modelo de Análisis.



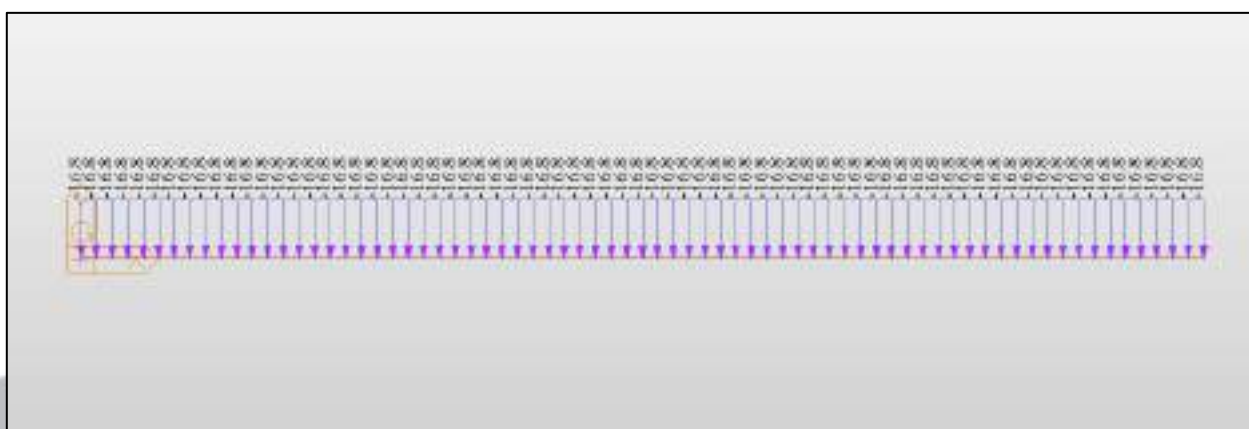
A continuación, en la Figura 3 se presentan las cargas asignadas al modelo de análisis.

Figura 3. Asignación de Cargas.

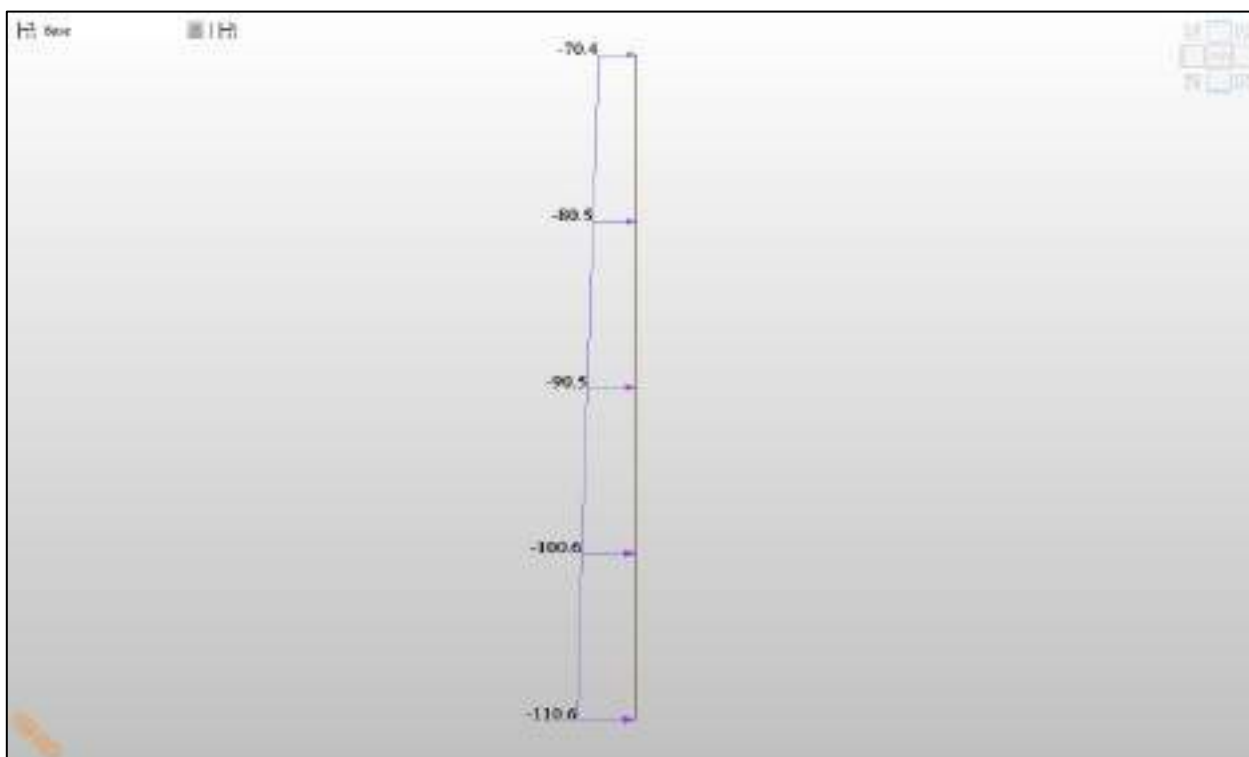
Presión Horizontal Del Suelo EH Ejercida Sobre El Vástago - kPa



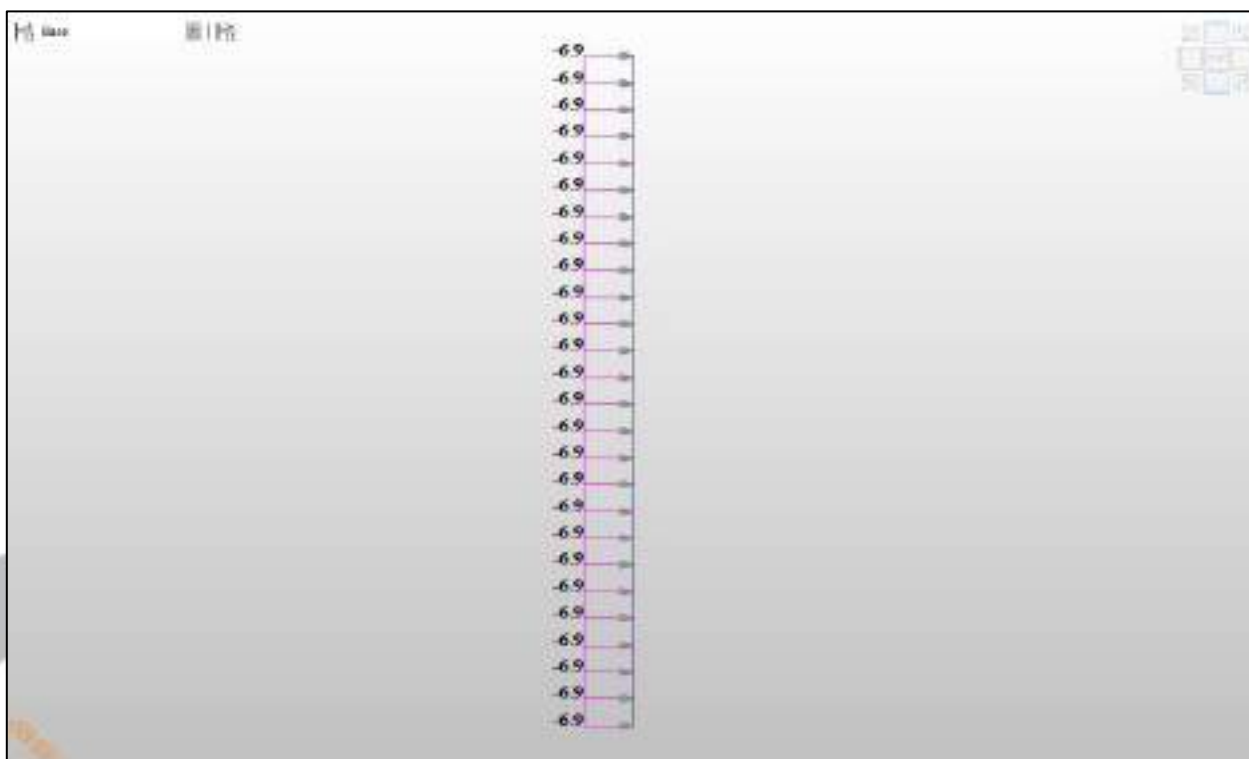
Presión Horizontal Del Suelo EH Ejercida Sobre La Viga Cabezal – kN/m



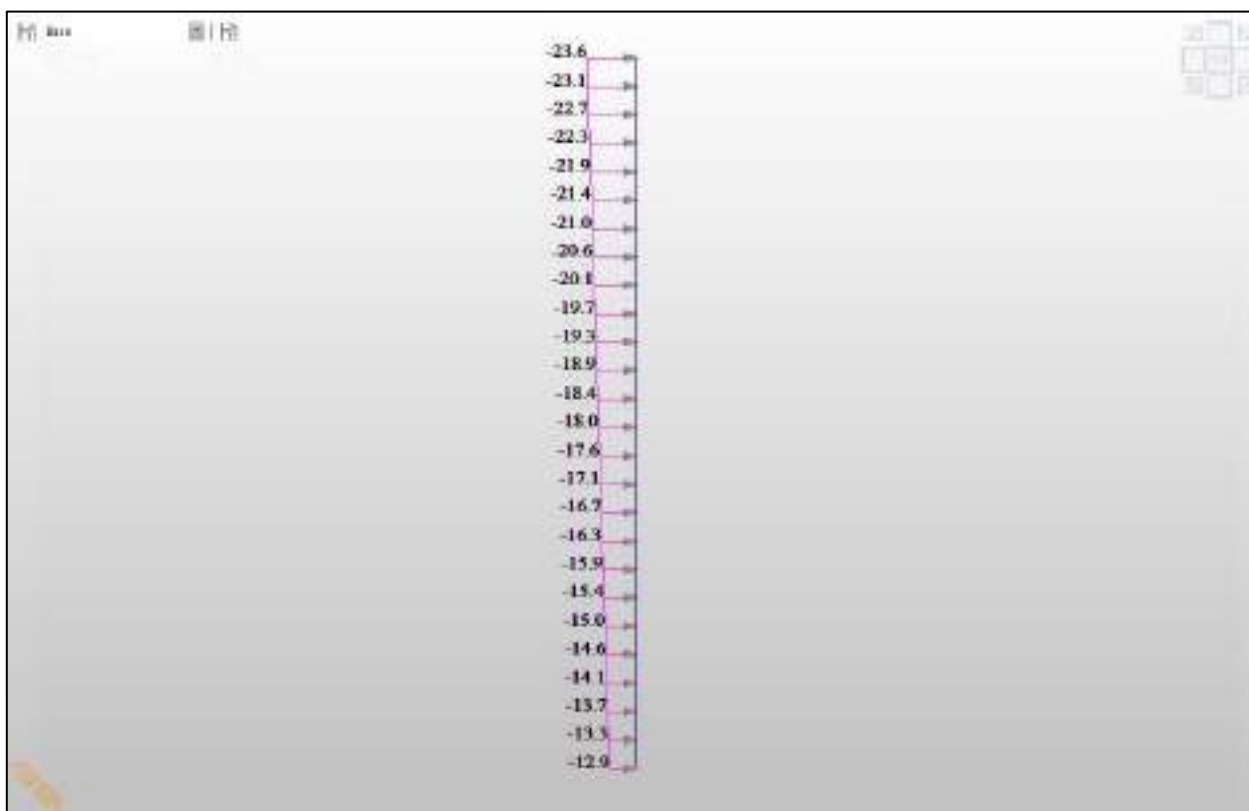
Presión Horizontal Del Suelo EH Ejercida Sobre Las Pilas – kN/m



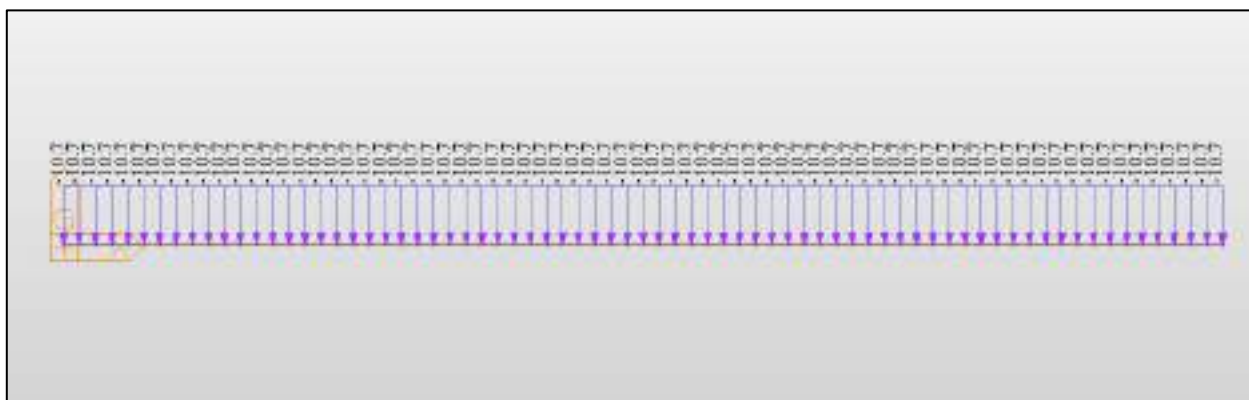
Sobre Carga Vehicular LS Ejercida Sobre el Vástago - kPa



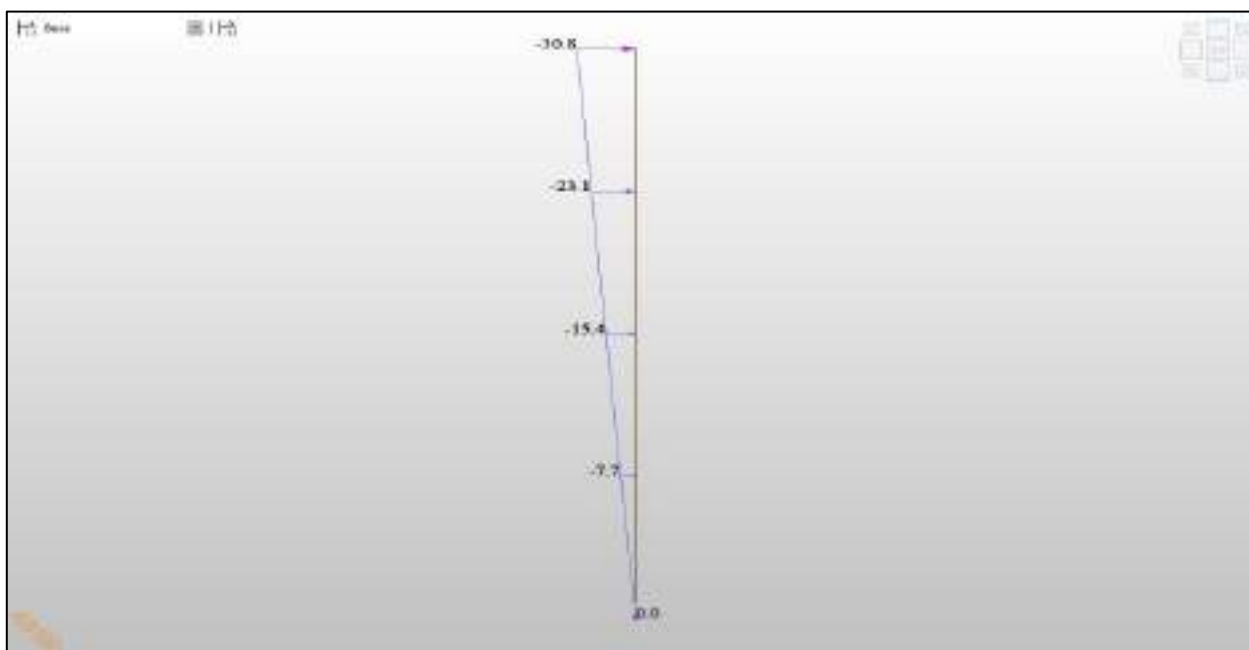
Sobre Carga Por Sismo ΔEQ Ejercida Sobre el Vástago - kPa



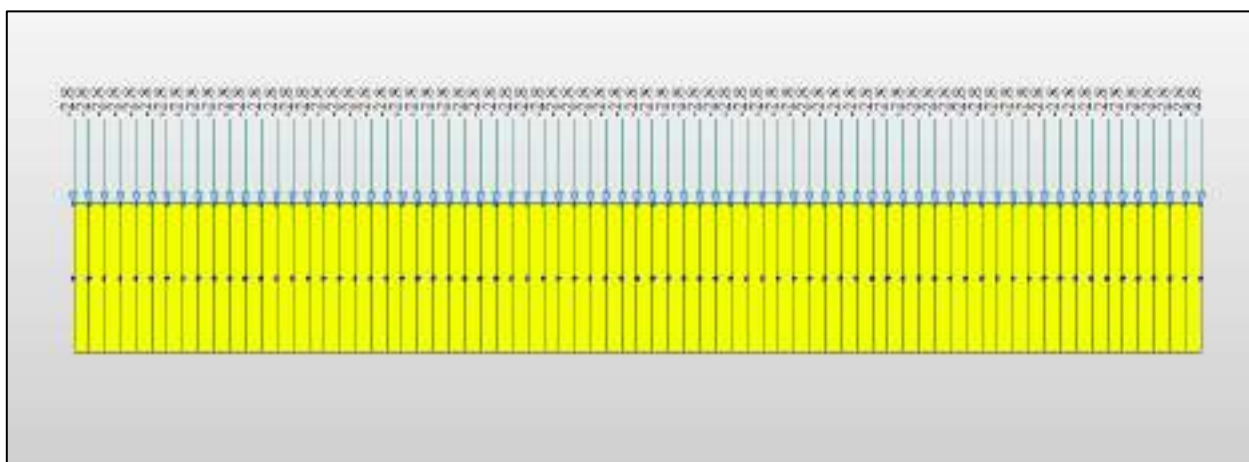
Sobre Carga Por Sismo ΔEQ Ejercida Sobre La Viga Cabezal – kN/m



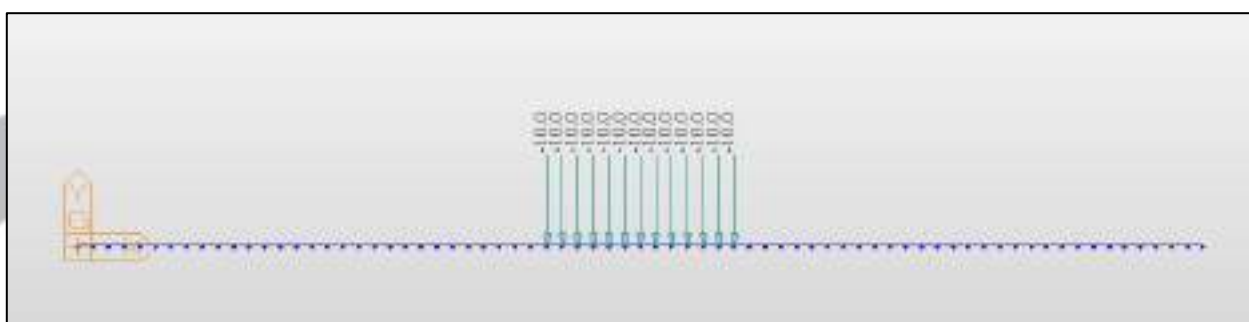
Sobre Carga Por Sismo ΔEQ Ejercida Sobre Las Pilas – kN/m



Presión Vertical Del Suelo EV Ejercida Sobre la Viga Cabezal – kN



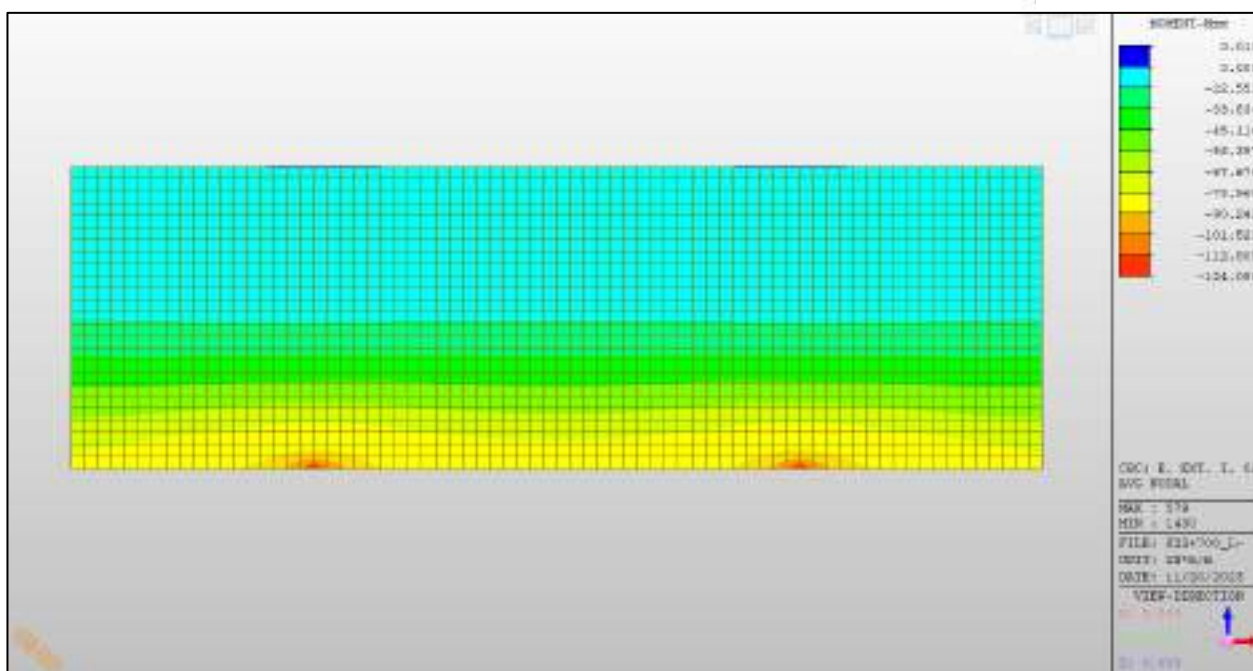
Carga de Colisión Vehicular CT Ejercida Sobre el Vástago – kN



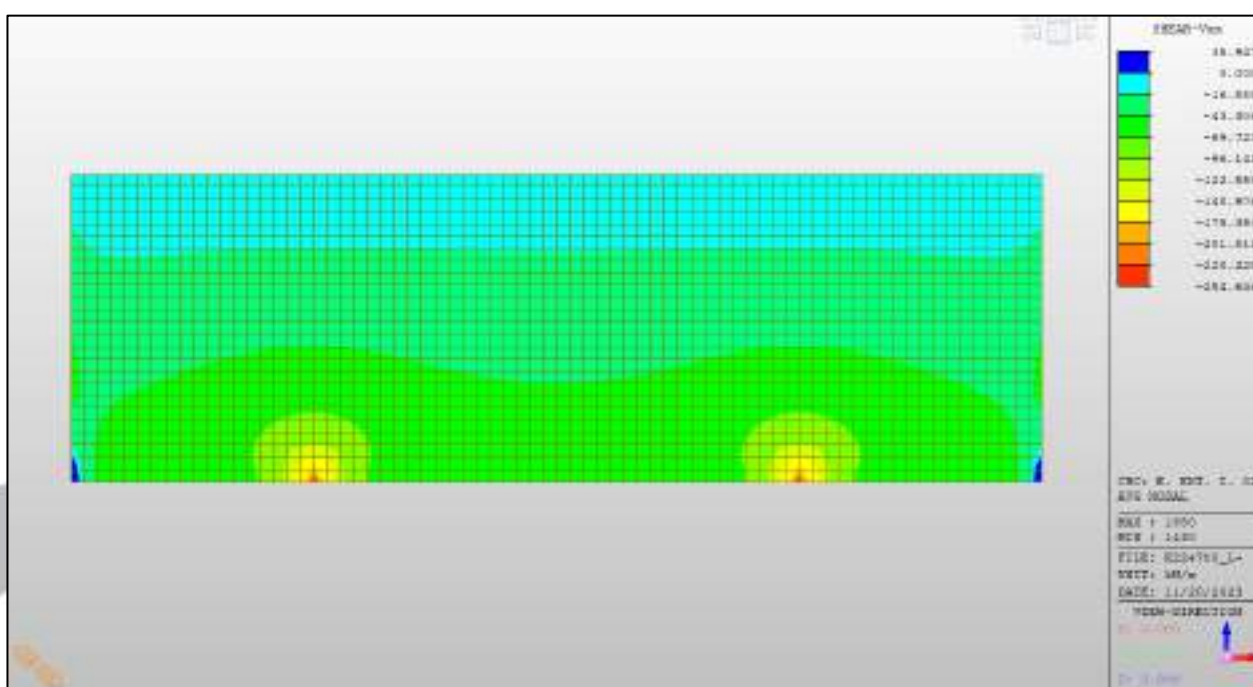
A continuación, en la Figura 4 se presentan las solicitaciones de carga que rigen el diseño de cada uno de los elementos.

Figura 4. Solicitaciones de Diseño.

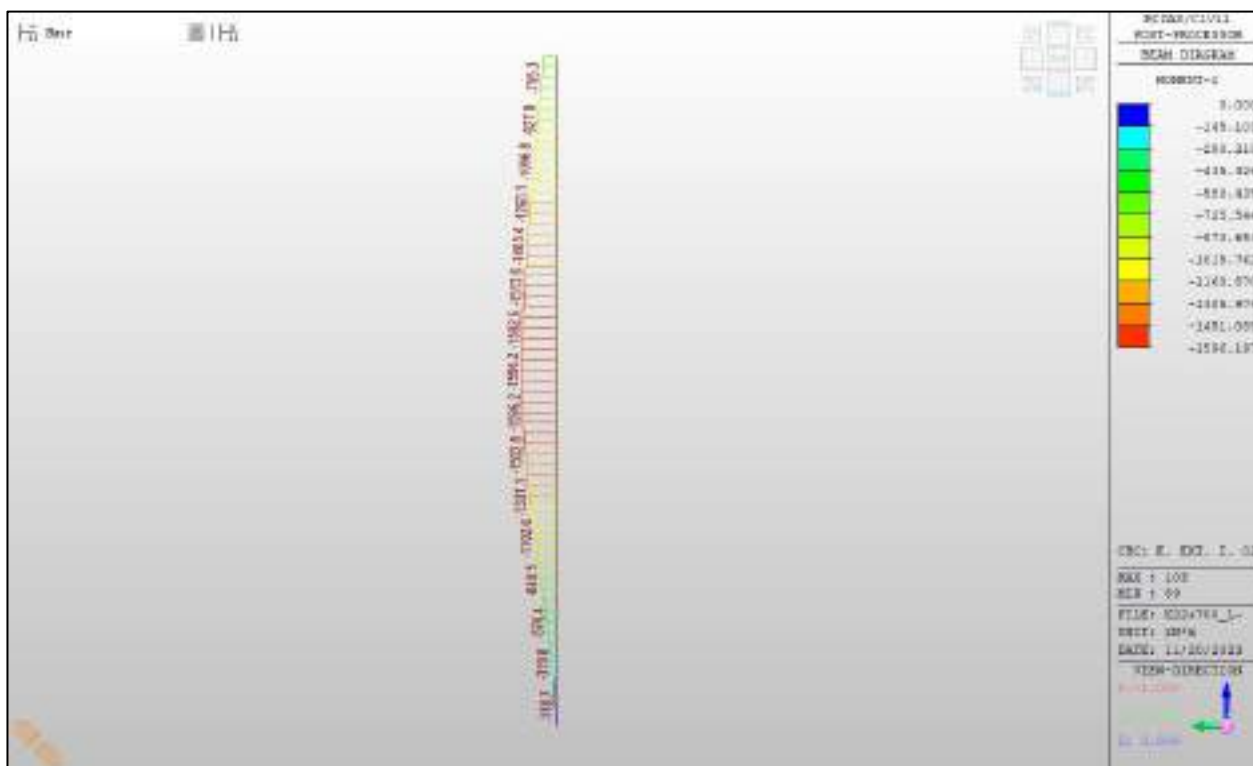
Momento Último en Vástago – E. Ext. I. – kN-m



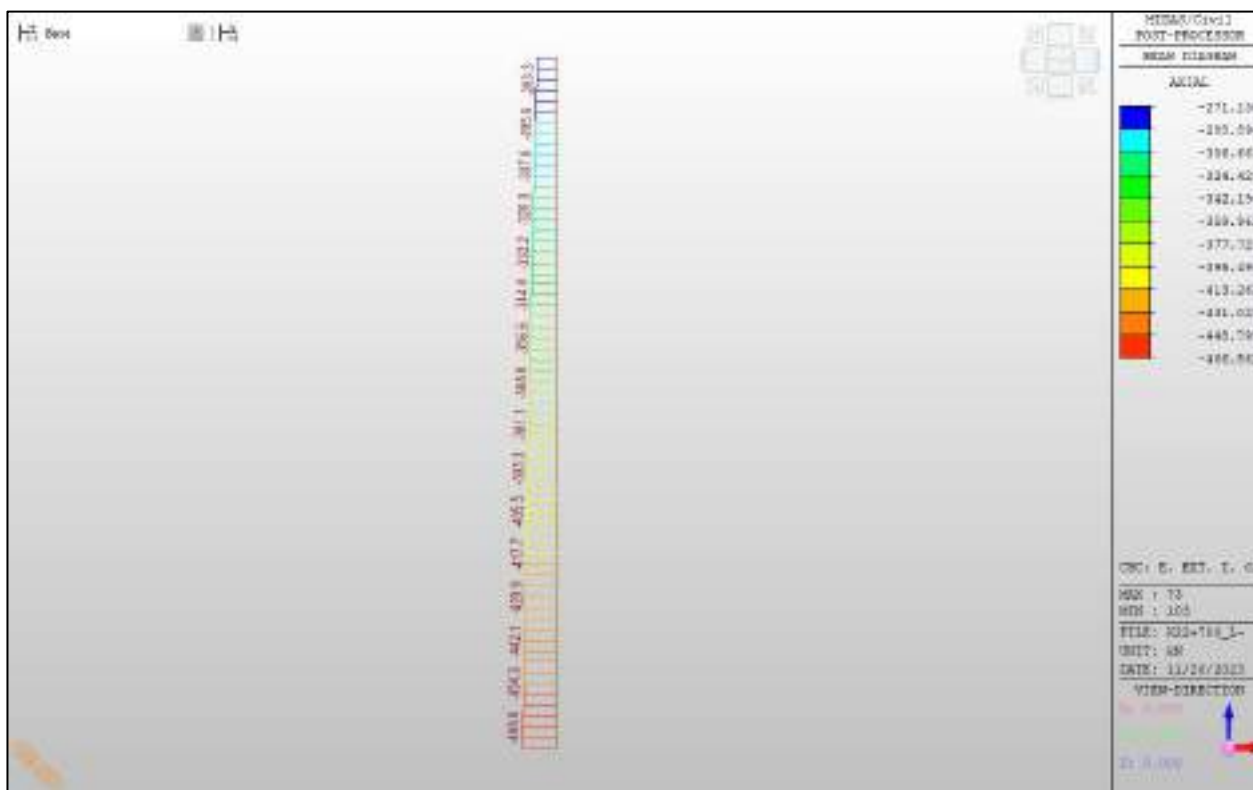
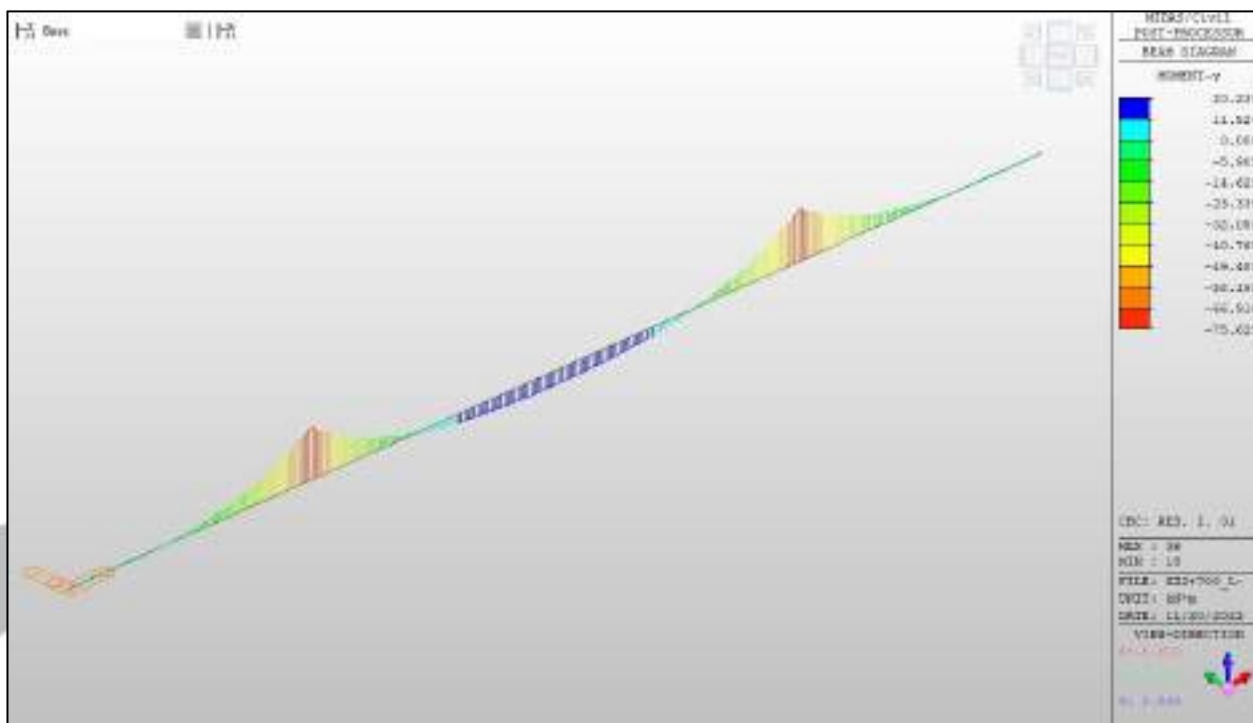
Cortante Última en Vástago – E. Ext. I. – kN



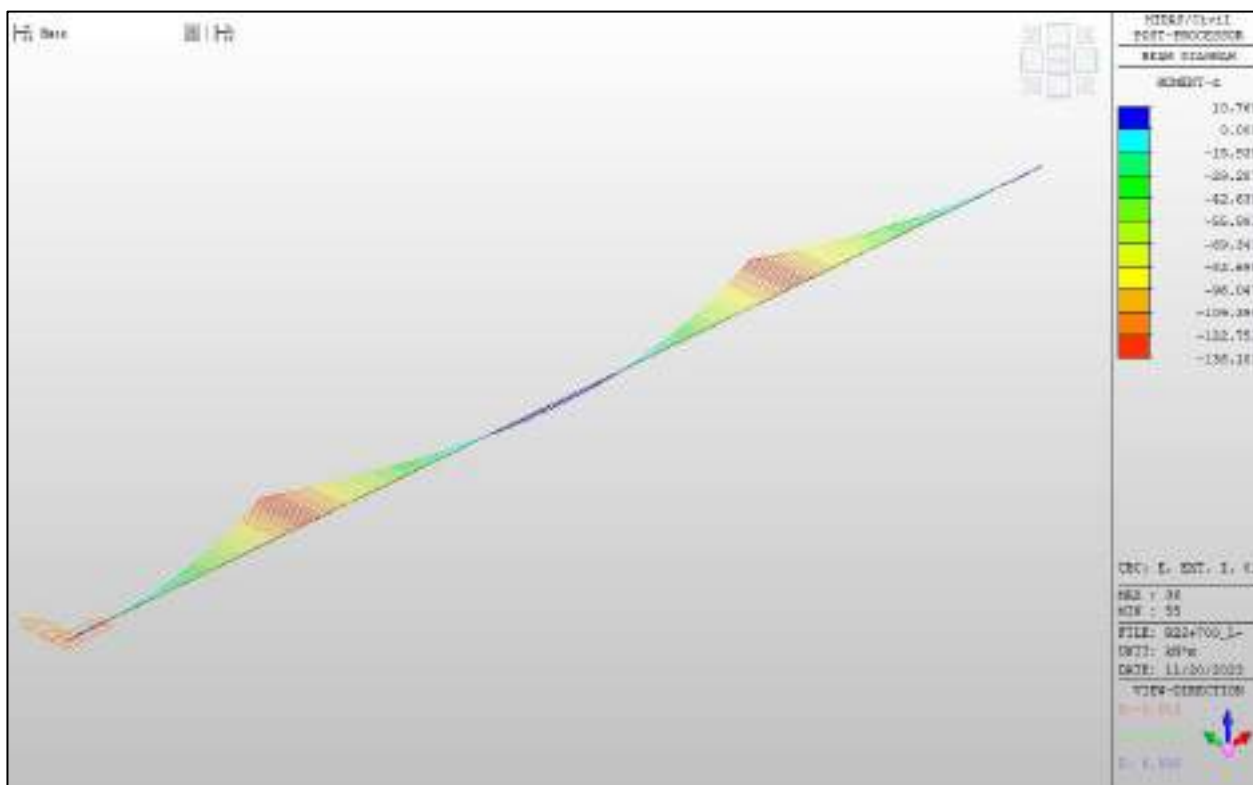
Momento Último en Pilas – E. Ext. I. – kN-m



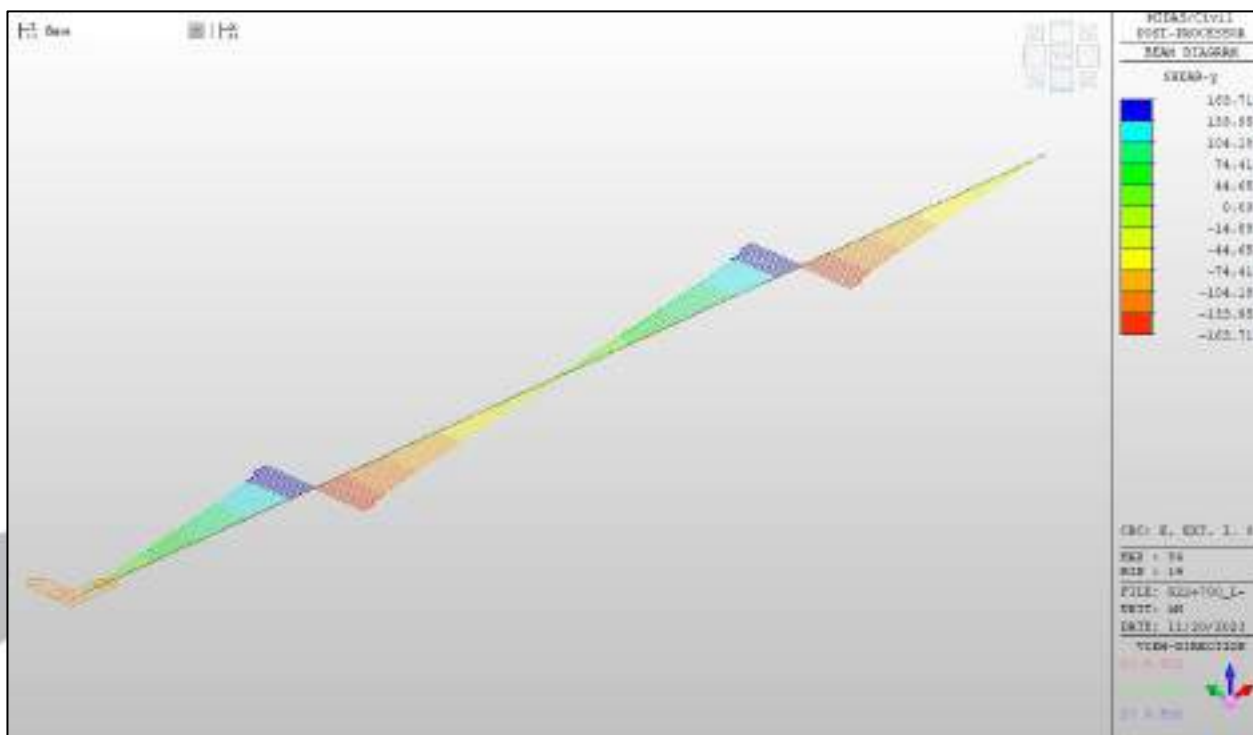
Carga Axial Última en Pilas – E. Ext. I. – kN

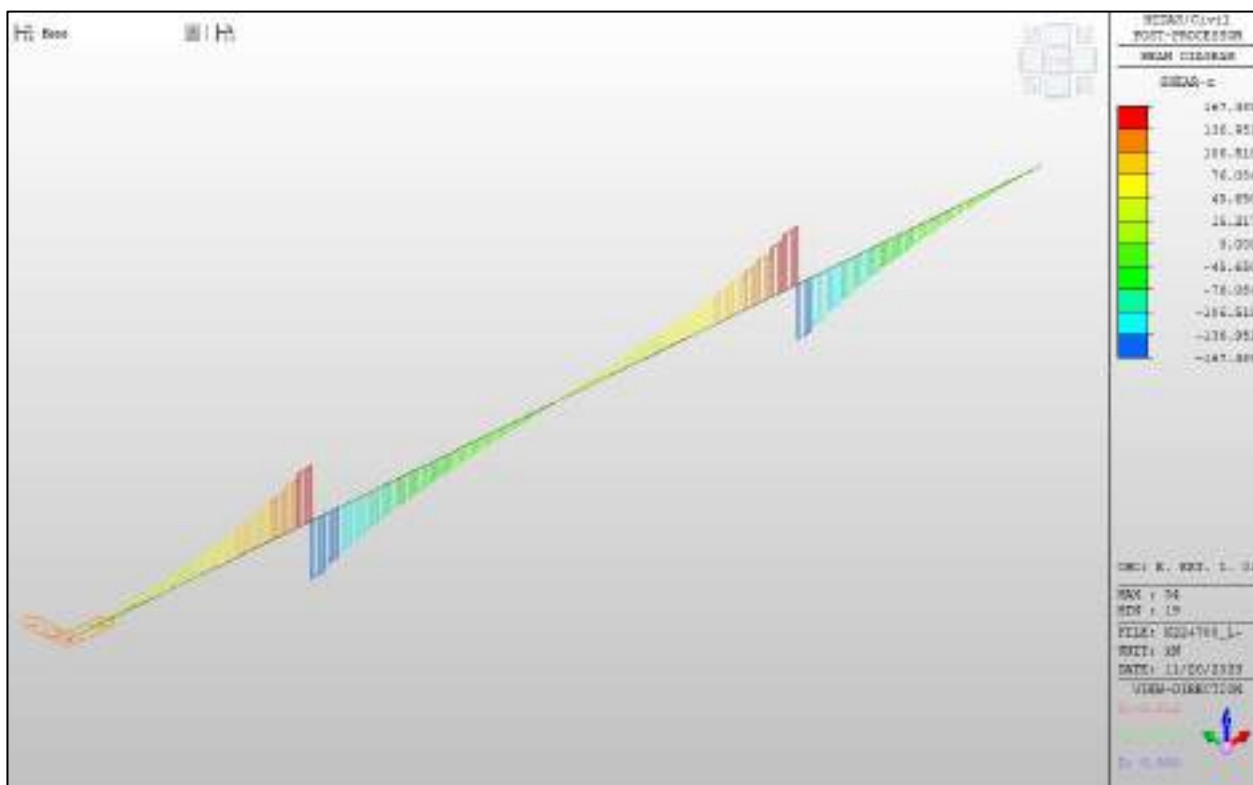
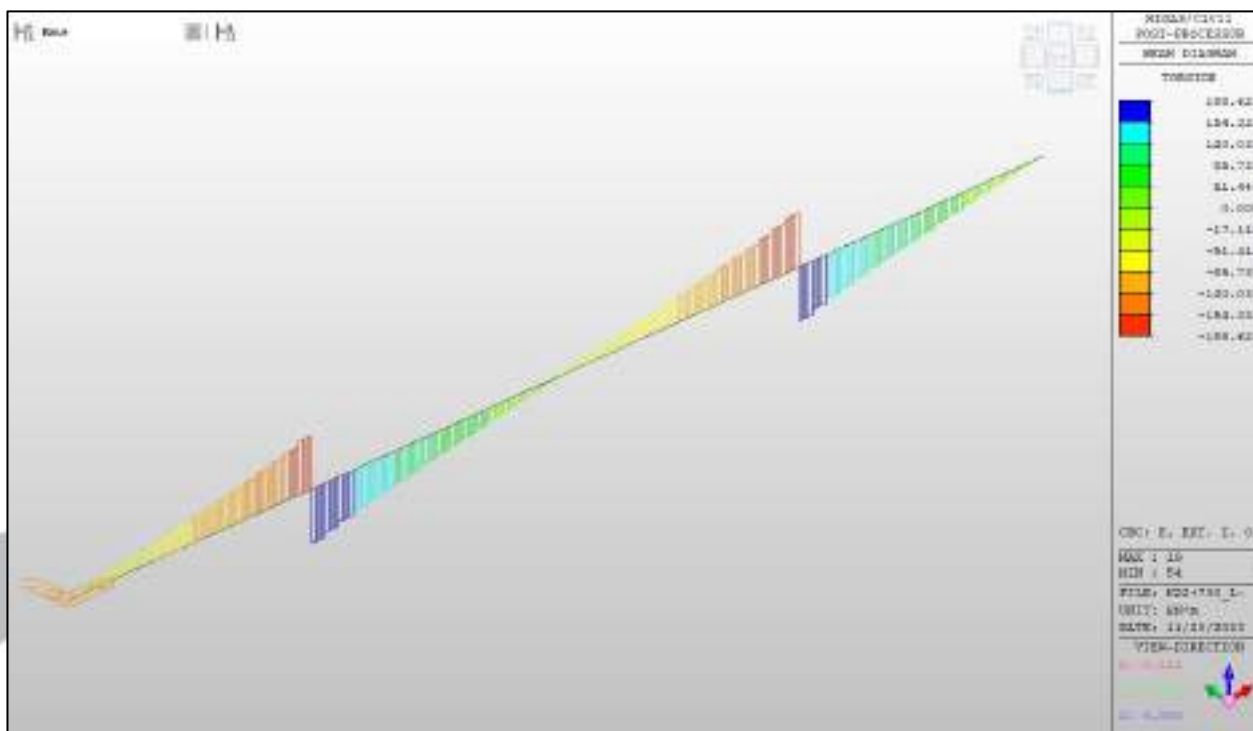
Momento Último en Viga Cabezal – Res. I. – M_y – kN-m

Momento Último en Viga Cabezal – E. Ext. I. – M_z - kN-m



Cortante Último en Viga Cabezal – E. Ext. I. – V_y - kN



Cortante Último en Viga Cabezal – E. Ext. I. – V_z - kN-mTorsión Última en Viga Cabezal – E. Ext. I. – M_x – kN-m

4. Diseño Estructural

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. Viga Cabezal

Para el diseño de la viga cabezal, se considera un recubrimiento de 75 mm en todas las caras. Como refuerzo a flexión se instalan barras N°4 @ 20 cm. Para atender las solicitaciones por cortante, sobre el eje vertical se instalan estribos de cuatro ramales N°4 @ 30 cm y, en el eje horizontal se adicionan dos ganchos de barras N°3 @ 30cm. En la Tabla 6 se presenta el diseño de la viga cabezal.

Tabla 6. Diseño a Momento y Cortante Viga Cabezal.

Diseño Viga Cabezal							
Momento resistente B=1.45m H=1.0m				Resistencia al Corte B=1.45m H=1.0m			
Mu [kN-m]	69	cuantía Req.	0.00020	Vu [kN]	167	Tu [kN-m]	188
b [m]	1.45	As req [mm2]	528	Φ	0.9	Tcr [kN-m]	745
h [m]	1.00	# Barras N°4	7	Investigar Torsión			
d' [m]	0.09	As Ins. [mm2]	903	A0 [m2]	0.87	dv [m]	0.90
d [m]	0.91	cuantía inst.	0.00069	Ph [m]	4.15	wu [kPa]	371
Φ	0.9	s [mm]	207	Vu [kN]	436	S_max [mm]	600
fc [MPa]	28	a [m]	0.0110	εs	0.0048	Nu [kN]	0
fy [MPa]	420	c [m]	0.0129	θ [°]	46	Vc [kN]	595
Mcr [kN-m]	798	es	0.2072	β	1.04	Requiere Av de Refuerzo	
Ru [kPa]	85.680	ΦMr [kN-m]	307	ag [mm]	25		
cuantía max.	0.02833			Sxe [mm]	48	s [mm]	300
Espaciamiento máximo (CCP-14 5.7.3.4)				# Barras N°4	4	Av min [mm2]	455
Bs	1.15	fss [Mpa]	280	Vs [kN]	630	Av Inst. [mm2]	516
Gamma e	1	S_max [mm]	194			ΦV [kN]	1103
Momento resistente B=1.0m H=1.45m				Resistencia al Corte B=1.0m H=1.45m			
Mu [kN-m]	136	cuantía Req.	0.00026	Vu [kN]	163	Tu [kN-m]	188
b [m]	1.00	As req [mm2]	528	Φ	0.9	Tcr [kN-m]	745
h [m]	1.45	# Barras N°4	5	Investigar Torsión			
d' [m]	0.08	As Ins. [mm2]	645	A0 [m2]	0.92	dv [m]	1.36
d [m]	1.37	cuantía inst.	0.00047	Ph [m]	4.25	wu [kPa]	346
Φ	0.9	s [mm]	200	Vu [kN]	425	S_max [mm]	600
fc [MPa]	28	a [m]	0.0114	εs	0.0060	Nu [kN]	0
fy [MPa]	420	c [m]	0.0134	θ [°]	50	Vc [kN]	522
Mcr [kN-m]	1157	es	0.3036	β	0.87	Requiere Av de Refuerzo	
Ru [kPa]	107.291	ΦMr [kN-m]	332	ag [mm]	25		
cuantía max.	0.02833			Sxe [mm]	73	s [mm]	300
Espaciamiento máximo (CCP-14 5.7.3.4)				Barras N°4 y N°3	2	Av min [mm2]	314
Bs	1.08	fss [Mpa]	280	Vs [kN]	640	Av Inst. [mm2]	400
Gamma e	1	S_max [mm]	242			ΦV [kN]	1047

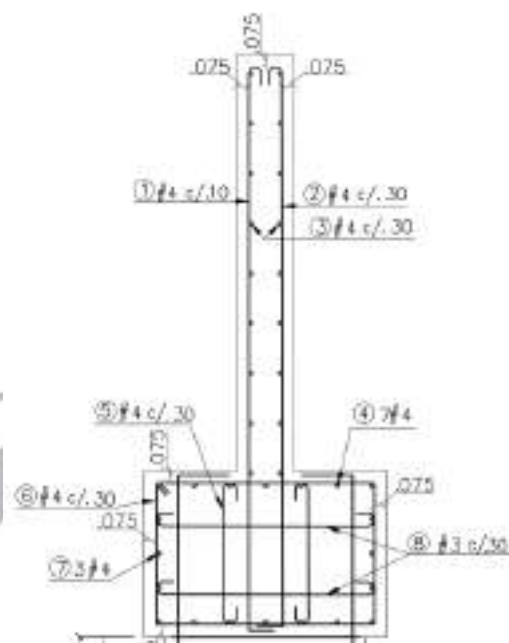
4.1.2. Vástago

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. 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]	124	cuantía Req.	0.00474	Mu [kN-m]	-	cuantía Req.	0.00180
b [m]	1	As req [mm ²]	1274	b [m]	1	As req [mm ²]	264
h [m]	0.35	# Barras N°4	10	h [m]	0.35	# Barras N°4	3
d' [m]	0.08	As Ins. [mm ²]	1290	d' [m]	0.06	As Ins. [mm ²]	387
d [m]	0.27	cuantía inst.	0.00480	d [m]	0.29	cuantía inst.	0.00264
Φ	0.9	s [mm]	100	Φ	0.9	s [mm]	333
fc [MPa]	28	a [m]	0.0228	fc [MPa]	28	a [m]	0.0068
fy [MPa]	420	c [m]	0.0268	fy [MPa]	420	c [m]	0.0080
Mcr [kN-m]	67	es	0.0271	Mcr [kN-m]	-	es	0.1066
Ru [kPa]	1908.998	ΦMr [kN-m]	125	Ru [kPa]	-	ΦMr [kN-m]	42
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	1.43	fss [Mpa]	280	Bs	1.27	fss [Mpa]	280
Gamma e	1	S_max [mm]	144	Gamma e	1	S_max [mm]	-
Resistencia al Corte				Resistencia al Corte			
Vu [kN]	142	Vc [kN]	236	Vu [kN]	142	Vc [kN]	258
φ	0.9	φVc [kN]	212	φ	0.9	φVc [kN]	232

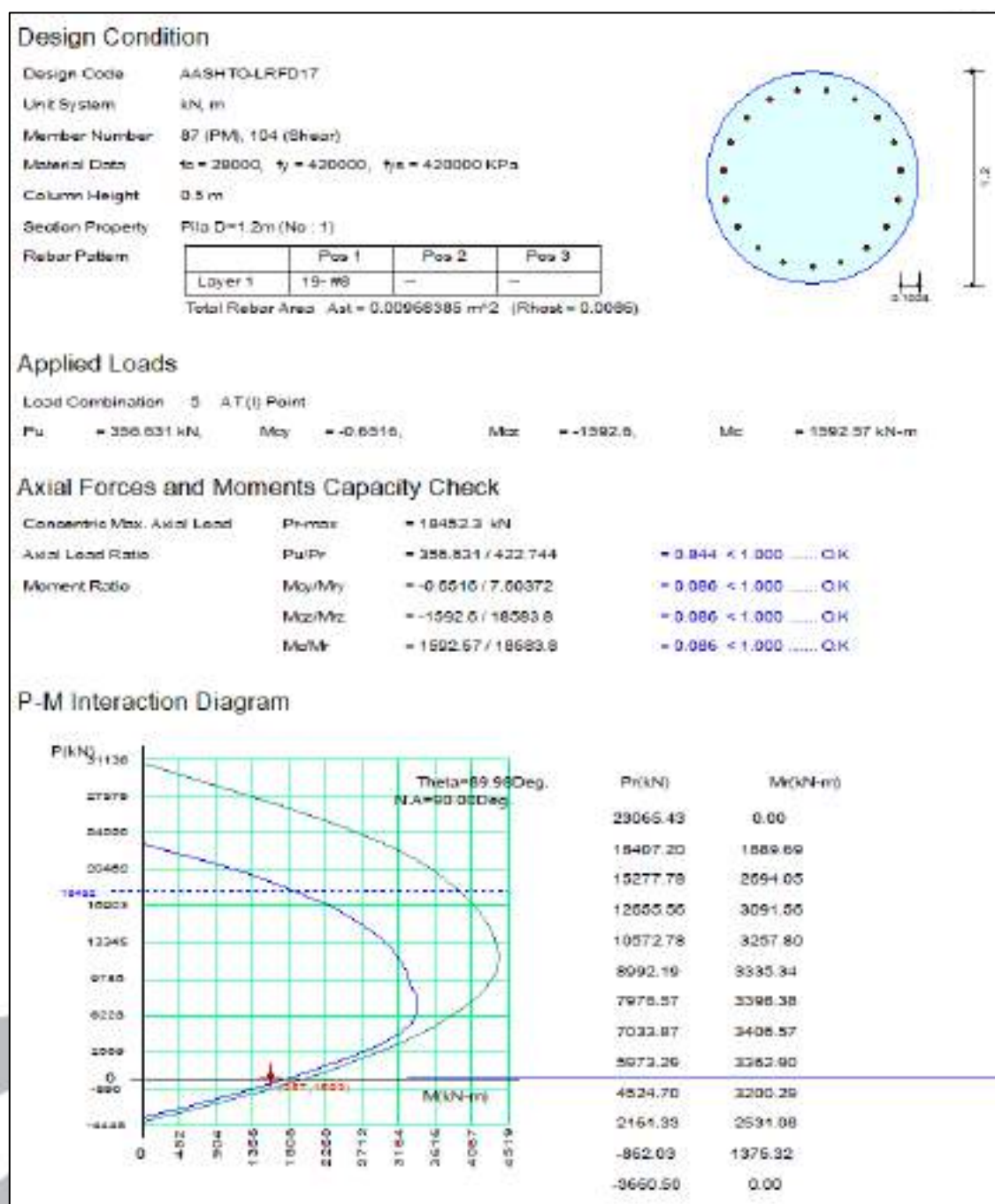
Figura 5. Despiece Vástago y Viga Cabezal.



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 19 N°8 es suficiente para atender las solicitaciones de carga axial y momento a las que se encuentran sometidas las pilas. En la Figura 6 se presenta el diagrama de interacción obtenido.

Figura 6. Verificación Flexo - Compresión Pilas.

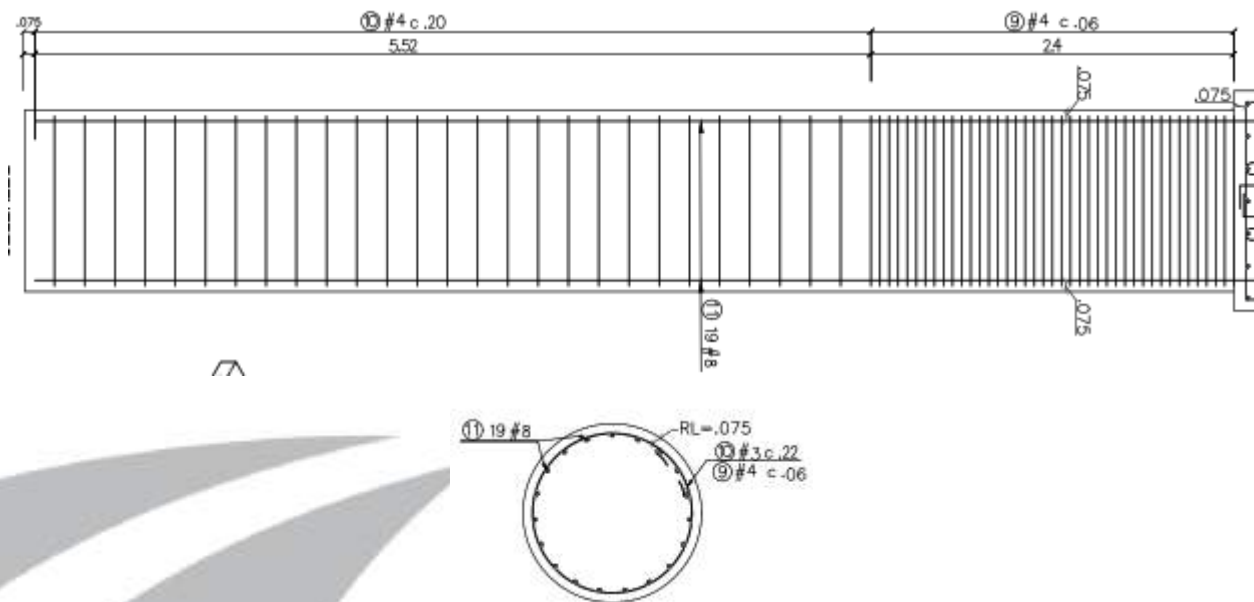


Tras definir el diámetro y cantidad de barras de refuerzo a flexo compresión, se procedió a revisar las solicitaciones a cortante y chequear las cuantías volumétricas tal como exige la normatividad vigente. La zona confinada de los pilotes es igual a 2.4 m. La zona confinada será reforzada mediante estribos N°4 @ 60 mm; mientras que la zona no confinada será reforzada mediante estribos N°4 @ 200 mm. En la Tabla 8 se presenta la revisión de la resistencia al corte de las pilas. En la Figura 7 se presenta el despiece de los elementos diseñados.

Tabla 8. Resistencia al Corte en Pilas.

Zona Confinada				Zona No Confinada			
f_c [MPa]	28	A_v min [mm ²]	75	f_c [MPa]	28	A_v min [mm ²]	251
f_y [MPa]	420	A_v [mm ²]	258	f_y [MPa]	420	A_v [mm ²]	258
E_s [MPa]	200000	A_s [mm ²]	9690	E_s [MPa]	200000	A_s [mm ²]	9690
ϕ	0.9	e_s	0.00059	ϕ	0.9	e_s	0.00070
r [mm]	75	θ	31.1	r [mm]	75	θ	31.5
V_u [MN]	0.371	β	3.32	V_u [MN]	0.540	β	3.15
M_u [kN-m]	755	V_c [MN]	1.447	M_u [kN-m]	850	V_c [MN]	1.370
N_u [MN]	-0.271	V_s [MN]	2.476	N_u [MN]	-0.420	V_s [MN]	0.732
D_{-bv} [mm]	1200	V_p [MN]	0.000	D_{-bv} [mm]	1200	V_p [MN]	0.000
db_v [mm]	12.7	V_n [MN]	3.923	db_v [mm]	12.7	V_n [MN]	2.102
db_l [mm]	25.4	ϕV_n [MN]	3.531	db_l [mm]	25.4	ϕV_n [MN]	1.892
D_r [mm]	999	D_c [mm]	1050	D_r [mm]	999	D_c [mm]	1050
d_e [mm]	918	A_g [mm ²]	1130973	d_e [mm]	918	A_g [mm ²]	1130973
d_v [mm]	826	A_c [mm ²]	865901	d_v [mm]	826	A_c [mm ²]	865901
w_u [MPa]	0.416	Cuantía min 1	0.0061	w_u [MPa]	0.605	Cuantía min 1	-
S_{max} [mm]	600	Cuantía min 2	0.0080	S_{max} [mm]	600	Cuantía min 2	-
S [mm]	60	Cuantía vol	0.0081	S [mm]	200	Cuantía vol	0.0024

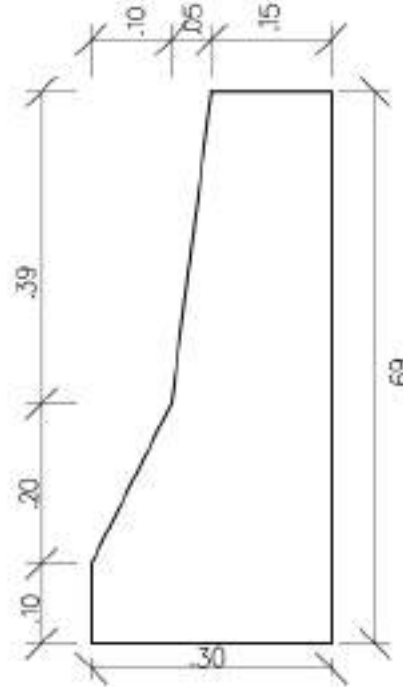
Figura 7. Despiece Pilas.



4.2. Baranda Vehicular

Se propone una baranda vehicular en concreto tipo New Jersey con las dimensiones indicadas en la Figura 8.

Figura 8. 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 9 se presenta la verificación de la resistencia R_w de la baranda vehicular.

Tabla 9. Verificación Resistencia R_w Baranda Vehicular.

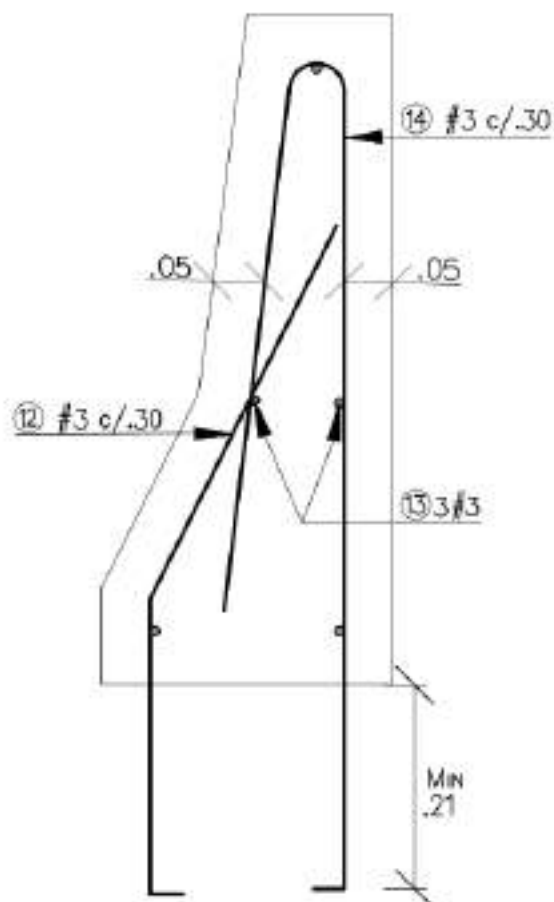
Resistencia Nominal R_w Barrera en Concreto			
Geometría Barrera y Materiales			
h1 [mm]	390	b1 [mm]	150
h2 [mm]	200	b2 [mm]	200
h3 [mm]	100	b1 [mm]	300
Area [mm ²]	148250	f _c [MPa]	21
e _{prom} [mm]	215	F _y [MPa]	420
r [mm]	50	Φ	1
Momento Resistente Respecto al Eje Vertical			
# Barras N°3	3	d [mm]	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 10.

Tabla 10. 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
A _{cv} [mm ²]	300000	V _{ni} [kN]	271
A _v min [mm ²]	250	V _{ni} [kN]	1260
A _v [mm ²]	473	V _{ni} [kN]	1650
P _c [N/m]	3558	ΦV _{ni} [kN]	244

Figura 9. Despiece Baranda Vehicular.



El presente comunicado se acompaña del correspondiente plano constructivo referenciado a continuación: PL_EST_K22+700.pdf

Cordialmente,


Javier Leandro Castellanos Benítez
Especialista Estructural