



MEMORIA DE CÁLCULO PARA EL DISEÑO DEL SITIO CRÍTICO K28+900 TALUD INTERNO

MEMORIA DE CÁLCULO- VERSIÓN 1

CONTRATO DE OBRA -2096-2022



INVIA
INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS

MAYO DE 2022

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	6
2	LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	6
3	DOCUMENTOS DE REFERENCIA	8
3.1	Regulaciones locales e internacionales	8
3.2	Informe geotécnico	8
4	UNIDADES DE MEDIDA	8
5	MATERIALES	8
6	PARÁMETROS GEOTÉCNICOS	9
6.1	Parámetros muro en cantiléver	9
6.2	Capacidad portante caisson tramo K29+750 y K29+780	10
6.3	Capacidad portante caisson tramo K29+780 y K29+840	14
7	DESCRIPCIÓN	17
8	MÉTODO DE DISEÑO	19
9	COMBINACIONES DE CARGA	20
10	EVALUACIÓN DE CARGAS	22
10.1	Empuje estático – muro (EH)	22
10.2	Empuje dinámico – muro (EQ)	23
10.3	Análisis sísmico	24
11	ENTRADA DE DATOS AL PROGRAMA	26
11.1	Modelo matemático	26
11.2	Definición del material	27
11.3	Definición de secciones	28
11.3.1	Caisson D=1.20m	28
11.3.2	Viga de cimentación	29
11.3.3	Módulo de reacción horizontal kh y restricciones	30
11.4	Asignación de cargas	32
11.4.1	Empuje estático EH	32
11.4.2	Empuje dinámico EQ	33
11.4.3	Espectro	34
12	DATOS DE SALIDA	35
12.1.1	Caissons L=20m k29+750-k29+780	35
12.1.2	Caissons L=10m k29+780-k29+840	47

12.1.3	Viga de cimentación k29+750-k29+780	59
12.1.4	Viga de cimentación k29+780-k29+840	62
13	DISEÑO ELEMENTOS	65
13.1.1	Caissons L=20m k29+750-k29+780	65
13.1.2	Caissons L=10m k29+780-k29+840	76
13.1.3	Viga cabezal	87

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Imagen 1. Castilla – Coyaima - Ataco	6
Ilustración 1 Parámetros sísmicos.....	9
Ilustración 2 Parámetros de diseño muros	9
Ilustración 3 Capacidad de carga vertical Estado límite de Resistencia.	10
Ilustración 4 Capacidad de carga vertical Estado límite de Evento Extremo.	11
Ilustración 5 Capacidad de carga lateral.	12
Ilustración 6 Resistencia a la tracción.	12
Ilustración 7 Valores resorte horizontal (Kh).	13
Ilustración 8 Valores resorte vertical (Kv).	13
Ilustración 9 Capacidad de carga vertical Estado límite de Resistencia.	14
Ilustración 10 Capacidad de carga vertical Estado límite de Evento Extremo.....	15
Ilustración 11 Capacidad de carga lateral.....	15
Ilustración 12 Resistencia a la tracción.	16
Ilustración 13 Valores resorte horizontal (Kh).	16
Ilustración 14 Valores resorte vertical (Kv).	17
Ilustración 15 Módulo del muro PR 28+900.....	17
Ilustración 16 Sección transversal muro PR 28+900	18
Ilustración 17 Cargas.....	21
Ilustración 18 Factores de carga permanentes.....	21
Ilustración 19 Esquema asignación de carga estática	22
Ilustración 20 Esquema asignación de carga dinámica	23
Ilustración 21 Modelo matemático 3D	26
Ilustración 22 Definición del material.....	27
Ilustración 23 Definición de caisson	28
Ilustración 24 Definición de viga de cimentación	29
Ilustración 25 Restricciones y resortes k29+750-k29+780 (kN/m).....	30
Ilustración 26 Restricciones y resortes k29+780-k29+840 (kN/m).....	31
Ilustración 27 Empuje estático en muro – EH – kN/m ²	32
Ilustración 28 Empuje dinámico en muro – EQ – kN/m ²	33
Ilustración 29 Espectro	34
Ilustración 30 Índices de esfuerzos caissons.pilotes 20m	65
Ilustración 31 Curva interacción 0° pilotes 20m.....	66
Ilustración 32 Curva interacción 90° pilotes 20m.....	66
Ilustración 33 Índices de esfuerzos caissons.pilotes 10m	76
Ilustración 34 Curva interacción 0° pilotes 10m.....	77
Ilustración 35 Curva interacción 90° pilotes 10m.....	77
Tabla 1 Valores capacidad de carga vertical Estado límite de Resistencia.....	10
Tabla 2 Valores capacidad de carga vertical Estado límite de Evento Extremo.	11
Tabla 3 Valores capacidad de carga lateral.	11
Tabla 4 Valores resistencia a la tracción.	12
Tabla 5 Valores capacidad de carga vertical Estado límite de Resistencia.....	14

Tabla 6 Valores capacidad de carga vertical Estado límite de Evento Extremo.	14
Tabla 7 Valores capacidad de carga lateral.	15
Tabla 8 Valores resistencia a la tracción.	16
Tabla 9 Combinaciones de carga	20
Tabla 10 Empuje estático – viga de cimentación	22
Tabla 11 Empuje dinámico – viga de cimentación	23
Tabla 12 Parámetros sísmicos CC-14	24
Tabla 13 Solicitaciones en caisson pilotes 20m	68
Tabla 14 Revisión capacidad portante pilotes 20m	74
Tabla 15 Valores capacidad de carga lateral.	75
Tabla 16 Solicitaciones en caisson pilotes 10m	79
Tabla 17 Revisión capacidad portante pilotes 10m	85
Tabla 18 Valores capacidad de carga lateral.	86

1 INTRODUCCIÓN

La vía que conecta los municipios de Ataco y Planadas hace parte de la red vial secundaria del departamento del Tolima, la cual requiere mejoramiento, rehabilitación, la adecuación de su sección transversal junto con la intervención en zonas de inestabilidad geotécnica, para garantizar la normal operación en el corredor. Estas últimas han sido motivo de re nivelaciones y pérdidas de banca parcial o total, que a la fecha las dejan en condiciones de vulnerabilidad, que compromete la seguridad de los usuarios y obligan a proveer una solución. Por tal razón La Gobernación del Tolima y El Instituto Nacional de Vías INVIAS delegó al CONSORCIO VÍAS Y EQUIPOS TOLIMA SUR 2023 mediante el contrato No. 2096 de 2022 “El Mejoramiento de la vía Ataco – Planadas en el departamento del Tolima”. Que a cargo de su departamento técnico realizó la inspección de la información existente, verificación de las condiciones de capacidad, deformabilidad y estabilidad al momento de ejecución del contrato.

Los estudios y diseños mostrados en el presente documento contemplan análisis geotécnicos basados en el plan de exploración del subsuelo, información secundaria, visita diagnóstica y levantamiento topográfico, evaluación de la condición de capacidad deformabilidad y estabilidad, proponiendo finalmente el sistema de cimentación más favorable en razón a las condiciones de terreno y proceso constructivo.

2 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El objeto del presente estudio se localiza en el departamento del Tolima, específicamente en la vía que conecta a los municipios de Planadas – Ataco (ver **Imagen 1**), a la que se puede acceder desde el interior del país a través de la ruta 40, por el segmento Bogotá - Ibagué, desviando a la altura del municipio de Espinal, este último en dirección sur en ruta 45 con rumbo al municipio de Natagaima, y derivando al occidente a la altura del Corregimiento de Castilla en busca de los municipios de Coyaima y ataco respectivamente.

Imagen 1. Castilla – Coyaima - Ataco



Fuente: Instituto Nacional de Vías (INVIAS)

En el sector objeto de estudio se encuentra localizado en la abscisa K28+900, de la vía ataco – Planadas:



Fotografías 1, 2 y 3. Panorama general del sector inestable K28+900

Fuente: Diseños Geotécnicos S.A.S

3 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

3.1 REGULACIONES LOCALES E INTERNACIONALES

- ✓ Norma Colombiana de diseño sísmico de puentes – CCP-14.
- ✓ Standard Specifications For Highway Bridges. AASHTO.

3.2 INFORME GEOTÉCNICO

Memorando técnico JPV-187-1337D-22, denominado “Remisión de resultados para el diseño de las estructuras de contención que se proyectan en el sector inestable localizado entre las abscisas K29+750 y K29+840 de la vía Ataco – Planadas en el departamento del Tolima.”, con fecha abril de 2022.

4 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	kgf
✓ 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
✓		

5 MATERIALES

El diseño se efectuó utilizando los siguientes materiales:

Concreto	$f_c = 28 \text{ MPa}$ (280 kgf/cm ²)	:	Viga cabzal y caissons.
Concreto	$f_c = 21 \text{ MPa}$ (210 kgf/cm ²)	:	Pared caisson
Refuerzo	$f_y = 420 \text{ MPa}$ (4200 kgf/cm ²)	:	NTC 2289 Todo el acero de refuerzo.

6 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS

La información mínima suministrada por el estudio geotécnico denominado “Memorando técnico JPV-187-1337D-22” incluye:

6.1 PARÁMETROS MURO EN CANTILÉVER

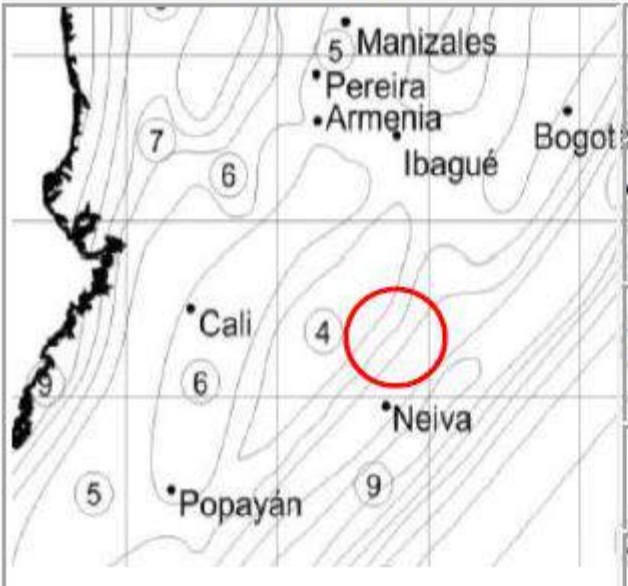
UBICACION	PARAMETRO	VALOR
	Coeficiente de aceleración pico Horizontal del terreno PGA (Región 5)	0,25
	Coeficiente de aceleración espectral horizontal periodo corto Ss	0,50
	Coeficiente de aceleración espectral horizontal periodo largo S1	0,25
	Valor del factor de sitio Fpga	1,3
	Perfil suelo de Cimentación	D

Ilustración 1 Parámetros sísmicos

Fuente: Informe “Memorando técnico JPV-187-1337D-22”.

- Aceleración A_a : 0,25
- Peso unitario del material de relleno: 2,0 t/m³
- Angulo de fricción interna: 30°
- Coeficiente de presión activa (K_a): 0,333
- Coeficiente de presión activa en condición dinámica, según planteamiento de Mononobe Okabe: 0,5082 (0,25g)
- Sobrecarga tránsito vehicular: 1,50 t/m²

Ilustración 2 Parámetros de diseño muros

Fuente: Informe “Memorando técnico JPV-187-1337D-22”.

6.2 CAPACIDAD PORTANTE CAISSON TRAMO K29+750 Y K29+780

Diam (m)	Carga de trabajo (ton)				
	Longitud (m)				
	16	17	18	19	20
1,20	892,14	925,830	959,524	993,218	1026,912
1,3	1047,021	1086,565	1126,11	1165,652	1205,20
1,4	1214,297	1260,158	1306,019	1351,880	1397,741
1,5	1393,96	1446,610	1499,26	1551,903	1604,550
1,6	1586,021	1645,921	1705,821	1765,721	1825,621

Tabla 1 Valores capacidad de carga vertical Estado límite de Resistencia.
Fuente: Informe “Memorando técnico JPV-187-1337D-22”.

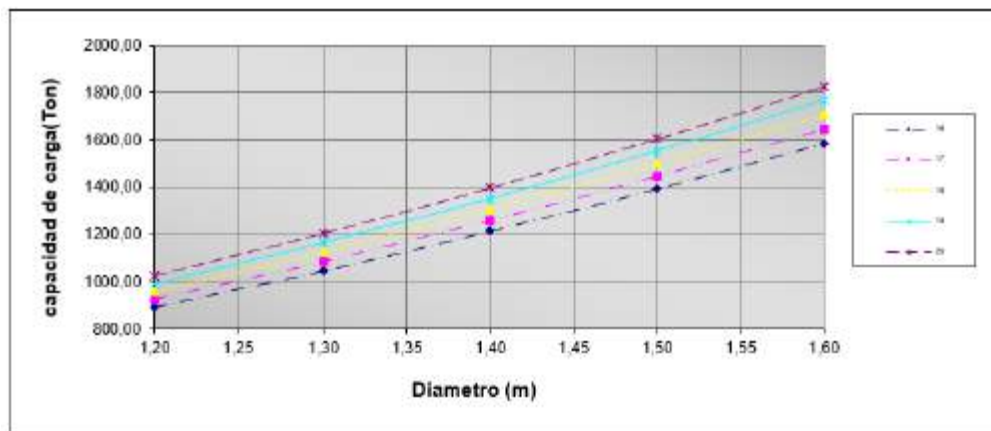


Ilustración 3 Capacidad de carga vertical Estado límite de Resistencia.
Fuente: Informe “Memorando técnico JPV-187-1337D-22”.

Diam (m)	Carga de trabajo (ton)				
	Longitud (m)				
	16	17	18	19	20
1,20	2676,41	2777,491	2878,573	2979,654	3080,736
1,3	3141,064	3259,695	3378,32	3496,955	3615,59
1,4	3642,891	3780,474	3918,057	4055,640	4193,223
1,5	4181,89	4339,830	4497,77	4655,710	4813,649
1,6	4758,062	4937,762	5117,463	5297,163	5476,863

Tabla 2 Valores capacidad de carga vertical Estado límite de Evento Extremo.
Fuente: Informe "Memorando técnico JPV-187-1337D-22".

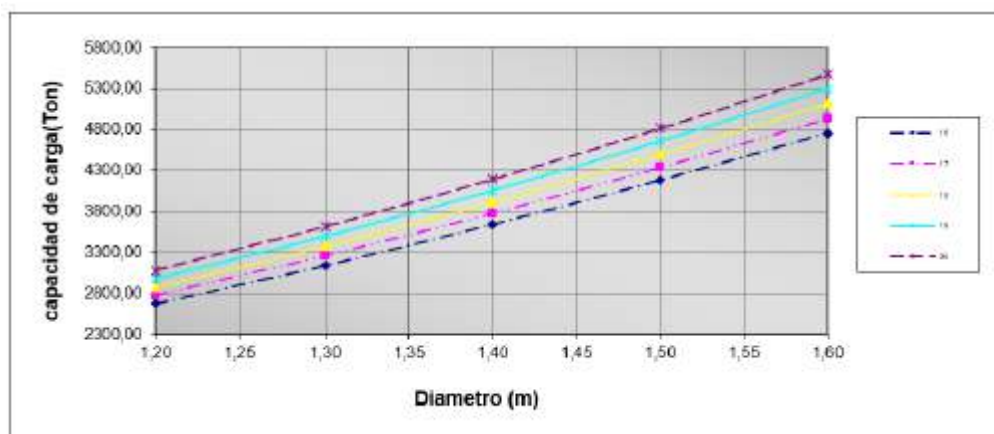


Ilustración 4 Capacidad de carga vertical Estado límite de Evento Extremo.
Fuente: Informe "Memorando técnico JPV-187-1337D-22".

Diam (m)	Longitud (m)				
	16	17	18	19	20
1,2	702,31	795,74	892,09	989,91	1088
1,3	760,84	862,05	966,44	1073,98	1183
1,4	819,36	928,37	1040,78	1156,60	1276
1,5	877,89	994,68	1115,12	1239,21	1367
1,7	936,41	1060,99	1189,46	1321,82	1458

Tabla 3 Valores capacidad de carga lateral.
Fuente: Informe "Memorando técnico JPV-187-1337D-22".

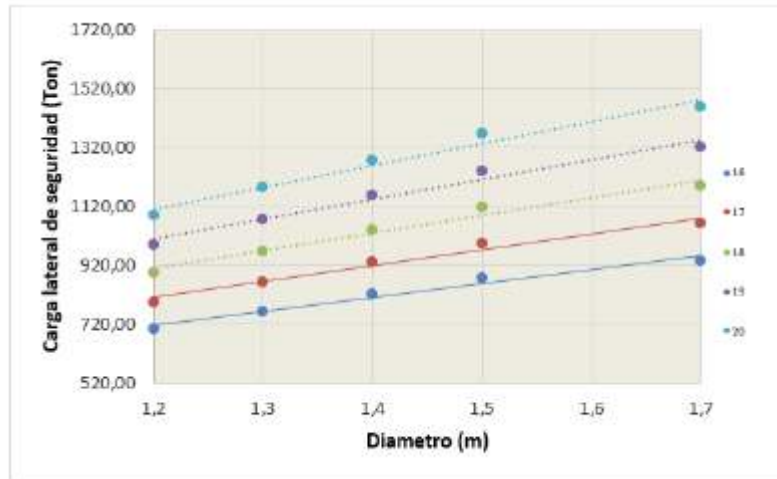


Ilustración 5 Capacidad de carga lateral.
Fuente: Informe “Memorando técnico JPV-187-1337D-22”.

Diam (m)	Longitud (m)				
	16	17	18	19	20
1,2	275,05	299,50	324,65	350,14	375,64
1,3	301,89	328,62	356,11	384,35	412,97
1,4	329,33	358,39	388,25	418,93	450,42
1,5	357,38	388,79	421,08	454,23	488,25
1,6	386,03	419,84	454,58	490,24	526,83

Tabla 4 Valores resistencia a la tracción.
Fuente: Informe “Memorando técnico JPV-187-1337D-22”.

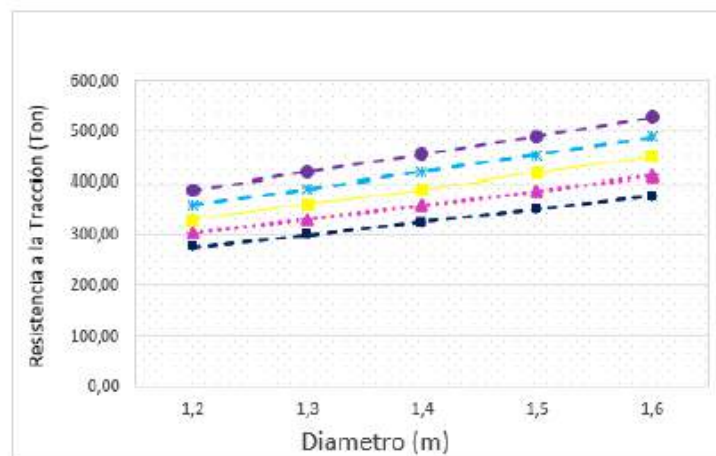


Ilustración 6 Resistencia a la tracción.
Fuente: Informe “Memorando técnico JPV-187-1337D-22”.

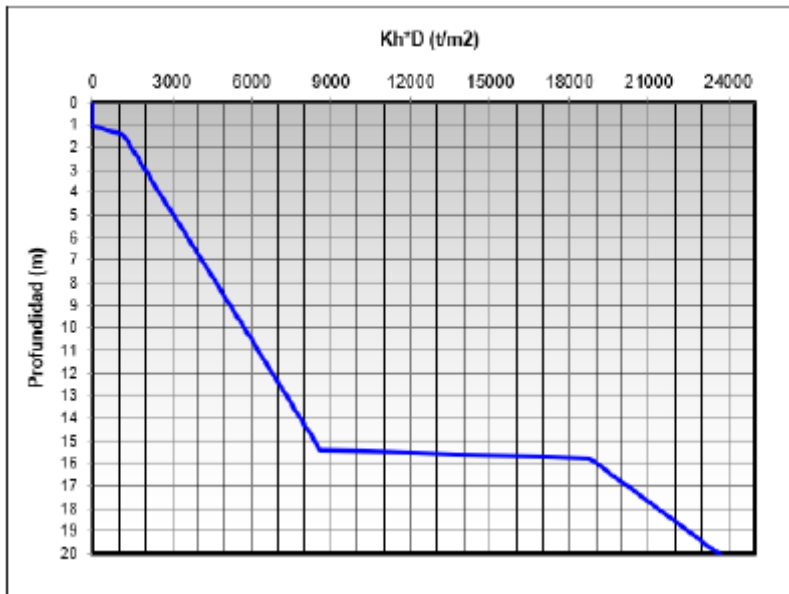


Ilustración 7 Valores resorte horizontal (K_h).

Fuente: Informe "Memorando técnico JPV-187-1337D-22".

Coefficiente de reacción vertical (K_v)

En caso de emplear un solo resorte en la base de los caisson el valor correspondiente será de 20494,89 ton/m, si es de preferencia del Ingeniero Estructural utilizar los resortes repartidos cada metro a lo largo del fuste el valor de dicho resorte será de 836,44ton/m³.

Ilustración 8 Valores resorte vertical (K_v).

Fuente: Informe "Memorando técnico JPV-187-1337D-22".

6.3 CAPACIDAD PORTANTE CAISSON TRAMO K29+780 Y K29+840

Diam (m)	Carga de trabajo (ton)				
	Longitud (m)				
	6	7	8	9	10
1,20	627,86	661,549	695,243	728,937	762,631
1,3	736,858	776,402	815,95	855,489	895,03
1,4	854,581	900,442	946,303	992,164	1038,025
1,5	981,02	1033,671	1086,32	1138,964	1191,611
1,6	1116,188	1176,088	1235,988	1295,868	1355,788

Tabla 5 Valores capacidad de carga vertical Estado límite de Resistencia.
Fuente: Informe "Memorando técnico JPV-187-1337D-22".

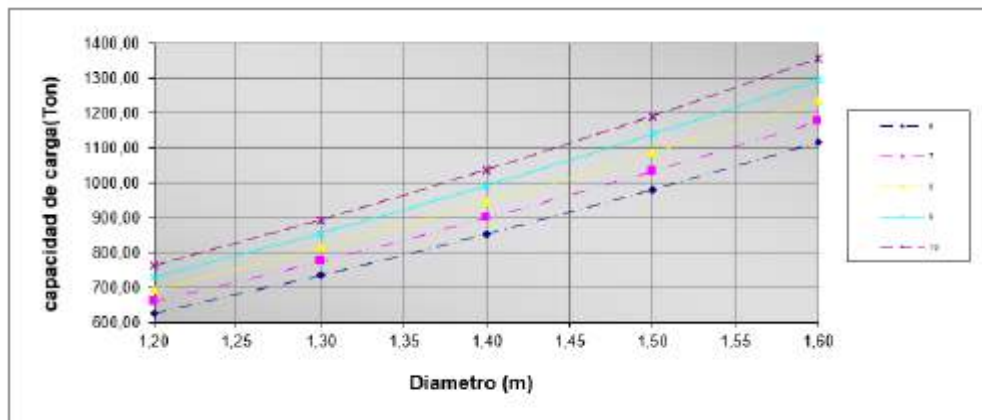


Ilustración 9 Capacidad de carga vertical Estado límite de Resistencia.
Fuente: Informe "Memorando técnico JPV-187-1337D-22".

Diam (m)	Carga de trabajo (ton)				
	Longitud (m)				
	6	7	8	9	10
1,20	1883,57	1984,648	2085,730	2186,811	2287,893
1,3	2210,575	2329,205	2447,84	2566,466	2685,10
1,4	2563,744	2701,327	2838,910	2976,493	3114,076
1,5	2943,07	3101,013	3258,95	3416,892	3574,832
1,6	3348,563	3528,264	3707,964	3887,664	4067,365

Tabla 6 Valores capacidad de carga vertical Estado límite de Evento Extremo.
Fuente: Informe "Memorando técnico JPV-187-1337D-22".

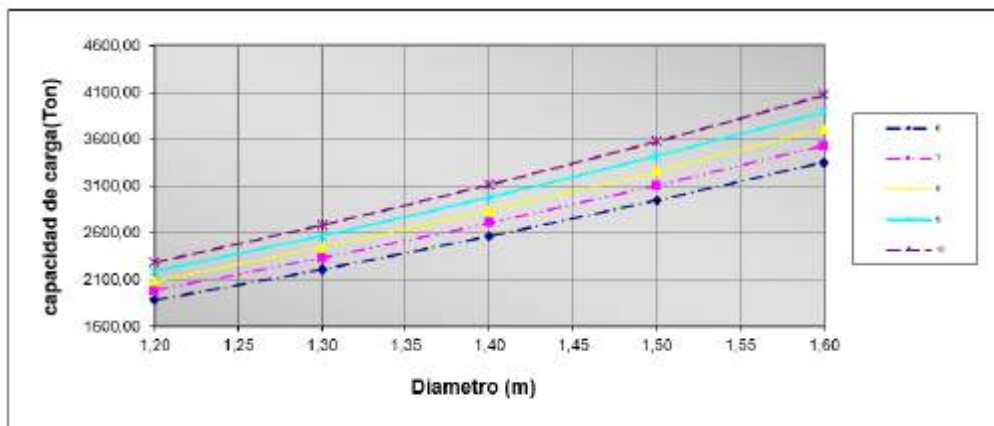


Ilustración 10 Capacidad de carga vertical Estado límite de Evento Extremo.

Fuente: Informe "Memorando técnico JPV-187-1337D-22".

Diam (m)	Longitud (m)				
	6	7	8	9	10
1.2	240,17	310,53	383,81	460,00	539
1.3	260,18	336,40	415,79	498,34	584
1.4	280,20	362,28	447,77	536,67	629
1.5	300,21	388,16	479,76	575,01	674
1.7	320,23	414,04	511,74	613,34	719

Tabla 7 Valores capacidad de carga lateral.

Fuente: Informe "Memorando técnico JPV-187-1337D-22".

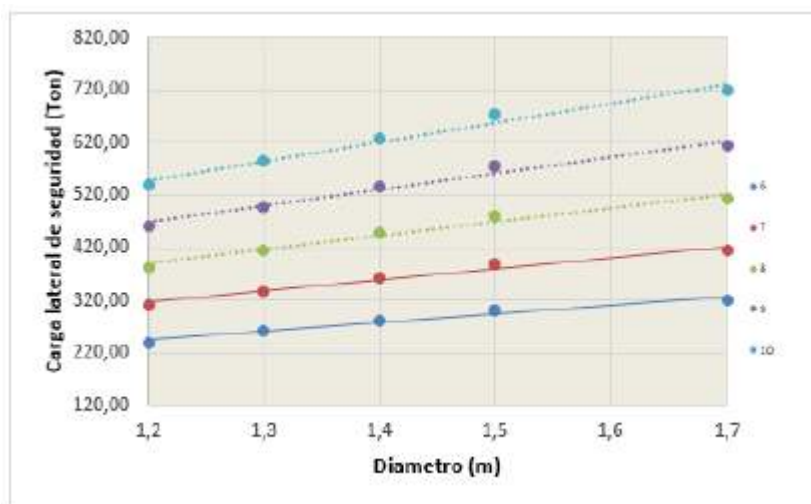


Ilustración 11 Capacidad de carga lateral.

Fuente: Informe "Memorando técnico JPV-187-1337D-22".

Diam (m)	Longitud (m)				
	6	7	8	9	10
1,2	91,92	110,89	130,55	150,91	171,96
1,3	101,05	121,85	143,39	165,69	186,74
1,4	110,41	133,07	156,53	180,81	206,89
1,5	119,99	144,55	169,97	196,27	223,43
1,6	129,80	156,30	183,72	212,06	241,34

* carga en toneladas

Tabla 8 Valores resistencia a la tracción.

Fuente: Informe "Memorando técnico JPV-187-1337D-22".

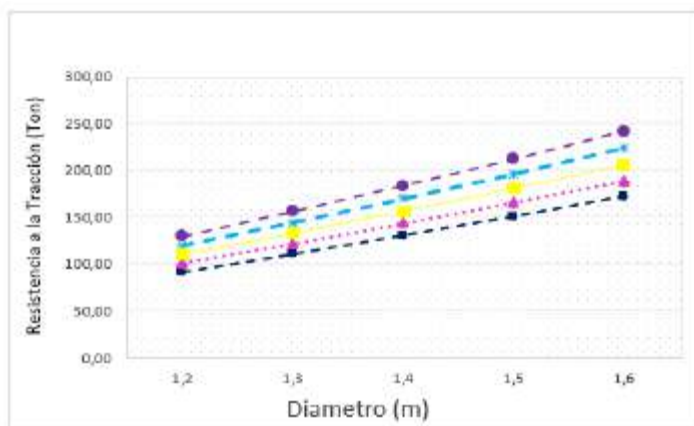


Ilustración 12 Resistencia a la tracción.

Fuente: Informe "Memorando técnico JPV-187-1337D-22".

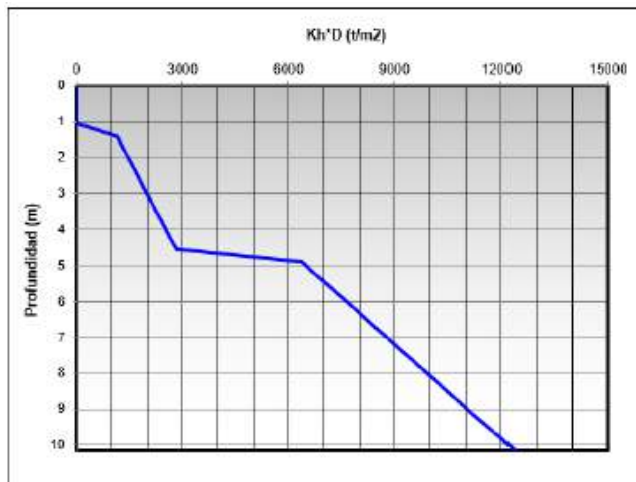


Ilustración 13 Valores resorte horizontal (Kh).

Fuente: Informe "Memorando técnico JPV-187-1337D-22".

Coefficiente de reacción vertical (K_v)

En caso de emplear un solo resorte en la base de los caisson el valor correspondiente será de 16049,9 ton/m, si es de preferencia del Ingeniero Estructural utilizar los resortes repartidos cada metro a lo largo del fuste el valor de dicho resorte será de 1310,08ton/m³.

Ilustración 14 Valores resorte vertical (K_v).

Fuente: Informe “Memorando técnico JPV-187-1337D-22”.

7 DESCRIPCIÓN

Se diseñará un módulo de 10.00 m, conformado por una viga de cimentación de 1.50m de altura y 1.80m de base, soportado sobre una hilera de caisson de 1.2m de diámetro y 10m o 20m de longitud según el sector, los cuales estarán separados cada 3.60m. En la base de la viga de cimentación se colocará una capa de concreto de limpieza de 5cm.

Un aspecto importante a destacar es la indicación sobre la calidad del concreto del muro, particularmente en lo referente a la adopción de concretos de baja relación agua/cemento ($A/C = 0.50$) buscando obtener una mayor durabilidad en esta estructura.

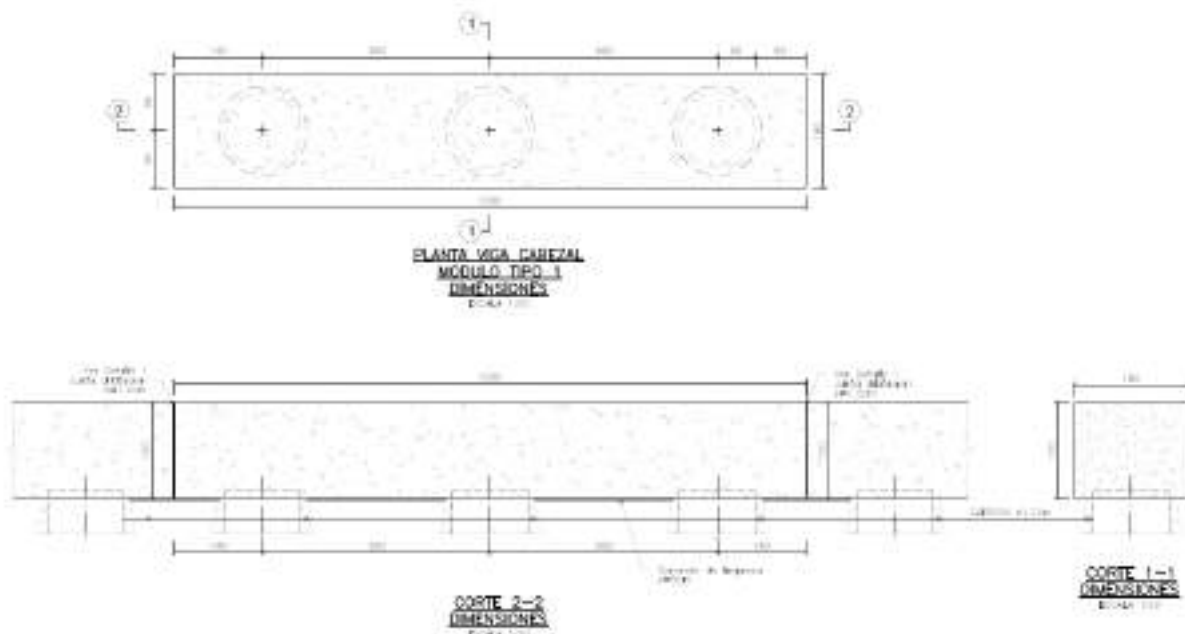


Ilustración 15 Módulo del muro PR 28+900

Fuente: Elaboración propia

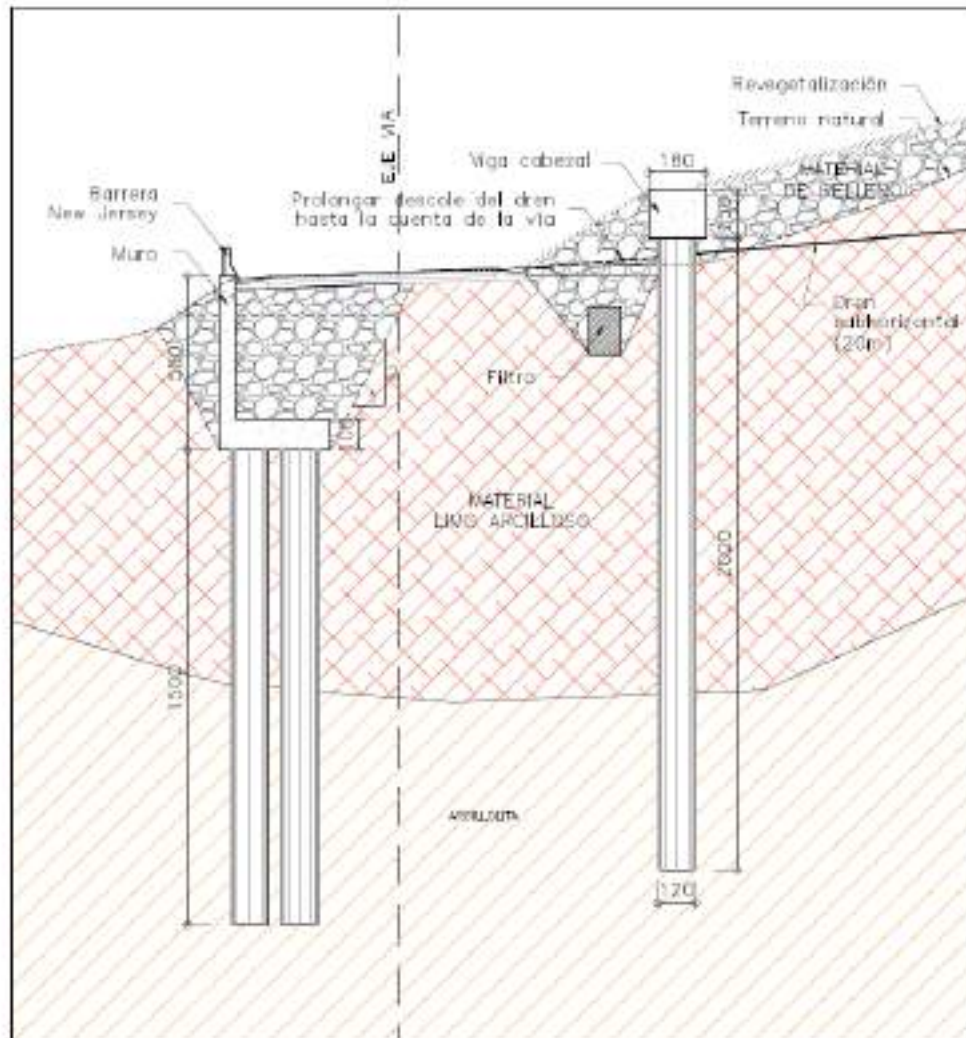


Ilustración 16 Sección transversal muro PR 28+900
Fuente: Elaboración propia

8 MÉTODO DE DISEÑO

Se procedió a realizar el modelo matemático en el programa SAP2000 V.23.1.0., el cual incluye una viga de cimentación soportado sobre caissons del cual se obtuvieron los esfuerzos con los cuales se diseñó el acero de refuerzo.

El muro de contención se diseñará de tal forma que sea capaz de resistir las solicitaciones a las cuales se encontrará sometida la estructura, tales como:

- ✓ Peso Propio
- ✓ Empuje estático
- ✓ Empuje dinámico
- ✓ Solicitación Sísmica (PGA=0.25)

Se calculó la envolvente de las cargas con los coeficientes de mayoración establecidos en el CCP-14 y se diseñaron los elementos para estas fuerzas actuantes.

Para el diseño del muro de contención se utilizó un modelo:

La viga de cimentación y los caisson fueron modelados con elementos tipo frame, adicionalmente se consideraron las cargas muertas, empuje estático y dinámico. Los pesos propios de los elementos son calculados directamente por el programa de análisis.

Para el diseño de los muros se tuvo en cuenta la geometría y los parámetros geotécnicos, los cuales se ingresaron a hojas de cálculo elaboradas en el programa Excel, donde se analizaron los estados límites de servicio, resistencia y evento extremo.

Teniendo los resultados del análisis de los modelos, se procedió al diseño de cada uno de los elementos, teniendo en cuenta las solicitaciones máximas a las que estaban sometidos.

9 COMBINACIONES DE CARGA

Para el análisis y diseño de los elementos que componen el muro con anclajes se tuvieron en cuenta las combinaciones de acuerdo al CCP-14.

Estado Límite de la Combinación de carga	DC DD DW EH EV ES EL PS CR SH	LL IM CE BR PL LS	WA	WS	WL	FR	TU	TG	SE	Use uno de estos a la vez				
										EQ	BL	IC	CT	CV
Resistencia I (a menos que se indique)	γ_p	1.75	1.00	-	-	1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-	-
Resistencia II	γ_p	1.35	1.00	-	-	1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-	-
Resistencia III	γ_p	-	1.00	1.40 0	-	1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-	-
Resistencia IV	γ_p	-	1.00	-	-	1.00	0.50/1.20	-	-	-	-	-	-	-
Resistencia V	γ_p	1.35	1.00	0.40 0	1.0	1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-	-
Evento Extremo I	γ_p	γ_{EQ}	1.00	-	-	1.00	-	-	-	1.00	-	-	-	-
Evento Extremo II	γ_p	0.50	1.00	-	-	1.00	-	-	-	-	1.00	1.00	1.00	1.00
Servicio I	1.00	1.00	1.00	0.30 0	1.0	1.00	1.00/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-	-
Servicio II	1.00	1.30	1.00	-	-	1.00	1.00/1.20	-	-	-	-	-	-	-
Servicio III	1.00	0.80	1.00	-	-	1.00	1.00/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-	-
Servicio IV	1.00	-	1.00	0.70 0	-	1.00	1.00/1.20	-	1.0	-	-	-	-	-
Fatiga I- Sólo LL, IM & CE	-	1.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fatiga II- Sólo LL, IM & CE	-	0.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 9 Combinaciones de carga
Fuente: Norma Colombiana de diseño sísmico de puentes – CCP-14

• Cargas permanentes

CR = fuerzas debidas al flujo plástico
DD = fuerza de fricción negativa
DC = peso propio de los componentes estructurales y de los accesorios no estructurales
DW = peso propio carpeta de rodamiento y de las instalaciones
EH = empuje horizontal del suelo
EL = fuerzas misceláneas resultantes del proceso de construcción, incluyendo el izaje de voladizos en construcción por segmentos
ES = sobrecarga de suelo
EV = presión vertical del peso propio del suelo de relleno
PS = fuerzas secundarias debidas a pretensado
SH = fuerzas debidas a retracción

• Cargas transitorias

BL = carga de explosión
BR = fuerza de frenado vehicular
CE = fuerza centrífuga vehicular
CT = fuerza de colisión vehicular
CV = fuerza de colisión de embarcaciones
EQ = carga sísmica
FR = carga de fricción
IC = carga de hielo
IM = incremento de carga dinámica vehicular
LL = carga viva vehicular
LS = sobrecarga de carga viva
PL = carga viva peatonal
SE = fuerzas debidas a asentamiento
TG = fuerzas debidas a gradiente de temperatura
TU = fuerza debida a temperatura uniforme
WA = carga de agua y presión de la corriente
WL = carga de viento sobre la carga viva
WS = carga de viento sobre la estructura

Ilustración 17 Cargas

Fuente: Norma Colombiana de diseño sísmico de puentes – CCP-14

Tipo de Carga, tipo de Cimentación, y Método para Calcular la fricción negativa		Factor de Carga	
		Máximo	Mínimo
<i>DC</i> : Componentes y Accesorios		1.25	0.90
<i>DC</i> : Sólo Resistencia IV		1.50	0.90
<i>DD</i> : Fricción negativa	Pilas, Método α Tomlinson	1.4	0.25
	Pilas, Método λ	1.05	0.30
	Pozos perforados, Método O'Neill and Reese (1999)	1.25	0.35
<i>DW</i> : Superficie de rodadura e instalaciones		1.50	0.65
<i>EH</i> : Presión horizontal de suelo			
• Activa		1.50	0.90
• En reposo		1.35	0.90
• <i>AEP</i> para muros anclados		1.35	N/A
<i>EL</i> : Tensiones residuales de Construcción		1.00	1.00
<i>EV</i> : Presión vertical de suelo			
• Estabilidad general		1.00	N/A
• Muros de Contención y Estribos		1.35	1.00
• Estructuras Rígidas Enterradas		1.30	0.90
• Marcos Rígidos		1.35	0.90
• Estructuras Flexibles Enterradas			
o Alcantarillas Metálicas y Alcantarillas Armadas Estructurales Corrugadas Profundas		1.5	0.9
o Alcantarillas Termoplásticas		1.3	0.9
o Todas las demás		1.95	0.9
<i>ES</i> : Sobrecarga de suelo		1.50	0.75

Ilustración 18 Factores de carga permanentes

Fuente: Norma Colombiana de diseño sísmico de puentes – CCP-14

10 EVALUACIÓN DE CARGAS

10.1 EMPUJE ESTÁTICO – MURO (EH)

La carga considerada por empuje de tierra sobre la viga de cimentación se calculó y asignó de acuerdo a la aferencia entre los caisson:

Altura viga cimentación (m)	γ (kN/m ³)	k_a	Aferencia caisson (m)	EH (kN/m)
1	20	0,333	3,6	24,0
1,5	20	0,333	3,6	36,0

Tabla 10 Empuje estático – viga de cimentación

Fuente: Informe “Memorando técnico JPV-187-1337D-22”.

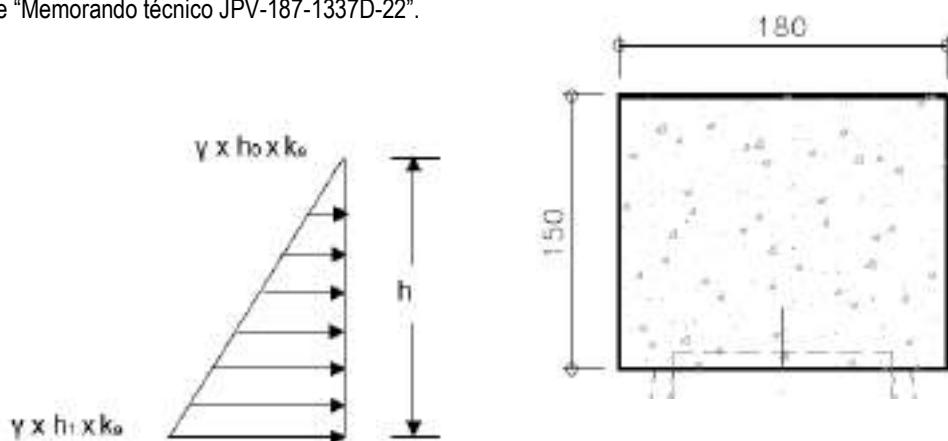


Ilustración 19 Esquema asignación de carga estática

Fuente: Elaboración propia

10.2 EMPUJE DINÁMICO – MURO (EQ)

Altura viga cimentación (m)	γ (kN/m ³)	k_a	k_{ae}	Aferencia caisson (m)	EQ (kN/m)
1	20	0,333	0,5082	3,6	12,6
1,5	20	0,333	0,5082	3,6	18,9

Tabla 11 Empuje dinámico – viga de cimentación
Fuente: Informe “Memorando técnico JPV-187-1337D-22”.

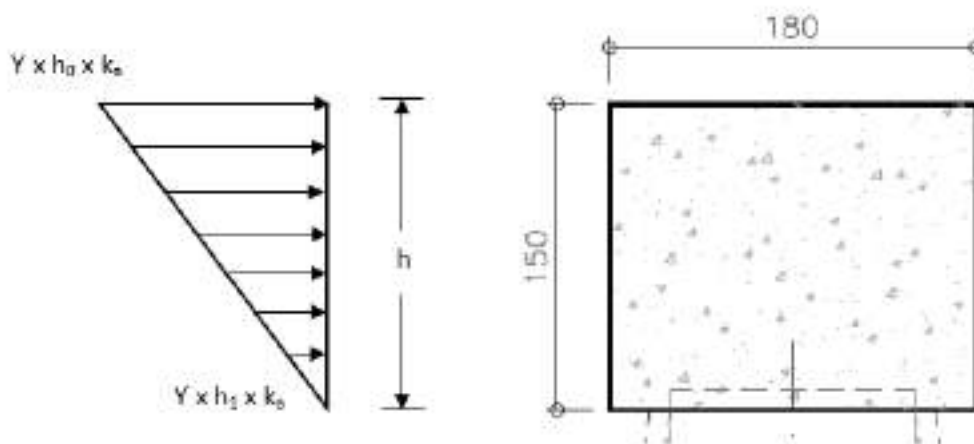


Ilustración 20 Esquema asignación de carga dinámica

Fuente: Elaboración propia

10.3 ANÁLISIS SÍSMICO

Tabla 3.10.3.2-1 CCP-14

Valores del factor de sitio F_{PGA} , en el período de vibración cero del espectro de aceleración

Tipo de perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$PGA \leq 0.1$	$PGA = 0.2$	$PGA = 0.3$	$PGA = 0.4$	$PGA \geq 0.5$
A	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
B	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
C	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
D	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
E	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
F	Véase nota 2	Véase nota 2	Véase nota 2	Véase nota 2	Véase nota 2

Nota 2: Para el perfil tipo F debe utilizarse una investigación geotécnica particular para el

lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda.

Tabla 3.10.3.2-2 CCP-14

Valores del factor de sitio F_a , en el intervalo de períodos de vibración cortos del espectro de aceleraciones

Tipo de perfil	Coeficiente de aceleración espectral para período de vibración de 0.2 s				
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.00$	$S_s \geq 1.25$
A	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
B	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
C	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
D	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
E	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
F	Véase nota 2	Véase nota 2	Véase nota 2	Véase nota 2	Véase nota 2

Nota 2: Para el perfil tipo F debe utilizarse una investigación geotécnica particular para el

lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda.

Tabla 3.10.3.2-3 CCP-14

Valores del factor de sitio F_v , en el intervalo de períodos de vibración largos del espectro de aceleraciones

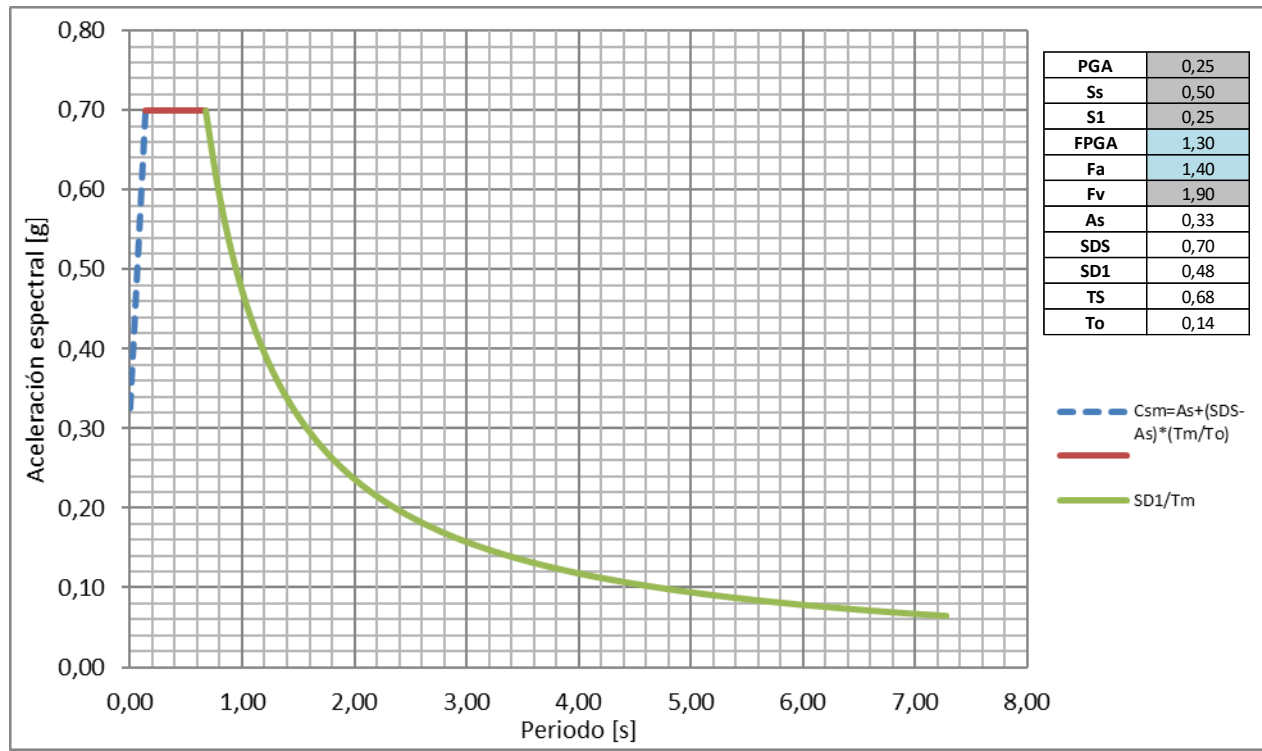
Tipo de perfil	Coeficiente de aceleración espectral para período de vibración de 1.0 s				
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 \geq 0.50$
A	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
B	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
C	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
D	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
E	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
F	Véase nota 2	Véase nota 2	Véase nota 2	Véase nota 2	Véase nota 2

Nota 2: Para el perfil tipo F debe utilizarse una investigación geotécnica particular para el

lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda.

Tabla 12 Parámetros sísmicos CC-14

Fuente: Norma Colombiana de diseño sísmico de puentes – CCP-14



Gráfica 1 Espectro
Fuente: Elaboración propia

11 ENTRADA DE DATOS AL PROGRAMA

11.1 MODELO MATEMÁTICO

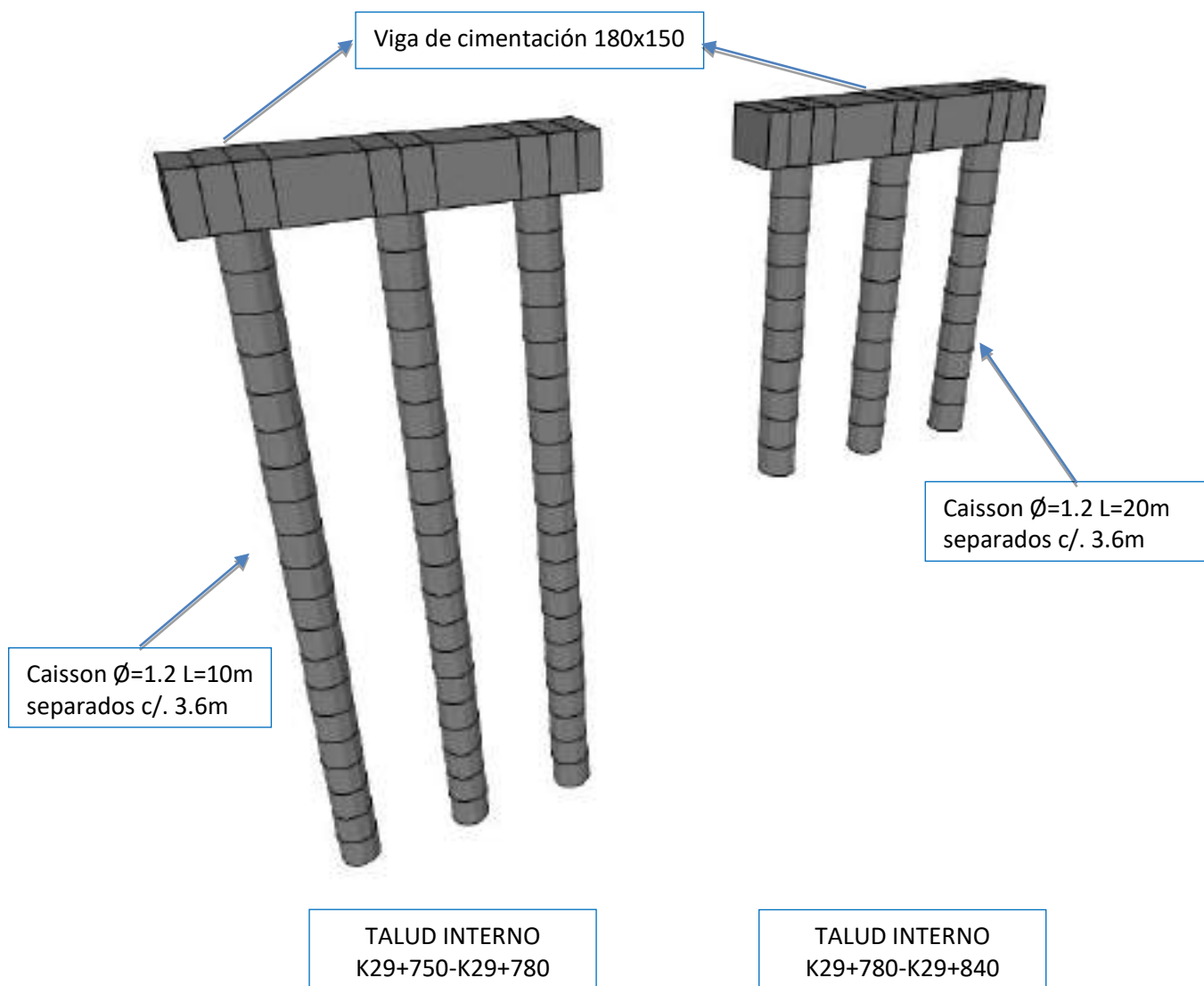


Ilustración 21 Modelo matemático 3D

11.2 DEFINICIÓN DEL MATERIAL



Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: 4000Psi

Material Type: Concrete

Material Grade: Fc 4000 psi

Material Notes: [Modify/Show Notes...](#)

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 22.5621

Mass per Unit Volume: 2.4025

Units: KN, m, G

Isotropic Property Data

Modulus Of Elasticity, E: 20640000

Poisson, U: 0.2

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 9.900E-06

Shear Modulus, G: 8000000

Other Properties For Concrete Materials

Specified Concrete Compressive Strength, fc: 27579.032

Expected Concrete Compressive Strength: 27579.032

☐ Lightweight Concrete

Shear Strength Reduction Factor:

Ilustración 22 Definición del material

11.3 DEFINICIÓN DE SECCIONES

11.3.1 Caisson D=1.20m

Para un caisson de 1.20 m de diámetro para ambas longitudes, en los primeros metros se colocó un refuerzo de 30#7, con flejes N°5 cada 7.5 cm y se revisó.

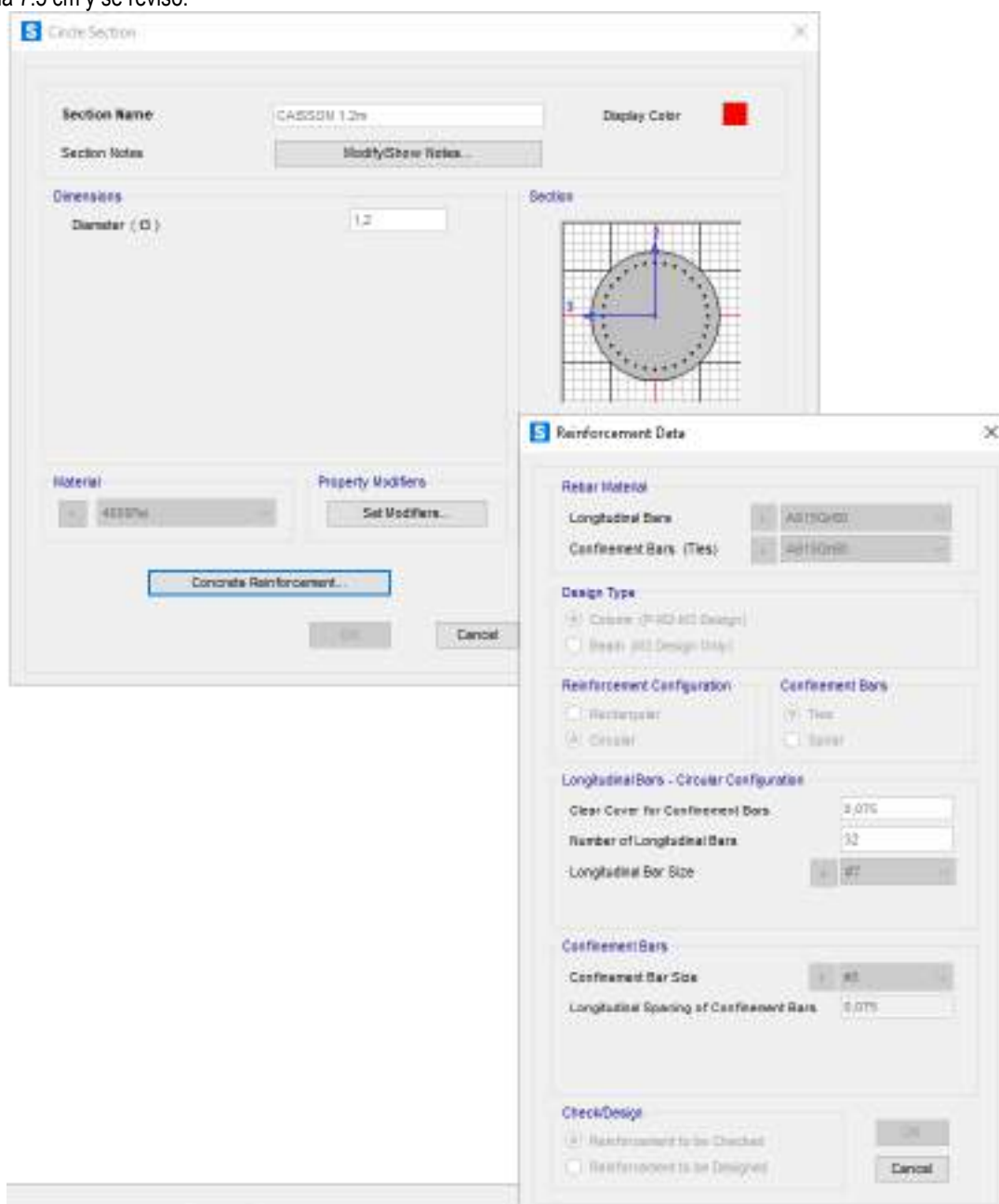


Ilustración 23 Definición de caisson

11.3.2 Viga de cimentación

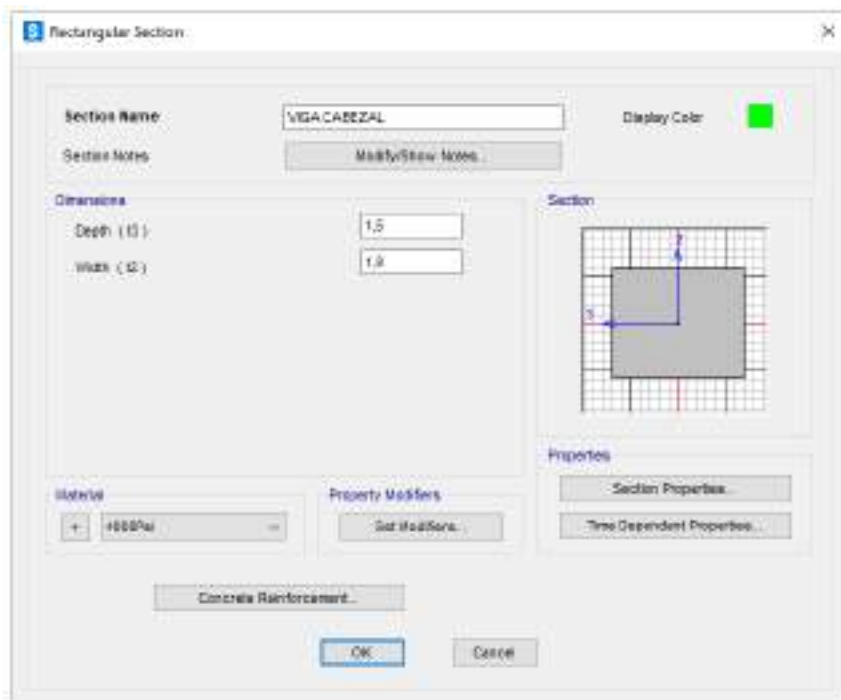


Ilustración 24 Definición de viga de cimentación

11.3.3 Módulo de reacción horizontal kh y restricciones

De acuerdo a los resortes reportados por el componente geotécnico, para el modelo de contraste se consideró 1m libre de pilote.

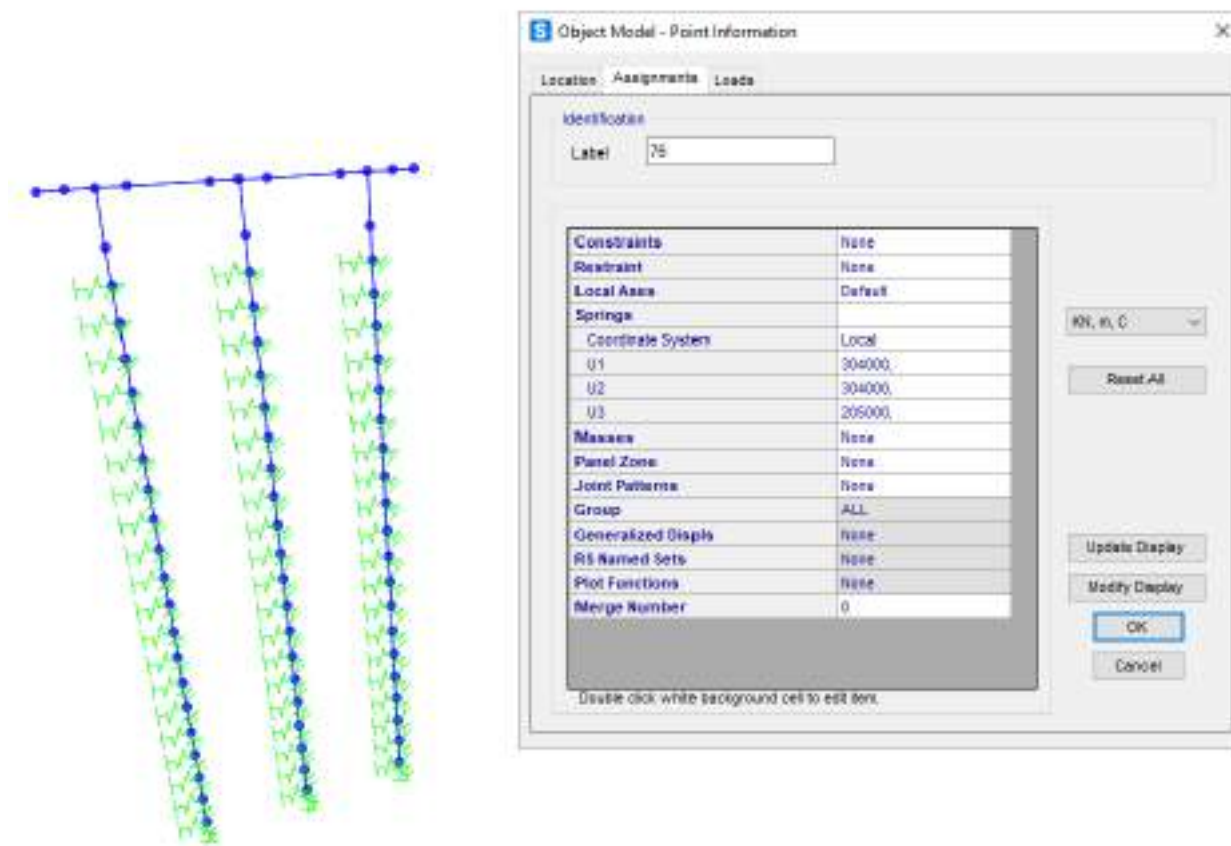


Ilustración 25 Restricciones y resortes k29+750-k29+780 (kN/m)

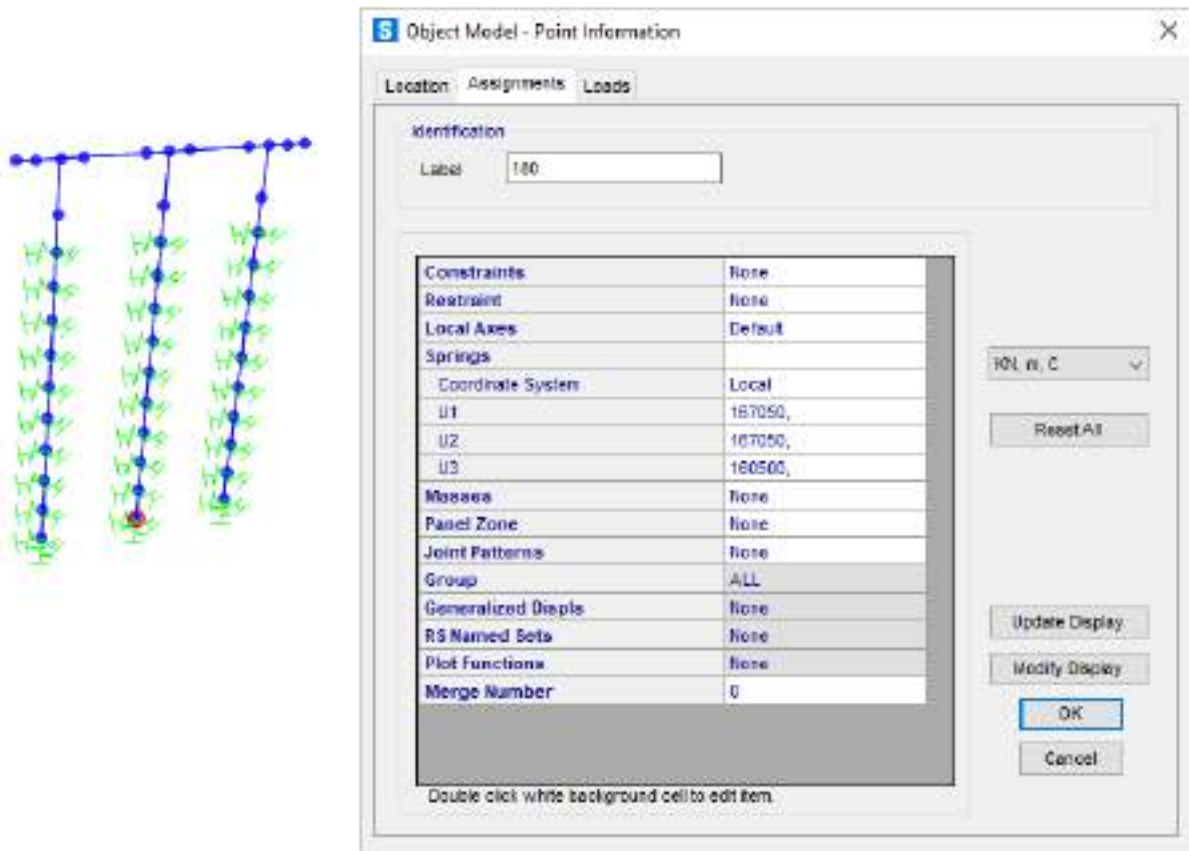


Ilustración 26 Restricciones y resortes k29+780-k29+840 (kN/m)

11.4 ASIGNACIÓN DE CARGAS

11.4.1 Empuje estático EH

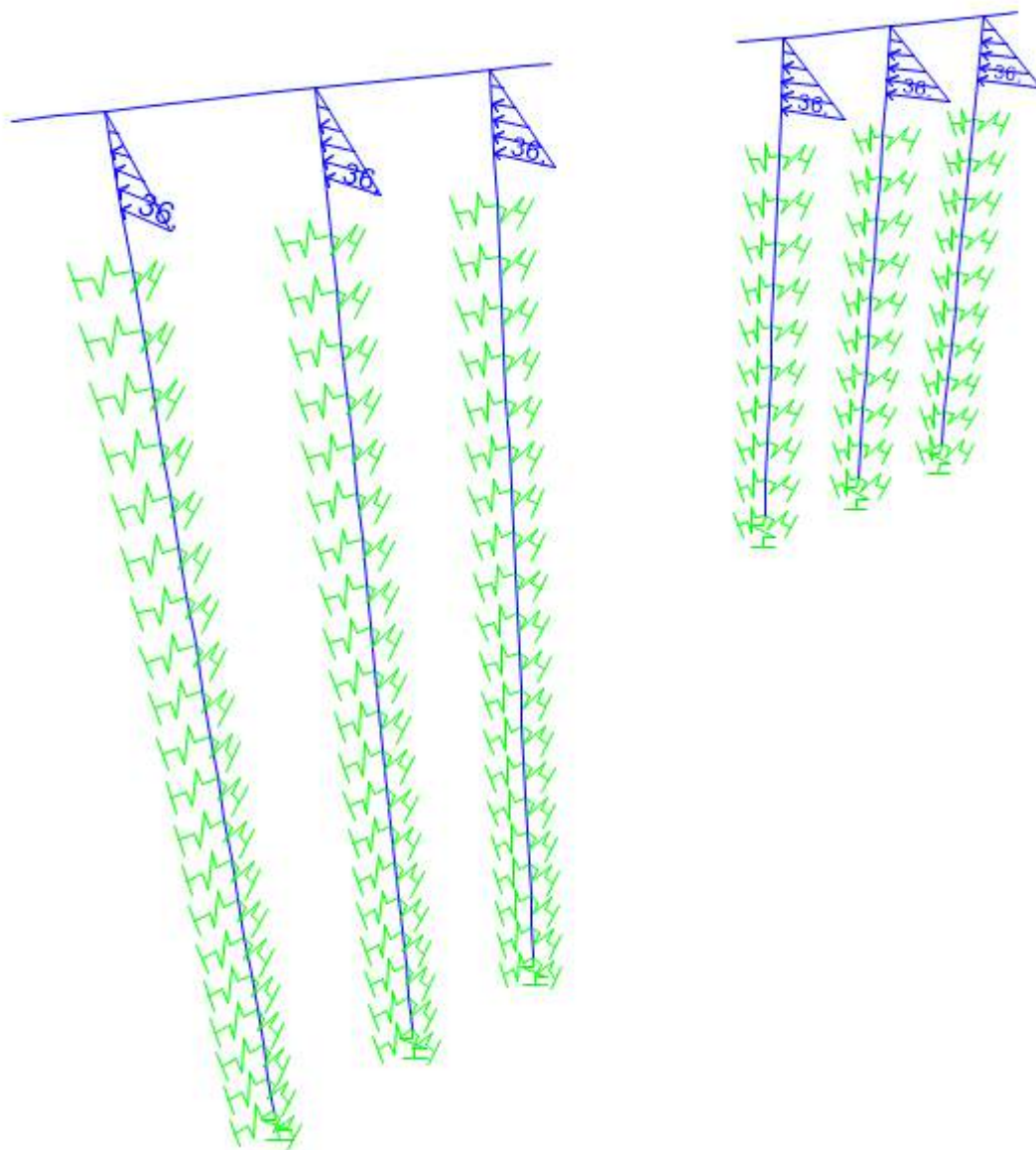


Ilustración 27 Empuje estático en muro – EH – kN/m²

11.4.2 Empuje dinámico EQ

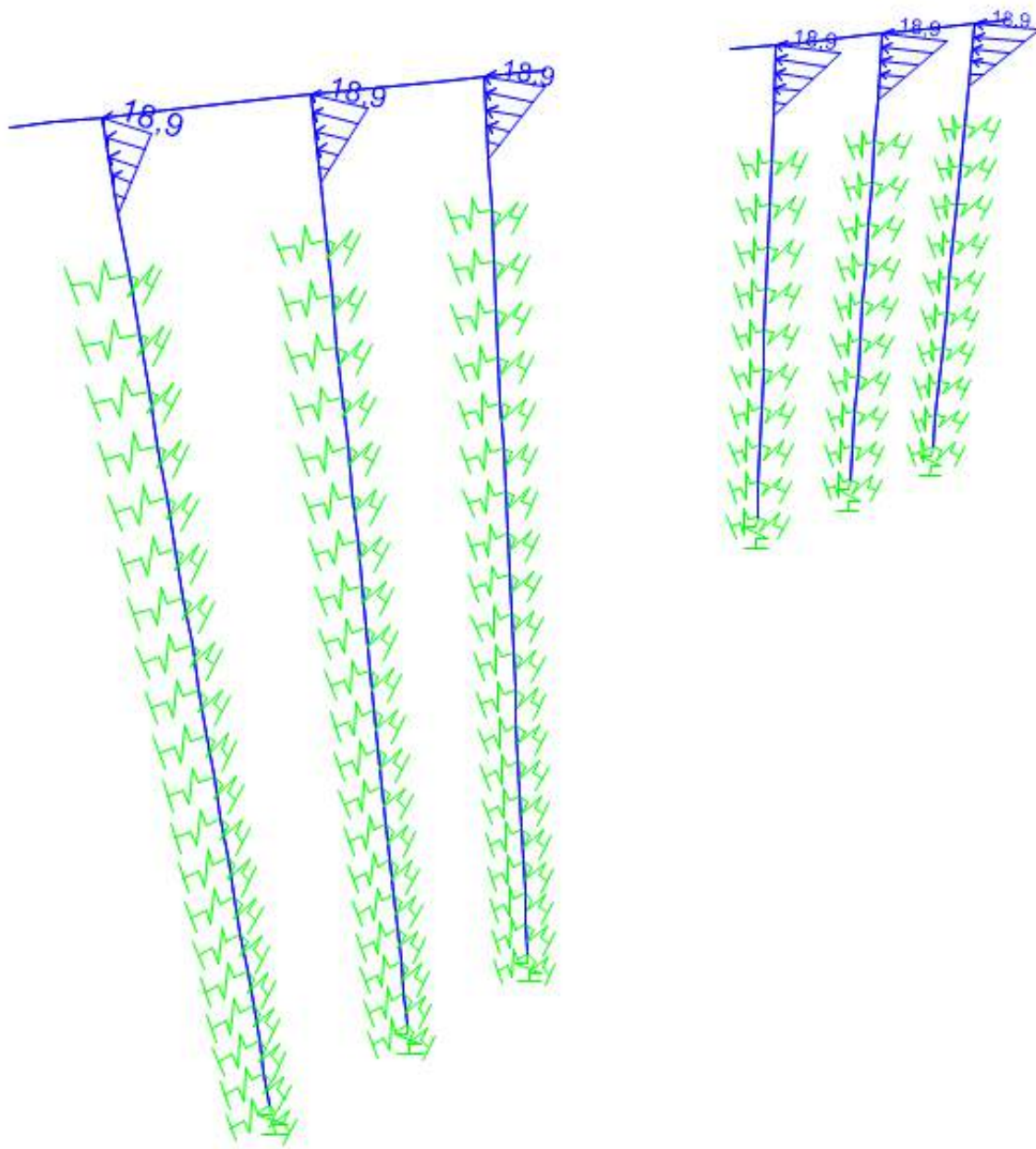


Ilustración 28 Empuje dinámico en muro – EQ – kN/m²

11.4.3 Espectro

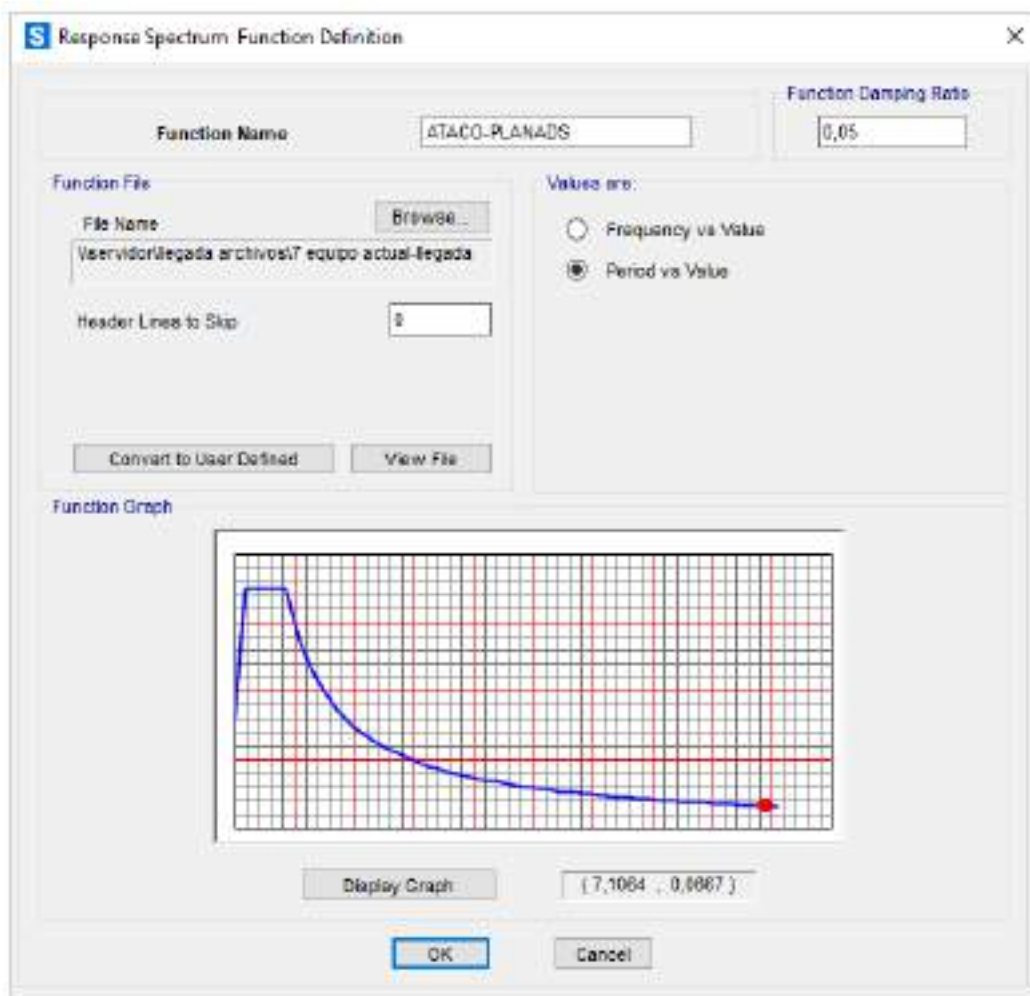
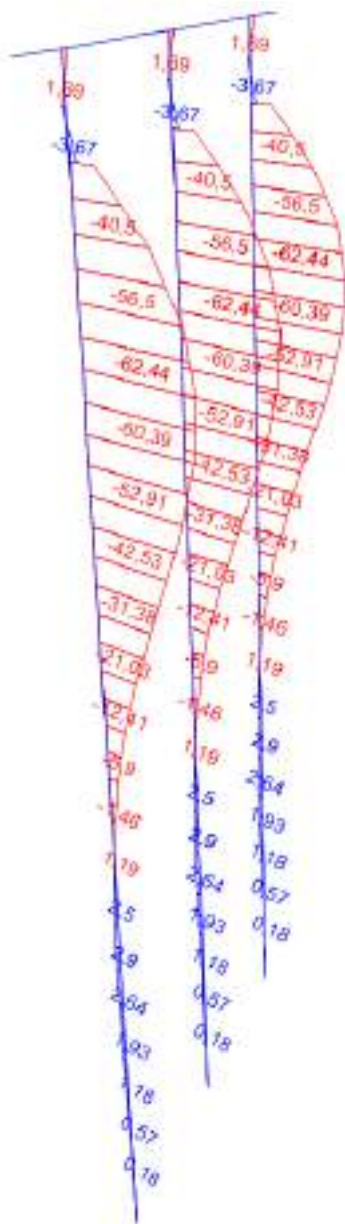


Ilustración 29 Espectro

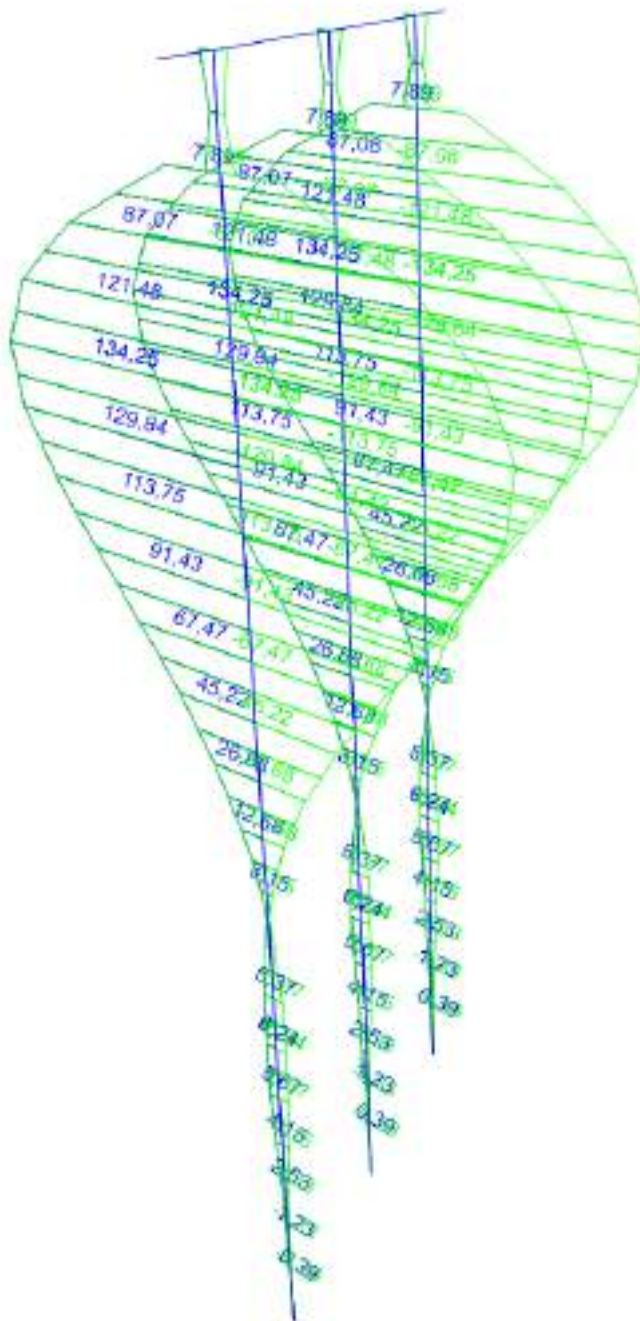
12 DATOS DE SALIDA

12.1.1 Caissons L=20m k29+750-k29+780

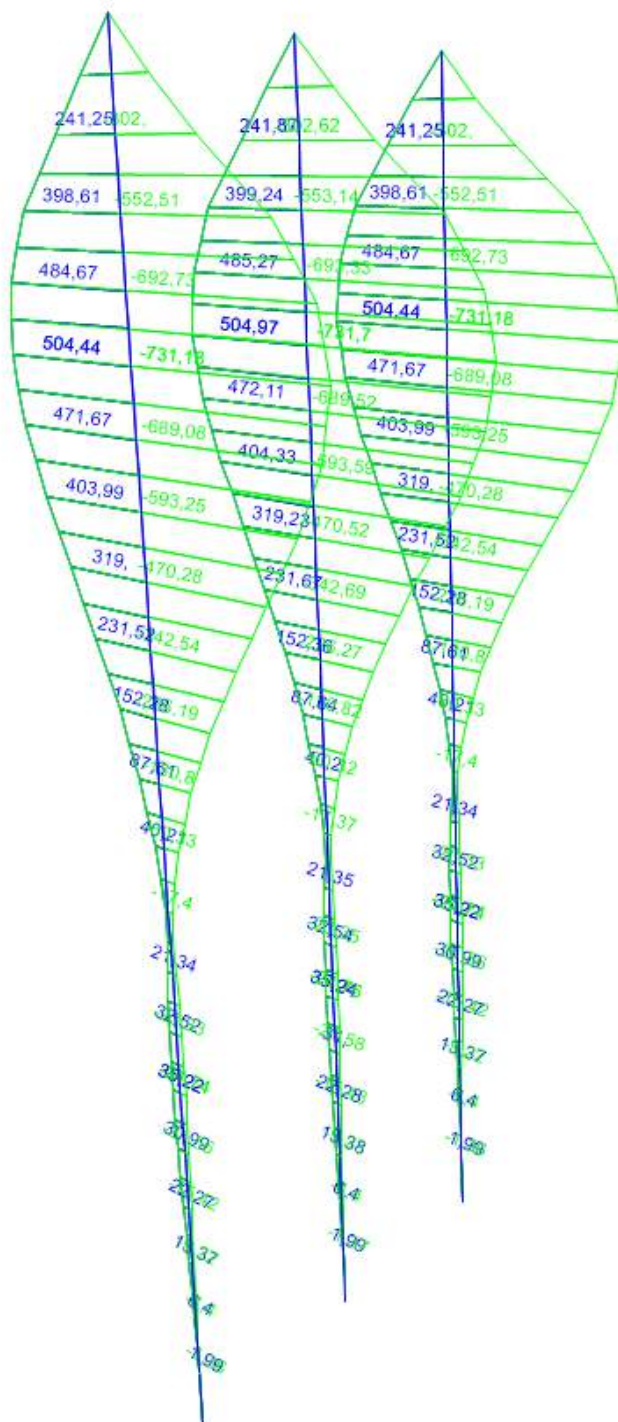
12.1.1.1 Diagrama de momento 2-2 por estado límite de servicio (kN·m)



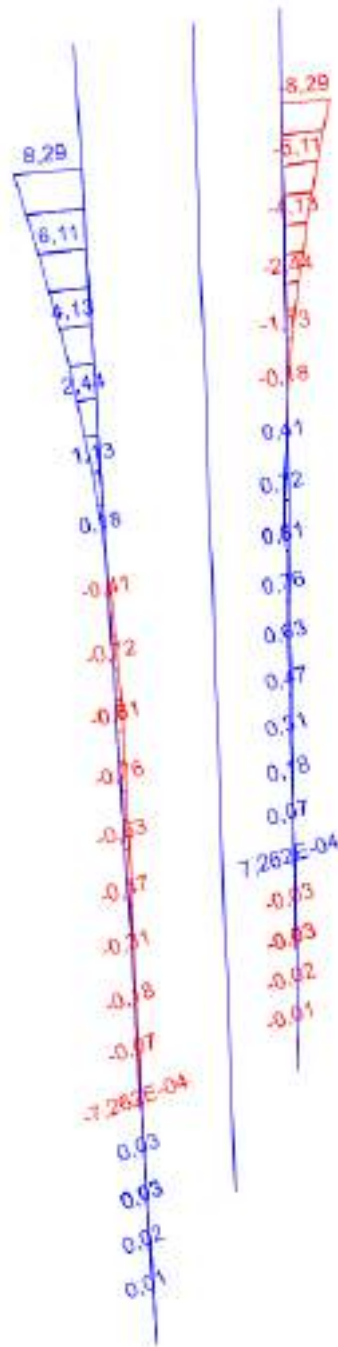
12.1.1.2 Diagrama de momento 2-2 por estado límite de resistencia (kN·m)



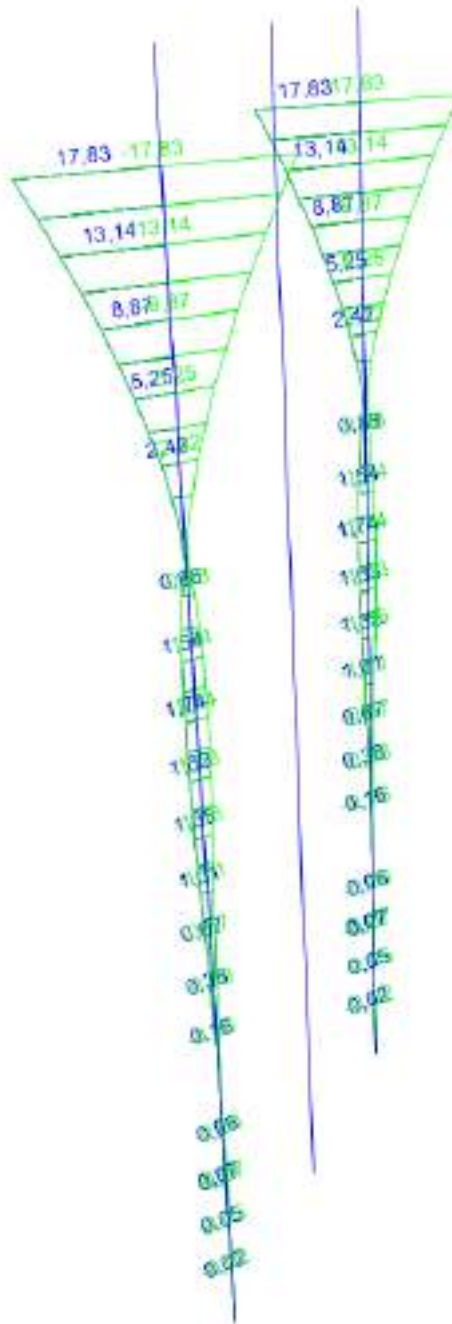
12.1.1.3 Diagrama de momento 2-2 por estado límite de evento extremo (kN·m)



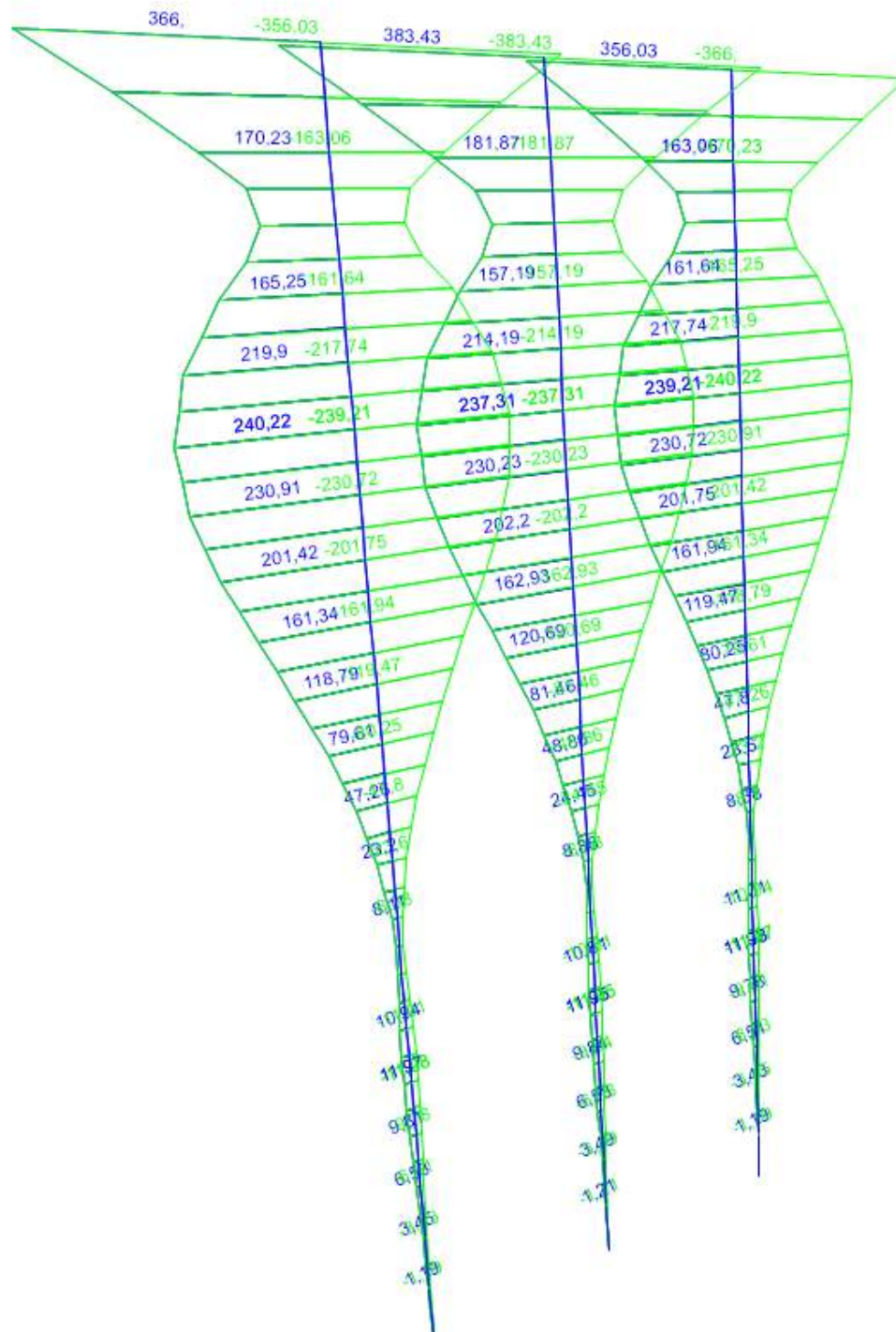
12.1.1.4 Diagrama de momento 3-3 por estado límite de servicio (kN·m)



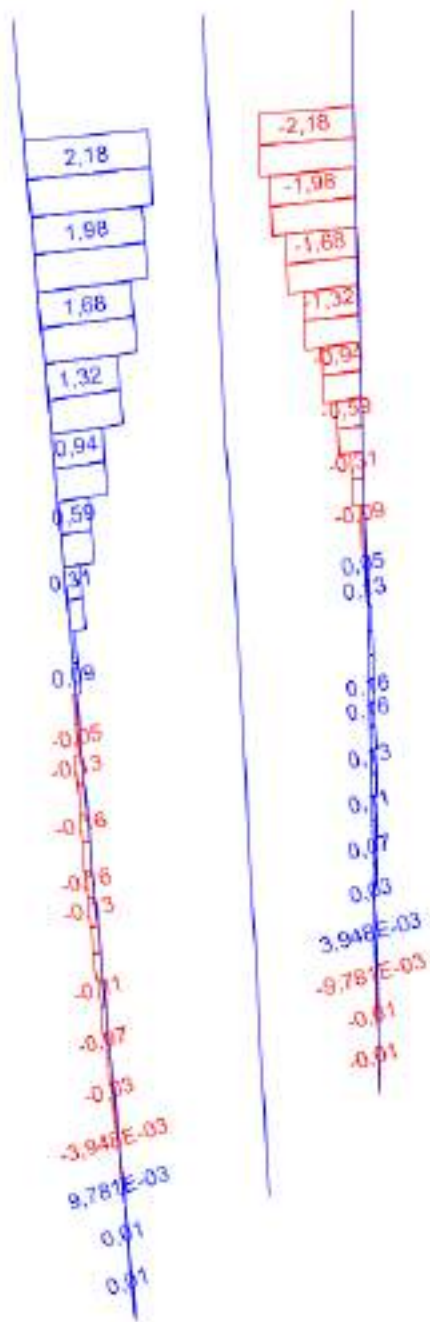
12.1.1.5 Diagrama de momento 3-3 por estado límite de resistencia (kN·m)



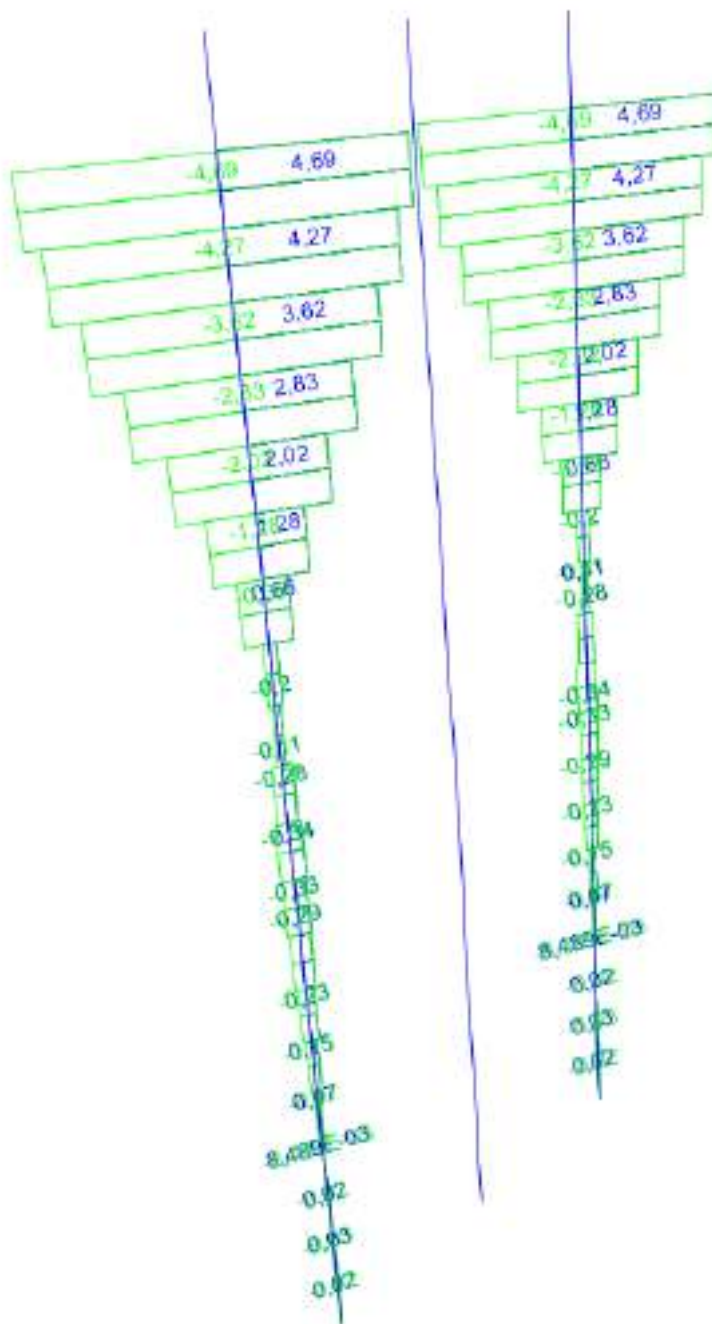
12.1.1.6 Diagrama de momento 3-3 por estado límite de evento extremo (kN·m)



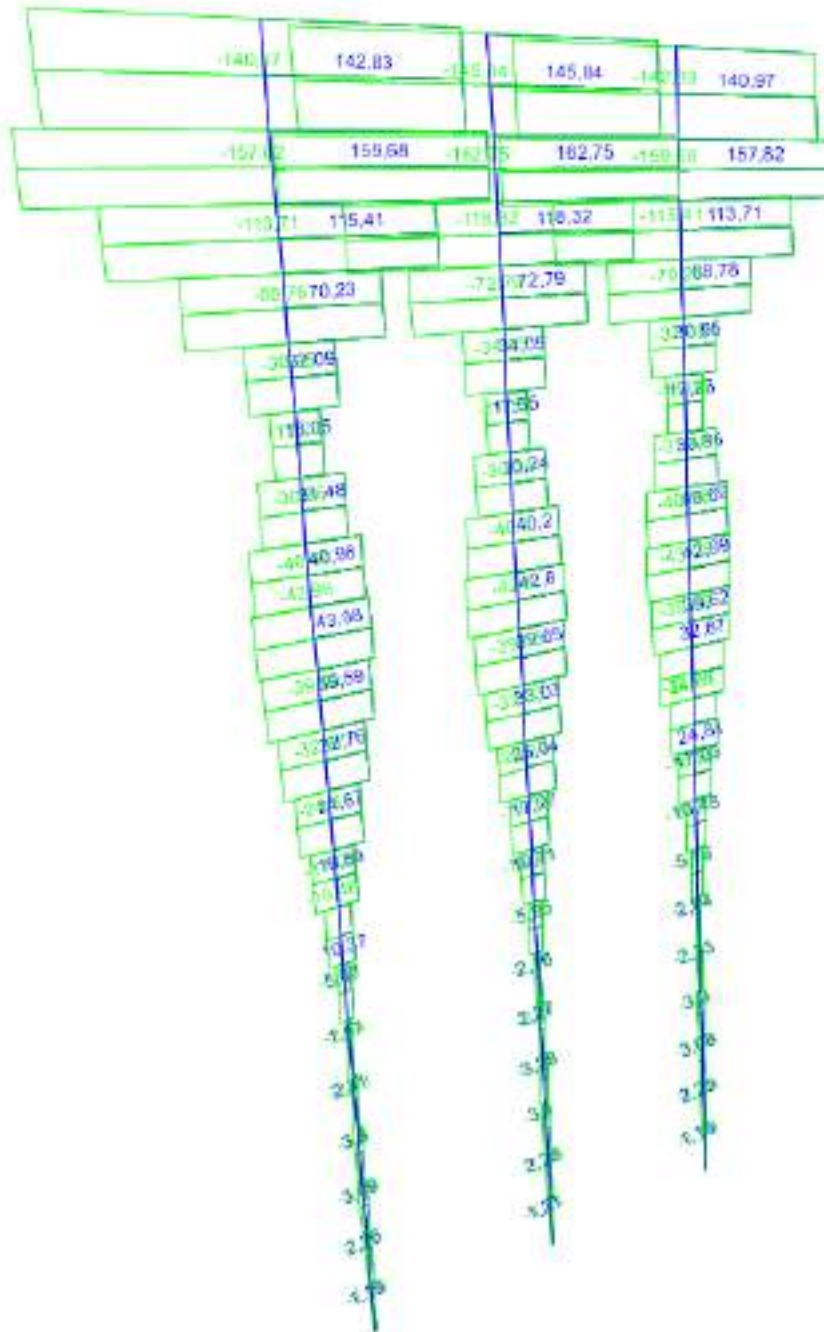
12.1.1.7 Diagrama de cortante 2-2 por estado límite de servicio (kN)



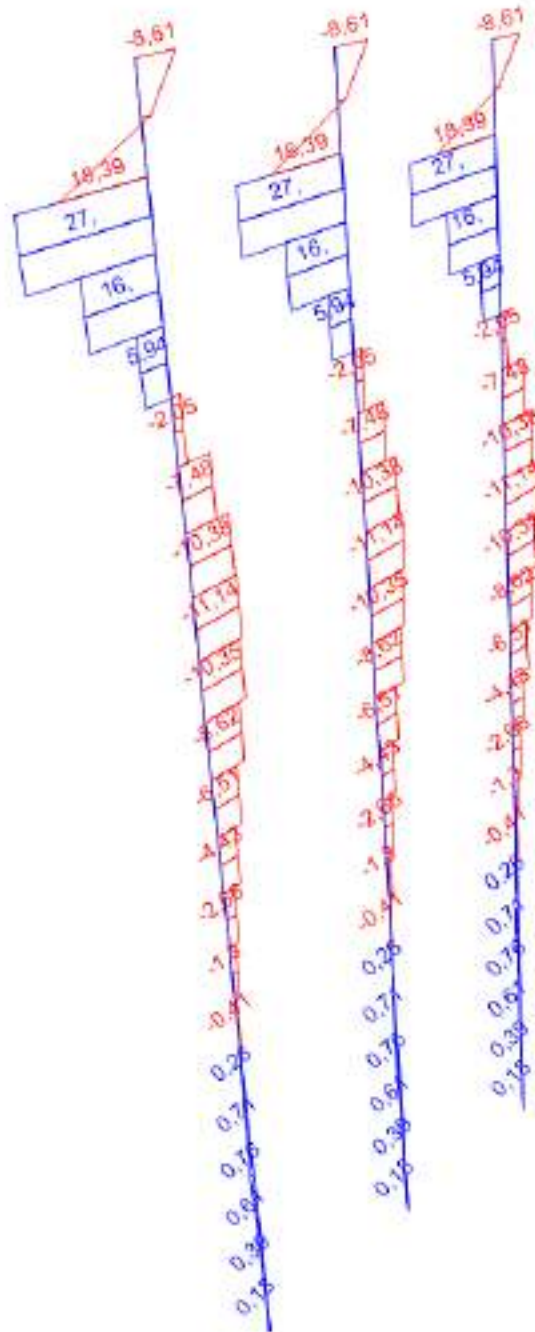
12.1.1.8 Diagrama de cortante 2-2 por estado límite de resistencia (kN)



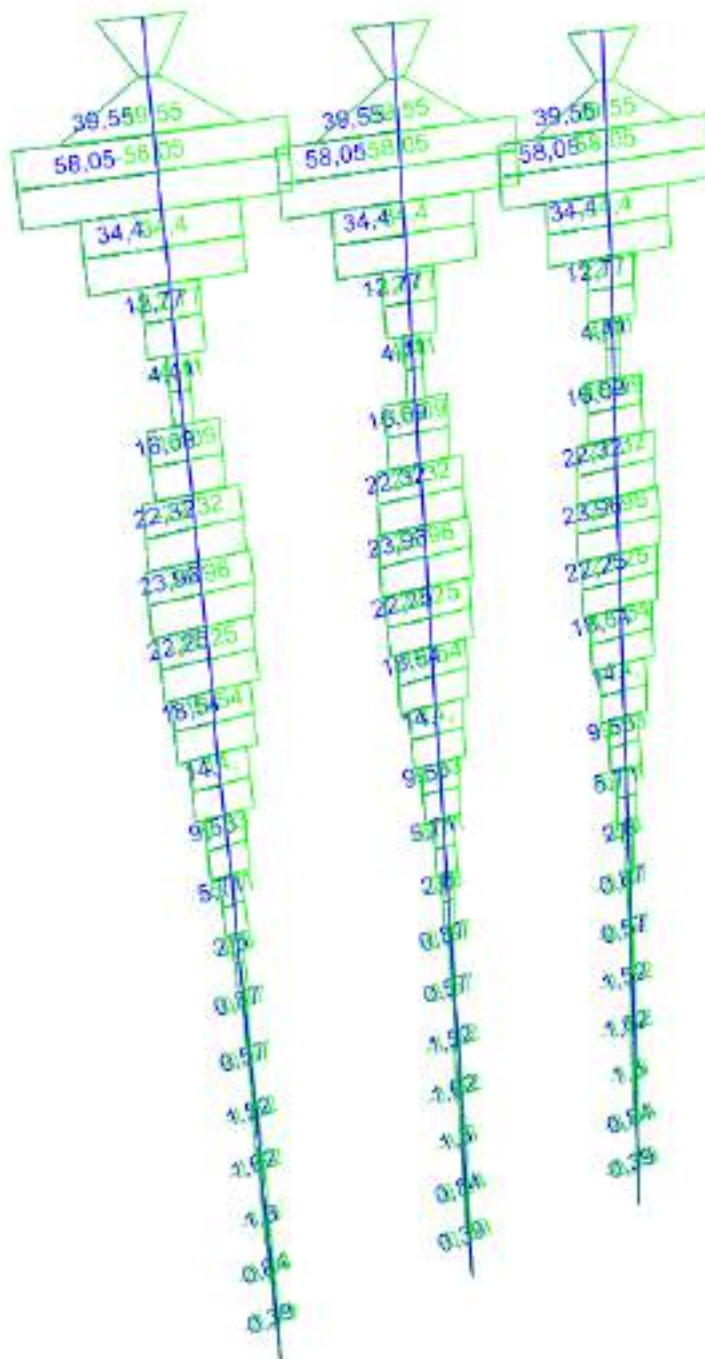
12.1.1.9 Diagrama de cortante 2-2 por estado límite de evento extremo (kN)



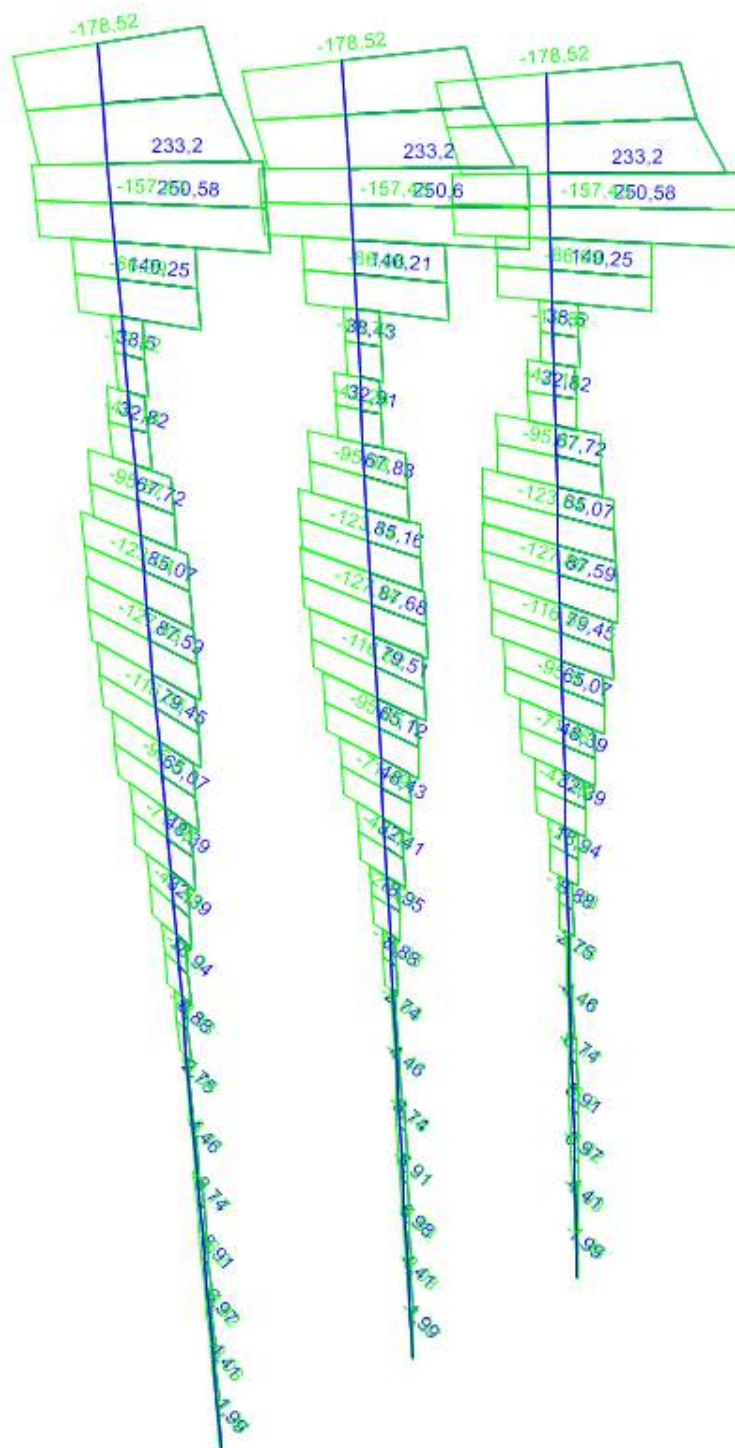
12.1.1.10 Diagrama de cortante 3-3 por estado límite de servicio (kN)



12.1.1.11 Diagrama de cortante 3-3 por estado límite de resistencia (kN)

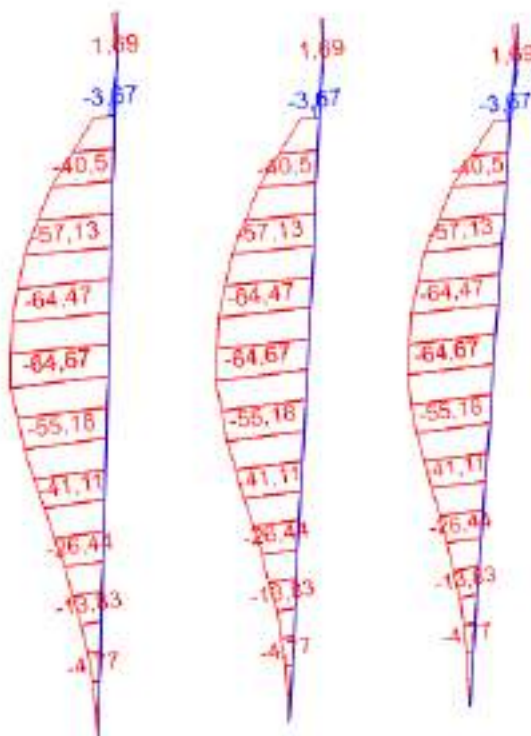


12.1.1.12 Diagrama de cortante 3-3 por estado límite de evento extremo (kN)

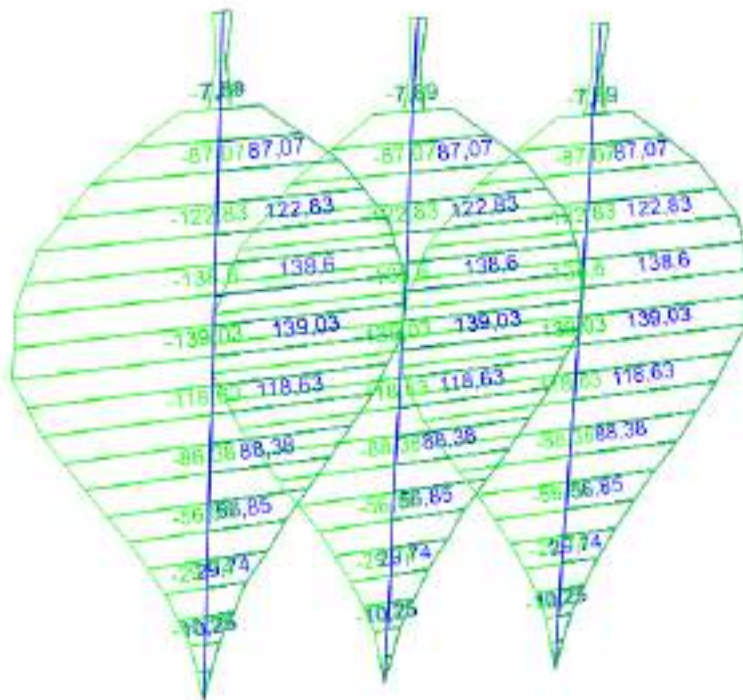


12.1.2 Caissons L=10m k29+780-k29+840

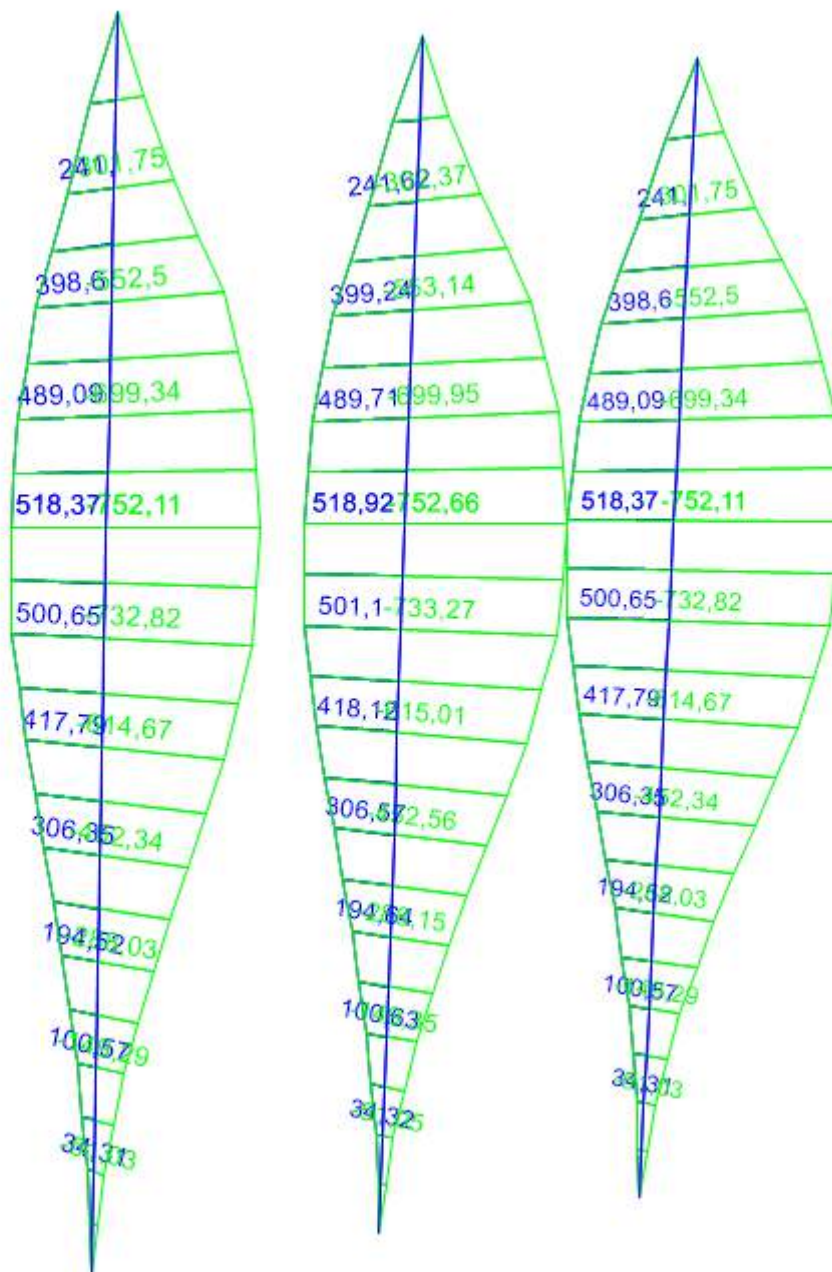
12.1.2.1 Diagrama de momento 2-2 por estado límite de servicio (kN·m)



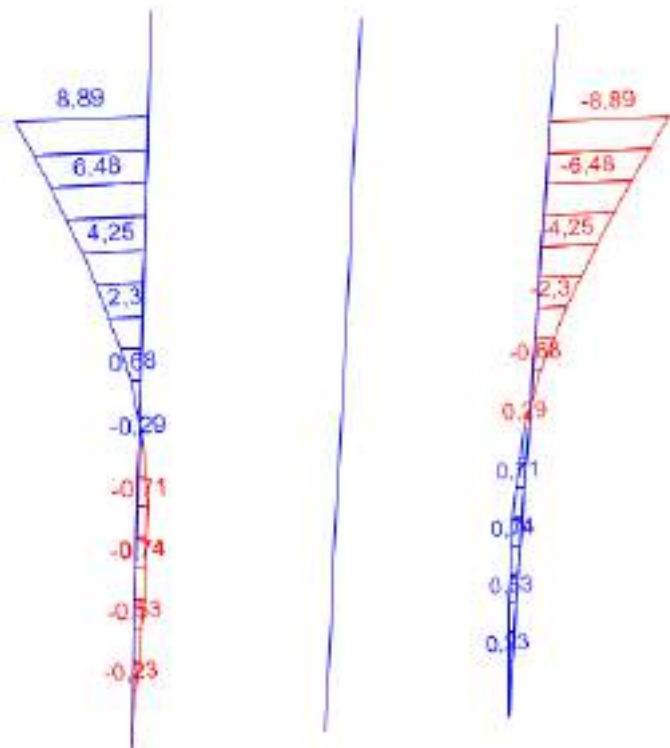
12.1.2.2 Diagrama de momento 2-2 por estado límite de resistencia (kN·m)



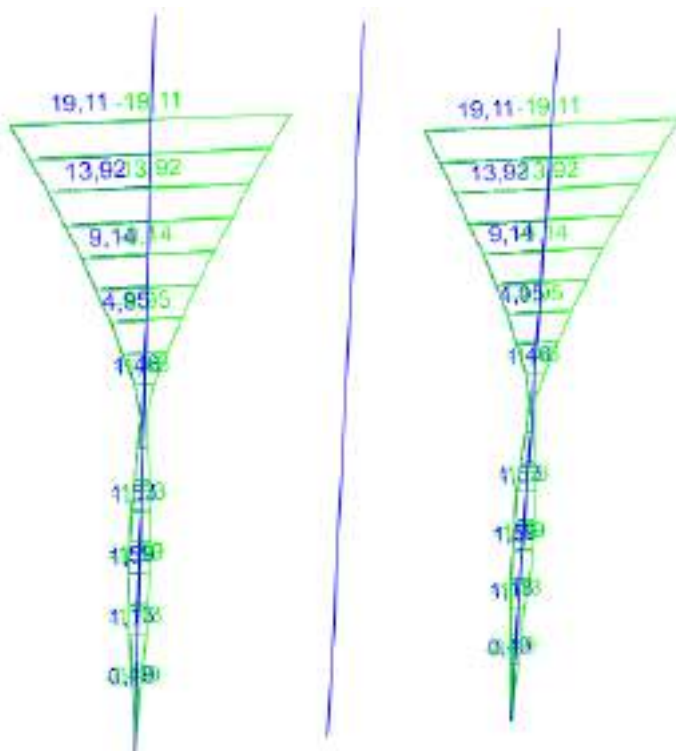
12.1.2.3 Diagrama de momento 2-2 por estado límite de evento extremo (kN·m)



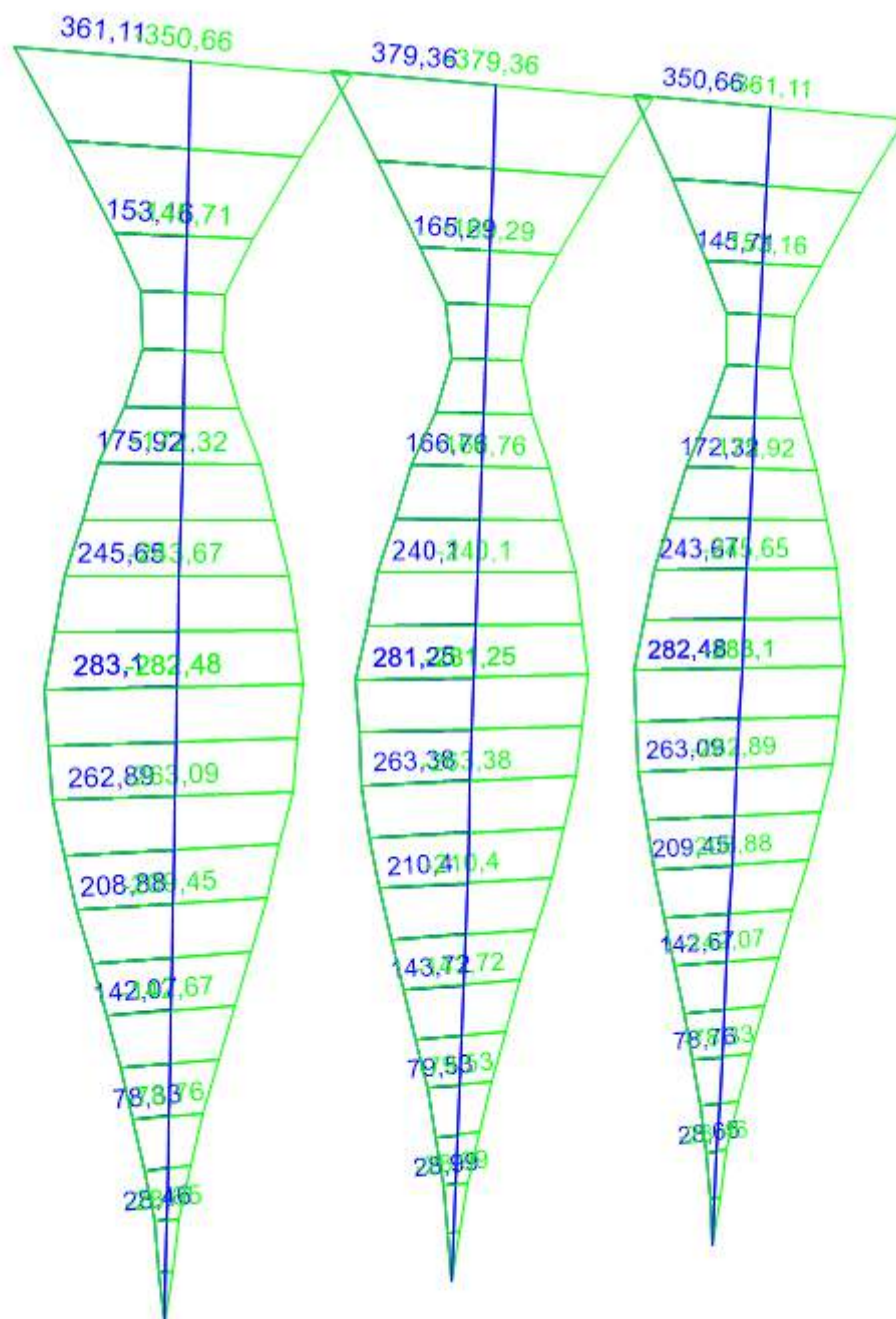
12.1.2.4 Diagrama de momento 3-3 por estado límite de servicio (kN·m)



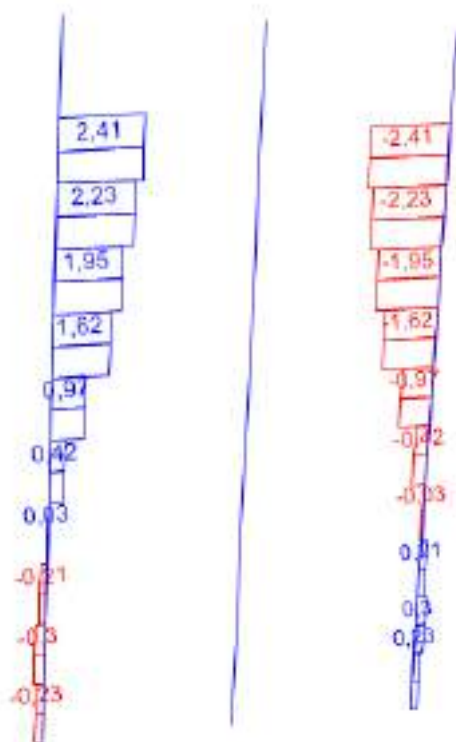
12.1.2.5 Diagrama de momento 3-3 por estado límite de resistencia (kN·m)



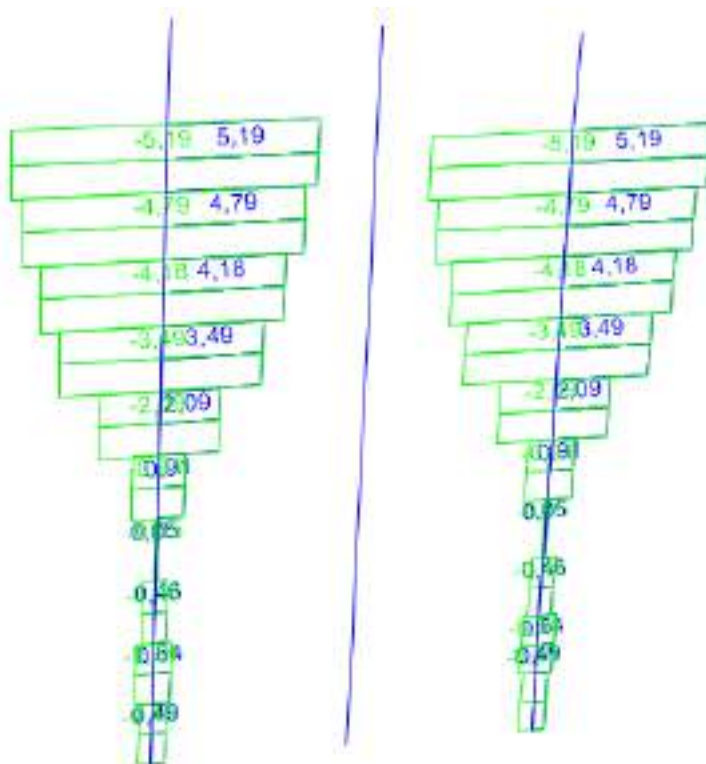
12.1.2.6 Diagrama de momento 3-3 por estado límite de evento extremo (kN·m)



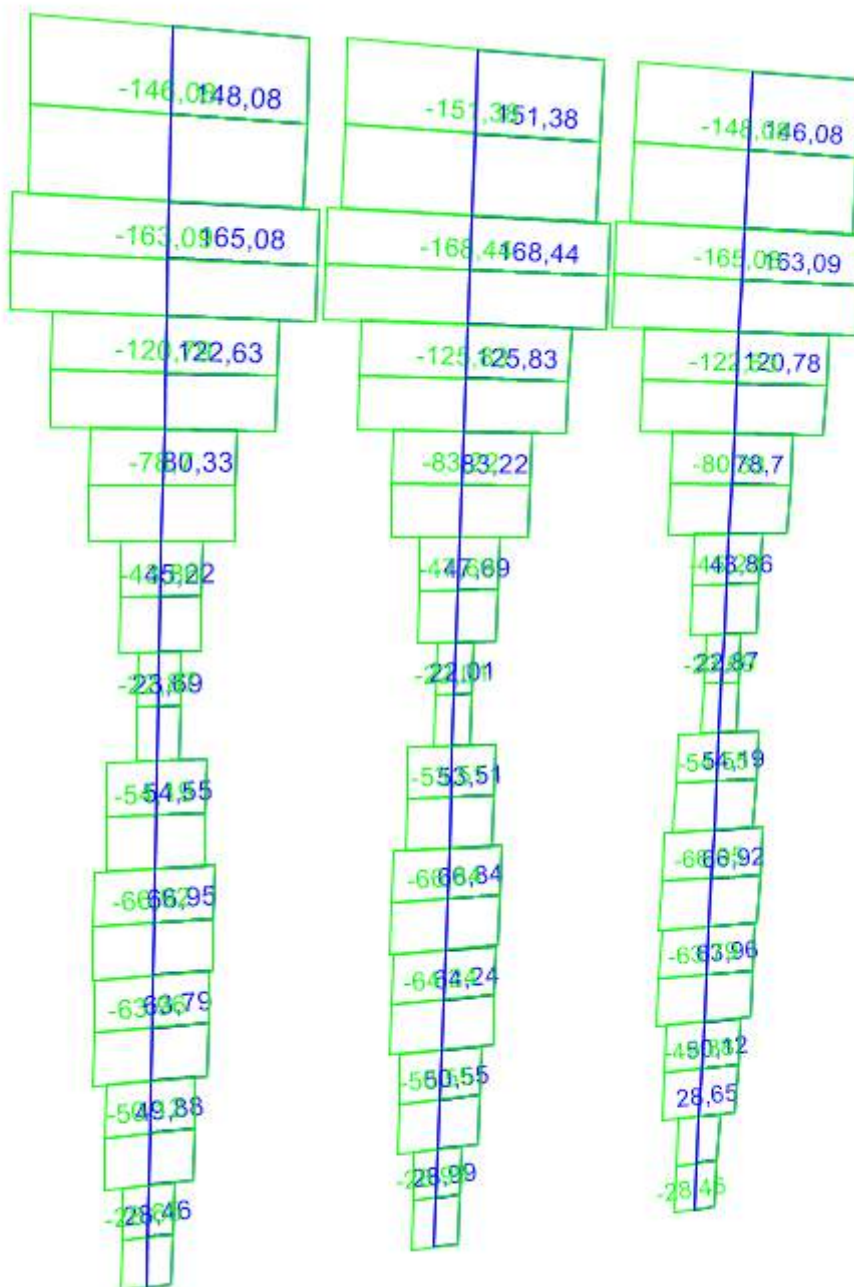
12.1.2.7 Diagrama de cortante 2-2 por estado límite de servicio (kN)



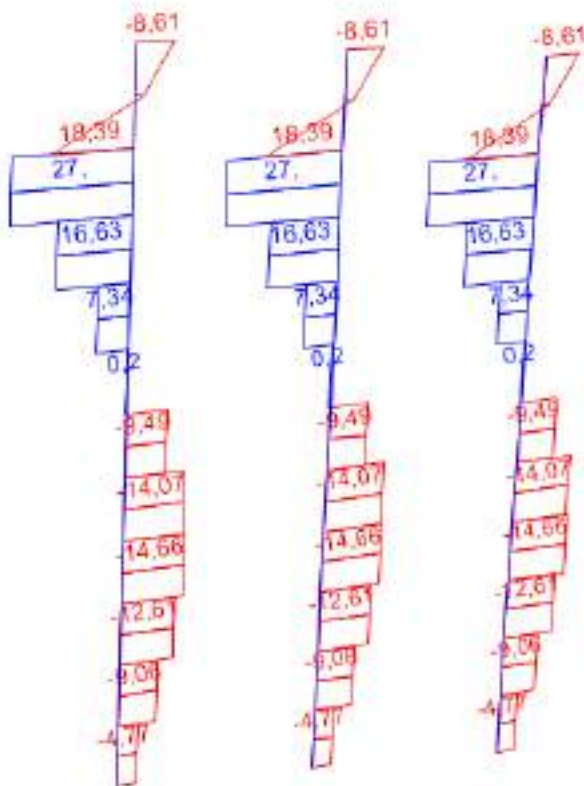
12.1.2.8 Diagrama de cortante 2-2 por estado límite de resistencia (kN)



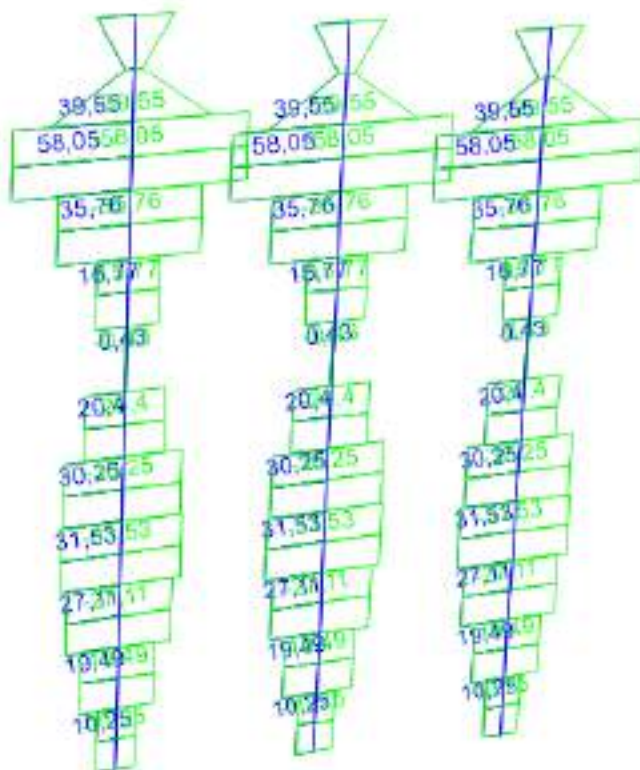
12.1.2.9 Diagrama de cortante 2-2 por estado límite de evento extremo (kN)



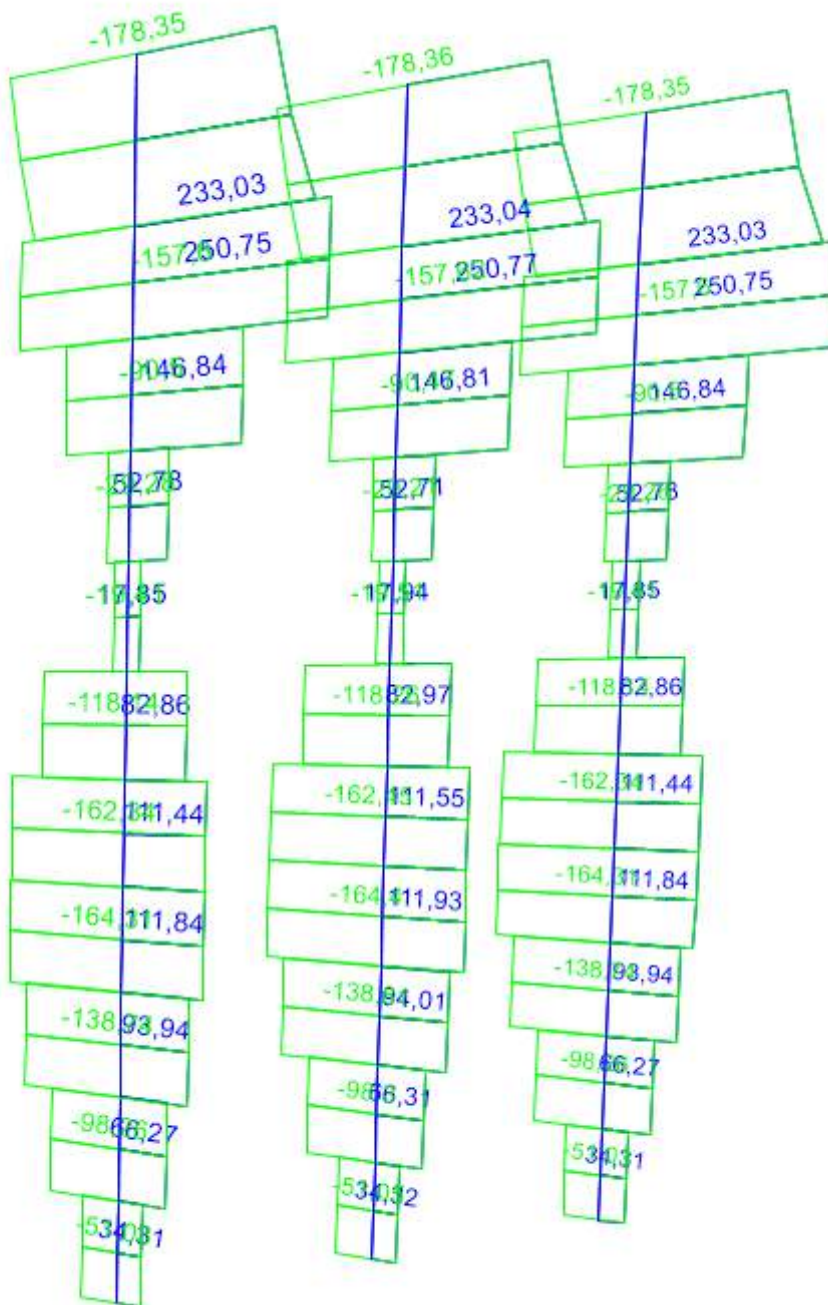
12.1.2.10 Diagrama de cortante 3-3 por estado límite de servicio (kN)



12.1.2.11 Diagrama de cortante 3-3 por estado límite de resistencia (kN)

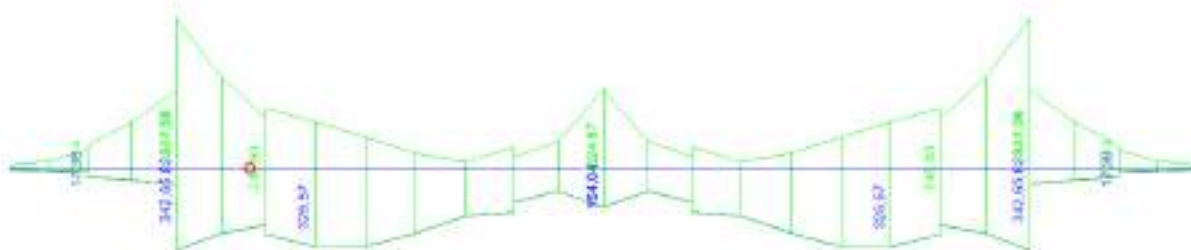


12.1.2.12 Diagrama de cortante 3-3 por estado límite de evento extremo (kN)

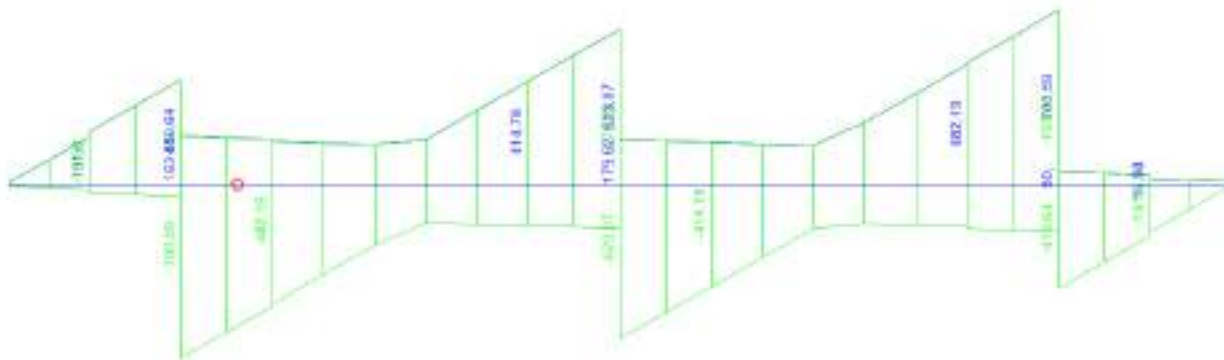


12.1.3 Viga de cimentación k29+750-k29+780

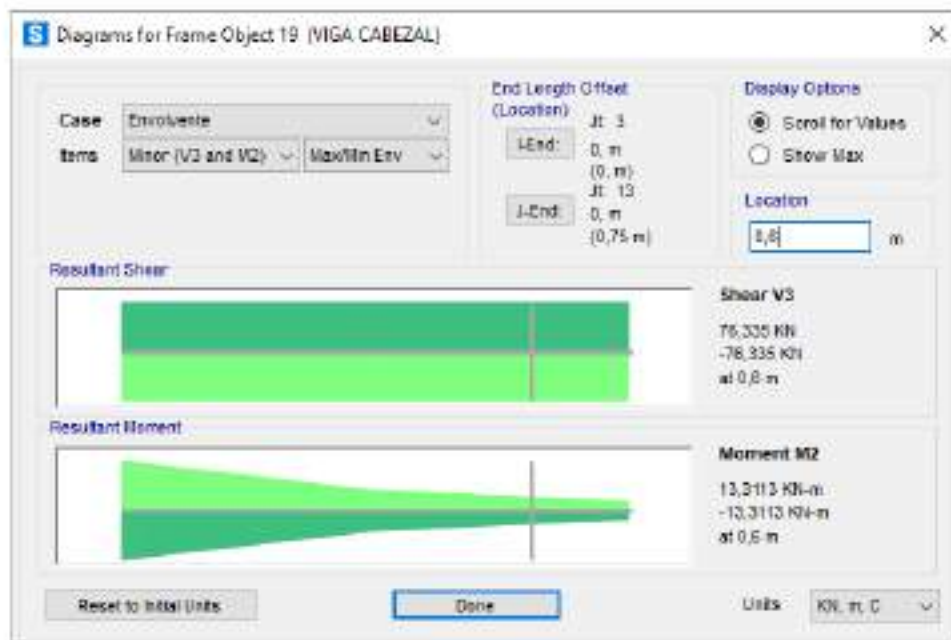
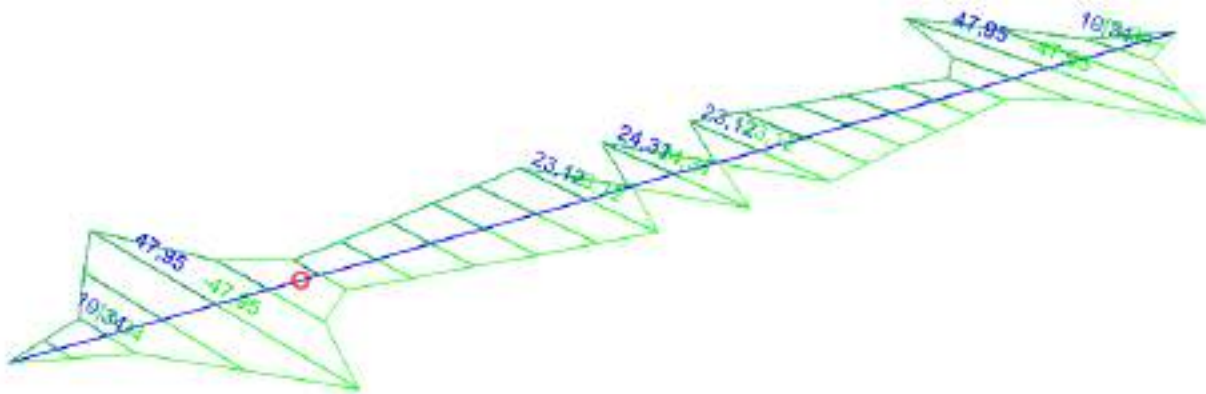
12.1.3.1 Diagrama de momento M3-3 (kN·m)



12.1.3.2 Diagrama de cortante V2-2 (kN)

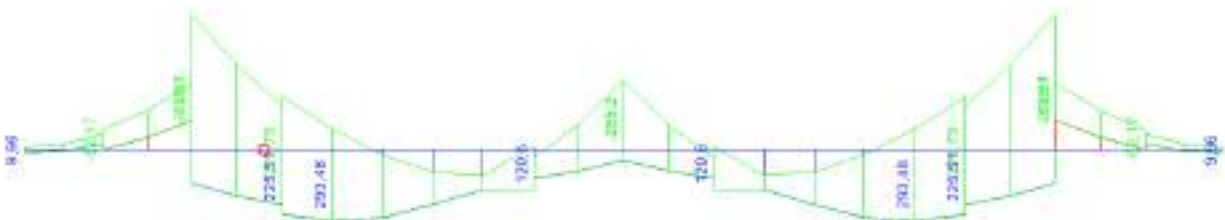


12.1.3.3 Diagrama de momento M2-2 (kN·m)

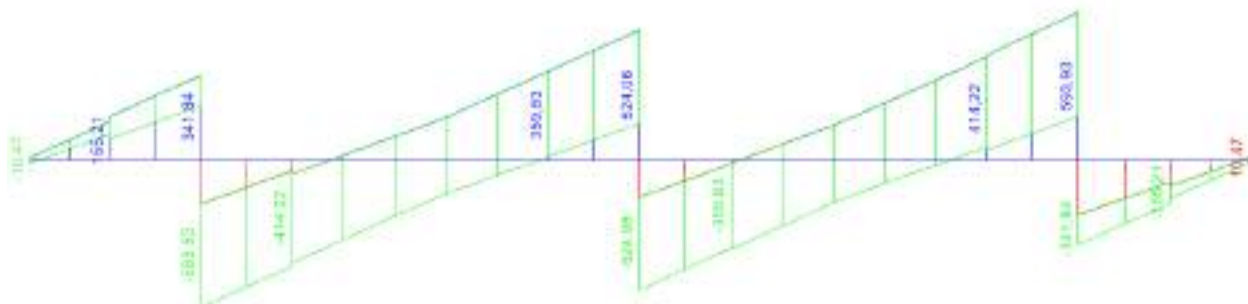


12.1.4 Viga de cimentación k29+780-k29+840

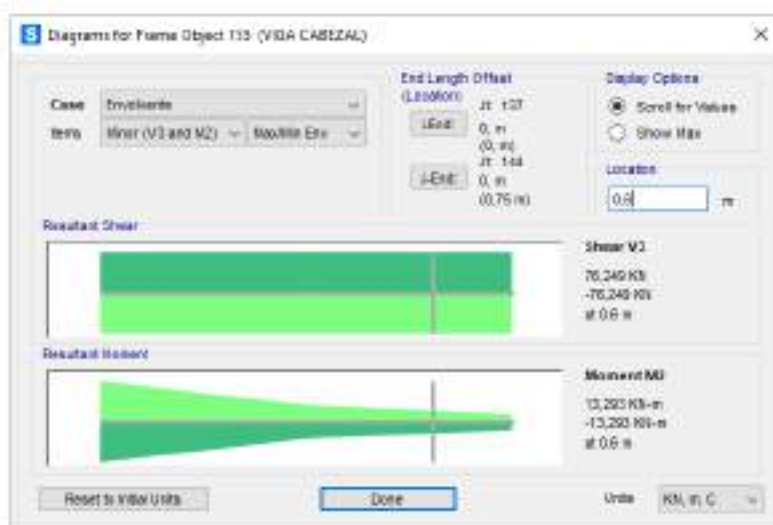
12.1.4.1 Diagrama de momento M3-3 (kN·m)



12.1.4.2 Diagrama de cortante V2-2 (kN)



12.1.4.3 Diagrama de momento M2-2 (kN·m)



13 DISEÑO ELEMENTOS

13.1.1 Caissons L=20m k29+750-k29+780

13.1.1.1 Índices de sobrefuerzo



Ilustración 30 Índices de esfuerzos caissons.pilotes 20m

13.1.1.2 Curvas de interacción

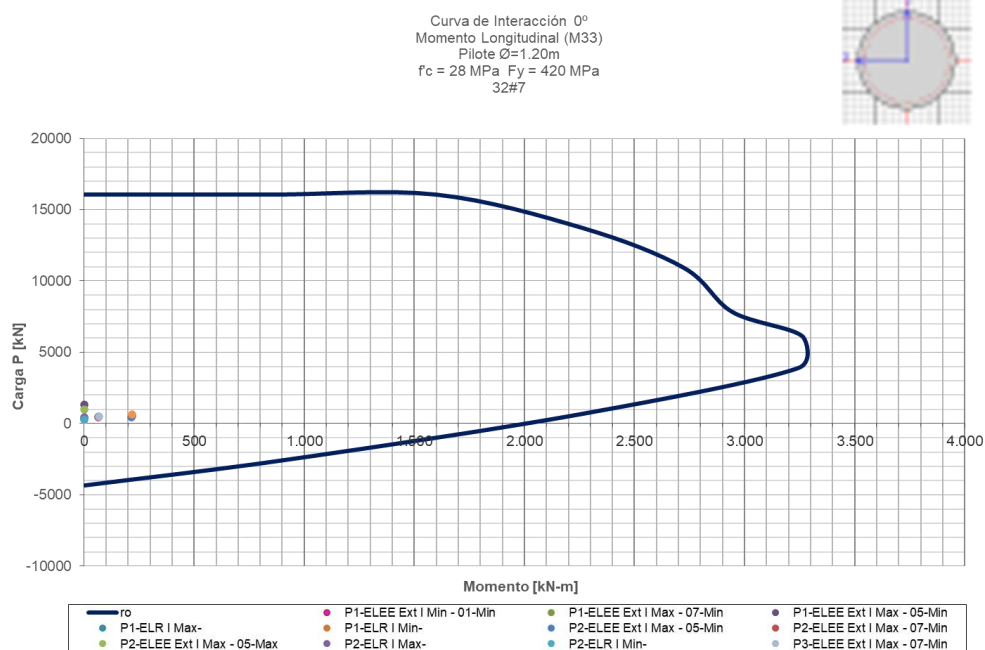


Ilustración 31 Curva interacción 0° pilotes 20m

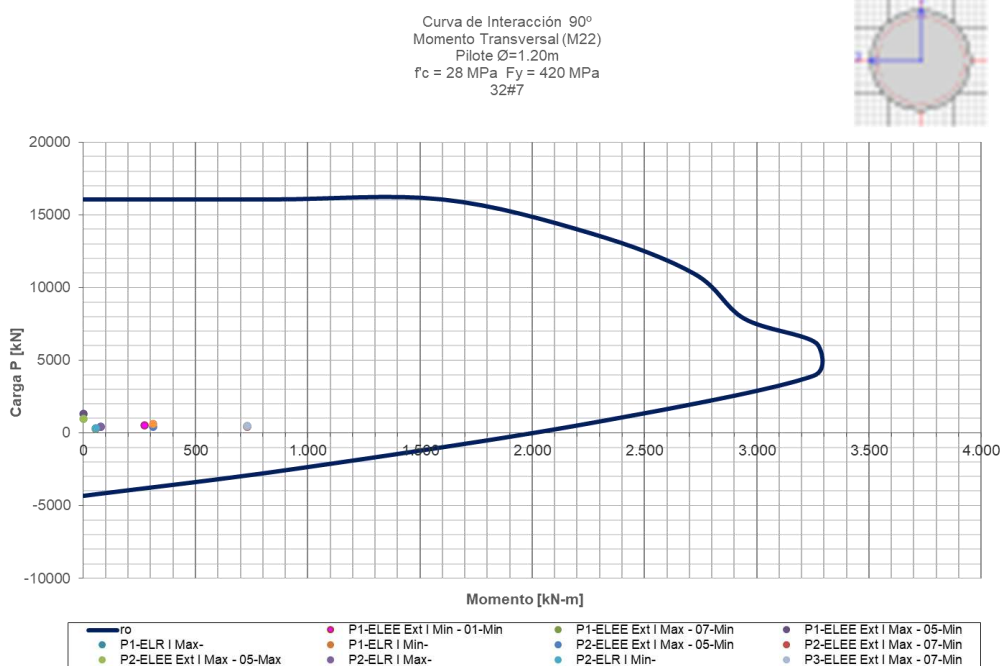


Ilustración 32 Curva interacción 90° pilotes 20m

13.1.1.3 Solicitaciones de caisson

TABLE: Element Forces - Frames								
Frame	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	M2	M3
Text	Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m
P1	ELR I Min	Combination		298,05	0,00	5,35	56,20	0,00
P1	ELR I Max	Combination		413,96	0,00	7,43	78,05	1,25
P1	ELEE Ext I Min - 01	Combination	Min	514,18	30,95	15,11	274,36	217,74
P1	ELEE Ext I Min - 02	Combination	Min	362,89	8,95	40,91	693,71	64,69
P1	ELEE Ext I Min - 03	Combination	Min	514,18	30,95	15,11	274,36	217,74
P1	ELEE Ext I Min - 04	Combination	Min	362,89	8,95	40,91	693,71	64,69
P1	ELEE Ext I Max - 05	Combination	Min	630,09	30,76	16,34	311,82	217,39
P1	ELEE Ext I Max - 06	Combination	Min	630,09	30,76	16,34	311,82	217,39
P1	ELEE Ext I Max - 07	Combination	Min	478,80	8,76	42,14	731,18	64,34
P1	ELEE Ext I Max - 08	Combination	Min	478,80	8,76	42,14	731,18	64,34
P2	ELR I Min	Combination		300,27	0,00	5,35	56,20	0,00
P2	ELR I Max	Combination		417,04	0,00	7,43	78,05	0,00
P2	ELEE Ext I Min - 01	Combination	Min	300,27	72,79	0,00	274,52	214,19
P2	ELEE Ext I Min - 02	Combination	Min	300,27	21,84	19,75	694,24	64,26
P2	ELEE Ext I Min - 03	Combination	Min	300,27	72,79	0,00	274,52	214,19
P2	ELEE Ext I Min - 04	Combination	Min	300,27	21,84	19,75	694,24	64,26
P2	ELEE Ext I Max - 05	Combination	Min	417,04	72,79	2,93	311,98	214,19
P2	ELEE Ext I Max - 06	Combination	Min	417,04	72,79	2,93	311,98	214,19
P2	ELEE Ext I Max - 07	Combination	Min	417,04	21,84	16,19	731,70	64,26
P2	ELEE Ext I Max - 08	Combination	Min	417,04	21,84	16,19	731,70	64,26
P3	ELR I Min	Combination		298,05	0,00	5,35	56,20	0,00
P3	ELR I Max	Combination		413,96	0,00	7,43	78,05	1,25
P3	ELEE Ext I Min - 01	Combination	Min	514,18	31,90	15,11	274,36	219,55
P3	ELEE Ext I Min - 02	Combination	Min	362,89	9,90	40,91	693,71	66,50
P3	ELEE Ext I Min - 03	Combination	Min	514,18	31,90	15,11	274,36	219,55
P3	ELEE Ext I Min - 04	Combination	Min	362,89	9,90	40,91	693,71	66,50
P3	ELEE Ext I Max - 05	Combination	Min	630,09	32,09	16,34	311,82	219,90
P3	ELEE Ext I Max - 06	Combination	Min	630,09	32,09	16,34	311,82	219,90
P3	ELEE Ext I Max - 07	Combination	Min	478,80	10,09	42,14	731,18	66,85
P3	ELEE Ext I Max - 08	Combination	Min	478,80	10,09	42,14	731,18	66,85
P1	ELR I Min	Combination		705,79	0,00	0,00	0,00	0,00
P1	ELR I Max	Combination		980,26	0,00	0,00	0,00	0,00
P1	ELEE Ext I Min - 01	Combination	Min	1033,68	1,19	0,00	0,00	0,00

TABLE: Element Forces - Frames								
Frame	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	M2	M3
Text	Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m
P1	ELEE Ext I Min - 03	Combination	Min	1033,68	1,19	0,00	0,00	0,00
P1	ELEE Ext I Max - 05	Combination	Min	1308,15	1,18	0,00	0,00	0,00
P1	ELEE Ext I Max - 06	Combination	Min	1308,15	1,18	0,00	0,00	0,00
P1	ELEE Ext I Min - 02	Combination	Min	804,15	0,00	1,37	0,00	0,00
P1	ELEE Ext I Min - 04	Combination	Min	804,15	0,00	1,37	0,00	0,00
P1	ELEE Ext I Max - 07	Combination	Min	1078,62	0,00	1,26	0,00	0,00
P1	ELEE Ext I Max - 08	Combination	Min	1078,62	0,00	1,26	0,00	0,00
P2	ELR I Min	Combination		708,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P2	ELR I Max	Combination		983,34	0,00	0,00	0,00	0,00
P2	ELEE Ext I Max - 05	Combination	Max	983,34	1,21	0,00	0,00	0,00
P2	ELEE Ext I Max - 06	Combination	Max	983,34	1,21	0,00	0,00	0,00
P2	ELEE Ext I Min - 01	Combination	Max	708,00	1,21	0,00	0,00	0,00
P2	ELEE Ext I Min - 03	Combination	Max	708,00	1,21	0,00	0,00	0,00
P2	ELEE Ext I Min - 02	Combination	Max	708,00	0,00	1,89	0,00	0,00
P2	ELEE Ext I Min - 04	Combination	Max	708,00	0,00	1,89	0,00	0,00
P2	ELEE Ext I Max - 07	Combination	Max	983,34	0,00	1,99	0,00	0,00
P2	ELEE Ext I Max - 08	Combination	Max	983,34	0,00	1,99	0,00	0,00
P3	ELR I Min	Combination		705,79	0,00	0,00	0,00	0,00
P3	ELR I Max	Combination		980,26	0,00	0,00	0,00	0,00
P3	ELEE Ext I Max - 05	Combination	Min	1308,15	1,19	0,00	0,00	0,00
P3	ELEE Ext I Max - 06	Combination	Min	1308,15	1,19	0,00	0,00	0,00
P3	ELEE Ext I Min - 01	Combination	Min	1033,68	1,19	0,00	0,00	0,00
P3	ELEE Ext I Min - 03	Combination	Min	1033,68	1,19	0,00	0,00	0,00
P3	ELEE Ext I Min - 02	Combination	Min	804,15	0,00	1,37	0,00	0,00
P3	ELEE Ext I Min - 04	Combination	Min	804,15	0,00	1,37	0,00	0,00
P3	ELEE Ext I Max - 07	Combination	Min	1078,62	0,00	1,26	0,00	0,00
P3	ELEE Ext I Max - 08	Combination	Min	1078,62	0,00	1,26	0,00	0,00

Tabla 13 Solicitaciones en caisson pilotes 20m

13.1.1.4 Revisión por distribución de armadura

Revisión por distribución de armadura (fisuración):

Materiales:

$$f'_c = 28 \text{ MPa}$$

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

Geometría:

$$\phi_{\text{pilote}} = 1,20 \text{ m}$$

$$\text{Rec.} = 0,075 \text{ m}$$

$$d = 1,11 \text{ m}$$

$$A_s = \# 7$$

$$\text{Sep.}_{\text{Ref}} = 0,10 \text{ m} \quad \text{Empleada}$$

$$\phi_{A_s} = 2,22 \text{ cm}$$

$$z = 8,61 \text{ cm}$$

Momento actuante ELS:

$$M_{\text{ELS}} = 60,4 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

Usando la sección agrietada y una franja de 0,100 m de ancho, para el diseño por ELS.

$$M_{S \ 0,10} = 6,0 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

$$M_{S \ 0,10} = \text{separación} \times M_s$$

Eje Neutro:

$$f_c = 28 \text{ MPa}$$

$$E_c = 20637 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200000 \text{ MPa}$$

$$n = 10$$

Área de acero transformada: $A_{st} = \text{relación modular} \times \text{área de acero}$

$$A_{st} = 77,6 \text{ cm}^2$$

$$A_{st} = n \times A_s$$

$$y = 34,5 \text{ cm}$$

$$E = 3900 \sqrt{f'_c} \text{ (MPa)}$$

Esfuerzo de la barra:

$$M_s = 6,0 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$A_s = 7,8 \text{ cm}^2$$

$$J_d = 99,9 \text{ cm}$$

$$f_{ss} = 7792,8 \text{ kN/m}^2$$

$$0.6f_y = 252000,0 \text{ kN/m}^2$$

$$M_s = f_{ss} \times A_s \times J_d$$

$$f_{ss} = \frac{M_s}{A_s \times J_d}$$

$$f_{ss} \leq 0.6f_y \quad \text{Ok!}$$

Máxima separación armadura:

$\gamma_e = 0,75$ Exposición= Clase 2

$\beta_s = 1,1$

$$\beta = H + \frac{d_c}{0.7(h - d_c)}$$

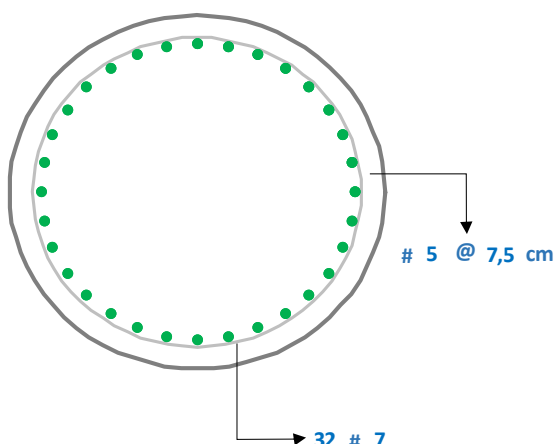
$s_{\text{máx}} = 1045,2 \text{ cm}$

$$s \leq \frac{123000\gamma_e}{\beta_s f_{ss}} - 2d_c$$

$s_{\text{empleada}} = 10,0 \text{ cm}$

$s_{\text{máx}} > s_{\text{empleada}}$ Ok!

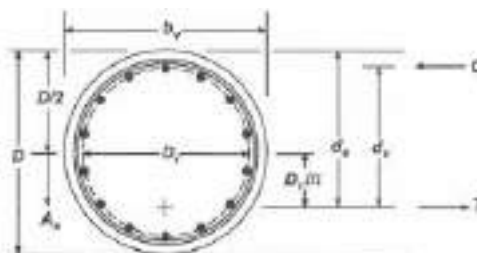
13.1.1.5 Cuantía volumétrica

GEOMETRÍA		MATERIALES	
$\varnothing = 1,2 \text{ m}$ Area $A_g = 11309,7 \text{ cm}^2$		$f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ <u>Recubrimiento</u> $r = 7,5 \text{ cm}$	
REFUERZO LONGITUDINAL		REFUERZO TRANSVERSAL	
No.	Cantidad	No.	
Refuerzo= 7	32	Refuerzo= 5	
As= 124,1	cm^2	Separación= 7,5	cm
CUANTÍA DE AREA			
$\rho_{\text{minimo}} = 0,0075$			
$\rho_{\text{empleada}} = 0,0110$ OK			
CUANTÍA VOLUMETRICA			
$A_c = 8659,015 \text{ cm}^2$			
$\rho_{vol-1} = 0.45 \cdot \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \cdot \frac{f'_c}{f_y}$			
$\rho_{Vol-1} = 0,0092$			
$\rho_{vol-2} = 0.12 \cdot \frac{f'_c}{f_y}$			
$\rho_{Vol-2} = 0,0080$			
$\rho_{Vol} = 0,009184$			
No. Pasos = 13,3	Por metro		
$L_{\text{paso}} = 377,1$	cm		
$L_{\text{espiral}} = 5027,5$	cm		
Vol. espiral = 9951,1	cm^3		
$\rho_{ol \text{ empleada}} = 0,0115$	OK		

13.1.1.6 Revisión cortante

CORTANTE CAISSON $\phi=1.2\text{m}$

f'_c	28 MPa
f_y	420 MPa
E_s	200000000 kN/m ²
As estribo: Aro #5	2,00 cm ²
Número de ramas	2
A_v (Area por sección)	4,00 cm ²
b_v (Ancho efectivo para cortante)	1200,0 mm
b_{ef} (Ancho efectivo)	1,20 m
ϕ	0,90
Recubrimiento	0,075 m
V_u	358,0 kN
M_u	381,0 kN-m
As flexión	0,0182 m ²
a (altura del bloque de compresión)	0,268 m



1. Altura efectiva para cortante

Máximo entre

$$a) d_e = (D/2) + (D_r/\pi) = 934,2 \text{ mm}$$

$$d_v = d_e - \text{recubrimiento} = 859,2 \text{ mm}$$

$$d_v = 0,86 \text{ m}$$

$$\epsilon_s = ((M_u/d_v) + (V_u)) / E_s A_s$$

$$\epsilon_s = 0,0002$$

2. Angulo de las fisuras generadas a cortante

$$\theta = 29 + 3500\epsilon_s$$

$$\theta = 29,8$$

3. Factor que indica la habilidad del concreto para transmitir tracción y cortante cuando esta fisurado

$$\beta = (4.8)/(1+750\epsilon_s)$$

$$\beta = 4,121$$

4. Resistencia nominal del concreto

No debe ser mayor que

$$V_n = 0.25f'_c \times b_v \times d_v$$

$$V_c = 0.083 \times \beta \times \sqrt{f'_c} \times b_v \times d_v$$

$$V_n = 7217,5 \text{ kN}$$

$$V_c = 1866,2 \text{ kN}$$

$$V_{rc} = \phi v_c \quad 1679,5 \text{ kN} \quad \text{NO REQUIERE REFUERZO A CORTANTE}$$

5. Cortante a resistir por el acero de refuerzo

$$V_s = V_u - \phi V_c \quad -1153,6 \text{ kN}$$

5.1 Esfuerzo cortante

$$v_u = (V_u - \phi V_p) / (\phi \times b_v \times d_v) \quad 0,39 \text{ MPa}$$

$$0.125 \times f'_c \quad 3,50 \text{ MPa}$$

5.2 La separación entre estribos debe ser la mínima entre

$$s_1 = 0.4 d_v \quad 0,34 \text{ m}$$

$$s_2 = 30 \text{ cm} \quad 0,30 \text{ m}$$

$$s = (A_v \times f_y \times d_v \times (\cot\theta + \cot\alpha) \sin\alpha) / V_s$$

Para $\alpha = 90$ tenemos

$$s_3 = (A_v \times f_y \times d_v \times \cot\theta) / V_s \quad -0,22 \text{ m}$$

$$S \text{ escogido} \quad 0,30 \text{ m}$$

$$S \text{ adoptado} \quad 0,075 \text{ m}$$

Recalculando V_s con esta separación de estribos, tenemos:

$$V_{sfinal} \quad 3364,9 \text{ kN}$$

6. Cortante resistente

$$V_r = \phi(V_c + V_{sfinal}) \quad 4540,0 \text{ kN}$$

Este valor se debe comparar con el valor de V_u

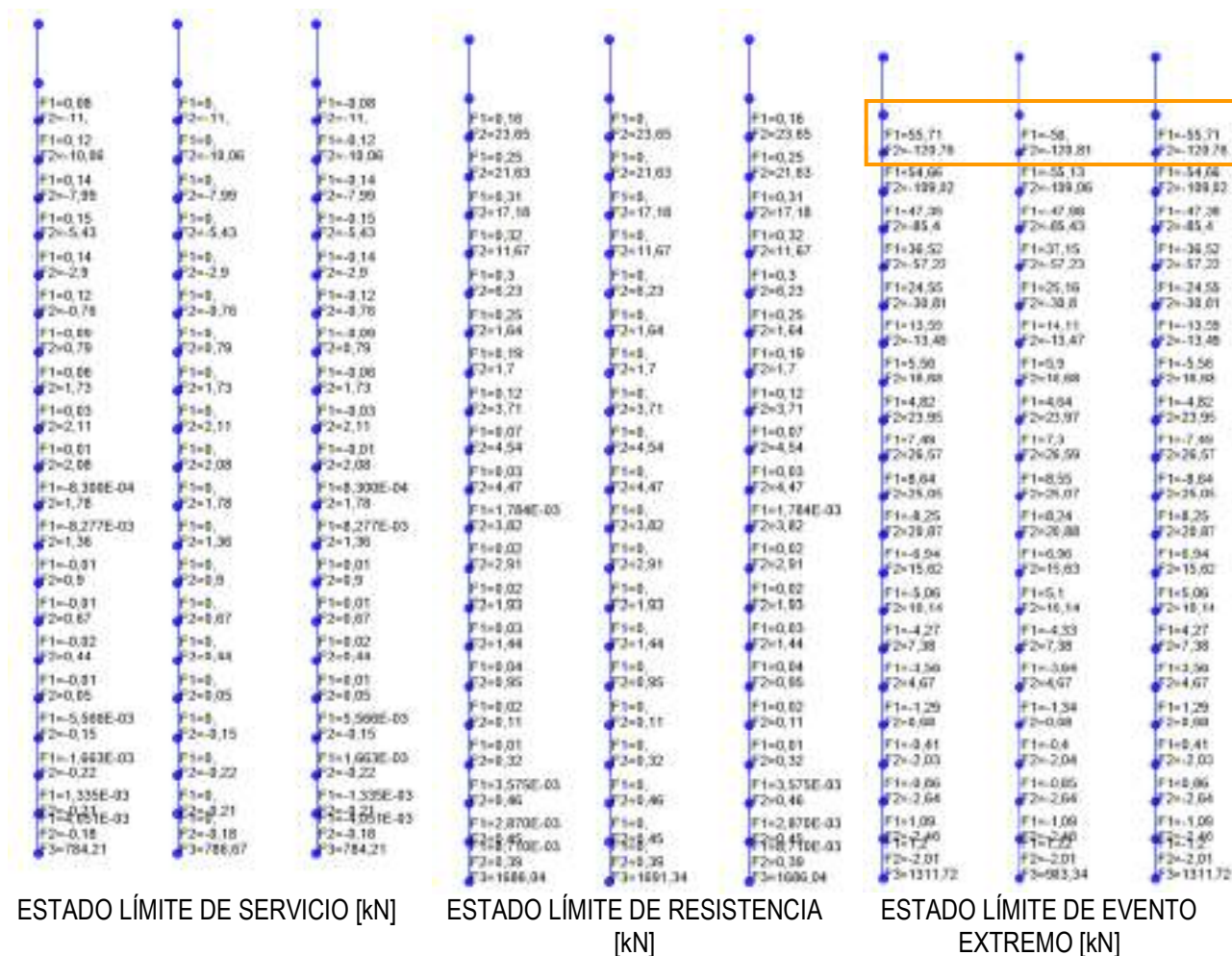
$$V_u = 358 \text{ kN} \quad V_r \geq V_u$$

13.1.1.7 Revisión capacidad portante

TABLE: Joint Reactions						
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	F3	Capacidad portante	Revisión
Text	Text	Text	Text	KN	KN	
P1	ELR I	Combination	Max	980	10269	CUMPLE
P1	ELR I	Combination	Min	706	10269	CUMPLE
P1	ELEE Ext I	Combination	Max	1312	30807	CUMPLE
P1	ELEE Ext I	Combination	Min	374	30807	CUMPLE
P3	ELR I	Combination	Max	980	10269	CUMPLE
P3	ELR I	Combination	Min	706	10269	CUMPLE
P3	ELEE Ext I	Combination	Max	1312	30807	CUMPLE
P3	ELEE Ext I	Combination	Min	374	30807	CUMPLE
P2	ELR I	Combination	Max	983	10269	CUMPLE
P2	ELR I	Combination	Min	708	10269	CUMPLE
P2	ELEE Ext I	Combination	Max	983	30807	CUMPLE
P2	ELEE Ext I	Combination	Min	708	30807	CUMPLE

Tabla 14 Revisión capacidad portante pilotes 20m

13.1.1.8 Revisión capacidad lateral



Diam (m)	Longitud (m)				
	16	17	18	19	20
1,2	702,31	795,74	892,09	989,91	1088
1,3	760,84	862,05	966,44	1073,98	1183
1,4	819,36	928,37	1040,78	1156,60	1276
1,5	877,89	994,68	1115,12	1239,21	1367
1,7	936,41	1060,99	1189,46	1321,82	1458

Tabla 15 Valores capacidad de carga lateral.

Fuente: Informe "Memorando técnico JPV-187-1337D-22".

La carga lateral máxima es de 120kN, y la capacidad máxima es de 10880kN, por lo tanto el pilote cumple a carga lateral.

13.1.2 Caissons L=10m k29+780-k29+840

13.1.2.1 Índices de sobrefuerzo



Ilustración 33 Índices de esfuerzos caissons.pilotes 10m

13.1.2.2 Curvas de interacción

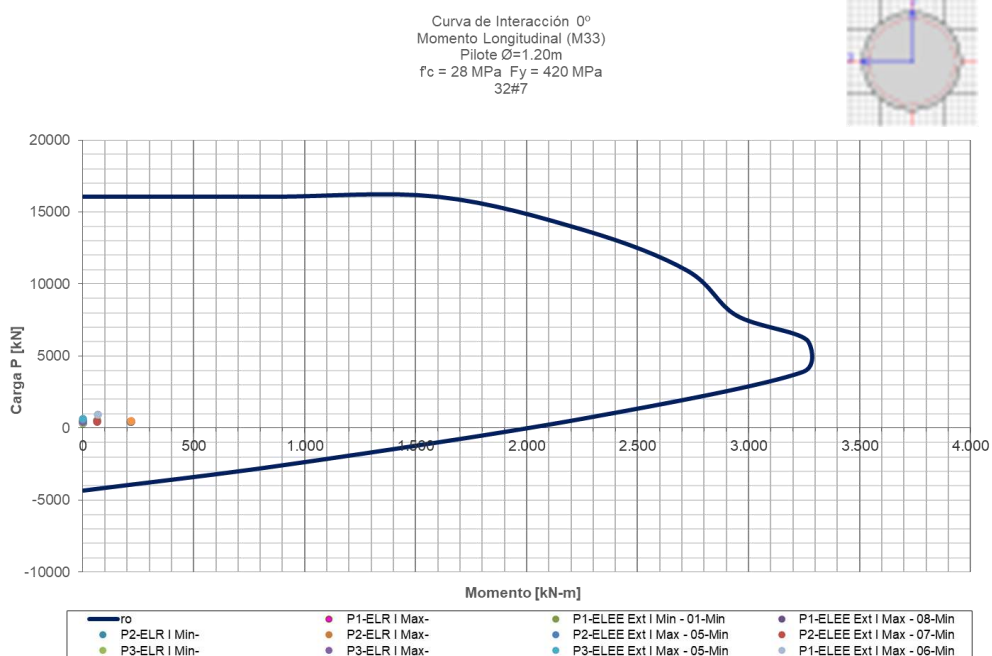


Ilustración 34 Curva interacción 0° pilotes 10m

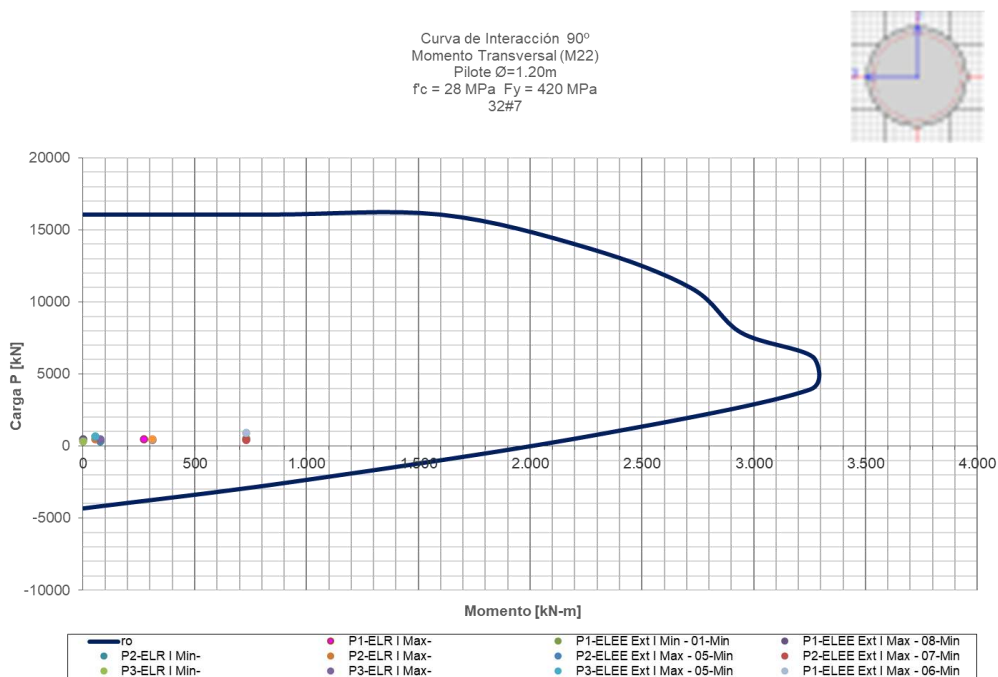


Ilustración 35 Curva interacción 90° pilotes 10m

13.1.2.3 Solicitaciones de caisson

TABLE: Element Forces - Frames								
Frame	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	M2	M3
Text	Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m
P1	ELR I Max	Combination		447,4	0,0	0,0	80,8	0,0
P1	ELEE Ext I Min - 01	Combination	Min	531,4	43,9	6,4	282,3	243,7
P1	ELEE Ext I Min - 02	Combination	Min	368,1	12,8	19,4	713,4	72,5
P1	ELEE Ext I Min - 03	Combination	Min	531,4	43,9	6,4	282,3	243,7
P1	ELEE Ext I Min - 04	Combination	Min	368,1	12,8	19,4	713,4	72,5
P1	ELEE Ext I Max - 05	Combination	Min	639,8	78,4	2,3	321,0	243,3
P1	ELEE Ext I Max - 06	Combination	Min	647,4	43,6	6,3	321,0	243,3
P1	ELEE Ext I Max - 07	Combination	Min	481,8	22,9	24,9	752,1	72,2
P1	ELEE Ext I Max - 08	Combination	Min	484,1	12,5	19,3	752,1	72,2
P2	ELR I Min	Combination		324,1	0,0	0,0	58,2	0,0
P2	ELR I Max	Combination		450,1	0,0	0,0	80,8	0,0
P2	ELEE Ext I Min - 01	Combination	Min	300,1	83,2	2,1	282,5	240,1
P2	ELEE Ext I Min - 02	Combination	Min	300,1	25,0	29,2	714,0	72,0
P2	ELEE Ext I Min - 03	Combination	Min	300,1	83,2	2,1	282,5	240,1
P2	ELEE Ext I Min - 04	Combination	Min	300,1	25,0	29,2	714,0	72,0
P2	ELEE Ext I Max - 05	Combination	Min	416,8	83,2	2,3	321,1	240,1
P2	ELEE Ext I Max - 06	Combination	Min	416,8	83,2	2,3	321,1	240,1
P2	ELEE Ext I Max - 07	Combination	Min	416,8	25,0	24,8	752,7	72,0
P2	ELEE Ext I Max - 08	Combination	Min	416,8	25,0	24,8	752,7	72,0
P3	ELR I Min	Combination		322,1	0,0	0,0	58,2	0,0
P3	ELR I Max	Combination		447,4	0,0	0,0	80,8	0,0
P3	ELEE Ext I Min - 01	Combination	Min	531,4	45,0	6,4	282,3	245,3
P3	ELEE Ext I Min - 02	Combination	Min	368,1	13,9	19,4	713,4	74,2
P3	ELEE Ext I Min - 03	Combination	Min	531,4	45,0	6,4	282,3	245,3
P3	ELEE Ext I Min - 04	Combination	Min	368,1	13,9	19,4	713,4	74,2
P3	ELEE Ext I Max - 05	Combination	Min	647,4	45,2	6,3	321,0	245,7
P3	ELEE Ext I Max - 06	Combination	Min	647,4	45,2	6,3	321,0	245,7
P3	ELEE Ext I Max - 07	Combination	Min	484,1	14,1	19,3	752,1	74,5
P3	ELEE Ext I Max - 08	Combination	Min	484,1	14,1	19,3	752,1	74,5
P1	ELEE Ext I Max - 05	Combination	Max	103,3	165,1	113,5	45,8	153,2
P1	ELEE Ext I Max - 07	Combination	Max	250,9	50,3	250,7	232,9	49,0
P1	ELR I Max	Combination		647,3	0,0	6,0	0,0	0,0
P1	ELEE Ext I Min - 01	Combination	Min	746,5	28,6	19,3	0,0	0,0

TABLE: Element Forces - Frames								
Frame	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	M2	M3
Text	Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m
P1	ELEE Ext I Min - 02	Combination	Min	550,2	8,6	48,2	0,0	0,0
P1	ELEE Ext I Min - 03	Combination	Min	746,5	28,6	19,3	0,0	0,0
P1	ELEE Ext I Min - 04	Combination	Min	550,2	8,6	48,2	0,0	0,0
P1	ELEE Ext I Max - 06	Combination	Min	927,8	28,6	22,2	0,0	0,0
P1	ELEE Ext I Max - 08	Combination	Min	731,4	8,7	51,0	0,0	0,0
P2	ELR I Min	Combination		468,0	0,0	4,3	0,0	0,0
P2	ELR I Max	Combination		650,0	0,0	6,0	0,0	0,0
P2	ELEE Ext I Min - 01	Combination	Max	468,0	29,0	5,4	0,0	0,0
P2	ELEE Ext I Min - 02	Combination	Max	468,0	8,7	34,3	0,0	0,0
P2	ELEE Ext I Min - 03	Combination	Max	468,0	29,0	5,4	0,0	0,0
P2	ELEE Ext I Min - 04	Combination	Max	468,0	8,7	34,3	0,0	0,0
P2	ELEE Ext I Max - 05	Combination	Max	650,0	29,0	2,6	0,0	0,0
P2	ELEE Ext I Max - 06	Combination	Max	650,0	29,0	2,6	0,0	0,0
P2	ELEE Ext I Max - 07	Combination	Max	650,0	8,7	31,5	0,0	0,0
P2	ELEE Ext I Max - 08	Combination	Max	650,0	8,7	31,5	0,0	0,0
P3	ELR I Min	Combination		466,0	0,0	4,3	0,0	0,0
P3	ELR I Max	Combination		647,3	0,0	6,0	0,0	0,0
P3	ELEE Ext I Min - 01	Combination	Min	746,5	28,5	19,3	0,0	0,0
P3	ELEE Ext I Min - 02	Combination	Min	550,2	8,5	48,2	0,0	0,0
P3	ELEE Ext I Min - 03	Combination	Min	746,5	28,5	19,3	0,0	0,0
P3	ELEE Ext I Min - 04	Combination	Min	550,2	8,5	48,2	0,0	0,0
P3	ELEE Ext I Max - 05	Combination	Min	927,8	28,4	22,2	0,0	0,0
P3	ELEE Ext I Max - 06	Combination	Min	927,8	28,4	22,2	0,0	0,0
P3	ELEE Ext I Max - 07	Combination	Min	731,4	8,5	51,0	0,0	0,0
P3	ELEE Ext I Max - 08	Combination	Min	731,4	8,5	51,0	0,0	0,0

Tabla 16 Solicitaciones en caisson pilotes 10m

13.1.2.4 Revisión por distribución de armadura

Revisión por distribución de armadura (fisuración):

Materiales:

$$f'_c = 28 \text{ MPa}$$

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

Geometría:

$$\phi_{\text{pilote}} = 1,20 \text{ m}$$

$$\text{Rec.} = 0,075 \text{ m}$$

$$d = 1,11 \text{ m}$$

$$A_s = \# 7$$

$$\text{Sep.}_{\text{Ref}} = 0,10 \text{ m} \quad \text{Empleada}$$

$$\phi_{A_s} = 2,22 \text{ cm}$$

$$z = 8,61 \text{ cm}$$

Momento actuante ELS:

$$M_{\text{ELS}} = 60,4 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

Usando la sección agrietada y una franja de 0,100 m de ancho, para el diseño por ELS.

$$M_{S \ 0,10} = 6,0 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

$$M_{S \ 0,10} = \text{separación} \times M_s$$

Eje Neutro:

$$f'_c = 28 \text{ MPa}$$

$$E_c = 20637 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200000 \text{ MPa}$$

$$n = 10$$

Área de acero transformada: $A_{st} = \text{relación modular} \times \text{área de acero}$

$$A_{st} = 77,6 \text{ cm}^2$$

$$y = 34,5 \text{ cm}$$

$$E = 3900 \sqrt{f'_c} \text{ (MPa)}$$

$$A_{st} = n \times A_s$$

Esfuerzo de la barra:

$$M_s = 6,0 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$A_s = 7,8 \text{ cm}^2$$

$$J_d = 99,9 \text{ cm}$$

$$f_{ss} = 7792,8 \text{ kN/m}^2$$

$$0.6f_y = 252000,0 \text{ kN/m}^2$$

$$M_s = f_{ss} \times A_s \times J_d$$

$$f_{ss} = \frac{M_s}{A_s \times J_d}$$

$$f_{ss} \leq 0.6f_y \quad \text{Ok!}$$

Máxima separación armadura:

$\gamma_e = 0,75$ Exposición= Clase 2

$\beta_s = 1,1$

$$\beta = H + \frac{d_c}{0.7(h - d_c)}$$

$s_{\text{máx}} = 1045,2 \text{ cm}$

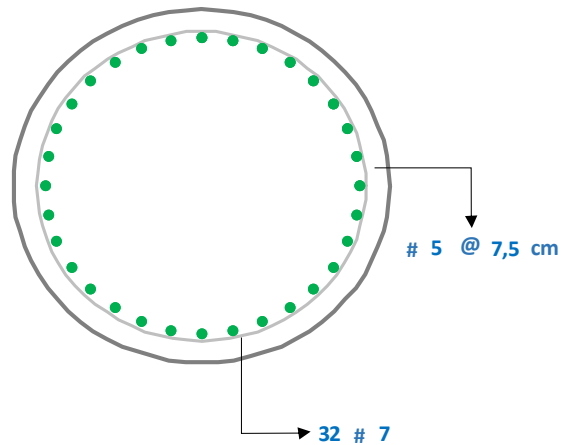
$$s \leq \frac{123000\gamma_e}{\beta_s f_{ss}} - 2d_c$$

$s_{\text{empleada}} = 10,0 \text{ cm}$

$s_{\text{máx}} > s_{\text{empleada}}$ Ok!

13.1.2.5 Cuantía volumétrica

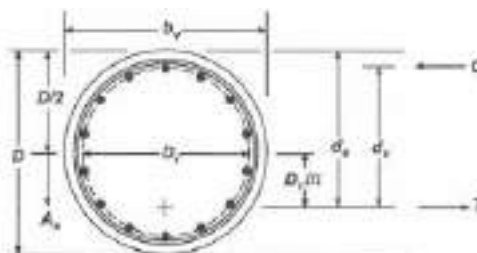
GEOMETRÍA		MATERIALES	
$\phi =$	<u>Caisson</u> 1,2 m	$f'_c =$	280 kg/cm ²
Area $A_g =$	11309,7 cm ²	$f_y =$	4200 kg/cm ²
		<u>Recubrimiento</u>	
		$r =$	7,5 cm
REFUERZO LONGITUDINAL		REFUERZO TRANSVERSAL	
No.	Cantidad	No.	
Refuerzo=	7 32	Refuerzo=	5
As=	124,1 cm ²	Separación=	7,5 cm
CUANTÍA DE AREA			
$\rho_{\text{minimo}} = 0,0075$			
$\rho_{\text{empleada}} = 0,0110$ OK			
CUANTÍA VOLUMETRICA			
$A_c = 8659,015 \text{ cm}^2$			
$\rho_{vol-1} = 0.45 \cdot \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \cdot \frac{f'_c}{f_y}$			
$\rho_{Vol-1} = 0,0092$			
$\rho_{vol-2} = 0.12 \cdot \frac{f'_c}{f_y}$			
$\rho_{Vol-2} = 0,0080$			
$\rho_{Vol} = 0,009184$			
No. Pasos =	13,3	Por metro	
$L_{\text{paso}} =$	377,1	cm	
$L_{\text{espiral}} =$	5027,5	cm	
Vol. espiral =	9951,1	cm ³	
$\rho_{\text{ol empleada}} =$	0,0115	OK	



13.1.2.6 Revisión cortante

CORTANTE CAISSON $\phi=1.2\text{m}$

f'_c	28 MPa
f_y	420 MPa
E_s	200000000 kN/m ²
As estribo: Aro #5	2,00 cm ²
Número de ramas	2
A_v (Area por sección)	4,00 cm ²
b_v (Ancho efectivo para cortante)	1200,0 mm
b_{ef} (Ancho efectivo)	1,20 m
ϕ	0,90
Recubrimiento	0,075 m
V_u	72,0 kN
M_u	274,0 kN-m
As flexión	0,0182 m ²
a (altura del bloque de compresión)	0,268 m



1. Altura efectiva para cortante

Máximo entre

$$a) \text{ de } = (D/2) + (D_r/\pi) = 934,2 \text{ mm}$$

$$dv = \text{de} - \text{recubrimiento} = 859,2 \text{ mm}$$

$$dv = 0,86 \text{ m}$$

$$\epsilon_s = ((M_u/dv) + (v_u))/E_s A_s$$

$$\epsilon_s = 0,0001$$

2. Angulo de las fisuras generadas a cortante

$$\theta = 29 + 3500\epsilon_s$$

$$\theta = 29,4$$

3. Factor que indica la habilidad del concreto para transmitir tracción y cortante cuando esta fisurado

$$\beta = (4.8)/(1+750\epsilon_s)$$

$$\beta = 4,443$$

4. Resistencia nominal del concreto

No debe ser mayor que

$$V_n = 0.25f'_c \times b_v \times d_v$$

$$V_c = 0.083 \times \beta \times \sqrt{f'_c} \times b_v \times d_v$$

$$V_n = 7217,5 \text{ kN}$$

$$V_c = 2011,9 \text{ kN}$$

$$V_{rc} = \phi v_c \quad 1810,8 \text{ kN} \quad \text{NO REQUIERE REFUERZO A CORTANTE}$$

5. Cortante a resistir por el acero de refuerzo

$$V_s = V_u - \phi V_c \quad -1557,7 \text{ kN}$$

5.1 Esfuerzo cortante

$$v_u = (V_u - \phi V_p) / (\phi \times b_v \times d_v) \quad 0,08 \text{ MPa}$$

$$0.125 \times f'_c \quad 3,50 \text{ MPa}$$

5.2 La separación entre estribos debe ser la mínima entre

$$s_1 = 0.4 d_v \quad 0,34 \text{ m}$$

$$s_2 = 30 \text{ cm} \quad 0,30 \text{ m}$$

$$s = (A_v \times f_y \times d_v \times (\cot \theta + \cot \alpha) \sin \alpha) / V_s$$

Para $\alpha = 90$ tenemos

$$s_3 = (A_v \times f_y \times d_v \times \cot \theta) / V_s \quad -0,16 \text{ m}$$

$$S \text{ escogido} \quad 0,30 \text{ m}$$

$$S \text{ adoptado} \quad 0,075 \text{ m}$$

Recalculasdo V_s con esta separación de estribos, tenemos:

$$V_{sfinal} \quad 3419,2 \text{ kN}$$

6. Cortante resistente

$$V_r = \phi(V_c + V_{sfinal}) \quad 4707,0 \text{ kN}$$

Este valor se debe comparar con el valor de V_u

$$V_u = 72 \text{ kN} \quad V_r \geq V_u$$

EL CAISSON ESTA BIEN A CORTE!!!

13.1.2.7 Revisión capacidad portante

TABLE: Joint Reactions						
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	F3	Capacidad portante	Revisión
Text	Text	Text	Text	KN	KN	
P1	ELR I	Combinator	Max	647,277	7620	CUMPLE
P1	ELR I	Combinator	Min	466,04	7620	CUMPLE
P1	ELEE Ext I	Combinator	Max	931,75	22878	CUMPLE
P1	ELEE Ext I	Combinator	Min	181,568	22878	CUMPLE
P2	ELR I	Combinator	Max	649,95	7620	CUMPLE
P2	ELR I	Combinator	Min	467,964	7620	CUMPLE
P2	ELEE Ext I	Combinator	Max	649,95	22878	CUMPLE
P2	ELEE Ext I	Combinator	Min	467,964	22878	CUMPLE
P3	ELR I	Combinator	Max	647,277	7620	CUMPLE
P3	ELR I	Combinator	Min	466,04	7620	CUMPLE
P3	ELEE Ext I	Combinator	Max	931,75	22878	CUMPLE
P3	ELEE Ext I	Combinator	Min	181,568	22878	CUMPLE

Tabla 17 Revisión capacidad portante pilotes 10m

13.1.2.8 Revisión capacidad lateral



	Longitud (m)				
Diam (m)	16	17	18	19	20
1,2	702,31	795,74	892,09	989,91	1088
1,3	760,84	862,05	966,44	1073,98	1183
1,4	819,36	928,37	1040,78	1156,60	1276
1,5	877,89	994,68	1115,12	1239,21	1367
1,7	936,41	1060,99	1189,46	1321,82	1458

Tabla 18 Valores capacidad de carga lateral.

Fuente: Informe "Memorando técnico JPV-187-1337D-22".

La carga lateral máxima es de 114N, y la capacidad máxima es de 10880kN, por lo tanto el pilote cumple a carga lateral.

13.1.3 Viga cabezal

GEOMETRÍA	MATERIALES
Viga cabezal $h = 1,50$ m $b = 1,80$ m	$f'_c = 28$ MPa $f_y = 420$ MPa Recubrimiento $r_{sup} = 0,050$ m $r_{inf} = 0,075$ m

SOLICITACIONES

Momento Longitudinal principal

$$M_{U+} = 557,00 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

$$M_{U-} = 295,00 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

1. DISEÑO VIGA CABEZAL

1.1 Calculo del refuerzo longitudinal

Momento positivo

Refuerzo longitudinal inferior

Revisión As mínimo

La cantidad de acero proporcionado debe ser capaz de resistir el menor valor de M_{cr} y $1.33M_U$.

$$r = 0,075 \text{ m}$$

$$f_r = 3280,73 \text{ kN/m}^2$$

$$I = 0,50625 \text{ m}^4$$

$$Y_b = 0,750 \text{ m}$$

$$S_c = 0,675 \text{ m}^3$$

$$\gamma_1 = 1,6 \rightarrow \text{Demás estructuras en concreto}$$

$$\gamma_3 = 0,75 \rightarrow \text{Para refuerzo A706, Grado 60}$$

$$M_{cr} = 2657,39 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

$$M_U = 557,00 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

$$1.33 M_U = 742,67 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

$$\text{Menor valor entre } M_{cr} \text{ y } 1.33M_U = 742,67 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

$$M_{U+} = 742,67 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

$$z = 0,08 \text{ m}$$

$$d = 1,42 \text{ m}$$

$$\Phi = 0,9$$

$$\rho_{requerida} = 0,000547$$

Área de refuerzo requerida:

$$A_s = 13,95 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\emptyset = 3/4 \text{ "}$$

$$\text{Cantidad} = 8$$

$$A_s = 22,80 \text{ cm}^2$$

OK

Momento negativo

Refuerzo longitudinal superior

Revisión As mínimo

$$r = 0,050 \text{ m}$$

$$f_r = 3280,73 \text{ kN/m}^2$$

$$I = 0,50625 \text{ m}^4$$

$$Y_b = 0,750 \text{ m}$$

$$S_c = 0,675 \text{ m}^3$$

$$\gamma_1 = 1,6 \rightarrow \text{Demás estructuras en concreto}$$

$$\gamma_3 = 0,75 \rightarrow \text{Para refuerzo A706, Grado 60}$$

$$M_{cr} = 2657,39 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

$$M_U = 295,00 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

$$1.33 M_U = 393,33 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

$$\text{Menor valor entre } M_{cr} \text{ y } 1.33M_U = 393,33 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

$$M_{U-} = 393,33 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

$$z = 0,06 \text{ m}$$

$$d = 1,44 \text{ m}$$

$$\Phi = 0,9$$

$$\rho_{requerida} = 0,000279$$

Área de refuerzo requerida:

$$A_s = 7,24 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\emptyset = 3/4 \text{ "}$$

$$\text{Cantidad} = 8$$

$$A_s = 22,80 \text{ cm}^2$$

OK

GEOMETRÍA

Viga cabezal

$$h = 1,80 \text{ m}$$

$$b = 1,50 \text{ m}$$

MATERIALES

$$f'_c = 28 \text{ MPa}$$

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

Recubrimiento

$$r_{lat} = 0,075 \text{ m}$$

$$r_{lat} = 0,075 \text{ m}$$

SOLICITACIONES

Momento caras laterales

$$M_{U+} = 47,00 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

$$M_{U-} = 47,00 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

1. DISEÑO VIGA CABEZAL

1.1 Cálculo del refuerzo lateral

Momento positivo

Refuerzo lateral

Revisión As mínimo

Momento negativo

Refuerzo lateral

Revisión As mínimo

La cantidad de acero proporcionado debe ser capaz de resistir el menor valor de M_{cr} y $1.33M_U$.

$$r = 0,075 \text{ m}$$

$$f_r = 3280,73 \text{ kN/m}^2$$

$$I = 0,72900 \text{ m}^4$$

$$Y_b = 0,900 \text{ m}$$

$$S_c = 0,810 \text{ m}^3$$

$$\gamma_1 = 1,6 \rightarrow \text{Demás estructuras en concreto}$$

$$\gamma_3 = 0,75 \rightarrow \text{Para refuerzo A706, Grado 60}$$

$$M_{cr} = 3188,87 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

$$M_U = 47,00 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

$$1.33 M_U = 62,67 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

$$\text{Menor valor entre } M_{cr} \text{ y } 1.33M_U = 62,67 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

$$M_{U+} = 62,67 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

$$z = 0,08 \text{ m}$$

$$d = 1,72 \text{ m}$$

$$\Phi = 0,9$$

$$\rho_{requerida} = 0,000038$$

Área de refuerzo requerida:

$$A_s = 0,97 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\emptyset = 3/4 \text{ "}$$

$$\text{Cantidad} = 5$$

$$A_s = 14,25 \text{ cm}^2$$

$$A_s \text{ Total} = 14,25 \text{ cm}^2$$

OK

$$r = 0,075 \text{ m}$$

$$f_r = 3280,73 \text{ kN/m}^2$$

$$I = 0,72900 \text{ m}^4$$

$$Y_b = 0,900 \text{ m}$$

$$S_c = 0,810 \text{ m}^3$$

$$\gamma_1 = 1,6 \rightarrow \text{Demás estructuras en concreto}$$

$$\gamma_3 = 0,75 \rightarrow \text{Para refuerzo A706, Grado 60}$$

$$M_{cr} = 3188,87 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

$$M_U = 47,00 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

$$1.33 M_U = 62,67 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

$$\text{Menor valor entre } M_{cr} \text{ y } 1.33M_U = 62,67 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

$$M_{U-} = 62,67 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

$$z = 0,08 \text{ m}$$

$$d = 1,72 \text{ m}$$

$$\Phi = 0,9$$

$$\rho_{requerida} = 0,000038$$

Área de refuerzo requerida:

$$A_s = 0,97 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\emptyset = 3/4 \text{ "}$$

$$\text{Cantidad} = 5$$

$$A_s = 14,25 \text{ cm}^2$$

$$A_s \text{ Total} = 14,25 \text{ cm}^2$$

OK

1.2 Armadura de contraccion y temperatura

$$2,33 \quad \text{cm}^2/\text{m} < A_{s \text{ temp}} < 12,70 \quad \text{cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s \text{ temp}} = 7,36 \quad \text{cm}^2/\text{m} \quad \text{en cada cara}$$

$$\emptyset = 3/4 \quad "$$

$$S = 0,39 \quad (\text{Máxima})$$

$$S = 0,25 \quad (\text{Escogida})$$

$$A_s = 11,40 \quad \text{cm}^2 \quad \text{OK}$$

CORTANTE VIGA CABEZAL

f'_c	28 MPa	
f_y	420 MPa	
E_s	200000000 kN/m ²	
As estribo #4	2,00 cm ²	
Número de ramas	4	
A_v (Area por sección)	8,00 cm ²	
h_t	1,50 m	
b_v (Ancho efectivo para cortante)	1800 mm	
b_{ef} (Ancho efectivo tablero)	1,8 m	
ϕ	0,90	
Recubrimiento	0,075 m	
V_u	590,0 kN	
M_u	557,0 kN-m	
As flexión	0,0029 m ²	28,5022957
a (altura del bloque de compresión)	0,028 m	

1. Altura efectiva para cortante

Máximo entre

- a) h_t - rec positivo - $a/2$ = 1,41 m
- b) $0.9 d$ = 1,28 m
- c) $0.72 h$ = 1,08 m

$$d_v = 1,41 \text{ m}$$

$$\epsilon_s = ((M_u/d_v) + (V_u)) / E_s x A_s$$

$$\epsilon_s = 0,0017$$

2. Angulo de las fisuras generadas a cortante

$$\theta = 29 + 3500 \epsilon_s$$

$$\theta = 35,0$$

3. Factor que indica la habilidad del concreto para transmitir tracción y cortante cuando esta fisurado

$$S_x = 200 \text{ mm}$$

$$S_{xe} = S_x \cdot (1.38) / (ag+0.63)$$

$$S_{xe} = 14$$

- Para secciones con refuerzo transversal mínimo (A_v mín)

$$\beta = (4.8)/(1+750\epsilon_s)$$

$$\beta = 2,09$$

- Para secciones sin refuerzo transversal mínimo (A_v mín)

$$\beta = (4.8)/(1+750\epsilon_s) \cdot (51/(39+S_{xe}))$$

$$\beta = 2,01$$

4. Resistencia nominal del concreto

No debe ser mayor que

$$V_n = 0.25f'_c \times b_v \times d_v \rightarrow V_n = 17779,0 \text{ kN}$$

$$V_c = 0.083 \times \beta \times \sqrt{f'_c} \times b_v \times d_v \rightarrow V_c = 2332,4 \text{ kN}$$

$$V_{rc} = \phi v_c \quad 2099,2 \text{ kN} \quad \text{NO REQUIERE REFUERZO A CORTANTE}$$

5. Cortante a resistir por el acero de refuerzo

$$V_s = V_u - \phi V_c \quad -1299,3 \text{ kN}$$

5.1 Esfuerzo cortante

$$v_u = (V_u - \phi V_c) / (\phi \times b_v \times d_v) \quad 0,26 \text{ MPa}$$

$$0.125 \times f'_c \quad 3,50 \text{ MPa}$$

$$\therefore v_u > 0.125f'_c \rightarrow S_{max} = 0.4d_v \leq 300\text{mm}$$

5.2 La separación entre estribos debe ser la mínima entre

$$s_1 = 0.4 d_v \quad 0,56 \text{ m}$$

$$s_2 = 30 \text{ cm} \quad 0,30 \text{ m}$$

$$s = (A_v \times f_y \times d_v \times (\cot\theta + \cot\alpha) \sin\alpha) / V_s$$

Para $\alpha = 90$ tenemos

$$s_3 = (A_v \times f_y \times d_v \times \cot\theta) / V_s \quad -0,52 \text{ m}$$

$$S_{\text{escogido}} \quad -0,52 \text{ m}$$

$$S_{\text{adoptado}} \quad 0,20 \text{ m}$$

Recalculado V_s con esta separación de estribos, tenemos:

$$V_{s\text{final}} \quad 3379,6 \text{ kN}$$

6. Cortante resistente

$$V_r = \phi(V_c + V_{s\text{final}}) \quad 4930,9 \text{ kN}$$

Este valor se debe comparar con el valor de V_u

$$V_u = 590 \text{ kN} \quad V_r \geq V_u \quad \text{ok!!}$$

LA VIGA ESTA BIEN A CORTE!!!

7. Revisión refuerzo mínimo a cortante

$$\text{Ref mínimo} = 0.083v(f'c) \times (b_v \times S/f_y) \quad 3,76 \text{ cm}^2$$

$$\text{As colocado} = 8,00 \text{ cm}^2 \quad \text{ok!!}$$