




ELECTROCENTRO S.A.

**“EXPEDIENTE TÉCNICO DE LA CELDA DE ACOPLAMIENTO EN 138KV DE
LA SET YAUPI DE ELECTROCENTRO S.A.”**

CALCULO DE REACCIONES EN BASE DE PORTICOS

REVISIÓN N° A

HUANCAYO – MARZO DEL 2024


	"EXPEDIENTE TÉCNICO DE LA CELDA DE ACOPLAMIENTO EN 138KV DE LA SET YAUPI DE ELECTROCENTRO S.A."	
MEMORIA DE CÁLCULO	Documento No.:	
CÁLCULO DE REACCIONES EN BASE DE PORTICOS	Revisión No.: A	Fecha: 27/03/2024

CONTROL DE REVISIÓN DE ARCHIVO

Revisión N°.	Aspecto revisado	Fecha
0	Emisión Inicial	26/03/2024
1	Emisión Revisión Cliente	26/03/2024


CONTROL DE RESPONSABLES

Número de Revisión		0	1
Elaboración	Nombre		
	Firma		
	Fecha		
Revisión	Nombre		
	Firma		
	Fecha		
Verificación	Nombre		
	Firma		
	Fecha		

	"EXPEDIENTE TÉCNICO DE LA CELDA DE ACOPLAMIENTO EN 138KV DE LA SET YAUPI DE ELECTROCENTRO S.A."	
MEMORIA DE CÁLCULO	Documento No.:	
CÁLCULO DE REACCIONES EN BASE DE PORTICOS	Revisión No.: A	Fecha: 27/03/2024

INDICE

1	ALCANCE.....	4
2	CÓDIGOS, REGULACIONES Y NORMAS	4
3	DESCRIPCIÓN TÉCNICA	4
4	CRITERIOS DE CÁLCULO.....	5
5	ANÁLISIS Y DISEÑO.....	7
6	VERIFICACIÓN DE LOS PERFILES.....	8
7	ANÁLISIS ESTRUCTURAL.....	12
8	PESOS DE ESTRUCTURAS.....	14
9	REACCIONES EN LAS BASES	14
10	CONCLUSIONES Y COMENTARIOS	17

	"EXPEDIENTE TÉCNICO DE LA CELDA DE ACOPLAMIENTO EN 138KV DE LA SET YAUPI DE ELECTROCENTRO S.A."	
MEMORIA DE CÁLCULO	Documento No.:	
CALCULO DE REACCIONES EN BASE DE PORTICOS	Revisión No.: A	Fecha: 27/03/2024

1 ALCANCE

El alcance del presente Informe es desarrollar el prediseño de las estructuras (pórticos para sistema de barras) en condiciones propias del diseño estructural con cargas mayoradas, optimizando sus componentes, realizando también el cálculo de estimaciones del peso de las estructuras y los respectivos esfuerzos en las bases.

2 CÓDIGOS, REGULACIONES Y NORMAS

Para el desarrollo de la Ingeniería, se dará cumplimiento a lo señalado en los códigos, estándares, regulaciones y normas vigentes y de aplicación al presente proyecto, en lo que corresponda:

- ❖ Código Nacional de Electricidad – Suministro 2011 (vigente a partir del 06 de mayo 2011).
- ❖ ASCE manual N° 52: Guide for Design of Steel Transmission Towers.
- ❖ ASCE manual N° 74: Design of Electrical Transmission Line Structural Loading.
- ❖ ASCE manual N° 10-15: Design of Latticed Steel Transmission Structures.
- ❖ ASTM A36: Standard Specification for Carbon Structural Steel
- ❖ ASTM A572: Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Columbium-Vanadium Structural Steel
- ❖ ASTM A394: Standard Specification for Steel Transmission Tower Bolts, Zinc-Coated and Bare
- ❖ ASTM A123/A123M: Standard Specification for Zinc (Hot-Dip Galvanized) Coatings on Iron and Steel Products.
- ❖ ASTM A-153: Standard Specification for Zinc Coating (Hot-Dip) on Iron and Steel Hardware.


3 DESCRIPCIÓN TÉCNICA

Se presentan los materiales y las principales propiedades mecánicas del acero utilizadas en el cálculo:

Tabla 1. Resistencia mecánica de aceros estructurales

CARÁCTERÍSTICAS	ACERO NORMAL (ASTM A36)	ACERO ALTA RESISTENCIA (ASTM A572-G50)
Esfuerzo de ruptura (MPa)	400	450
Límite elástico (MPa)	250	350

Tabla 2. Resistencia mecánica de pernos estructurales

	"EXPEDIENTE TÉCNICO DE LA CELDA DE ACOPLAMIENTO EN 138KV DE LA SET YAUPÍ DE ELECTROCENTRO S.A."	
MEMORIA DE CÁLCULO	Documento No.:	
CÁLCULO DE REACCIONES EN BASE DE PORTICOS	Revisión No.: A	Fecha: 27/03/2024

CARACTERÍSTICAS	PERNO ESTRUCTURAL (ASTM A394-T0)
Resistencia al corte (MPa)	510

4 CRITERIOS DE CÁLCULO

4.1. CONDICIONES GENERALES DE DISEÑO

El diseño de la estructura se realizó tratando de reducir al mínimo el número de elementos, así como su variedad.

Las conexiones entre perfiles fueron diseñadas de manera tal que sus ejes se encuentren en el mismo punto, reduciendo al mínimo las excentricidades.

Las uniones entre los elementos de la estructura del portico se realizaron por pernos y tuercas, utilizando también placas de unión donde sean necesarias, y evitando soldaduras entre perfiles.

4.2. CARGAS APLICADAS

4.2.1. Cargas de viento

Para evaluar las presiones de viento sobre el pórtico se utilizó el Código Nacional de Electricidad suministro en la cual define las diferentes velocidades de viento (acorde a la altura sobre el nivel del mar) para las hipótesis normales de viento máximo. Las hipótesis anormales, de tendido y mantenimiento no consideran viento.

Las presiones de viento utilizadas se muestran a continuación:

Tabla 3. Presión de viento máximo

HIPÓTESIS	UNIDAD	PRESIÓN	FACTOR DE FORMA
Viento máximo transversal	kg/m ²	30,42	1,0

Las cargas de viento sobre el pórtico se evaluaron dividiendo la torre en secciones y evaluando la carga para cada uno de ellos como el área expuesta multiplicada por la presión obtenida según la velocidad y teniendo en cuenta el factor de forma y la constante de presión según la altura sobre el nivel del mar.

4.2.2. Peso propio de la estructura

El peso propio de la estructura es evaluado por el software SAP2000, en base a las longitudes de eje a eje calculadas partiendo de las coordenadas de los nudos y multiplicadas por los pesos unitarios de cada tipo de perfil; este peso teórico, es afectado por un factor específico

para cada sección con el fin de tener en cuenta el peso de las platinas, pernos de unión, elementos redundantes y galvanizado.

Las cargas de peso propio son aplicadas directamente por el programa en todos y cada uno de los nudos de acuerdo con los elementos que allí se conecten.

4.2.3. Cargas aplicadas

Los árboles de cargas se detallan en cuadros siguientes. Todas las condiciones de carga a continuación estipuladas fueron consideradas en el modelo. Estas cargas fueron aplicadas como cargas puntuales en los nudos correspondientes.

Las hipótesis de carga empleadas para el diseño estructural de las torres se muestran a continuación:

Tabla 4. Cargas Mayoradas (N) – PorticoN°1 18m

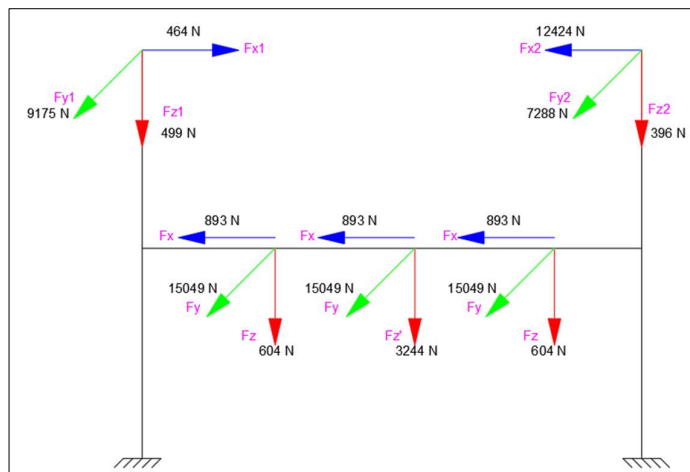


Tabla 5. Cargas Mayoradas (N) – PorticoN°2 18m

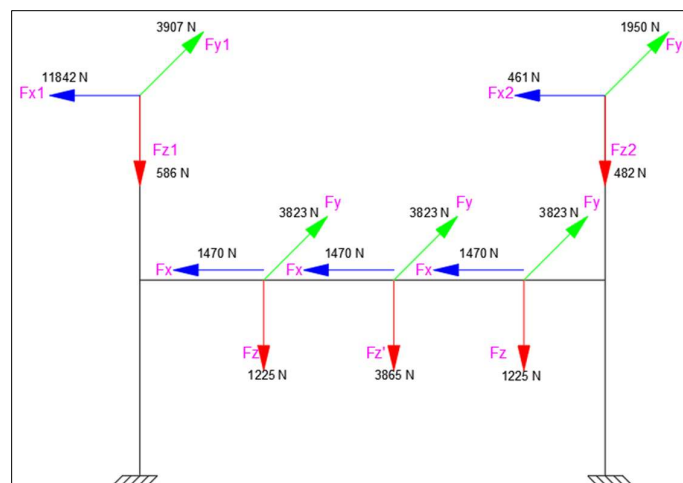


Tabla 6. Cargas Mayoradas (N) – PorticoNº3 15m

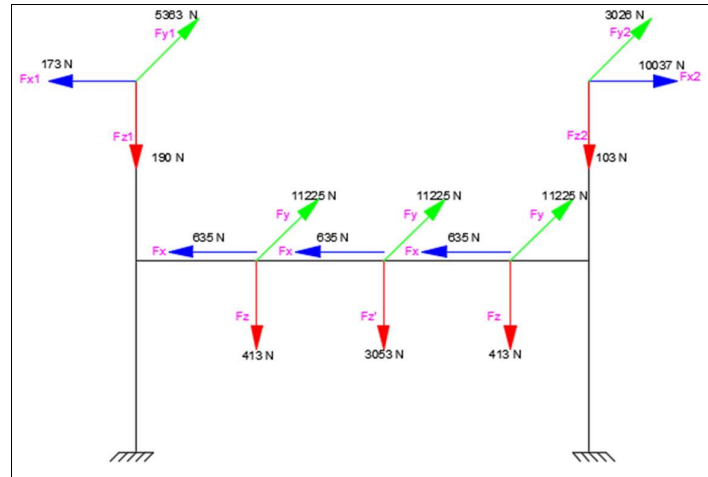
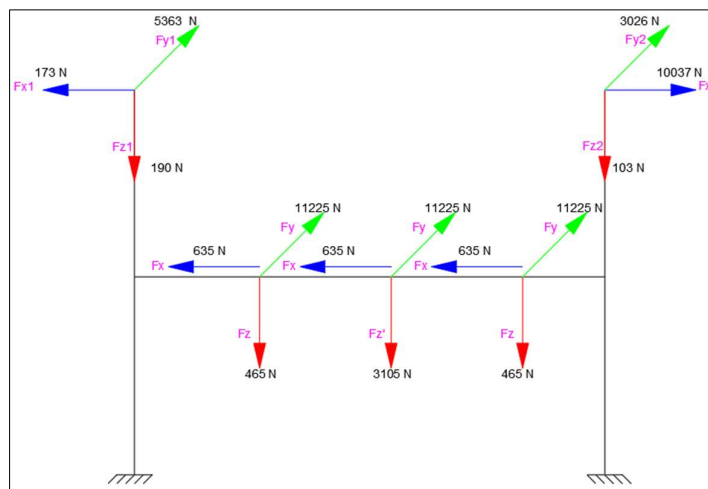



Tabla 7. Cargas Mayoradas (N) – PorticoNº4 15m



5 ANALISIS Y DISEÑO

El modelo y análisis de la torre fue realizado con el programa SAP2000, el diseño se realizó según el manual N° 52 de ASCE Guide for design of steel transmission towers y la norma ANSI/ASCE 10-15 Design of latticed steel transmission structures.

El diseño se realizó considerando las extensiones de cuerpo y patas estándar.

	"EXPEDIENTE TÉCNICO DE LA CELDA DE ACOPLAMIENTO EN 138KV DE LA SET YAUPI DE ELECTROCENTRO S.A."	
MEMORIA DE CÁLCULO	Documento No.:	
CÁLCULO DE REACCIONES EN BASE DE PORTICOS	Revisión No.: A	Fecha: 27/03/2024

6 VERIFICACIÓN DE LOS PERFILES

6.1. ELEMENTOS A COMPRESIÓN

El diseño de los elementos a compresión se efectuó con el programa SAP2000 siguiendo la norma ASCE 10-15.

Los criterios utilizados para ver la compresión máxima admisible están basados en 3 conceptos:

- ❖ Capacidad de compresión de cada barra en función de su esbeltez, según ASCE 10-15
- ❖ Capacidad de compresión de cada barra debida a los pernos en la unión (capacidad de corte de los pernos).
- ❖ Capacidad de compresión debido al aplastamiento del perfil, según ASCE 10-15.

6.1.1. Capacidad a cortadura de los pernos

La fuerza de compresión es transmitida por la estructura a través de los pernos. La capacidad de transmisión de esfuerzos de una unión viene determinada por:

$$S_u = S_t \cdot n_t \cdot n_p$$

Donde:

S_t , es la capacidad de corte admisible por el perno

n_t , es el número de pernos

n_p , es el número de planos de corte (1 para simple cortadura y 2 para doble cortadura)

6.1.2. Capacidad de aplastamiento

La capacidad al aplastamiento de la conexión de un miembro es calculada de la siguiente forma:

$$B_u = 1.5 F_u \cdot d \cdot t \cdot n_b$$


Donde:

F_u , es la tensión de ruptura del perfil o la plancha

d , es el diámetro del perno

t , es el espesor del perfil

n_b , es el número de pernos que hay en la unión.

	"EXPEDIENTE TÉCNICO DE LA CELDA DE ACOPLAMIENTO EN 138KV DE LA SET YAUPÍ DE ELECTROCENTRO S.A."	
MEMORIA DE CÁLCULO	Documento No.:	
CÁLCULO DE REACCIONES EN BASE DE PORTICOS	Revisión No.: A	Fecha: 27/03/2024

6.2. ELEMENTOS A Tensión

Los criterios utilizados para ver la tracción máxima admisible están basados en 4 conceptos:

- ❖ Capacidad de tracción de cada barra debido a la sección neta
- ❖ Capacidad de tracción de cada barra debida a los pernos en la unión (capacidad de corte de los pernos).
- ❖ Capacidad de tracción debido al aplastamiento del perfil, según ASCE 10-15.
- ❖ Capacidad de ruptura de la conexión, según ASCE 10-15

Cada uno de estos apartados se desarrolla a continuación.

6.2.1. Capacidad de tracción de la barra

La capacidad de tracción de cada barra vendrá determinada por lo siguiente:

- a. Perfiles conectados en ambas caras (montantes). La tensión en el área efectiva debe ser menor a la tensión de fluencia
- b. Perfiles conectados a una cara (diagonales y redundantes). La tensión en el área efectiva debe ser menor a 0.9 veces la tensión de fluencia

6.2.2. Capacidad a cortadura de los pernos

La fuerza de compresión es transmitida por la estructura a través de los pernos. La capacidad de transmisión de esfuerzos de una unión viene determinada por:

$$S_u = S_t \cdot n_t \cdot n_p$$

Donde:

S_t , es la capacidad de corte admisible por el perno

n_t , es el número de pernos

n_p , es el número de planos de corte (1 para simple cortadura y 2 para doble cortadura)


6.2.3. Capacidad de aplastamiento

La capacidad al aplastamiento de la conexión de un miembro es calculada de la siguiente forma:

$$B_u = 1.5 F_u \cdot d \cdot t \cdot n_b$$

Donde:

F_u , es la tensión de ruptura del perfil o la plancha

	"EXPEDIENTE TÉCNICO DE LA CELDA DE ACOPLAMIENTO EN 138KV DE LA SET YAUPI DE ELECTROCENTRO S.A."	
MEMORIA DE CÁLCULO	Documento No.:	
CÁLCULO DE REACCIONES EN BASE DE PORTICOS	Revisión No.: A	Fecha: 27/03/2024

d , es el diámetro del perno

t , es el espesor del perfil

n_b , es el número de pernos que hay en la unión.

6.2.4. Capacidad de ruptura de la conexión

La ruptura de la conexión es verificada de la siguiente forma:

$$R_{cap} = \min(R_{dis}, R_{bsh})$$

Donde R_{dis} es la forma de verificar los requerimientos ASCE para distancias a los extremos, bordes y de separación de pernos, y R_{bsh} es la verificación de bloque de cortante, que solo se lleva a cabo en miembros conectados por una sola ala.

R_{dis} es calculada como:

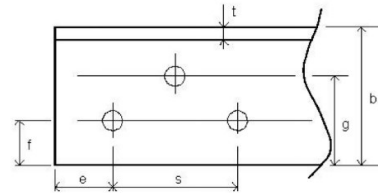
$$R_{dis} = \frac{F_u}{1.2} \cdot dist \cdot t \cdot n_b \cdot \alpha$$

Donde:

$$dist = \min(e, [s - 0.6d], [f/0.85])$$

$$\alpha = \min(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$$

$$\alpha_1 = e/(1.3d), \alpha_2 = e/(t + d/2), \alpha_3 = 1$$



R_{bsh} , la capacidad de bloque de la conexión, es sólo verificada en las barras unidas por un ala.

Se determina por:

$$R_{bs} = 0.6F_u \cdot A_v + F_y \cdot A_t$$


Siendo A_v el área neta mínima al corte a lo largo de la línea de transmisión de fuerza y A_t el área net mínima en tracción desde el agujero al extremo del ángulo perpendicular a la línea de fuerza. Estos valores vienen definidos de la siguiente manera:

$$A_v = (e - h/2) \cdot t, \text{ si el número de pernos es } 1$$

$$A_v = [(e - h/2) + (s - h)(n_b - 1)] \cdot t, \text{ si el número de pernos es mayor de } 1$$

$$A_t = (f - h/2) \cdot t$$

Donde h es el diámetro del agujero, t el espesor del perfil y n_b el número de pernos.

	"EXPEDIENTE TÉCNICO DE LA CELDA DE ACOPLAMIENTO EN 138KV DE LA SET YAUPI DE ELECTROCENTRO S.A."	
MEMORIA DE CÁLCULO	Documento No.:	
CALCULO DE REACCIONES EN BASE DE PORTICOS	Revisión No.: A	Fecha: 27/03/2024

6.3. DISEÑO DE REDUNDANTES

Los redundantes se diseñan en el definitivo estructural, verificando que cumplieran con los siguientes criterios:

- ❖ Los redundantes, deben tener una capacidad de carga de por lo menos el 2.0 al 2.5% del elemento que está arriostrando.
- ❖ La esbeltez máxima debe ser de 250.
- ❖ Los elementos horizontales o casi horizontales (menos de 30° con la horizontal) deben tener una capacidad de carga de 1.1 kN vertical aplicada en el centro de la luz.

6.4. RELACIÓN DE ESBELTES

Para todos los miembros sometidos a cargas de compresión, la relación de esbeltez (L/r), no excederá de:

- ❖ Para montantes y crucetas: 150
- ❖ Para riostras, diagonales y otros elementos: 200
- ❖ Para elementos redundantes: 250

Para todos los miembros sometidos a cargas de tensión, la relación de esbeltez (L/r), no deberá exceder 240 para elementos principales y 300 para elementos secundarios.

6.5. MATERIALES


Se utilizó acero de calidad ASTM A36 y ASTM A572-G50 para los elementos de la estructura.

Los siguientes son los parámetros de los materiales con que se realizó el diseño:

Steel Material Properties:

Steel Material Label	Modulus of Elasticity (MPa)	Yield Stress F_y (MPa)	Ultimate Stress F_u (MPa)
A36	2.06e+005	250	400
A572	2.06e+005	350	450

El espesor mínimo considerado para perfiles y placas será de 4" (101.6 mm) para los elementos de montantes y crucetas de 1.5" (38.1mm), 1.75" (44.45mm), 2" (38.1 mm), 3" (76mm) para los demás elementos.

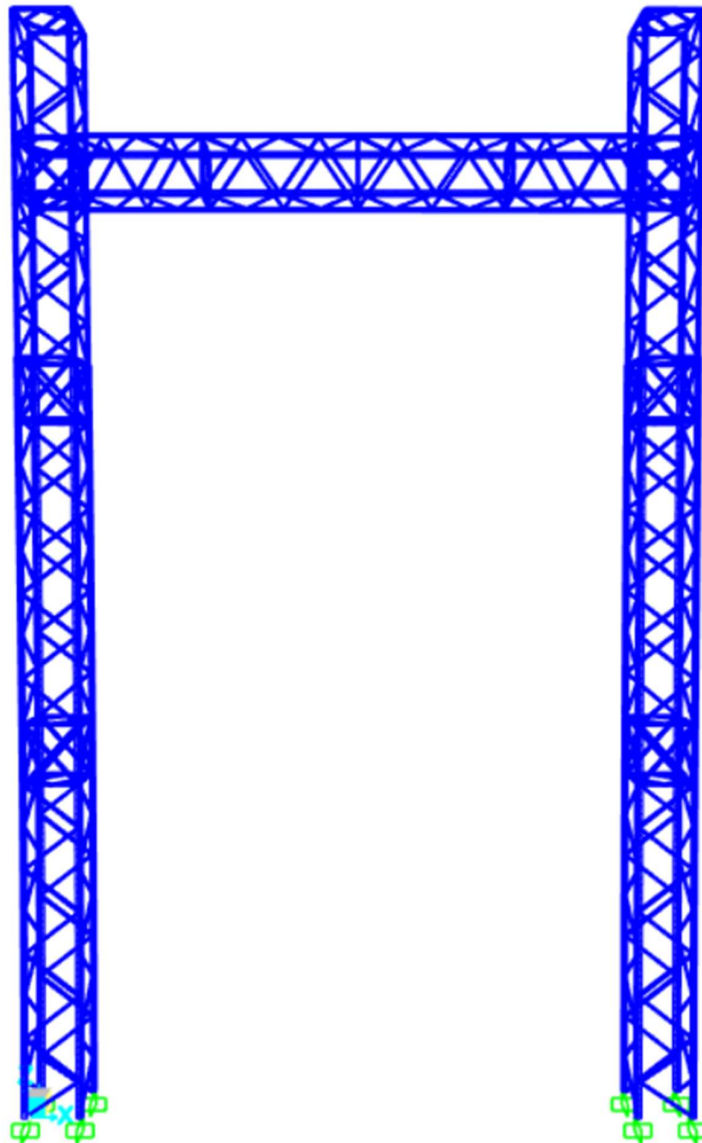
	<p align="center">"EXPEDIENTE TÉCNICO DE LA CELDA DE ACOPLAMIENTO EN 138KV DE LA SET YAUPI DE ELECTROCENTRO S.A."</p>	
MEMORIA DE CÁLCULO	Documento No.:	
CÁLCULO DE REACCIONES EN BASE DE PORTICOS	Revisión No.: A	Fecha: 27/03/2024

No se utilizó perfiles inferiores a 1.5" x 1.5" x 1/8" para elementos diagonales en vigas y columnas. El diámetro mínimo de los pernos utilizado es de 5/8" (16 mm) para los montantes, y de 1/2" (12 mm) para los demás elementos.

7 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

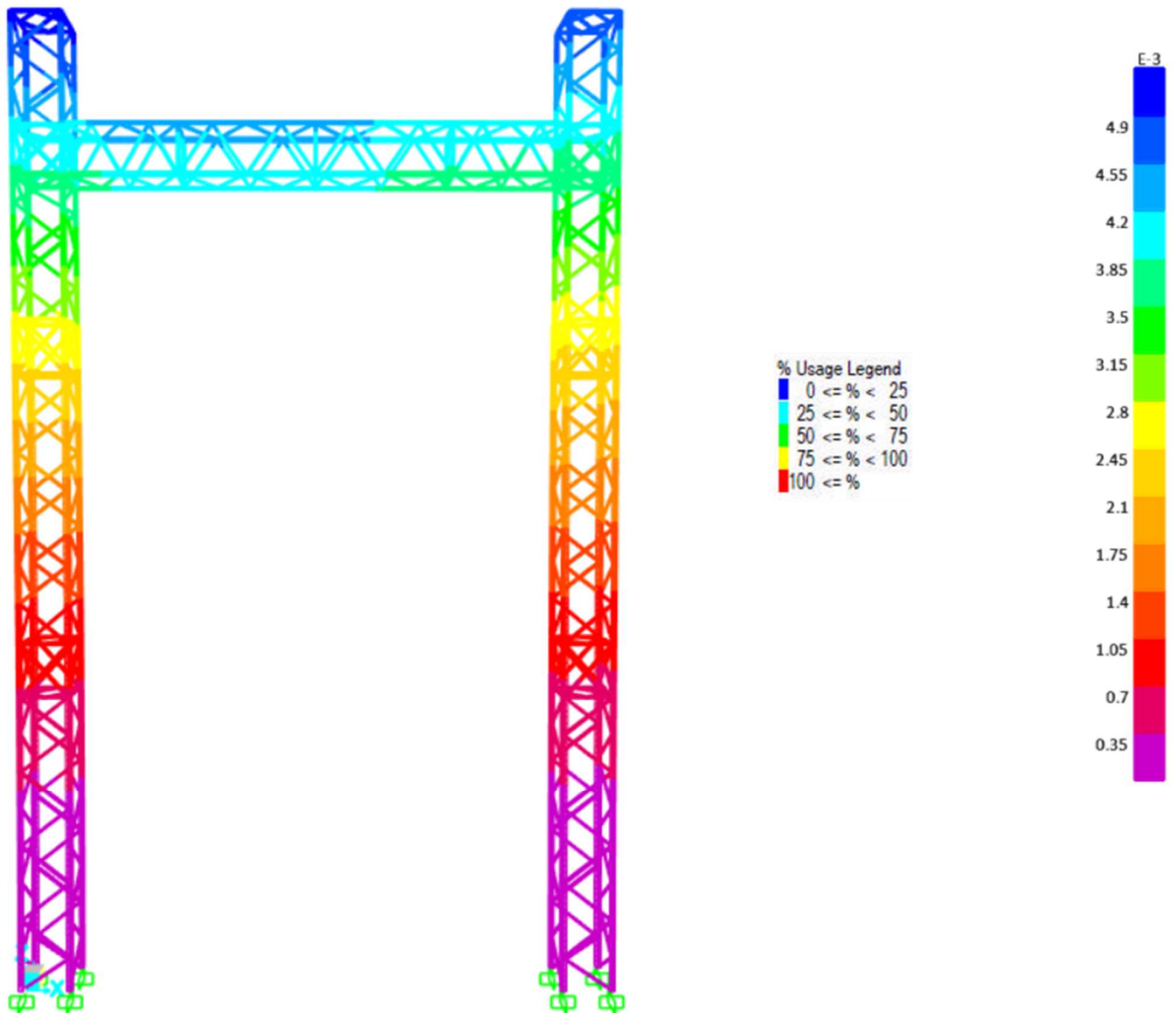
7.1. MODELAMIENTO VIRTUAL SAP2000


7.1.1. Modelo virtual – Pórtico



7.2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL SAP 2000

7.2.1. Análisis estructural – Pórtico



	"EXPEDIENTE TÉCNICO DE LA CELDA DE ACOPLAMIENTO EN 138KV DE LA SET YAUPÍ DE ELECTROCENTRO S.A."	
MEMORIA DE CÁLCULO	Documento No.:	
CÁLCULO DE REACCIONES EN BASE DE PORTICOS	Revisión No.: A	Fecha: 27/03/2024

8 PESOS DE ESTRUCTURAS

El peso propio de la estructura es evaluado por el software SAP2000, en base a las longitudes de la estructura esquemática y para posteriormente ser multiplicadas por los pesos unitarios (densidad lineal) de cada tipo de perfil.

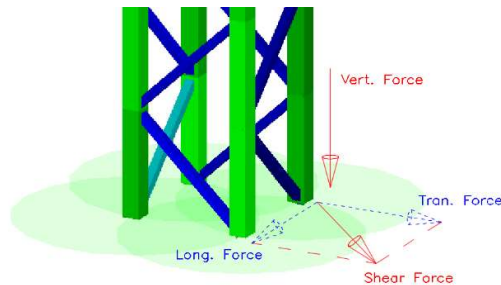
Este peso teórico, es afectado por un factor específico para cada sección con el fin de tener en cuenta el peso de las platinas, eclisas de unión, elementos redundantes, pernos y galvanizado.

9 REACCIONES EN LAS BASES

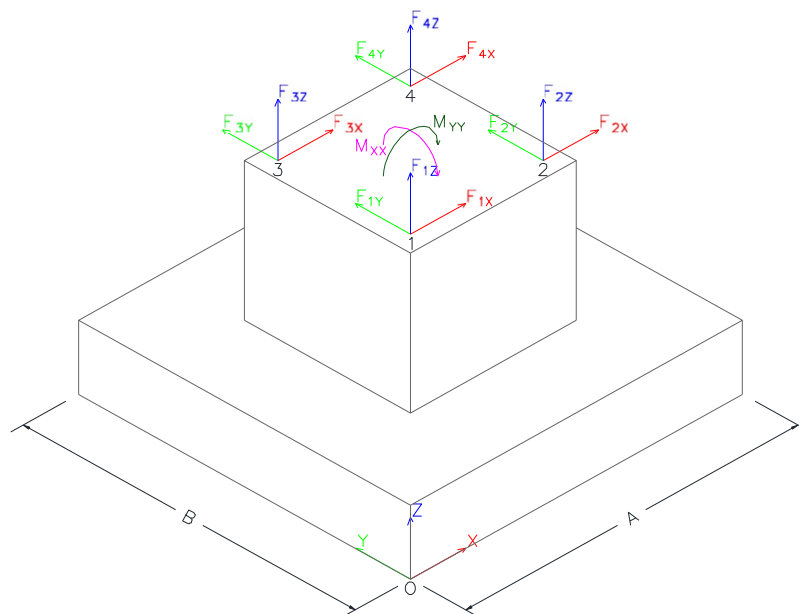
Las reacciones en las bases son calculadas por el software SAP2000 en donde se considera los esfuerzos de los conductores y cables sobre la estructura, peso propio de la estructura y cargas de viento; utilizadas para diseño de cimentación.

Consideraciones iniciales para lectura de resúmenes: dirección y sentido de los esfuerzos y ubicación de juntas (Pos Joint).

DIRECCIÓN DE ESFUERZOS EN LAS BASE



UBICACIÓN DE JUNTAS (POS JOINT)




Los siguientes cuadros y resúmenes muestran las reacciones en los stubs. Los esfuerzos serán mostrados para las hipótesis de carga:

Tabla8. Pórtico N°1 y 2 (Cargas mayoradas)

		FORCE						
N° SUPPORT	CASE LOAD	Fx (kgf)	TOTAL Fz (KN)	Fy (kgf)	TOTAL Fy (KN)	Fz (kgf)	TOTAL Fz (KN)	SHEAR FORCE (KN)
1	Self weight	-12.38	-835.71	-2.2	-213.77	-444.75	-37822.7	12.57
1	Imposed	-2.83		-0.13		-55.49		2.83
1	Live	-3.98		-0.12		-44.03		3.98
1	Wire tension	-226.61		-133.1		-23649.2		262.81
1	Wind X	-276.08		-5.48		-2698.96		276.13
1	Wind Y	-12.28		-31		-3244.6		33.34
1	Sismo X	-279.98		-8.78		-3182.49		280.12
1	Sismo Y	-21.57		-32.96		-4503.26		39.39
2	Self weight	0.84	33.86	-1.61	-1673.65	-307.48	-23530.1	1.82
2	Imposed	-0.11		-0.03		-20.81		0.11
2	Live	-0.38		-0.05		5.9		0.38
2	Wire tension	76.1		-1146.88		-21074.4		1149.4
2	Wind X	-34.43		4.71		2579.11		34.75
2	Wind Y	9.43		-253.17		-3232.55		253.35
2	Sismo X	-33.7		7.65		3007.69		34.56
2	Sismo Y	16.11		-284.27		-4487.65		284.73
3	Self weight	-3.51	40.1	1.6	-1574.38	-443.97	22121.3	3.86
3	Imposed	-0.35		0.04		-20		0.35
3	Live	-0.6		0.06		-44.14		0.6
3	Wire tension	86.01		-1076.3		20934.07		1079.73
3	Wind X	-34.93		9.17		-2769.9		36.11
3	Wind Y	10.28		-247.6		3232.55		247.81
3	Sismo X	-34.51		12.4		-3254.96		36.67
3	Sismo Y	17.71		-273.75		4487.65		274.32
4	Self weight	-9.17	-736.46	2.14	-220.01	-306.71	36413.92	9.42
4	Imposed	-2.76		0.12		14.68		2.76
4	Live	-3.87		0.1		5.79		3.87
4	Wire tension	-156.14		-143.02		23509.01		211.74
4	Wind X	-271.57		-4.97		2508.11		271.62
4	Wind Y	-6.72		-31.85		3244.62		32.55
4	Sismo X	-275.16		-7.96		2935.15		275.28
4	Sismo Y	-11.07		-34.57		4503.27		36.3

Tabla9. Pórtico N°3 y 4 (Cargas mayoradas)

N° SUPPORT	CASE LOAD	FORCE						
		Fx (kgf)	TOTAL Fz (KN)	Fy (kgf)	TOTAL Fy (KN)	Fz (kgf)	TOTAL Fz (KN)	SHEAR FORCE (KN)
1	Self weight	-14.94	-744.41	-1.71	-102.77	-338.43	-21207.7	15.04
1	Imposed	-2.76		-0.06		-35.08		2.76
1	Live	-5.05		-0.12		-41.38		5.05
1	Wire tension	-223.38		-51.23		-11592.8		229.18
1	Wind X	-219.8		-3.87		-1643.92		219.83
1	Wind Y	-12.98		-18.82		-2223.57		22.86
1	Sismo X	-243.45		-7.07		-2158.07		243.55
1	Sismo Y	-22.05		-19.89		-3174.43		29.7
2	Self weight	0.52	12.17	-1.88	-1253.63	-219.26	-12083.3	1.95
2	Imposed	-0.09		-0.14		-11.62		0.17
2	Live	-0.33		-0.14		3.25		0.36
2	Wire tension	32.8		-794.06		-10017.3		794.74
2	Wind X	-20.03		2.48		1534.95		20.18
2	Wind Y	7.32		-215.88		-2212.96		216
2	Sismo X	-20.84		5.06		1997.51		21.45
2	Sismo Y	12.82		-249.07		-3157.92		249.4
3	Self weight	-2.85	32.94	1.88	-1001.99	-337.88	11020.97	3.41
3	Imposed	-0.22		0.13		-11.68		0.26
3	Live	-0.55		0.16		-41.51		0.57
3	Wire tension	55.58		-582.01		9904.15		584.66
3	Wind X	-20.55		5.88		-1668.46		21.37
3	Wind Y	8.46		-205.66		2213.04		205.83
3	Sismo X	-21.6		10.13		-2194.73		23.86
3	Sismo Y	14.67		-232.5		3158.04		232.96
4	Self weight	-11.23	-493.57	1.65	-123.59	-218.62	20147.32	11.35
4	Imposed	-2.56		0.06		11.97		2.56
4	Live	-4.76		0.1		3.16		4.76
4	Wire tension	-11.34		-74.01		11479.64		74.87
4	Wind X	-216.73		-3.37		1511.25		216.76
4	Wind Y	-2.7		-19.95		2223.51		20.13
4	Sismo X	-238.87		-6.34		1962.1		238.95
4	Sismo Y	-5.38		-21.73		3174.31		22.39

	"EXPEDIENTE TÉCNICO DE LA CELDA DE ACOPLAMIENTO EN 138KV DE LA SET YAUPI DE ELECTROCENTRO S.A."		
MEMORIA DE CÁLCULO	Documento No.:		
CÁLCULO DE REACCIONES EN BASE DE PORTICOS	Revisión No.: A	Fecha: 27/03/2024	

10 CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

- ❖ Se consideró para el análisis las cargas impuestas por peso de conductor, viento, peso propio y Cargas Mayoradas.
- ❖ El modelamiento de la estructura alambreada fue desarrollado en el software SAP2000, el cual considera los pesos adicionales por elementos no pertenecientes al modelo virtual como placas, pernos y galvanizado.
- ❖ Todos los elementos de la estructura asimilan adecuadamente todas las condiciones de carga mayoradas de acuerdo con los estándares de diseño ASCE 10-97 y CNE-Suministro 2011.