
	TIPO DE DOCUMENTO: MEMORIA DE CÁLCULO	CÓDIGO DEL DOCUMENTO.: IPE-2025-2977-S-MC-006
	PROYECTO: INGENIERÍA BÁSICA Y DE DETALLE PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA 4TA Y 5TA UCG EN LA E°C° COLPA	HOJA: 1 de 46
	TÍTULO: MEMORIA DE CÁLCULO TORRE PARARRAYOS (FUNDACIÓN Y ESTRUCTURA)	


ÍNDICE DE REVISIONES

Fecha	Revisión	Observaciones
19-11-2025	A	Para Revisión del Cliente

Ing. Victor H. Perez Ingeniero de Proyecto	Ing. Juan Carlos Lino Especialista Civil	Ing. Andrés Aguilar Ll. Gerente de Proyecto
ELABORADO POR	REVISADO POR	APROBADO POR


ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE YPFB TRANSPORTE S.A. Y NO PODRÁ SER REPRODUCIDO O UTILIZADO PARA CUALQUIER FINALIDAD DIFERENTE DE AQUELLA PARA LA QUE HA SIDO SUMINISTRADO.

Archivo: IPE-2025-2977-S-MC-006-RAA


	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DE CÁLCULO	IPe-2025-2977-S-MC-006
	TÍTULO:	HOJA:
	MEMORIA DE CÁLCULO TORRE PARARRAYOS (FUNDACIÓN Y ESTRUCTURA)	2 de 46
		REV:
		A

ÍNDICE

1. OBJETIVO	4
2. ALCANCE.....	4
3. DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA, NORMAS Y ABREVIATURAS.....	4
3.1. DOCUMENTOS DE REFERENCIA	4
3.2. NORMAS DE REFERENCIA.....	4
4. PARAMETROS DE DISEÑO.....	5
4.1. HORMIGÓN	5
4.2. RECUBRIMIENTO	5
4.3. PARÁMETROS DEL SUELO DEL SUELO.....	6
5. ANÁLISIS DE CARGA.....	6
5.1. GEOMETRÍA.....	6
5.2. COMBINACIONES DE CARGA	8
5.3. CARGA MUERTA	10
5.4. CARGA VIVA	11
5.5. CARGA DE VIENTO	11
6. CARGAS SÍSMICAS (S).....	16
7. RESULTADOS DE ANALISIS	23
7.1. VERIFICACIÓN DE PARTICIPACIÓN DE MASAS	23
7.2. VERIFICACIÓN ESTRUCTURA METALICA.....	24
7.3. DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS.....	25
8. diseño de fundación.....	26
9. VERIFICACIÓN DE PERNOS DE ANCLAJE	33
9.1. VERIFICACIÓN A TENSIÓN.....	33
9.2. VERIFICACIÓN A CORTE	34
10. VERIFICACIÓN DE UNIONES EMPERNADAS (ANSI/AISC 360 LRFD)	35

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DE CÁLCULO	IPE-2025-2977-S-MC-006
	TÍTULO:	HOJA:
	MEMORIA DE CÁLCULO TORRE PARARRAYOS (FUNDACIÓN Y ESTRUCTURA)	3 de 46
		REV:
		A

10.1.	UNIÓN TIPO 01	37
10.2.	UNIÓN TIPO 02	39
10.3.	UNIÓN TIPO 03	42
11.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	45

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DE CÁLCULO	IPE-2025-2977-S-MC-006
	TÍTULO:	HOJA:
	MEMORIA DE CÁLCULO TORRE PARARRAYOS (FUNDACIÓN Y ESTRUCTURA)	4 de 46
		REV:
		A

1. OBJETIVO

Realizar el análisis, cálculo estructural y la verificación de la fundación y estructura de postes de luminarias, de tal forma que sea capaz de soportar los esfuerzos y demás cargas sobre la estructura para el proyecto "INGENIERÍA BÁSICA Y DE DETALLE PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA 4TA Y 5TA UCG EN LA E°C° COLPA".

2. ALCANCE

El alcance del presente documento se limita al análisis, cálculo estructural y la verificación de la fundación y estructura de Torre Pararrayos, que será instalado en Estación de Compresión Colpa, para YPF B Transporte S.A.

3. DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA, NORMAS Y ABREVIATURAS

3.1. DOCUMENTOS DE REFERENCIA


A continuación, se detalla la documentación de referencia asociada a este documento:

[Ref. 1.]	IPE-2025-2977-G-MD-003	Bases de Diseño
[Ref. 2.]	SC-E30-CI-00-05-01 de 02	Plot Plan Ampliación e Instalaciones Existentes Estación de Compresión Colpa
[Ref. 3.]	SC-E30-TO-00-05-01 de 01	Planos Topográficos
[Ref. 4.]	IPE-2025-2977-S-EG-001	Informe de Estudio Geotécnico y Ensayos realizados (SPT)
[Ref. 5.]	SC-E30-CI-00-08-28 de 40	Fundación Torre Pararrayos - Vista en Planta, Cortes y Detalles.
[Ref. 6.]	SC-E30-CI-00-08-29 de 40	Estructura Torre Pararrayos - Vista en Planta, Cortes y Detalles.

3.2. NORMAS DE REFERENCIA

A continuación, se detallan las normas de referencia asociadas a este documento:

[Ref. 7.]	NB 1225001	Norma Boliviana de Hormigón Estructural
[Ref. 8.]	NBDS-2023	Norma Boliviana de Diseño Sísmico 2023
[Ref. 9.]	ACI 318-19	Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural
[Ref. 10.]	AISC 360-16	Especificación para Construcciones de Acero
[Ref. 11.]	ASCE 7-16	Sociedad Americana de Ingenieros Civiles
[Ref. 12.]	AWS-D1.1-C1M-2020	American welding society

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DE CÁLCULO	IPE-2025-2977-S-MC-006
	TÍTULO:	HOJA:
	MEMORIA DE CÁLCULO TORRE PARARRAYOS (FUNDACIÓN Y ESTRUCTURA)	5 de 46
		REV:
		A

4. PARAMETROS DE DISEÑO

4.1. HORMIGÓN

Tabla 1. Características del hormigón.


Características Hormigón	Valores
Coeficiente de Poisson	0.2
Peso Unitario	2400.0 kg/m ³
Coeficiente de Dilatación Térmica	9.90E-06 1/C
Módulo de Elasticidad (Es)	2.14E+05 kg/cm ²
Tensión de Fluencia del Acero Longitudinal (Fy)	4200.0 kg/cm ²
Tensión de Fluencia del Acero Transversal (Fy)	4200.0 kg/cm ²
Factor Cte. Torsión J (0.05)	0.05
Tensión de Rotura del Hormigón (f'c)	210.0 kg/cm ²
Módulo de Elasticidad del Acero (Es)	2.04E+06 kg/cm ²

4.2. RECUBRIMIENTO

Los recubrimientos para la armadura serán los especificados en la norma ACI 318-19, y se listan en la siguiente tabla:

Tabla 2. Recubrimiento mecánico.

7.7.1 concreto construido en sitio (no preesforzado)	
Estado	Recubrimiento mínimo, mm
a) Concreto colocado contra el suelo y expuesto permanentemente a él	75
b) Concreto expuesto a suelo o a la intemperie:	
Barras 19 mm (3/4") a 57 mm (2-1/4")	50
Barras 16 mm (5/8"), alambre MW200 ó MD200 (16 mm (5/8") de diámetro) y menores	40
c) Concreto no expuesto a la intemperie ni en contacto con el suelo:	
* Losas, muros, viguetas:	
Barras 43 mm (1-3/4") y 57 mm (2-1/4")	40
Barras 36 mm (1-5/16") y menores	20
* Vigas, columnas:	
Armadura principal, estribos, espirales	40
* Cáscaras y placas plegadas:	
Barra 19 mm (3/4") y mayores	20
Barras 16 mm (5/8"), alambre MW200 ó MD200 (16 mm (5/8") de diámetro) y menores	15

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DE CÁLCULO	IPE-2025-2977-S-MC-006
	TÍTULO:	HOJA:
	MEMORIA DE CÁLCULO TORRE PARARRAYOS (FUNDACIÓN Y ESTRUCTURA)	6 de 46
		REV:
		A

Se asumirán los siguientes recubrimientos:

- 75 mm en Hormigón colocado contra el suelo y permanentemente en él.
- 50 mm en Hormigón colocado en suelo o a la intemperie.

4.3. PARÁMETROS DEL SUELO DEL SUELO

Para realizar el cálculo de la fundación y comprender mejor el comportamiento de las propiedades físicas y mecánicas del suelo se realizaron estudios geotécnicos en puntos establecidos, con la finalidad de obtener parámetros referidos especialmente a la resistencia al corte y presión admisible del suelo de fundación, las siguientes características fueron obtenidas de los SPT1 Y SPT2 del estudio de suelos IPE-2025-2977-S-EG-001.

Tabla 3. Características del Suelo.

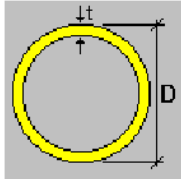
Características Suelo de Fundación	Valores
Ángulo de Fricción	20 (°)
Densidad Natural	1860 kg/m ³
Coeficiente de Balasto (K30)	3.15 kg/cm ³
Tensión Admisible (qadm)	1.50 kg/cm ²

5. ANÁLISIS DE CARGA

Para el análisis de carga y los efectos que producen las mismas, se analizaron con la ayuda del Software Ram Elements v23.

5.1. GEOMETRÍA

Figura 1. Perfil Pipe Ø4" SDT.

Nombre de la sección: PIPE 4x0.237 (US)			
Dimensiones			
			
D	=	4.500	[in] Diámetro
t	=	0.221	[in] Espesor


	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DE CÁLCULO	IPE-2025-2977-S-MC-006
	TÍTULO:	HOJA:
	MEMORIA DE CÁLCULO TORRE PARARRAYOS (FUNDACIÓN Y ESTRUCTURA)	7 de 46
		REV:
		A

Figura 2. Perfil Pipe Ø1 1/2" SDT.

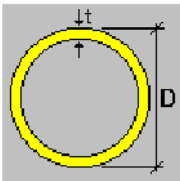
Nombre de la sección: PIPE 1-1_2x0.145 (US)			
Dimensiones			
			
D	=	1.900 [in]	Diametro
t	=	0.135 [in]	Espesor

Figura 3. Perfil L 5X5X3/8.

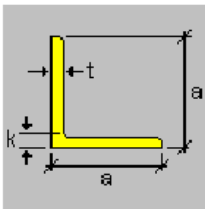
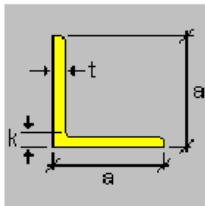
Nombre de la sección: L 5X5X3_8 (US)			
Dimensiones			
			
a	=	5.000 [in]	Largo de ala
k	=	0.875 [in]	Distancia k
t	=	0.375 [in]	Espesor

Figura 4. Perfil L 5X5X1/2.

Nombre de la sección: L 5X5X1_2 (US)			
Dimensiones			
			
a	=	5.000 [in]	Largo de ala
k	=	1.000 [in]	Distancia k
t	=	0.500 [in]	Espesor


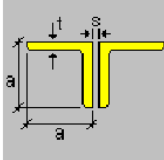
	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DE CÁLCULO	IPE-2025-2977-S-MC-006
	TÍTULO:	HOJA:
	MEMORIA DE CÁLCULO TORRE PARARRAYOS (FUNDACIÓN Y ESTRUCTURA)	8 de 46
		REV:
		A

Figura 5. Perfil T2L 5X5X3/8.

Nombre de la sección: T2L 5X5X3_8 (US)			
Dimensiones			
			
a	=	5.000	[in] Largo de ala
b	=	5.000	[in] Ancho de ala
s	=	0.000	[in] Separación
t	=	0.375	[in] Espesor

5.2. COMBINACIONES DE CARGA

Tabla 4. Estados de carga.

Condiciones de carga			
Condición	Descripción	Comb.	Categoría
CM	Carga Muerta	No	DL
LL	Live Load	No	LL
VX	Viento en X	No	WIND
VZ	Viento en Z	No	WIND
EQx	Seismic in X	No	EQ
EQz	Seismic in Z	No	EQ

Tabla 5. Combinaciones de diseño.

Condiciones de carga			
Condición	Descripción	Comb.	Categoría
D1	1.4CM	Si	
D2	1.2CM+1.6LL	Si	
D3	1.2CM+0.5VX	Si	
D4	1.2CM+0.5VZ	Si	
D5	1.2CM+VX	Si	
D6	1.2CM+VZ	Si	
D7	1.2CM+VX+LL	Si	
D8	1.2CM+VZ+LL	Si	
D9	0.9CM+VX	Si	
D10	0.9CM+VZ	Si	
D11	1.2CM+EQx	Si	
D12	1.2CM+EQz	Si	
D13	1.2CM+EQx+LL	Si	
D14	1.2CM+EQz+LL	Si	
D15	0.9CM+EQx	Si	
D16	0.9CM+EQz	Si	



	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DE CÁLCULO	IPE-2025-2977-S-MC-006
	TÍTULO:	HOJA:
	MEMORIA DE CÁLCULO TORRE PARARRAYOS (FUNDACIÓN Y ESTRUCTURA)	9 de 46
		REV:
		A

Tabla 6.Combinaciones de servicio.

Condiciones de carga			
Condición	Descripción	Comb.	Categoría
S1	CM	Si	
S2	CM+LL	Si	
S3	CM+0.75LL	Si	
S4	CM+0.6VX	Si	
S5	CM+0.6VZ	Si	
S6	CM+0.7EQx	Si	
S7	CM+0.7EQz	Si	
S8	CM+0.75LL+0.45VX	Si	
S9	CM+0.75LL+0.45VZ	Si	
S10	0.6CM+0.6VX	Si	
S11	0.6CM+0.6VZ	Si	
S12	CM+EQx	Si	
S13	CM+EQz	Si	
S14	CM+0.75LL+0.525EQx	Si	
S15	CM+0.75LL+0.525EQz	Si	
S16	CM+0.525EQx	Si	
S17	CM+0.525EQz	Si	
S18	0.6CM+0.7EQx	Si	
S19	0.6CM+0.7EQz	Si	

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DE CÁLCULO	IFE-2025-2977-S-MC-006
	TÍTULO:	HOJA: 10 de 46
	MEMORIA DE CÁLCULO TORRE PARARRAYOS (FUNDACIÓN Y ESTRUCTURA)	REV: A

5.3. CARGA MUERTA

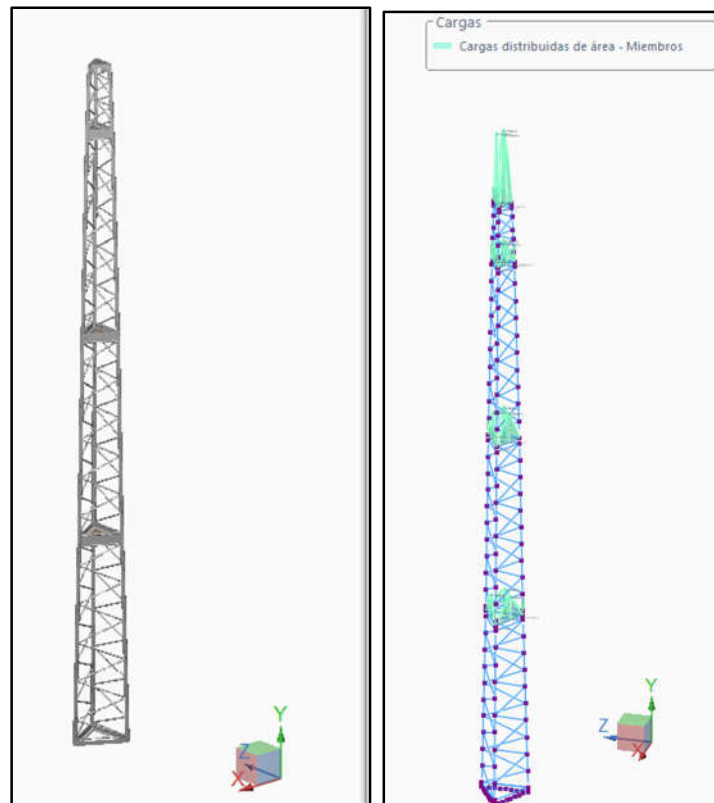
Carga Muerta P= 75 kg


Considerando el peso del equipo y accesorios del pararrayos. Se distribuye esta carga mediante una rea de carga que direcciona la carga hacia los perfiles angulares y al resto de la estructura

Carga Muerta P= 45 kg/20 kg

Considerando el peso de la escalera por módulo. Se aplica esta carga puntual de 45 kg por módulo Y 20 kg en el último mediante el área de carga .

Figura 6. Carga muerta.



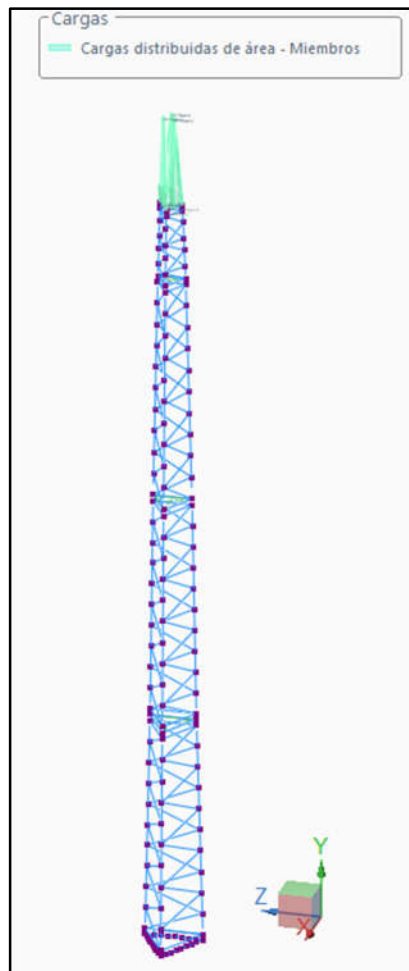
	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DE CÁLCULO	IPE-2025-2977-S-MC-006
	TÍTULO:	HOJA:
	MEMORIA DE CÁLCULO TORRE PARARRAYOS (FUNDACIÓN Y ESTRUCTURA)	11 de 46
		REV:
		A

5.4. CARGA VIVA

Para este estado de carga se consideró una carga sobre la estructura de 150 kg, por operación y/o mantenimiento.

$$P = 150 \text{ kg}$$


Figura 7. Carga viva de mantenimiento.



5.5. CARGA DE VIENTO

Para la obtención de la presión del viento (q_z) se utilizará la siguiente ecuación de acuerdo a la ASCE 7-16 (Eq 26. 10-1):

$$q_z = 0.613 * K_z * K_{zT} * K_d * K_e * V^2 * I \quad [N/m^2]$$

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DE CÁLCULO	IPE-2025-2977-S-MC-006
	TÍTULO:	HOJA:
	MEMORIA DE CÁLCULO TORRE PARARRAYOS (FUNDACIÓN Y ESTRUCTURA)	12 de 46
		REV:
		A

Velocidad básica del viento

El efecto del viento se considera en general en los ejes principales de una construcción.

La velocidad básica del viento según la Norma Boliviana APNB 1225003-1 para Santa Cruz es:

$$V = 42.60 \text{ m/s}$$


Determinación del factor direccional K_d

Tabla 7. Factor de direccionalidad del viento, K_d (ASCE 7-16, tabla 26.6-1).

Structure Type	Directionality Factor K_d
Buildings	
Main Wind Force Resisting System	0.85
Components and Cladding	0.85
Arched Roofs	0.85
Circular Domes	1.0 ^a
Chimneys, Tanks, and Similar Structures	
Square	0.90
Hexagonal	0.95
Octagonal	1.0 ^a
Round	1.0 ^a
Solid Freestanding Walls, Roof Top Equipment, and Solid Freestanding and Attached Signs	0.85
Open Signs and Single-Plane Open Frames	0.85
Trussed Towers	
Triangular, square, or rectangular	0.85
All other cross sections	0.95

^aDirectionality factor $K_d=0.95$ shall be permitted for round or octagonal structures with nonaxisymmetric structural systems.

$$K_d = 0.85$$

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DE CÁLCULO	IPE-2025-2977-S-MC-006
	TÍTULO:	HOJA:
	MEMORIA DE CÁLCULO TORRE PARARRAYOS (FUNDACIÓN Y ESTRUCTURA)	13 de 46
		REV:
		A

Determinación del factor de elevación del terreno K_e

Tabla 8. Factor elevación del terreno, K_e (ASCE 7-16, tabla 26.9-1).

Table 26.9-1 Ground Elevation Factor, K_e		
Ground Elevation above Sea Level		Ground Elevation Factor K_e
ft	m	
<0	<0	See note 2
0	0	1.00
1,000	305	0.96
2,000	610	0.93
3,000	914	0.90
4,000	1,219	0.86
5,000	1,524	0.83
6,000	1,829	0.80
>6,000	>1,829	See note 2

Notes

- The conservative approximation $K_e = 1.00$ is permitted in all cases.
- The factor K_e shall be determined from the above table using interpolation or from the following formula for all elevations:
 $K_e = e^{-0.0000962z_g}$ (z_g = ground elevation above sea level in ft).
 $K_e = e^{-0.000119z_g}$ (z_g = ground elevation above sea level in m).
- K_e is permitted to be taken as 1.00 in all cases.

$$K_e = 1$$

Determinación de categoría de exposición K_z

Exposición C. Terrenos abiertos con obstrucciones dispersas, con alturas generalmente menores que **10.00 m**. Esta categoría incluye campo abierto plano y terrenos agrícolas.


Tabla 9. Coeficientes de exposición de presión de la velocidad, K_h y K_z (ASCE 7-16, tabla 26.10-1).

<i>Notes</i>
1. The velocity pressure exposure coefficient K_z may be determined from the following formula: For $15 \text{ ft (4.6 m)} \leq z \leq z_g$ $K_z = 2.01(z/z_g)^{2/\alpha}$ For $z < 15 \text{ ft (4.6 m)}$ $K_z = 2.01(15/z_g)^{2/\alpha}$
2. α and z_g are tabulated in Table 26.11-1.
3. Linear interpolation for intermediate values of height z is acceptable.
4. Exposure categories are defined in Section 26.7.

El coeficiente de exposición para la estructura variara de acuerdo a la altura de la estructura por lo tanto tendremos 4 diferentes uno para cada módulo de la estructura.

$$K_{z1} = 0.899$$

$$K_{z2} = 1.040$$

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DE CÁLCULO	IPE-2025-2977-S-MC-006
	TÍTULO:	HOJA:
	MEMORIA DE CÁLCULO TORRE PARARRAYOS (FUNDACIÓN Y ESTRUCTURA)	14 de 46
		REV:
		A

$$K_{Z3} = 1.133$$

$$K_{Z4} = 1.158$$

Determinación de efecto topográfico K_{zt}

Los efectos del aumento de la velocidad del viento sobre lomas, escarpas y colinas aisladas que constituyen cambios abruptos en la topografía general en cualquier categoría de exposición, se consideraron para el caso específico de nuestro proyecto un terreno plano con un valor de:

$$K_{ZT} = 1 \text{ Terreno plano}$$

Presión dinámica

La presión dinámica q_z , evaluada a la altura z , se debe calcular mediante la siguiente ecuación:

$$q_z = 0.613 * K_Z * K_{ZT} * K_d * K_e * V^2 \quad [N/m^2]$$

Donde:

$$K_d = 0.85$$

$$K_{Z1} = 0.899$$

$$K_{Z2} = 1.040$$

$$K_{Z3} = 1.133$$

$$K_{Z4} = 1.158$$

$$K_{zt} = 1.00$$

$$V = 42.60 \text{ m/s}$$

$$K_e = 1.00$$


$$K_e = 1.15$$

$$q_{z1} = 0.613 * 1.00 * 0.899 * 0.85 * 1 * (42.60)^2 = 99.660 \text{ kg/m}^2$$

$$q_{z2} = 0.613 * 1.00 * 1.040 * 0.85 * 1 * (42.60)^2 = 115.320 \text{ kg/m}^2$$

$$q_{z3} = 0.613 * 1.00 * 1.133 * 0.85 * 1 * (42.60)^2 = 125.600 \text{ kg/m}^2$$

$$q_{z4} = 0.613 * 1.00 * 1.158 * 0.85 * 1 * (42.60)^2 = 128.410 \text{ kg/m}^2$$

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DE CÁLCULO	IPe-2025-2977-S-MC-006
	TÍTULO:	HOJA:
	MEMORIA DE CÁLCULO TORRE PARARRAYOS (FUNDACIÓN Y ESTRUCTURA)	15 de 46
		REV:
		A

Para el cálculo de las cargas aplicadas en una estructura especial, como una torre pararrayos, se empleará la norma TIA-222-H, la cual establece los criterios de diseño para torres y estructuras similares. Esta norma se fundamenta en los principios de la ASCE 7-16 e incorpora factores específicos que influyen en el comportamiento de las torres, tales como velocidad básica del viento y factores de importancia. Su aplicación permite obtener un diseño más preciso y seguro, considerando las condiciones reales que afectan a este tipo de estructuras.

La fórmula para el cálculo de la fuerza de diseño del viento en la estructura es:

$$F_{ST} = q_z G_h (EPA)_s$$

Sección 2.6.11.1

Cálculo de EPAs (Área proyectada efectiva):

Sección 2.6.11.6

$$(EPA)_s = C_f [D_f \sum A_f + D_r \sum (A_r R_r)]$$

Cálculo de coeficiente de forma:

$$C_f = 3.4\epsilon^2 - 4.7\epsilon + 3.4$$

Cálculo de relación de sólidos:

$$\epsilon = (A_f + A_r)/A_g$$

Con los parámetros y variables calculadas para ambos lados obtenemos las siguientes cargas para la estructura:

Tabla 10. Fuerza de viento en Z calculada por nodo.

VIENTO EN Z									# Nodos	P (kg)
TRAMO	AF (m2)	AR (m2)	AG (m2)	E	CF	Rr	EPAs (cm2)	Fst (kg)		
1	1.000	3.160	8.160	0.510	1.888	0.690	6.000	508.678	33.000	15.414
2	1.120	2.950	6.660	0.611	1.798	0.750	5.990	586.876	36.000	16.302
3	0.870	2.680	5.160	0.689	1.776	0.803	5.380	573.983	33.000	17.393
4	0.660	0.940	1.290	1.235	2.782	1.000	4.450	485.254	21.000	23.107


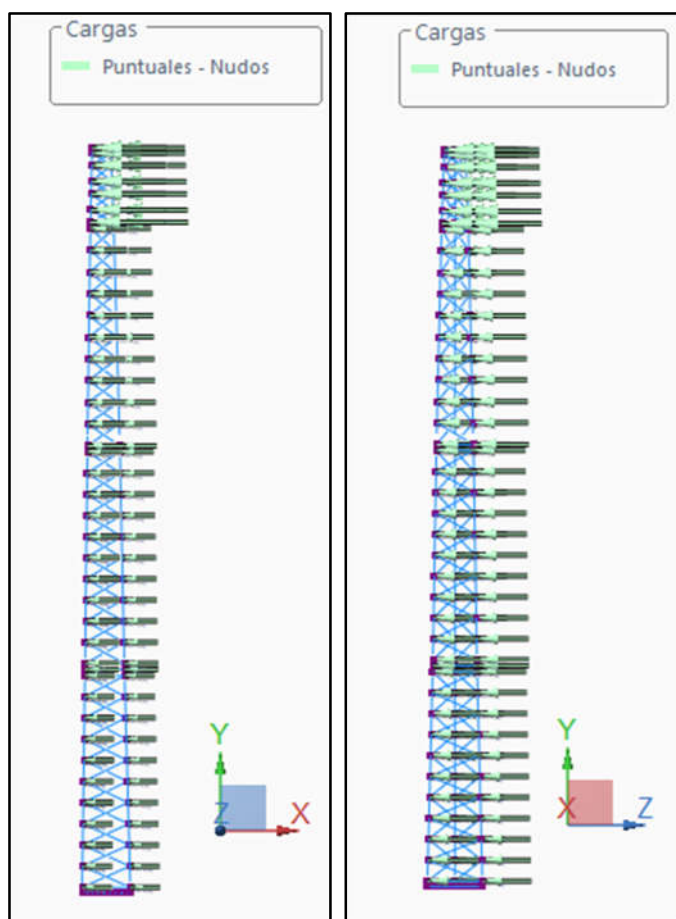
	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DE CÁLCULO	IPe-2025-2977-S-MC-006 HOJA: 16 de 46
	TÍTULO: MEMORIA DE CÁLCULO TORRE PARARRAYOS (FUNDACIÓN Y ESTRUCTURA)	REV: A

Tabla 11. Fuerza de viento en X calculada por nodo.


VIENTO EN X										
TRAMO	AF (m2)	AR (m2)	AG (m2)	E	CF	Rr	EPAs (cm2)	Fst (kg)	# Nodos	P (kg)
1	1.500	3.820	8.160	0.652	1.781	0.778	7.970	675.195	33.000	20.460
2	1.680	3.510	6.660	0.778	1.802	0.869	8.510	834.326	36.000	23.176
3	1.310	3.110	5.160	0.856	1.868	0.930	7.850	837.797	33.000	25.388
4	0.990	1.110	1.290	1.617	4.690	1.000	9.810	1071.288	21.000	51.014

Figura 8. Carga de viento en X y Z



6. CARGAS SÍSMICAS (S)

De acuerdo con la Norma Boliviana de diseño sísmico 2023, la solicitación sísmica se determina mediante el método de análisis estático o modal espectral según conveniencia en función al tipo de estructura.

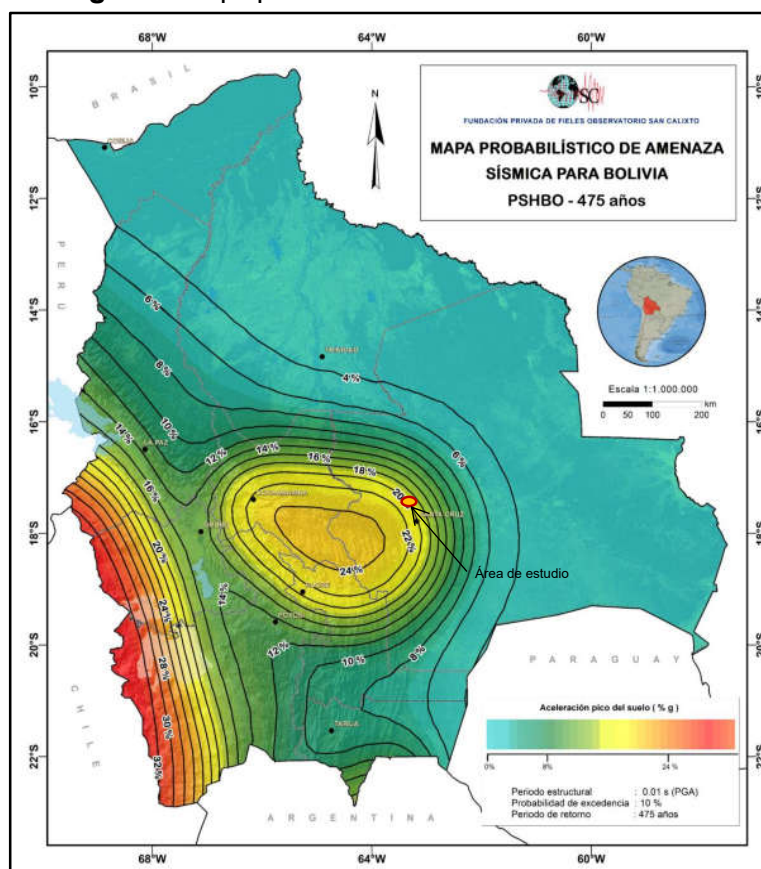
	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DE CÁLCULO	IPE-2025-2977-S-MC-006
	TÍTULO:	HOJA:
	MEMORIA DE CÁLCULO TORRE PARARRAYOS (FUNDACIÓN Y ESTRUCTURA)	17 de 46
		REV:
		A

El lugar donde se encuentra el proyecto la actividad sísmica en estas regiones es moderado-alto en comparación en otras zonas morfotectónicas.

Para la determinación Peak Ground Aceleración – PGA, se usó el registro histórico y el mapa probabilístico de amenazas sísmicas, para un periodo de retorno de 475 años, con 10% de probabilidad de excedencia en 10 años.

Para el punto del proyecto fue considerado el rango de excedencia desfavorable de PGA=20%.


Figura 9. Mapa probabilístico de amenaza sísmica.



Para determinar los espectros de diseño aceleración se determinan los siguientes valores:

- Factor de Importancia I_e

Tabla 12. Factor de Importancia, I_e .

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DE CÁLCULO	IPe-2025-2977-S-MC-006
	TÍTULO:	HOJA: 18 de 46
	MEMORIA DE CÁLCULO TORRE PARARRAYOS (FUNDACIÓN Y ESTRUCTURA)	REV: A

Tipo	I_e
IV	1.5
III	1.3
II	1.0
I	Nota ¹

Nota¹: Edificaciones cuya resistencia y rigidez sean adecuadas para resistir acciones laterales a criterio del proyectista.

➤ Clasificación de suelo de fundación

Tabla 13. Tipo de Suelo.

Suelo	Descripción
S0	Roca dura
S1	Roca
S2	Suelo muy rígido - roca blanda
S3	Suelo rígido
S4	Suelo blando
S5	Requiere un análisis de respuesta de sitio

➤ Coeficiente, F_a y F_v

Los efectos del tipo de suelo en la acción sísmica se pueden considerar a partir de la aplicación de los factores, F_a y F_v , en función de la aceleración máxima del suelo, S_0 , (PGA).

Tabla 14. Coeficiente de sitio de periodo corto, F_a .

Tipo de suelo	S_0					
	< 0.067	0.133	0.200	0.267	0.333	> 0.400
S0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
S1	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
S2	1.3	1.3	1.2	1.1	1.1	1.1
S3	1.6	1.4	1.2	1.1	1.1	1.1
S4	2.4	1.7	1.3	1.2	1.2	1.2

Nota: Se permite interpolación lineal para valores intermedios.


	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DE CÁLCULO	IPE-2025-2977-S-MC-006
	TÍTULO:	HOJA:
	MEMORIA DE CÁLCULO TORRE PARARRAYOS (FUNDACIÓN Y ESTRUCTURA)	19 de 46
		REV:
		A

Tabla 15. Coeficiente de sitio de periodo largo F_v

Tipo de suelo	S_0					
	< 0.053	0.107	0.160	0.213	0.267	> 0.320
S0	0.64	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8
S1	0.64	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8
S2	1.2	1.3	1.5	1.5	1.5	1.4
S3	2.0	2.0	2.0	1.9	1.8	1.7
S4	3.5	3.0	2.8	2.4	2.4	2.4

Nota: Se permite interpolación lineal para valores intermedios.

- Efecto de topografía y pendientes

Se considera la ubicación topográfica >D , donde el factor será $\tau = 1$

- Espectros de respuestas

La parametrización del espectro elástico, S_{ae} (Figura 3) se realizará mediante las ecuaciones de las tablas (Tabla 13 y Tabla 14), ramas y periodos de regiones, respectivamente.

Figura 10. Espectro elástico de pseudoaceleración en unidades de, g.

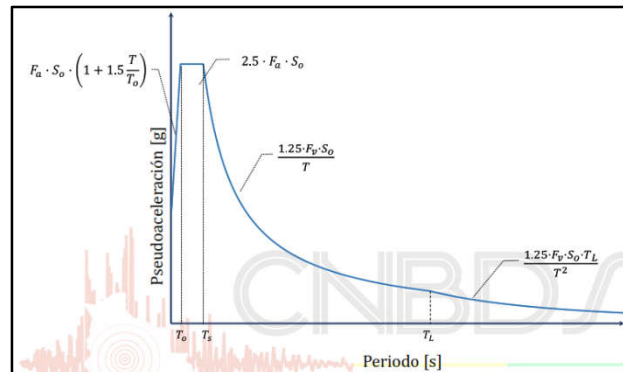



Tabla 16. Parametrización del espectro elástico de pseudoaceleración.

Rama	Pseudoaceleración (S_{ae})
$T < T_0$	$F_a \cdot S_0 \cdot \left(1 + 1.5 \cdot \frac{T}{T_0}\right)$
$T_0 \leq T \leq T_s$	$2.5 \cdot F_a \cdot S_0$
$T_s < T \leq T_l$	$\frac{1.25 \cdot F_v \cdot S_0}{T}$
$T_l < T$	$\frac{1.25 \cdot F_v \cdot S_0 \cdot T_l}{T^2}$

Tabla 17. Periodo límite inicial, corto y largo.

T_0	T_s	T_l
$0.15 \cdot \frac{F_v}{F_a}$	$0.5 \cdot \frac{F_v}{F_a}$	$4 \cdot \frac{F_v}{F_a}$

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DE CÁLCULO	IPe-2025-2977-S-MC-006
	TÍTULO:	HOJA: 20 de 46
	MEMORIA DE CÁLCULO TORRE PARARRAYOS (FUNDACIÓN Y ESTRUCTURA)	REV: A

➤ Espectro de diseño

El espectro de diseño S_a , es el espectro elástico afectado por los factores, de reducción R de importancia I_e y topografía τ , definido por:

$$S_a = \frac{S_{ae} \cdot I_e \cdot \tau}{R}$$

S_{ae} = Espectro elástico de Pseudoaceleración definido.

Tabla 18. Coeficientes de reducción, R , amplificación, C_d y valores de distorsión Δ^1 .

Sistema Estructural	R	C_d	Δ^1
Hormigón²			
Sistema de Pórticos			
Pórticos Especiales Resistentes a Momentos	8	5.5	0.012
Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos	5	4.5	0.011
Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos	3	2.5	0.010
Sistema de Entrepiso sin Viga			
Entrepisos planos compuestos por losas macizas o nervadas bidireccionales con ábacos, apoyados en columnas con o sin capiteles. Altura máxima, 30 m.	2.5	1.8	0.007
Entrepisos planos compuestos por losas macizas o nervadas bidireccionales con ábacos, apoyados en columnas con o sin capiteles y muros de corte ordinarios. Altura máxima, 30 m.	4	3.6	0.008
Sistema de Entrepiso con Vigas Planas			
Entrepisos planos apoyados en vigas planas y columnas. Altura máxima, 30 m.	2.5	1.8	0.007
Entrepisos planos apoyados en vigas planas ($b \geq 400$ mm) y columnas. Altura máxima, 30 m.	4	3.6	0.008
Entrepisos planos de losas macizas o nervadas bidireccionales con ábacos apoyados en un sistema dual de columnas especiales con o sin capiteles y muros de corte especiales y vigas planas ($b \geq 400$ mm).	5.5	4.5	0.009
Sistema de Muros			
Muros estructurales Especiales	6	5	0.009
Muros estructurales Ordinarios	5	4.5	0.008
Sistemas Duales			
Pórticos Especiales con Muros Especiales	7	5.5	0.010
Pórticos Especiales con Muros Especiales acoplados	8	8	0.010
Pórticos Especiales con Muros Ordinarios	6	5	0.009
Pórticos Intermedios con Muros Especiales	6.5	5	0.009
Pórticos Intermedios con Muros Ordinarios	5.5	4.5	0.008
Pórticos Ordinarios con Muros Ordinarios	4.5	4	0.007
Sistemas de muros de ductilidad limitada	4	3.6	0.006
Acero			
Pórticos Especiales Resistentes a Momentos	8	5.5	0.010
Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos	4.5	4	0.009
Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos	3.5	3	0.008
Pórticos Especiales Concéntricamente Arriostrados	6	5	0.009
Pórticos Ordinarios Concéntricamente Arriostrados	3.25	3.25	0.008
Pórticos Excéntricamente Arriostrados	8	4	0.010


	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DE CÁLCULO	IPE-2025-2977-S-MC-006
	TÍTULO:	HOJA:
	MEMORIA DE CÁLCULO TORRE PARARRAYOS (FUNDACIÓN Y ESTRUCTURA)	21 de 46
		REV:
		A

Tabla 19. Coeficientes de reducción, R, amplificación, Cd y valores de distorsión Δ^1 .

DATOS	PARÁMETROS
PGA (So) (%g)	20
Tipo de suelo	S4
Tipo de edificación	IV
Coeficiente de sitio de periodo corto "Fa"	1.300
Coeficiente de sitio de periodo largo "Fv"	2.498
Periodo limite inicial "To" (Seg)	0.288
Periodo limite corto "Ts" (Seg)	0.961
Periodo limite largo "TL" (Seg)	7.686
Factor de importancia "Ie"	1.500
Topografía "τ"	1.000
Factor de Reducción "R"	3.500



	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DE CÁLCULO	IPE-2025-2977-S-MC-006
	TÍTULO:	HOJA: 22 de 46
	MEMORIA DE CÁLCULO TORRE PARARRAYOS (FUNDACIÓN Y ESTRUCTURA)	REV: A

Tabla 20. Coeficientes de reducción, R, amplificación, Cd y valores de distorsión Δ^1 .

PUNTOS	PERIODO	ESPECTRO DE DISEÑO ACCELERACIÓN
	seg	Sa [g]
1	0	0.1114
2	0.05	0.1404
3	0.1	0.1694
4	0.15	0.1984
5	0.2	0.2274
6	0.25	0.2564
7	0.3	0.2786
8	0.4	0.2786
9	0.45	0.2786
10	0.6	0.2786
11	0.7	0.2786
12	0.8	0.2786
13	1	0.2677
14	1.2	0.223
15	1.5	0.1784
16	2	0.1338
17	2.5	0.1071
18	3	0.0892
19	3.5	0.0765
20	4	0.0669
21	4.5	0.0595
22	5	0.0535
23	5.5	0.0487
24	6	0.0446
25	6.5	0.0412
26	7	0.0382
27	7.5	0.0357
28	8	0.0321
29	8.5	0.0285
30	9	0.0254
31	9.5	0.0228
32	10	0.0206


	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DE CÁLCULO	IPE-2025-2977-S-MC-006
	TÍTULO:	HOJA: 23 de 46
	MEMORIA DE CÁLCULO TORRE PARARRAYOS (FUNDACIÓN Y ESTRUCTURA)	REV: A

7. RESULTADOS DE ANALISIS

7.1. VERIFICACIÓN DE PARTICIPACIÓN DE MASAS

Tabla 21. Porcentaje de participación de masas.

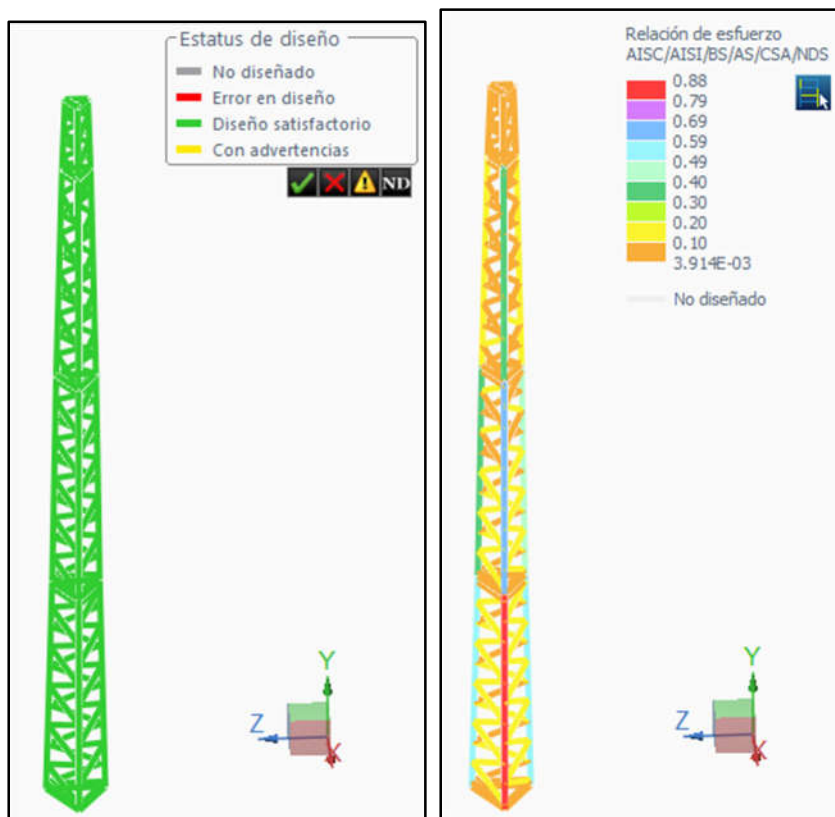
Participación Modal						
MODO	Part.X	Part.Y	Part.Z	Rot.X	Rot.Y	Rot.Z
1	0	0	56.04	0	0	0
2	56.15	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	22.09	0	0	0
5	22.01	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	7.63	0	0	0
8	7.64	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0
10	0	77.96	0	0	0	0
11	0.09	0	1.7	0	0	0
12	1.74	0	0.13	0	0	0
13	0.01	0.01	0.01	0	0	0
14	1.21	0	1.27	0	0	0
15	0.56	0	0.35	0	0	0
16	0	0.07	0.59	0	0	0
17	0.26	5.32	0.03	0	0	0
18	0.03	1.75	0.39	0	0	0
19	0.71	2.13	0.19	0	0	0
20	0.28	4.09	0.72	0	0	0
TOTAL:	90.68	91.33	91.14	0	0	0

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DE CÁLCULO	IPE-2025-2977-S-MC-006
	TÍTULO:	HOJA:
	MEMORIA DE CÁLCULO TORRE PARARRAYOS (FUNDACIÓN Y ESTRUCTURA)	24 de 46 REV: A


7.2. VERIFICACIÓN ESTRUCTURA METALICA

El diseño y verificación de todos los elementos se realiza mediante el software RAM Elements, Norma de diseño AISC 360 LRFD a continuación, se muestra el estatus de diseño y la relación de esfuerzos para el poste de iluminación.

Figura 11. Estatus de diseño y relación de esfuerzos.



Descripción	Sección	Miembro	Ec. ctrl	Relación	Estatus
BASE INF TRAMO1	L 5X5X1_2	3	D1 en 0.00%	0.00	Bien
BASE INF TRAMO2	T2L 5X5X3_8	8	D7 en 100.00%	0.06	Bien
BASE INF TRAMO3		12	D7 en 0.00%	0.04	Bien
BASE INF TRAMO4		14	D7 en 0.00%	0.02	Bien
BASE SUP TRAMO4	L 5X5X3_8	16	D7 en 0.00%	0.01	Bien
TRAMO1 LONG	PIPE 4x0.237	5	D9 en 0.00%	0.88	Bien
TRAMO2 LONG		21	D9 en 100.00%	0.62	Bien
TRAMO3 LONG		24	D9 en 0.00%	0.30	Bien
TRAMO4 LONG		27	D9 en 0.00%	0.05	Bien
TUBO SDT 1 1/2" TRA...	PIPE 1-1_2x0.145	30	D5 en 0.00%	0.19	Bien
TUBO SDT 1 1/2" TRA...		66	D7 en 0.00%	0.16	Bien
TUBO SDT 1 1/2" TRA...		112	D7 en 0.00%	0.10	Bien
TUBO SDT 1 1/2" TRA...		146	D7 en 0.00%	0.05	Bien

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DE CÁLCULO	IPE-2025-2977-S-MC-006
	TÍTULO:	HOJA:
	MEMORIA DE CÁLCULO TORRE PARARRAYOS (FUNDACIÓN Y ESTRUCTURA)	25 de 46
		REV:
		A

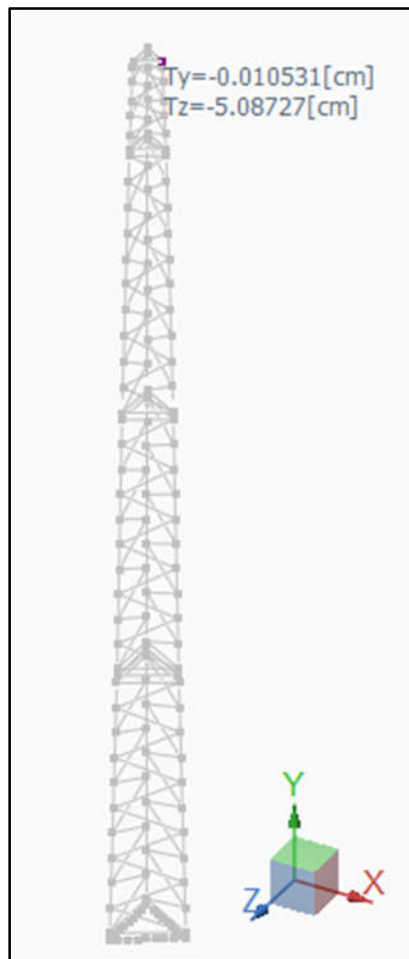
Todas las estructuras de acero deben cumplir una relación de esfuerzos < 1.00 .

El miembro de mayor sollicitación, tiene una relación de esfuerzos de 0.88.

7.3. DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS

A continuación, se detalla los desplazamientos máximos generados por la carga de servicio desfavorable $S_{11}=0.6CM+0.6Vz$.


Figura 12. Estatus de diseño y relación de esfuerzos.



El máximo desplazamiento horizontal producido en la dirección X es de 5.08727 cm.

Las deformaciones máximas establecidas de acuerdo a la norma AISC 360-16 es de $H/300$.

Se tiene una altura de poste $H = 20 \text{ m} = 2000 \text{ cm}$.

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DE CÁLCULO	IP-2025-2977-S-MC-006
	TÍTULO:	HOJA: 26 de 46
	MEMORIA DE CÁLCULO TORRE PARARRAYOS (FUNDACIÓN Y ESTRUCTURA)	REV: A

Deformación máxima $\Delta = H/300$.

$$\Delta = 2000 \text{ cm} / 300 = 6.67 \text{ cm.}$$

5.087 cm \leq 6.67 cm Cumple con la verificación!!

8. DISEÑO DE FUNDACIÓN

Para el cálculo de la fundación de la torre pararrayos, se obtuvieron las reacciones en los apoyos correspondientes a cada caso de carga. Posteriormente, se realizaron las combinaciones de carga establecidas por la normativa, con el fin de determinar de manera precisa los esfuerzos que actuarán sobre la cimentación y garantizar un diseño seguro y eficiente.

Tabla 22. Reacciones.

Nudo	Fuerzas [Kg]			Momentos [Kg*m]		
	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
Estado CM=Carga Muerta						
1	11.28815	695.11002	20.49428	-6.15805	0.04525	4.4877
2	11.20172	695.11076	-20.5401	6.97285	0.03693	3.07791
3	-22.48988	695.59736	0.04582	-0.81436	0.04219	-7.56862
SUM	0	2085.8181	0	0.00045	0.12437	-0.00301
Estado LL=Live Load						
1	0.44947	31.77715	0.82418	0.0435	0.00246	0.0069
2	0.44455	31.77707	-0.82693	-0.01561	0.00237	-0.04148
3	-0.89401	31.77678	0.00275	-0.02798	0.00245	0.03457
SUM	0	95.33099	0	-0.00009	0.00727	-0.00002
Estado VX=Viento en X						
1	1116.2478	16022.823	794.4497	63.08233	4.54135	-210.67305
2	472.02663	16054.517	-422.94011	-6.40388	-3.84363	-141.89282
3	1830.3396	-32077.34	-371.50959	-32.08044	-0.5505	-239.91596
SUM	3418.614	0	0	24.59801	0.14722	-592.48182
Estado VZ=Viento en Z						
1	476.3919	16079.553	719.84855	111.92964	-1.47868	-31.6133
2	-233.75621	-16068.529	1127.5291	156.38321	-2.17242	14.77166
3	-242.63569	-11.02443	307.37231	100.89514	2.3894	30.82555
SUM	0	0	2154.75	369.20799	-1.2617	13.98391
Estado EQx=Seismic in X						
1	95.87719	1672.2385	74.40825	5.69852	0.3955	18.22391
2	42.29931	1677.0664	44.11827	0.6604	0.39665	12.48661
3	166.52447	3349.3044	31.04684	2.45998	0.15693	20.82439
SUM	304.70097	6698.6093	149.57337	8.8189	0.94908	51.5349
Estado EQz=Seismic in Z						
1	71.85176	2899.8081	110.16625	15.38355	0.24165	4.11846
2	42.07916	2897.0031	158.20215	20.65858	0.34506	2.74847
3	30.73752	5.05475	36.19999	13.38416	0.33274	4.16519
SUM	144.66844	5801.866	304.56839	49.42628	0.91944	11.03212


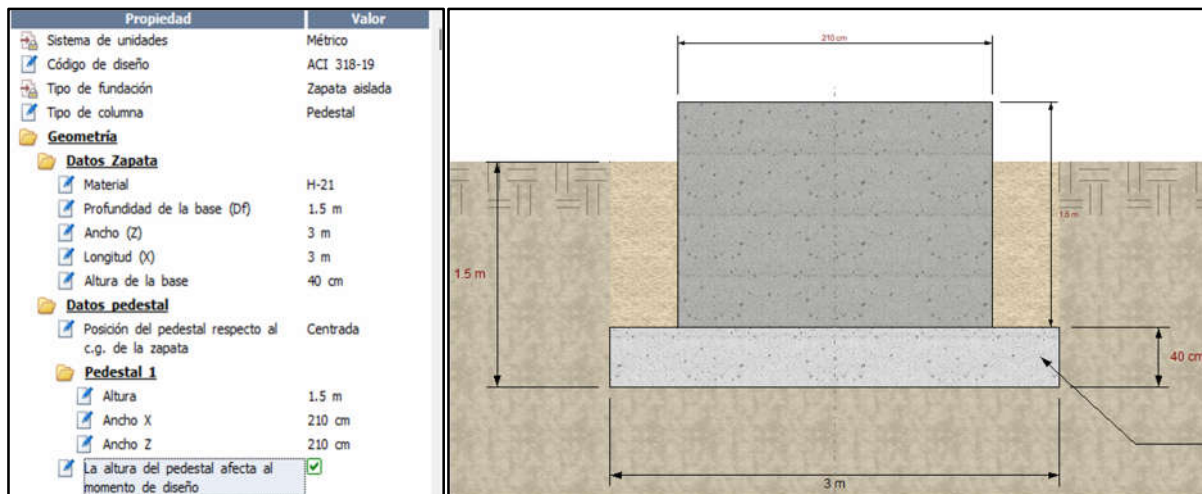
	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DE CÁLCULO	IPe-2025-2977-S-MC-006
	TÍTULO:	HOJA:
	MEMORIA DE CÁLCULO TORRE PARARRAYOS (FUNDACIÓN Y ESTRUCTURA)	27 de 46 REV: A

Figura 13. Estatus de diseño y relación de esfuerzos.



Resultados de Diseño Zapatas de Hormigón Armado

Datos Generales

Estatus global	:	Bien
Código de diseño	:	ACI 318-2019
Tipo de zapata	:	Aislada
Tipo de columna	:	Pedestal

Materiales


Hormigón, f_c	:	2100000.00 [Kg...	Acero, f_y	:	4.2E07 [Kg/m2]
Tipo de concreto	:	Normal	Recubrimiento epóxico	:	No
Módulo de elasticidad hormigón	:	2.14E09 [Kg/m2]	Módulo de elasticidad acero	:	2.9E11 [Kg/m2]
Peso unitario	:	2100.00 [Kg/m3]			

Suelo

Coefficiente de balasto	:	3150000.00 [Kg...
Peso unitario (húmedo)	:	1860.00 [Kg/m3]

Geometría

Longitud	:	3.00 [m]
Ancho	:	3.00 [m]
Espesor	:	0.40 [m]
Profundidad de la base	:	1.50 [m]

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DE CÁLCULO	IPE-2025-2977-S-MC-006
	TÍTULO:	HOJA: 28 de 46
	MEMORIA DE CÁLCULO TORRE PARARRAYOS (FUNDACIÓN Y ESTRUCTURA)	REV: A

Área de la base : 9.00 [m2]
 Volumen de la zapata : 3.60 [m3]

 Longitud del pedestal : 210.00 [cm]
 Ancho del pedestal : 210.00 [cm]
 Alto del pedestal : 150.00 [cm]
 Posición del pedestal respecto al c.g. de la zapata : Centrada

Reinforcement

Armadura longitudinal

Recubrimiento libre : 8.00 [cm]
 Relación máxima permitida entre Rho/Rho balanceo : 0.75
 Armadura // a L (xx) inferior : 13-R16 c/ 23.00cm
 Armadura // a L (xx) superior : 13-R16 c/ 23.00cm
 Armadura // a B (zz) inferior : 13-R16 c/ 23.00cm (Zona 1)
 Armadura // a B (zz) superior : 13-R16 c/ 23.00cm

Armadura del pedestal

Longitudinal : 72 - 20mm
 Recubrimiento libre : 2.50 [cm]
 Área provista : 226.08 [cm2]
 Número de barras // al eje x : 19
 Número de barras // al eje z : 19

 Transversal : 10mm c/ 20.00cm
 Número de ramas // al eje x : 10
 Número de ramas // al eje z : 10


Condiciones de carga

Servicio:

S1 : CM
 S2 : CM+LL
 S3 : CM+0.75LL
 S4 : CM+0.6VX
 S5 : CM+0.6VZ
 S6 : CM+0.7EQx
 S7 : CM+0.7EQz
 S8 : CM+0.75LL+0.45VX
 S9 : CM+0.75LL+0.45VZ
 S10 : 0.6CM+0.6VX
 S11 : 0.6CM+0.6VZ
 S12 : CM+EQx
 S13 : CM+EQz
 S14 : CM+0.75LL+0.525EQx
 S15 : CM+0.75LL+0.525EQz
 S16 : CM+0.525EQx
 S17 : CM+0.525EQz
 S18 : 0.6CM+0.7EQx
 S19 : 0.6CM+0.7EQz

Límite ultimo:

D1 : 1.4CM
 D2 : 1.2CM+1.6LL
 D3 : 1.2CM+0.5VX

	TIPO DE DOCUMENTO:		CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DE CÁLCULO		IPE-2025-2977-S-MC-006
	TÍTULO:		HOJA:
	MEMORIA DE CÁLCULO TORRE PARARRAYOS (FUNDACIÓN Y ESTRUCTURA)		29 de 46
			REV:
			A

D4	:	1.2CM+0.5VZ
D5	:	1.2CM+VX
D6	:	1.2CM+VZ
D7	:	1.2CM+VX+LL
D8	:	1.2CM+VZ+LL
D9	:	0.9CM+VX
D10	:	0.9CM+VZ
D11	:	1.2CM+EQx
D12	:	1.2CM+EQz
D13	:	1.2CM+EQx+LL
D14	:	1.2CM+EQz+LL
D15	:	0.9CM+EQx
D16	:	0.9CM+EQz

Cargas

Estado	Zapata	Nudo	Axial [Kg]	Mxx [Kg*m]	Mzz [Kg*m]	Vx [Kg]	Vz [Kg]
CM	1	2	-2085.82	0.00	0.00	0.00	0.00
LL	1	2	-95.33	0.00	0.00	0.00	0.00
VX	1	2	0.00	24.60	626.67	3418.61	0.00
VZ	1	2	0.00	390.76	-13.98	0.00	-2154.75
EQx	1	2	-6698.61	10.31	-48.49	304.70	-149.57
EQz	1	2	-5801.87	52.47	-9.59	144.67	-304.57

Interacción suelo - fundación

Presión admisible	:	1.5E04 [Kg/m2]
Factor de seguridad min. para deslizamiento	:	1.50
Factor de seguridad min. a vuelco	:	1.50

Estado gobernante	:	S10 - 1
-------------------	---	---------


Estado	qprom [Kg/m2]	qmax [Kg/m2]	Δmax [cm]	Área en compresión [m2] (%)		Volteo FSx FSz		FS desliz.
Zapata								
S10 - 1	1.59E03	2.54E03	0.0808	9.00	100	1000.00	5.03	10.51

Flexión

Factor ϕ	:	0.90
Cuantía mínima	:	0.00200

Longitud de desarrollo

Eje	Pos.	ld [cm]	lhd [cm]	Dist1 [cm]	Dist2 [cm]
z	Inf.	64.25	22.49	37.00	37.00
x	Inf.	64.25	22.49	37.00	37.00
z	Sup.	30.48	15.24	37.00	37.00
x	Sup.	30.48	15.24	37.00	37.00

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DE CÁLCULO	IPE-2025-2977-S-MC-006
	TÍTULO:	HOJA:
	MEMORIA DE CÁLCULO TORRE PARARRAYOS (FUNDACIÓN Y ESTRUCTURA)	30 de 46
		REV:
		A

Eje	Pos.	Estado Zapata	Mu [Kg*m]	ϕ *Mn [Kg*m]	Asreq [cm2]	Asprov [cm2]	Asreq/Asprov	Mu/(ϕ *Mn)
zz	Sup.	D7 - 1	-520.36	-29804.56	0.44	26.13	0.017	0.017
zz	Inf.	D9 - 1	369.31	29804.56	23.58	26.13	0.902	0.012
xx	Sup.	D8 - 1	-360.14	-28224.22	0.32	26.13	0.012	0.013
xx	Inf.	D10 - 1	209.09	28224.22	23.70	26.13	0.907	0.007

Cortantes


Factor ϕ	:	0.75
Área de corte plano zz	:	0.94 [m2]
Área de corte plano xx	:	0.89 [m2]

Plano	Estado Zapata	Vu [Kg]	Vc [Kg]	Vu/(ϕ *Vn)
xy	D8 - 1	570.18	39115.85	0.019
yz	D7 - 1	744.61	40513.03	0.025

Corte por punzonamiento

Factor ϕ	:	0.75
Perímetro de corte (bo 1)	:	9.62 [m]
Área de punzonamiento	:	2.92 [m2]

Columna	Estado Zapata	Vu [Kg]	Vc [Kg]	Vu/(ϕ *Vn)
columna 1	D13 - 1	-3327.04	366691.00	0.012

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DE CÁLCULO	IPE-2025-2977-S-MC-006
	TÍTULO:	HOJA: 31 de 46
	MEMORIA DE CÁLCULO TORRE PARARRAYOS (FUNDACIÓN Y ESTRUCTURA)	REV: A

Cuando el pedestal actúa más como masa de hormigón que como columna, se permite reducir la cuantía mínima a 0.5% del área bruta, basándose en disposiciones del Capítulo 16 (Requisitos para elementos masivos y detalles constructivos) en la versión ACI 318S-19.

Por lo tanto la armadura requerida para el pedestal será por cuantía mínima y con la cuantía de 0.5%.

Diseño del Pedestal

Armadura: Pedestal	Asreq [cm ²]	Asprov [cm ²]	Asreq/Asprov
1	220.5	226.08	0.98

Flexión biaxial: Pedestal	Estado Zapata	Muxx [Kg*m]	Muzz [Kg*m]	$\phi*Mnxx$ [Kg*m]	$\phi*Mnzz$ [Kg*m]	Mc/($\phi*Mn$)
1	D7 - 1	24.60	5754.59	3578.07	837058.40	0.01 <input type="text"/>

Axial: Pedestal	Estado Zapata	Pu [Kg]	$\phi*Pn$ [Kg]	Pu/($\phi*Pn$)
1	D13 - 1	9296.92	-4566136.00	0.01 <input type="text"/>

Corte:	
Pedestal 1:	
S adoptado	: 20.00 [cm]
S calculado	: 32.00 [cm]

Estado	Dir.	Vu [Kg]	Vc [Kg]	Vs [Kg]	$\phi*Vn$ [Kg]	Vu/($\phi*Vn$)
D7	x	3418.61	331085.60	338766.80	502389.30	0.01 <input type="text"/>
D7	z	0.00	331085.60	338766.80	502389.30	0.00 <input type="text"/>


	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DE CÁLCULO	IPE-2025-2977-S-MC-006
	TÍTULO:	HOJA:
	MEMORIA DE CÁLCULO TORRE PARARRAYOS (FUNDACIÓN Y ESTRUCTURA)	32 de 46
		REV:
		A

Figura 14. Armadura de fundación.

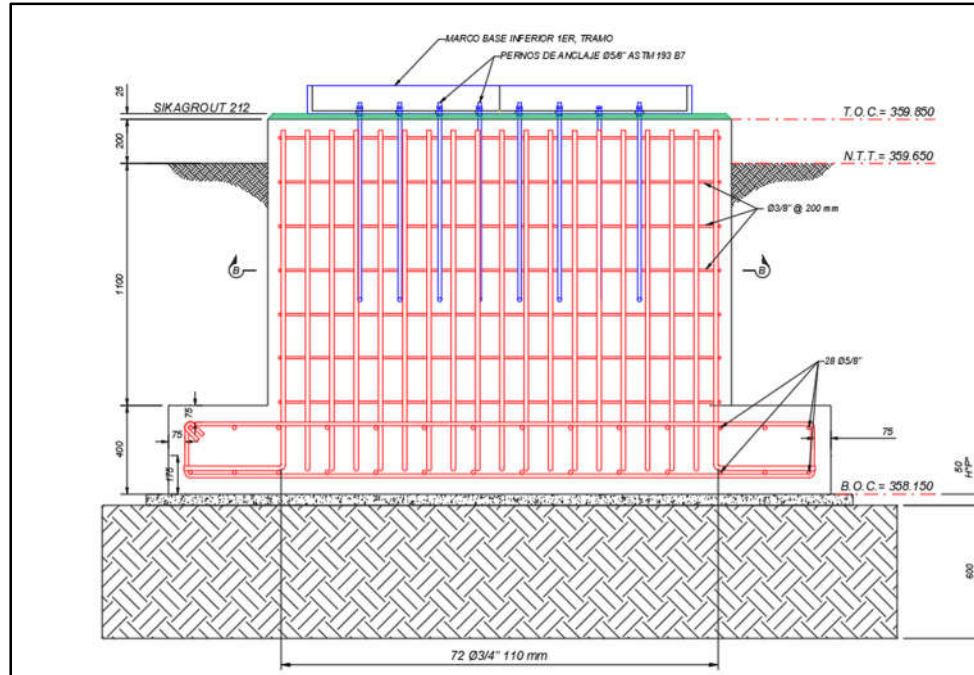
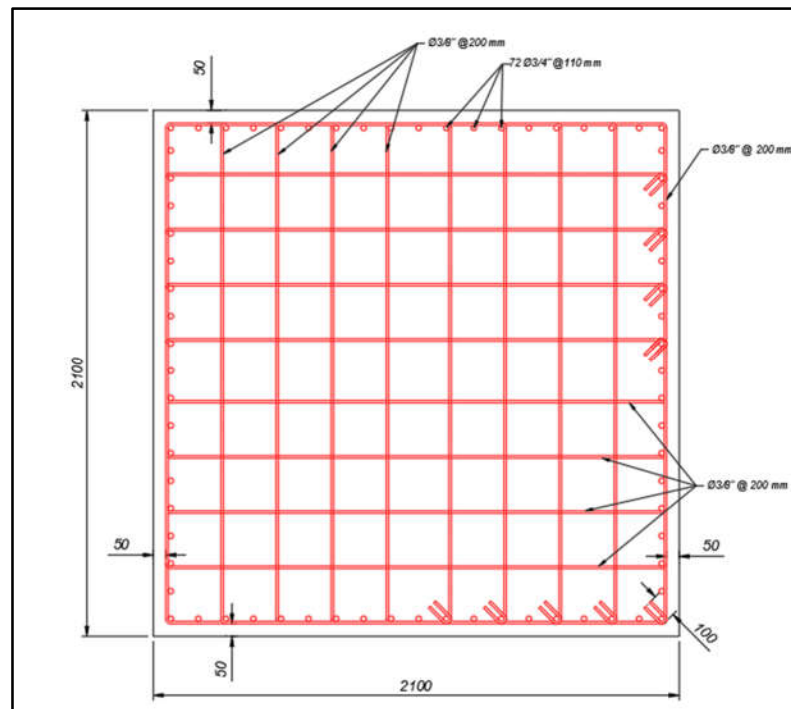



Figura 15. Armadura de pedestal.



	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DE CÁLCULO	IPE-2025-2977-S-MC-006
	TÍTULO:	HOJA:
	MEMORIA DE CÁLCULO TORRE PARARRAYOS (FUNDACIÓN Y ESTRUCTURA)	33 de 46
		REV:
		A

9. VERIFICACIÓN DE PERNOS DE ANCLAJE

ACERO ASTM A193 Gr B7

Tensión de Fluencia del acero = 105 Ksi = 7382 Kg/cm² = Fy

Tensión de Rotura del acero = 125 Ksi = 8788 Kg/cm² = Fu

Para el diseño de los pernos de anclaje se realizó la verificación con el material:
ASTM A-193 Gr B7 de Ø 5/8".

Se consideraron 8 pernos de anclaje por lado.

DETALLE DE ANCLAJE
MARCO BASE INF. 1er. TRAMO

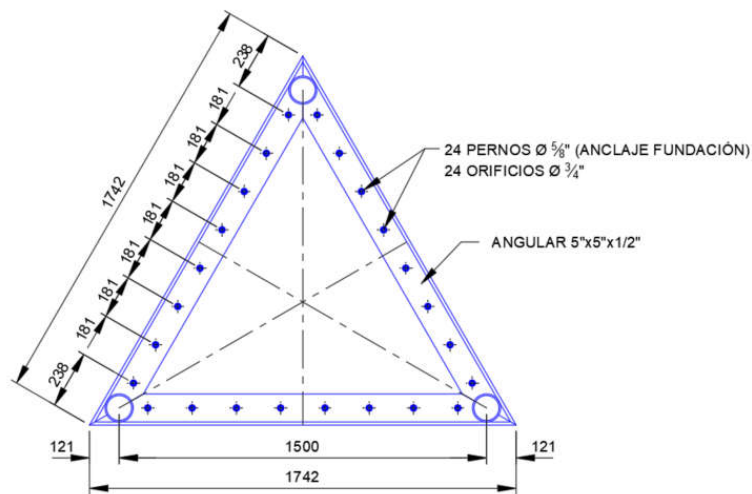


Figura 16. Detalle de Anclaje – Vista en Planta


9.1. VERIFICACIÓN A TENSIÓN

Resistencia a Tracción por Perno:

$$R_n = 0.75 \cdot F_u \cdot A_{\text{PERNO}}$$

$$R_n = 0.75 \cdot 8788 \text{ kg/cm}^2 \cdot 1.98 \text{ cm}^2$$

$$R_n = 13050.18 \text{ kg}$$

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DE CÁLCULO	IPE-2025-2977-S-MC-006
	TÍTULO:	HOJA:
	MEMORIA DE CÁLCULO TORRE PARARRAYOS (FUNDACIÓN Y ESTRUCTURA)	34 de 46
		REV:
		A

$N = 17143.40 \text{ kg}$ Carga Axial en el Nodo más Solicitado

Resistencia Total a Tensión = $R_n * N^{\circ} \text{ Pernos}$

Resistencia Total a Tensión = $13050.18 \text{ kg} * 8$

Resistencia Total a Tensión = 104401.44 kg

Verificación

Resistencia Total de Pernos $> 3 * N$

$104401.44 \text{ kg} > 3 * 17143.40 \text{ kg}$

$104401.44 \text{ kg} > 51430.20 \text{ kg}$

Ok. ¡Cumple...!

9.2. VERIFICACIÓN A CORTE

Resistencia a Corte por Perno:

$R_n = 0.75 * 0.4 * F_u * A_{\text{PERNO}}$

$R_n = 0.75 * 0.4 * 8788 \text{ kg/cm}^2 * 1.98 \text{ cm}^2$


$R_n = 5220.07 \text{ kg}$

$F_v = 1104.39 \text{ kg}$ Fuerza Cortante en el Nodo más Solicitado

Resistencia Total a Corte = $R_n * N^{\circ} \text{ Pernos}$

Resistencia Total a Corte = $5220.07 \text{ kg} * 8$

Resistencia Total a Corte = 41760.56 kg

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DE CÁLCULO	IPE-2025-2977-S-MC-006
	TÍTULO:	HOJA:
	MEMORIA DE CÁLCULO TORRE PARARRAYOS (FUNDACIÓN Y ESTRUCTURA)	35 de 46
		REV:
		A

Verificación

Resistencia Total de Pernos $> 3 * F_v$

41760.56 kg $> 3 * 1104.39$ kg

41760.56 kg > 3313.17 kg

Ok. ¡Cumple...!

DETALLE TÍPICO PERNO DE ANCLAJE

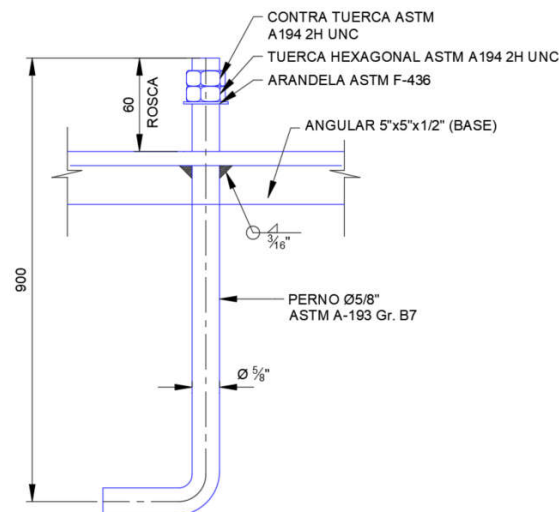



Figura 17. Detalle Típico Perno de Anclaje

10. VERIFICACIÓN DE UNIONES EMPERNADAS (ANSI/AISC 360 LRFD)

Se consideraron uniones emperradas en puntos específicos de la estructura, esto con la finalidad de aminorar los trabajos de soldadura en la construcción.

Los puntos principales donde se colocaron uniones emperradas son:

	TIPO DE DOCUMENTO:		CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DE CÁLCULO		IPE-2025-2977-S-MC-006
	TÍTULO:		HOJA:
	MEMORIA DE CÁLCULO TORRE PARARRAYOS (FUNDACIÓN Y ESTRUCTURA)		36 de 46
			REV:
			A

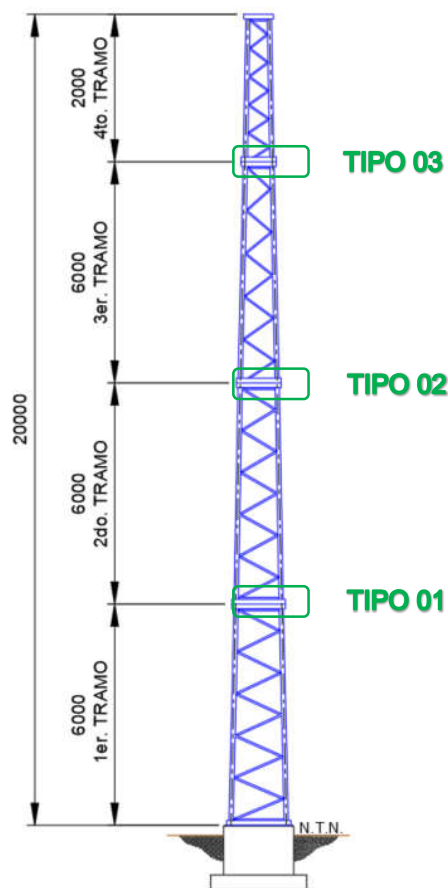


Figura 18. Tipo de Uniones Empernadas


En estas uniones el esfuerzo principal verificado es el corte simple.

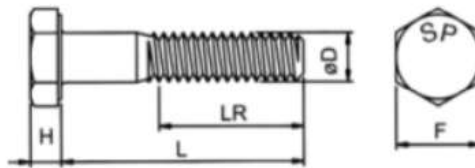
Se verificó con el máximo esfuerzo de corte.

Resistencia a Corte Simple para Tornillos de Alta Resistencia

DIÁMETRO COMERCIAL (plg)	d (mm)	ÁREA (cm ²)	RESISTENCIA			
			A325-X (kg)	A325-N (kg)	A490-X (kg)	A490-N (kg)
3/8	9.50	0.71	-----	-----	-----	-----
1/2	12.70	1.27	4020	3215	5024	4020
5/8	15.90	1.99	6298	5037	7873	6298
3/4	19.10	2.87	9084	7265	11354	9084

Figura 19. Resistencia a Corte - Pernos A-325

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DE CÁLCULO	IPE-2025-2977-S-MC-006
	TÍTULO:	HOJA:
	MEMORIA DE CÁLCULO TORRE PARARRAYOS (FUNDACIÓN Y ESTRUCTURA)	37 de 46
		REV:
		A



ø D	1/2	5/8	3/4	7/8	1
H Min	7,67	9,60	11,56	13,49	15,01
F Máx	22,23	26,97	31,75	36,53	41,28
LR Min	25,40	31,75	35,05	38,10	44,45

Figura 20. Dimensiones Estándar - Pernos A-325

10.1. UNIÓN TIPO 01

Para la verificación de las uniones empernadas se realizó con la carga de diseño más desfavorable y en los miembros más solicitados.

Para las uniones empernadas se realizó la verificación con el perno A-325 de $\varnothing 1/2"$.

Se consideraron 6 pernos por lado.

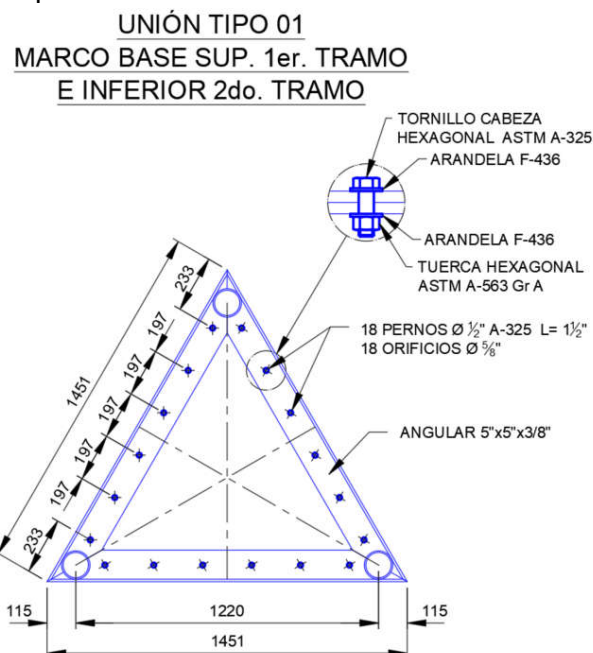



Figura 21. Unión Tipo 01

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DE CÁLCULO	IPÉ-2025-2977-S-MC-006 HOJA: 38 de 46
	TÍTULO: MEMORIA DE CÁLCULO TORRE PARARRAYOS (FUNDACIÓN Y ESTRUCTURA)	REV: A

Resultados del Análisis

Máximos esfuerzos en miembros

Estado: **D7=1.2CM+Vx+CV**

	Axial	Cortante V2	Cortante V3	Torsión	M22	M33
	[Kg]	[Kg]	[Kg]	[Kg*m]	[Kg*m]	[Kg*m]


MIEMBRO 244						
Max	58.40	110.81	8.92	-0.01	3.13	40.55
Min	40.28	54.05	-22.47	-0.01	-7.15	-64.74
MIEMBRO 350						
Max	56.18	-81.25	12.76	0.04	8.03	105.16
Min	56.15	-197.94	12.76	0.04	-8.26	-72.96
MIEMBRO 118						
Max	-66.40	103.16	8.54	-0.06	7.37	55.62
Min	-84.50	46.47	-22.84	-0.06	-3.24	-39.85

Siendo:

- V_u = Máximo esfuerzo de corte
 F_y = Tensión de fluencia del acero
 F_{yd} = El número de anclajes traccionados en el grupo
 F_u = Tensión de rotura del acero
 R_v = Resistencia nominal para un plano de corte
 Φ = Coeficiente de minoración de resistencia
 A_p = Área o sección transversal del perno
 F_v = Resistencia al corte del perno
 n = Número de pernos

Datos:

V_u = 197.94 kg

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DE CÁLCULO	IPe-2025-2977-S-MC-006
	TÍTULO:	HOJA:
	MEMORIA DE CÁLCULO TORRE PARARRAYOS (FUNDACIÓN Y ESTRUCTURA)	39 de 46
		REV:
		A

$$F_y = 2531 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_u = 4078 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Phi = 0.75$$

$$A_p = 1.27 \text{ cm}^2 \quad \text{Área perno } \varnothing 1/2''$$

$$n = 6$$

$$F_v = 0.40 * F_u$$

$$F_v = 0.40 * 4078 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_v = 1631.20 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_v = \Phi * A_p * F_v * n$$

$$R_v = 0.75 * 1.27 \text{ cm}^2 * 1631.20 \text{ kg/cm}^2 * 6$$

$$R_v = 9322.31 \text{ kg}$$

Verificación

$$R_v > 3 * V_u$$

$$9322.31 \text{ kg} > 3 * 197.94 \text{ kg}$$

$$9322.31 \text{ kg} > 593.82 \text{ kg}$$


Ok. ¡Cumple...!!

10.2. UNIÓN TIPO 02

Para la verificación de las uniones empernadas se realizó con la carga de diseño más desfavorable y en los miembros más solicitados.

Para las uniones empernadas se realizó la verificación con el perno A-325 de $\varnothing 1/2''$.

Se consideraron 6 pernos por lado.

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DE CÁLCULO	IPE-2025-2977-S-MC-006
	TÍTULO:	HOJA: 40 de 46
	MEMORIA DE CÁLCULO TORRE PARARRAYOS (FUNDACIÓN Y ESTRUCTURA)	REV: A

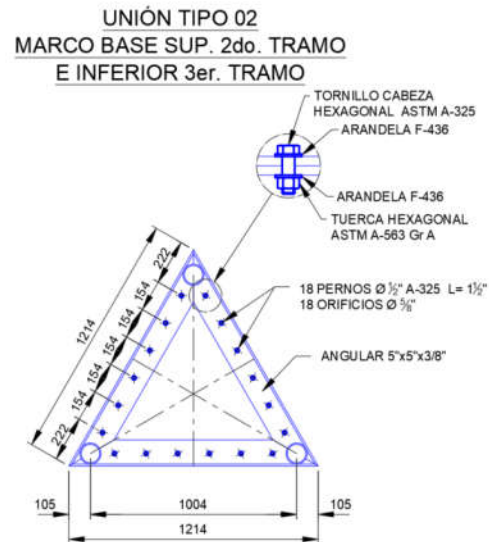



Figura 22. Unión Tipo 02

Resultados del Análisis

Máximos esfuerzos en miembros

Estado: $D7=1.2CM+Vx+CV$

	Axial	Cortante V2	Cortante V3	Torsión	M22	M33
	[Kg]	[Kg]	[Kg]	[Kg*m]	[Kg*m]	[Kg*m]
MIEMBRO 220						
Max	12.03	84.34	7.30	-0.01	2.09	23.66
Min	-2.86	37.70	-18.49	-0.01	-4.86	-40.39
MIEMBRO 329						
Max	28.54	-50.57	10.65	0.03	5.50	65.60
Min	28.54	-157.21	10.65	0.03	-5.68	-43.45
MIEMBRO 92						
Max	-34.63	77.24	6.90	-0.03	5.04	34.29
Min	-49.52	30.61	-18.89	-0.03	-2.22	-22.31

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DE CÁLCULO	IPE-2025-2977-S-MC-006
	TÍTULO:	HOJA:
	MEMORIA DE CÁLCULO TORRE PARARRAYOS (FUNDACIÓN Y ESTRUCTURA)	41 de 46
		REV:
		A


Siendo:

$V_u =$ Máximo esfuerzo de corte
 $F_y =$ Tensión de fluencia del acero
 $F_{yd} =$ El número de anclajes traccionados en el grupo
 $F_u =$ Tensión de rotura del acero
 $R_v =$ Resistencia nominal para un plano de corte
 $\Phi =$ Coeficiente de minoración de resistencia
 $A_p =$ Área o sección transversal del perno
 $F_v =$ Resistencia al corte del perno
 $n =$ Número de pernos

Datos:

$V_u =$ 157.21 kg
 $F_y =$ 2531 kg/cm²
 $F_u =$ 4078 kg/cm²
 $\Phi =$ 0.75
 $A_p =$ 1.27 cm² Área perno Ø1/2"
 $n =$ 6
 $F_v =$ 0.40 * F_u
 $F_v =$ 0.40 * 4078 kg/cm²
 $F_v =$ 1631.20 kg/cm²

 $R_v =$ $\Phi * A_p * F_v * n$
 $R_v =$ 0.75 * 1.27 cm² * 1631.20 kg/cm² * 6
 $R_v =$ 9322.31 kg

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DE CÁLCULO	IPe-2025-2977-S-MC-006
	TÍTULO:	HOJA:
	MEMORIA DE CÁLCULO TORRE PARARRAYOS (FUNDACIÓN Y ESTRUCTURA)	42 de 46
		REV:
		A

Verificación

$$R_v > 3 * V_u$$

$$9322.31 \text{ kg} > 3 * 157.21 \text{ kg}$$

$$9322.31 \text{ kg} > 471.63 \text{ kg}$$

Ok. ¡Cumple...!!

10.3. UNIÓN TIPO 03

Para la verificación de las uniones empernadas se realizó con la carga de diseño más desfavorable y en los miembros más solicitados.

Para las uniones empernadas se realizó la verificación con el perno A-325 de Ø 1/2".

Se consideraron 4 pernos por lado.

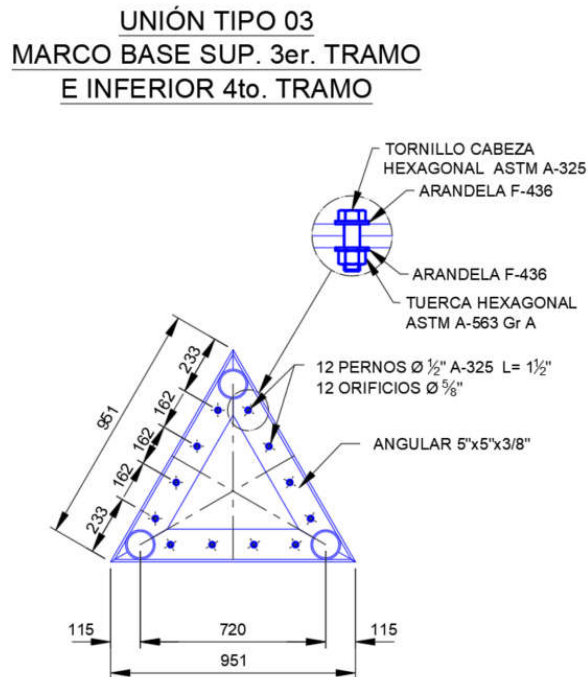



Figura 23. Unión Tipo 03

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DE CÁLCULO	IPE-2025-2977-S-MC-006
	TÍTULO:	HOJA: 43 de 46
	MEMORIA DE CÁLCULO TORRE PARARRAYOS (FUNDACIÓN Y ESTRUCTURA)	REV: A

Resultados del Análisis

Máximos esfuerzos en miembros

Estado: **D7=1.2CM+Vx+CV**


	Axial	Cortante V2	Cortante V3	Torsión	M22	M33
	[Kg]	[Kg]	[Kg]	[Kg*m]	[Kg*m]	[Kg*m]
<hr/>						
MIEMBRO 195						
Max	-0.56	43.28	6.02	-0.01	1.39	6.72
Min	-12.26	6.64	-14.24	-0.01	-2.74	-13.86
MIEMBRO 308						
Max	-6.61	7.82	7.70	0.01	3.16	23.08
Min	-6.61	88.82	7.70	0.01	-3.19	-11.01
MIEMBRO 65						
Max	10.49	42.19	6.28	-0.01	2.71	12.21
Min	-1.21	5.55	-13.99	-0.01	-1.27	-7.47

Siendo:

- V_u = Máximo esfuerzo de corte
 F_y = Tensión de fluencia del acero
 F_{yd} = El número de anclajes traccionados en el grupo
 F_U = Tensión de rotura del acero
 R_v = Resistencia nominal para un plano de corte
 Φ = Coeficiente de minoración de resistencia
 A_p = Área o sección transversal del perno
 F_v = Resistencia al corte del perno
 n = Número de pernos

Datos:

V_u = 88.82 kg

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DE CÁLCULO	IPE-2025-2977-S-MC-006
	TÍTULO:	HOJA:
	MEMORIA DE CÁLCULO TORRE PARARRAYOS (FUNDACIÓN Y ESTRUCTURA)	44 de 46
		REV:
		A

$$F_y = 2531 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_u = 4078 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Phi = 0.75$$

$$A_p = 1.27 \text{ cm}^2 \quad \text{Área perno } \varnothing 1/2''$$

$$n = 4$$

$$F_v = 0.40 * F_u$$

$$F_v = 0.40 * 4078 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_v = 1631.20 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_v = \Phi * A_p * F_v * n$$

$$R_v = 0.75 * 1.27 \text{ cm}^2 * 1631.20 \text{ kg/cm}^2 * 4$$

$$R_v = 6214.87 \text{ kg}$$


Verificación

$$R_v > 3 * V_u$$

$$6214.87 \text{ kg} > 3 * 88.82 \text{ kg}$$

$$6214.87 \text{ kg} > 266.46 \text{ kg}$$

Ok. ¡Cumple...!!

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DE CÁLCULO	IFE-2025-2977-S-MC-006
	TÍTULO:	HOJA:
	MEMORIA DE CÁLCULO TORRE PARARRAYOS (FUNDACIÓN Y ESTRUCTURA)	45 de 46
		REV:
		A

11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La estructura metálica de la torre pararrayos, resiste satisfactoriamente los esfuerzos generados por las cargas actuantes sobre la estructura.
- La fundación diseñada para la torre pararrayos y anclajes, resisten satisfactoriamente todas las sollicitaciones actuantes a las que están sometidos.
- El hormigón de la fundación es estructural H-21 ($f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$)
Por debajo de la fundación, se dispuso de una capa de hormigón pobre o de limpieza con un sobreancho de 100 mm a los lados de la fundación y un espesor de 50 mm.

De acuerdo a las recomendaciones del estudio geotécnico:

Cuando se realizaron las excavaciones se cambió y mejoraron el suelo como mínimo 0.50 m. por debajo de la fundación, esta camada se compactó al 95% de la densidad máxima según PROCTOR T-180 Modificado, en capas no mayores a 0.20 m. hasta el nivel de desplante o cota de fundación con la finalidad de uniformizar la compacidad de los suelos.

Como suelo mejorado se usaron materiales granulares (desde GW hasta GP-GM) o arenas limosas con gravas (desde SP-SM hasta SM).


Se realizó una profundidad de fundación de 1.50 m esto para que las aguas superficiales no afecten los suelos donde asienta las zapatas.

Antes de asentar las fundaciones se colocó preferentemente una capa de hormigón pobre en un espesor no menor a 0.05 m.

Se realizó un buen sistema de drenaje pluvial, considerando en el diseño de la planchada pendientes mayores al 0.5% hacia los canales perimetrales, para evitar que el agua de lluvia se infiltre en las capas interiores del suelo.

Se verificó la buena calidad de los materiales, la compactación del nivel de desplante, los recubrimientos especificados en los planos de diseño, las resistencias de los materiales, el correcto vaciado del hormigón y todos aquellos factores que pudieron influir en la calidad de la obra.

Se obedecieron las prácticas constructivas con exactitud y precisión a los planos correspondientes a la estructura.

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DE CÁLCULO	IPE-2025-2977-S-MC-006
	TÍTULO:	HOJA:
	MEMORIA DE CÁLCULO TORRE PARARRAYOS (FUNDACIÓN Y ESTRUCTURA)	46 de 46
		REV:
		A

Se construyó con los planos:

SC-E30-CI-00-08-28 de 40	Fundación Torre Pararrayos Vista en Planta, Cortes y Detalles
SC-E30-CI-00-08-29 de 40	Estructura Torre Pararrayos Vista en Planta, Cortes y Detalles