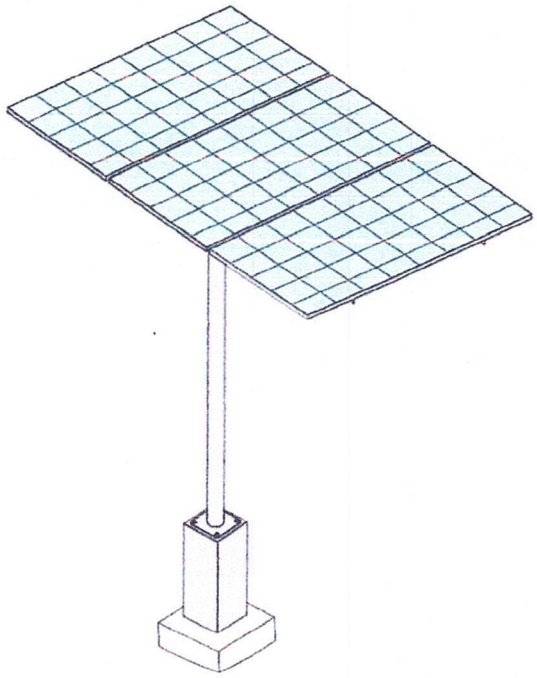
GOBERNACIÓN DE
ARAUCA

"IMPLEMENTACION DE SISTEMAS DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EN ZONAS RURALES NO INTERCONECTADAS DEL MUNICIPIO DE CRAVO NORTE, DEPARTAMENTO DE ARAUCA"

MEMORIAS DE CALCULO ESTRUCTURAL

MEMORIA DE CÁLCULO



DISEÑO ESTRUCTURAL SISTEMA FOTOVOLTAICO

PROYECTO: "IMPLEMENTACION DE SISTEMAS DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EN ZONAS RURALES NO INTERCONECTADAS DEL MUNICIPIO DE CRAVO NORTE, DEPARTAMENTO DE ARAUCA".

Arauca, Arauca 2026

Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN 3
2. ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DEL SUELO 3
2.1. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA 3
2.2. CARACTERIZACIÓN DEL TIPO DE SUELO ESCOGIDO. 4
2.3. ALTERNATIVA CIMENTACIÓN 4
3. DISEÑO ESTRUCTURAL 5
3.1. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA (ESPECIFICACIONES Y MATERIALES) 5
3.2. AVALÚO DE CARGAS 6
3.3. ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE 9
3.4. DISEÑO CIMENTACIÓN Y PEDESTAL EN CONCRETO 30
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 39
5. ANEXOS 40

1. INTRODUCCIÓN

El presente informe tiene como objetivo soportar técnicamente la estructura de soporte y cimentación para un sistema fotovoltaico de 3 paneles solares para el proyecto "**IMPLEMENTACION DE SISTEMAS DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EN ZONAS RURALES NO INTERCONECTADAS DEL MUNICIPIO DE CRAVO NORTE, DEPARTAMENTO DE ARAUCA**". En él se contiene el estudio de caracterización del suelo escogido para el dimensionamiento de la cimentación, como también la memoria del diseño estructural para el sistema, el cual estará compuesto de un marco metálico de soporte, que irá conectado a un perfil tubular estructural ASTM A500 Gr. C, y este se conectará al pedestal mediante platinas y pernos de anclaje.

El presente informe está basado en la Guía para la estructuración del componente civil de diferentes tipos de soluciones con energía solar fotovoltaica del INSTITUTO DE PLANIFICACIÓN Y PROMOCIÓN DE SOLUCIONES ENERGÉTICAS PARA LAS ZONAS NO INTERCONECTADAS (IPSE).

El proyecto se encuentra localizado en el municipio de Cravo Norte, departamento de Arauca, y brinda una solución para Zona No Interconectadas.

Normas y Softwares Utilizados

El presente diseño es basado en el Reglamento colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 y American Institute of Steel Construction AISC; sin embargo, no se contempla fuerza de sismo por no ser de obligatoria consideración, al tratarse de una estructura cuyo uso primordial no es la habitación u ocupación por seres humanos (art. A.1.2.4, NSR-10).

El programa utilizado para el diseño de la estructura fueron hojas de cálculo en Microsoft Excel basadas en el título C y F de la NSR-10.

2. ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DEL SUELO

2.1. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA

A continuación, se muestra el mapa geológico del municipio de Cravo Norte:

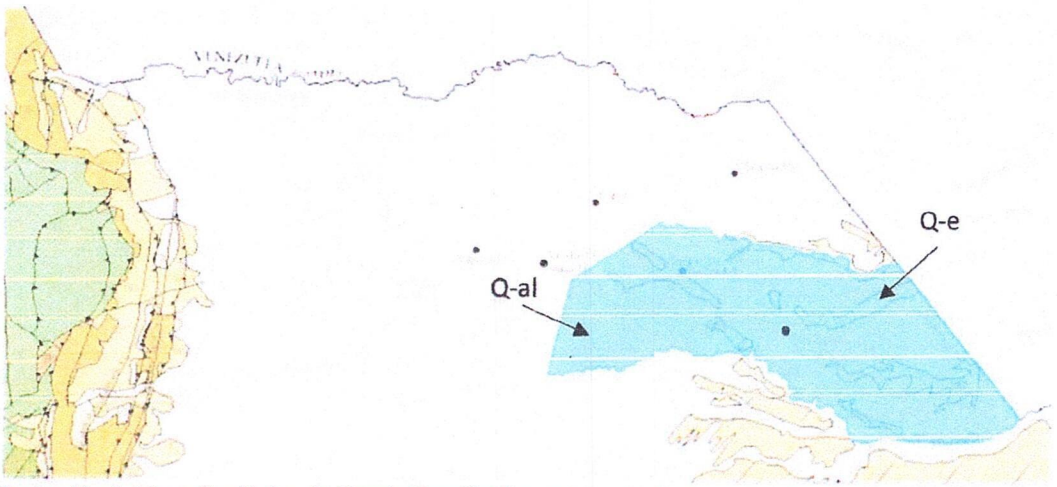


Ilustración 1. Mapa Geológico de Puerto Rondón-Departamento de Arauca. Fuente: Geoportal-Servicio Geológico Colombiano-Atlas Geológico de Colombia 2015.

Acorde con el mapa anterior, el municipio de Cravo se encuentra localizado sobre las unidades de estratigrafía:

Q-al: Depósitos aluviales y de llanuras aluviales.
Q-e: Depósitos eólicos (dunas) y loes.

2.2. CARACTERIZACIÓN DEL TIPO DE SUELO ESCOGIDO.

Teniendo en cuenta que el municipio de Cravo Norte se encuentra localizado, en su mayoría, sobre depósitos y llanuras aluviales y depósitos eólicos, se opta por definir el suelo aluvial como condición característica y desfavorable para el proyecto. Esta selección se fundamenta en la predominancia de los depósitos aluviales dentro del área de estudio y en que, de acuerdo con la Tabla 3.1 de la Guía para la estructuración del componente civil de diferentes tipos de soluciones con energía solar fotovoltaica del IPSE, el suelo aluvial presenta una capacidad portante admisible máxima de 50 kPa, constituyendo una condición conservadora para la caracterización geotécnica y el diseño de la cimentación del sistema fotovoltaico en ZNI.

2.2.1 Capacidad Máxima Admisible del Suelo

Al tratarse de un sistema estructural tipo y acorde a la metodología de diseño establecida en la Guía para la estructuración del componente civil de diferentes tipos de soluciones con energía solar fotovoltaica, se selecciona como profundidad de desplante **Df=1 m**. Habiéndose definido esto, se toma para el valor de la capacidad portante el correspondiente al tipo de **Suelo Aluvial** de la tabla 3.1 de la *Guía para la estructuración del componente civil SSFV en ZNI* del IPSE, donde se da la opción de usar estos valores cuando la profundidad de la cimentación sea mayor o igual a 1 metro (sec. 3.2.2 de la guía). Acorde con la tabla 3.1, para suelo aluviales la capacidad portante admisible deberá ser menor o igual a $\sigma_{adm} = 50\ \mathbf{kPa}$.

2.3. ALTERNATIVA CIMENTACIÓN

Se plantea como alternativa de solución para la cimentación zapata aislada concéntrica fundida in situ. La zapata es cuadrada con dimensiones B=55 cm y una altura h=0.22cm a una profundidad de desplante Df=1m, con un solado de limpieza de espesor e=5cm. A continuación, se muestra el tipo de cimentación propuesto:

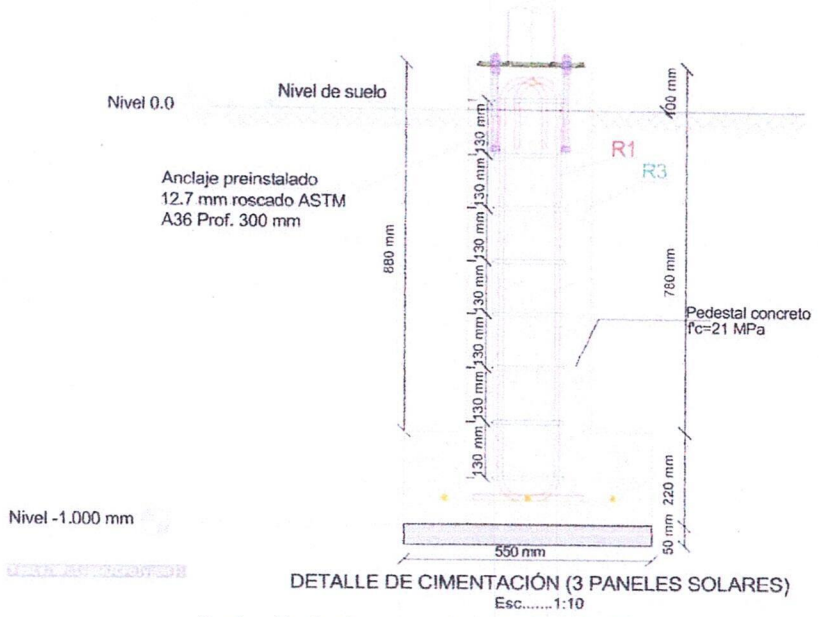


Ilustración 2. Esquema cimentación SSFVI

3. DISEÑO ESTRUCTURAL

3.1. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA (ESPECIFICACIONES Y MATERIALES)

ESTRUCTURA DE SOPORTE:

- **Marco de soporte:** Ángulos galvanizados ASTM 572 Gr. 50 76x76, 50x50 y 38x38 (según diseño);

  fy = 350 MPa
  fu=448 MPa

- **Tubo mástil:** -Tubo mástil Φ 4" (0.1135mm), e=3mm ASTM A500 Gr. C
  fy=350 MPa
  fu=448 MPa
  -Placa base anti-hundimiento galvanizada

  ASTM A36 e=1/8";

  f'y=250 MPa

- **Unión poste-marco:** -Platina galvanizada ASTM A36 260x260 e=3/8" (base de unión al marco);

  f'y=250 Mpa

  -Platina galvanizada ASTM A36 300x300 e=3/8"

(conexión base de unión al poste);

f'y=250 Mpa

-Pernos galvanizados ASTM F1554 Ø5/8" L=300mm

(sujeción platinas al poste)

-Tornillos galvanizados 13x38 mm

(sujeción base de unión al marco)

CIMENTACIÓN:

- Zapata aislada: Zapata aislada cuadrada de ancho B=0.55m y espesor h=0.22m (0.1 m por encima del terreno; 0.05 m de capa de solado)
  f'c=21 MPa
- Pedestal en concreto: Pedestal en concreto f'c=21 MPa de 40x40 cm
- Refuerzo: Acero de refuerzo Grado 60
  fy=420 MPa

3.2. AVALÚO DE CARGAS

Para revisar las solicitaciones propias del proyecto, así como para dimensionar la cimentación de la estructura de soporte para los paneles, las cargas a considerar serán:

Carga Muerta (D+SD)

Para cálculo del peso propio de la estructura **D+SD** para el chequeo de la capacidad portante, se consultó la ficha técnica del catálogo de ángulos de **G & J**, de la cual se obtuvieron los pesos por metro lineal según las especificaciones de cada ángulo y perfil para el marco de los paneles y el poste principal respectivamente.

Con respecto a la carga de los paneles solares **SD**, se consultaron 3 fichas técnicas de paneles de 500W, dentro de las cuales, el mayor peso encontrado fue de **29.46 kg/panel**.

MEMORIA DE CARGAS

1. CARGA MUERTA (D) ELEMENTOS ESTRUCTURALES

a. Marco soporte			
Ángulo 38x38 e=3mm	=	1.83 kg/ml	Peso perfil por metro lineal acorde a catálogo
Total Ángulo 38x38 e=3mm	=	12.3 kg	Peso total marco en ángulo 38x38
Ángulo 50x50 e=3mm	=	2.46 kg/ml	Peso perfil por metro lineal acorde a catálogo
Total Ángulo 50x50 e=3mm	=	19.04 kg	Peso total marco en ángulo 50x50
Ángulo 76x76 e=6mm	=	7.29 kg/ml	Peso perfil por metro lineal acorde a catálogo
Total Ángulo 76x76 e=6mm	=	46.07 kg	Peso total marco en ángulo 76x76
Total marco=		77.41 kg	Peso total marco en estructura metálica
b. Poste metálico			
Perfil tubular D=4"	=	11.08 kg/ml	Peso perfil por metro lineal acorde a catálogo
Total peso perfil tubular	=	34.35 kg	Peso total poste metálico
c. Pedestal en concreto			
Densidad del concreto	=	2400 kg/m3	Densidad concreto reforzado NSR-10 Tabla B 3 2-1
Wc	=	422.40 kg	
D	=	534.16 kg	

2. CARGA SOBRE IMPUESTA (SD) PANEL SOLAR

Panel solar (1.10mx2.20m)	=	29 kg	Panel solar monocristalino 550w Ver ficha técnica
Carga 3 paneles	=	87 kg	
	SD =	87 kg	
	SD =	196.91 N/m2	

Carga de Viento (W)

La carga de viento se calcula siguiendo la metodología de la sección B.6.5 de la NSR-10, considerando la estructura como abierta con cubierta a una (1) agua y demás consideraciones allí planteadas para el Municipio de Cravo Norte.

3 CARGA VIENTO (W)

a Factores generales

Velocidad del viento (V)	=	100 km/h	Figura B.6.4-1 (Cravo Norte)
Velocidad del viento (V)	=	28 m/s	
Altura de la estructura (h)	=	3.10 m	
Factor de importancia (I)	=	0.87	Tabla B.6.5-1
Factor de dirección del viento (Kd)	=	0.95	Tabla B.6.5.4
Rugosidad del Terreno	=	C	Título B.6.5.6.2
Categoría de Exposición	=	C	Título B.6.5.6.3
Coeficiente de Exposición (Kz)	=	0.85	Tabla B.6.5-3 Z = 0-45 (caso 2)
Factor Topográfico (Kzt)	=	1	Título B.6.5.7
Presión por velocidad (q_z)	=	337.63 N/m2	

b Efecto Ráfaga

			Título B.6.5.8.1
Altura equivalente de la estructura (z)	=	4.50 m	Título B.6.5.8.1
Factor de intensidad de turbulencia (c)	=	0.2	Tabla B.6.5-2
Intensidad de turbulencia (Iz)	=	0.23	Ecuación B.6.5-3
Factor g_Q y g_v	=	3.4	Título B.6.5.8.1
Dimensión horizontal crítica (B)	=	3.36 m	
Factor de escala de longitud integral (l)	=	152.40 m	
Exponente para la escala de longitud integral (ε)	=	1/5	
Longitud integral a escala de la turbulencia (Lz)	=	129.91 m	
Factor de respuesta del entorno (Q)	=	0.96	
Factor efecto ráfaga (G)	=	0.80	
a	=	0.22 m	Ancho efectivo de viento
α	=	10 °	Inclinación paneles solares
a^2	=	0.05 m^2	Area efectiva de viento

c Coeficiente de presión Neta (C_N) Figura B.6.5-16A

-CN Flujo de viento libre

ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3
1.67	1.67	1.67
-1.57	-1.57	-1.57

-C_N Flujo de viento obstruido

ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3
0.93	0.93	0.93
-1.83	-1.83	-1.83

d Presión de Diseño Neta (p)

-Flujo de viento libre

ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3
507.46	507.46	507.46
-477.07	-477.07	-477.07

-Flujo de viento obstruido

ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3
282.60	282.60	282.60
-556.08	-556.08	-556.08

PRESIÓN DE DISEÑO

Presión compresión W+	=	507.46	N/m2	Presiones maximas
Presión succión W-	=	-556.08	N/m2	

3.3. ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE

Para el diseño estructural de la estructura de soporte se verificó que cumplieran con cada uno de los parámetros de resistencia exigidos por la normatividad vigente NSR-10 título F.

- Los ángulos se diseñaron para perfiles de material ASTM A 572 Gr. 50. Se hacen verificaciones a solicitaciones de flexión y cortante a cada uno de los elementos.

- El tubo mástil se diseña como perfil tubular estructural ASTM A 500 Gr. C. Se hacen verificaciones a solicitaciones de compresión, flexión, flexo-compresión y cortante.

- Las conexiones se diseñaron para platina ASTM-A 36. Se hacen verificaciones de tensión, cortante, desgarramiento del bloque, compresión y esfuerzos combinados de la conexión.

3.3.1 ÁNGULO 38X38X3mm

VERIFICACION PERFIL ANGULO 38X38X3mm			
1. Propiedades material ASTM A 572 Gr. 50			
f_y	350	MPa	Límite de fluencia del acero
E	200000	MPa	Módulo de elasticidad
v	0.30		Relación de Poisson
Fu	448	MPa	Esfuerzo máximo de tracción
2. Combinación de carga: 1.2D+1.6W			
Mu	136500.00	N.mm	Momento máximo
Vu	1183.00	N	Cortante máximo
3. Geometria del elemento			
Sección:	Angulo tipo L L11/2X11/2X1/8		
As	219.00	mm^2	Área del perfil
d_b	38.00	mm	Altura
b_f	38.00	mm	Ancho del ángulo
t_w	3.00	mm	Espesor del alma
Cw	72946.00	mm^6	Constante de alabeo
G	76923.08	MPa	Módulo a cortante
J	637.20	mm^4	Constante torsional
Zx	2008	mm^3	Módulo plástico
S_x	1115	mm^3	Módulo de sección elástico
S_y	1115	mm^3	Módulo de sección elástico
r_x	11.7	mm	Radio de giro alrededor X
r_y	11.7	mm	Radio de giro alrededor Y
Ix	30540.00	mm^4	Inercia en el eje X
Iy	30540.00	mm^4	Inercia en el eje Y
r_z	7.3	mm^4	Inercia en el eje Y
4. Chequeos a flexión			
b/t	12.67		
$0.54\sqrt{E/F_y}$	12.91	No esbelto	Aletas Compactas
h/t_w	12.67		
$0.91\sqrt{E/F_y}$	21.75	Ok	Alma Compacta
M_y	390250.00	N.mm	Cálculo del momento de fluencia alrededor del eje de flexión
De acuerdo al procedimiento F.2.6.2-10 se tiene que:			

M_n	585375,00 Nmm	Momento plástico obtenido de la expresión EC F.2.6.10-1 $M_n = 1.5M_y$
L_b	620,00 mm	Longitud libre no arriostrada
M_e	3199065,24 Nmm	Momento de pandeo lateral torsional elástico, mediante la fórmula F.2.6.10-4 $M_e = \frac{0.46Eb^2tC_b}{L_b}$
M_n	589806,44 Nmm	Momento extraído de la fórmula F.2.6.10-3. $M_n = \left(1.92 - 1.17\sqrt{\frac{M_y}{M_e}}\right)M_y \leq 1.5M_y$
M_n	1044325,65 Nmm	Momento extraída de la fórmula F.2.6.10-7 $M_n = 1.5M_y\left(2.43 - 1.72\left(\frac{b}{t}\right)\sqrt{\frac{F_y}{E}}\right)$

5. Determinación de la resistencia a flexión

Se calculará la resistencia a flexión de acuerdo al procedimiento establecido en la NSR 10 F 2.6 para ángulos.

C_b = factor de modificación para pandeo lateral-torsional, aplicable cuando sobre el segmento de viga comprendido entre dos puntos arriostrados se tiene un diagrama de momentos no uniforme

$$C_b = \frac{12.5M_{max}}{2.5M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C}R_m \leq 3.00 \qquad \text{(F.2.6.1-1)}$$

donde

M_{max} = valor absoluto del momento máximo en el segmento comprendido entre puntos arriostrados N.mm

M_A = valor absoluto del momento a un cuarto de la longitud del segmento comprendido entre puntos arriostrados N.mm

M_B = valor absoluto del momento en el punto medio del segmento comprendido entre puntos arriostrados N.mm

M_C = valor absoluto del momento a los tres cuartos de la longitud del segmento comprendido entre puntos arriostrados N.mm

R_m = parámetro de monosimetría de la sección transversal
= 1.0 para miembros de doble simetría
= 1.0 para miembros de simetría simple flexionados en curvatura simple
= $0.5 + 2\left(\frac{I_{yc}}{I_y}\right)^2$ para miembros de simetría simple flexionados en curvatura doble

I_y = momento de inercia alrededor del eje principal "y", mm^4

I_{yc} = momento de inercia de la aleta a compresión de la sección completa cuando la curvatura es doble, alrededor del eje "y", mm^4

ϕ_b	0,90	Coeficiente de reducción de resistencia NSR 10 F 2.6.1
$M_{c\,max}$	136500,00 N.mm	
M_A	34900,00 N.mm	
M_B	68700,00 N.mm	
M_C	102600,00 N.mm	

R_m	1.00		
C_b	1.66	Ok	
M_n	585375.00	N.mm	Momento mínimo Mn del procedimiento establecido en el numeral 5.
ϕM_n	526837.50	N.mm	
$M_{u\,max}$	< ϕM_n		Cumple

El elemento cumple las solicitaciones a flexión

6. Resistencia a cortante

Se calcula la resistencia a cortante mediante el procedimiento F.2.7.4

h/t_w	12.67		
k_v	1.20		Coeficiente de pandeo del alma NSR 10 F.2.7.4
$1.10\sqrt{k_v E/F_y}$	28.80	Ok	
ϕ_v	0.90		Coeficiente de reducción NSR 10 F.2.7.1
C_v	1.00		Coeficiente de cortante del alma mediante la expresión F.2.7.2-3
A_w	114.00	mm2	Área de la sección de cortante
V_n	23940.00	N	Resistencia nominal a cortante NSR 10 F.2.7.2-1 de le expresión: $V_n = 0.60 F_y A_w C_v$
ϕV_n	21546.00	N	
ϕV_n	21.55	kN	
$V_{u\,max}$	< ϕV_n		Cumple

3.3.2 ÁNGULO 50X50X3mm

VERIFICACIÓN PERFIL ANGULO 50X50X3mm			
1. Propiedades material ASTM A 572 Gr. 50			
f_y general:	350	MPa	Límite de fluencia del acero
E:	200000	MPa	Módulo de elasticidad
v:	0.30		Relación de Poisson
Fu:	448	MPa	Esfuerzo máximo de tracción
2. Combinación de carga: 1.2D+1.6W			
Mu:	718182.28	N.mm	Momento máximo
Vu:	1150.54	N	Cortante máximo
3. Geometría del elemento			
Sección:	Ángulo tipo L L2X2X1/8		
As:	317.00	mm^2	Área del perfil
d_b:	50.00	mm	Altura
b_f:	50.00	mm	Ancho del ángulo
t_w:	3.00	mm	Espesor del alma
Cw:	56929.60	mm^6	Constante de alabeo
G:	76923.08	MPa	Módulo a cortante
J:	12200.00	mm^4	Constante torsional
Zx:	3770.00	mm^3	Módulo plástico
S_x:	2110.00	mm^3	Módulo de sección elástico
S_y:	2110.00	mm^3	Módulo de sección elástico
r_x:	15.70	mm	Radio de giro alrededor X
r_y:	15.70	mm	Radio de giro alrededor Y
Ix:	7870.00	mm^4	Inercia en el eje X
Iy:	7870.00	mm^4	Inercia en el eje Y
r_z:	9.93	mm^4	Inercia en el eje Y
y_p:	3.12	mm	Centroide
4. Chequeos a flexión			
b/t:	16.67		
$0.54\sqrt{E/F_y}$:	12.91		Esbelto Aletas No compacta
h/t_w:	16.67		
$0.91\sqrt{E/F_y}$:	21.75		Ok Alma Compacta
M_y:	738500.00	N.mm	Cálculo del momento de fluencia alrededor del eje de flexión.
De acuerdo al procedimiento F.2.6.2-10 se tiene que:			
M_n:	1107750.00	Nmm	Momento plástico obtenido de la expresión EC F.2.6.10-1 $M_n = 1.5M_y$

L_b	1290,00 mm	Longitud libre no arriostrada
M_e	2114853,01 Nmm	Momento de pandeo lateral torsional elástico, mediante la fórmula F.2.6.10-4 $M_e = \frac{0.46Eb^2t^2C_b}{L}$
M_n	907330,93 Nmm	Momento extraído de la fórmula F.2.6.10-3 $M_n = \left(1.92 - 1.17\sqrt{\frac{M_y}{M_e}}\right)M_y \leq 1.5M_y$
M_n	846400,73 Nmm	Momento extraída de la fórmula F.2.6.10-7 $M_n = 1.5\left[2.43 - 1.72\left(\frac{b}{t}\right)\sqrt{\frac{F_y}{E_c}}\right]$

El elemento cumple las solicitaciones a flexión

5. Determinación de la resistencia a flexión

Se calculará la resistencia a flexión de acuerdo al procedimiento establecido en la NSR 10 F.2.6 para ángulos.

C_b = factor de modificación para pandeo lateral torsional, aplicable cuando sobre el segmento de viga comprendido entre dos puntos arriostrados se tiene un diagrama de momentos no uniforme

$$C_b = \frac{12.5M_{max}}{2.5M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} R_m \leq 3.00 \qquad \text{(F.2.6.1-1)}$$

donde

M_{max} = valor absoluto del momento máximo en el segmento comprendido entre puntos arriostrados, N.mm

M_A = valor absoluto del momento a un cuarto de la longitud del segmento comprendido entre puntos arriostrados, N.mm

M_B = valor absoluto del momento en el punto medio del segmento comprendido entre puntos arriostrados, N.mm

M_C = valor absoluto del momento a los tres cuartos de la longitud del segmento comprendido entre puntos arriostrados, N.mm

R_m = parámetro de monosimetría de la sección transversal
= 1.0 para miembros de doble simetría
= 1.0 para miembros de simetría simple flexionados en curvatura simple
= $0.5 + 2\left(\frac{I_{yc}}{I_y}\right)^2$ para miembros de simetría simple flexionados en curvatura doble

I_y = momento de inercia alrededor del eje principal "y", mm^4

I_{yc} = momento de inercia de la aleta a compresión o de la aleta más pequeña cuando la curvatura es doble alrededor del eje "y", mm^4

ϕ_b	0,90	Coeficiente de reducción de resistencia NSR 10 F.2.6.1
M_{max}	718182,28 N.mm	
M_A	356047,89 N.mm	
M_B	718182,28 N.mm	
M_C	358402,97 N.mm	
R_m	1,00	
C_b	1,32 Ok	

M_n	846400.73	N.mm	Momento mínimo Mn del procedimiento establecido en el numeral 4
ϕM_n	761760.66	N.mm	
M_{umax}	<	ϕM_n	Cumple

6. Resistencia a cortante

Se calcula la resistencia a cortante mediante el procedimiento F.2.7.4

h/t_a	16.67		
k_v	1.20		Coeficiente de pandeo del alma NSR 10 F.2.7.4
$1.10\sqrt{k_v E / F_y}$	28.80	Ok	
ϕ_v	0.90		Coeficiente de reducción NSR 10 F.2.7.1
C_v	1.00		Coeficiente de cortante del alma mediante la expresión F.2.7.2-
A_w	150.00		Área de la sección de cortante
V_n	31500.00	N	Resistencia nominal a cortante NSR 10 F.2.7.2-1 de le
ϕV_n	28350.00	N	$V_n = 0.60 F_y A_w C_v$
ϕV_n	28.35	kN	
V_{umax}	<	ϕV_n	Cumple

3.3.3 ÁNGULO 76X76X6mm

VERIFICACIÓN PERFIL ANGULO 76X76X6mm			
1. Propiedades material ASTM A 572 Gr. 50			
f_y general	350	MPa	Límite de fluencia del acero
E	200000	MPa	Módulo de elasticidad
v	0.30		Relación de Poisson
Fu	448	MPa	Esfuerzo máximo de tracción
2. Combinación de carga: 1.2D+1.6W			
Mu	3763900.00	N mm	Momento máximo último
Vu	2699.00	N	Cortante máximo último
3. Geometría del elemento			
Sección	Ángulo tipo L L3X3X1/4		
As	929.00	mm^2	Área del perfil
d_p	76.00	mm	Altura
b_f	76.00	mm	Ancho del ángulo
t_w	6.00	mm	Espesor del alma
Cw	1485003.34	mm^6	Constante de alabeo
G	76923.08	MPa	Módulo a cortante
J	130000.00	mm^4	Constante torsional
Zx	16700.00	mm^3	Módulo plástico
S_x	9320.00	mm^3	Módulo de sección elástico
S_y	9320.00	mm^3	Módulo de sección elástico
r_x	23.50	mm	Radio de giro alrededor X
r_y	23.50	mm	Radio de giro alrededor Y
Ix	51200.00	mm^4	Inercia en el eje X
Iy	51200.00	mm^4	Inercia en el eje Y
r_z	14.90	mm^4	Inercia en el eje Y
y_c	6.10	mm	Centroide
4. Chequeos a flexión			
b/t	12.67		
$0.54\sqrt{E/F_y}$	12.91		No esbelto Aletas Compactas
h/t_w	12.67		
$0.91\sqrt{E/F_y}$	21.75		Ok Alma Compacta
M_y	3262000.00	N mm	Cálculo del momento de fluencia alrededor del eje de flexión

De acuerdo al procedimiento F.2.6.2-10 se tiene que:

M_y	4893000.00 Nmm	Momento plástico obtenido de la expresión EC F.2.6.10-1 $M_n = 1.5M_y$
L_b	1680.00 mm	Longitud libre no arriostrada
M_e	12022156.79 Nmm	Momento de pandeo lateral torsional elástico, mediante la fórmula F.2.6.10-4 $M_e = \frac{0.46Eb^2tC_b}{L}$
M_n	4275020.67 Nmm	Momento extraído de la fórmula F.2.6.10-3 $M_n = \left[1.92 - 1.17\sqrt{\frac{M_y}{M_e}}\right]M_y \leq 1.5M_y$

5. Determinación de la resistencia a flexión

Se calculará la resistencia a flexión de acuerdo al procedimiento establecido en la NSR 10 F.2.6 para ángulos

C_b = factor de modificación para pandeo lateral-torsional, aplicable cuando sobre el segmento de viga comprendido entre dos puntos arriostrados se tiene un diagrama de momentos no uniforme

$$C_b = \frac{12.5M_{max}}{2.5M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} R_m \leq 3.00 \qquad \text{(F.2.6.1-1)}$$

donde:

M_{max} = valor absoluto del momento máximo en el segmento comprendido entre puntos arriostrados N.mm

M_A = valor absoluto del momento a un cuarto de la longitud del segmento comprendido entre puntos arriostrados N.mm

M_B = valor absoluto del momento en el punto medio del segmento comprendido entre puntos arriostrados N.mm

M_C = valor absoluto del momento a los tres cuartos de la longitud del segmento comprendido entre puntos arriostrados N.mm

R_m = parámetro de monosimetría de la sección transversal

= 1.0 para miembros de doble simetría

= 1.0 para miembros de simetría simple flexionados en curvatura simple

= $0.5 + 2\left(\frac{I_{yc}}{I_y}\right)^2$ para miembros de simetría simple flexionados en curvatura doble

I_y = momento de inercia alrededor del eje principal "y" mm^4

I_{yc} = momento de inercia de la aleta a compresión, o de la aleta más pequeña cuando la curvatura es doble alrededor del eje "y" mm^4

ϕ_b	0.90	Coeficiente de reducción de resistencia NSR 10 F.2.6.1
M_{max}	3763900.00 N.mm	
M_A	3349600.00 N.mm	
M_B	3763900.00 N.mm	
M_C	3349600.00 N.mm	
R_m	1.00	

C_b	1,06	Ok	
M_n	4275020,67	N mm	Momento mínimo Mn del procedimiento establecido en el numeral 4
ϕM_n	3847518,60	N mm	
M_{umax}	<	ϕM_n	Cumple

El elemento cumple las solicitaciones a flexión

6. Resistencia a cortante

Se calcula la resistencia a cortante mediante el procedimiento F.2.7.4

h/t_w	12,67		
k_v	1,20		Coeficiente de pandeo del alma NSR 10 F.2.7.4
$1,10\sqrt{k_v E / F_y}$	28,80	Ok	
ϕ_v	0,90		Coeficiente de reducción NSR 10 F.2.7.1
C_v	1,00		Coeficiente de cortante del alma mediante la expresión F.2.7.2-3
A_w	456,00		Área de la sección de cortante
V_n	95760,00	N	Resistencia nominal a cortante NSR 10 F.2.7.2-1 de le
ϕV_n	86184,00	N	$V_n = 0.60 F_y A_w C_v$
ϕV_n	86,18	kN	
V_{umax}	<	ϕV_n	Cumple

3.3.4 TUBO MASTIL Φ=4"

VERIFICACION PERFIL TUBULAR D=4"			
1. Propiedades material ASTM A 500 Gr. C			
f_y:	350	MPa	Límite de fluencia
E:	200000	MPa	Módulo de elasticidad
v:	0.30		Relación de Poisson
Fu:	448	MPa	Esfuerzo máximo de tracción
2. Combinación de carga: 1.2D+1.6W			
P:	5706.00	N	Carga axial última
Vux:	546.00	N	Cortante último en la dirección X
Vuy:	0.00	N	Cortante último en la dirección Y
Mux:	1859500.00	Nmm	Momento último en la dirección X
Muy:	0.00	Nmm	Momento último en la dirección Y
3. Geometria del elemento			
Sección:	Perfil tubular HSS4X.125		
As:	916.00	mm^2	Área del perfil
D:	102.00	mm	Diámetro del elemento
t:	3.00	mm	Espesor del elemento
Cw:	43.80	mm^6	Constante de alabeo
G:	76923.08	MPa	Módulo a cortante
J:	222000.00	mm^4	Constante torsional
Zx:	28700.00	mm^3	Módulo plástico
S_x:	22000.00	mm^3	Módulo de sección elástico
S_y:	22000.00	mm^3	Módulo de sección elástico
r_x:	34.80	mm	Radio de giro alrededor X
r_y:	34.80	mm	Radio de giro alrededor Y
Ix:	1110000.00	mm^4	Inercia en el eje X
Iy:	1110000.00	mm^4	Inercia en el eje Y
r_z:	34.80	mm^4	Inercia en el eje Y
4. Determinación de la resistencia a compresión			
En base al procedimiento indicado en el numeral F.2.5 para elemento sometidos compresión:			
Φ_c:	0.90		Coeficiente de reducción NSR 10 F.2.5.1
L:	3100.00	mm	Longitud efectiva no arriostrada
k:	1.00		
kL/r:	89.08	Ok	Acorde a lo señalado en el numeral NSR 10 F.2.5.2 preferiblemente no se debe exceder la relación 200

$4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ 112.59

Dado que la relación kL/r es menor que 112.59, Fcr se calcula mediante la expresión:

$$F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right] F_y$$

Se calcula el esfuerzo crítico de pandeo elástico mediante la expresión: $F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2}$

Fe	248.75	MPa	
Fcr	194.226	MPa	
Pn	177910.670	N	
ϕPn	160119.603	N	Resistencia nominal a compresión
Pu	<	ϕPn	Cumple

El elemento cumple las solicitaciones de carga axial

4. Chequeos a flexión

D/t	34.00		
$0.45E/F_y$	257.14	Aplica	Aplica procedimiento NSR 10 F.2.6.8
$0.07E/F_y$	40.00	Compacto	Perfil compacto de acuerdo a la tabla F.2.2.4-1b

De acuerdo al procedimiento F.2.8 se tiene que:

M_n	10045000.00	Nmm

Momento plástico obtenido de la expresión EC F.2.6.8.1

$$M_n = M_p = F_y Z$$

Dado que la sección es compacta, el momento nominal se basará en la ecuación anterior

5. Determinación de la resistencia a flexión

C_b = factor de modificación para pandeo lateral torsional aplicable cuando sobre el segmento de viga comprendido entre dos puntos arriostrados se tiene un diagrama de momentos no uniforme.

$$C_b = \frac{12.5M_{max}}{2.5M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} R_m \leq 3.00 \qquad \text{(F.2.6.1-1)}$$

donde

M_{max} = valor absoluto del momento máximo en el segmento comprendido entre puntos arriostrados N.mm

M_A = valor absoluto del momento a un cuarto de la longitud del segmento comprendido entre puntos arriostrados N.mm

M_B = valor absoluto del momento en el punto medio del segmento comprendido entre puntos arriostrados N.mm

M_C = valor absoluto del momento a los tres cuartos de la longitud del segmento comprendido entre puntos arriostrados N.mm

R_m = parámetro de monosimetría de la sección transversal

= 1.0 para miembros de doble simetría

= 1.0 para miembros de simetría simple flexionados en curvatura simple

= $0.5 + 2(I_{yc}/I_y)^2$ para miembros de simetría simple flexionados en curvatura doble

I_y = momento de inercia alrededor del eje principal "y" mm^4

I_{yc} = momento de inercia de la aleta a compresión, o de la aleta más pequeña cuando la curvatura es doble, alrededor del eje "y" mm^4

ϕ_b	0,90	F.2.6.1	
$M_{u\,max}$	1859500,00	N.mm	
M_A	425600,00	N.mm	
M_B	851200,00	N.mm	
M_C	1271300,00	N.mm	
R_m	1,00		
C_b	1,77	Ok	
M_n	10045000,00	N.mm	Momento mínimo Mn del procedimiento establecido en el numeral 4.
ϕM_n	9040500,00	N.mm	
$M_{u\,max}$	<	ϕM_n	Cumple

El elemento cumple las solicitaciones a flexión

6. Determinación de la resistencia a flexo-compresión

En base al procedimiento indicado en el numeral F.2.8 para elemento sometidos a flexo-compresión

(a) Para $\frac{P_u}{\phi P_n} \geq 0.2$

$$\frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8}{9}\left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}}\right) \leq 1.0 \qquad \text{(F.2.8.1-1a)}$$

(b) Para $\frac{P_u}{\phi P_n} < 0.2$

$$\frac{P_u}{2\phi P_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}}\right) \leq 1.0 \qquad \text{(F.2.8.1-1b)}$$

donde:

P_u = resistencia requerida a compresión N
ϕP_n = $\phi_c P_n$ resistencia de diseño a compresión determinada de acuerdo con el numeral F.2.5, N
M_u = resistencia requerida a flexión N mm
$\phi_b M_n$ = resistencia de diseño a la flexión determinada de acuerdo con el numeral F.2.6, N mm
x = subíndice relativo a flexión alrededor del eje mayor
y = subíndice relativo a flexión alrededor del eje menor
ϕ_c = coeficiente de reducción de resistencia para compresión = 0.90
ϕ_b = coeficiente de reducción de resistencia para flexión = 0.90

De la ecuación F.2.8.1-1b se obtiene como resultado:

0.12 < 1

El elemento cumple las solicitaciones a flexo compresión

6. Determinación de la resistencia a cortante

Se calcula la resistencia a cortante mediante el procedimiento F.2.7.6

Lv	3100,00 mm	Distancia entre los puntos de fuerza cortante maxima y cortante cero
F_{cr_1}	707,00 Mpa	Ecuación F.2.7.6-2a $F_{cr} = \frac{1.60E}{\sqrt{\frac{L_v}{D}\left(\frac{D}{t}\right)}^{1.6}}$
F_{cr_2}	786,88 MPa	Ecuación F.2.7.6-2b $F_{cr} = \frac{0.78E}{(D/t)^{3/2}}$
$0.60f_y$	210,00 MPa	

Fcr	210,00 MPa		Se escoge el Fcr menor
ϕ_v	0,90		Coeficiente de reducción NSR 10 F.2.7.1
A_g	916,00 mm2		Área de la sección de cortante
V_n	96180,00 N		Resistencia nominal a cortante NSR 10 F.2.7.2-1 de le expresión: $V_n = F_{cr} A_g / 2$
ϕV_n	86562,00 N		
ϕV_n	86,56 kN		
$V_{u\,max}$	<	ϕV_n	Cumple

El elemento cumple las solicitaciones a cortante

3.3.5 CONEXIÓN

VERIFICACIÓN PLATINA DE CONEXIÓN			
1. Propiedades material ASTM A 36			
f_y	250	MPa	Límite de fluencia
E	200000	MPa	Módulo de elasticidad
v	0,30		Relación de Poisson
Fu	400	MPa	Esfuerzo máximo de tracción
2. Combinación de carga: 1.2D+1.6W			
P	5706,00	N	Carga axial última
Vux	546,00	N	Cortante último en la dirección X
Vuy	0,00	N	Cortante último en la dirección Y
Mux	1859500,00	Nmm	Momento último en la dirección X
Muy	0,00	Nmm	Momento último en la dirección Y
3. Geometría del elemento			
	Platina		
Sección	260x260x9,5mm		
b	260	mm	Ancho del elemento
h	260	mm	Longitud del elemento
Ag	2470,00	mm^2	Área bruta del elemento
t	9,50	mm	Espesor del elemento
4. Determinación de la resistencia a tensión del elemento			
En base al procedimiento indicado en el numeral F.2.10.4.1 para elemento sometidos a tensión:			
ϕ	0,90		Coeficiente de reducción a fluencia NSR 10 F.2.10.4-1
ϕ	0,75		Coeficiente de reducción a rotura NSR 10 F.2.10.4-2
A_b	151,05	mm2	Área transversal del perno de la conexión
A_{pc}	302,10	mm2	Área total de los pernos de conexión
A_n	2167,90	mm2	Área neta efectiva del elemento
A_e	2099,50	mm2	Área neta efectiva mínima definida en el numeral F.2.4.3 NSR 10
Rn	617500,00	N	Resistencia a tensión por fluencia del elemento de conexión $R_n = F_y A_g$
ϕRn	555750,00	N	
Rn	839800,00	N	Resistencia a tensión por rotura del elemento de conexión $R_n = F_u A_e$
ϕRn	629850,00	N	
Vu	<	ϕRn	Cumple
El elemento cumple las solicitaciones de tensión			

5. Determinación de la resistencia a cortante del elemento:

En base al procedimiento indicado en el numeral F.2.10.4.2 para elemento sometidos a cortante

ϕ	1,00		Coeficiente de reducción a fluencia NSR 10 F.2.10.4-3
ϕ	0,75		Coeficiente de reducción a rotura NSR 10 F.2.10.4-4
A_b	151,05	mm2	Área transversal del perno de la conexión
A_{bt}	302,10	mm2	Área total de los pernos de conexión
A_n	2167,90	mm2	Área neta efectiva del elemento
Rn	370500,00	N	
ϕRn	370500,00	N	Resistencia a cortante por fluencia del elemento de conexión $R_n = 0.60F_y A_{gv}$
Rn	520296,00	N	
ϕRn	390222,00	N	Resistencia a cortante por rotura del elemento de conexión $R_n = 0.60F_u A_{nv}$
Vu	<	ϕRn	Cumple

6. Resistencia al desgarramiento del bloque

En base al procedimiento indicado en el numeral F.2.10.4.3 se tiene que:

ϕ	0,75		Coeficiente de reducción NSR 10 F.2.10.4-5
Ubs			
A_{gv}	2469,40	mm2	Área bruta sometida a cortante
A_{nv}	2228,10	mm2	Área neta sometida a cortante
A_{nt}	2228,10	mm2	Área neta sometida a tensión
$0.6F_y A_{gv} + U_{bs}F_u A_{nt}$	: 816029,26	N	
$0.60F_u A_{nv} + U_{bs}F_u A_{nt}$	: 980363,07	N	
R_n	816029,26	N	Resistencia nominal del elemento al desagarramiento por bloque
ϕR_n	612021,95	N	
Vu	<	ϕRn	Cumple

7. Resistencia de elementos a compresión

En base al procedimiento indicado en el numeral F.2.10.4.4 se tiene que:

ϕ	0,90		Coeficiente de reducción NSR 10 F.2.10.4-6
P_n	617500,00	N	Resistencia nominal elementos a compresión NSR 10 F.2.10.4-6 $P_n = F_y A_g$
ϕP_n	555750,00	N	
Pu	<	ϕRn	Cumple

8. Verificación del elemento a esfuerzos combinados

e	325,89	mm	Excentricidad del elemento Mu/Pu
f_{smax}	115,01	MPa	Presión entre la placa base y el concreto:
q_{max}	29902,60	N/mm	Presión máxima ejercida por el concreto
e_{crit}	129,90	mm	Excentricidad crítica
e	>	ecrit	Se diseña el elemento a carga axial, momento flector y cortante

Se verifica para el cálculo de la longitud de soporte Y que:

$$\left(f + \frac{N}{2}\right)^2 \geq \frac{2P_u(e + f)}{q_{max}}$$

f	160	mm	Distancia del centro de la placa base al centro del perno
$\left(f + \frac{N}{2}\right)^2$	84100,00	mm2	
$\frac{2P_u(e + f)}{q_{max}}$	195,43	mm2	

Cumple la verificación

Se determina la longitud de soporte equivalente Y y la fuerza de tensión Tu en los anclajes:

$$Y = \left(f + \frac{N}{2}\right) - \sqrt{\left(f + \frac{N}{2}\right)^2 - \frac{2P_u(e + f)}{q_{max}}}$$

Y	0,32	mm	Longitud de soporte
T_u	3859,34	N	Fuerza de tensión requerida en los anclajes $T_u = q_{max} \cdot Y - P_u$

7. Resistencia de elementos a compresión

En base al procedimiento indicado en el numeral F.2.10.4.4 se tiene que:

ϕ	0.90		Coeficiente de reducción NSR 10 F.2 10.4-6
P_n	617500.00	N	Resistencia nominal elementos a compresión NSR 10 F.2 10.4-6 $P_n = F_y A_s$
ϕP_n	555750.00	N	
Pu	<	ϕRn	Cumple

8. Verificación del elemento a esfuerzos combinados

e	325.89	mm	Excentricidad del elemento Mu/Pu
f_{bmax}	115.01	MPa	Presión entre la placa base y el concreto: $q_{max} = \frac{P_u}{A_c}$
q_{max}	29902.60	N/mm	Presión máxima ejercida por el concreto
e_{crit}	129.90	mm	Excentricidad crítica
e	>	ecrt	Se diseña el elemento a carga axial, momento flector y cortante

Se verifica para el cálculo de la longitud de soporte Y que

$$\left(f + \frac{N}{2}\right)^2 > \frac{2P_u(e + f)}{q_{max}}$$

f	160	mm	Distancia del centro de la placa base al centro del perno
$\left(f + \frac{N}{2}\right)^2$	84100.00	mm2	
$\frac{2P_u(e + f)}{q_{max}}$	185.43	mm2	

Cumple la verificación

Se determina la longitud de soporte equivalente Y y la fuerza de tensión Tu en los anclajes

$$Y = \left(f + \frac{N}{2}\right) - \sqrt{\left(f + \frac{N}{2}\right)^2 - \frac{2P_u(e + f)}{q_{max}}}$$

Y	0.32	mm	Longitud de soporte
T_u	3859.34	N	Fuerza de tensión requerida en los anclajes $T_u = q_{max} * Y - P_u$

Para el cálculo del momento flector M_1:

Brazo	6,59	mm
M_1	1798,39	Nmm

Para la determinación del esfuerzo f_{ta} debido a la tensión y esfuerzo f_{fa} debido a la flexión se calcula mediante:

s	341,4	mm3
f_{ta}	5,27	Mpa
f_{fa}	15,23	Mpa

Se verifica que los pernos cumplan las solicitaciones de cortante y tensión tipo aplastamiento combinados mediante la expresión:

$$F'_{nt} = 1.3F_{nt} - \frac{F_{nt}}{\phi F_{nv}} f_v \leq F_{nt} \qquad \textbf{(F.2.10.3-3)}$$

ϕ:	0,75		Coeficiente de reducción F.2.10.3-2
f_u	400	MPa	Esfuerzo max. de tracción para anclajes ASTM F1554 Gr. 36
F_{nt}	300	MPa	Resistencia nominal a tensión del elemento NSR 10 Tabla F.2.1.3.4
F_{nv}	135	MPa	Resistencia nominal a cortante del elemento NSR 10 Tabla F.2.1.3.4
F'_{nt}	383,6	MPa	
R_n	48594,45	N	Resistencia de un perno sometido a combinación de esfuerzos de tensión y cortante

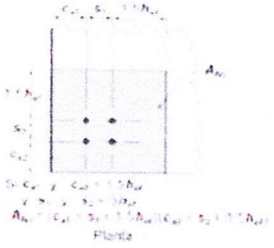
Se verifica que se cumpla:

ϕF_{nv}	297,7	N	
f_v	20,50	MPa	
f_v	<	ϕF_{nv}	Ok

Los pernos cumplen las solicitaciones combinadas para esfuerzos de tensión y cortante

Se verifica la profundidad de los anclajes en el pedestal

$$A_{Nc} = (c_{a1} + s_1 + 1.5h_{ef}) \cdot (c_{a2} + s_2 + 1.5h_{ef})$$



h_{ef}	300	mm
C_{a1}	40	mm
C_{a2}	40	mm
S_1	170	mm
S_2	170	mm
A_{Nc}	435600.00	mm2
A_{Nco}	810000	mm2

Cono de ruptura para un anclaje

Así de la expresión

$$\emptyset N_{cbg} = \emptyset_c \cdot \psi_{c,N} \cdot 3.9 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot h_{ef}^{\frac{5}{3}} \cdot \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}}$$

$\Psi_{c,N}$	1.25	Factor de modificación para anclajes ubicados en una región de un elemento de concreto, donde no hay fisuración para cargas de servicio
Φ_{Ncbg}	121138.95	N
T_u	<	Φ_{Ncbg} OK

La configuración de anclajes evitan la ruptura del pedestal en concreto

3.4. DISEÑO CIMENTACIÓN Y PEDESTAL EN CONCRETO

3.4.1 PEDESTAL EN CONCRETO

El diseño del pedestal en concreto siguió los requerimientos, consideraciones y verificaciones exigidas mediante normatividad vigente NSR-10 título C. Dada la irregularidad de la misma estructura, se realiza un análisis a flexo-compresión del elemento y cortante para la determinación del acero de refuerzo del elemento.

MEMORIA DE CALCULO PEDESTAL EN CONCRETO SISTEMA FOTOVOLTAICO			
1. Propiedades materiales			
f'_c:	21.00	MPa	Resistencia a la compresión del concreto
E_c:	17872.05	MPa	Módulo de elasticidad del concreto
f_y	420.00	MPa	Fluencia acero de refuerzo
Es:	200000.00	MPa	Módulo de elasticidad del acero de refuerzo
2. Combinaciones de carga			
P_u	5706.00	N	Carga última extraida del modelo estructural
Mxu:	1859.50	Nm	Momento en el eje X
Myu:	0.00	Nm	Momento en el eje Y
Vux:	598.00	N	Cortante en el eje X
Vuy:	0.00	Nm	Cortante en el eje Y
3. Propiedades geométricas del elemento			
h:	30.00	cm	Lado largo
b:	30.00	cm	Lado corto
d'	7.50	cm	Recubrimiento
d	22.50	cm	Altura efectiva
A_g	900.00	cm	Área de la sección del elemento
4. Deformaciones últimas en los materiales			
ε_{mu}	0.0030		Máxima deformación permisible de compresión del concreto
ε_y	0.0021		Deformación unitaria de fluencia del acero de refuerzo
β_1	0.85		Coeficiente para resistencias del hormigón menores o iguales a 28 Mpa
ϕ:	0.65		Coeficiente de reducción de resistencia.
4. Controles de diseño			

La resistencia axial de diseño para elementos no presforzados con estribos es determinada mediante la expresión:

$$\phi P_{n(max)} = 0.75\phi\left[0.85f'_c\left(A_g - A_{st}\right) + f_y A_{st}\right] \qquad (C.10\text{-}2)$$

Asumiendo una cuantía mínima para columnas de 1%, se t

ρ	0.010		Cuantía mínima C.10.9-1
A_{smin}	9.00	cm2	Área proporcionada por el acero de refuerzo
# de barra	4		
φ_e	1.27	cm	Diámetro de la barra de acero
A_e	1.27	cm2	Área de la barra de acero
N barras	8		Número de barras mínimas

$A_{se\ escogido}$:	10.16	cm2	Área proporcionada por el acero de refuerzo
ϕP_n:	959612.06	N	Cumple

La resistencia axial del elemento es superior a la solicitada

5. Cálculo de la deformaciones unitarias y esfuerzos en la condición balanceada

A. Análisis para la falla balanceada en el sentido X:

c_b:	13.24	cm
a_c:	11.25	cm

Denominación	As (cm2)	d (cm)	ε_{si}:	f_{si} (Mpa):	Fuerzas (N):
ε_s:	3.81	7.50	0.00210	420.000	104013.00
ε_{s1}	2.54	15.00	0.00040	79.758	13168.10
ε_s	3.81	22.50	-0.00210	-420.000	-104013.00

Denominación	Momento (Nm)	Tipo de esfuerzo
ε_s:	15601.95	Compresión
ε_{s1}	987.61	Compresión
ε_s	0.00	Tracción

f_s:	13168.10	N	Fuerza del acero
f_c:	384216.79	N	Fuerza del bloque de concreto
m_s:	16589.56	Nm	Momento del acero
m_c:	66079.86	Nm	Momento del bloque de concreto
ϕP_{bx}:	397384.88	N	Carga balanceada en el sentido X
ϕM_{bx}:	82669.42	Nm	Momento balanceado en el sentido X
e_x:	0.21		
e:	0.13	m	Excentricidad
ϕM_{cx}^{cp}:	52865.55	Nm	Momento balanceado al centro plástico

B. Análisis para la falla balanceada en el sentido y:

c_b:	13.24	cm
a_c:	11.25	cm

Denominación	As (cm2)	d (cm)	ε_{si}:	f_{si} (Mpa):	Fuerzas (N):
ε_s:	3.81	7.50	0.00210	420.000	104013.00
$\varepsilon_{s'}$:	2.54	15.00	0.00040	79.758	13168.10
ε_s:	3.81	22.50	-0.00210	-420.000	-104013.00

Denominación	Momento (Nm)	Tipo de esfuerzo
ε_s:	15601.95	Compresión
$\varepsilon_{s'}$:	987.61	Compresión
ε_s:	0.00	Tracción

f_s:	13168.10	N	Fuerza del acero
f_c:	384216.79	N	Fuerza del bloque de concreto
m_s:	16589.56	Nm	Momento del acero
m_c:	64836.58	Nm	Momento del bloque de concreto
ϕP_{cy}:	397384.88	N	Carga balanceada en el sentido Y
ϕM_{cy}:	81426.14	Nm	Momento balanceado en el sentido Y
e_y:	0.20	m	
e:	0.13	m	Excentricidad
ϕM_{by}^{*}:	51622.27	Nm	Momento balanceado al centro plástico y

5. Interpolación para determinar la carga axial balanceada

α:	0.00	°	Ángulo del plano de falla
ΔP_c:	0.00	N	Diferencia de carga axial balanceada
ϕP_c:	397384.88	N	Carga axial balanceada

Mayor falla a tracción

P_0:	-384048	N	Máxima carga axial teórica que soporta el pedestal

$$\left(\frac{P_c - P_n}{P_c - P_0}\right) + \left(\frac{M_{nx}}{M_{ox}}\right)^{1.5} + \left(\frac{M_{ny}}{M_{oy}}\right)^{1.5} = 1.0$$

0.51 Del resultado anterior se concluye que la capacidad del elemento es 49.22% mayor que la demanda

7. Verificaciones a cortante

Se calcula la separación de estribos mínimos para sistema DMO:

#barra:	3		
φ_{lb}:	0.95	cm	
A_{lb}:	0.71	cm2	
s_1:	10.16	cm	
s_2:	15.24	cm	
s_3:	10.00	cm	
s_4:	10.00	cm	
s_{min}:	15	cm	
$s_{elegido}$:	10	cm	Separación mínima NSR 10 C.7.10.5.5

En el sentido Y de la columna

A_{sh}:	1.17	cm2	NSR 10 C.21.3.5.7
n_{ramas}:	2		Número de ramas

En el sentido X de la columna

A_{sh}:	1.17	cm2	NSR 10 C.21.3.5.7
n_{ramas}:	2		
ϕ:	0.75		
ϕVcy:	394.39	N	
ϕVsy:	829.24	N	
ϕVny:	1223.63	N	Cumple
ϕVcx:	394.39	N	
ϕVsx:	829.24	N	
ϕVnx:	1223.63	N	Cumple

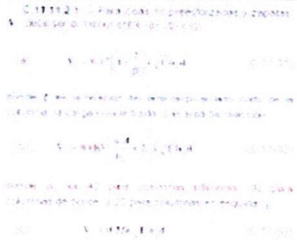
El acero de refuerzo transversal de la sección cumple con lo requerimientos de resistencia a cortante

3.4.2 CIMENTACIÓN

Para el dimensionamiento de la cimentación del poste se tuvo en cuenta la incertidumbre asociada a definir una capacidad portante a partir de una caracterización analítica y cualitativa; por tal motivo, se opta por proponer unas dimensiones que a criterio se consideran acordes para las solicitaciones de la estructura y se chequea que estas transmitan un esfuerzo menor a la capacidad máxima admisible definida, como también que el factor por volcamiento no esté arrojando un valor que indique sobredimensionamientos o inestabilidad.

MEMORIA DE CÁLCULO CIMENTACIÓN CONCRETO SISTEMA FOTOVOLTAICO			
1. Propiedades materiales			
f_c:	21	MPa	Resistencia a la compresión del concreto
E_c:	17872.05	MPa	Módulo de elasticidad
f_y:	420.00	MPa	Fluencia acero de refuerzo
Es:	200000.00	MPa	Módulo de elasticidad del acero de refuerzo
2. Combinaciones de carga			
Ps:	4045.00	N	Carga de servicio extraída del modelo estructural
Mxs:	1162.20	Nm	Momento en el eje X
Mys:	0.00	Nm	Momento en el eje Y
Pu:	5706.00	N	Carga última extraida del modelo estructural
Mxu:	1859.50	Nm	Momento último mayorado en el eje X
Myu:	0.00	Nm	Momento último mayorado en el eje Y
3. Cargas de servicio y propiedades del terreno			
Excentricidad en "x" e_L:	0.29	m	Excentricidad en el eje x
Excentricidad en "y" e_B:	0.00	m	Excentricidad en el eje x
α:	1.00		Factor de forma en relación del ancho y longitud de la zapata. Para zapata cuadrada a=1
P_s:	4.05	kN	
P_u:	5.71	kN	
q_u:	50.00	kN m2	Capacidad portante del terreno de acuerdo a caracterización del suelo acorde a la tabla 3.1 para Suelo Aluvial.

q_{adm}	16,67 kN/m2	Capacidad admisible del suelo para factor de seguridad FS=3
A_z	0,24 m2	Área mínima de la zapata
B_{calc}	0,49 m	Base mínima calculada para zapatas cuadradas
$B_{elegido}$	0,55 m	Base zapata elegida
4. Suposicion del espesor de la zapata		
$h_{colocado}$	0,22 m	Espesor de la zapata
5. Revisión de punzonamiento		
l_c	30,00 cm	Largo pedestal
b_c	30,00 cm	Ancho pedestal
q_{umax}	77,99 kN/m2	$q_{umax} = \frac{P_u}{BL}\left(1 + \frac{6e}{L}\right)$
q_{umin}	0,00 kN/m2	$q_{umin} = \frac{P_u}{BL}\left(1 - \frac{6e}{L}\right)$
d'	7,50 cm	Recubrimiento
#Barra	4	Número de la barra del acero de refuerzo, varilla #4 (1/2")
φb/2	0,64	Diámetro de la barra
d	138,65 mm	Espesor efectivo de concreto
V_{ubd}	-1796,78 N	Cortante bidireccional calculado mediante la expresión: $V_{ubd} = \frac{q_{umax} + q_{umin}}{2}\left[(l_c + d)(b_c + d)\right]$
α_s	40,00	Factor de forma dependiendo de la posición de la columna. Para columna en el interior de la zapata a=40
b_0	6746,00 mm	Perímetro de la sección crítica b0=2(bc+lc+2d)
β	1,00	Relación dimensiones pedestal
λ	1,00	Relación de concretos. Para concretos de peso normal 1
Φ_v	0,75	Coeficiente de reducción de resistencia.



Para todo caso el cortante bidireccional debe ser menor a las ecuaciones C.11-31, C.11-32 y C.11-33

Primera revisión:	1639484.43 N	Cumple
Segunda revisión:	752991.72 N	Cumple
Tercera revisión:	1060842.87 N	Cumple

Las dimensiones de la zapata propuestos cumplen satisfactoriamente a punzonamiento

6. Revisión cortante unidireccional

Fuerza cortante en el sentido unidireccional

Cortante en el sentido longitudinal

$$V_{us} = \frac{q_{u\,max} + q_{u\,min}}{2}\left[\frac{(B-b_1)}{2} - d\right]L$$

V_{us}:	-292.74 N
V_c:	59407.48 N
$\Phi v\, V_c$:	44555.61 N
Φ_v Vc cumple:	Cumple

Resistencia a cortante proporcionado por la sección
$V_c = 0.17\lambda(f'_c)^{1/2} Ld$

Fuerza cortante en el sentido transversal

$$q_{uu} = q_{u\,min} - \frac{q_{u\,max} - q_{u\,min}}{L}\left[\frac{(L-L_1)}{2} - d\right]$$

q_{uu}	79.92 kN

Cortante en el sentido transversal

$$V_{uus} = \frac{q_{uu} + q_{u\,max}}{2}\left[\frac{(L-L_1)}{2} - d\right]B$$

V_{uus}:	-592.74 N
V_c:	59407.48 N
$\Phi v\, V_c$:	44555.61 N
Φ_v Vc cumple:	Cumple

Las dimensiones cumplen con los requisitos para cortante unidireccional

7. Cálculo acero de refuerzo zapata

Revisión en el sentido longitudinal

q_u:	60.26	kN/m2	$q_u = q_{u\,min} + \left[\frac{q_{u\,max} - q_{u\,min}}{L}\right]\left[\frac{L - L_v}{2}\right]$
Lv:	0.13	m	$L_v = \frac{L}{2} - \frac{l}{2}$
			Solicitación de momento último:
Mu:	309707.07	Nmm	$M_u = \left[\left(\frac{q_{u\,max} - q_u}{2}\right)\left(\frac{2L_v^2}{3}\right) + q_u\frac{L_v^2}{2}\right]B$
α:	0.72		Parámetros del bloque equivalente de tensiones para hormigón f'c=21 Mpa
β:	0.425		
$\rho_{asumido}$:	0.0018		Cuantía de concreto asumida
			Resistencia a flexión proporcionada por el concreto propuesto: $\phi_k M_n = \phi_f B d^2 f'_c \alpha\left(1 - \frac{\beta f_y \rho}{\alpha f'_c}\right)$
φMn:	7041067.660	Nmm	
Revisión Mu<φMn:	Cumple		
ρ_{minima}:	0.0018		Cuantía mínima NSR 10 C.7.12.2.1
ρ:	0.0018		Cuantía seleccionada
$A_{s\,calculada}$:	137.2635	mm2	Área del acero de refuerzo calculada
# de barra	4		
φ_e:	12.70	mm	
A_e:	126.68	mm2	Área de la barra del acero de refuerzo
n_e:	2		Número de barras calculadas
S_e:	40	cm	Separación mínima de la barra

Se configura acero de refuerzo de 1/2" cada 20cm

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La ejecución de la obra deberá ceñirse a las directrices establecidas en el presente documento y ajustarse a los estándares técnicos definidos por la NSR-10.

- El estudio de caracterización del suelo fue desarrollado en base a la GUÍA PARA LA ESTRUCTURACIÓN DEL COMPONENTE CIVIL DE DIFERENTES TIPOS DE SOLUCIONES DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA. Asimismo, se integró la información técnica de estudios regionales previos. Se deberá verificar que el terreno cumpla con las condiciones mínimas asumidas en el presente documento.

- En caso de presentarse nivel freático, éste deberá ser tratado a fin de poder realizar la instalación del sistema, como también revisar si haya lugar a cambios en los diseños.

- Para los kits prefabricados, se deberán verificar los parámetros, resultados y consideraciones tanto del diseño como de la normatividad vigente NSR-10.

- Durante la ejecución de las obras se deben verificar que los materiales cumplan estrictamente con los estándares de calidad, con el fin de que cumplan con las especificaciones requeridas.

- Los chequeos de diseño y cálculos aquí presentados fueron realizados para las condiciones particulares del proyecto localizado en el municipio de Cravo Norte-Arauca.

ANDRES FELIPE GOMEZ
M.P. 051037-0569527 CLD
Ing. Civil Especialista en estructuras

5. ANEXOS

Anexo 1-Mapa Geológico de Cravo Norte.

Anexo 2-Ficha técnica panel solar 550 W.

MEMORIAL DE RESPONSABILIDAD

Yo **ANDRES FELIPE GOMEZ CUEVAS**, identificado con CC 1.018.499.478 de Bogotá D.C., en calidad de Ingeniero Civil Especialista en Estructuras con matrícula profesional No. 051037-0569527 CLD, certifico que realicé el **DISEÑO ESTRUCTURAL SISTEMA FOTOVOLTAICO** para el proyecto cuyo objeto es: **"IMPLEMENTACION DE SISTEMAS DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EN ZONAS RURALES NO INTERCONECTADAS DEL MUNICIPIO DE CRAVO NORTE, DEPARTAMENTO DE ARAUCA".** Así mismo declaro que asumo la responsabilidad del perjuicio que por causa de él pueda deducirse y hago constar que el presente documento cumple con la normativa y reglamentos vigentes aplicables al área de estudio. Asimismo, aclaro que este documento no puede ser modificado sin mi autorización una vez sea viabilizado el proyecto.

Para los fines pertinentes, anexo copia de mi tarjeta profesional o matricula profesional y certificado de vigencia de esta.

Se expide a los treinta y un (31) días del mes de agosto de 2026.

Atentamente,

Nombre:	**ANDRES FELIPE GOMEZ CUEVAS**	Firma:	
Profesión:	**Ingeniero Civil**	Nº C.c.:	**1.018.499.478 de Bogotá D.C.,**
Título de post-grado:	Especialista en estructuras	Matrícula Profesional No	051037-0569527 CLD

CARTA DE CESION DE DERECHOS

Yo **ANDRES FELIPE GOMEZ CUEVAS**, identificado con CC 1.018.499.478 de Bogotá D.C., en calidad de Ingeniero Civil Especialista en Estructuras con matrícula profesional No. 051037-0569527 CLD, certifico que realicé el **DISEÑO ESTRUCTURAL SISTEMA FOTOVOLTAICO** para el proyecto cuyo objeto es: **"IMPLEMENTACION DE SISTEMAS DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EN ZONAS RURALES NO INTERCONECTADAS DEL MUNICIPIO DE CRAVO NORTE, DEPARTAMENTO DE ARAUCA".**

Por lo anterior, manifiesto ceder plenamente los derechos al Departamento de Arauca.

La duración de los derechos cedidos será por término indefinido a partir de la fecha de la firma de la presente carta de cesión de derechos.

Para los fines pertinentes, anexo:

- Copia de mi Tarjeta o Matrícula Profesional
- Certificado de vigencia y antecedentes disciplinarios (profesionales)
- Copia de la cédula de ciudadanía.

Se expide a los treinta y un (31) días del mes de agosto de 2026.

Atentamente,

Nombre:	**ANDRES FELIPE GOMEZ CUEVAS**	Firma:	
Profesión:	**Ingeniero Civil**	Nº C.c.:	**1.018.499.478 de Bogotá D.C.,**
Título de post-grado:	Especialista en estructuras	Matrícula Profesional No	051037-0569527 CLD


REPUBLICA DE COLOMBIA
IDENTIFICACION PERSONAL
CEDULA DE CIUDADANIA

NUMERO 1.018.499.478

GOMEZ CUEVAS

APELLIDOS

ANDRES FELIPE

NOMBRES

FIRMA

DOCUMENTO VALIDO UNICAMENTE PARA EL PROYECTO DE OBJETO: *"IMPLEMENTACION DE SISTEMAS DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EN ZONAS RURALES NO INTERCONECTADAS DEL MUNICIPIO DE CRAVO NORTE, DEPARTAMENTO DE ARAUCA".*


FECHA DE NACIMIENTO 19-OCT-1997

ARAUCA
(ARAUCA)

LUGAR DE NACIMIENTO

1.81 ESTATURA

O+ G.S. RH

M SEXO

10-DIC-2015 BOGOTA D.C.

FECHA Y LUGAR DE EXPEDICION

REGISTRADOR NACIONAL

INDICE DERECHO

P-1500150-00781280-M-1018499478-20160105 0047944260A 1 45267503

DOCUMENTO VALIDO UNICAMENTE PARA EL PROYECTO DE OBJETO: *"IMPLEMENTACION DE SISTEMAS DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EN ZONAS RURALES NO INTERCONECTADAS DEL MUNICIPIO DE CRAVO NORTE, DEPARTAMENTO DE ARAUCA"*

República de Colombia
Ministerio de Educación Nacional

La Universidad Nacional de Colombia

Teniendo en cuenta que

Andres Felipe Gomez Cuevas
C.C. 1.018.499.478 de Bogotá D.C.

cumplió satisfactoriamente todos los requisitos académicos reglamentarios del Plan de Estudios de Posgrado, le confiere el Título de

Especialista en Estructuras

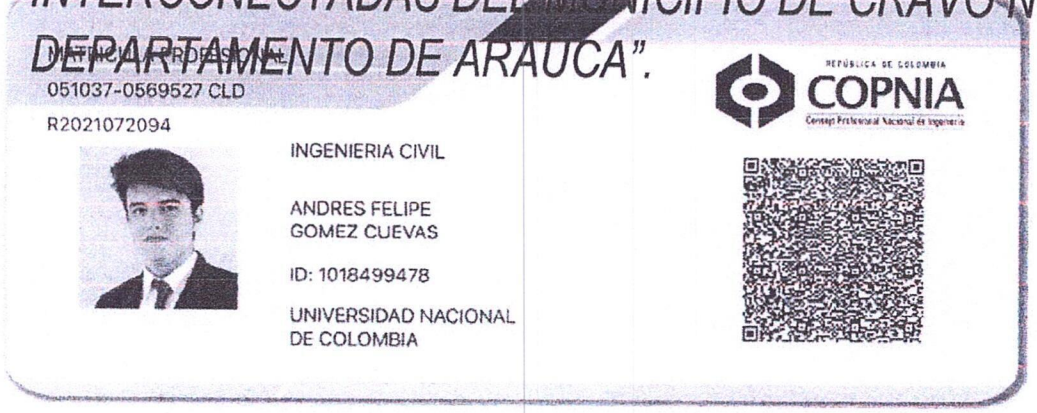
En la ciudad de Manizales, a los 9 días del mes de diciembre de 2021

Decanatura de Facultad | Rectoría | Secretaría General

Registro No 2637, Folio 76 del Libro de Diplomas n.° 3
de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Sede Manizales

65369

DOCUMENTO VALIDO UNICAMENTE PARA EL PROYECTO DE OBJETO: *"IMPLEMENTACION DE SISTEMAS DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EN ZONAS RURALES NO INTERCONECTADAS DEL MUNICIPIO DE CRAVO NORTE, DEPARTAMENTO DE ARAUCA".*



REPÚBLICA DE COLOMBIA
COPNIA
Consejo Profesional Nacional de Ingeniería

Certificado de vigencia y antecedentes disciplinarios
CVAD-2026-4710261

CONSEJO PROFESIONAL NACIONAL DE INGENIERÍA
COPNIA

EL DIRECTOR GENERAL

CERTIFICA:

1. Que ANDRES FELIPE GOMEZ CUEVAS, identificado(a) con CEDULA DE CIUDADANIA 1018499478, se encuentra inscrito(a) en el Registro Profesional Nacional que lleva esta entidad, en la profesión de INGENIERIA CIVIL con MATRICULA PROFESIONAL 051037-0569527 CLD desde el 25 de Mayo de 2021, otorgado(a) mediante Resolución Nacional R2021072094.

2. Que el(la) MATRICULA PROFESIONAL es la autorización que expide el Estado para que el titular ejerza su profesión en todo el territorio de la República de Colombia, de conformidad con lo dispuesto en la Ley 842 de 2003.

3. Que el(la) referido(a) MATRICULA PROFESIONAL se encuentra **VIGENTE**

4. Que el profesional no tiene antecedentes disciplinarios ético-profesionales.

5. Que la presente certificación se expide en Bogotá, D.C., a los treinta y uno (31) días del mes de Agosto del año dos mil veintiseis (2026).

Rubén Dario Ochoa Arbeláez

Firmal del titular (*)

(*)Con el fin de verificar que el titular autoriza su participación en procesos estatales de selección de contratistas. La falta de firma del titular no invalida el Certificado

El presente es un documento público expedido electrónicamente con firma digital que garantiza su plena validez jurídica y probatoria según lo establecido en la Ley 527 de 1999. Para verificar la firma digital, consulte las propiedades del documento original en formato .pdf.

Para verificar la integridad e inalterabilidad del presente documento consulte en el sitio web https://tramites.copnia.gov.co/Copnia_Microsite/CertificateOfGoodStanding/CertificateOfGoodStandingStart indicado el número del certificado que se encuentra en la esquina superior derecha de este documento.