

UNIÓN TEMPORAL ALIANZA ENERGÉTICA 2022

DOCUMENTACIÓN PROYECTOS



CONTRATO DE CONSULTORÍA N° 156 – 2021

PROYECTO:

INSTALACIÓN DE SOLUCIONES INDIVIDUALES FOTOVOLTAICAS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN ZONA RURAL DISPERSA DEL MUNICIPIO DE VILLANUEVA, EN EL DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA.



CONTRATANTE:

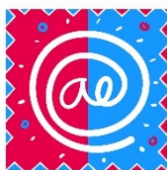
Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas –
IPSE

CONTRATISTA:

Unión Temporal Alianza Energética 2022

**MEMORIAS DE CALCULO DADO DE CIMENTACION
MUNICIPIO DE VILLANUEVA**

Bogotá, enero 2023



UNIÓN TEMPORAL ALIANZA ENERGÉTICA 2022

DOCUMENTACIÓN PROYECTOS



LISTA DE DISTRIBUCIÓN

Las observaciones que resulten de su revisión y aplicación deben ser informadas a la persona que elaboró el presente documento para proceder a realizar sus modificaciones.

Copias de este documento serán enviadas vía correo electrónico a las siguientes personas:

Juan Diego Gómez Zuluaga
Representante Legal Suncolombia

jdgomez@suncolombia.com

Lucero Fonseca Bustacara
Representante Legal ARDCO Construcciones S.A.S.

gerencia@ardconstrucciones.com

Hernán Alberto García Mahecha
Representante Legal HG Ingeniería S.A.S.

gerencia@hgingenieria.com

VERSIÓN	FECHA ENVÍO	OBSERVACIONES
V.1	22/04/2022	Documento inicial.
V.2	22/12/2022	Ajuste al documento
V.3	06/01/2023	Ajuste al documento

	NOMBRE	FIRMA
ELABORÓ:	Arlex Alzate	
REVISÓ:	Jaime Millan	
APROBÓ:	Hernán Garcia	



UNIÓN TEMPORAL ALIANZA ENERGÉTICA 2022

DOCUMENTACIÓN PROYECTOS



CÁLCULO MECÁNICO DE ESTRUCTURAS.

1. GENERALIDADES.

En el presente capítulo, se indican las consideraciones para calcular las cargas probabilísticas de diseño y los factores asociados, para determinar la resistencia mecánica del apoyo que soportará el panel solar, según los criterios de la norma IEC 60826.

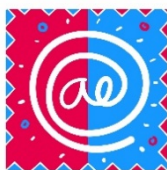
Para tal efecto, se toman como base de cálculo, los vientos máximos establecidos por región según la norma *NSR 10 capítulo B-6 Fuerza de viento*, con un periodo de retorno de 50 años medido en un campo abierto y a una altura de 10 metros. Por lo tanto, se considerará una velocidad del viento $V_{max} = 100 \text{ km/h.} = 28 \text{ m/s.}$

2. ANÁLISIS ESTRUCTURA DE SOPORTE METALICA PARA PANELES

Relacionado con el cálculo de la estructura metálica de soporte de paneles para el municipio de VILLANUEVA se establece un análisis y diseño de dicho elemento así:



CARGAS A EVALUAR



UNIÓN TEMPORAL ALIANZA ENERGÉTICA 2022

DOCUMENTACIÓN PROYECTOS



Para el diseño estructural del conjunto se consideran las siguientes variables:

Carga de diseño: 150 Kgf

Carga estructura soporte panel solar: 31 Kgf

Carga paral para soporte panel solar: 32 Kgf

Carga mantenimiento (1 persona): 80 Kgf

Carga supuesta por cada panel: 25,1 Kgf (50,2 Kgf)

Velocidad del viento: 100 Km/h= 28 m/s

ANALISIS AL MODELO

Dadas las características y optimización de este tipo de estructuras y teniendo en cuenta el manejo de un elemento prefabricado para la estructura de soporte metálico de paneles, se vincula la memoria de diseño de la empresa “**INGAL de occidente**”, del cual se obtienen los siguientes resultados:

Paral metálico:

Altura: 3.0 m

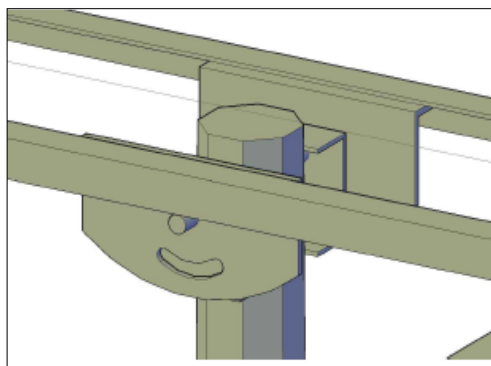
Diámetro cima: 90 mm

Diámetro base 100mm

Peso aprox.: 32 Kg

Soporte para Paneles

Peso aprox.: 31 Kg



Detalle punto rotación

La unión entre Poste y marco metálico de soporte a los paneles viene en condiciones de



UNIÓN TEMPORAL ALIANZA ENERGÉTICA 2022

DOCUMENTACIÓN PROYECTOS



prefabricación de acuerdo a las especificaciones de la empresa “**INGAL de occidente**”, igualmente la unión del poste con el dado de cimentación, se realiza por medio de una placa con especificaciones técnicas de la empresa mencionada con anterioridad.

a. DIMENSIONAMIENTO CIMENTACION

Para el diseño de los cálculos de cimentación se utiliza la ecuación de equilibrio de momentos de Sulzberger(https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/26720/TFG_Ekaitz_Echevarria_Cuesta_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y):

$$0,88 h a^3 + (0,139.K.h^4 + 0,4.P_{apoyo}) a = n.F \left(H + \frac{2}{3}h \right)$$
$$0,88 h a^3 + (0,139.K.h^4 + 0,4.P_{apoyo}) a - n.F \left(H + \frac{2}{3}h \right) = 0$$

Donde:

H: Altura desde el nivel del terreno, hasta el punto de aplicación de la fuerza *F* (metros)

h: Profundidad de la cimentación (metros).

K: Coeficiente de compresibilidad del terreno. (kg/cm³)

P_{apoyo}: peso del apoyo (toneladas).

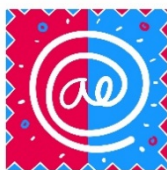
n: Coeficiente de seguridad (mínimo 1.5)

F: Fuerza flectora resultante que actúa sobre el apoyo (toneladas)

a: Lado de la base de la cimentación (metros)

Dentro de las variables antes mencionadas se procederá a realizar el cálculo de *F* (Fuerza flectora resultante que actúa sobre el apoyo), para lo cual se requiere evaluar los esfuerzos horizontales transversales así:

i. ESFUERZOS HORIZONTALES TRANSVERSALES.



UNIÓN TEMPORAL ALIANZA ENERGÉTICA 2022

DOCUMENTACIÓN PROYECTOS



Con base en lo anterior, a continuación, se calculan los esfuerzos debido al viento tanto en el punto de apoyo como en la superficie expuesta del panel solar, Según lo estipulado en el título B de la NSR10.

La presión de diseño Neta

Para sistemas principales de resistencia a Fuerza de viento para edificios o estructuras abiertas se calcula mediante la expresión según lo establecido en B.6.5.13

$$p = q_h G C_N$$

Donde

P = presión de diseño neta

q_h = presión por velocidad evaluada a la altura promedio del panel h, usando la expresión definida en la sección B.6.5.10.

G = factor de efecto ráfaga de la sección B.6.5.8.

C_N = Coeficiente de presión neta determinado de las figs. B.6.5-15A .

La presión por velocidad se calculó mediante la siguiente expresión: (q_h = q_z)

$$q_z = 0.613 K_z K_{zt} K_d V^2 I \text{ en (N/m}^2\text{)}$$

Donde

K_z = coeficiente de exposición de presión por velocidad

K_{zt} = factor topográfico

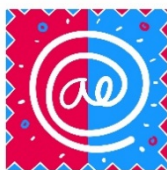
K_d = factor de dirección de viento

V = Velocidad del viento

I = factor de importancia

Cálculo del valor de K_z

Se realiza mediante el uso de la Tabla B.6.5-3



UNIÓN TEMPORAL ALIANZA ENERGÉTICA 2022

DOCUMENTACIÓN PROYECTOS



Altura sobre el terreno Z m	Exposición, Nota 1			
	B		C	D
	Caso 1	Caso 2	Casos 1 y 2	Casos 1 y 2
0 - 45	0.7	0.57	0.85	1.03
6.0	0.7	0.62	0.90	1.08
7.5	0.7	0.66	0.94	1.12
9.0	0.7	0.70	0.98	1.16
12.0	0.76	0.76	1.04	1.22
15.0	0.81	0.81	1.09	1.27
18.0	0.85	0.85	1.13	1.31
20.0	0.89	0.89	1.17	1.34
24.5	0.93	0.93	1.21	1.38
27.5	0.96	0.96	1.24	1.40
30.5	0.99	0.99	1.26	1.43
36.5	1.04	1.04	1.36	1.52
42.5	1.09	1.09	1.36	1.52
49.0	1.13	1.13	1.39	1.55
55.0	1.17	1.17	1.43	1.58
60.0	1.20	1.20	1.46	1.61
76.0	1.28	1.28	1.53	1.68
90.0	1.35	1.35	1.59	1.73
107.0	1.41	1.41	1.64	1.78
122.0	1.47	1.47	1.69	1.82
137.0	1.52	1.52	1.73	1.86
152.0	1.56	1.56	1.77	1.89

Cálculo del valor de Kzt

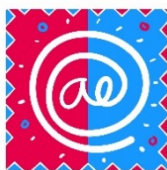
El sitio o la localización de la estructura no cumple las condiciones especificadas en la sección B.6.5.7.1, el valor corresponde a 1

Cálculo del valor de Kd

Se realiza mediante el uso de la Tabla B.6.5-4

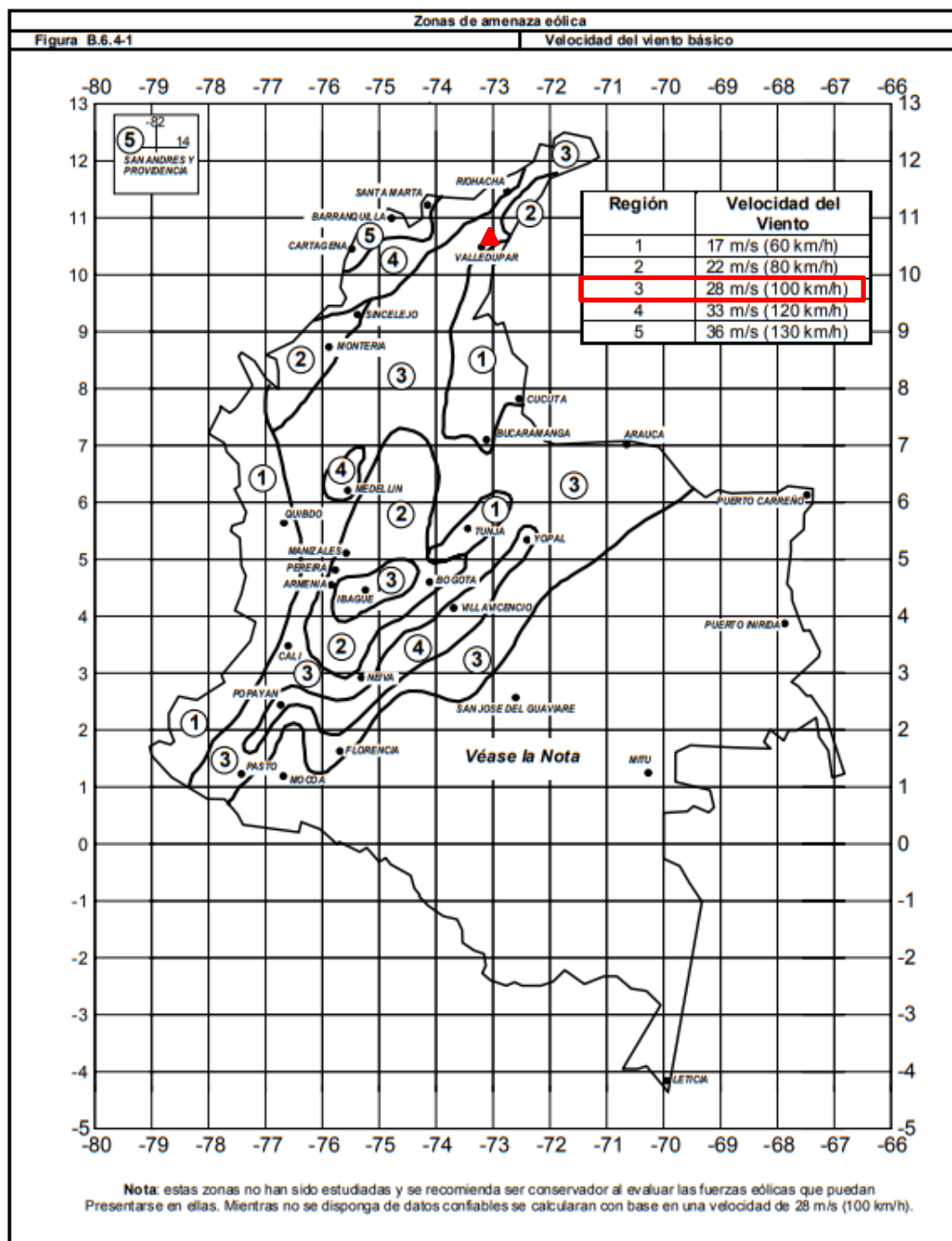
Tipo de Estructura	Factor de Direccionalidad del Viento, K_d^*
Edificios	
Sistema Principal de Resistencia de Cargas de Viento	0.85
Componentes y Recubrimientos	0.85
Cubiertas Abovedadas	0.85
Chimeneas, Tanques y Estructuras Similares	
Cuadradas	0.90
Hexagonales	0.95
Redondas	0.95
Avisos Sólidos	0.85
Avisos Abiertos y Estructura Rectangular	0.85
Torres en Celosía	
Triangular, Cuadrada y Rectangular	0.85
Todas las otras secciones transversales	0.95

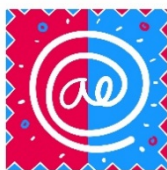
Cálculo del valor de V



DOCUMENTACIÓN PROYECTOS

Se realiza mediante el uso de la Figura B.6.4-1





UNIÓN TEMPORAL ALIANZA ENERGÉTICA 2022

DOCUMENTACIÓN PROYECTOS



Cálculo del valor de I

Se realiza mediante el uso de la Tabla B.6.5-1

Categoría	Regiones no propensas a huracanes, y regiones con posibilidad de huracanes de $V = 40 - 45$ m/s	Regiones con posibilidades de huracanes y $V > 45$ m/s
I	0.87	0.77
II	1.00	1.00
III	1.15	1.15
IV	1.15	1.15

Según lo anterior se tendría al cálculo de la presión por velocidad

$$q_z = 0.613 K_z K_{zt} K_d V^2 I \text{ en (N/m}^2\text{)}$$

$$q_z = 0.613 * 0.57 * 1.00 * 0.95 * 28^2 * 0.87 \frac{N}{m^2}$$

$$q_z = 226.4 \frac{N}{m^2}$$

Cálculo del valor del factor de efecto ráfaga G

Se realiza según se cita en B.6.5.8

El cálculo del factor de ráfaga corresponde a la siguiente expresión:

$$G = 0.925 \left(\frac{(1 + 1.7 g_Q I_z Q)}{1 + 1.7 g_v I_z} \right)$$

Donde

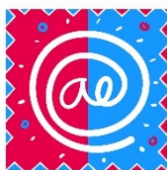
G = Factor de ráfaga

I_z = intensidad de turbulencia a la altura z

z = altura equivalente de la estructura definida como 0.6h, pero no menor a Z_{min}

g_Q = 3,4 Según lo citado en B.6.5.8.1

g_v = 3,4 Según lo citado en B.6.5.8.1



UNIÓN TEMPORAL ALIANZA ENERGÉTICA 2022

DOCUMENTACIÓN PROYECTOS



Q = factor de respuesta del entorno

Para el cálculo de la intensidad de la turbulencia a la altura z, se tiene la siguiente expresión:

$$I_{\bar{z}} = c \left(\frac{10}{\bar{z}} \right)^{1/6}$$

Donde

c = Constante citada en la tabla B.6.5-2

z = altura equivalente de la estructura definida como 0.6h, pero no menor a Zmin

Para el cálculo del factor de respuesta del entorno, se tiene la siguiente expresión:

$$Q = \sqrt{\frac{1}{1 + 0.62 \left(\frac{B + h}{L_{\bar{z}}} \right)^{0.63}}}$$

Donde

B = dimensión horizontal del edificio medido en dirección normal a la dirección del viento

h = Altura media de cualquier estructura. Se debe usar la altura a la cornisa si el ángulo de inclinación es menor o igual a 10 grados, en m.

Lz = longitud integral a escala de la turbulencia

Para el cálculo de la longitud integral a escala de la turbulencia, se tiene la siguiente expresión:

$$L_{\bar{z}} = \ell \left(\frac{\bar{z}}{10} \right)^{\bar{\epsilon}}$$

Donde

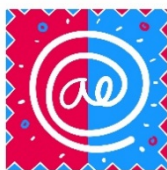
ℓ = Constante citada en la tabla B.6.5-2

E = Constante citada en la tabla B.6.5-2

z = altura equivalente de la estructura definida como 0.6h, pero no menor a Zmin

A continuación, se relaciona la tabla B.6.5-2

Exposición	α	Z _g (m)	â	ĥ	ᾱ	ḃ	c	ℓ (m)	ε̄	Z _{min} * (m)
B	7.0	365.8	1/7.0	0.84	1/4.0	0.45	0.30	97.5	1/3	9.0
C	9.5	274.3	1/9.5	1.00	1/6.5	0.65	0.20	152.4	1/5	4.5
D	11.5	213.4	1/11.5	1.07	1/9.0	0.80	0.15	198.1	1/8	2.0



UNIÓN TEMPORAL ALIANZA ENERGÉTICA 2022

DOCUMENTACIÓN PROYECTOS



Esta tabla está directamente relacionada con los grados de exposición citados en el numeral B.6.5.6.3, para el presente proyecto, el grado de exposición dadas las condiciones rurales y dispersas de los beneficiarios, como se define en Rugosidad de Terreno B, en la que prevalece por una distancia de al menos 800 m o 20 veces la altura de los paneles, es decir un grado de **Exposición B**

Dadas estas condiciones se realizan los cálculos correspondientes:

Cálculo de la intensidad de la turbulencia a la altura z:

$$I_z = c \left(\frac{10}{z} \right)^{1/6}$$

El valor c se obtiene:

Exposición	α	Z_g (m)	$\hat{a}$	$\hat{b}$	$\bar{\alpha}$	$\bar{b}$	c	ℓ (m)	$\bar{\epsilon}$	Z_{min}^* (m)
B	7.0	365.8	1/7.0	0.84	1/4.0	0.45	0.30	97.5	1/3	9.0
C	9.5	274.3	1/9.5	1.00	1/6.5	0.65	0.20	152.4	1/5	4.5
D	11.5	213.4	1/11.5	1.07	1/9.0	0.80	0.15	198.1	1/8	2.0

La altura Z corresponde a 0,6h, es decir 0,6*3m $z=1,8m$

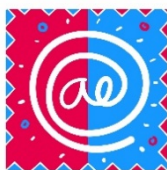
Cabe aclarar que el valor de Z no puede ser menor al Zmin de la misma tabla

Exposición	α	Z_g (m)	$\hat{a}$	$\hat{b}$	$\bar{\alpha}$	$\bar{b}$	c	ℓ (m)	$\bar{\epsilon}$	Z_{min}^* (m)
B	7.0	365.8	1/7.0	0.84	1/4.0	0.45	0.30	97.5	1/3	9.0
C	9.5	274.3	1/9.5	1.00	1/6.5	0.65	0.20	152.4	1/5	4.5
D	11.5	213.4	1/11.5	1.07	1/9.0	0.80	0.15	198.1	1/8	2.0

Por tanto

$$I_z = 0,3 * \left(\frac{10}{9} \right)^{1/6}$$
$$I_z = 0,305$$

Cálculo del factor de respuesta del entorno:



$$Q = \sqrt{\frac{1}{1 + 0.62 \left(\frac{B + h}{L_z} \right)^{0.63}}}$$

Para el cálculo de B, se tienen dos paneles de base 1,039m, es decir una distancia horizontal total de 1,039m * 2 = 2,078m, $B = 2,078\text{m}$

Para el cálculo de h se toma como la altura al centro de gravedad de los paneles es decir $h = 3\text{m}$

Para el cálculo de L_z desarrollamos la expresión:

$$L_z = \ell \left(\frac{\bar{z}}{10} \right)^{\bar{\epsilon}}$$

De la tabla obtenemos

Exposición	α	Z_g (m)	$\hat{a}$	$\hat{b}$	$\bar{\alpha}$	$\bar{b}$	c	ℓ (m)	$\bar{\epsilon}$	$Z_{\min}^*$ (m)
B	7.0	365.8	1/7.0	0.84	1/4.0	0.45	0.30	97.5	1/3	9.0
C	9.5	274.3	1/9.5	1.00	1/6.5	0.65	0.20	152.4	1/5	4.5
D	11.5	213.4	1/11.5	1.07	1/9.0	0.80	0.15	198.1	1/8	2.0

Calculando

$$L_z = 97,5 * \left(\frac{9}{10} \right)^{1/3}$$
$$L_z = 94,13$$

Con los anteriores valores hallados se realiza el cálculo del factor de respuesta del entorno

$$Q = \sqrt{\frac{1}{1 + 0.62 \left(\frac{B + h}{L_z} \right)^{0.63}}}$$

$$Q = \sqrt{\frac{1}{1 + 0,62 * \left(\frac{2,078 + 3}{94,13} \right)^{0,63}}}$$



UNIÓN TEMPORAL ALIANZA ENERGÉTICA 2022

DOCUMENTACIÓN PROYECTOS



$$Q = 0,95$$

El factor de ráfaga correspondería por tanto a:

$$G = 0.925 \left(\frac{(1 + 1.7g_Q I_z Q)}{1 + 1.7g_v I_z} \right)$$

$$G = 0,925 * \left(\frac{(1 + 1,7 * 3,4 * 0,305 * 0,955)}{1 + 1,7 * 3,4 * 0,305} \right)$$
$$\boxed{G = 0,898}$$

A continuación, se realiza el cálculo del coeficiente de presión neta mediante la Figura B.6.5-15A



Sistema Principal Resistente a Fuerzas de Viento		$0.25 \leq h/L \leq 1.0$
Figura B.6.5-15A	Coeficientes de Presión Neta, C_N	Cubiertas libres de una pendiente
Edificios Abiertos		$\theta \leq 45^\circ, \gamma = 0^\circ, 180^\circ$

Ángulo de la Cubierta θ	Caso de Carga	Dirección del Viento $\gamma = 0^\circ$				Dirección del Viento $\gamma = 180^\circ$			
		Flujo de Viento Libre		Flujo de Viento Obstruido		Flujo de Viento Libre		Flujo de Viento Obstruido	
		C_{NW}	C_{NL}	C_{NW}	C_{NL}	C_{NW}	C_{NL}	C_{NW}	C_{NL}
0°	A	1.2	0.3	-0.3	-1.2	1.2	0.3	-0.5	-1.2
	B	-1.1	-0.1	-1.1	-0.6	-1.1	-0.1	-1.1	-0.6
7.5°	A	-0.6	-1.0	-1	-1.5	0.9	1.5	-0.2	-1.2
	B	-1.4	0.0	-1.7	-0.8	1.6	0.3	0.8	-0.3
15°	A	-0.9	-1.3	-1.1	-1.5	1.3	1.6	0.4	-1.1
	B	-1.9	0.0	-2.1	-0.6	1.8	0.6	1.2	-0.3
22.5°	A	-1.5	-1.6	-1.5	-1.7	1.7	1.8	0.5	-1.0
	B	-2.4	-0.3	-2.3	-0.9	2.2	0.7	1.3	0.0
36°	A	-1.8	-1.8	-1.5	-1.8	2.1	2.1	0.6	-1.0
	B	-2.5	-0.5	-2.3	-1.1	2.6	1.0	1.6	0.1
37.5°	A	-1.8	-1.8	-1.5	-1.8	2.1	2.2	0.7	-0.9
	B	-2.4	-0.6	-2.2	-1.1	2.7	1.1	1.9	0.3
45°	A	-1.6	-1.8	-1.3	-1.8	2.2	2.5	0.8	-0.9
	B	-2.3	-0.7	-1.9	-1.2	2.6	1.4	2.1	0.4

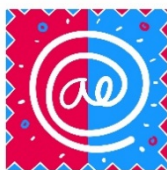
De acuerdo a la anterior figura se tiene un valor de $C_N=1,8$; teniendo en cuenta el ángulo de inclinación de la cubierta de 15° , con un flujo de viento libre y en ambos casos la presión es positiva en los paneles, por lo que se toma el punto más crítico.

Por último, se calcula el valor de la presión de diseño Neta mediante la expresión:

$$p = q_h G C_N$$

$$p = 226,4 * 0,898 * 1,8$$

$$p = 366 \text{ N/m}^2$$



UNIÓN TEMPORAL ALIANZA ENERGÉTICA 2022

DOCUMENTACIÓN PROYECTOS



$$p = 36.6 \text{ kg/m}^2$$

$$p = 40 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

En el título B de la NSR-10, en la sección de B.6.1.3.1 se manifiesta que el mínimo valor para las presiones es de 0.4 kN/m²., por eso se reemplaza este valor de acá en adelante.

Cálculo de fuerza de viento en todo el montaje

De acuerdo al resultado obtenido para el valor de la presión neta, se realiza el cálculo de las fuerzas de viento para cada uno de los elementos del montaje, es decir al cálculo de la fuerza aplicada a los paneles y la fuerza aplicada al poste.

Fuerza de viento sobre Paneles:

Dado que el panel se encuentra ubicado de manera oblicua, con una inclinación de 15°, la fuerza del viento sobre este actúa en la dirección transversal, a una altura de incidencia coincidente con el centroide de su parte expuesta y es calculada mediante la siguiente expresión:

$$F_{V(\text{Paneles})} = p * S_{X(\text{paneles})}$$

$$S_{X(\text{paneles})} = L.A.\theta$$

Donde:

L : Largo del panel [m].

A : Ancho del panel [m].

θ : Ángulo de inclinación de la estructura, el cual va de 0 a 60°.

Los valores correspondientes para el cálculo del área efectiva de panel serán

L : 2,096

A : $1,039 * 2 = 2,078$

θ : Sen 15° Tomando como valor de inclinación recomendado en un Angulo de 15°



UNIÓN TEMPORAL ALIANZA ENERGÉTICA 2022

DOCUMENTACIÓN PROYECTOS



Nota: Para efectos de asignación de valores de diseño relacionado con el ángulo de inclinación de los paneles solares, se toma un ángulo de 15° como valor crítico de exposición, que mayor y brinda un factor de seguridad en la variabilidad de la inclinación del panel solar en campo, tomando además el valor más crítico de la tabla B.6.5-15A de la NSR-10, dado que la inclinación de 10 grados está en el intervalo de 7,5 a 15 grados. La instalación se realiza con un ángulo de 10°.

Área efectiva del panel corresponde a

$$S_{X(\text{paneles})} = 2.096.2.078. \text{ Sen } 15^\circ$$

$$S_{X(\text{paneles})} = 1,127 \text{ m}^2$$

Calculando la fuerza de viento sobre los paneles:

$$F_{V(\text{Paneles})} = 40 \text{ kg/m}^2 * 1,127 \text{ m}^2$$

$$F_{V(\text{Paneles})} = 45,09 \text{ kg}$$

Fuerza de viento sobre Poste:

Dado que el poste se encuentra ubicado de forma vertical, con una inclinación de 90°, la fuerza del viento sobre este actúa en la dirección horizontal, a una altura de incidencia coincidente con el centroide de su parte expuesta y es calculada mediante la siguiente expresión:

$$F_{V(\text{Poste})} = p * S_{X(\text{poste})}$$

$$S_{X(\text{poste})} = h * ((D(\text{base}) + D(\text{cima}))/2)$$

Donde:

h : altura del par [m].

$D(\text{base})$: Diámetro en la base del par

$D(\text{cima})$: Diámetro en la cima del par

Los valores correspondientes para el cálculo del área efectiva de poste serán

h : 3.

$D(\text{base})$: 100mm



UNIÓN TEMPORAL ALIANZA ENERGÉTICA 2022

DOCUMENTACIÓN PROYECTOS



$D(cima)$: 90mm

Área efectiva del poste corresponde a

$$S_{X(poste)} = 3 * ((0,10 + 0,09)/2$$

$$S_{X(poste)} = 0,29 \text{ m}^2$$

Calculando la fuerza de viento sobre el poste:

$$F_{V(poste)} = 40 \text{ kg/m}^2 * 0,29 \text{ m}^2$$

$$F_{V(poste)} = 11.6 \text{ kg}$$

Cálculo de Momentos originados por fuerzas de viento en todo el montaje

Cálculo del momento debido al viento sobre Paneles. Está dado por la expresión:

$$M_{(paneles)} = F_{V(paneles)} \cdot h_1$$

Donde:

$F_{V(paneles)}$: Cálculo de carga del viento sobre el equipo [kgf].

h_1 : Altura donde se encuentra el equipo [m].

Solucionando

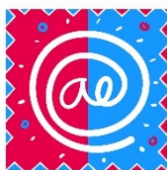
$$M_{(paneles)} = 45,09 \text{ kg} * 3 \text{ m}$$

$$M_{(paneles)} = 135,27 \text{ Kg} \cdot \text{m}$$

Cálculo de momento debido al viento sobre poste. Se calcula como:

$$M_{(poste)} = F_{V(poste)} \cdot \left[h_1 - \left[\left(\frac{2d_b + d_c}{d_b + d_c} \right) \frac{h_1}{3} \right] \right]$$

Donde:



UNIÓN TEMPORAL ALIANZA ENERGÉTICA 2022

DOCUMENTACIÓN PROYECTOS



$F_{V(poste)}$: Cálculo de carga del viento sobre el poste [kgf].

h_1 : Altura libre del poste [m].

d_b : Diámetro exterior del poste en la base [m],

d_c : Diámetro exterior del poste en la cima [m].

$$M_{(poste)} = 11.6 \text{ kg} * \left[3 - \left[\left(\frac{2 * 0,10 + 0,09}{0,10 + 0,09} \right) \frac{3}{3} \right] \right]$$

$$M_{(poste)} = 17.1 \text{ Kgf} - m$$

Calculando la Mínima Carga de Rotura del Apoyo:

$$F_T = \frac{(M_{(paneles)} + M_{(poste)})}{h}$$

$$F_T = \frac{(135.27 \text{ Kgf} - m + 17.1 \text{ Kgf} - m)}{3}$$

$$F_T = 50,79 \text{ Kgf}$$

Luego de obtener la Fuerza flectora resultante se procede a la aplicación de la ecuación de equilibrio de momentos de Sulzberger, para el diseño y dimensionamiento de la de cimentación, se retoman las variables descritas y se da a conocer el procedimiento de cálculo:

$$0,88 h a^3 + (0,139.K.h^4 + 0,4.P_{apoyo}) a - n.F \left(H + \frac{2}{3}h \right) = 0$$

Donde:

HT : Altura del poste o tubo (m).

H : Altura desde el nivel del terreno, hasta el punto de aplicación de la fuerza F (metros)

h : Profundidad de la cimentación (metros).

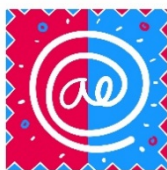
K : Coeficiente de compresibilidad del terreno (kg/cm³)

P_{apoyo} : peso del apoyo (toneladas).

n : Coeficiente de seguridad (mínimo 1.5)

F : Fuerza flectora resultante que actúa sobre el apoyo (toneladas)

a : Lado de la base de la cimentación (metros)



UNIÓN TEMPORAL ALIANZA ENERGÉTICA 2022

DOCUMENTACIÓN PROYECTOS



Momento de vuelco. El momento de volcamiento será producido por la fuerza flectora F , por lo tanto, su expresión matemática está dada por:

$$M_V = F \cdot \left(H + \frac{2}{3}h \right)$$

Donde:

M_V : Momento de vuelco de todas las fuerzas exteriores (T*m.)

F : Fuerza flectora resultante que actúa sobre el apoyo (T).

H : Altura sobre el terreno, hasta el punto de aplicación de F (m).

h : Altura de la cimentación en metros (m).

Momento estabilizador. El momento estabilizador será generado por el momento estabilizador del terreno M_1 , más el momento estabilizador de las cargas verticales M_2 (peso de la tubería + peso del cimiento de hormigón), por lo tanto, su expresión matemática está dada por:

$$M_E = M_1 + M_2$$

A su vez:

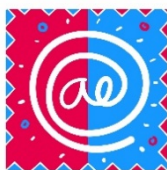
$$M_1 = 0,139.k.h^4.a$$

Donde:

k : Coeficiente de compresibilidad del terreno.

En las siguientes tablas se muestra la correlación existente entre la naturaleza del terreno descrita en la tabla anterior con su equivalente dentro del sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS):

Tabla 1. Valores coeficiente de compresibilidad k . (Fuente Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión RLAT).



UNIÓN TEMPORAL ALIANZA ENERGÉTICA 2022

DOCUMENTACIÓN PROYECTOS



Naturaleza del terreno	Peso específico aparente Tn/m³	Ángulo de talud natural Grados sexag.	Carga admisible daN/cm²	Coefficiente de rozamiento entre cimiento y terreno al arranque Grados sexag.	Coefficiente de compresibilidad a 2 m de profundidad daN/cm² (b)
I. Rocas en buen estado: Isótropas			30-60 10-20		
II. Terrenos no coherentes: a) Gravera arenosa (mínimo 1/3 de volumen de grava hasta 70 mm de tamaño)	1,80-1,90		4-8	20°-22°	
b) Arenoso grueso (con diámetros de partículas entre 2 mm y 0,2 mm)	1,60-1,80	30°	2-4	20°-25°	8-20
c) Arenoso fino (con diámetros de partículas entre 2 mm y 0,2 mm)	1,50-1,60		1,5-3		
III. Terrenos no coherentes sueltos: a) Gravera arenosa	1,70-1,80		3-5		
b) Arenoso grueso	1,60-1,70	30°	2-3		
c) Arenoso fino	1,40-1,50		1-1,5		8-12
IV. Terrenos coherentes (a): a) Arcilloso duro	1,80		4	20°-25°	10
b) Arcilloso semiduro	1,80	20°	2	22°	6-8
c) Arcilloso blando	1,50-2,00		1	14°-16°	4-5
d) Arcilloso fluido	1,60-1,70		-	0°	2-3
V. Fangos turbosos y terrenos pantanosos en general	0,60-1,1		(c)		(c)
VI. Terrenos de relleno sin consolidar	1,40-1,60	30°-40°	(c)	14°-20°	(c)

(a) Duro: Los terrenos con su humedad natural rompen difícilmente con la mano. Tonalidad en general clara.
Semiduro: Los terrenos con su humedad natural se amasan difícilmente con la mano. Tonalidad en general oscura.
Blando: Los terrenos con su humedad natural se amasan fácilmente, permitiendo obtener entre las manos cilindros de 3 mm de diámetro. Tonalidad oscura.
Fluido: Los terrenos con su humedad natural presionados en la mano cerrada fluyen entre los dedos. Tonalidad en general oscura.
(b) Puede admitirse que sea proporcional a la profundidad en que se considere la acción.
(c) Se determinará experimentalmente.

**Se sume que el coeficiente compresibilidad k se mantiene en los primeros 2.0 metros de profundidad del terreno, por consiguiente se usa este valor de k para la estructura de cimentación, ya que está a una cota de N.C - 0.70 m del terreno .*

Tabla 2. Relación de Naturaleza del terreno con SUCS

Naturaleza del terreno		Coeficiente de compresibilidad K (deN/cm3)																			
		Ⓒ	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Rocas en buen estado:	Isotropas																				
	Estratificadas (Con alguna grietas)																				
Terrenos no coherentes:	a) Gravera arenosa (mínimo 1/3 de volumen de grava hasta 70 mm de tamaño)																				
	b) Arenoso grueso (con diámetros de partículas entre 2mm y 0,2mm)																				
	c) Arenoso fino (con diámetros de partículas entre 2mm y 0,2mm)																				
Terrenos no coherentes sueltos:	a) Gravera arenosa																				
	b) Arenoso grueso																				
	c) Arenoso fino																				
Terrenos coherentes (a):	a) Arcilloso duro																				
	b) Arcilloso semiduro																				
	c) Arcilloso blando																				
	d) Arcilloso fluido																				
Fangos turbosos y terrenos pantanosos en general																					
Terrenos de relleno sin consolidar																					
Equivalencia en sistema Unificado de clasificación de suelos (SUCS)		MH, OL, OH, CH, Pt					SW, SM, SP, ML, CL					GW, GM, GP, GC									

De lo anterior se pueden identificar tres rangos de materiales de suelo correspondientes a tres valores máximos estimados de coeficiente de compresibilidad como se indica a continuación:

$k = 20$ de N/ cm³ ≈ 20 kg/cm³ para terrenos granulares (Tipo I=GW, GM, GP, GC).

$k = 10$ de N/ cm³ ≈ 10 kg/cm³ para terrenos normales (Tipo II=SW, SM, SP, ML, CL).

$k = 5$ de N/ cm³ ≈ 5 kg/cm³ para terrenos blandos. (Tipo III=MH, OL, OH, CH, Pt).



UNIÓN TEMPORAL ALIANZA ENERGÉTICA 2022

DOCUMENTACIÓN PROYECTOS



Se sume que el coeficiente compresibilidad k se mantiene en los primeros 2 metros de profundidad.

Y la expresión para el momento de cargas verticales M_2 es:

$$M_2 = 0,4. a. (P_{cimiento} + P_{apoyo})$$

Donde:

$P_{cimiento}$: peso de la cimentación (T).

P_{apoyo} : peso del apoyo (T).

a : Lado del cimiento (m).

Como la densidad del concreto es $2,2 \text{ T/m}^3$, al colocar esta ecuación en función del volumen de la cimentación ($V = h. a^2$), se tiene:

$$M_2 = 0,88. h. a^3 + 0,4. a. P_{apoyo}$$

Con el fin de garantizar la estabilidad de la estructura, el momento de vuelco debe ser contrarrestado con el momento estabilizador del terreno y con el momento estabilizador del bloque de hormigón y del apoyo, por lo tanto,

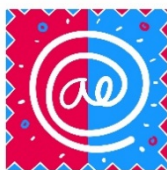
$$M_V \leq M_1 + M_2$$

Aplicando un coeficiente de seguridad n el cual, para hipótesis normal de diseño, no deberá ser inferior a 1,5:

$$M_v = \frac{M_1 + M_2}{n}$$

Reemplazando por las expresiones anteriores, la ecuación final queda como:

$$F * \left(H + \frac{2}{3} h \right) = \frac{0.139 * K h^4 a + 0.88 * h a^3 + 0.4 * a P_{apoyo}}{n}$$



Y reacomodando términos, se obtiene la ecuación de Sulzberger, de la forma:

$$0.88 * ha^3 + (0.139 * Kh^4 + 0.4 * P_{apoyo})a - nF \left(H + \frac{2}{3}h \right) = 0$$

Para el diseño de la cimentación y teniendo en cuenta las condiciones de los tipos de material presente en el suelo del Municipio de VILLANUEVA se resumen en las tablas 2:

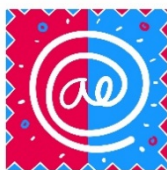
Tabla 2. Condiciones de tipo de material Municipio de VILLANUEVA.

CIMENTACION	DIMENSION	MEJORAMIENTO DEL SUELO Y RELLENOS	TIPO DE SUELO
Tipo 1	0.8*0.31*0.31	Concreto de solado y nivelación e=5 cm, el relleno alrededor del cimiento se puede hacer con el material de la misma excavación compactado. Se debe garantizar un recubrimiento de 5 cm. en los concretos con respecto a cualquier refuerzo.	Suelo tipo GW, (Grava bien gradada, mezclas gravosas, poco o ningún fino).
			Suelo tipo GP, (Grava mal gradada, mezclas grava – arena, poco o ningún fino).
			Suelo tipo GM, (Grava limosa, mezclas grava, arena, limo).
			Suelo tipo GC, (Grava arcillosa, mezclas grava – arena arcillosas).
Tipo 2	0.8*0.4*0.4	Concreto de solado y nivelación e=7 cm, el relleno alrededor del cimiento se puede hacer con material seleccionado de la misma excavación compactado. Se debe garantizar un recubrimiento de 7 cm. en los concretos con respecto a cualquier refuerzo.	Suelo tipo SW (Arena bien gradada)
			Suelo tipo SP, (Arena mal gradada, arenas gravosas, poco o ningún fino).
			Suelo tipo SM, (Arenas limosas, mezclas arena – limo).
			Suelo tipo SC, (Arenas arcillosas, mezclas arena – arcilla.)
			Suelo tipo ML, (Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, limo arcilloso, poco plástico, arenas finas limosas, arenas finas arcillosas).
			Suelo tipo CL, (Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras).
Tipo 3*	0.8*0.54*0.54	Concreto de solado e=10 cm., el relleno alrededor del cimiento se debe hacer con material seleccionado de la misma excavación compactado. Se debe garantizar un recubrimiento de 10 cm. en los concretos con respecto a cualquier refuerzo.	Suelo tipo MH (Limos inorgánicos, suelos limosos o arenosos finos, suelos elásticos).
			Suelo tipo OL (Limos orgánicos, arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad)
			Suelo tipo CH (Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas gruesas)
			Suelo tipo OH, (Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta, limos orgánicos)
			Suelo tipo Pt, (Turba y otros suelos altamente orgánicos)

* Cimentación seleccionada de acuerdo a caracterización del suelo de la zona

De acuerdo a la tabla anterior, se establece que hay 3 propuestas de cimentación de material de suelo, este proyecto se ubica en el intervalo correspondiente a la cimentación tipo 2.

En el Título H de la NSR-10, se manifiesta que se debe analizar la estabilidad de la estructura en contacto con el suelo, ya que se pueden presentar diferentes eventos como lo son arrancamiento, desplazamientos, volteo que es cuando la carga a transmitir al suelo tiene momento (que es el caso) o es excéntrica con respecto a la fundación y el suelo es compresible, estas condiciones se pueden llegar a desarrollar en esta estructura, por lo que se maneja un factor de seguridad para darle así más estabilidad a la estructura de cimentación, en este caso el Factor de Seguridad a

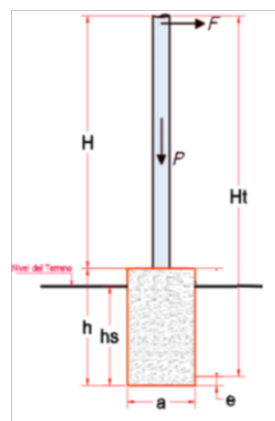


usar es de 1.08, aplicado como factor de mayoración a la carga flectora resultante F , con el fin de tener una cimentación de acorde a las condiciones de terreno y asegurar una correcta estabilidad.

Como base para el diseño de cimentación del dado se toma la ficha técnica del Panel Solar Jinko de 435-455 W. El valor del Peso de apoyo (P apoyo) se toma del cálculo de las suma de las cantidades del peso de los dos paneles, el apoyo de los paneles, y la estructura metálica del poste.

Así mismo los resultados del cálculo de la cimentación para el Municipio de VILLANUEVA se presentan a continuación:

Figura 1. Detalles del Soporte para el panel solar fotovoltaico – Municipio VILLANUEVA, LA GUAJIRA.



DISEÑO DE CIMENTACIONES PARA POSTES - VIVIENDA FAMILIAR
ECUACION DE EQUILIBRIO DE MOMENTOS METODO DE SULZBERGER

$$0,88 h a^3 + (0,139 K h^4 + 0,4 P_{\text{apoyo}}) a - n F (H + \frac{2}{3} h) = 0$$

- HT:** Altura del poste o tubo galvanizado ($H+Ht$) (m)
H: Altura desde el cimiento hasta el punto de aplicación de F (m)
h: Altura total del cimiento (m).
hs: Profundidad del cimiento desde el nivel del terreno (m)
K: Coeficiente de compresibilidad del terreno (Kg/m^2)
 P_{apoyo} : peso del apoyo en toneladas (t).
n: Coeficiente de seguridad (mínimo 1.5)
F: Fuerza flectora resultante que actúa sobre el apoyo en toneladas (t)
a: Lado de la base de la cimentación
e: Recubrimiento (m)

$$0,88 h a^3$$

$$(0,139 K h^4 + 0,4 P_{\text{apoyo}}) a$$

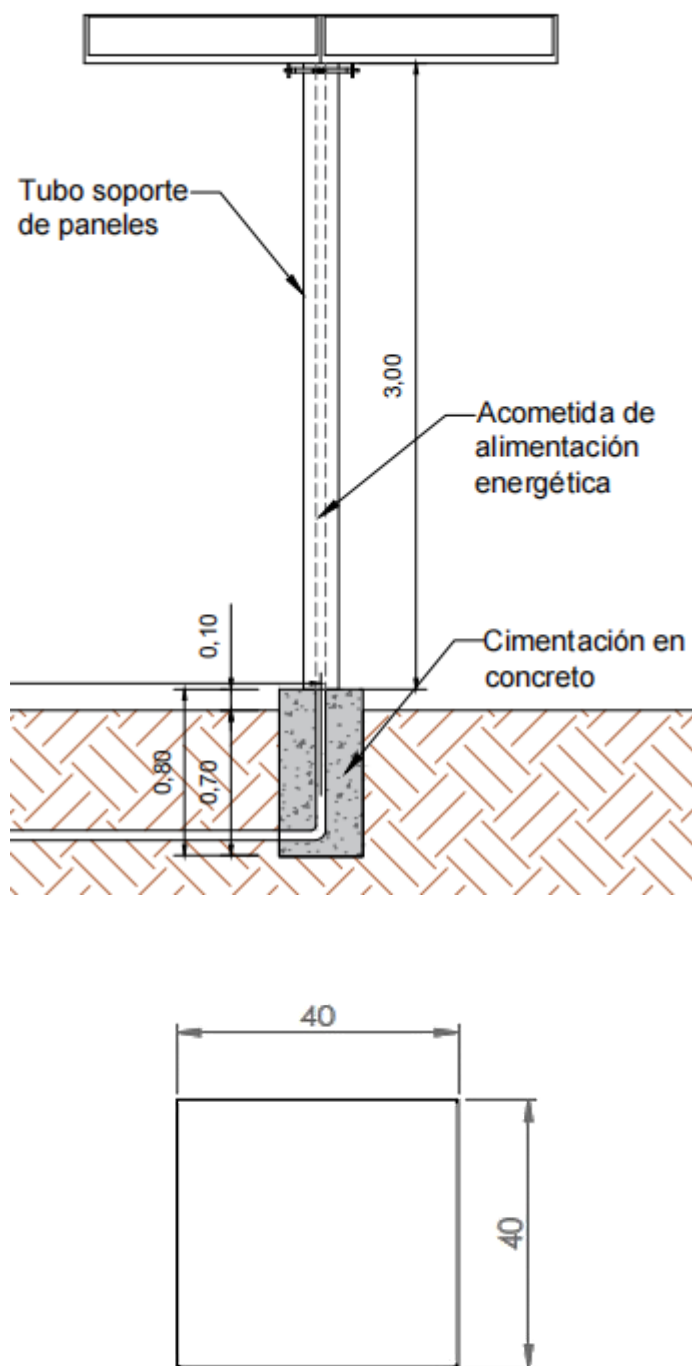
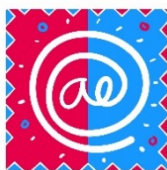
$$n F (H + \frac{2}{3} h)$$

$$0,88 h a^3 + (0,139 K h^4 + 0,4 P_{\text{apoyo}}) a$$

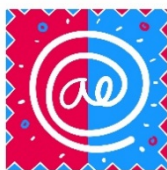
HT (m)	H (m)	h (m)	K	Papoyo (t)	n	F (t)	a (m)	0,88 h a ³	(0,139 K h ⁴ + 0,4 P _{apoyo}) a	n F (H + $\frac{2}{3}$ h)	0,88 h a ³ + (0,139 K h ⁴ + 0,4 P _{apoyo}) a	Tipo de Cimentación
3,80	3,00	0,8	5	0,113	1,5	0,05484	0,540	0,11	0,18	0,29	0,29	Tipo 3
3,80	3,00	0,8	10	0,113	1,5	0,05484	0,400	0,05	0,25	0,29	0,29	Tipo 2
3,80	3,00	0,8	20	0,113	1,5	0,05484	0,240	0,01	0,28	0,29	0,29	Tipo 1

A continuación, se presenta el detalle constructivo de la cimentación estimada del soporte para paneles solares fotovoltaico, para el Municipio de VILLANUEVA (Véase figura 2).

Figura 2. Detalle del panel Solar fotovoltaico – Municipio VILLANUEVA, LA GUAJIRA.



B. REFUERZO DE ACERO



UNIÓN TEMPORAL ALIANZA ENERGÉTICA 2022

DOCUMENTACIÓN PROYECTOS

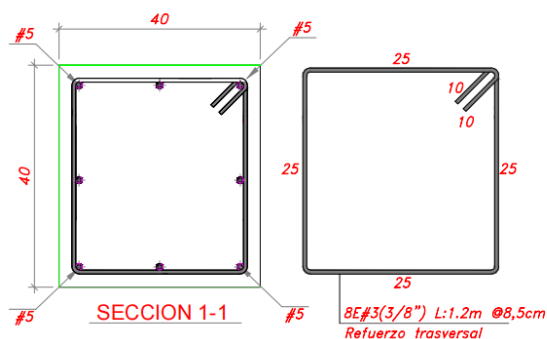


Se realiza el cálculo de los esfuerzos de acero para el dado de cimentación diseñado para el municipio de VILLANUEVA en el departamento de LA GUAJIRA.

Avalúo de cargas.

VIVAS	
Ayudantes (kg)	80
MUERTAS	
Panel	50.20
Estructura panel	31.00
Paral	32.00
Total kg	193.2

ACERO LONGITUDINAL



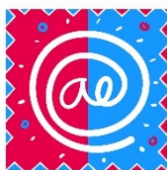
PEDESTAL PD-1 40x40x80 cm

Los pedestales de 0.40mx0.40m cuentan con una cuantía longitudinal de $0.005 \cdot A_g$ donde A_g es el área bruta del elemento soportado según C.15.8.2.1.(NSR-10, Título C)

$$A_g 1 = 0.005 \cdot A_g = 0.005 \cdot 40\text{cm} \cdot 40\text{cm} = 8\text{cm}^2$$

Ag #5 (1 unidad)	1,98	cm ²
Ags acero superior	5,94	cm ²
Agm acero medio	3,96	cm ²
Agi acero inferior	5,94	cm ²
Ag 2 Total	15,83	cm ²

Ag1 cm ²	<<	Ag2 cm ²
---------------------	----	---------------------



UNIÓN TEMPORAL ALIANZA ENERGÉTICA 2022



DOCUMENTACIÓN PROYECTOS

8	<<	15,83
---	----	-------

Usar	3#5+2#5+3#5
------	-------------

ESTRIBOS

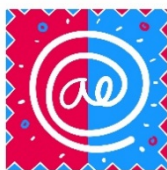
Los estribos a usar tienen una dimensión de 0.25*0.25 m con ganchos de 0,10 m y cuentan con un recubrimiento de 0,075m a cada lado. La separación del refuerzo transversal se toma como lo enuncia el C.7.10.5.2 NSR-10 que indica que la separación no debe exceder:

- A) 16 veces el diámetro de la barra longitudinal = $16 * 1,59\text{cm} = 25,44\text{ cm}$
- B) 48 veces el diámetro del estribo = 45.6cm
- C) Menor dimensión del elemento a compresión = 40.0cm

Usar	9E#3 L:1.20m @8.5 cm
------	----------------------

Desde el consultor se recomienda en el diseño instalar estribos cada 8.5 cm para un total de 9 unidades en la distribución de lo alto del dado, esto con el fin de que los pernos se unan a estos estribos y aumenten su capacidad de soportar el mástil.

LONGITUD DE DESARROLLO ESTRIBOS		
Estribos a usar	25	cm
Recubrimiento	15	cm
Longitud de desarrollo - NSR 10 fig CR 12.5 (4db+4db=8db)	7,62	cm
Longitud de desarrollo a usar *por proceso constructivo	10	cm



COMENTARIO©

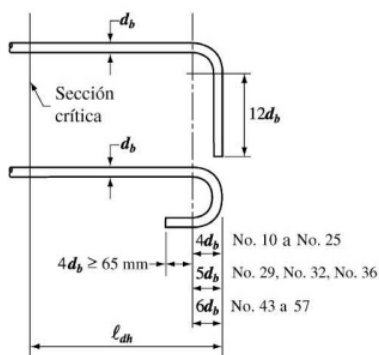


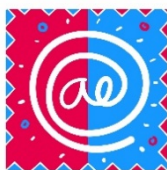
Fig. CR12.5 — Detalles de barras dobladas para desarrollar el gancho estándar

N + 0.10m				
0.8 m	1	PD-1 40x40cm	9E#3 L:1.2m @8.5cm	67 4#5 25
N.C - 0.70m				
		9E#3 L:1.2m	8#5 L:0.92m	

PEDESTAL PD-1: 40x40x80 cm

La cimentación recomendada es un dado con las dimensiones de 0,40*0,40*0,80 metros, y un concreto de resistencia de 21MPa; se debe garantizar el correcto flujo del agua, ya que la escorrentía puede alterar la relación de los finos en el suelo alrededor de la estructura, conllevando a una desestabilización de la misma, por esto se debe evitar los empozamientos permitiendo así que el agua pase y no se quede cerca del dado.

La conexión entre el dado de cimentación y el mástil se realiza por medio de la placa en la parte inferior del poste, donde se acoplan 4 pernos con punta roscada previamente fundidos dentro del dado, esto se presenta en los planos adjuntos. El comportamiento entre la placa y el dado se contempla en la ficha técnica del fabricante anexa a este documento.



UNIÓN TEMPORAL ALIANZA ENERGÉTICA 2022



DOCUMENTACIÓN PROYECTOS

Capacidad portante

- Estudio de suelos:

Edificación	Tipo de cimentación
Pedestal para paneles solares	Pedestales de concreto de 0.40 x 0.40 cimentado a -0.70 m (h1) donde $Q_{adm} = 2.71 \text{ Kg/cm}^2$

- Diseño

$$\sigma = \frac{F_v}{Area_{base}} = \frac{(113,2kg + (0,40m * 0,40m * 0,80m * 2200kg/m^3))}{1600cm^2} = 0,25 \text{ kg/cm}^2$$

$\sigma \text{ kg/cm}^2$	<<	$\sigma_{adm} \text{ kg/cm}^2$
0,25	<<	2.71

R7.10.5.6 — En el Reglamento ACI 318 de 2002, se agregaron las disposiciones para el confinamiento de los pernos de anclaje que se colocan en los extremos de las columnas o pedestales. El confinamiento mejora la transferencia de carga desde los pernos de anclaje hacia la columna o pila para las situaciones en que el concreto se fisura en las cercanías de los pernos. Esta fisuración puede ocurrir debido a fuerzas imprevistas causadas por temperatura, retracción restringida y efectos similares.