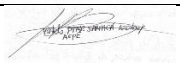
MEMORIA DE CÁLCULOS MICROPILOTES PARA MESA DE SOPORTE MODULOS FOTOVOLTAICOS. PROYECTO AUTOGENERADOR PTAR SAMACÁ 100 kWn.

MEMORIA DE CÁLCULOS

Septiembre 2025

MEMORIA DE CALCULO MICROPILOTES PARA MESA DE SOPORTE MODULOS FOTOVOLTAICOS. PROYECTOS AUTOGENERADOR PTAR SAMACÁ.		
Participación	Nombres	Firmas
Desarrollo	Gabriela Burgos T.P. 091037-0774033 CNDB	
Desarrollo	Juan David Rincón	
Aprobó	Juan David Rincón	

Introducción

La presente memoria de cálculo tiene como objetivo documentar el diseño y la verificación estructural de los micropilotes empleados en el cerramiento perimetral y en la cimentación de pilares de mesas para el proyecto AUTOGENERADOR PTAR SAMACÁ. Estos elementos de cimentación profunda se diseñan para garantizar la estabilidad y la seguridad de la estructura frente a las acciones permanentes y variables que actúan durante su vida útil.

Los micropilotes constituyen una solución eficiente cuando se requiere transmitir cargas al terreno a través de elementos de pequeño diámetro, asegurando un adecuado anclaje por adherencia entre el refuerzo y el concreto, así como una resistencia suficiente frente a los esfuerzos de compresión, tracción, flexión y cortante.

El proceso de cálculo se realiza en concordancia con los lineamientos establecidos en el *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10* (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010), el cual define los criterios mínimos para el análisis y diseño de cimentaciones, considerando tanto la capacidad resistente del suelo como las solicitaciones inducidas por cargas gravitacionales, viento y acciones sísmicas.

1. Localización sísmica

Por no existir en la zona estudios de microzonificación sísmica, se hace necesario tomar los parámetros de diseño sismorresistente del código NSR - 10 la cual califica el área como una zona de amenaza sísmica Intermedia, debiéndose utilizar los movimientos sísmicos de diseño definidos de acuerdo

a dicho código, esto se puede expresar por medio del espectro elástico de diseño o por medio de familias de acelerogramas y la verificación del umbral de daño. Se podrá utilizar los factores de aceleración horizontal pico efectivo (Aa), velocidad horizontal pico efectiva (Av), aceleración pico efectiva reducida para diseño con seguridad limitada (Ae), y la aceleración pico efectiva en el umbral de daño (Ad). De acuerdo con la Tabla 1 en la región se tienen los siguientes parámetros: Aa = 0.20, Av = 0.20, Ae = 0.10.

Para los movimientos sísmicos el umbral de daño se determina con base en la aceleración pico efectiva al nivel del umbral, (Ad), según el código es: Ad = 0.05

Por el conocimiento de la zona, de los perfiles de suelo, de su génesis etc. los efectos locales de la respuesta sísmica de la edificación se evalúan de acuerdo con el perfil independientemente del tipo de cimentación empleado (ver figura 6-3). Por su ubicación la zona del proyecto se cataloga como: Tipo Perfil de suelo = D

Tabla 1. Clasificación perfil de suelo NSR-10.

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$\overline{v}_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	1500 m/s > $\overline{v}_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	760 m/s> $\overline{v}_s \geq 360$ m/s
	perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$\overline{N} \geq 50$, o $\overline{s}_u \geq 100$ kPa (≈1 kgf/cm²)
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	360 m/s > $\overline{v}_s \geq 180$ m/s
	perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	50 > $\overline{N} \geq 15$, o 100 kPa (≈1 kgf/cm²) > $\overline{s}_u \geq 50$ kPa (≈0.5 kgf/cm²)
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	180 m/s > $\overline{v}_s$
	perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	IP > 20 w ≥ 40% 50 kPa (≈0.50 kgf/cm²) > $\overline{s}_u$
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista de acuerdo con el procedimiento de A.2.10. Se contemplan las siguientes subclases: F_1 — Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc. F_2 — Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3 m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas). F_3 — Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con Índice de Plasticidad IP > 75) F_4 — Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 36 m)	

Tabla 2. Clasificación perfil de suelo NSR-10.

Tipo de perfil	$\bar{v}_s$	$\bar{N}$ o $\bar{N}_{ch}$	$\bar{s}_u$
C	entre 360 y 760 m/s	mayor que 50	mayor que 100 kPa (≈ 1 kgf/cm²)
D	entre 180 y 360 m/s	entre 15 y 50	entre 100 y 50 kPa (0.5 a 1 kgf/cm²)
E	menor de 180 m/s	menor de 15	menor de 50 kPa (≈0.5 kgf/cm²)

2. Diagnostico geotécnico y exploración del subsuelo

2.1 Parámetros del suelo

Se presenta resumen de las propiedades geotécnicas de la capa de cimentación

Tabla 3. Parámetros del suelo.

Parámetro	Valor
Humedad natural Wn (%)	38
Limite liquido LL (%)	49
Limite plástico LP (%)	35
Índice de plasticidad IP	14
Cohesión C (kPa)	45
Angulo de fricción (°)	2°
Gravedad especifica Gs	2.41
Nivel freático NF (m)	3.5
Peso específico γ (kN/m3)	16
Módulo de rigidez E (kPa)	9000

3. Predimensionamiento de cimientos mesa.

El micropilote es evaluado frente a los estados límite más relevantes para su comportamiento:

- Hundimiento o falla por carga vertical de compresión, verificando que la capacidad portante del suelo soporte las cargas transmitidas sin superar los asentamientos admisibles.

- Arrancamiento o falla por tracción, comprobando la resistencia por adherencia suelo–micropilote a lo largo de la longitud de anclaje, de manera que se garantice la estabilidad frente a esfuerzos de levantamiento.
- Solicitaciones horizontales y desplazamientos laterales, modelando el micropilote como elemento estructural sometido a empujes de suelo y cargas sísmicas, de modo que se verifique su desempeño en términos de corte, flexión y desplazamientos.

Para el desarrollo de estos cálculos se consideran los parámetros geotécnicos previamente obtenidos de la caracterización del terreno, tales como peso unitario, cohesión, ángulo de fricción interna y módulo de reacción lateral. Estos valores permiten estimar con fundamento técnico la capacidad de carga y la interacción suelo–estructura bajo las diferentes solicitaciones.

3.1 Cargas micropilote mesas

Para el análisis estructural se consideran las distintas acciones que pueden afectar la estabilidad y seguridad de la edificación. Entre ellas, las cargas de viento, las cuales generan dos efectos principales sobre la estructura metálica:

- Succión, que tiende a producir esfuerzos de levantamiento y arrancamiento respecto al suelo.
- Presión, que actúa empujando la estructura contra el terreno.

De igual forma, se tienen en cuenta el peso propio de los elementos que componen la estructura y las solicitaciones sísmicas, evaluadas conforme a lo establecido en la NSR-10, garantizando que la respuesta global cumpla con los criterios de resistencia y servicio exigidos por la normativa vigente.

3.2 Cargas de viento

Tabla 4. Parámetros de entrada cargas de viento.

Parámetros de entrada		
Presión atmosférica (kPa)	P_{atm}	56.00
Altura (msnm)	A_{msnm}	2601.00
Densidad estándar nivel del mar (kg/m3)	ρ_0	1.23
Temperatura (°C)	T	10.00
Densidad del aire corregida por temperatura y altura	r	1.27

Debido a que el proyecto se ubica a 2601 msnm se debe realizar una

corrección de la presión de diseño por temperatura y altura puesto que no corresponde a la atmosférica a partir de la siguiente ecuación

$$\rho = -(\rho_0 - 1.194 * 10^{-4} * Amsnm) * 0.003 + 1.27$$

La velocidad básica de viento se obtuvo a partir de las disposiciones de la NSR10 donde Samacá se ubica en la región 1 como se puede observar en la Figura 1, para la cual se escogió la velocidad última de diseño puesto que ofrecía un caso más crítico, posteriormente se realizó una corrección por altura debido a que la NSR10 toma estas a 10 m de altura y para el caso el punto de aplicación de la presión de viento será a 1.5 m con la siguiente ecuación

$$v_2 = v_1 * \left(\frac{h_2}{h_1}\right)^{\alpha}$$

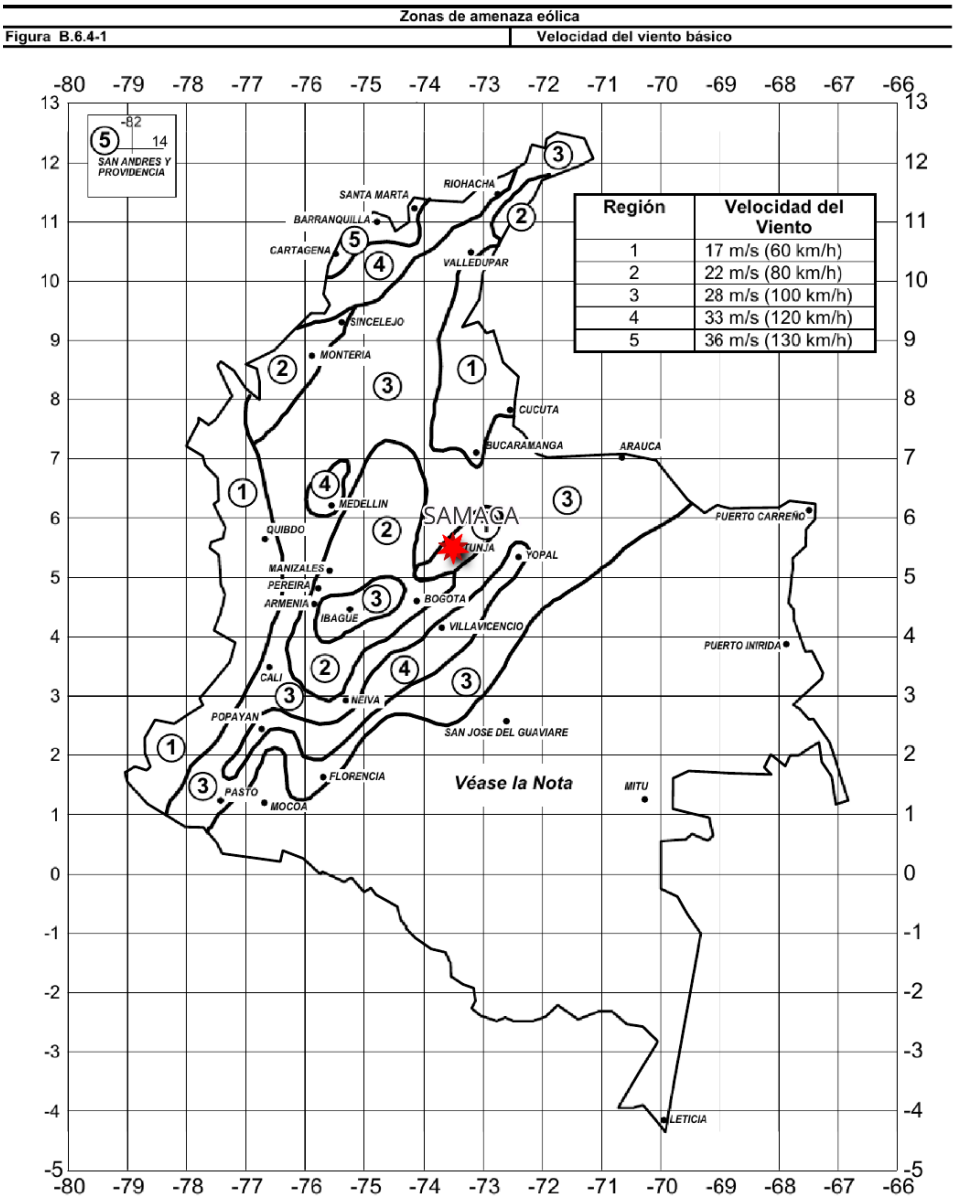


Figura 1. Mapa zona de amenaza eólica NSR-10.

Tabla 5. Velocidad de viento NSR-10.

Velocidad básica de viento (m/s)	$Vservicio$	17
	$Vresistencia$	22
Altura velocidad viento NSR-10 (m)	A_{NSR10}	10
Coeficiente de rugosidad	a	0.12
Velocidad corregida por altura	$v1$	17.52

Del mismo modo, también se incluyen las dimensiones geométricas de la mesa para la realización de los cálculos (ver Tabla 6).

Tabla 6. Dimensiones mesa.

Altura pilar largo (m)	$h1$	1.435

Altura pilar corto (m)	$h2$	0.6
Longitud mesa (m)	$l1 = l2$	16.114

- **Ley de conservación de la energía**

$$Q_1 = Q_2$$
$$\mathrm{A}_1 * v_1 = \mathrm{A}_2 * v_2$$
$$h_1 * L_1 * v_1 = h_2 * L_2 * v_2$$

- **Bernoulli**

$$P + \frac{1}{2}\rho v_2 + z = constante$$
$$P1 + \frac{1}{2}\rho v_1 + \rho g h_1 = P2 + \frac{1}{2}\rho v_2 + \rho g h_2$$

Se desprecia el componente de energía potencial en la ecuación debido a que el cambio de energía potencial del aire es insignificante para el rango de alturas descrito, como h1 y h2, entonces quedaría:

$$P1 + \frac{1}{2}\rho v_1 = P2 + \frac{1}{2}\rho v_2$$

Así bien, para poder evaluar el campo vectorial de presión, debemos integrar en base a la variación del área de túnel de viento y teniendo en cuenta que el ancho de la mesa es constante, parametrizamos la integral a la altura.

$$\int_a^b P_{atm} + \frac{1}{2}\rho(v_1 - v_2)dh = \int_a^b P_{atm} + \frac{1}{2}\rho v_1 - \frac{1}{2}\rho\,(\frac{v_1 A_1}{A_2})dh$$

$$\int_a^b P_{atm} + \frac{1}{2}\rho v_1(1 - \frac{A_1}{A_2})dh$$

$$A_1 = l_1 * h_1\ ;\ A_2 = l_2 * h_2 \text{ donde } l_1 = l_2$$

$$\int_a^b P_{atm} + \frac{1}{2}\rho v_1(1 - \frac{A_1}{A_2})dh$$

$$\int_a^b P_{atm} + \frac{1}{2}\rho v_1(1 - \frac{h_1}{h_i})dh$$
$$P_{atm}h_i + \frac{1}{2}\frac{\rho v_1^2 h_1^2}{h_i} + \frac{\rho v_1^2 h_i}{2}\Big|_a^b$$

Para el caso de **succión**, que tiende a producir esfuerzos de levantamiento y

arrancamiento respecto al suelo el aire ingresa por la pata más larga (h1) y sale por la pata corta (h2). Así los límites de la integral son los indicados.

Tabla 7. Parámetros cálculo de fuerza normal de succión.

Limite Superior	$h1$	1.435
Límite inferior	$h2$	0.6
Presión atmosférica (Pa)	P_{atm}	56000
Longitud mesa (m)	$l_1 = l_2$	16.114
Densidad del aire corregida por temperatura y altura	r	1.27
Velocidad corregida por altura (m/s)	$v1$	17.520

$$P_2 = P_{atm}h_i + \frac{1}{2}\frac{\rho v_1^2 h_1^2}{h_i} + \frac{\rho v_1^2 h_i}{2}\Big|_{0.6}^{1.435}$$

$$P_2 = 46533.97\ Pa$$

Ahora teniendo esta presión resultante procedemos a calcular el diferencial de presiones de succión normal a la superficie y posteriormente a hallar la fuerza normal como se muestra a continuación.

$$\Delta_{ps} = P_{atm} - P_2 = 3418.48\ Pa$$

$$F_{Ns} = \Delta_{ps} * l * (h_1 - h_2) = 45996.27\ N$$

Para el caso **presión**, que actúa empujando la estructura contra el terreno. el aire ingresa por la pata corta (h2) y sale por la más larga (h1). Así los límites de la integral son los indicados.

Tabla 8. Parámetros cálculo de fuerza normal de presión.

Limite Superior	$h1$	0.60
Límite inferior	$h2$	1.44
Presión atmosférica (Pa)	P_{atm}	56000
Longitud mesa (m)	$l_1 = l_2$	16.114
Densidad del aire corregida por temperatura y altura	r	1.27
Velocidad corregida por altura (m/s)	$v1$	17.52

$$P_{atm}h_i + \frac{1}{2}\frac{\rho v_1^2 h_1^2}{h_i} + \frac{\rho v_1^2 h_i}{2}\Big|_{1.435}^{0.6}$$

$$P_2 = -46854.51\ Pa$$

Ahora teniendo esta presión resultante procedemos a calcular el diferencial de presiones de presión normal a la superficie y posteriormente a hallar la fuerza normal como se muestra a continuación.

$$\Delta_{ps} = P_{atm} + P_2 = 9145.49\ Pa$$

$$P_R = P_{atm} + P_2 = F_{Np} = P_R * l * h_2 = 88422.29\ N$$

Dichas fuerzas de succión y presión deben dividirse entre 10 pilares que tiene la mesa para poder calcular las fuerzas y momentos máximos en el pilote crítico.

Tabla 9. Cargas de viento.

Carga por túnel de viento presión (kN)	8.84
Carga por túnel de viento a succión (kN)	4.60

3.3 Cargas de peso propio

Para calcular el peso de la superestructura se debe calcular el peso de la estructura metálica más el peso de los módulos solares. En la siguiente tabla se incluyen todos los elementos que componen la estructura y la cantidad de ellos por mesa.

Tabla 10. Parámetros de entrada calculo centroide.

Peso estructura metálica			
ítem	Peso unitario(kg)	Cantidad por mesa	Peso total mesa (kg)
Pilares cortos	10.11	5	50.54
Pilares largos	13.58	5	67.92
Vigas	14.65	5	73.26
Correas	20.24	4	80.94
Correas cortas	16.36	4	65.44
Riostras	1.61	8	12.89
Módulos	33.50	28	938.00
		Masa Total M	1289.00

Con el peso por elemento se diagraman las fuerzas y cuál será el punto de aplicación, finalmente se ubica el centroide de cada elemento con respecto a un 0 absoluto y posteriormente se ponderan con el peso para hallar el centro de masa de toda la estructura como se puede visualizar en la Tabla 11.

Tabla 11. Calculo centro de masa de la mesa sección transversal.

Elemento	Fuerza		X	Y	Px	Py
Correa 1	P1	39.8	483	2'710	19'234	107'921
Correa 2	P2	39.8	1'862	2'467	74'136	98'240
Correa 3	P3	39.8	2'878	2'288	114'607	91'104
Correa 4	P4	39.8	4'257	2'045	169'509	81'423
Pilar largo	P5	50.5	1'148	1'288	57'998	65'100
Pilar corto	P6	67.9	3'793	1'074	257'604	72'916
Viga	P7	73.3	2'370	2'273	173'658	166'550
Línea módulos superior	P8	469.0	1'176	2'644	551'315	1'239'989
Línea módulos inferior	P9	469.0	3'571	2'222	1'674'594	1'041'924

Obteniendo el centroide en las coordenadas que se presentan en la Tabla 12.

Tabla 12. Centro de masa de la mesa sección transversal.

Centroide Gravitacional	
X	*Y*
2399.266524	2300.362981

Conociendo la ubicación del centro de masa se aplican las cargas en este punto, para el caso solo se tendrán en cuenta la carga viva y el peso propio, puesto que el modelo no cuenta con cargas sobreimpuestas (ver Tabla 13).

Tabla 13. Cargas en y

Cargas	Masa (kg)	Peso (N)	Peso (kN)
Peso Propio PP	1289.00	12645.09	12.645
Viva L	200	1962	1.962

Se realiza la sumatoria de estas fuerzas que equivale a Fw, es decir el peso, el cual se distribuye en pilote largo y corto, para el caso el pilote critico es el corte porque recibe más carga que el otro. Posteriormente esta fuerza se debe dividir entre 5 pilotes ya que el análisis de realizó en vista de perfil (ver Tabla 14).

Tabla 14. Cargas por pilote

Fw (kN)	14.607
Fay pilote largo (kN)	7.133
Fby pilote corto (kN)	7.474

Teniendo en cuenta esto la carga para cada pilote sería de 1.49 kN como se muestra en la Tabla 15)

Tabla 15. Carga en y por pilote

Carga total y 5 pilotes (kN)	7.47
Carga total por pilote (kN)	1.49

Los momentos que ejerce cada fuerza sobre la base del pilar dependerán de las distancias al pilar más corto que en este caso tiene la configuración más crítica. Por lo tanto, se procederá a realizar un diagrama de cuerpo libre en donde se indicarán las distancias (ver Tabla 16).

Tabla 16. Distancias diagrama de cuerpo libre

$x1$	2.45
$x2$	1.251
$x3$	1.194
$x4$	1.217
$y1$	1.435
$y2$	0.600
$y3$	2.300
$y4$	1.048

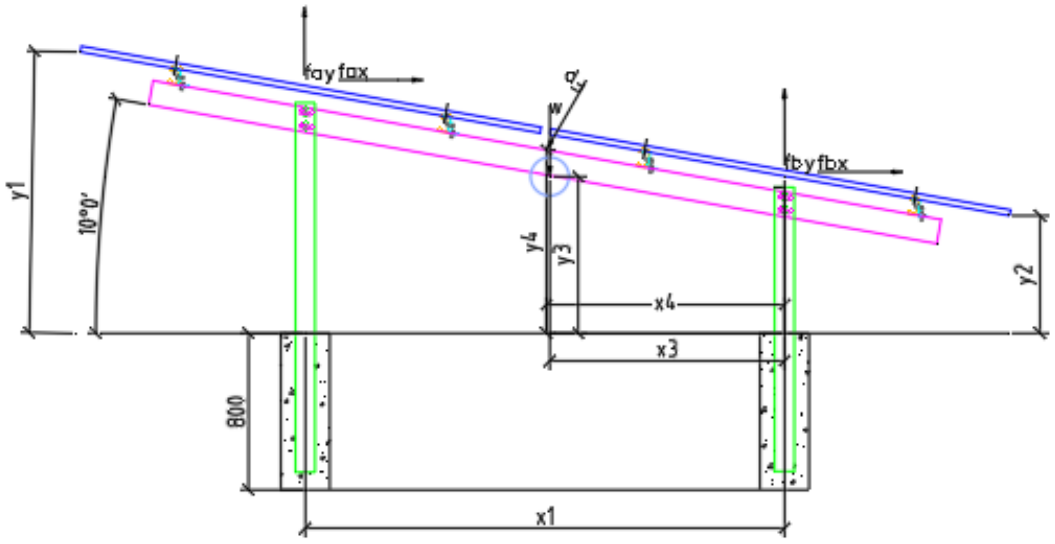


Figura 2. Diagrama de cuerpo libre fuerza presión

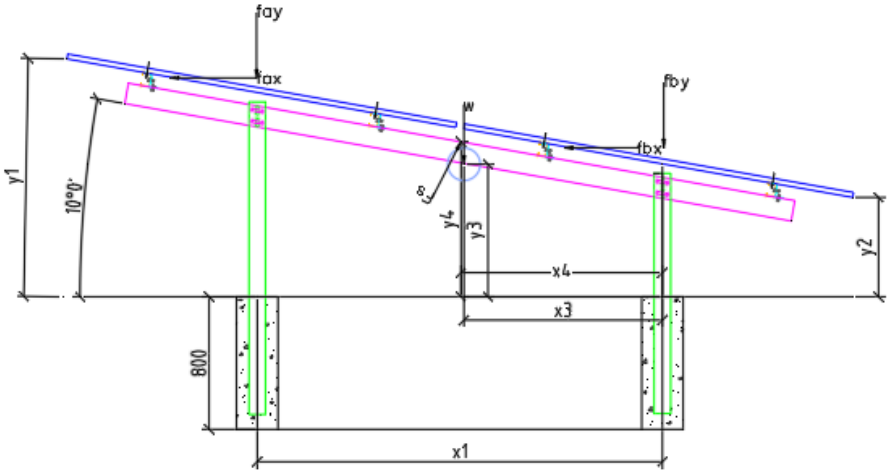


Figura 3. Diagrama de cuerpo libre fuerza succión

Reacciones resultantes por carga de succión (ver Tabla 17 y 18).

Tabla 17. Fuerzas y momentos debido a succión

Succión	
W	1.49
Fb	1.55
Fbx	0.37
Fby	1.51
Fa	1.58
Fax	0.43
Fay	1.53
Fs	4.60
Fsx	0.80
Fsy	4.53

Tabla 18. Reacciones máximas debido a succión

Reacción en y	1.53
Reacción en x para momento	0.43
Momento	-0.61

Reacciones resultantes por carga de presión.

Tabla 19. Fuerzas y momentos debido a presión

Presión	
W	1.49
Fb	5.19
Fbx	0.71
Fby	5.14
Fa	5.13
Fax	0.82
Fay	5.07
Fp	8.84
Fpx	1.54
Fpy	8.71

Tabla 20. Reacciones máximas debido a succión

Reacción en y	5.14
Reacción en x para momento	0.82
Momento	-0.49

4. Comprobaciones de cálculo micropilotes mesa

4.1 Comprobación frente a hundimiento

Comprobación frente a hundimiento					F.S
Rcd	21.82	>=	5.14	CUMPLE	4.25

1 Comprobación frente a hundimiento

Resistencia de calculo frente al modo de fallo de hundimeinto	Rcd	21.82
Esfuerzo axial de calculo (compresión) obtenido a partir de acciones mayoradas	Nc,Ed	

Rcd>=Nc,Ed

Rcd=Rp,d+Rfc,d

1.1 En suelos

Resistencia de calculo frente al modo de fallo de hundimiento	Rcd	
Resistencia por punta de calculo	Rpd	2.85
Resistencia por fuste de calculo	Rfcd	18.97
Resistencia de calculo por fuste frente a esfuerzos de traccion	Rft,d	

1.2 Resistencia por fuste

Rfcd =Al*rfcd

Resistencia de caculo por fuste frente a sus esfuerzos a compresión (N)	Rfcd	18969.99
Area lateral del micropilote (m2)	Al	0.63
Rozamiento unitario por fuste frente a sus esfuerzos a compresión	rfcd	

1.3 Resistencia de calculo por fuste

rfcd=(c'/Fc)+σH'*z)*(Tan(δ(Fϕ)) — 30191.68

Rozamiento unitario por fuste frente a sus esfuerzos a compresión (N/m2)	rfcd	30191.68
Profundidad desde la superficie (m)	z	0.80
Cohesión efectiva del terreno a una profundidad z (N/m2)	c'	45000.00
*Nula si no hay valores representativos		
Coeficientes de minoracion	Fc	1.50
Estructuras de cimentación de nueva construcción	Fϕ	1.50
Anguo de rozamiento contacto terreno-fuste	δ	1.33

δ = Kr*ϕ' — 1.33

Relación ánguo rozamiento contacto terreno-fuste	Kr	0.67
Relación ánguo rozamiento contacto terreno-fuste	Kr	0.67

2/3<=Kr<=1

Presión horizontal efectiva del terreno a profundiad z (N/m2)	σ'H(z)	

σ'H(z) = K0*σ'v(z) — 12353.29

Presión vertical efectiva del terreno a profundiad z	σ'V(z)	12800.00
Coeficiente de empuje al reposo	K0	

K0 = (1-sen(ϕ')) — 0.97

Suelsos normalmente consolidados

rft,d=η*rfc,d

Rozamiento unitario por fuste frente a esfuerzo de tracción	rft,d	
Rozamiento unitario por fuste frente a esfuerzo de compresión		
coeficiente en función de la alternancia de cargas sobre le micropilote	η	0.60

Cargas = tracción + compresión

1.4 Resistencia por punta

Rpd<=0.15*Rfcd

Resistencia decalculo por punta (kN)	Rpd	2.85
Resistencia decalculo por fuste de esfuerzos a compresión (kN)	Rfcd	18.97

Datos micropilote	
Diametro pilote (m)	0.25
Largo pilote L (m)	0.8
Densidad del hormigón (kg/m3)	2350
Datos terreno	
Angulo de rozamiento interno ϕ	2
Peso especifico suelo γ (kN/m3)	16
Modulo de rigidez E (kPa)	9000
Cohesión terreno (kPa)	45
Datos estructura	
Esfuerzo axial de compresión mayorado (kN)	5.14
Esfuerzo axial de tensión mayorado (kN)	1.53
Esfuerzo mayorado Rx (kN)	1.59
My (kN.m)	0.61
Pilar	

EmpotramieEnto en el terreno mayor o igual a 6D			SI
Ltotal (m)	1.5	>=	1.5 m

4.2 Comprobación frente a arrancamiento

Comprobación frente al arranque					F.S
Rcd	12.14	>=	5.14	CUMPLE	2.36

2 Resistencia calculo frente al modo de fallo de arranque

Resistencia de calculo frente al modo de fallo de arranque	Rtd	12.14
Esfuerzo axial de calculo (tracción) obtenido a partir de acciones mayoradas	NT,ed	

Rtd>=Nt,Ed

Rt,d=Rft,d+(We+Fwe)

Resistencia de calculo frente al modo de fallo de arranque	Rtd	12136.42
Peso propio del micropilote en la direccion de su eje (kg)	We	92.28
Coeficiente de minoración	Fwe	1.2
Resistencia de calculo por fuste frente a esfuerzos de traccion	Rft,d	

2.1 Resistencia de calculo por fuste a esfuerzos de traccion

Rft,d=Al*rft,d		11382.00

Rozamiento unitario por fuste frente a sus esfuerzos de traccion	rft,d	
Area lateral del micropilote (m2)	Al	0.63
coeficiente en función de la alternancia de cargas sobre le micropilote	η	0.6

rft,d=η*rfc,d

Rozamiento unitario por fuste frente a esfuerzo de tracción (N/m2)	rft,d	18115.01
Rozamiento unitario por fuste frente a esfuerzo de compresión (N/m2)	rfcd	30191.68
coeficiente en función de la alternancia de cargas sobre le micropilote	η	0.6

Cargas = tracción + compresión

Datos micropilote	
Diametro pilote (m)	0.25
Largo pilote L (m)	0.8
Densidad del hormigón (kg/m3)	2350.000
Datos terreno	
Angulo de rozamiento interno ϕ	2
Peso especifico suelo γ (kN/m3)	16
Modulo de rigidez E (kPa)	9000
Cohesión terreno (kPa)	45
Datos estructura	
Esfuerzo axial de compresión mayorado (kN)	5.14
Esfuerzo axial de tensión mayorado (kN)	1.53
Esfuerzo mayorado Rx (kN)	0.82
My (kN.m)	0.61
Pilar	

EmpotramieEnto en el terreno mayor o igual a 6D			SI
Ltotal (m)	1.5	>=	1.5 m

4.3 Comprobación frente a solicitaciones transversales (momentos en la base)

Comprobación frente a solicitaciones transversales					F.S
Rcd	0.91	>=	0.61	CUMPLE	1.47

3 Comprobación frente a solicitaciones transversales

Rhd>=M

Resistencia de calculo frente a carga horizontal	Rhd
Momento máximo en la punta	M

Coeficiente de empuje activo Rankine	Ka
Ka = tan^2(45°-ϕ2)	0.29480089

3.1 Presion lateral a 1.5 m

Ea = ka*1/2*γ*h^2	1.70

Momento en la cabeza (refereido z=0)

M = 2/3*h*Ea	0.91

3.2 Cortante en la cabeza

Cortante	V = Ea	1.70

Datos micropilote	
Diametro pilote (m)	0.25
Largo pilote L (m)	0.8
Densidad del hormigón (kg/m3)	2350
Datos terreno	
Resistenci a compresión simple del suelo (Mpa)	0.038
Angulo de rozamiento interno ϕ	33
Peso especifico suelo γ (kN/m3)	18
Densidad del terreno (g/cm3)	1800
Cohesión terreno (kg/cm2)	0.1
Datos estructura	
Esfuerzo axial de compresión mayorado (kN)	6.07
Esfuerzo axial de tensión mayorado (kN)	2.88
Esfuerzo mayorado Rx (kN)	0.82
My (kN.m)	0.61

Empotramiento en el terreno mayor o igual a 6D			SI
Ltotal (m)	1.5	>=	1.5 m

4.4 Comprobaciones estructurales

Comprobación a cortante					F.S
Vn	49.32	>=	1.49	CUMPLE	32.99
Comprobación a flexión					F.S
Mn	6.37	>=	2.16	CUMPLE	2.95
Comprobación adherencia acero-concreto ante succión					F.S
Pn	728.00	>=	1.53	CUMPLE	477.22

Dimensiones pilote	
Diametro pilote (m)	0.25
Largo pilote L (m)	0.8
Perimetro p (m)	0.785
Dimensiones y propiedades pilar	
Largo (m)	2.145
Profundidad empotrada he (m)	0.7
Esfuerzo de fluencia A572 (Mpa)	435

Parámetros análisis sísmico NSR-10	
Municipio	Samacá - Boyacá
Aa	0.2
Av	0.2
Perfil suelo	D
Fa	0
Fv	0.2
I (Grupo I)	1
W (kN)	7.474

1 Resistencia a cortante

Fh=Aa*W

Cortante sismico	Fh	1.49

Resistencia a cortante concreto (kN)	Vc	0.77
Factor por concreto liviano	λ	1.00
Resistencia del concreto (MPa)	f'c	21.00
Ancho neto de sección que resiste cortante (m).	bw	0.25
Altura útil (distancia del centro de compresión a la cara de tracción) (m)	d	0.13

Vc=0,17*λ*fc'*bw*d

Resistencia a cortante acero A572 (kN)	Vs	48.55
Tensión de fluencia del acero (Mpa)	Fy	435.00
Área eficaz de la alma (web) que trabaja a corte (mm^2).	Aw	186.00

Vs=0,6*Fy*Aw

Resistencia acero+concreto a cortante (kN)	Vn	49.32

2 Resistencia a flexión (momento)

Brazo para momento (altura por encima del empotramiento):	e	1.45

Momento sismico (kN m)	Me	2.16

M=Fh*e	2.16

Resistencia a momento pilar A572 (kN)	Mn	6.37

Alma efectiva entre alas (mm)	hw	84
Área del alma (mm2)	Aw	252
Área de cada ala (mm2)	Af	22
Área total aproximada (mm2)	Atot	296
Momento de Inercia (mm4)	I	659182.5
Modulo de sección (mm3)	S	14648.5

Mn=S*Fy

3 Resistencia adheencia acero-concreto a succión

Fuerza de adherencia concreto-acero (kN)	Fadh	728
Perimetro de contacto (m)	P	0.208
Area de contacto (m2)	Al	0.1456
Tensión de adherencia (Mpa)	τ	5

Fadh=τ·Al

5. Predimensionamiento micropilotes cerramiento

5.1 Cargas micropilote cerramiento

Tabla 21. Cargas micropilote cerramiento

Evaluación de cargas		
Altura (m)	2.50	
Separación de postes	2.50	
Aferencia	0.20	
Pendiente	0.00	0

Avalúo de cargas incluyendo peso propio		
D (muerta)	kN/m	kgf/m
PTE 2" e=2mm	0.0294	2.94
Malla eslabonada 2"-1/4x2"-1/4 y calibre 10.5	0.12	12
Accesorios de fijación (5%)	0.00147	0.147
Total	0.1509	15.09

L (viva)	kN	kgf/m²
Carga de una persona	0.8	80
Total	0.8	80

W (viento)	kN/m²	kgf/m²
Carga mínima por presión y succión según NSR-10	0.4	40
Total	0.4	40

Tabla 22. Solicitaciones últimas cerramiento

P_u (kN)	3.233
$V_{u(principal)}$ (kN)	1.307
$M_{u(principal)}$ (kN-m)	0.588

6. Comprobaciones de cálculo micropilotes mesa

6.1 Comprobación frente a hundimiento

Comprobación frente a hundimiento				F.S
Rcd	20.60	>= 3.23	CUMPLE	6.37

1 Comprobación frente a hundimiento

Resistencia de calculo frente al modo de fallo de hundimeinto	Rcd	20.60
Esfuerzo axial de calculo (compresión) obtenido a partir de acciones mayoradas	Nc,Ed	

Rcd>=Nc,Ed

1.1 En suelos

Rcd=Rp,d+Rfc,d

Resistencia de calculo frente al modo de fallo de hundimiento	Rcd	
Resistencia por punta de calculo	Rpd	2.69
Resistencia por fuste de calculo	Rfcd	17.91
Resistencia de calculo por fuste frente a esfuerzos de traccion	Rft,d	

Datos micropilote	
Diametro pilote (m)	0.27
Largo pilote L (m)	0.7
Densidad del hormigón (kg/m3)	2350
Datos terreno	
Angulo de rozamiento interno ϕ	2
Peso especifico suelo γ (kN/m3)	16
Modulo de rigidez E (kPa)	9000
Cohesión terreno (kPa)	45
Datos estructura	
Esfuerzo axial de compresión mayorado (kN)	3.23
Esfuerzo axial de tensión mayorado (kN)	3.23
Esfuerzo mayorado Rx (kN)	0.59
My (kN.m)	

1.2 Resistencia por fuste

Rfcd =Al*rfcd

Resistencia de caculo por fuste frente a sus esfuerzos a compresión (N)	Rfcd	17912.42
Area lateral del micropilote (m2)	Al	0.59
Rozamiento unitario por fuste frente a sus esfuerzos a compresión	rfcd	

1.3 Resistencia de calculo por fuste

rfcd=(c'/Fc)+σH''z)*(Tan(δ(Fϕ))		30167.72

Rozamiento unitario por fuste frente a sus esfuerzos a compresión (N/m2)	rfcd	30167.72
Profundidad desde la superficie (m)	z	0.70
Cohesión efectiva del terreno a una profundidad z (N/m2)	c'	45000.00
*Nula si no hay valores representativos		
Coeficientes de minoracion	Fc	1.50
Estructuras de cimentación de nueva construcción	Fϕ	1.50
Anguo de rozamiento contacto terreno-fuste	δ	1.33
δ = Kr*ϕ'		1.33
Relación ánguo rozamiento contacto terreno-fuste	Kr	0.67

2/3<=Kr<=1

Presión horizontal efectiva del terreno a profundiad z (N/m2)	σ'H(z)	
σ'H(z) = K0*σ'v(z)		10809.13
Presión vertical efectiva del terreno a profundiad z (N/m2)	σ'V(z)	11200.00
Coeficiente de empuje al reposo	K0	
K0 = (1-sen(ϕ'))		0.97
Suelsos normalmente consolidados		

rft,d=η*rfc,d

Rozamiento unitario por fuste frente a esfuerzo de tracción	rft,d	
Rozamiento unitario por fuste frente a esfuerzo de compresión		
coeficiente en función de la alternancia de cargas sobre le micropilote	η	0.60

Cargas = tracción + compresión

1.4 Resistencia por punta

Rpd<=0.15*Rfcd

Resistencia decalculo por punta (kN)	Rpd	2.69
Resistencia decalculo por fuste de esfuerzos a compresión (kN)	Rfcd	17.91

6.2 Comprobación frente a arrancamiento:

Comprobación frente al arranque					F.S
Rcd	11.52	>=	3.23	CUMPLE	3.56

2 Resistencia calculo frente al modo de fallo de arranque

Resistencia de calculo frente al modo de fallo de arranque	Rtd	11.52
Esfuerzo axial de calculo (tracción) obtenido a partir de acciones mayoradas	NT,ed	

Rtd>=Nt,Ed

Rt,d=Rft,d+(We+Fwe)

Resistencia de calculo frente al modo de fallo de arranque	Rtd	11517.42
Peso propio del micropilote en la direccion de su eje (kg)	We	94.19
Coeficiente de minoración	Fwe	1.2
Resistencia de calculo por fuste frente a esfuerzos de traccion	Rft,d	

Datos micropilote	
Diametro pilote (m)	0.27
Largo pilote L (m)	0.7
Densidad del hormigón (kg/m3)	2350.000
Datos terreno	
Angulo de rozamiento interno ϕ	2
Peso especifico suelo γ (kN/m3)	16
Modulo de rigidez E (kPa)	9000
Cohesión terreno (kPa)	45
Datos estructura	
Esfuerzo axial de compresión mayorado (kN)	3.23
Esfuerzo axial de tensión mayorado (kN)	3.23
Esfuerzo mayorado Rx (kN)	0.59

2.1 Resistencia de calculo por fuste a esfuerzos de traccion

Rft,d=Al*rft,d		10747.45

Rozamiento unitario por fuste frente a sus esfuerzos de traccion	rft,d	
Area lateral del micropilote (m2)	Al	0.59
coeficiente en función de la alternancia de cargas sobre le micropilote	η	0.6

rft,d=η*rfc,d

Rozamiento unitario por fuste frente a esfuerzo de tracción (N/m2)	rft,d	18100.63
Rozamiento unitario por fuste frente a esfuerzo de compresión (N/m2)	rfcd	30167.72
coeficiente en función de la alternancia de cargas sobre le micropilote	η	0.6

Cargas = tracción + compresión

6.3 Comprobación frente a arrancamiento:

Comprobación frente a solicitaciones transversales					F.S
Rcd	0.85	>=	0.59	CUMPLE	1.44

3 Comprobación frente a solicitaciones transversales

Rhd>=M

Resistencia de calculo frente a carga horizontal	Rhd
Momento máximo en la punta	M

Coeficiente de empuje activo Rankine	Ka
Ka = tan^2(45°-ϕ2)	0.2948009

I.1 Presion lateral a 1.5 m

Ea = ka*1/2*γ*h^2	1.82

Momento en la cabeza (refereido z=0)

M = 2/3*h*Ea	0.85

I.2 Cortante en la cabeza

Cortante	V = Ea	1.82

Datos micropilote	
Diametro pilote (m)	0.27
Largo pilote L (m)	0.7
Densidad del hormigón (kg/m3)	2350
Datos terreno	
Resistenci a compresión simple del suielo (Mpa)	0.038
Angulo de rozamiento interno ϕ	33
Peso especifico suelo γ (kN/m3)	18
Densidad del terreno (g/cm3)	1800
Cohesión terreno (kg/cm2)	0.1
Datos estructura	
Esfuerzo axial de compresión mayorado (kN)	3.23
Esfuerzo axial de tensión mayorado (kN)	3.23
Esfuerzo mayorado Rx (kN)	0.59

6.4 Comprobación estructural cerramiento:

Comprobación a cortante					F.S
Vn	131.92	>=	0.02	CUMPLE	6107.41
Comprobación a flexión					F.S
Mn	259.85	>=	0.82	CUMPLE	315.77
Comprobación adherencia acero-concreto ante succión					F.S
Pn	3989.82	>=	1.53	CUMPLE	2615.44

Dimensiones pilote	
Diametro pilote (m)	0.27
Largo pilote L (m)	0.7
Perimetro p (m)	0.848
Dimensiones y propiedades pilar PTF 2"	
Largo (m)	2.5
Profundidad empotrada he (m)	0.5
Esfuerzo de fluencia A572 (Mpa)	435

Parámetros análisis sísmico NSR-10	
Municipio	Samacá - Boyacá
Aa	0.2
Av	0.2
Perfil suelo	D
Fa	0
Fv	0.2
I (Grupo I)	1
W (kN)	0.108

1 Resistencia a cortante

Fh=Aa*W

Cortante sismico	Fh	0.02

Resistencia a cortante concreto (kN)	Vc	0.90
Factor por concreto liviano	λ	1.00
Resistencia del concreto (MPa)	f'c	21.00
Ancho neto de sección que resiste cortante (m).	bw	0.27
Altura útil (distancia del centro de compresión a la cara de tracción) (m)	d	0.14

Vc=0,17*λ*fc'*bw*d

Resistencia a cortante acero A572 (kN)	Vs	131.02
Tensión de fluencia del acero (Mpa)	Fy	435.00
Área eficaz PTF 2" (mm^2).	Aw	502.00

Vs=0,6*Fy*Aw

Resistencia acero+concreto a cortante (kN)	Vn	131.92

2 Resistencia a flexión (momento)

Brazo para momento (altura por encima del empotramiento):	e	2.00

Momento sismico (kN m)	Me	0.04

M=Fh*e	0.04

Resistencia a momento pilar A572 (kN)	Mn	259.85

Diametro externo (mm)	Dext	508
Diametro interno (mm)	Dint	502
Área (mm2)	A	4759.51287
Radio externo (mm2)	Rext=c	254
Momento de Inercia (mm4)	I	151729700.7
Modulo de sección (mm3)	S	597361.0262

$A = \frac{\pi}{4}(D_{ext}^2 - D_{int}^2)$

$R_o = D_{ext}/2$

$I = \frac{\pi}{64}(D_{ext}^4 - D_{int}^4)$

$S = \frac{I}{c}$ con $c = R_o$

Mn=S*Fy

3 Resistencia adheencia acero-concreto a succión

Fuerza de adherencia concreto-acero (kN)	Fadh	3989.82
Perimetro de contacto (m)	P	1.60
Area de contacto (m2)	Al	0.80
Tensión de adherencia (Mpa)	τ	5

$P = \pi \cdot D_{ext}$

Fadh=τ·Al

7. Conclusiones:

Por lo tanto, se concluye que la estructura propuesta resiste las condiciones de implantación, tanto por compresión como a succión, se cumplen con los criterios de la NSR 10 y por tanto con los criterios de diseño de Colombia por lo tanto se entiende cumplido con las dimensiones.

8. Referencias bibliográficas

Álvarez Roldán, L. G., & Caballero, C. R. (2013). Resistencia al corte en columnas de sección circular hueca elaboradas con hormigón de ultra alta performance. *Mecánica Computacional, XXXII*, 3307–3322. Asociación Argentina de Mecánica Computacional.

American Concrete Institute. (2018). *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-18) and Commentary*. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute.

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10*. Bogotá, Colombia: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Quiroz Zavala, O. (2015). *Adherencia entre el refuerzo galvanizado y concretos con agregados de origen cárstico de la Península de Yucatán* [Tesis de maestría, Posgrado en Ciencia e Ingeniería de Materiales]. Universidad Autónoma de Yucatán.

Shademan, M., & Naghib-Lahouti, A. (2020). Effects of aspect ratio and inclination angle on aerodynamic loads of a flat plate. *Advances in Aerodynamics, 2*(14), 1–23. https://doi.org/10.1186/s42774-020-00038-7