



PERS
Plan de Energización Rural Sostenible
PUTUMAYO

Plan de Energización Rural Sostenible **PERS** Putumayo

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE ENERGÍA RENOVABLE PARA LA ENERGIZACIÓN SOSTENIBLE DE INSTITUCIONES EDUCATIVAS RURALES DEL MUNICIPIO DE VALLE DEL GUAMUEZ

JUNIO 2020



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



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Doctorado
en Ingeniería
UNIVERSIDAD DISTRITAL "FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS"



**CONVENIO INTERINSTITUCIONAL UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA
– UPME - CV-002/2019, INSTITUTO DE PLANIFICACION Y PROMOCION DE SOLUCIONES
ENERGETICAS PARA LAS ZONAS NO INTERCONECTADAS – IPSE - 037/2019 Y LA UNIVERSIDAD
DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS – UDFJC PARA LA REALIZACIÓN DEL PLAN DE
ENERGIZACIÓN RURAL SOSTENIBLE PARA EL DEPARTAMENTO DE PUTUMAYO – PERS PUTUMAYO**

**PROYECTO PERS: Diseño e implementación de sistemas de energía renovable para la energización
sostenible de instituciones educativas rurales del municipio del Valle del Guamuez**

Componente Civil

PLAN DE ENERGIZACIÓN RURAL SOSTENIBLE DEL DEPARTAMENTO DE PUTUMAYO

PERS - PUTUMAYO

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

UPME

IPSE

Bogotá, junio 2020





Contenido

1. GENERALIDADES	4
1.1 LOCALIZACIÓN	4
1.2 DESCRIPCIÓN	6
2. MODELO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO	8
2.1 METODOLOGÍA.....	8
2.2 GEOLOGÍA	8
2.3 CLASIFICACIÓN DE AMENAZA SÍSMICA.....	10
2.4 PERFIL DEL SUELO	10
3. DISEÑOS ESTRUCTURALES	13
3.1 ALCANCE	13
3.2 AVALÚO DE CARGAS	13
3.2.1 Carga muerta	13
3.2.2 Carga viento	13
3.2.3 Carga sísmica	14
3.3 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LA ESTRUCTURA.....	14
3.3.1 Momento resistente al volteo del bloque de concreto	14
3.3.2 Anclaje por peso del bloque de concreto	15
3.3.3 Fuerza de compresión sobre el terreno	16
3.3.4 Elementos complementarios (uniones pernadas)	16
4. RECOMENDACIONES CONSTRUCTIVAS	16
5. ANEXOS	17

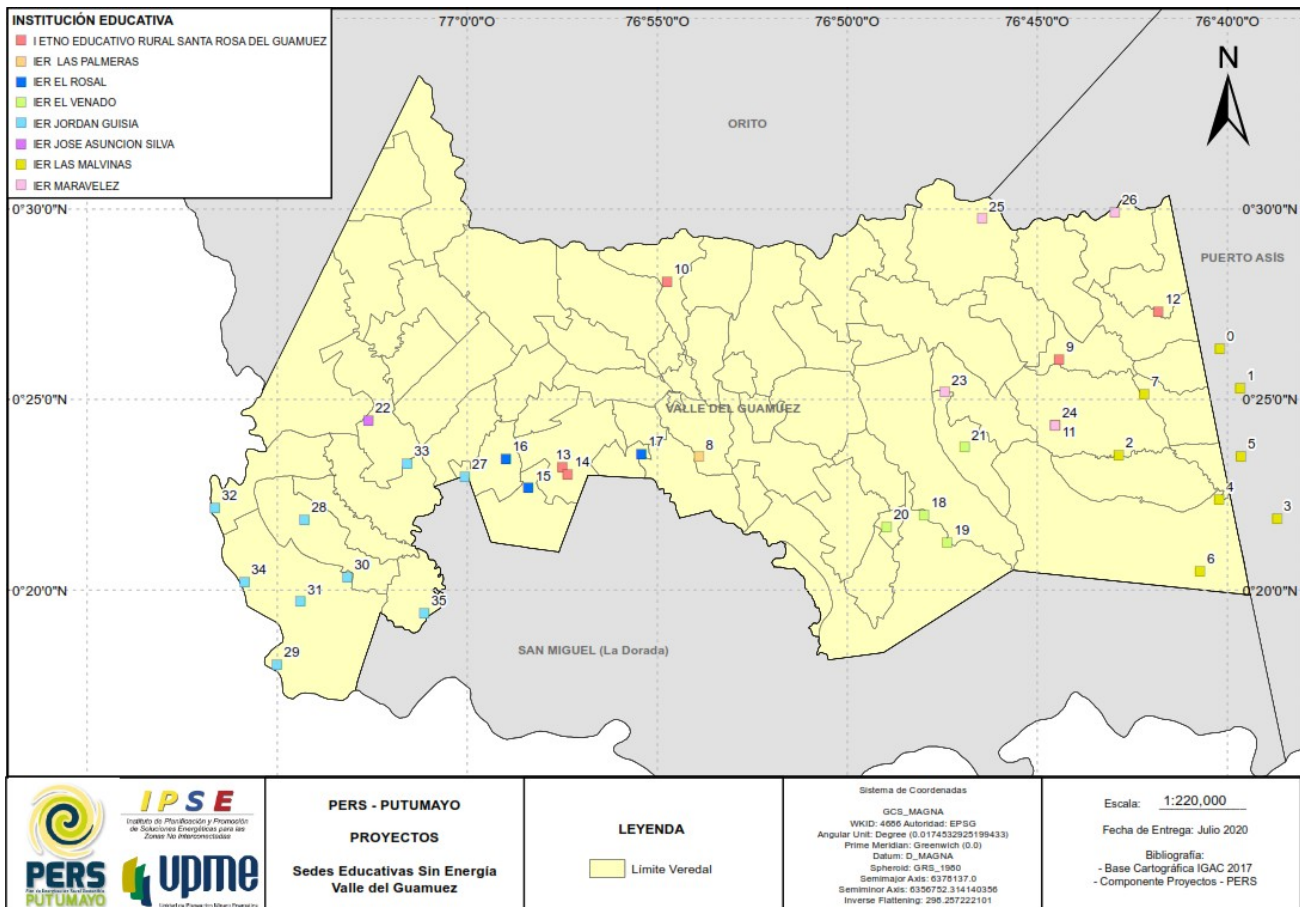
1. GENERALIDADES

1.1 LOCALIZACIÓN

El municipio Valle de Guamuez se localiza al sur occidente del Departamento del Putumayo, región fronteriza con la República del Ecuador, aproximadamente a 100 km de la capital Mocoa. Sus límites son: al sur con el Municipio de San Miguel, al norte con el Municipio de Orito, al oriente con el Municipio de Puerto Asís y la Provincia de Sucumbíos (Ecuador), y al occidente con el Municipio de Ipiales (Nariño).

El proyecto, en particular, beneficiará a 36 sedes educativas, cuya ubicación se muestra en la Figura 1 **Error! Reference source not found.** y se resume en la Tabla 1.

Figura 1. Ubicación geográfica de las sedes educativas contempladas en el proyecto.



Fuente: Sistema de Información Geográfica SIG - PERS Putumayo



N° de Instituciones Educativas	NOMBRE DEL ESTABLECIMIENTO EDUCATIVO	N° de sedes Educativas	NOMBRE DE LA SEDE EDUCATIVA	COORDENADA GEOGRÁFICA (Georreferenciación)	
				Latitud	Longitud
1	IER LAS MALVINAS	1	ESC RUR MIX LAS MALVINAS	0,438561433	-76,67004214
		2	ESC RUR MIX LA HERRADURA	0,421737129	-76,66111431
		3	ESC RUR MIX GUADUALITO	0,392181607	-76,71436541
		4	ESC RUR MIX LOS ALAMOS	0,364371734	-76,64489527
		5	ESC RUR MIX MOGAMBO	0,372644342	-76,67028678
		6	ESC RUR MIX LA YET	0,391566602	-76,66078807
		7	ESC RUR MIX DIAMANTE AGUA NEGRA	0,341383213	-76,67860691
		8	ESC RUR MIX LA ESPERANZA	0,419044642	-76,70313887
2	IER LAS PALMERAS	9	ESC RUR MIX LORO DOS	0,391322133	-76,89845486
3	I ETNO EDUCATIVO RURAL SANTA ROSA DEL GUAMUEZ	10	ESC RUR MIX ARGELIA	0,433863493	-76,740438
		11	ESC RUR MIX NUEVA ISLA	0,468143493	-76,91248441
		12	ESC RUR MIX JARDINES DE LA SELVA	0,405478662	-76,74219776
		13	ESC RUR MIX LA ITALIA	0,454823115	-76,69691602
		14	ESC RUR MIX NUEVO HORIZONTE	0,386792017	-76,95840409
		15	ESC RUR MIX TIERRA LINDA	0,383914956	-76,95605093
4	IER EL ROSAL	16	ESC RUR MIX LA MANUELITA	0,377869615	-76,9732307
		17	ESC RUR MIX PROVIDENCIA	0,39073186	-76,98325911
		18	ESC RUR MIX LA PRADERA	0,392792285	-76,92375773
5	IER EI VENADO	19	ESC RUR MIX POLICARPA SALAVARRIETA	0,366030556	-76,79972222
		20	ESC RUR MIX VILLA NUEVA	0,353777778	-76,78955556
		21	ESC RUR MIX LLANO VERDE	0,360832043	-76,81615326
		22	ESC RUR MIX PAVAS BAJAS	0,395499472	-76,78190342
6	IER JOSE ASUNCION SILVA	23	ESC RUR MIX ALTO GUISIA	0,407487821	-77,04347525
7	IER MARAVELEZ	24	ESC RUR MIX LAS PAVAS	0,419663371	-76,79068836
		25	ESC RUR MIX MIRAFLORES DE LA SELVA	0,405478662	-76,74219776
		26	ESC RUR MIX VILLA ARBOLEDA	0,495665085	-76,7741935
		27	ESC RUR MIX BRISAS DEL GUAMUEZ	0,498438349	-76,71597185
8	IER JORDAN GUISIA	28	ESC RUR MIX LA BETANIA	0,382688589	-77,00103216
		29	ESC RUR MIX LOS LLANOS	0,363976937	-77,07151483
		30	ESC RUR MIX LOS OLIVOS	0,300593846	-77,08352144
		31	ESC RUR MIX LA COSTEÑITA	0,33890289	-77,05265732
		32	ESC RUR MIX EL LIMONCITO	0,327947166	-77,07326936
		33	ESC RUR MIX PUERTO BELLO	0,369072151	-77,11082469
		34	ESC RUR MIX LA ARENOSA	0,388560225	-77,0264353
		35	ESC RUR MIX EL AJI	0,336783384	-77,09780142
		36	ESC RUR MIX EL COMBOY	0,322911304	-77,01899248

Tabla 1. Localización sedes educativas beneficiarias.

1.2 DESCRIPCIÓN

De acuerdo con las instituciones educativas identificadas, se determinó la necesidad de formular dos prototipos de sistemas fotovoltaicos, con base en el número de estudiantes que atienden las sedes educativas.

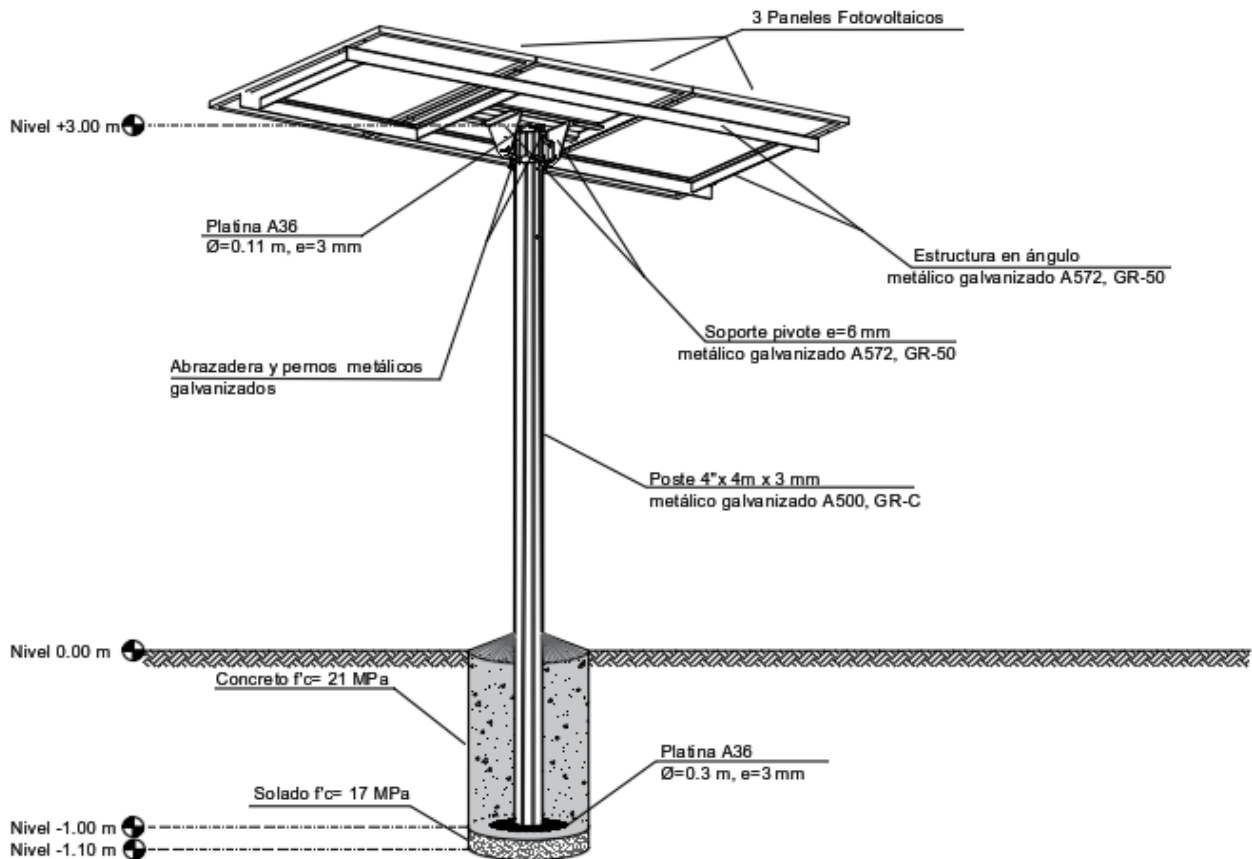
PROTOTIPO 1:

Sistema solar fotovoltaico consistente en 2 estructuras, cada una de 3 paneles solares de 540W. Los paneles están apoyados en una configuración de ángulos de acero galvanizado (A572, GR-50) de 2.3x3.4 m aproximadamente, apoyada en un tubo estructural (A500 GR-C) central de 4" de diámetro, 3 mm de espesor y 4 m de altura, de los cuales 1 m corresponde a la cimentación, la cual es de concreto simple de $f'c = 21 \text{ MPa}$. El extremo superior del tubo estructural o mástil de apoyo va sellado con una platina (A36) del mismo diámetro y espesor; la unión en este extremo puede ser fija (con soldadura E7018) o apernada. A nivel de profundidad de desplante (-1 m) se dispondrá una platina (A36) centrada de 30 cm de diámetro ($e = 3 \text{ mm}$) como sello y se protegerá con un solado en concreto $f'c = 17 \text{ MPa}$ de 10 cm de espesor bajo la cimentación.

NOTA: De manera alternativa podrían usarse 3 estructuras de 2 paneles (Prototipo 2)

A continuación se presenta el esquema tipo para tres paneles.

Figura 2. Esquema de solución para 3 paneles - Prototipo 1.



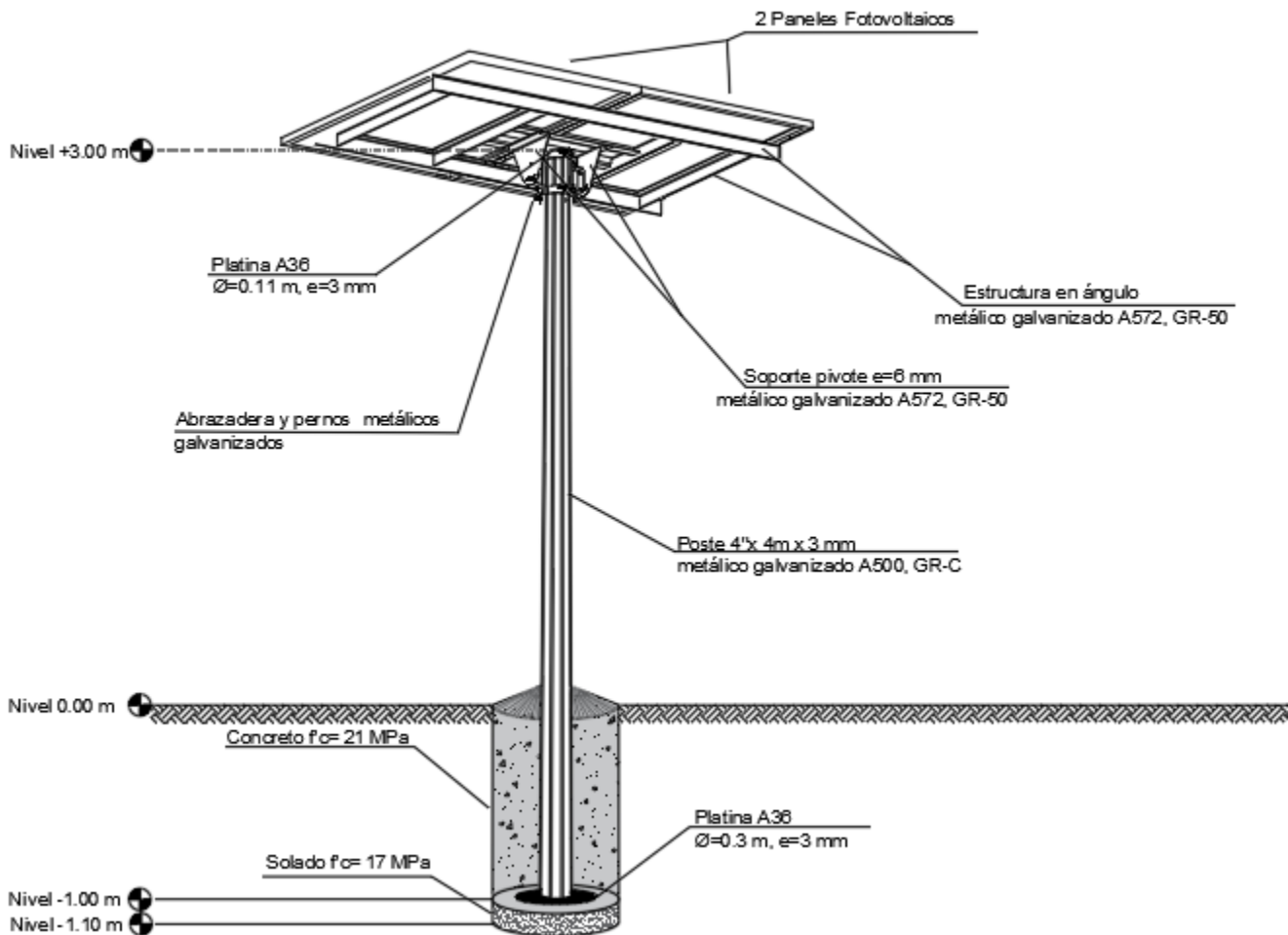
Fuente: elaboración propia.

PROTOTIPO 2:

Sistema solar fotovoltaico consistente en 3 estructuras; 2 estructuras para 3 paneles (Figura 2) y una de 2 paneles solares, todos de 540W. Los paneles están apoyados en una configuración de ángulos de acero galvanizado (A572, GR-50) de 2.3x3.4 m aproximadamente, apoyada en un tubo estructural (A500 GR-C) central de 4" de diámetro, 3 mm de espesor y 4 m de altura, de los cuales 1 m corresponde a la cimentación, la cual es de concreto simple de $f'c= 21\text{MPa}$. El extremo superior del tubo estructural o mástil de apoyo va sellado con una platina (A36) del mismo diámetro y espesor; la unión en este extremo puede ser fija (con soldadura E7018) o apernada. A nivel de profundidad de desplante (-1 m) se dispondrá una platina (A36) centrada de 30 cm de diámetro ($e= 3\text{mm}$) como sello y se protegerá con un solado en concreto $f'c= 17\text{MPa}$ de 10 cm de espesor bajo la cimentación.

NOTA: De manera alternativa podrían usarse 4 estructuras de 2 paneles (Prototipo 2)

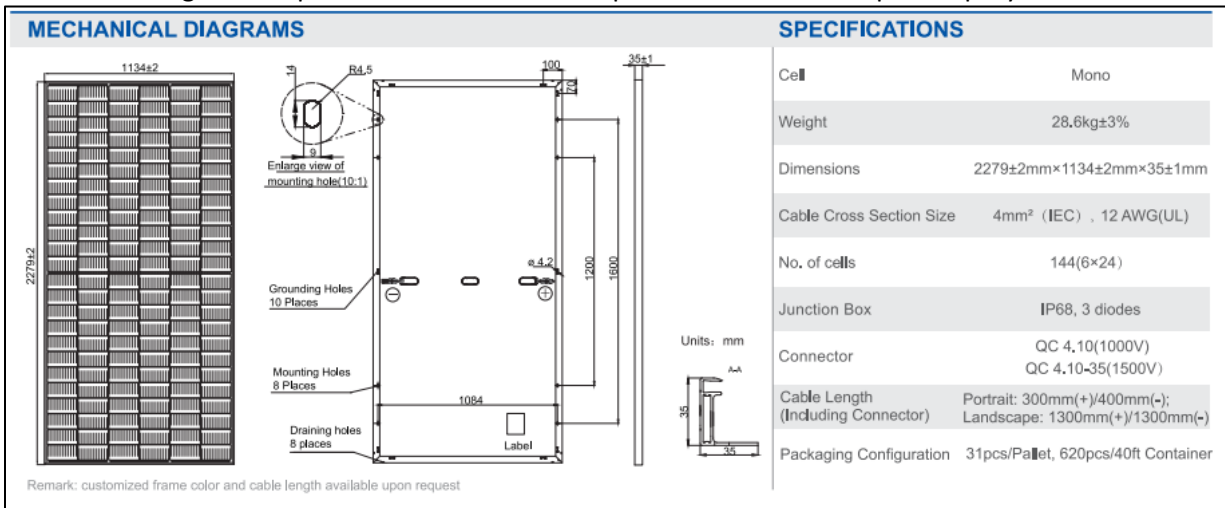
Figura 3. Esquema de solución para 2 paneles - Prototipo 2.



Fuente: elaboración propia.

A continuación se muestran algunas características de los paneles considerados para el diseño.

Figura 4. Especificación técnica de los paneles considerados para el proyecto.



Fuente: proveedor.

2. MODELO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

2.1 METODOLOGÍA

A partir de información secundaria del área de estudio y con base en los valores reportados en literatura especializada (Braja M. Das, 2013; AIS 114-17; SGC, 2015) se determinó el límite máximo de capacidad portante admisible para el tipo de depósito esperado en la zona.

De manera conservadora se evaluó una condición crítica, a partir de la cual se desarrollaron los cálculos para determinar las dimensiones y refuerzo requeridos para las cimentaciones superficiales aisladas y se estimaron valores de asentamientos a partir de la teoría de elasticidad.

2.2 GEOLOGÍA

El territorio se encuentra en la denominada Cuenca Caguán-Putumayo (Barrero et al., 2007), considerada como la prolongación hacia el NW de las cuencas Oriente y Marañón de Ecuador y Perú, respectivamente, agrupadas por Higley (2001) en la “Provincia Putumayo-Oriente-Marañón de Colombia, Ecuador y Perú”. La secuencia estratigráfica de la cuenca incluye rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias del Precámbrico hasta el Neógeno, cubiertas por extensos y espesos depósitos sedimentarios del Cuaternario.

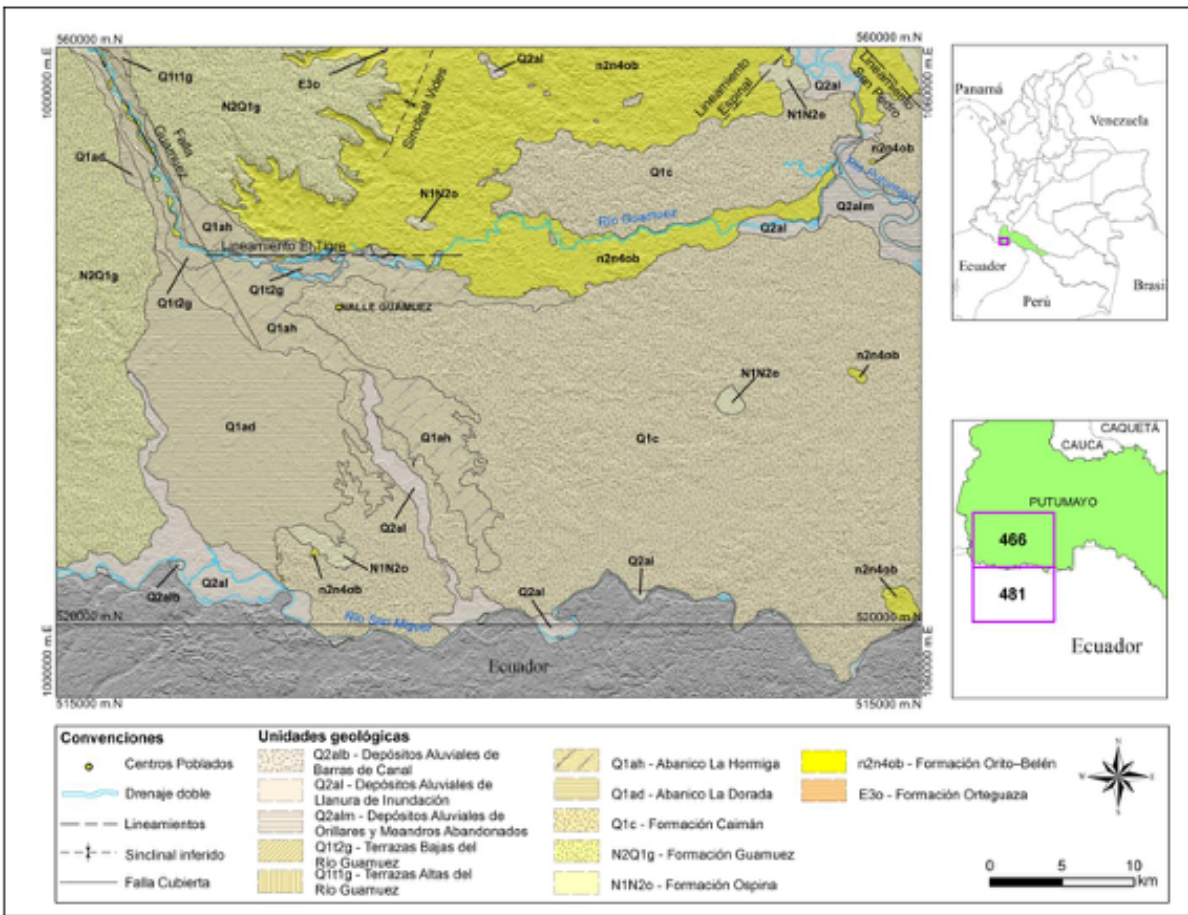
El levantamiento de la Cordillera Oriental cambió el estilo energético de los ríos que provienen de esta zona, Los ríos Guamuez y Putumayo hacen parte del drenaje del piedemonte y en consecuencia arrastran cantidades considerables de sedimentos que al ser depositados en la Planicie Amazónica dieron origen a geofomas de

abanicos incisados que sugieren varios eventos fluviotorrenciales en diferentes periodos de tiempo. En algunos sitios se presentan depósitos meteorizados con bloques, cantos y guijarros con estructura clasto y matriz soportada, lo cual indica cambios en la energía de la corriente que permitieron la alternancia de los materiales gruesos con los más arenosos y un medio de deposición de alta energía donde periódicamente se depositaban flujos de escombros y lodo

En la Figura 5 se evidencian las principales unidades geológicas del área de estudio, las cuales corresponden a la Formación Caimán y los Abanicos La Hormiga (Q1ah) y La Dorada (Q1ad), con acumulaciones sedimentarias aluviales asociadas a la actividad de los ríos Putumayo, San Miguel, Guamuez y sus principales afluentes.

En general, La Formación Caimán, predominante en la zona, está integrada principalmente por abanicos aluviales y conos con espesores que oscilan de 10 a 200 m, conformados por arenas sucias, gravas y conglomerados. Superficialmente, se identifican arcillas provenientes de la meteorización, con espesores superiores a los 5 m.

Figura 5. Esquema geológico del área de estudio.



Fuente: SGC, 2015.

2.3 CLASIFICACIÓN DE AMENAZA SÍSMICA

De acuerdo con el Título A de la NSR-10, el municipio de Valle del Guamuez se encuentra en una zona de amenaza sísmica intermedia. Los coeficientes para el análisis de efectos locales A_a y A_v , son 0.15 y 0.20, respectivamente.

Tabla 2. Definición de parámetros y zona de amenaza sísmica del proyecto.

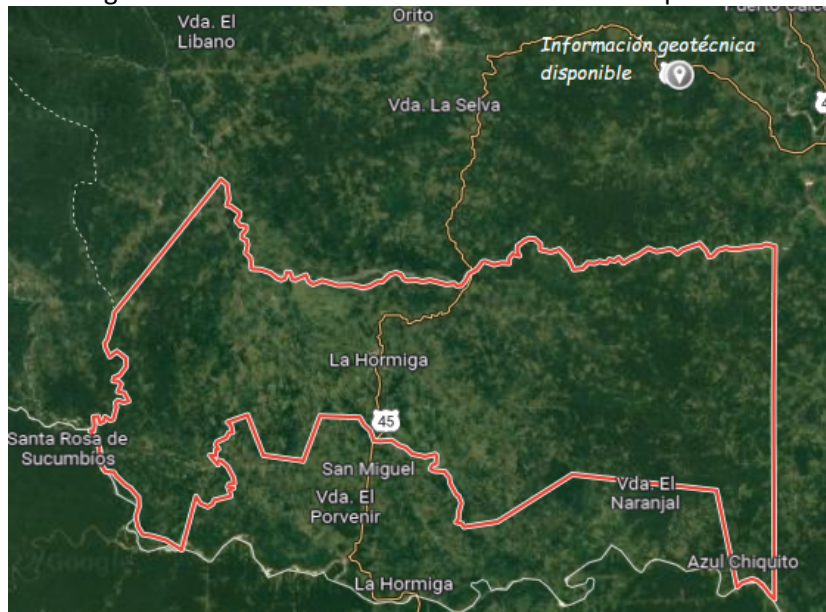
Departamento del Putumayo						
Municipio	Código Municipio	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica	A_e	A_d
Mocoa	86001	0.30	0.25	Alta	0.20	0.10
Colón	86219	0.25	0.25	Alta	0.13	0.08
Orito	86320	0.30	0.25	Alta	0.08	0.05
Puerto Asís	86568	0.05	0.15	Intermedia	0.04	0.02
Puerto Caicedo	86569	0.15	0.20	Intermedia	0.04	0.02
Puerto Guzmán	86571	0.05	0.15	Intermedia	0.04	0.02
Puerto Leguizamo	86573	0.05	0.05	Baja	0.04	0.02
San Francisco	86755	0.30	0.25	Alta	0.16	0.10
San Miguel	86757	0.15	0.20	Intermedia	0.04	0.02
Santiago	86760	0.30	0.25	Alta	0.17	0.10
Sibundoy	86749	0.25	0.25	Alta	0.14	0.08
Valle del Guamuez	86865	0.15	0.20	Intermedia	0.04	0.02
Villagarzón	86885	0.30	0.25	Alta	0.08	0.05

Fuente: tomado del Apéndice A-4 de la NSR-10

2.4 PERFIL DEL SUELO

Se tomó como referencia el estudio geotécnico realizado para el proyecto: Estabilización de Talud de la Torre 50 de la línea 115KV de Energía Eléctrica ubicada en la vereda El Triunfo del Municipio de Orito – Putumayo (Figura 6), realizado a solicitud de la Empresa de Energía del Bajo Putumayo S.A. E.S.P.

Figura 6. Localización información secundaria disponible.



Fuente: EEBPSA, 2021.

Con base en el estudio referenciado (Ver Anexo), se presentan los parámetros geotécnicos asociados al material encontrado hasta una profundidad de 2 m, el cual corresponde principalmente a un limo arenoso de alta plasticidad (MH) de consistencia firme.

Figura 7. Perfil del suelo-información secundaria

PROFUNDIDAD (m)		CLASIFICACIÓN S.U.C.S	REGISTROS DE CAMPO			Ncampo	Nc (N1 _{so})	φ	Cu
De:	Hasta:		S1	S2	S3	PROMEDIO	PROM	[°]	[KPa]
0.00	0.10	Pt	-	-	-	-	-	-	-
0.10	1.00	MH	6	15	6	9	17	16.2	22.5
1.00	2.00		8	25	44	26			
2.00	2.50	MH	6	30	47	28	41	24	25.0
2.50	3.00		14	50	50	38			
3.00	3.50	MH	23	50	50	41	50	19.3	23.6
3.50	4.00		47	50	50	49			
4.00	4.50	MH	50	50	50	50	50	19.3	23.6
4.50	5.00		50	50	50	50			
5.00	5.50	ML	50	50	50	50	50	19.3	23.6
5.50	6.00		50	50	50	50			
6.00	6.50	ML	50	50	50	50	50	19.3	23.6
6.50	7.00		50	50	50	50			
7.00	8.00	ML	50	50	50	50	50	19.3	23.6
8.00	9.00		50	50	50	50			
9.00	10.00	ML	50	50	50	50	50	19.3	23.6
10.00	11.00		50	50	50	50			
11.00	12.00	ML	50	50	50	50	50	19.3	23.6
12.00	13.00		50	50	50	50			
13.00	14.00	ML	50	50	50	50	50	19.3	23.6
14.00	15.00		50	50	50	50			

Fuente: EEBPSA, 2021.

Para determinar la capacidad última se adopta la teoría de Hansen, Meyerhof y Vesic, la cual es aplicable a cimentaciones corridas, cuadradas y circulares, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\sigma_u = CNcF_{cs}F_{cd}F_{ci} + qNqF_{qs}F_{qd}F_{qi} + 0.5\gamma B N_{\gamma} F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i} \quad [\text{Ec. 1}]$$

Donde:

B = ancho de la zapata (m)

γ = peso específico del suelo = $16.6 \frac{kN}{m^3}$ (según estudio referenciado)

c = cohesión del suelo (kPa)

q = sobrecarga (kPa)

F_{xx} = factores de forma, de profundidad y de inclinación de carga

N_c, N_q, N_{γ} = factores de carga (adimensionales), calculados con las siguientes ecuaciones:

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right) \quad [\text{Ec. 2}]$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi \quad [\text{Ec. 3}]$$

$$N_{\gamma} = 2(N_q - 1) \tan \phi \quad [\text{Ec. 4}]$$

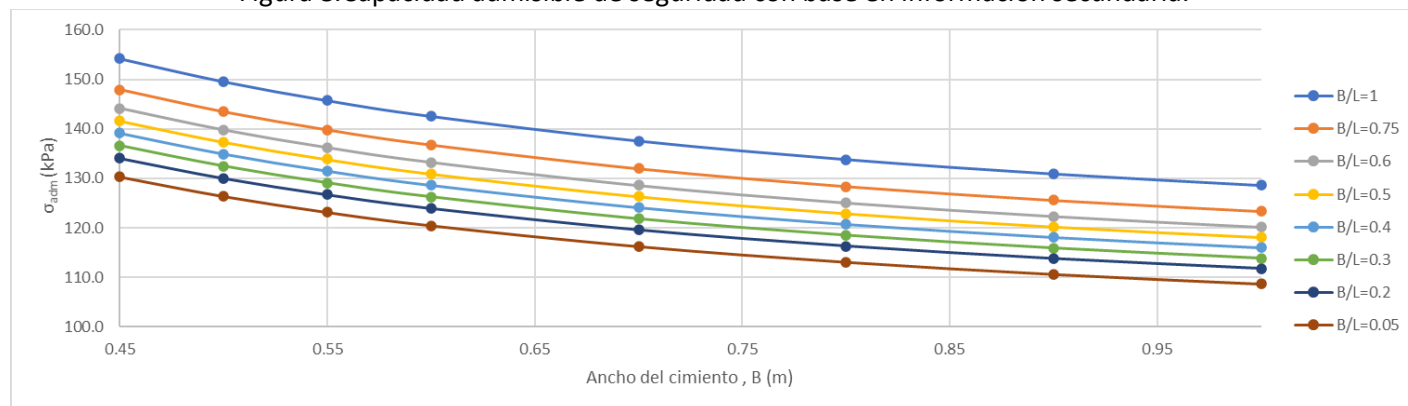
La capacidad admisible de seguridad, adoptando un factor de seguridad (F.S.)=3.0, corresponde a :

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_u}{3}$$

En este caso en particular, considerando que se trata de información secundaria y que el material en cuestión es predominantemente cohesivo, se aplicó un factor de seguridad directo (F.S.=3.0) a los parámetros de resistencia del suelo.

Así las cosas, se obtuvo los siguientes resultados correspondientes a una profundidad de desplante $D_f=1.0$ metro, para diferentes configuraciones de la cimentación ($B/L=1$, corresponde a una cimentación cuadrada o circular)

Figura 8. Capacidad admisible de seguridad con base en información secundaria.



Fuente: propia

La capacidad admisible de seguridad calculada con base en información secundaria oscila entre los 110 y los 150 kPa, lo cual corresponde a arena y arcilla mezclada según las recomendaciones dadas por el AIS 114-17. Sin embargo, considerando la incertidumbre asociada al tipo de información, se adopta un único perfil estratigráfico de diseño, conformado por cohesivos con capacidad portante de hasta **100 kPa** (arcilla firme).

Asimismo, teniendo en cuenta la magnitud de las cargas esperadas y para optimizar económicamente el diseño, se propone una **cimentación circular de 0.45 m de diámetro a una profundidad de desplante de 1 m.**

Tabla 3. Capacidades portantes admisibles máximas.

Tipo de suelo	Capacidad portante σ_a (kPa)
Suelo aluvial	≤ 50
Arcilla blanda	75
Arcilla firme	100
Arena húmeda	125
Arena y arcilla mezcladas	150
Arena fina seca (compacta)	200
Arcilla dura	250

Fuente: Tomado de AIS114-17

3. DISEÑOS ESTRUCTURALES

3.1 ALCANCE

En esta sección se presenta la revisión de capacidad y estabilidad de estructuras conformadas por un poste o tubería circular de acero estructural con recubrimiento galvanizado, el cual soportará paneles solares (2 y 3 unidades de 1.13 x 2.30 m) e irá empotrado a 1 m de profundidad, con un encamisado de concreto simple (cimentación superficial circular de $\varnothing = 0.45 \text{ m}$).

El procedimiento comprende el análisis y determinación de las solicitaciones (muerta, sismo y viento), aplicadas según lo estipulado en el Título B de la NSR-10, para lo cual se hace uso del programa SAP2000 y de hojas de cálculo programadas.

3.2 AVALÚO DE CARGAS

A continuación se muestra un resumen de las cargas consideradas para el diseño de ambos prototipos.

3.2.1 Carga muerta

En las siguientes tablas se condensan los pesos de cada uno de los elementos que componen la estructura de soporte, incluido el peso de los propios paneles solares. La información se obtiene de catálogos comerciales y de los datos suministrados por los fabricantes.

Tabla 4. Carga muerta

Dimensiones paneles		Área	Peso por panel	Carga paneles
Lado A(m)	Lado B(m)	(m ²)	(kN)	(kN/m ²)
1.13	2.3	2.60	0.29	0.11

PROTOTIPO 1	Peso poste	Peso total	Peso	Total
	4 m	3 paneles	estructura	
	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)
	0.33	0.86	0.78	1.97

PROTOTIPO 2	Peso poste	Peso total	Peso	Total
	4 m	2 paneles	estructura	
	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)
	0.33	0.22	0.66	1.21

Fuente : propia

3.2.2 Carga viento

En este caso según la norma NSR-10, capítulo B.6, artículo B.6.1. al no contarse con estudios se aplica la carga mínima de 40 Kg/m² o 0.40 kN/m².

3.2.3 Carga sísmica

Por tratarse de una estructura simple, liviana y de péndulo invertido se aplicará una metodología simplificada con el método Fuerza Horizontal Equivalente, a través del software SAP2000 donde se introducirán el factor de aceleración S_x y S_y y el factor K. según A.4.3 NSR-10. los cálculos de fuerza por esta carga las hace el software internamente.

3.3 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LA ESTRUCTURA

Para hacer el análisis de estabilidad de la estructura se recurre a los resultados del modelo matemático (Ver anexos) incluyendo los diferentes tipos de carga, de igual forma, con las combinaciones de carga ultima se chequean los elementos que soportaran los paneles

El análisis incluye las combinaciones de carga sugeridas por la NSR-10 Titulo B.

Tabla 5. Combinaciones de carga

COMBOS DE CARGA ULTIMA		
<i>Combo1</i>	<i>Combo 2 y 3</i>	<i>Combo 4 y5</i>
1.4D	1.2D + - 0.8W	1.2D + -1.6W
<i>Combo 6 y 7</i>	<i>Combo 8A, 8B y 9A, 9B</i>	<i>Combo 10A, 10B y 11A, 11B</i>
0.6D + -1.6W	1.2D + -1Exy	0.9D + -1Exy
COMBOS DE CARGA DE SERVICIO		
<i>Combo 8 y 9</i>	<i>Combo 10 y 11</i>	<i>Combo 12 y 13</i>
1D + -W	1D+ -0.75W	0.6D+ -W
<i>Combo 14 , 15, 16,17</i>	<i>Combo 18, 19, 20,21</i>	<i>Combo 22</i>
1D+0.7Exy	0.6D+0.7Exy	1D

Para el caso de diseño de elementos estructurales como ángulos de soporte para los paneles solares se utilizan cargas ultimas es decir afectadas o mayoradas por los factores de carga y en el caso del análisis de estabilidad se realiza mediante cargas de servicio, es decir sin mayorar.

3.3.1 Momento resistente al volteo del bloque de concreto

Se calculan los momentos con punto de giro en un extremo del bloque de concreto, obteniendo los siguientes resultados:

Diámetro cimentación	Área cimentación	Nivel de desplante	Volumen sección poste	Volumen neto	Peso concreto	Peso poste
(m)	(m ²)	(m)	(m ³)	(m ³)	(kN)	(kN)
0.45	0.159	1	0.010	0.149	3.35	0.33

Tabla 6. Verificación de cumplimiento del momento resistente vs momento de servicio.

Fuerza resistente por carga muerta (concreto)	Fuerza resistente por carga muerta (poste)	Fuerza resistente por carga muerta (concreto)
(kN)	(kN)	(kN)
3.35	0.33	4.41
Brazo resistente por carga muerta (concreto)	Brazo resistente por carga muerta (poste)	Brazo resistente por carga pasiva (suelo de confinamiento)
(m)	(m)	(m)
0.23	0.23	0.33
Momento resistente por carga muerta (concreto)	Momento resistente por carga muerta (poste)	Momento resistente por carga pasiva (suelo de confinamiento)
(kN-m)	(kN-m)	(kN-m)
0.75	0.07	1.47
Momento total resistente = Mr	Momento de servicio aplicado = Ms	Factor de seguridad (Mr>Ms)
(kN-m)	(kN-m)	CUMPLE
2.30	1.65	1.4
2.30	1.09	2.1

Prototipo 1
Prototipo 2

El factor de seguridad al volteo es suficiente utilizando el aporte a la resistencia que hace el suelo de confinamiento al aportar fuerza pasiva.

3.3.2 Anclaje por peso del bloque de concreto

En este caso se considera que el peso del concreto despreciando el peso propio de la estructura es suficiente como para contrarrestar la fuerza que pueda tratar de hacer volar la estructura, para tal fin se compara las fuerzas resultantes en la base del poste, según modelo matemático.

Tabla 7. Verificación de cumplimiento de resistencia al arrancamiento.

Fuerza resistente por carga muerta (concreto) =Fr	Reacción en la base= Fu	Factor de seguridad (Fr/Fu>1.5)
(kN)	(kN)	CUMPLE
3.35	1.41	2.4
3.35	0.627	5.4

Prototipo 1
Prototipo 2

3.3.3 Fuerza de compresión sobre el terreno

Se chequea la fuerza que ejerce el bloque de concreto en conjunto con el panel y el poste, esta fuerza es de carácter último mayorado obtenido del programa SAP2000, por lo que debe compararse con la capacidad última reducida del suelo.

Reacción por fuerzas de servicio sin pedestal = F_s	Reacción por fuerzas de servicio más pedestal = F_a	Área cimentación	Esfuerzo aplicado a la superficie = σ_s	σ_{adm}	Chequeo ($\sigma_s < \sigma_{adm}$)
(kN)	(kN)	(m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	
3.847	7.20	0.159	45.28	100	CUMPLE
3.052	6.41	0.159	40.28	100	CUMPLE

Prototipo 1
Prototipo 2

Como se puede observar al aplicar la fuerza sobre el terreno el esfuerzo producido por la estructura sobre el suelo es mínima por lo tanto no hay problema en la cimentación.

3.3.4 Elementos complementarios (uniones pernadas)

En el caso de utilizar pernos se hace un cálculo muy sencillo para ver qué tipo de perno se requiere, suponiendo toda la fuerza del viento en succión por lo que los pernos estarían en tensión pura. La carga de viento se multiplica por 1.6.

Área paneles	Carga por viento en succión = W	Carga total	# de pernos	Diámetro perno A-307
(m ²)	(kN/m ²)	(kN)	(UN)	(mm)
7.8	0.64	5.0	4	12.7
5.2	0.64	3.3	4	12.7
Área de 1 perno	Carga sobre 1 perno	Resistencia material del perno	Factor de reducción	Resistencia de 1 perno
(mm ²)	(kN)	(MPa)	-	(kN)
126.68	1.25	310	0.75	29.45
126.68	0.83	310	0.75	29.45

Prototipo 1
Prototipo 2

Prototipo 1
Prototipo 2

Se observa que para ambos prototipos se obtiene una carga por perno muy inferior a la resistencia de estos, por lo que las conexiones son seguras para pernos A-307 de 1/2".

4. RECOMENDACIONES CONSTRUCTIVAS

Las excavaciones temporales para cimientos en el terreno natural, es factible realizarlas hasta 1 m de profundidad. Estas deberán ejecutarse rápidamente, evitando la acumulación de agua de cualquier tipo. En caso de ser necesario rellenar, se podrá usar el material previamente removido, el cual deberá ser compactado adecuadamente.

Con el fin de controlar la fisuración del concreto del pedestal es necesario la utilización de una malla electrosoldada de (15 x 15, diámetro 6mm).

Con el fin de repartir la carga en la cara inferior del tubo sobre el concreto es necesario poner una

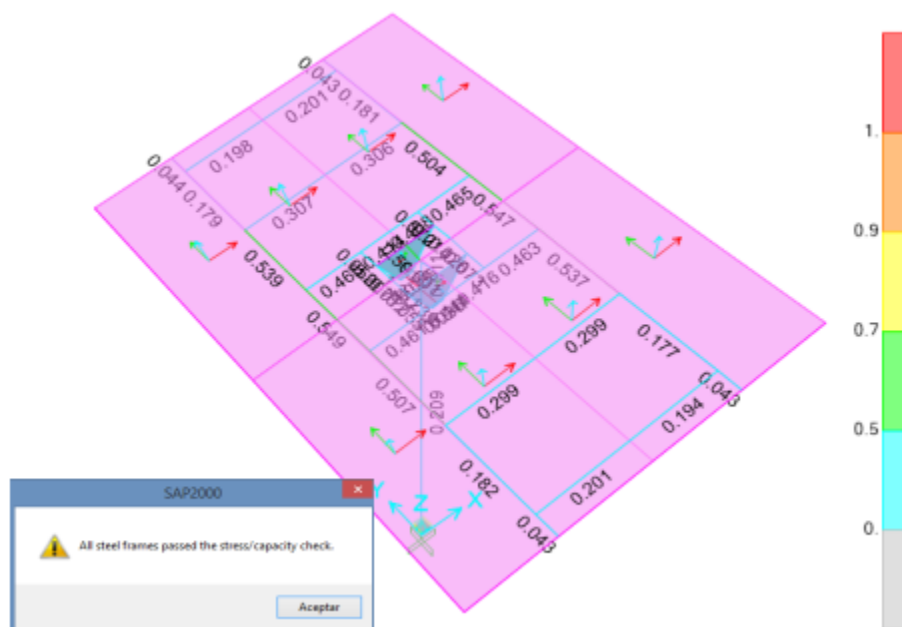
lámina de acero A-36 soldada el fondo extremo del tubo. Esta lamina debe ser de diámetro 0.30m y espesor =1/8"

Para unir el tubo metálico al soporte de los paneles solares se plantea conectar el pivote articulado a través de abrazaderas ajustadas mediante pernos, de igual forma se perna el pivote al marco que contendrá a los paneles. No obstante, esta unión también se puede hacer soldada utilizando soldadura E70XX, es decir de resistencia $F_u=70$ KSI. instalada en la posición deseada por quien lo realice siendo la 1 cualquier posición y 8 el tipo de corriente (E7018), se sugiere utilizar soldadura de filete con un espesor de 3mm.

Además, en los puestos donde se enfrenten los espesores de 2 ángulos se podrá utilizar soldadura a tope recto o biselado, de espesor igual al del elemento más delgado. Este tipo de soldadura no requiere calculo alguno debido a que es del mismo espesor que el material a unir y de mayor resistencia, utilizar E70XX.

5. ANEXOS

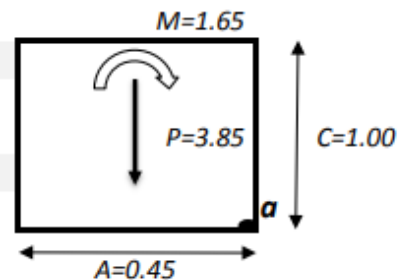
PROTOTIPO 1



Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3
Text	Text	Text	KN	KN	KN
18	COMB8	Combination	0.41	-1.395E-11	-0.801
18	COMB9	Combination	-0.41	1.536E-11	3.847
18	COMB10	Combination	0.307	-1.028E-11	-0.22
18	COMB11	Combination	-0.307	1.17E-11	3.266
18	COMB12	Combination	0.41	-1.423E-11	-1.41
18	COMB13	Combination	-0.41	1.508E-11	3.238
18	COMB14	Combination	-0.3	-0.09	1.523
18	COMB15	Combination	0.3	0.09	1.523
18	COMB16	Combination	-0.09	-0.3	1.523
18	COMB17	Combination	0.09	0.3	1.523
18	COMB18	Combination	-0.3	-0.09	0.914
18	COMB19	Combination	0.3	0.09	0.914
18	COMB20	Combination	-0.09	-0.3	0.914
18	COMB21	Combination	0.09	0.3	0.914
18	COMB22	Combination	-1.137E-12	7.071E-13	1.523

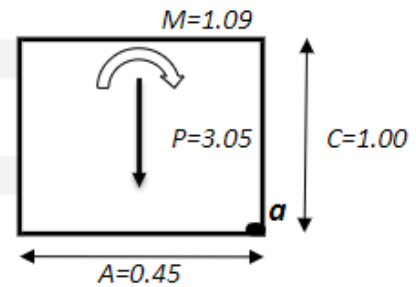
Joint	OutputCase	CaseType	M1	M2	M3
Text	Text	Text	KN-m	KN-m	KN-m
18	COMB8	Combination	0.0001112	1.6474	-1.08E-10
18	COMB9	Combination	0.0001112	-1.6474	1.121E-10
18	COMB10	Combination	0.0001112	1.2356	-8.05E-11
18	COMB11	Combination	0.0001112	-1.2356	8.456E-11
18	COMB12	Combination	0.00006671	1.6474	-1.088E-10
18	COMB13	Combination	0.00006671	-1.6474	1.113E-10
18	COMB14	Combination	0.3592	-1.197	-0.0009728
18	COMB15	Combination	-0.359	1.197	0.0009728
18	COMB16	Combination	1.1971	-0.3591	-0.0033
18	COMB17	Combination	-1.1969	0.3591	0.0033
18	COMB18	Combination	0.3592	-1.197	-0.0009728
18	COMB19	Combination	-0.359	1.197	0.0009728
18	COMB20	Combination	1.1971	-0.3591	-0.0033
18	COMB21	Combination	-1.1969	0.3591	0.0033
18	COMB22	Combination	0.0001112	-1.115E-10	2.031E-12

Fuerza en tensión -1.4100 KN
 Momento en tensión 1.647 KN-m
 Fuerza en compresión =Fa 3.85 KN
 Momento en compresión -1.647 KN-m



Joint	OutputCase	CaseType	M1	M2	M3
Text	Text	Text	KN-m	KN-m	KN-m
18	COMB8	Combination	-0.000529	1.0889	-6.752E-11
18	COMB9	Combination	-0.000529	-1.0891	6.573E-11
18	COMB10	Combination	-0.000529	0.8167	-5.086E-11
18	COMB11	Combination	-0.000529	-0.8168	4.907E-11
18	COMB12	Combination	-0.0003174	1.0889	-6.716E-11
18	COMB13	Combination	-0.0003174	-1.089	6.609E-11
18	COMB14	Combination	-0.000529	-0.9879	-0.0001547
18	COMB15	Combination	-0.000529	0.9877	0.0001547
18	COMB16	Combination	-0.000529	-0.9879	-0.0001547
18	COMB17	Combination	-0.000529	0.9877	0.0001547
18	COMB18	Combination	-0.0003174	-0.9878	-0.0001547
18	COMB19	Combination	-0.0003174	0.9877	0.0001547
18	COMB20	Combination	-0.0003174	-0.9878	-0.0001547
18	COMB21	Combination	-0.0003174	0.9877	0.0001547
18	COMB22	Combination	-0.000529	-0.00008029	-8.949E-13

Fuerza en tensión -0.6270 KN
Momento en tensión 1.089 KN-m
Fuerza en compresión =Fa 3.05 KN
Momento en compresión -1.089 KN-m



**Plan de Energización Rural Sostenible para
el Departamento de Putumayo
(PERS - PUTUMAYO)**

Convenio Interinstitucional CV008 DE 2014

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Ricardo García Duarte
RECTOR

Francisco Santamaría
DIRECTOR PERS PUTUMAYO

Cesar Trujillo
COORDINADOR PROYECTOS PERS PUTUMAYO

Pedro Pineda
CONSULTOR PROYECTOS PERS

**Unidad de Planeación Minero-Energética
(UPME)**

Johanna Larrota Cortés
SUPERVISORA CONVENIO

**Instituto de Planificación y Promoción de
Soluciones Energéticas para las Zonas No
Interconectadas (IPSE)**

Mauricio Molina Valdés
SUPERVISOR CONVENIO

2020

