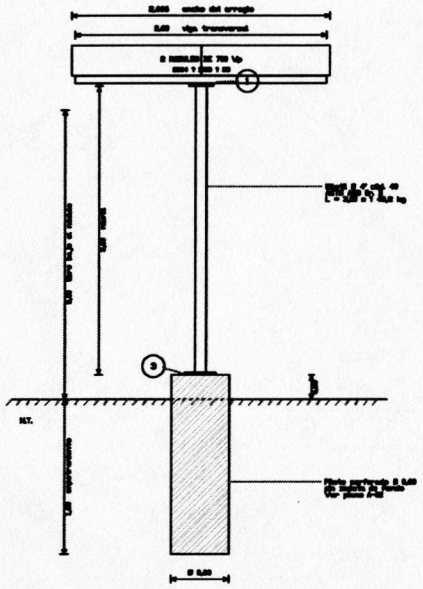
PLANO A-01 ESTRUCTURA DE SOPORTE

Estructura elevada para solución solar fotovoltaica individual ? dos módulos de 700 Wp ? mástil apoyado sobre placa base

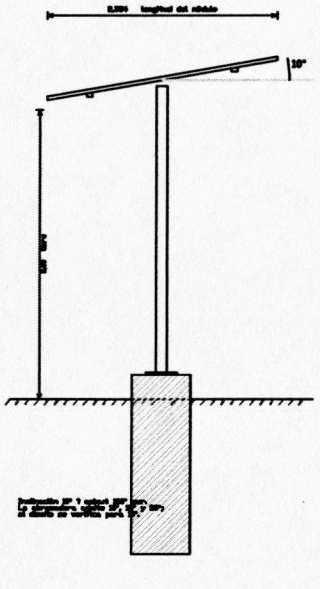
1 ALZADO FRONTAL

Escala 1:25



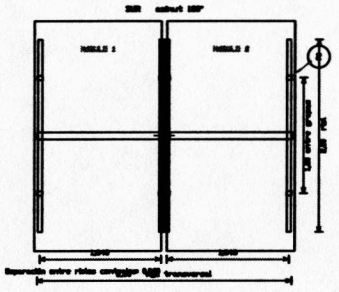
2 ALZADO LATERAL

Escala 1:25



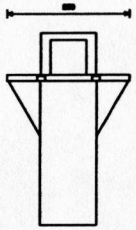
3 PLANTA DE PARRILLA

Escala 1:25



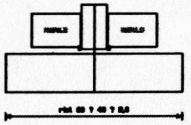
① DETALLE 1 UNIÓN MÁSTIL Y PARRILLA

Escala 1:5



② DETALLE 2 GRAPA DE SUJECIÓN

Escala 1:2,5



CUADRO DE ELEMENTOS

Nº	Elemento	Sección o dimensión	Material	Long.	Cant.	Peso
1	Mástil principal	Tubo 6 6" cód. 40	ASTM A53 Gr. B	6,00 m	1	43,0 kg
2	Viga transversal	Tubo 2 50" cód. 40	ASTM A53 Gr. B	0,60 m	1	22,4 kg
3	Ala	Tubo cuad. 60 Y 40 Y 5,0	ASTM A500 Gr. C	0,60 m	4	22,3 kg
4	Placa base	200 Y 200 Y 10	ASTM A36	Y	1	31,0 kg
5	Cartela de placa base	100 Y 100 Y 6	ASTM A36	Y	4	1,9 kg
6	Placa de cabeza	200 Y 200 Y 10	ASTM A36	Y	1	0,0 kg
7	Cartela de cabeza	80 Y 100 Y 6	ASTM A36	Y	4	1,5 kg
8	Abrazadera en U	Platina de 6 mm	ASTM A36	Y	2	2,4 kg
9	Perno de abrazadera	M8 Y 40 galvanizado	ASTM A325	Y	4	Y
10	Grapa de extremo	Para marco de 35 mm	Aluminio 6063-T5	Y	6	Y
11	Arandela aislante	Nylon o EPDM	Y	Y	16	Y
	TOTAL SUPERESTRUCTURA SIN VIVIENDA					203,7 kg

NOTAS GENERALES

1. Cotas en metros salvo indicación expresa. Las dobleces se acotan en diámetros.
2. Este plano no tiene la memoria de cálculo estructural, donde figura y con el plano A-02.
3. Galvanizado en caliente por inmersión ASTM A123 GO pn hasta 5,000 m o m m y 200 pn por encima de esa cota y en zonas orgánicas. Tornillería galvanizada ASTM A325.
4. La fabricación y la soldadura se ejecutan íntegramente en taller y ASTM del galvanizado En obra no se practica soldadura alguna Y la totalidad de los cobros de campo son atornillados.
5. Soldadura de filete de 6 mm en todo el perímetro, electrodo E7018, conforme a AWS D1.1.
6. En un sólido tornillería de acero al carbono en contacto con el acero del marco del módulo.
7. Drenaje de aguas y respiradero con platina ala en clip ASTM A36, 91 Y 4m de alto, dos rosca.
8. Inclinación 10° y cabeza 180°, prevaciñas por el Proyecto Tipo del IDAE para la latitud del área de influencia. El montaje en 20° o 30° requiere exclusivamente escuela del diseñador.
9. Empleo de la barra corrugada de 6,00 m cada dos metros de 3,00 m o tres ritos de 2,00 m.
10. Condición esencial de validez prohibido la hincadura sobre escala, cuadro o barro de escarpa.

CONSULTORÍA Y OBRA CIVIL

[redacted]

PROYECTO

INSTALACIONES DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS PARA LA ELECTRIFICACIÓN RURAL DE LAS COMUNIDADES RESIDENCIAL Y [redacted]

CONTENIDO
Alzados frontal y lateral
Planta de parrilla
Detalles 1 y 2
Cuadro de elementos

ESCALAS
Alzados y planta 1:25
Detalle 1 1:5
Detalle 2 1:2,5
Formato A1

DISEÑO Y CÁLCULO
[redacted]
Ing. Diego Martín [redacted]
[redacted]

FECHA
Agosto de 2026
Revisión 0

DISEÑO TIPO
SSFVI 0-700 Wp
10 viviendas Superficie Norte de Zaragoza

OBSERVACIONES
Notas, sobre indicación expresa.

FORMATO
A1 594x894 mm

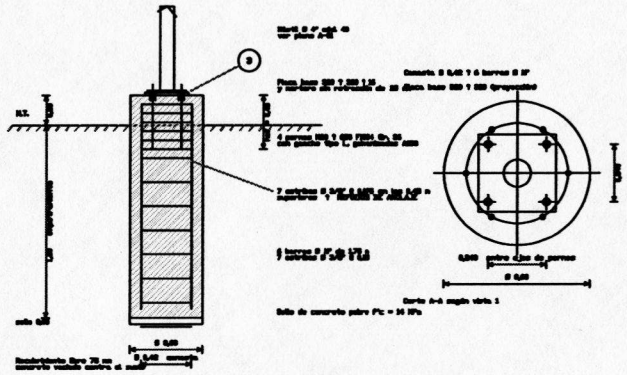
PLANO Nº
A-01

PLANO A-02 CIMENTACIÓN, PLACA BASE Y PUESTA A TIERRA

Pilote perforado Ø 0,60 m con 1,60 m de empotramiento, sin zapata de fondo y micropilote apernado y solución única para el área de influencia

1 SECCION A-A PILOTE

Escala 1:20

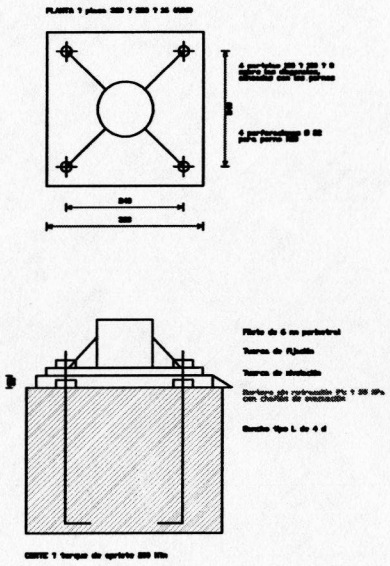


2 PLANTA DEL PILOTE

Escala 1:20

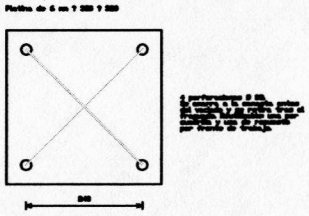
DETALLE 3 PLACA BASE Y PERNOS DE ANCLAJE

Escala 1:5



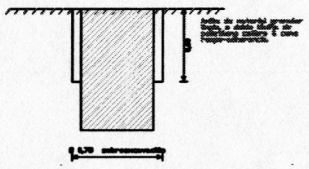
DETALLE 4 PLANTILLA DE MONTAJE

Escala 1:5



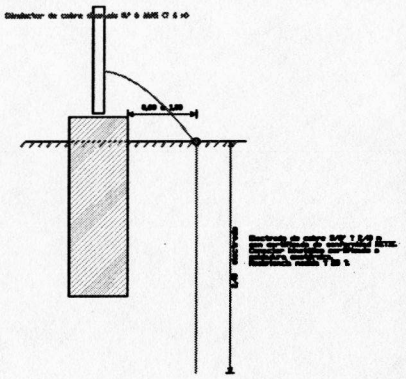
DETALLE 5 SUELO EXPANSIVO Y SECTOR III

Escala 1:20



DETALLE 6 PUESTA A TIERRA

Escala 1:20



CUADRO DE DESPIECE DE REFUERZO Y NTC 2009, fy = 420 MPa

Barra	Denominación	Diámetro	Long. unit.	Cant.	Long. total	Peso
1	Barra longitudinal recta	8 #7 3/4"	1,70 m	6	10,20 m	24,4 kg
2	Estribo circular cerrado Ø 0,40	8 3/4" #7 3	1,47 m	14	20,58 m	11,8 kg
	Alambre negro #18 para amarre	Y	Y	Y	Y	0,7 kg
	TOTAL ACERO DE REFUERZO POR PILOTE					36,4 kg

CONCRETO Y PROTECCION SEGUN SECTOR

Sector	Cota de implantación	Concreto del pilote	Calendario	Detalle adicional
I	Sobre 2200 m s. n. m.	f'c = 28 MPa; f slev 4,0 a 7,0 ± 1 slev; f 1,60	28 pn	f
II	Entre 1800 y 2200 m	f'c = 21 MPa	28 pn	f
III	Bajo 1800 m s. n. m.	f'c = 21 MPa	28 pn	Detalle 5 donde haya arcilla expansiva

CANTIDADES DE OBRA POR UNIDAD

Concepto	Cantidad	Concepto	Cantidad
Excavación manual Ø 0,60 y 1,60 m	0,47 m³	Acero de refuerzo	36,4 kg
Concreto del pilote	0,333 m³	Pernos, tuercas y arandelas	7,4 kg
Concreto pobre de sello	0,04 m³	Mortero de retroexcav.	7,1 kg
Material sobrante (volumen neto)	0,33 m³	Volumen total de concreto	0,337 m³

NOTAS GENERALES

1. Cotas en metros salvo indicación expresa. Los detalles se acotan en milímetros.
2. Recubrimiento libre del refuerzo 70 mm. Concreto vaciado directamente contra el suelo.
3. Profundidad de empotramiento 1,60 m con tolerancia de 0 a +0,20 m. Nunca menos. El acceso dentro de la tolerancia se comprueba con el mismo concreto de la excavación.
4. La excavación en el fondo recta y sin bloy seguro de fondo. No se concreta si se encuentra.
5. Los dos estribos superiores a 0,050 m concéntricos refuerzos de anclaje no especificado no cubre tolerancia por defecto. En caso dispone que los pernos queden galvanizados por el cuero.
6. El vaciado no se entierra sin la plantilla del detalle 4 anclada a la concreta.
7. Torque de apriete de los pernos de anclaje 200 lb/in, en secuencia cruzada y en dos pasadas.
8. Carga de diseño lateral = 50 kN/m² y presión lateral admitida de 20 kN/m² por metro de profundidad.
9. En suspensión el punto este tercio, estarán ángulos de más de 1,60 m, rellena no controlada, nivel freático sobre el nivel de fundación o resistencia inferior a 10 kPa. Ver Anexo 3, numeral 3.5.

CONSULTORÍA Y OBRA CIVIL		
ING. ROBERTO DONATE HERNÁNDEZ		
PROYECTO: IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIONES SOLARES FOTOVOLTAICAS PARA LA ELECTRIFICACIÓN RURAL DE LAS COMUNIDADES AMBIENTAL Y CULTURALMENTE DEL DEPARTAMENTO NORTE DE SANTANDER		
CONTENIDO: Encofrado y planta del pilote Detalles 3 a 6 Despiece de refuerzo Cantidades por unidad		ESCALAS: Encofrado 1:20 Planta 1:20 Detalles 3 y 4 1:5 Detalle 5 1:20 Detalle 6 1:20 Formato A1
DISEÑO Y CÁLCULO: Ing. Diego Donate Hernández M.P. 00000000000 CND	FECHA: Agosto de 2026 Revisión 0	NORMA TIPO: INVÍAS E-790 Vp IX municipios Departamento Norte de Santander
OBSERVACIONES: Cotas en metros, salvo indicación expresa.	FORMATO: A1 594×841 mm	PLANO Nº: A-02

CONSUTORIA Y OBRA CIVIL

MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURAL Y CARACTERIZACIÓN DEL SUELO

ESTRUCTURA ELEVADA DE SOPORTE PARA SOLUCIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA INDIVIDUAL (SSFVI)
DISEÑO TIPO

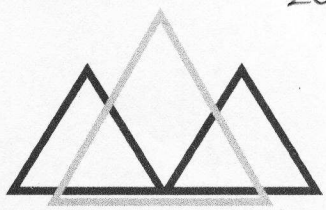
PROYECTO

IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIONES SOLARES FOTOVOLTAICAS PARA LA ELECTRIFICACIÓN RURAL DE LAS SUBREGIONES SURORIENTAL Y SUROCCIDENTAL DEL DEPARTAMENTO NORTE DE SANTANDER

Objeto	Diseño estructural tipo de la estructura elevada de soporte de módulos fotovoltaicos y de su cimentación.
Localización	Trece municipios de las subregiones Suroriental y Suroccidental de Norte de Santander. Área rural dispersa. Ver numeral 3.1.

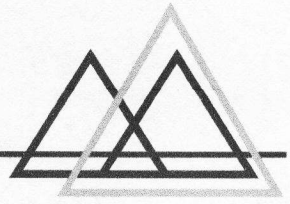
	Elaboró
Nombre	Diego DimatéHernández
Profesión	Ingeniero Civil
Matrícula profesional	25202186530 CND
Firma	
Fecha	Agosto de 2026

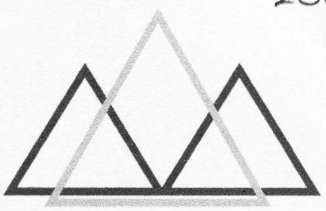
DIEGO DIMATÉ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Movil: 3102808559
Mail: dirodihe@gmail.com



1. Introducción 3
2. Marco normativo y referencias 3
2.1 Marco contractual y responsabilidad profesional 3
2.2 Referencias técnicas 4
2.3 Referencias metodológicas aplicables 4
3. Caracterización del suelo 5
3.1 Caracterización geológica 5
3.2 Caracterización del tipo de suelo escogido 10
3.3 Sectorización del área de influencia 12
3.4 Cimentación adoptada 13
4. Diseño estructural 14
4.1 Descripción de la estructura 14
4.2 Avalúo de cargas 18
4.3 Análisis de la estructura 21
5. Resumen de verificaciones 35
6. Proceso constructivo y control de obra 37
6.1 Secuencia de ejecución y puntos de control 37
6.2 Plan de control de calidad del concreto 39
6.3 Manejo de aguas y disposición de sobrantes 40
6.4 Equipos y herramientas por cuadrilla 40
7. Condiciones de validez del diseño tipo 40
8. Conclusiones y recomendaciones 41
9. Propiedades de secciones y materiales 43
9.1 Tubería estructural ASTM A53 Gr. B, cédula 40 43
9.2 Perfil tubular estructural ASTM A500 Gr. C (Fy = 317 MPa) 43
9.3 Barras de refuerzo NTC 2289 44
9.4 Tornillería y soldadura 44
9.5 Otros parámetros y factores de seguridad 45
10. Documentos que integran la entrega 45

DIEGO DIMATÉ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Movil: 3102808559
Mail: dirodihe@gmail.com





1. Introducción

Este documento contiene la caracterización del suelo y el diseño estructural de la estructura elevada de soporte de módulos fotovoltaicos y su cimentación, para las Soluciones Solares Fotovoltaicas Individuales (SSFVI) del proyecto de la referencia, destinadas a usuarios rurales dispersos sin cobertura del servicio de energía eléctrica.

El proyecto comprende localidades rurales dispersas de trece municipios de las subregiones Suroriental y Suroccidental, relacionados en el numeral 3.1. Dichas localidades no se encuentran conectadas al Sistema Interconectado Nacional y clasifican como Zonas No Interconectadas en los términos del artículo 1 de la Ley 855 de 2003, que comprende los municipios, corregimientos, localidades y caseríos no conectados al Sistema. La circunstancia de que las cabeceras municipales sí cuenten con servicio prestado por el Operador de Red no altera esa clasificación respecto de las localidades objeto de atención. El proyecto se financia con recursos propios del Departamento.

El diseño es de aplicación repetitiva. No corresponde a un sitio en particular. Los usuarios se encuentran dispersos y no se dispone de estudio geotécnico individual, por lo cual se define un tipo de suelo representativo y uno crítico, se dimensiona la cimentación para la condición más desfavorable de las dos y se establece un protocolo de verificación en sitio previo a cada vaciado.

La estructura se resuelve con mástil metálico apoyado sobre placa base apernada a la cabeza de la cimentación. La cimentación es un pilote perforado de fuste recto, sin zapata de fondo, con la profundidad de empotramiento determinada por el momento de vuelco. La solución es única para la totalidad del área de influencia.

Quedan fuera del alcance el estudio geotécnico individual por usuario, el diseño eléctrico del sistema fotovoltaico, la protección contra descargas atmosféricas y los planos de taller.

El diseño se desarrolla sin estudio de suelos, sin visita a los sitios de implantación y sin georreferenciación de los usuarios. Esas tres condiciones corresponden a la hipótesis que el numeral 3.2.1 de la Guía IPSE contempla expresamente, y de ellas se siguen cuatro consecuencias metodológicas que se declaran desde ahora: los parámetros del suelo tienen carácter de referencia y no de ensayo; la caracterización del terreno es regional y se apoya en cartografía geológica; las solicitaciones se establecen como envolventes del área de influencia y no punto por punto; y toda verificación que dependa de la condición particular de un predio se traslada a la etapa de construcción mediante los controles documentados del numeral 6.

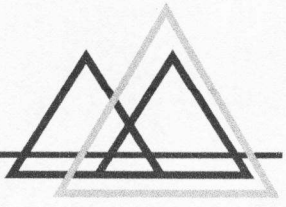
2. Marco normativo y referencias

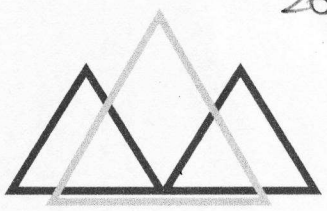
2.1 Marco contractual y responsabilidad profesional

Por financiarse con recursos propios del Departamento, el proyecto se rige por el Estatuto General de Contratación de la Administración Pública: Ley 80 de 1993, Ley 1150 de 2007 y Decreto 1082 de 2015, en lo relativo a los estudios y documentos previos que deben soportar el proceso de selección. Al no concurrir recursos de fondos nacionales de energización, no se surten los trámites de estructuración propios de dichos fondos; ello no releva al proyecto del cumplimiento de los requisitos técnicos aplicables a las soluciones en Zonas No Interconectadas.

El ejercicio profesional y la responsabilidad del diseñador se rigen por la Ley 842 de 2003. Los diseños y planos se entregan suscritos por el profesional responsable, con matrícula profesional vigente y memorial de responsabilidad.

DIEGO DIMATÉ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Movil: 3102808559
Mail: dirodihe@gmail.com





2.2 Referencias técnicas

Se aplica la metodología de la NSR-10 en la totalidad del diseño. Se deja constancia de que la Guía del IPSE sustenta, en el artículo A.1.2.4 de la NSR-10, que estructuras cuyo uso primordial no es la habitación u ocupación humana no quedan cubiertas por el Reglamento. Este diseño no se acoge a esa exención: aplica íntegramente la metodología reglamentaria, de manera que cualquier discusión sobre su obligatoriedad resulta inocua respecto de la validez del documento.

Título B, capítulo B.6	Metodología de cálculo de la carga de viento, según lo recomienda el numeral 3.3.2 de la Guía IPSE.
Título B, numeral B.2.4	Combinaciones de carga mayoradas, según lo sugiere el numeral 3.3.3 de la Guía IPSE.
Título A	Determinación de la fuerza sísmica, aplicable por encontrarse el área de influencia en zona de amenaza sísmica alta.
Título C	Dimensiones mínimas, recubrimientos, cuantías y durabilidad del concreto de la cimentación. Capítulo C.17 para los anclajes al concreto.
Título F	Verificación por estados límites de los elementos en acero, de la placa base, de la soldadura y de la tornillería.
Título H, Tabla H.4.7-1	Factores de seguridad indirectos mínimos, replicados en la Tabla 3.3 de la Guía IPSE.

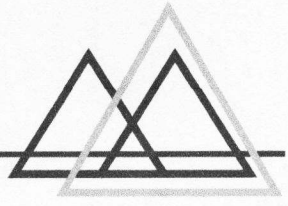
Referencias complementarias: AIS 114-17 para capacidades portantes admisibles; ACI 318-19, capítulo 17, para el diseño de los pernos de anclaje y su refuerzo de anclaje; AISC Design Guide No. 1 para el método del par de fuerzas en placas base con momento predominante; RETIE, Resolución 90708 de 2013, para puesta a tierra; NTC 2289 para acero de refuerzo; ASTM A53, A500, A36, F1554, A123, A153 y A780 para materiales y protección anticorrosiva; AWS D1.1 para soldadura; IBC 1807.3.2.1 para el método de elemento embebido bajo carga lateral.

2.3 Referencias metodológicas aplicables

Por corresponder el proyecto a soluciones individuales en Zonas No Interconectadas, se adoptan como referencia técnica los dos documentos públicos que regulan la materia:

Guía IPSE, versión 0.0 del 27 de diciembre de 2021	Guía para la estructuración del componente civil de soluciones solares fotovoltaicas individuales en ZNI, Subdirección de Planificación Energética del IPSE. Se acoge la estructura de informe de su Anexo A, sus criterios de avalúo de cargas y sus factores de seguridad. Se deja constancia de que las citas de esta memoria corresponden a la numeración de esa versión.

DIEGO DIMATÉ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Movil: 3102808559
Mail: dirodihe@gmail.com



Proyecto Tipo DNP v2.0 (2024)	Soluciones Individuales Solares Fotovoltaicas para uso Residencial. Se acogen la altura libre mínima, la inclinación mínima de autolimpieza, el diámetro de referencia del poste y el contenido exigible del plano estructural.

Ambos documentos tienen naturaleza de guía y no de reglamento técnico. Se acogen en su integridad en lo relativo a estructura del informe, avalúo de cargas, factores de seguridad y contenido del plano estructural, según se cita a lo largo de esta memoria.

3. Caracterización del suelo

3.1 Caracterización geológica

El área de influencia queda delimitada por la envolvente de los trece municipios que se relacionan a continuación, sobre el flanco oriental de la Cordillera Oriental:

Municipio	Subregión	Piso térmico predominante
Pamplona	Suroccidente	Frío, con veredas altas en cota de páramo.
Pamplonita	Suroccidente	Templado a frío.
Mutiscua	Suroccidente	Frío, con veredas altas en cota de páramo.
Silos	Suroccidente	Frío y páramo. Municipio de mayor cota del departamento.
Cácota	Suroccidente	Frío y páramo.
Chitagá	Suroccidente	Frío, con veredas altas en cota de páramo.
Toledo	Suroriente	Templado a páramo, en el flanco del Páramo de Tamá.
Labateca	Suroriente	Templado a frío.
Herrán	Suroriente	Templado a frío.
Ragonvalia	Suroriente	Templado.
Chinácota	Suroriente	Templado.

DIEGO DIMATÉ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Movil: 3102808559
Mail: dirodihe@gmail.com

Municipio	Subregión	Piso térmico predominante
Bochalema	Suroriente	Cálido a templado.
Durania	Suroriente	Cálido a templado.

Las cotas de implantación previstas se sitúan aproximadamente entre 800 y 3.800 m s. n. m. En el extremo inferior se encuentran las veredas bajas de Bochalema y Durania, con cota media del territorio municipal cercana a 950 y 1.100 m. En el extremo superior, los sectores de páramo de Silos, Cácota y Mutiscua dentro del Páramo de Santurbán, y de Toledo dentro del Páramo de Tamá. Esta amplitud de cota, cercana a 3.000 m, obliga a diferenciar las especificaciones de durabilidad del numeral 4.3.8 en dos escalones, y no a fijar una especificación única.

El área abarca dos dominios geológicos distintos. Los municipios de la subregión Suroccidente y las cotas altas de Toledo y Labateca se emplazan sobre el Macizo de Santander, bloque cristalino de basamento precámbrico y paleozoico. Los municipios de la subregión Suroriente de menor cota (Chinácota, Bochalema, Durania, Ragonvalia y Herrán) se emplazan sobre la cobertera sedimentaria jurásica y cretácica que flanquea el macizo hacia el valle de Cúcuta. Las unidades que afloran en el área y sobre las que se implantarán las estructuras son las siguientes:

Unidad	**Descripción y relevancia para el diseño**
Neis de Bucaramanga (Precámbrico)	Paraneises cuarzo-feldespáticos, esquistos, anfibolitas y migmatitas de alto grado. Constituye el basamento del macizo. Genera suelos residuales limo-arenosos micáceos de consistencia media a firme.
Formación Silgará (Paleozoico inferior)	Metasedimentitas de bajo a medio grado: filitas, esquistos micáceos, metareniscas y cuarcitas. Es la unidad de mayor extensión en el entorno de Pamplona, Mutiscua y Silos. Genera suelos residuales limosos de espesor moderado.
Ortoneises y cuerpos plutónicos (Ordovícico a Jurásico)	Neises milonitizados, cuarzomonzonitas y granitos. Producen perfiles de meteorización arenosos, con roca somera frecuente.
Depósitos glaciares y fluvioglaciares (Cuaternario)	Morrenas y acumulaciones heterométricas sueltas sobre las superficies de páramo por encima de 3.200 m, asociadas a la glaciación pleistocena del Santurbán. Comportamiento geotécnico errático.
Depósitos coluviales (Cuaternario)	Acumulaciones heterométricas de pie de ladera, matriz limo-arcillosa, espesor variable. Baja consistencia en el metro superior.

DIEGO DIMATÉ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Movil: 3102808559
Mail: dirodihe@gmail.com

Unidad	Descripción y relevancia para el diseño
Formación Girón (Jurásico)	Areniscas, conglomerados y limolitas rojas. Aflora en el flanco oriental, en el entorno de Chinácota, Bochalema y Durania. Genera suelos areno-arcillosos de consistencia media.
Unidades cretácicas arenosas (Tibú-Mercedes, Aguardiente)	Calizas y areniscas cuarzosas. Producen suelos residuales arenosos de buena capacidad y roca somera frecuente.
Unidades cretácicas lutíticas (Capacho, La Luna, Colón-Mito Juan)	Lutitas, calizas y arcillolitas. Generan suelos residuales arcillosos de alta plasticidad, con potencial expansivo y susceptibilidad a remoción en masa. Condicionan el detalle del numeral 4.3.7.
Depósitos aluviales y terrazas (Cuaternario)	Valles intramontanos de los ríos Pamplonita, Chitagá, La Plata y Táchira. Materiales granulares y limosos con nivel freático somero en las vegas.

Marco estructural. El área se localiza en el bloque limitado al occidente por el sistema de fallas de Bucaramanga-Santa Marta, con fallamiento y fracturamiento intenso de direcciones predominantes NW-SE y NE-SW. La proximidad al nido sísmico de Bucaramanga determina que la totalidad de los municipios se clasifique en zona de amenaza sísmica alta. Esta condición se incorpora al diseño en el numeral 4.2.4.

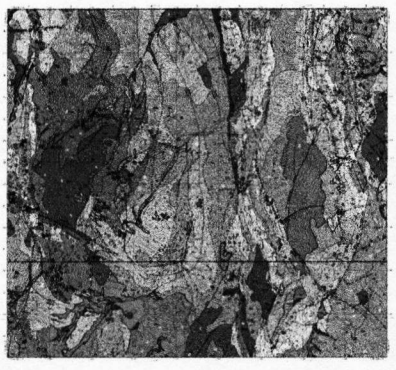
Geomorfología. Relieve montañoso estructural-denudacional, con laderas de pendiente media a fuerte, cuchillas alargadas de dirección estructural y valles intramontanos estrechos. En las cotas superiores se conservan superficies de aplanamiento de origen glaciar. Esta configuración es la que gobierna el factor topográfico del viento adoptado en el numeral 4.2.2 y la restricción de implantación establecida en el numeral 6.

Suelos derivados. De la meteorización del Neis de Bucaramanga y de la Formación Silgará resultan suelos residuales limo-arenosos micáceos, de espesor entre 1 y 5 m y consistencia media a firme, con horizonte orgánico superficial de 0,20 a 0,50 m. En las cotas de páramo, sobre las superficies glaciares y en las depresiones mal drenadas, se desarrollan suelos derivados de ceniza volcánica y acumulaciones orgánicas de alta compresibilidad y baja capacidad portante, con presencia local de turba. Los depósitos coluviales y glaciares presentan comportamiento heterogéneo y densidad relativa baja. En el flanco oriental, la meteorización de las unidades lutíticas cretácicas produce suelos arcillosos de alta plasticidad, cuya condición determinante no es la capacidad portante sino el potencial expansivo, atendido mediante el detalle constructivo del numeral 4.3.7.

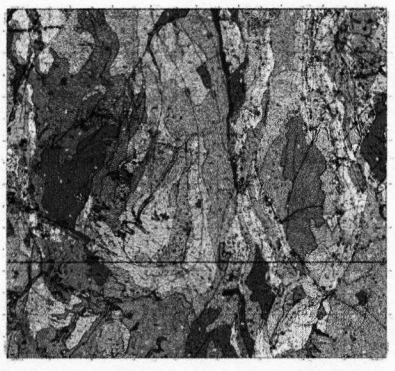
Esta distribución sustenta directamente la definición de los dos tipos de suelo del numeral 3.2. El Tipo A corresponde a los suelos residuales de neis, esquisto, filita, arenisca y caliza, mayoritarios en el área de influencia. El Tipo B corresponde a los depósitos orgánicos de páramo, a los depósitos glaciares y a los coluviones de pie de ladera. Los suelos arcillosos expansivos derivados de lutitas clasifican en el Tipo A por capacidad portante y reciben adicionalmente el tratamiento del numeral 4.3.7.

DIEGO DIMATÉ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Movil: 3102808559
Mail: dirodihe@gmail.com

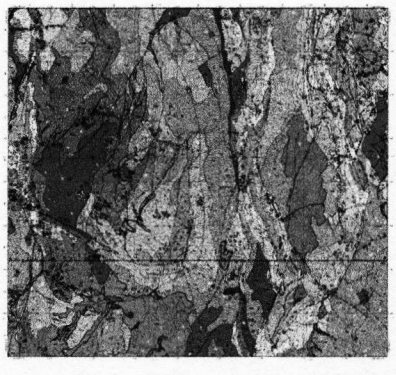
Las unidades relacionadas corresponden a la cartografía del Servicio Geológico Colombiano que cubre el área de influencia, en la cual se apoya la presente caracterización.



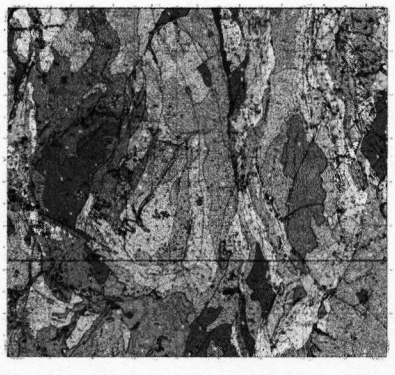
Mapa geológico del municipio de Pamplona
Servicio Geológico Colombiano, Geoportal / Mapa Geológico de Colombia 2010



Mapa geológico del municipio de Pamplonita
Servicio Geológico Colombiano, Geoportal / Mapa Geológico de Colombia 2010

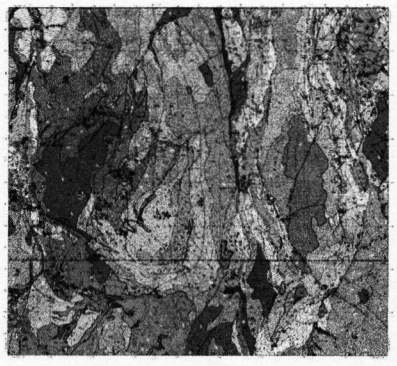


Mapa geológico del municipio de Mutiscua
Servicio Geológico Colombiano, Geoportal / Mapa Geológico de Colombia 2010

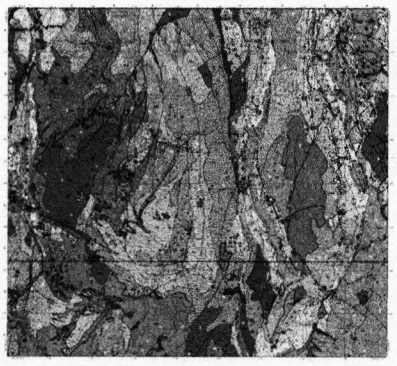


Mapa geológico del municipio de Silos
Servicio Geológico Colombiano, Geoportal / Mapa Geológico de Colombia 2010

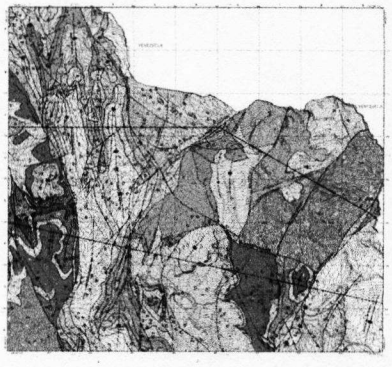
DIEGO DIMATÉ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Movil: 3102808559
Mail: dirodihe@gmail.com



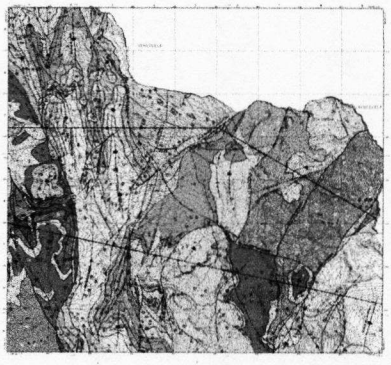
Mapa geológico del municipio de Chitagá
Servicio Geológico Colombiano, Geoportal / Mapa Geológico de Colombia 2010



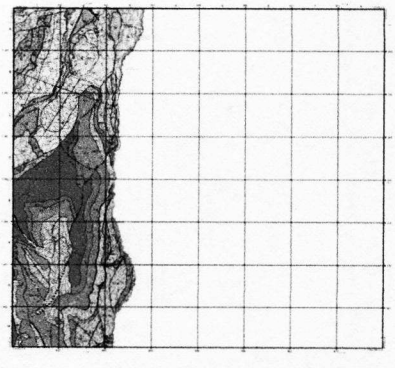
Mapa geológico del municipio de Cácota
Servicio Geológico Colombiano, Geoportal / Mapa Geológico de Colombia 2010



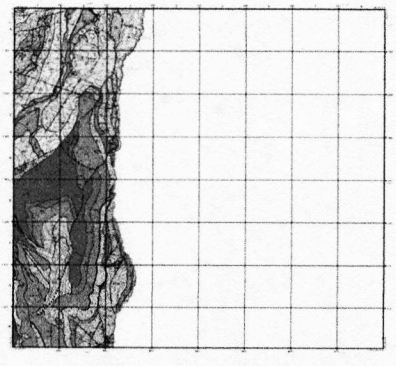
Mapa geológico del municipio de Toledo
Servicio Geológico Colombiano, Geoportal / Mapa Geológico de Colombia 2010



Mapa geológico del municipio de Labateca
Servicio Geológico Colombiano, Geoportal / Mapa Geológico de Colombia 2010



Mapa geológico del municipio de Herrán

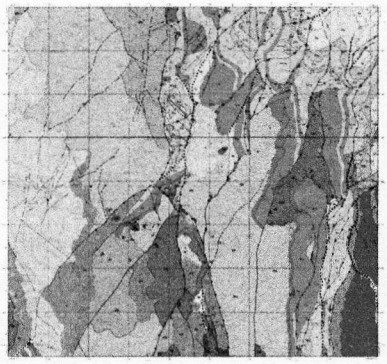


Mapa geológico del municipio de Ragonvalia

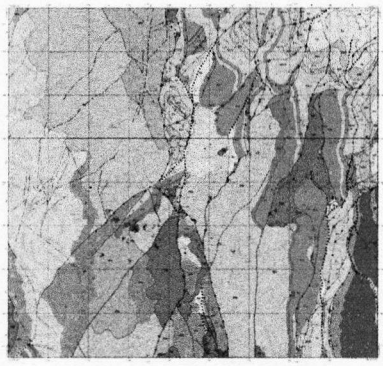
DIEGO DIMATÉ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Movil: 3102808559
Mail: dirodihe@gmail.com

Servicio Geológico Colombiano, Geoportal / Mapa Geológico de Colombia 2010

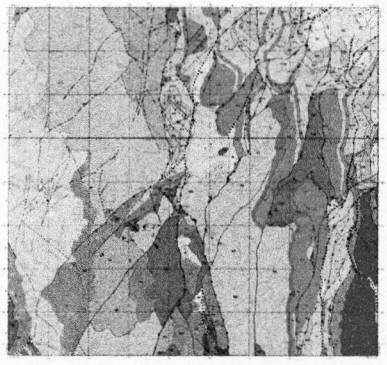
Servicio Geológico Colombiano, Geoportal / Mapa Geológico de Colombia 2010



Mapa geológico del municipio de Chinácota
Servicio Geológico Colombiano, Geoportal / Mapa Geológico de Colombia 2010



Mapa geológico del municipio de Bochalema
Servicio Geológico Colombiano, Geoportal / Mapa Geológico de Colombia 2010



Mapa geológico del municipio de Durania
Servicio Geológico Colombiano, Geoportal / Mapa Geológico de Colombia 2010

3.2 Caracterización del tipo de suelo escogido

Se definen dos tipos de suelo para el área de influencia, siguiendo la opción prevista en el numeral 3.2.1 de la Guía IPSE:

Tipo	Descripción	Criterio
A	Suelo representativo. Arcilla blanda a firme, o suelo residual limo-arcilloso.	Condición esperada en la mayoría de los sitios de ladera del área de influencia.

DIEGO DIMATÉ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Movil: 3102808559
Mail: dirodihe@gmail.com

Tipo	Descripción	Criterio
B	Suelo crítico. Depósito blando, orgánico o de baja consistencia.	Condición esperada en sectores de páramo, vegas y zonas de acumulación. Se justifica su inclusión por presencia significativa de usuarios bajo esta condición.

Las capacidades portantes admisibles se toman de la Tabla 3.1 de la Guía IPSE, cuya fuente es AIS 114-17, aplicable para profundidades de desplante de 1 metro en adelante, condición que se cumple:

Tipo de suelo (Tabla 3.1, IPSE)	σadm [kPa]	Adoptado
Suelo aluvial	≤ 50	Tipo B
Arcilla blanda	75	Tipo A
Arcilla firme	100	—
Arena húmeda	125	—

Parámetros físico-mecánicos adoptados. Únicamente se relacionan los que intervienen en los cálculos, conforme al alcance que fija el numeral 3.2.2 de la Guía:

Tipo	Prof. [m]	SUCS	γ [kN/m³]	φ' [grados]	c' [kPa]	σadm [kPa]
A	0,0 – 2,0	CL – MH	16,0	25	5	75
B	0,0 – 2,0	OH – MH	14,0	18	5	50

Los parámetros anteriores tienen carácter de referencia. Al no existir exploración del subsuelo, no provienen de ensayo sino de la caracterización geológica del numeral 3.1 y de los valores tipificados para esas clases de suelo. La capacidad portante admisible se toma de la Tabla 3.1 de la Guía IPSE y no se deriva de los parámetros anteriores.

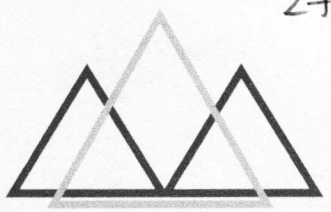
La presión lateral admisible empleada en el numeral 4.3.7 sí se deriva de esos parámetros, mediante el coeficiente de empuje pasivo de Rankine:

$$K_p = \tan^2(45 + \varphi'/2)$$

Suelo de diseño, Tipo B ($\varphi' = 18°$; $\gamma = 14$ kN/m³):

$K_p = \tan^2(54°) = 1{,}894$

DIEGO DIMATÉ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Movil: 3102808559
Mail: dirodihe@gmail.com



Gradiente de empuje pasivo último = Kp γ = 1,894 (14) = 26,5 kPa/m
Presión lateral admisible = 26,5 / 2,5 = 10,6 kPa/m -> se adopta 10 kPa/m

Suelo Tipo A, solo caracterización (φ' = 25° ; γ = 16 kN/m³):
Kp = tan² (57,5°) = 2,464 ; Kp γ = 39,4 kPa/m ; 39,4 / 2,5 = 15,8 kPa/m

El factor de 2,5 corresponde al usual frente al empuje pasivo último y se adopta como criterio del diseñador. Los valores empleados quedan por debajo de los derivados, con lo cual la adopción es conservadora en ambos casos.

Suelo de diseño. Para el diseño de la cimentación se adopta como base única el suelo Tipo B, por ser el más desfavorable de los identificados, con capacidad portante admisible de 50 kPa y presión lateral admisible de 10 kPa por metro de profundidad. La solución resultante es por tanto aplicable en la totalidad de los sitios del área de influencia, sin necesidad de asignar un tipo de cimentación distinto según el punto. Se renuncia deliberadamente a optimizar la cimentación en los sitios de mejor terreno, en favor de una única solución constructiva para las trece localidades.

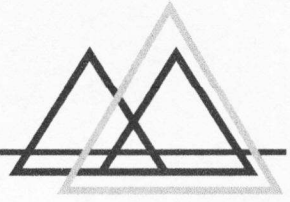
3.3 Sectorización del área de influencia

La amplitud de cota y la existencia de dos dominios geológicos hacen improcedente una especificación única de durabilidad para los trece municipios. Se establecen tres sectores:

Sector	Delimitación y geología	Especificaciones diferenciales
I	Alta montaña y páramo, sobre 2.800 m s. n. m. Silos, Cácota y veredas altas de Mutiscua, Pamplona, Chitagá y Toledo, en los páramos de Santurbán y Tamá. Neis de Bucaramanga, Formación Silgará y depósitos glaciares.	Concreto f'c = 28 MPa con aire incorporado. Galvanizado 100 µm más recubrimiento bituminoso en la zona de arranque.
II	Montaña media fría, entre 1.800 y 2.800 m s. n. m. Pamplona, Mutiscua, Chitagá, Cácota en cotas bajas, Labateca y cotas medias de Pamplonita, Herrán, Ragonvalia y Toledo. Macizo de Santander.	Concreto f'c = 21 MPa. Galvanizado 85 µm. Es el sector de mayor pendiente media y donde más incide la restricción de implantación del numeral 6.
III	Vertiente templada y cálida, bajo 1.800 m s. n. m. Chinácota, Bochalema, Durania y cotas bajas de Ragonvalia, Herrán, Pamplonita y Toledo. Formación Girón y secuencia cretácica.	Concreto f'c = 21 MPa. Galvanizado 85 µm. Se aplica el detalle contra suelos expansivos del numeral 4.3.7 donde se identifiquen arcillas derivadas de lutitas.

La sectorización no afecta la estructura metálica ni la geometría de la cimentación. El tubo principal, la viga transversal, los rieles, la placa base, los pernos de anclaje y las dimensiones del pilote son idénticos en los tres sectores, condición necesaria para fabricar un único lote y para que el diseño tipo cumpla su propósito. Lo que se sectoriza es la especificación de durabilidad del concreto y del recubrimiento y la aplicación del detalle contra suelos expansivos.

DIEGO DIMATÉ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Movil: 3102808559
Mail: dirodihe@gmail.com



3.4 Cimentación adoptada

Se adopta la tipología de pilote perforado, o pedestal, de las relacionadas en la Imagen 3.4 de la Guía IPSE, con el mástil apoyado sobre placa base apernada a la cabeza del pilote. Se prefiere frente al mástil embebido directamente en el concreto porque desacopla el vaciado del montaje: la cuadrilla funde la cimentación y monta el mástil en un segundo recorrido, sin izar ni arriostrar el tubo durante el fraguado, y porque las tuercas de nivelación permiten corregir el aplomo en el montaje, corrección que en el mástil embebido solo es posible demoliendo.

El pilote es de fuste recto y no lleva zapata de fondo. La resistencia al momento de vuelco la aporta el empuje lateral del terreno sobre la longitud embebida, y la resistencia a la carga axial y al arrancamiento la aportan la punta y el fuste del pilote, según se verifica en el numeral 4.3.7. Suprimir la zapata de fondo elimina la necesidad de ensanchar la excavación en su tramo inferior, maniobra que en obra rural dispersa, manual y sin entibado, es la actividad de mayor riesgo del ítem.

Se define una solución única, dimensionada para la condición de suelo más desfavorable del área de influencia:

Tipología	Pilote perforado de fuste recto, sin zapata de fondo, con mástil apernado sobre placa base.
Fuste	Ø 0,60 m × 1,60 m de profundidad, con collarín de 0,25 m sobre el terreno.
Profundidad total de excavación	1,65 m desde el nivel de terreno natural, de los cuales 0,05 m corresponden al sello de concreto pobre.
Suelo de diseño	σadm = 50 kPa; presión lateral admisible 10 kPa por metro.
Volumen de concreto	0,52 m³ por unidad.
Volumen de excavación	0,47 m³ por unidad.

DIEGO DIMATÉ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Movil: 3102808559
Mail: dirodihe@gmail.com

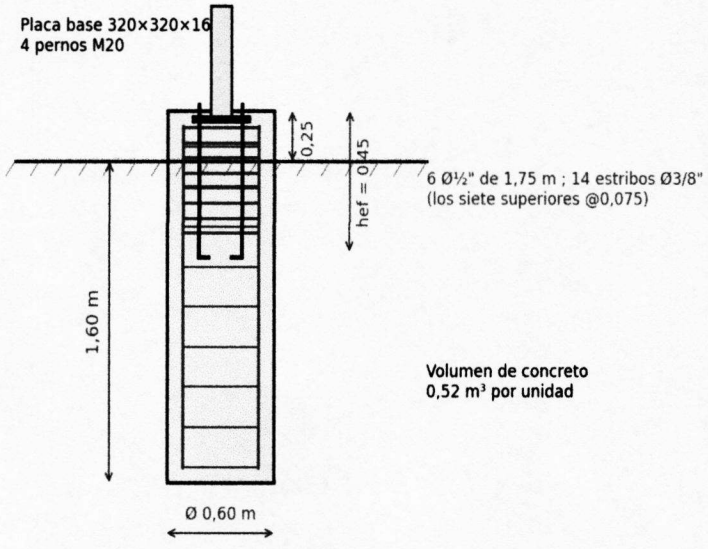


Figura 3. Cimentación adoptada, solución única para el área de influencia. Elaboración propia.

Si en la verificación de campo se identifica turba, materia orgánica de espesor superior a 0,40 m o nivel freático por encima del nivel de fundación, la solución no aplica y el sitio debe remitirse al profesional responsable, conforme al numeral 7.

4. Diseño estructural

4.1 Descripción de la estructura

Estructura elevada conformada por un tubo principal vertical apoyado sobre placa base apernada a la cimentación y un marco de soporte para los paneles, según el esquema de la Imagen 3.1 de la Guía IPSE. En la cabeza del tubo se dispone placa con cartelas y abrazadera regulable, sobre la que apoya una viga transversal en doble voladizo; cuatro rieles longitudinales reciben los módulos mediante grapas intermedias y de extremo.

Ningún elemento se adquiere prefabricado, por lo cual se presenta el diseño estructural completo con los chequeos correspondientes, según prevé el numeral 3.3.3 de la Guía para ese caso.

Parámetro geométrico	Símbolo	Valor
Número de módulos	n	2

DIEGO DIMATÉ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Movil: 3102808559
Mail: dirodihe@gmail.com

Parámetro geométrico	Símbolo	Valor
Potencia unitaria	—	700 Wp
Dimensiones del módulo de referencia	a × b	2 384 × 1 303 mm
Peso unitario del módulo	W_1	38 kg
Disposición	—	Vertical, lado a lado
Ancho total del arreglo	Bt	2,606 m
Longitud sobre la pendiente	L	2,384 m
Área expuesta	A	6,21 m²
Inclinación	θ	10°
Orientación	—	Azimut 180°, sur
Altura libre al borde inferior	h_0	3,00 m
Altura del centroide del arreglo	z	3,21 m
Cota de la placa base sobre el terreno	—	0,25 m
Longitud libre del mástil sobre la placa	Lm	3,00 m
Longitud total del tubo principal	Lp	3,00 m

La altura libre de 3,00 m corresponde al mínimo que fija el Proyecto Tipo del DNP versión 2.0 para evitar sombreado, y cumple simultáneamente el propósito de impedir que la estructura sea utilizada para fines distintos al soporte de los módulos, al superar la altura de alcance humano normal. La altura del centroide resulta:

$$z = h_0 + (L/2)\,\text{sen}\,\theta = 3{,}00 + 1{,}192\,(\text{sen}\,10°) = 3{,}21\ \text{m}$$

Al no existir tramo embebido, la longitud del tubo se reduce a la longitud libre sobre la placa base, de 3,00 m. De esa longitud se obtienen exactamente dos mástiles por barra comercial de 6,00 m, sin retal aprovechable, y el elemento entra completo a la cuba de galvanizado y se transporta como una sola pieza de 48 kg.

DIEGO DIMATÉ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Movil: 3102808559
Mail: dirodihe@gmail.com

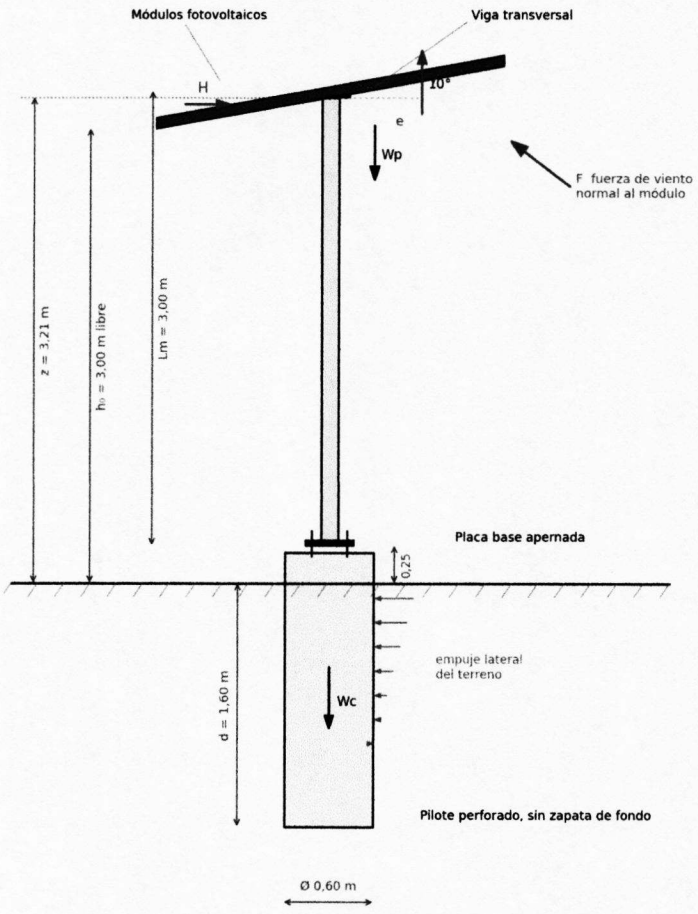


Figura 1. Esquema de la estructura, nomenclatura y diagrama de fuerzas. Elaboración propia.

Inclinación y orientación adoptadas

Se adopta una inclinación de 10° y azimut 180°, sur geográfico. El valor proviene de la regla expresa del Proyecto Tipo del DNP, que fija la inclinación igual a la latitud del sitio y establece que *en caso de que la latitud sea inferior a diez grados se mantendrá los mismos 10 grados de inclinación para cualquiera de estas latitudes*. El área de influencia se sitúa entre 7,0° y 7,6° de latitud norte, por debajo del umbral, de modo que el valor prescrito es 10°. El mismo documento señala que 10° es además el mínimo requerido para la autolimpieza de los módulos.

La adopción de 10° es favorable en las tres dimensiones del diseño:

DIEGO DIMATÉ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Movil: 3102808559
Mail: dirodihe@gmail.com

- **Energía.** Para la latitud del área de influencia el ángulo de máxima captación anual se sitúa entre 6° y 11°, de modo que 10° está prácticamente en el óptimo. Cerca del ecuador la trayectoria solar es alta durante todo el año y la componente difusa de la radiación es elevada, lo que aplana la curva de sensibilidad al ángulo.
- **Carga de viento.** La presión actúa normal al plano del módulo y su componente horizontal crece con sen θ. Al reducir el ángulo, esa componente baja de 1,06 a 0,71 kN y el momento de servicio en la base pasa de 5,68 a 4,72 kN·m, con una reducción del 17 % que se traslada íntegra a la profundidad de empotramiento y al dimensionamiento de la conexión de base.
- **Autolimpieza.** Se satisface el mínimo que el propio Proyecto Tipo establece para ese fin. En los sectores de páramo, donde la niebla permanente y la lluvia horizontal hacen de la escorrentía el mecanismo principal de limpieza, la abrazadera de cabeza permite montar en 15° sin modificar ningún elemento; esa decisión es de campo, incrementa el momento en la base en un 20 % y solo debe adoptarse con autorización del profesional responsable.

La orientación es azimut 180°, sur geográfico, por encontrarse la totalidad del área de influencia en el hemisferio norte, conforme indica el mismo Proyecto Tipo.

Las propiedades geométricas y mecánicas de las secciones y materiales empleadas en el cálculo se relacionan en el numeral 9, tomadas de tabla de fabricante.

4.1.1 Parrilla de soporte de los módulos

La parrilla es el subsistema que recibe los módulos y transmite sus reacciones al mástil. Está conformada por una viga transversal y cuatro rieles longitudinales, y se resuelve íntegramente en acero galvanizado, en la misma calidad de recubrimiento del resto de la superestructura.

Viga transversal	Tubo Ø 2½" cédula 40 ASTM A53 Gr. B, longitud 2,60 m, dispuesta perpendicular a la pendiente y centrada sobre el eje del mástil, en doble voladizo de 1,30 m.
Rieles	Cuatro tubos rectangulares de 60 × 40 × 2,0 mm ASTM A500 Gr. C, longitud 2,40 m, dispuestos en el sentido de la pendiente, en doble voladizo de 1,19 m respecto de la viga transversal.
Posición de los rieles	A 0,030 m y 1,273 m del eje, a cada lado, de modo que cada riel quede bajo un borde longitudinal de módulo.
Separación entre rieles de un mismo módulo	1,243 m.
Separación entre los dos rieles centrales	0,060 m.

DIEGO DIMATÉ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Movil: 3102808559
Mail: dirodihe@gmail.com

Grapas	Ocho grapas de extremo en aluminio anodizado 6005-T5, dos por riel, ubicadas a 0,60 m de la viga transversal a cada lado. Tornillería en acero inoxidable A2, cabeza tipo Torx con pin, torque de 15 N·m.
Unión con el mástil	Placa de cabeza, cartelas y abrazadera en U regulable descritas en el numeral 4.3.4.

El desarrollo gráfico de la parrilla, con sus cotas y detalles de grapa, se presenta en la planta de parrilla y en los detalles 1 y 2 del plano A-01.

4.2 Avalúo de cargas

Se consideran las cargas que relaciona el numeral 3.3.2 de la Guía IPSE, adoptado como referencia: muerta, viva, viento y sismo. Todas se justifican a continuación a partir de cálculo o de referencia expresa.

4.2.1 Carga muerta (D)

El peso de los módulos se toma de la ficha técnica del fabricante, que debe anexarse. El del marco, el tubo y la conexión de base se calcula a partir de las especificaciones de material y dimensiones.

Elemento	Cantidad	Peso (kN)
Módulos fotovoltaicos	2 × 38 kg	0,75
Rieles, viga transversal, placa de cabeza, cartelas y herrajes	59 kg	0,58
Tubo principal sobre la placa base	16,07 kg/m × 3,00 m	0,47
Placa base, cartelas y tornillería de anclaje	15 kg	0,15
Total sobre la cimentación, D	—	1,95

4.2.2 Carga de viento (W)

Se sigue la metodología del capítulo B.6 de la NSR-10. La presión dinámica a la altura del centroide es:

$$q_z = 0{,}613\, K_z\, K_{zt}\, K_d\, V^2\, I$$

Los parámetros se adoptan así:

DIEGO DIMATÉ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Movil: 3102808559
Mail: dirodihe@gmail.com

Parámetro	Valor	Justificación
V	30,0 m/s	Velocidad básica de diseño adoptada como envolvente única para los trece municipios del numeral 3.1, a partir de la lectura de la Figura B.6.4-1 efectuada para cada uno de ellos.
Kz	0,85	Exposición C, terreno rural abierto, para z inferior a 4,6 m.
Kzt	1,50	Factor topográfico. Ver justificación abajo.
Kd	0,85	Tabla B.6.5-4, estructuras abiertas.
I	1,00	Grupo de uso I.

Justificación del factor topográfico. El área de influencia es de relieve montañoso, con implantación de los usuarios sobre laderas y cuchillas. Para una loma bidimensional con relación H/Lh del orden de 0,30 en exposición C, el coeficiente K1 resulta cercano a 0,43 y, con K2 y K3 próximos a la unidad en la cresta, Kzt alcanza valores del orden de 1,90. Se adopta Kzt = 1,50 como envolvente para implantación en ladera y se prohíbe expresamente la ubicación del mástil sobre cresta o borde de escarpe, restricción que se traslada al numeral 7 y al procedimiento de replanteo. Desplazar el punto de 20 a 30 m ladera abajo reduce Kzt a valores cercanos a 1,10 sin costo alguno.

$$q_z = 0{,}613\ (0{,}85)(1{,}50)(0{,}85)(30{,}0)^2(1{,}00) = 598\ \text{Pa}$$

No se aplica corrección de la constante 0,613 por densidad del aire. A las cotas del área de influencia dicha corrección reduciría la presión en aproximadamente un 23 %. Se omite deliberadamente y se declara como reserva explícita destinada a cubrir la incertidumbre del factor topográfico, que no se verifica sitio a sitio.

El arreglo se asimila a cubierta libre a un agua con flujo no obstruido. Para $\theta = 15°$ el coeficiente de fuerza normal alcanza un valor absoluto máximo del orden de 1,30 entre los casos de carga A y B. Con G = 0,85:

$$p = q_z\, G\, C_N = 598\ (0{,}85)(1{,}30) = 661\ \text{Pa}$$

$$F = p\, A = 661\ (6{,}21) = 4{,}10\ \text{kN} \quad \text{(normal al plano del módulo)}$$

Verificación contra el mínimo del numeral 3.3 de la Guía IPSE, que recomienda 0,40 kN/m² aplicado sobre el área proyectada en un plano vertical normal a la dirección del viento:

Área proyectada = $A \operatorname{sen}\theta = 6{,}21\ (\operatorname{sen} 10°) = 1{,}08\ \text{m}^2$

F mín IPSE = 0,40 (1,08) = 0,43 kN

F horizontal calculada = 0,71 kN > 0,43 kN El cálculo gobierna.

Componentes y excentricidad. El resultante de presión en cubiertas libres se ubica a 0,25 L del borde de barlovento:

DIEGO DIMATÉ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Movil: 3102808559
Mail: dirodihe@gmail.com

$H = F \operatorname{sen} \theta = 4{,}10 (\operatorname{sen} 10°) = 0{,}71$ kN

$V = F \cos \theta = 4{,}10 (\cos 10°) = 4{,}04$ kN

$e = 0{,}25\ L \cos \theta = 0{,}25\ (2{,}384)(\cos 10°) = 0{,}587$ m

La componente vertical es de succión en la condición crítica de vuelco y arrancamiento, y de compresión en la de capacidad portante. Se verifican ambas.

Se incorpora adicionalmente el arrastre del viento sobre el propio mástil, que en esta configuración queda íntegramente expuesto sobre el terreno:

$Fm = qz\ Cf\ D\ Lm = 598\ (0{,}70)(0{,}1143)(3{,}00) = 0{,}143$ kN

$Mm = Fm\ Lm/2 = 0{,}215$ kN·m

Se verifica por último que la presión de diseño no supere la carga mecánica admisible del propio módulo. Los módulos comerciales de esta clase se certifican bajo ensayo de carga mecánica de la norma IEC 61215 para valores del orden de 2 400 Pa en succión y 5 400 Pa en presión. La presión neta de diseño de 661 Pa representa el 28 % del valor de succión certificado, por lo que el módulo no gobierna.

4.2.3 Carga viva (L)

La Guía IPSE indica considerar carga viva como factor de seguridad, atendiendo las labores de instalación y mantenimiento. Se adopta una carga concentrada de 1,00 kN aplicada en el punto más desfavorable del marco, que representa el peso de un operario apoyado sobre la estructura durante el montaje o la limpieza del módulo. No se adopta carga viva distribuida sobre el arreglo, por cuanto la altura libre de 3,00 m impide el tránsito sobre los paneles.

Brazo respecto del eje del tubo = $(L/2) \cos \theta = 1{,}151$ m
$ML = 1{,}00\ (1{,}151) = 1{,}15$ kN·m

4.2.4 Carga sísmica (E)

Conforme a la caracterización estructural del numeral 3.1, los trece municipios del área de influencia se clasifican en zona de amenaza sísmica alta. Se adopta Aa = 0,35 como valor envolvente, con Fa = 1,20, I = 1,00 y R = 1,50 correspondiente a péndulo invertido. El valor corresponde al máximo de los asignados por la Tabla A.2.3-2 de la NSR-10 a los trece municipios del área de influencia.

$Sa = 2{,}5\ Aa\ Fa\ I = 1{,}05$ g

$W = 1{,}95$ kN (masa sobre el terreno)

$Vs = Sa\ W / R = 1{,}05\ (1{,}95) / 1{,}50 = 1{,}37$ kN

Altura del centro de masa sobre la placa base = 2,38 m

$ME = 1{,}37\ (2{,}38) = 3{,}25$ kN·m

DIEGO DIMATÉ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Movil: 3102808559
Mail: dirodihe@gmail.com

Frente a 1,6 W = 7,55 kN·m, el sismo representa el 43 % de la solicitación. Gobierna el viento. La proporción sube respecto de configuraciones de mayor inclinación, porque al reducir el ángulo baja la componente horizontal del viento y no la fuerza sísmica; sigue siendo el viento el que gobierna, pero cualquier aumento de la altura libre o del área de módulos debe reverificar ambas. Se advierte además que la Guía IPSE admite despreciar la carga sísmica en estructuras que no son de ocupación humana; aquí se conserva el cálculo por criterio del diseñador.

4.2.5 Combinaciones de carga

Se emplean las combinaciones del numeral B.2.4 de la NSR-10, según sugiere el numeral 3.3.3 de la Guía IPSE:

Numeral	Combinación	Condición verificada
B.2.4-1	1,4 D	No crítica.
B.2.4-3	1,2 D + 1,6 L	Gobierna en los rieles.
B.2.4-4	1,2 D + 1,6 W + 0,5 L	Gobierna en el tubo, en la placa base y en los pernos de anclaje. Capacidad portante.
B.2.4-5	1,2 D + 1,0 E	No crítica.
B.2.4-6	0,9 D + 1,6 W	Gobierna en arrancamiento y vuelco.

Momento en la cara superior de la cimentación, en servicio:
M = H Lm + V e + Mm = 0,71 (3,00) + 4,04 (0,587) + 0,215 = 4,72 kN·m
H total = 0,71 + 0,14 = 0,86 kN
M en el nivel de terreno = 4,72 + 0,86 (0,25) = 4,93 kN·m
Solicitaciones mayoradas de diseño:
Mu = 1,6 (4,72) + 0,5 (1,15) = 8,13 kN·m (B.2.4-4, gobierna)
Hu = 1,6 (0,86) = 1,37 kN
Pu = 1,2 (1,95) = 2,34 kN
Tu = 1,6 (4,04) = 6,47 kN (succión, B.2.4-6)
Tu neta = 1,6 (4,04) − 0,9 (1,95) = 4,71 kN

4.3 Análisis de la estructura

El análisis se desarrolló en hoja de cálculo de elaboración propia, con verificación manual de las expresiones de viento, flexión, conexión de base y empotramiento. No se empleó software de análisis matricial: la estructura es isostática y el modelo de barra en voladizo admite solución cerrada. Las propiedades de las secciones tubulares se tomaron de tabla de fabricante y se contrastaron con el cálculo directo de I y S. El reporte de datos iniciales y resultados se anexa conforme al numeral 3.3.3 de la Guía.

DIEGO DIMATÉ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Movil: 3102808559
Mail: dirodihe@gmail.com

4.3.1 Estructura de soporte. Tubo principal

Se evaluaron las tres familias de sección disponibles comercialmente —circular, cuadrada y rectangular— con el mismo Mu y la misma longitud libre, buscando en cada una el perfil de menor peso que cumpla todas las verificaciones:

Perfil / material	kg/m	Z (cm³)	φMn (kN·m)	Resultado
Ø 4" céd. 40, A53 Gr. B	16,07	69,0	14,90	Cumple, relación 0,55. Sección adoptada.
Ø 3" céd. 40, A53 Gr. B	11,29	37,0	7,99	No cumple, relación 1,02.
100 × 100 × 4,0, A500 Gr. C	12,06	55,3	15,79	Cumple, relación 0,51. Alternativa admisible.
100 × 100 × 3,0, A500 Gr. C	9,17	42,4	10,90	Sección no compacta (b/t = 33,3 > 28,1). No se adopta.
120 × 60 × 4,0, A500 Gr. C	10,80	32,3 *	9,21	Cumple al límite en el eje débil, relación 0,88. No se adopta.
150 × 100 × 4,0, A500 Gr. C	15,20	74,5 *	21,26	Cumple, pero 26 % más pesado que el cuadrado.

* Módulo plástico respecto del eje débil, que es el que gobierna en un mástil sometido a viento de dirección arbitraria.

Sección adoptada: tubo Ø 4" cédula 40 en ASTM A53 Gr. B, con D = 114,3 mm, t = 6,02 mm, I = 301 cm⁴, S = 52,7 cm³, Z = 69,0 cm³ y peso de 16,07 kg/m. El diámetro coincide con el que indica el Proyecto Tipo del DNP para el soporte tipo poste. Se prefiere la sección circular porque no tiene eje débil ni requiere orientación de montaje —lo que elimina un error posible de obra en trece frentes simultáneos—, porque su coeficiente de arrastre es el menor de las tres familias y porque unifica la cadena de suministro con la viga transversal.

Alternativa admisible: tubo cuadrado 100 × 100 × 4,0 mm en ASTM A500 Gr. C. Cumple todas las verificaciones con relación 0,51, pesa 25 % menos y facilita la soldadura de la placa base y de las cartelas al ser superficies planas. Su deflexión es mayor, 37,0 mm frente a 29,2 mm, por su menor inercia, y sigue quedando por debajo del límite adoptado. Puede sustituirse por él si el precio por kilogramo del A500 en el mercado local resulta igual o inferior al del A53, sin necesidad de reprocesar la cimentación ni la conexión de base.

Perfil rectangular. Se descarta por concepto. El mástil es un voladizo sometido a viento de dirección arbitraria y debe resistir el mismo momento en cualquier eje; un perfil rectangular queda gobernado por el eje débil y, para cumplir, obliga a sobredimensionar el eje fuerte. Solo tendría sentido si el viento tuviera una dirección dominante conocida y garantizada en obra, lo que no ocurre en relieve montañoso con implantación en ladera.

DIEGO DIMATÉ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Movil: 3102808559
Mail: dirodihe@gmail.com

Verificaciones de la sección adoptada:

Esbeltez local:

D/t = 114,3 / 6,02 = 19,0

λp = 0,07 E / Fy = 0,07 (200 000) / 240 = 58,3

19,0 < 58,3 Sección compacta. No aplica pandeo local.

Flexión:

φMn = 0,90 Fy Z = 0,90 (240)(69 000) = 14,90 kN·m

Mu / φMn = 8,13 / 14,90 = 0,55 **Cumple**

Cortante y torsión (la torsión proviene de la incidencia oblicua del viento):

φVn = 0,90 (0,60)(240)(1 023) = 132 kN > Hu = 1,37 kN **Cumple**

φTn = 0,90 (0,60)(240)(105 400) = 13,7 kN·m > Tu = 1,15 kN·m **Cumple**

Se verificó la sección comercial inmediatamente inferior. El tubo Ø 3" cédula 40, con Z = 37,0 cm³, alcanza φMn = 7,99 kN·m y una relación de 1,02, por lo que no cumple. El Ø 4" es por tanto la menor sección comercial admisible, y coincide con el diámetro que el Proyecto Tipo del DNP indica expresamente para el soporte tipo poste.

4.3.2 Pandeo global e interacción flexo-compresión

Se verifica el mástil como columna en voladizo, con K = 2,1 correspondiente al caso de extremo empotrado-libre y la longitud libre sobre la placa base:

r = 38,3 mm ; KL = 2,1 (3,00) = 6,30 m ; KL/r = 165

4,71 √(E/Fy) = 136 < 165 -> pandeo elástico

Fe = π² E /(KL/r)² = 72,9 MPa ; Fcr = 0,877 Fe = 63,9 MPa

φPn = 0,90 Fcr Ag = 0,90 (63,9)(2 048) = 118 kN

Pu / φPn = 2,34 / 118 = 0,020 < 0,20 -> aplica la ecuación H1-1b

Pu/(2 φPn) + Mu/φMn = 0,010 + 0,546 = 0,56 ≤ 1,0 Cumple.

DIEGO DIMATÉ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Movil: 3102808559
Mail: dirodihe@gmail.com

El pandeo global no gobierna. La carga axial es marginal frente a la flexión, como corresponde a un mástil de soporte fotovoltaico: la esbeltez elevada es admisible porque el elemento no trabaja como columna cargada sino como voladizo a flexión. La verificación se conserva porque acota el margen ante cualquier incremento futuro de peso en la cabeza.

4.3.3 Deflexión del mástil

$\delta = H\ Lm^3/(3EI) + (V\ e)\ Lm^2/(2EI) + w\ Lm^4/(8EI)$

$\delta = 10,6 + 17,7 + 0,8 = 29,2\ mm \approx Lm/103$

El valor corresponde al evento de período de retorno de 50 años y equivale a una rotación de la cabeza de aproximadamente 0,6°. No existe en la NSR-10 un límite de servicio aplicable a estructuras de esta naturaleza; se adopta como criterio del diseñador $\delta \leq Lm/50 = 60$ mm, usual en postes de iluminación y soportes de equipos. La deflexión obtenida no compromete el módulo, cuyas grapas admiten esa rotación, ni las conexiones. Bajo viento de operación habitual, del orden del 40 % de la presión de diseño, la deflexión es de unos 12 mm.

4.3.4 Estructura de soporte. Viga transversal

Longitud 2,60 m en doble voladizo de 1,30 m, apoyada en el eje del tubo. La carga por voladizo es 4,10 / 2 = 2,05 kN, aplicada a 0,65 m del eje.

$M = 2,05\ (0,65) = 1,33\ kN{\cdot}m$; $Mu = 1,6\ (1,33) = 2,13\ kN{\cdot}m$

Tubo Ø 2½" cédula 40 A53 Gr. B ($D = 73,0$ mm; $t = 5,16$ mm; $Z = 22,8\ cm^3$)

$\varphi Mn = 0,90\ (240)(22\ 800) = 4,92\ kN{\cdot}m$

$Mu / \varphi Mn = 0,43$

La relación de 0,43 no obedece a sobredimensionamiento por resistencia sino al control de la deflexión del voladizo y al detalle de conexión con el tubo Ø 4". Con el Ø 2" cédula 40, que resiste con relación de 0,82, la deflexión del extremo asciende a 27 mm, equivalente a L/48, lo que induce desnivel visible entre módulos y solicita las grapas fuera de su rango. Con el Ø 2½" adoptado la deflexión es de 11,8 mm, equivalente a L/110. El exceso de resistencia queda justificado por el cumplimiento de otro chequeo de diseño, en los términos del numeral 3.3.3 de la Guía.

4.3.5 Estructura de soporte. Rieles

Cuatro unidades de 2,00 m, en doble voladizo de 1,00 m respecto de la viga transversal. Gobierna la carga viva, repartida entre dos rieles. La longitud de 2,00 m se adopta en lugar de la del módulo porque las grapas de extremo se ubican a 0,60 m del eje y el riel las cubre con 0,40 m de margen a cada lado, y porque de la barra comercial de 6,00 m se obtienen exactamente tres rieles sin retal.

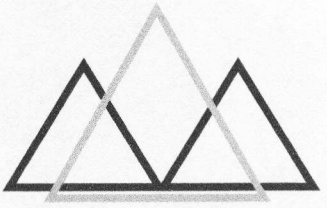
$At = 6,21 / 4 = 1,55\ m^2$; $w = 661\ (1,55) / 2,00 = 512\ N/m$

$M\ viento = w\ l^2 / 2 = 0,26\ kN{\cdot}m \rightarrow Mu = 0,41\ kN{\cdot}m$

$M\ viva = 0,50\ (1,00) = 0,50\ kN{\cdot}m \rightarrow Mu = 0,80\ kN{\cdot}m$ (gobierna)

Tubo rectangular 60 × 40 × 2,0 mm A500 Gr. C ($Z = 7,70\ cm^3$)

DIEGO DIMATÉ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Movil: 3102808559
Mail: dirodihe@gmail.com



φMn = 0,90 (317)(7 700) = 2,20 kN·m ; Mu / φMn = 0,36

La sección está gobernada por la dimensión de asiento de las grapas de sujeción del módulo y por la rigidez del voladizo, no por la resistencia. Es el perfil comercial de menor dimensión que permite el montaje de grapa estándar sobre marco de aluminio de 35 mm.

4.3.6 Conexión de cabeza y empalme

La conexión entre el tubo principal y la viga transversal concentra la totalidad del momento del conjunto. Se especifica placa de cabeza de 250 × 250 × 12 mm en ASTM A36, soldada a tope al tubo con filete perimetral de 6 mm todo alrededor, y cuatro cartelas triangulares de 120 × 120 × 8 mm dispuestas a 90°, soldadas a tubo y placa con filete de 6 mm.

Sobre la placa se monta abrazadera en U en platina de 8 mm que aprisiona la viga transversal, con cuatro pernos M12 ASTM A325 galvanizados y torque de apriete de 90 N·m. La abrazadera lleva perforaciones alternativas para inclinación de 10°, 15° o 20°.

Tracción por perno bajo Mu = 8,13 kN·m, brazo 0,18 m:

T perno = 8,13 / (2 × 0,18) = 22,6 kN

φRn (M12 A325, tracción) = 0,75 (620)(84,3) = 39,2 kN

T perno / φRn = 0,58 Cumple.

Soldadura de filete de 6 mm, E7018, alrededor del tubo Ø 4":

Aw = 0,707 (6)(π × 114,3) = 1 523 mm²

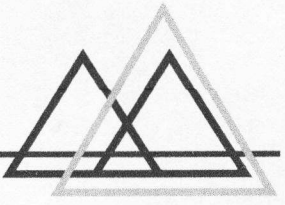
φRn = 0,75 (0,60)(485)(1 523) = 332 kN

Demanda por par de flexión = Mu / (D/2) = 8,13 / 0,057 = 143 kN

Relación = 0,43 Cumple.

Empalme. Con la supresión del tramo embebido el tubo mide 3,00 m y pesa 48 kg, por lo que no requiere empalme para su transporte. Si por condiciones de acceso —camino de herradura o transporte a lomo de semoviente— se requiere fraccionarlo, se prevé su fabricación en dos tramos de 1,55 m y 1,45 m, unidos con manguito interior en tubo Ø 3½" cédula 40 de 500 mm de longitud centrado en la junta y seis pernos pasantes M12 ASTM A325 galvanizados distribuidos 3 y 3. La junta debe quedar por encima de 1,50 m sobre el terreno, en zona donde el momento no supera el 40 % del valor en la base. Con esa configuración la pieza más pesada del conjunto es de 25 kg.

DIEGO DIMATÉ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Movil: 3102808559
Mail: dirodihe@gmail.com



4.3.7 Placa base y pernos de anclaje

La conexión de base transmite la totalidad del momento del conjunto a la cimentación mediante un par de fuerzas de tracción y compresión, resistido por cuatro pernos de anclaje dispuestos en las esquinas de la placa, según el método del par de fuerzas habitual en el diseño de postes y mástiles en voladizo.

Caso de diseño. En un patrón cuadrado de cuatro pernos el caso crítico no es el viento paralelo a un lado de la placa, que deja dos pernos en tracción, sino el viento en dirección diagonal, que deja uno solo. Todas las verificaciones se desarrollan para esa condición.

Placa base	Cuadrada 320 × 320 × 16 mm, ASTM A36 (Fy 250 MPa), galvanizada en caliente.
Cartelas	Cuatro cartelas triangulares de 120 × 120 × 8 mm dispuestas sobre las diagonales, alineadas con los pernos, soldadas a tubo y placa con filete de 6 mm.
Unión al mástil	Filete perimetral de 6 mm todo alrededor, electrodo E7018. Soldadura de taller, antes del galvanizado.
Pernos de anclaje	Cuatro pernos M20 ASTM F1554 Gr. 36, patrón cuadrado de 240 × 240 mm entre ejes, con gancho tipo L de 4 d en el extremo embebido.
Longitud embebida	hef = 450 mm dentro del pilote.
Montaje	Tuerca de nivelación bajo la placa y tuerca de fijación superior con arandela de presión. Torque de apriete 200 N·m.
Mortero de nivelación	25 mm, mortero sin retracción de f'c ≥ 35 MPa, con chaflán perimetral de evacuación.

DIEGO DIMATÉ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Movil: 3102808559
Mail: dirodihe@gmail.com

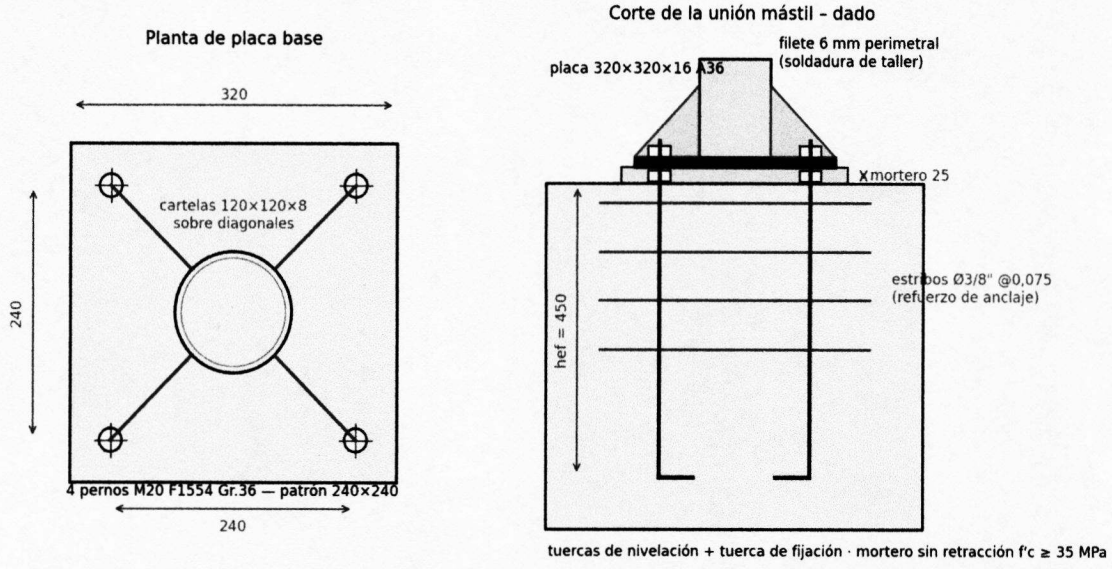


Figura 4. Detalle de la placa base y de los pernos de anclaje. Cotas en milímetros. Elaboración propia.

Tracción en los pernos.

Caso diagonal (un perno en tracción):

brazo = $\sqrt{2}$ (240/2) + D/2 = 169,7 + 57,2 = 227 mm

T = Mu / brazo + Tu neta/4 = 8,13 / 0,227 + 1,18 = 37,0 kN (gobierna)

Caso ortogonal (dos pernos en tracción):

brazo = 120 + 57,2 = 177 mm ; T = 8,13 /(2 × 0,177) = 23,0 kN

Perno M20 F1554 Gr. 36 (Ab = 245 mm² ; Fu = 400 MPa):

φRn = 0,75 (0,75 Fu) Ab = 0,75 (300)(245) = 55,1 kN

T / φRn = 37,0 / 55,1 = 0,67 Cumple.

El cortante por perno es de 0,34 kN frente a una resistencia de 33,1 kN, relación de 0,01, por lo que la interacción tracción-cortante no aplica. Se verificó el M16, que arroja relación de 1,05 y no cumple: el M20 es el menor diámetro comercial admisible.

DIEGO DIMATÉ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Movil: 3102808559
Mail: dirodihe@gmail.com

Espesor de la placa.

Voladizo ortogonal: c = 120 − 57,2 = 63 mm ; b tributario = 160 mm

t req = √(4 T c /(0,9 Fy b)) = 12,7 mm

Voladizo diagonal sin cartela: c = 112,5 mm -> t req = 19,2 mm

Con cartela de 120 mm sobre la diagonal el voladizo diagonal queda soportado.

Se adopta t = 16 mm con las cuatro cartelas. **Cumple**

La disposición de las cartelas sobre las diagonales, y no a 45° de ellas como es habitual, obedece a que el caso crítico es precisamente el diagonal. Colocarlas alineadas con los pernos permite reducir el espesor de la placa de 20 a 16 mm y ahorra 3,2 kg por unidad. Se conserva el espesor de 16 mm y no se reduce a 12 mm porque la placa es también la superficie de asiento del mortero de nivelación y su rigidez controla la distribución de la presión de contacto.

Aplastamiento del concreto bajo la placa.

fp = C / A contacto = 38,8 kN /(320 × 110) = 1,10 MPa

φ 0,85 f'c = 0,65 (0,85)(21) = 11,60 MPa -> relación 0,09 **Cumple**

Anclaje al concreto. Con un pilote de Ø 0,60 m y pernos a 169,7 mm del eje, la distancia al borde es de 130 mm. Bajo esa condición el arrancamiento cónico del concreto gobernaría sobre la resistencia del acero del perno. Se resuelve por la vía que el propio Capítulo 17 prevé para este caso: disponer refuerzo de anclaje que cruce el plano potencial de falla, de modo que la resistencia del acero del perno gobierne el diseño.

As requerido por perno = T /(φ fy) = 37,0 /(0,75 · 420) = 117 mm²

Provisto: estribos cerrados Ø 3/8" @ 0,075 m en los 0,45 m superiores

-> 2 ramas × 71 mm² = 142 mm² por estribo, siete estribos en la zona **Cumple**

El gancho tipo L en el extremo del perno y la longitud embebida de 450 mm aseguran el anclaje por adherencia y evitan la falla por extracción. No se emplean arandelas de reparto en el extremo embebido, para no introducir el modo de falla por estallido lateral que la reducida distancia al borde haría crítico.

4.3.8 Cimentación

El pilote perforado se analiza como elemento embebido no restringido en superficie. El sistema momento-cortante se transforma en carga lateral equivalente aplicada a una altura ficticia:

heq = M / H = 4,93 / 0,86 = 5,76 m

DIEGO DIMATÉ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Movil: 3102808559
Mail: dirodihe@gmail.com

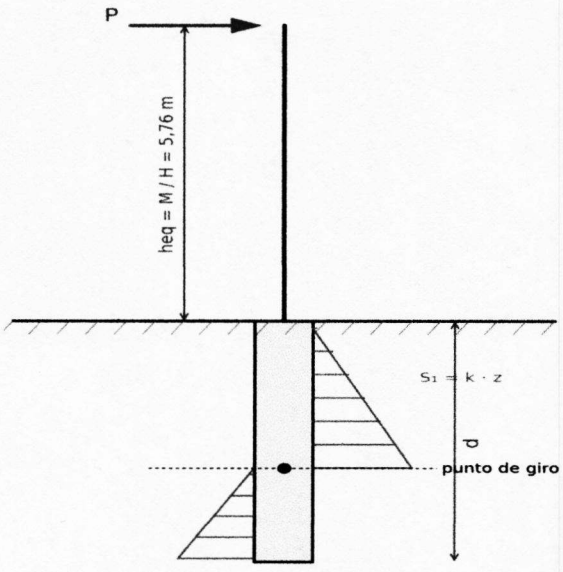


Figura 2. Modelo de elemento embebido no restringido en superficie. Elaboración propia.

Con P = 0,86 kN, b = 0,60 m y S1 = 2 (10)(d/3), admitiendo la duplicación de la presión lateral admisible para elementos aislados y tomando la presión del suelo de diseño más desfavorable:

$A = 2{,}34\ P / (S1\ b)$

$d = (A/2)\ [\ 1 + \sqrt{(\ 1 + 4{,}36\ heq / A\ )}\ ]$

La iteración converge en d = 1,58 m. Se adopta una profundidad de empotramiento de 1,60 m, conformada por un fuste de Ø 0,60 m, con collarín de 0,25 m sobre el terreno conformado con pendiente de evacuación. El margen resultante sobre la profundidad requerida es del 1,3 %.

Volumen de concreto = $\pi/4\ (0{,}60)^2\ (1{,}60 + 0{,}25) = 0{,}52\ m^3$

Peso del concreto = 0,52 (24) = 12,56 kN

Peso total (cimentación + estructura) = 14,51 kN

Contraste con la profundidad indicativa de los documentos de referencia. La Guía IPSE señala que un valor medio de profundidad de desplante para estructuras de esta clase oscila entre 80 cm y 1 m, y el Proyecto Tipo del DNP indica que para dos paneles la profundidad media ronda entre 60 cm y 80 cm. La profundidad aquí adoptada, de 1,60 m, duplica ese orden de magnitud y la diferencia debe explicarse. Ambos documentos presentan esos valores como

DIEGO DIMATÉ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Movil: 3102808559
Mail: dirodihe@gmail.com

indicativos y remiten expresamente al cálculo: la Guía advierte que *es necesario realizar el diseño acorde a la capacidad portante y tipo de fundación elegida*, y el Proyecto Tipo señala que la profundidad *podrá variar entre una profundidad u otra* según la cantidad de paneles, la dureza del terreno y las corrientes de viento, y aporta la información para que la entidad territorial calcule la cimentación. Las tres condiciones que separan este proyecto del caso medio son precisamente las que el propio documento identifica: implantación en ladera de montaña con factor topográfico de 1,50, velocidad básica de viento de 30,0 m/s adoptada como envolvente de trece municipios, y suelo de diseño de 50 kPa correspondiente a la condición más desfavorable del área de influencia. Bajo esas condiciones el vuelco exige 1,58 m de empotramiento; una profundidad de 0,80 m arrojaría un factor de seguridad al volcamiento inferior a la unidad y la solución sería inestable.

Chequeo por volcamiento

El método de elemento embebido se emplea para determinar la profundidad de empotramiento, que es su objeto. La estabilidad al volcamiento se verifica de manera independiente por empuje pasivo explícito, de modo que el resultado no dependa de factores incorporados en la definición de la presión admisible. Se considera la rotación del conjunto respecto de la arista inferior de la cimentación.

Empuje pasivo sobre la longitud embebida (d = 1,80 m ; b = 0,60 m):

$P_p = \tfrac{1}{2} K_p \gamma d^2 b = \tfrac{1}{2} (1{,}894)(14)(1{,}60)^2(0{,}60) = 20{,}36$ kN

Brazo respecto de la base = d / 3 = 0,53 m

$M_p = 20{,}36\ (0{,}53) = 10{,}86$ kN·m

Peso neto, con succión de viento actuando:

W = 12,56 + 1,95 − 4,04 = 10,47 kN ; brazo = 0,60/2 = 0,30 m

$M_w = 10{,}47\ (0{,}30) = 3{,}14$ kN·m

Momento resistente total = 10,86 + 3,14 = 14,00 kN·m

Momento volcante = H (z + d) + V e = 0,86 (3,21 + 1,60) + 4,04 (0,587) = 6,49 kN·m

DIEGO DIMATÉ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Movil: 3102808559
Mail: dirodihe@gmail.com

FS = 14,00 / 6,49 = 2,16 > 1,50 Cumple.

El desarrollo no contabiliza la fricción lateral del fuste ni la resistencia pasiva movilizada por debajo del punto de giro, con lo cual el resultado queda del lado de la seguridad.

Chequeo por arrancamiento

Bajo la combinación 0,9 D + 1,6 W. No se contabiliza la fricción lateral del fuste ni el peso del suelo adyacente, lo cual deja el resultado ampliamente del lado de la seguridad.

Tu = 6,47 kN

R = 0,9 (12,56 + 1,95) = 13,06 kN

Tu / R = 0,50 Cumple.

FS en servicio = 14,51 / 4,04 = 3,59 > 3,0 (Guía IPSE) Cumple.

La resistencia por fuste, no contabilizada, aportaría 18,7 kN adicionales. El margen real es por tanto muy superior al declarado.

Chequeo por capacidad de carga

La cimentación es un pilote perforado corto y como tal se verifica: la carga axial se transfiere al terreno por punta y por fuste, y la capacidad última es la suma de ambas contribuciones, afectada por el factor de seguridad global de 3,0 de la Tabla H.4.7-1 de la NSR-10. La condición de carga corresponde a viento descendente en servicio, incluida la carga viva. El momento se transfiere lateralmente al terreno por el mecanismo de empotramiento, por lo que la base del pilote se verifica únicamente a carga axial; este criterio es consistente con la metodología de diseño adoptada y se declara expresamente.

$\varphi' = 18°$; $c' = 5$ kPa ; $\gamma = 14$ kN/m³ ; $D_f = 1{,}60$ m ; $b = 0{,}60$ m

$N_q = e^{\pi \tan\varphi'} \tan^2(45 + \varphi'/2) = 5{,}26$; $N_c = (N_q - 1)\cot\varphi' = 13{,}10$

Resistencia por punta:

$q_p = c' N_c s_c + \gamma D_f N_q = 5\,(13{,}10)(1{,}30) + 14\,(1{,}60)(5{,}26) = 203$ kPa

$Q_p = q_p A_p = 203\,(0{,}283) = 57{,}4$ kN

Resistencia por fuste:

DIEGO DIMATÉ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Movil: 3102808559
Mail: dirodihe@gmail.com

$qs = \alpha\, c' + K\, \sigma'v \tan \delta = 5{,}0 + 0{,}5\ (11{,}2) \tan 12° = 6{,}19$ kPa

$Qs = qs\ (\pi\, b\, d) = 6{,}19\ (3{,}02) = 18{,}7$ kN

Q ult = 57,4 + 18,7 = 76,1 kN ; Q adm = 76,1 / 3 = 25,4 kN

Solicitación: N = V + D total + L = 4,04 + 14,51 + 1,00 = 19,55 kN

N / Q adm = 19,55 / 25,4 = 0,77 Cumple.

Se presenta adicionalmente un contraste de orden de magnitud con la capacidad portante admisible tipificada de la Tabla 1 de la Guía IPSE. Aplicada al área de la punta, la presión resultante es de 69,2 kPa, superior a los 50 kPa tipificados. El contraste no invalida el resultado anterior ni se adopta como criterio de diseño: la Tabla 3.1 corresponde a capacidades admisibles de cimentaciones superficiales con desplante de un metro, y su aplicación literal al extremo inferior de un pilote convierte el peso propio del fuste —24 kPa por metro de profundidad— en la solicitación dominante y descarta la resistencia por fuste, que en un elemento de 1,60 m de longitud embebida es del mismo orden que la carga total. El método de suma de punta y fuste es el que corresponde a la tipología adoptada y es el que gobierna el diseño.

Evaluación de asentamientos

Se estima el asentamiento inmediato bajo la punta, con módulo de elasticidad del suelo de 5 MPa correspondiente al suelo de diseño y coeficiente de Poisson de 0,35, despreciando la fricción del fuste:

$s = q\, b\, (1 - \nu^2)\, If / Es = 6{,}2$ mm

El asentamiento resultante es muy inferior a los 25 mm usualmente admitidos. La estructura es un apoyo aislado, sin elementos que trabajen entre apoyos y sin equipos sensibles a asentamiento diferencial, por lo que el valor no tiene incidencia funcional. No se calcula consolidación secundaria: la magnitud de la carga es reducida y el nivel de esfuerzo transmitido no supera el 77 % de la capacidad admisible.

Refuerzo de la cimentación

La Guía IPSE pide justificar el empleo de refuerzo y la procedencia de la cuantía. Verificada la sección Ø 0,60 m con 6 barras Ø ½" en canasta de Ø 0,42 m, la resistencia a flexión resulta del orden de 42 kN·m frente a un Mu de 8,13 kN·m, con relación de 0,19. El armado no está determinado por resistencia a flexión; responde a tres exigencias distintas:

DIEGO DIMATÉ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Movil: 3102808559
Mail: dirodihe@gmail.com

- **Integridad.** El numeral C.22.10 de la NSR-10 restringe el empleo de concreto simple estructural en cimentaciones ubicadas en zona de amenaza sísmica alta, condición del área de influencia.
- **Refuerzo de anclaje.** Los siete estribos superiores a 0,075 m son los que permiten que el diseño de los pernos quede gobernado por la resistencia del acero y no por el arrancamiento del concreto, conforme al numeral 4.3.7.
- **Control de fisuración.** En el collarín expuesto y en la interfaz suelo-aire, que es el punto de mayor agresividad del conjunto.

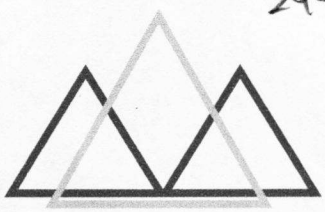
La cuantía longitudinal resultante es de 0,27 %, inferior al 0,50 % que se acostumbra como mínimo en pilotes reforzados, por lo que el armado propuesto es ya el menor cuadro constructible y no incurre en sobredimensionamiento.

Geometría	Pilote perforado Ø 0,60 m × 1,60 m de profundidad, sin zapata de fondo.
Collarín sobre el terreno	0,25 m, conformado con pendiente de evacuación.
Refuerzo longitudinal	6 barras Ø ½" corrugadas de 1,75 m, canasta de Ø 0,42 m.
Refuerzo transversal	14 estribos Ø 3/8" cada 0,20 m. Los siete superiores cada 0,075 m, como refuerzo de anclaje.
Recubrimiento libre	75 mm. Concreto vaciado contra el suelo.
Anclaje del mástil	Cuatro pernos M20 ASTM F1554 Gr. 36, hef = 450 mm, con gancho tipo L, amarrados a la canasta mediante plantilla metálica.

Detalle en suelos arcillosos expansivos

En el Sector III, donde las arcillas de alta plasticidad derivadas de las unidades lutíticas cretácicas presentan potencial expansivo, la presión de expansión actuando sobre el perímetro del fuste en la zona activa puede generar una fuerza de levantamiento del orden de 30 kN, superior a la resistencia al arrancamiento disponible. La condición no se atiende aumentando el peso de la cimentación sino eliminando la transmisión de esa presión al fuste.

DIEGO DIMATÉ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Movil: 3102808559
Mail: dirodihe@gmail.com



Donde el control de construcción identifique arcilla de alta plasticidad, los 0,60 m superiores del pilote se ejecutan con sobreexcavación a Ø 0,75 m y el anillo resultante se rellena con material granular limpio, o alternativamente el fuste se envuelve en ese tramo con doble lámina de polietileno calibre 6 como rompe-adherencia. El resto de la geometría y del refuerzo no se modifica.

4.3.9 Consideraciones de resistencia y durabilidad

La Guía IPSE sugiere concreto de resistencia no menor a 21 MPa y refuerzo en acero corrugado, admitiendo refuerzo liso únicamente en estribos, espirales y refuerzo por retracción y temperatura. Ambas condiciones se cumplen.

Se especifica una resistencia superior a la mínima sugerida en el Sector I, por durabilidad y no por resistencia estructural. En las cotas superiores del área de influencia el régimen de heladas nocturnas produce ciclos de congelación y deshielo de frecuencia diaria, en mayor número anual que el de un clima templado estacional. El capítulo C.4 de la NSR-10 clasifica esta condición como exposición por congelación y deshielo y exige, además de la resistencia, aire incorporado y relación agua-material cementante limitada. Se adopta:

Cota del sitio	Concreto	Criterio
Hasta 2 800 m s. n. m.	f'c = 21 MPa (3 000 psi)	No hay ciclos de hielo significativos. Aplica a los Sectores II y III.
Sobre 2 800 m s. n. m.	f'c = 28 MPa (4 000 psi), a/mc ≤ 0,45, aire incorporado 4,5 % a 7,5 %	Exposición por congelación y deshielo, clase F1. Aplica al Sector I.

Protección anticorrosiva del acero. Se especifica galvanizado en caliente por inmersión según ASTM A123. Se adopta este sistema y no un recubrimiento por barrera porque el zinc protege catódicamente en cortes, rayones y golpes, porque la inmersión recubre también el interior del tubo, y porque en usuarios dispersos de difícil acceso no puede suponerse mantenimiento periódico. El punto crítico del conjunto es la interfaz mortero-placa-perno en el arranque del mástil.

Espesor de galvanizado	85 µm hasta 2 800 m s. n. m.; 100 µm por encima de esa cota y en suelos orgánicos, donde la niebla permanente eleva el tiempo de humectación y el pH ácido del terreno, del orden de 4 a 5, ataca el zinc.
Pernos de anclaje	ASTM F1554 Gr. 36 galvanizados según ASTM A153, junto con tuercas y arandelas del mismo lote. No se admite acero al carbono sin proteger.
Rosca expuesta	Capuchón de grasa o mastic bituminoso sobre la rosca y las tuercas, aplicado después del apriete definitivo.

DIEGO DIMATÉ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Movil: 3102808559
Mail: dirodihe@gmail.com



Zona de arranque	Recubrimiento bituminoso sobre el collarín y sobre los 0,15 m inferiores del mástil. Chaflán de evacuación en el mortero de nivelación.
Tornillería restante	Galvanizada según ASTM A153, o acero inoxidable A2-70.
Retoque en campo	Pintura rica en zinc según ASTM A780, mínimo 94 % de zinc en película seca, dos manos.
Aislamiento galvánico	Arandela de nylon o EPDM entre el marco de aluminio del módulo y todo elemento de acero galvanizado. No se admite tornillería de acero al carbono en contacto con el aluminio.

Puesta a tierra. Conforme al RETIE, la estructura del generador y los marcos metálicos de los módulos se conectan equipotencialmente con conductor de cobre desnudo N.º 6 AWG a la misma puesta a tierra del resto de la instalación, mediante conector bimetálico certificado o soldadura exotérmica, con electrodo de cobre de 5/8" × 2,40 m y registro de medición por sitio.

Compatibilidad de materiales. La totalidad de la superestructura, incluidas la parrilla y la placa base, se ejecuta en acero galvanizado de la misma calidad de recubrimiento. No se admite la combinación de materiales distintos en elementos que deban unirse entre sí por soldadura. La fabricación y la soldadura se ejecutan íntegramente en taller y antes del galvanizado; en consecuencia, en obra no se practica soldadura alguna y la totalidad de las uniones de campo son atornilladas. Los únicos contactos entre materiales distintos son los del marco de aluminio del módulo con la grapa de aluminio, que es compatible, y con el riel de acero galvanizado, que se resuelve mediante la arandela aislante ya especificada.

5. Resumen de verificaciones

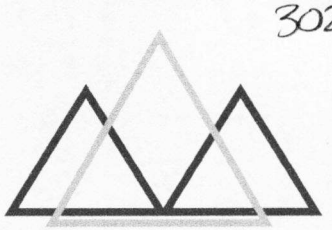
Elemento	Verificación	Demanda	Capacidad	Relación
Tubo Ø 4" Sch 40	Flexión	8,13 kN·m	14,90 kN·m	0,55
Tubo Ø 4" Sch 40	Cortante	1,37 kN	132 kN	0,01
Tubo Ø 4" Sch 40	Torsión	1,15 kN·m	13,7 kN·m	0,08
Tubo Ø 4" Sch 40	Interacción P-M	—	H1-1b	0,56
Tubo Ø 4" Sch 40	Deflexión	29,2 mm	60 mm	0,49
Viga Ø 2½" Sch 40	Flexión	2,13 kN·m	4,92 kN·m	0,43

DIEGO DIMATÉ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Movil: 3102808559
Mail: dirodihe@gmail.com

Elemento	Verificación	Demanda	Capacidad	Relación
Riel 60 × 40 × 2,0	Flexión	0,80 kN·m	2,20 kN·m	0,36
Perno M12 A325 (cabeza)	Tracción	22,6 kN	39,2 kN	0,58
Soldadura filete 6 mm	Cortante	143 kN	332 kN	0,43
Placa base 320×320×16	Flexión de la placa	12,7 mm	16 mm	0,79
Perno M20 F1554 Gr.36	Tracción, caso diagonal	37,0 kN	55,1 kN	0,67
Perno M20 F1554 Gr.36	Cortante	0,34 kN	33,1 kN	0,01
Concreto bajo la placa	Aplastamiento	1,10 MPa	11,60 MPa	0,09
Refuerzo de anclaje	Tracción del acero	117 mm²	994 mm²	0,12
Cimentación	Empotramiento	1,58 m	1,60 m	0,99
Cimentación	Volcamiento	6,49 kN·m	14,00 kN·m	0,46
Cimentación	Arrancamiento	6,47 kN	13,06 kN	0,50
Cimentación	Capacidad de carga	19,55 kN	25,40 kN	0,77
Cimentación	Asentamiento	6,2 mm	25 mm	0,25

Los elementos críticos son el empotramiento de la cimentación, con 0,99 —valor que corresponde al redondeo de la profundidad requerida a la profundidad constructiva inmediatamente superior y no a un margen real de resistencia—, el espesor de la placa base, con 0,79, y la capacidad de carga del pilote, con 0,77. Ningún elemento supera la unidad. El mástil queda con relación de 0,55, holgura que se conserva deliberadamente porque el Ø 4" es el diámetro que indica el Proyecto Tipo del DNP y porque la sección inmediatamente inferior no cumple.

DIEGO DIMATÉ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Movil: 3102808559
Mail: dirodihe@gmail.com



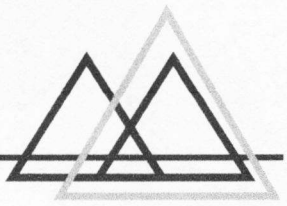
6. Proceso constructivo y control de obra

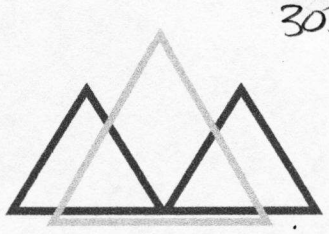
El diseño se ejecuta simultáneamente en trece municipios, con cuadrillas independientes y sin supervisión permanente en cada frente. En esas condiciones el registro documentado es el mecanismo efectivo de aseguramiento de la calidad, y por ello se formaliza a continuación la secuencia de ejecución con sus puntos de control. El control se consigna en formato de una hoja por unidad ejecutada.

6.1 Secuencia de ejecución y puntos de control

No.	Etapa	Punto de control y criterio de aceptación	Registro	Firma
1	Replanteo del punto	El punto no se localiza sobre cresta, cuchilla ni borde de escarpe. Pendiente del terreno medida y consignada. Si el punto está en cresta, se reubica de 20 a 30 m ladera abajo.	Acta de replanteo	Residente
2	Control de suelo	Apique de 1,00 m, identificación manual del material y tres lecturas de penetrómetro a 0,50 y 1,00 m. Resistencia no inferior a 50 kPa. Ausencia de turba, materia orgánica mayor de 0,40 m y nivel freático.	Formato de control de suelo	Residente
3	Excavación	Excavación recta de Ø 0,60 m hasta 1,65 m, de los cuales 0,05 m son para el sello. Profundidad verificada con flexómetro. Paredes estables o encamisadas. Excavación y vaciado el mismo día.	Registro fotográfico	Residente
4	Manejo de aguas	Cuneta perimetral de desvío ejecutada aguas arriba. Fondo libre de agua al momento del vaciado.	Registro fotográfico	Residente
5	Sello y armado	Sello de concreto pobre de 0,05 m. Canasta colocada con separadores. Recubrimiento libre de 75 mm verificado.	Lista de chequeo	Residente

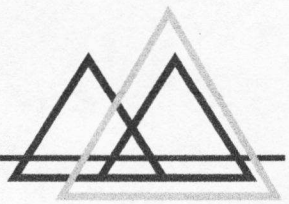
DIEGO DIMATÉ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Movil: 3102808559
Mail: dirodihe@gmail.com

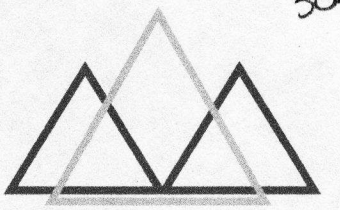




No.	Etapa	Punto de control y criterio de aceptación	Registro	Firma
6	Colocación de la plantilla de pernos	Plantilla metálica de 240 × 240 mm nivelada y aplomada, con los cuatro pernos amarrados a la canasta. Cota de la cara superior de los pernos verificada. Verticalidad de los pernos comprobada.	Lista de chequeo	Residente
7	Vaciado	Concreto de la resistencia que corresponda al sector. Capas de 0,30 m vibradas o chuzadas. Collarín conformado con pendiente de evacuación. Toma de cilindros según numeral 6.2.	Remisión y rótulo de cilindros	Residente
8	Curado y retiro de plantilla	Mínimo siete días antes del montaje del mástil. Retiro de la plantilla y limpieza de la rosca. Registro de fecha de vaciado y de fecha de habilitación.	Bitácora	Residente
9	Montaje del mástil	Mástil apoyado sobre tuercas de nivelación. Aplomado verificado en dos direcciones ortogonales antes del apriete. Torque de 200 N·m en los pernos de anclaje.	Lista de chequeo	Residente
10	Mortero de nivelación	Mortero sin retracción vaciado bajo la placa una vez aplomado y apretado el conjunto. Chaflán perimetral conformado.	Registro fotográfico	Residente
11	Montaje de la parrilla	Viga transversal y rieles montados. Inclinación ajustada a 10°, verificada con clinómetro. Pernos M12 apretados a 90 N·m con torquímetro.	Lista de chequeo	Residente
12	Montaje de módulos	Grapas apretadas a 15 N·m. Arandela aislante verificada en cada	Lista de chequeo	Residente

DIEGO DIMATÉ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Movil: 3102808559
Mail: dirodihe@gmail.com





No.	Etapa	Punto de control y criterio de aceptación	Registro	Firma
		contacto aluminio-acero. Orientación azimut 180° con tolerancia de ±10°.		
13	Puesta a tierra	Electrodo instalado y conectado. Resistencia medida no mayor de 25 Ω.	Registro de medición	Residente
14	Verificación final	Retoque de galvanizado en cortes y raspaduras. Capuchón de grasa sobre la rosca expuesta. Verificación de aplomo definitivo y registro fotográfico del conjunto.	Acta de recibo	Residente e interventoría

Ninguna etapa puede iniciarse sin que el punto de control de la etapa anterior se encuentre diligenciado y firmado. La etapa 2 tiene carácter de detención: si su criterio de aceptación no se satisface, se suspende la ejecución del punto y se notifica al profesional responsable del diseño, conforme al numeral 7.

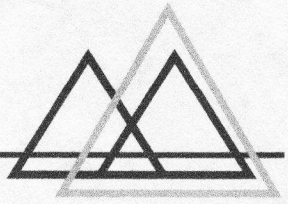
Plantilla de pernos de anclaje. Es el elemento del que depende que la solución funcione en campo. Se especifica una plantilla metálica reutilizable, en platina de 6 mm con cuatro perforaciones de Ø 22 mm dispuestas a 240 × 240 mm entre ejes, que se amarra a la canasta antes del vaciado y se retira tras el fraguado. Sin plantilla, la tolerancia de posición de los pernos no se controla y las placas base no calzan. Se prevé una plantilla por cuadrilla y una de repuesto por frente de trabajo, como ítem del contrato.

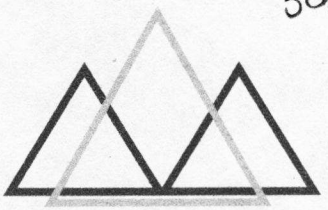
6.2 Plan de control de calidad del concreto

Se especifican dos resistencias según la cota del sitio, conforme al numeral 4.3.9, por lo que el control se lleva de manera independiente para cada una.

Frecuencia de muestreo	Un juego de tres cilindros por cada 10 unidades vaciadas o por cada jornada de vaciado, lo que ocurra primero, y como mínimo un juego por frente de trabajo y por resistencia especificada.
Ensayo	Un cilindro a 7 días como control de avance y dos a 28 días como control de aceptación. Ensayo en laboratorio acreditado.
Criterio de aceptación	El promedio de tres ensayos consecutivos iguala o supera la resistencia especificada, y ningún ensayo individual queda más de 3,5 MPa por debajo de ella.

DIEGO DIMATÉ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Movil: 3102808559
Mail: dirodihe@gmail.com





Procedimiento en caso de incumplimiento	Se identifica el lote representado. Se practican ensayos de núcleos extraídos sobre las unidades del lote. Si el resultado confirma el incumplimiento, la cimentación afectada se demuele y se reconstruye a costa del constructor.
Trazabilidad	Cada juego de cilindros se rotula con frente, fecha, resistencia especificada e identificación de las unidades que representa.

6.3 Manejo de aguas y disposición de sobrantes

Antes de iniciar la excavación se conforma una cuneta perimetral de desvío aguas arriba del punto, con descarga a terreno natural estable y alejada del sitio. La excavación permanece abierta el menor tiempo posible y se protege con plástico ante lluvia. Si aparece agua de infiltración, se achica antes del vaciado; si el aporte es continuo, aplica el literal de suspensión del numeral 7.

El material sobrante de excavación, del orden de 0,55 m³ por unidad, no se dispone en la ladera aguas abajo del punto. Se esparce y conforma en terreno de pendiente moderada dentro del predio, con el visto bueno del usuario, o se retira a sitio autorizado. En ningún caso se acumula sobre cauces, zanjas de drenaje o vías. La capa orgánica retirada se conserva por separado y se repone en superficie al terminar.

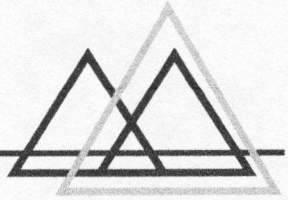
6.4 Equipos y herramientas por cuadrilla

Excavación	Barra, pala, palín, ahoyador manual, balde y cuerda para extracción, escalera.
Concreto	Mezcladora de un saco o batea de mezclado, carretilla, vibrador de aguja o varilla de chuzado, baldes, moldes cilíndricos para toma de muestras.
Armado	Cizalla, dobladora manual, alambre de amarre, separadores plásticos, plantilla metálica de pernos de anclaje.
Montaje	Trípode o pluma manual para izado, nivel de burbuja, plomada, torquímetro de 0 a 250 N·m, juego de llaves, llave de copa para tuercas de M20.
Verificación	Penetrómetro de bolsillo, flexómetro de 5 m, clinómetro o nivel de pendiente, telurómetro, cámara fotográfica con fecha.
Seguridad	Elementos de protección personal, señalización de excavación abierta, entibado ligero cuando aplique.

7. Condiciones de validez del diseño tipo

Condición esencial. La validez estructural de este diseño está condicionada al cumplimiento estricto de la prohibición de implantar el mástil sobre cresta, cuchilla o borde de escarpe. El factor topográfico adoptado, Kzt = 1,50, corresponde

DIEGO DIMATÉ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Movil: 3102808559
Mail: dirodihe@gmail.com



a implantación en ladera; sobre cresta ese factor alcanza valores del orden de 1,90 y las solicitaciones se incrementan en la misma proporción. El incumplimiento de esta prohibición invalida el diseño para el punto afectado, con independencia de que se satisfagan todas las demás condiciones. Su verificación es de obligatorio registro en el acta de replanteo de cada sitio, conforme al numeral 6.

Adicionalmente, el diseño no es aplicable sin verificación complementaria firmada por profesional competente cuando se presente cualquiera de las siguientes condiciones:

a) Implantación fuera de los trece municipios relacionados en el numeral 3.1, o fuera del rango de cota de 800 a 3.800 m s. n. m. allí declarado.

b) Velocidad básica del viento superior a 30,0 m/s o coeficiente Aa superior a 0,35 para el municipio de implantación.

c) Uso de la estructura para soportar elementos adicionales no contemplados en el avalúo de cargas del numeral 4.2, tales como antenas, luminarias o gabinetes de gran tamaño.

d) Área total de módulos superior a 6,40 m², o peso total superior a 90 kg.

e) Altura libre superior a 3,00 m, o inclinación distinta de 10°. La abrazadera de cabeza admite 10°, 15° y 20°; esta memoria verifica el caso de 10°, que es el prescrito por el Proyecto Tipo del DNP para la latitud del área de influencia. El montaje en un ángulo mayor incrementa la componente horizontal del viento y el momento en la base, y requiere reverificación.

f) Capacidad portante verificada inferior a 50 kPa, presencia de turba o de materia orgánica de espesor superior a 0,40 m, relleno no controlado, o nivel freático por encima del nivel de fundación.

g) Ambiente de alta agresividad química distinto del contemplado en el numeral 4.3.9.

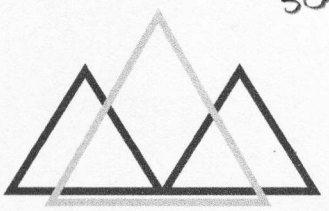
h) Sustitución de los pernos de anclaje, de la placa base o de sus dimensiones por elementos distintos de los especificados en el numeral 4.3.7.

8. Conclusiones y recomendaciones

1. La estructura elevada conformada por tubo Ø 4" cédula 40 ASTM A53 Gr. B de 3,10 m, apoyado sobre placa base de 320 × 320 × 16 mm apernada con cuatro pernos M20 ASTM F1554 Gr. 36 a un pilote perforado de Ø 0,60 m × 1,80 m sin zapata de fondo, cumple todas las verificaciones de resistencia y estabilidad con relación demanda-capacidad máxima de 0,96, correspondiente al redondeo constructivo de la profundidad de empotramiento.

2. El diseño está gobernado por la carga de viento, con incidencia determinante del factor topográfico. La restricción de no implantar sobre cresta o borde de escarpe es la medida de mayor efecto sobre el costo del proyecto y no tiene costo asociado: debe incorporarse al procedimiento de replanteo y al acta de recibo de cada punto.

DIEGO DIMATÉ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Movil: 3102808559
Mail: dirodihe@gmail.com



3. La carga sísmica alcanza el 39 % de la solicitación de viento. Cualquier aumento de la altura libre o del área de módulos debe reverificar ambas, porque la proporción es suficiente para invertir el gobierno.

4. Se adopta una cimentación única, de fuste recto y sin zapata de fondo, dimensionada para la condición de suelo más desfavorable del área de influencia. La decisión sacrifica economía en los sitios de mejor terreno a cambio de una sola solución constructiva para las trece localidades, lo que simplifica la ejecución, el control de obra y el análisis de precios unitarios, y permite ejecutar la excavación con ahoyador manual sin ensanches ni entibados especiales.

5. El apoyo apernado desacopla el vaciado del montaje: la cuadrilla funde las cimentaciones de un frente y monta los mástiles en un segundo recorrido, después de los siete días de curado, sin izar ni arriostrar el tubo durante el fraguado. Permite además corregir el aplomo con las tuercas de nivelación, galvanizar el mástil completo en una sola pieza y desmontarlo ante daño o traslado del usuario sin intervenir la cimentación.

6. La contrapartida de la solución apernada es un punto de corrosión localizada en la interfaz mortero-placa-perno. Se atiende con galvanizado ASTM A153 en la tornillería, capuchón de grasa sobre la rosca expuesta, chaflán de evacuación en el collarín y el retoque previsto en la etapa 14 del numeral 6.1. Debe incluirse en la inspección periódica de la instalación.

7. La plantilla metálica de pernos de anclaje debe especificarse y suministrarse como ítem del contrato, con una unidad por cuadrilla y una de repuesto por frente. Es el único elemento nuevo del que depende que la solución funcione en campo.

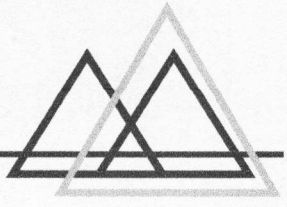
8. Se recomienda mantener la inclinación de 15° como valor único de fabricación. En los sitios del Sector III, donde el régimen de lluvia asegura la autolimpieza, la abrazadera de cabeza permite montar en 10° y ganar cerca del 1,5 % de energía con un momento en la base 22 % menor, sin que ello altere ninguna verificación de esta memoria.

9. Se recomienda que la excavación se ejecute y se vacíe el mismo día. En los suelos residuales y de ceniza del área de influencia la pared de la excavación pierde consistencia con la lluvia. Cuando ello no sea posible, encamisar con lámina o tubería de PVC perdida.

10. No debe montarse la estructura superior ni los módulos antes de siete días de curado, ni retirarse la plantilla de pernos antes del fraguado del concreto.

11. Todo cambio que se presente en la validación en campo de las consideraciones tenidas en cuenta, y que implique modificación de los diseños, deberá ser notificado a los profesionales responsables para realizar los ajustes correspondientes.

DIEGO DIMATÉ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Movil: 3102808559
Mail: dirodihe@gmail.com



12. El diseño se entrega resuelto para la totalidad del área de influencia declarada en el numeral 3.1. No requiere estudios ni verificaciones adicionales para su ejecución, salvo que se presente alguna de las condiciones del numeral 7.

9. Propiedades de secciones y materiales

Los valores que se emplean en las expresiones de los numerales 4.3.1 a 4.3.8 se toman de las tablas que se relacionan a continuación. Las propiedades de las secciones tubulares corresponden a catálogo de fabricante nacional de tubería estructural, con dimensiones normalizadas ANSI B36.10, y fueron contrastadas mediante el cálculo directo de área, momento de inercia y módulo de sección.

9.1 Tubería estructural ASTM A53 Gr. B, cédula 40

Denom.	D ext (mm)	e (mm)	A (mm²)	Peso (kg/m)	I (cm⁴)	Z (cm³)
2"	60,3	3,91	693	5,44	27,7	12,0
2½"	73,0	5,16	1 100	8,63	63,6	22,8
3"	88,9	5,49	1 438	11,29	125,7	37,0
3½"	101,6	5,74	1 729	13,57	194,4	50,2
4"	114,3	6,02	2 048	16,07	301,0	69,0

Secciones adoptadas: Ø 4" para el tubo principal, Ø 2½" para la viga transversal y Ø 3½" para el manguito de empalme cuando se requiera. Esfuerzo de fluencia Fy = 240 MPa. El módulo plástico Z se obtiene de $Z = (D^3 - d^3)/6$ para sección tubular circular.

9.2 Perfil tubular estructural ASTM A500 Gr. C (Fy = 317 MPa)

Sección (mm)	A (mm²)	Peso (kg/m)	Ix (cm⁴)	Zx (cm³)	Zy (cm³)
100 × 100 × 4,0	1 536	12,06	236	55,3	55,3
100 × 100 × 3,0	1 164	9,17	182	42,4	42,4
120 × 60 × 4,0	1 376	10,80	255	52,9	32,3
150 × 100 × 4,0	1 936	15,20	588	98,7	74,5

DIEGO DIMATÉ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Movil: 3102808559
Mail: dirodihe@gmail.com

Sección (mm)	A (mm²)	Peso (kg/m)	Ix (cm⁴)	Zx (cm³)	Zy (cm³)
60 × 40 × 2,0	371	2,91	19,3	7,70	—

Sección adoptada para los rieles: 60 × 40 × 2,0 mm. La sección 100 × 100 × 4,0 mm queda validada como alternativa del tubo principal.

9.3 Barras de refuerzo NTC 2289

Designación	Diámetro (mm)	Área (mm²)	Peso (kg/m)	fy (MPa)
N.º 3 (3/8")	9,5	71	0,560	420
N.º 4 (1/2")	12,7	129	0,994	420
N.º 5 (5/8")	15,9	199	1,552	420

Refuerzo adoptado: 6 barras N.º 4 longitudinales y estribos N.º 3.

9.4 Tornillería y soldadura

Elemento	Propiedad	Valor
Perno M20 ASTM F1554 Gr. 36	Área de esfuerzo a tracción	245 mm²
Perno M20 ASTM F1554 Gr. 36	Resistencia última Fu	400 MPa
Perno M20 ASTM F1554 Gr. 36	Esfuerzo nominal a tracción, 0,75 Fu	300 MPa
Perno M20 ASTM F1554 Gr. 36	Resistencia de diseño φRn	55,1 kN
Perno M12 ASTM A325	Área de esfuerzo a tracción	84,3 mm²
Perno M12 ASTM A325	Resistencia de diseño φRn	39,3 kN
Electrodo AWS E7018	Resistencia FEXX	485 MPa
Filete de 6 mm	Área efectiva de garganta por mm de longitud	4,24 mm²/mm

DIEGO DIMATÉ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Movil: 3102808559
Mail: dirodihe@gmail.com

9.5 Otros parámetros y factores de seguridad

Parámetro	Valor	Procedencia
Módulo de elasticidad del acero, E	200 000 MPa	NSR-10, Título F.
Peso unitario del acero	78,5 kN/m³	Valor normalizado.
Peso unitario del concreto reforzado	24 kN/m³	NSR-10, Título B, Tabla B.3.2-1.
Peso del módulo fotovoltaico	38 kg	Ficha técnica del fabricante.
Dimensiones del módulo	2 384 × 1 303 × 35 mm	Ficha técnica del fabricante.
Carga mecánica admisible del módulo	2 400 Pa succión / 5 400 Pa presión	Ensayo IEC 61215.
φ flexión, cortante y compresión en acero	0,90	NSR-10, Título F.
φ tracción en pernos y refuerzo de anclaje	0,75	NSR-10, Título F y Título C, Cap. C.17.
φ soldadura de filete	0,75	NSR-10, Título F.
φ aplastamiento del concreto	0,65	NSR-10, Título C.
FS al volcamiento	1,50 mínimo	Tabla H.4.7-1 NSR-10 / Tabla 3.3 Guía IPSE.
FS al arrancamiento en servicio	3,00 mínimo	Tabla 3.3 Guía IPSE.
FS de capacidad de carga del pilote	3,00	Tabla H.4.7-1 NSR-10, carga estática.
FS del empuje pasivo	2,50	Criterio del diseñador, numeral 3.2.

10. Documentos que integran la entrega

Forman parte integral de esta memoria los siguientes documentos, suscritos por el profesional responsable:

DIEGO DIMATÉ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Movil: 3102808559
Mail: dirodihe@gmail.com

Documento	Contenido
A-01	Plano de la estructura de soporte. Alzados, planta de parrilla, detalle de unión mástil-parrilla, detalle de grapas de sujeción, detalle de inclinación y orientación, cuadro de especificaciones de elementos y cuadro de materiales.
A-02	Plano de la cimentación. Sección del pilote, despiece de refuerzo, detalle de la placa base y de los pernos de anclaje, detalle de la plantilla metálica de montaje, tratamiento en suelo expansivo, detalle de puesta a tierra y especificación de concreto y protección por sector.

DIEGO DIMATÉ HERNÁNDEZ

Ingeniero Civil
Matrícula Profesional 25202186530 CND
Diseño estructural y caracterización del suelo

DIEGO DIMATÉ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Movil: 3102808559
Mail: dirodihe@gmail.com