

ANEJO 010.- CÁLCULOS ESTRUCTURALES

Mario Quiñonez Alonso
Colegio de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos
Nº Colegiado: 23696



ÍNDICE

1. ALCANCE.....	3
2. LEGISLACIÓN Y REGULACIÓN.....	4
3. REQUISITOS DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE DISEÑO	8
3.1. CIMENTACIÓN DEL TRACKER: PRUEBAS DE VERIFICACIÓN DE DISEÑO.....	8
3.2. PROPUESTA DE TIPOLOGÍA DE CIMENTACIÓN PARA LA ESTRUCTURA DE PSFV LLANERA.....	8
3.3. CIMENTACIONES DE INVERSORES STRING.....	8
3.4. CIMENTACIONES DE CENTROS DE TRANSFORMACIÓN.	9
3.5. CIMENTACIONES GRUPO ELECTRÓGENO	9
3.6. CIMENTACIONES DE EDIFICIOS PREFABRICADOS (EDIFICIO CENTRO DE CONTROL, ALMACÉN Y TALLER)	9
4. DIMENSIONAMIENTO.....	10

1. ALCANCE

El alcance de este anejo es el de dimensionar las cimentaciones de los seguidores, inversores, estaciones de potencia y edificios a instalar en la planta PSFV Llanera acorde a lo concluido en el Anejo 5 Estudio de Geología y Geotecnia.

El dimensionamiento definitivo se verificará, una vez realizada la campaña geotécnica de proyecto, con los diferentes proveedores.

2. LEGISLACIÓN Y REGULACIÓN

Además de los requisitos establecidos en esta Especificación Técnica, el sistema de seguimiento suministrado debe cumplir con todos los requisitos de las últimas versiones de las leyes y regulaciones obligatorias nacionales e internacionales aplicables.

En caso de existir cualquier discrepancia entre las normas citadas o entre ellas y esta especificación, se aplicará la que sea más restrictiva. Sin embargo, el PROVEEDOR o en el caso del Fabricante, deberá notificar por escrito a ACUAMED cualquier conflicto existente, quien se reserva el derecho de decidir sobre cualquier caso que se presente.

Los diferentes elementos estructurales de la planta deben cumplir con todos los códigos, estándares y regulaciones aplicables por parte de la Autoridad Gubernamental local o internacional. A continuación, se muestra una lista parcial:

- EN 1090-1: Ejecución de estructuras de acero y estructuras de aluminio. Parte 1: Requisitos para la evaluación de la conformidad de los componentes estructurales
- EN 1090-2: Ejecución de estructuras de acero y estructuras de aluminio. Parte 2: requisitos técnicos para las estructuras de acero
- EN 10025: Productos laminados en caliente de aceros estructurales.
- EN 10143: Chapa y banda de acero recubiertas en continuo por inmersión en caliente.
- EN 10162: Perfiles de acero conformado en frío - Condiciones técnicas de suministro - Tolerancias dimensionales y de la sección transversal
- EN 10204: Productos metálicos. Tipos de documentos de inspección.

- EN 10219: Secciones huecas estructurales formadas en frío de aceros no aleados y de grano fino. Condiciones técnicas de entrega.
- EN 10346: Productos planos revestidos por inmersión en caliente continuamente.
- UNE EN ISO 2063-1: Proyección térmica. Cinc, aluminio y sus aleaciones. Parte 1: Consideraciones de diseño y requisitos de calidad para sistemas de protección contra la corrosión.
- UNE EN ISO 2063-2: Proyección térmica. Cinc, aluminio y sus aleaciones. Parte 2: Ejecución de sistemas de protección contra la corrosión.
- UNE EN ISO 3549: Pigmentos a base de polvo de cinc para pinturas. Especificaciones y métodos de ensayo.
- UNE-EN ISO 9606-1: Cualificación de soldadores. Soldeo por fusión. Parte 1: Aceros.
- EN ISO 286-2: Especificación geométrica de productos. Tolerancia ISO y sistema de ajuste. Parte 2: Tabla con los grados estandarizados de tolerancia y las desviaciones límite de los agujeros y ejes.
- EN ISO 1461: Recubrimientos galvanizados por inmersión en caliente en artículos de hierro y acero fabricados - Especificaciones y métodos de prueba
- EN ISO 4063: Soldadura y técnicas relacionadas. Nomenclatura del proceso y números de referencia.
- EN ISO 9712: Pruebas no destructivas. Calificación y certificación del personal que realiza pruebas no destructivas. Principios generales.

-
- EN ISO 10684: Elementos de fijación. Recubrimientos galvanizados en caliente.
 - EN ISO 10721-1: Estructuras de acero. Parte 1: Materiales y diseño
 - EN ISO 10721-2: Estructuras de acero. Parte 2: Fabricación y erección
 - UNE EN ISO 14713_1: Recubrimientos de cinc. Parte 1: Resistencia corrosión
 - EN ISO 17635: Prueba no destructiva de soldaduras. Reglas generales para materiales metálicos. (Nivel de calidad B)
 - ISO 898: Propiedades mecánicas de elementos de fijación fabricados en acero al carbono y acero aleado.
 - ISO 2859-1: Procedimientos de muestreo para la inspección por atributos. Parte 1: esquemas de muestreo indexados por límite de calidad de aceptación.
 - ISO 9001: Para diseño y fabricación de estructuras de soporte de módulos fotovoltaicos.
 - ISO 10474: Productos de acero y acero. Documentos de inspección
 - ISO 14001: Para el diseño y la fabricación de estructuras de soporte de módulos fotovoltaicos.
 - ISO 15614 Soldadura, especificación y cualificación de los procedimientos de soldadura.
 - ISO 12944-1: Protección contra la corrosión de estructuras de acero mediante sistemas de pintura protectora Parte 1: Introducción general
 - ISO 12944-2: Protección contra la corrosión de estructuras de acero mediante sistemas de pintura protectora. Parte 2: Clasificación de entornos.
 - ISO 45001: para diseño y fabricación de estructuras de soporte de módulos fotovoltaicos.
 - Eurocódigo 1: EN 1991-1-3: Acciones en estructuras. Parte 1-3: Acciones generales: cargas de nieve.
 - Eurocódigo 1: EN 1991-1-4 Acciones en estructuras. Parte 1-4: Acciones generales - Acciones de viento.
 - Eurocódigo 1: EN 1991-1-5 Acciones en estructuras. Parte 1-5: Acciones generales - Acciones térmicas.
 - Eurocódigo 1: EN 1991-1-6: Acciones en estructuras. Parte 1-6: Acciones generales: acciones durante la ejecución
 - Eurocódigo 1: EN 1991-1-7: Acciones en estructuras. Parte 1-7: Acciones generales: acciones accidentales.
 - Eurocódigo 3: EN 1993-1-3 Diseño de estructuras de acero. Parte 1-3: Reglas generales: reglas adicionales para miembros y láminas formadas en frío.
 - Eurocódigo 3: EN 1993-1-8 Diseño de estructuras de acero. Parte 1-8: Diseño de articulaciones
 - Eurocódigo 7. Cálculo geotécnico. Parte 1: Reglas generales.
 - Eurocódigo 7. Proyecto geotécnico. Parte 2: Proyecto asistido por ensayos de laboratorio.
-

• Eurocódigo 7. Proyecto geotécnico. Parte 3: Proyecto asistido por ensayos de campo.	• CEI 60364-6
• Eurocódigo 8. Diseño sismo resistente de estructuras. Parte 1. Reglas generales, acciones sísmicas y reglas para edificación.	• CEI 60364-7-712
• Eurocódigo 8. Diseño sismo resistente de estructuras. Parte 5. Cimentaciones, estructuras de contención y aspectos geotécnicos.	• CEI 60529
• Eurocódigo 9: EN 1999-1-1: Diseño de estructuras de aluminio. Parte 1-1: Reglas estructurales generales.	• IEC 60755
• Eurocódigo 9: EN 1999-1-4: Diseño de estructuras de aluminio. Parte 1-4: Láminas estructurales formadas en frío.	• IEC 60947-2
• NCSR-22 Norma de construcción sismorresistente, parte general y de edificación.	• IEC 60947-3
• Código estructural	• IEC 60947-4
• AWS D 1.1 / 2020 - Código de soldadura estructural – Acero	• IEC 60998-1
• ASTM 117-B: Práctica estándar para operar sal pulverizada (niebla).	• IEC 61439-1
Comisión Electrotécnica Internacional IEC:	• IEC 61557-8
• CEI 60269-6	• IEC 61643-11
• CEI 60364-4-41	• IEC 61936-1
• CEI 60364-5-53	• IEC 62020
	• IEC 62116
	• IEC 62305-2
	• IEC 62446

- Instituto IEEE de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos
- Asociación de ingenieros de cables de alimentación aislados IPCEA

Las normas mencionadas no excluyen otras de igual o superior calidad; sin embargo, el Fabricante deberá indicar en su propuesta las normas alternativas, o las piezas aplicables.

3. REQUISITOS DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE DISEÑO

3.1. CIMENTACIÓN DEL TRACKER: PRUEBAS DE VERIFICACIÓN DE DISEÑO

El CONTRATISTA deberá proporcionar la ingeniería estructural de las hincas del seguidor, para revisión y aprobación del PROPIETARIO.

Incluirá diseños y planos, cálculos geotécnicos y estructurales y un plan de verificación del diseño de las hincas.

Los cálculos estructurales deberán demostrar que las hincas están diseñadas para soportar todas las cargas axiales y laterales calculadas según los códigos de construcción aplicables (cargas de diseño) con el factor de seguridad requerido para garantizar que el desplazamiento residual esté dentro de los 10 mm, o los límites aceptables según lo especificado por el fabricante del seguidor, el que sea menor.

El diseño de la cimentación deberá verificarse mediante la realización de pruebas de cargas axiales y laterales (el Plan de Pruebas de Verificación del Diseño).

El Plan de Pruebas de Verificación del Diseño deberá incluir un procedimiento de prueba detallado, criterios de aceptación, un plan que muestre las ubicaciones de las pruebas, una lista de instrumentación y certificados de calibración. Cada prueba tendrá un número de identificación único. El Plan de Pruebas de Verificación del Diseño deberá presentarse para revisión y aprobación del PROPIETARIO antes del comienzo de las pruebas.

El procedimiento del Plan de Pruebas de Verificación del Diseño deberá demostrar que el diseño de la cimentación instalada puede soportar las Cargas de Diseño con el Factor de Seguridad (FoS) requerido, y esto debe cumplir y definir con las regulaciones estructurales locales y actualizadas.

El procedimiento de prueba de carga se realizará de acuerdo con el procedimiento del fabricante del seguidor, considerando también como referencia para cargas de tensión ASTM D3689, para cargas de compresión ASTM D1143 y para cargas laterales ASTM D3966 o sus equivalentes internacionales o locales aprobados.

Es importante recalcar que la definición de la profundidad de hincado deberá verificarse con los ensayos de Pull Out Test.

3.2. PROPUESTA DE TIPOLOGÍA DE CIMENTACIÓN PARA LA ESTRUCTURA DE PSFV LLANERA

De la información proveniente del Anejo 5 Estudio de Geología y Geotecnia se sugiere el tipo de cimentación y estructura a implementar. Se considera la siguiente distribución de materiales tanto para los polígonos Norte como Sur:

- **Calizas:** Polígonos Norte 5%; Polígonos Sur 0%;
- **Conglomerados calcáreos:** Polígonos Norte 20%; Polígonos Sur 65%;
- **Aluvial – Coluvial:** Polígonos Norte 55%; Polígonos Sur 35%;
- **Arcillas Abigarradas:** Polígonos Norte 15%; Polígonos Sur 5%.

Hay que resaltar que no se disponen datos de características y propiedades de cada uno de los materiales, que comprenden las unidades indicadas.

La presencia de arcillas es prácticamente marginal (en torno al 15% y 5%), el resto es aluvial, coluvial, conglomerados y caliza por lo que se propone **predrilling** en toda la cimentación.

Se hace notar que estas propuestas se basan en la información general disponible. Y, por lo tanto, son solo indicativas y verificarse con el estudio geotécnico en la fase de ejecución de acuerdo al resultado de los estudios geológicos y geotécnicos.

3.3. CIMENTACIONES DE INVERSORES STRING.

En caso de que el diseño del proyecto incluya inversores de string, será competencia

de la compañía que realice el constructivo realizar el estudio correspondiente y confirmar mediante estudio que el proveedor de la estructura proporciona las hincas y un informe de cálculo y verificación de estos.

Cada uno de los inversores contará con dos hincas formadas por perfiles de acero C200 (C200*75*22*3 o C200*90*40*4) hincados en el terreno, tal y como se puede ver en el plano SV3822-UIH-GEN-003-PLA-REN-014-Detalle de inversor.

3.4. CIMENTACIONES DE CENTROS DE TRANSFORMACIÓN

Para los tres centros de transformación de la planta PSFV Llanera el sistema de cimentación es el reflejado en el plano SV3822-UIH-GEN-003-PLA-REN-016-Cimentación del centro de transformación.

Esta cimentación consiste en una losa de hormigón armado de fondo cuyas dimensiones son 6218*3154*200. Sobre esta losa se alzan 6 pilares de 600*600 y un cubeto de retención de aceite con espacios para depositar el aceite del transformador con paredes de hormigón y un sifón para la evacuación del líquido. El bloque también costará de ladrillos desmontables para permitir el tendido de los cables. Por último, todos los huecos entre la estructura base y los cimientos deben ser sellados con hormigón/cemento alrededor de las esquinas. Además de todas estas especificaciones, para limitar la cimentación es conveniente poner una capa de aislante entra la cimentación y el suelo alrededor de la misma.

La resistencia mecánica del hormigón a emplear y la cantidad y distribución de las barras de acero reforzado se determinarán en función del cálculo de la carga y el esfuerzo, así como de la normativa local sobre la construcción civil.

3.5. CIMENTACIONES GRUPO ELECTRÓGENO

En la planta PSFV Llanera se tienen 2 grupos electrógenos de 5,5 kVA cuyas dimensiones son 1950*830*1342 mm y un peso de 465 kg y además un grupo de 50 kVA cuyas dimensiones son 2608*1078*1741 mm y un peso de 1108 kg.

La cimentación de los grupos electrógenos, tanto los de 5,5 kVA como el de 50 kVA, constará de una losa de hormigón armado sobre la cual se apoya y se ancla el grupo y deberá soportar como mínimo una vez y media el peso del equipo, incluyendo los líquidos como el aceite, combustible y refrigerante, así como sus accesorios y el cuadro eléctrico.

Estas cimentaciones se encontrarán en zonas aledañas a los centros de transformación y el centro de control de la planta fotovoltaica

Las dimensiones de estas cimentaciones son de 3700*2100*150 y 3700*1700*150, la primera de ellas para grupos de 50 kVA y la segunda para el caso del más pequeño.

3.6. CIMENTACIONES DE EDIFICIOS PREFABRICADOS (EDIFICIO CENTRO DE CONTROL, ALMACÉN Y TALLER)

Para la cimentación de los edificios prefabricados se emplean las cimentaciones mostradas en el SV3822-UIH-GEN-003-PLA-REN-022-Control Storage Room, donde se puede ver que las cimentaciones consisten en zapatas corridas de hormigón sobre las que apoyan los distintos módulos y losas de hormigón armado HA-25 de 150 mm, con una cama de arena de río, lavada y compactada para nivelación de 100 mm entre el hormigón y el edificio. A mayores, la cara superior de las cimentaciones queda por encima del terreno, dejando sus bordes rodeados de zahorra compactada para fijar su posición.

4. DIMENSIONAMIENTO

Tal y como se ha definido en este documento, cada uno de los elementos de la PFV debe cumplir con los requisitos de las especificaciones técnicas de diseño.

El CONTRATISTA deberá proporcionar la ingeniería estructural que garantice la seguridad estructural de los diferentes elementos que componen la planta, conforme a las cargas actuantes, para revisión y aprobación de ACUAMED.

La configuración propuesta deberá ser validada por ACUAMED antes de la asignación del suministro; Se pueden solicitar configuraciones alternativas sin costes adicionales.