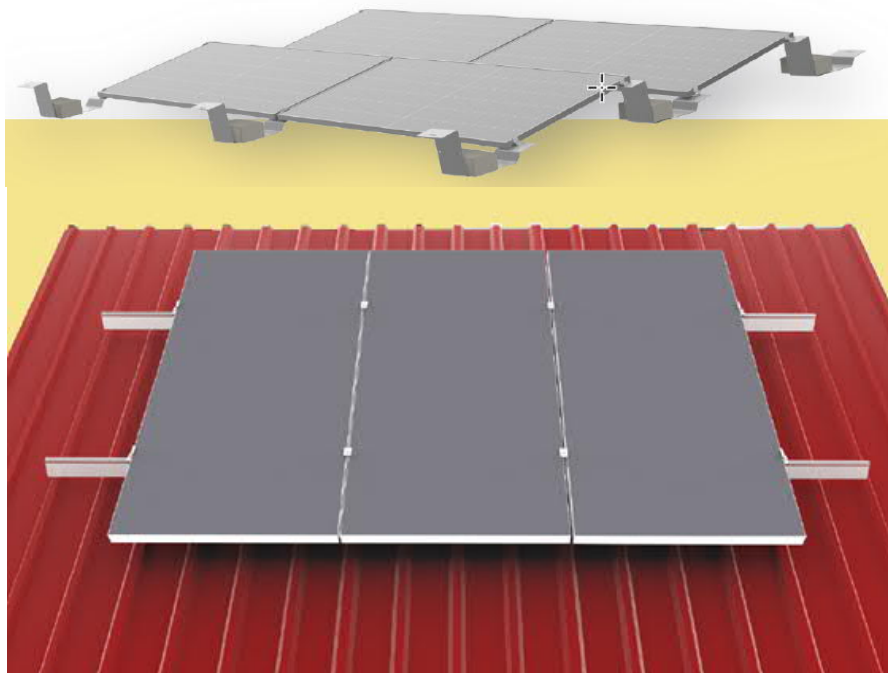


SOLUCIONES PARA EL MONTAJE DE PANELES SOLARES FV

Informe Técnico

VERIFICACIÓN ESTRUCTURAL Y DE ESTABILIDAD
PANELES COPLANARES Y CON CONTRAPESOS



Detalles del Documento

Título	Informe Técnico - Verificación Estructural y de Estabilidad. Paneles con Contrapesos y Coplanares	Código de Documento	SRT-IT-002-JNR-0
Desarrollado para:	SOLARMET	Revision No.	0
Desarrollado por:		Fecha	14 de Octubre de 2021

CÓDIGO: SRT-IT-002-JNR-0	TÍTULO: Informe Técnico – Verificación Estructural y de Estabilidad. Paneles Coplanares y con Contrapesos		
CONTRATO: - CLIENTE: SOLARMET	FECHA: 14/10/21	REVISIÓN: 0	HOJA Nº: 2 de 32

INDICE

1	OBJETO Y ALCANCE	3
2	INTRODUCCIÓN.....	3
3	REFERENCIAS.....	5
4	MATERIALES.....	6
4.1	Aluminio	6
4.2	Hormigón.....	6
5	ESTRUCTURA COPLANAR	6
5.1	Geometría	6
5.2	Casos de Estudio	8
5.3	Análisis de Cargas.....	9
5.4	Modelo de Cálculo	11
5.5	Resultados	15
6	ESTRUCTURA CON CONTRAPESOS	25
6.1	Geometría	25
6.2	Análisis de Cargas.....	26
6.3	Resultados	29
6.4	Resumen de Pesos de Bloques	31
7	CONCLUSIONES Y ASPECTOS A TENER EN CUENTA.....	32

CÓDIGO: SRT-IT-002-JNR-0	TÍTULO: Informe Técnico – Verificación Estructural y de Estabilidad. Paneles Coplanares y con Contrapesos	FECHA: 14/10/21	REVISIÓN: 0	HOJA Nº: 3 de 32
CONTRATO: - CLIENTE: SOLARMET				

1 OBJETO Y ALCANCE

El objeto del presente Informe Técnico es realizar la verificación estructural y análisis de estabilidad, para el sistema de paneles solares fotovoltaicos de tipo coplanar, y de tipo anclado con contrapesos, respectivamente, provistos por la Firma Solarmet.

En cuanto al alcance, el mismo contempla la verificación de resistencia y serviciabilidad de los perfiles principales sobre los cuales se instalan los paneles de tipo coplanar, y mediante los cuales se instalan los mismos sobre cubiertas con pendiente cuyo valor medio se contempla en 20°.

Adicionalmente, el alcance contempla la verificación de estabilidad para paneles solares fotovoltaicos con una inclinación de 10° respecto de la horizontal, a instalarse sobre cubiertas planas y mantenidos en posición mediante a utilización de contrapesos (bloques de hormigón) posicionados sobre las piezas (anclajes metálicos) destinadas a tal fin.

Aclaraciones:

- No se contempla en esta etapa de estudio, el análisis de uniones y elementos auxiliares como ser, anclajes, planchuelas, tornillos, tuercas y demás elementos de unión.
- Las características geométricas de las construcciones sobre la que se instalan los arreglos de paneles en ambos casos de estudio, así como las asociadas al propio arreglo, se definen en modo genérico para realizar un análisis aproximado y determinar un orden de magnitud o medidas estimadas de separación entre puntos de fijación, para la estructura coplanar (luz o span entre apoyos); y de peso de bloques de anclaje (contrapesos o ballast) para los paneles a 10° sobre cubiertas planas.

2 INTRODUCCIÓN

El presente informe contempla ciertas condiciones de instalación para paneles solares fotovoltaicos, asociadas a una cierta de localización geográfica en la República Argentina.

Dada la considerable extensión territorial Argentina, se presentan diversidad de acciones climáticas sobre las estructuras en general. En este caso, para las estructuras en cuestión, dadas sus condiciones geométricas, de carga y de instalación, se considera como la acción climática preponderante a la acción del viento. Dicha acción será estudiada como dato de entrada del análisis, según los lineamientos del Reglamento CIRSOC 102-2005, y de manera complementaria mediante el Estándar ASCE SEI 7-16.

La acción del viento presenta gran variabilidad dada la extensión geográfica del territorio nacional. Esto puede apreciarse en la figura a continuación, la cual muestra las curvas isocletas de velocidades del viento.

CÓDIGO:

SRT-IT-002-JNR-0

TÍTULO:

Informe Técnico – Verificación Estructural y de Estabilidad. Paneles Coplanares y con Contrapesos

CONTRATO: -

CLIENTE: SOLARMET

FECHA:

14/10/21

REVISIÓN:

0

HOJA Nº:

4 de 32

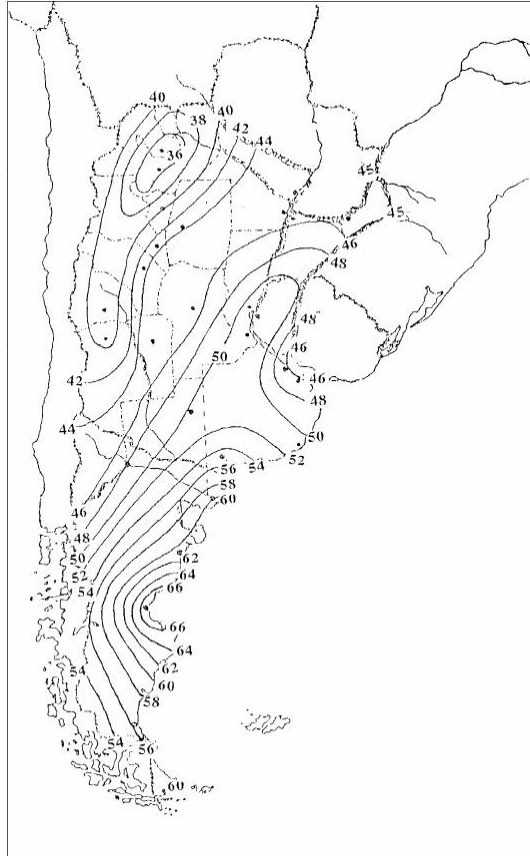


Figura 1: Mapa de velocidades básicas del Viento (m/s). (CIRSOC 102-2005)

El mapa de la figura anterior, presenta velocidades básicas del viento para la República Argentina. Las mismas corresponden a velocidades de ráfaga de 3 segundos de duración, a 10 m de altura sobre el terreno. Estas velocidades están asociadas a una probabilidad anual de ocurrencia de 0.02, para que sean igualadas o excedidas. Esto equivale a un intervalo de recurrencia media de 50 años.

La categoría de Exposición considerada para el presente análisis es la de tipo "B". La misma corresponde a áreas urbanas y suburbanas, áreas boscosas, o terrenos con numerosas obstrucciones próximas entre sí, del tamaño de viviendas unifamiliares o mayores.

Estructura Coplanar a Cubierta Inclinada

Para la verificación de los perfiles estructurales asociados a este sistema, se contempla su instalación sobre la cubierta de una construcción unifamiliar típica con las siguientes dimensiones aproximadas:

CÓDIGO: SRT-IT-002-JNR-0	TÍTULO: Informe Técnico – Verificación Estructural y de Estabilidad. Paneles Coplanares y con Contrapesos		
CONTRATO: - CLIENTE: SOLARMET	FECHA: 14/10/21	REVISIÓN: 0	HOJA Nº: 5 de 32

$B_{ed} := 10m$	Ancho
$L_{ed} := 15m$	Largo
$L_{mod} := 10m$	Longitud cubierta por paneles
$\alpha_{cub} := 20^\circ$	Inclinación de cubierta
$h_{mc} := 10m$	Altura media de cubierta

Para la condición comentada en el párrafo anterior, se realizará la modelación estructural de uno de los perfiles principales sobre los que se instalan los paneles, mediante un programa de cálculo numérico (Autodesk Inventor Pro 2019) que analiza la estructura mediante el Método de los Elementos Finitos (MEF).

Del análisis computacional se obtendrá como resultado, las máximas tensiones normales y los esfuerzos de corte. A través de tales solicitaciones, se calculará la tensión de Von Mises. Esta, es entendida como aquella que actuando sobre una barra traccionada, origina en ella un estado tensional igualmente crítico que el estado tensional real. Por ello, dicha tensión es comparada la tensión admisible a tracción del material.

Del modelo se obtendrá también la deformación de la estructura (serviciabilidad), ya que esta debe ser tomada en cuenta a la hora de mantener la integridad geométrica de la misma, a pesar de que las condiciones de resistencia resulten admisibles.

Nota: En el presente documento se realiza un análisis simplificado de tensiones en los elementos estructurales. De requerirse un análisis de mayor rigurosidad o sujeto a criterios reglamentarios, el mismo podrá ser incorporado en revisiones posteriores.

Estructura con Contrapesos

En asociación a esta tipología, se estudian dos arreglos típicos de paneles, uno de una fila y dos columnas (dos paneles contiguos conectados por su lado mas corto); y otro, de dos filas y dos columnas formando un esquema cuadrículado de dos por dos casilleros.

Tal como se comentó en el alcance, el posicionamiento relativo de esta estructura sobre la cubierta plana en la que se instala, se contempla alejado de los bordes, y en la zona central de la misma.

3 REFERENCIAS

- CIRSOC 102: Reglamento Argentino de Acción del Viento Sobre las Construcciones. (Julio 2005)
- ASCE SEI 7-16: Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures
- Plano de fabricación Aluar – Perfil Coda P-8628.
- Longi Solar – Paneles LR4-72HPH 420 ~ 440M
- Aluar – Catálogo de Perfiles Estructurales

CÓDIGO: SRT-IT-002-JNR-0	TÍTULO: Informe Técnico – Verificación Estructural y de Estabilidad. Paneles Coplanares y con Contrapesos	FECHA: 14/10/21	REVISIÓN: 0	HOJA Nº: 6 de 32
CONTRATO: - CLIENTE: SOLARMET				

4 MATERIALES

4.1 Aluminio

Para el material aluminio, se adoptan las siguientes características:

Características de Aleación	6005A – T6 (Aluminio-Magnesio-Silicio)
Resistencia a la Rotura	255 MPa mín.
Resistencia a la Fluencia	215 MPa mín.
Módulo de Elasticidad	69500 MPa
Peso Específico	$2.71 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
Coefficiente de Poisson	0.33
Módulo de Corte	25860 MPa

4.2 Hormigón

Para el material hormigón, que constituirá los bloques de anclaje, se adopta un peso específico de 25 Kn/m³.

5 ESTRUCTURA COPLANAR

5.1 Geometría

Para la estructura coplanar, se contempla la siguiente geometría:

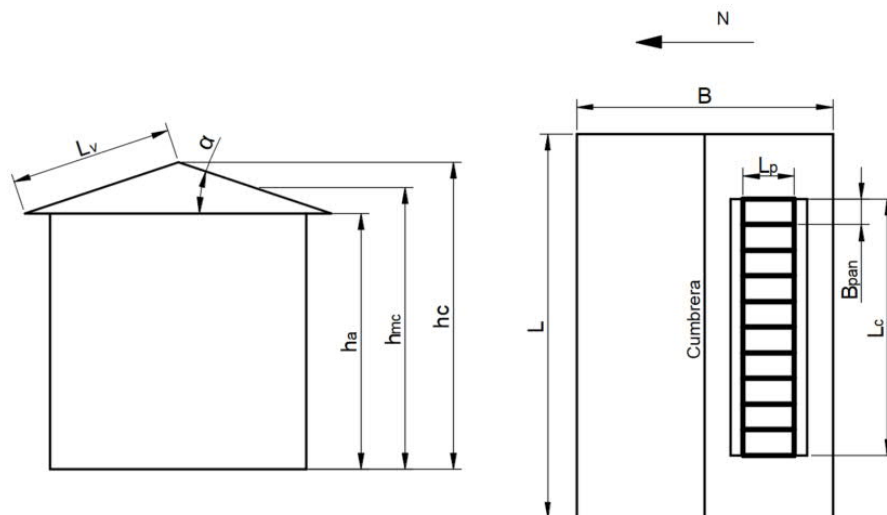


Figura 2: Geometría edificación y arreglo de paneles coplanares.

Donde:

h_a :	Altura del alero	L :	Largo edificación
h_c :	Altura de Cumbre	B_{pan} :	Ancho de Panel
h_{mc} :	Altura Media de Cubierta	L_{pan} :	Largo de Panel
L_v :	Longitud Vertiente	L_c :	Longitud del arreglo de paneles
B :	Ancho edificación		

CÓDIGO: SRT-IT-002-JNR-0	TÍTULO: Informe Técnico – Verificación Estructural y de Estabilidad. Paneles Coplanares y con Contrapesos	FECHA: 14/10/21	REVISIÓN: 0	HOJA Nº: 7 de 32
CONTRATO: - CLIENTE: SOLARMET				

La geometría de los perfiles principales en cuanto a su sección transversal consiste en la siguiente:

Perfil Coda N°2 (Aluar P-8628)

Este perfil es considerado el perfil principal, al cual se fijan los paneles.

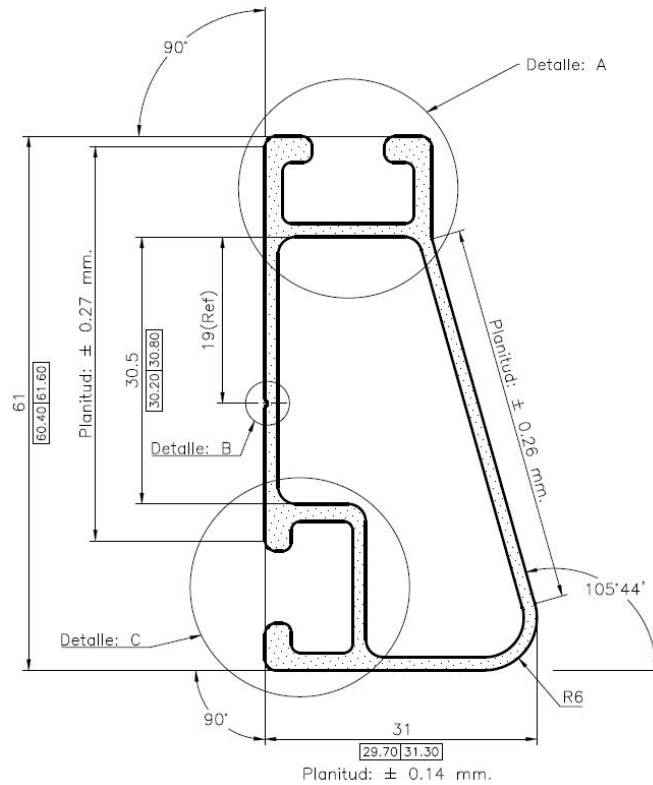


Figura 3: Perfil Principal (Coda).

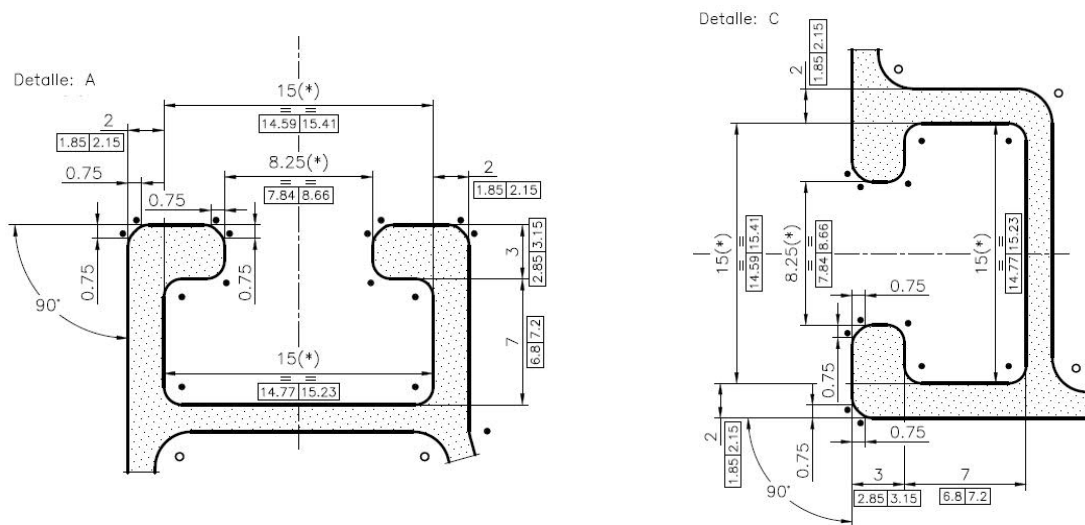


Figura 4: Detalles Perfil Principal

CÓDIGO: SRT-IT-002-JNR-0	TÍTULO: Informe Técnico – Verificación Estructural y de Estabilidad. Paneles Coplanares y con Contrapesos
CONTRATO: - CLIENTE: SOLARMET	FECHA: 14/10/21
	REVISIÓN: 0
	HOJA Nº: 8 de 32

La geometría contemplada para los paneles, se detalla a continuación:

En cuanto a la orientación de los paneles, los mismos se instalan con su lado principal apuntando al norte. Por ello, los vientos más relevantes sobre el equipo son los de dirección Sur-Norte.

A continuación, se muestra la geometría de paneles considerada.

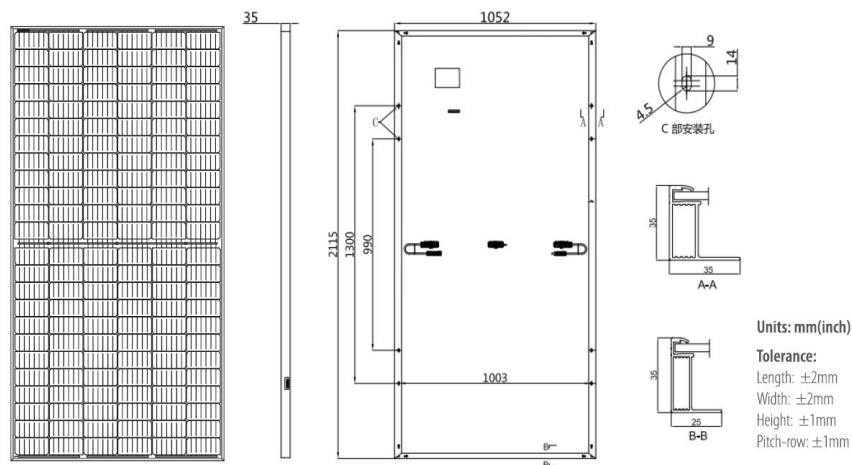


Figura 5: Geometría de un panel.

5.2 Casos de Estudio

Aquí se presentan los casos de estudio asociados a los paneles solares fotovoltaicos coplanares. En las figuras a continuación, la línea horizontal representa uno de los perfiles principales a los que se fija cada panel, y los triángulos dispuestos a lo largo de dicha línea, representan los puntos de sujeción del perfil principal a la cubierta.

Arreglo de longitud de 10 paneles consecutivos.

El esquema estático para este caso resulta:

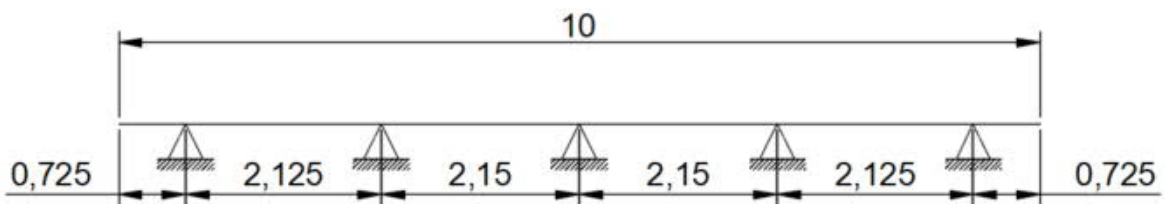


Figura 6: Esquema estático para diez paneles.

Arreglo de 4 paneles consecutivos

El esquema estático para este caso resulta:

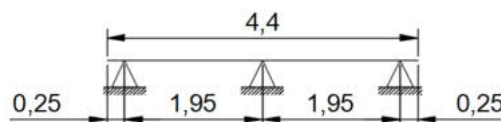


Figura 7: Esquema estático para cuatro paneles.

CÓDIGO: SRT-IT-002-JNR-0	TÍTULO: Informe Técnico – Verificación Estructural y de Estabilidad. Paneles Coplanares y con Contrapesos	FECHA: 14/10/21	REVISIÓN: 0	HOJA Nº: 9 de 32
CONTRATO: - CLIENTE: SOLARMET				

5.3 Análisis de Cargas

5.3.1 Peso Propio

Para el panel solar fotovoltaico tomado de referencia, se adopta el siguiente peso:

$$w_{eq} := 24 \text{kgf}$$

Peso del equipo, incluye estructura (1 panel LONGI LR4-72HPH 435M)

$$Q_{gp_ext} := \frac{24 \text{kgf}}{4} = 58.84 \text{N}$$

Carga de peso de panel en un punto de aplicación

Para el perfil principal, su peso lineal resulta en:

$$g_{cod} := 0.872 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

Peso propio lineal perfil Coda (riel)

5.3.2 Carga de Viento

$$V_b := 45 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Velocidad Básica:
(Figura 1A / 1B
Cirsoc 102)

Categoría = B

Categoría de Exposición:
(5.6.1)

Clasificación = II

Clasificación de la Estructura:
(Apéndice A)

$$I := 1$$

Factor de Importancia:
(Tabla 1)

$$K_z := 0.72 \quad 10 \text{ m de altura}$$

Coefficiente de Exposición:
(Tabla 5)

$$K_1 := 0$$

Factor Topográfico:
(Figura 2 - Pag. sig.)

$$K_2 := 0$$

Si la estruct. no está sujeta a efectos topográficos $K_{zt} = 1$.

$$K_3 := 0$$

$$K_{zt} := (1.00 + K_1 \cdot K_2 \cdot K_3)^2$$

$$K_d := 0.85$$

Factor de Direccionalidad
(Tabla 6)

$$q_h := 0.613 \cdot K_z \cdot K_{zt} \cdot K_d \cdot V_b^2 \cdot I \cdot \frac{1}{\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}} \cdot \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Presión Dinámica (5.10):

$$q_h = 77.467 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} \quad q_h = 0.76 \text{ kPa}$$

Presión Dinámica (5.10):

CÓDIGO: SRT-IT-002-JNR-0	TÍTULO: Informe Técnico – Verificación Estructural y de Estabilidad. Paneles Coplanares y con Contrapesos
CONTRATO: - CLIENTE: SOLARMET	FECHA: 14/10/21
	REVISIÓN: 0
	HOJA Nº: 10 de 32

$$A_{\text{pan}} := L_{\text{pan}} \cdot B_{\text{pan}} = 2.31 \text{ m}^2$$

Área de un panel

$$A_{\text{ef}} := A_{\text{pan}} = 2.31 \text{ m}^2$$

Área efectiva de un panel solar

$$A_{\text{con}_i} := \frac{A_{\text{pan}}}{2} = 1.155 \text{ m}^2 \quad A_{\text{con}_i} = 12.432 \text{ ft}^2$$

Área efectiva de un conector int. / ext. de un panel (4 unidades/panel)

$$A_{\text{con}_e} := \frac{A_{\text{pan}}}{4} = 0.578 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{riel}} := \frac{A_{\text{pan}}}{2} \cdot n_{\text{pan}} = 11.55 \text{ m}^2$$

Área efectiva de un riel (total de dos)

El área efectiva del conector del panel al riel, se utiliza para obtener la carga puntual en el riel.

$$GC_{p_suc} := -1.5$$

Coefficiente de presión externa - succión

$$GC_{p_pre} := 0.7$$

Coefficiente de presión externa - presión

$$\gamma_E := 1.5$$

Factor de borde de arreglo

$$\gamma_a := 0.8$$

Factor de equalización

$$p_s := q_h \cdot GC_{p_suc} \cdot \gamma_E \cdot \gamma_a = -1.367 \text{ kPa}$$

Presión de Diseño - Succión

$$p_p := q_h \cdot GC_{p_pre} \cdot \gamma_E \cdot \gamma_a = 0.638 \text{ kPa}$$

Presión de Diseño - Presión

$$R_{ws} := p_s \cdot A_{\text{con}_i} = -1.579 \times 10^3 \cdot \text{N}$$

Carga en conector. Viento a succión. Conector interior

$$R_{wp} := p_p \cdot A_{\text{con}_i} = 0.737 \cdot \text{kN}$$

Carga en conector. Viento a presión. Conector interior

CÓDIGO: SRT-IT-002-JNR-0	TÍTULO: Informe Técnico – Verificación Estructural y de Estabilidad. Paneles Coplanares y con Contrapesos	FECHA: 14/10/21	REVISIÓN: 0	HOJA Nº: 11 de 32
CONTRATO: - CLIENTE: SOLARMET				

5.4 Modelo de Cálculo

Para el desarrollo de los modelos estudiados, se modelaron inicialmente las geometrías de las secciones transversales de los miembros estructurales componentes.

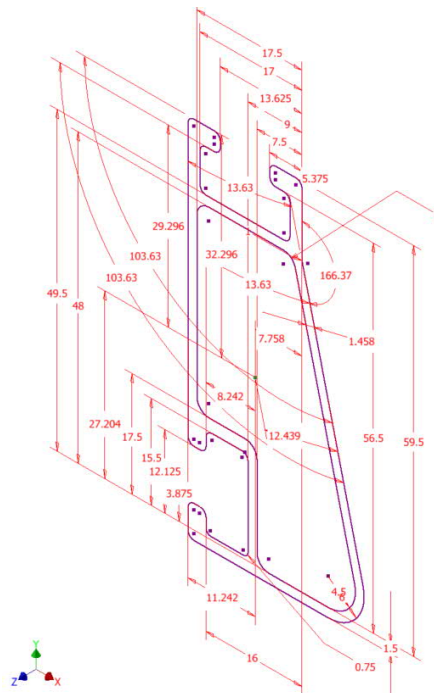


Figura 8: Modelo Geométrico Perfil Principal (medidas en mm).

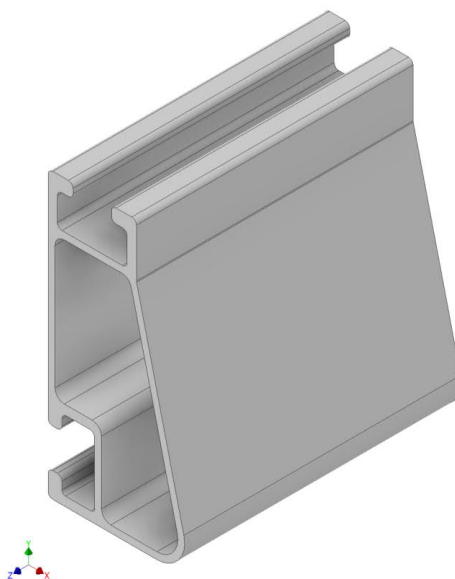


Figura 9: Modelo Renderizado Extruido. Perfil Principal.

Seguido de lo anterior, se cargan en el modelo las propiedades del material de la estructura.

CÓDIGO: SRT-IT-002-JNR-0	TÍTULO: Informe Técnico – Verificación Estructural y de Estabilidad. Paneles Coplanares y con Contrapesos		
CONTRATO: -	FECHA: 14/10/21	REVISIÓN: 0	HOJA Nº: 12 de 32
CLIENTE: SOLARMET			

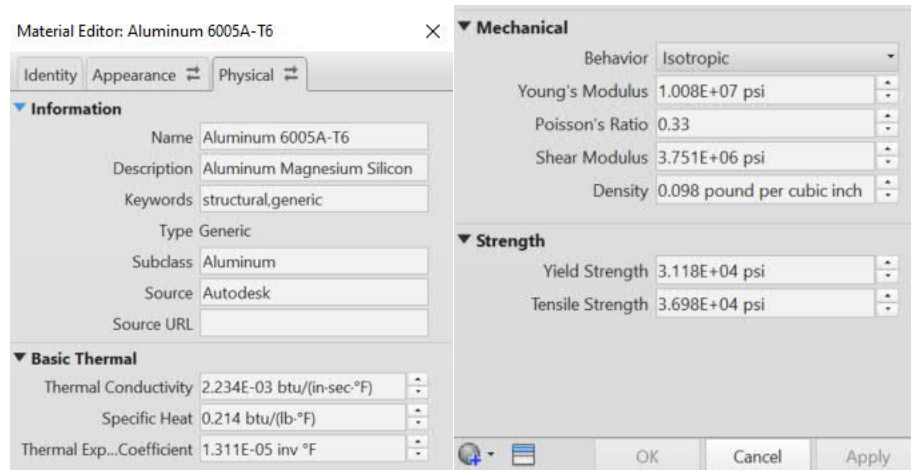


Figura 10: Características del Material Modelado.

Luego de la modelización de las secciones transversales de trabajo, se han insertado las cargas correspondientes al peso propio del equipo y a la acción del viento, en correspondencia con los casos de cargas.

Para estas cargas se realiza la ejecución de los modelos estructurales, en el cual se desarrolla el análisis de tensiones (Stress Analysis), del cual se pueden obtener las tensiones y esfuerzos en los miembros, como así también las deformaciones.

CÓDIGO: SRT-IT-002-JNR-0	TÍTULO: Informe Técnico – Verificación Estructural y de Estabilidad. Paneles Coplanares y con Contrapesos	FECHA: 14/10/21	REVISIÓN: 0	HOJA Nº: 13 de 32
CONTRATO: - CLIENTE: SOLARMET				

5.4.1 Modelo Tipo 1

Esta tipología se encuentra asociada al arreglo expuesto en la Figura 2. A continuación, se presenta el esquema estático y de cargas asociado a un perfil principal de dicho arreglo.

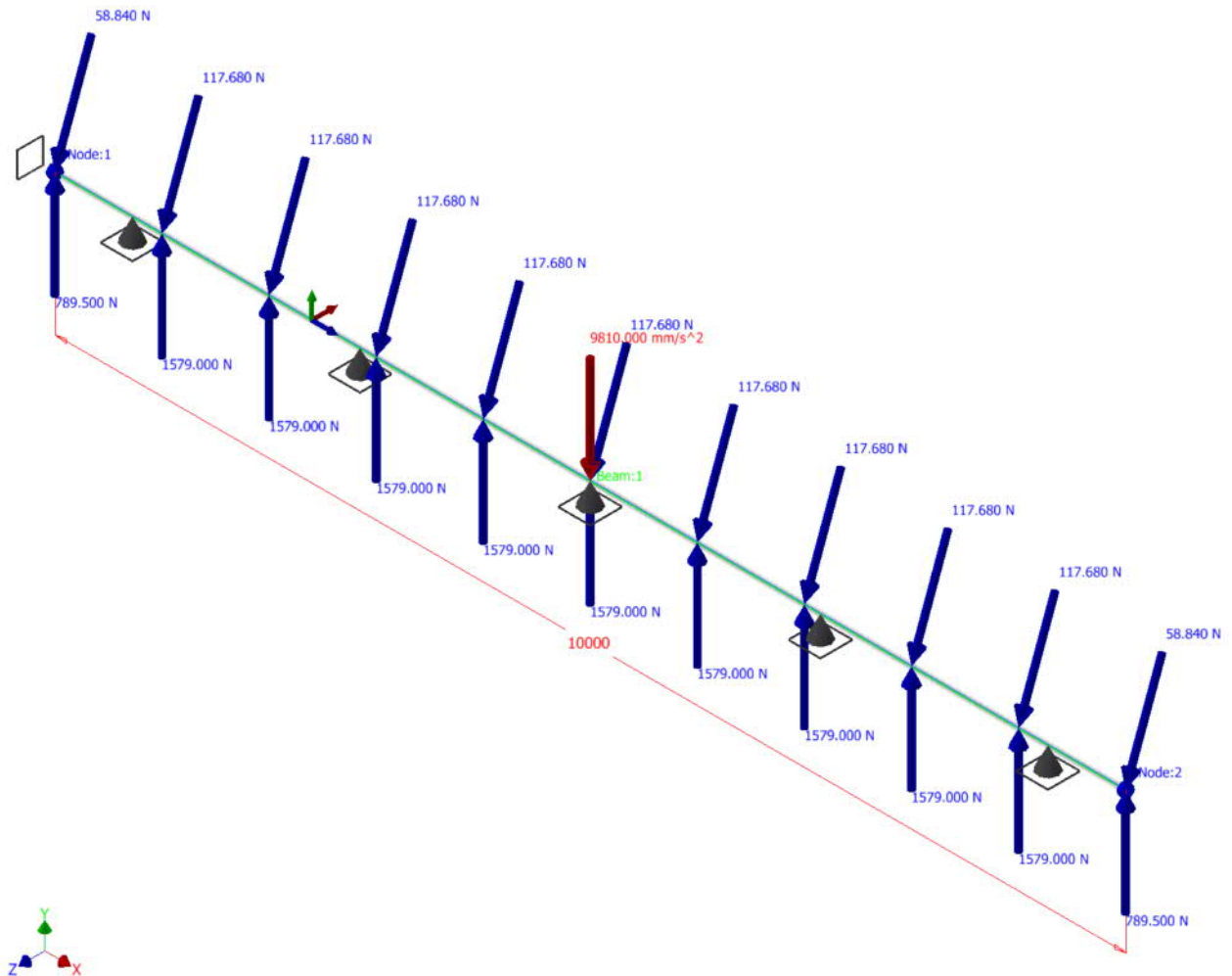


Figura 11: Modelo Tipo 1. Esquema estático y de cargas para un perfil principal del arreglo.

CÓDIGO: SRT-IT-002-JNR-0	TÍTULO: Informe Técnico – Verificación Estructural y de Estabilidad. Paneles Coplanares y con Contrapesos		
CONTRATO: - CLIENTE: SOLARMET	FECHA: 14/10/21	REVISIÓN: 0	HOJA Nº: 14 de 32

5.4.2 Modelo Tipo 2

La presente tipología se plantea como una alternativa de instalación, representativo de un caso particular de sollicitación del perfil principal. Esto corresponde a un tramo de cuatro paneles consecutivos.

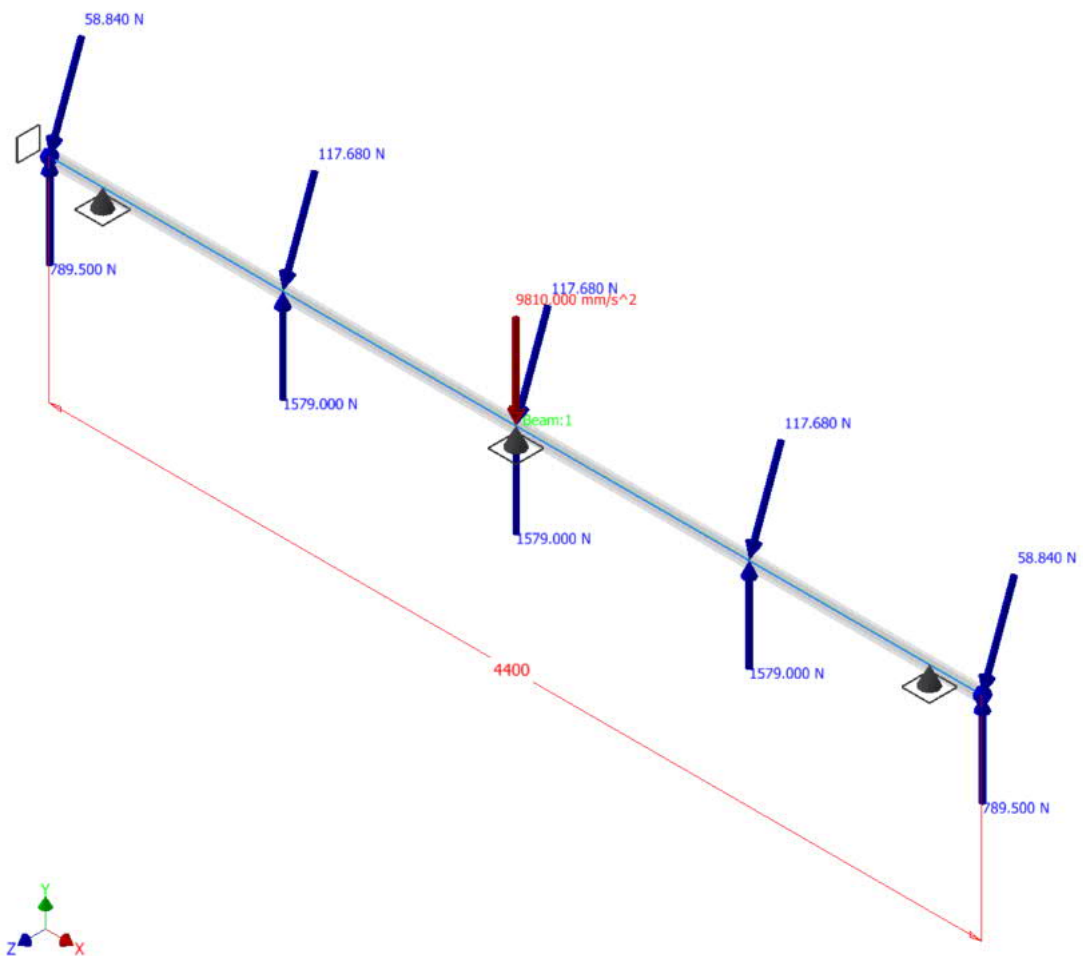


Figura 12: Modelo Tipo 2. Esquema estático y de cargas para un perfil principal del arreglo.

CÓDIGO:

SRT-IT-002-JNR-0

TÍTULO:

Informe Técnico – Verificación Estructural y de Estabilidad. Paneles Coplanares y con Contrapesos

CONTRATO: -

CLIENTE: SOLARMET

FECHA:

14/10/21

REVISIÓN:

0

HOJA Nº:

17 de 32

Type: Shear Stress Ty

Units: MPa

10/14/2021, 11:22:37 AM

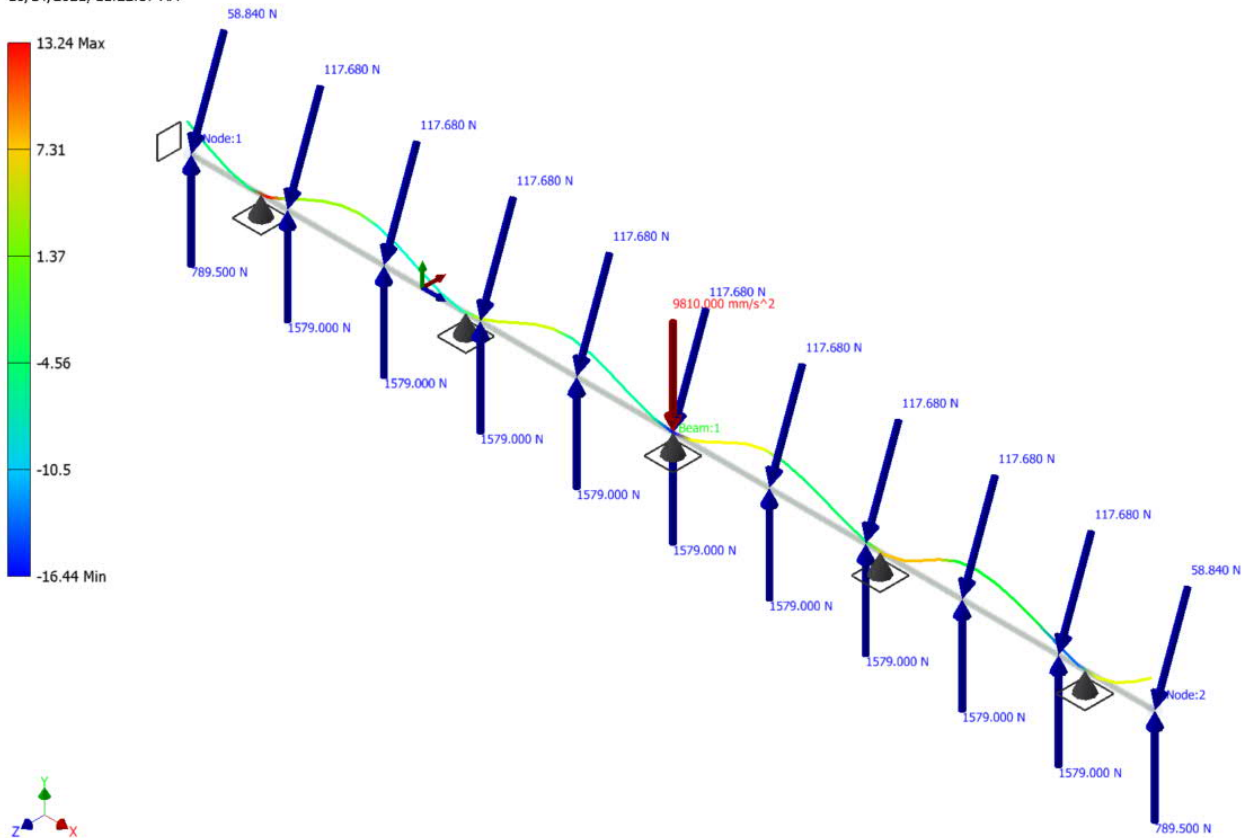


Figura 15: Esfuerzos de corte en dirección Y.

CÓDIGO: SRT-IT-002-JNR-0	TÍTULO: Informe Técnico – Verificación Estructural y de Estabilidad. Paneles Coplanares y con Contrapesos	FECHA: 14/10/21	REVISIÓN: 0	HOJA Nº: 19 de 32
CONTRATO: - CLIENTE: SOLARMET				

5.5.1.3 Verificaciones

Esfuerzos

Aquí se evalúan los máximos esfuerzos obtenidos de la modelación y expuestos en las figuras anteriores mediante la tensión de comparación de Von Mises.

$$f_y = 215 \cdot \text{MPa}$$

Tensión de Fluencia Material

$$\sigma_{x\max_m1} := 119 \text{MPa}$$

Máxima tensión normal

$$\tau_{xy_m1} := 16.50 \text{MPa}$$

Esfuerzo de corte compuesto

$$\sigma_{vm_m1} := \sqrt{\sigma_{x\max_m1}^2 + 3 \cdot \tau_{xy_m1}^2} = 122.384 \cdot \text{MPa}$$

Tensión de Von Mises Zona Traccionada

$$\nu_{m1} := \frac{f_y}{\sigma_{vm_m1}} = 1.8$$

Coefficiente de seguridad

$$\text{VERIFICA}_{m1} := \text{if}(\nu_{m1} \geq 1.5, \text{"SI"}, \text{"NO"}) = \text{"SI"}$$

Aquí se observa que el perfil verifica con un coeficiente de seguridad igual a 1.8

Deformaciones

Según el ítem anterior, la máxima deformación obtenida en la barra del perfil es de aproximadamente 9 mm, valor que resulta menor al límite según el criterio adoptado de la luz / 200 = 2150 mm / 200 = 10.75mm.

CÓDIGO: SRT-IT-002-JNR-0	TÍTULO: Informe Técnico – Verificación Estructural y de Estabilidad. Paneles Coplanares y con Contrapesos		
CONTRATO: - CLIENTE: SOLARMET	FECHA: 14/10/21	REVISIÓN: 0	HOJA Nº: 20 de 32

5.5.2 Modelo Tipo 2

5.5.2.1 Esfuerzos

Type: Normal Stress Smax

Units: MPa

10/14/2021, 10:28:11 AM

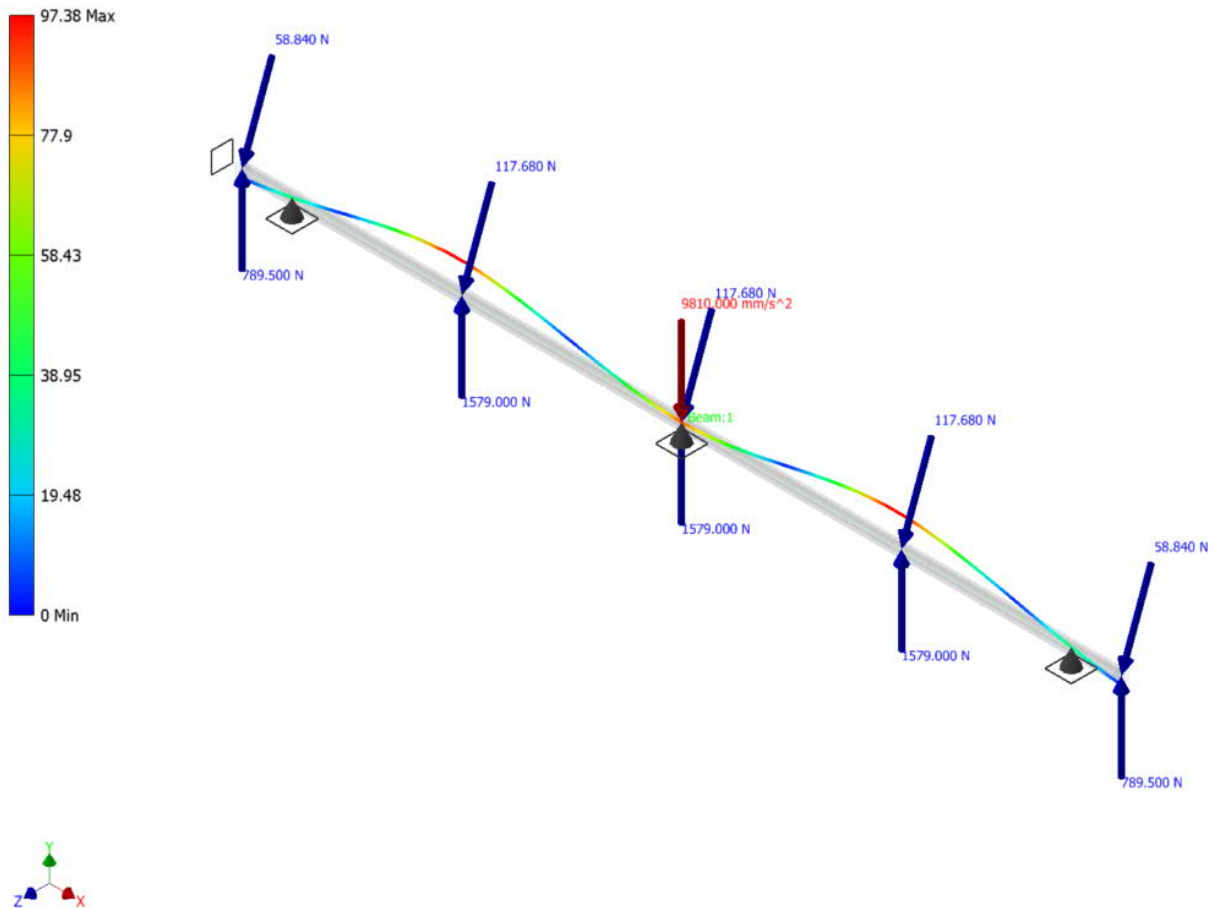


Figura 17: Tensiones de Tracción.

CÓDIGO:

SRT-IT-002-JNR-0

TÍTULO:

Informe Técnico – Verificación Estructural y de Estabilidad. Paneles Coplanares y con Contrapesos

CONTRATO: -

CLIENTE: SOLARMET

FECHA:

14/10/21

REVISIÓN:

0

HOJA Nº:

21 de 32

Type: Normal Stress Smin

Units: MPa

10/14/2021, 10:28:59 AM

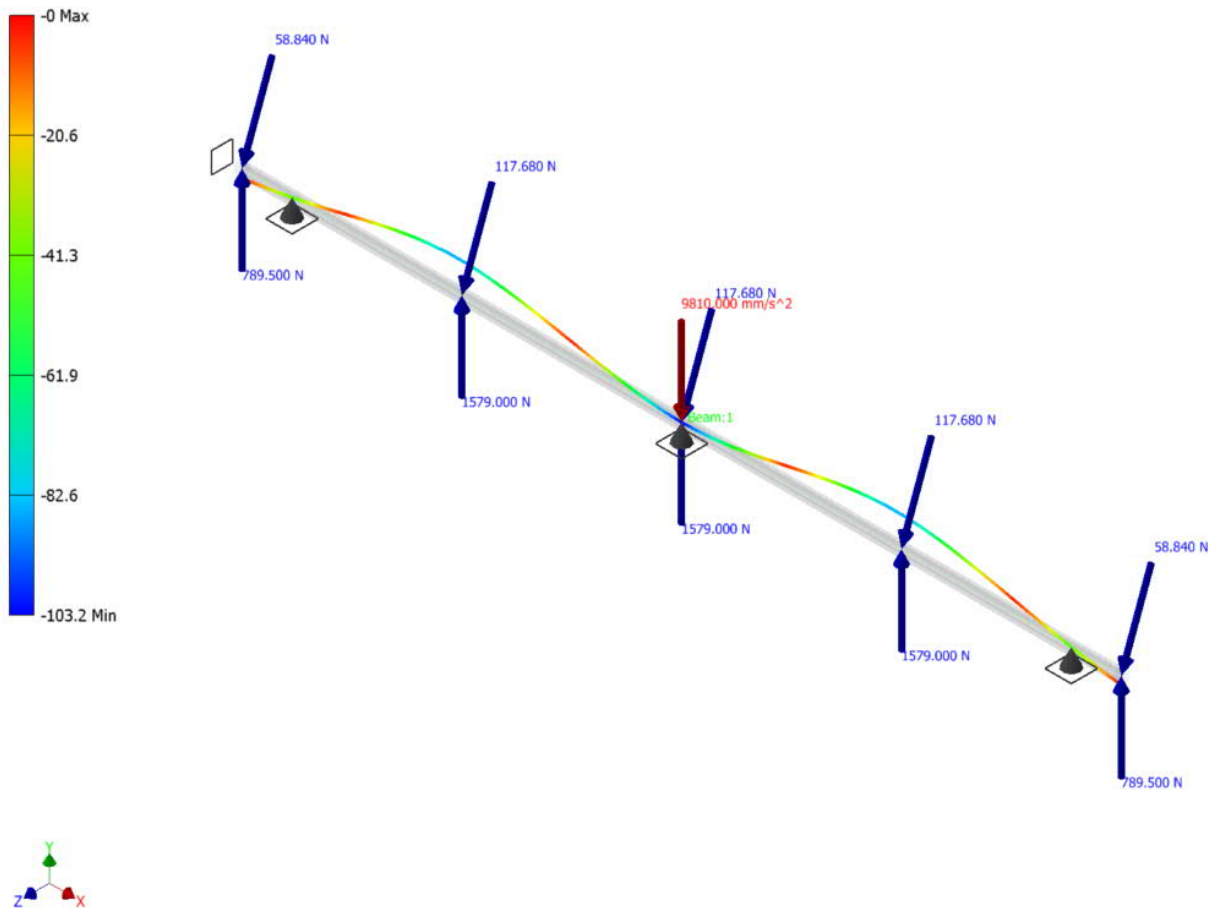


Figura 18: Tensiones de Compresión.

CÓDIGO:

SRT-IT-002-JNR-0

TÍTULO:

Informe Técnico – Verificación Estructural y de Estabilidad. Paneles Coplanares y con Contrapesos

CONTRATO: -

CLIENTE: SOLARMET

FECHA:

14/10/21

REVISIÓN:

0

HOJA Nº:

22 de 32

Type: Shear Stress Ty

Units: MPa

10/14/2021, 10:29:14 AM

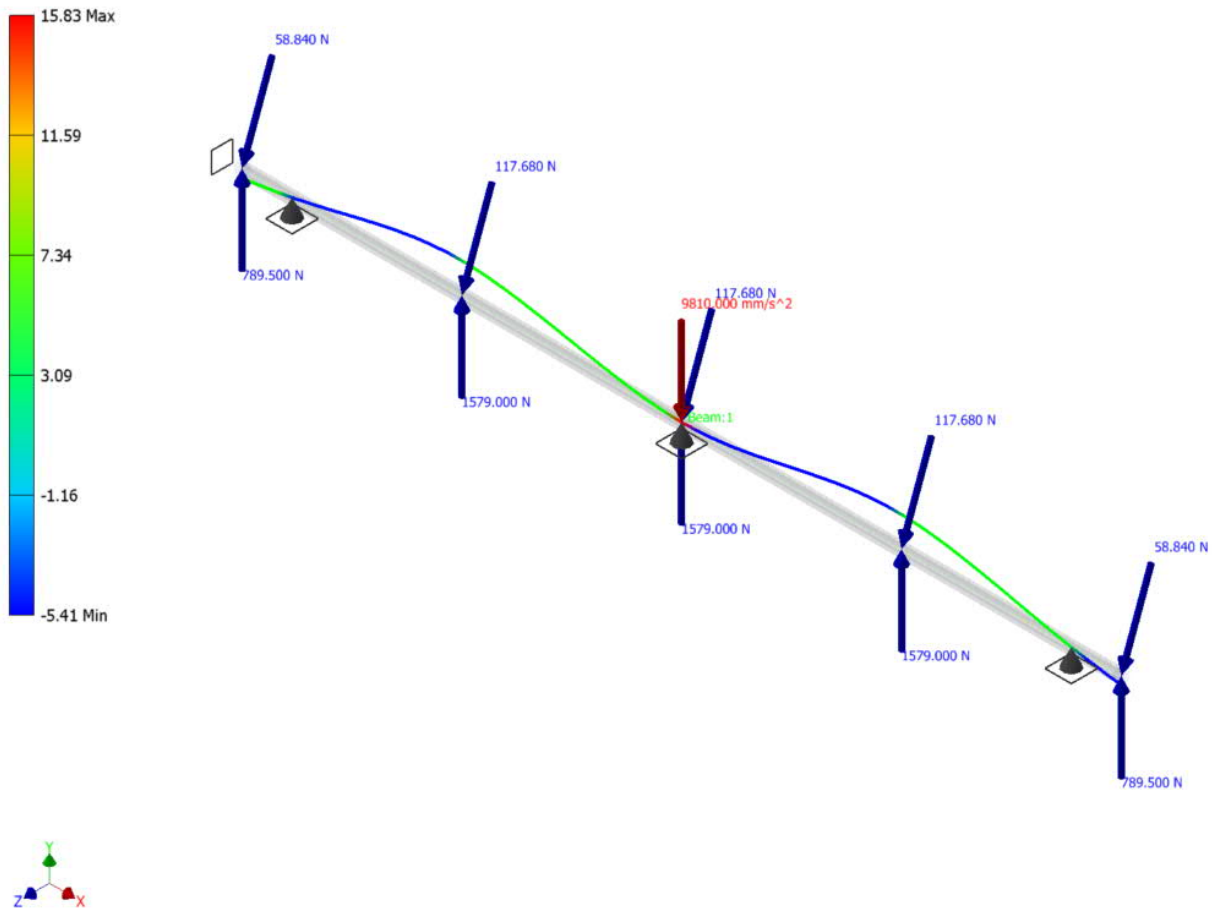


Figura 19: Esfuerzos de Corte en dirección Y.

CÓDIGO: SRT-IT-002-JNR-0	TÍTULO: Informe Técnico – Verificación Estructural y de Estabilidad. Paneles Coplanares y con Contrapesos
CONTRATO: - CLIENTE: SOLARMET	FECHA: 14/10/21
	REVISIÓN: 0
	HOJA Nº: 23 de 32

5.5.2.2 Deformaciones

Type: Displacement
Units: mm
10/14/2021, 10:30:36 AM

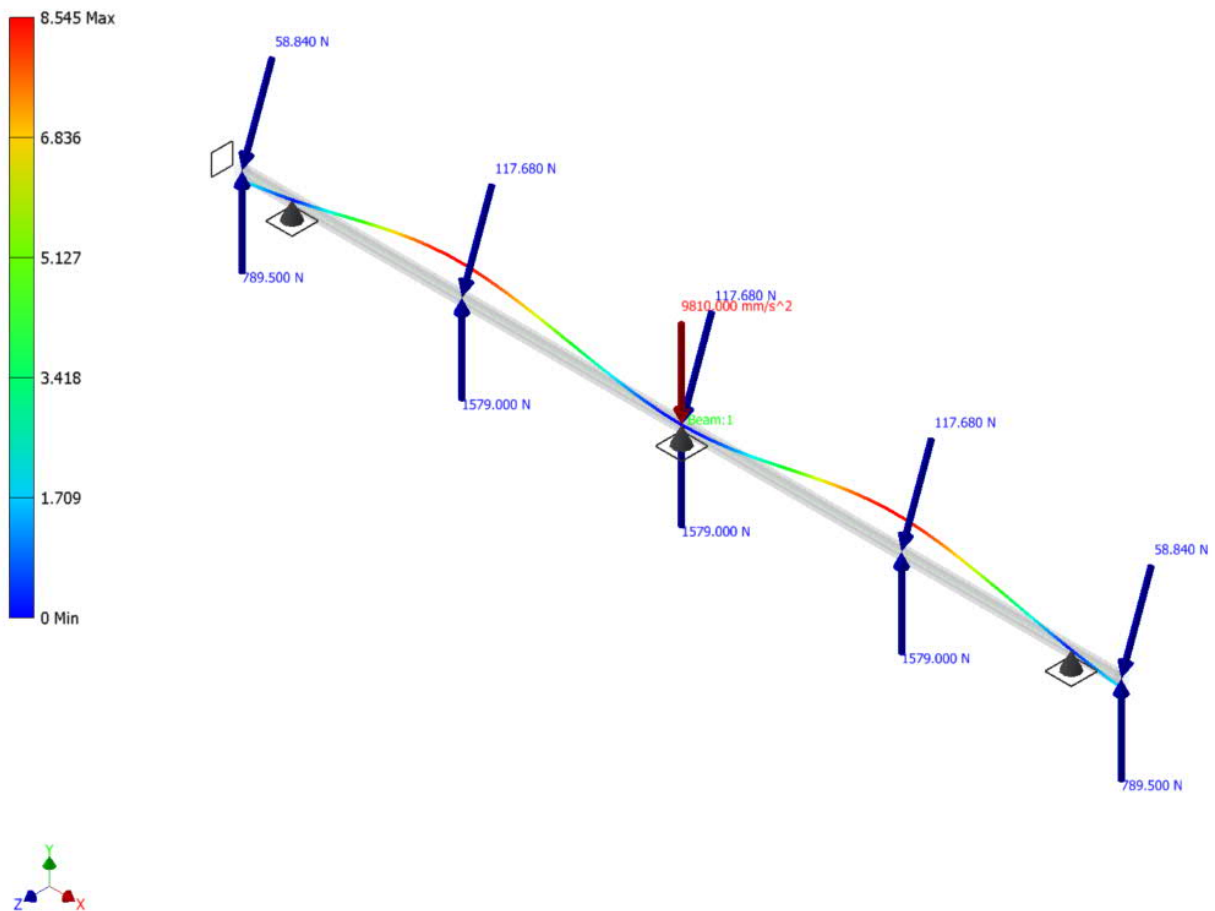


Figura 20: Valores de deformación en la estructura y configuración deformada.

CÓDIGO: SRT-IT-002-JNR-0	TÍTULO: Informe Técnico – Verificación Estructural y de Estabilidad. Paneles Coplanares y con Contrapesos	FECHA: 14/10/21	REVISIÓN: 0	HOJA Nº: 24 de 32
CONTRATO: - CLIENTE: SOLARMET				

5.5.2.3 Verificaciones

Esfuerzos

Aquí se evalúan los máximos esfuerzos obtenidos de la modelación y expuestos en las figuras anteriores mediante la tensión de comparación de Von Mises.

$$f_y = 215 \cdot \text{MPa}$$

Tensión de Fluencia Material

$$\sigma_{x\max_m2} := 105 \text{MPa}$$

Máxima tensión normal

$$\tau_{xy_m2} := 16 \text{MPa} = 16 \cdot \text{MPa}$$

Esfuerzo de corte compuesto

$$\sigma_{vm_m2} := \sqrt{\sigma_{x\max_m2}^2 + 3 \cdot \tau_{xy_m2}^2} = 108.596 \cdot \text{MPa}$$

Tensión de Von Mises Zona Traccionada

$$\nu_{m2} := \frac{f_y}{\sigma_{vm_m2}} = 2$$

Coefficiente de seguridad

$$\text{VERIFICA}_{m2} := \text{if}(\nu_{m2} \geq 1.5, \text{"SI"}, \text{"NO"}) = \text{"SI"}$$

Aquí se observa que el perfil verifica con un coeficiente de seguridad igual a 2

Deformaciones

Según el ítem anterior, la máxima deformación obtenida en la barra del perfil es de aproximadamente 8.5 mm, valor que resulta menor al límite según el criterio adoptado de la luz / 200 = 1950 mm / 200 = 9.75mm.

5.5.3 Resumen

A continuación, se muestra una tabla resumen de las separaciones aproximadas y redondeadas entre soportes de vinculación de cada perfil principal de los paneles a la cubierta para cada caso estudiado

Caso	Longitud arreglo [m]	Seperación Tramo (span) [m]	Voladizo (cantiléver) [m]	Obs.
Modelo 1	10.00	2.15	0.75	Caso arreglo continuo de longitud considerable
Modelo 2	4.40	2.00	0.25	Caso de reducida superficie.

CÓDIGO: SRT-IT-002-JNR-0	TÍTULO: Informe Técnico – Verificación Estructural y de Estabilidad. Paneles Coplanares y con Contrapesos	FECHA: 14/10/21	REVISIÓN: 0	HOJA Nº: 25 de 32
CONTRATO: - CLIENTE: SOLARMET				

6 ESTRUCTURA CON CONTRAPESOS

6.1 Geometría

Geometría de paneles

$$B_{\text{pan}} := 1.10\text{m}$$

Ancho

$$L_{\text{pan}} := 2.1\text{m}$$

Largo

$$\omega_{\text{pan}} := 10^\circ$$

Ángulo de inclinación del panel con respecto a la cub.

$$\theta_{\text{cub}} := 0^\circ$$

Ángulo de inclinación de la cubierta con respecto a la H.

$$h_{\text{proy}} := B_{\text{pan}} \cdot \sin(\omega_{\text{pan}}) = 0.191\text{m}$$

Alto proyectada

$$b_{\text{proy}} := B_{\text{pan}} \cdot \cos(\omega_{\text{pan}}) = 1.083\text{m}$$

Ancho proyectado

$$h_1 := 50\text{mm}$$

Altura mínima sobre el techo

$$h_2 := 250\text{mm}$$

Altura máxima sobre el techo

$$\text{sep}_{\text{bde.pan}} := 2.5\text{cm}$$

Separación general entre bordes de paneles contiguos

Geometría de la Construcción

Aquí se adoptan parámetros típicos para una edificación estándar, a los fines de realizar un cálculo aproximado, el cual debería verificarse luego, para cada caso particular.

Tipo de edificación: cerrada o parcialmente cerrada

$$B_{\text{ed}} := 10\text{m}$$

Ancho

$$L_{\text{ed}} := 15\text{m}$$

Largo

$$\alpha_{\text{cub}} := 0^\circ$$

Inclinación de cubierta

$$h_{\text{mc}} := 5\text{m}$$

Altura media de cubierta

$$h_{\text{p}} := 50\text{cm}$$

Altura del parapeto

$$e_{\text{p}} := 15\text{cm}$$

Espesor del parapeto

CÓDIGO: SRT-IT-002-JNR-0	TÍTULO: Informe Técnico – Verificación Estructural y de Estabilidad. Paneles Coplanares y con Contrapesos	FECHA: 14/10/21	REVISIÓN: 0	HOJA Nº: 26 de 32
CONTRATO: - CLIENTE: SOLARMET				

6.2 Análisis de Cargas

6.2.1 Peso Propio

Para el panel solar fotovoltaico tomado de referencia, se adopta el siguiente peso:

$$w_{eq} := 24 \text{kgf}$$

Peso del equipo, incluye estructura (1 panel LONGI LR4-72HPH 435M)

6.2.2 Carga de Viento

$$V_b := 45 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Velocidad Básica:
(Figura 1A / 1B
Cirsoc 102)

$$\text{Categoria} := \text{"B"}$$

Categoría de Exposición:
(5.6.1)

$$\text{Clasificacion} = \text{I}$$

Clasificación de la Estructura:
(Apéndice A)

$$I := 0.87$$

Factor de Importancia:
(Tabla 1)

$$k_e := 0.87$$

Factor de elevación del terreno

$$K_z := 0.45$$

Coefficiente de Exposición:
(Tabla 5)

$$K_1 := 0$$

Factor Topográfico:

$$K_2 := 0$$

(Figura 2 - Pag. sig.)

$$K_3 := 0$$

Si la estruct. no está sujeta a efectos topográficos $K_{zt} = 1$.

$$K_{zt} := (1.00 + K_1 \cdot K_2 \cdot K_3)^2 = 1$$

$$K_d := 0.85 \quad \text{Componentes y Revestimientos}$$

Factor de Direccionalidad
(Tabla 6)

$$q_h := 0.613 \cdot K_z \cdot K_{zt} \cdot K_d \cdot k_e \cdot V_b^2 \cdot \frac{1}{\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}} \cdot \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Presión Dinámica (5.10):

$$q_h = 33.282 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$q_h = 0.326 \cdot \text{kPa}$$

$$G_f := 0.85$$

Factor de efecto ráfaga

CÓDIGO: SRT-IT-002-JNR-0	TÍTULO: Informe Técnico – Verificación Estructural y de Estabilidad. Paneles Coplanares y con Contrapesos
CONTRATO: - CLIENTE: SOLARMET	FECHA: 14/10/21
	REVISIÓN: 0
	HOJA Nº: 27 de 32

Áreas efectivas

$$A_{pan} := L_{pan} \cdot B_{pan}$$

Área de un panel solar

$$A_{cpc} := A_{pan}$$

Área contrapeso central

$$A_{cpb} := \frac{A_{pan}}{2}$$

Área contrapeso borde

$$A_{cpe} := \frac{A_{pan}}{4}$$

Área contrapeso esquina

Áreas normalizadas

$$W_L := L_{ed} = 15 \text{ m}$$

Ancho del edificio. Lado Mayor.

$$W_s := B_{ed} = 10 \text{ m}$$

Ancho del edificio. Lado Menor.

$$h := h_{mc} = 5 \text{ m}$$

Altura media de cubierta

$$L_b := \min \left[\left[0.4 (h \cdot W_L)^{0.5} \right], h, W_s \right] = 3.464 \text{ m} \quad L_b = 11.365 \text{ ft}$$

Longitud normalizada del edificio

$$A_n = \frac{1000}{\max \left(L_b \cdot \frac{1}{\text{ft}}, 15 \right)^2} \cdot A_{eij} = \frac{1000}{\max \left(L_b \cdot \frac{1}{\text{ft}}, 15 \right)^2} = 4.444$$

Área normalizada, en función de A_{eij} (efectiva)

$$A_{n_cpc} := \frac{1000}{\max \left(L_b \cdot \frac{1}{\text{ft}}, 15 \right)^2} \cdot A_{cpc} = 10.267 \text{ m}^2$$

Área normalizada contrapeso central

$$A_{n_cpb} := \frac{1000}{\max \left(L_b \cdot \frac{1}{\text{ft}}, 15 \right)^2} \cdot A_{cpb} = 5.133 \text{ m}^2$$

Área normalizada contrapeso borde

$$A_{n_cpe} := \frac{1000}{\max \left(L_b \cdot \frac{1}{\text{ft}}, 15 \right)^2} \cdot A_{cpe} = 2.567 \text{ m}^2$$

Área normalizada contrapeso esquina

Para zona 1

$$A_{n_cpc} = 110.509 \cdot \text{ft}^2 \quad GC_{m_cpc} := \frac{0.6 + 0.9}{2} = 0.75$$

$$A_{n_cpb} = 55.255 \cdot \text{ft}^2 \quad GC_{m_cpb} := \frac{0.7 + 1.0}{2} = 0.85$$

$$A_{n_cpe} = 27.627 \cdot \text{ft}^2 \quad GC_{m_cpe} := \frac{0.9 + 1.2}{2} = 1.05$$

CÓDIGO: SRT-IT-002-JNR-0	TÍTULO: Informe Técnico – Verificación Estructural y de Estabilidad. Paneles Coplanares y con Contrapesos	FECHA: 14/10/21	REVISIÓN: 0	HOJA Nº: 28 de 32
CONTRATO: - CLIENTE: SOLARMET				

Coefficientes de presión neta

$$\gamma_p := \min\left(1.2, 0.9 + \frac{h_p}{h_{mc}}\right) = 1$$

Factor por altura del parapeto

$$\gamma_c := \max\left(0.6 + 0.018B_{pan} \cdot \frac{1}{m}, 0.8\right) = 0.8$$

Factor de longitud de la cuerda del panel

$$\gamma_E := 1.5$$

Factor de exposición

$$GC_{m_cpc} := \gamma_p \cdot \gamma_c \cdot \gamma_E \cdot GC_{m_cpc} = 0.9$$

Coefficiente de presión neta a succión - bloque central

$$GC_{m_cpb} := \gamma_p \cdot \gamma_c \cdot \gamma_E \cdot GC_{m_cpb} = 1.02$$

Coefficiente de presión neta a succión - bloque borde

$$GC_{m_cpe} := \gamma_p \cdot \gamma_c \cdot \gamma_E \cdot GC_{m_cpe} = 1.26$$

Coefficiente de presión neta a succión - bloque esquina

Presión Neta a Succión

$$q_{hcpc_s} := q_h \cdot GC_{m_cpc} = 0.294 \cdot \text{kPa}$$

Succión para un bloque central

$$q_{hcpb_s} := q_h \cdot GC_{m_cpb} = 0.333 \cdot \text{kPa}$$

Succión para un bloque de borde

$$q_{hcpe_s} := q_h \cdot GC_{m_cpe} = 0.411 \cdot \text{kPa}$$

Succión para un bloque de esquina

$$F_{cpc_vs} := q_{hcpc_s} \cdot A_{cpc} \cdot \cos(\omega_{pan}) = 68.142 \cdot \text{kgf}$$

Resultante vertical de succión sobre 1 bloque central

$$F_{cpc_hs} := q_{hcpc_s} \cdot A_{cpc} \cdot \sin(\omega_{pan}) = 12.015 \cdot \text{kgf}$$

Resultante horiz de succión sobre 1 bloque central

$$F_{cpb_vs} := q_{hcpb_s} \cdot A_{cpb} \cdot \cos(\omega_{pan}) = 38.614 \cdot \text{kgf}$$

Resultante vertical de succión sobre 1 bloque de borde

$$F_{cpb_hs} := q_{hcpb_s} \cdot A_{cpb} \cdot \sin(\omega_{pan}) = 6.809 \cdot \text{kgf}$$

Resultante horiz de succión sobre 1 bloque de borde

$$F_{cpe_vs} := q_{hcpe_s} \cdot A_{cpe} \cdot \cos(\omega_{pan}) = 23.85 \cdot \text{kgf}$$

Resultante vertical de succión sobre 1 bloque de esquina

$$F_{cpe_hs} := q_{hcpe_s} \cdot A_{cpe} \cdot \sin(\omega_{pan}) = 4.205 \cdot \text{kgf}$$

Resultante horiz de succión sobre 1 bloque de esquina

CÓDIGO: SRT-IT-002-JNR-0	TÍTULO: Informe Técnico – Verificación Estructural y de Estabilidad. Paneles Coplanares y con Contrapesos	FECHA: 14/10/21	REVISIÓN: 0	HOJA Nº: 29 de 32
CONTRATO: - CLIENTE: SOLARMET				

6.3 Resultados

A los fines de verificar la estabilidad de la estructura ante la presencia de los bloques de anclajes correspondientes, se realizan las verificaciones a continuación:

6.3.1 Levantamiento

Bajo los efectos sólo de levantamiento, los pesos mínimos necesarios por cada bloque según su posicionamiento, resulta en:

$$G_{cpc} := \frac{F_{cpc_vs} - \frac{A_{cpc}}{A_{pan}} \cdot w_{eq}}{0.9} = 49.047 \cdot \text{kgf}$$

Peso necesario para contrarrestar succión contrapeso central

$$G_{cpb} := \frac{F_{cpb_vs} - \frac{A_{cpb}}{A_{pan}} \cdot w_{eq}}{0.9} = 29.571 \cdot \text{kgf}$$

Peso necesario para contrarrestar succión contrapeso de borde

$$G_{cpe} := \frac{F_{cpe_vs} - \frac{A_{cpe}}{A_{pan}} \cdot w_{eq}}{0.9} = 19.833 \cdot \text{kgf}$$

Peso necesario para contrarrestar succión contrapeso de equina

CÓDIGO: SRT-IT-002-JNR-0	TÍTULO: Informe Técnico – Verificación Estructural y de Estabilidad. Paneles Coplanares y con Contrapesos	FECHA: 14/10/21	REVISIÓN: 0	HOJA Nº: 30 de 32
CONTRATO: - CLIENTE: SOLARMET				

6.3.2 Deslizamiento

Adicionalmente a la succión, y bajo los efectos del deslizamiento, los pesos necesarios por cada bloque según su posicionamiento, resulta en:

$$\Delta_{gcpc} := 10\text{kgf}$$

Incremento de peso para estabilizar deslizamiento.

$$v_{dcpc} := \frac{\left(G_{cpc} + \frac{A_{cpc}}{A_{pan}} \cdot w_{eq} - F_{cpc_vs} + \Delta_{gcpc} \right) \cdot 1}{F_{cpc_hs}} = 1.24$$

Coficiente de seguridad al deslizamiento.

$$G_{net.cpc} := G_{cpc} + \Delta_{gcpc} = 59.047 \cdot \text{kgf}$$

Peso requerido contrapeso central

$$\Delta_{gcpb} := 7.5\text{kgf}$$

Incremento de peso para estabilizar deslizamiento.

$$v_{dcpb} := \frac{\left(G_{cpb} + \frac{A_{cpb}}{A_{pan}} \cdot w_{eq} - F_{cpb_vs} + \Delta_{gcpb} \right) \cdot 1}{F_{cpb_hs}} = 1.536$$

Coficiente de seguridad al deslizamiento.

$$G_{net.cpb} := G_{cpb} + \Delta_{gcpb} = 37.071 \cdot \text{kgf}$$

Peso requerido contrapeso borde

$$\Delta_{gcpe} := 5\text{kgf}$$

Incremento de peso para estabilizar deslizamiento.

$$v_{dcpe} := \frac{\left(G_{cpe} + \frac{A_{cpe}}{A_{pan}} \cdot w_{eq} - F_{cpe_vs} + \Delta_{gcpe} \right) \cdot 1}{F_{cpe_hs}} = 1.661$$

Coficiente de seguridad al deslizamiento.

$$G_{net.cpe} := G_{cpe} + \Delta_{gcpe} = 24.833 \cdot \text{kgf}$$

Peso requerido contrapeso esquina

Estos pesos constituyen los pesos mínimos finales de cada bloque para el caso estudiado.

Vale aclarar que para las verificaciones realizadas en el presente ítem, se ha contemplado un coeficiente de fricción igual a 1 para el contacto del material bajo los anclajes metálicos donde se posicionan los bloques de anclaje y la superficie de la cubierta. Dicho material, se considera que es caucho sintético (epdm), y la superficie de la cubierta, hormigón con terminación normal. Dado el alcance simplificado y generalizado del presente análisis, se deberá contemplar cada caso particular en el proyecto correspondiente, dado que si la superficie de contacto presentara humedad, el valor de dicho coeficiente disminuiría precipitadamente, variación que también podría manifestarse si la terminación de la cubierta fuera de otro material diferente al hormigón, o que el mismo tenga otra terminación superficial de mejor rugosidad.

CÓDIGO: SRT-IT-002-JNR-0	TÍTULO: Informe Técnico – Verificación Estructural y de Estabilidad. Paneles Coplanares y con Contrapesos	FECHA: 14/10/21	REVISIÓN: 0	HOJA N°: 31 de 32
CONTRATO: - CLIENTE: SOLARMET				

6.4 Resumen de Pesos de Bloques

Para los arreglos en estudio, se resumen a continuación los pesos mínimos de los bloques según su posicionamiento respecto del arreglo:

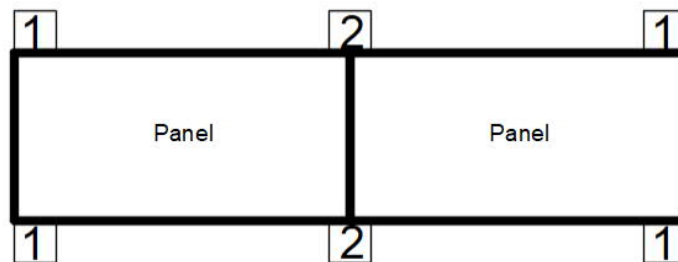


Figura 21: Arreglo de doble de paneles fotovoltaicos. Una fila, dos columnas.

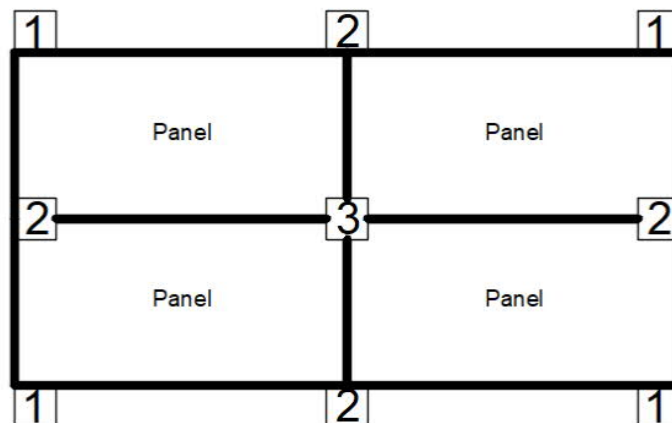


Figura 22: Arreglo de doble de paneles fotovoltaicos. Dos filas, dos columnas.

En base a las verificaciones realizadas en el ítem anterior, y a las figuras anteriores, se elabora la tabla resumen a continuación, con los pesos aproximados (valores redondeados) de cada bloque según su ubicación.

Número de Contrapeso	Ubicación respecto del arreglo	Peso (kg)
1	Esquinas simples	60
2	Unión de dos vértices (borde)	35
3	Unión de cuatro vértices (central)	25

CÓDIGO: SRT-IT-002-JNR-0	TÍTULO: Informe Técnico – Verificación Estructural y de Estabilidad. Paneles Coplanares y con Contrapesos	FECHA: 14/10/21	REVISIÓN: 0	HOJA Nº: 32 de 32
CONTRATO: - CLIENTE: SOLARMET				

7 CONCLUSIONES Y ASPECTOS A TENER EN CUENTA

Del análisis realizado se pueden extraer las siguientes conclusiones y aspectos a tener en cuenta

Estructura Coplanar

Resistencia y Serviciabilidad Estructural

Según puede apreciarse en los resultados del análisis estructural/tensional realizado, las estructuras planteadas verifican con un coeficiente de seguridad mayor a 1.5.

Estas estructuras se encuentran de cierta manera limitadas por la deformabilidad de los perfiles principales, en donde para las separaciones de puntos de vinculación a la cubierta propuestas, los valores de deformación se encuentran cercanos al límite.

La separación entre soportes adoptada, apunta a conseguir una distribución tensional uniforme a lo largo de los tramos de los perfiles principales, para que de esta manera resulte equilibradamente aprovechada la capacidad resistente del material. Dicho equilibrio a lo largo de los tramos (span), se logra modificando el voladizo a extremos (cantiléver) para equilibrar así el diagrama de momentos flectores de la barra.

Estructura con Contrapesos

Respecto a este ítem, vale aclarar que las verificaciones realizadas se han planteado sobre escenarios geométricos adoptados a modo de obtener resultados de valores medios. Por lo que los coeficientes adoptados para el cálculo de la acción del viento vienen de la mano de dichas adopciones, siendo estos de carácter ajustado o adaptado al objetivo buscado.

Las verificaciones realizadas al respecto, dan por sentada la capacidad de la cubierta para soportar la instalación de los paneles, su fijación, y su capacidad friccional para que dichos paneles no deslicen.

Generalidades

En general se deberá tener en cuenta que tanto la geometría del edificio en general (muros + cubierta) sobre la que se instalan los paneles, así como sus características de implantación tendrán un efecto determinante en las verificaciones realizadas. Lo mismo sucede con la distribución relativa entre paneles, y entre estos y los bordes de la cubierta y/o edificio. Por ello, se considera que en general, cada caso de instalación presentará sus particularidades, asociadas a las variables previamente comentadas, por lo que ameritará su análisis racional individual, cuyos resultados podrían ser contrastados con los aquí obtenidos para comparar órdenes de magnitud.