

## **DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA ESTRUCTURA PARA INSTALACIÓN SOLAR PILOTO.**

**Autores:** David Damia <sup>(1)</sup>, Joaquín F. Bergero <sup>(2)</sup>  
**Tutor:** Walter R. Tonini <sup>(3)</sup>

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco  
DeSiMec (Grupo de investigación y desarrollo de Simulaciones mecánicas)  
Avenida de la Universidad 501 (2400) San Francisco. Provincia de Córdoba. ARGENTINA.

<sup>(1)</sup> david.utn.em@gmail.com <sup>(2)</sup> jfbergero@yahoo.com.ar <sup>(3)</sup> wtonini@sanfrancisco.utn.edu.ar

### **Resumen**

El proyecto llevado a cabo en base al PID UTN: 3993 tiene en sus objetivos el estudio, diseño, simulación y optimización de una estructura que fue desarrollada para soportar los paneles solares fotovoltaicos en una instalación piloto dentro de la UTN-FR San Francisco. Lo que pretendemos llevar a cabo es corroborar el dimensionamiento de los materiales utilizados; no solo en condiciones estáticas considerando el peso de los paneles y la estructura propiamente dicha, sino también teniendo en cuenta las cargas que pueden llegar a generar las condiciones climáticas predominantes en la zona, adoptando los mismos parámetros y consideraciones que se utilizan en el estudio de postes y tendidos eléctricos según la norma E.T. 1003 de EPEC en sobrecarga por viento en condiciones de viento máximo.

Para el estudio de la estructura se realizaron distintos cursos de SolidWorks para aprender a manejar correctamente el software en estudio por elementos finitos y se fueron realizando ejercicios de manera progresiva hasta llegar al estudio en cuestión.

Se realizaron distintos informes proporcionados por el programa y se los analizaron en conjunto con los conocimientos adquiridos en distintas materias para el análisis de estructuras para corroborar su correcto funcionamiento.

Se concluye que todos estos estudios y simulaciones aportan positivamente a brindar la información necesaria en la construcción de diversas estructuras sin la necesidad de recurrir a ensayos destructivos y facilitando el trabajo de los cálculos matemáticos, implementando el software y los estudios realizados por el método de elementos finitos. Solo debemos prestar especial atención a los resultados que el mismo nos da y realizar la correcta evaluación con los fundamentos teóricos que corresponden y sean necesarios para una verídica conclusión del estado final de resistencia.

En cuanto a la estructura portante de los paneles se llegó a la conclusión de que utilizando los materiales sugeridos y su diseño, la misma se encuentra en buenas condiciones de resistencia ante las cargas provenientes de vientos, es decir fue corroborado positivamente.

**Palabras clave:** estudio, diseño, simulación y optimización- SolidWorks - elementos finitos – estructura.

## Introducción

El estudio se realizó por medio de un software que poseemos en la facultad donde se realizó el modelado en 3D de los distintos componentes y la estructura portante completa para luego poder pasar a la etapa de evaluación mediante simulaciones por el método de elementos finitos.

Primeramente se tomó conocimiento sobre la manera de trabajar del programa realizando cursos específicos, para luego poder simular pequeños y sencillos casos prácticos como una barra de metal de sección circular y otra cuadrada; evaluando comparativamente con los resultados analíticos. La complejidad fue dosificada de manera progresiva, aplicando el estudio en primer lugar sólo a una sección de la estructura considerando sólo el peso propio, luego de la misma manera se estudiara la estructura completa. Proseguiremos con el estudio sumando el peso de los paneles solares utilizados en el proyecto con todos los agregados que estos necesiten para su correcto funcionamiento y finalmente se tendrá en cuenta las cargas por influencia del viento, introducidas al programa como una carga estática calculada con anterioridad según norma anteriormente mencionada. Se utilizaron y evaluaron distintos tipos de elementos finitos en el modelado, concluyendo en utilizar elementos vigas por su mejor comportamiento y el menor tiempo de ejecución de todas las fases del estudio planteado.

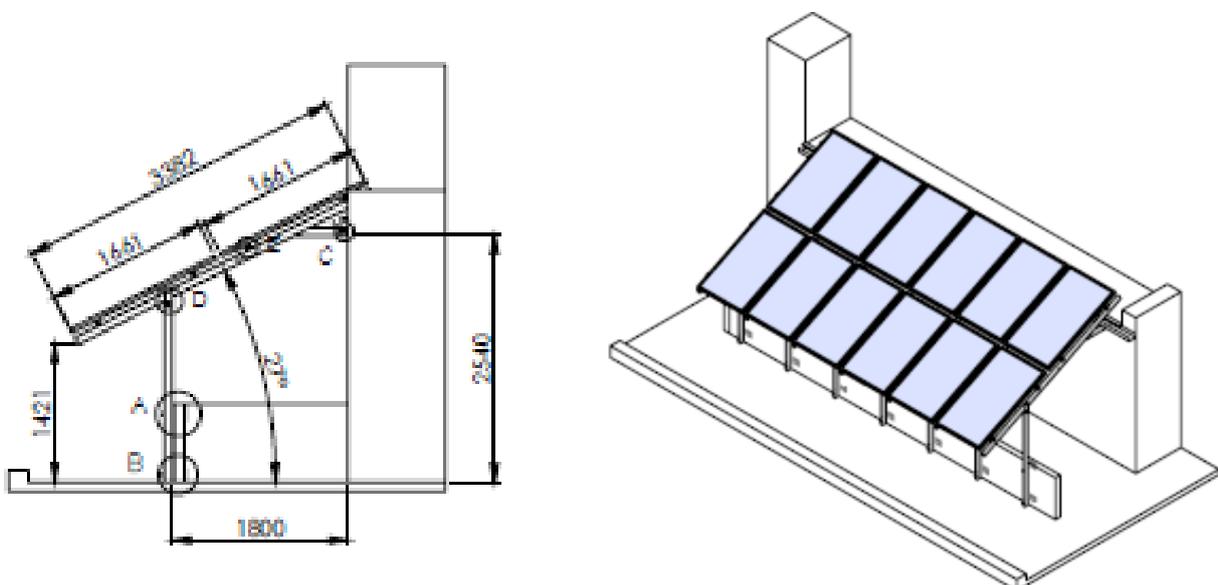
La estructura para el montaje de paneles solares analizada ya se encuentra en operación, el trabajo que se realizó fue verificar si soportaría las cargas a las cuales podría estar solicitada frente a las peores condiciones climáticas que pueden presentarse en la zona donde fue instalada.

[1]

Para ello se utilizaron los mismos métodos de cálculo con los cuales se verifican los dimensionamientos de postes y tendidos eléctricos según norma EPEC-ET1003, 1997 [2].

La misma debe soportar no solo su peso propio sino que además el peso de los 12 paneles solares montados sobre ella con el ángulo correspondiente y la descomposición de las fuerzas generadas por el viento sobre dichos paneles.

En la imagen mostrada a continuación se muestra la estructura en cuestión [3], conformada por caños estructurales rectangulares 40 x 80 x 3,2 mm. Empotrado en las distintas paredes y sobre la misma unos rieles C para la sujeción de los paneles solares fotovoltaicos.



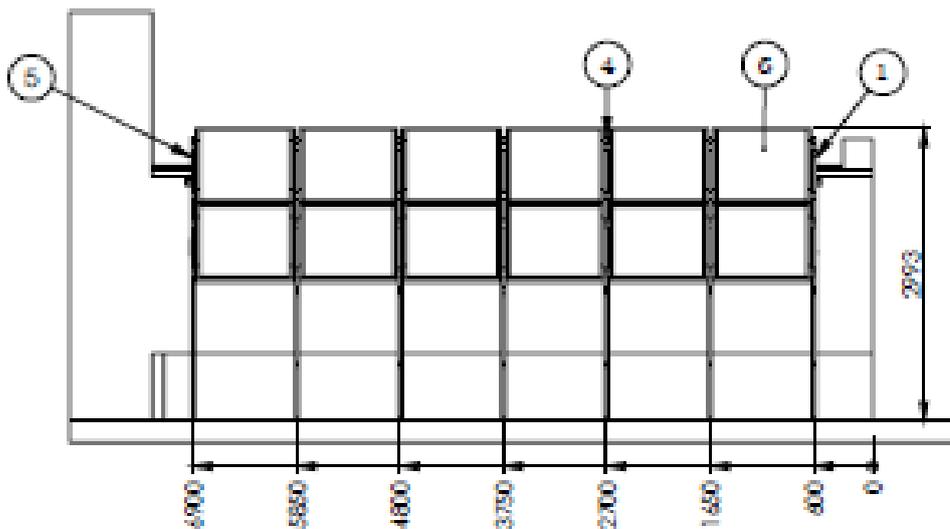


Fig 1: Esquema y dimensiones de la estructura portante

## Procedimiento

### Modelado de la estructura en SolidWorks

Se realizó un relevamiento de la estructura realizada por el grupo GISEner para el montaje de los paneles solares. Luego se continuó con el diseño a través de SolidWorks Simulations® [4], utilizando para la facilidad de los cálculos los elementos Shell o viga.

### Cálculos principales

En primer lugar se procedió a hacer los cálculos manuales para obtener las cargas a la que la estructura estaba solicitada y además se obtuvieron datos de la misma como ser su peso en tablas brindadas por el programa.

Tabla 1: Propiedades físicas:

Propiedades de masa de conjunto 6 partes
Densidad = 0.01 gramos por milímetro cúbico
Masa = 257299.81 gramos
Volumen = 32987155.22 milímetros cúbicos
Área de superficie = 23608749.86 milímetros cuadrados
Centro de masa: (milímetros)
X = 2625.00
Y = 1948.70
Z = -453.11

Luego utilizando la norma ET 1003 de EPEC [1] se realizó lo siguiente:

La sobrecarga (F) producida por el viento se calculará con las siguientes fórmulas:

Sobrecarga por viento en la condición de viento máximo:

Para superficies o elementos planos:

$$F = P \times S_n \text{ con } P = 118 \text{ kg/m}^2$$

(1)

$S_n$ : Proyección normal a la dirección del viento de las superficies o elementos expuestas, planas o cilíndricas, en  $\text{m}^2$ .

NOTA: Para tales estructuras como postes dobles, pórticos y reticulados, las superficies de partes ocultas por otras, en dirección del viento, se considerarán según su área total si la separación entre ambos elementos fuera mayor que 4 veces el ancho de la superficie anterior y según la mitad de su área total si la separación fuera 4 veces o menor.

La sección proyectada del conjunto de paneles es de 5,28 m de longitud por 1,54 m de alto.

Con lo que obtenemos una fuerza resultante=

$$F = 118 \text{ kg/m}^2 \times (5,28\text{m} \times 1,54 \text{ m}) = 959,12 \text{ kg} \quad (2)$$

$$\text{Fuerza Horizontal} = 959,12 \text{ kg}$$

Peso estructura completa= 260 kg aproximadamente obtenidos por software

$$\text{Peso estructura completa más peso de 12 paneles} = (12 \times 18 \text{ kg}) + 260 \text{ kg} = 476 \text{ kg} \quad (3)$$

$$\text{Fuerza vertical} = \text{Fuerza Horizontal } 959,12 \text{ kg} \times \text{tg}(27^\circ) + \text{peso total} \quad (4)$$

$$\text{Fuerza vertical} = 964,70 \text{ kg}$$

Fuerza horizontal en los parantes

$$\text{Sección parantes} = 1,9 \text{ m} \times 0,04 \text{ m} = 0,076 \text{ m}^2 \quad (5)$$

$$F = 118 \times 0,076 = 8,96 \text{ kg} \times 6 \text{ parantes} = 53,81 \text{ kg} \quad (6)$$

$$\text{Fuerza en los parantes} = 53,81 \text{ kg}$$

### Carga de datos al programa

Una vez obtenidas las propiedades físicas y realizadas todos los cálculos se cargó toda esta información al programa en un estudio estático para su posterior análisis.

Los datos brindados al programa además del modelado 3d para correr el estudio con elementos finitos fueron: Material, Juntas, Conexiones, Sujeciones, Cargas y propiedades de mallado.

Tabla 2: Características del Material: Acero al carbono no aleado.

PROPIEDADES	VALOR	UNIDAD
Módulo elástico	2141391	kgf/cm <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	0.28	N/D
Módulo cortante	805570.9	kgf/cm <sup>2</sup>
Densidad de masa	0.0078	kg/cm <sup>3</sup>
Límite de tracción	4077.065705	kgf/cm <sup>2</sup>
Límite elástico	2249.419077	kgf/cm <sup>2</sup>
Coefficiente de expansión térmica	1.3e-005	/°C
Conductividad térmica	0.102772	cal/(cm·s·°C)
Calor Específico	105.163	cal/(kg·°C)

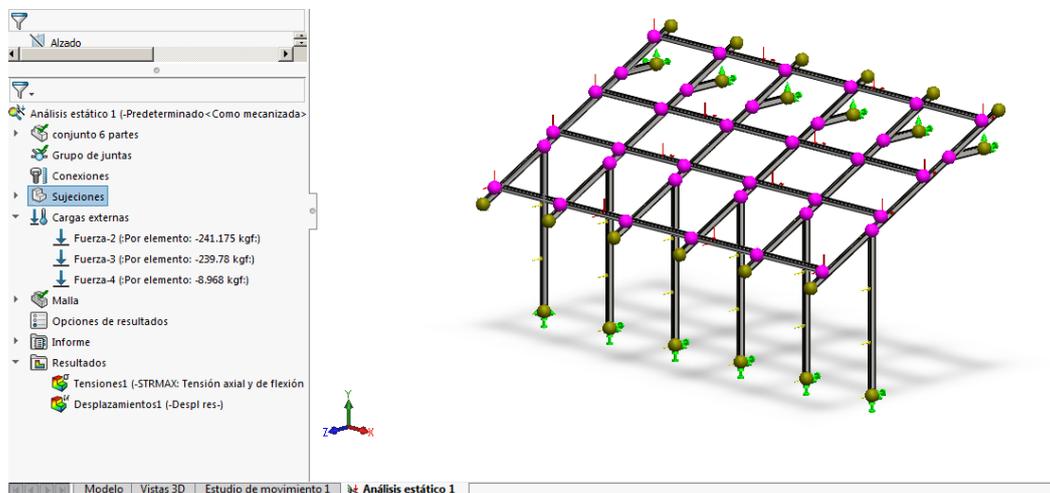


Fig. 2: Restricciones de movimientos y cargas aplicadas

Una vez finalizados los pasos mencionados anteriormente se realizó el estudio a través del programa, el cual ejecutó de manera automática las ecuaciones diferenciales para estudiar la estructura con elementos finitos.

El software nos brinda los datos que utilizó para resolver el problema:

Tabla 3: Datos de salida para postanálisis

Tipo de malla	Malla de viga
Número total de nodos	502
Número total de elementos	494
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:11

### Fuerzas resultantes

Tabla 4: Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-5.60284e-006	9460.47	9933.43	13717.6

### Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	670.385	-0.00475955	-0.000913714	670.385

Una vez generado todos los estudios mediante software comercial se crean informes donde se cargaran todos los resultados obtenidos y de esta manera poder comparar el avance del proyecto. Utilizando los conocimientos de resistencia de materiales se podrá evaluar si dicha estructura posee una buena resistencia para cumplir con su cometido o necesita ser revisada para poder soportar todas las carga a las que se encuentra solicitada sufriendo la deformación admisible, este paso lo llamamos optimización del diseño.

### Análisis de resultados

Observamos los resultados arrojados por el programa:

Tabla 5: Resultados del software en nodos críticos

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	TXY: Tensión cortante en dir. Y en plano YZ	0 kgf/cm <sup>2</sup> Elemento: 471	394.391 kgf/cm <sup>2</sup> Elemento: 271
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0 mm Nodo: 22	2.58412 mm Nodo: 304

Podemos ver cuál es la sección de la estructura que está más sometida a las cargas y esfuerzos flectores. La estructura no corre ningún riesgo ya que la zona que soporta la mayor carga es de 394 kg/cm<sup>2</sup> y el límite elástico del material es de 2249 kg/cm<sup>2</sup>.

En cuanto a las deformaciones podemos observar que los mayores desplazamientos se dan en la parte inferior de la estructura, la zona de voladizo y el mismo es de aproximadamente 2,6 mm en las condiciones más desfavorables.

Nombre del modelo: conjunto 6 partes  
Nombre de estudio: Análisis estático 1[-Predeterminado-<Como mecanizada->]  
Tipo de resultado: Tensión axial y de flexión en el límite superior Tensiones1  
Escala de deformación: 1

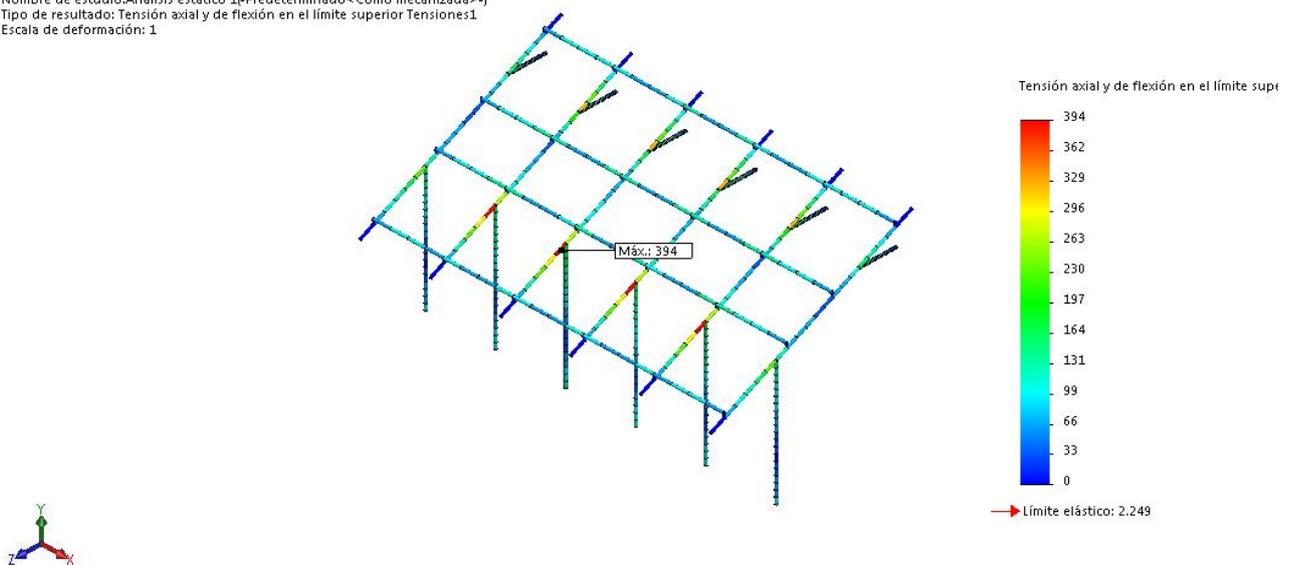


Fig. 3: Conjunto 6 partes - Análisis estático – Visualización de tensiones

## Conclusión

Para finalizar podemos decir que la estructura se encuentra no solo en buenas condiciones de funcionamiento, sino que la misma se encuentra sobredimensionada, ya que como vimos anteriormente los esfuerzos máximos que soporta están muy lejos de los límites del material. Por lo tanto, la estructura podría soportar tranquilamente las condiciones más desfavorables que se puedan presentar sin sufrir ningún tipo de inconveniente o deformación.

Además podríamos decir que la misma se podría haber construida con tubos estructurales de menor dimensión para generar costos menores en la inversión inicial sin que esta se vea afectada en su funcionamiento.

## Agradecimientos

Este trabajo se financió parcialmente con el PID (Proyecto de Investigación y Desarrollo) “Diseño y simulación de modelos estructurales destinados a la industria”, desarrollado en la Facultad Regional San Francisco de la UTN, homologado por Rectorado de UTN con el código IPUNSF0003993.

## Referencias

- [1] Ferreyra, Diego M.; Tonini, Walter R.; Asís, Hernán G.; y Vignolo, Diego A., “Diseño e instalación de una estructura portante para paneles solares fotovoltaicos con fines didácticos”, COPUCI 2015, Paraná, Argentina, 21 al 23/10/2015, sesión de pósteres (2015).
- [2] EPEC, ET1003 “Líneas aéreas de alta tensión”, Oficina de Normalización, 31/10/1997, disponible: <https://www.epec.com.ar/docs/educativo/normasT/ET1003.PDF> .
- [3] “Diseño y simulación de modelos estructurales destinados a la industria”, Rectorado UTN, cód. IPUNSF0003993. Del 01/05/2016 al 31/12/2016.
- [4] SOLIDWORKS® SIMULATIONS, 2016. Professional, Dassault Systèmes SolidWorks Corporation, Massachusetts, USA, 2016.