



## Cómo seleccionar la estructura que mejor se adapte a las necesidades del proyecto

GERMÁN JALIL *Strip Steel S de RL de CV*

Aunque a simple vista parece sencillo seleccionar una estructura para paneles solares, en realidad no lo es. Entre mayor sea el número de paneles más importante será no equivocarnos y esto requiere tiempo.

Hoy me voy a concentrar en estructuras fijas en suelo. Son estructuras también conocidas como tipo *ground-mount*.

Desde mi punto de vista hay tres criterios que debemos tomar en cuenta al momento de hacer las evaluaciones:

- **La durabilidad.**
- El **costo** total de adquisición, construcción y mantenimiento.
- **La seguridad**, que incluye esa resistencia frente a las ráfagas de viento y la buena operación de los paneles en todo momento.

**Empiezemos por la primera.** La vida útil de una estructura metálica bajo condiciones de intemperie, ambientes corrosivos o de alta salinidad nos obliga a pensar en tres materiales con alta resistencia a la corrosión: el aluminio anodizado, el acero recubierto de zinc (galvanizados) y el acero con una aleación de magnesio-aluminio-zinc. Estos últimos, conocidos como aceros con recubrimiento MAC son ampliamente utilizados en la industria automotriz, solar y de la construcción

Es del conocimiento público que el aluminio se comporta muy bien a la intemperie porque vemos que pasan los años y no se deteriora como sucede con el acero sin recubrimiento.

En las plantas petroquímicas del Golfo de México es común encontrar charolas para cables fabricadas en aluminio ( 6063-T6) y sin deterioro notorio después de muchas décadas. Así que cuando las instalaciones solares son pequeñas, de 150 paneles o menos por ejemplo, las estructuras de aluminio anodizado son una buena opción porque son fáciles de instalar y sus propiedades mecánicas como la deformación por flexión son suficientes.

**Galvanización por inmersión en caliente.** La larga vida en el acero se consigue aplicando una capa metálica protectora que impide que se desarrolle oxidación. Dicha capa puede aplicarse durante la fabricación de la lámina, es decir antes de la manufactura de los elementos estructurales, o después, una vez que se ha fabricado un poste por ejemplo. La primera da resultados superiores, más durabilidad, porque es un proceso más controlado.

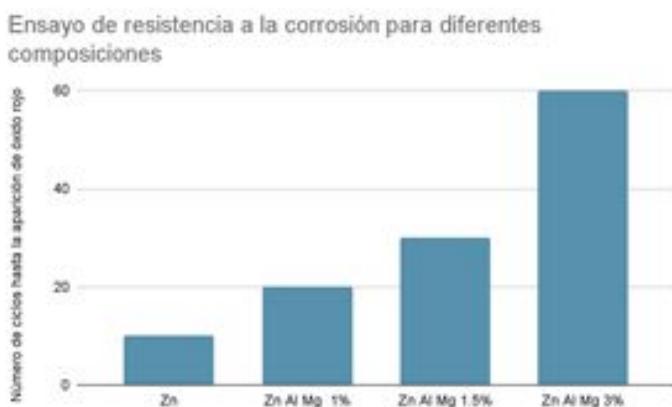
Así que siempre que sea posible debemos escoger aceros galvanizados desde su origen. **Además, nos vamos a ahorrar dinero.**

El proceso de galvanización consiste en hacer pasar la lámina por un baño de zinc líquido a 443 °C. Recordemos que cada vez que el acero se calienta y se enfriá, se crean esfuerzos residuales que afectan su comportamiento y resistencia, de tal manera que un proceso donde estos cambios son perfectamente controlados traerán menor impacto.

Cuando el galvanizado se realiza después de que una pieza ha sido manufacturada, los espesores y la densidad de zinc no son homogéneos como cuando es de origen. Entonces ¿Cuál sería la razón de hacer post-galvanizados? Simplemente obtener una capa de zinc exageradamente gruesa, 100 a 200 micras, que garantice una larga vida.

Normalmente esto se ve en postes de seguidores solares en suelos altamente corrosivos

Si lo que se busca es la máxima durabilidad, los aceros recubiertos con una aleación de Magnesio- Aluminio-Zinc, MAC, es la mejor opción. Y en particular aquellos donde la composición del Magnesio es de 3% y del Aluminio de 3.5% (en el mundo hay menos de 5 fabricantes y en México se importan de manera regular). Veamos la gráfica 1 que muestra la duración en ciclos de cuatro muestras de acero antes de que aparezca óxido rojo en su superficie. La primera, es un acero galvanizado, las otras tres, son aceros MAC con distintas composiciones de Magnesio y Aluminio. Es claro que al aumentar estos contenidos, la resistencia a la corrosión es mayor. En general, se dice que los aceros recubiertos MAC tienen una resistencia tres o cuatro veces superior a la del acero galvanizado.

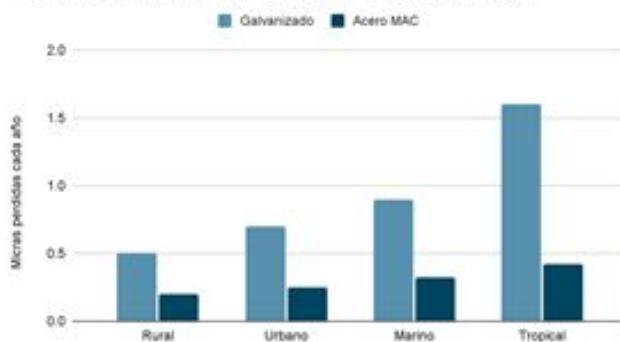


Gráfica 1. Fuente ArcelorMittal R&D.

Adicional a la alta resistencia a la corrosión, los aceros MAC tienen una propiedad única y de alto valor que no tienen los galvanizados, su recubrimiento se autorrepara cuando el sustrato de acero queda expuesto por araños, perforaciones o cortes que dejan los bordes expuestos.

Este efecto de autorreparación existe en la naturaleza y se conoce como efecto *Simonkolleite* (hidroxicloruro de zinc  $Zn_5Cl_2(OH)_8 \cdot H_2O$ ) y se trata de la formación de una capa mineral sólida y estable gracias a la presencia de Aluminio y Magnesio.

Pérdida de espesor anualmente en diferentes entornos



En resumen, entre más agresivo sea el ambiente más notable será la resistencia a la corrosión de los aceros recubiertos MAC frente a los galvanizados (gráfica 2).

Hablemos de las especificaciones del recubrimiento en ambos aceros galvanizados y MAC.

Entre más grande sea el espesor y la densidad del recubrimiento, mayor será su resistencia a la corrosión.

Los espesores se miden en micras ( $\mu m$ ) y la densidad en gramos por metro cuadrado (Z275, ZM310, por ejemplo). En la tabla 1, se muestran algunos recubrimientos típicos en el sector solar para galvanizados y su equivalencia a MAC.

Es claro que los aceros MAC tienen densidad y espesor menores que los galvanizados sin sacrificar su resistencia a la corrosión.

Simbología.

**Galvanizados.** G es la densidad en oz/ft<sup>2</sup>, Z (zinc) es la densidad en g/m<sup>2</sup> y G  $\mu$ m es el espesor.

**MAC.** ZM (Zinc Magnesio) es la densidad en g/m<sup>2</sup> y MAC  $\mu$ m es el espesor.

G	Z	G $\mu$ m	ZM	MAC $\mu$ m
90	275	19	137	11
200	610	43	305	24
280	854	60	427	34
400	1,220	85	620	49

Tabla 1. Especificaciones equivalentes del recubrimiento.

Corrosión galvánica. No voy a explicar qué es, simplemente decir que los aceros galvanizados y los aceros con recubrimiento MAC son perfectamente compatibles con el aluminio de los marcos de los paneles solares por lo tanto no debemos preocuparnos, sin embargo estos aceros en contacto con tornillos y *clamps* de acero inoxidable podrían causar corrosión y para evitarla se recomienda usar arandelas aislantes hechas de algún polímero que tenga buena resistencia a la intemperie y que recupere el 85% o más de su espesor después de haber sido comprimido (bajo *compression set*).

Si se utilizan polímeros tipo hule se corre el riesgo de que con el tiempo pierda sus propiedades y el *clamp* que sujet a el panel solar se afloje.

Los aceros MAC pueden alcanzar 25 años o más sin tener una degradación, los galvanizados por el contrario posiblemente presenten oxidación y deterioro antes.

**El segundo criterio importante en la evaluación de estructuras es el costo de adquisición, construcción y mantenimiento, así que voy mencionar los principales aspectos a considerar.**

El costo de adquisición más competitivo se consigue disminuyendo el área total del proyecto (paneles de mayor capacidad), seleccionando la estructura más esbelta (sin sacrificar la resistencia al viento) y haciendo estudios de geotécnica para determinar la cimentación adecuada.

En la tabla 2 se muestran valores promedio del costo por watt de corriente directa (Wdc).

Tamaño del Proyecto, MW	Precio promedio en USD/Wdc
0.1	0.17
0.2	0.14
0.5	0.12
1 - 2	0.11
5 - 10	0.10

Tabla 2.

Fuente NREL U.S. Solar Photovoltaic System and Energy Storage Cost Benchmark: Q1 2020

Cuando la estructura está hecha en aluminio, normalmente se necesitan más apoyos (más postes por cada 100 paneles por ejemplo) para evitar la deformación de rieles por esfuerzos de flexión. Esto afecta a los costos de construcción. Es raro ver estructuras en piso fabricadas en aluminio en proyectos de 0.1 MW o más, normalmente son de acero.

Los costos de construcción están directamente relacionados con:

- Velocidad de armado de la estructura (15 minutos de ensamblado de una con capacidad para 14 paneles)
- Velocidad de colocación de apoyos o postes
- Volumen de postes (cimentación)

De lo anterior podemos concluir que aquellas estructuras con menor número de componentes, con menor número de apoyos (por cada 100 paneles), de configuración monolínea (una sola hilera de postes) y con el menor número de uniones (tornillos) será la que más convenga.

Es importante decir que siempre que el terreno lo permita, los postes deberán ser clavados o hincados, utilizando maquinaria adecuada. Es la manera más rápida de colocarlos. No escatimemos en el costo de los estudios geotécnicos, de hincado o pruebas de *pull out*, si queremos dormir tranquilos. Existen otros métodos de cimentación o anclaje para la estructura: cimentación de concreto (lastradas o bajo tierra), pilotes helicoidales y tornillos para tierra (*earth screws*).



Finalmente, hablemos de la seguridad, un tema tan crítico como los costos. Considero que el riesgo más grande asociado a las estructuras es la posibilidad de pérdidas y daños por vientos, no sólo en costa o zonas de huracanes, también existen ráfagas de viento en zonas abiertas o altitudes de más de 2,000 m.s.n.m. por ejemplo. Pueden haber muchos motivos cuando una estructura falla, o cuando los paneles no son bien sujetados por el sistema de *clamps*, pero estas pérdidas se pueden prevenir.

El proveedor o fabricante deberá entregar una garantía, especificaciones técnicas y memorias de cálculo que demuestren que la estructura soportará los vientos máximos en la zona en los últimos 50 años. Adicional a esto, es vital la inspección periódica y limpieza de las estructuras con el fin de evitar acumulación de agua o rocío que pudiera causar corrosión, de detectar tornillos y clamps flojos, postes flojos o cimentación dañada. Un buen programa de mantenimiento preventivo es la mejor herramienta para evitar daños y pérdidas.

