



# Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Estudios Superiores Aragón

*Propuesta de diseño e implementación del  
poste solar PS-FESAR como iluminaria sustentable en  
la FES Aragón*

T E S I S

Que para obtener el título de

INGENIERO MECÁNICO

PRESENTA:

EDUARDO DOMÍNGUEZ MEDINA

Asesor:

ING. JOSÉ LUIS RAMÍREZ CRUZ



Ciudad Nezahualcóyotl, Estado de México, 2019.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **Dedicatoria y Agradecimientos**

*A Dios, por darme la vida, salud y sabiduría, permitiéndome estudiar una carrera que me permitirá llevar a cabo todos los proyectos que tenga planeados en mi vida.*

*A mis Padres, por el apoyo incondicional; pues desde pequeño me enseñaron el valor de la preparación para tener una vida exitosa a través del camino de la rectitud, la honestidad, el esfuerzo y la dedicación, que son las bases necesarias para garantizar una vida llena de felicidad.*

*A mis Profesores, que me llevaron de la mano en el desarrollo académico, enseñándome que la preparación es necesaria para desempeñar un buen papel en la sociedad y que tengo que buscar mis propios medios para obtener un mejor y mayor aprendizaje.*

*A mis amigos, que me impulsaron y motivaron para no dejar mis estudios en los momentos difíciles, dándome buenos consejos y brindando su apoyo incondicional en todo momento.*

## Contenido

---

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>5</b>
<b>1.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>8</b>
1.2. Objetivos	9
<b>2.MARCO TEÓRICO Y NORMATIVO</b>	<b>10</b>
2.1. Historia del alumbrado público	10
2.2. Las estructuras metálicas	14
2.3. Marco Jurídico	19
2.4. Decretos sobre criterios de aceptación para la industria eléctrica	19
2.5. Normas de fabricación y pruebas para estructuras de acero	28
<b>3. METODOLOGÍA</b>	<b>30</b>
3.1 Ubicación del poste PS-FESAR	33
3.2 Especificaciones de materiales, condiciones y requerimientos técnicos del poste.	36
3.3 Selección de materiales	38
3.4 Cálculos del sistema fotovoltaico	46
3.5 Proceso de Diseño	50
3.6 Análisis de la estructura HSS de acero A500 6"x 2"x 5/16" para sismo y viento.	62
3.7 Diseño por Sismo	65
3.8 Diseño por Viento	71
3.9. Análisis Estructural Acero A500 HSS de 6"x 2"x 5/16"	80
3.9.1. Coeficiente $C_m$	81
3.9.2. Área neta efectiva	82
3.9.3. Factor de longitud efectiva	83
3.9.4. Relaciones de esbeltez	84
3.9.5. Sección necesaria	85
3.9.6. Momento de inercia respecto a un eje	86
3.9.7. Radio de giro	88

	4
3.9.8. Clasificación de la sección	90
3.9.9. Miembros en Tensión	91
3.9.10. Miembros en cortante	93
3.9.11. Miembros en Compresión	95
3.9.12. Miembros en flexión	100
3.9.13. Miembros bajo cargas combinadas	102
<b>4. IMPLEMENTACIÓN</b>	<b>107</b>
4.1. Cotización de fabricación del poste PS-FESAR.	107
4.2. Mantenimiento propuesto	109
4.3. Cotización de otros postes solares	109
4.4. Planos de fabricación	112
4.5. Conclusiones	115
4.6. Bibliografía	117
4.7. Cibergráfico	117

## INTRODUCCIÓN

---

El alumbrado público tiene como finalidad iluminar zonas públicas con tránsito vehicular y peatonal, asimismo, proporcionar una visión confortable, agudeza visual, rapidez de percepción y capacidad de visibilidad a los conductores y peatones que hacen uso de calles, calzadas, ejes viales, vías primarias, avenidas, carreteras, bulevares y autopistas. Como es sabido, en la actualidad los altos costos de la materia prima y la manufactura han llevado a buscar nuevas alternativas de diseño y también nuevas formas de economizar utilizando el reciclaje y rehabilitación de materiales. Actualmente, se han incorporado de forma gradual tecnologías recientes de lámparas LED,<sup>1</sup> con modernos diseños de luminarios para el alumbrado público, que se han instalado para reducir el consumo de energía eléctrica y mejorar su eficiencia energética, permitiendo mantener los niveles de iluminación requeridos para el alumbrado público del país.

La presente propuesta, está enfocada en el diseño de un poste solar sustentable de iluminación LED de bajo costo y que cumple con las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcción de la Ciudad de México (NTC-CDMX),<sup>2</sup> en cuyas especificaciones se integran las Normas Técnicas Complementarias *para Diseño y Construcción de Estructuras de Acero*.

En este sentido, el objetivo central será llevar un sistema de iluminación sustentable a la Facultad de Estudios Superiores Aragón (FES Aragón), para iluminar con mayor eficiencia las áreas que la conforman, permitiendo el desarrollo de actividades nocturnas académicas tales como deportes, vigilancia por parte del Departamento Jurídico, tránsito libre y seguro para la comunidad de la Facultad, así como la iluminación de instalaciones: estacionamientos, pasillos, tiendas, etc., a través de la implementación de un sistema

---

<sup>1</sup> LED son componentes electrónicos semiconductores (diodos) que son capaces de emitir luz al ser atravesados por una corriente pequeña. Sus siglas LED significan “Light Emitting Diode”, que traducido al español significa “Diodo Emisor de Luz”. Consulta noviembre 2018, disponible en: [<https://tinyurl.com/ycqqdhgd>].

<sup>2</sup> Consulta noviembre 2018, disponible en: [<https://tinyurl.com/yd3kxofg>].

totalmente autónomo como fuente de energía de corriente directa (CD)<sup>3</sup>. El modelo propuesto que a partir de ahora será “**PS-FESAR**”,<sup>4</sup> corresponde a un tipo de sistema fotovoltaico, que, para ser eficiente, opera mediante la obtención de energía a través de paneles fotovoltaicos, distribuyendo la energía almacenada por medio de un controlador de carga, que permite encender y apagar la energía acumulada a través de baterías solares de ciclo profundo en tanto el controlador de carga se encuentra programado.

Con la presente tesis, se explicarán los pasos que se siguieron para el análisis, diseño y posible manufactura en la construcción de un poste solar funcional y con un diseño innovador, cuyos costos son significativamente reducidos con respecto a los demás modelos de postes solares que se encuentran en el mercado. A continuación, se describen los contenidos generales de los cuatro capítulos que conforman esta propuesta:

- En el capítulo 1, se plantea la problemática que da lugar a la propuesta de colocar un poste solar dentro de la FES Aragón; asimismo, se mencionan los objetivos principales de esta propuesta de Tesis, pues es de total pertinencia conocer el eje rector que dará sentido y significado a la implementación del modelo de poste solar PS-FESAR.
- En el capítulo 2, se menciona brevemente la historia del alumbrado público y las estructuras de acero para tener una idea en general de esta propuesta. Se mencionan los decretos más importantes para proponer un poste solar de alumbrado público y poder introducirlo en el mercado mediante los órganos reguladores de energía principales en México, los cuales se encuentran estipulados por la Comisión Reguladora de Energía (CRE). Y por último se enlistan las normas de fabricación más importantes a utilizar para la construcción del poste solar PS-FESAR y que posteriormente se incluirá en la metodología.

---

<sup>3</sup> La corriente continua o corriente directa se refiere al flujo continuo de carga eléctrica a través de un conductor entre dos puntos de distinto potencial y carga eléctrica, que no cambia de sentido con el tiempo. Consulta: Noviembre 2018; disponible en [[https://es.wikipedia.org/wiki/Corriente\\_continua](https://es.wikipedia.org/wiki/Corriente_continua)].

<sup>4</sup> PS-FESAR, autoría propia. Es el nombre del modelo del poste solar para la presente propuesta.

- En el capítulo 3. La metodología guiará el procedimiento para el desarrollo del poste solar PS-FESAR, así como su ubicación, especificaciones de materiales, cálculos en el sistema eléctrico, análisis del acero de la estructura principal y el diseño base que permitirá demostrar la funcionalidad y sustentabilidad del mismo, con total apego a la normatividad requerida que cumple con las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcción para la CDMX.
- En el capítulo 4 se anexa toda la información complementaria para la posible implementación del poste solar PS-FESAR, incluyendo el diseño, los planos de fabricación y su cotización.



# **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Actualmente, el sector energético como parte del desarrollo industrial, es de vital importancia para el desarrollo del país. El consumo de energía eléctrica en México ha ido incrementando como consecuencia del crecimiento demográfico, de la construcción de nuevas obras que pueden representar cifras enormes, y de los planes de acción y desarrollo que las políticas públicas han instituido en los últimos años, tal y como señala la Revista Forbes México:

*“Con proyectos en energía eólica y solar, las inversiones nuevas en renovables crecieron 810% en 2017, con lo que México llegó por primera vez al Top 10 de las economías globales en este rubro”.<sup>5</sup>*

Por ello, el gobierno mexicano ha facilitado que el sector privado intervenga en la inversión energética para poder solventar y satisfacer las necesidades sociales, promoviendo al mismo tiempo un tipo de energía limpia, sustentable, eficaz y con menores costos.

Por esta razón, el uso de la tecnología fotovoltaica se coloca como la ideal para proporcional la demanda de energía poblacional, satisfaciendo y promoviendo los recursos sustentables de manera responsable, como una forma de contribuir a la reducción de impactos negativos que aceleran el cambio climático. Por lo que este poste deberá de ser totalmente funcional, ecológico y sustentable para que los costos de luz de la FES Aragón sean reducidas por la implementación de este tipo de tecnologías.

---

<sup>5</sup> Consulta noviembre 2018, disponible en la página de Forbes: [<https://tinyurl.com/y9oce6o2>]

Partiendo de este supuesto, y teniendo el conocimiento de que en la FES Aragón existen zonas donde no hay alumbrado suficiente, es importante considerar su instalación para que permitan alumbrar los espacios donde se torna inseguro el tránsito de estudiantes y personal de la comunidad, ya que, al tener una visibilidad reducida, también reduce la libertad de realizar actividades académicas nocturnas.

Se deberá tomar en cuenta que el suelo es salitroso por lo que no solamente deberá de cumplir con las normas para la instalación de un poste de la CDMX, sino que también deberá de considerarse algunas medidas preventivas para el tipo de suelo.

## **1.2. Objetivos**

Exponer con precisión el proceso de análisis y diseño de la estructura de Acero ASTM A500 del poste solar PS-FESAR, así como cada una de sus partes: estructura metálica, componentes físicos, eléctricos y mecánicos.

Proponer, con base a lo anterior, una alternativa de iluminación sustentable en la Facultad de Estudios Superiores Aragón para iluminar con mayor eficiencia las áreas que la conforman, a fin de promover actividades académicas nocturnas libres y seguras.

Justificar la propuesta del poste solar PS-FESAR de bajo costo, en cumplimiento con las Normas de diseño de la CDMX para su posterior instalación en la FES Aragón.

## **2. MARCO TEÓRICO Y NORMATIVO**

### **2.1. Historia del alumbrado público**

Hoy en día el tema de la iluminación y sustentabilidad es prioridad en todos los gobiernos, ya que no solamente debe cumplir con el objetivo de brindar luz sino también de proporcionar mayor seguridad al transeúnte por las noches, tener ahorro en el consumo de energía, buscar energías renovables que sean sustentables y que su mantenimiento sea sencillo.

A causa de esta necesidad, se han desarrollado dispositivos que permiten con eficiencia la obtención de energía, implementándolos en postes solares de alumbrado público y privado.

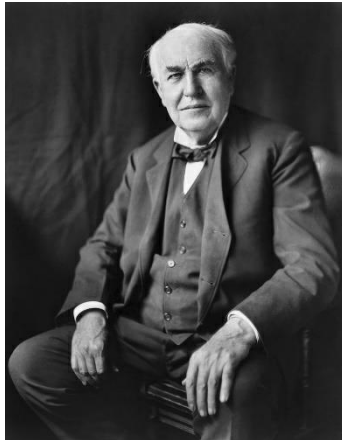


Columnas egipcias, (2700 a. C).  
Imagen obtenida y disponible en:  
[<https://tinyurl.com>].

Los inicios del alumbrado público surgieron cuando el ser humano tuvo el control del fuego usándolo mediante antorchas con combustibles fósiles, aceites y mechas que datan entre el año 7000 y el 8000 a. C., y de cobre y bronce en Egipto y Persia cercanas al año 2700 a. C.

Al pasar el tiempo, en Francia, a mediados del siglo XV, se colocaron las primeras lámparas públicas ordenando a los ciudadanos colocar en cada esquina y puerta de sus casas luz (antorchas), y no fue hasta el año 1667 que se estableció el alumbrado público como obligación del Estado. Años después, en 1807 fueron empleados reflectores de gas, siendo el impulso para nuevos avances dando como resultado la creación de alumbrado público por Arco Eléctrico compuesto de electrodos de carbón en 1875 por el ruso Pavel

Yablochkov. Sin embargo, fue Thomas Alva Edison el primero en patentar la bombilla incandescente de filamento de carbono el 27 de enero de 1880.



Fotografía de Thomas Alva Edison,  
(Ca. 1922).

Imagen obtenida y disponible en:  
[<https://tinyurl.com/y9uo7xg5>].

Pese a la implementación del arco eléctrico con carbón en las lámparas, éste generaba demasiada luz y calor, además requería mantenimiento constante ya que se tenían que cambiar los electrodos de carbón. Estos inconvenientes permitieron el desarrollo de nuevas lámparas, y fue en el año de 1905 cuando se crearon lámparas fluorescentes que se usaron por breves períodos de tiempo, hasta que en 1950 se desarrollaron lámparas de vapor de mercurio de alta presión “HID” (*High Intensity Discharge*), cuya efectividad era mínima, pues se degradaban rápidamente los componentes internos, consumía mucha energía y su luminosidad no era constante.

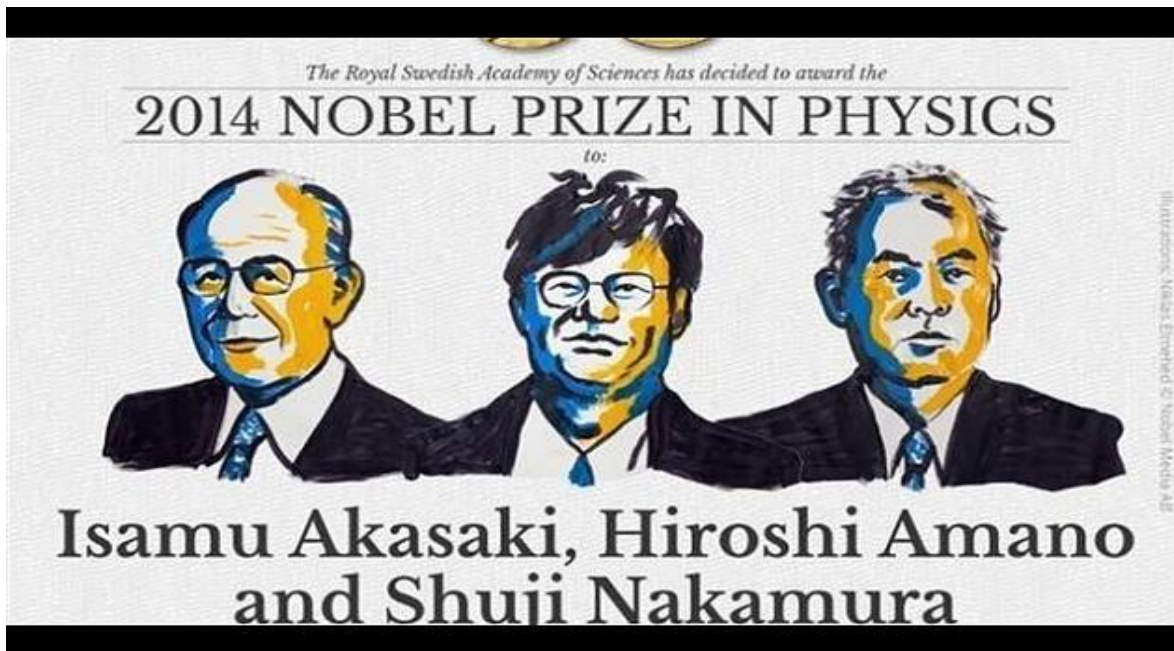
Todos estos intentos por crear un alumbrado eficiente conllevaron a que se crearan lámparas de vapor de sodio de baja y alta presión en 1970 y 1980, siendo hasta ahora una de las lámparas más usadas por el alumbrado público por su eficiencia luminosa y por su costo. Gracias a estos desarrollos se crearon otros tipos de lámparas con usos específicos como: Aditivos Haluro Metálicos, MCC (Vapor de Mercurio de Color Corregido de tono verdoso) y Tungsteno-Halógena.



Gama de colores de LED.  
Imagen obtenida y disponible en:  
[<https://tinyurl.com/y89kp5f9>].

Actualmente, se ha implementado en el alumbrado público LED, uno de los más grandes avances en el desarrollo de tecnología de iluminación por su eficiencia de 98% en luz y solo el 2% en calor, comparado con las lámparas incandescentes que consumen el 95 de disposición energética en calor. Los inicios de esta tecnología comenzaron en 1961 con un LED de color rojo que se utilizaba solamente para la electrónica, pero al pasar del tiempo se desarrollaron nuevos materiales semiconductores haciendo que los colores de los LED se ampliaran a verde, naranja y amarillo.

Una década después, gracias a los investigadores Isamu Akasaki, Hiroshi Amano y Shuji Nakamura, se creó el LED que al combinar toda la gama de colores permitió la luz blanca, alcanzando mayor eficiencia y luminosidad. Tal fue su importancia que estos investigadores fueron reconocidos por La Real Academia Sueca de Ciencias en 2014, ganando así el Premio Nobel de Física por su gran aportación a la tecnología y por los beneficios que tenía la luz LED.



Cartel Premio Nobel. Isamu Akasaki, Hiroshimi Amano y Shuji Nakamura.  
 Imagen obtenida y disponible en: [<https://tinyurl.com/ycpuoblx>].

Uno de los más grandes avances que se han hecho respecto al desarrollo de nuevas energías sustentables son los paneles solares (celdas fotovoltaicas), mismos que fueron reconocidos en el año de 1839 por el físico francés Alexandre-Edmond Becquerel, quien fue pionero en la investigación de energías limpias realizando estudios en el campo de la física sobre el magnetismo, espectro solar, óptica y electricidad, dando paso al descubrimiento de la energía fotovoltaica.

Las celdas solares, en sus inicios, entregaban 1% de eficiencia y eran construidas con base de selenio con una capa de oro, pero esta capa lo hacía muy costoso por lo que no fue muy rentable. Tiempo después, el inventor norteamericano Russell Ohl, creó la celda de silicio en 1940 y fue patentada en 1946. La celda contaba con dos capas dopadas de silicio “p” y “n” (cargas positivas y negativas) donde eran expuestas a la luz permitiendo que un fotón de luz solar “arrancara” un electrón, dejando un espacio para ser llenado por otro electrón que a su vez fuera arrancado de su propio átomo, creando una diferencia de potencia y, por lo tanto, una corriente eléctrica entre las dos partes del material. Actualmente, hay diferentes tipos de celdas solares que proporcionan una eficiencia promedio de 12% según el clima y materiales con que están constituidas.

## **2.2. Las estructuras metálicas**

La evolución de la ingeniería estructural está asociada a la evolución de la mecánica de materiales, del análisis de estructuras, formas estructurales y técnicas constructivas para materiales metálicos. Todo esto ha sido desarrollado con el objetivo no sólo de facilitar la vida del ser humano, sino también de proporcionar calidad a su vida.

El hierro, es el mineral más abundante de la corteza terrestre con aproximadamente 4.5% de presencia respecto a los otros materiales, y es sabido que fue usado en la prehistoria como material para crear armas, herramientas y estructuras metálicas. Egipto, por ejemplo, es el lugar donde se encontró la pieza más antigua de hierro con aproximadamente 4 mil años, pero no fue hasta el período de 1292 a 1125 a.C., cuando se usó el hierro para crear armas, llantas de ruedas, puntas de flecha, anillos y otros elementos bajo el reinado de Ramsés II.

Una vez que Aristóteles y Arquímedes establecieron los principios de la estática en Grecia en el año 500 a.C., comenzaron a utilizar piedra para construir columnas que soportaban vigas horizontales que como sabemos, eran construcciones muy complejas y pesadas. Algunas de estas construcciones existen en la actualidad y demuestran la importancia de las vigas y columnas, pues éstas fueron las bases para la ingeniería estructural y la creación de estructuras metálicas con diferentes usos.

Tiempo después, en el año 300 a.C., en India y Sri Lanka se crearon métodos para la creación de acero llamado “wootz”, que significa *hierro*, con aleaciones de bajo contenido de carbono que se obtenía calentando largamente el hierro al rojo y combinado con carbón vegetal para obtener un metal con mayor dureza. Este tipo de acero tenía, además, la ventaja de poder ser sometido a tratamientos térmicos (templado) que le otorgaba aún más dureza al metal.

Con el paso del tiempo, se fueron creando métodos para fundir el metal con mayor rapidez, y fue en el siglo XV cuando se inventaron los hornos llamados “*Stückofen*” en Harz, Alemania, permitiendo por primera vez la licuefacción del metal a gran escala. Este tipo de hornos se hicieron muy comunes en Europa entre los años 1400 al 1500, siendo utilizado el hierro fundido -a partir del descubrimiento de la pólvora-, en la fabricación de las armas de fuego y especialmente, en la fundición de los cañones. A finales del siglo XVII, se produjeron en Europa principalmente, el hierro forjado, maleable de la forja catalana y el más tenaz acero alemán (Hartz).

La figura de Galileo Galilei, fue muy importante ya que estableció las bases de la mecánica y resistencia de materiales. Galileo encontró como problema la resistencia a la rotura de una ménsula empotrada con una carga al extremo, pero al finalizar sus cálculos tuvo que suponer que la distribución de tensiones consistía en un par de fuerzas puntuales cuyo brazo era el canto de la ménsula, ya que no tuvo en cuenta la deformabilidad de los materiales. Es Hooke quien, en 1660, emite la hipótesis más sencilla sobre este fenómeno en la conocida forma "*ut tensio sic vis*". Pero Mariotte, en 1680, fue quien aplicó la ley de Hooke al problema de Galileo llegando a la conclusión de que la resistencia a flexión procede de la extensión y contracción de las fibras de la ménsula.<sup>6</sup>

Gracias al hierro y al acero, llega la Revolución Industrial en el siglo XVIII, donde se empieza a emplear el acero como elemento estructural para puentes, edificios, etc. En el mismo siglo, en el año de 1787, Coulomb desarrolló la teoría de la flexión y torsión en la que supuso que la rigidez del elemento torsionado era proporcional al momento de inercia polar de la sección transversal, lo cual, fue incorrecto, pero sus ideas sobre el rozamiento y la deformación tangencial hizo que fuera un personaje importante y que sus desarrollos se aplicaran a todo tipo de problemas sobre estructuras.

---

<sup>6</sup> Para profundizar sobre este tema, léase: *Introducción a las estructuras*, Versión digital PDF, disponible en: [<https://tinyurl.com/y446uzor>].



A principios del siglo XIX, en Inglaterra se empleó por primera vez el acero en la construcción de un edificio. Asimismo, fueron construidas grandes obras de la ingeniería, por ejemplo, el Palacio de Cristal construido en 1851 en Londres y la Torre Eiffel en París construida en 1889.<sup>7</sup> Estas son una de las más grandes estructuras creadas a base de acero y que hoy se pueden considerar como joyas arquitectónicas, verdaderas obras de arte.

Aunque en el siglo XIX, se realizaron construcciones eventuales, no fue hasta finales del siglo XVII cuando se empezó a usar el acero como material para construcción gracias a las propiedades descubiertas sobre este metal, tanto por su resistencia a la compresión, como por la facilidad de montaje en las estructuras, entre otras. Pero no todo se basó en crear estructuras de acero como columnas, sino que también tuvieron que crear soportes, pilares y arcos, ya que estos tenían otras propiedades por su forma ayudado a que la construcción tuviera mayor rigidez, flexibilidad, soporte de cargas de compresión, tracción, flexión, cizallamiento y torsión.

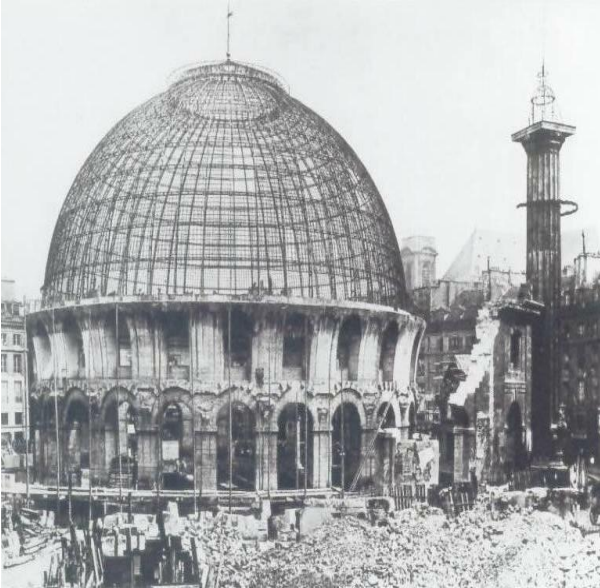


Torre Eiffel.

Imagen obtenida y disponible en: [<https://www.paris.es/torre-eiffel>].

---

<sup>7</sup> La Torre Eiffel es una construcción de hierro de 300 metros de altura, creada para la Exposición Universal de París de 1889. Constituye el símbolo más representativo de París. Consulta: Noviembre 2018, Imagen obtenida y disponible en: [<https://www.paris.es/torre-eiffel>].



Edificio de la Bolsa de Comercio de París, 1811.  
Imagen obtenida y disponible en: [<https://tinyurl.com/y8zt72de>].

Poco a poco el uso del acero se hizo extensivo en grandes construcciones gracias a las propiedades que tenía, especialmente, a la propiedad estructural de soportar altas temperaturas, incluso incendios, pues, a diferencia del resto, la mayoría de las construcciones eran hechas con madera, material orgánico que permite la combustión e incrementa el riesgo de que la estructura se cayera generando incluso pérdidas totales. Un ejemplo destacable fue el incendio del Edificio de la Bolsa de Comercio en París 1854, cuyo domo construido con madera,

es consumido por el fuego en su totalidad. Posteriormente, éste fue reconstruido con acero, así como otras estructuras con casos similares.

A finales del siglo XIX, los trabajos de Navier, Cauchy, Poisson y Green posibilitaron el desarrollo de la teoría de la elasticidad. Este avance científico fue crucial, pues representa el parteaguas en donde se separaron las distintas ramas de la mecánica de sólidos y del cálculo de estructuras: teoría de la elasticidad, cálculo de placas y láminas, cálculo de estructuras de barras, teoría de la plasticidad, etc. Esto fungió como punto de partida para que, en el siglo XX, los ingenieros estructuralistas desarrollaran nuevos materiales (aluminio, aceros de alta resistencia, hormigones especiales, plásticos, maderas laminadas y materiales compuestos), técnicas y formas estructurales. Las nuevas técnicas incluyen la introducción de investigación experimental, el uso de la soldadura eléctrica, el hormigón pretensado, el desarrollo de nuevos métodos constructivos y el cálculo con ordenadores.

Hoy en día, se han inventado diferentes tipos de aleaciones de acero y métodos de manufactura, todo esto para aplicaciones en ingeniería estructural que existen actualmente. La mayoría de los productos de acero son producidos por métodos básicos de oxígeno

“BOS”. Se denomina BOS, porque requiere que el oxígeno se inyecte en grandes recipientes que contienen hierro fundido y chatarra de acero.

Aunque BOS representa la mayor parte de la producción mundial de acero, el uso de hornos de arco eléctrico (*EAF*)<sup>8</sup> ha ido en aumento desde principios del siglo XX, y ahora representa alrededor de un tercio de toda la producción de acero. Existen más de 3,500 diferentes grados de acero. El acero comercial, generalmente se clasifica en cuatro grupos según su contenido de aleación de metal y aplicaciones de uso final: aceros de carbono (incluidos los aceros de bajo carbono, de medio carbono y de alto carbono); aceros de aleación (metales comunes de aleación, manganeso, silicio, níquel y cromo); aceros inoxidable (contienen aproximadamente 10% de cromo y clasificados como austeníticos, ferríticos y martensíticos), y finalmente aceros para herramientas (aleados con metales duros y de alta temperatura, como molibdeno y tungsteno).

---

<sup>8</sup> Electric Arc Furnace, u Horno de Arco Eléctrico, utilizado en la industria metalúrgica con sistema de calefacción mediante un arco eléctrico. Consulta: noviembre de 2018, disponible en: [<https://tinyurl.com/ya9orw5g>].

### **2.3. Marco Jurídico**

En este capítulo, se abordarán los preceptos vigentes dentro de las normatividades en los que la presente propuesta está fundamentada, con la finalidad de demostrar que la propuesta se encuentra dentro de los lineamientos y disposiciones administrativas conforme a lo establecido por la ley, cumpliendo con los criterios para el diseño y desarrollo de un poste solar para alumbrado público para la Ciudad de México.<sup>9</sup>

### **2.4. Decretos sobre criterios de aceptación para la industria eléctrica**

En el diario oficial de la federación el día 11 de agosto de 2014 (vigente hasta ahora), se estableció a través de una modificación a la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en los artículos 25, párrafo cuarto; 27 párrafo sexto y 28, párrafo cuarto, un decreto en el que reconoce, principalmente a la Comisión Reguladora de Energía (CRE)<sup>10</sup>, como la principal dependencia de la Administración Pública Federal y descentralizada para realizar modificaciones y hacer cumplir los principales criterios de aceptación para las propuestas relacionadas con la industria eléctrica.<sup>11</sup>

Los artículos más importantes de la Ley de la Industria Eléctrica postuladas en el Diario Oficial de la Federación (DOF), acerca de los requerimientos de la iniciativa privada como productora de energía renovables son los artículos 1, 11, 12, 94, 96, 97, 121 a 129 y 165, que establecen las facultades de la CRE, la Secretaría de Energía (SENER), el Centro

---

<sup>9</sup>Utilizaremos las normas de la CDMX para la Fes Aragón que se encuentra en el municipio de Nezahualcóyotl, esto porque actualmente este estado no invierte en investigación para las aplicaciones de las normas sobre estructuras de acero y no existe alguna restricción sobre en qué normas son aplicables para la instalación de un poste de alumbrado público.

<sup>10</sup>Resoluciones de (CRE), que expide las disposiciones administrativas de carácter general en materia de acceso abierto y prestación de los servicios en la Red Nacional de Transmisión y las Redes Generales de Distribución de Energía Eléctrica. Consulta noviembre de 2018, disponible en: [<https://tinyurl.com/y8ubm6c2>].

<sup>11</sup>Diario Oficial de la Federación (DOF). Consulta noviembre de 2018. Disponible en: [<https://tinyurl.com/yam5ey7w>].

Nacional de Control de Energía (CENACE) y la Comisión Federal de Electricidad (CFE), con relación a la política en materia de diversificación de fuentes de energía, procesos legales y la promoción de fuentes de Energías Limpia.

A Continuación, se citarán las resoluciones más relevantes para la presente propuesta donde se expiden las reglas generales de interconexión de energías renovables, los contratos, las disposiciones administrativas y especificaciones técnicas por parte de la Comisión Reguladora de Energía (CRE).<sup>12</sup>

## **RESOLUCIONES IMPORTANTES POR LA COMISIÓN REGULADORA DE ENERGÍA PARA ACEPTACIÓN DE PROPUESTAS DE ALUMBRADO PÚBLICO.**

### **DISPOSICIONES GENERALES**

**Las presentes disposiciones tienen como objetivo proporcional la información necesaria para poder generar permisos, contratos, metodología, cálculos y el marco legal para poder demostrar la viabilidad de la propuesta con respecto a su instalación en el alumbrado público.**

#### **1.-No. RES/119/2012**

Fecha de sesión 29/03/2012.

Resolución por la que la comisión reguladora de energía expide las reglas generales de interconexión al sistema eléctrico nacional para generadores o permisionarios con fuentes de energías renovables o cogeneración eficiente.

---

<sup>12</sup> La Comisión Reguladora de Energía (CRE) es una dependencia de la Administración Pública Federal centralizada, dotada de autonomía técnica, operativa y de gestión, y cuenta con personalidad jurídica propia y capacidad para disponer de los ingresos que deriven de las contribuciones y contraprestaciones establecidas por los servicios que preste conforme a sus atribuciones y facultades. Consulta: noviembre 2018, disponible en: [<https://www.gob.mx/cre/que-hacemos>].

**2.-No. de Resolución RES/054/2010**

Fecha de sesión 04/03/2010

Resolución por la que la Comisión Reguladora de Energía expide el modelo de contrato de interconexión para fuente de energía renovable o sistema de cogeneración en mediana escala, y sustituye el modelo de contrato de interconexión para fuente de energía solar en pequeña escala por el modelo de contrato de interconexión para fuente de energía renovable o sistema de cogeneración en pequeña escala.

**3.-No. de Resolución RES/142/2017**

Fecha de sesión 16/02/2017

Resolución de la comisión reguladora de energía por la que expide las disposiciones administrativas de carácter general, los modelos de contrato, la metodología de cálculo de contraprestación y las especificaciones técnicas generales, aplicables a las centrales eléctricas de generación distribuida y generación limpia distribuida.

En el marco de las resoluciones antes expuestas, es clara la ley cuando establece que cualquier particular puede crear un proyecto de alumbrado público siempre y cuando esté sujeto a las normas establecidas por los decretos anteriormente referidos.

Con base a lo ya señalado, la presente propuesta será en el Estado de México y utilizaremos las normas de la CDMX. Las normas vigentes para el análisis y desarrollo de estructuras metálicas para el alumbrado público son, las Normas Técnicas Complementarias de la Ciudad de México. Además, la propuesta del poste solar PS-FESAR, encuentra respaldo y sustento en algunos trabajos realizados por la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural (SMIE), Manual (AHMSA), Manual IMCA-2003 y la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

Asimismo, las Normas Técnicas Complementarias de la Ciudad de México permiten orientar el desarrollo urbano hacia una ciudad compacta, dinámica, policéntrica y que aproxime el empleo y los hogares a las redes de transporte público, propiciando la equidad

territorial y garantizando con ello mejores condiciones de vida para los habitantes de la Ciudad de México.

Las Normas Técnicas Complementarias se dividen en:

1. Diseño y Construcción de Cimentaciones;

2. Diseño por Sismo;

3. Diseño por Viento;

4. Diseño y Construcción de Estructuras de Acero;

5. Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto;

6. Diseño y Construcción de Estructuras de Madera;

7. Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería;

8. Criterios y acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones.

Las normas mencionadas no son un manual de diseño, sin embargo, su objetivo principal es fijar métodos y criterios de diseño y construcción de todo tipo de cimentaciones con apego al cumplimiento de los requisitos mínimos establecidos por los preceptos. Como en toda norma, existen criterios que no son mencionados. Esto permite al responsable de un proyecto -sea con personalidad jurídica física o moral-, cierta libertad para buscar otros métodos, siempre y cuando no excluyan ni infrinjan las normas establecidas.

Para la propuesta que ahora convoca, las Normas Técnicas Complementarias “Diseño por Viento”, “Diseño por sismo” y “Diseño y Construcción de Estructuras de Acero”, serán las que primen sobre el resto, así como la recuperación de algunos aspectos sobre “Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto”, para complementar los criterios de estructura de concreto.

Para los efectos de garantizar la calidad, funcionalidad, eficiencia y durabilidad de todos los componentes del sistema fotovoltaico conectado a la red, se citarán las normas en vigor, en las cuales la propuesta estará basada en el diseño, la construcción y la implementación del poste solar “PS-FESAR”.

**1.-NOM 001-SEDE 2012** “Instalaciones Eléctricas (utilización), publicada en el DOF el 29 de noviembre de 2012, entrando en vigor a partir del 29 de mayo del 2013”.<sup>13</sup>

Su objetivo es establecer las especificaciones y lineamientos de carácter técnico que deben satisfacer las instalaciones destinadas a la utilización de la energía eléctrica, a fin de que ofrezcan condiciones adecuadas de seguridad para las personas y sus propiedades, en lo referente a la protección contra:

- Las descargas eléctricas
- Los efectos térmicos
- Las sobre corrientes
- Las corrientes de falla
- Las sobretensiones

**2.-NOM-013-ENER-2013** “Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en vialidades, publicada el 14 de junio del 2013”.<sup>14</sup>

Establece niveles de eficiencia energética en términos de valores máximos de Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA), así como la iluminancia promedio para alumbrado en vialidades en las diferentes aplicaciones que se indican en la presente norma, con el propósito de que se diseñen o construyan bajo un criterio de uso eficiente de la energía eléctrica, mediante la optimización de diseños y la aplicación de equipos y tecnologías que incrementen la eficacia sin menoscabo de los requerimientos visuales.

---

<sup>13</sup> Consulta: noviembre 2018, disponible en: [<https://tinyurl.com/y7uzgv9c>].

<sup>14</sup>Consulta: noviembre 2018, disponible en: [<https://tinyurl.com/ycqd9h59>].



**3.-NMX-J-508-ANCE-2010** “Artefactos Eléctricos-Requisitos De Seguridad Especificaciones Y Métodos de Prueba”.<sup>15</sup>

Establece los requisitos de seguridad aplicables a los artefactos eléctricos, en función de las propiedades de uso y empleo de los productos más que en función de su diseño o de sus características descriptivas, con el fin de proveer protección contra: seguridad de las conexiones y ensambles; los choques eléctricos (contacto directo e indirecto); integridad del aislamiento; protección contra peligros mecánicos; protección contra incendio; los efectos térmicos; las sobrecorrientes, las corrientes de falla y sobretensiones.

Esta Norma Mexicana cubre a los artefactos eléctricos para uso doméstico, comercial e industrial que utilizan para alimentación, tanto de redes de energía eléctrica pública y/o privada, como de otras fuentes de energía como pilas, acumuladores, cuya tensión eléctrica nominal no sea mayor que 600 V.

**4.-NMX-J-643/2-ANCE-2011 (IEC 60904-2)** “Dispositivos fotovoltaicos Parte 2: Requisitos para dispositivos solares de referencia”.<sup>16</sup>

Establece las especificaciones para la clasificación, selección, embalaje, marcado, calibración y cuidados de los dispositivos de referencia solares.

Esta Norma aplica a los dispositivos de referencia solar que se utilizan para determinar el rendimiento eléctrico de las celdas solares, módulos y arreglos bajo luz solar natural y simulada. Esta Norma Mexicana no aplica a los dispositivos de referencia solares para uso bajo luz solar concentrada.

---

<sup>15</sup>Consulta: noviembre 2018, disponible en: [<https://tinyurl.com/y9cp5fst>].

<sup>16</sup> Consulta: noviembre 2018, disponible en: [<https://tinyurl.com/yb9ddyko>]

**5.-NMX-J-643/12-ANCE-2011 (IEC 61836)** “Dispositivos fotovoltaicos Parte 12: Términos, definiciones y simbología”.<sup>17</sup>

Establece la descripción de los términos y definiciones, la simbología y abreviaturas con relación a los módulos y paneles fotovoltaicos, los dispositivos fotovoltaicos asociados a dichos módulos y paneles, así como a los sistemas de energía solar fotovoltaica (FV).

**6.-NMX-J-691-ANCE-2014** “Sistemas Fotovoltaicos que se conectan a la red eléctrica. -Requisitos mínimos para la documentación del Sistema, pruebas de puesta en servicio e inspección”.<sup>18</sup>

Establece la información y documentación mínimas que se proporciona al usuario después de la instalación de un sistema fotovoltaico que se conecta a la red eléctrica. También describe los requisitos mínimos para las pruebas de puesta en servicio, los criterios de inspección y la documentación prevista para comprobar la seguridad de la instalación y la operación correcta del sistema. Puede utilizarse para pruebas periódicas.

Esta Norma Mexicana sólo aplica a sistemas fotovoltaicos que se conectan a la red eléctrica y no para sistemas que utilizan almacenamiento de energía (por ejemplo: baterías) o sistemas híbridos.

Se utiliza por los diseñadores e instaladores de sistemas fotovoltaicos que se conectan a la red eléctrica, como un modelo a seguir para proporcionar una documentación efectiva y práctica al usuario. Al detallar las pruebas de puesta en servicio y los criterios de inspección mínimos, también se pretende ayudar en la comprobación-inspección de un

---

<sup>17</sup> Consulta: noviembre 2018, disponible en [<https://tinyurl.com/ybl5ws8z>]

<sup>18</sup> Consulta: noviembre 2018, disponible en: [<https://tinyurl.com/y8a9v5j9>]

sistema fotovoltaico que se conecta a la red después de su instalación y para subsecuentes re-inspecciones, operaciones de mantenimiento o modificaciones.

**7.-CFE G0100-04** “Interconexión a la red eléctrica de baja tensión de sistemas fotovoltaicos con capacidad hasta 30 kW.”<sup>19</sup>

Manual de especificación para la Interconexión a la Red Eléctrica de Baja Tensión de Sistemas Fotovoltaicos con capacidad hasta 30 kW.

**8.-NOM-007-ENER-2014** “Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales”.<sup>20</sup>

Esta Norma Oficial Mexicana tiene por objeto:

a) Establecer niveles de eficiencia energética en términos de Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA) que deben cumplir los sistemas de alumbrado de edificios no residenciales nuevos, ampliaciones y modificaciones de los ya existentes, con el propósito de que sean proyectados y construidos haciendo un uso eficiente de la energía eléctrica, mediante la optimización de diseños y la utilización de equipos y tecnologías que incrementen la eficiencia energética sin menoscabo de los niveles de iluminancia requeridos.

b) Establecer el método de cálculo para la determinación de la Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA) de los sistemas de alumbrado de edificios nuevos no residenciales, ampliaciones y modificaciones de los ya existentes con el fin de verificar el cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana.

---

<sup>19</sup> Consulta: noviembre 2018, disponible en: [<https://tinyurl.com/yafkbavq>]

<sup>20</sup> Consulta: noviembre 2018, disponible en: [<https://tinyurl.com/yd38x6o5>]

Como en toda propuesta es necesario mencionar las bases necesarias para que una propuesta sea sustentable, en este caso nosotros mencionaremos las bases (permisos) así como el sustento para el desarrollo de nuevas tecnologías por parte de la iniciativa privada para alumbrado público en la Ciudad de México.

El gobierno establece ciertos criterios fundamentales en la cual la iniciativa privada tiene que ser regulada por artículos y decretos (que más adelante mencionaremos) para establecer las obligaciones y derechos sobre energías limpias.

## 2.5. Normas de fabricación y pruebas para estructuras de acero

### Normas Complementarias

NORMA		DESCRIPCIÓN
NTC	1	Ensayo de doblamiento para productos metálicos
NTC	2	Ensayos de tracción para productos de acero.
NTC	23	Determinación gravimétrica de carbono por combustión directa en aceros al carbono.
NTC	24	Determinación del manganeso en aceros al carbono.
NTC	25	Determinación del manganeso en aceros al carbono. Método del Bismutato.
NTC	26	Determinación del silicio en aceros al carbón.
NTC	27	Determinación de azufre en aceros al carbono. Método de evolución.
NTC	28	Determinación del silicio en aceros al carbono. Método del ácido sulfúrico.
NTC	180	Método gasométrico para determinación de carbono por combustión directa en hierros y aceros al Carbono.
NTC	181	Aceros al carbono y fundiciones de hierro, método alcalimétrico para determinación de fósforo.
NTC	422	Perfiles livianos y barras de acero al carbono acabadas en frío.
NTC	858-3	Discontinuidades superficiales en pernos, tornillos y espárragos para aplicaciones generales.
NTC	811	Método de ensayo para medir la adhesión de un recubrimiento mediante el ensayo de cinta.
NTC	1097	Control estadístico de calidad, inspección por atributo, planeo de muestra única, doble y múltiple.
NTC	1645	Tuercas cuadradas y hexagonales. Serie inglesa.
NTC	1920	Metalurgia. Acero estructural.
NTC	2076	Electricidad. Galvanizado por inmersión en caliente para herrajes y perfiles estructurales de hierro y Acero.
NTC	3320	Siderurgia. Recubrimiento de zinc (galvanizado) por inmersión en caliente en productos de hierro y Acero.
NTC	2120	Electrotecnia Guía para inspección de soldadura por medio de ensayos no destructivos.
NTC	2618	Herrajes y accesorios para líneas y redes de distribución de energía eléctrica. Tornillos y tuercas de Acero galvanizados
NTC	458	Discontinuidades superficiales en pernos, tornillos y espárragos para aplicaciones generales.

ASTM	A-370	Methods and definitions for mechanicals testing of steel products.
AWS	D.1.1	Structural welding code.
AWS	D 10.9	Standard for qualification of welding procedures and welders for piping and tubing.
ASTM	A53	Standard Specification for Pipe, Steel, Black and Hot-Dipped, Zinc-Coated, Welded and Seamless.
ASTM	A385	Standard practice for providing high quality zinc coatings (hot dip)
ASTM	A500	Standard Specification for Cold-Formed Welded and Seamless Carbon Steel Structural Tubing in Rounds and Shapes.
ASTM	A563	Standard Specification for carbon and alloy steel nuts.
ASTM	F436	Requisitos indicados para roldanas planas, circulares o cuadradas, y las rectangulares biseladas.
ASTM	A499	Tornillo y espárrago de acero templado y endurecido.
ASTM	A490	Tornillos de acero aleado tratado térmicamente para conexiones entre elementos de acero estructural.
ASTM	D2794	Método de prueba estándar de resistencia de recubrimientos orgánicos a los efectos de la deformación rápida (impacto)
ASTM	D4060	Método de prueba estándar para resistencia a la abrasión de recubrimientos orgánicos por el Taber Abraser
ASTM	D4541	Método de prueba estándar para la resistencia a la extracción de recubrimientos utilizando probadores de adherencia portátiles
ANSÍ / ASME	B1.1	Unified Inch Screw Threads.
NTC	3320	Recubrimientos de zinc (galvanizado por inmersión en caliente) en productos de hierro y acero.
ASCE	72	Diseño de estructuras de poste de transmisión de acero Segunda edición

### **3. METODOLOGÍA**

---

Para el desarrollo de la propuesta de instalación del poste solar PS-FESAR en la FES Aragón, son considerados algunos criterios de fabricación. Estos criterios son parte de la metodología en el desarrollo de la propuesta, misma que favorecerá la creación de un producto de alta calidad, sustentable y de un costo accesible que permita su incorporación en el mercado.

- Ubicación de instalación del poste solar PS-FESAR.

Para determinar las áreas en las que la viabilidad de la instalación del poste es óptima, se realizó un recorrido durante las actividades académicas nocturnas, en un horario después de las 18:00 hrs., y en el que la afluencia tanto de estudiantes como de personal académico, era concurrida. Esto permitió observar que los alumnos preferían transitar por los espacios que contaban con luminarias que alumbraban los pasillos dentro de la FES Aragón, y no por aquellos en los que la iluminación era limitada o a veces nula, por falta de lámparas.

Por esta razón, la ubicación para la instalación del poste solar PS-FESAR, es una zona que cuenta con las necesidades para ser iluminada, ya que los alumnos pueden tener actividades deportivas o académicas durante los horarios nocturnos con mayor seguridad.

- Especificaciones de materiales.

Se describirán a detalle los materiales que se necesitarán, así como sus especificaciones técnicas para garantizar que el alumbrado que se colocará sea eficiente y útil para el uso de la comunidad estudiantil de la FES Aragón.

- Selección de materiales.

Una vez contando con las especificaciones de los materiales, se buscarán y propondrán fabricantes de los mismos que cumplan con los requerimientos mencionados para poder manufacturar el poste solar con todos los componentes que lo integran, teniendo en cuenta que los materiales que se seleccionarán tendrán que ser los adecuados y con un costo accesible que los que se encuentran en el mercado actualmente.

- Cálculo del sistema fotovoltaico.

Se analizará es sistema eléctrico del poste solar para conocer sus horas de autonomía, numero de baterías que utilizará y número de paneles solares.

- Proceso de Diseño.

El diseño será mediante el programa SolidWorks,<sup>21</sup> el cual permitirá asegurar que los materiales que se emplearán sean los correctos y que al momento de ensamblar, el poste no presente falla de diseño y no se tenga que corregir ningún material; este programa también proporcionará el análisis estructural para corroborar que es la adecuada para soportar las cargas que actúan sobre el poste solar simulando cargas por efecto del viento y sismo. Se incluirá el diseño final y el análisis de la estructura de HSS.

---

<sup>21</sup> Es un Software de diseño de 3D y 2D CAD (diseño asistido por computadora), el cual su finalidad es crear, diseñar, analizar, fabricar y simular un producto a través de diferentes herramientas que este proporciona.



- Análisis Mecánico de la estructura HSS.

Se analizarán y desarrollarán los cálculos de la estructura principal de Acero A500 HSS del poste solar PS-FESAR, mediante una serie de lineamientos que exigen que se cumplan en las Normas Técnicas Complementarias de la CDMX para sismos y viento. Estos lineamientos tendrán el sustento de otras normas de fabricación para estructuras de acero, los cuales darán soporte a esta propuesta, haciendo al poste funcional y dentro de las normas de fabricación ya establecidas para alumbrado público.


Una vez que se hayan obtenido los cálculos de sismo y viento se compararán entre sí para conocer cuál de los dos cálculos genera más momento en el poste al aplicar las fuerzas que las Normas piden que se calculen. Estos serán los parámetros para analizar la estructura y hacer una simulación de cargas por efecto de la naturaleza mediante el programa Solidworks para hacer una comparativa entre las fuerzas que actúan normalmente y las fuerzas máximas que podría soportar el poste antes de deformarse.

Para saber que los resultados de los cálculos que se hicieron a la estructura sean los esperados y que bajo estos criterios el acero propuesto es el adecuado para su fabricación, se señalará con un **PASA**<sup>22</sup> si los resultados obtenidos son los mínimos para que el acero propuesto soporte las cargas por viento y sismo.

---

<sup>22</sup> Se utilizará la palabra **PASA** siempre y cuando los resultados del análisis sean favorables para proponer el acero A500 como columna de la estructura principal de poste solar PS-FESAR. Esta palabra tendrá como finalidad asegurar que los cálculos que se hicieron fueron correctos y que el poste es propicio como alumbrado público para la FES Aragón, dando la certeza de que el poste puede soportar cargas por efecto de viento y sismo sin riesgo a que la estructura pueda fallar y caer.

### 3.1 Ubicación del poste PS-FESAR

Régimen: Nocturno	Ubicación: Latitud 19.475 /Longitud -99.041 F.E.S. Aragón Avenida Hacienda de Rancho Seco S/N, Impulsora Popular Avícola, Plazas de Aragón, 57130 Nezahualcóyotl, MEX
Uso: Diario 12 horas	Horas de Radiación Solar: $\frac{5.79Kwh/m^2}{1Kwh/m^2} = 5.79hrs$
Autonomía: 2 días	Voltaje del sistema :12V
Geoubicación. <sup>23</sup>	
	

#### Radiación normal directa promediada mensual (kWh / m<sup>2</sup> / día).

Lat 19.476 Lon -99.045	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio anual
Promedio de 22 años	6.60	7.42	7.69	6.55	5.71	4.62	4.48	4.49	4.22	5.15	6.29	6.34	5,79

#### Diferencia Mínima y Máxima de la Radiación Normal Directa Promedio Mensual (%)

Lat 19.476 Lon -99.045	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Mínimo	-19	-5	-13	-7	-13	-19	-14	-27	-30	-11	-11	-3
Máximo	8	10	6	14	14	24	19	22	19	23	7	7

NOTA:

La radiación difusa, la radiación directa y la radiación de la superficie inclinada no se calculan cuando el índice de claridad (K) es inferior a 0,3 o superior a 0,8.

<sup>23</sup> Mapa satelital. Consulta: noviembre 2018, disponible en; disponible en: [https://tinyurl.com/yd6m2ajj].

## Vista satelital de la FES Aragón



Mapa Facultad de Estudios Superiores Aragón, vista satelital. Imagen obtenida y disponible en: [<https://tinyurl.com/y6zjemzg>].

Ubicación poste  
PS-FESAR



Mapa Facultad de Estudios Superiores Aragón, Vista satelital de la Zona Deportiva. Imagen obtenida y disponible en: [<https://tinyurl.com/y6zjemzg>].

## Fotos de ubicación de poste PS-FESAR



Foto ubicación poste PS-FESAR, vista lateral. Autoría propia.



Foto ubicación poste PS-FESAR, vista frontal. Autoría propia

Con estas imágenes podemos deducir que la ubicación del poste PS-FESAR es ideal para cumplir con el planteamiento del problema ya que en esta zona existen las condiciones necesarias para que un poste sustentable funcione perfectamente y brinde a la comunidad estudiantil la luz que necesita para cumplir con las diversas actividades nocturnas que existen en la FES Aragón.

### 3.2 Especificaciones de materiales, condiciones y requerimientos técnicos del poste.

#### Especificaciones de materiales.

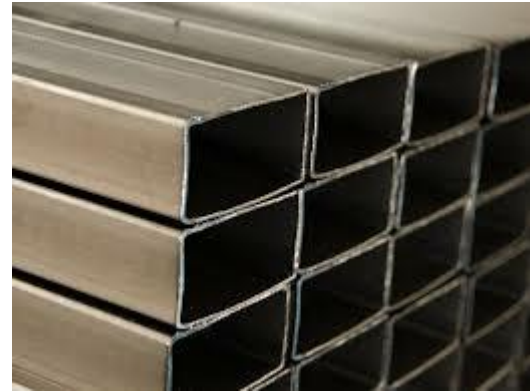
No.	CONCEPTO
1	Un luminario de alta eficiencia tipo LED (luz emitida por diodos) para exteriores, alimentado mediante un centro de carga (baterías) autorregulado; con un gabinete metálico y un generador fotovoltaico de celdas solares con soporte metálico.
2	Los luminarios de celda solar deberán estar integrados por un luminario de alta eficiencia tipo LED de 20 watts / 2000 lm (lumens), un generador fotovoltaico de celdas solares mono cristalinas de 150 watts, un controlador solar de 20 A (ampers) y un centro de carga de 115 A/h (ampers / hora) a 12 VCD (volt corriente directa). Todo este arreglo con capacidad para suministrar hasta 400Wh (watts / hora) de energía en promedio diario.
3	El LED por emplear en los luminarios deberá de ser de última generación y presentarse en un arreglo de 20 piezas dentro de cada módulo. Estos deberán de estar conectados a un controlador LED de larga duración.
4	El luminario propuesto deberá de ofrecer como mínimo las siguientes características técnicas: índice de protección IP65, eficiencia de iluminación 105 lm/W (lumens/watt) como mínimo, flujo luminoso de 2000 lm (lumens), índice de reproducción cromática (CRI) de 80, temperatura de color 3000°K (grados Kelvin) y un ángulo mínimo de apertura de iluminación de 45°.
5	El luminario cuenta con una cubierta de policarbonato, un sistema óptico difusor de luz con lentes independientes para cada LED.
6	La carcasa del luminario deberá de ser de aleación de aluminio recubierto con pintura electrostática en color gris-plata.
7	La conexión del generador fotovoltaico de celdas solares al controlador del sistema deberá de ser tipo capa XLPE, TUV de 4mm de espesor.
8	El grado de protección del generador fotovoltaico de celdas solares deberá de ser mínimo grado IP 65 tipo IV.
9	El marco del generador fotovoltaico de celdas solares deberá de ser de aluminio de 35mm de espesor.
10	El arreglo fotovoltaico del generador de celdas solares deberá estar diseñado como mínimo con las siguientes características técnicas: potencia máxima de 150W, voltaje de circuito abierto de 12 CD, corriente de corto circuito de 9.05A y corriente en el punto de máxima potencia de 7.6A - 5.1 <sup>a</sup>
11	El luminario deberá de contar con un controlador solar tipo industrial como temporizador inteligente para el control de iluminación con reconocimiento automático.
12	El controlador solar deberá estar diseñado como mínimo con las siguientes características técnicas: voltaje del sistema de operación auto detectable 12/24VCD, máxima carga de corriente de 20A, carga flotante de 13.8VCD (25 °C), carga principal de 14.4VCD (25 °C) / 0.5 h (horas), pulso de carga de 14.4VCD (25 °C) / 2 h (horas) y una ecualización de 14.8VCD (25 °C) / 2 h (horas).

<b>13</b>	El controlador solar deberá activar el voltaje de la batería dentro de un rango de < 12.1VCD y deberá presentar una protección contra descarga profunda con un límite de corte de voltaje 11 – 12VCD.
<b>14</b>	El controlador solar deberá estar diseñado con nivel de reconexión de 12.8VCD, protección contra sobre cargas de 15.5VCD y protección de baja tensión de 10.5VCD, para asegurar la vida útil del centro de carga autorregulado.
<b>15</b>	El controlador solar deberá estar diseñado con protección contra sobretensiones mediante vastidores de 55VCD, compensación de temperatura $-25 \text{ mv}/^{\circ}\text{K}$ a 12VCD, para asegurar la vida útil del generador fotovoltaico de celdas solares.
<b>16</b>	El controlador solar deberá estar diseñado como mínimo con una protección grado IP 68.
<b>17</b>	El controlador solar debe presentar un rango de ajuste en el caso de apagado de tarde/mañana 0-15 h y en el caso de encendido por detección de luz de día de 2.5 VCD.
<b>18</b>	El luminario deberá de contar con un centro de carga fabricado de plomo calcio en (+) y (-), con capacidad de electrolitos de 433cc (centímetros cúbicos), terminales de 3/8" de acero inoxidable y cubierta con tapa de polipropileno.
<b>19</b>	El brazo del luminario deberá de estar recubierto con pintura Epóxica color negro mate para protección del exterior.
<b>20</b>	El poste metálico debe de ser de acero HSS con 6x2 pulgadas con un espesor de 0.313 de pulgada a una altura máxima de 8 m.
<b>21</b>	El poste metálico deberá de tener una base cuadrada metálica soldada a la parte inferior de 9.53mm de espesor con 4 perforaciones de 19.05mm de diámetro para fijar por medio de cartabones de fijación de 9.53mm de espesor x 50mm de ancho x 100mm de alto.
<b>22</b>	El poste metálico deberá de estar anclado a suelo por medio de un dado de concreto (250kg/cm <sup>2</sup> ), conformado por varilla de rosca corrida de 0.75" de diámetro soldada a una extensión de varilla de 1/2" en forma de los estribos soldados a la varilla cada 20cm, con acabado pulido aparente.
<b>23</b>	Las medidas mínimas del dado de concreto deberán de ser de 60cm x 60cm en la base, de 40cm x 40cm en la superficie y de 60cm de altura.
<b>24</b>	Un gabinete tiene que ser para un batería con una protección mínima IP65 recubierta con unicel como aislante.
<b>25</b>	Cables para las conexiones con conectores MC4

### 3.3 Selección de materiales

#### Poste Metálico

- Poste metálico HSS rectangular de 9M de altura
- Dimensiones: 6"x2"
- Espesor: 0.313 "
- Peso: 70.1kg
- Acabado pintura: en la totalidad del poste epóxica, negro mate

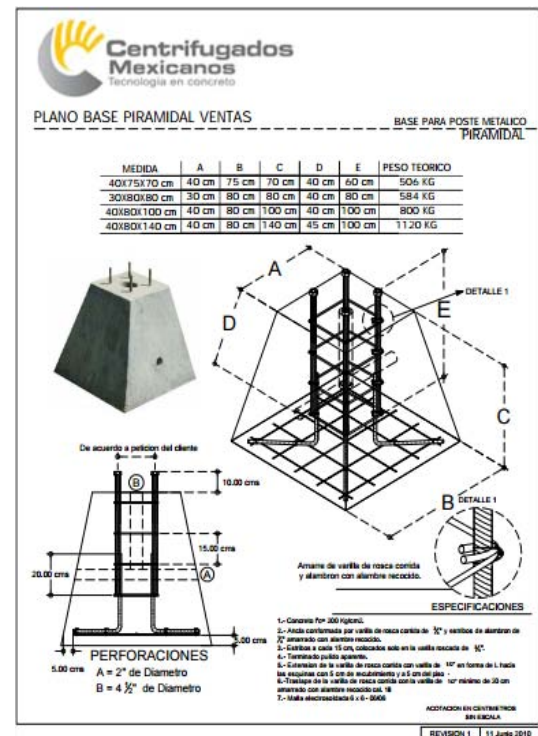


Ejemplo de estructura del poste.  
Imagen obtenida y disponible en: [https://tinyurl.com]

#### Dado de Concreto

##### Especificaciones del dado de concreto:

- Concreto  $f_c=250 \text{ Kg/cm}^2$ .
- Ancla conformada por varilla de rosca corrida de  $0.75 \text{ in}$  y estribos de alambrcn de  $\frac{1}{4} \text{ in}$  amarrado con alambre recocido.
- Estribos a cada  $13.66 \text{ cm}$ , colocados solo en la varilla roscada de  $\frac{3}{4} \text{ in}$ .
- Terminado pulido aparente.
- Extensin de la varilla de rosca corrida con varilla de  $\frac{1}{2} \text{ in}$  en forma de L hacia las esquinas con  $5 \text{ cm}$  de recubrimiento y a  $5 \text{ cm}$  del piso.
- Traslape de la varilla de rosca corrida con la varilla de  $\frac{1}{2} \text{ in}$  m'nimo de  $20 \text{ cm}$  amarrado con alambre recocido cal. 18.

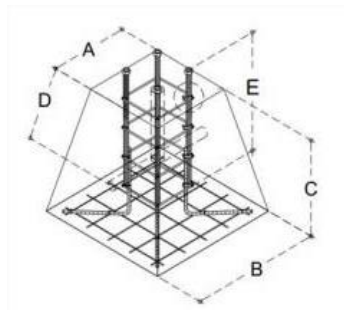


Ejemplo de estructura de dado de concreto.  
Imagen obtenida y disponible en: [https://tinyurl.com].

### Medidas del dado de concreto

MEDIDAS	LONGITUD TOTAL EN CENTIMETROS (40x60x60)
A	40 cm
B	60 cm
C	60cm
D	40cm
E	100cm

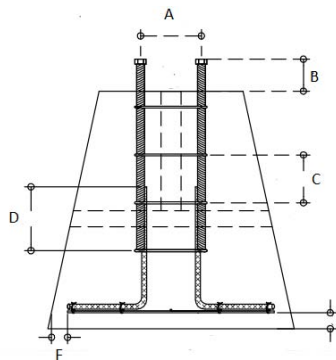
Esquemas del dado de concreto.  
Imagen obtenida y disponible en:  
[<https://tinyurl.com/y9uo4r7xg5>].



### Medidas interiores del dado de concreto

MEDIDAS	LONGITUD
A	22.37cm
B	15cm
C	13.66cm
D	20cm
E	10cm
F	5cm

Esquemas del dado de concreto.  
Imagen obtenida y disponible en:  
[<https://tinyurl.com/y9uo7xg5>].



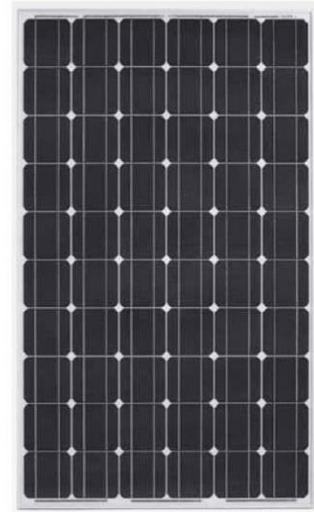


## Panel Solar

### Go Green Solar GGS150

#### Características eléctricas:

- Máxima potencia: 150W
- Voltaje máximo ( $V_{mp}$ ): 18V
- Corriente máxima ( $I_{mp}$ ): 8.34A
- Voltaje de corto circuito ( $V_{oc}$ ): 22.1V
- Corriente de corto circuito ( $I_{sc}$ ): 9.05A.
- Peso: 12kg
- Dimensión: 148x66x3cms.



Ejemplo de panel.  
Imagen obtenida y disponible en:  
[<https://tinyurl.com/y9uo34t7xg5>].

#### Características del panel solar

Tipo de Módulo	Go Green Solar GGS150
Potencia máxima (Pmax)	150W
Tensión en Pmax ( $V_{mp}$ )	18V
Intensidad en Pmax ( $I_{mp}$ )	8.34 <sup>a</sup>
Tensión a circuito abierto ( $V_{oc}$ )	22.1V
Tensión máxima del sistema	IEC:1000V / UL:600V
Valor máximo del fusible en serie	10
NOCT	45±2%/°C

En condiciones estándar (STC) Irradiación 1000W/m<sup>2</sup>, AM1.5, temperatura de la célula 25°C.

### Características de materiales del panel solar

Células solares	60(6×10) monocristalino células 156mm
Cubierta frontal	3.2mm, vidrio templado de bajo contenido en hierro
Cubierta posterior	TPT
Encapsulante	EVA (Ethylene vinyl acetate)
Marco	Aluminio anodizado / plata / claro / silicona o cinta adhesiva
Diodos	6 Diodos de bypass reparables
Caja de conexiones	Clasificada IP65, certificación TUV
Conector	MC4 o conector compatible
Cable	Longitud: 1000mm / sección: 4.0 mm <sup>2</sup>
Dimensión	1640×992×40mm
Peso	20 Kgs
Carga máxima	Certificado 5400Pa

### Calidad y Fiabilidad

- Marco de aluminio resistente a la corrosión, robusto, ensayado independientemente para resistir cargas de viento de 2.4 kPa y de nieve de 5.4 kPa asegurando una vida mecánica estable en los módulos.
- Embalaje preparado para proteger a los módulos durante el transporte y minimizar los residuos durante la instalación.
- Módulos ensayados independientemente para asegurar el cumplimiento de los certificados y las normas regulatorias

### Garantías

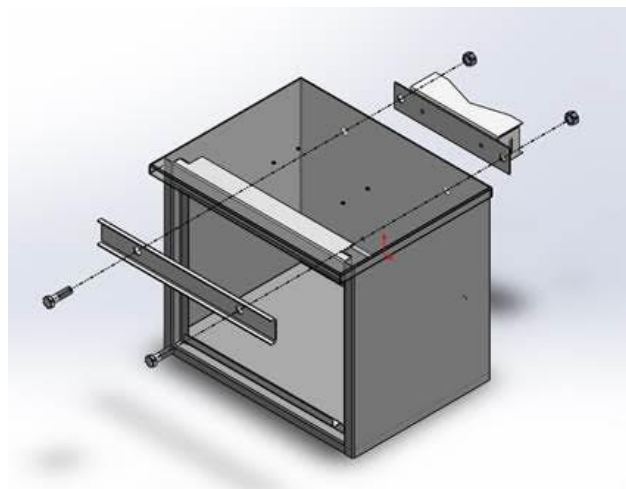
- Garantía de producto limitada de 5 años.
- Garantía de potencia limitada: 12 años al 90% de la potencia de salida mínima
- Garantía de potencia limitada: 25 años al 80% de la potencia de salida mínima

## Gabinete

### G-007, EPCOM INDUSTRIAL

#### Características funcionales:

- Cuenta con Chapa de seguridad.
- Tiene un par de herrajes para instalación en poste. Chapa con llave.
- Tiene perforaciones circulares para pasado de cables.
- Puerta abatible con cerradura.
- Originalmente se diseñó para albergar dos baterías PL4012 y un controlador solar SYSPOE.



Ejemplo de gabinete.  
Imagen obtenida y disponible en:  
[<https://tinyurl.com/y9udsfo7xg5>].

#### Características físicas:

- Aplicación: Exterior.
- Material: Acero calibre 20.
- Unidades Rack: N/A.
- Peso: 7.87 Kg.
- Dimensiones exteriores: 374.6 X 297.1 X 325.9 mm  
(Ancho x Alto x Profundidad).



Ejemplo de gabinete.  
Imagen obtenida y disponible en:  
[<https://tinyurl.com/y973fxg5>].

## Baterías Solares de Ciclo Profundo

Baterías LTH solar ciclo profundo LTH<sup>24</sup>

### Modelo L-31T/S-190 M

#### Características de la batería

BCI	TIPO	APLICACIÓN	CAPACIDAD AMP-HR (20Hrs)	CPACIDAD DE RESERVA (minutos)	DIMENSIONES MAX. (mm) LARGO ANCHO ALTO	PESO HUMEDO (Max, Kg)	POLARIDAD	CLASIFICACION DEL CASCO	PRECIO
31T/S	L-31T/S-190M	Ciclado profundo	115	190@25 <sup>a</sup>	330 172 244	29	(+)/(-)	G	\$2,767.00



Ejemplo de batería.  
Imagen obtenida y disponible en:  
[<https://tinyurl.com/88ihdPI>].

Ciclos de vida aproximados	
% de descarga (DOD)	Ciclos
25	2200
50	1000
75	550
100	325

<sup>24</sup> Las baterías de ciclo profundo (deep cycle batteries) son acumuladores de plomo y ácido recargables, capaces de almacenar energía eléctrica mediante una reacción química reversible, guardan la energía mediante los Paneles Solares. Están diseñadas para ser descargadas casi en su totalidad, de forma regular pueden descargarse entre un 50 y un 80%.

Consulta: noviembre 2018, disponible en: [<https://tinyurl.com/ybhtn82y>].

## Luminaria

### Lámpara ZENDE AG-STS-20W

#### **Especificaciones:**

- Voltaje: AC 85-265V
- Watts: 20W
- Ángulo: 120°
- Temperatura de color: 3000K (cálido) / 6000K (frío)
- Flujo luminoso: 20W: 2000lm
- Tiempo de vida: 30,000hrs.
- Dimensiones: 20W: 320mm x 122mm x 45mm
- IP65



Ejemplo de lámpara ZENDE AG-STS-20W.  
Imagen obtenida y disponible en:  
[<https://tinyurl.com/y39lnw2n>].

#### **Características Físicas:**

- Cascara de aleación de aluminio.
- Difusor de policarbonato.

## Controlador de carga

### PWM 1A0246

#### Descripción:

- Material: De Plástico, de Metal
- Color: Azul
- Adopción de chip maestro industrial.
- pantalla LCD.
- Sus parámetros se pueden ajustar por sí mismo.
- Totalmente pwm-carga tecnología funciona para él.
- Protección contra cortocircuitos, de circuito abierto y la protección contra inversión de polaridad.
- Programa de recuperación automática.
- Con doble MOS, valor calorífico es bajo.



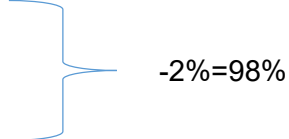
Ejemplo de controlador de carga.  
Imagen obtenida y disponible en:  
[<https://tinyurl.com/547hRGtr5>].

#### Especificaciones:

- Tensión nominal: 12 V/24 V (reconocimiento Automático)
- Corriente nominal: 20 amp.
- Carga flotante de 13.8 VCD (25°C)
- Carga principal de 14.4VCD (25 °C) / 0.5 h (horas),
- Modo de carga: PWM
- Salida USB: 5 V/2A
- Auto-consumo: < 10mA
- Temperatura de funcionamiento: -35 ~ 60 ° C
- Temperatura de almacenamiento: -35 ~ 60 ° C

### 3.4 Cálculos del sistema fotovoltaico

#### Estimación de pérdidas.

- Cableado
  - Controlador de carga
  - Baterías
- 

**Eficiencia del sistema de carga:** -10% = 90%

**Eficiencia real del sistema:** 0.98 x 0.90 = 0.882%

#### Tabla de Energía Requerida

Tipo de carga	Cantidad	Potencia (w)	Unitario (w)	Potencia total (w)	Hrs. de uso	Días de uso	Consumo promedio
LED 40w 12v	2	20	40	40	10	7/7=1	400 Wh/d

#### Energía requerida

$$Er = \frac{Cp}{\text{Eficiencia del sistema}} = \frac{400Wh/d}{0.882} = 453.51Wh/d$$

Cp = Consumo promedio Wh/d

Eficiencia del sistema: 0.98 x 0.90 = 0.882%

### Paneles en paralelo

$$\frac{\text{energía requerida}}{\text{potencia panel} * \text{radiación solar}} = \frac{453.51 \text{ Wh/d}}{150\text{W} * 5.79\text{hrs}} = 0.52 \sim 1$$

### Paneles en serie

$$\frac{\text{voltaje del sistema}}{\text{voltaje nominal del panel}} = \frac{12\text{V}}{18} = 0.66 \sim 1$$

**Total, de paneles:** 1 en serie

**Autonomía:** 2 días

**Energía requerida \* días de autonomía** = 453.51Wh/d \* 2 = 907.2Wh/2días

### Calculo de baterías

Voltaje = 12V

Capacidad= 115 Ah

### Calculo sistema de Almacenamiento de Baterías

$$A_{hb} = \frac{E_r * D_a * M_d}{V * P_d}$$

$$A_{hb} = \frac{453.51\text{Wh/d} * 2\text{días} * 1.10}{12\text{V} * 0.80} = 103.92\text{Ah}/2\text{días}$$

Donde:

Ahd= Ampere horas por día

Pd= Porcentaje de descarga = 80%



$T_c$  = Temperatura de Conexión = 1.19 (omitido por que la temperatura es mayor a 25°C)

$D_a$  = Días de Autonomía = 2

$M_d$  = Margen de Diseño = 10% + 10% adicional = 1.10

### Baterías en Paralelo

$$B_p = \frac{Ahd}{C_b}$$

Donde:

$C_b$  = Capacidad de baterías

$$B_p = \frac{103.92}{115 Ah} = 0.9 \sim 1$$

### Baterías en serie

$$B_s = \frac{\text{Voltaje sistema}}{\text{Voltaje bateria}}$$

$$B_s = \frac{12V}{12V} = 1$$

### Controlador de carga

Amperaje = 20A

Voltaje = 12V

Corriente general

$$\begin{aligned} \text{Corriente total general} &= \# \text{paneles} \times \text{corriente del panel (Isc)} \\ &= 1 \times 8.34 = 8.34 A \sim 9^a \end{aligned}$$

## Reguladores

$$\#reguladores = \frac{Ct}{Cc}$$

Donde:

Ct = Corriente total

Cc = Corriente controlador

$$\#reguladores = \frac{9A}{20A} = 0.45 \sim 1$$

### 3.5 Proceso de Diseño

#### Condiciones ambientales

El poste solar PS-FESAR está diseñado con base a una tecnología estratégica que no sólo satisface y cumple con los requerimientos establecidos en la normatividad y disposiciones legales, sino que también guarda una estrecha relación con los preceptos de seguridad, tanto ambiental como social, sin poner en riesgo la seguridad de las áreas verdes, ni el libre tránsito de la comunidad universitaria. El poste solar se diseñó para redes de baja tensión y que pueda soportar velocidades de viento, humedad, temperatura y movimientos sísmicos, como los muestra la siguiente tabla tomando como referencia las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Acero de la Ciudad de México 2017.

PARÁMETROS	MÍNIMO	MÁXIMO	REAL DEL POSTE CON UN PROMEDIO ANUAL
Altura sobre el nivel del mar (m)	0	4,000	1928 m
Humedad relativa : 100%	60%	100%	62.2 % Humedad Relativa
Temperatura (C°)	-2	50	19.5°C
Nivel de contaminación	Medio, Alto	Medio, Alto	Medio
Tipo de suelo	Húmedo	Húmedo	Húmedo

Para completar la información sobre las condiciones ambientales sobre el punto donde se propone colocar el poste solar PS-FESAR, se retoma información sobre algunos

otros parámetros que se deben considerar, mismos que se encuentran en la página de la NASA.<sup>25</sup>



**NASA Meteorología de superficie y energía solar -  
Tablas disponibles**

Se eligió latitud **19.476** / longitud **-99.045** .



---

**Información de Geometría**

Limite norte  
**20**

Limite occidental **-100**      Latitud central **19.5**      Limite oriental  
Longitud **-99.5**      **-99**

Limite sur  
**19**

Elevación: **1928** metros  
tomados de la elevación del modelo de la  
NASA GEOS-4

#### Humedad relativa promediada mensual (%)

Lat 19.476 Lon -99.045	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio anual
Promedio de 22 años	59.7	53.2	45.6	46.8	55.1	70.3	68.9	68.6	74.0	72.0	67.5	63.9	62.2

#### Promedio mensual de temperatura de la piel de la tierra (° C)

Lat 19.476 Lon -99.045	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio anual
Promedio de 22 años	14.8	17.4	20.8	23.4	23.6	21.0	20.2	20.1	19.1	17.7	16.1	14.6	19.1

#### Cantidad mensual en la nube de luz diurna (%)

Lat 19.476 Lon -99.045	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio anual
Promedio de 22 años	38.5	40.0	38.3	51.7	59.1	72.9	72.2	70.7	69.9	57.2	42.3	40.5	54.5

#### Velocidad del viento promedio mensual a 10 m por encima de la superficie de la tierra por terreno similar a los aeropuertos (m / s)

Lat 19.476 Lon -99.045	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio anual
Promedio de 10 años	3.07	3.25	3.55	3.44	3.08	2.87	2.80	2.58	2.43	2.61	2.85	2.94	2.95

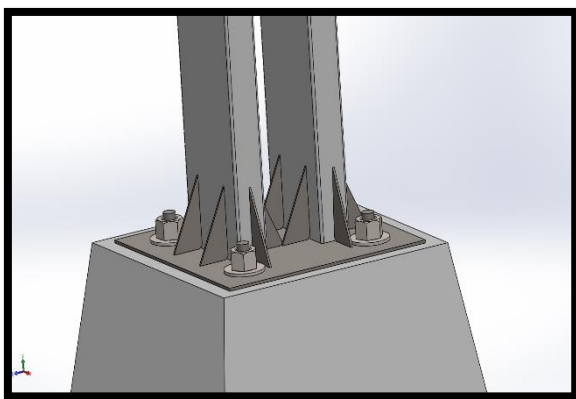
#### Promedio mensual total de agua precipitable en columna (cm)

Lat 19.476 Lon -99.045	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio anual
Promedio de 22 años	1.24	1.24	1.29	1.59	1.90	2.54	2.46	2.49	2.58	2.11	1.59	1.36	1.87

<sup>25</sup> Conjunto de datos solares y meteorológicos de la investigación de la NASA para el apoyo de energía renovable, eficiencia energética de edificios y necesidades agrícolas. Consulta: noviembre de 2018, disponible en: [https://power.larc.nasa.gov/].

## Dado de concreto

De acuerdo al diseño del poste solar y el lugar propuesto, se determinó que las condiciones del suelo son favorables para el armado de varillas, colación del concreto y el montaje de la estructura del poste solar PS-FESAR, en cumplimiento con los lineamientos establecidos en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Acero de la Ciudad de México 2017.

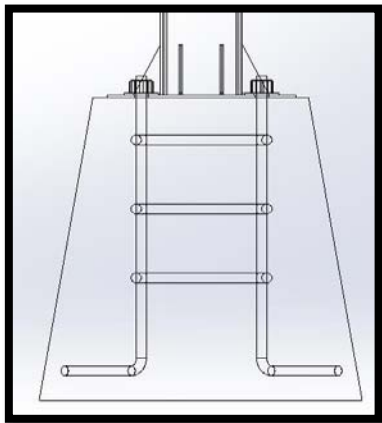


Modelo SolidWorks, dado de concreto. Autoría propia.

La construcción del dado de concreto está hecha con base en la disposición “Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de cimentaciones de la CDMX”, apegándose a los requerimientos tanto en la construcción como en su instalación y mantenimiento; considerando que la normatividad señala puntos específicos que se deben cumplir; por ejemplo: dimensiones, alambrado interior con varilla -soporte principal del dado-, zapatas, punto de desagüe para evitar el estancamiento del agua, colación dentro de la cavidad donde se colocará el poste solar PS-FESAR, construcción contigua de tubería y drenaje, separación de al menos 3 m de distancia de alguna otra excavación, y principalmente, el cumplimiento con los reglamentos básicos de protección civil para su instalación. Todo lo anterior para unir el poste metálico de acero ASTM A500 con el dado de concreto, para el que se utilizarán tuercas con espesor mínimo de 13 mm, que cumplan la norma ASTM A499, para ser utilizados en los postes de 6m. de altura, de acuerdo con la norma ANSI 48-05 Y ASCE 72. Para esto se utilizó 4 varillas roscadas colocadas en el dado de concreto para que se unan con la lámina de acero de 9.53mm de espesor con 4 perforaciones de 19.05 mm de diámetro. Para que la estructura fuera más resistente se le soldaron 4 cartabones de acero HSS con una soldadura que cumpliera con el código (AWS D1.1).

El ensamble del dado de concreto (anclaje), las varillas, tuercas, cartabones y el poste metálico, aseguran la estabilidad mecánica y la transferencia de esfuerzos, ya que este es un punto crítico donde se presenta la mayor fatiga por desgaste de todo el conjunto del poste.

Uno de los elementos más importantes del dado de concreto es el alambrado de varilla, que funciona como esqueleto y al mismo tiempo como anclaje entre el poste y el concreto, el cual tiene que tener una dureza mínima al colarse de  $F'c=200\text{Kg/cm}^2$ .



Modelo SolidWorks, diseño del dado de concreto con vista al alambrado de varilla.  
Autoría propia.

El alambrado de la varilla consta de un panel que funciona como base del dado de concreto, así como de sujeción de las columnas y sus refuerzos, el cual consta de 8 varillas #5 y 4 varillas corrugadas 0.75 in para la columna. Esto es para garantizar la carga que tendrá que soportar el poste. (Carga muerta, sismo, viento).

Se debe de recordar que el subsuelo donde se pretende instalar el poste es salitroso por lo que el cemento deberá de ser tipo Portland Tipo 5<sup>26</sup> ya que este es resistente a la reacción de sulfatos y álcalis que se encuentran en la tierra, esto para garantizar el tiempo de vida del dado de concreto y por ende el del poste.

Se utilizó una fórmula donde definimos la longitud mínima de empotramiento:

$$H1 = 0.1H + 0.60$$

Dónde:

$H1$  = Longitud de empotramiento (m)

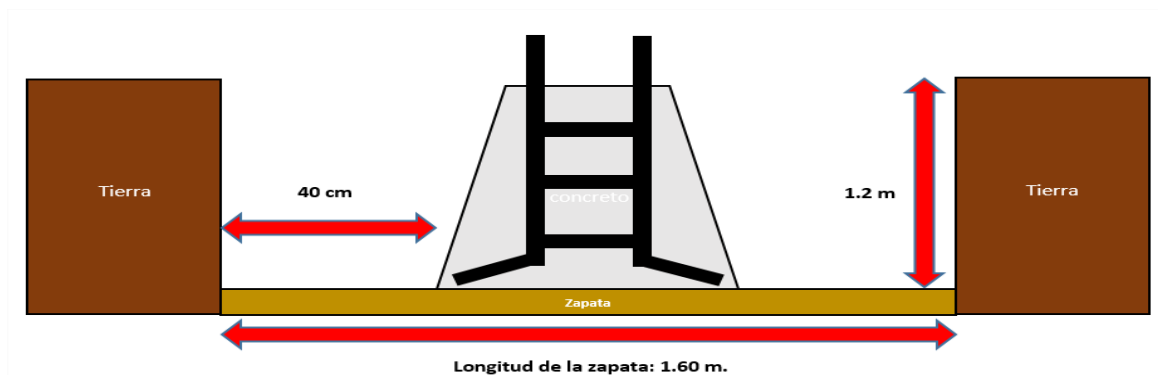
$H$  = Longitud total del poste (m).

Resultados:

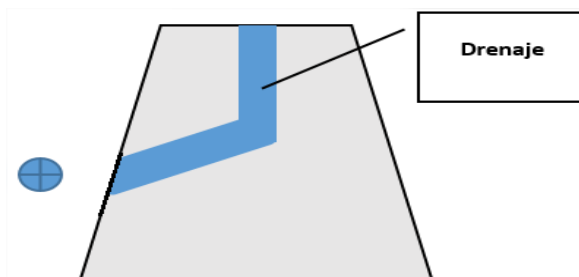
<sup>26</sup> Tipos de cementos. Askeland Donald R, Ciencia e ingeniería de materiales, séptima edición, 2016

$$H1 = 0.1(6) + 0.60$$

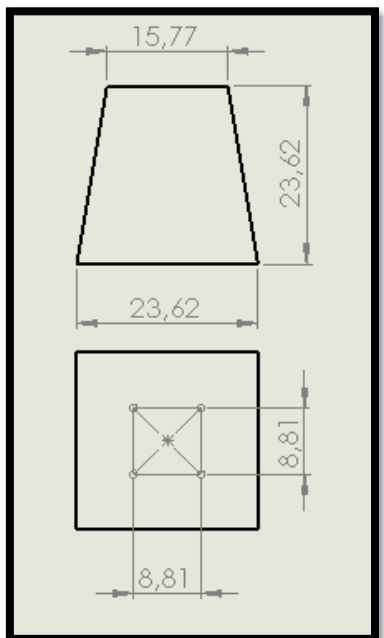
$$H1 = 1.2m$$



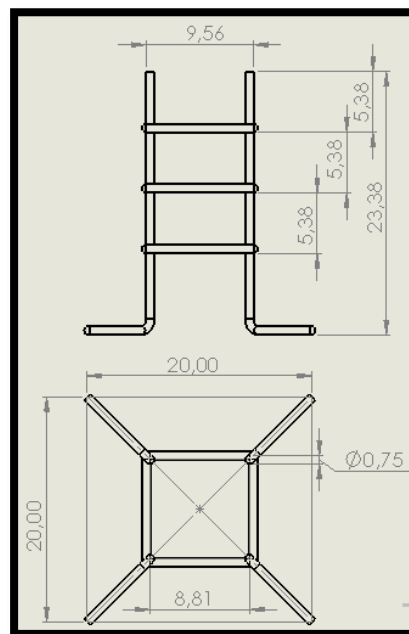
Ejemplo excavación del dado de concreto. Autoría propia.



Ejemplo drenaje del dado del concreto. Autoría propia.



Modelo SolidWorks, vista superior y lateral del dado de concreto. Autoría propia.



Modelos SolidWorks, vista superior y lateral del alambrado. Autoría propia.

## Varilla Corrugada, Tornillos, Tuercas y Arandelas

Para la sujeción del poste con el dado de concreto se utilizarán cuatro varillas corrugadas o tornillo estriado de 0.75in de diámetro, en cumplimiento con los requisitos estructurales, mecánicos y químicos tanto en las NTC-CDMX (pág. 129), como en las normas de la CFE las cuales necesitan un mínimo de un  $F_u = 1035 \text{ MPa}$  ( $10550 \text{ kg/cm}^2$ ). Las varillas son de acero aleado de grado 30 y tiene estrías longitudinales en el vástago.



Estas al ser introducidos en el agujero se acúan firmemente por la deformación de las estrías. En el extremo superior de la varilla corrugada necesita una tuerca hexagonal, arandelas de presión y planas, ya que trabajan a tensión y deberán cumplir las siguientes normas:

Ejemplo varilla roscada. Imagen obtenida y disponible en:  
[<https://tinyurl.com/4rfYEU6er>].

- ASTM A307: Sujetadores estándar de acero de bajo carbono, roscados internos o externamente.
- ASTM A449: Tornillo y espárrago de acero templado y endurecido.
- ASTM A490: Tornillos de acero aleado tratado térmicamente para conexiones entre elementos de acero estructural.
- NTC 458: Discontinuidades superficiales en pernos, tornillos y espárragos para aplicaciones generales.



Las tuercas hexagonales y juego de arandelas serán para pernos de 0.57in de diámetro las cuales son galvanizadas para evitar la corrosión.<sup>27</sup> Estas tuercas cumplen con las siguientes Normas:

- ASTM A563: Standard Specification for carbon and alloy steel nuts.
- ASTM F436: Requisitos indicados para roldanas planas, circulares o cuadradas, y las rectangulares biseladas.
- NTC 1645: Tuercas cuadradas y hexagonales. Serie Inglesa.
- NTC 458: Discontinuidades superficiales en pernos, tornillos y espárragos para aplicaciones generales.

Para el apriete se recomienda una fórmula para calcular el torque ideal, este torque evitará que se barra la cuerda de las tuercas a causa de los movimientos naturales del poste.

$$T = \frac{(D \times K \times W \times Fy \times At)}{1000}$$

T= Torque Nm

D= Diámetro nominal del tornillo mm)

K= Factor de fricción 0.20

W= Porcentaje de cadencia 0.42

Fy= Esfuerzo de cadencia del tornillo (861.84 N/mm<sup>2</sup> para tornillo entre de 6.36 mm a 25.4 mm o 723.94 N/mm<sup>2</sup> para tornillo entre 25.4 mm hasta 38.1 mm

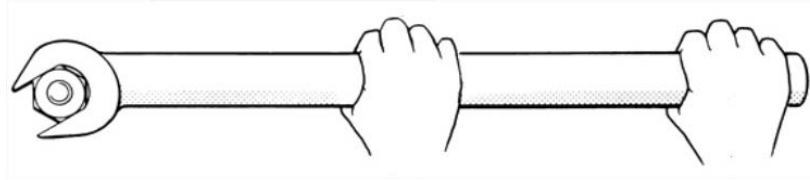
At= Área de esfuerzo del tornillo mm

---

<sup>27</sup> Toda las arandelas y tuercas son comerciales por lo que se pueden encontrar en cualquier casa de tornillos.

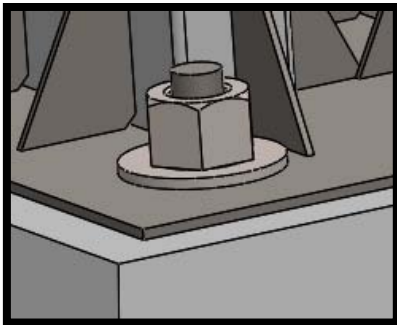
Varilla roscada= 0.75" diámetro

$$T = \frac{(25.4 \times 0.20 \times 0.42 \times 861.84 \times 50.8)}{1000} = 93.41 \text{ Nm}$$



**Torque: 93.41 Nm**

### Galvanizado



Modelo SolidWorks, vista de tuercas y arandelas. Autoría propia.

Las tuercas, contratueras, arandelas, y anclas, tendrán que ser galvanizados totalmente por inmersión en caliente después de haber sido cortados y taladrados, la cuales no deberá tener burbujas, escoria, manchas negras, imperfecciones, etc., y tendrá que ser galvanizado todo el complemento al mismo tiempo para evitar áreas sin revestimiento uniforme. Este deberá tener un espesor mínimo de 65 micras para cumplir con las Normas NTC 2076 y NTC 3320, posteriormente revisadas que cumplan con estas especificaciones por las normas NMX-Z-012-1, NMX-Z-012-2 y NMX-H-004 para su inspección de calidad.

#### REQUISITOS DE GALVANIZADO PARA LÁMINAS, PLATINAS Y ELEMENTOS ROSCADOS

ELEMENTO	PROMEDIO		MÍNIMO	
	g/m <sup>2</sup>	µm	g/m <sup>2</sup>	µm
Platinas y láminas	530	75	460	65
Elementos Roscados y arandelas	397	56,6	336	48

## Pintura

Todos los materiales de acero tienden a corroerse, por esta razón, es necesario darles un tratamiento anticorrosivo. Una de las maneras más efectivas para revertir el efecto corrosivo, es aplicar una capa de pintura epóxica o bituminosa a base de zinc de color negro. Esta pintura tiene como finalidad alargar la vida de todo el material metálico, así como de dar una mejor apariencia. Para darles este tratamiento anticorrosivo, es necesario preparar el material limpiándolo con solventes y asegurándose que no tenga polvo, basura o escoria; esto para que cuando se aplique la capa de pintura no queden grumos ni imperfecciones y la aplicación en toda la pieza sea uniforme.



Ejemplo pintura en al acero A500. I. Imagen obtenida y disponible en: [<https://tinyurl.com/4rfYE8875tyr>].

La protección anticorrosiva no debe de ser inferior a 350 micras (0.23mm) de espesor, con una adherencia de 950 psi, y ésta deberá ser aplicada en toda la estructura metálica del poste desde su anclaje hasta donde se encuentra la luminaria. Adicionalmente, la placa anti hundimiento debe ser protegida con esta pintura después del galvanizado, ya que ésta por lo regular se encuentra en una zona muy húmeda y tiene que ser doblemente protegida para evitar la corrosión.

Todos los requisitos de protección contra la corrosión se encuentran en la norma ASCE 72, y la pintura para protección de la zona de empotramiento debe tener una adherencia tal que cumpla con la Calificación 5 (Porcentaje de área retirada 0%), en el método de ensayo A de la Norma NTC 811; todas éstas mencionadas en las Normas Técnicas Complementarias.<sup>28</sup>

Para asegurar que la adherencia de la pintura sea la correcta existen métodos ya establecidos, mismos que se encuentran en:

<sup>28</sup> Normas Técnicas Complementarias para Diseño de Aceros, página 307. Consulta: Enero 2019, disponible en: [<https://tinyurl.com/ya4nbsf6>].

- Resistencia a la abrasión: ASTM D4060 *taber abraser*.
- Adherencia: ASTM D4541 adhesión tester.
- Adherencia: ASTM D2794.
- Resistencia al impacto: NTC 811.

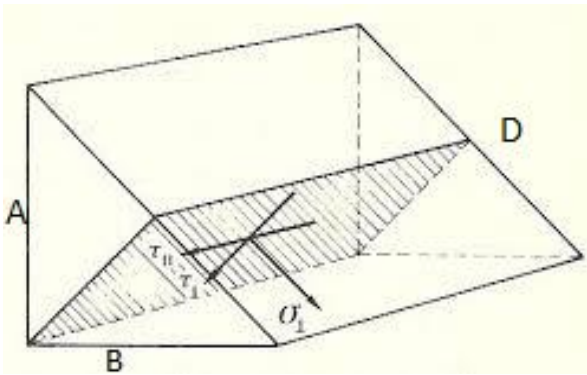
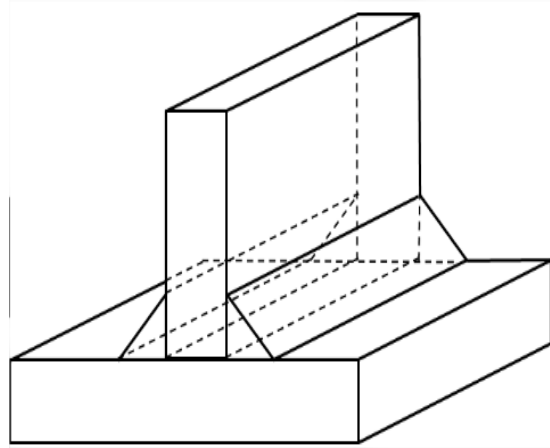
## **Soldadura**

En las uniones remachadas o atornilladas, los agujeros reducen las secciones transversales efectivas de los miembros sometidos a los esfuerzos de tracción, por lo que es necesario soldar con arco la estructura y los complementos para poder garantizar que las uniones queden perfectamente fijas para que resista todo el esfuerzo en la estructura.

Para unir la estructura de acero con los complementos, se utilizará soldadura E-6010 con suficiente amperaje para lograr una penetración de 60% como mínimo, y tendrá que cubrir con lo estipulado en el código AWS D1.1 y *Structural Welding Code-Steel* (Código de Soldaduras para Estructuras de Acero), o, en su caso, AWS D1.5, de la Sociedad Americana de la Soldadura (American Welding Society) según lo refiere CFE y NTC de la CDMX.

Esta soldadura deberá aplicarse en lugares no húmedos -de preferencia-, a una temperatura no menor a 10 °C, donde la longitud efectiva de la soldadura de filete, será la longitud total del filete de tamaño completo, incluyendo las vueltas. Las técnicas de soldadura que se utilizarán serán las más comunes (uniones a tope y uniones en T), esto para garantizar que el cordón de soldadura sea continuo y que todo el tramo soldado quede rígido. También deberá evitarse que, al término de la aplicación de la soldadura, tenga poros, residuos o inclusiones.

Ejemplo de aplicación de soldadura.  
 . Imagen obtenida y disponible en:  
[\[https://tinyurl.com/4rkuO64\]](https://tinyurl.com/4rkuO64).



Ejemplo de garganta de soldadura. Imagen obtenida y disponible en: [\[https://tinyurl.com/4rkuO64\]](https://tinyurl.com/4rkuO64).

Para el cálculo de la garganta de soldadura se aplicará la siguiente fórmula considerando un cordón en ángulo de 12.7mm:

$$(AD)^2 + (BD)^2 = 1$$

Puesto que AD y BD son iguales la fórmula quedaría

$$2(BD)^2 = 1/2$$

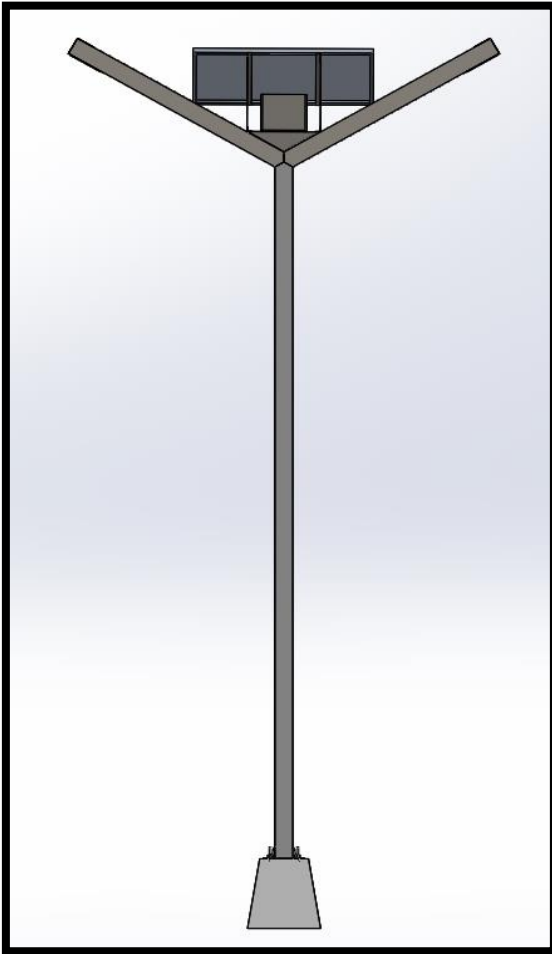
$$BD = \sqrt{0.5} = 0.707$$

**La garganta de soldadura = 12.7 \* 0.707 = 9 mm**

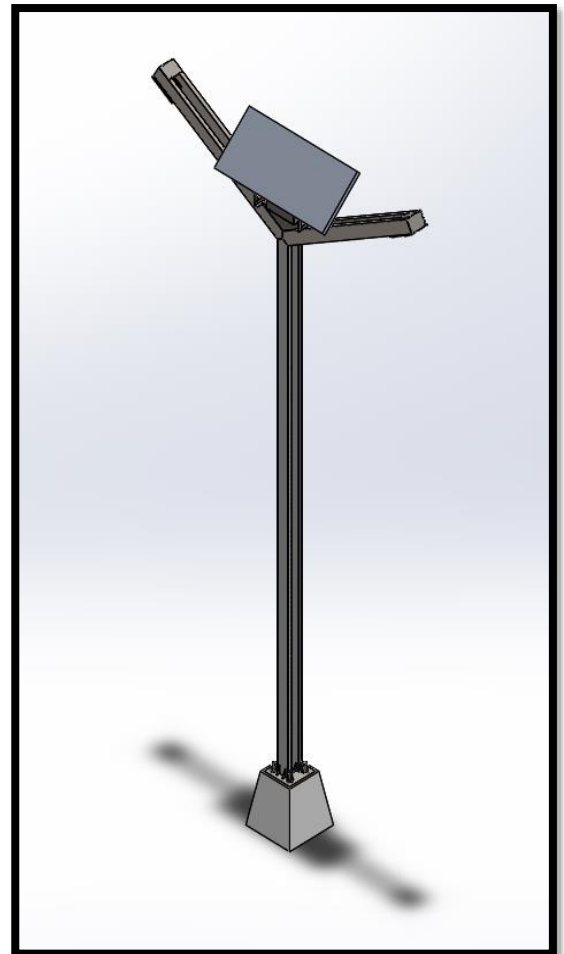
Las principales ventajas al emplear las conexiones soldadas son las siguientes:

- La reducción de ruido en el montaje de las estructuras
- La economía debido al ahorro del trabajo y material
- La rigidez del entramado
- Facilidad de unión de los elementos nuevos a la estructura existente, así como facilidad en reparaciones.
- Simplicidad del cálculo.

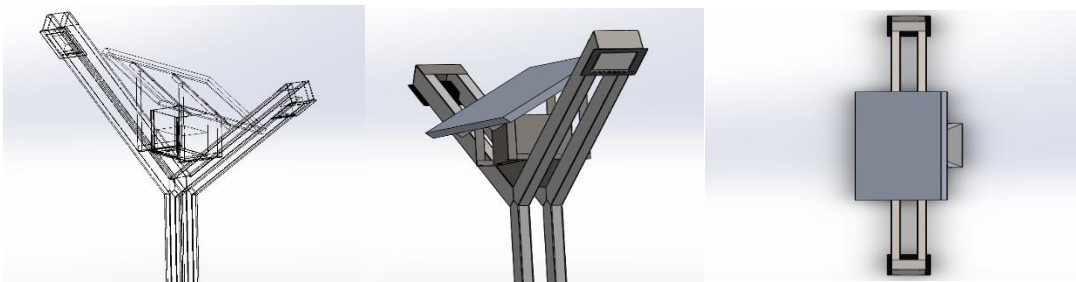
### Diseño Final del Poste PS-FESAR



Modelo SolidWorks vista lateral poste solar PS-FESAR. Autoría propia.



Modelo SolidWorks vista perspectiva poste sola PS-FESAR. Autoría propia.



Modelo SolidWorks, diferentes perspectivas. Autoría propia.

### ***3.6 Análisis de la estructura HSS de acero ASTM A500 6"x 2"x 5/16" para sismo y viento.***

#### **Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Acero de la Ciudad de México 2017**

El acero, es el material más utilizado para fines estructurales, ya que es considerado como un material homogéneo e isotrópico. Gracias a sus características químicas, mecánicas, de soldabilidad, facilidad de trabajo y ductilidad, se puede analizar la tensión, compresión, cortante, flexión y torsión. Al tener importantes propiedades, el acero HSS ASTM A500 se propone como estructura principal de esta propuesta de poste.

Este material soporta grandes esfuerzos, razón por la que el espesor no necesariamente debe ser muy grande. El acero HSS ASTM A500 proporciona mayores niveles de seguridad sobre todo cuando está sujeto a esfuerzos causados por cargas, principalmente por sismos o vientos. El material es tan barato que se puede conseguir con facilidad debido a que se trata de un acero muy comercial.

Ya que este acero es formado en frío se ha demostrado que las propiedades mecánicas son afectadas, de modo que el material exhibe propiedades diferentes de las que se tenía antes de someterse al proceso. Por lo general, el tratamiento en frío incrementa

los esfuerzos de fluencia ( $F_y$ ), y en menor grado, la resistencia a la fractura ( $F_u$ ), gracias a estas propiedades, el acero HSS ASTM A500 es la mejor propuesta para la estructura del poste.

Este tipo de acero está disponible en a) tubos de sección circular hueca HSS y b) tubos HSS de sección cuadrada y rectangular. El grado más común para los aceros cuadrados y rectangulares, tiene un esfuerzo de fluencia y una resistencia de ruptura a la tensión de 46 y 58 ksi (320 MPa o 3 235 kg/cm<sup>2</sup> y 400 MPa o 4 080 kg/cm<sup>2</sup>).

Designación (tamaños x espesor) (mm x mm x mm)	Designación (tamaños x espesor) (in x in x in)	W (kg/m)	A (cm <sup>2</sup> )	t (mm)	I <sub>x</sub> (cm <sup>4</sup> )	S <sub>x</sub> (cm <sup>3</sup> )	r <sub>x</sub> (cm)	I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> )	S <sub>y</sub> (cm <sup>3</sup> )	r <sub>y</sub> (cm)	Z <sub>x</sub> (cm <sup>3</sup> )	Z <sub>y</sub> (cm <sup>3</sup> )	J (cm <sup>4</sup> )
152.4 x 101.6 x 9.5	6 x 4 x 3/8	49.2	39.9	8.86	1 180	155	5.44	620	122	3.94	195	147	1 370
152.4 x 101.6 x 7.9	6 x 4 x 5/16	42	33.9	7.39	1 030	136	5.51	549	108	4.01	169	127	1 180
152.4 x 101.6 x 6.4	6 x 4 x 1/4	34.4	27.7	5.92	870	114	5.59	462	91	4.09	140	106	982
152.4 x 101.6 x 4.8	6 x 4 x 3/16	26.4	21.2	4.42	683	90	5.66	365	72	4.14	108	82	758
152.4 x 101.6 x 3.2	6 x 4 x 1/8	18	14.4	2.95	475	62	5.74	256	51	4.22	75	57	524
152.4 x 76.2 x 12.7	6 x 3 x 1/2	54.9	44.8	11.8	1 120	147	5	362	95	2.84	198	119	962
152.4 x 76.2 x 9.5	6 x 3 x 3/8	43.5	35.4	8.86	945	124	5.18	311	82	2.97	162	99	803
152.4 x 76.2 x 7.9	6 x 3 x 5/16	37.3	30.2	7.39	837	110	5.26	278	73	3.02	141	86	703
152.4 x 76.2 x 6.4	6 x 3 x 1/4	30.6	24.8	5.92	708	93	5.33	237	62	3.1	118	72	591
152.4 x 76.2 x 4.8	6 x 3 x 3/16	23.6	18.9	4.42	558	73	5.44	189	50	3.18	92	57	462
152.4 x 76.2 x 3.2	6 x 3 x 1/8	16.1	12.9	2.95	393	52	5.51	134	35	3.23	63	39	322
152.4 x 50.8 x 9.5	6 x 2 x 3/8	37.9	30.8	8.86	712	94	4.8	115	45	1.93	130	57	350
152.4 x 50.8 x 7.9	6 x 2 x 5/16	32.6	26.5	7.39	637	84	4.9	105	41	1.99	114	50	316
152.4 x 50.8 x 6.4	6 x 2 x 1/4	26.9	21.7	5.92	545	72	5	92	36	2.06	96	43	273
152.4 x 50.8 x 4.8	6 x 2 x 3/16	20.8	16.6	4.42	437	57	5.11	75	30	2.12	75	34	218
152.4 x 50.8 x 3.2	6 x 2 x 1/8	14.2	11.4	2.95	309	41	5.21	55	22	2.19	52	24	155

Tabla de esfuerzos.

Imagen obtenida y disponible en: [<https://tinyurl.com/y8benzrm>].

Nomenclatura		F <sub>y</sub> (3)		F <sub>u</sub> (4)	
NMX (1)	ASTM (2)	MPa	kg/cm <sup>2</sup>	MPa	kg/cm <sup>2</sup>
B-254	A36	250	2 530	400 a 550	4 080 a 5 620
B-99	A529	290	2 950	414 a 585	4 220 a 5 975
B-282	A242	290	2 950	435	4 430
		320	3 235	460	4 710
		345	3 515	485	4 920
B-284	A572	290	2 950	414	4 220
		345	3 515	450	4 570
		414	4 220	515	5 270
		450	4 570	550	5 620
		A992	345	3 515	450 a 620
B-177	A53	240	2 460	414	4 220
B-199	A500 (5)	320	3 235	430	4 360
B-200	A501	250	2 530	400	4 080
	A588	345 (6)	3 515 (6)	483 (6)	4 920 (6)
	A913	345 a 483 (7)	3 515 a 4 920 (7)	448 a 620 (7)	4 570 a 6 330 (7)

Tabla de esfuerzo de fluencia y resistencia de ruptura.

Imagen obtenida y disponible en: [<https://tinyurl.com/y8benzrm>].



Para garantizar que los cálculos sean correctos, es necesario escoger los diferentes esfuerzos permisibles de la estructura para que el límite de la carga aplicada a un valor sea menor a lo que la estructura pueda soportar. Hay varias razones para esto. La carga para la cual está diseñada la estructura puede ser diferente a la carga real aplicada sobre ella, es decir, que las medidas no pueden ser exactas debido a errores de fabricación, variaciones por vibraciones, impactos o cargas accidentales que no se hayan tomado en cuenta sobre el diseño.

### **Peso total del poste solar PS-FESAR**

<b>Numero de materiales</b>	<b>Materiales</b>	<b>Peso en (Kg)</b>	<b>Total de peso (Kg)</b>
2	Columna principal del poste de Acero A500	70	140
1	Gabinete	8	8
2	Lámparas	5.5	11
1	Batería	30	30
1	Panel Solar	12	12
1	Base Panel Solar	5	5
1	Controlador de carga	1	1
1	Cableado	1	1
1	Extras	2	2
<b>Total</b>			<b>210 Kg</b>

Carga total del poste **W= 210 Kg**

### **3.7 Diseño por Sismo<sup>29</sup>**

Como establece las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismos del Reglamento de Construcciones para la CDMX (NTC-Sismo-2017), toda estructura debe cumplir ciertos requisitos para su aceptación, estos requisitos se mencionan en la pagina 49.

a) Bajo sismos que pueden presentarse varias veces durante la vida de la estructura, se tengan, a lo más, daños que no conduzcan a la interrupción de la ocupación del edificio.

b) Bajo el sismo en que se basa la revisión de la seguridad contra colapso según estas Normas, no ocurran fallas estructurales mayores ni pérdidas de vidas, aunque pueden presentarse daños y/o deformaciones residuales de consideración que lleguen a afectar el funcionamiento del edificio y requerir reparaciones importantes.

Dichos requisitos que se mencionan se cumplen en el poste solar PS-FESAR ya que cuenta con una cimentación (dado de concreto) que es capaz de transmitir las fuerzas laterales de inercia por efectos de un sismo y las fuerzas gravitatorias.

Para efecto de comprobar si la estructura puede soportar un sismo se sustentará a través de un análisis que demuestre que le estructura es segura y que entra bajo la Norma que la aplica.

Para su análisis, será necesario mencionar algunos criterios que la misma norma nos pide, estos criterios se clasifican en zonas (Cs) y tipos de estructuras (Q). Al termino de estos criterios se calculará los momentos de inercia.

---

<sup>29</sup> Normas Técnicas Complementarias de la CDMX para Diseño por Sismos, pagina 44, Consulta: Enero 2019, disponible en: [<https://tinyurl.com/ya4nbsf6>].

## Zonas<sup>30</sup>

Toda el área metropolitana se divide en 3 zonas para efectos de cumplimiento de requisitos de esta Norma:

- a) Zona I o de Lomas
- b) Zona II o de Transición
- c) Zona III o del Lago

La zona en la cual se encuentra el poste solar PS-FESAR es la Zona III o del Lago ya que en esta ubicación se encuentra todo el lago de Texcoco y parte del Aeropuerto de la CDMX.

Dentro de la clasificación de la zona existen otras clasificaciones que se desglosan en a, b, c y d. Estas subclasificaciones nos dan más a detalle las zonas sísmicas de la CDMX y parte del Edo. México.

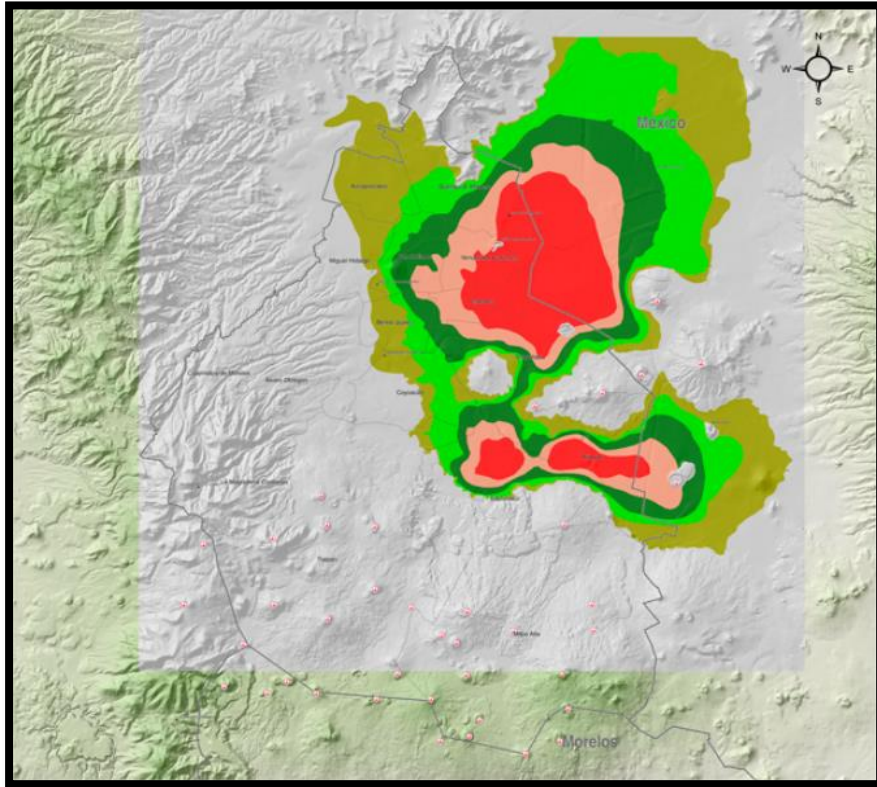
Como se muestra en las siguientes imagenes la zona donde se propone colocar el poste solar se encuentra dentro de la **Zona III d** ya que está dentro del límite de la CDMX y el Estado de México.<sup>31</sup>

---

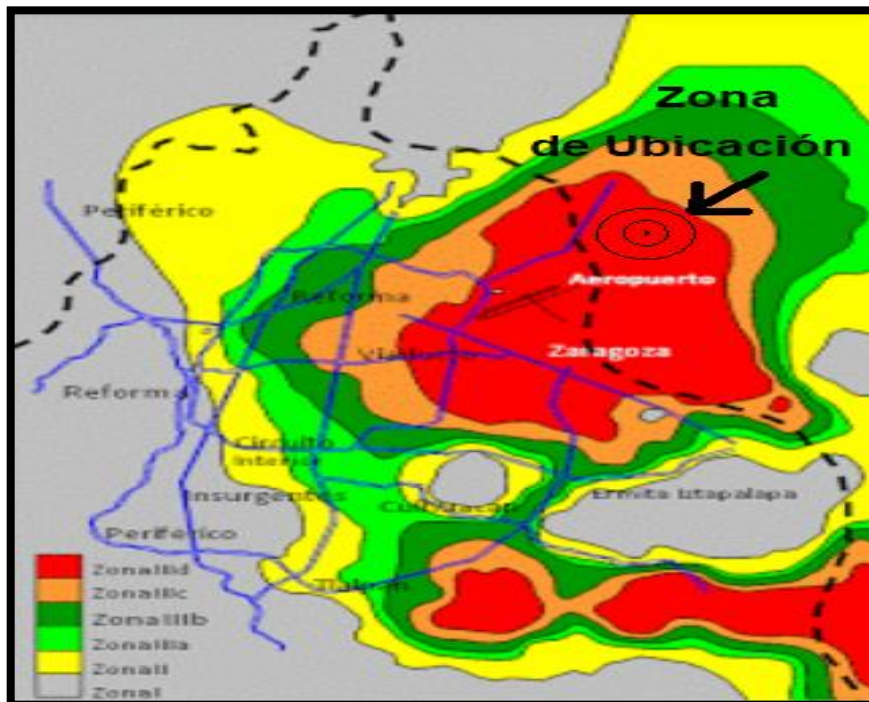
<sup>30</sup> Normas Técnicas Complementarias de la CDMX para Diseño por Sismos, pagina 50, Consulta: Enero 2019, disponible en: [<https://tinyurl.com/ya4nbsf6>].

<sup>31</sup> Mapas de peligros Geológicos, Consulta: Enero 2019, disponible en: [[http://data.proteccioncivil.cdmx.gob.mx/mapas\\_sgm/mapas\\_sgm2.html](http://data.proteccioncivil.cdmx.gob.mx/mapas_sgm/mapas_sgm2.html)].

## Mapa de zonas sísmicas del norte de la CDMX



Mapa de zonas sísmicas de la CDMX. Imagen obtenida y disponible en: [\[http://data.proteccioncivil.cdmx.gob.mx/mapas\\_sgm/mapas\\_sgm2.html\]](http://data.proteccioncivil.cdmx.gob.mx/mapas_sgm/mapas_sgm2.html).



Zona de ubicación para cálculos. Imagen obtenida y disponible en: [\[http://data.proteccioncivil.cdmx.gob.mx/mapas\\_sgm/mapas\\_sgm2.html\]](http://data.proteccioncivil.cdmx.gob.mx/mapas_sgm/mapas_sgm2.html).

En la siguiente tabla se mostrará los valores correspondientes de cada zona respecto a la ubicación del poste solar.<sup>32</sup>

Zona	c	a <sub>o</sub>	T <sub>a</sub>	T <sub>b</sub>	r
I	0.16	0.04	0.2	1.35	1
II	0.32	0.08	0.2	1.35	1.33
IIIa	0.40	0.10	0.53	1.8	2
IIIb	0.45	0.11	0.85	3.0	2
IIIc	0.40	0.10	1.25	4.2	2
IIId	0.30	0.10	0.85	4.2	2

Espectros para diseño sísmico de la CDMX. Imagen obtenida y disponible en: [<https://tinyurl.com/ycxudmyj>].

El valor que utilizaremos para el análisis será el parámetro de sismo  $C_s = 0.30$ , ya que esta la sustituiremos en una fórmula para conocer la fuerza del sismo total dependiendo de su zona y la clasificación de su estructura.

<sup>32</sup> Normas Técnicas Complementarias de la CDMX para Diseño por Sismos, Consulta: Enero 2019, disponible en: [<https://tinyurl.com/ycxudmyj>].

## Clasificación de la estructura

Se clasificará con un Q como el factor de comportamiento sísmico y distorsiones límite, para estructuras de acero el cual se mostrará en la siguiente tabla obtenido de la Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismos del Reglamento de Construcciones para la CDMX (NTC-Sismo-2017), en la página 63.

Estructuración	Ductilidad	Condición	Q	$\gamma_{max}$
Marcos	Alta	----	4.0	0.030
	Media	----	3.0	0.020
	Baja	----	2.0	0.015
	Media	Vigas de alma abierta (armaduras) de ductilidad alta	3.0	0.020
	Baja	Vigas de alma abierta (armaduras) de ductilidad baja	2.0	0.015
Sistema dual <sup>(a)</sup> formado por marcos de acero y contravientos de acero <sup>(2)(3)(4)</sup>	Baja	Conexiones semirrígidas	2.0	0.015
	Alta	Contravientos excéntricos	4.0	0.020
	Alta	Contravientos restringidos al pandeo	4.0	0.020
	Media	Contravientos concéntricos de ductilidad alta	3.0	0.015
	Baja	Contravientos concéntricos de ductilidad baja	2.0	0.010
Sistema dual <sup>(a)</sup> formado por marcos de acero y muros <sup>(2)(4)</sup>	Baja	Contravientos concéntricos que trabajan solo en tensión	1.5	0.005
	Alta	Muros de ductilidad alta de placa de acero	4.0	0.020
	Alta	Muros de ductilidad alta de concreto	4.0	0.020
	Media	Muros de ductilidad media de placa de acero	3.0	0.015
	Baja	Muros de ductilidad baja de concreto	2.0	0.010
Marcos compuestos	Alta	----	4.0	0.030
	Media	----	3.0	0.020
	Media	Vigas de alma abierta (armaduras) de ductilidad alta	3.0	0.020
	Media	Conexiones semirrígidas	3.0	0.020
	Baja	Marcos de ductilidad baja	2.0	0.015
Sistema dual <sup>(a)</sup> formado por marcos compuestos y contravientos de acero <sup>(2)(3)(4)</sup>	Baja	Conexiones semirrígidas	2.0	0.015
	Alta	Contravientos excéntricos	4.0	0.020
	Alta	Contravientos restringidos al pandeo	4.0	0.020
	Media	Contravientos concéntricos de ductilidad alta	3.0	0.015
Columnas de acero compactas en voladizo, sin o con relleno de concreto	Baja	Contravientos concéntricos de ductilidad baja	2.0	0.010
	Media	Columnas de ductilidad media	1.5	0.012
Sistema suspendido soportado por un núcleo de acero formado por muros o marcos	Baja	Columnas de ductilidad baja	1.0	0.009
	Media	Con marcos o muros de ductilidad alta de placa de acero	3.0	0.015
Marcos exteriores y columnas interiores interconectados por diafragmas horizontales rígidos <sup>(5)</sup>	Baja	Con marcos o muros de ductilidad media de placa de acero	2.0	0.010
	Media	Marcos exteriores de ductilidad media	3.0	0.020
	Baja	Marcos exteriores de ductilidad baja	2.0	0.015

Clasificación del factor Q para comportamiento sísmico. Imagen obtenida y disponible en: [<https://tinyurl.com/ya4nbsf6>].

Se usará Q=2 cuando la resistencia a fuerzas laterales es suministrada por losas planas con columnas de acero o de concreto reforzado, por marcos de acero con ductilidad reducida o provistos de contraventeo con ductilidad normal, o de concreto reforzado que no cumplan con los requisitos para ser considerados dúctiles, o muros de concreto reforzado, de placa de acero o compuestos de acero y concreto, que no cumplen en algún entrepiso lo especificado por las secciones 5.1 y 5.2 de este Capítulo, o por muros de mampostería de piezas macizas confinados por castillos, dalas, columnas o trabes de concreto reforzado o de acero que satisfacen los requisitos de las Normas correspondientes<sup>33</sup>.

<sup>33</sup>Normas Técnicas Complementarias de la CDMX para Diseño por Sismo, pagina 63, Consulta: Enero 2019, disponible en: [<https://tinyurl.com/ya4nbsf6>].

## Fuerza del sismo

Ya obtenido el parámetro de sismo ( $C_s$ ) y el factor de comportamiento sísmico ( $Q$ ) sustituimos en la fórmula para obtener la fuerza de sismo total en el poste solar.

$$F_s = \frac{C_s}{Q} W$$

Donde:

$F_s$  = Fuerza del Sismo Kg

$C_s$  = Parámetro del sismo

$Q$  = Factor de comportamiento sísmico

$W$  = Carga tota del poste Kg

Sustituyendo los valores de  $C_s$ ,  $Q$  y  $W$  la formula queda:

$$F_s = \frac{0.3}{2} 210$$

$$F_s = 31.5 \text{ Kg}$$

## Momentos de columna

Para conocer la fuerza en que se actúa sobre el poste solar durante un sismo, es necesario calcular los momentos de columna, estos momentos nos darán como resultado cuanto es la fuerza total sobre un punto que nosotros propondremos.

$$M_x = M_y$$

$$M_x = F_s \times L$$

Donde:

$L$  = longitud del momento cm

Sustituyendo la ecuación nos queda:

$$M_x = (31.5)(630) =$$

$$M_{x\text{ismo}} = 19845 \text{ kg}$$

### **3.8 Diseño por Viento<sup>34</sup>**

En México es considerado una zona donde los ciclones y las ráfagas de viento son muy comunes por lo que es necesario considerar el viento como un factor importante cuando se diseña una estructura de acero, ya que este ejerce diversas fuerzas en una estructura como, empujes y succiones estáticos, fuerzas dinámicas paralelas y transversales al flujo principal causadas por turbulencia, vibraciones transversales al flujo causadas por vórtices alternantes e inestabilidad aeroelástica.

Para el análisis de estructuras contra la acción del viento es necesario considerar algunos criterios el cual se encuentran en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Viento del Reglamento de Construcciones para la CDMX (NTC-Viento-2017), que son de carácter obligatorio para edificaciones o estructuras dentro de la zona metropolitana y que contienen bases y procedimientos de análisis para condiciones de servicio de las estructuras.

---

<sup>34</sup> Normas Técnicas Complementarias de la CDMX para Diseño por Viento, pagina 63, Consulta: Enero 2019, disponible en: [<https://tinyurl.com/ya4nbsf6>].



Los criterios más importantes que se deben considerar son:

- Velocidad de diseño
- Velocidad regional
- Factor de variación con altura
- Factor correctivo por topografía y rugosidad

### **Velocidad de diseño**

$$VD = F_{TR} F_{\alpha} V_R$$

$F_{TR}$  = Factor correctivo para topografía y rugosidad.

$F_{\alpha}$  = Factor que toma en cuenta la variación de la velocidad con la altura.

$V_R$  = Velocidad regional según la zona donde corresponde la estructura.

### **Velocidad regional<sup>35</sup>**

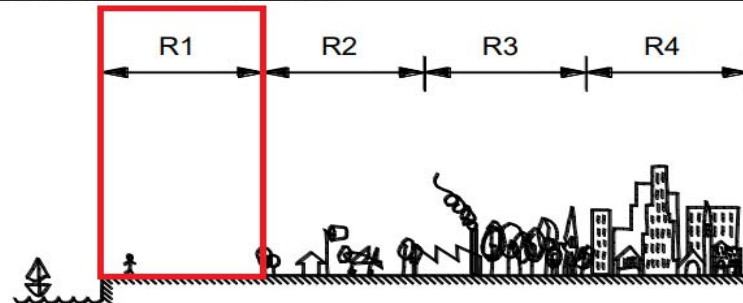
Es la velocidad regional máxima que se presenta a una altura no mayor de 10 m desde el lugar de desplante de la estructura. Esta se obtiene de la tabla que se encuentra dentro de la norma en la página 89.

---

<sup>35</sup> Normas Técnicas Complementarias de la CDMX para Diseño por Viento, pagina 89, Consulta: Enero 2019, disponible en: [<https://tinyurl.com/ya4nbsf6>].

**Tabla 3.1.1 Velocidades regionales,  $V_R$ , según la importancia de la construcción y la zonificación eólica, m/s**

Periodo de retorno, años	Importancia de la construcción		
	A	B	Temporal
200	50	10	
Zona I: Delegaciones de Azcapotzalco, y G. A. Madero	28	25	19
Zona II: Delegaciones de Miguel Hidalgo, Cuauhtémoc, Venustiano Carranza, Benito Juárez, Coyoacán, Iztaclco, e Iztaapalpa	33	30	23
Zona III: Delegaciones de Cuajimalpa, Álvaro Obregón, Magdalena Contreras, Tlalpan, Milpa Alta, Tláhuac, y Xochimilco	39	35	27



**Tabla 3.1.2 Rugosidad del terreno,  $\alpha$  y  $\delta$**

Tipos de terreno (fig. 3.1.1)		$\alpha$	$\delta$ , m
R1	Escasas o nulas obstrucciones al flujo de viento, como en campo abierto	0.099	245
R2	Terreno plano u ondulado con pocas obstrucciones	0.128	315
R3	Zona típica urbana y suburbana. El sitio está rodeado predominantemente por construcciones de mediana y baja altura o por áreas arboladas y no se cumplen las condiciones del Tipo R4	0.156	390
R4	Zona de gran densidad de edificios altos. Por lo menos la mitad de las edificaciones que se encuentran en un radio de 500 m alrededor de la estructura en estudio tiene altura superior a 20 m	0.170	455

Velocidad del viento y tabla de rugosidad. Imagen obtenida y disponible en: [<https://tinyurl.com/ya4nbsf6>].

Se considera la Zona 1: Delegación Azcapotzalco y G.A.M ya que la ubicación del poste solar coincide con los parámetros que la norma nos indica, en esta zona no hay edificios y su flujo de viento no tiene obstrucciones.

El factor que se utilizara será  $V_R = 36$  por su importancia en la construcción.

$$V_R = 36$$

### Factor que toma en cuenta la variación de la velocidad con la altura<sup>36</sup>

Este factor establece la variación de la velocidad del viento con la altura  $z$ . Se obtiene con las expresiones siguientes:

$$\begin{array}{ll}
 F_{\alpha} = 1.0; & \text{si } z \leq 10 \text{ m} \\
 F_{\alpha} = (z/10)^{\alpha}; & \text{si } 10 \text{ m} < z < \delta \\
 F_{\alpha} = (\delta/10)^{\alpha}; & \text{si } z \geq \delta
 \end{array}$$

Donde:

$\delta$  = altura gradiente, medida a partir del nivel del terreno de desplante, por encima de la cual la variación de la velocidad del viento no es importante y se puede suponer constante;  $\delta$  y  $z$  están dadas en metros.

$\alpha$  = exponente que determina la forma de la variación de la velocidad del viento con la altura

En este caso el factor que utilizaremos será de  $F_{\alpha} = 1$  ya que la altura del poste ( $z$ ) es de 8.50 m y es menor a 10 m.

$$F_{\alpha} = 1$$

---

<sup>36</sup> Normas Técnicas Complementarias de la CDMX para Diseño por Viento, pagina 89, Consulta: Enero 2019, disponible en: [<https://tinyurl.com/ya4nbsf6>].

## Factor correctivo por topografía y rugosidad<sup>37</sup>

Para este factor se debe de considerar los efectos topográficos de la zona donde se ubicará el poste solar y la rugosidad de la tierra del desplante de la estructura. Esta variación de topografía y rugosidad de expresan en la siguiente tabla obtenida de la Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Viento del Reglamento de Construcciones para la CDMX (NTC-Viento-2017), en la página 90.

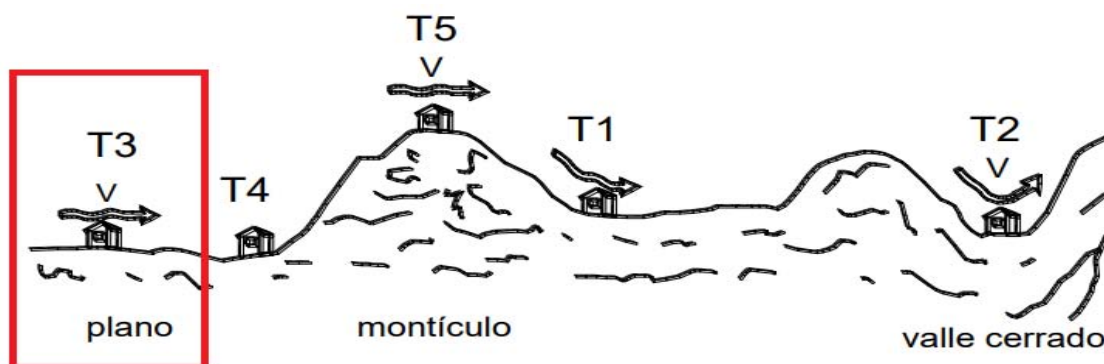


Tabla 3.1.3 Factor  $F_{TR}$  (Factor de topografía y rugosidad del terreno)

Tipos de topografía	Rugosidad de terrenos en alrededores		
	Terreno tipo R2	Terreno tipo R3	Terreno tipo R4
T1 Base protegida de promontorios y faldas de serranías del lado de sotavento	0.80	0.70	0.66
T2 Valles cerrados	0.90	0.79	0.74
<b>T3 Terreno prácticamente plano, campo abierto, ausencia de cambios topográficos importantes, con pendientes menores de 5 % (normal)</b>	<b>1.00</b>	<b>0.88</b>	<b>0.82</b>
T4 Terrenos inclinados con pendientes entre 5 y 10 %	1.10	0.97	0.90
T5 Cimas de promontorios, colinas o montañas, terrenos con pendientes mayores de 10 %, cañadas o valles cerrados	1.20	1.06	0.98

Clasificación del factor F, para topografía y rugosidad. Imagen obtenida y disponible en: [<https://tinyurl.com/ya4nbsf6>].

Como el terreno de la ubicación del poste solar se encuentra en un lugar plano, donde no hay ningún montículo de tierra a su alrededor, no se encuentra dentro de un valle

<sup>37</sup> Normas Técnicas Complementarias de la CDMX para Diseño por Viento, pagina 90, Consulta: Enero 2019, disponible en: [<https://tinyurl.com/ya4nbsf6>].

cerrado o en la cima de una colina se puede considerar que el poste se encuentra en un terreno de tipo 3 el cual nos da un valor de 0.88.

$$F_{TR} = 0.88$$

Sustituyendo los valores para conocer la velocidad de diseño del poste solar nos da un resultado de:

$$VD = F_{TR} F_{\alpha} V_R$$

$$VD = (0.88)(1)(36) =$$

$$VD = 31.68 \text{ m/s}$$

### Carga del viento

$$F_v = A \times P \times CP$$

Donde:

A= Área del poste solar donde se calculara la carga del viento  $m^2$

P= Presión del viento  $\frac{Kg}{m^2}$

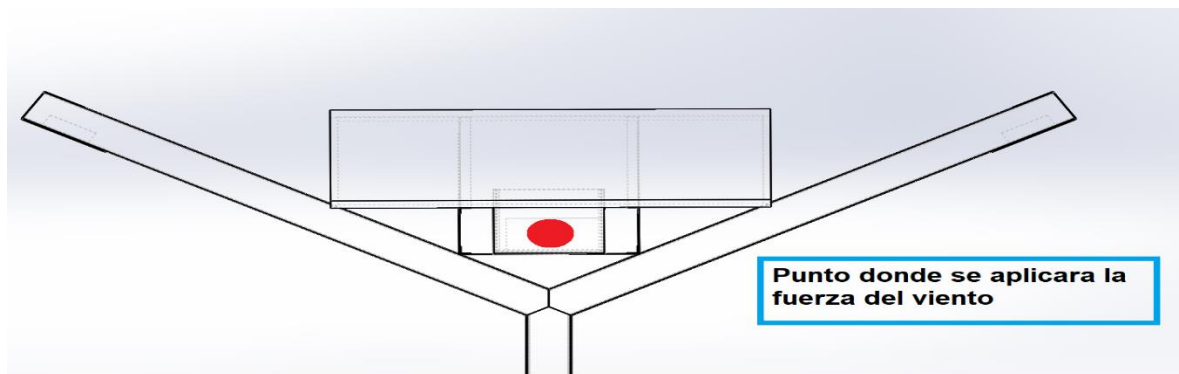
CP= Coeficiente de presión del viento 1.2

## Área proyectada donde se calculará la carga de viento

- Área de lámparas:  $120 \times 5.08 = 609 \text{ cm}^2$  multiplicado por las dos lámparas que tiene el poste solar:  $609 \times 2 = 1218 \text{ cm}^2$
- Área del panel solar:  $148 \times 66 = 9768 \text{ cm}^2$
- Área de la estructura de acero:  $15.24 \times 600 = 9144 \text{ cm}^2$

El cual nos da una área total de:  **$20130 \text{ cm}^2$**

Que convirtiéndolo a metros cuadrados no da un valor de:  **$2.013 \text{ m}^2$**



Modelo SolidWorks, ejemplo donde se concentra la mayor fuerza aplicada en el poste solar. Autoría propia.

Es necesario conocer el área total del poste por lo que se sumaran todas las áreas del lado con mayor grosor, pero existe un punto donde el área es mayor por lo que se aplicará la fuerza del viento para así crear un momento respecto a una altura. Este momento calculado será nuestro parámetro para saber si la fuerza del viento es mayor o menor respecto a la fuerza por sismo.

Cuando el viento choca en el poste toda el área con mayor grosor tiende a flexionarse y generar diversos esfuerzos por lo que se tendrán que calcular para así conocer si la estructura puede soportar la fuerza del viento.

## Presión del viento

Según las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Viento del Reglamento de Construcciones para la CDMX (NTC-Viento-2017), la fórmula para calcular la presión del viento en la CDMX es la siguiente:

$$P = 0.048 VD^2$$

Sustituyendo:

$$P = 0.048(31.68)^2$$

$$P = 48.17 \text{ Kg}/\text{m}^2$$

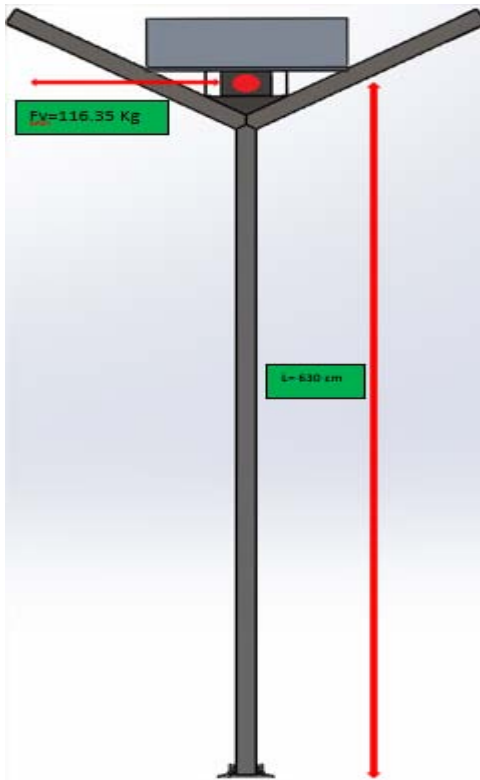
Para encontrar la carga de vientos sustituimos la formula principal con los valores obtenidos:

$$Fv = A x P x CP$$

$$Fv = 2.013 x 48.17 x 1.2$$

$$Fv = 116.35 \text{ Kg}$$

## Momentos de columna



Modelo SolidWorks, aplicación de la fuerza del viento máximo por la altura del poste. Autoría propia.

$$M_x = F_v H$$

$$M_x = (116.35)(630)$$

$$M_{xviento} = 73300.5 \text{ kg} - \text{cm}$$

A través de los cálculos realizados para las fuerzas que ejercen en el poste solar PS-FESAR obtuvimos que los momentos por efecto del viento son mayores que por los de sismo. Por lo que ahora todos los cálculos se realizarán en base a los resultados de las fuerzas del viento para tener un parámetro mínimo y así demostrar que el poste solar puede soportar las fuerzas causadas por la naturaleza.

$$M_{xsismo} = 19845 \text{ kg} - \text{cm} < M_{xviento} = 73300.5 \text{ kg} - \text{cm}$$



### 3.9. Análisis Estructural Acero A500 HSS de 6"x 2"x 5/16"

Tabla de datos para el análisis

Elemento	Valor	Unidad	Descripción	Obtenida
<b>Mux</b>	73300.5	<i>Kg/cm</i>	Momento de columna respecto a "x", cálculo del viento	Página 75
<b>Muy</b>	73300.5	<i>Kg/cm</i>	Momento de columna respecto a "y", cálculo del viento	Página 75
<b>Pu</b>	210	<i>Kg</i>	Peso de poste	Página 62
<b>Vmax</b>	120	<i>Kg</i>	Fuerza del viento maximo	
<b>Fy</b>	3235	$\frac{kg}{cm^2}$	Esfuerzo de fluencia	Tabla pagina
<b>E</b>	2000000	$\frac{kg}{cm^2}$	Módulo de elasticidad	Valor obtenido de tablas de NTC-página 118
<b>K</b>	2	cte	Factor de longitud efectiva	Página 78
<b>L</b>	6.3	<i>m</i>	Longitud de calculo	Página 77
<b><math>F_R</math></b>	0.9	cte	Factor de reducción de material	
<b>Ae</b>	368.32	<i>cm<sup>2</sup></i>	Área neta efectiva	Página 77
<b>rx</b>	1.32	<i>cm</i>	Radio en x	Página 82
<b>ry</b>	0.94	<i>cm</i>	Radio en y	Página 82
<b><math>\lambda</math></b>	954.55	<i>cm</i>	Relación de esbeltez	Página 79
<b>Ixx</b>	650.75	<i>cm<sup>4</sup></i>	Momento de inercia respecto al eje x	Página 83
<b>Iyy</b>	327.8	<i>cm<sup>4</sup></i>	Momento de inercia respecto al eje y	Página 84
<b>t</b>	0.79	<i>cm</i>	Espesor de la estructura A500	Página 78
<b>Sx</b>	84	<i>cm<sup>3</sup></i>	Módulo de sección elástica	Obtenido de tablas página 61
<b>Sy</b>	84	<i>cm<sup>3</sup></i>	Módulo de sección elástica	Obtenido de tablas página 61
<b>Py</b>	1193133	<i>kg</i>	Carga de fluencia	
<b>Cm</b>	0.4	cte	Coeficiente	Página 142 NTC-CDMX

### 3.9.1. Coeficiente $C_m$ <sup>38</sup>

Miembros flexocomprimidos sobre los que no obran cargas aplicadas en puntos intermedios, con o sin momentos en sus extremos, y no están sometidos a cargas entre sus apoyos en el plano de la flexión.

Para tramos que se flexionan en curvatura simple las NTC-CDMX en su página 142 pide que se calcule:

$$C_m = \frac{0.6 + 0.4M_{ux}}{M_{uy}}$$
$$C_m = \frac{0.6 + 0.4(73300.5)}{73300.5}$$

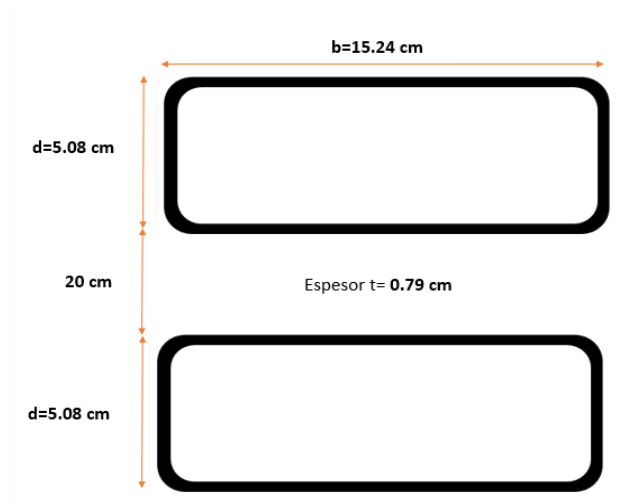
$$C_m = 0.4$$

---

<sup>38</sup> Coeficiente  $C_m$ , NTC-CDMX página 142.

### 3.9.2. Área neta efectiva

Cuando la carga se trasmite en toda el área sobre la estructura es necesario calcular el área real para asegurar que las fuerzas aplicadas se transmitan en todo el perfil de acero A500. Solamente se calculará el área de los dos perfiles de acero sin tomar en cuenta los cartabones que se colocaran para asegurar la estabilidad de la estructura.



$$dxb = \text{cm}^2$$

$$d = 5.08 - 0.79 - 0.79 + 20 + 5.08 - 0.79 - 0.79 = 27 \text{ cm}$$

$$b = 15.24 - 0.79 - 0.79 = 13.66 \text{ cm}$$

$$dxb = 27 \times 13.66 = 368.82 \text{ cm}^2$$

### 3.9.3. Factor de longitud efectiva <sup>39</sup>

La longitud efectiva de los miembros comprimidos axialmente es igual al producto del factor de longitud efectiva  $K$ . El factor  $K$  depende de la sujeción en los extremos de la columna y de los medios disponibles para resistir el movimiento lateral. Este término es la relación entre la longitud efectiva de la columna y la verdadera longitud sin arrostramientos.

En la siguiente tabla definiremos cual  $K$  será para la propuesta.











La configuración de la columna pandeada se muestra con línea punteada	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
						
Valor teórico de $K$	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Valor de diseño recomendado para $K$ , cuando las condiciones reales de apoyo se aproximan a las ideales	0.65	0.80	1.2	1.0	2.1	2.0
Representación esquemática de las condiciones de apoyo		Rotación impedida y traslación impedida				
		Rotación libre y traslación impedida				
		Rotación impedida y traslación libre				
		Rotación libre y traslación libre				

Tabla de factor de longitud efectiva.

Imagen obtenida y disponible en: [<https://tinyurl.com/ya4nbsf6>].

Se consideró que el factor  $K$  fuera de 2 ya que la estructura del poste solamente se encuentra sujeta en la base y en el otro extremo no tiene ningún tipo de sujeción por lo que tiende a tener una rotación libre.

$$K = 2$$

**$L =$  longitud efectiva de la propuesta de poste (630cm)**

<sup>39</sup> Factor de longitud efectiva, NTC-CDMX página 135, manual IMCA-2003 349.

### 3.9.4. Relaciones de esbeltez <sup>40</sup>

Todo comportamiento de columnas depende de su esbeltez, es decir, la relación entre la longitud efectiva y la dimensión de las secciones transversales (radio de giro). Pero hay un factor el que es considerado en todos los análisis y es el factor  $K$ .

La relación de esbeltez  $KL/r$  de miembros comprimidos puede tener cualquier valor, pero conviene que no pase de 240 en miembros principales, ni de 300 en contra venteos y otros miembros secundarios, especialmente cuando están sometidos a cargas que puedan ocasionar vibraciones. Estos parámetros se encuentran mejor especificados en el manual de IMCA-2003 en la Sección 1.8.4 B y en las NTC-DMX en la página 135.

$$\lambda = \frac{KL}{r} \cdot \frac{F_y}{\pi^2 E}$$

$$= \frac{(2)(630)}{1.32} = 954.54 \text{ cm}$$

Donde:

$K$ =Coeficiente con valor de 2

$L$ =longitud efectiva de la columna (630cm)

$r$ =radio de giro mínimo X-X del acero ASTM A500 según los cálculos obtenidos 1.32  
*cm*

---

<sup>40</sup> Relación de esbeltez, NTC-CDMX página 135 y manual de AHMSA página 86.

### 3.9.5. Sección necesaria

Para conocer cuál es la sección necesaria mínima que la estructura debe de tener es necesario realizar la siguiente formula.

$$S_{nec} = \frac{M_{max}}{F_t} cm^3$$

$M_{max}$ = Momento máximo calculado  $Kg/cm$

$F_t$ = Esfuerzo permisible en tensión  $Kg/cm^2$

#### Esfuerzos permisibles de miembros en tensión (página 87)

Para la estructura, sujeta a tensión axial o producida por fuerzas que actúan a lo largo de su eje centrada la siguiente fórmula no debe de ser mayor a  $0.60F_y$  en el área total.

$$f_t = 0.60F_y$$

$$f_t = 0.60(3235) = 1941 Kg/cm^2$$

De la fórmula de sección transversal obtenemos que

$$S_{nec} = \frac{73300.5}{1941} = 37.76 cm^3$$

Designación (tamaños x espesor) (mm x mm x mm)	Designación (tamaños x espesor) (in x in x in)	W (kg/m)	A (cm <sup>2</sup> )	t (mm)	I <sub>x</sub> (cm <sup>4</sup> )	S <sub>x</sub> (cm <sup>3</sup> )	r <sub>x</sub> (cm)	I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> )	S <sub>y</sub> (cm <sup>3</sup> )	r <sub>y</sub> (cm)	Z <sub>x</sub> (cm <sup>3</sup> )	Z <sub>y</sub> (cm <sup>3</sup> )	J (cm <sup>4</sup> )
152.4 x 101.6 x 9.5	6 x 4 x 3/8	49.2	39.9	8.86	1 180	155	5.44	620	122	3.94	195	147	1 370
152.4 x 101.6 x 7.9	6 x 4 x 5/16	42	33.9	7.39	1 030	136	5.51	549	108	4.01	169	127	1 180
152.4 x 101.6 x 6.4	6 x 4 x 1/4	34.4	27.7	5.92	870	114	5.59	462	91	4.09	140	106	982
152.4 x 101.6 x 4.8	6 x 4 x 3/16	26.4	21.2	4.42	683	90	5.66	365	72	4.14	108	82	758
152.4 x 101.6 x 3.2	6 x 4 x 1/8	18	14.4	2.95	475	62	5.74	256	51	4.22	75	57	524
152.4 x 76.2 x 12.7	6 x 3 x 1/2	54.9	44.8	11.8	1 120	147	5	362	95	2.84	198	119	962
152.4 x 76.2 x 9.5	6 x 3 x 3/8	43.5	35.4	8.86	945	124	5.18	311	82	2.97	162	99	803
152.4 x 76.2 x 7.9	6 x 3 x 5/16	37.3	30.2	7.39	837	110	5.26	278	73	3.02	141	86	703
152.4 x 76.2 x 6.4	6 x 3 x 1/4	30.6	24.8	5.92	708	93	5.33	237	62	3.1	118	72	591
152.4 x 76.2 x 4.8	6 x 3 x 3/16	23.6	18.9	4.42	558	73	5.44	189	50	3.18	92	57	462
152.4 x 76.2 x 3.2	6 x 3 x 1/8	16.1	12.9	2.95	393	52	5.51	134	35	3.23	63	39	322
152.4 x 50.8 x 9.5	6 x 2 x 3/8	37.9	30.8	8.86	712	94	4.8	115	45	1.93	130	57	350
152.4 x 50.8 x 7.9	6 x 2 x 5/16	32.6	26.5	7.39	637	84	4.9	105	41	1.99	114	50	316
152.4 x 50.8 x 6.4	6 x 2 x 1/4	26.9	21.7	5.92	545	72	5	92	36	2.06	96	43	273

Tabla de esfuerzos.

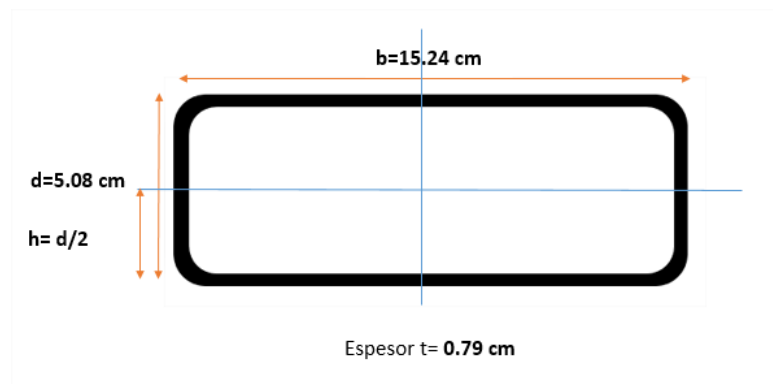
Imagen obtenida y disponible en: [<https://tinyurl.com/y8benzrm>].

Como se puede observar, en la tabla los valores de sección transversal  $S_x$  y  $S_y$  son mayores a 41 por lo que los resultados obtenidos indican que se necesita una sección mínima de 37.76 para que la estructura sea estable y pueda soportar el peso y las cargas que actúan en el poste solar PS-FESAR.

$$37.76 < 41 \quad \text{PASA}$$

### 3.9.6. Momento de inercia respecto a un eje <sup>41</sup>

Cuando se necesita calcular los momentos de inercia de una columna, es necesario conocer la base y altura de la estructura.



La fórmula empleada para trasladar los momentos de inercia de un eje a otro es la siguiente:

<sup>41</sup> Momento de inercia, manual de AHMSA página 134.

$$I = I_o + Ah^2$$

$$I = \frac{bd^3}{12} + bd\left(\frac{d}{2}\right)^2$$

$$I = \frac{bd^3}{12} + \frac{bd^3}{4}$$

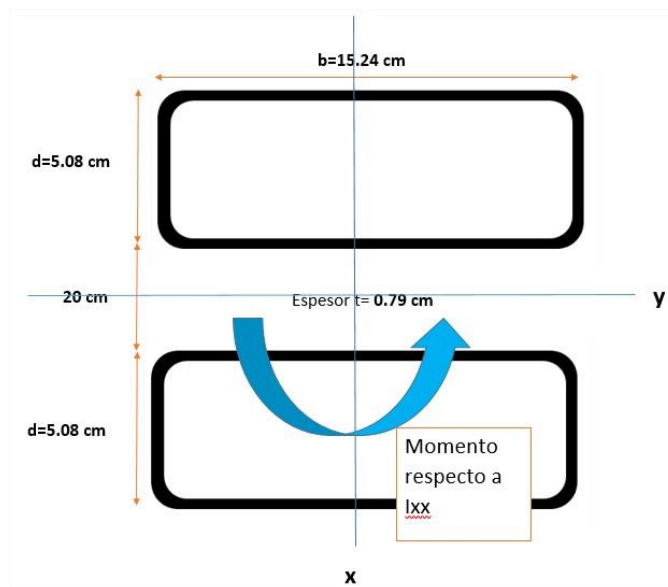
$$I = \frac{bd^3}{3} \text{ cm}^4$$

$I_o$  = momento de inercia del área transversal, respecto a un eje X-X o Y-Y que pase por el centro de gravedad, en  $\text{cm}^4$

$A$  = área de la sección transversal en  $\text{cm}^2$

$h$  = distancia normal entre ejes Y-Y y X-X en  $\text{cm}$

Respecto al eje "x"



$$I_{xx} = \frac{b(d)^2}{6} \text{ cm}^4$$

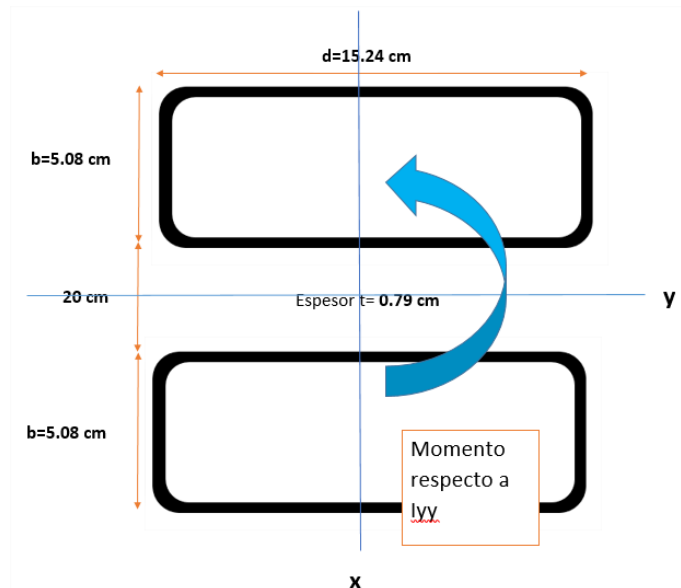
$$I_{xx} = \frac{b(d)^2}{6} - \frac{b(d)^2}{6}$$

$$I_{xx} = \frac{15.24(30.16)^2}{6} - \frac{13.66(27)^2}{6}$$

$$I_{xx} = 650.75 \text{ cm}^4$$



Respecto al eje "y"



$$I_{yy} = \frac{b(d)^2}{6} \text{ cm}^4$$

$$I_{yy} = \frac{30.16(15.24)^2}{6} - \frac{27(13.66)^2}{6}$$

$$I_{yy} = 327.80 \text{ cm}^4$$

### 3.9.7. Radio de giro

El radio de giro de una sección transversal es un índice de rigidez del elemento cuando es utilizada como columna, si  $I$  es el momento de inercia en  $\text{cm}^4$  y  $A$  es la sección transversal en  $\text{cm}^2$  se puede hallar el radio de giro mediante la siguiente ecuación (también puedes encontrar el radio mediante las tablas del Acero HSS ASTM A500)

$$r = \sqrt{\frac{I}{Ae}} \text{ cm}$$

Donde:

$I$  = Es el momento de inercia en  $cm^4$

$A$  = Área neta efectiva en  $cm^2$

Radio de giro respecto a "x"

$$r_x = \sqrt{\frac{I_{xx}}{Ae}} = cm$$

$$r_x = \sqrt{\frac{650.75}{368.82}}$$

$$r_x = 1.32 \text{ cm}$$

Radio de giro respecto a "y"

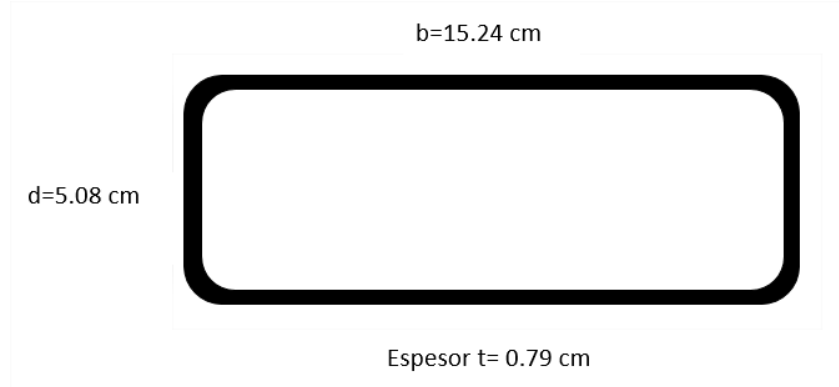
$$r_y = \sqrt{\frac{I_{yy}}{Ae}} = cm$$

$$r_y = \sqrt{\frac{327.8}{368.82}}$$

$$r_y = 0.94 \text{ cm}$$

### 3.9.8. Clasificación de la sección

Es necesario hacer una comparación del ancho de la estructura que se va a flexocomprimir por su peso ya que a través de una fórmula se puede conocer y comparar la resistencia de la estructura con los factores que intervienen en ella.



$$\frac{b - t - t}{t} < 2.45 \sqrt{\frac{E}{F_y} \left(1 - 0.4 \left(\frac{P_u}{P_y}\right)\right)}$$

$$\frac{15.24 - 0.79 - 0.79}{0.79} < 2.45 \sqrt{\frac{2000000}{3235} \left(1 - 0.4 \left(\frac{210}{1193133}\right)\right)}$$

$$17.29 < 60.913 \quad \text{PASA}$$

Como se puede observar en el análisis la comparación con el área-espesor de la estructura respecto a una fuerza de compresión es considerablemente menor, con lo cual podemos deducir que el espesor de la estructura puede soportar fuerzas mayores a lo que está considerada.

### 3.9.9. Miembros en Tensión

#### Resistencia de diseño en tensión <sup>42</sup>

$$R_T = F_R F_y A_e$$

Donde:

$F_R$ =Factor de resistencia 0.9 (dada por la NTC-CDMX pagina 151)

$F_y$ =esfuerzo de fluencia  $3235 \frac{kg}{cm^2}$

$A_e$ =Área neta efectiva  $368.82 cm^2$

$$R_T = 0.9 * 3235 * 368.82$$

$$R_T = 1073819.43$$

#### Esfuerzos permisibles en Tensión <sup>43</sup>

$$F_t = 0.60 F_y kg/cm^2$$

$$F_t = 0.60(3235)$$

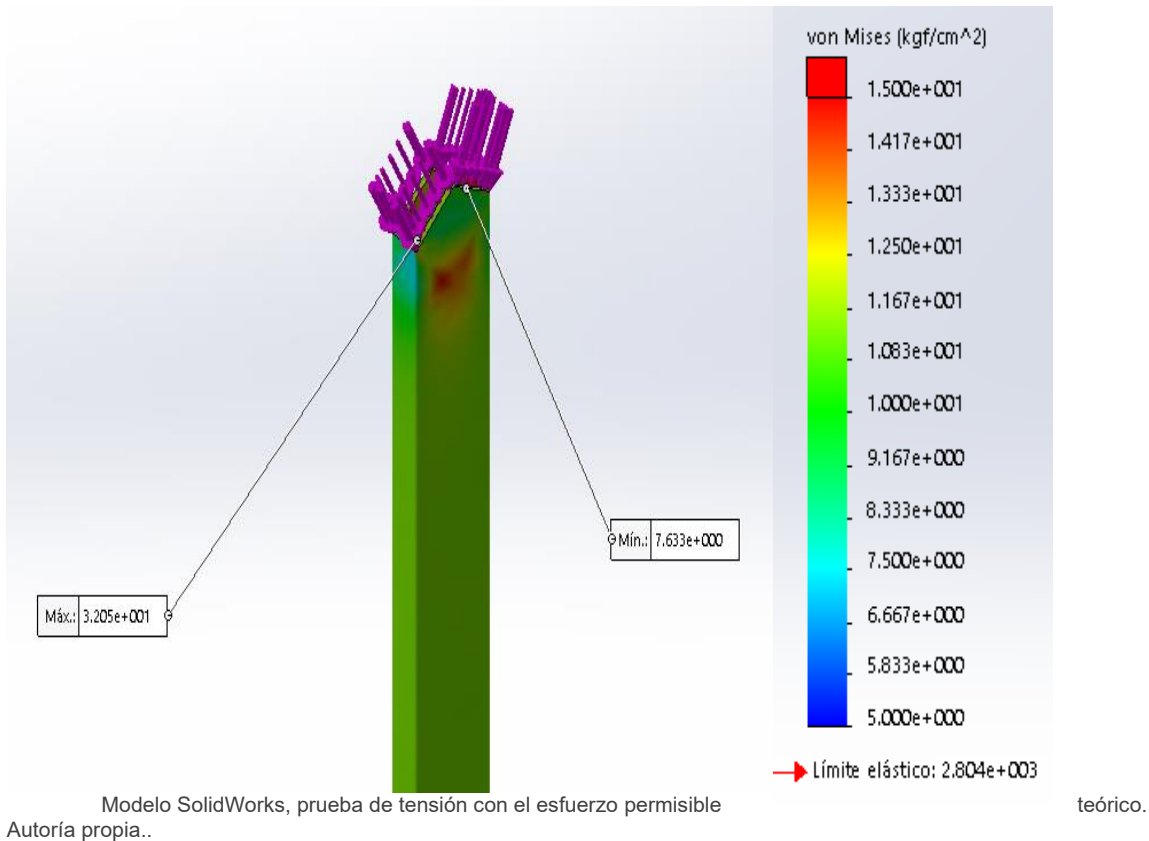
$$F_t = 1941 kg/cm^2$$

---

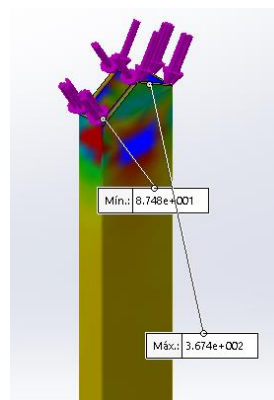
<sup>42</sup> Resistencia de diseño, NTC-CDMX página 151 y Manual de AHMSA pagina 98.

<sup>43</sup> Esfuerzos permisibles, manual de IMCA-2003 pagina135 y manual de AHMSA página 85.

## Prueba de tensión en SolidWorks



Se realizó una prueba de tensión mediante el programa de SolidWorks aplicándole una fuerza permisible de  $1941 \text{ kg/cm}^2$ . El resultado fue que la estructura soporto la fuerza de tensión permisible y que solo se ve una pequeña afectación en la parte superior, la cual es mínima, ya que la fuerza que se le está aplicando es considerablemente alta.



Modelo SolidWorks, prueba de tensión aplicando una fuerza 8 veces a los esfuerzos permisibles. Autoría propia.

### 3.9.10. Miembros en cortante

#### Resistencia de diseño por cortante <sup>44</sup>

La resistencia de diseño al cortante,  $V_R$ , de una viga o trabe de eje recto y sección transversal constante, de sección I, C o en cajón es:

$$R_C = F_R V_n$$

$F_R$ =Factor de resistencia 0.9 (dada por la NTC-CDMX pagina 151)

$V_n$ =Resistencia nominal en cortante

Resistencia nominal en cortante

$$V_n = 0.6 F_y A_a C_v \quad kg$$

En almas de todas las otras secciones con dos o un eje de simetría y canales, excepto en HSS circulares, el coeficiente  $C_v$  se determina como sigue:

$$\text{Cuando } \frac{h}{t} \leq 1.10 \sqrt{\frac{K_v E}{F_y}} = 1$$

$$\frac{1}{0.79} \leq 1.10 \sqrt{\frac{5 * 2000000}{3235}}$$

$$1.26 \leq 61.15$$

$$C_v = 1$$

$h$ =Peralte del alma 0.25 cm

$t$ =Espesor del acero HSS A500 0.79 cm

$A_a$ = $h*t$ , área del alma 0.19 cm<sup>2</sup>

---

<sup>44</sup> Resistencia de diseño por cortante, NTC-CDMX página 182.

$K_v$ =El coeficiente de pandeo por cortante de la placa del alma 5.0  
Sustituyendo la formula

$$V_n = 0.6F_y A_e C_v \quad kg$$

$$V_n = 0.6 * 3235 * 0.19 * 1$$

$$\mathbf{V_n = 368.79 \text{ kg}}$$

Para encontrar el valor de la resistencia de diseño se sustituye

$$R_C = F_R V_n \quad kg$$

$$R_C = 0.9 * 368.79$$

$$\mathbf{R_C = 331.911 \text{ kg}}$$

**Esfuerzos permisibles en cortante**<sup>45</sup>

$$F_v = 0.40F_y \quad kg/cm^2$$

$$F_v = 0.40(3235)$$

$$\mathbf{F_v = 1294 \text{ kg/cm}^2}$$

**Esfuerzo cortante actuante**

$$V_{actuante} = \frac{V_{max}}{A_e} \quad kg/cm^2$$

$$V_{actuante} = \frac{120}{368.82}$$

$$\mathbf{V_{actuante} = 0.32}$$

$$V_{actuante} \leq F_v$$

$$\mathbf{0.32 \leq 1294 \text{ PASA}}$$

<sup>45</sup> Esfuerzos permisibles en cortante, manual de IMCA página 135.

### 3.9.11. Miembros en Compresión

#### Resistencia de diseño en compresión <sup>46</sup>

$$R_c = F_R \chi F_y A_e$$

Donde:

$F_R$ =Factor de resistencia 0.9 (dada por la NTC-CDMX pagina 151)

$F_y$ =esfuerzo de fluencia  $3235 \frac{kg}{cm^2}$

$A_e$ =Área neta efectiva  $368.82 \text{ cm}^2$

$\chi$ =Factor de reducción de esbeltez

#### Esfuerzo critico de Euler <sup>47</sup>

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{Kl}{r}\right)^2}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 * 2000000}{\left(\frac{2 * 630}{1.32}\right)^2}$$

$$F_e = 21.66$$

Parámetro de esbeltez en compresión

$$\lambda = \sqrt{\frac{F_y}{F_e}}$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{3235}{21.66}}$$

$$\lambda = 12.22$$

<sup>46</sup> Resistencia de diseño en compresión, NTC-CDMX página 153.

<sup>47</sup> Esfuerzo critico de Euler, manual de AHMSA página 95.



Factor de reducción de esbeltez<sup>48</sup>

$$\chi = [1 + \lambda^{2n}]^{-1/n}$$

$$\chi = [1 + 12.22^{2(1.4)}]^{-1/1.4}$$

$$\chi = 6.69 \times 10^{-3}$$

Tabla 5.2.1 Valores del coeficiente n

Características del perfil de acero		Eje	Esfuerzo de fluencia nominal del acero, $F_y$ , MPa(kg/cm <sup>2</sup> )				
			≤ 248 MPa (≤2530 kg/cm <sup>2</sup> )	249-344 MPa (2535-3510 kg/cm <sup>2</sup> )	Gr. 50 345MPa (3515 kg/cm <sup>2</sup> )	346-620 MPa (3520-6325 kg/cm <sup>2</sup> )	Gr. 90 > 621MPa (>6330 kg/cm <sup>2</sup> )
I o H laminadas	perfiles estándar	Mayor	1.4	1.4	2.0	2.0	2.0
		Menor	1.4	1.4	1.4	2.0	2.0
	pesados ( $t_p \geq 51$ mm)	Mayor	1.0	1.4	1.4	1.4	1.4
		Menor	1.0	1.0	1.4	1.4	1.4
I o H armadas	placa estándar	Mayor	1.4	1.4	1.4	2.0	2.0
		Menor	1.4	1.4	1.4	1.4	2.0
	placa gruesa ( $t_p \geq 51$ mm)	Mayor	1.0	1.0	1.4	1.4	1.4
		Menor	1.0	1.0	1.0	1.4	1.4
Sección armada cajón con cuatro placas		Mayor	1.4	1.4	1.4	2.0	2.0
		Menor	1.4	1.4	1.4	2.0	2.0
Tubos cuadrados o rectangulares	laminados en frío	Mayor	NA	1.4	1.4	1.4	1.4
		Menor	NA	1.4	1.4	1.4	1.4
	tratados térmicamente	Mayor	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
		Menor	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Tubos circulares	laminados en frío	NA	1.4	1.4	1.4	1.4	
	laminados en caliente	NA	2.0	2.0	2.0	2.0	
Todos los perfiles relevados de esfuerzos residuales		Mayor					
		Menor	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

Valores de coeficiente n. Imagen obtenida y disponible en: [<https://tinyurl.com/ya4nbsf6>].

Sustituimos en la ecuación

$$R_c = F_R \chi F_y A_e$$

$$R_c = 0.9 * 6.69 \times 10^{-3} * 3235 * 368.82$$

$$R_c = 12442.89$$

<sup>48</sup> Factor de reducción por esbeltez, NTC-CDMX página 153.

### Esfuerzos permisibles a compresión axial<sup>49</sup>

En esta parte se calculará la columna aislada sometida a compresión axial producida por fuerzas que actúan a lo largo de sus ejes centroidales. Pero antes, determinaremos algunos factores que nos servirán para el análisis de compresión.

$$F_a = \frac{[1 - \frac{(kl/r)^2}{2Cc^2}]fy}{\frac{5}{3} + \frac{3}{8}[\frac{kl/r}{Cc}] - [\frac{(kl/r)^3}{8Cc^3}]} = kg/cm^2$$

Para el análisis de compresión sobre una columna se requiere que la fórmula Cc sea menor que la relación de L/r.

La fórmula de coeficiente de columna está dada por:

$$Cc = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{Fy}}$$

$$= \sqrt{\frac{2\pi^2(2,000,000)}{3235}} = 110.46$$

$$Cc = 110.46$$

Se sustituye la fórmula

---

<sup>49</sup> Esfuerzos permisibles a compresión, manual de IMCA-2003 página 135 y manual de AHMSA página 86.

$$Fa = \frac{[1 - \frac{(945.54)^2}{2(110.46)^2}]3235}{\frac{5}{3} + \frac{3}{8}[\frac{954.54}{110.46}] - [\frac{(954.54)^3}{8(110.46)^3}]} = kg/cm^2$$

$$Fa = 1530.82 \text{ kg/cm}^2$$

### Esfuerzos actuantes a compresión

$$fa = \frac{Pu}{Ae} \text{ kg/cm}^2$$

$$fa = \frac{210}{368.82} = \text{kg/cm}^2$$

$$fa = 0.5693 \text{ kg/cm}^2$$

Relación de  $fa/fy$

$$\frac{fa}{fy} = 0.000176$$

### Esfuerzos combinados $fa$ y $Fa$

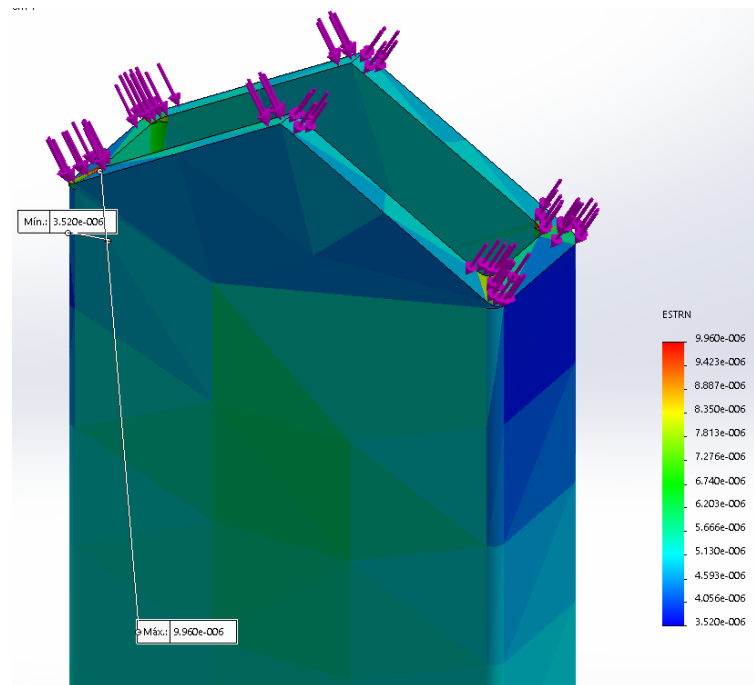
$$fa/Fa \leq 0.15$$

$$0.5693/1530.82 \leq 0.15$$

$$0.000372 \leq 0.15 \text{ PASA}$$

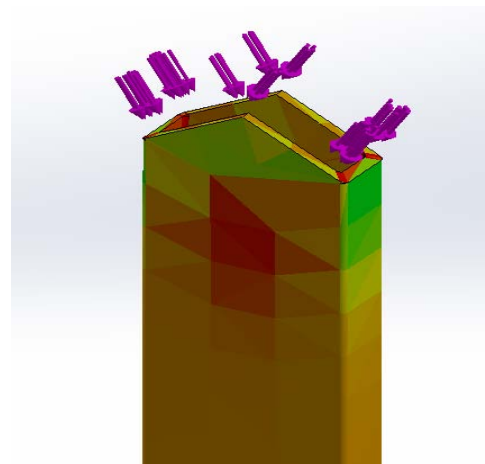
Como se puede observar la relación entre los esfuerzos permisibles y los actuantes son menores al rango estipulado por las NTC-CDMX con un valor de 0.15. Esto significa que la estructura puede soportar el peso de todos los complementos del poste solar con un peso aproximado de 210kg.

## Prueba de compresión en SolidWorks



Modelo SolidWorks, prueba de compresión con el esfuerzo permisible teórico. Autoría propia.

Prueba de compresión mediante el programa SolidWorks aplicando una fuerza permisible de  $1530.82 \text{ kg/cm}^2$ . La columna de acero puede soportar es esfuerzo permisible teórico y tiene la capacidad de soportar hasta 8 veces antes de sufrir una deformación.



Modelo SolidWorks, prueba de compresion aplicando una fuerza 8 veces mayor a los esfuerzos permisibles. Autoría propia.

### 3.9.12. Miembros en flexión

#### Resistencia de diseño por flexión <sup>50</sup>

$$R_f = \frac{F_y}{(1 + \lambda^{2n} - 0.15^{2n})^{1/n}} A_e F_R \leq F_y A_e F_R$$

Donde:

FR = factor de resistencia, igual a 0.9;

Ae = Área efectiva de la sección transversal de la columna

$\lambda$  = parámetro de esbeltez,

n = coeficiente adimensional 2

Columnas de sección transversal H o I, laminadas y flexionadas alrededor de cualquiera de sus ejes de simetría, o hechas con tres placas soldadas obtenidas cortándolas con oxígeno de placas más anchas, flexionadas alrededor del eje de mayor momento de inercia, de acero con límite de fluencia no menor de 414 MPa (4 220 kg/cm<sup>2</sup>), y con patines de no más de 50 mm de grueso, columnas de sección transversal rectangular hueca, laminadas en caliente o formadas en frío y tratadas térmicamente, o hechas con cuatro placas soldadas, de acero con límite de fluencia no menor de 414 MPa (4 220 kg/cm<sup>2</sup>), y todos los perfiles con dos ejes de simetría relevados de esfuerzos, que cumplen con los requisitos de las secciones 1, 2 o 3 de la sección 2.3.1: **n= 2.0.**

Se sustituye la fórmula

$$R_f = \frac{2135.1}{(1 + 954.54^{2(2)} - 0.15^{2(2)})^{\frac{1}{2}}} 368.82(0.9) \leq (2135.1)(368.82)(0.9)$$

$$R_f = 0.777 \leq 708720.82$$

<sup>50</sup> Resistencia de diseño por flexión, NTC-CDMX página 198.

### Esfuerzos permisibles por Flexión <sup>51</sup>

Para miembros con secciones compactas simétricos con respecto, y cargados en el plano de su eje de menor momento de inercia, el esfuerzo permisible es:

$$Fb = 0.66Fy \text{ Kg/cm}^2$$

$$Fb = 0.66(3235)$$

$$Fb = 2135 \text{ Kg/cm}^2$$

### Esfuerzos actuantes por flexión

$$fbx = \frac{Mux}{S_x} \text{ kg/cm}^2$$

$$fbx = \frac{73300.5}{84} \text{ kg/cm}^2$$

$$fbx = 872.619 \text{ kg/cm}^2$$

$$fby = \frac{Muy}{S_y} \text{ kg/cm}^2$$

$$fby = \frac{73300.5}{84} \text{ kg/cm}^2$$

$$fby = 872.69 \text{ kg/cm}^2$$

---

<sup>51</sup> Esfuerzos permisibles por flexion, manual de IMCA-2003 página 136 y manual de AHMSA página 88.

### 3.9.13. Miembros bajo cargas combinadas

#### Flexocompresión (axial y flexión)<sup>52</sup>

Las ecuaciones de interacción que se presentan en esta parte, basadas en el diseño por esfuerzos permisibles son aplicables a miembros de eje recto y sección transversal constante, con dos ejes de simetría, sujetos a compresión y a flexión producida por momentos que obran alrededor de uno o de los dos ejes de simetría. Se designan, indistintamente, con las palabras “columna” o “elemento flexocomprimido”

Una vez determinada la  $C_c$  (pagina 89), se determinará la compresión axial siempre y cuando  $KL/r$  exceda  $C_c$ :

#### Esfuerzo critico de Euler <sup>53</sup>

Esfuerzo crítico de Euler en el plano en que se considere la flexión dividido entre un factor de seguridad, en kg/cm<sup>2</sup>. (En la expresión para calcular  $F'$  e, lb es la longitud real no arriostrada en el plano de la flexión y  $r_b$  es el radio de giro correspondiente.  $K$  es el factor de longitud efectiva en el plano de la flexión). Como  $F_a$ ,  $F_b$  y  $0.60 F_y$ ,  $F'$  e puede aumentarse en un 33% de acuerdo con la sección 1.5.6.

$$F_{ex} = F_{ey} = \frac{12\pi^2 E}{23 \left(\frac{kl}{r}\right)^2}$$

$$F_{ex} = F_{ey} = \frac{12\pi^2 2000000}{23(954.54)^2}$$

<sup>52</sup> Flexocopresion, NTC-CDMX página 186-187, manual de IMCA-2003 página 145, manual de AHMSA página 93.

<sup>53</sup> Esfuerzo critico de Euler, manual de AHMSA página 95.

$$F_{ex} = F_{ey} = 11.3029$$

$F_e$  = esfuerzo crítico de Euler en el plano en que se considere la flexión dividido entre un factor de seguridad, en  $kg/cm^2$ .

$E$ =módulo de elasticidad del acero estructural,  $2,000,000 kg/cm^2$

$C_{mxy} = 0.4$

Se debe cumplir la siguiente fórmula<sup>54</sup>

En las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Acero y manual de IMCA-2003 se indican que se debe cumplir la siguiente fórmula para miembros sometidos a esfuerzos combinados (viento), compresión axial y flexión. En caso de cumplir con la fórmula nos indicará que la estructura de acero A500 del poste solar PS-FESAR puede soportar diferentes tipos de cargas (ya calculadas), por lo que se encuentra bajo las normas de fabricación y puede ser introducida al mercado como un producto bajo los lineamientos que pide la CDMX.

En la siguiente fórmula se introducirá todos los factores y constantes ya calculadas, esta nos dará un análisis más exacto para su comprobación.

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_{mx}f_{bx}}{\left(1 - \frac{f_a}{F_{ex}}\right)F_{bx}} + \frac{C_{my}f_{by}}{\left(1 - \frac{f_a}{F_{ey}}\right)F_{by}} \leq 1.0$$

$$\frac{0.5663}{1530.81} + \frac{(0.85)(872.61)}{\left(1 - \frac{0.5663}{11.30}\right)2135} + \frac{(0.85)(872.61)}{\left(1 - \frac{0.5663}{11.30}\right)2135} \leq 1.0$$

$$0.3446 \leq 1.0 \quad \text{PASA}$$

<sup>54</sup> Se debe cumplir las siguientes fórmulas, manual de IMCA-2003 página 145.



Los resultados fueron favorables ya que se encuentra en el rango requerido por las Normas Técnicas Complementarias para la CDMX.

En la siguiente formula solo se introducirán los esfuerzos permisibles y actuantes que actúan en la estructura principal para fuerzas en flexotensión y flexocompresión.

$$\frac{fa}{0.6fy} + \frac{fbx}{Fbx} + \frac{fby}{Fby} \leq 1.0$$

$$\frac{0.5693}{0.6(3235)} + \frac{872.61}{2135} + \frac{872.61}{2135} \leq 1.0$$

$$0.8176 \leq 1.0 \text{ PASA}$$

Se encuentra dentro del rango por lo que cumple con las Normas Técnicas Complementarias para la CDMX.

### Estado límite de inestabilidad por Flexión<sup>55</sup>

Es necesario calcular el límite de flexión de la estructura ya que se someterá a flexocompresion. Para esto se debe conocer la longitud efectiva Kl y el radio de giro r.

Relación de esbeltez efectiva máxima de la columna

$$\lambda = \left(\frac{kl}{r}\right) \sqrt{\frac{fy}{\pi^2 E}} \text{ cm}$$

$$\lambda = \left(\frac{2 * 630}{1.32}\right) \sqrt{\frac{3235}{\pi^2 2000000}}$$

<sup>55</sup> Estado límite de inestabilidad por flexión, manual de AHMSA página 101.

$$\lambda = 12.22 \text{ cm}$$

$$Rc = \frac{AeF_R f_Y}{(1 + \lambda^{2n} - 0.15^{2n})^{\frac{1}{n}}} \leq f_Y AeF_R$$

Columnas de sección transversal H o I, hechas con tres placas laminadas soldadas entre sí, que cumplen con los requisitos de las secciones tipo 1, 2 ó 3 de la sección 2.3.1: n= 1.0.

$$Rc = \frac{(368.82 * 0.9 * 3235)}{(1 + 12.22^{2(1)} - 0.15^{2(1)})^{\frac{1}{1}}} \leq 3235 * 368.82 * 0.9$$

$$Rc = 7144.22 \leq 1073819.43 \text{ PASA}$$

$$Pu \leq Rc$$

$$210 \leq 7144.22 \text{ PASA}$$

La estructura se encuentra dentro del rango antes de sufrir alguna deformación ya que todas las estructuras tienen una inestabilidad habitual y tienden a pandearse originadas por fuerzas laterales que crean pequeños desplazamientos (pandeo). Esta ecuación nos da una referencia de cuál es el rango en que la estructura debe de estar antes de sufrir un pandeo. Y por los resultados obtenidos la estructura no se puede pandear o flexionar por causas naturales ya sea por sismos o viento.

## Flexotensión <sup>56</sup>

Para la columna de la estructura que sufre acción simultanea de fuerzas de torsión axial y flexión producida por momentos en la estructura principal del poste solar es necesario desarrollar la siguiente ecuación para comprobar que la columna puede soportar estos tipos de fuerzas.

$$\frac{fa}{Ft} + \frac{fbx}{Fbx} + \frac{fby}{Fby} \leq 1.0$$

$$\frac{0.5693}{1941} + \frac{872.61}{2135} + \frac{872.61}{2135} \leq 1.0$$

$$0.8176 \leq 1.0 \text{ PASA}$$

Como se puede observar los resultados obtenidos son satisfactorios por lo que la estructura de acero A500 puede soportar la Flexotensión producida por los esfuerzos permisibles ya calculados por el viento. La única forma que puede flexotorsionarse es con fuerzas que no dependen de la naturaleza, es decir por factores humanos como por ejemplo un golpe por choque de auto.

---

<sup>56</sup> Flexotensión, NTC-CDMX página 191, manual de IMCA-2003 página 147.

## 4. IMPLEMENTACIÓN

### 4.1. Cotización de fabricación del poste PS-FESAR.

En la tabla siguiente se mencionan los costos de cada componente con el que cuenta el poste solar PS-FESAR, así como su manufactura para poder fabricar el poste y saber si cumple con el objetivo de reducción de costo a diferencia de los que se pueden encontrar en el mercado. Los costos serán de acuerdo a la fecha en que se cotizó.

**Tabla de cotización**

No.	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	MODELO	DISTRIBUIDOR	COSTO UNITARIO EN PESOS	TOTAL
1	Luminario de alta eficiencia tipo LED de 20 watts / 2000 lm (lumens)	pieza	2	AG-ST5-20W	<a href="https://tinyurl.com/ybmn45xq">https://tinyurl.com/ybmn45xq</a>	\$600.00	\$1200.00
2	Generador fotovoltaico de celdas solares mono cristalinas de 150 watts	pieza	1	GG5150	<a href="https://tinyurl.com/ybkacfz5">https://tinyurl.com/ybkacfz5</a>	\$2,250.00	\$2,250.00
3	Controlador solar de 20 A (ampers)	pieza	1	PWM 1A0246	<a href="https://tinyurl.com/yam75z9k">https://tinyurl.com/yam75z9k</a>	\$431.00	\$431.00
4	Centro de carga de 230 A/h (ampers / hora) a 12 VCD (volts, corriente directa)	pieza	1	L-31T/S-190 M	<a href="https://tinyurl.com/yakbqddu">https://tinyurl.com/yakbqddu</a>	\$2,767.00	\$2,767.00
5	Poste metálico rectangular de 9m de altura tipo HSS con dimensiones de 6"x2", y espesor de 0.313 de pulgada.	pieza	2			\$3,500.00	\$9,000.00
6	Gabinete metálico 374 x 297 x 325 mm IP 65 para almacenamiento de componentes electrónicos	pieza	1	G-007, EPCOM INDUSTRIAL	<a href="https://tinyurl.com/yrcrucbv">https://tinyurl.com/yrcrucbv</a>	\$1,460.00	\$1,460.00
7	Dado de concreto (250kg/cm <sup>2</sup> ), conformado por varilla de rosca corrida de ¾" soldada a una extensión de varilla de ½" en forma de L, estribos soldados a la varilla cada 20cm, con	pieza	1	BD071	<a href="https://tinyurl.com/y6w2rh34">https://tinyurl.com/y6w2rh34</a>	\$3,000.00	\$3,000.00

	acabado pulido aparente. Incluye armado de varilla, vaciado e instalación completa.						
<b>8</b>	Cables y conexiones para componentes del sistema.	lote	1			\$300.00	\$300.00
<b>9</b>	Instalación del poste (mano de obra)	Instalación	1			\$1,000.00	\$1,000.00
<b>10</b>	Soldadura y armado	Instalación	1			\$1,000.00	\$1,000.00
						<b>Total:</b>	<b>\$22,405.00</b>

## **4.2. Mantenimiento propuesto**

El mantenimiento del poste solar PS-FESAR, tendrá que ser inspeccionado anualmente para que cumpla con las normas mencionadas, en caso de que no cumpla, tendrá que ser remplazado.


- Cambio de baterías según su estado (se recomienda que sea cada dos años su remplazo).
- Cambio de Tornillería si es necesario.
- Inspección en la estructura de acero para evitar corrosión.
- Inspección en la celda solar para verificar que la obtención de la energía sea ineficiente.
- Inspección del controlador de carga para verificar su correcto trabajo.
- Inspección de la tensión eléctrica.
- Apretado de tuercas, realineado y nivelado del poste.
- Retoque de pintura si en necesario.

## **4.3. Cotización de otros postes solares**

Las presentes cotizaciones don de postes solares que se encuentran en el mercado, dichas cotizaciones solo incluyen el poste por lo que el traslado, montaje, instalación y el dado de concreto corre por cuenta del cliente, es decir que se tiene que hacer otro gasto.

Estos son algunos de los ejemplos más parecidos al que se propone, el cual cuenta con la misma iluminaria y capacidad de baterías.

**Poste para sistema solar urbano con panel fotovoltaico.**



**INCLUYE:**


- Estructuras: Poste, soporte para panel, brazo y gabinete  
Fabricado en acero, aluminio Acabado en pintura electrostática.
- Luminario: 60w
- Panel Fotovoltaico
- Baterías solares ciclado profundo
- Controlable y programable
- Garantía: 1 año

SOMOS FABRICANTES

### Kit Poste De Alumbrado Público Solar Listo Para Instalarse.

**\$ 23,192**

18 meses de \$ 1,288<sup>44</sup> sin intereses

VISA 

[Más información](#)

Entrega a acordar con el vendedor  
Cuahtémoc, Distrito Federal


[Consultar costos](#)

¡Único disponible!

[Comprar ahora](#)


Kit poste de alumbrado público, disponible en: [<https://tinyurl.com/y4nw8exx>].

El kit de alumbrado público solo incluye lámpara, poste, panel solar, baterías, cableado, gabinete y controlador de carga. El montaje y dado de concreto es otra cotización por lo que el precio aumenta un 30%.



**MAGG CITI 40**

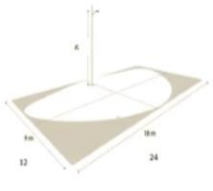
W 40  
V 24  
IP 65



**Características:**

- Poste circular de 6 m
- Panel solar 120 watts
- Tarjeta inteligente M40
- Luminaria Magg 40 watts
- Batería 870 watts
- Gabinete metálico
- Brazo para luminaria
- Base para panel

\$14,600



**COLOR K Im**


COLOR	K	Im
GRIS ACERO	4500	2900

Nuevo

### Lampara Solar Led Alumbrado Público Magg Citi 40 Con Poste

**\$ 15,600**

12 meses de \$ 1,541<sup>15</sup>

VISA 


[Más información](#)

Entrega a acordar con el vendedor  
Puebla

[Consultar costos](#)

¡Único disponible!

[Comprar ahora](#)

 Compra Protegida, recibe el producto que esperabas

Poste de alumbrado público, disponible en: [<https://tinyurl.com/y586zmuo>].

La lámpara solar Led solo incluye el poste tubular, brazo de lámpara, iluminaria, una batería, controlador de carga, y un panel solar más pequeño. El costo es menor ya que no incluye instalación, montaje y dado de concreto, también la lámpara es de menor calidad, el panel solar es de 120 W y la batería es de menor capacidad.

**POSTES SOLARES AUTÓNOMOS**

Los sistemas de iluminación solar autónomos recogen la energía del sol y la almacenan en una batería para iluminar tu espacio. HT electric es la más alta calidad de tecnología de iluminación más innovadora a nivel mundial. Hemos diseñado lámparas de punta de gama por lo que tenemos el mejor precio de calidad en el mercado. Nuestra tecnología LED que consume menos energía, ahorra espacio y es más duradera. Además de la garantía que podemos ofrecer en el producto, además de un excelente diseño y materiales de primera calidad.

**Aplicaciones:**

- Avenida principal
- Carreteras
- Autopistas
- Carreteras de cobro
- Calles de baja velocidad
- Calles de alta velocidad
- Zonas comerciales
- Puntos
- Áreas comunes
- Zonas rurales

**Características comunes:**

- Batería de LiFePO4, 2 años de garantía o Lifetime (dependiendo de la vida útil de la batería) con un costo menor.
- 2 años de garantía.
- Contenido nacional del 90% (hecho en México).
- Incluye lámpara con protección IP65 (opcional).
- Tecnología LED LiFePO4 o LiFePO4 (opcional).
- Vite ajustable para montaje en bruto de hasta de 2.0 m de diámetro.
- Certificación ISO.

**¡Solicita tu cotización!**

ht@htelectric.mx  
htelectric@outlook.com  
CGL 13 1312 2023  
CEMEX 55 8154 8556

Nuevo  
**Poste Solar Fotovoltaico  
Autónomo Profesional**

**\$ 25,000**

18 meses de \$ 1,388<sup>pp</sup> sin intereses  
VISA  
Más información

Entrega a acordar con el vendedor  
Colima  
Consultar costos

¡Único disponible!

**Comprar ahora**

Compra Protegida, recibe el producto que esperabas

Poste de alumbrado público solar, disponible en: [ <https://tinyurl.com/yyxf2ur6>].

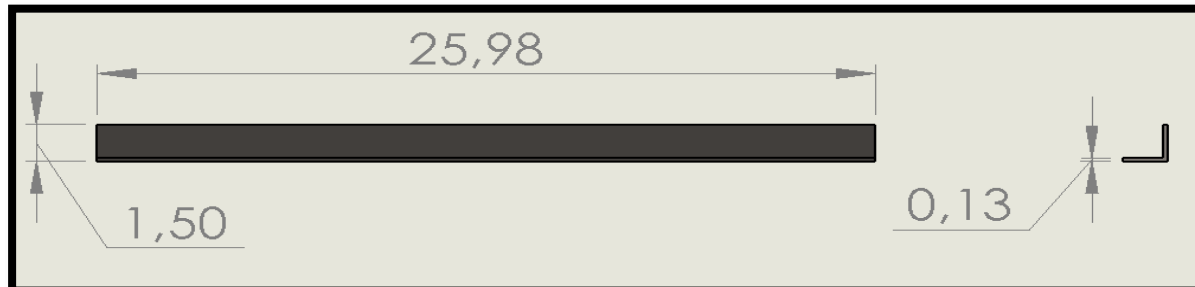
Este poste es de las mismas características del poste solar PS\_FESAR solo que no incluye la instalación y el dado de concreto.

Como podemos ver en las presentes cotizaciones los precios son un 20% más elevados y no incluyen instalación y dado de concreto. Esto nos da una ventaja para poder competir con los diferentes postes que se encuentran en el mercado. Hay que señalar que el poste propuesto se puede fabricar en cualquier taller ya que el perfil de Acero A500 se encuentra en cualquier distribuidor de aceros sin tener que hacer un pedido especial.

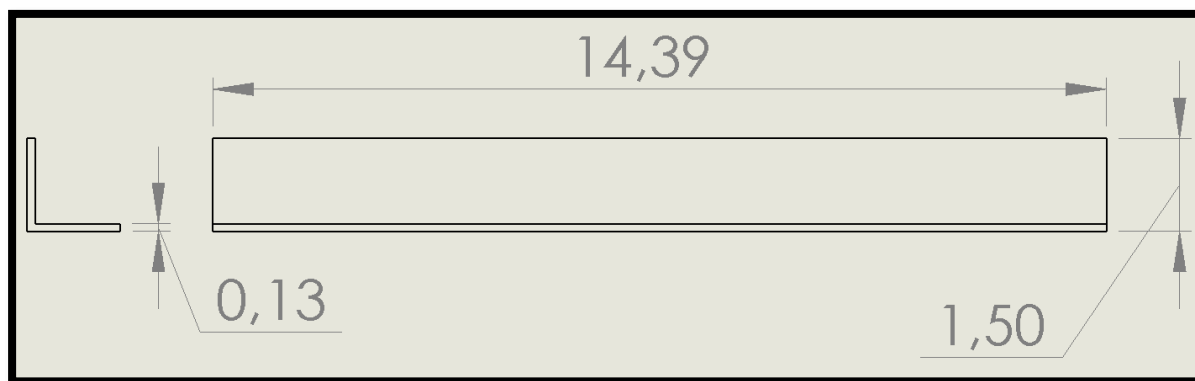


#### 4.4. Planos de fabricación

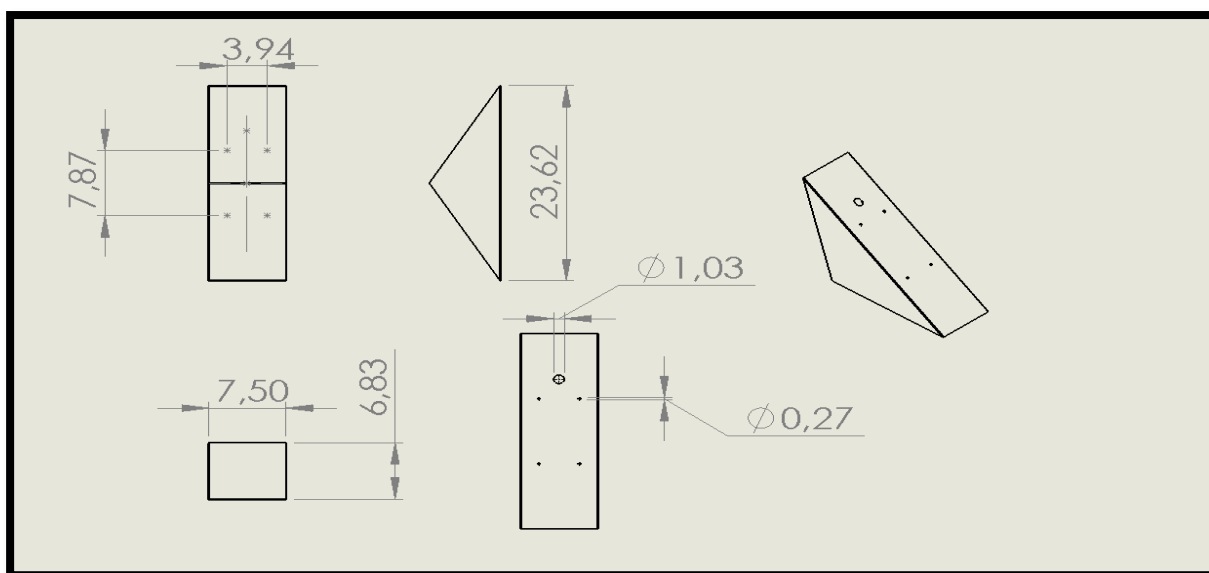
Todas las acotaciones se encuentran en pulgadas y se les hizo un acercamiento para que se pudieran ver con claridad.



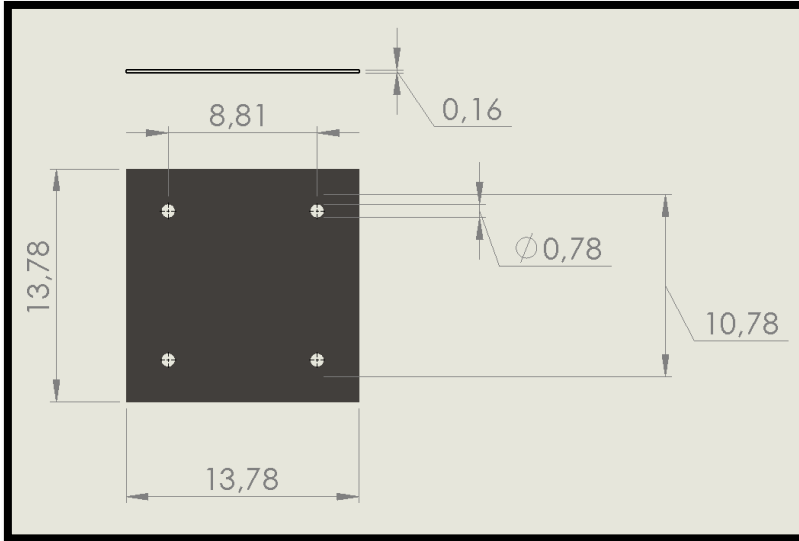
Modelos solidWorks, solera en L, base del panel solar. Autoría propia.



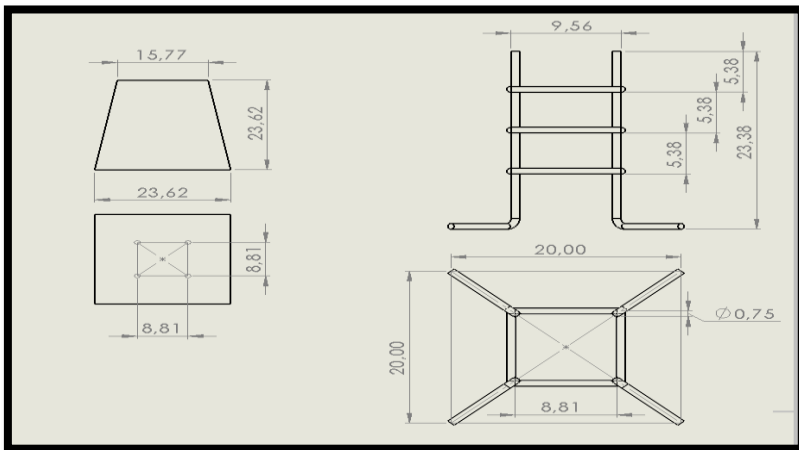
Modelos SolidWorks, solera en L, base del panel solar 2. Autoría propia.



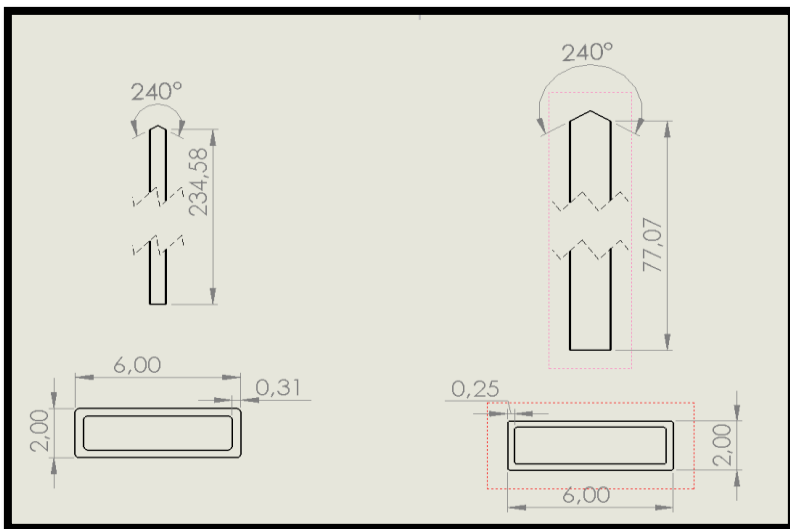
Modelo SolidWorks, base para controlador de carga y alambrado del poste solar. Autoría propia.



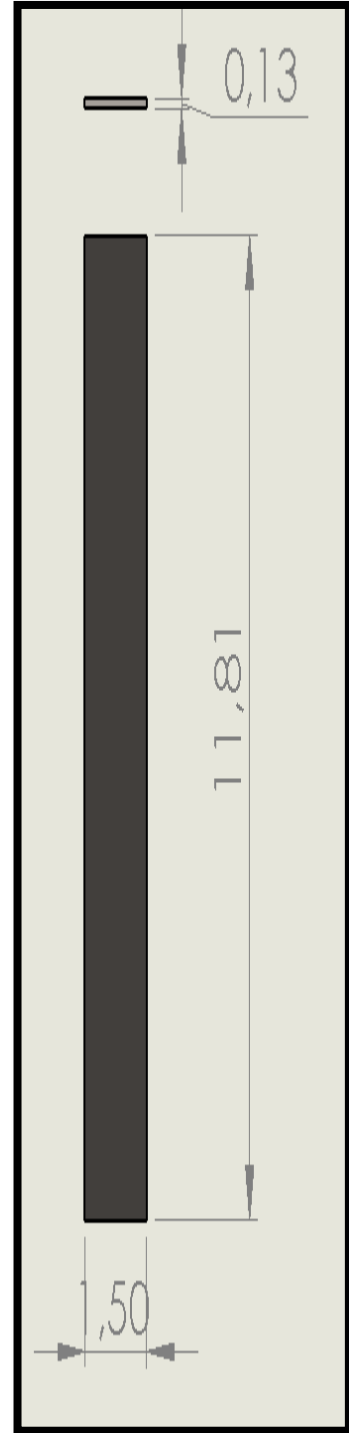
Modelos SolidWorks. base principal de la Estructura A500 HSS. Autoría propia.



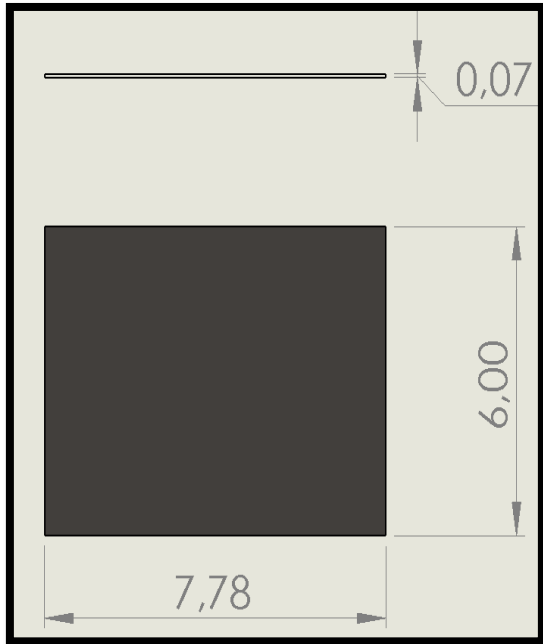
Modelos SolidWorks, dado de concreto y albrado del dado. Autoría propia.



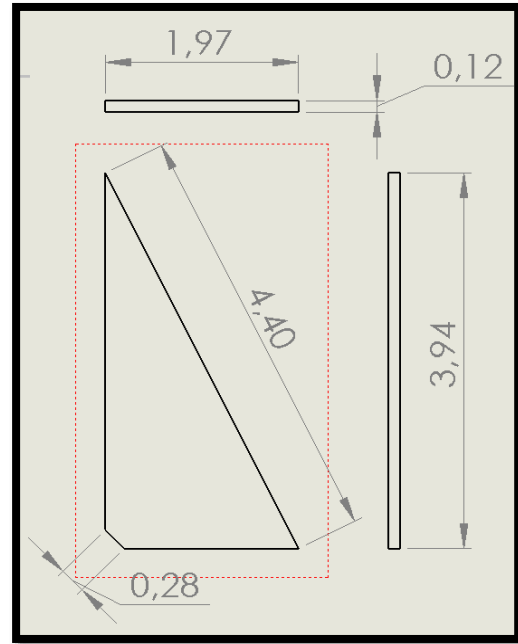
Modelo SolidWorks, estructura principal y brazo de iluminaria de acero A500 HSS. Autoría propia.



Modelo SolidWorks, solera plana base panel solar. Autoría propia.



Modelo SolidWorks, tapa de iluminaria acero A32.  
Autoría propia.



Modelo SolidWorks, cartabones de soporte de base  
con estructura de acero. Autoría propia.

## **4.5. Conclusiones**

Gracias a esta propuesta titulada “Propuesta de diseño e implementación del poste solar PS-FESAR como iluminaria sustentable en la Fes Aragón”, se validó que los resultados obtenidos como parte del análisis de la estructura de Acero A500 HSS para el poste solar PS-FESAR, puede soportar fuerzas de la naturaleza por efectos combinados de cargas por vientos y sismos, las cuales son las especificaciones de diseño mínimas que debe soportar una estructura de acero para poder ser introducida al mercado y posteriormente ser instalada en la área metropolitana mediante las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcción para la CDMX.

Todos los cálculos obtenidos mediante el análisis de la estructura de acero fueron favorables y se marcaron mediante un *PASA*, para poder señalar que el acero empleado tiene las características adecuadas para asegurar la estabilidad bajo cargas verticales, horizontales, de resistencia y rigidez necesarias para que la estructura sea funcional y segura para la FES Aragón.

Se realizó una simulación de cargas mediante el programa *Solidworks* para corroborar que la estructura soportaría los diferentes tipos de deformaciones que pudiera presentarse en un uso habitual, dando como resultados una simulación favorable para poder ser comparada con los cálculos teóricos y demostrar que la estructura propuesta es viable para su fabricación. Todos los datos obtenidos se expresan mediante una tabla e imágenes que dan por hecho que la estructura de acero A500 soporta todo el conjunto que tiene el poste solar.

Por ende, se puede concluir que la FES Aragón es viable para poder instalar este poste solar y brindar a toda su comunidad mayor visibilidad, realizar actividades académicas nocturnas y mejor seguridad tomando en cuenta que es totalmente sustentable y que el costo del poste solar PS-FESAR es más barato que los que se pudiera encontrar en el mercado actualmente. Cabe destacar que el poste solar se puede fabricar en cualquier

taller ya que el acero es comercial y se puede adquirir en cualquier comercializadora de aceros.

## 4.6. Bibliografía

- IMCA, *Manual de construcción en Acero-DEP*, CDMX, LIMUSA S.A de C.V, Cuarta edición, 2002.
- INSTITUTO DE INGENIERÍA, *Comentarios, ayudas de diseño y ejemplos de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras Metálicas*, DDF, CDMX, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria.
- BRESLER, LIN y SCLZI, *Diseño de Estructuras de Acero*, CDMX, LIMUSA S.A de C.V. Segunda edición.
- . Askeland Donald R, *Ciencia e ingeniería de materiales*, séptima edición, 2016

## 4.7. Cibergráfico

- Diario Oficial de la Federación, “Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcción de la Ciudad de México”, [En línea], [Noviembre 2018], [<https://www.smig.org.mx/archivos/NTC2017/normas-tecnicas-complementarias-reglamento-construcciones-cdmx-2017.pdf>].
- NASA, “Atlas del viento sola”, [En línea], [Noviembre 2018], [<https://globalsolaratlas.info/?c=19.472742,-98.948364,11&s=19.5009,-99.052048>].
- NASA, “Centro global de recursos hidrológicos”, [En línea], [Noviembre 2018], [<https://ghrc.nsstc.nasa.gov/home/>].

- NASA, “Datos de la Tierra”, [En línea], [Noviembre 2018], [<https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/>].
- Altos Hornos de México (AHMSA), “Manual de Diseño para la construcción de acero”, [PDF], [Diciembre 2018], [[http://www.grupoazero.mx/docs/MANUAL\\_AHMSA\\_2013-2.pdf](http://www.grupoazero.mx/docs/MANUAL_AHMSA_2013-2.pdf)].
- Gobierno de la CDMX, “Mapas de peligros geológicos”. [En línea], [Enero 2019], [[http://data.proteccioncivil.cdmx.gob.mx/mapas\\_sgm/mapas\\_sgm2.html](http://data.proteccioncivil.cdmx.gob.mx/mapas_sgm/mapas_sgm2.html)].
- GesCom, “LED”, [En línea], [Noviembre 2018], [<https://tinyurl.com/ycqqdhgd>].
- Wikipedia, “Corriente Continua”, [En Línea], [Noviembre 2018], [[https://es.wikipedia.org/wiki/Corriente\\_continua](https://es.wikipedia.org/wiki/Corriente_continua)].
- Civitatis, “Torre Eiffel”, [En línea], [Noviembre 2018], [<https://www.paris.es/torre-eiffel>].
- Wikipedia, “Horno de Arco Eléctrico”, [En línea], [Noviembre 2018], [<https://tinyurl.com/ya9orw5g>].
- Diario Oficial de la Federación (DOF), “Resoluciones de (CRE)”, [En línea], [Noviembre 2018], [<https://tinyurl.com/y8ubm6c2>].