



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Instalación de una central solar
fotovoltaica en la fábrica de sacos de una
cementera**

TESIS

Que para obtener el título de

Ingeniero Civil

P R E S E N T A

Francisco García Muñoz

DIRECTOR DE TESIS

M.I. Rodrigo Takashi Sepúlveda Hirose



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2026



**PROTESTA UNIVERSITARIA DE INTEGRIDAD Y
HONESTIDAD ACADÉMICA Y PROFESIONAL
(Titulación con trabajo escrito)**



De conformidad con lo dispuesto en los artículos 87, fracción V, del Estatuto General, 68, primer párrafo, del Reglamento General de Estudios Universitarios y 26, fracción I, y 35 del Reglamento General de Exámenes, me comprometo en todo tiempo a honrar a la institución y a cumplir con los principios establecidos en el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, especialmente con los de integridad y honestidad académica.

De acuerdo con lo anterior, manifiesto que el trabajo escrito titulado INSTALACION DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA que presenté para obtener el título de INGENIERO CIVIL es original, de mi autoría y lo realicé con el rigor metodológico exigido por mi Entidad Académica, citando las fuentes de ideas, textos, imágenes, gráficos u otro tipo de obras empleadas para su desarrollo.

En consecuencia, acepto que la falta de cumplimiento de las disposiciones reglamentarias y normativas de la Universidad, en particular las ya referidas en el Código de Ética, llevará a la nulidad de los actos de carácter académico administrativo del proceso de titulación.

FRANCISCO GARCIA MUÑOZ
Número de cuenta: 095220644

PARA LOS SERES MÁS IMPORTANTES EN MI VIDA:

CHANGUITO Y CHANGUIRÚ,

L@S REONSABLES DE QUE EMPEZARA.

FLAIS Y CUBITO,

L@S RESPONSABLES DE QUE SIGUIERA.

HARTZITA

Y

MI AMADA UPIKI

L@S RESPONSABLES DE QUE ACABARA.

MI AMADA FAMILIA

ÍNDICE

OBJETIVO	5
INTRODUCCION.....	6
JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	8
CAPÍTULO I. LAS ENERGÍAS RENOVABLES Y LA SOSTENIBILIDAD.....	10
1.1 CONTEXTO NACIONAL EN EL MARCO DE LA SOSTENIBILIDAD	13
1.2 MÉXICO Y LAS ENERGÍAS RENOVABLES.....	14
1.2.1 CAPACIDAD INSTALADA EN MÉXICO	16
CAPÍTULO II. LA ENERGÍA SOLAR.....	19
2.1 CONTEXTO MUNDIAL.....	19
2.2 COMPARATIVA DE LA SITUACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN MÉXICO FRENTE A EL RESTO DEL MUNDO	21
2.3 LA RADIACIÓN SOLAR	24
2.3.1 INSTRUMENTACIÓN, MEDIDA Y NORMALIZACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR.....	25
2.3.2 RADIACIÓN DIRECTA.....	26
2.3.3 RADIACIÓN GLOBAL Y DIFUSA.....	27
2.3.4 RADIACIÓN INFRARROJA	28
2.3.5 RADIACIÓN ULTRAVIOLETA	28
2.3.6 UNIDADES FÍSICAS Y TÉRMINOS TÉCNICOS DE LA RADIACIÓN SOLAR	30
CAPÍTULO III. SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS.....	32
3.1 LAS CELDAS SOLARES FOTOVOLTAICAS	37
3.1.1 HISTORIA DE LA CELDA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	37
3.1.2 LOS SEMICONDUCTORES	39
3.1.3 FUNCIONAMIENTO DE LAS CELDAS SOLARES	41
3.1.4 CURVA CARACTERÍSTICA DE UNA CELDA SOLAR.....	44
3.2 EL GENERADOR FOTOVOLTAICO	49
3.2.1 MÓDULO FOTOVOLTAICO.....	50
3.2.2 ESTRUCTURA.....	51
3.2.3 CURVA CARACTERÍSTICA DE UN MÓDULO	54

3.2.4 CONDICIONES ESTÁNDARES DE REFERENCIA	54
3.2.5 CONDICIONES NOMINALES DE OPERACIÓN	55
3.2.6 PERÍODO DE RETORNO ENERGÉTICO DE LAS CELDAS FOTOVOLTAICAS	56
3.2.7 DISPERSIÓN Y PÉRDIDAS EN LA CURVA I-V DE GENERADORES FOTOVOLTAICOS.....	59
3.2.8 PROBLEMAS DEL PUNTO CALIENTE	61
3.3 LAS BATERÍAS	63
3.4 EL REGULADOR/CONTROLADOR DE CARGA.....	69
3.5 INVERSORES DE CORRIENTE	70
3.6 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÓNOMOS, AISLADOS U OFF GRID	73
3.7 CONFIGURACIÓN DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÓNOMOS	74
3.8 INVERSOR FOTOVOLTAICO PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÓNOMOS	76
3.9 POSIBLES CONFIGURACIONES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÓNOMOS.....	78
3.10 INTERACCIÓN ENTRE SISTEMAS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS Y BATERÍAS	81
3.11 OBSERVACIONES.....	82
CAPÍTULO IV. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A RED	83
4.1 CONFIGURACIÓN DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A RED	85
4.2 INVERSOR FOTOVOLTAICO PARA SISTEMAS CONECTADOS A RED	87
4.3 CONTADOR	92
4.4 SEGUIDORES SOLARES	92
4.5 POSIBLES CONFIGURACIONES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A RED	94
4.6 EJEMPLOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A RED	97
CAPÍTULO V. INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS INSTALACIONES SOLARES FOTOVOLTAICAS	100
5.1 UBICACIÓN Y ORIENTACIÓN DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.....	100

5.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	101
5.3 MANTENIMIENTO DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA	102
5.4 SEGURIDAD DE LA INSTALACIÓN	104
5.5 RIESGOS ELÉCTRICOS DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA	104
5.5.1 SOBRETENSIONES	105
5.5.2 SOBREINTENSIDADES	105
5.5.3 PUNTOS CALIENTES	106
5.5.4 PÉRDIDA DE AISLAMIENTO	107
5.5.5 PROTECCIÓN DE PERSONAS	107
CAPÍTULO VI. NORMATIVA DE LAS CELDAS SOLARES FOTOVOLTAICAS.....	109
6.1 NORMATIVA MEXICANA	110
6.1.1 CARACTERÍSTICAS QUE SE PUEDEN ACOGER A ESTE PROCEDIMIENTO	115
6.1.2 PROCEDIMIENTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO	116
6.1.3 ESQUEMA DE FACTURACIÓN Y COBRO POR GENERACIÓN DISTRIBUIDA	119
6.1.4 INCENTIVOS FISCALES, PROGRAMAS Y SUBSIDIOS.....	123
6.1.5 CERTIFICADOS DE ENERGÍA LIMPIA	125
6.1.6 LAS NORMAS OFICIALES MEXICANAS(NOM) EN MATERIA ELÉCTRICA.....	127
CAPÍTULO VII. DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO INTERCONECTADO A RED	130
7.1 PROCEDIMIENTO ESTÁNDAR, DATOS, HERRAMIENTAS Y EQUIPO, NECESARIOS PARA DISEÑAR UN SISTEMA	130
CAPÍTULO VIII. INSTALACIÓN DE LA CENTRAL SOLAR EN LA FÁBRICA DE SACOS	136
8.1 UBICACIÓN DE LA FÁBRICA DE SACOS	140
8.2 ELEMENTOS PRINCIPALES Y SU UBICACIÓN	144
8.3 MEMORIA DE CÁLCULO DE LA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA.....	177
8.3.1 TABLA CON LOS RESULTADOS	214
CAPÍTULO IX. PROGRAMACIÓN DE OBRA.....	215
9.1 ANÁLISIS DE COSTOS	215

9.2 FACTIBILIDAD ECONÓMICA.....	227
9.3 INFORME PREVENTIVO DE IMPACTO AMBIENTAL.....	231
CAPÍTULO X. CONCLUSIONES.....	236
BIBLIOGRAFÍA.....	238
ANEXOS.....	244

OBJETIVO

Diseñar un proyecto de una central solar fotovoltaica (CSFV), en una fábrica de sacos de cemento de una cementera, con la finalidad de reducir los costos de facturación de la energía consumida por la misma, mediante la interconexión con la red de suministro eléctrico y aunado a esto, contribuir a la mitigación de los efectos contaminantes que acompañan a este tipo de industria.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo trata sobre el diseño y recomendaciones para la construcción de una instalación de generación eléctrica mediante la implementación de paneles fotovoltaicos. Dichos paneles irán situados sobre la techumbre de una nave industrial de una fábrica de sacos de cemento en una cementera situada en la localidad de un municipio en Hidalgo, México. Así mismo la instalación estará sujeta a los parámetros y limitantes de las capacidades de cargas de la misma nave, considerando para ello, los datos proporcionados por el área de ingeniería civil de la propia cementera. Todo esto permitirá auto consumir y netear con la red eléctrica la energía producida por la central solar mediante la modalidad de Balance Neto o Medición Neta.

La Medición Neta es un procedimiento que permite conectar una instalación solar fotovoltaica a la red eléctrica interna, de esta manera se puede consumir la propia energía producida manteniendo la conexión a la red, cuando la producción de energía es superior al consumo, la energía sobrante se vierte a la red de distribución, obteniendo un saldo de energía por la totalidad de los kWh inyectados a la red. Cuando la producción de energía es inferior al consumo, la energía necesaria para la realización de las actividades productivas se consume directamente de la red eléctrica, pero se podrá utilizar el saldo obtenido anteriormente para compensar en la factura. Para hacer esa Medición Neta se instala un contador bidireccional, que mide la energía suministrada por la red de suministro y la energía fotovoltaica producida por la central solar a la red eléctrica, de forma que a final del período se realice la diferencia entre la energía comprada y la autogenerada en la factura. Esta modalidad se realiza mediante el lapso de un año completo, al finalizar el período se reinicia el balance, por lo que es importante un diseño adecuado para no tener pérdidas energéticas o déficit en el consumo.

Actualmente la actividad de producción energética mediante tecnología fotovoltaica en modo Medición Net, está regulada de acuerdo al Contrato de interconexión para fuente de energía renovable o sistema de cogeneración en mediana escala con la Comisión Federal de Electricidad, (Resolución Núm. RES/054/2010 del 4 de marzo de 2010).

En este proyecto se comienza abordando el marco teórico referente al proyecto, analizando los componentes y características técnicas de la tecnología fotovoltaica, su historia, funcionamiento, justificación científica y sus aplicaciones, así como un análisis de la situación energética a nivel mundial y nacional. Se describe, de forma conceptual, el funcionamiento de una instalación tipo, en la que el componente más importante es el panel fotovoltaico, el cual genera corriente continua cuando es

expuesto a la radiación solar y transformado a corriente alterna mediante inversores de corriente. Asimismo, se abordan las leyes y normativas en México, cabe señalar que el proyecto se planteará a través de la cooperación de departamentos de ingeniería en México y España por lo que se realizará, indistintamente durante esta tesis, la explicación de terminología técnica y equivalencias de diseño en los sistemas de ambos países. Adicionalmente el proyecto explica de manera somera y justifica, la implementación de este tipo de proyectos en nuestro país y la importancia de su promoción a mayor escala.

Posteriormente se realizará el diseño y dimensionamiento de la central proporcionando la memoria de cálculo y los planos unifilares. Referente al proceso constructivo, se presenta la programación, presupuestación y propuesta económica, así como también los análisis previos de factibilidad económica y manifiesto de impacto ambiental con el alcance de informe preventivo.

Para el diseño y construcción de la central se han seguido varios criterios básicos. Los criterios más importantes han sido, para la construcción: análisis costo-beneficio, optimización de los recursos tanto humanos como materiales, capacidad de carga de la nave y modularidad de la instalación, en cuanto al cálculo eléctrico, ubicación de los paneles, optimización de inversores, ramas equilibradas, pérdidas por caída de tensión y conexiones eléctricas disponibles.

JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La tecnología fotovoltaica (FV) se va consolidando como una de las alternativas más sólidas y sostenibles para la generación eléctrica en el mundo. Su actual expansión global responde a una combinación de factores: la reducción constante de costos, el aumento de eficiencia y la creciente conciencia ambiental. En México, donde la radiación solar promedio supera los 5 kWh/m²/día, esta tecnología se presenta como una gran oportunidad estratégica para los sectores industriales de alto consumo energético, tales como la industria cementera, la cual enfrenta el enorme reto de reducir su huella de carbono sin comprometer su productividad.

La industria del cemento es una de las más intensivas en energía y emisoras de CO₂ a nivel mundial. En México, las plantas cementeras operan de manera continua, demandando grandes volúmenes de electricidad para una amplia gama de procesos, como la molienda, el transporte de materiales, la calcinación del Clinker y la fabricación de los diversos insumos para su comercialización, como es el caso de este proyecto, la fabricación de los sacos de cemento.

La incorporación de sistemas fotovoltaicos en estas instalaciones permitiría sustituir parte de la energía proveniente de fuentes fósiles por electricidad limpia y renovable, reduciendo significativamente las emisiones y los costos operativos.

Desde el punto de vista económico, la adopción de energía solar fotovoltaica ofrece beneficios tangibles para la empresa cementera:

- Reducción de costos eléctricos: Al generar su propia energía, las plantas pueden disminuir su dependencia de la red y estabilizar sus gastos ante fluctuaciones tarifarias.
- Economías de escala: Las grandes superficies disponibles en las plantas (techos industriales, terrenos adyacentes) facilitan la instalación de sistemas fotovoltaicos de alta capacidad, con costos unitarios más bajos por kilowatt instalado.
- Retorno de inversión atractivo: Los sistemas fotovoltaicos tienen una vida útil superior a 25 años y requieren bajo mantenimiento, lo que garantiza ahorros sostenidos y una rápida recuperación del capital de inversión.
- Incentivos fiscales y reputacionales: La inversión en energías limpias puede acceder a beneficios fiscales y mejorar la imagen corporativa ante clientes, inversionistas y comunidades locales.

El integrar el uso de energía renovable en la industria cementera, además de contribuir a los objetivos nacionales y compromisos adquiridos internacionalmente. La producción de energía solar fotovoltaica en su modalidad de generación distribuida, le permitirá a la empresa ser partícipe en los aún, pequeños pasos hacia una transición no sólo energética, sino también de conciencia ambiental. Para la industria cementera, la cual posee un historial de altos niveles de contaminación, la implementación de una central solar se traduce en una reducción directa de su huella de carbono y lanza un poderoso mensaje de autoconciencia y responsabilidad social sobre las acciones de las que son responsables.

En síntesis, la tecnología fotovoltaica no solo representa una solución sostenible, sino también una estrategia de competitividad para la industria cementera mexicana. Su implementación permite a las empresas reducir costos, mejorar su eficiencia energética y fortalecer su compromiso ambiental. En un contexto global donde la sostenibilidad se ha convertido en un factor clave de éxito empresarial, la energía solar emerge como el aliado perfecto para transformar el cemento mexicano en un producto más limpio, rentable y responsable con el planeta.

CAPÍTULO I. LAS ENERGÍAS RENOVABLES Y LA SOSTENIBILIDAD

ENERGÍAS RENOVABLES

Para la física, la energía es la capacidad que tiene un sistema para producir trabajo o calor, su definición es “La capacidad de un sistema para realizar trabajo” (RAE, 2014). Es energía el esfuerzo que hace una persona cuando camina, corre o gira los pedales de una bicicleta. Energía es el movimiento continuo del aire, del caudal de un río, el movimiento de las olas del mar o el calor que desprende una fogata. Desde siempre, la humanidad ha utilizado las fuentes de energía para satisfacer sus necesidades. En un principio mediante su propia fuerza física o la de los animales, después aprendería a usar la energía del viento y del agua, posteriormente aprendió a aprovecharse de los combustibles fósiles, así como de la energía nuclear.

Sin embargo, de las actividades antrópicas, es el consumo de energía la principal fuente de emisiones nocivas y de contaminantes en el mundo, así mismo es el principal factor de la alteración en el medio ambiente.

En los últimos 100 años la temperatura media mundial aumentó 0,6°C y los científicos han certificado que se viene manifestando un incremento constante en la temperatura hasta la fecha, rompiendo récords cada año y siendo el período del 2015 al 2025 el más caluroso registrado en nuestros tiempos. Las previsiones hablan de un aumento de la temperatura media que puede ir de 1,4 a 5,8°C entre 1990 y 2100, lo que trastocaría los ciclos del agua y provocaría un aumento del nivel del mar, por el deshielo que sufrirían, en parte, los casquetes polares.

Para tratar de evitarlo, organizaciones internacionales han hecho intentos en para tratar de mitigar los efectos del progresivo calentamiento mundial, en 1997 se firmó el Protocolo de Kioto, que establece un calendario de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, en función de las emitidas por cada país. El 12 de diciembre se llevó a cabo la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el cambio climático mejor conocido como el Acuerdo de París (United Nations, 2015).

Los objetivos se centran en acciones a largo plazo, y quedan establecidos como una guía para todos países involucrados. Los puntos más destacados son los siguientes:

- La reducción sustancial de las emisiones de gases que provocan el efecto invernadero, causantes directamente del aumento de la temperatura global de 2°C en el último siglo.
- Revisión cada lustro respecto a los compromisos de cada uno de los participantes.

- Proporcionar financiación a los países en desarrollo para que se pueda mitigar el cambio climático, asimismo que puedan fortalecer y mejorar la adaptación de los mismos a los impactos de dicho cambio climático global.

Cabe mencionar que el Acuerdo es un tratado de carácter vinculante, éste entró en vigor el 4 de noviembre del 2016. México firmó el Acuerdo además de otros 193 países más la Unión Europea. En él se incluyen los compromisos de cada uno de los países dentro de sus alcances para reducir sus emisiones y colaborar de manera conjunta en los objetivos del tratado. El Acuerdo de París proporciona a los países un marco para un control y una información transparente sobre los objetivos pactados en materia climática. Asimismo, proporciona a los países desarrollados una hoja de ruta para que de manera constante ayuden a las naciones en desarrollo (United Nations, 2015).

Es evidente que si en los próximos años no se desarrollan actuaciones que cambien esta tendencia no será posible alcanzar los objetivos acordados. Otros países sí lo están logrando. Alemania ha reducido sus emisiones, en Estados Unidos han aumentado, pero en ningún país industrializado han crecido tanto como en México.

Lejos de ser inagotables, los combustibles fósiles se están acabando. Hasta el punto de que su control estratégico provoca conflictos políticos y sociales en el mundo, como se ha plasmado en la guerra de Irak, la primera guerra del Golfo o las revueltas acaecidas recientemente en Venezuela o Irán. Analistas de todo el mundo coinciden en que, más allá de los argumentos esgrimidos por la Administración de Estados Unidos, actor principal en los citados conflictos, se vislumbra un fenómeno que afecta a todos los países industrializados: su adicción al petróleo.

Un informe de BP en junio de 2003, cifraba el agotamiento de las reservas mundiales de petróleo en 38 años y las de gas natural en 61 años, suponiendo que la producción y el consumo de estos combustibles fósiles se mantuvieran estable, lo que no parece realista. El inevitable agotamiento de estos combustibles, provocará grandes tensiones en los mercados que, a juzgar por lo visto hasta ahora, pueden traspasar los ámbitos económicos. En cuanto a las reservas de carbón, se estiman mucho mayores, para varios cientos de años. BP en 2025, en su informe sobre energía, titulado "Energy Outlook 2025" (BP, 2025), presenta dos escenarios: Trayectoria Actual y Escenario por debajo de los 2° (grados). Estos escenarios ilustran las tendencias clave y las incertidumbres en el desarrollo de los mercados energéticos hasta 2050. BP en su reporte puntualiza la importancia de la generación renovable y en especial centra sus expectativas sobre la energía fotovoltaica y eólica, las que sin duda alguna jugarán un papel muy importante en la matriz del sistema eléctrico mundial en el futuro inmediato. El informe resalta previsiblemente más del 80% de aumento de la demanda

de energía eléctrica hasta 2035, con China concentrando casi la mitad de esta expansión. Para 2050, se espera que el conjunto solar-eólico aporten más de la mitad del suministro eléctrico mundial (BP, 2025).

Vivir pendientes del petróleo tiene sus riesgos, toda vez que las principales reservas se concentran en áreas del planeta sobre las que penden constantemente incertidumbres políticas que se trasladan de inmediato a la economía. Y por más analistas que trabajen sobre previsiones de precios del crudo, nadie sabe a ciencia cierta qué puede pasar en el futuro, ni siquiera en el más inmediato.

Sigue siendo necesario aumentar en mayor medida todas las medidas mitigantes relativas al cambio climático para de esta manera, poder alcanzar los objetivos en los acuerdos internacionales. Cada vez más, el involucramiento de los países, regiones, ciudades y empresas es más patente, parece que la conciencia ambiental comienza a formar parte de la agenda de la sociedad, estableciendo objetivos de neutralidad de carbono. Afortunadamente las soluciones de cero emisiones se están volviendo competitivas en todos los sectores económicos y actualmente representan el 25 % de las emisiones. La tendencia de conciencia medioambiental cada vez es más notoria en los sectores de la energía y el transporte, y permite la creación de muchas nuevas oportunidades de negocio.

SOSTENIBILIDAD

El concepto de sostenibilidad se describe como: “La capacidad de satisfacer nuestras necesidades del presente sin comprometer los recursos y el bienestar de las generaciones futuras” (UNICEF, 2025). El concepto de desarrollo sostenible se ha convertido en un eje fundamental de las políticas públicas de numerosos países y de las estrategias empresariales en el siglo XXI. La necesidad de satisfacer las demandas energéticas actuales sin comprometer los recursos de las generaciones futuras ha impulsado la búsqueda de alternativas limpias y renovables. De entre todas las fuentes de energía, son las renovables las que se producen de forma continuada, además de ser aparentemente inagotables a escala humana. En este contexto, la energía solar, eólica, hidráulica y la biomasa se están consolidando como pilares de una transición energética que busca mitigar los efectos del cambio climático, así como reducir la dependencia de los combustibles fósiles.

A nivel global, los países han adoptado diferentes ritmos y estrategias:

- Alemania y la Unión Europea: han establecido metas claras de neutralidad de carbono para 2050, con una matriz energética diversificada que incluye solar, eólica, biomasa e hidrógeno verde.

- China: lidera la capacidad instalada de energías renovables, especialmente solar y eólica, aunque aún depende fuertemente del carbón.
- Chile: se ha convertido en referente latinoamericano gracias al desierto de Atacama, una de las zonas con mayor radiación solar del planeta, lo que le permite generar electricidad fotovoltaica a costos de los más bajos del mundo.
- Estados Unidos: presenta un crecimiento acelerado en solar y eólica, impulsado por políticas estatales y corporativas, aunque con variaciones según la administración federal.

Estos casos muestran que el desarrollo sostenible no es solo una cuestión ambiental, sino también una estrategia económica y geopolítica: los países que invierten en renovables aseguran independencia energética, reducen costos y fortalecen su competitividad global.

1.1 CONTEXTO NACIONAL EN EL MARCO DE LA SOSTENIBILIDAD

México, actualmente, con su enorme potencial solar y eólico, además de su capacidad industrial y económica, se está convirtiendo en un potencial actor clave en América Latina. A pesar de enfrentar retos en materias de políticas, financiamiento e infraestructura. En comparación, países como China, Alemania y en Latinoamérica Chile, tienen un despliegue y diversificación más evidentes.

Según la Prospectiva de Energías Renovables 2012–2026 de la SENER (SENER, 2012), México ha identificado un potencial solar promedio superior a 5 kWh/m²/día en gran parte del territorio, lo que lo coloca entre los países con mayor irradiación global.

Nuestro país posee condiciones privilegiadas para el desarrollo de energías renovables:

- Potencial solar: irradiación promedio de 5–6 kWh/m²/día en gran parte del territorio, comparable con los países líderes en energía solar.
- Potencial eólico: regiones como Oaxaca y Tamaulipas cuentan con vientos constantes y de alta velocidad, ideales para parques eólicos.

Los recientes avances en proyectos de alto calado tales como la instalación de parques solares en Coahuila, Sonora y Chihuahua, proyectos eólicos en el Istmo de Tehuantepec y programas de generación distribuida para hogares e industrias, indican que el país ha comenzado a darse cuenta del potencial en materia de renovables.

Sin embargo, México enfrenta retos estructurales, tales como la falta de infraestructura de transmisión en zonas con mayor irradiación, políticas energéticas que han mostrado cierta inestabilidad, lo que genera incertidumbre para inversionistas y una alta dependencia de combustibles fósiles, especialmente gas natural y petróleo, que aún dominan la matriz energética.

TABLA 1.1 Comparativa de México en el mundo en el rubro de sostenibilidad.

ASPECTOS EN 2025	MÉXICO	ALEMANIA	CHINA	CHILE
IRRADIACIÓN PROMEDIO	5-6 kWh/m ² /día	3 - 4 kWh/m ² /día	4 - 5 kWh/m ² /día	6 - 7 kWh/m ² /día
CAPACIDAD INSTALADA FV	~12 GW	>70 GW	>400 GW	~10GW
DEPENDENCIA FÓSIL	Alta (gas y petróleo)	Media	Alta (carbón)	Media
POLÍTICAS DE TRANSICIÓN	Avances, pero inestables y confusas	Muy consolidadas	De consideración prioritaria y masivas	incentivos y claros

Fuente: Informe Mundial sobre sostenibilidad ONU (Naciones Unidas, 2023) .

Es importante darse cuenta que el desarrollo sostenible y las energías renovables son más que una tendencia ya son una necesidad global y actuar en consecuencia. México, con su enorme potencial solar y eólico, tiene la oportunidad de convertirse en líder regional, pero requiere políticas más firmes, infraestructura robusta y una visión de largo plazo. Comparado con países como Alemania o Chile, México aún está en proceso de consolidar su transición energética, pero posee ventajas naturales que, si se aprovechan correctamente, pueden transformar su economía y posicionarlo como un referente mundial en sostenibilidad (SENER, 2012).

1.2 MÉXICO Y LAS ENERGÍAS RENOVABLES

El potencial desarrollo de la energía renovable en México constituye uno de los pilares de la transición energética hacia un modelo más sostenible. El país, gracias a su ubicación geográfica y diversidad climática, posee un potencial extraordinario en fuentes como la solar, la eólica y la hidroeléctrica. Analizar su evolución histórica, la situación actual y las perspectivas futuras permite comprender el papel estratégico que estas tecnologías desempeñan en la matriz energética nacional.

HISTORIA

Durante gran parte del siglo XX, la hidroelectricidad fue la principal fuente renovable en México, con grandes presas que abastecieron a la población y a la industria. La

primera presa en México fue la Presa San José, ubicada en el estado de San Luis Potosí, esta se construyó durante el porfiriato en 1903. Actualmente el país cuenta con alrededor de 500 presas de distintos tamaños a lo largo de toda su extensión territorial. A partir de la década de 2000, el país comenzó a diversificar su matriz, impulsando proyectos eólicos en Oaxaca, donde los vientos constantes del Istmo de Tehuantepec ofrecían condiciones óptimas. Posteriormente, entre 2015 y 2020, la energía solar fotovoltaica experimentó un crecimiento acelerado, especialmente en estados del norte como Sonora y Chihuahua, gracias a su elevada irradiación solar (5–6 kWh/m²/día).

ACTUALIDAD

En 2026, México cuenta con más de 30 GW de capacidad instalada renovable, distribuidos de la siguiente manera:

- Solar fotovoltaica: Aproximadamente con 12 GW, con parques solares y generación distribuida en techos industriales y residenciales.
- Eólica: Con alrededor de 10 GW, concentrados en Oaxaca, Tamaulipas y Baja California.
- Hidroeléctrica: Poco más de 8 GW, aún relevante, pero con menor crecimiento reciente.
- Biomasa y otras fuentes: Menos 1 GW, con aplicaciones limitadas en agroindustrias.

FUTURO

Las perspectivas que se tienen, apuntan a una expansión más significativa, se prevé que:

- El gobierno ha anunciado planes para agregar al SEN, unos 6,000 MW adicionales de capacidad renovable con inversiones superiores a 9,000 USD.
- Se busca que la generación por parte del Estado ronde el 54% de la energía nacional, con una presencia fuerte de energías limpias.
- Se insistirá en la distribuida y que siga creciendo en industrias de alto consumo como, en el caso del presente trabajo, la cementera, la siderúrgica, la minera y la manufacturera, donde el ahorro energético y la reducción de emisiones son tan necesarios como para estratégicos.
- Se buscará el mejoramiento de la infraestructura de transmisión, que es necesario ampliar para adecuarla y así aprovechar las zonas de mayor irradiación solar, asimismo se reconoce la necesidad de políticas estables que den confianza a inversionistas nacionales e internacionales.

En el ámbito de la generación de energía renovable, México ha pasado de depender casi exclusivamente de la generación hidroeléctrica a proyectarse hacia un sistema eléctrico más diversificado, con la solar y la eólica como elementos principales en esa transición. Nuestro país se encuentra en un punto clave, cuenta con una capacidad instalada de alrededor de 30MW y de éstos, 12.8 MW propiamente hablando, pertenecen a generación de energía fotovoltaica. Si bien es cierto, existen planes de expansión, lo que indica que México puede consolidarse como uno de los líderes en energías limpias de la región, pero la clave radicará en acertar en la combinación de política claras y firmes, además de asegurar una infraestructura robusta, estratégica y además, segura (SISTEMA DE INFORMACIÓN ENERGÉTICA, 2026).

1.2.1 CAPACIDAD INSTALADA EN MÉXICO

El peso que tienen las energías limpias en México representa ya un 30.8% de su matriz energética, la distribución de la capacidad instalada, en las distintas fuentes de origen, se muestran en la Tabla 1.2. Esta tabla refleja una distribución en la actualidad (2025-2026) y podemos visualizar cuáles de las tecnologías son las que mantienen un liderazgo en el proceso de transición hacia las energías renovables en el país. Podemos apreciar que las energías fotovoltaicas y eólicas ya concentran casi un 73% de la participación, mientras que la generación hidroeléctrica ha sido relegada a un 26%, porcentaje menor pero aún significativo (SISTEMA DE INFORMACIÓN ENERGÉTICA, 2026).

Tabla 1.2 Capacidad instalada en el ámbito de las energías renovables en México.

FUENTE RENOVABLE	CAPACIDAD INSTALADA	PARTICIPACION APROXIMADA
SOLAR FOTOVOLTAICA	12.2 GW	39.80%
EÓLICA	10.1 GW	32.90%
HIDROELÉCTRICA	8GW	26.10%
BIOMASA Y OTRAS	0.5 GW	1.20%
TOTAL RENOVABLE:	~30.8GW	

Fuente: *Sistema de Información Energética (SIE), 2026. Balance Nacional de Energía: Energía secundaria* (SISTEMA DE INFORMACIÓN ENERGÉTICA, 2026).

Puntos a considerar:

Gracias a proyectos como los parques solares en Sonora Chihuahua y Baja California, además de la enorme presencia en Generación Distribuida, la energía solar fotovoltaica lidera la ‘sub-matriz’ renovable.

La energía eólica tiene mayor presencia en los estados de Oaxaca, Tamaulipas y Baja California, con un 35% de factores de carga.

En Hidroeléctrica, se tiene un reto constante por las limitantes de suministro debido a sequías constantes y la variabilidad hidrológica, aunque se mantiene relativamente estable contando con alrededor de 500 presas en todo el país.

La geotermia y el Biogás, aunque con una participación menor, tienen una participación significativa que hace que se incluyan en la matriz energética nacional.

La Tabla 1.3, nos muestra una comparación de la capacidad instalada basada en los diferentes recursos renovables disponibles en el país, y a su vez, la capacidad instalada de origen no renovable. Esta comparativa nos permite apreciar y entender el peso relativo de cada fuente de energía en la matriz energética nacional. Asimismo, en términos de sostenibilidad, podemos comprender hacia a donde se dirige el país.

Tabla 1.3 Participación en la matriz energética de México, energías renovables y no renovables.

Tipo de recurso	Capacidad instalada (GW) Aprox.	Participación aproximada
RENOVABLES	30.8 GW	32%
Solar fotovoltaica	12.2 GW	12.70%
Eólica	10.1 GW	10.50%
Hidroeléctrica	8.0 GW	8.30%
Biomasa y otras	0.5 GW	0.50%
NO RENOVBLES	65 GW	68%
Gas natural	40 GW	42%
Carbón	6 GW	6%
Petróleo y derivados	12 GW	12%
Nuclear	2.6 GW	2.70%
Capacidad total nacional aproximada: 95.8 GW		

Fuente: *Balace Nacional de Energía: Electricidad* (SISTEMA DE INFORMACIÓN ENERGÉTICA, 2026).

A considerar

Con un tercio de la totalidad de la capacidad instalada del país, la energía renovable ya representa casi un tercio del total nacional. Las principales son la energía fotovoltaica y la energía eólica.

Los generadores convencionales fósiles, tales como lo son el petróleo, el gas natural y el carbón, aún predominan la matriz con casi dos tercios.

La energía nuclear proviene de una central y su participación es marginal.

El factor de carga, en las energías renovables son: Solar (20-25 %), eólica (30-40 %), hidroeléctrica (35-45 %). Todo ello repercute en la energía generada frente a la capacidad nominal (SISTEMA DE INFORMACIÓN ENERGÉTICA, 2026).

CAPÍTULO II. LA ENERGÍA SOLAR

El sol está en el origen de casi todas las cosas en la naturaleza, las energías renovables no son la excepción, es el responsable de diferencias de presión que dan origen a los vientos, origen de la energía eólica. Gracias al sol existe el ciclo del agua, por consiguiente, existen las lluvias, por lo tanto, la energía hidráulica también depende del sol. Las personas, animales y plantas se sirven del sol para vivir y crecer. Finalmente, del sol se aprovechan directamente las energías solares fotovoltaicas y las energías térmicas.

Por otro lado, es importante recalcar que, las energías renovables son inagotables. Utilizar la energía solar para producir calor o electricidad tiene una repercusión nula en la magnitud de energía que el astro manda a la tierra. El viento es un caso similar. Por muchos aerogeneradores que usaran la fuerza del viento y la convirtieran en electricidad, jamás se pondría en riesgo la existencia de ese recurso. Caso contrario a la biomasa, el uso indiscriminado de ésta ocasionaría un desequilibrio ambiental y su segura escasez. Un aprovechamiento excesivo de la biomasa natural -en forma de leña, por ejemplo -provocaría una rápida degradación de los ecosistemas naturales. Aun así, sigue siendo la base del consumo energético de los países en vías de desarrollo que, en muchos casos, explotan las masas vegetales por encima de sus posibilidades productivas, lo que provoca problemas de erosión y desertización. A partir de la década de 1970, la crisis del petróleo impulsó la investigación en energías alternativas, y la solar fotovoltaica comenzó a ganar terreno. En los años 2000, con la reducción de costos de los módulos y el avance de tecnologías como el silicio monocristalino y el silicio policristalino, la energía solar inició su expansión masiva.

2.1 CONTEXTO MUNDIAL

Hoy en día, la energía solar es la fuente renovable de mayor crecimiento en el mundo. Las perspectivas son tremendamente prometedoras:

- La capacidad instalada global supera los 2,200 GW en 2025, con China, Estados Unidos, India y la Unión Europea como líderes.
- Crecimiento anual sostenido, en 2025 se añadieron 511 GW solares, cifra récord que representó la mayor parte de los 692 GW renovables incorporados ese año.
- La energía solar jugará un papel central en la producción de hidrógeno verde, considerado un vector energético clave para sectores difíciles de electrificar como el transporte marítimo y la industria pesada.

- En cuanto a las proyecciones, la capacidad solar mundial podría superar los 3 TW en 2030, consolidándose como la principal fuente renovable.
- El desarrollo de paneles bifaciales, celdas de perovskita y sistemas híbridos con almacenamiento aumentará la eficiencia y reducirá costos.

El crecimiento exponencial de la energía solar, influenciado por la reducción en los costos de adquisición de los materiales y de los avances técnicos, la han impulsado a convertirse de una tecnología experimental a una de las opciones más competitivas y que, con seguridad, lideraran el proceso de la transición energética en todo el mundo. Una integración de ésta, junto con las posibilidades de almacenamiento mayor, redes inteligentes y el hidrogeno verde, consolidarán su presencia en la construcción de un sistema energético sostenible.

En el informe anual de la IEA (International Energy Agency) del 2024, se puntualiza la rápida expansión de la tecnología fotovoltaica en casi todas las latitudes del mundo, puntualmente, el informe señala lo siguiente:

- En 2024, la capacidad fotovoltaica acumulada mundial superó los 2,2 TW, con China sola rebasando 1 TW.
- Puesta en marcha de al menos 554 GW de nuevos sistemas FV en 2024, posiblemente alcanzando 601,9 GW.
- China instaló hasta 357,3 GW, lo que representa casi el 60% de la nueva capacidad mundial.
- Sin contar a China, se agregaron 244.6GW a la matriz mundial, la Unión Europea es quien lidera con Estados Unidos y la India, con 62.6GW, 47.1GW y 31.9GW respectivamente.
- Con 17GW y 14.3GW respectivamente, Pakistán y Brasil emergen como mercados clave.
- México y otros 33 países, con 1GW de nueva capacidad instalada en 2024, ya superan los 10GW de capacidad instalada.
- La energía FV de gran escala lidera las instalaciones renovables a nivel mundial, aunque la Generación Distribuida sigue siendo fuerte en mercados como los alemanes, turcos y brasileños.
- La fotovoltaica representó más del 75% de toda la nueva capacidad de generación renovable instalada en el mundo en 2024.

Fuente: (International Energy Agency, 2025)

Como ejemplo del potencial de la energía solar fotovoltaica, basta decir que, para generar mediante sistemas fotovoltaicos toda la electricidad que la humanidad consumió durante el año 2025 (29.5 billones de kWh) (International Energy Agency, 2025), se necesitaría una superficie de 131,000 km². Esta superficie constituye menos del 0.3% de la superficie terrestre de nuestro planeta y es equivalente a la superficie de países como Grecia o Nicaragua.

2.2 COMPARATIVA DE LA SITUACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN MÉXICO FRENTE A EL RESTO DEL MUNDO

En 2025, los países líderes en energía solar son China, Estados Unidos, India y la Unión Europea, con China a la cabeza al superar los 357 GW instalados. México se encuentra en crecimiento, pero aún lejos de estas potencias. Asia concentra más del 60% de la capacidad mundial.

La capacidad global solar fotovoltaica durante 2024 se ubica en más de 2.25 TW, con un crecimiento del 37.5% respecto a 2023. En la actualidad la energía solar suministra más del 10% del consumo eléctrico mundial

De acuerdo con datos de la IEA (International Energy Agency), México ocupa el puesto 33 de 40 miembros medidos en términos de penetración fotovoltaica, con una penetración del 6.6% de la energía total consumida en el país proveniente del sol, ubicándose justo debajo de Corea del Sur (6,8%) y por encima del Reino Unido (5,8%).

Brasil fue el país latinoamericano que instaló más nueva capacidad fotovoltaica, con unos 14,3 GW, elevando su capacidad total a alrededor de 52 GW.

México también está por delante de países como Argentina o Colombia, que cuentan con aproximadamente 1,4 GW cada uno.

En cuanto a instalación de capacidad fotovoltaica, México añadió unos 1,1 GW de generación solar en 2024. Sin embargo, esta cifra solo refleja las estadísticas oficiales de la SENER sobre instalaciones fotovoltaicas de generación distribuida en el país.

Según varias estimaciones, México cuenta actualmente con alrededor de 12 GW de energía fotovoltaica instalada en todo el territorio y se encuentra entre los 34 países identificados por la IES que aumentaron su capacidad fotovoltaica en más de 1 GW.

China sigue siendo el mayor mercado fotovoltaico por un amplio margen, añadiendo 357,3 GW en 2024, alcanzando 1 TW de capacidad instalada, lo que representa aproximadamente la mitad de las instalaciones fotovoltaicas mundiales.

Entre los 10 países con mayor capacidad instalada en 2024 y los 10 con mayor capacidad acumulada, solo hubo un caso atípico: la IES estima que Pakistán instaló 17 GW de solar, convirtiéndose en el cuarto país que más capacidad fotovoltaica añadió.

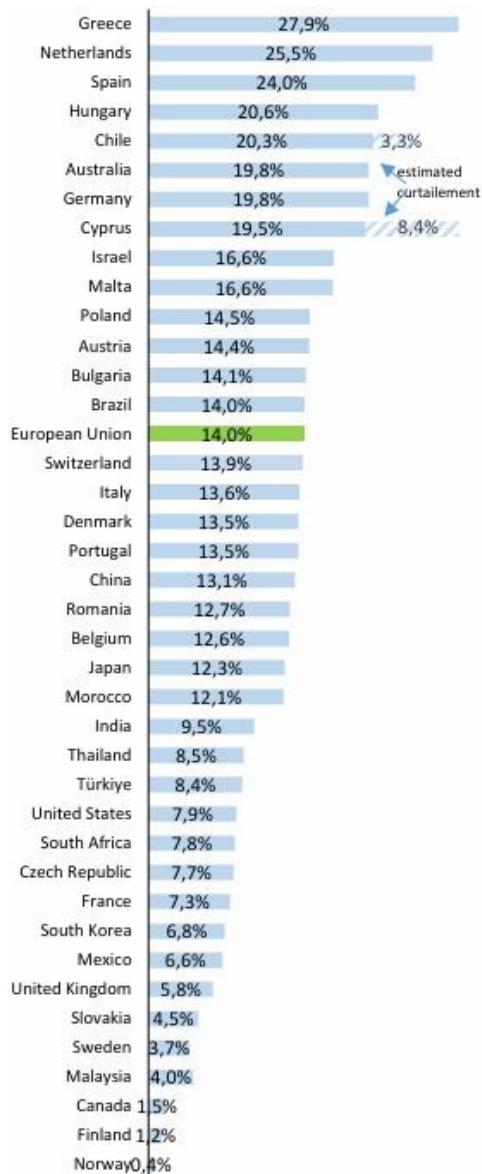


Figura 2.1 Penetración de la energía fotovoltaica entre los 40 miembros de la International Energy Agency, ubicación de México en el lugar 33.

Fuente: International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme. Imagen página 16 (Gaëtan Masson, 2025).

En Latinoamérica, al contar con alrededor de poco más de 12 GW instalados (8,2 GW a gran escala y 4,4 GW en generación distribuida), México se coloca en el tercer puesto en penetración regional detrás de Chile (20%) y Brasil (14%), según la Agencia Internacional de Energía (Gaëtan Masson, 2025), en informes adicionales de organismos como Solar Power Europe y la IRENA (International Renewable Energy Agency).

Tabla 2.1 Comparativa de México en relación a la capacidad instalada en el rubro de energía fotovoltaica, 2025.

País	Capacidad instalada FV (2025)	Nueva capacidad añadida en 2024	Penetración FV en la matriz eléctrica	Posición regional/global
China	1,200 GW (1,2 TW)	357,3 GW	~20%	Líder mundial absoluto
Unión Europea	260 GW	62,6 GW	~15%	2º bloque global
Estados Unidos	180 GW	47,1 GW	~7%	2º país individual
India	85 GW	31,9 GW	~8%	3º país asiático
Japón	80 GW	~5 GW	~10%	4º país asiático
Brasil	52 GW	14,3 GW	~14%	1º en Latinoamérica
Chile	20 GW	~2 GW	~20%	2º en Latinoamérica
México	12 GW	1,1 GW	~6,6%	3º en Latinoamérica
Pakistán	17 GW	17 GW	~10%	4º en capacidad añadida
Argentina	1,4 GW	<1 GW	~2%	Rezagado en la región
Colombia	1,4 GW	<1 GW	~2%	Rezagado en la región

Fuente: International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme. (International Energy Agency, 2025)

Puntos importantes:

Tanto en manufactura como en instalación, China es domina a escala mundial.

USA se inclina a la Generación Distribuida y bancos de baterías para almacenamiento de energía.

India se enfoca en electrificación rural y producción a gran escala.

Europa es punta de lanza en lo referente a políticas de transición y el autoconsumo, Alemania y España destacan como protagonistas, aunque, políticas polémicas recientes en España han retasado su avance.

Japón apuesta en aprovechamiento de espacio urbanos y la Generación Distribuida y la eficiencia.

México y Latinoamérica tienen un enorme potencial, sobre todo en proyectos industriales y Generación Distribuida. México aún enfrenta retos en cuanto a infraestructura y políticas, a pesar de contar con recurso envidiables.

2.3 LA RADIACIÓN SOLAR

La energía solar es la resultante de la fusión nuclear que ocurre en el interior del Sol. Este proceso libera una enorme cantidad de energía que constituye la base del funcionamiento de nuestro entorno natural. La radiación solar que alcanza la superficie terrestre es aproximadamente 10.000 veces superior al consumo energético actual de toda la humanidad.

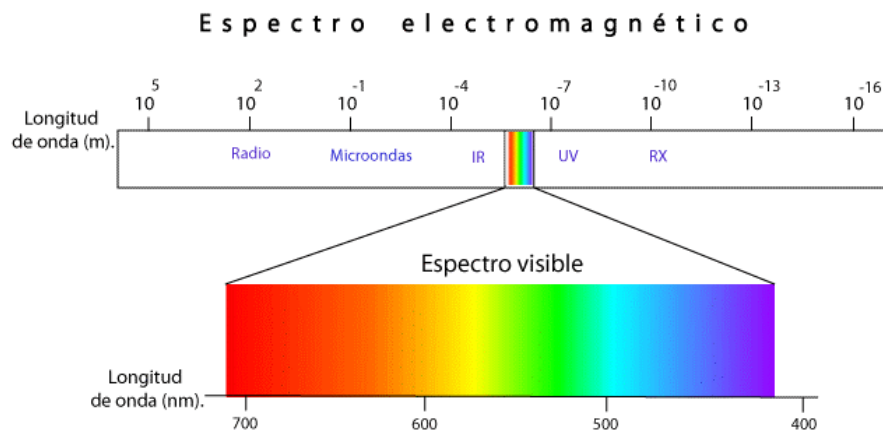
La radiación es la transferencia de energía mediante ondas electromagnéticas (O.E.M.), únicas ondas que no necesitan medio material para su propagación, ya que en sí mismas encierran un proceso de autogeneración. La velocidad con que se propagan en el vacío es la misma que todas las longitudes de onda, siendo $c=299,792$ km/s. Las O.E.M. se caracterizan por su longitud de onda, λ , o por su frecuencia ν , las cuales están directamente relacionadas por la expresión (De Juana Sardón, 2003):

$$c = \lambda \cdot \nu$$

Tanto la longitud de onda y la frecuencia de las O.E.M., son factores clave para determinar la cantidad de energía, la capacidad de penetración y la visibilidad de la radiación solar.

Estas ondas presentan distintas longitudes de onda. Al conjunto de todas ellas se le conoce como espectro electromagnético, mientras que el conjunto específico de longitudes de onda emitidas por el Sol recibe el nombre de espectro solar (Ministerio del Medio Ambiente Rural y Marino de España, 2025).

Figura 2.2 El espectro electromagnético y sus longitudes de onda.



Fuente: Internet. Tomada de Bloglavisión (S/A, 2015) Imagen libre de derechos de autor.

La proporción de la radiación solar en las distintas regiones del espectro es aproximadamente:

- Ultravioleta: 7%
- Luz visible: 43%
- Infrarrojo: 49%
- El resto: 1%

(Ministerio del Medio Ambiente Rural y Marino de España, 2025)

La importancia de la medición en la radiación solar radica, entre otras cosas, permite entender el clima y sus ciclos, mejorar la calidad de vida de las personas y de los ecosistemas, optimizar recursos y anticipar riesgos medioambientales. Sin omitir que el estudio de la misma es parte fundamental en la producción de energía, motivo principal del estudio en el presente trabajo.

2.3.1 INSTRUMENTACIÓN, MEDIDA Y NORMALIZACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR

En los últimos años, el avance de la radiometría absoluta ha permitido mejorar de manera significativa la precisión en la medición de la radiación. Como resultado, se estableció una Referencia Radiométrica Mundial (WRR, World Radiometric Reference por sus siglas en inglés), definida a partir de numerosas comparaciones realizadas entre 15 pirheliómetros absolutos individuales.

La WRR se considera representativa de las unidades físicas de irradiancia total, con una precisión superior a $\pm 0,3$ %. Fue adoptada en 1979 por el Congreso de la Organización Meteorológica Mundial (O.M.M.), que en consecuencia creó el Grupo Mundial de Normalización (WSG) (Ministerio del Medio Ambiente Rural y Marino de España, 2025).

Para garantizar la estabilidad a largo plazo de esta referencia, el WSG emplea al menos cuatro pirheliómetros absolutos de distinto diseño, los cuales se comparan entre sí al menos una vez al año. Este grupo se mantiene en el Centro Mundial de Calibración Radiométrica, ubicado en Davos, Suiza. (Ministerio del Medio Ambiente Rural y Marino de España, 2025)

2.3.2 RADIACIÓN DIRECTA

La radiación solar directa se determina utilizando pirheliómetros, instrumentos diseñados para aislar la radiación proveniente exclusivamente del disco solar y de una región anular del cielo adyacente. Este aislamiento se logra mediante el empleo de obturadores. En los modelos modernos, la región anular considerada corresponde a un semiángulo aproximado de $2,5^\circ$ desde el centro del Sol.

Sistema de Visor y Alineación

Los pirheliómetros (Figura 2.3), suelen incorporar un visor óptico que facilita la correcta orientación del sensor. En este dispositivo, un punto luminoso se superpone con una marca central cuando la superficie receptora se encuentra perfectamente perpendicular al haz de radiación solar directa. Este mecanismo asegura la precisión en la alineación del instrumento respecto al Sol.

Figura 2.3 Pirheliómetro, dispositivo para medir la radiación solar directa.



Fuente: Internet, imagen generada por IA.

Requisitos de seguimiento solar

Debido a que es indispensable mantener la orientación precisa en el proceso de observación, pirheliómetros se deben soportar sobre dispositivos de seguimiento solar de alta precisión (trackers). Estos dispositivos permiten la compensación de la trayectoria solar, garantizando la fiabilidad en las mediciones del aparato.

2.3.3 RADIACIÓN GLOBAL Y DIFUSA

Se sabe que la radiación global es la suma de la radiación solar directa y la radiación difusa sobre una superficie horizontal. Este flujo de energía incluye tanto la componente directa proveniente del sol como la componente difusa generada por la dispersión de dicha radiación al atravesar la atmósfera terrestre. Para su medición se utilizan los piranómetros, el funcionamiento principal se basa en un sensor termoeléctrico que utiliza una cupulita de cristal que permite el paso del espectro solar. Al detectar una diferencia entre placa de metal de diferentes materiales produce una tensión proporcional a la radiación.

Figura 2.4 Piranómetro. Determina la radiación global.



Fuente: Internet. Imagen sin derechos de autor

La cuantificación de la radiación global se realiza mediante el piranómetro (Figura 2.4), instrumento diseñado para medir la irradiancia total incidente sobre una superficie. En determinadas aplicaciones, el piranómetro puede orientarse sobre superficies inclinadas o colocarse en posición invertida para registrar la radiación reflejada, conocida como albedo.

Para medir exclusivamente la componente difusa de la radiación solar, se emplea un sistema de sombreado o pantalla que bloquea la radiación directa del Sol. Este procedimiento permite obtener datos precisos sobre la radiación dispersa en la atmósfera, fundamentales para el análisis del balance energético y los estudios de climatología y meteorología.

2.3.4 RADIACIÓN INFRARROJA

Los pirgeómetros son el instrumento utilizado en la medición de la radiación de onda larga (Figura 2.5). La mayoría de estos aparatos eliminan o filtran las longitudes de onda cortas mediante filtros que presentan una transparencia constante a longitudes de onda largas mientras que son casi opacos a longitudes de onda más cortas (300 a 3000nm) (Ministerio del Medio Ambiente Rural y Marino de España, 2025)

Figura 2.5 Pirgeómetro. Medidor de onda larga



Fuente: Internet. Imagen generada por IA

2.3.5 RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

La radiación ultravioleta (UV) comprende el rango espectral entre 100-400 nanómetros (nm) y se subdivide en tres bandas principales:

- Ultravioleta C (UVC): 100–280 nm. Completamente absorbida por la capa de ozono, por lo que no alcanza la superficie terrestre.
- Ultravioleta B (UVB): 280–320 nm. Parcialmente absorbida por el ozono y constituye la fracción más biológicamente activa.
- Ultravioleta A (UVA): 320–400 nm. Débilmente absorbida por el ozono y representa la mayor parte de la radiación ultravioleta que llega al suelo.

La radiación UV solo representa un 7% del espectro y, en consecuencia, de la radiación solar total, sin embargo, el impacto sobre el medio ambiente es significativo. Las variaciones de este tipo de radiación influyen sobremanera en ámbitos tales como la salud humana y animal, afectan al clima cuando altera el balance entre la dinámica radiactiva de la atmósfera y la superficie terrestre, influye en los procesos biológicos de las plantas modificando los procesos de fotosíntesis y otros aspectos fisiológicos de la vegetación.

Los ecosistemas siendo tan sensibles, sufren ante las mínimas variaciones en la radiación UV, por mencionar otros aspectos que se ven afectados, están los procesos fotoquímicos de la tierra, la descomposición química de la materia, alteración de colonias de microorganismos beneficiosos.

Con el propósito de evaluar y controlar los niveles de radiación ultravioleta, la Organización Mundial de la Salud (OMS) implementó la medición sistemática de la radiación UVB. En 1996, la Unión Europea estableció la acción European COST (Cooperation in Science and Technology), para la estandarización de las mediciones de radiación UVB en Europa.

El Índice Ultravioleta (UVI) constituye el estándar internacional para expresar el nivel de peligrosidad de la radiación UV. Se calcula multiplicando la irradiancia eritemática (en W/m^2) por un factor de 40. Este índice se clasifica en intervalos de riesgo que permiten evaluar la exposición solar y establecer medidas preventivas adecuadas. Para medir la radiación UV, se usan piranómetros específicos de ultravioleta (Figura 2.6).

- 1) 0-3 Riesgo Bajo
- 2) 4-6 Riesgo Medio
- 3) 7-9 Riesgo Alto
- 4) >10 Riesgo Extremo

Figura 2.6 Piranómetro UVB de Kipp & Zonen. Medidor del índice de radiación UV.



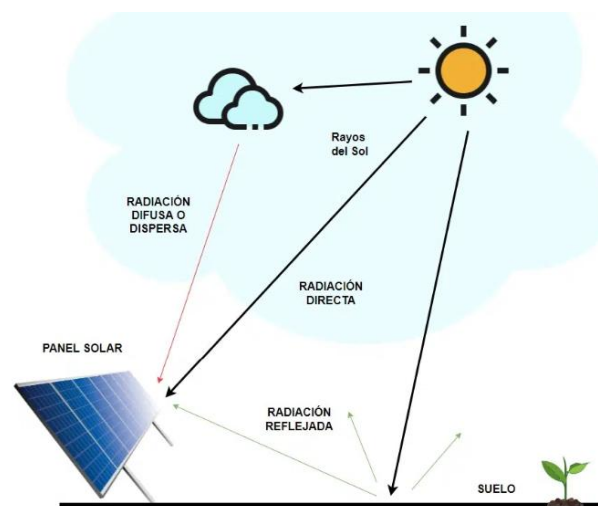
Fuente: Internet. Imagen generada por IA.

2.3.6 UNIDADES FÍSICAS Y TÉRMINOS TÉCNICOS DE LA RADIACIÓN SOLAR

La radiación solar se valora en varias unidades físicas concretas:

- Irradiancia: Es la potencia de la radiación solar por unidad de superficie, su unidad es $[W/m^2]$
- Irradiación: Energía que incide por unidad de superficie en un tiempo. $Irradiación = Irradiancia \cdot tiempo$; por lo tanto, sus unidades serán $[J/m^2]$ o $[kW \cdot h]$ donde $1kW \cdot h$ equivale a $3.6 MJ$.
- Irradiancia espectral: Es la potencia radiante por unidad de área y de longitud de onda $[W/(m^2 \cdot \mu m)]$
- Irradiancia directa: Es la radiación que llega a un determinado lugar procedente del disco solar, su unidad de medida es $[W/m^2]$.
- Irradiancia difusa: Es la radiación procedente de toda bóveda celeste excepto la procedente del disco solar y cuya unidad de media es $[W/m^2]$.
- Irradiancia reflejada: Es la radiación reflejada por el suelo (albedo), se mide en $[W/m^2]$. Irradiancia global: Se puede entender que es la suma de la irradiancia directa, difusa y reflejada. Es el total de la radiación que llega a un lugar en $[W/m^2]$.
- Irradiancia circunsolar: Es la parte de la radiación difusa procedente de las proximidades del disco solar en $[W/m^2]$.
- Radiación extraterrestre: Es la radiación que llega al exterior de la atmósfera terrestre $[W/m^2]$. Sólo varía con la distancia entre la tierra y el Sol.

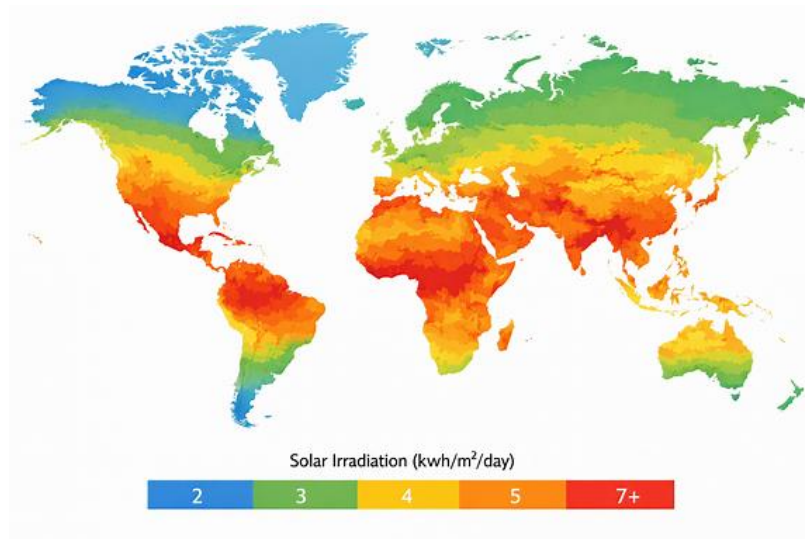
Figura 2.7 Las distintas radiaciones procedentes del sol.



Fuente: Internet. Imagen sin derechos de autor

Si se sumara toda la radiación global que incide sobre un área determinado en un periodo de tiempo definido se obtiene la energía en kWh/m^2 , este valor será diferente según la región en donde nos encontremos.

Figura 2.8 Irradiación solar promedio anual en unidades de $\text{kWh}/\text{m}^2/\text{día}$.



Fuente: Global Solar Atlas (GSA, 2025)

En la figura 2.8 se muestran los niveles de irradiación en el mundo, donde:

- La escala de colores va de azul ($2 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{día}$, baja irradiación) hasta rojo ($>7 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{día}$, alta radiación).
- Zonas con mayor irradiación: Sahara, Medio Oriente, Australia, México y regiones tropicales.
- Zonas con menor irradiación: latitudes altas como Canadá, Rusia, Escandinavia y las regiones polares.

CAPÍTULO III. SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS

Un sistema solar fotovoltaico es un conjunto de dispositivos diseñados para transformar la radiación electromagnética del sol en energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico. Este fenómeno físico, fue descubierto en 1839, se basa en la interacción entre los fotones y los materiales semiconductores, lo que genera corriente eléctrica continua. Posteriormente, dicha corriente puede utilizarse o convertirse en corriente alterna mediante dispositivos denominados inversores de corriente, lo que permite su utilización en aplicaciones domésticas, comerciales e industriales que así lo requieran.

Desde la segunda mitad del siglo XX, los sistemas fotovoltaicos han evolucionado de manera significativa, consolidándose como una de las tecnologías más innovadoras en el campo de las energías renovables. Su capacidad para aprovechar la radiación solar y convertirla en electricidad los ha convertido en una herramienta estratégica frente al cambio climático, al tiempo que contribuyen a reducir la dependencia de los combustibles fósiles y a fortalecer la independencia energética de los países.

PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO

Si la base de la tecnología solar es el efecto fotovoltaico, el silicio es la base material de las celdas solares actuales. La celda se vale del efecto fotoeléctrico para producir energía al absorberla de la fuente lumínica y transformarla.

Einstein logró explicar el efecto fotoeléctrico haciendo la hipótesis de que la energía en un haz de luz avanza por el espacio en haces concentrados llamados fotones (Halliday & Robert, 1979). Cuando un fotón con energía $E=h \cdot v$ (donde h es la constante de Planck y v la frecuencia de la radiación), impacta en la superficie del material semiconductor y logra, que su energía supere la teórica banda prohibida (E_g) del material, se transferirán electrones entre las capas de los materiales dopados, se producirá la transferencia debido a esa diferencia de potencial y en consecuencia se genera corriente eléctrica.

Los paneles solares, conformados por dichas celdas, generan corriente eléctrica continua (DC), la cual es conducida hacia un controlador de carga. Este dispositivo regula el flujo de energía, evitando sobrecargas o descargas profundas en el sistema. Adicionalmente, dicho controlador distribuye la electricidad hacia los distintos componentes de la instalación que pueden ser:

- Acumuladores o baterías, que almacenan la energía para su uso posterior.

- Directamente a cargas que funcionan con corriente continua.
- Inversores de corriente, que convierten la corriente continua en alterna (AC), necesaria para la mayoría de los equipos eléctricos convencionales.

De esta manera, el sistema fotovoltaico transforma la energía solar en electricidad utilizable, asegurando un funcionamiento seguro y eficiente mediante la integración de sus diferentes componentes.

Los componentes de un sistema solar fotovoltaico varían en función de su tipología, pero generalmente son:

- Generador fotovoltaico: conjunto de módulos solares que producen corriente continua.
- Inversor: convierte la corriente continua (DC) en corriente alterna (AC).
- Regulador de carga: protege y optimiza el rendimiento de las baterías en sistemas off grid o autónomos (aislados).
- Baterías de almacenamiento: acumulan energía para uso nocturno o en días nublados en sistemas off grid o autónomos (aislados).
- Sistema de protecciones eléctricas.
- Sistemas de monitoreo y protección: garantizan seguridad y eficiencia.

FACTORES DE RENDIMIENTO

La producción eléctrica del sistema solar fotovoltaico depende de:

- Potencia nominal (Wp/kWp): capacidad máxima bajo condiciones estándar (1.000 W/m^2 , 25°C , espectro AM1.5). La potencia nominal (Wp o kWp) indica la capacidad máxima bajo condiciones ideales. Sin embargo, la producción real varía a lo largo del día y del año. Es relevante destacar que la generación coincide con las horas de mayor consumo en edificios.
- La optimización en la orientación e inclinación de los módulos FV.
- Las condiciones ambientales del lugar de instalación, tales como lo son la irradiación solar, la humedad, la temperatura local, nubosidad, polvo presente, etc.
- Pérdidas por mal dimensionamiento del Inversor, módulos, BOS, suciedad, falta de mantenimiento y otros factores externos.
- La falta de cualificación técnica en el proceso de instalación del sistema.

Para conocer la eficiencia de un sistema es importante saber la capacidad de entrega de energía producida respecto de la energía que el sistema recibe, la eficiencia de un sistema se puede calcular mediante la siguiente expresión.

$$\eta = (E_{\text{salida}} / E_{\text{entrada}}) \times 100$$

donde:

E_{salida} : Energía eléctrica obtenida y

E_{entrada} : Energía solar incidente.

Parámetros de rendimiento avanzados

- Factor de capacidad (CF): mide la relación entre la energía real producida y la máxima teórica en un periodo:

$$CF = (E_{\text{Real}} / P_{\text{Nominal}}) \cdot T$$

- Performance Ratio (PR): indicador de calidad de la instalación considerando pérdidas:

$$PR = E_{\text{Real}} / E_{\text{Teórica}}$$

Un PR cercano a 0.8–0.9 se considera óptimo en instalaciones modernas.

TIPOLOGÍA DE LOS SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS

Cuando se plantea la instalación de generadores de energía solar fotovoltaica, fundamentalmente se atiende a dos razones principales:

- La necesidad de proporcionar energía eléctrica a una zona aislada o de difícil acceso para la red de distribución.
- La posibilidad de inyectar energía eléctrica a la red de distribución.

En función de estos criterios, existen dos tipologías básicas de instalaciones fotovoltaicas: instalaciones aisladas e instalaciones conectadas a la red. Desde un punto de vista económico las instalaciones conectadas a la red son más adecuadas que las instalaciones aisladas cuando el objetivo principal de la instalación es realizar una inversión de capital para obtener un rendimiento económico, obteniendo beneficio de la venta de energía.

Su clasificación se muestra en la Figura 3.1:

Figura 3.1 Tipología de los sistemas solares fotovoltaicos.



Fuente: Internet. Imagen generada por IA

- Sistemas aislados o autónomos: independientes de la red eléctrica. ideales para zonas rurales o sin acceso a la red.
- Sistemas conectados a la red: vierten energía directamente a la red. Permiten autoconsumo y venta de excedentes.
- Sistemas híbridos con Backup: Combinan energía solar con otras fuentes, garantizando continuidad de demanda.

Ejemplos de aplicación real:

- Planta Solar Villanueva (México): con más de 2.3 millones de paneles, genera alrededor de 828 MW.
- Parque Solar Noor (Marruecos): uno de los más grandes del mundo, 510 MW de capacidad instalada, integra fotovoltaica y termo solar.
- Aplicaciones urbanas: integración en edificios inteligentes y sistemas de generación distribuida.

ESCALABILIDAD Y CLASIFICACIÓN DE SISTEMAS SOLARES

El carácter modular de los paneles permite aplicaciones diversas:

- Pequeña escala: calculadoras, lámparas solares, sistemas domésticos.

- Mediana escala: instalaciones en edificios, comercios y comunidades.
- Gran escala: centrales fotovoltaicas de varios megawatt.

Ventajas ambientales, sociales y económicas

- Ambientales: reducción de emisiones de CO₂ y menor impacto ecológico.
- Sociales: acceso a electricidad en comunidades aisladas, mejora de la calidad de vida.
- Económicas: ahorro en facturas, economía circular, generación distribuida y fortalecimiento de la independencia energética,
- Urbanísticas: integración en edificios inteligentes y ciudades sostenibles.

Retos actuales

- Costo inicial elevado: aunque los precios han disminuido en la última década.
- Intermittencia solar: requiere almacenamiento eficiente y sistemas híbridos.
- Espacio físico: especialmente en grandes instalaciones.
- Reciclaje de paneles: desafío emergente para la gestión de residuos.
- Políticas públicas: necesidad de marcos regulatorios claros e incentivos fiscales.

Perspectivas futuras

La investigación avanza hacia celdas de mayor eficiencia (como las de perovskita), baterías de almacenamiento más duraderas y sistemas inteligentes de gestión energética. Se espera que los sistemas fotovoltaicos se integren masivamente en proyectos de generación distribuida, ciudades inteligentes y transporte eléctrico, consolidándose como una de las principales fuentes de electricidad a nivel mundial.

Un sistema solar fotovoltaico ha pasado a convertirse de tecnología experimental, aplicada sobre los principios de la física, química y la ingeniería eléctrica, a ser una realidad y una pieza clave en el proceso de transición energética.

Su facultad de usar un recurso tan abundante y poco aprovechado históricamente, como lo es la energía solar, lo convierte en un estandarte, símbolo de innovación y esperanza frente a las adversidades que se proyectan en nuestro ya, claramente, desgastado y frágil medio ambiente.

Además, la posibilidad de escala de estos sistemas los vuelve tremendamente adaptables, en un mundo que cada vez resulta cada vez más cambiante, un sistema

ajustable es la opción más lógica. invertir por estos sistemas significa una apuesta segura hacia una solución urgente y necesaria

3.1 LAS CELDAS SOLARES FOTOVOLTAICAS

Es el elemento básico en la generación fotovoltaica y representan uno de los avances de gran trascendencia en la actualidad, se trata de una de las piezas, presumiblemente, fundamentales en el proceso de transición hacia un modelo energético más sostenible. Las celdas solares utilizadas en la actualidad son dispositivos fabricados con materiales semiconductores cuya presencia en la naturaleza es abundante, su importancia radica en su capacidad de generación de energía limpia y renovable, la cual proviene de una fuente prácticamente inagotable y disponible, el sol.

3.1.1 HISTORIA DE LA CELDA SOLAR FOTOVOLTAICA

El efecto fotovoltaico, es el fenómeno físico que nos permite la obtención de electricidad a partir de la luz. La existencia de este fenómeno fue descubierta por el físico francés Alexandre-Edmond Becquerel, en 1839, mientras experimentaba con una pila electrolítica sumergida en una sustancia de las mismas propiedades, fue cuando se dio cuenta que, al exponer la pila a la luz del sol, la corriente subía por uno de los electrodos, concluyendo que algunos elementos al ser expuestos a la luz solar generaban un flujo de corriente.

En 1870, W. Grylls Adams y R. Evans Day, experimentaron sobre el efecto de la luz sobre el selenio, comprobando que, durante los experimentos, un flujo de electricidad se manifestaba discretamente, a este fenómeno lo denominaron fotoeléctrica.

En 1885, Charles Fritts construye el primer módulo fotoeléctrico, el funcionamiento se basó en extender una capa de selenio sobre un soporte metálico y cubriéndola después con una película de oro muy fina, casi transparente. C. Fritts envió sus paneles solares a Werner von Siemens, y, ante la Real Academia de Prusia, presentó los módulos, era sin duda, la primera vez que se tenía evidencia de la conservación directa de la energía, en este sentido, de la luz en energía eléctrica.

Albert Einstein, en el año 1905, explicó teóricamente el efecto fotoeléctrico, y en 1921 le asignaron el Premio Nobel por su trabajo.

En 1916, Robert Millikan valida experimentalmente la teoría del efecto fotoeléctrico, sustentando científicamente el fenómeno.

En 1941, R.S. Olh describe la primera celda fotovoltaica de silicio, aunque los primeros dispositivos fotovoltaicos no se empezaron a fabricar sino hasta una década mas adelante. Inicialmente los experimentos para el efecto fotoelectrico se realizaban con selenio. fueron otras investigaciones las que hicieron posible se empezara a utilizar el silicio como material básico para las celdas (material de mucha abundancia en la tierra).

A comienzos de la década de los años 50, Calvin Fuller y Gerald Pearson, mientras trabajaban en los Bell Laboratories, trabajan en la materialización de la teoría del transistor construido a base de silicio,

En febrero de 1953, Bell Darryl Chapin, comienza a investigar, primero con selenio y luego con silicio, con el que logró eficiencias del 2.3%. Mientras Fuller y Pearson se encontraban inmersos en mejorar los transistores, Chapin, mediante cálculos teóricos, concluía que las celdas de silicio podían llegar a tener una eficiencia del 23% aunque sus esfuerzos sólo alcanzaron para desarrollar una celda con un 6% de eficiencia.

En 1953, Dan Trivich realizó cálculos teóricos sobre la eficiencia de las celdas solares con distintos materiales. Un año después, en 1954, los Laboratorios Bell presentaron la primera celda solar de silicio con una eficiencia del 4%. Sus creadores, Daryl Chapin, Calvin Fuller y Gerald Pearson, sentaron las bases del panel solar moderno.

El 25 de abril de 1954 los ejecutivos de Bell presentaron la denominada Batería SolarBell, mostrando un panel de celdas fotovoltaicas que alimentaban una rueda de la fortuna en miniatura.

En 1955 la National Fabricated Products adquiere la licencia de Western Electric para la fabricación de celdas solares. Asimismo, Eisenhower anuncia sus planes para enviar un satélite artificial, contemplando para ello el uso de las celdas.

En 1956, Hoffman Electronics intenta la primera comercialización de celdas solares para aplicaciones remotas.

En 1958 se lanza el satélite Vanguard 1, quien le da un uso practico trascendental a las celdas.

1963, se instala el primer faro fotovoltaico en Ogami, Japón. La empresa Sharp inicia la producción industrial en masa de módulos fotovoltaicos.

En 1970 la NASA lleva paneles fotovoltaicos a la tribu Papago en un proyecto piloto.

En 1973, Exxon (antes Esso), anuncia que su filial Solar Power Corporation comercializará módulos fotovoltaicos de alta capacidad.

1981, se desarrolla el primer avión impulsado por energía solar por PaulMcreeady.

En 1985 se logra fabricar la primera celda de silicio con eficiencia superior al 20%, la Universidad de Nueva Gales del Sur fue la responsable.

En 1993 se instala el primer sistema de energía solar conectado a la red en Kerman, California.

En 1998 se muestran las tejas solares flexibles de silicio.

2005 surgen los primeros paneles solares de uso doméstico, de fácil ensamblaje y pensados para regiones en desarrollo.

A partir de los siguientes años se comienza a hablar ya de generaciones tecnológicas en la tecnología fotovoltaica, estas generaciones definen su evolución en función de la tecnología aplicada en su fabricación, éstas se describen de la siguiente manera.

- I. Primera generación: silicio cristalino (15–20% de eficiencia).
- II. Segunda generación: película delgada, más ligera y económica.
- III. Tercera generación: nanotubos de carbono, puntos cuánticos, DSSC (>30% potencial).
- IV. Cuarta generación: polímeros y nanopartículas multiespectrales, capaces de captar infrarrojo.

En la actualidad, destacan las celdas N-Type TOPCon (Tunnel Oxide Passivated Contact, por sus siglas en inglés), el funcionamiento de esta tecnología permite la fabricación de paneles de más de 500 W y eficiencias superiores al 22%, junto con investigaciones en perovskitas, grafeno y soluciones híbridas. Su funcionamiento se basa en una capa de óxido ultrafina, la cual actúa como barrera pasiva, reduciendo pérdidas por recombinación y mejorando la eficiencia,

3.1.2 LOS SEMICONDUCTORES

Existen materiales que se encuentran en un camino intermedio entre los conductores y aislantes, estos materiales son denominados ‘semiconductores’, el comportamiento de estos elementos depende de las condiciones físicas a la que se vean sometidos. Factores tales como la temperatura, la presión, la radiación, campos magnéticos o eléctricos, inciden en su comportamiento.

La semiconductividad fue observada por primera vez en 1727 por Stephen Gray pero no fue hasta 1821 que Georg Simón Ohm formuló las leyes que describen su funcionamiento.

Los semiconductores están formados por diversos elementos comprendidos en la Tabla Periódica, una de sus características es que suelen ser elementos de valencia tetravalentes, esto hace que tengan características muy particulares electrónicamente hablando.

Se clasifican en dos grandes grupos según su estructura y respuesta al entorno:

SEMICONDUCTORES INTRÍNSECOS

Se componen de un solo tipo de átomo, se organizan en estructuras tetraédricas unidas mediante enlaces covalentes. Cuando dichos materiales se encuentran en condiciones normales, sus electrones permanecen ligados y no hay una libre circulación de los mismos, es cuando se ven expuestos a condiciones de temperatura que algunos electrones comienzan a adquirir la energía suficiente como para liberarse, es en este proceso que los electrones dejan vacíos que actúan como cargas positivas, a este proceso se le denomina recombinación, cada elemento químico reacciona de manera diferente y la magnitud del este fenómeno depende de la naturaleza química del material.

SEMICONDUCTORES EXTRÍNSECOS

Estos semiconductores son aquellos que se han sometido a un proceso de 'dopación', es decir a los semiconductores de naturaleza tetravalente, se les incorpora otro elemento de características covalentes distintas, generalmente trivalentes o pentavalentes. Según el tipo impureza agregada se distinguen en esta clasificación otras dos variantes:

- Tipo N (donadores): cuando se agregan átomos pentavalentes que aportarán electrones adicionales. Cuando se aplica una diferencia de potencial, los electrones libres se desplazan en una dirección y los huecos en la opuesta, generando corriente eléctrica.
- Tipo P (aceptores): cuando se introducen átomos trivalentes, el resultado es la aparición de 'huecos' en el último enlace de valencia, estos huecos facilitan el movimiento de la corriente al atraer electrones libres externos.

En la industria, los semiconductores más utilizados son el silicio y el germanio, junto con compuestos como el arseniuro de galio (GaAs), el selenio (Se), el cadmio (Cd), el indio (In), el oxígeno (O) y el azufre (S). También se suelen emplear combinaciones más

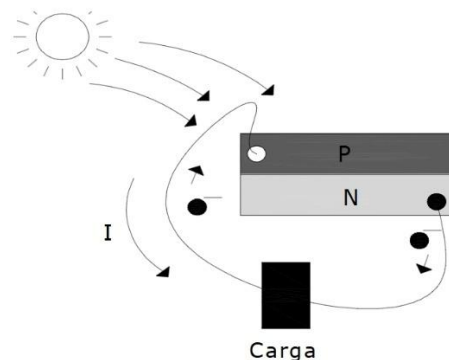
sofisticadas de elementos y que ofrecen propiedades específicas para aplicaciones electrónicas avanzadas.

3.1.3 FUNCIONAMIENTO DE LAS CELDAS SOLARES

El principio de funcionamiento de las celdas solares se basa en el uso de semiconductores, debido a que la energía que une a los electrones de valencia al núcleo se asemeja a la energía propia de los fotones de la luz solar. Cuando estos fotones impactan sobre el semiconductor, generan la energía necesaria para que los electrones de valencia del mismo semiconductor rompan sus enlaces y liberen dicha energía.

Para extraer la corriente generada, se necesita un tipo de unión P-N, esta unión consiste en producir una zona denominada tipo P mediante un semiconductor dopado que será el donante y otra zona sea tipo N o receptor. La región P está conformada por una zona de transferencia de electrones. De la misma manera, la región N recibe a los electrones que se desprenden de la región P, si se mantiene dicha transferencia electrónica, se puede hablar de un generador de origen fotovoltaico (Figura 3.2).

Figura 3.2 Efecto fotoeléctrico sobre placas dopadas de silicio



Fuente: Tomada de Martínez Elisa, Bautista Yolotzin, 2012, p.11 (Elisa & Yolotzin, 2012)

Para tal motivo el semiconductor utilizado en la fabricación es el Silicio mientras que los elementos dopantes usualmente son el Fósforo (P) cuya valencia es pentavalente y el Boro (B) de valencia trivalente y se disponen en dos láminas conjuntas una sobre

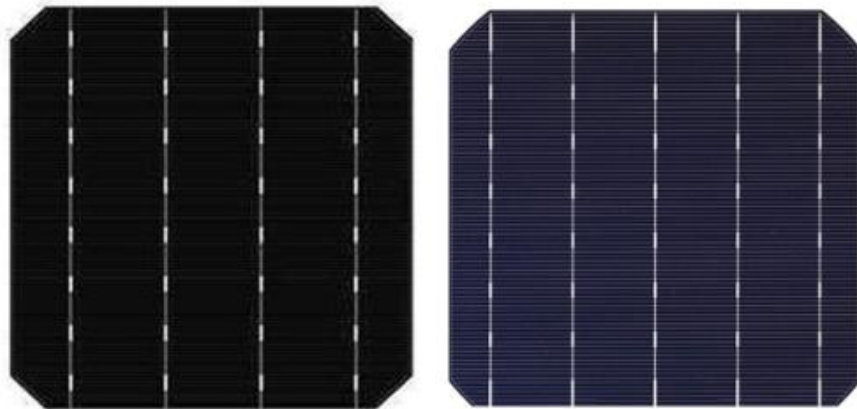
otra, es ahí cuando el efecto fotovoltaico actúa, cuando se hace incidir luz solar sobre dichas placas.

El funcionamiento de la celda adecuada para generar energía es simple pero brillante, los fotones solares impactan en los semiconductores, diminutos paquetes de luz se transforman en energía eléctrica mediante un principio físico químico que requiere de un elemento tan aparentemente inagotable como lo es la luz solar.

Así pues, la interacción de dicho sistema provoca la generación de pequeños voltajes que individualmente no representan una carga significativa, es ahí cuando a través de la combinación de los pequeños voltajes de las celdas pueden generar una cantidad significativa que pueda ser aprovechable

En síntesis, la celda fotovoltaica es en un sentido estricto, un diodo con una superficie muy amplia. El grosor de una celda oscila en promedio los 0.3 mm milímetros (Figura 3.3), pueden construirse con cristales monocristalinos, policristalinos o de silicio amorfo. Actualmente existen muchos tipos de materiales para la construcción de las celdas, pero es el Silicio el material comercialmente más asequible por el momento y de mayor presencia debido a su abundancia.

Figura 3.3 Geometría y forma de una celda solar (policristalina y monocristalina), genérica.



Fuente: Tan fon Solar (TANFON SOLAR, 2019)

En los materiales conductores, los electrones se pueden desplazar libremente por el material (disponen de energías elevadas) y por ello la corriente circula con relativa facilidad. En los materiales aislantes, los electrones no se pueden desplazar (tienen energías reducidas). La corriente, por tanto, no circula por ellos. Los materiales semiconductores permiten la circulación de electrones (corriente) cuando se les

aporta una determinada energía. Al incidir la luz solar sobre estos materiales, los fotones que la constituyen tienen la capacidad de transferir su energía a los electrones de baja energía del material, lo que los 'libera', pudiendo circular libremente por el interior del material. El electrón así generado debe hacerse circular hacia el exterior del dispositivo. Esto se realiza mediante un campo eléctrico. Para generar este campo, se unen dos semiconductores distintos que forman lo que se denomina un dispositivo de unión.

La extracción de corriente de la celda solar se lleva a cabo mediante dos contactos metálicos, uno frontal (donde incide la luz solar) y otro en la parte inferior. El de la parte superior debe hacerse de tal forma que deje al descubierto la mayor parte de la superficie de la celda (contactos en forma de peine). El de la cara inferior recubre toda la superficie de la celda, ya que ahí no incide la luz. Para aumentar el porcentaje de la energía solar absorbida se incluye una capa de material antirreflectante en la cara frontal.

Como ya se mencionó, el material utilizado en prácticamente la totalidad de las celdas convencionales, es el silicio, uno de los materiales más abundantes del planeta. A partir de este material existen celdas de:

- Silicio monocristalino: fabricadas a base de lingotes de silicio puro, con eficiencias en torno al 15% en celdas comerciales, y cercanas al 25% en laboratorio (todavía no disponibles en el mercado).
- Silicio policristalino: fabricado mediante la refundición de silicio monocristalino, con eficiencias inferiores al 14% en celdas comerciales y al 18% en laboratorio.
- Silicio amorfo: fabricado a partir de la deposición de capas delgadas de silicio sobre vidrio, eficiencias en torno al 5-7% en celdas comerciales, aplicaciones en calculadoras, relojes, etc.

La tecnología de fabricación en lámina delgada no solo ha sido aplicada al silicio amorfo. También se ha aplicado a otros materiales, cuya investigación se está llevando a cabo en la actualidad con resultados más o menos prometedores. Debido a su proceso de fabricación, la producción a gran escala de estas celdas puede suponer una importante reducción de costes. Las celdas más importantes de este tipo son, aparte del silicio amorfo:

- Celdas de Teluro de Cadmio (CdTe): eficiencias cercanas al 16% en laboratorio y 7-8% en celdas comerciales. El problema reside en la toxicidad de sus componentes.

- Celdas de Seleniuro de Cobre Indio (conocidas como celdas CIS): alcanzan el 17% en laboratorio y 10% en prototipos comerciales.

Las celdas de Arseniuro de Galio (GaAs) también han conseguido buenos rendimientos en laboratorio (cerca del 25%).

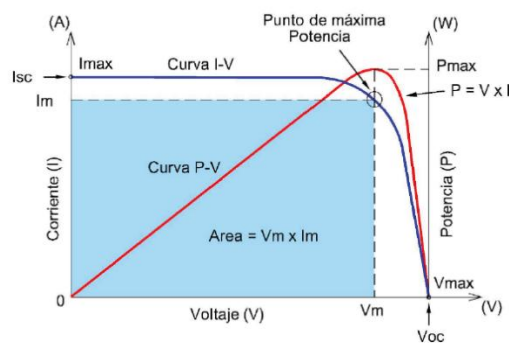
Las celdas multicapa (o multiunión) incluyen distintas capas de materiales, consiguiéndose eficiencias superiores al 30%. Son utilizadas en aplicaciones espaciales. No obstante, los criterios de coste y eficiencia son muy distintos en estas aplicaciones, y por ello, resulta impensable en estos momentos su utilización en aplicaciones terrestres dado su alto coste.

3.1.4 CURVA CARACTERÍSTICA DE UNA CELDA SOLAR

La curva característica de una celda nos muestra las características de la relación que hay entre la intensidad de corriente y la tensión (I-V) que se presenta en una celda fotovoltaica, módulo FV o arreglo FV, esta nos ofrece una descripción detallada de su capacidad y eficiencia en la conversión de la energía solar a energía eléctrica. Esta curva nos permite determinar el rendimiento de una celda. La cantidad de radiación solar que incide en la celda, determinará la corriente (I), por otro lado, el incremento en la temperatura de la misma reduce su tensión (V).

La curva característica de la celda solar I-V proporciona de manera visual, información sobre cómo es el funcionamiento de una celda o módulo solar y cómo responde a la interacción que hay entre la corriente y la tensión en las condiciones de irradiancia y temperatura. Dicha información es necesaria para configurar o diseñar un sistema solar fotovoltaico de manera que pueda funcionar lo más cerca de su punto de máxima potencia (MPP).

Figura 3.4 Curva característica I-V de una celda solar fotovoltaica. Gráfica de corriente, potencia y voltaje.



Fuente: Curva I-V SCIELO. Tomada de (E., Alfaro, Alfaro, & Guerra, 2021).

En la figura 3.4 se muestra el comportamiento de la celda mediante la gráfica de la curva I-V. En circuito abierto, la celda solar, que no se encuentra conectada a ninguna carga, la corriente estará en su mínimo (cero) mientras que la tensión a través de la celda estará en su máximo, esto se conoce como voltaje de circuito abierto o V_{oc} . En contraposición, cuando la celda solar está en cortocircuito, es decir, los cables positivo y negativo conectados se encuentran conectados entre sí, el voltaje a través de la celda estará en su mínimo (cero), pero la corriente fuera de la celda alcanza su punto máximo, esto es conocido como corriente de cortocircuito, o I_{sc} .

El rango de la curva característica va desde la corriente de cortocircuito (I_{sc}) a cero volts de salida, hasta la corriente de cero a la tensión de circuito abierto total (V_{oc}), es decir, el voltaje máximo disponible de una celda está en circuito abierto y la corriente máxima en un circuito cerrado. Es una obviedad que ninguna de estas condiciones genera energía eléctrica, pero debe existir un punto intermedio en el que la celda genere la máxima cantidad de energía que pueda proporcionar.

El punto de máxima potencia (MPP) de una celda solar se encuentra cercano a la curva (en la curva característica I-V). Los valores correspondientes de V_{mp} e I_{mp} pueden calcularse a partir del voltaje de circuito abierto y de la corriente de cortocircuito:

$$V_{mp} \cong (0.8-0.90) V_{oc} \quad e \quad I_{mp} \cong (0.85-0.95) I_{sc}.$$

La potencia de salida real variará con los cambios en la temperatura ambiente, debido a que el voltaje y la corriente de salida de la celda solar dependen de la temperatura.

En una celda solar, al incidir fotones se 'generan' electrones que viajan hacia el exterior de los contactos metálicos que tiene, sin embargo, en función de la tensión que aparece en los extremos de la celda, solo parte de dichos electrones llegan finalmente al exterior.

Conforme aumenta la tensión en la celda, disminuyen los electrones que llegan al exterior. Esto define la llamada Ecuación Característica de la Celda Solar.

$$I = I_L - I_0 [\exp(eV/mkT) - 1]$$

Donde:

I, V: corriente y tensión proporcionadas por la celda.

T: temperatura de la celda (en grados kelvin).

I_L : corriente fotogenerada, corriente generada como consecuencia de la incidencia de fotones sobre el material. Es directamente proporcional a la irradiancia.

10, m: parámetros relacionados con la unión de los dos tipos de semiconductores.
e, k: dos constantes (carga del electrón, constante de Boltzman).

Los parámetros representados son los siguientes:

Intensidad de cortocircuito (Isc)

Es aquella que se produce a tensión cero, pudiéndose ser medida directamente con un amperímetro conectado a la salida de la celda solar. Es, en realidad, la corriente fotogenerada. Su valor varía en función de la superficie y de la radiación luminosa a la que la celda es expuesta. Normalmente, y para celdas cuadradas de 4", 5" y 6" (pulgadas), las corrientes se sitúan en los 3.1 A, 4.4 A y 7.1 A respectivamente, para una radiación de 100 MWh/cm².

La celda es cortocircuitable.

Tensión de circuito abierto, (Voc)

Es la tensión que podemos medir al no existir una carga conectada y representa la tensión máxima que puede dar una celda, es decir, aquella en la que la corriente es cero; ningún electrón generado sale de la celda. Su medida se realiza simplemente conectando un voltímetro entre bornas, y su valor oscila alrededor de los 0.5V. Las celdas de Silicio llegan a 0.6V.

La celda se puede dejar en circuito abierto.

Potencia pico, (Wp).

Es la potencia eléctrica máxima que puede suministrar una celda, y quede determinada por el punto de la curva I-V, donde el producto de la intensidad producida y la tensión es máximo. Es decir, es la máxima potencia que puede dar la celda para unas condiciones externas de irradiación y temperatura determinadas.

Este punto de funcionamiento se define como 'punto de máxima potencia' (MPP). La tensión y corriente en el punto de máxima potencias son Vmp e Imp. Habitualmente, Imp es muy cercana a Isc, y Vmp ronda el 75-80% de Voc.

Factor de forma, FF

Se define mediante la expresión,

$$FF = (I_p \cdot V_p) / (I_{sc} \cdot V_{oc})$$

Evidentemente, el FF siempre será un valor más pequeño que la unidad, y la celda solar será tanto mejor cuanto más se aproxime el valor del factor de forma a dicha cifra. Normalmente, en las celdas comerciales el FF está comprendido entre 0.7 y 0.8, teniendo las de Silicio monocristalino, por regla general, mejor valor que las fabricadas con Silicio policristalino.

El FF resulta ser un parámetro de gran utilidad práctica, ya que al ser comparado con el de otro tipo de celda nos da una idea de la calidad relativa de una celda con respecto a otra.

Eficiencia de conversión o rendimiento (η)

Se define por la siguiente fórmula,

$$\eta = W_p / W_r$$

define la calidad de una celda fotovoltaica.

- W_p (potencia pico) es igual al producto de la intensidad de pico (I_p) por la tensión de pico (V_p), y
- W_r es la potencia de radiación incidente sobre la superficie de la celda solar.

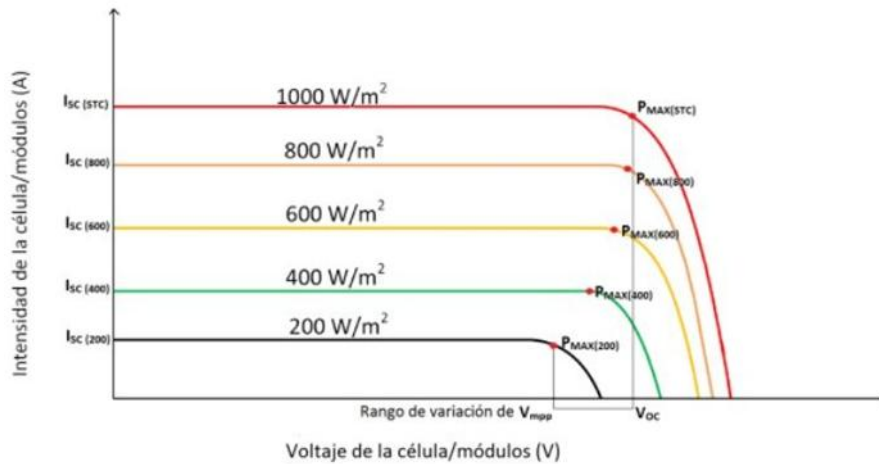
La curva característica I-V de una celda solar se ve afectada por diferentes factores ambientales. Estos factores son, principalmente, la intensidad de iluminación o irradiancia y la temperatura.

La irradiancia afecta principalmente a la corriente (aproximadamente es proporcional a la corriente de cortocircuito).

La temperatura influye principalmente en la tensión, aunque en menor medida que la irradiación a la corriente (se desplaza la tensión de circuito abierto). Para conocer bien el funcionamiento de una celda fotovoltaica debemos tener presentes dos conceptos fundamentales,

- a) La tensión en bornas de una unión P-N varía en función de la temperatura, pero a un determinado valor de esta última, dicha tensión es constante.
- b) La corriente suministrada por una celda solar a un circuito exterior es proporcional a la intensidad de la radiación y a la superficie de la celda.

Figura 3.5 Curva de irradiancia determinada y su influencia en la celda solar.



Fuente: Área Tecnológica (Rodríguez, 2022)

Si mantenemos una iluminación constante y variamos la temperatura, la curva inicial se va desplazando a la vez que la tensión de circuito abierto va haciéndose más pequeña.

Si mantenemos la celda a una temperatura constante y disminuimos la radiación incidente, obtenemos unas corrientes de cortocircuito cada vez menores, pero que están relacionadas proporcionalmente con las iluminaciones. La tensión de circuito abierto no ha variado sensiblemente, lo que nos demuestra su estabilidad frente a los incrementos de la iluminación.

Si ahora observamos el comportamiento de la tensión, corriente y rendimiento, obtenemos que al aumentar la temperatura la tensión baja, mientras que la curva correspondiente a la intensidad incrementa su valor en menor proporción, lo que se traduce en un descenso del rendimiento. Es decir, a medida que la temperatura de la celda aumenta, disminuye el rendimiento.

El efecto de la temperatura sobre una celda se define a partir de dos coeficientes;

$$\alpha = \delta I_{sc} / \delta T$$

$$\beta = - \delta V_{oc} / \delta T$$

donde:

α : Variación de la intensidad de cortocircuito con la temperatura y,

β : Variación del voltaje de circuito abierto con la temperatura.

Los fabricantes suelen incluir estos coeficientes en sus hojas de características de los módulos fotovoltaicos. Estos coeficientes son diferentes para cada tipo de celda, aunque similares con relación a las tecnologías. Para el caso del Silicio monocristalino, los valores habituales son:

$$\alpha = 1.5 \text{ mA/}^\circ\text{C}$$

$$-\beta = 2.3 \text{ mV/}^\circ\text{C}$$

3.2 EL GENERADOR FOTOVOLTAICO

Los generadores fotovoltaicos son los encargados de transformar la energía lumínica del sol en energía eléctrica. Este proceso se lleva a cabo en un dispositivo fabricado con láminas de silicio dopado y cuyo nombre se conoce por: celda fotovoltaica. El funcionamiento es el siguiente: cuando la luz del sol impacta sobre la celda solar, los fotones transmiten su energía a los elementos semiconductores del generador, lo que provoca que dentro de la celda se produzca un movimiento y un intercambio eléctrico. El semiconductor dopado acompañado de un arreglo eléctrico consigue que una parte de esos electrones libres salgan al exterior del mismo, generándose así una corriente eléctrica, para aprovechar las pequeñas cantidades de electricidad que generan las celdas, se vale de una asociación de grupos de celdas encapsuladas en un bloque, a esto es lo que llamamos panel o módulo fotovoltaico y constituye el elemento fundamental de una instalación fotovoltaica.

Estrictamente hablando el generador fotovoltaico es en sí mismo, la celda solar compuesta de materiales semiconductores dopados y dispuestos estratégicamente, los cuales se encargan a nivel atómico de realizar la transformación física de la energía solar a eléctrica.

El panel o módulo fotovoltaico está formado por unos conjuntos de generadores fotovoltaicos (celdas), conectados entre sí en serie (usualmente) o en paralelo, hasta conseguir la tensión a la que se requiera, estas tensiones suelen ser de 12 V y 24 V (dichos valores oscilan según el tipo de panel). Las diferentes combinaciones existentes de celdas fotovoltaicas determinan las características eléctricas del panel o módulo: potencia, intensidad y tensión.

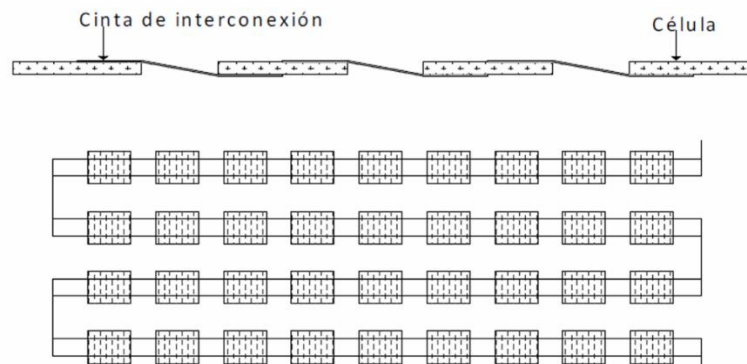
3.2.1 MÓDULO FOTOVOLTAICO

Dadas las bajas tensiones generadas individualmente por las celdas solares, es necesario la asociación de las mismas en serie y paralelo hasta obtener los valores de tensión, corriente y potencia deseados.

Una celda produce en promedio alrededor de 0,5 V, diversos factores, tales como como el origen de los materiales que la componen y sus procesos de fabricación afectan su desempeño, sin embargo, los valores de referencia en cuanto a producción eléctrica no suelen variar en torno a este valor. El voltaje generado por una celda es tan pequeño que no es posible considerarlo para una aplicación práctica, se necesita interconectar las celdas ya sea en serie, paralelo o serie-paralelo para así conseguir un valor energético realmente utilizable (figura 3.6).

La celda, usualmente es denominada como generador fotovoltaicos, así pues, su interconexión con más generadores forman un módulo, al realizar dicho arreglo, se obtiene un voltaje considerable. Los valores de generación de estos módulos dependerán de la cantidad de celdas interconectadas en los mismos y su uso, dependerá del tipo de instalación para el que se les requiera , así mismo de las cargas que se vayan a alimentar, de la disponibilidad o no de sistemas de acumulación, etc.

Figura 3.6 Interconexión entre celdas (arreglo de generadores o módulo).



Fuente: Imagen tomada de Martínez Elisa, Bautista Yolotzin, 2012, p.11 (Elisa & Yolotzin, 2012)

Los materiales disponibles en la composición de los generadores fotovoltaicos se indican en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Materiales de las celdas fotovoltaicas.

BAJA CONCENTRACION	Silicio (Si)	Materiales rígidos	·Multicristalino (mc-Si)
			·Policristalino (pc-Si)
			·Monocristalino (mc-Si)
			·Cinta
	Película delgada	Materiales rígidos	·Silicio amorfo, unión simple y doble (a-Si)
			·Silicio amorfo/Silicio monocristalino o tandem micro morfica (a-Si/ μ c-Si)
			·Teluro de cadmio (CdTe)
			·Di seleniuro de indio-cobre y bisulfuro de galio (CIGS)
			·Di-seleniuro de indio-cobre (CIS)
			·Silicio cristalino sobre vidrio (CSG)
	Materiales flexibles	·Silicio amorfo, triple unión (a-Si)	
	Nuevos materiales	·Materiales orgánicos	
		·Materiales híbridos	
		·Tintas fotosensibles	
ALTA CONCENTRACION		Materiales rígidos	·Germanio (Ge)
			·Arseniuro de galio (GaAs)

Fuente: Voltiva Energy (Voltiva Energy, 2024).

La fabricación de los módulos con cada tipo de material está ligada a las necesidades requeridas de cada situación, desde el uso comercial (costos más asequibles), hasta usos científicos y de investigación más especializados (mayor coste).

La asociación de celdas se materializa en el módulo fotovoltaico. Al igual que se asocian las celdas en diferentes configuraciones para formar el módulo, los módulos también se asocian entre sí para formar otro generador fotovoltaico de mayor magnitud denominado en muchos casos como panel.

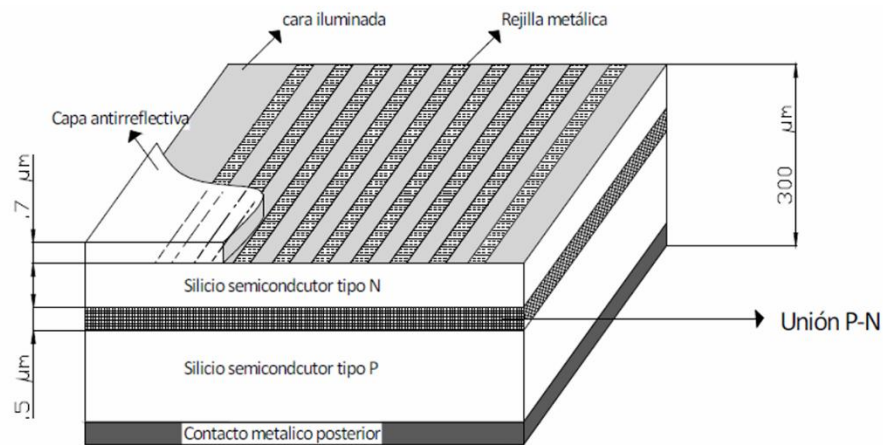
Así, por ejemplo, una combinación posible es 6 series de 12 celdas cada una, 72 celdas en total, para dar un módulo o panel fotovoltaico de 325W a 24V. El conjunto de celdas está encapsulado por elementos que le confieren protección frente a la intemperización, a los agentes externos y le proporcionan rigidez para acoplarse a las estructuras o simplemente para dar soporte ante alguna situación de posibles rupturas.

3.2.2 ESTRUCTURA

Aunque son los procesos de fabricación, algunos materiales y otros factores, los que determinan la producción de un módulo solar FV, y éste a su vez, varía en función del fabricante, los módulos FV generalmente están fabricados por un encapsulado que alberga las celdas en su interior (Figura 3.7). Este encapsulado protege a las celdas

frente a las agresiones de los agentes atmosféricos, aísla eléctricamente las celdas del exterior y da rigidez mecánica al conjunto.

Figura 3.7 Estructura tipo de un panel o módulo fotovoltaico.

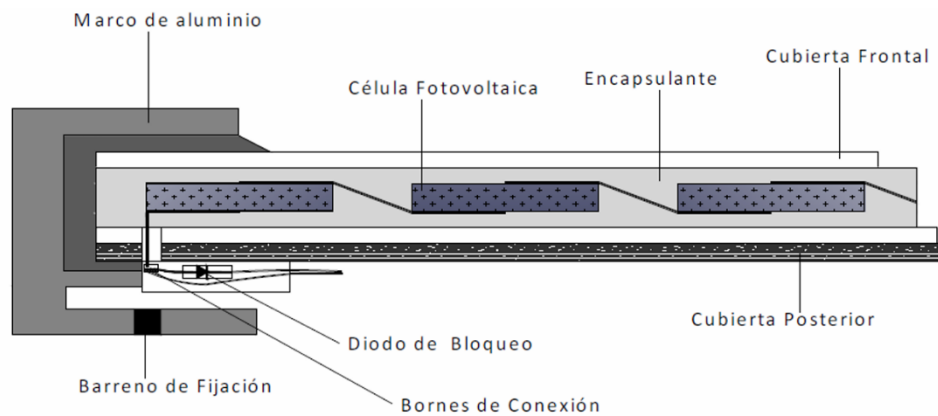


Fuente: Tomada de Martínez Elisa, Bautista Yolotzin, 2012, p.11 (Elisa & Yolotzin, 2012)

A continuación, se mencionan las características generales de los módulos fotovoltaicos:

- Cubierta frontal: debe permitir una libre transmisión fotónica de manera que las celdas aprovechen el efecto fotoeléctrico en su plenitud, así como un índice de reflexión muy bajo. Debe ser impermeable, resistente al impacto y a la intemperización. Comúnmente los fabricantes usan Cristal-plástico posterior, normalmente EVA (Etil-Vinil-Acetato) y el plástico posterior Tedlar TM en diferentes colores, translúcido o transparente. Cristal-cristal, el plástico posterior se sustituye por otro cristal. El adhesivo transparente posterior son resinas o siliconas.
- Arreglo de las celdas solares y sus conexiones.
- Encapsulante: Una capa que proporciona rigidez al sistema y estabilidad a los elementos que lo componen.
- Cubierta posterior.
- Marco de aluminio. Es el contorno del módulo, permite la instalación del mismo.
- Conectores entre las celdas y diodos de protección.
- Diodos de bloqueo.

Figura 3.8 Estructura convencional de un módulo o panel fotovoltaico comercial.



Fuente: Tomada de Martínez Elisa, Bautista Yolotzin, 2012, p.11 (Elisa & Yolotzin, 2012)

Comercialmente, los fabricantes tienen contemplado un tiempo de vida superior a los 25 años con una degradación de sólo 20%, al llegar a este tiempo el panel pierde ese porcentaje de generación respecto a las condiciones iniciales de fabricación. Actualmente este periodo se está extendiendo debido a los procesos de fabricación y refinación de los materiales, extendiendo todavía más la garantía de generación de los módulos.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Las especificaciones técnicas de los módulos son indispensables para realizar el dimensionamiento o diseño de un sistema solar fotovoltaico. Todos los fabricantes deben proporcionar las especificaciones técnicas de sus dispositivos.

Las especificaciones técnicas mínimas que deben contener los módulos fotovoltaicos en su Data Sheet son las siguientes:

- Potencia máxima (P_{max}): Potencia máxima entregada por el módulo.
- Potencia mínima (P_{min}): Potencia mínima que entrega el módulo bajo ciertas condiciones más adversas.
- Voltaje de circuito abierto (V_{oc}): Tensión del módulo en sus terminales sin conexión de carga.
- Voltaje máximo del sistema: El nivel de tensión de aislamiento del sistema.

- Corriente de corto circuito (I_{sc}): Corriente que circularía por el panel si se en condición de corto circuito de las terminales.
- Corriente para máxima potencia (I_{mp}): Corriente producida cuando el panel opera en el MPP.
- Voltaje para máxima potencia (V_{mp}): Tensión generada cuando el panel opera en el MPP.
- Temperatura de operación normal de la celda: Temperatura a la cual la celda entrega sus valores nominales conocida también como NOTC.
- Tolerancia de potencia a la salida: Máxima variación que podría presentar el módulo fotovoltaico en la potencia de salida.
- Fusible de protección.
- Tipo de celda, dimensiones y número de elementos: Información básica sobre el tipo de celdas del módulo, sus dimensiones y número de celdas.
- Tipo de conector con el que cuenta el módulo
- Peso del módulo.
- Dimensiones del módulo.
- Eficiencia del módulo.
- Tipos de certificaciones.
- Condiciones estándar de prueba (STC): Masa de aire (AM), radiación y temperatura

3.2.3 CURVA CARACTERÍSTICA DE UN MÓDULO

La expresión de la curva característica de un módulo o panel fotovoltaico es similar a la de una celda, pero con los parámetros referidos al módulo en vez de a la celda. En capítulo 3.1.4, se hace referencia a esta curva, que en consecuencia es la misma para un arreglo de celdas.

Recapitulando, la curva característica I-V de un módulo (y de igual modo la de un generador fotovoltaico) depende del número de celdas en serie y de ramas en paralelo. Es, en definitiva, la suma de las curvas características de las celdas que lo componen con sus correspondientes agrupaciones.

3.2.4 CONDICIONES ESTÁNDARES DE REFERENCIA

Los fabricantes suelen indicar los estándares de medida de sus paneles, es decir, las condiciones en las cuales los módulos fueron o son testeados, a estos datos los denominan STC por sus siglas en inglés de Estándar Test Condición y se refieren a las condiciones en que se ensayan los módulos para establecer los parámetros básicos,

actualmente ya se pueden encontrar esta referencia o información en español denominando a tales pruebas como CEM (Condiciones Estándares de Medida)

Dado que la curva característica I-V cambia con las condiciones medioambientales, se definen las Condiciones Estándares de Medida:

- Irradiancia: 1000 W/m².
- Distribución espectral de radiación ATM: 1.5G.
- Incidencia: normal.
- Temperatura de la celda: 25°C.

Los fabricantes incluyen en ciertas ocasiones la curva característica del módulo medida en el laboratorio y en condiciones estándares.

Como todas las mediciones que denotan la palabra estándar, es importante recalcar que las estas condiciones sirven para establecer líneas comparativas en el proceso de controles de calidad entre otras cosas. Sin embargo, estas condiciones no son habituales, podría presentarse una irradiancia de 1000 W/m² en algún momento del año, en algunas latitudes y a horas de máxima radiación, no se presentará con temperaturas de la celda a 25°C. Cuando hablamos de potencia pico nos referimos a la potencia máxima bajo condiciones ideales.

3.2.5 CONDICIONES NOMINALES DE OPERACIÓN

Por otro lado, las condiciones NOCT (Nominal Operating Cell Temperature) o en algunos casos que se utilizan sus siglas en español TONC (Temperatura de Operación Nominal de la Celda), nos proporcionan la temperatura que alcanza el generador FV cuando el éste se expone a una irradiancia de 800 W/m², una AM de 1,5G, una temperatura de 20°C (ambiental) y una velocidad de viento de 1 m/s.

La principal diferencia entre éstas y las STC, es que las NOCT tratan de simular condiciones con parámetros más realistas, ya que, en pocas ocasiones, prácticamente en ninguna, los módulos fotovoltaicos se encuentran trabajando en las condiciones estándares, puesto que dicho nivel de irradiancia solo suele darse al mediodía y en verano, alcanzando los módulos en esos casos temperaturas sensiblemente superiores a 25°C.

Por este motivo, se define la Temperatura de Operación Nominal de la Celda (TONC), como aquella temperatura que alcanzan las celdas cuando se somete al módulo a las denominadas Condiciones Nominales de Operación. Estas condiciones, que

representan un comportamiento del módulo más cercano a las condiciones reales de funcionamiento, son las siguientes:

- Irradiancia: 800 W/m².
- Distribución espectral de radiación ATM:1.5G.
- Incidencia normal.
- Temperatura ambiente: 20°C.
- Velocidad del viento: 1m/s.

Los fabricantes suelen incluir la TONC en sus hojas de características, y a menudo los nuevos valores, para las condiciones nominales de operación, de:

- Potencia máxima.
- Corriente de cortocircuito y tensión de circuito abierto.
- Corriente y tensión de máxima potencia.

En cuanto a la curva I-V, las hojas de características suelen incluir en estos casos diferentes curvas I-V para distintas temperaturas de la celda.

3.2.6 PERÍODO DE RETORNO ENERGÉTICO DE LAS CELDAS FOTOVOLTAICAS

La energía fotovoltaica se ha consolidado como una de las principales alternativas para la transición hacia un modelo energético sostenible. Sin embargo, una de las críticas más recurrentes señala que la fabricación de los componentes de un sistema fotovoltaico, especialmente los módulos solares, son responsables de un consumo extremadamente alto en su proceso de fabricación. Todo esto abordando un tema que está vinculado a los equipos de generación renovable. Este concepto se denomina, por sus siglas en inglés, Energy Pay Back Time, este concepto se refiere al tiempo que requiere un dispositivo para compensar el gasto energético, medido en gramos de CO₂, utilizado en el proceso de su fabricación desde el primer momento de la obtención de sus materias primas.

EL EPBT se ha convertido en un indicador que evalúa la sostenibilidad de cualquier elemento relacionado a las energías renovables y en el caso de los sistemas fotovoltaicos, es un indicador indispensable. En esencia, para que un sistema renovable sea considerado viable, el retorno de su vida útil, debe ser mayor que su EPBT, esta condición esta mas que comprobada. Estudios serios y ampliamente difundidos indican que, un sistema solar FV genera a lo largo de su vida útil (que es invariablemente larga- mas de 25 años-), nueve veces más energía que la utilizada en

el proceso de su construcción, incluyendo cada uno de sus elementos (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, 2024).

En el caso de las celdas específicamente, el mayor consumo energético se presenta en el proceso de extracción y purificación del silicio, su reprocesamiento implica un gasto energético adicional. Sin embargo, el desarrollo de cadenas de suministro específicas para la industria fotovoltaica y la mejora de los procesos industriales están reduciendo significativamente este consumo. Además, el avance en la eficiencia de conversión, el reciclaje de materiales y la optimización de la producción contribuyen a disminuir el impacto energético global.

Principales fuentes de emisiones asociadas a los paneles FV

- Producción de silicio: La purificación y cristalización del silicio es el proceso más intensivo en energía.
- Fabricación de celdas y módulos: Incluye corte de obleas, dopado, ensamblaje y encapsulación.
- Transporte y logística: Emisiones asociadas al traslado de materiales y módulos terminados.
- Instalación y mantenimiento: Aunque menores, también contribuyen al balance total.
- Fin de vida útil: Procesos de reciclaje y disposición final generan emisiones adicionales, aunque permiten recuperar materiales.

Estrategias de reducción

- Uso de silicio grado solar en lugar de silicio reprocesado de la industria electrónica.
- Optimización energética en las plantas de producción.
- Reciclaje de materiales como vidrio, aluminio y silicio.
- I+D respecto a tecnologías más refinadas que empleen menos material prima y energía.

Magnitud de la huella (Tabla 3.2)

- Promedio actual: Entre 20 y 40 g CO₂e/kWh generado durante la vida útil del panel.
- Comparación: Carbón ≈ 820 g CO₂e/kWh, gas natural ≈ 490 g CO₂e/kWh.
- Balance neto: Los paneles compensan sus emisiones iniciales en los primeros 1–4 años de operación, dependiendo de la tecnología.

Tabla 3.2 Huella de carbono de los generadores de energía.

Fuente energética	Emisiones promedio (g CO ₂ e/kWh)
Carbón	~820
Gas natural	~490
Fotovoltaica (actual)	20–40
Fotovoltaica (futuro)	¿?
Eólica	10–20

Fuente: Agencia de Protección Ambiental USA. (Agencia de Protección Ambiental, 2024)

Los factores principales que influyen en el EPBT son van desde la eficiencia de conversión eléctrica, es decir, mientras más se avance en la I+D, aparecerán formas más eficientes de producir los paneles y su EPBT bajará. Los procesos de eficiencia energética en proceso industriales, se debe buscar la eficientiza de los procesos para reducir el EPBT. Reciclaje, es bien sabido que es un proceso que ahorra energía en la extracción de materias primas e incluso procesos, aunque el proceso masivo de reciclaje, debido a la larga vida útil de los materiales-de las celdas, por ejemplo- se proyecta aún lejano. La optimización de las ubicaciones donde se instalan sistemas solares, entre más captación, mayor generación de energía de manera que, debido a su alta producción eléctrica, la justificación será más evidente.

Es preciso decir que los valores del EPBT varían en función de la tecnología que se emplee, los sistemas actuales basados en tecnología de silicio policristalino, presenta un retorno de 4 años aproximadamente, mientras que módulos que usan tecnologías más sofisticados, alcanzan valores cercanos al año

Todos estos valores ponen en evidencia la efectividad y la rápida evolución de los sistemas FV.

Los estudios más actualizados nos indican los siguientes EPBT's de los sistemas FV, para tecnología de Silicio:

- Sistemas actuales de Silicio policristalino: 4 años.
- Sistemas actuales de Silicio de lámina delgada: 3 años
- Sistemas actuales con Silicio Monocristalino: 2 años
- Sistemas con Silicio policristalino optimizado (en desarrollo): 2 años.
- Sistemas con silicio de capa celda de alto rendimiento (en desarrollo): 1 año

Debido a que los sistemas FV poseen una vida útil garantizada de 25 años (esta garantía indica que a los 25 años pierden un 20% de eficiencia), y esta vida sigue aumentando, gracias a las mejoras en el desarrollo y diseño de los materiales, se presume que sistemas generará a lo largo de su vida económica.

En términos medio ambientales el concepto de Análisis del Ciclo de Vida (LCA por sus siglas en inglés), demuestra que los módulos FV compensan su fabricación en los primeros años.

Por todo esto, el EPBT confirma la sostenibilidad de las tecnologías fotovoltaicas, si bien es cierto que absolutamente toda actividad humana genera huella de carbono y que la fabricación de los módulos FV no son una excepción, los costos reales en materia de impacto ambiental es muy baja y está ampliamente justificada. (IRENA, 2026)

3.2.7 DISPERSIÓN Y PÉRDIDAS EN LA CURVA I-V DE GENERADORES FOTOVOLTAICOS

La eficiencia de un generador fotovoltaico depende de la uniformidad de las características eléctricas de las celdas y módulos que lo componen. En la práctica, esta uniformidad rara vez se alcanza, ya que los módulos presentan una dispersión en sus curvas características I-V, fenómeno que afecta directamente la curva global de la celda y, en consecuencia, su rendimiento eléctrico. Este fenómeno se presenta como diferencias entre la corriente y la tensión en cada uno de los módulos, todo ello en detrimento de su potencia al conectarlos entre sí.

Las causas que explican este comportamiento son: pérdidas por dispersión y pérdidas por variación de las condiciones de funcionamiento.

Las pérdidas por dispersión son conocidas como 'mismatch losses', se forman en las tolerancias mismas del proceso de fabricación del generador. Aunque los controles de calidad y los estándares mitigan estas diferencias, es habitual que los generadores alcancen una dispersión de casi 10% en sus parámetros eléctricos. Esta variabilidad provoca que algunos módulos trabajen fuera de su punto óptimo de máxima potencia, limitando la corriente o el voltaje total del sistema y reduciendo la eficiencia global del generador.

Pérdidas por variación en las condiciones de funcionamiento, estas se deben a factores externos que afectan de manera desigual a las celdas y módulos. Entre las

causas más comunes se encuentran los sombreados parciales, la acumulación de polvo o suciedad, la presencia de obstáculos cercanos y las diferencias térmicas entre paneles. Cuando una parte del generador recibe menor irradiancia, las celdas afectadas reducen su corriente, lo que repercute en toda la cadena de módulos conectados en serie. Este fenómeno no solo disminuye la potencia generada, sino que puede provocar puntos calientes y acelerar la degradación de los materiales.

Las pérdidas por dispersión o mismatch losses se producen cuando los módulos no comparten la misma corriente o voltaje óptimos.

- En conexión en serie, la corriente total se limita al módulo con menor corriente.
- En conexión en paralelo, el voltaje se ajusta al módulo con menor tensión.
- Estas pérdidas pueden representar entre 2 % y 10 % de la potencia nominal del sistema, dependiendo del grado de heterogeneidad y las condiciones ambientales.

Además, las variaciones de irradiancia y temperatura modifican la forma de la curva I-V:

- A mayor temperatura, disminuye el voltaje de circuito abierto (V_{oc}).
- A menor irradiancia, disminuye la corriente de cortocircuito (I_{sc}).
- El punto de máxima potencia se desplaza, afectando la eficiencia del seguimiento MPP del inversor.

La dispersión y las variaciones de operación son inevitables en sistemas fotovoltaicos reales, pero pueden mitigarse mediante estrategias de diseño y mantenimiento.

Diagnóstico y mitigación

- Medición con trazadores I-V: permite comparar curvas reales con las de referencia y detectar módulos defectuosos o sombreados.
- Uso de optimizadores o micro inversores: cada módulo opera en su propio MPP, reduciendo pérdidas por dispersión.
- Mantenimiento preventivo: limpieza, revisión de conexiones y monitoreo térmico.

La selección de módulos con parámetros similares, el uso de micro inversores u optimizadores de potencia, y la limpieza periódica de los paneles son procedimientos que permiten reducir pérdidas. De la misma manera, analizar las respectivas curvas I-V de los módulos FV, nos permiten diagnosticar irregularidades y actuar en consecuencia para maximizar su funcionamiento.

3.2.8 PROBLEMAS DEL PUNTO CALIENTE

Un punto caliente es una región localizada en una celda o módulo fotovoltaico que presenta una temperatura significativamente mayor que el resto.

Causas principales:

- Sombreados parciales (árboles, edificios, suciedad).
- Defectos de fabricación o micro fisuras en las celdas.
- Degradación de materiales con el tiempo.
- Conexiones defectuosas o soldaduras dañadas.

Sombreado parcial de una celda de un módulo.

En los puntos de funcionamiento en que curva sombreada difiere de la no sombreada, la celda sombreada invierte su polaridad y se convierte en una carga que disipa parte de la potencia generada por las demás. Esto provoca un aumento de su temperatura que puede dañarla de forma irreversible.

Sombreados parciales en módulos de un generador.

Si los módulos trabajan en distintas condiciones de funcionamiento, es decir tienen curvas características I-V distintas, la curva característica global del generador fotovoltaico no puede generar la máxima potencia.

La protección de los generadores fotovoltaicos contra el problema del punto caliente se lleva a cabo fundamentalmente mediante los diodos de paso y los diodos de bloqueo:

- Diodos de paso: se colocan en paralelo con grupos de celdas en serie, para impedir que un problema en dichas celdas afecte al resto. Por ejemplo, en caso de un sombreado parcial en dichas celdas, la corriente circula por el diodo de paso correspondiente evitando las mismas.
- Diodos de bloqueo: se utilizan para proteger el generador de cortocircuitos debidos a distintas tensiones en ramas conectadas en paralelo. Los diodos de bloqueo se conectan en serie en cada una de las ramas en paralelo, aislando así las ramas de menor tensión. Estos diodos pueden ir situados en una caja de conexiones externa, hasta donde llegan los cables positivos procedentes de cada rama. De cualquier manera, no suele ser habitual encontrar diferencias importantes entre las tensiones de diferentes ramas.

Las repercusiones que producen los puntos calientes son variadas y de gran relevancia. Ocasionan una reducción significativa de la eficiencia de los módulos

debido a que los módulos suelen conectarse en serie. Causan sobrecalentamiento localizado, esto puede provocar una degradación acelerada del módulo, incluido los materiales de protección física, y conexiones internas.

En casos extremos pueden ocasionar pérdidas reversibles de los elementos de la instalación o incluso riesgo de incendios.

Desde el punto de vista económico, los puntos calientes representan pérdidas debido al acortamiento de la vida útil en general de la instalación además de altos costos de mantenimientos correctivos. Todo ello repercute en la rentabilidad del proyecto y el retorno de su inversión

Detección y prevención de los puntos calientes:

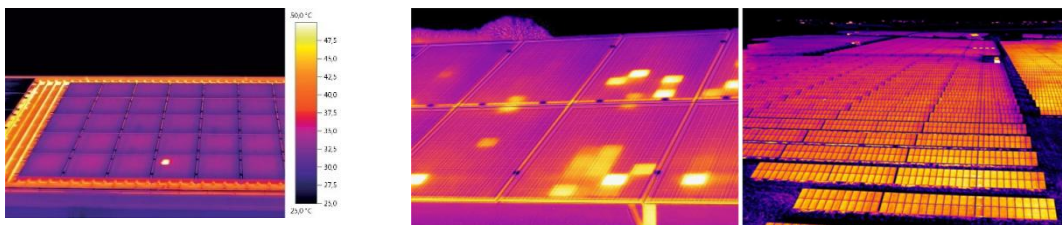
La inspección termográfica es uno de los procesos más seguros, eficaces y eficientes, se realiza mediante cámaras termográficas infrarrojas, los puntos calientes se aprecian a simple vista. Para prevenir puntos calientes, la detección de sombras no convencionales, la inspección visual de los elementos y limpieza periódica son mejores opciones. Finalmente, el uso de equipos individualizados de protección y generación ayudan a seccionar problemas en la instalación.

Detección y prevención

Inspección termográfica: Uso de cámaras infrarrojas para identificar zonas con temperaturas anómalas.

- Mantenimiento preventivo: Limpieza periódica de los módulos y revisión de conexiones eléctricas.
- Optimización del diseño: Uso de diodos de bypass y micro inversores para minimizar el impacto de módulos sombreados.

Figura 3.9 Puntos calientes en módulos solares, utilización cámara térmica para su identificación.



Fuente: Celdares, tomadas de (CELDARES, 2025)

Los puntos calientes representan uno de los pocos problemas técnicos que afectan la seguridad, durabilidad y sostenibilidad de una instalación solar FV. Sin embargo, su detección temprana es esencial para evitar este tipo de problemas que, a todas luces, es fácilmente realizable. La comprensión de que una instalación FV se trata de un activo y como tal debe cuidarse. El mantenimiento preventivo es, en todo momento, la pieza fundamental de su correcto funcionamiento

3.3 LAS BATERÍAS

La batería permite disponer de energía en ausencia de radiación solar, como ocurre por las noches o durante períodos de baja irradiancia (días nublados).

Otra importante función de las baterías es la de proveer una intensidad de corriente superior a la que el dispositivo fotovoltaico puede entregar. Tal es el caso de un motor, que en el momento del arranque puede demandar una corriente de 4 a 6 veces su corriente nominal durante unos pocos segundos.

Sin embargo, es un elemento caro, poco robusto (duración menor de 5 años) y de cierta peligrosidad. De hecho, la batería es el punto débil de los sistemas fotovoltaicos autónomos, dado que su vida útil es considerablemente menor que la del resto de componentes del sistema, lo que supone un importante coste de mantenimiento del sistema. La reducida vida útil de las baterías se acorta todavía más debido a los profundos ciclos de descarga que se producen cuando el período de ausencia de irradiancia se alarga en exceso.

La capacidad total de la batería se calcula multiplicando el consumo diario medio obtenido, teniendo en cuenta las pérdidas, por el número de días consecutivos que es previsible que la irradiación solar sea nula o insuficiente. Este número dependerá principalmente de la zona y el tipo de clima, existiendo tablas en las que podemos obtener dichos valores.

Una vez tenemos la capacidad necesaria para la batería, dividimos por la tensión de suministro y obtendremos el valor de la acumulación en Amper por hora (Ah) que es la unidad utilizada para referirnos a capacidades de acumulación.

Factores que afectan la capacidad real de las baterías:

- Temperatura: A bajas temperaturas, la capacidad disminuye, a altas temperaturas se acelera la degradación de las mismas, se reduce su capacidad útil y aumentan los riesgos de seguridad como fugas térmicas o incendios.
- Velocidad de descarga: Descargas rápidas reducen la capacidad efectiva.

- Envejecimiento: Con el uso, la capacidad se degrada.
- Condiciones de fabricación: Diferencias en materiales y procesos afectan el rendimiento.

TIPOS DE BATERÍAS

BATERÍAS DE LITIO

Las baterías de litio son actualmente las más utilizadas en instalaciones fotovoltaicas modernas porque ofrecen alta densidad energética, eficiencia superior al 95% y una vida útil que puede superar los 4000–6000 ciclos de carga/descarga. Aunque su coste inicial es mayor que el de las de plomo-ácido, resultan más rentables a largo plazo.

Las principales características de las baterías de litio (Li-ion/Li-pol) son las siguientes:

- Tipo de química, Li-Ion y Li-pol.
- Densidad energética, mucho mayor que las convencionales Plomo-acido
- Eficiencia del 95%, con pérdidas mínimas en carga y descarga.
- Vida útil de entre 4,000 y 6,000 ciclos, en función de su química interna y gestión (BMS)
- Mantenimiento nulo debido a gestión integrada
- Desde 12V, 24V y 48V hasta sistemas de alto voltaje >90V

VENTAJAS

- Mayor autonomía: Permiten aprovechar mejor la energía solar almacenada.
- Compactas y ligeras: Ocupan menos espacio que las baterías tradicionales.
- Durabilidad: Larga vida útil, ideal para uso diario en autoconsumo.
- Carga rápida: Admiten mayores corrientes de carga sin degradarse tanto.

DESVENTAJAS

- Costo inicial elevado: Requieren mayor inversión que las de plomo-ácido.
- Sensibilidad térmica: Necesitan sistemas de gestión para evitar sobrecalentamiento.
- Disponibilidad de materiales: Algunas químicas dependen de metales críticos como el cobalto.

BATERÍAS DE PLOMO - ÁCIDO DE ELECTROLITO LÍQUIDO

Se utilizan en forma muy amplia en los sistemas de generación fotovoltaicos. Las baterías de plomo-calcio son las más comunes, pero existen dentro de ésta categoría las de Plomo-ácido, Plomo-antimonio y plomo- selenio.

La unidad básica de una batería es la celda con capacidad de 2 V aunque la tensión varía entre 1,75 Volts y 2,5 Volts. En su interior, la tensión real de la batería dependerá de su estado de carga, si se encuentra cargando en fase de descarga o en circuito abierto.

Se puede clasificar a las baterías en función de su capacidad de almacenamiento de energía (medido usualmente en mAh o Ah en relación a su tensión nominal) y a sus ciclos de vida (es decir, la cantidad de veces en que la batería puede ser descargada y cargada a fondo durante su vida útil).

Asimismo, la capacidad de almacenaje de una batería dependerá de su velocidad de descarga. su capacidad nominal corresponde al tiempo de descarga (generalmente de 10 horas). La cantidad de energía que la batería entrega es mayor en función de su tiempo de descarga, normalmente el tiempo de descarga típico para sistemas fotovoltaicos es de entre 10-100 horas (C10-C100). Por ejemplo, una batería que posee una capacidad de 80 Ah, tendrá 8 A de capacidad en 10 horas, 4A en 20 horas u 80A en 1 hora.

Dentro de las baterías de plomo-ácido, existen las estacionarias de bajo contenido en antimonio y se tratan de una muy buena opción para los sistemas FV. Estas poseen alrededor de 2,500 ciclos de vida con una profundidad de descarga del 20% (es decir que la batería estará con un 80% de su carga) y unos 1,200 ciclos cuando la profundidad de descarga es del 50% (batería con el 50 % de su carga).

Poseen, además, una baja autodescarga, 3% mensual aproximadamente en comparación al 20% de una batería de plomo-ácido, además de tener un mantenimiento mínimo.

Estas características encajan también con las baterías de plomo-calcio y plomo-selenio, estas poseen una resistencia interna baja, valores despreciables de gasificación y una autodescarga baja.

BATERÍAS SELLADAS – GELIFICADAS

Las baterías gelificadas son una variante de las clásicas baterías de plomo-ácido, en estas baterías, el electrolito líquido (H₂SO₄) se encuentra en forma de un gel similar a una jalea que puede ser muy denso, mediante la adición de sílices coloidales. Esto les

da propiedades especiales frente a las baterías de plomo-ácido convencionales. NO admiten descargas profundas

BATERÍAS NÍQUEL – CADMIO

Estos acumuladores utilizan el hidróxido de níquel y cadmio metálico como materiales activos. Utilizan un electrolito activo alcalino como lo es Hidróxido de potasio. Estas baterías admiten descargas profundas de hasta el 90% de su capacidad nominal, cuentan con un bajo coeficiente de descarga y tienen un excepcional rendimiento en variaciones de altas temperaturas, tienen una tensión nominal usualmente de 1.2V. Poseen un rendimiento de absorción de carga mayor al 80%. Uno de los inconvenientes es su elevado costo, por lo tanto, no se justifica su utilización en aplicaciones rurales.

Dependiendo de la necesidad de mantenimiento, se pueden conseguir en las dos versiones, standard y selladas.

BATERÍAS SELLADAS-ELECTROLITO ABSORBIDO

Son una variante ‘avanzada’ de las baterías plomo-acido, en estas baterías el electrolito se encuentra retenido en una fibra de vidrio micro porosa o en un arreglo polimérico, esto evita derrames, esta última cualidad permite que estas baterías funcionen en cualquier posición, soportando descargas moderadas. Al igual que las baterías gelificadas, no requieren mantenimiento (adición de agua normalmente) y no generan gases, reduciendo significativamente el riesgo de explosión. Sin embargo, ambas tecnologías (gelificadas y electrolito absorbido), necesitan trabajar con descargas poco profundas para garantizar una vida útil prolongada.

BATERÍAS DE FLUJO (VANADIO, ZINC-BROMO)

Estas baterías se usan debido a su tecnología de almacenamiento a gran escala que destacan por su larga vida útil, seguridad y capacidad de ser escalables, aunque tienen menor densidad energética y costes elevados. Son baterías recargables en las que el electrolito líquido (con especies electroactivas) circula a través de una celda electroquímica y cuya energía almacenada depende del tamaño de los tanques de electrolito, mientras que la potencia depende del tamaño del stack de celdas, esto permite independencia entre energía y potencia, algo único frente a otras tecnologías.

Tipos principales de baterías de flujo:

1. Baterías de Vanadio (VRB): Utilizan pares redox de vanadio disueltos en ácido sulfúrico. Tienen una eficiencia de 70%-80%. Ventajas: Eliminan el problema de contaminación cruzada de iones. Larga vida útil (más de 10.000 ciclos). Alta seguridad y estabilidad química. Desventajas: Coste elevado por el precio del vanadio. Baja

densidad energética (requieren grandes tanques). Aplicaciones: Grandes plantas solares y eólicas, almacenamiento estacionario a escala de red.

2. Baterías de Zinc-Bromo (Zn-Br): Basadas en electrolitos con zinc y bromo, tienen una eficiencia de 65%-75%. Ventajas: Menor coste de materiales que el vanadio. Vida útil de 2,000 a 5,000 ciclos de carga. Buena estabilidad y capacidad de descarga profunda. Desventajas: Riesgo de corrosión y manejo más complejo del bromo. Menor eficiencia energética que las VRB. Aplicaciones: Proyectos medianos, almacenamiento modular. Sistemas de almacenamiento estacionario.

BATERÍAS DE AGUA SALADA

Son una tecnología emergente de almacenamiento, utiliza electrolitos basados en agua con sales minerales disueltas por lo que no son tóxicas o inflamables al utilizar compuestos combustibles o peligrosos. Su vida útil se ubica entre los 2,00 y 5,00 ciclos, son sin duda de las opciones sostenibles más claras frente a baterías convencionales.

VENTAJAS

- Sostenibilidad, abundancia de materia prima y altamente reciclables. No contiene metales pesados ni tierras raras.
- Seguras al medio ambiente, en caso de fuga no contaminan.
- Mantenimiento mínimo pues no requieren sistemas complejos de gestión.
- Costo medio, aunque más asequibles respecto a las más sofisticadas, es más cara que las convencionales.

DESVENTAJAS

- Menor densidad energética, más volumen de almacenamiento por necesitar más unidades que compensen esa baja densidad.
- Más caras y menos eficientes que las convencionales.
- Poca disponibilidad al tratarse de una tecnología no convencional y no tan comercial.

APLICACIONES

- Viviendas sostenibles, proyectos ecológicos en donde el bajo impacto ambiental es indispensable.
- Pequeñas instalaciones aisladas donde el espacio no es problema y se busca un bajo costo operativo.

- En almacenamiento comunitario, es decir, proyectos cooperativos y sociales que valoran la sostenibilidad.

BATERÍAS DE SALES FUNDIDAS

Las baterías de sales fundidas son una tecnología de almacenamiento que utiliza electrolitos (sales de sodio, litio o mezclas de cloruros y carbonatos) en estado líquido a altas temperaturas (normalmente entre 250 °C y 350 °C). Se consideran una opción para proyectos de gran escala por su alta capacidad y estabilidad, aunque requieren condiciones especiales de operación tales como sistemas de calefacción constante. Tienen una eficiencia de entre 70% y 90% dependiendo de su diseño, densidad energética moderada y miles de ciclos de recarga-descarga.

VENTAJAS

- Capacidad de almacenamiento alto, para proyectos industriales y redes eléctricas.
- Excelente estabilidad química, con un menor riesgo de pérdidas y fugas térmicas.
- Durables, pueden ofrecer una vida útil prolongada y bajo costo operativo.
- Materia prima abundante, al usar sales comunes, se vuelven mas asequibles que los metales críticos como el cobalto.

DESVENTAJAS

- Al requerir altas temperaturas, necesitan sistemas de aislamiento térmico y calefacción, lo que aumenta su complejidad de instalación.
- Costo elevado al inicio, necesitan infraestructura especializada para mantener su nivel de operación diseñado.
- No suelen usarse en el ámbito domestico debido a su tamaño y requisitos especiales.

APLICACIONES EN FV

- Almacenamiento a gran escala: Plantas solares y eólicas conectadas a la red.
- Proyectos industriales: Donde se requiere estabilidad y capacidad de almacenamiento masivo.
- Integración en sistemas híbridos: Combinadas con otras tecnologías para mejorar la gestión energética.

Las baterías de sales fundidas son una solución prometedora para almacenamiento masivo en proyectos industriales y de red, pero no resultan prácticas para instalaciones residenciales por sus exigencias térmicas y de infraestructura.

3.4 EL REGULADOR/CONTROLADOR DE CARGA

El regulador o controlador de carga es un dispositivo electrónico que ayuda a regular la energía que proviene desde de los módulos solares hasta las baterías o el sistema de cargas mismo (generalmente). La función principal de este dispositivo es prevenir y proteger de la sobrecarga y sobre-descarga a las baterías, que son un elemento crítico en las instalaciones aisladas u off-grid. El uso de este elemento asegura que las baterías operen dentro de parámetros de seguridad y que sean eficientes. El dimensionamiento y elección del controlador/regulador de carga debe responder a un análisis y cálculo que no se deslinden de la factibilidad económica, pero sin dejar de lado la importancia que este aparato tiene en un sistema solar fotovoltaico, ya que su presencia resulta indispensable.

Se podría decir que, junto con los inversores, el controlador de carga, forman juntos el cerebro de la instalación aislada, siendo el responsable de gestionar el voltaje y la corriente del sistema que vienen de los paneles solares, analiza en tiempo real y gestiona las cargas y descargas de las baterías, regula la temperatura mediante algoritmos de corte y conexión en la entrada y salida de corriente, finalmente, realiza la gestión de carga y descarga de baterías y balancea el sistema. A grandes rasgos el controlador es un mediador entre paneles solares y baterías.

Los parámetros que definen a un controlador/regulador de carga son dos principales: el nivel de tensión que debe coincidir con el sistema y la corriente máxima que puede gestionar

A diferencia de otros componentes como los inversores (que convierten corriente continua a alterna), el controlador de carga solar trabaja exclusivamente con corriente continua, optimizando la transferencia de energía entre paneles y baterías.

Actualmente los controladores incorporan algoritmos y circuitos entre los que se destacan

- Microcontroladores, que son los encargados de procesar algoritmos de carga y descarga inteligentes.
- Sensores de voltaje y corriente, que realizan la función de monitorizar los parámetros deseados en tiempo real.

- Circuitos de protección que previenen los daños que pudiesen presentarse por sobrecarga o cortocircuitos.
- Sistemas de disipación térmica, estos se encargan de mantener las temperaturas dentro de los rangos de operación óptimos.

TIPOLOGIA DE LOS CONTROLADORES

Existen dos tecnologías que principales sobre otras variantes, los reguladores PWM (Pulse Width Modulation por sus siglas en inglés) y los MPPT (Maximum Power Point Tracker), cada una con las variantes específicas que determinan sus distintas aplicaciones.

CONTROLADORES PWM (Moduladores de Ancho de Pulso)

Se caracterizan por la simplicidad y bajo costo, representan la tecnología mas usual en los sistemas pequeños y aislados. Su funcionamiento es parecido a un interruptor inteligente que actúa regulando la carga mediante pulsos de corriente.

CONTROLADORES MPPT (Seguidores de Punto de Máxima Potencia)

Representan la tecnología más avanzada y eficiente en cuestión de gestión de energía, funcionan con algoritmos que se valen de la curva I-V de los módulos, en función de las condiciones de generación, estos ajustan la impedancia manteniendo a los paneles operando en su punto máximo de potencia, independientemente de la condición de las baterías.

PROCESO DE FUNCIONAMIENTO

1. Detección inicial del voltaje de la batería, configurando sus parámetros en base a ello.
2. Monitorización continua de la tensión, la corriente y la temperatura en tiempo real.
3. Optimiza la carga ajustando los parámetros que maximizan la transferencia de la energía solar fotovoltaica.
4. Protege activamente ajustando las medidas necesarias para las condiciones particulares detectadas.

3.5 INVERSORES DE CORRIENTE

La producción de corriente eléctrica que proviene de los paneles es corriente directa o continua, esta debe convertirse en corriente alterna para poder ser aprovechada por los sistemas de consumo actuales. Para tal fin se debe valer de un dispositivo que realice tal función, es aquí donde aparecen en la escena los inversores de corriente.

Estos dispositivos se encargan, mediante la utilización de algoritmos avanzados y circuitos especiales, de regular la corriente de entrada en DC para convertirla en AC, específicamente en los sistemas solares fotovoltaicos, los inversores captan la energía proveniente de los paneles y la entrega al punto de interconexión de la red eléctrica local. Los inversores de corriente fotovoltaicos además gestionan de manera eficiente la producción de energía, protegen al sistema y optimizan la producción eléctrica. En suma, además de cumplir con la función de conversión, también garantizan la seguridad, la eficiencia y la estabilidad en las instalaciones solares fotovoltaicas.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Desde un punto de vista técnico, los inversores actuales incorporan sistemas de protección contra sobrecargas, cortocircuitos y variaciones de tensión, lo que asegura la integridad de la instalación y de los equipos conectados. Además, algunos integran algoritmos de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT), capaces de ajustar de manera dinámica la tensión y la corriente para extraer el máximo rendimiento de los paneles en condiciones cambiantes de radiación solar. Los inversores actuales alcanzan niveles de eficiencia superiores al 95%, lo que significa que la mayor parte de la energía captada por los módulos se aprovecha de manera efectiva. Sus principales características son:

- Alta eficiencia de conversión: los modelos modernos alcanzan entre 95% y 99% de eficiencia.
- Protecciones eléctricas: contra sobrecargas, cortocircuitos, sobretensiones y variaciones de frecuencia.
- Resistencia ambiental: diseñados para soportar condiciones extremas de temperatura y humedad.
- MPPT (Maximum Power Point Tracking): sistema que ajusta continuamente la tensión y corriente para maximizar la producción energética de los paneles.
- Apagado automático en cortes de red: evita riesgos eléctricos en sistemas conectados a la red.

TIPOS DE INVERSORES

Existen diferentes tipologías de inversores que responden a necesidades específicas. Los inversores centrales se emplean en grandes plantas solares, donde se requiere manejar potencias elevadas. Los inversores string, más flexibles, permiten conectar cadenas de paneles y son comunes en instalaciones medianas. Los micro inversores, por su parte, optimizan el rendimiento de cada módulo individual y resultan ideales en sistemas residenciales. La elección del inversor dependerá de la configuración de módulos, de los objetivos de eficiencia y por supuesto de la magnitud del proyecto.

Tabla 3.3 Clasificación de los inversores según su tipo de uso y solicitud de diseño.

Tipo de inversor	Características	Aplicación
Central	Alta potencia, conectan grandes arreglos de paneles	Plantas solares industriales
String	Conectan series de paneles, flexibles y escalables	Instalaciones medianas
Microinversores	Se instalan en cada módulo o panel, optimizan individualmente	Sistemas residenciales
Onda senoidal pura	Corriente alterna de alta calidad	Equipos sensibles e industriales
Onda modificada	Más económicos, pero menos eficientes	Usos básicos y pequeños sistemas

Fuente: Información del libro: Generación de energía solar fotovoltaica (Jutglar, 2012)

Es adecuado decir que, los inversores son el corazón de los sistemas FV, en mayor medida de los sistemas Grid-Tied o interconectados a red. Su presencia resulta indispensable pues gracias a ellos la energía solar puede aprovecharse de manera práctica en nuestra cotidianidad y en la industria. Estos dispositivos han evolucionado de manera que han logrado que la energía solar sea más competitiva, rentable y confiable, ayudando a consolidar a la fotovoltaica como una opción real en el paso a hacia la transición energética.

LA POTENCIA DE LOS INVERSORES EN SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Una de las características más importantes de los inversores es su potencia nominal, esta determina su capacidad de conversión y por consiguiente el tamaño de la instalación que gestionaran.

La potencia de estos dispositivos se expresa en kilowatt (kW) o megawatt (MW), y esta intrínsecamente relacionada con la cantidad de paneles que pueden estar conectados y la demanda energética solicitada. Para instalaciones residenciales, el rango de potencias de los inversores se ubica entre 1 kW y 10kW, generalmente el rango de consumo habitual para ese tipo de uso. Para proyectos de mayor tamaño como por ejemplo, instalaciones comerciales o industriales de tamaño medio, se vale de

inversores en los rango desde los 50kW hasta los 0.5MW, los cuales son capaces de gestionar cadenas de paneles más grandes y son lo suficientemente adecuados para manejar los volúmenes de consumo de esas instalaciones. Finalmente, los inversores destinados a la producción a gran escala rondan potencias superiores a 1MW, llegando inclusive a capacidades de decenas de Megawatt en proyectos descentralizados o de generación eléctrica masivos.

Mas allá de mirar las potencias nominales de estos aparatos, para poder determinar la potencia de un inversor se debe analizar cuidadosamente su eficiencia de conversión, que ronda actualmente incluso, valores superiores al 95% de eficiencia. Esto quiere decir que la mayor parte de la captación solar de los módulos, es aprovechada y transformada en energía eléctrica, en su condición de corriente alterna, sin tener pérdidas significativas en el proceso de conversión. Por lo tanto, su dimensionamiento debe ser preciso pues de esta manera se asegura una integración eficiente, evitando sobrecargas y una maximización del recurso solar (Jutglar, 2012) .

En conclusión, la potencia de un inversor el factor que define el tamaño y la rentabilidad del proyecto.

3.6 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÓNOMOS, AISLADOS U OFF GRID

Los sistemas fotovoltaicos autónomos, también conocidos en inglés como off-grid photovoltaic systems, son instalaciones cuya energía no se inyecta a la red eléctrica convencional, sino que se destina exclusivamente a alimentar cargas independientes que carecen de conexión a dicha red. Su finalidad principal es garantizar un suministro confiable de electricidad en entornos aislados.

Sus principales aplicaciones son:

1. Uso doméstico de baja potencia, incluye dispositivos como calculadoras, relojes, pequeñas herramientas eléctricas, cargadores, sistemas de ventilación en vehículos y lámparas solares.
2. Aplicaciones industriales, se emplean en telecomunicaciones, señalización de tráfico, sistemas telemáticos, pantallas de visualización, luces de navegación, monitorización remota y refrigeración de equipos sanitarios.
3. Uso en zonas rurales y remotas, se usan para alumbrado público, suministro a pequeñas comunidades, electrificación de escuelas, bombeo, etc

Una de las bondades de estos sistemas radica en la posibilidad de suministrar energía eléctrica a áreas que carecen del recurso. Aunque pudiese parecer que las instalaciones fotovoltaicas son un recurso costoso, en realidad es que un porcentaje de la población no dispone de electricidad, aquí es donde la solución fotovoltaica resulta mas económica que una instalación convencional.

Las estadísticas recientes muestran que la electricidad solar se ha implantado en numerosas áreas donde resulta competitiva por sí misma.

Más allá del aspecto económico, la rentabilidad social es considerable: disponer de electricidad significa acceso a iluminación, instalaciones sanitarias, refrigeración de alimentos y medicinas, comunicaciones y educación. En este sentido, la energía fotovoltaica se convierte en un motor de desarrollo.

Para que estos sistemas funcionen de manera eficiente, los aparatos de consumo deben ser de bajo consumo diario medio de la instalación. En el mercado existen electrodomésticos diseñados específicamente para operar en corriente continua, generalmente a 12 Vdc o 24 Vdc. El primer paso en el diseño de una instalación autónoma consiste en calcular el consumo medio diario, tomando en cuenta la potencia de cada aparato y el tiempo de uso, el resultado se incrementa en un 20 % para compensar las pérdidas propias de la instalación.

3.7 CONFIGURACIÓN DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÓNOMOS

Los sistemas fotovoltaicos autónomos más completos son los relacionados con la electrificación rural y suministro eléctrico de hogares ('Solar Home Systems').

Estos sistemas fotovoltaicos constan por lo general de:

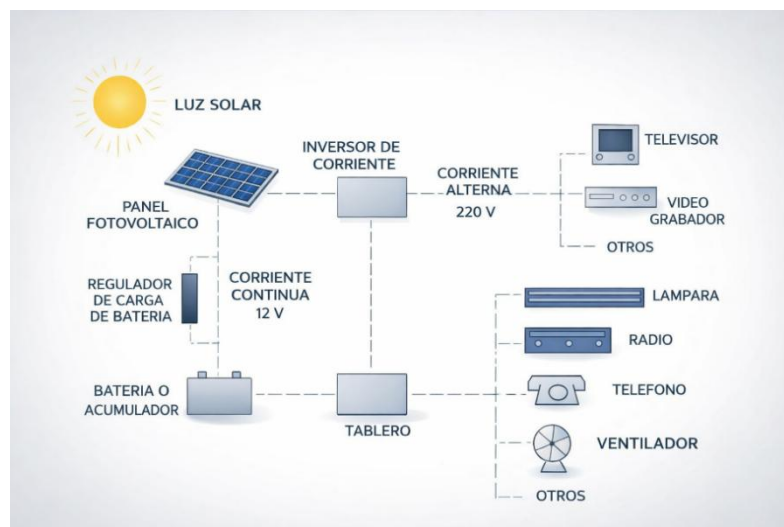
1. Varios módulos fotovoltaicos (que forman el generador fotovoltaico).
2. Regulador.
3. Sistemas de acumulación (habitualmente formado por baterías).
4. Inversor fotovoltaico.
5. Protecciones eléctricas.

Así pues, los componentes principales en una instalación solar fotovoltaica aislada generalmente son los siguientes (Figura 3.10):

- Panel o modulo fotovoltaico
Es el conjunto de generadores FV que hacen posible la conversión de la energía solar en energía eléctrica.

- Regulador/controlador de carga
Aparato que gestiona el flujo eléctrico entre paneles, batería y cargas de consumo
- Baterías/Almacenamiento
Acumula la energía generada para su uso posterior o en momentos de baja producción en tiempo real.
- Inversor (opcional)
Convertor de la corriente continua en alterna. En sistemas aislados, dependiendo de las cargas conectadas, su uso es opcional.
- Cargas de consumo
Aparatos de consumo eléctrico generalmente diseñados para trabajar con tensiones con corriente continua.

Figura 3.10 Esquema de la configuración típica de un sistema solar fotovoltaico autónomo.



Fuente: Internet. Imagen regenerada por IA

Las cargas que alimenta el sistema fotovoltaico pueden ser de corriente continua (DC) o de corriente alterna (AC). Si las cargas demandan corriente en continua, no es necesario colocar el inversor. Por ello, es recomendable evitar el uso de cargas de alterna, ya que requieren de inversor, lo cual incrementa el coste del sistema. En la actualidad existe una gran variedad de cargas preparadas para funcionar en continua en sistemas fotovoltaicos autónomos (iluminación, motores, refrigeradores, radios, televisores, etc.).

3.8 INVERSOR FOTOVOLTAICO PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÓNOMOS

Los inversores de corriente dedicados a sistemas fotovoltaicos aislados (off-grid) constituyen el núcleo funcional de estas instalaciones, al transformar la energía en corriente continua (DC) proveniente de baterías en corriente alterna (AC) utilizable por los equipos eléctricos. El diseño de estos dispositivos debe orientarse a garantizar una autonomía energética, así como estabilidad de operación y la protección integral en zonas que no disponen de acceso a la red eléctrica pública. Los inversores para sistema aislados son dispositivos que necesitan ser bien diseñados y dimensionados para garantizar su correcta fiabilidad

FUNCIONES PRINCIPALES DE LOS INVERSORES PARA SISTEMAS AUTÓNOMOS

- Conversión de corriente (AC/DC) y adaptación de voltajes de 12V, 24V o 48V a 127V o 230V, con frecuencias estables de 50 y 60 Hz.
- Supervisión de la energía, gestionando cargas y descargas de baterías, evitar descargas y sobrecargas profundas.
- Protección de cargas, regulación de voltaje y frecuencia.
- Posibilidad de conexión con otros sistemas de generación (función híbrida).

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS CRÍTICAS

Potencias pico y nominal: Rangos de 500W – 10 kW, debe soportar picos de arranque de motores.

Tipo de onda sinusoidal: Pura, debido a equipos eléctrico-electrónicos sensibles.

Eficiencia: en función de su topología (con o sin transformador), entre 90% y 96%.

Protecciones: Debe contar con protecciones contra cortocircuitos, sobrecargas, sobretensiones y sobreintensidades.

Compatibilidad: Debe soportar baterías de litio (LiFePo4) con BMS y ciclos de 3,000 a 8,000.

DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA DE UN INVERSOR EN SISTEMAS AISLADOS

La capacidad de un inversor depende de su correcto dimensionamiento de cargas de la capacidad del banco de baterías y de la potencia de la instalación solar, no se trata de un valor fijo. En la realidad, los inversores para sistemas aislados comerciales cubren rangos desde los 0.5 kW hasta los 15kW, mientras que en viviendas convencionales rondan lo 3kW y 5kW.

Los rangos de potencias recomendados se muestran en la Tabla 3.4

Tabla 3.4 Rangos de potencias recomendadas para los inversores Off Grid o autónomos.

Tipo de instalación	Potencia inductor recomendada	Observaciones
Pequeñas cabañas/refugios	0,5 – 2 kW	Cargas básicas (iluminación, pequeños electrodomésticos).
Vivienda aislada estándar	3 – 5 kW	Permite uso de electrodomésticos comunes y bombas pequeñas.
Vivienda con alta demanda	6 – 10 kW	Necesario para climatización, bombas grandes o talleres.
Instalaciones productivas	10 – 15 kW	Granjas, hoteles rurales, sistemas híbridos con generador.

Fuente: Información del libro: Generación de energía solar fotovoltaica (Jutglar, 2012)

METODOLOGÍA DE DIMENSIONAMIENTO

Inventario de cargas solicitadas. - Se debe enlistar todas las cargas que el sistema soportara, potencias tiempos de uso y cantidad de aparatos.

Calcular la potencia simultánea. - Se tiene que determinar la demanda máxima en el momento de mayor demanda de las cargas, determinar el factor de simultaneidad y considerar picos de arranque

Establecer la autonomía. - Determinar las horas de respaldo, cuánto tiempo podrá funcionar el sistema sin carga solar. Esto determina la capacidad de las baterías.

Determinación de la compatibilidad de la tensión de funcionamiento del banco de baterías y el mismo inductor.

Elección del equipo.

Se deberá dimensionar de manera mediante un análisis técnico integral, donde se tenga en cuenta la capacidad del sistema, la demanda de cargas, el almacenamiento y las condiciones de operación. El sobredimensionamiento puede ocasionar pérdidas por bajo rendimiento, mientras que si se infra diseña, se tendrá un sistema incapaz de suministrar correctamente a las cargas del sistema y de las baterías. Todo ello conlleva molestias innecesarias por el lado económico y por el lado de la funcionalidad.

Por otra parte, la evolución de los sistemas la integración de almacenamiento avanzado y los nuevos algoritmos de gestión en sistemas híbridos, inteligentes y modulares, esta marcando la tendencia hacia estas soluciones.

TENDENCIA EN LOS INVERSORES OFF GRID

Optimización inteligente, mediante el uso de nuevas tecnologías de IA, que predicen la generación solar y gestión de cargas, logrando mas del 20% de eficiencia adicional.

Hibridación, equipos que son capaces de alternar en modo aislado e interconectado.

Escalabilidad modular, estos sistemas permiten aumentar o disminuir la capacidad de potencia o almacenamiento según la demanda y sin necesidad de recalcular la instalación.

Digitalización, monitorización remota con IoT (internet de las cosas), gestión en la nube para mantenimientos preventivos.

3.9 POSIBLES CONFIGURACIONES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÓNOMOS

Las posibles configuraciones de los sistemas aislados dependen del tipo de acoplamiento entre el generador fotovoltaico y la carga. El acoplamiento más sencillo es el directo. Este acoplamiento no incluye sistemas de almacenamiento de energía (SAE) en su configuración y, por tanto, la potencia suministrada a la carga es variable dependiendo de la irradiancia en cada momento. La utilización o no de un inversor depende de la aplicación. En el caso de alimentar cargas de continua, el sistema se diseña de modo que la tensión de funcionamiento de la carga sea aproximadamente la correspondiente al punto de máxima potencia del generador fotovoltaico.

El bombeo fotovoltaico es una aplicación típica de acoplamiento directo. Si el motor eléctrico utilizado es de continua, el sistema no requiere inversor. Pero si el motor es de alterna, es necesario incluir un inversor fotovoltaico que se diseña para hacer funcionar al generador fotovoltaico en todo momento a la tensión correspondiente al punto de máxima potencia.

El acoplamiento entre el generador fotovoltaico y las cargas también puede ser de tipo indirecto a través de sistemas de almacenamiento de energía (SAE, baterías).

En estos casos, el SAE está conectado a un regulador de carga que controla su tensión manteniéndola siempre dentro de un rango determinado de funcionamiento.

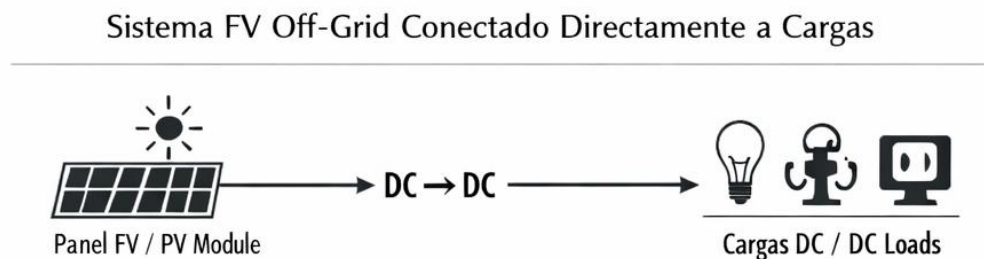
Los límites para la tensión de la batería se eligen de manera que se sitúen alrededor del punto de máxima potencia. De nuevo, la presencia o no de un inversor fotovoltaico depende de si el sistema se diseña para alimentar cargas de continua o alterna.

A continuación, se muestran unos ejemplos acerca del acoplamiento de los distintos elementos:

DIRECTAMENTE CONECTADOS A UNA CARGA

Es el sistema más simple en el cual el generador fotovoltaico se conecta directamente a la carga (Figura 3.11). Se utiliza fundamentalmente en bombeo de agua. Al no existir controladores, baterías o componentes electrónicos, aumenta la confiabilidad, pero resulta difícil mantener un desempeño eficiente a lo largo del día.

Figura 3.11 Configuración de un sistema autónomo directamente conectado a cargas

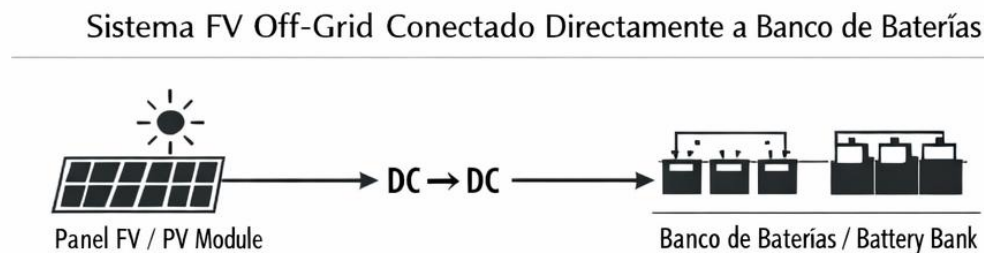


Fuente: Internet. Imagen generada por IA

SISTEMA FV MÓDULO BATERÍA.

Se puede utilizar un módulo fotovoltaico para reponer simplemente la autodescarga de una batería que se utilice para el arranque de un motor, por ejemplo (Figura 3.12). Para ello pueden utilizarse los módulos de silicio amorfo o Monocristalino. Otra importante aplicación en la que el sistema fotovoltaico se conecta en forma directa a la batería es en sistemas de electrificación rural de pequeña potencia. En estos casos se utilizan uno o dos módulos de silicio Monocristalino de 30 celdas cada uno conectados en paralelo para lograr la potencia deseada.

Figura 3.12 Configuración de un sistema autónomo directamente conectado a banco de baterías.



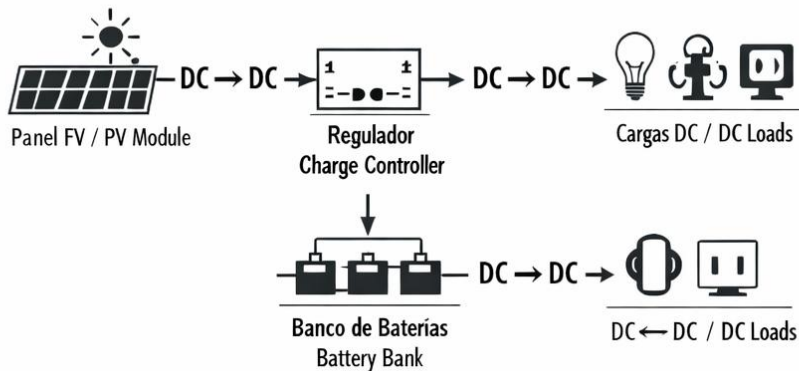
Fuente: Internet. Imagen generada por IA

SISTEMA FV REGULADOR-BATERÍA

Es la configuración utilizada con módulos de 33 o 36 celdas en la cual se conecta el generador fotovoltaico a una batería a través de un regulador para que esta no se sobrecargue (Figura 3.13). Las baterías alimentan cargas en corriente continua.

Figura 3.13 Configuración Regulador-Batería-Carga de un sistema autónomo u Off Grid.

Sistema FV Off-Grid con Regulador, Baterías y Cargas



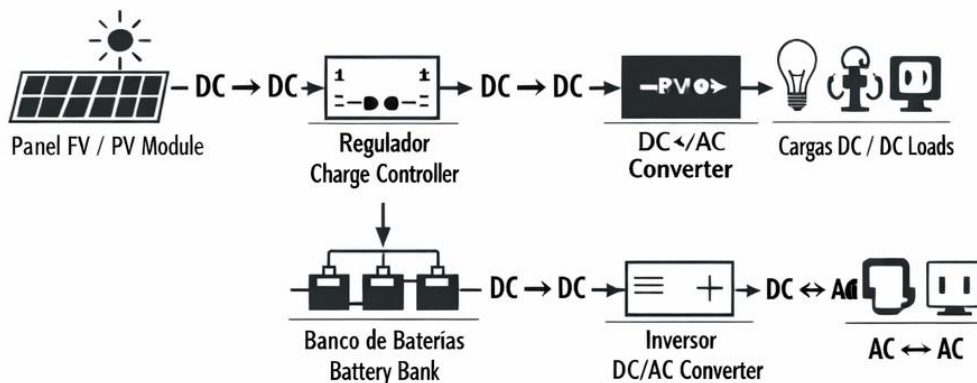
Fuente: Internet. Imagen generada por IA

SISTEMA FV REGULADOR-BATERIAS-INVERSOR

Cuando se necesite energía en corriente alterna se podrá incluir un inversor (Figura 3.14). La potencia generada en el sistema fotovoltaico podrá ser transformada íntegramente en corriente alterna o podrán alimentarse simultáneamente cargas de corriente continua (C.C.) y de corriente alterna (C.A.)

Figura 3.14 Configuración Regulador-Baterías-Inversor-Carga de un sistema autónomo u Off Grid.

Sistema FV Off-Grid con Regulador, Baterías, Inversor y Cargas



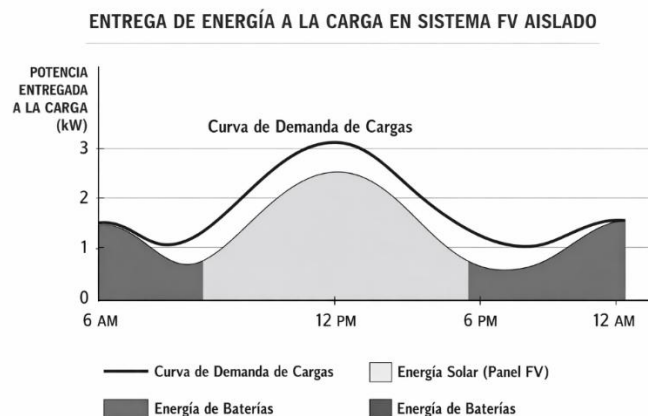
Fuente: Internet. Imagen generada por IA

3.10 INTERACCIÓN ENTRE SISTEMAS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS Y BATERÍAS

Normalmente el banco de baterías y los módulos fotovoltaicos trabajan conjuntamente para alimentar las cargas.

La siguiente figura muestra cómo se distribuye la entrega de energía a la carga a lo largo del día. Durante la noche toda la energía demandada por la carga la provee el banco de baterías.

Figura 3.15 Comportamiento durante el día de la interacción de las baterías con las cargas de consumo en un sistema solar fotovoltaico aislado, autónomo u Off Grid



Fuente: Internet. Imagen generada por IA

Interpretación de la Figura 3.15

La curva de demanda (línea negra), indica el consumo diario, aumenta en la mañana, alcanza la máxima demanda al medio día y se mantiene elevada hasta la noche. En esta parte, la demanda es cubierta por la generación diurna y las baterías son recargadas al mismo tiempo.

El área gris representa la energía solar, esta coincide parcialmente con la demanda de cargas, la energía solar cubre la mayor parte del consumo entre los horarios de 9 a 21 hrs.

El área gris oscuro es la energía de las baterías, aquí se compensa la demanda fuera de horario solar, las baterías soportan las cargas hasta que amanece y desde que anochece.

Un diseño óptimo debe hacer que las áreas de demanda, consumo y respaldo coincidan.

3.11 OBSERVACIONES

Los sistemas fotovoltaicos autónomos estaban principalmente destinados a la electrificación rural o, al menos, es en este entorno en donde encuentran su mayor rendimiento social. Un sistema fotovoltaico autónomo representa un importante progreso en zonas rurales que carecen de electricidad especialmente en el caso de países en vías de desarrollo.

Por ello, su diseño e instalación debe tener siempre en cuenta el entorno social en el que van a funcionar, especialmente teniendo en cuenta que las labores de mantenimiento y reparación del sistema, aun siendo mínimas, deberán realizarse en condiciones no tan favorables como en los países desarrollados.

Sin embargo, los sistemas autónomos han crecido enormemente y existen ejemplos de Centrales Solares Fotovoltaicas (CSFV) aisladas de gran envergadura, claros ejemplos son el AL Dhafra Solar Park que se encuentra en los Emiratos Árabes Unidos con una capacidad instalada de 2,100 MW y una superficie de 20 km², o el Solar Park Bhadla en el desierto de Rajasthan, India. Aunque el Parque Solar Bhadla, con una capacidad de más de 2,245 MW y una extensión de 56 km², ostenta el Récord Guinness como la planta solar aislada más grande del planeta, tiene una tipología semi-aislada/conectada a red (Roca, 2020).

CAPÍTULO IV. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A RED

La razón por la que se denominan estos sistemas como interconectados a red o Grid-Tied, es porque se encuentran unidos a un punto de interconexión de la red eléctrica, donde entregan la energía que producen. El propósito central de estos sistemas es el de aprovechar al máximo la producción de la Central Solar entregando la totalidad de la producción a la red.

Estos sistemas han demostrado un crecimiento considerablemente grande en los países desarrollados, cuyas políticas se han adecuado para promover el uso de este tipo de instalaciones.

Existen dos tipos principales: los sistemas descentralizados y los sistemas centralizados. En los primeros, la principal característica es que se instalan en entornos urbanos y rurales, tienen unas potencias relativamente bajas y sus interconexiones a la red son dispersas. Se suelen instalar en tejados, mobiliario, urbano e incluso, fachadas, siendo la integración arquitectónica, uno de los mayores potenciales de este tipo de instalación, debido a la gran cantidad de superficie disponible.

Un estudio de la Asociación Mexicana de Energía Solar (ASOLMEX) y la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES) estima que los techos y fachadas de viviendas en México podrían albergar más de 600 GWp de capacidad instalada, con una producción anual cercana a los 500 TWh, suficiente para cubrir gran parte de la demanda eléctrica nacional.

Se instalan en puntos dispersos de la red, principalmente en entornos urbanos y rurales habitados.

Ejemplos de aplicación:

- Tejados residenciales: viviendas unifamiliares con sistemas de 3–10 kW.
- Escuelas y edificios públicos: instalaciones de 20–50 kW para autoconsumo.
- Fachadas solares: integración arquitectónica en oficinas y hospitales, incluso naves industriales.
- Mobiliario urbano: luminarias solares, estaciones de carga para bicicletas eléctricas.
- Pequeñas parcelas rurales: sistemas de apoyo en comunidades alejadas.

Los sistemas centralizados corresponden a las centrales o plantas fotovoltaicas de gran potencia, situadas en zonas despobladas y a nivel del suelo. Aunque tienen un impacto visual y social considerable y funcionan como referente público de la energía solar, su potencia instalada total, en términos nacionales, aún es menor que la de los sistemas descentralizados y, la diferencia entre ambos tipos sigue aumentando.

En general son grandes plantas solares conectadas a la red en un único punto, de la red nacional y situadas usualmente en zonas ampliamente despobladas.

Ejemplos de aplicación:

- Parques solares en desiertos: como el Parque Solar Villanueva en Viesca, Coahuila de 830 MWp.
- Plantas solares en terrenos rurales: proyectos de cientos de MW en México (Sonora, Durango).
- Centrales híbridas: plantas solares combinadas con almacenamiento en baterías o con energía eólica.
- Proyectos de utility scale: generación masiva para abastecer ciudades enteras.

Tabla 4.1 Tabla comparativa de los sistemas centralizados y descentralizados.

Característica	Sistemas FV descentralizados	Sistemas FV centralizados
Ubicación	Tejados, fachadas, mobiliario urbano, pequeñas parcelas	Zonas despobladas, grandes extensiones de terreno
Potencia típica	Baja a media (3–50 kW por instalación)	Alta (decenas a cientos de MW por planta)
Conexión a red	Dispersa, múltiples puntos de interconexión	Única conexión concentrada a gran escala
Impacto social	Alta aceptación, integración en viviendas y ciudades	Gran visibilidad, impacto ambiental y social mayor
Crecimiento reciente	Muy acelerado en países desarrollados	Estable, con proyectos emblemáticos
Ejemplos de aplicación	Viviendas, escuelas, edificios públicos, fachadas	Plantas solares en desiertos o terrenos rurales
Ventajas	Aprovecha superficies existentes, reduce pérdidas por transmisión, fomenta participación ciudadana	Economías de escala, producción masiva, referencia pública de energía solar
Desventajas	Potencia limitada por espacio disponible, gestión dispersa	Requiere grandes terrenos, inversión elevada, impacto visual

Fuente: Internet (diversas fuentes) y Generación de Energía solar fotovoltaica (Jutglar, 2012)

Resumiendo, los sistemas centralizados se emplean en grandes plantas, con economías de escala, concentrando la producción eléctrica total, mientras que los descentralizados aprovechan las grandes superficies existentes, involucrando la participación de comercios, residenciales e industria.

Existen sistemas que por definición se encuentran en ambos lados, pero ese punto se expondrá más adelante en el desarrollo del proyecto más claramente.

Ambos modelos son complementarios y necesarios para un sistema eléctrico moderno.

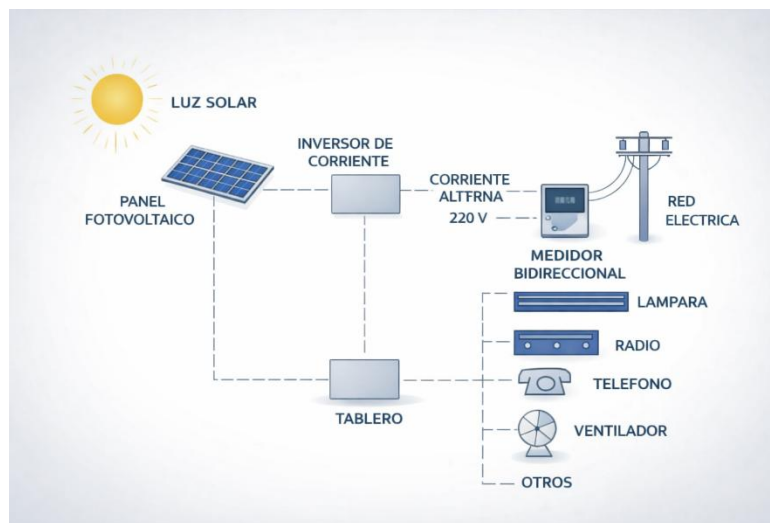
4.1 CONFIGURACIÓN DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A RED

A diferencia de los sistemas autónomos, cuya operación depende de complejos mecanismos de almacenamiento y regulación, los sistemas conectados a red se caracterizan por su simplicidad técnica y su elevada fiabilidad. La razón principal de esta diferencia radica en que la red eléctrica actúa como un amortiguador que fija la tensión de salida y absorbe de manera continua la energía producida por los paneles solares.

En este contexto, la ausencia de baterías constituye una ventaja decisiva. Los sistemas autónomos requieren acumuladores para garantizar el suministro en periodos de baja radiación, lo que implica costos elevados de instalación y mantenimiento, además de una vida útil limitada por la degradación química de los materiales. Por el contrario, los sistemas conectados a red eliminan esta necesidad, reduciendo significativamente los gastos de operación y prolongando la durabilidad de la instalación. De hecho, en los sistemas descentralizados —como los instalados en tejados residenciales o edificios públicos— el mantenimiento es prácticamente nulo, y su vida útil supera con facilidad los veinte años, lo que convierte a estas soluciones en una inversión segura y de largo plazo.

La robustez de los sistemas interconectados se traduce también en una mayor fiabilidad. Al depender de menos componentes críticos, disminuye la probabilidad de fallos y se asegura un funcionamiento estable durante décadas. Además, la energía generada se inyecta directamente en la red, lo que permite aprovechar al máximo la producción fotovoltaica y compensar el consumo del usuario mediante esquemas de medición neta.

Figura 4.1. Configuración de un sistema fotovoltaico interconectado a red.



Fuente: Internet. Imagen generada por IA

La configuración de los sistemas fotovoltaicos interconectados a red (grid-connected) se basa en un esquema técnico que permite que la energía generada por los paneles solares se vierta directamente al sistema eléctrico público (Figura 4.1).

Elementos principales de configuración

1. Generador FV (paneles solares):
 - Captan la radiación solar y la convierten en corriente continua (DC).
2. Inversor interconectado a red:
 - Transforma la energía DC en corriente alterna (AC) sincronizada con la red.
 - Incluye protecciones y sistemas de desconexión automática.
3. Medidor bidireccional (CFE en México):
 - Registra tanto la energía la inyectada por el sistema FV y la consumida de la red.
 - Permite esquemas de medición neta (balance neto) o net billing (net metering).
4. Cuadro eléctrico de protección:

- Interruptores, fusibles y protecciones contra sobrecarga y sobretensión.
- Asegura la seguridad de la instalación y de la red pública.

5. Red eléctrica pública:

- Recibe la energía excedente y abastece al usuario cuando la producción FV no cubre la demanda.

Los sistemas FV interconectados representan una real alternativa, robusta, económica y sostenible. La simplicidad técnica, así como la ausencia de bancos de baterías y bajo costo de mantenimiento, hace que sean vistos como una solución tremendamente estratégica en el proceso de transición hacia un futuro sostenible. Si se provee de políticas públicas adecuadas, innovación y aceptación social, su futura expansión es segura y proporcionaría una opción más que idónea, en la diversificación de la matriz energética.

4.2 INVERSOR FOTOVOLTAICO PARA SISTEMAS CONECTADOS A RED

La diferencia entre un inversor de una instalación aislada y una interconectada a red, es que, en los sistemas autónomos, el inversor trabaja junto con baterías y reguladores de carga, su función es transformar la energía almacenada en los acumuladores en corriente alterna para alimentar los consumos locales, además de que su implementación puede ser opcional. En los sistemas fotovoltaicos interconectados a red, su instalación es obligatoria, el inversor sincroniza su salida con la red eléctrica y permite la inyección directa de energía. No requiere baterías, ya que la red actúa como respaldo. Estos inversores incorporan sistemas de desconexión automática ante fallos o cortes de suministro, garantizando la seguridad del operador y la estabilidad del sistema eléctrico.

PRINCIPALES FUNCIONES DE UN INVERSOR FV INTERCONECTADO A RED

- Conversión de corriente continua (DC) a alterna (AC): Transforma la energía producida por los módulos solares en corriente alterna compatible con la red
- Sincronización con la red eléctrica: Ajusta la frecuencia y la fase de la señal para que coincida con la red. Garantiza que la energía se inyecte sin desbalances ni distorsiones.
- Seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT): Optimiza constantemente el voltaje y la corriente de los paneles para extraer la

máxima energía disponible. Mejora la eficiencia global del sistema (95–98 %).

- Protecciones de seguridad: Función *anti-islanding*: desconexión automática en caso de fallo de la red para proteger a técnicos y equipos. Protección contra sobrecargas, cortocircuitos, sobretensiones y corrientes de fuga a tierra.
- Monitoreo y comunicación: Registro de datos de producción y rendimiento. Comunicación con sistemas de gestión energética mediante interfaces (Wifi, RS485, Ethernet).
- Gestión de la energía inyectada: Controla la cantidad de energía que se entrega a la red. Permite esquemas de autoconsumo, medición neta o facturación neta según normativa.
- Durabilidad y eficiencia: Vida útil estimada de 15–20 años. Mantenimiento mínimo, limitado a limpieza de filtros y revisión de conexiones.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS CRÍTICAS

- Rango de tensión de entrada (DC): Debe adaptarse al voltaje de los módulos solares. Normalmente entre 150 V y 1000 V DC en inversores residenciales y comerciales.
- Potencia nominal de salida (AC): Determina la capacidad máxima de energía que puede entregar a la red. Se expresa en kW (ejemplo: 3 kW, 5 kW, 10 kW).
- Eficiencia de conversión: Valores típicos entre 95 % y 98 %. Incluye eficiencia máxima y eficiencia europea (ponderada).
- Frecuencia y tensión de salida: Debe coincidir con la red local (España: 230 V, 50 Hz). Sincronización automática con la fase de la red.
- Número de seguidores MPPT (Maximum Power Point Tracking): Permite optimizar la producción de energía en diferentes cadenas de paneles. Crítico en instalaciones con sombras parciales o diferentes orientaciones.
- Protecciones integradas: *Anti-islanding*: desconexión automática si la red falla. Protección contra sobrecarga, cortocircuito, sobretensión y corriente de fuga a tierra. Monitoreo de temperatura interna.
- Compatibilidad normativa: Cumplimiento de estándares internacionales (IEC 62109, EN 50530, UL 1741). Homologación según regulaciones locales (en España, normativa de la UNE y requisitos de la distribuidora).
- Interfaces de comunicación: RS485, Ethernet, WiFi o Bluetooth para monitoreo remoto. Integración con sistemas de gestión energética.
- Condiciones ambientales: Rango de temperatura de operación: típicamente –25 °C a +60 °C. Grado de protección IP65 o superior para uso en exteriores.

- Vida útil y garantía: Duración estimada: 15–20 años. Garantía del fabricante: entre 5 y 10 años, ampliable en algunos modelos.

La clasificación de los inversores interconectados a red depende de la forma que tienen estos de gestionar la energía y de cómo se adaptan a la instalación. Cada tipo tiene sus ventajas y tipos de aplicación

Inversores centrales: En los inversores centrales generalmente se instala una unidad de gran capacidad, ésta gestiona el parque o campo solar completo, se utilizan en grandes plantas solares. Una de sus mayores ventajas radica en la parte económica, al adquirirse un solo inversor los costos de adquisición son más bajos. Como desventaja está el hecho que se depende que no falle este equipo, comprometería toda la instalación.

Inversores String: La disposición de estos inversores permite que se conecten varias cadenas o series de paneles a un inversor independiente, cada zona tiene un inversor de capacidad moderada los cuales, en una segunda etapa son conectados todos juntos. Son inversores muy comunes en instalaciones residenciales y comerciales medias. Entre sus ventajas destaca la flexibilidad y rendimiento en presencia de sombra parciales. Entre las desventajas se presenta el inconveniente económico, entre más unidades se necesitan adquirir, el costo del proyecto se incrementa.

Micro inversores: se instalan directamente a cada panel solar, la transformación DC-AC es a nivel módulo. Sus ventajas, optimización de la producción a nivel individual de cada módulo lo que permite una monitorización detallada. Entre sus desventajas destacan los costes iniciales elevados.

Inversores híbridos (interconexión con almacenamiento): Combinan funciones de gestión de baterías e interconexión a red, permiten el autoconsumo y tienen un respaldo en caso de falla en la red. Se suelen usar en instalaciones avanzadas.

DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA DE UN INVERSOR PARA SISTEMAS INTERCONECTADOS A RED.

La potencia de un inversor fotovoltaico interconectado a red se determina en función de varios criterios técnicos y prácticos que aseguran que el sistema opere de manera eficiente y segura (Tabla 4.2).

Una metodología típica para el dimensionamiento de un inversor para una instalación solar fotovoltaica es la siguiente:

1. Potencia pico del generador fotovoltaico (Wp):

- Se calcula sumando la potencia nominal de todos los módulos solares instalados.
- Ejemplo: 10 paneles de 400 Wp → Generador de 4 kWp.

2. Relación DC/AC (sobredimensionamiento):

- El inversor suele dimensionarse con una potencia nominal ligeramente menor que la del campo fotovoltaico.
- Relación típica: 1,1 a 1,3 (es decir, el generador puede ser hasta un 30 % mayor que la potencia del inversor).
- Esto se hace porque los paneles rara vez entregan su potencia máxima y así se aprovecha mejor la curva de producción.

3. Perfil de consumo del usuario:

- En instalaciones residenciales, se busca que el inversor cubra la demanda promedio de la vivienda.
- En instalaciones comerciales o industriales, se ajusta para maximizar autoconsumo y minimizar excedentes.

4. Normativa y condiciones de conexión:

- La distribuidora eléctrica establece límites de potencia para conexión en baja tensión (ejemplo en España: hasta 100 kW).
- En alta tensión, se requieren inversores centrales de mayor capacidad.

5. Condiciones ambientales y pérdidas:

- Se consideran factores como temperatura, orientación y posibles sombras.
- El inversor debe tener margen para operar en condiciones reales sin sobrecarga.

RANGOS TÍPICOS DE POTENCIA DE INVERSORES INTERCONECTADOS

- Residenciales pequeños (micro inversores y string inverters):
 - Potencias entre 250 W y 1 kW por panel (micro inversores).
 - Potencias entre 1,5 kW y 10 kW en inversores de cadena para viviendas.
 - Ideales para autoconsumo y medición neta.
- Comerciales medianos:
 - Potencias entre 10 kW y 50 kW.
 - Se emplean en edificios, escuelas, oficinas y pequeñas industrias.
 - Permiten gestionar varias cadenas de paneles con múltiples MPPT.

- Industriales y plantas solares grandes (inversores centrales):
 - Potencias entre 100 kW y 2 MW por unidad.
 - Se usan en parques solares conectados a red de alta tensión.
 - Menor coste por kW instalado, aunque menos flexibles.
 -

Tabla 4.2 Configuraciones habituales y potencia típicas recomendadas para instalaciones fotovoltaicas.

Tipo de instalación	Potencia típica del inversor	Configuración habitual
Vivienda unifamiliar	3–5 kW	String inverter
Edificio comercial	20–50 kW	Varios inversores de cadena
Planta industrial	100–500 kW	Inversores centrales
Parque solar utility-scale	1–2 MW	Inversores centrales de gran potencia

Fuente: Instalaciones solares fotovoltaicas (Alcor Cabrerizo, 1987-2002)

Comparativa de los inversores para Sistemas Fotovoltaicos aislados (SFVA) y Sistemas Fotovoltaicos Interconectados a Red (SFVI) (Tabla 4.3).

Tabla 4.3 Comparación de los inversores para sistemas solares autónomos vs interconectados

Característica	Interconectado a red	Autónomo/aislado
Fuente de energía	Paneles solares	Paneles + baterías
Función principal	Inyectar energía a la red	Suministrar energía local
Necesidad de almacenamiento	No	Sí
Complejidad	Media	Alta (gestión de carga/descarga)
Mantenimiento	Bajo	Alto (baterías)
Vida útil	15–20 años	10–15 años

Fuente: Instalaciones solares fotovoltaicas (Alcor Cabrerizo, 1987-2002)

El inversor fotovoltaico interconectado a red es un dispositivo altamente eficiente y seguro, diseñado para integrarse con la infraestructura eléctrica existente. Su simplicidad frente a los sistemas autónomos lo convierte en la opción preferida para instalaciones residenciales y comerciales, donde la red actúa como respaldo y el mantenimiento es mínimo.

4.3 CONTADOR

Un contador bidireccional es un dispositivo de medición eléctrica que permite registrar tanto la energía consumida de la red como la energía inyectada a la red por un sistema fotovoltaico interconectado. Su uso es esencial en esquemas de autoconsumo y net metering ya que realiza la contabilidad en ambos sentidos.

En nuestro país la modalidad de balance neto permite contabilizar la cantidad de energía producida contra la consumida, independientemente de su costo, lo que permite realizar un monitoreo de la energía que se genera y así hacer un balance visual/real de lo que la compañía de luz factura.

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE UN CONTADOR BIDIRECCIONAL

- Medición en dos direcciones:
 - Importación: mide la energía que el usuario toma de la red cuando sus paneles no producen lo suficiente.
 - Exportación: mide la energía excedente que el sistema FV entrega a la red.
- Registro independiente:
 - Guarda datos separados de consumo y generación.
 - Permite calcular el balance energético y aplicar esquemas de compensación.
- Compatibilidad normativa:
 - Cumple con estándares de las distribuidoras eléctricas.
 - En México, se ajusta a la normativa de autoconsumo y compensación por balance neto en el periodo de un año.
- Funciones adicionales:
 - Comunicación remota con la compañía eléctrica.
 - Lectura digital y almacenamiento de históricos.
 - Integración con sistemas de gestión energética.

4.4 SEGUIDORES SOLARES

Los generadores fotovoltaicos pueden estar situados sobre estructuras fijas u orientables mediante los llamados seguidores o trackers. Dado que la eficiencia de los módulos solares depende directamente de la cantidad de radiación que reciben, estos dispositivos realizan el movimiento físico del panel buscando el mayor

aprovechamiento posible de la irradiancia. Estos elementos mecánicos y electrónicos están diseñados para orientar los paneles fotovoltaicos de manera que mantengan el ángulo óptimo respecto al sol durante todo el día. Su función principal es maximizar la captación de radiación solar, aumentando así la eficiencia y producción energética del sistema fotovoltaico.

El principio de funcionamiento se basa en algoritmos de control y sensores que determinan el ángulo óptimo de inclinación y orientación.

Existen diferentes tipos:

- De un eje: siguen el movimiento del sol de este a oeste. Incrementan la producción entre un 20 % y 30 %.
- De dos ejes: ajustan tanto la inclinación como la orientación, alcanzando incrementos de hasta un 40 %.
- Pasivos: se modifica su ubicación y orientación mediante operarios en distintas épocas del año.
- Activos: emplean motores eléctricos y sistemas de control para una mayor precisión.

Figura 4.4 Aplicaciones, tipo de movimiento y porcentajes de producción de los tipos de seguidores solares.

Tipo de seguidor	Movimiento	Incremento de producción	Aplicación
Un eje	Este-Oeste	20-30 %	Plantas medianas
Dos ejes	Azimut + elevación	30-40 %	Plantas grandes o investigación
Pasivo	Sin motores	10-20 %	Pequeñas instalaciones
Activo	Motores y sensores	20-40 %	Parques solares industriales

Fuente: Sistemas de control para seguidores solares (López Monteagudo, Villela Varela, & Reyes Rivas, 2015).

Entre las ventajas que tienen los seguidores solares, destacan la mayor producción de energía sin necesidad de modular la instalación con más paneles, el mejor aprovechamiento de la radiación y la optimización del espacio disponible por unidad de energía generada. No obstante, presentan desventajas significativas en su

instalación inicial como lo es el elevado coste de instalación, mantenimientos mecánicos y su complejidad estructural (López Monteagudo, Villela Varela, & Reyes Rivas, 2015).

4.5 POSIBLES CONFIGURACIONES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A RED

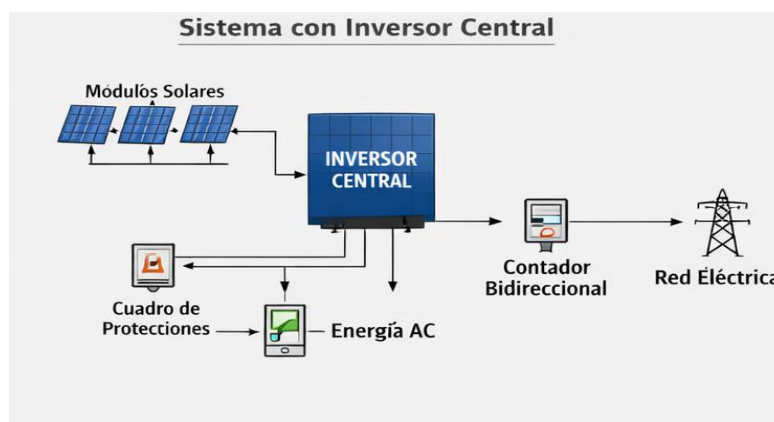
Un Sistema Solar Fotovoltaico interconectado a red puede configurarse de distintas maneras según el tamaño de la instalación, el tipo de inversores empleados y los objetivos energéticos del usuario. Estas configuraciones buscan optimizar la producción, garantizar seguridad y cumplir con la normativa de conexión.

A continuación, se muestran los diferentes tipos de configuración de estos sistemas.

SISTEMAS CON INVERSOR CENTRAL

Estos sistemas se caracterizan por precisamente centralizar la gestión de toda la energía producida, en un único dispositivo de gran capacidad. Este tipo de configuración es común en parques de gran calado, en donde la potencia instalada es muy grande, superando incluso los cientos de kW o MW. Su ventaja principal es el menor coste por W instalado, debido a que se reduce dramáticamente el número de equipos que se necesitan, además que la gestión de energía se simplifica. Sin embargo, existe una situación crítica, si el inversor llega a fallar, toda la instalación se encontraría comprometida quedando fuera de servicio, por eso la recomendación hacia estos equipos es en proyectos industriales, donde la economía de escala compensa ese riesgo.

Figura 4.2 Configuración de sistema solar fotovoltaico interconectado a red con inversor central.

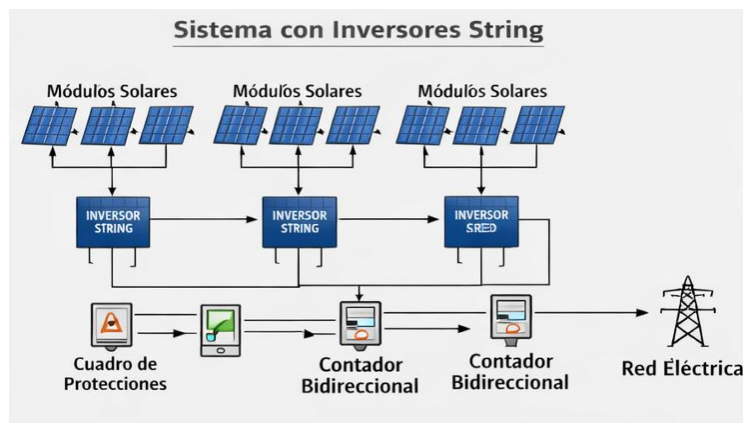


Fuente: Internet. Imagen generada por IA

SISTEMAS CON INVERSORES STRING (CADENA O SERIES)

Los inversores de cadena son la opción más extendida en instalaciones residenciales y comerciales medianas. En esta configuración, cada grupo de paneles solares se conecta a un inversor independiente, lo que permite mayor flexibilidad y eficiencia. Su principal ventaja es la capacidad de gestionar sombras parciales y diferentes orientaciones, ya que cada cadena trabaja de manera autónoma. Además, facilita el mantenimiento, pues un fallo afecta solo a una parte del sistema. La desventaja es que requiere más unidades, lo que puede incrementar el coste inicial y la complejidad de instalación.

Figura 4.3 Configuración de sistema solar fotovoltaico interconectado a red con inversores tipo String.

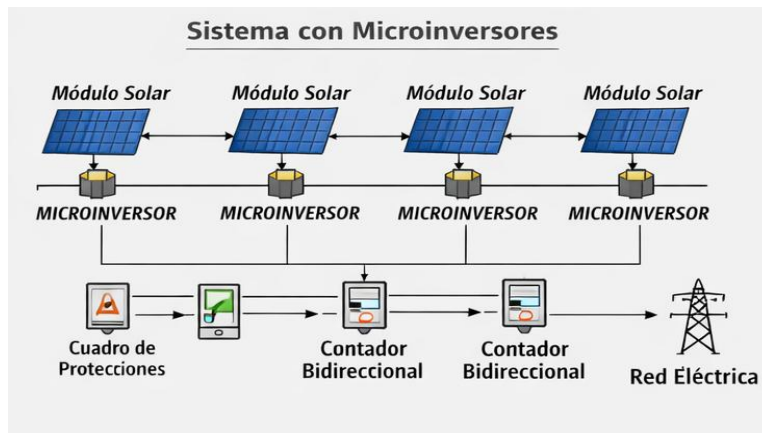


Fuente: Internet. Imagen generada por IA

SISTEMAS CON MICRO INVERSORES.

Los micro inversores representan una solución innovadora para instalaciones pequeñas o con condiciones de sombra. En este caso, cada panel solar incorpora su propio inversor, convirtiendo la energía en corriente alterna directamente en el módulo. La gran ventaja es la optimización individual de cada panel, lo que maximiza la producción y permite un monitoreo detallado. Además, simplifica la instalación al eliminar la necesidad de cadenas en corriente continua. Su principal limitación es el mayor coste inicial, aunque se compensa con un mantenimiento mínimo y una vida útil prolongada.

Figura 4.4 Configuración de sistema solar fotovoltaico interconectado a red con inversores tipo String.



Fuente: Internet. Imagen generada por IA

SISTEMAS HÍBRIDOS INTERCONECTADOS CON ALMACENAMIENTO.

Los sistemas híbridos combinan la interconexión a red con el uso de baterías. Esta configuración permite al usuario aprovechar la energía solar para autoconsumo, almacenar excedentes y disponer de respaldo en caso de cortes de suministro. Son especialmente útiles en instalaciones avanzadas de autoconsumo, donde se busca independencia energética y estabilidad frente a variaciones de la red. Su ventaja principal es la versatilidad, ya que integra generación, almacenamiento y conexión a red. La desventaja es la complejidad técnica y el mayor coste, lo que limita su aplicación a proyectos con objetivos energéticos específicos.

Figura 4.5 Configuración de sistema solar fotovoltaico interconectado a red con inversores tipo String.



Fuente: Internet. Imagen generada por IA

Cada configuración responde a un perfil distinto de usuario y escala de instalación. Los inversores centrales dominan en grandes plantas, los string en residencias y comercios, los micro inversores en viviendas pequeñas con condiciones variables, y los híbridos en proyectos que buscan autonomía y respaldo.

4.6 EJEMPLOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A RED

A continuación, se citan algunos ejemplos reales y representativos de instalaciones fotovoltaicas interconectadas a red que se han construido en México y que describen los diferentes tipos de configuración de interconexión, haciendo énfasis en las realizadas en compañías cementeras mexicanas.

SISTEMA CON INVERSORES STRING.

Ejemplo: Central Solar Cooperativa Cruz Azul – Hidalgo, México (Expok, 2018)

- Ubicación: Planta cementera Cruz Azul, Ciudad Cooperativa Cruz Azul, municipio de Tula de Allende, Hidalgo.
- Capacidad: 600 kWp (kilovatios pico).
- Configuración: módulos solares conectados a inversores centrales trifásicos, con salida en corriente alterna hacia la red interna de la planta y sincronización con la red de CFE.
- Aplicación: autoconsumo industrial, reducción de costos energéticos y disminución de emisiones de CO₂ en la producción de cemento.
- Características técnicas:
 - Instalación fija sobre techos y áreas disponibles de la planta.
 - Monitoreo centralizado de rendimiento.
 - Conexión a red con contador bidireccional para balance energético.
- Operador: Cooperativa La Cruz Azul.
- Objetivo: cubrir parte de la demanda eléctrica del proceso cementero, mejorar la competitividad y contribuir a la sostenibilidad de la industria.

Ejemplo: Central Solar CEMEX Jasso – Hidalgo, México

- Ubicación: Planta cementera CEMEX, Jasso, municipio de Tula de Allende, Hidalgo.
- Capacidad: Aproximadamente 15 MWp.
- Configuración: miles de módulos fotovoltaicos conectados a inversores centrales trifásicos de alta potencia.
- Aplicación: autoconsumo industrial y reducción de emisiones en la producción de cemento.
- Características técnicas:

- Estructura fija con orientación óptima al sur.
- Conexión directa a la red interna de la planta y sincronización con la red de CFE.
- Monitoreo centralizado de rendimiento y protecciones integradas.
- Operador: CEMEX Energía / CEMEX México.
- Objetivo: cubrir parte de la demanda eléctrica del proceso de Clinker y molienda, reduciendo el consumo de energía convencional y las emisiones de CO₂.

SISTEMA CON INVERSORES CENTRAL

Ejemplo: Parque Solar Enel Green Power, Villanueva Coahuila, México

- Ubicación: Coahuila, México.
- Capacidad: 828 MW.
- Configuración: 2.3 millones de módulos agrupados en cadenas independientes, cada una con su inversor string trifásico.
- Aplicación: Contrato de suministro y transmisión con CFE.
- Características: Inversores de corriente de tipo centralizados de gran escala, diseñados para manejar bloques de cientos de megawatt y optimizar la integración de más de 2.3 millones de paneles solares en la red eléctrica nacional
- Proveedor: Enel Green Power México (Roca, 2020) .

SISTEMA CON MICROINVERSORES

Ejemplo: *Instalación residencial – Mérida, Yucatán*

- Ubicación: Mérida.
- Capacidad: 6 kW.
- Configuración: cada panel con su micro inversor Enphase IQ7, conectados directamente en corriente alterna.
- Aplicación: autoconsumo doméstico con medición neta.
- Características: ideal para techos con sombras parciales y orientación variable.
- Beneficio: monitoreo individual por panel y mantenimiento mínimo.

SISTEMA HÍBRIDO CON ALMACENAMIENTO.

Ejemplo: *Centro de investigación – UNAM, Morelos*

- Ubicación: Instituto de Energías Renovables, Cuernavaca.
- Capacidad: 20 kW con banco de baterías de 50 kWh.
- Configuración: inversor híbrido SMA Sunny Island con conexión a red y almacenamiento.
- Aplicación: investigación y demostración de sistemas de respaldo energético.
- Características: permite operación en modo aislado o interconectado.
- Objetivo: optimizar la gestión de energía y estudiar la estabilidad de micro redes.

CAPÍTULO V. INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS INSTALACIONES SOLARES FOTOVOLTAICAS

Aunque los sistemas fotovoltaicos pueden instalarse sin problema en la mayoría de los edificios y naves ya existentes, la integración más sencilla y eficiente se logra cuando se incluyen desde el diseño de una construcción nueva. Por ello, si se desea aprovechar esta tecnología, es recomendable que el arquitecto contemple su incorporación en el proyecto inicial.

Generalmente se habla de techos solares, aunque los generadores fotovoltaicos también pueden instalarse en patios, terrazas o incluso en fachadas. En cualquiera de estos casos, integrarlos en la edificación facilita el montaje, reduce costos y puede mejorar el aislamiento térmico, ya que los módulos sustituyen elementos constructivos como tejas, revestimientos o ventanas.

En un nivel más avanzado, las celdas solares pueden formar parte de los propios componentes arquitectónicos como módulos multifuncionales, que combinan estética, función estructural, generación eléctrica, producción térmica y control de la luz diurna.

Al incorporar paneles fotovoltaicos en edificios, se debe tener en consideración los principios básicos de bioclimática, es decir, el aprovechamiento de las condiciones del clima locales como lo son, el viento, el sol, agua o la vegetación.

La superficie necesaria depende de la potencia instalada y del tipo de módulo, pero se estima que cada kWp requiere unos 8 a 10 m² dependiendo de la potencia de los paneles. En la mayoría de los edificios suele ser sencillo encontrar espacio disponible.

El peso de los paneles varía según el modelo, aunque en promedio se calcula en unos 15 kg/m², incluyendo el peso de la estructura de soporte comercial. A esto se suman las cargas adicionales que pueda generar el viento. Incluso en techumbres y terrazas, estas cifras suelen ser manejables para la estructura del edificio.

En construcciones nuevas o en remodelaciones importantes, integrar el sistema fotovoltaico desde el inicio permite optimizar su instalación, mejorar el rendimiento y reducir los costos globales de la obra.

5.1 UBICACIÓN Y ORIENTACIÓN DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Los paneles fotovoltaicos producen electricidad siempre que reciben radiación solar, a lo largo de todo el año. La producción solar FV suele ser mayor en días de verano por la simple razón de la abundancia de la radiación solar propia de la temporada, aunque también la orientación de los paneles y su inclinación deben ser tomados en cuenta.

En México se deben orientar al sur geográfico, mientras que su inclinación deberá ser de entre 15° y 25° , este rango dependerá de la latitud donde se encuentre el sistema, en el centro del país, por ejemplo, la CDMX, se encuentra en la latitud de 19° , mientras que en Tapachula y el Tijuana la latitud es de 32° y 15° respectivamente.

Es importante destacar que la generación fotovoltaica depende de la luz disponible y no del calor, concretamente de la radiación solar, por ello las bajas temperaturas no representan un problema para el funcionamiento de los módulos, pues al igual que muchos dispositivos electrónicos, estos funcionan mejor a temperaturas bajas, por supuesto dentro de los límites. De hecho, incluso en días nublados, los paneles continúan produciendo energía, con la clara obviedad que el rendimiento es mucho menor que si existirán las condiciones de claridad en la luz que reciben.

5.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

La ubicación geográfica repercute directamente en el rendimiento de los sistemas fotovoltaicos, ya que factores como la latitud, el clima, la radiación solar disponible y la orientación de los módulos determinan cuánta energía se puede producir. En lugares con mayor irradiación solar anual, como México o el sur de España, los sistemas alcanzan una eficiencia superior respecto a regiones con menos horas de sol.

FACTORES PRINCIPALES DE LA UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Las principales características que se deben tener en cuenta al momento de definir el emplazamiento de una central solar fotovoltaica son los siguientes:

- Latitud

Este punto es importante pues la latitud define el ángulo de incidencia del sol.

- Clima

Se debe considerar que el funcionamiento los generadores de una central solar dependen totalmente de las condiciones de humedad, temperatura, presión atmosférica y viento.

- Radiación solar disponible

El punto clave de la generación solar fotovoltaica, se mide en kWh/m²/día.

- Orientación e inclinación del sistema

Se deberá tener en cuenta las referencias geográficas respecto del ecuador, mientras que en el hemisferio norte se deben colocar los paneles apuntando al sur, en el

hemisferio sur, deberá ser, al contrario. Además de tener en cuenta el ángulo de la latitud del sitio.

A continuación, en la Tabla 5.1 se muestra una comparación del país con mayor irradiación solar y el de menor irradiación comparadas con México.

Tabla 5.1 Comparativa de las latitudes y ángulos de inclinación óptimos

Factor	Chile – Atacama (lat. ~24°)	México - CDMX (lat. ~19°)	Reino Unido - Londres (lat. ~52°)
Irradiación anual	~2,500–2,800 kWh/m ² (máxima mundial)	~2,000–2,200 kWh/m ²	~900–1,100 kWh/m ² (muy baja)
Orientación óptima Inclinación recomendada	Norte geográfico 20°–30°	Sur geográfico 15°–25°	Sur geográfico 35°–45°
Producción relativa	Muy alta, condiciones ideales	Alta, estable todo el año	Baja, limitada por nubosidad
Condiciones climáticas	Desierto, cielos despejados	Soleado, con estaciones moderadas	Alta nubosidad y lluvias frecuentes

Fuente: Solar Global Atlas (GSA, 2025)

CARACTERÍSTICAS DE UBICACIÓN DE LAS ZONAS GEOGRÁFICAS EN MÉXICO

En la zona sur del país, abarcando estados de la república como Chiapas, Oaxaca y Guerrero, la radiación solar es más constante durante todo el año por lo que la inclinación recomendada de los paneles es baja, en el rango de 10° a 15°, la latitud mínima del país se encuentra en Tapachula con 14°32' N.

En la zona central, CDMX, Estado de México, Hidalgo, Puebla, la producción solar es estable con ligeras variaciones estacionales, la recomendación de inclinación es de 15° a 19°.

En el norte del país, Sonora, Baja California, Chihuahua, Nuevo León. La irradiación es muy alta, especialmente en los desiertos, esto vuelve a la zona la parte más productiva en cuanto a irradiación solar. La recomendación de inclinación en esta zona es de 25° a 30°.

5.3 MANTENIMIENTO DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

El mantenimiento en una instalación fotovoltaica es de carácter preventivo y es esencialmente para garantizar seguridad, eficiencia y prolongar la vida útil del sistema. En México, donde las condiciones climáticas pueden variar entre alta irradiación y

humedad, este tipo de mantenimiento evita averías costosas y asegura un rendimiento óptimo durante más de 20 años.

En términos generales el mantenimiento es mínimo, una instalación FV carece de partes móviles que se degraden mecánicamente o que necesiten algún tipo de lubricación. Sin embargo, es necesario una periodicidad en cuanto a revisiones, todo esto para asegurar que el sistema se encuentra funcionando. Dos aspectos importantes es tratar de controlar los posibles obstáculos que generen sombras no deseadas y el otro aspecto es la limpieza del módulo.

Por parte de la limpieza, EL porcentaje de pérdidas por un módulo sucio pueden llegar hasta el 5% y es una situación fácilmente prevenible. Es difícil pensar en una fuente de energía con un mantenimiento tan sencillo.

En el aspecto de instalación eléctrica, verificar aprietes en las terminales y en las protecciones. En el rubro de la estructura, verificación periódica de la estabilidad de la misma, es decir, inspeccionar que no existan partes móviles que hayan aparecido por el efecto de vibración, por la interacción del viento o de la expansión-contracción del metal.

Hay un aspecto sobre el que conviene alertar: la proximidad de chimeneas y, por tanto, la posible deposición de hollín sobre los paneles, que naturalmente disminuye el rendimiento. En el presente proyecto encontramos un inconveniente mayor que es la presencia de polvo de cemento, en estos casos el mantenimiento de limpieza periódica es clave para el correcto funcionamiento de la central solar.

Finalmente, una pieza importante en el mantenimiento de una central solar fotovoltaica es la monitorización en tiempo real de la producción, los proveedores de inversores cuentan con software específico el cual monitoriza en tiempo real la producción y advierten de posibles malos funcionamientos de la central, lo cual nos permite actuar de manera inmediata para evitar el deterioro de las partes involucradas o incluso del mismo sistema completo. Debido a que el software posee la facultad de realizar el trabajo de monitorización de forma automatizada e indica a modo de alertas, no es necesario contar con personal fijo que este al tanto de la central las 24 horas.

La experiencia en el campo de las instalaciones FV demuestran que estos sistemas suelen tener una tasa muy baja de averías y la tasa disminuye todavía más si se realizan los mantenimientos preventivos, Obviamente no se trata de sistemas infalibles, pero si de sistemas tremendamente fiables y además los costos de reparación son ínfimos una vez amortizado su costo.

5.4 SEGURIDAD DE LA INSTALACIÓN

Al igual que en cualquier sistema eléctrico de baja tensión, una instalación fotovoltaica conlleva ciertos riesgos como descargas eléctricas o cortocircuitos. Aunque la probabilidad de que ocurran es baja, se deben implementar dispositivos de protección habituales: interruptores termomagnéticos, diferenciales, sistemas de puesta a tierra y materiales aislantes.

Los techos solares no deben representar un peligro adicional ni para los ocupantes del edificio, ni para la red eléctrica, ni para los equipos conectados. Es por eso que es primordial la correcta conexión a tierra de todos los elementos metálicos, siendo esencial para la seguridad de las personas, por lo que es un punto importante a no descuidar.

Paralelamente, es importante especialmente en zonas con alta actividad eléctrica atmosférica, las protecciones contra sobretensiones y descargas transitorias. Es cierto que los generadores conectados a la red no están obligados a tener un pararrayos pero pueden verse afectadas por ellos. Por este motivo, aun cuando no sea obligatorio es recomendable disponer de conductores a tierra en los elementos externos para ayudar a reducir el impacto electrostático.

Igualmente, la protección contra incendios es otro factor a tener en cuenta. Para ello, los módulos fotovoltaicos y sus componentes deben cumplir la NOM-001-SEDE en México, la UNE-EN 62446 en Europa o la NEC en USA, las cuales son para la resistencia al fuego. Además, se recomienda instalar sistemas de desconexión rápida (rapid shutdown), es decir, que puedan cortar la corriente en caso de emergencia ayudando la labor de bomberos y personal de rescate.

Finalmente, la seguridad también depende del mantenimiento periódico: revisar conexiones, limpiar módulos y verificar el estado de los inversores asegura un funcionamiento seguro y eficiente. En climas cálidos como los del norte de México, donde la irradiación es muy alta, es especialmente importante controlar la temperatura de los equipos para evitar pérdidas de rendimiento y riesgos asociados al sobrecalentamiento.

5.5 RIESGOS ELÉCTRICOS DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

Cualquier sistema eléctrico, y en este caso las instalaciones fotovoltaicas, pueden generar riesgos que atañan tanto a los equipos como a la seguridad de las personas. Los peligros básicos vienen de sobretensiones, sobreintensidades, puntos calientes y pérdida de aislamiento, así como de la degradación de materiales por exposición

prolongada al ambiente. Todo esto tiene que cumplir con las normas de seguridad eléctrica específicas (por ejemplo, la NOM-001-SEDE en México o la IEC 60364 en Europa).

5.5.1 SOBRETENSIONES

Las sobretensiones constituyen el riesgo más importante en un sistema fotovoltaico. Podemos clasificar estas sobretensiones desde el punto de vista de las causas que la producen en sobretensiones de origen externo o interno. Dentro del primer bloque fundamentalmente están las producidas por descargas de rayos en las proximidades de la instalación, para instalaciones conectadas a la red, pueden provenir de sobretensiones transitorias de la propia red y transmitidas al interior de la instalación fotovoltaica. En el segundo bloque están las sobretensiones que se originan en el transitorio de las conexiones y desconexiones del propio sistema.

Las sobretensiones de origen atmosféricos son las más importantes desde el punto de vista de los niveles de tensión que pueden aparecer. Se caracterizan por pulsos de crecimiento rápido, corta duración y que pueden alcanzar varios KV en descargas muy próximas a la instalación. La tipología de la instalación, flotante o a tierra, determinará el grado de sobretensión que pueda originarse. En una instalación flotante al no existir una conexión rígida a tierra, es necesario derivar a tierra estas sobretensiones instalando limitadores de sobretensión. Al estar el sistema aislado también se pueden cargar electrostáticamente hasta un potencial superior al nivel de aislamiento de los equipos con las consiguientes descargas disruptivas.

Las sobretensiones son el riesgo más crítico en sistemas fotovoltaicos.

- Externas: Se producen por descargas atmosféricas (rayos) cercanas a la instalación o por perturbaciones transitorias en la red eléctrica. Estos pulsos pueden alcanzar varios kilovoltios en milisegundos.
- Internas: Surgen en procesos de conexión y desconexión del sistema.
- Medidas de protección: Uso de limitadores de sobretensión (SPD), conexión a tierra adecuada y diseño de sistemas flotantes o aterrizados según el entorno.

5.5.2 SOBREINTENSIDADES

La característica I-V de un generador fotovoltaico permite asimilar su comportamiento al de una fuente de intensidad, a diferencia de la red eléctrica que se comporta como

una fuente de tensión. Esto significa que la corriente de cortocircuito, a lo contrario que ocurre en la red tradicional, sólo es un 20% superior a la corriente nominal, intensidad que por tanto podemos considerar como sobrecarga. En el diseño de los conductores, desde el punto de la eficiencia energética, conviene dimensionar éstos de forma que la caída de tensión sea inferior al 1% de la tensión de generación. De esta forma el conductor está sobradamente dimensionado para soportar estas intensidades. No será, por tanto, necesario el uso de limitadores de corriente atendiendo a este criterio, aunque sobre la base de otras consideraciones (doble defecto a tierra que hace que las ramas afectadas soporten el paso de la corriente de las otras ramas) sería necesario el estudio de la instalación.

Los generadores fotovoltaicos se comportan como fuentes de corriente.

- La corriente de cortocircuito suele ser solo un 20% superior a la nominal, lo que limita el riesgo de sobrecarga.
- Es fundamental dimensionar los conductores para que la caída de tensión sea <1% de la tensión de generación.
- En casos de doble defecto a tierra, las ramas afectadas pueden soportar corrientes adicionales, por lo que se recomienda un estudio detallado de la instalación.

5.5.3 PUNTOS CALIENTES

Un posible riesgo de falla por deterioro de los paneles fotovoltaicos lo constituye la elevación de la temperatura que experimenta cuando éstos pasan de ser generadores a cargas. Estos fenómenos, denominados 'puntos calientes', aparecen cuando existe un sombreado parcial de las células o en faltas a tierra en la rama en que se encuentra el panel. Actualmente la instalación de diodos de paso y bloqueo respectivamente para cada uno de los efectos anteriores protege de este riesgo.

Los también conocidos como hot spots aparecen cuando una célula pasa de generar a comportarse como carga, elevando su temperatura.

- Se producen por sombras parciales, defectos de conexión o fallas a tierra.
- Pueden provocar daños irreversibles en los módulos.
- Protección: Instalación de diodos de paso y bloqueo, además de un diseño que minimice sombreados.

5.5.4 PÉRDIDA DE AISLAMIENTO

Una degradación progresiva del nivel de aislamiento original de la instalación está ocasionada por las condiciones medioambientales como temperatura, radiación ultravioleta, humedad, polución a las cuales está sujeto ésta durante un largo periodo de tiempo. Hay que tener en cuenta que la vida útil de este tipo de instalaciones puede superar los 20 años. Otras causas de pérdida de aislamiento pueden provenir de daños intencionados o instalación defectuosa.

La degradación del aislamiento es un riesgo progresivo.

- Factores: radiación ultravioleta, humedad, polución, altas temperaturas y envejecimiento de materiales.
- La vida útil de los sistemas FV supera los 20 años, por lo que este riesgo es acumulativo.
- También puede deberse a instalaciones defectuosas o daños intencionados.
- Medidas: Inspecciones periódicas, pruebas de aislamiento y uso de materiales certificados resistentes a la intemperie.

5.5.5 PROTECCIÓN DE PERSONAS

Las personas estarán sometidas a un riesgo eléctrico cuando exista un contacto directo o indirecto con la instalación. La protección-prevención contra contactos directos e indirectos, se resumen a continuación:

CONTACTOS DIRECTOS

Se producen cuando una persona entra en contacto físico con una parte activa de la instalación (conductores, bornes o elementos bajo tensión). Para prevenirlos se aplican varias medidas:

- Aislamiento de las partes activas: Los conductores y componentes eléctricos se recubren con materiales aislantes (plásticos, resinas, barnices) que impiden el contacto accidental con la corriente.
- Protección mediante barreras y envolventes: Se instalan cubiertas, cajas o carcasas que impiden el acceso directo a los elementos energizados.
- Protección por medio de obstáculos: Se colocan elementos físicos (rejillas, tapas, separadores) que dificultan el acceso involuntario a las partes activas.
- Separación por distancia: Se diseñan las instalaciones de manera que las partes activas queden fuera del alcance normal de las personas, aprovechando la altura o la ubicación estratégica.

- Utilización de sistemas diferenciales: Los interruptores diferenciales detectan fugas de corriente hacia tierra y desconectan automáticamente el circuito, evitando que una persona reciba una descarga peligrosa.

CONTACTOS INDIRECTOS

Se producen cuando una persona toca una parte metálica o accesible de la instalación que normalmente no está energizada, pero que puede quedar bajo tensión debido a un fallo de aislamiento. Para reducir este riesgo se aplican:

- Protección por corte automático de alimentación: Los dispositivos de protección (termomagnéticos, diferenciales) desconectan el suministro eléctrico en caso de fallo, evitando que la tensión se mantenga en partes accesibles.
- Protección por separación eléctrica de circuitos: Se utilizan transformadores de aislamiento u otros sistemas que separan físicamente los circuitos, reduciendo la posibilidad de que una falla se transmita a la parte accesible.
- Aislamiento por empleo de materiales: Con el fin de impedir que la corriente llegue a superficies expuestas, se utilizan soportes no conductores y las estructuras metálicas se envuelven con materiales aislantes.
- Protección de puesta a tierra o conexiones equipotenciales: Para que las fugas de corriente se disipen de forma segura, todos los elementos metálicos deben conectarse a tierra. Igualmente se aseguran que no existan diferencia de potenciales peligrosas en las diferentes partes de la instalación por medio de las conexiones equipotenciales.

Por lo tanto, para asegurar la seguridad de las personas y el correcto funcionamiento de una instalación fotovoltaica, son muy importantes los contactos directos que evitan el acceso a las partes activas de la instalación y contactos indirectos que aseguran que las partes metálicas accesibles no puedan quedar energizadas en caso de fallo.

CAPÍTULO VI. NORMATIVA DE LAS CELDAS SOLARES FOTOVOLTAICAS

Con el fin de establecer un nuevo marco para el funcionamiento del sistema eléctrico mexicano, se creó la Ley de la Industria Eléctrica (LIE (ahora LSE)), publicada el 11 de agosto de 2014. Con las disposiciones creadas por la Comisión Reguladora de Energía CRE (ahora CNE) y esta nueva ley se pudo completar, bajo el esquema de generación distribuida, la generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables, como la solar fotovoltaica. En consecuencia, se generaron muchos beneficios regulatorios específicos.

Más tarde, en el 2017 se publicaron por la CRE (ahora CNE) las Disposiciones Administrativas de Carácter General (DACG) para la interconexión de centrales eléctricas de generación distribuida y pequeña escala. Con ellas se pudieron fijar las condiciones técnicas, los procedimientos de conexión y los derechos de los usuarios para vender la energía excedente a la red eléctrica nacional.

Mientras tanto, se estableció la normativa técnica de referencia para el diseño y montaje de sistemas fotovoltaicos conectados a red la cual está incluida dentro de las instalaciones eléctricas de baja tensión en la norma NOM-001-SEDE-2012. Dicha norma, tiene incluida aspectos tales como el dimensionamiento de conductores, protecciones eléctricas y seguridad en la instalación.

Por otro lado, se promueven programas de capacitación y acreditación para la certificación de instaladores por medio de la Secretaría de Energía (SENER) y la CONUEE (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía). En este caso, no existe un examen único nacional como en el caso español, sin embargo, para acceder a programas de financiamiento o subsidios, se necesita que las empresas instaladoras estén registradas y cumplan con las normas oficiales mexicanas.

Respecto a la conexión a la red, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) establece el procedimiento mediante el cual el titular de la instalación, la compañía de distribución y la autoridad reguladora acuerdan las condiciones técnicas y de protección. Este procedimiento incluye la verificación de la acometida, la instalación de medidores bidireccionales y la definición de plazos claros para la interconexión y facturación de la energía.

Finalmente, la CRE (Ahora CNE) publica anualmente las tarifas de porteo y cargos aplicables, que incluyen los costos de verificación y conexión de las instalaciones fotovoltaicas a la red eléctrica convencional. Estos lineamientos aseguran que los usuarios puedan recibir el pago correspondiente por la energía que vierten a la red bajo esquemas de medición neta o venta total.

6.1 NORMATIVA MEXICANA

En este apartado se incluye la principal normativa y reglamentación empleada vigente durante la realización del proyecto y su construcción, es importante destacar que los lineamientos básicos aún se conservan en 2026, más allá de los cambios por Nomenclatura de las Instituciones, tales como la antigua Ley de la Industria Eléctrica (ahora Ley del Sector Eléctrico), CRE (ahora Comisión Nacional de Energía) y sus respectivos reglamentos y resoluciones.

En México, las instalaciones eléctricas de las centrales solares fotovoltaicas desde 2025 están reguladas principalmente por la Ley de Sector Eléctrico (2025) que sustituye a la Ley de la Industria Eléctrica (2014), las disposiciones de la Comisión Nacional de Energía CNE (anteriormente CRE) y varias Normas Oficiales Mexicanas (NOM), siendo la NOM-001-SEDE-2012 la más relevante para sistemas de baja tensión. Estas normas garantizan seguridad, eficiencia y condiciones técnicas para la interconexión con la red de la CFE.

LEY DEL SECTOR ELÉCTRICO (LSE, 2025) ANTERIORMENTE LEY DE LA INDUSTRIA ELÉCTRICA (LIE, 2014)

La Ley del Sector Eléctrico (LSE 2025) (Antes Ley de la Industria Eléctrica (LIE)), publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 18 de marzo de 2014, es el marco jurídico que regula la generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica en México. Esta define el marco legal para la generación de energía eléctrica en México. Es importante señalar que el marco jurídico que se empleó durante el presente proyecto se basó en la antigua Ley de la Industria Eléctrica (Camara de Diputados, 2014).

PUNTOS CLAVE DE LA LSE

Apertura del sector eléctrico.

- Permite la participación de particulares en generación y comercialización de energía.

Generación distribuida.

- Reconoce y regula sistemas menores a 0.7 MW, como los solares fotovoltaicos residenciales y comerciales.

Permisos de generación.

- La Comisión Nacional de Energía (CNE, 2025) anteriormente Comisión Reguladora de Energía (CRE,2014) otorga permisos para plantas mayores a 0.7 MW. Durante el anterior marco jurídico el limitante era de 0.5 MW para otorgar permisos de Generación Distribuida.
- Establece que la CNE (Antes CRE), es la autoridad encargada de emitir permisos y disposiciones técnicas.

Interconexión.

- Establece que la CFE debe permitir la conexión de sistemas de generación distribuida bajo condiciones técnicas y de seguridad.

Mercado eléctrico mayorista.

- Define reglas para la compraventa de energía entre generadores, suministradores y usuarios calificados.

Protección ambiental.

- Promueve el uso de energías limpias y establece metas de participación renovable en la matriz energética.

NORMAS Y ESPECIFICACIONES DE LA CFE

Estas normas y especificaciones constituyen los requisitos técnicos y administrativos que tienen que cumplir los usuarios para conectar sus instalaciones de generación distribuida. Con esto, se garantiza la seguridad, confiabilidad y un procedimiento claro entre el usuario, la CFE y la CNE (antes CRE).

PUNTOS CLAVE DE LAS NORMAS Y ESPECIFICACIONES DE LA CFE

Especificación técnica CFE G0100-04 (CFE, 2008)

- Regula la interconexión a la red eléctrica de baja tensión de sistemas fotovoltaicos con capacidad hasta 30 kW. Publicada en agosto de 2008, establece los requisitos de diseño, instalación, seguridad y operación para garantizar que los sistemas FV se conecten de manera segura y confiable a la red de la CFE.

Capacidad de los sistemas

- Se permite la interconexión de sistemas de generación distribuida menores a 0.7 MW. Anteriormente 0.5 MW.

- Para sistemas mayores, se requiere un permiso de generación otorgado por la CNE (Antes CRE).

Normas técnicas aplicables

- Cumplimiento obligatorio de la NOM-001-SEDE-2012 (instalaciones eléctricas de baja tensión).
- Aplicación de la NOM-031-ENER-2019 para inversores fotovoltaicos conectados a red.
- Los equipos deben estar certificados y cumplir con estándares internacionales (IEC, UL).

Medición y facturación

- Instalación de medidores bidireccionales para registrar tanto el consumo como la energía inyectada.
- Definición de esquemas de medición neta (Net Metering), balance neto (Net Billing) de energía o venta total.

Procedimiento de interconexión

- El usuario presenta solicitud con planos eléctricos y memoria técnica.
- La CFE verifica la acometida y el cumplimiento de normas.
- Se establecen plazos claros para respuesta y autorización.
- Firma de contrato de interconexión entre el usuario y la CFE.

5. Seguridad y protecciones

- Sistemas de desconexión automática en caso de fallas.
- Protecciones contra sobretensiones, sobreintensidades y pérdida de aislamiento.
- Correcta puesta a tierra y conexiones equipotenciales en estructuras metálicas.

6. Responsabilidades

- Usuario: Garantizar que la instalación cumpla con las NOM y especificaciones técnicas.
- CFE: Revisar, autorizar y supervisar la conexión.
- CNE (Antes CRE): Regular tarifas, esquemas de interconexión y permisos de generación.

DISPOSICIONES ADMINISTRATIVAS DE CARÁCTER GENERAL (DACG) DE LA CNE (Dic-2025) (ANTES CRE, ago-2017)

Estas disposiciones administrativas fijan el marco técnico y administrativo para la interconexión de sistemas de generación distribuida y pequeña escala en México. Son esenciales ya que definen la venta y compensación de la energía generada, así como la forma en el que los usuarios pueden conectarse a la red de la CFE por medio de un sistema fotovoltaico.)

La Comisión Nacional de Energía (CNE), a partir de diciembre del 2025, anunció las *Disposiciones Administrativas de Carácter General (DACG)* para instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo con capacidad igual o mayor a 0.7 MW, donde dentro de estas disposiciones aparecen las reglas sobre permisos, operaciones y cancelaciones. Por lo tanto, las DACG sustituyen el marco previo de la LIE, proporcionando una certeza regulatoria para el nuevo esquema de la Ley del Sector Eléctrico. Con esto, se promueve la generación distribuida y el autoconsumo sin cargas regulatorias excesivas, asegurando la seguridad del sistema eléctrico nacional.

PUNTOS RELEVANTES DE LAS DISPOSICIONES DE LA CNE (ANTERIORMENTE CRE)

Alcance.

- Afectan para sistemas de generación distribuida menores a 0.7 MW, donde se incrementó 0.2 MW desde el 2018 para la realización y construcción del proyecto.
- Permisos: No necesitan un permiso de generación ante la CRE, únicamente con registrarse en el padrón de instalaciones de autoconsumo.
- Las fuentes reguladas son la solar fotovoltaica, eólica, biomasa y cogeneración eficiente.
- Conexión a red: Si los excedentes no pasan los límites establecidos, entonces se autoriza la interconexión bajo contratos simplificados con la CFE.
- Autoconsumo aislado: Si la instalación no conectada a red se destina exclusivamente al consumo propio no se necesita un registro.

Procedimiento de interconexión.

- El usuario realiza la solicitud de interconexión a la CFE con planos eléctricos y memoria técnica.
- CFE analiza la capacidad de la red y realiza un dictamen técnico.

- Se fijan plazos para la respuesta y la autorización (usualmente entre 15 y 30 días hábiles).
- Se firma el contrato de interconexión por medio de medición neta, net billing o venta total.

Requisitos técnicos

- De acuerdo con la NOM-001-SEDE-2012 (instalaciones eléctricas de baja tensión).
- Inversores certificados ante la NOM-031-ENER-2019 y normas internacionales (IEC/UL).
- Instalación de medidores bidireccionales con el fin de registrar los consumo y las inyección de energía.
- Sistemas de protección contra sobretensiones, sobreintensidades y desconexión automática.

Derechos y obligaciones

- Usuarios: Asegurar que la instalación cumpla con normas y especificaciones.
- CFE: Posibilitar la interconexión y hacer la verificación técnica.
- CNE (Antes CRE): Controlar el cumplimiento y fijar tarifas de porteo y esquemas de compensación.

Esquemas de facturación

- Medición neta (Net Metering): Balance de energía consumida e inyectada.
- Net Billing: Excedentes convertidos en valor monetario.
- Venta total: Toda la energía generada se vende a la CFE.

Requerimientos para interconexión

- Instalación de medidores bidireccionales.
- Verificación de acometida y cumplimiento técnico.
- Plazos claros para autorización y conexión.
- Contrato Suministrador-Generador

Requisitos técnicos y de instalación

- Certificación de instaladores: Tienen que tener acreditaciones de la SENER y CONUEE y tienen que cumplir con la NOM-001-SEDE-2012.

- Documentación: planos eléctricos, memoria técnica y pruebas de aislamiento.
- Protecciones eléctricas: termomagnéticos, diferenciales, limitadores de sobretensión NOM-001-SEDE-2012.
- Puesta a tierra: obligatoria en estructuras metálicas y equipos NOM-001-SEDE-2012.
- Inversores fotovoltaicos: Cumplimiento con la NOM-031-ENER-2019 (eficiencia mínima > 90%). Sistemas de desconexión automática en caso de fallas. Certificaciones internacionales complementarias (IEC 62109, UL 1741).
- Módulos certificados bajo normas internacionales (IEC 61215, IEC 61730).

Breve resumen de Leyes, Normas Oficiales Mexicanas (NOM), Leyes Fiscales y Requerimientos Administrativos que regulan las instalaciones eléctricas de las instalaciones fotovoltaicas.

6.1.1 CARACTERÍSTICAS QUE SE PUEDEN ACOGER A ESTE PROCEDIMIENTO

Desde el año 2025 la LSE (anteriormente la La Ley de la Industria Eléctrica LIE, 2014) inicio un marco regulatorio donde las instalaciones solares fotovoltaicas pueden acoplarse al sistema nacional como una generación distribuida. De este modo, la CNE (anteriormente la CRE) generó disposiciones específicas para calificar que instalaciones pueden conectarse y como lo pueden hacer en la red de la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

1. Capacidad instalada

- Las instalaciones que se acogen al procedimiento de generación distribuida deben tener una capacidad menor a 0.5 MW. (En la nueva legislación 0.7MW).
- Para sistemas mayores, se requiere un permiso de generación otorgado por la CRE (Ahora CNE) y cumplir con requisitos adicionales de transmisión y despacho.

2. Conexión a la red

- Los sistemas deben estar conectados a la red de baja tensión de la CFE, cumpliendo con la NOM-001-SEDE-2012 sobre instalaciones eléctricas.
- Se exige la instalación de medidores bidireccionales, que permiten registrar tanto la energía consumida como la energía inyectada a la red.

3. Normas técnicas y de seguridad

- Los equipos (módulos, inversores, protecciones) deben cumplir con normas oficiales mexicanas como la NOM-013-ENER-2013 (eficiencia energética) y la NOM-031-ENER-2019 (inversores FV).
- Es obligatorio contar con sistemas de protección contra sobretensiones, sobreintensidades y pérdida de aislamiento, además de una correcta puesta a tierra.

4. Certificación de instaladores

- El montaje debe realizarse por instaladores eléctricos certificados, siguiendo la NOM-001-SEDE y acreditaciones reconocidas por la Secretaría de Energía (SENER) o la CONUEE.
- Aunque no existe un examen único nacional, las empresas deben estar registradas y cumplir con estándares de seguridad para acceder a programas de financiamiento o subsidios.

5. Procedimiento administrativo

- El titular de la instalación, la CFE y la CRE (Ahora CNE) acuerdan las condiciones técnicas y de protección de la conexión.
- Se establecen plazos claros para la revisión, autorización y puesta en marcha de la instalación.
- La CRE (Ahora CNE) publica anualmente las tarifas de porteo y cargos aplicables, que incluyen los costos de verificación de la acometida.

Las instalaciones fotovoltaicas que califican en México son aquellas de generación distribuida menor a 0.5 MW (en la nueva legislación 0.7 MW), conectadas a la red de baja tensión, con instaladores certificados y cumpliendo con la NOM, según el procedimiento administrativo de la CNE (anteriormente CRE) y CFE. Con esto se asegura que los usuarios pueden inyectar energía a la red sin problemas y que puedan recibir el pago por la electricidad generada.

6.1.2 PROCEDIMIENTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO

El objetivo del Manual de interconexión de Centrales de Generación con Capacidad menor a 0,5 MW (0,7 MW en nueva legislación) de la CFE y la NOM-0001- SEDE-2012 en sus artículos 690 y 705, los documentos indispensables para la instalación y conexión de sistemas solares FV en nuestro país, es el de establecer los requisitos técnico y administrativos para poder realizar la interconexión de la CSFV (Secretaría de

Gobernación- México, 2016). Su contenido principal nos señala entre otros requerimientos:

- Procedimiento de solicitud y dictamen técnico de factibilidad.
- Requisitos de seguridad eléctrica y protecciones.
- Instalación de medidores bidireccionales.
- Contratos de interconexión bajo esquemas de medición neta, net billing o venta total.
- Importancia: Permite que usuarios residenciales, comerciales y pequeñas industrias conecten sus sistemas FV a la red de manera regulada y segura.

El procedimiento a seguir se describe a continuación:

1. Solicitud al Distribuidor por parte del Suministrador con la siguiente información:
 - Solicitud de interconexión.
 - Croquis de la ubicación geográfica de la Central eléctrica.
 - Diagrama unifilar de la central eléctrica.
 - Diagrama unifilar de la central eléctrica, en su caso, centros de carga que compartirán el mismo punto de interconexión/conexión.
 - Fichas técnicas de la tecnología de generación utilizada.
 - Fichas técnicas y certificados del inversor de corriente o sistema de adecuación de corriente (si es el caso).
 - Ultima factura sin adeudos del suministro eléctrico del usuario/solicitante que comparta el mismo punto de interconexión/conexión que la central eléctrica.
 - El Solicitante deberá presentar la documentación en los formatos que para tal efecto emita la CRE.
2. El Distribuidor evalúa la Solicitud de Interconexión, verifica los esquemas de interconexión y determina la disponibilidad de capacidad en el punto de interconexión, si es necesario solicita un estudio de factibilidad de interconexión.
3. El Distribuidor entrega al Solicitante, a través del Suministrador, el resultado de la evaluación de la Solicitud de Interconexión; si no se requiere estudio el Suministrador entrega al Solicitante el Oficio Resolutivo indicando la vigencia.
 - El costo del estudio, cuando aplique, será autorizado por la CRE. El Solicitante realiza el pago del estudio y notifica al Distribuidor a través del Suministrador.
 - El Distribuidor realiza el estudio y remite los resultados al Suministrador.
4. El Suministrador remite el resultado del estudio al Solicitante, de ser necesaria Infraestructura requerida y obra específica, se incluirá el Oficio de presupuesto,

que tendrá una vigencia de dos meses contados a partir de la fecha en que haya sido entregado al Solicitante o la vigencia que la CRE determine en las Disposiciones que expida en esta materia.

- En caso de ser necesaria Infraestructura requerida se solicita la implementación de la misma.
5. El Solicitante, si está de acuerdo con el Oficio Resolutivo o con el resultado del estudio, dará aviso al CENACE a través del Suministrador para que se realice la interconexión. El CENACE instruirá al Distribuidor la celebración del Contrato de Interconexión.
 - Si el Solicitante considera que hay una solución técnica más económica, la propone al Suministrador para que éste la ponga a consideración del Distribuidor y repita el procedimiento.
 6. El Distribuidor celebra el Contrato de Interconexión con el Solicitante.
 7. El Solicitante informa al Distribuidor a través del Suministrador:
 - Que la Infraestructura requerida sea incorporada en el Programa de Ampliación y Modernización del Distribuidor y realiza a su costa la Obra específica para la interconexión, o efectúa el pago de las aportaciones para que el Distribuidor las ejecute.
 - El Solicitante o el Distribuidor, en su caso, previo pago de la aportación y realización del convenio con el Distribuidor, realiza las obras de la Infraestructura requerida y Obra específica para la interconexión. De requerirse adecuaciones en el sistema de medición éstas deberán realizarse por el Solicitante.
 8. El Solicitante, en su caso, contrata a una Unidad de Inspección para que certifique que la instalación para la interconexión cumple con las características específicas de la Infraestructura requerida establecidas por el CENACE y entrega al Distribuidor a través del Suministrador el certificado correspondiente.
 9. El Distribuidor recibe las obras realizadas por el Solicitante.
 10. El Distribuidor realiza la interconexión de la Central Eléctrica.
 - Se integra la generación a las Redes Generales de Distribución (Secretaría de Gobernación- México, 2016).

Los tiempos de atención serán de 13 días en caso que no se requiera un estudio de interconexión, así se requiere el tiempo de atención será de 18 días, adicionando los tiempos de pagos de aportaciones y construcción de obras.

6.1.3 ESQUEMA DE FACTURACIÓN Y COBRO POR GENERACIÓN DISTRIBUIDA

El esquema de cobro y facturación de la CFE para instalaciones fotovoltaicas en México está regulado por la Ley del Sector Eléctrico (2025), las Disposiciones Administrativas de Carácter General (DACG) de la CNE y normas técnicas como la NOM-001-SEDE-2012 y la especificación CFE G0100-04. En la práctica, se aplican tres modalidades: Medición Neta, Facturación Neta y Venta Total.

Esta metodología de contraprestación define las distintas modalidades que aplicaran al Suministrador de >Servicios Básicos y a la energía que orezcan los Generadores Exentos (Comisión Reguladora de Energía, 2017).

Asimismo, esta metodología establece los cálculos, criterios y fundamentos para determinar las opciones de contraprestación que el Suministrador de Servicios Básicos aplicará a la energía proveniente de los Generadores Exentos.

Los Generadores Exentos que celebren un contrato de interconexión tendrán derecho a aplicar la metodología de medición neta de energía, la cual funciona de la siguiente manera:

I. Medición neta de energía (Net Metering): Es un esquema de contraprestación que contabiliza los flujos de energía eléctrica recibidos y entregados desde y hacia las Redes Generales de Distribución, compensando ambos flujos entre si durante el periodo de facturación (Comisión Reguladora de Energía, 2017).

De manera alternativa, y como excepción a lo anterior, los Generadores Exentos podrán optar por alguna de las siguientes modalidades:

II. Facturación neta (Net Billing): Este esquema considera los flujos de energía recibidos y entregados, asignándoles un valor diferenciado para la compra y la venta.

III. Venta total de energía: En este caso, únicamente se reconoce la energía entregada a las Redes Generales de Distribución, a la cual se le asigna un valor de venta.

La migración entre regímenes de contraprestación solo podrá realizarse una vez transcurrido un año desde la firma del contrato correspondiente. Esto tiene como finalidad facilitar los procesos administrativos, incluyendo la liquidación de excedentes acumulados y la determinación de conceptos calculados de manera anual.

Los Generadores Exentos que hayan celebrado contratos de interconexión en pequeña o mediana escala, conforme a la resolución CRE RES/054/2010 y antes de la

publicación del presente instrumento, podrán conservar sus contratos e instalaciones en los términos originales (Comisión Reguladora de Energía, 2017). No obstante, si lo solicitan, podrán migrar a alguno de los regímenes de contraprestación previstos en esta metodología. Para ello deberán suscribir un nuevo contrato de interconexión y de contraprestación, cumpliendo con los requisitos establecidos en estas disposiciones, sin necesidad de realizar estudios de interconexión ni obras adicionales de refuerzo.

Una vez realizada la migración a un régimen de contraprestación bajo esta metodología, no será posible regresar a las condiciones de los contratos de interconexión en pequeña o mediana escala (Comisión Reguladora de Energía, 2017).

LA MEDICIÓN NETA DE ENERGÍA (NET METERING)

Es un régimen de contraprestación vinculado a la interconexión, que contabiliza el intercambio de energía entre una Central Eléctrica de Generación Distribuida y uno o varios Centros de Carga con las Redes Generales de Distribución. En este esquema, la energía entregada por la central se compensa con la energía recibida por los usuarios finales durante el periodo de facturación.

El contrato de contraprestación debe estar asociado, mientras se mantenga esta actividad, a uno o varios contratos de suministro eléctrico bajo la tarifa final aplicable. En este régimen, el Generador Exento puede ser una persona física o moral, con la posibilidad de entregar energía a uno o más Centros de Carga y enviar sus excedentes a las Redes Generales de Distribución, para aprovecharlos posteriormente en momentos en que no esté generando electricidad.

Este modelo de contraprestación aplica principalmente a una Central Eléctrica y un Centro de Carga que comparten un mismo punto de interconexión con las Redes Generales de Distribución. El uso colectivo de la medición neta —es decir, cuando se involucra a más de un Centro de Carga— se implementará mediante la modificación o actualización de las disposiciones vigentes, o a través de instrumentos regulatorios que emita la CRE.

De acuerdo con el nivel de tensión en el que se realice la interconexión De la central eléctrica, la contraprestación bajo el esquema de medición neta, se calculará de la siguiente manera:

INTERCONEXIÓN EN BAJA TENSIÓN

La contraprestación bajo el esquema de medición neta de energía se calculará como la diferencia entre la energía total entregada por el Suministrador de Servicios Básicos

y la energía total aportada por el Generador Exento durante el periodo de facturación, a través de las Redes Generales de Distribución (Comisión Reguladora de Energía, 2017).

- Diferencia negativa: Se considerará un crédito a favor del Generador Exento, el cual se aplicará automáticamente en los periodos de facturación posteriores, hasta por un máximo de 12 meses. Una vez transcurrido dicho plazo, el crédito no utilizado será liquidado al valor promedio del Precio Marginal Local correspondiente al nodo del Punto de Interconexión, conforme a las condiciones de pago establecidas en estas disposiciones. El pago se efectuará mediante transferencia bancaria a la cuenta designada por el Generador Exento.
- Diferencia positiva: Se considerará un crédito a favor del Suministrador de Servicios Básicos y se facturará al Usuario Final conforme a la tarifa de suministro aplicable en el periodo de facturación vigente, o según lo estipulado en el contrato de suministro celebrado entre las partes (Comisión Reguladora de Energía, 2017).

Debido a que el presente trabajo se enfoca en un sistema de generación distribuida en baja tensión se excluyen los términos del net Metering para interconexión en media tensión.

FACTURACIÓN NETA (NET BILLING) Y VENTA TOTAL DE ENERGÍA

La facturación neta es el régimen de contraprestación asociado a la interconexión que registra, de forma independiente, la energía entregada por el Generador Exento a las Redes Generales de Distribución (Comisión Reguladora de Energía, 2017) y la energía recibida por el Centro de Carga desde dichas redes a través del Suministrador (Gobierno de México, 2017). En este esquema, el contrato de interconexión debe vincularse con un contrato de suministro eléctrico, aunque no necesariamente del mismo titular, ya que en el mismo punto de interconexión se realizan tanto entregas como recepciones de energía.

El régimen de venta total aplica cuando no existe contrato de suministro eléctrico asociado al punto de interconexión de la central. En este caso, toda la energía entregada por el Generador Exento a las Redes Generales de Distribución se registra de manera independiente y se liquida al valor del Precio Marginal Local (PML). La

energía que el Suministrador entregue al Usuario Final en ese punto se factura aparte, conforme a la tarifa contratada. La energía eléctrica entregada por el Generador Exento a las Redes Generales de Distribución se liquidará al valor del Precio Marginal Local de la siguiente forma:

1. Contraprestación por la energía entregada a las Redes Generales de Distribución utilizando el Precio Marginal Local horario en el nodo correspondiente, en el momento de la entrega. Para el pago, el Generador Exento deberá contar al menos con un medidor capaz de registrar y almacenar el perfil de la energía entregada por un intervalo mayor a la frecuencia de lecturas para facturación, o bien con un sistema de comunicación que transmita el valor horario de la energía generada y entregada, de modo que el Suministrador de Servicios Básicos reciba los datos y pueda calcular la contraprestación. La contraprestación se calculará como la sumatoria, en el periodo de facturación, de la energía entregada multiplicada por el Precio Marginal Local horario vigente en cada entrega. Al finalizar el periodo, el Generador Exento recibirá la liquidación con base en el Precio Marginal Local horario del nodo correspondiente, mediante transferencia bancaria a la cuenta que designe, conforme al apartado de Condiciones de Pago de estas disposiciones.
2. En caso de existir un contrato de suministro eléctrico asociado al mismo Punto de interconexión, el Generador Exento podrá decidir si se emite una factura por separado que ampare la energía entregada a las Redes Generales de Distribución y otra que considere la energía recibida de las Redes Generales de Distribución, o si se realiza una única factura desglosando los saldos a favor y en contra, indicando el balance que habrá de ser liquidado (Comisión Reguladora de Energía, 2017).

CONDICIONES DE PAGO

- Según lo impuesto por la Comisión Reguladora de Energía, 2017, después de concluido el periodo de liquidación en máximo diez (10) días, el Distribuidor notificará al Suministrador de Servicios Básicos la energía entregada por el Generador Exento a las Redes Generales de Distribución.
- A más tardar en cinco (5) días hábiles el Suministrador deberá calcular y enviar al Generador Exento un estado de cuenta con los datos de la energía entregada en el Punto de interconexión, anotando la facturación neta y la medición neta.

- A más tardar en cinco (5) días hábiles, el Generador exento emitirá la factura.
- A más tardar en diez (10) días hábiles el Suministrador revisará la factura y realizará el pago.
- En dado caso que el Distribuidor no enviase la notificación, el Suministrador deberá ponerse en contacto con el Distribuidor para ver la situación en el que se encuentra.
- Si no están de acuerdo con el estado de cuenta o la factura, deberán de notificarlo en máximo treinta (30) días naturales. Tendrán cinco (5) días hábiles para conciliar y diez (10) días mas para emitir correcciones. Si en dado caso, siguen si estar de acuerdo, tienen quince (15) días para recurrir por otros medios establecidos por la CRE.
- Una vez terminado el contrato, en máximo quince (15) días se emitirá una facturación final, teniéndose que liquidar en un máximo de treinta (30) días. Si hubiera alguna diferencia se tendría que resolver con la CRE.
- En máximo treinta (30) dias se tendrán que pagar las facturas aceptadas por el Suministrador al Generador Exento.

6.1.4 INCENTIVOS FISCALES, PROGRAMAS Y SUBSIDIOS

En México, las instalaciones fotovoltaicas cuentan con incentivos fiscales muy atractivos: las empresas y personas físicas con actividad empresarial pueden deducir el 100% de la inversión en paneles solares en un solo ejercicio fiscal, además de acceder a subsidios federales y estatales que reducen el costo inicial.

INCENTIVOS FISCALES PRINCIPALES

- Deducción inmediata del ISR.
 - La inversión en maquinaria y equipo para generación de energía renovable es 100% deducible en el primer año fiscal.
 - Esto incluye paneles, inversores, estructuras y costos de instalación.
 - Ejemplo: Una empresa que invierte \$1,000,000 MXN puede deducir todo ese monto y reducir su ISR en \$300,000 MXN (tasa corporativa del 30%).
- Aplicación para personas físicas con actividad empresarial:
 - También pueden deducir la inversión en sistemas solares, acelerando el retorno de inversión.

- El beneficio es superior al de otros activos fijos, que normalmente se deprecian en varios años.

Subsidios complementarios y programas:

- Secretaría de Bienestar: Techos solares
 - Subsidio del 100% de sistemas fotovoltaicos en hogares de bajos recursos.
 - Ahorros eléctricos anuales pueden ser de hasta 67%.
 - Se han incluido para el 2026 a los estados con alta irradiación como Sonora, Baja California y Chihuahua.
- Programa Nacional de Energía Solar Residencial:
 - Se tiene un presupuesto de 12 mil millones de pesos en los años 2026 y 2030 para instalaciones solares fotovoltaicas en 500,000 hogares.
 - La meta para el 2026 es instalar 100,000 sistemas de 3 a 5 kWp por hogar.
 - Con este programa se puede reducir entre un 70% y un 90% anual las facturas de luz.

NORMATIVA QUE REGULA ESTE PROCEDIMIENTO

La Ley del Impuesto sobre la Renta, Sección II. DE LAS INVERSIONES. En su Artículo 34, Fracción XIII, DOF 23-04-2021, sobre deducciones indica:

Artículo 34. Los por cientos máximos autorizados, tratándose de activos fijos por tipo de bien son los siguientes:

- XIII. 100% para maquinaria y equipo para la generación de energía proveniente de fuentes renovables o de sistemas de cogeneración de electricidad eficiente. Para los efectos del párrafo anterior, son fuentes renovables aquéllas que por su naturaleza o mediante un aprovechamiento adecuado se consideran inagotables, tales como la energía solar en todas sus formas; la energía eólica; la energía hidráulica tanto cinética como potencial, de cualquier cuerpo de agua natural o artificial; la energía de los océanos en sus distintas formas; la energía geotérmica, y la energía proveniente de la biomasa o de los residuos. Asimismo, se considera generación la conversión sucesiva de la energía de las fuentes renovables en otras formas de energía. Lo dispuesto en esta fracción será aplicable siempre que la maquinaria y equipo se encuentren en operación

o funcionamiento durante un periodo mínimo de 5 años inmediatos siguientes al ejercicio en el que se efectúe la deducción, salvo en los casos a que se refiere el artículo 37 de esta Ley. Los contribuyentes que incumplan con el plazo mínimo establecido en este párrafo, deberán cubrir, en su caso, el impuesto correspondiente por la diferencia que resulte entre el monto deducido conforme a esta fracción y el monto que se debió deducir en cada ejercicio en los términos de este artículo o del artículo 35 de esta Ley, de no haberse aplicado la deducción del 100%. Para estos efectos, el contribuyente deberá presentar declaraciones complementarias por cada uno de los ejercicios correspondientes, a más tardar dentro del mes siguiente a aquél en el que se incumpla con el plazo establecido en esta fracción, debiendo cubrir los recargos y la actualización correspondiente, desde la fecha en la que se efectuó la deducción y hasta el último día en el que operó o funcionó la maquinaria y equipo.

(Cámara de Diputados, 2013)

6.1.5 CERTIFICADOS DE ENERGÍA LIMPIA

En México, las empresas e industrias que consumen grandes volúmenes de energía enfrentan un doble reto: cumplir con la regulación eléctrica y avanzar en sus compromisos de sostenibilidad y descarbonización. Los CEL's son un requisito que debe cumplirse correctamente para evitar contingencias regulatorias

Origen e implementación.

Los Certificados de Energía Limpia (CEL's) se introdujeron en México en 2016, tras la aprobación de la Ley de la Industria Eléctrica (2014) (Hoy LSE,2025) y la Ley de Transición Energética (2015) y en 2026 siguen vigentes como obligación regulatoria para fomentar la generación de electricidad con fuentes renovables. El gobierno mexicano quería asegurar que parte de la electricidad del país viniera de fuentes limpias (solar, eólica, hidroeléctrica, nuclear, biomasa). Para lograrlo, creó un sistema de certificados que premiara a quienes generaran energía limpia. El objetivo fue crear un mecanismo de mercado que incentivara la generación de energía a partir de fuentes limpias, como solar, eólica, hidroeléctrica, nuclear y cogeneración eficiente. Y que, a través de ejercer obligatoriedad, promoviera la sostenibilidad y que a su vez generará un beneficio económico.

Funcionamiento.

Las plantas que producen electricidad con fuentes limpias (solar, eólica, hidroeléctrica, nuclear o cogeneración eficiente) reciben un Certificado de Energía

Limpia (CEL) por cada megawatt-hora (MWh) que generan y es emitido por la Comisión Nacional de Energía (CNE) (Antes CRE), a los generadores que cumplen con los criterios establecidos.

Existen en el mercado empresas denominadas Suministradores de Servicios Básicos y Suministradores Calificados las cuales son las que venden electricidad a los usuarios. Por otro lado, existe la figura de Usuarios Calificados que son aquellos que tienen un alto consumo de electricidad. En el mercado se ha creado el concepto de CEL (Certificado de Energías Limpias) donde por ley los altos consumidores y altos usuarios tienen que hacer la compra venta de dichos certificados. Con esto aseguras que las grandes empresas parte de su consumo es energía limpia.

- Todos aquellos que generen energía limpia son los que pueden ofertar.
- Los usuarios, grandes empresas consumidoras y generadores pueden comprar.)
- Por lo tanto, el mercado es voluntario a la hora de comprar los CELs ya sea por obligación o por mejora de su perfil ambiental.)

Vigencia en 2026.

Desde el 2008 que inicio este sistema, y actualizándolo la Comisión Nacional de Energía en el 2025, sigue vigente siguiendo las metas establecidas en la Ley de Transición Energética. En este sentido, las metas se calculan cada año, siendo que para este año el porcentaje de obligación es de 13.9% del consumo eléctrico anual, es decir, una empresa obligada debe acreditar 0.139 CEL por cada MWh consumido.)

Importancia estratégica

Como bien se indica, un CEL es un certificado el cual indica que la energía fue generada sin combustibles fósiles. En el 2026 tiene los siguientes puntos clave:

- Cumplimiento regulatorio: evita sanciones a las grandes empresas consumidoras y a su vez, cumple con las metas nacionales de la transición energética.
- Competitividad empresarial: por el hecho de que una empresa obtenga los CEL demuestra su compromiso con la sostenibilidad y su imagen de ser una empresa no consumidora de combustibles fósiles.
- Ingresos adicionales: Cualquier generador de energía limpia, si produce más cantidad de energía de la que consume, el excedente lo puede vender como CEL en el mercado.

Retos y perspectivas

Aunque los CEL han impulsado la inversión en energías renovables, también han generado debates sobre su efectividad y costos para los usuarios calificados y, por consiguiente, su aceptación sigue siendo reticente. En 2026, siguen siendo un mecanismo vigente, pero se estudia su fortalecimiento para alcanzar las metas de 35% de energía limpia establecidas para esta década.

6.1.6 LAS NORMAS OFICIALES MEXICANAS(NOM) EN MATERIA ELÉCTRICA

Para el desarrollo de bienestar la electricidad, es uno de los puntos clave, sin embargo, para poder manejarla es esencial minimizar los riesgos. Es por ello, que en México las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) en materia de las instalaciones eléctricas representan el marco legal y técnico regulando la seguridad, eficiencia y confiabilidad de los sistemas eléctricos en viviendas, industrias y espacios públicos. Para complementar dichas normas se generan las Normas Técnicas Complementarias (NTC) asegurando una mayor seguridad y eficiencia. Estas normas técnicas aseguran unos lineamientos específicos para el diseño, construcción y mantenimiento de instalaciones eléctricas.

6.1.6.1 ALCANCE Y PROPÓSITO DE LA NOM

La finalidad de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012 es fortalecer la seguridad, la confiabilidad y la eficiencia de las instalaciones eléctricas. Para ello, analiza los cambios introducidos, su relevancia práctica y el impacto que tiene en distintos sectores.

1. Evolución normativa.

Para una mayor homologación global, la NOM-001-SEDE-2012 tiene sus bases en estándares internacionales como el National Electrical Code (NEC 2017) y normas de la NFPA. Esto hace que tenga requisitos más detallados como por ejemplo para ambientes especiales como hospitales, zonas húmedas y áreas clasificadas como peligrosas.

2. Seguridad reforzada.

Este apartado refuerza las medidas contra sobretensiones y fallas a tierra y actualiza las medidas contra sobrecorriente y cortocircuitos. Con ello, protege a los usuarios como a los equipos electrónicos obteniendo unos sistemas eléctricos más robustos.

3. Ambientes críticos

La NOM-001-SEDE-2012 se alinea con la NFPA 99 para darle una mayor atención a las instalaciones críticas como son por ejemplo las instalaciones médicas. Se definen reglas claras contactos con puesta a tierra aislada y clasificación de espacios críticos.

4. Inspección y mantenimiento

La NOM-001-SEDE-2012 introduce un capítulo específico sobre verificación periódica y mantenimiento preventivo, obligando a los responsables de instalaciones a documentar proyectos eléctricos con diagramas y memorias técnicas. Esto no solo garantiza la seguridad inicial, sino también la sostenibilidad de las instalaciones a lo largo del tiempo. (Se agrega un capítulo específico para la verificación periódica y mantenimiento preventivo. Esto obliga a documentar proyectos con diagramas y memorias técnicas con el fin de preservar dichas instalaciones y llevar su vida útil al máximo.

5. Implicaciones económicas y sociales

Inicialmente se podría presumir que por la implementación de esta norma pueda a tener unos costos mayores por dispositivos adicionales, aunque la realidad es que al tener una reducción de riesgos y confiabilidad de la para toda la vida del sistema se reducen los costos. Por otro lado, esto hace que se fomente una cultura de prevención en el sector eléctrico mexicano.

La NOM-001-SEDE-2012 no solo protege a los usuarios, sino que también impulsa la modernización del sector eléctrico por medio de inspecciones periódicas y reforzando la seguridad. Esto conlleva a un gran avance en la regulación de las instalaciones eléctricas en Mexico siendo clave para el desarrollo económico y social donde se convierte en algo fundamental para un futuro mas seguro y eficiente.

6.1.6.2 NORMATIVIDAD APLICADA A LOS ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN

La normativa mexicana en materia de instalaciones fotovoltaicas se ha desarrollado para asegurar que los sistemas solares cumplan con criterios de seguridad, eficiencia y confiabilidad, tanto en su operación interna como en su relación con la red eléctrica nacional.

En primer lugar, la NOM-001-SEDE-2012 constituye la base regulatoria de las instalaciones eléctricas en el país. Las disposiciones específicas de los sistemas solares fotovoltaicos se encuentran en el Artículo 690. Aquí se podrán encontrar diseño de los arreglos de módulos, la protección contra sobre corrientes, la correcta puesta a tierra y el dimensionamiento de conductores. Por otro lado, la regulación de la interconexión de los sistemas con la red de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) se encuentran en el Artículo 705.

La regulación de la seguridad laboral en la instalación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos se encuentra en la normativa de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS). En dicha normativa podremos encontrar la regulación en trabajos en altura y en el uso de equipo de protección personal.

Con este marco normativo se busca proteger tanto a los usuarios como a la infraestructura eléctrica nacional obteniendo la transición hacia las energías limpias en Mexico más sólida bajo los parámetros técnicos.

6.1.6.3 DEFINICIONES

El presente trabajo se regirá de acuerdo a la NOM-001-SEDE-2012 y en las definiciones expuestas en su contenido.

Dichas definiciones serán en su mayoría las especificadas en sus artículos 480 BATERÍAS DE ACUMULADORES, artículo 690 SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS, artículo 705 FUENTES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA INTERCONECTADAS, artículo 921 PUESTA A TIERRA, Artículo 922 LÍNEAS AÉRES, además de las generalidades que en el contexto del diseño se haga referencia a la Norma (SECRETARÍA DE ENERGÍA, 2012).

CAPÍTULO VII. DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO INTERCONECTADO A RED

No importando las dimensiones o potencia generada, es trascendental conocer distintos datos acerca del lugar donde se situará el sistema solar fotovoltaico. Entre los datos más relevantes con los que debemos de contar se encuentran:

- Niveles de radiación mínimos y máximos durante distintas épocas del año.
- Latitud del lugar donde se instalará el sistema solar fotovoltaico.
- Temperatura máxima y mínima.
- Tipo de suelo; resistividad.
- Humedad.
- Velocidad del viento.
- Condiciones sísmicas.

Además, para dimensionar y construir una central solar fotovoltaica se deben considerar criterios técnicos, económicos y ambientales que aseguren su viabilidad y eficiencia. Los aspectos más relevantes incluyen el recurso solar disponible, la demanda energética, la selección de equipos, personal capacitado, la normativa aplicable y la integración con la red eléctrica.

7.1 PROCEDIMIENTO ESTÁNDAR, DATOS, HERRAMIENTAS Y EQUIPO, NECESARIOS PARA DISEÑAR UN SISTEMA

Para realizar el diseño y construcción de un sistema solar fotovoltaico, en primer lugar, es indispensable el identificar cada una de las siguientes variables:

1. Recurso solar y emplazamiento.

- Radiación solar promedio anual: determina la capacidad de generación.
- Orientación e inclinación de módulos: optimizan la captación de energía.
- Condiciones climáticas: humedad, temperatura, nubosidad y polvo afectan el rendimiento.
- Disponibilidad de espacio: superficie suficiente para instalar los paneles y equipos auxiliares.
- Tipo de superficie donde se instalarán el sistema.

2. Demanda energética.

- Perfil de consumo eléctrico: identificar la cantidad y variabilidad de la energía requerida.

- Objetivo del proyecto: autoconsumo, venta a la red o combinación de ambos.
- Factor de carga esperado: relación entre la energía producida y la demanda real.

3. Dimensionamiento técnico.

- Arreglo fotovoltaico: número y tipo de módulos según potencia pico necesaria.
- Inversores: capacidad de conversión de corriente continua a alterna, eficiencia y compatibilidad con la red.
- Sistema de almacenamiento (si aplica): baterías para respaldo o gestión de cargas.
- Sistema de soporte: tipo de estructura y fijación.
- Protecciones eléctricas y cableado: cumplimiento de normas de seguridad (IEC, NEC, NOM).

4. Normativa y regulaciones locales.

- Normas internacionales (IEC, NEC) y Normas Oficiales Mexicanas (NOM).
- Requisitos de interconexión con la CFE en México.
- Permisos ambientales y de construcción según la SEMARNAT y autoridades locales.
- Medidas de seguridad normativas.

5. Evaluación económica.

- Costo de inversión inicial: módulos, inversores, obra civil, permisos.
- Costos de operación y mantenimiento: limpieza, monitoreo, reemplazo de componentes.
- Retorno de inversión (ROI) y tiempo de recuperación.
- Posibles incentivos fiscales o apoyos gubernamentales.

6. Impacto ambiental y social

- Uso del suelo: evitar conflictos con actividades agrícolas o urbanas.
- Integración paisajística y aceptación social.
- Reducción de emisiones de CO₂ como beneficio ambiental.

SÍNTESIS DEL PROCEDIMIENTO ESTÁNDAR PARA LA INSTALACIÓN DE UN SISTEMA FV, DATOS, HERRAMIENTAS Y EQUIPO, NECESARIOS PARA DISEÑAR UN SISTEMA.

Para la construcción de una instalación fotovoltaica, desde la planificación inicial hasta la puesta en marcha, se cuenta inherentemente con cada una de las siguientes etapas, materiales y herramientas básicas. A continuación, se explican de manera práctica.

Evaluación del sitio (Inicio).

Analizar las condiciones del lugar para determinar viabilidad.

- Medir niveles de irradiancia/irradiación solar del emplazamiento del sistema.
- Revisar situación geográfica del emplazamiento (orientación y ángulo del techo o terreno).
- Identificar posibles generadores de sombras de árboles o edificios y obstáculos.
- Verificar que exista el espacio disponible para el sistema.

Diseño del sistema.

Definir la capacidad y configuración de la instalación.

- Calcular la demanda energética de la vivienda o industria
- Dimensionar número de paneles y potencia total
- Definir tipo de instalación (interconectada, aislada o híbrida)
- Seleccionar y dimensionar el tipo de inversor (aislado o conectado a red)
- Dimensionar componentes de transporte, soporte y protección eléctrica
- Definir banco de baterías si es sistema off-grid o aislado(opcional)

Selección de componentes.

Elegir material y equipos adecuados, asimismo que estén certificados y normalizados para garantizar eficiencia y seguridad.

- Paneles solares de potencia y eficiencia requeridas, así como sus características físicas.
- Inversor con rango de tensión compatible.
- Reguladores de carga con MPPT (si el módulo no cuenta con ellos)
- Baterías de ciclo profundo (si aplica)
- Protecciones eléctricas: fusibles, termomagnéticos, diferenciales, diodos de protección, seccionadores, descargadores, etc.

Instalación de estructura.

Implementación de soportes para fijar los paneles.

- Colocar estructuras metálicas resistentes a la intemperie
- Asegurar inclinación óptima (latitud \pm 15-25° en México)
- Orientar hacia el sur en el hemisferio norte y norte en el hemisferio sur
- Control de calidad respecto firmeza, alineación y distancias.

Montaje de paneles.

Instalar los módulos fotovoltaicos sobre la estructura, soportes, etc.

- Fijación especializada para sistemas FV (tornillería adecuada y certificada).
- Conectar paneles en serie o paralelo formando series (strings).
- Usar elementos de fijación de paneles homologados con el mismo fabricante, conectores MC certificados.
- Revisar polaridad correcta.
- Control de calidad.

Cableado y conexiones.

Realizar el tendido eléctrico entre componentes.

- Usar cables solares resistentes a intemperie y factores ambientales extremos.
- Conexión de series/strings a la caja de conexiones o directamente a inversores
- Instalar protecciones eléctricas antes y después de inversores.
- Pruebas de conexión y aislamiento.
- Control de calidad.

Instalación del inversor y regulador.

Instalar y configurar los equipos de conversión y control.

- Colocación del inversor en lugar accesible, ventilado y protegido.
- Conectar entrada DC desde paneles.
- Conectar salida AC hacia la red interna (punto de interconexión)
- Configurar regulador de carga para baterías (si aplica).
- Medición de parámetros.
- Control de calidad.

Banco de baterías (opcional).

Instalar y conectar baterías para almacenamiento.

- Ubicar baterías en espacio protegido, accesible y ventilado.
- Conexión en serie/paralelo según diseño
- Instalación de protecciones contra sobrecarga
- Verificar tensión total del banco.
- Medición y pruebas de control.
- Control de calidad.

Sistema de monitoreo.

Configurar herramientas de supervisión y control.

- Determinación del sistema de conexión (alámbrico o inalámbrico).
- Instalar medidor bidireccional independiente (adicional al obligatorio si el sistema es interconectado a red).
- Configurar software de monitoreo.
- Verificar producción y consumo en tiempo real
- Pruebas de incidencias y, generación de manual de operación y mantenimiento.

Pruebas y puesta en marcha (Final).

Verificación del funcionamiento y seguridad antes de operar.

- Medir tensión y corriente en cada etapa
- Comprobar protecciones eléctricas
- Validar sincronización con la red (si aplica)
- Registrar producción inicial y rendimiento esperado

Este es un procedimiento estándar el cual asegura que la instalación fotovoltaica sea segura, eficiente y duradera, desde la evaluación inicial hasta la puesta en marcha. Cada paso debe realizarse siguiendo la normativa eléctrica y buenas prácticas de ingeniería.

Herramientas básicas.

- Taladros inalámbricos (trabajos en techumbres, no se deben utilizar equipos con cables largos) con brocas para metal y concreto.
- Llaves fijas y ajustables para apretar tornillería de estructuras.
- Destornilladores aislados para conexiones eléctricas.
- Pinzas y pelacables para preparar conductores.
- Crimpadora para conectores MC4.
- Multímetro digital para medir tensión, corriente y continuidad.
- Nivel y cinta métrica para asegurar alineación y medidas correctas.

- Pinzas hidráulicas o manuales para sujeción de terminales de cables de grandes dimensiones.
- Equipo de protección personal (EPP): guantes dieléctricos, gafas de seguridad, arnés en caso de trabajo en altura.
- Maquinaria de elevación y/o carga.

Materiales.

- Paneles solares fotovoltaicos (según dimensionamiento).
- Estructuras de montaje (fijas o con seguimiento solar).
- Sistemas de soportes y canalizaciones para cableado
- Cables solares resistentes a UV y temperaturas extremas.
- Conectores MC4.
- Caja de conexiones (string box) con fusibles y seccionadores.
- Regulador de carga (PWM o MPPT, según diseño).
- Banco de baterías (en sistemas aislados).
- Inversor fotovoltaico (aislado o conectado a red).
- Protecciones eléctricas: fusibles, interruptores automáticos, descargadores de sobretensión.
- Cuadro eléctrico para distribución de la energía en la vivienda.
- Medidor bidireccional (en sistemas conectados a red).
- Sistema de monitoreo (software o hardware para control remoto).

Recomendaciones prácticas.

- Dimensionamiento y diseño por personal calificado.
- Planificación óptima y previa.
- Mano de obra especializada.
- Seguridad e higiene.
- Calidad de materiales.
- Controles de calidad en todas las etapas
- Mantenimiento de la CSFV.

Resumiendo, la calidad en el diseño, la programación y la ejecución de la obra, así como el estándar máximo de la calidad de los materiales y herramienta, no debe ser dejada de lado y se debe ser priorizar en todo momento, al ser un sistema totalmente dependiente de cada uno de sus elementos, la mínima falla en alguno de estos, determinará la falla en todo el sistema.

CAPÍTULO VIII. INSTALACIÓN DE LA CENTRAL SOLAR EN LA FÁBRICA DE SACOS

La industria cementera se ha caracterizado históricamente por su enorme consumo eléctrico y su impacto ambiental, que se derivan de los procesos de producción propios de la industria. Es entonces que la adopción de energías renovables se presenta como una opción clave que contribuirá a la mitigación de los costos asociados, mejorar su imagen, mejorar su competitividad y avanzar a un modelo más sostenible.

El proyecto de la instalación presentado en este trabajo, corresponde a una compañía cementera, la cual tiene como objetivo integrar fuentes limpias en sus operaciones de manera que consoliden su liderazgo a nivel de responsabilidad ambiental y social. Con unos consumos mensuales promedio de 32.5 MWh, la instalación FV resulta justificada.

La producción fotovoltaica se centrará en suministrar uno de sus procesos de producción, siendo la fabricación de sus sacos de cemento, cuyo proceso representa alrededor de 1.3 MWh al año en promedio

De esta manera, la producción solar cubriría una muy buena parte de la demanda en dicho proceso, esperando una reducción significativa en costos eléctricos de cercanos al 100% y una mejora sustancial en la eficiencia energética.

Por otra parte, la compañía se acoge al esquema de Net Metering, calificando como un Generador Exento, esto significa que la capacidad instalada es menor o igual a 0.5 MW (500 kW) y su energía se destina principalmente al autoconsumo, no a la venta comercial. Esto aplica, por ejemplo, a sistemas fotovoltaicos residenciales, comerciales o industriales que generan electricidad para uso propio.

Esto además simplifica el tema de trámites burocráticos que requieren de un estudio más extenso y tardado.

La implementación de esta central fotovoltaica constituye una solución técnica y económica viable, que no solo optimiza un proceso clave de la planta, sino que también refuerza la imagen corporativa de la empresa como referente en sostenibilidad y compromiso ambiental.

SITUACIÓN ACTUAL DE CONSUMO Y FACTURACIÓN

Como se mencionó anteriormente y de acuerdo a la factura eléctrica, los consumos mensuales promedio de la planta son los siguientes:

Tabla 8.1 Situación del consumo anualizado de la empresa

PERIODO	kWh	\$/kWh
NOV 2016	29,465,029	1.0673
DIC 2016	30,335,345	1.1279
ENE 2017	31,661,446	1.1258
FEB 2017	27,498,682	1.2245
MAR 2017	32,911,981	1.3539
ABR 2017	28,659,255	1.2141
MAY 2017	31,143,058	1.1544
JUN 2017	30,708,484	1.1838
JUL 2017	29,863,115	1.1521
AGO 2017	30,517,554	1.1333
SEP 2017	30,409,504	1.1259
OCT 2017	31,488,053	1.1158
NOV 2017	25,136,702	1.1721
	TOTAL kWh	PROMEDIO \$/kWh
	389,798,208	1.1655

Fuente: Factura CFE (Comisión Federal de Energía, 2026).

El consumo energético anual fue de 389,798,208 KWh durante 2017.

El costo promedio anualizado por KWh fue de \$1.1655 MXN (Tabla 8.1). Este dato lo utilizaremos al realizar el estudio económico.

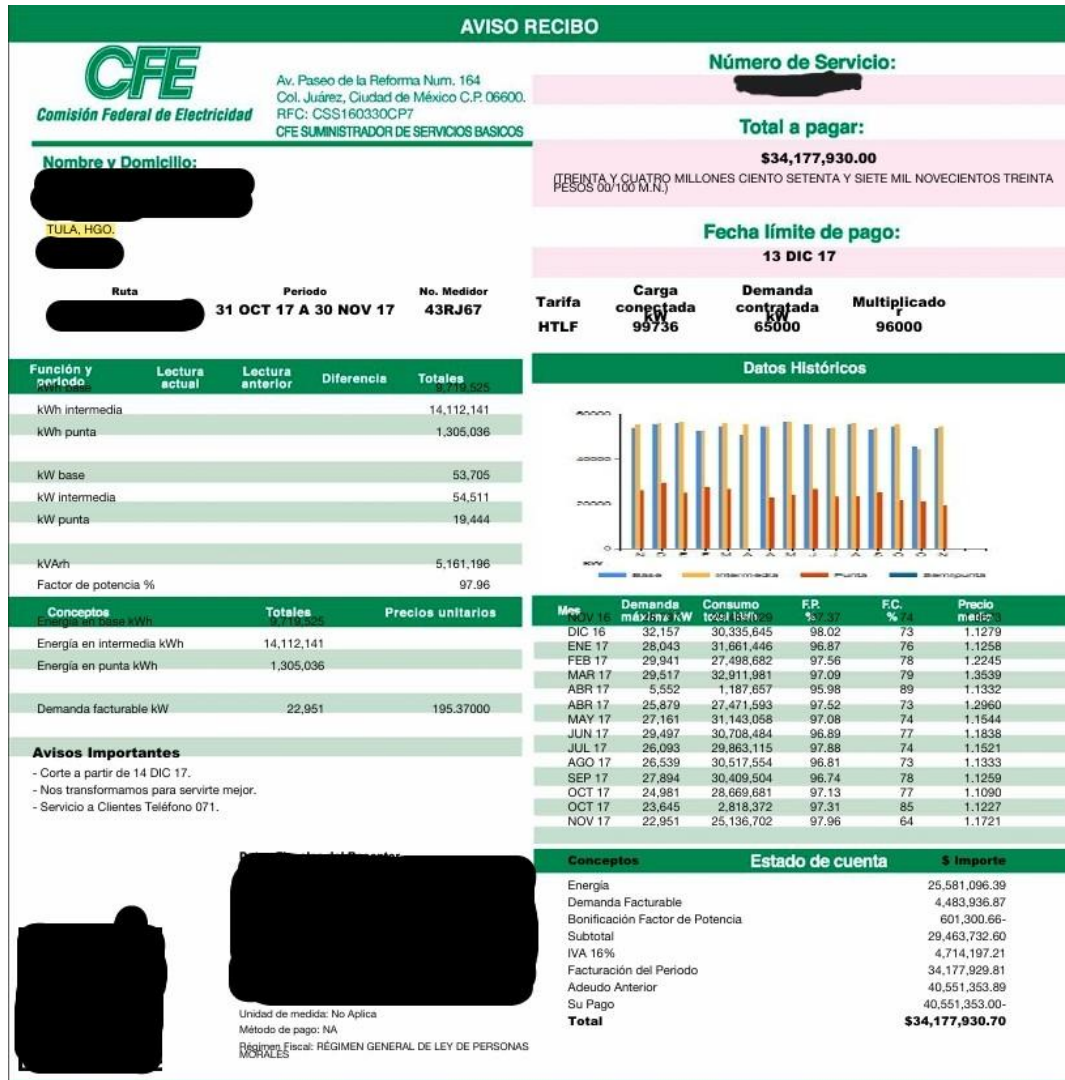
La empresa se encuentra en una modalidad de cobro señalada por CFE como HTLF, dicha tarifa se refiere a la Tarifa de Horario en Tensión de Luz y Fuerza, aplicada a usuarios industriales o de gran demanda en alta tensión. Es un esquema tarifario diseñado para grandes consumidores eléctricos, donde los cargos dependen del nivel de tensión contratado, la demanda máxima registrada y el horario de consumo.

Los costos varían según el horario de consumo (punta, intermedio y base), incentivando el uso eficiente de la energía fuera de las horas de mayor demanda.

La base de cobro se calcula en función de la demanda máxima registrada (kW) y la energía consumida (kWh).

En la siguiente imagen podemos apreciar el costo total por mes correspondiente al mes de diciembre de 2017, que fue de \$34,177,930.00 MXN (Figura 8.1), este dato lo usaremos más adelante como referencia en el estudio económico.

Figura 8.1 Factura de la compañía suministradora de energía



Fuente: CFE (Comisión Federal de Energía, 2026).

Dentro de sus esquemas de cobro podemos apreciar que la mayor parte de la demanda energética se realiza durante el horario de consumo intermedio, mientras que en el horario base registra el segundo mayor consumo, finalmente el horario punta registra el menor, estos datos son relevantes pues determinan un hábito de consumo en la fábrica que empata con la producción máxima de la central durante el día, de manera que factores tales como la energía reactiva, la cual se presenta en el momento

de encender motores y que repercute en el valor del Factor de Potencia (F.P.) aplica cargos o bonificaciones dependiendo de la eficiencia con la que la empresa utiliza la energía eléctrica.

Se puede apreciar que existe una bonificación por Factor de Potencia, el cual se ubica en 97.96%, esto significa que la planta en general aprovecha casi en su totalidad la energía que demanda, un FP bajo genera penalizaciones en la factura eléctrica, porque obliga a la red a transportar más energía de la necesaria. Ahora, si tomamos como base el consumo de la fábrica de sacos y pensando que fuese una unidad separada, la Central Solar FV beneficiaria de tal manera que, en momento de mayor producción eléctrica, la Energía Reactiva se diluiría en esos periodos de generación, contribuyendo todavía más a aumentar esa bonificación.

Según información proporcionada por el área de ingeniería, el consumo de la fábrica de sacos durante 2017 fue de 1,080,510 KWh, siendo un promedio de 1.1 MWh en promedio anualizado histórico, estos datos los usaremos para medir el impacto de la generación fotovoltaica teniendo como referencia únicamente la fábrica de sacos.

POTENCIA PREVISTA DE LA PROPUESTA

Generalmente cuando nos encontramos frente a un consumidor con el que su demanda energética puede compensarse con una central, se debe tener en cuenta el consumo anual y de ahí se diseña para tener un 100% de generación para autoabasto, en este caso se va a diseñar sobre la máxima capacidad de generación eléctrica que la ley permite, sin embargo, aunque se trata de una central de gran tamaño y capacidad, la producción es insuficiente para cubrir las demandas.

El total de producción de la Central se obtiene de la siguiente manera:

$$EG_{CSFV} = (Pot_{CSFV}) \times (h_{sol})$$

Donde:

- EG_{CSFV} : Energía producida por la Central Solar FV, en KWh
- Pot_{CSFV} : Potencia de la Central Solar Fotovoltaica, en KW
- h_{sol} : Horas solares disponibles en la ubicación.

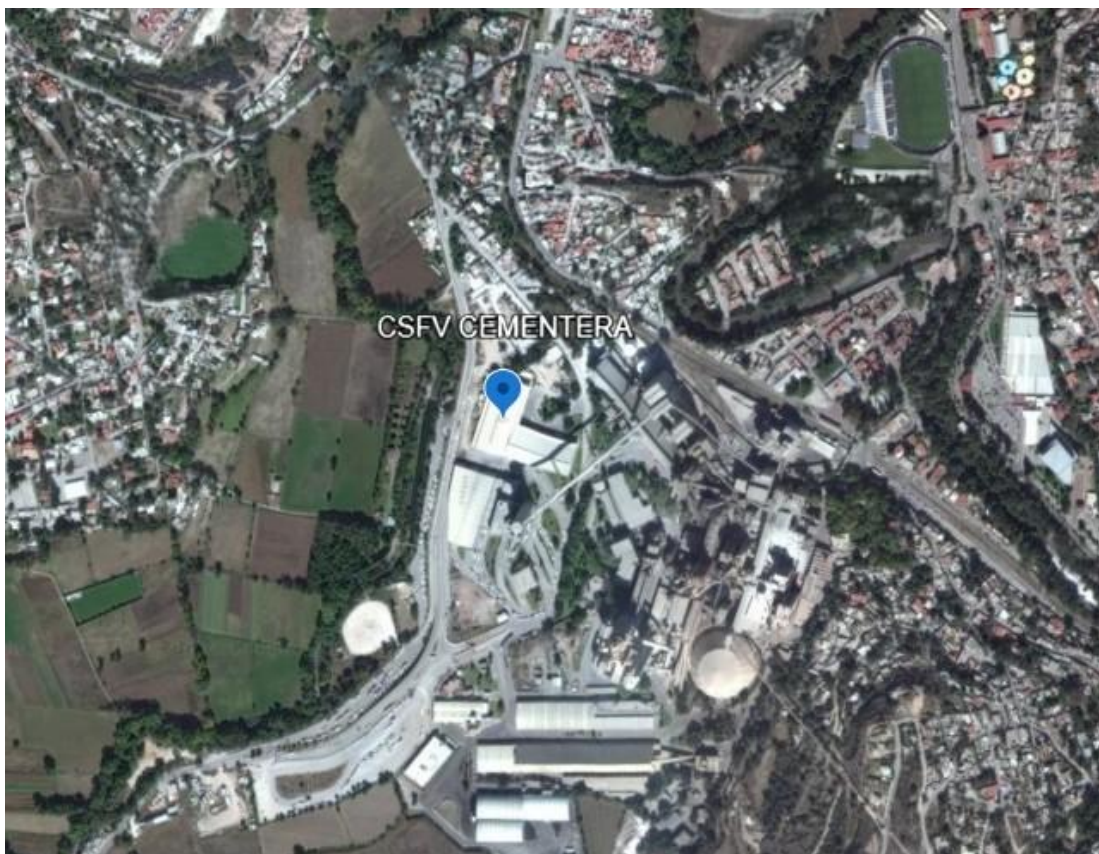
La propuesta contempla una planta solar de alrededor de 500 kW nominales de capacidad, con un aprovechamiento estimado de 2,084 horas solares anuales. La producción de la Central Solar Fotovoltaica (CSFV), se proyecta en 1,042,000 kWh al

año, si bien esta esta previsión en la generación eléctrica representa una fracción mínima frente al consumo total de la planta, el cual ronda los 390,000,000 kWh anuales, su aplicación estratégica en procesos específicos (como lo es focalizarla a la fábrica de sacos), permite maximizar el impacto.

8.1 UBICACIÓN DE LA FÁBRICA DE SACOS

El emplazamiento de la CSFV se ubica en un municipio de Hidalgo, México (Figura 8.2). Se encuentra a 2,060.49 m.s.n.m., tiene un clima templado subhúmedo (clasificación Cwb de Köppen-Geiger), con temperaturas medias anuales de alrededor de 16.2 °C, una precipitación promedio de 674 mm y una humedad promedio del 63%. Los veranos son cálidos y lluviosos, mientras que los inviernos son frescos y secos (Climate Data, 2025).

Figura 8.2 Ubicación de la fábrica de sacos en un municipio de Hidalgo, México.



Fuente: Imagen de la ubicación de la fábrica de sacos (Google , 2025)

La instalación se realizará dentro de las instalaciones de la planta cementera en el área de la fábrica de Sacos, localizada en el ala poniente de la planta.

La Figura 8.3 nos muestra el potencial fotovoltaico de la zona y en general de la república.

Figura 8.3 Potencial eléctrico fotovoltaica de la República Mexicana y del municipio en Hidalgo.



Fuente: Global Solar Atlas (GSA, 2025).

Características generales

- Temporada cálida: De marzo a junio, con máximas de 27–28 °C.
- Temporada fresca: De octubre a febrero, con mínimas de 6–9 °C.
- Mes más caluroso: Mayo.
- Mes más frío: Enero.
- Mes más lluvioso: Septiembre.
- Mes más seco: Diciembre.

Implicaciones para proyectos fotovoltaicos

- Radiación solar promedio: Entre 5.2 y 5.8 kWh/m²/día, adecuada para generación eléctrica.

- Condiciones ideales: Abril a agosto, por mayor insolación y temperaturas moderadas.
- Recomendación técnica: Inclinación de paneles cercana a 15°–25° para optimizar captación anual.

Por medio de plataformas geoclimáticas se obtienen los datos de irradiación referentes a esas coordenadas geográficas, se han tomado dos referencias en cuanto a la irradiación solar de la zona, por una parte, Meteonorm 7.0™ (Metetotest Suiza) y PVGIS-5.3 Geo-Temporal Irradiation Database (Photovoltaic Geographical Information System de la Comisión Europea). Ambos sistemas son altamente precisos.

La Tabla 8.4 y Tabla 8.5, nos indican la cantidad de Irradiación Global Horizontal del emplazamiento que fueron proporcionados por los dos sistemas

Figura 8.4 Reporte del sistema Meteonorm™ respecto la irradiación del municipio en Hidalgo, México.

Radiación		Temperatura		Precipitación		Duración de la insolación	
Radiación global diaria		Temperatura diaria		Tabla de datos			
	Gh kWh/m ²	Gk kWh/m ²	Dh kWh/m ²	Bn kWh/m ²	Ta °C	Td °C	FF m/s
Enero	150	179	46	188	12,6	2,1	2,5
Febrero	160	181	44	184	14,4	1,5	2,7
Marzo	195	205	60	203	16,2	1,4	2,9
Abril	205	205	64	194	17,9	3,7	2,9
Mayo	207	199	85	175	18	6,5	3
Junio	185	172	68	174	17,3	9,3	2,9
Julio	189	179	76	163	16,7	9,9	2,8
Agosto	189	186	84	146	16,7	10	2,8
Setiembre	158	162	67	131	16,4	10,5	2,8
Octubre	159	174	64	154	15,7	8,5	2,8
Noviembre	148	170	54	165	13,8	4,7	2,6
Diciembre	138	165	49	162	12,7	2,3	2,4
Año	2084	2177	762	2042	15,7	5,9	2,8

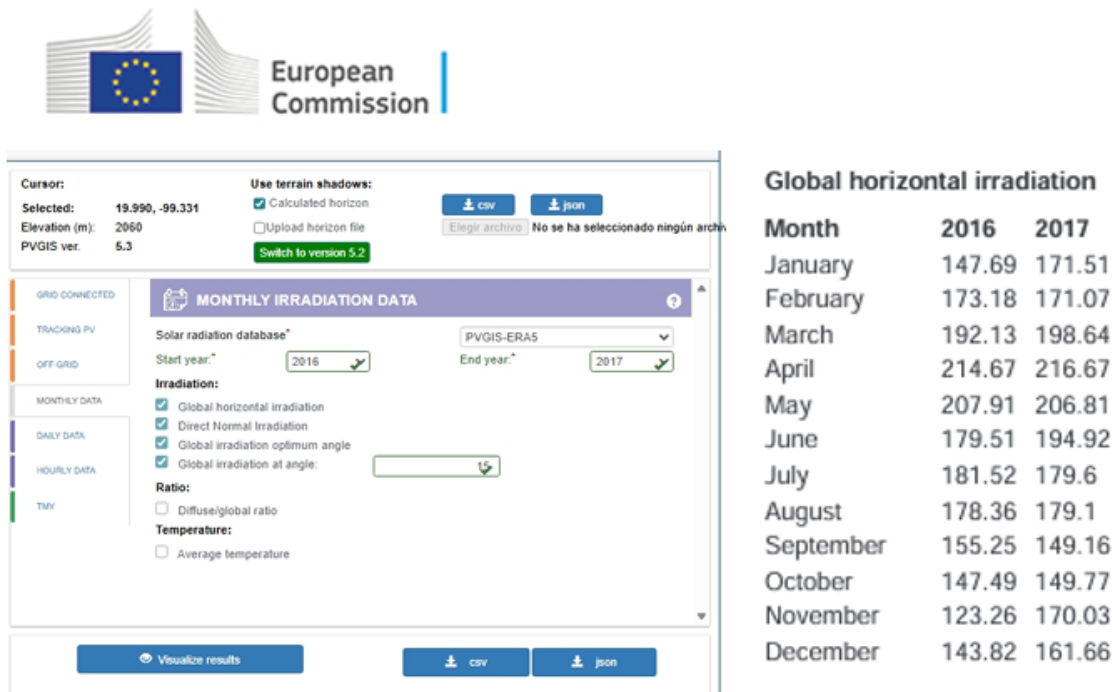
Datos de resultado

Incertidumbre de valores anuales: Gh = 2%, Bn = 4%, Gk = 2%, Ta = 0,3 °C
Tendencia de gh / década: -3,1% Variabilidad de gh / año: 4,9%
Sitios de radiación interpolados: - (Parte de los datos de satélite: 0%)
Temperature interpolation locations: MEXICO CITY/LICENCI (87 km), TOLUCA/JOSE MARI

Fuente: Meteonorm (Meteonorm, 2026).

La cantidad de horas solares disponibles durante el año son 2,084 horas y nos muestran que el mes de menor incidencia solar es diciembre, mientras que el de mayor es mayo.

Figura 8.5 Reporte de Irradiación solar por parte del software de PVGIS-5.3. de la Comisión Europea para el municipio en Hidalgo.



Total Annual Irradiation 2016: 2,044.79 h

Total, Annual Irradiation 2017: 2,148.94 h

Fuente: PVGIS 5.3 (Comisión Europea , 2025).

La irradiación en 2016 se reportó con una cantidad de horas solares de 2,044.79 h mientras que para el 2017 se manifestaron 2,148 h.

Para este estudio nos elegiremos 2,084 h, por ubicarnos en un punto intermedio de los dos sistemas que suelen ser, por experiencia, de los más precisos. Otras plataformas confiables de información de datos de irradiación solar a nivel internacional, son SolarAnywhere, NSRDB (National Solar Radiation Database), NASA POWER y ERA5 del ECMWF.

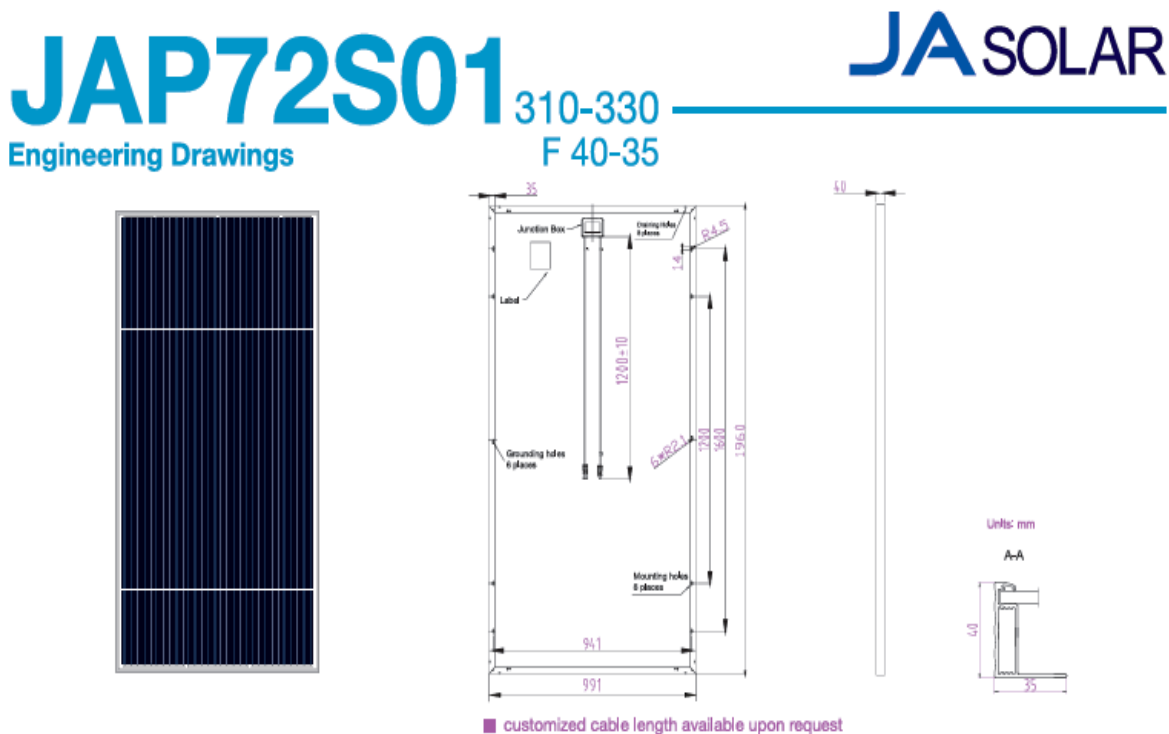
En México, el Servicio Solarimétrico Mexicano de la UNAM es la referencia nacional más sólida. Sin embargo, el dato que arroja el organismo ubica la zona del municipio en un rango de 7.69-8.62 kWh/m² diarios, lo que, si se multiplica por los 365 días del año, nos resultaría en una cantidad de 2,806.85h a 3,146.3h, incluso en la franja inferior el rango estaría en 2,463.75h a 2,803.2h, es lo que en el mundo fotovoltaico es una cifra bastante alejada de la realidad. Por lo tanto, y dado que se cuenta con acceso a estos dos sistemas anteriormente analizados, estos serán la base de nuestro estudio.

8.2 ELEMENTOS PRINCIPALES Y SU UBICACIÓN

MODULOS FV

Se proponen los siguientes módulos solares de la marca JA Solar modelos F40 y F35 (Figura 8.6), cuenta con celdas de cristal policristalino de 156075x156.75 mm, con opción de potencias desde 310Wp a 330Wp, la determinación de la potencia estará sujeta a el dimensionamiento conjunto del sistema completo.

Figura 8.6 Panel fotovoltaico de la marca JA Solar modelo JAP72S01.



Fuente: Data Sheet del Producto. Véase Anexos

Las dimensiones del módulo solar son de 1,960mm x 991mm, cuentan con una junction Box con 3 diodos integrados de bloqueo y terminales de conexión de

1200mm±10 mm, éste dato es importante porque fue decisivo en la elección de esta marca, más adelante se justificará este detalle.

Tiene un peso de 23 Kg y una tolerancia de 1000V en conexión en serie.

Compatibilidad de conexión MC4 con un calibre de cable de 4mm².

Los módulos cuentan con las certificaciones TÜV, IEC y UL que exigen la NOM, con certificación de marca ETV (Figura 8.7).

Figura 8.7 Certificación de calidad y especificaciones según normativa mexicana para los paneles indicados JA Solar

Certificados:

- IEC 61215, IEC 61730, UL1703, CEC Listed, MCS and CE
- ISO 9001: 2008: Quality management systems
- ISO 14001: 2004: Environmental management systems
- BS OHSAS 18001: 2007: Occupational health and safety management systems



Fuente: Data Sheet del Producto. Véase Anexos

La NOM no genera pruebas propias, sino que reconoce certificaciones IEC, UL y equivalentes como válidas para garantizar seguridad y desempeño. En México, la CNE y la SENER exigen que los equipos FV cuenten con estas certificaciones además de cumplir con la NOM-001-SEDE-2012, Artículo 690, para poder interconectarse a la red de CFE.

1. IEC (International Electrotechnical Commission)

- IEC 61215: Ensayos de desempeño y durabilidad de módulos fotovoltaicos de silicio cristalino.
- IEC 61730: Requisitos de seguridad eléctrica y mecánica en módulos FV.
- IEC 61701: Resistencia a la corrosión por niebla salina (zonas costeras).
- IEC 62804: Ensayos de degradación inducida por potencial (PID).

2. UL (Underwriters Laboratories, EE. UU.)

- UL 1703 / UL 61730: Normas de seguridad para módulos FV.
- UL 1741: Normas para inversores y equipos de interconexión con la red.

3. Otros estándares aceptados

- TÜV Rheinland / TÜV SÜD: Certificaciones europeas de calidad y seguridad.
- CSA (Canadian Standards Association): Normas de seguridad eléctrica en módulos FV.

ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN DE LOS MÓDULOS

Para obtener una máxima captación de radiación y eficiencia en el sistema, los módulos se deberán de inclinar de manera adecuada, así como su disposición. Con ello, se logra que los rayos solares caigan de forma directa sobre la superficie. Es por ello, que estos elementos son muy importantes para el funcionamiento de una Central Solar Fotovoltaica (CSFV).

La inclinación la define la latitud del lugar así como las estaciones del año.

La orientación de los módulos debe tener una inclinación hacia el sur global, cuanto más nos alejemos al norte la inclinación debe ser mayor, así pues, en la zona ecuatorial el módulo debe estar totalmente horizontal, mientras que, en el hemisferio sur, deben inclinarse hacia el norte.

Figura 8.8 Reporte de la irradiación en la zona del municipio donde se encuentra la cementera en dos años consecutivos.



Global Horizontal Irradiation			Direct Normal Irradiation			Global Irradiation Optimum Angle			Global Irradiation at Angle		
Month	2016	2017	Month	2016	2017	Month	2016	2017	Month	2016	2017
January	147.69	171.51	January	182.16	251.80	January	187.42	225.24	January	175.73	209.25
February	173.61	171.70	February	212.43	222.63	February	207.20	205.98	February	198.14	196.72
March	192.13	198.65	March	197.35	219.08	March	205.24	213.46	March	203.43	211.30
April	214.74	216.73	April	222.62	227.17	April	209.72	211.79	April	214.63	216.75
May	208.52	207.47	May	207.26	205.34	May	189.14	188.02	May	198.63	197.47
June	179.87	195.35	June	155.83	184.28	June	159.57	171.66	June	169.01	182.57
July	181.62	179.67	July	148.85	146.25	July	164.66	163.28	July	173.05	171.46
August	178.36	179.10	August	152.19	157.32	August	170.36	169.97	August	175.65	175.69
September	155.23	149.16	September	133.83	132.74	September	159.68	153.62	September	160.29	154.16
October	147.49	149.77	October	142.12	153.54	October	165.11	169.91	October	161.02	165.00
November	123.44	170.16	November	140.69	250.10	November	152.05	218.96	November	143.82	204.67
December	144.29	162.23	December	207.04	249.58	December	192.08	219.69	December	177.62	202.22
TOTAL	2,046.99	2,151.50	TOTAL	2,102.37	2,399.83	TOTAL	1,974.81	2,311.58	TOTAL	2,151.02	2,287.26
PROM	2,099.25		PROM	2,251.10		PROM	2,143.20		PROM	2,219.14	

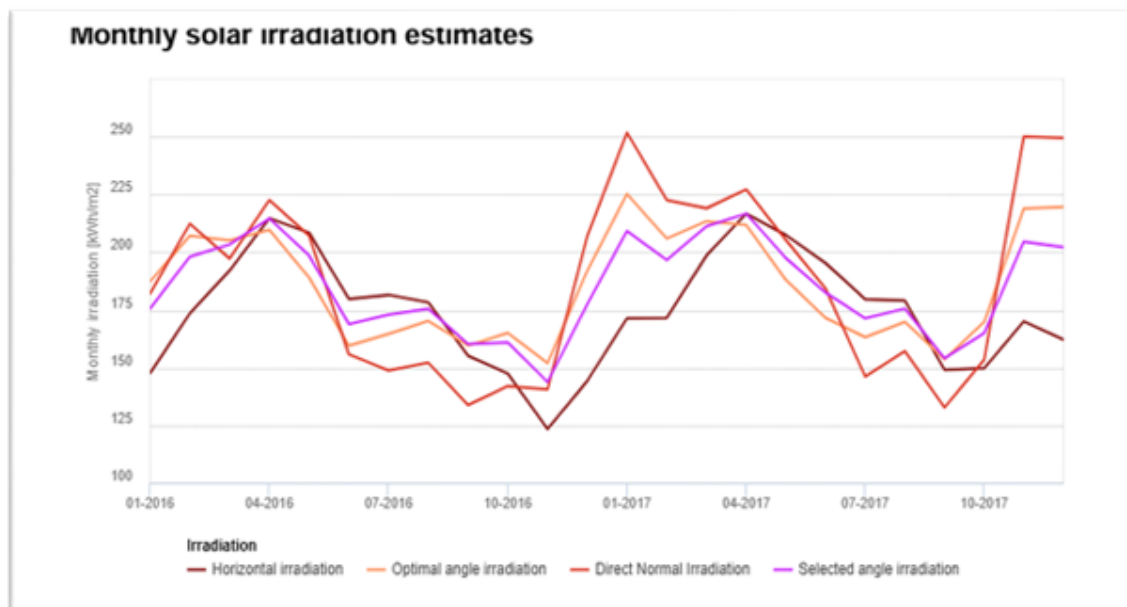
Fuente: PVGIS 5.3 (Comisión Europea , 2025).

La Figura 8.8 nos muestra la cantidad de irradiación en la zona de la cementera en dos años consecutivos, la diferencia principal entre estos datos es que, la irradiación

normal directa (DNI) mide la radiación solar que llega en línea recta desde el sol sobre una superficie perpendicular a sus rayos, mientras que la irradiación horizontal global (GHI) mide la radiación total (directa + difusa), que incide sobre una superficie horizontal en el suelo. La orientación de la CSFV deberá tener una inclinación nortesur y deberán tener un ángulo recomendado en esta latitud (19°), que estará entre 15° y 25° .

A continuación, en la Figura 8.9, se muestran los datos obtenidos de la irradiación solar en la zona y cómo afecta la variación en cuanto al ángulo óptimo de captación y el ángulo propuesto en la captación solar.

Figura 8.9 Modelado de la previsión de captación solar con el ángulo propuesto, la línea naranja nos indica el comportamiento del sistema, mientras que la línea roja es la línea ideal.



Fuente: PVGIS 5.3 (Comisión Europea , 2025).

La línea de color naranja nos muestra el comportamiento de la irradiación directa, la línea amarilla la irradiación óptima, la línea morada la irradiación obtenida mediante la inclinación angular propuesta y la línea café la irradiación horizontal global.

Con la inclinación de los paneles buscamos que la captación se lo más parecida a la irradiación angular ideal, esta solo se logra si contáramos con una inclinación dinámica a base de seguidores solares (en verano se necesita menor inclinación y en invierno, una mayor). Dada las características de la instalación no es factible y se

construirá a base de estructura fija. Después de varias iteraciones el ángulo más óptimo que nos garantiza esa similitud a lo largo del año fue de 15° , además, si vemos la producción promedio de irradiación en las tablas podemos apreciar que con el ángulo óptimo propuesto obtenemos una irradiación sobre nuestros módulos muy similar a la ideal.

Por lo tanto, se deberán implementar estructuras de soporte fijo con una inclinación de 15° para lograr la mejor captación solar y que, además de cumplir con el rango de inclinación sugerida, comercialmente hablando, son más asequibles en términos de suministro y costo.

Es importante aclarar que estas irradiaciones son referenciales y de simulación, para el cálculo de generación prevista de nuestra CSFV usaremos el dato de 2,084 h solares anteriormente considerado.

DISTRIBUCIÓN SOBRE LA CUBIERTA

La distribución de los módulos también es crucial. No basta con colocarlos en filas, dado que deberán tener un ángulo de inclinación, se requiere un diseño que evite sombras entre ellos, que optimice el espacio disponible y que garantice una correcta conexión eléctrica. Una mala disposición puede provocar pérdidas significativas de energía, mientras que una planificación cuidadosa asegura que cada módulo aporte su máximo rendimiento.

Al estar todas las celdas de un panel conectadas en serie, basta que una se encuentre sombreada, para que la potencia cedida por el panel fotovoltaico disminuya de manera espectacular.

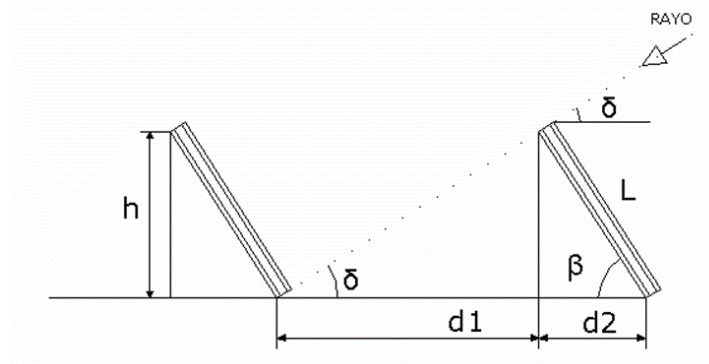
Se realiza el cálculo del posible sombreado del generador fotovoltaico desde dos puntos de vista:

- Sombras proyectadas por obstáculos situados en las cercanías de la instalación FV.
- Sombras producidas entre filas de paneles.

Se han tenido en cuenta los edificios, pararrayos y resto de obstáculos, para evitar en lo posible las sombras que proyectan. La separación entre paneles y la ubicación de los mismos se establece de tal forma que, el 21 diciembre (día más desfavorable del año, porque la altura solar es mínima y por tanto la proyección de las sombras es máxima), la instalación cuente con un mínimo de 4 horas solares durante el mediodía, libre de sombras. Este criterio está basado con el fin de obtener el mejor compromiso entre producción/coste.

La distancia entre filas de paneles fotovoltaicos irá separada una distancia d_1 como se muestra en la Figura 8.10.

Figura 8.10 Proyección de sombra en sistemas con inclinación, en sistemas fijos, la distancia se calcula respecto al día más desfavorable del año.



Fuente: Internet

La distancia d_1 se obtiene mediante la siguiente fórmula:

Distancia entre filas: $D = d_1 + d_2$

Una vez decidido el ángulo de inclinación de los módulos obtenemos d_2 y H

$$H = L \cdot \sin \beta \quad \text{y} \quad d_2 = L \cdot \cos \beta$$

Donde:

- L : longitud del módulo solar FV.
- β : Ángulo de inclinación propuesto.

Calculamos el ángulo de altura solar más restrictivo, este ángulo se presenta durante el día en que el sol se encuentra en la posición más tangencial a la tierra, en concreto el día 21 de diciembre. En el municipio, en Hidalgo (latitud $\sim 20^\circ$ N), el ángulo de elevación solar mínimo en el solsticio de invierno es de aproximadamente 43° sobre el horizonte al mediodía. Este valor representa la posición más baja del sol en su punto más alto del día. Este dato lo obtenemos con la siguiente fórmula:

$$\delta = 61^\circ - \text{latitud del sitio}$$

Donde:

- δ : Ángulo solar más restrictivo.
- Latitud de del municipio = 19°

A continuación, se calcula la distancia d_2 como sigue:

$$d_2 = H / \tan \delta$$

Finalmente, la distancia entre filas de módulos, será:

$$D = d_1 + d_2$$

CARGAS DINÁMICAS, VIENTO Y SISMOS

Las cargas dinámicas más relevantes en el cálculo de una central solar fotovoltaica son principalmente las asociadas al viento, la nieve, los sismos y las vibraciones estructurales. Estas fuerzas variables en el tiempo afectan directamente la estabilidad de los módulos, soportes y cimentaciones, y deben considerarse junto con las cargas estáticas para garantizar seguridad y durabilidad.

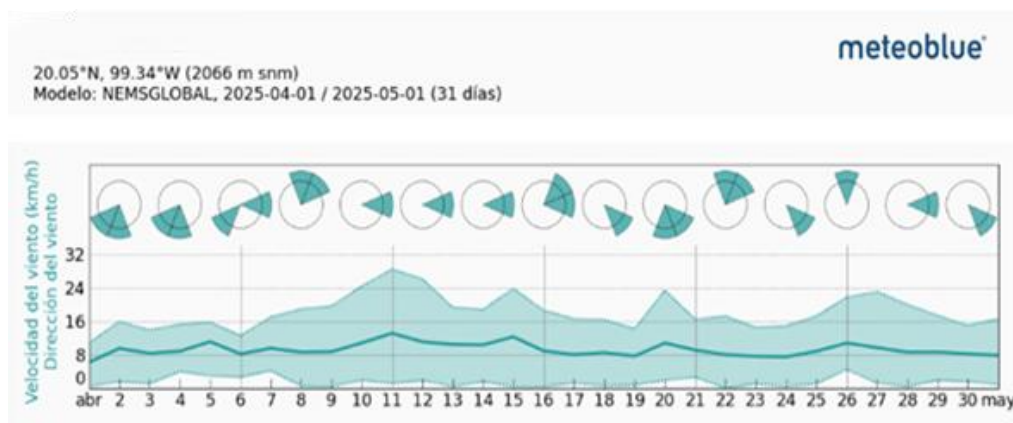
VIENTO

Según datos proporcionados por la empresa, aunque en el sitio de la planta, no se han registrado vientos promedio no mayores a 25 km/h, en el municipio, las ráfagas de viento más fuertes registradas alcanzan entre 50 y 60 km/h, especialmente durante la temporada de primavera, cuando se presentan frentes fríos y cambios bruscos de temperatura. La ráfaga récord del municipio fue de 70 Km/h en zonas intermedias, alejadas del emplazamiento de la central.

A pesar de no contar con información puntual oficial por parte de organismos meteorológicos, es con base en la información de los registros de las estaciones y anemómetros de la compañía, que tomaremos en consideración la cantidad de 70 Km/h históricos, paralelamente y a través de un software de simulación histórica, se puede apreciar ver que el promedio de ráfagas de viento convencionales durante el mes de mayor incidencia de ráfagas fuertes se ubica dentro del rango de los 20 a 30 Km/h (Figura 8.11). Asimismo, se observa que mantienen una dirección predominantemente sur-norte y oeste-este.

La densidad del aire en el municipio en Hidalgo, bajo condiciones actuales de temperatura ($\sim 23^\circ\text{C}$) y humedad ($\sim 33\%$), es aproximadamente de $1.18\text{--}1.20\text{ kg/m}^3$, ligeramente menor al valor estándar de 1.225 kg/m^3 a nivel del mar debido a la altitud (aprox. 2,066 m).

Figura 8.11 Datos de viento en el municipio



Fuente: Históricos de viento municipio en Hidalgo. (Meteoblue, 2025)

Ráfagas de viento recientes en el municipio

- Abril 2026: Se reportaron ráfagas de hasta 51 km/h en días consecutivos, con velocidades sostenidas de 20–30 km/h.
- Alertas estatales: Protección Civil de Hidalgo informó que, en municipios como Tula de Allende, Tepeji del Río y Pachuca las ráfagas pueden llegar a 60 km/h, generando riesgo en estructuras ligeras y carreteras.
- Pronósticos locales (Windfinder): En intervalos de abril se observaron ráfagas máximas de 11–12 m/s (≈ 40 – 43 km/h), con variaciones según la hora del día.

Ráfagas históricas en el municipio

- Invierno (diciembre–febrero):
 - Ráfagas máximas históricas: 60–70 km/h.
 - Direcciones dominantes: Norte (N), Sur (S), y Suroeste (SO).
- Primavera (marzo–mayo):
 - Ráfagas máximas: 55–65 km/h.
 - Direcciones dominantes: Sur (S) y Oeste (O).
- Verano (junio–agosto):
 - Ráfagas más moderadas: 30–40 km/h.
 - Direcciones dominantes: Sur (S), Noreste (NE).
- Otoño (septiembre–noviembre):
 - Ráfagas máximas: 45–60 km/h.

- Direcciones dominantes: Norte (N).

Para calcular la carga de presión dinámica de viento sobre un módulo fotovoltaico inclinado a 15°, se aplica la fórmula general de presión dinámica del viento:

$$q=0.5 \cdot \rho \cdot V^2$$

Donde:

- q = presión dinámica del viento (N/m^2)
- ρ = densidad del aire $\approx 1.225 \text{ kg/m}^3$ (a nivel del mar)
- V = velocidad del viento (m/s)

Carga sobre el módulo.

La carga de viento sobre el área expuesta se calcula como:

$$F= q \cdot A \cdot C_p$$

Donde:

- F = fuerza total del viento (N)
- A = área del módulo.
- C_p = coeficiente de presión aerodinámica (depende de la inclinación; para 15° suele estar entre 0.9 y 1.2). El coeficiente C_p depende de la inclinación:
 - 0° (horizontal): ≈ 0.8
 - 15° (caso actual): $\approx 1.0 - 1.2$
 - 30°: $\approx 1.3 - 1.5$
 - Para inclinación de 15° tomaremos $C_p=1.1$.

CARGAS DINÁMICA POR SISMO

La norma sísmica aplicable a naves industriales en México está contenida en las *Normas Técnicas Complementarias para el Diseño por Sismo (NTC-Sismo)*, que establece criterios de zonificación, clasificación estructural y métodos de análisis para garantizar seguridad en edificaciones industriales. En naves industriales, se consideran espectros de diseño sísmico, irregularidades estructurales y efectos dinámicos como torsión y segundo orden.

Las naves industriales se consideran edificaciones de uso especial, con requerimientos de seguridad elevados por la concentración de maquinaria y personal.

- Zonificación sísmica: México se divide en cuatro zonas (A–D) según riesgo sísmico.
 - Zona A: Riesgo bajo (norte, Yucatán, Baja California).

- Zona B–C: Riesgo intermedio (Sonora, Querétaro, Hidalgo).
- Zona D: Riesgo alto (Pacífico: Guerrero, Oaxaca, Chiapas, Michoacán).

Estas zonas se definen por la aceleración pico de referencia en suelo (a_{r0}), que sirve para calcular las fuerzas sísmicas de diseño.

Para calcular las cargas dinámicas por sismo ejercidas por las cargas de los paneles que en promedio pesaran poco menos de 14 kg/m².

Peso propio del módulo y estructura de soporte:

$$W_{Mód/Est} = W_{sist} \cdot g$$

Aceleración sísmica de diseño.

La NTC-Sismo define un coeficiente sísmico (C_s) que depende de la zona sísmica y del tipo de suelo.

- El lugar de la instalación se encuentra en zona sísmica C (riesgo intermedio-alto).
- El coeficiente sísmico típico es: $C_s \approx 0.25 g$

Donde $g = 9.81 \text{ m/s}^2$.

- Esto significa que la aceleración sísmica de diseño es:

$$a_s = 0.25 \cdot 9.81 \approx 2.45 \text{ m/s}^2$$

La carga sísmica se calcula como:

$$F_s = W_{Mód/Est} \cdot (a_s/g)$$

Por lo tanto: Peso total equivalente

El peso total durante un sismo se interpreta como la suma de ambas acciones:

$$W_{Total} = W_{Módulo} + F_s$$

En términos de masa equivalente:

$$M_{Total\text{eq}} = W_{Total} / g$$

Peso total equivalente durante un sismo para la estructura.

ESTRUCTURA

Los paneles fotovoltaicos se van a instalar sobre el panel metálico del techo de la nave, mediante una estructura ligera de aluminio anodizado, que a su vez se fija a las correas/polines de la nave. Dicha estructura está específicamente diseñada para cada tipo de instalación, con el objetivo de dar a los paneles la orientación y la inclinación óptimas para que los paneles generen el máximo de energía. Las estructuras soporte se calculan para resistir, junto con el peso mismo de los paneles, las sobrecargas de nieve, sismos, vibraciones y fundamentalmente de viento.

El sistema seleccionado es el sistema AS-ATK15-1B de la marca Art Sign by Xiamen ArtSign Solar Nature Energy Co., LTD y cumple con los lineamientos de la NOM-001-SEDE-2012 al aportar todas certificaciones solicitadas en la ley (Figura 8.12). Las características de la estructura son las siguientes:

- Perfiles fabricados en aluminio anodizado 6005-T5.
- Estructura diseñada para soportar velocidades de viento de 160 km/h, aunque los máximos vientos registrados han sido de 70 km/h.
- Tornillería de sujeción en acero inoxidable SUS304, A2. Arandelas de Neopreno para evitar la corrosión galvánica.
- Diseños disponibles: Montaje en techo inclinado, techo plano, suelo, carports y sistemas agrivoltaicos.
- El diseño de la estructura y el sistema de fijación de los paneles fotovoltaicos, se realiza de manera que permite las necesarias dilataciones térmicas, sin transmitir esfuerzos a los paneles.
- Certificaciones: IEC 61215, IEC 61730, UL 1703/61730, TÜV Rheinland.
- 25 años de garantía.

Figura 8.12 Características y certificación de calidad de la estructura de soporte.

Material R&D		Unique High performance Aluminum alloy		
Establish an academican and expert workstation with Central South University to carry out research and development of high-performance materials; Deepen school-enterprise cooperation with Shanghai Jiaotong University and other domestic institutions of higher learning to promote all-round integration of industrial technologies.	Items (Mechanical properties)	AL6063-T5	AT6005-T5	Antai AL6005-T6
	Tensile strength(MPa)	175	250	290
	Proof strength(MPa)	130	200	265
	Elongation after fracture(%)	7	7	10



Fuente: Data Sheet del Producto. Véase Anexos

Estas estructuras cumplen en cuanto a certificaciones internacionales (IEC, UL, TÜV) reconocidas por la NOM-001-SEDE-2012 en México, especialmente en el Artículo 690 sobre sistemas FV.

Adicionalmente cumple con las características físicas e instalación que indica la normativa (Figura 8.13), tales como:

- NOM-001-SEDE-2012, Artículo 690:
 - Las estructuras de soporte deben estar listadas y certificadas.
 - Deben garantizar resistencia mecánica frente a cargas de viento y dilatación térmica.
 - Las estructuras metálicas deben estar puestas a tierra (690-43).
- Artículo 110:
 - El equipo debe estar evaluado, identificado e instalado conforme a las especificaciones del fabricante.
- Artículo 250:
 - Obliga a la continuidad eléctrica y unión de las estructuras metálicas al sistema de puesta a tierra.

Figura 8.13 Especificaciones técnicas de la estructura de soporte de los módulos fotovoltaicos.

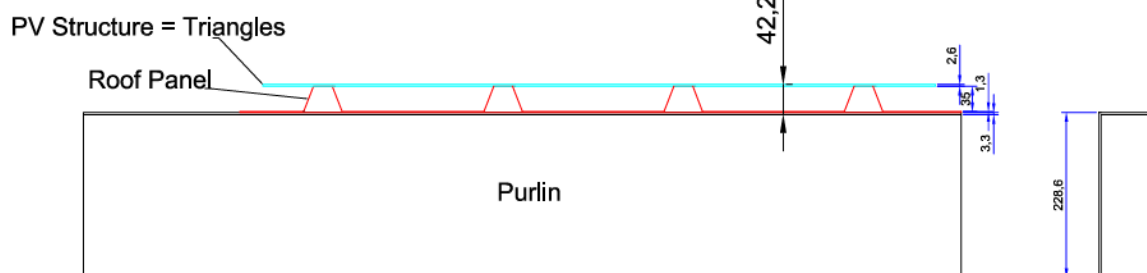
Specification	
Roof Type	Pitched Roof / Flat Roof
Tilt Angle	Fixed 10-15°, 15-30°, 30-60°
Wind Load	Up to 60m/s
Snow Load	Up to 80cm
Applicable Solar Module	Framed/Frameless
Panel Layout	Portrait/Landscape
Design Standard	BS EN, ASCE7-10, BS 6399, AS-NZS 1170, GB 50009-2012, MS 1553
Material	AL-6005-T6, SUS304, 410
Color	Silver/Black
Warranty	10-year

Fuente: Data Sheet del producto. Véase Anexos

De acuerdo a las características de las zonas disponibles en este proyecto, se proyectan dos tipos de estructura soporte de los paneles:

A) Estructura coplanar (Figura 8.14): Se utiliza en techos ya inclinados hacia el Sur. Consta básicamente de unos perfiles de aluminio anodizado que se sujetan a las correas del techo mediante unas piezas llamadas L-feet:

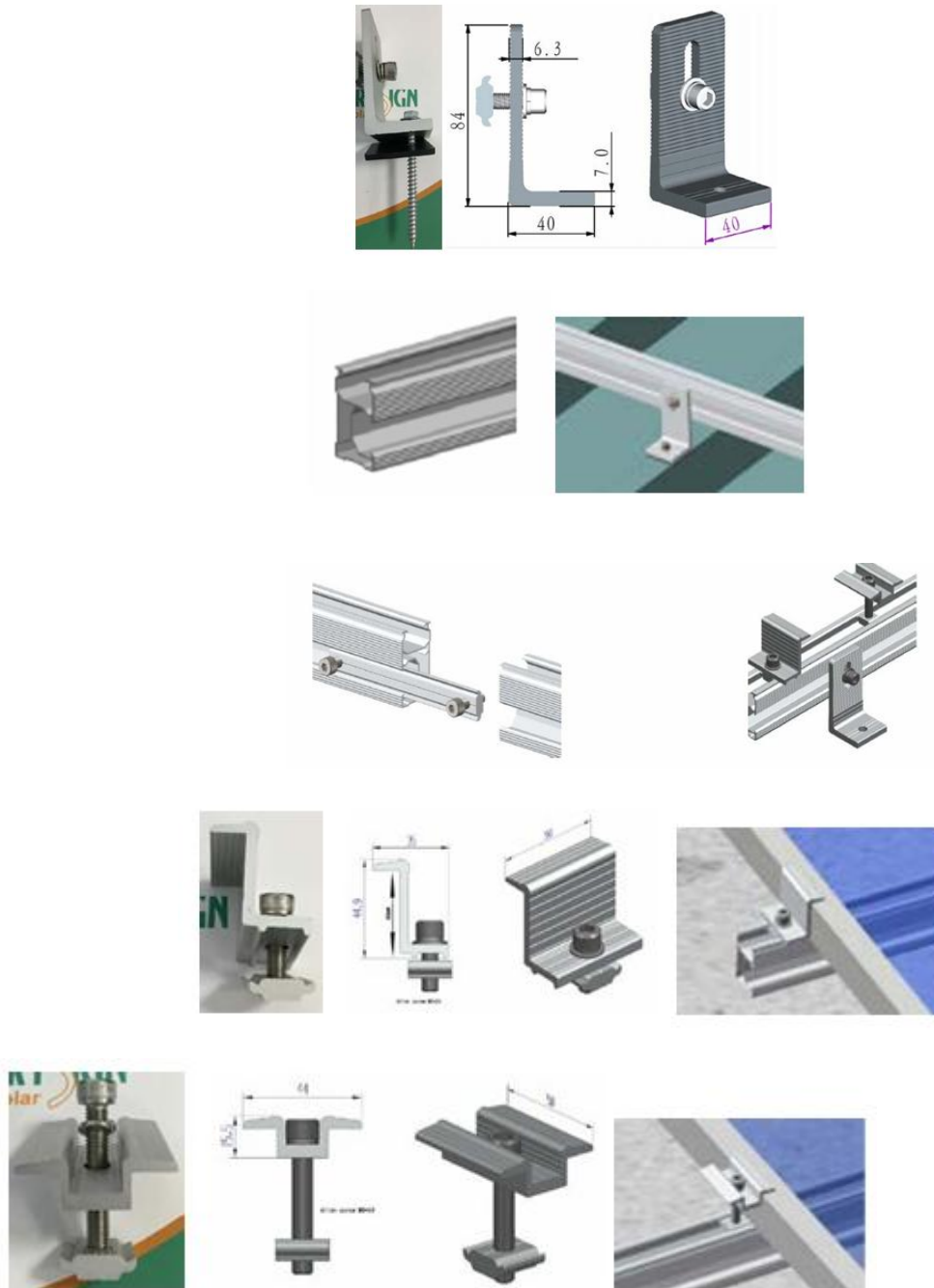
Figura 8.14 Disposición de las estructuras en alineación coplanar sobre la cubierta



Fuente: Internet. Archivo propio

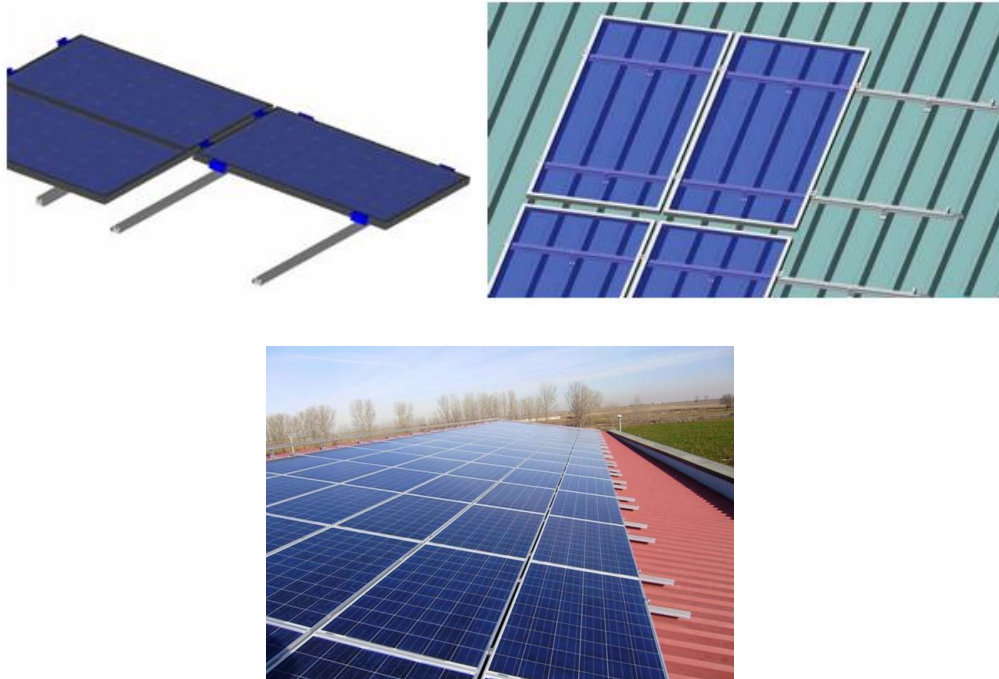
Sobre esos perfiles de aluminio se apoyan los paneles y estos se sujetan con una serie de grapas. Esta estructura está constituida por los componentes que se muestran en la Figura 8.15:

Figura 8.15 En orden descendente: L feet: Sujeta la estructura de aluminio a los polines de la nave. Perfil anodizado: Va anclado a los L feet y sirve de apoyo a los paneles. Empalme y sujeción de perfiles y módulos. Grapas de sujeción de los paneles.



Fuente: Data Sheet del producto. Véase Anexos

Figura 8.16 Ejemplos de montaje coplanar también denominado integración arquitectónica

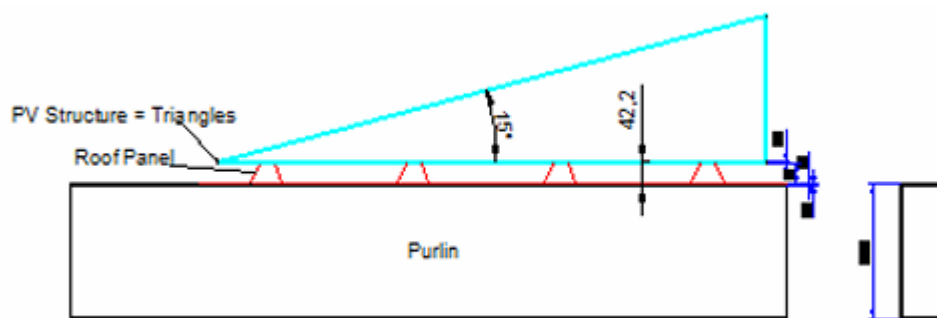


Fuente: Data Sheet del producto. Véase Anexos

B) Estructura inclinada 15°.

Se utiliza en techos que son horizontales mirando hacia el Sur. Consta básicamente de unos perfiles de aluminio anodizado, formando un triángulo, que nos proporcionará la inclinación previamente determinada y que se sujeta a los polines/correas de la techumbre:

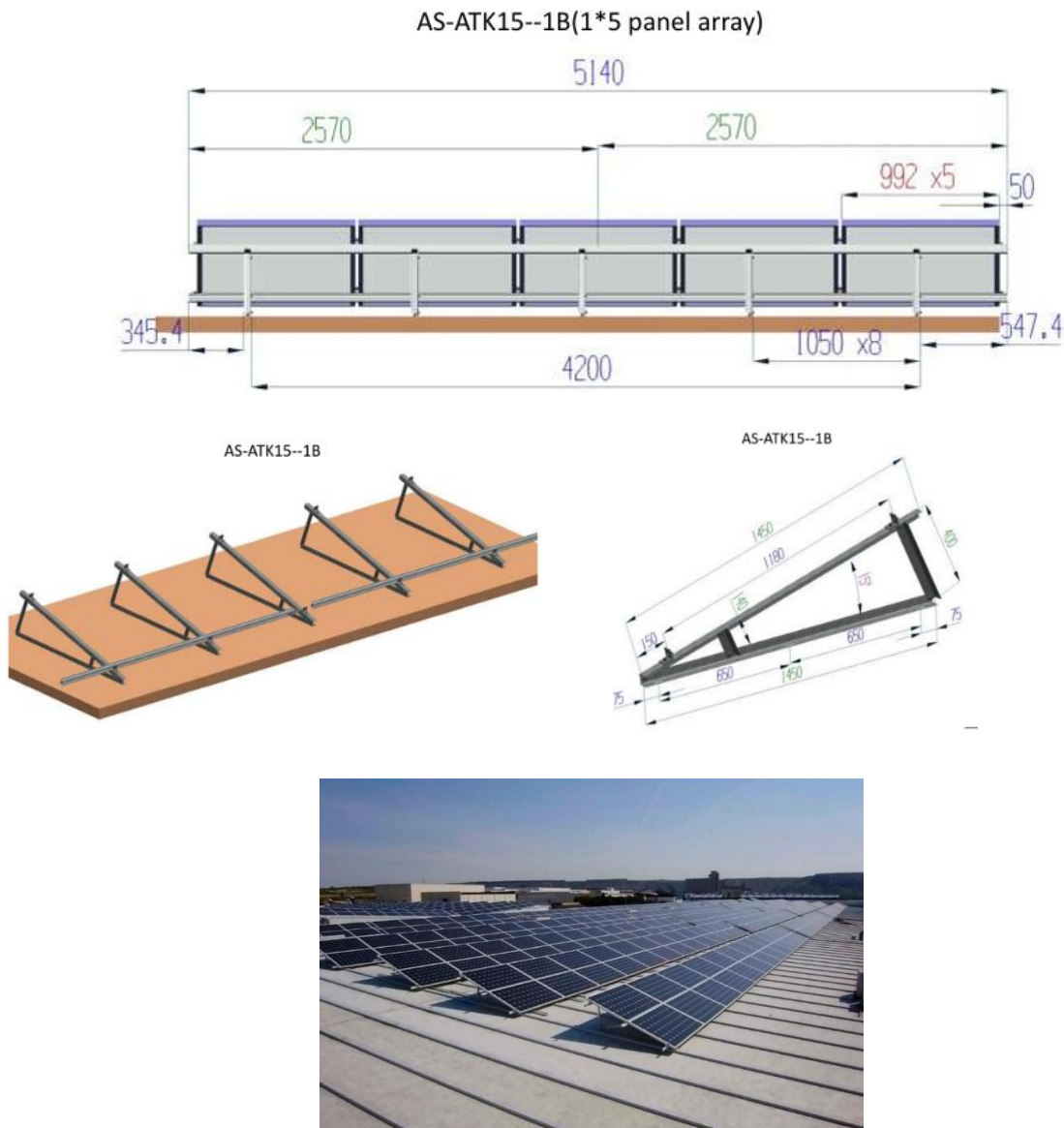
Figura 8.17 Disposición de las estructuras inclinadas a 15° sobre la cubierta



Fuente: Internet. Imagen sin derechos de autor

Sobre esos triángulos se apoyan otros perfiles de aluminio anodizado y sobre éstos se apoyan los paneles y estos se sujetan con una serie de grapas. Esta estructura está constituida por los componentes que indica la Figura 8.18.

Figura 8.18 Estructura triangular: Se ancla a las correas/polines de la nave y dota a los paneles de la inclinación deseada.



Fuente: Data Sheet del producto. Véase Anexos

El peso por m² del sistema de soporte de instalación en vista de planta de los módulos, es de 1,860 gr/m², es decir, por cada m² de área de módulo, corresponden 1,860 gr.

FIJACIÓN

La fijación de una central solar fotovoltaica (CSFV) en la cubierta de una nave industrial es crítica porque garantiza la seguridad estructural, la durabilidad del sistema y la eficiencia energética. Una instalación mal fijada puede provocar desprendimientos por viento, filtraciones en la cubierta o incluso fallas estructurales. Por ello, el diseño debe considerar cargas dinámicas (viento, sismo), el tipo de cubierta y los materiales de fijación más adecuados.

Para la fijación del sistema se ha elegido el tornillo Ejot Solar JT3-SB FZD, especial para fijar instalaciones de paneles fotovoltaicos a subestructuras de acero.

Se trata de un tornillo de acero inoxidable A2, con arandela de sellado FZD en acero inoxidable A2. Tuerca hexagonal M10 y tuerca hexagonal de seguridad M10. Instalación sin pretaladrado para subestructuras de acero de 1,5 mm a 3,0 mm.

- Material Acero inoxidable A2. Arandela de acero inoxidable de sellado FZD.
- Uso especializado para uso en exteriores.
- Implementación Accionamiento hexagonal SW5

Figura 8.19 Fijación especializada para sistemas fotovoltaicos, tornillos en acero inoxidable con aislamientos de neopreno para evitar corrosión galvánica



Fuente: Data Sheet del producto. Véase Anexos

Las estructuras y fijaciones EJOT cuentan con certificaciones ISO 9001, ISO 14001, ISO 45001, ISO 50001, IATF 16949 y ETA/CE, lo que garantiza que cumplen con estándares internacionales de calidad, seguridad y sostenibilidad. Estas certificaciones son válidas en México para cumplir con la NOM-001-SEDE-2012, especialmente en los artículos 110 y 690 (Ejot, 2026).

- NOM-001-SEDE-2012, Artículo 110: exige que todo equipo eléctrico y de soporte esté listado y certificado por organismos reconocidos.
- Artículo 690: aplica a sistemas solares FV, incluyendo estructuras de soporte, que deben garantizar resistencia mecánica y estar puestas a tierra.
- Las certificaciones ISO, IATF, ETA y CE de EJOT son reconocidas internacionalmente y cumplen con los requisitos de la NOM para asegurar seguridad, calidad y confiabilidad.

Algunas de las certificaciones de la tornillería son:

- ISO 9001:2015 – Certificación de gestión de calidad.
- IATF 16949:2016 – Certificación de gestión de calidad específica para la industria automotriz, aplicable también a procesos de fabricación de componentes metálicos.
- ISO 14001 – Certificación de gestión ambiental.
- ISO 45001 – Certificación de gestión de seguridad y salud ocupacional.
- ISO 50001 – Certificación de gestión energética.
- ETA (Evaluaciones Técnicas Europeas) – Certificaciones de usabilidad y seguridad de productos de construcción bajo la EOTA (European Organization for Technical Assessment).
- Certificados CE – Conformidad europea para comercialización en la UE (Ejot, 2026) .

PUNTO DE INTERCONEXIÓN.

Las centrales eléctricas con capacidad menor a 0.7 MW (en su momento para este proyecto estaba limitado a 0.5 MW) pueden interconectarse a las redes de distribución sin permiso de generación, según la Ley mexicana, y únicamente tendrán que cumplir con los lineamientos definidos por la Comisión Reguladora de Energía (CRE) y la CFE. Los puntos de interconexión se regulan para garantizar eficiencia, calidad, confiabilidad y seguridad del Sistema Eléctrico Nacional.

Marco legal.

- Ley de la industria Eléctrica (Art. 19), siendo vigente en la actual Ley del Sector Eléctrico (Art 19), pero adecuado a un límite de 0.7MW:
 - Centrales ≥ 0.5 MW requieren permiso de generación.
 - Centrales < 0.5 MW son generadores exentos y no necesitan permiso.

- Interconexión: Podían conectarse a las Redes Generales de Distribución mediante contratos simplificados de interconexión, siempre cumpliendo con los requisitos técnicos y de seguridad establecidos por la Comisión Reguladora de Energía (CRE ahora CNE) y la CFE.
- Contratos: La ley preveía que la CFE debía ofrecer modelos de contrato de interconexión y contraprestación para facilitar la participación de pequeños generadores, especialmente en esquemas de generación distribuida.
- Excepciones: También se consideraban exentos los generadores destinados exclusivamente a uso propio en emergencias (por ejemplo, plantas de respaldo en hospitales o industrias).

Por lo que, dentro del marco regulatorio, la situación de la empresa al ser generador exento, cubrir con una generación energética dentro del rango del auto consumo, se encuentra en una posición legal e idónea para realizar la interconexión dentro de sus propias instalaciones, evitando otro tipo de regulaciones administrativas y técnicas.

El punto de interconexión por consiguiente será el transformador interno de la fábrica, el cual reúne los requisitos de espacio, capacidad, voltaje y distancias requeridas.

La subestación cuenta con espacio suficiente para la instalación de los inversores, éste cuenta una pared libre de dimensiones acordes a la distribución recomendada para los inversores y a menos de 5 metros de la jaula perimetral de trafos, además cuenta con un espacio aéreo más que libre y suficiente para la colocación de escalerillas para los cables que transportaran la corriente AC.

A continuación, se mencionan las características del punto de interconexión:

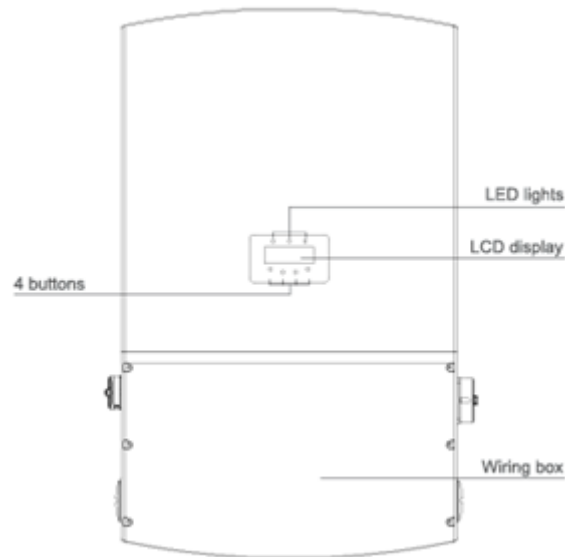
- Transformador Tipo Seco. Trifásico.
- 500KVA.
- Dos buses de 250KVA en B.T. a 440/480 V con seccionadores que permiten la interconexión entre cualquiera de los dos.
- Una barra de transferencia 250KVA para 440Y-220Y/127V y 250KVA para 480 Δ - 254Y/127V, 60HZ
- Rango en baja tensión bus 440V, BT 220V, 660.6 A. 480V, BT220, 301.8A.

La petición de la empresa es seccionar la evacuación de la carga generada hacia ambos buses para conservar el balance de cargas dentro del complejo, por lo que se diseñará a partir de dos configuraciones de salida a 440V y a 480V y se realizará la interconexión en los dos buses disponibles. Debido a que la fábrica labora 24/7/365, se solicitará una ventana de libranza para realizar la interconexión.

INVERSORES

Los inversores escogidos para la conversión de potencia (DC – AC) son de la marca Solis, modelos Solis-40-US-F y el Solis-50K-US-F (Figura 8.20). Ambos inversores cuentan con un rango de operación de voltaje a la salida de 422.4V a 528V.

Figura 8.20 Inversor de la Marca Solis modelo 40K y 50K, apariencia física y dimensiones similares.



Fuente: Data Sheet del producto. Véase Anexos

Estos modelos se eligieron principalmente por las siguientes características:

- Los modelos trabajan dentro en el rango solicitado (440V y 480 V), por lo que no es necesaria la implementación de un transformador adicional.
- Fases de operación: Trifásicas
- Frecuencia de operación: 59.5-60.5 HZ.
- Rango de temperaturas de funcionamiento de -25°C a 60°C.
- Sus especificaciones eléctricas cumplen totalmente con los requerimientos de estos equipos para la conexión a la red eléctrica local con los sistemas fotovoltaicos (protección galvánica entre la parte DC y AC, protección anti-isla, etc.) y las demás normativas mexicanas existentes.
- Incluye un completo equipamiento en lo que a elementos de protección se refiere. También existen bastantes equipos periféricos opcionales, como por ejemplo para la monitorización de la instalación.

- Los rendimientos garantizados por el fabricante, así como el rango de valores de entrada al inversor permiten optimizar la producción.
- Sus características técnicas permiten un aprovechamiento óptimo de los paneles y de la cubierta, al disponer de 4 MPPT independientes.
- Se pueden instalar a la intemperie ya que disponen de un grado de protección NEMA 4X.
- Los varistores de protección contra sobretensiones ya van instalados en el propio inversor.
- Intercomunicación vía cable RJ45 para monitorización a través de modem.

Dentro de la NOM-001-SEDE-2012 (Figura 8.21), Artículo 690, se encuentran las certificaciones internaciones de los inversores fotovoltaicos, las cuales son:

NOM-001-SEDE-2012:

- Los inversores necesitan estar certificados y dentro de una lista por los organismos de control.
- En caso de falla a red necesitan una desconexión automática por medio de una protección anti-isla.
- Para cumplir con los requisitos de seguridad eléctrica, tiene que tener una sincronización con la red.

Artículo 110:

- Cualquier equipo eléctrico, tienen que estar evaluados, inidentificados e instalados según las especificaciones del fabricante.

Artículo 250:

- Cualquier equipo eléctrico, incluyendo el inversor, tiene que tener una puesta a tierra uniendo las partes metálicas de los equipos. Fuente: (SECRETARÍA DE ENERGÍA, 2012)

Certificaciones internacionales exigidas para inversores FV

UL (Underwriters Laboratories, EE. UU.)

- UL 1741: Normativa para inversores y equipos de interconexión con la red.
- UL 62109: Seguridad de inversores y convertidores de potencia.

IEC (International Electrotechnical Commission)

- IEC 62109-1 / IEC 62109-2: Normas de seguridad para inversores FV.


- IEC 61727: Requisitos de conexión de sistemas FV a la red eléctrica.
- IEC 62116: Ensayos de protección anti-isla en inversores FV.


Otras certificaciones aceptadas

- TÜV Rheinland / TÜV SÜD: Certificación europea de seguridad y desempeño.
- CE (Conformidad Europea): Para comercialización en la Unión Europea.

Figura 8.21 Certificación de calidad del producto. Inversores Solis 40k y 50K

Party Authorized To Apply Mark: Same as Manufacturer
 Report Issuing Office: Intertek Testing Service Shanghai

Control Number: 3186984 Authorized by:  for Dean Davidson, Certification Manager



Intertek

This document supersedes all previous Authorizations to Mark for the noted Report Number.


This Authorization to Mark is for the exclusive use of Intertek's Client and is provided pursuant to the Certification agreement between Intertek and its Client. Intertek's responsibility and liability are limited to the terms and conditions of the agreement. Intertek assumes no liability to any party, other than to the Client in accordance with the agreement, for any loss, expense or damage occasioned by the use of this Authorization to Mark. Only the Client is authorized to permit copying or distribution of this Authorization to Mark and then only in its entirety. Use of Intertek's Certification mark is restricted to the conditions laid out in the agreement and in this Authorization to Mark. Any further use of the Intertek name for the sale or advertisement of the tested material, product or service must first be approved in writing by Intertek. Initial Factory Assessments and Follow up Services are for the purpose of assuring appropriate usage of the Certification mark in accordance with the agreement, they are not for the purposes of production quality control and do not relieve the Client of their obligations in this respect.


Intertek Testing Services NA Inc.
 545 East Algonquin Road, Arlington Heights, IL 60005
 Telephone 800-345-3851 or 847-439-5667 Fax 312-283-1672

Standard(s):	UL Standard for Inverters, Converters, Controllers and Interconnection System Equipment for Use With Distributed Energy Resources, UL 1741, Second Edition Dated January 28, 2010 containing Revisions through and including March 23, 2016 & General Use Power Supplies, CSA C22.2 No.107.1-01 dated September, 2001, Reaffirmed 2011
Product:	Grid-Tie Inverter
Brand Name:	Ginlong, Solis
Models:	Solis- [™] -US, GCI- [™] -W-US, GCI- [™] -H-US (The [™] in the models could be 25K, 30K, 36K, 40K)

ATM for Report 16080085SHA-001 Page 1 of 1 ATM Issued: 22-Aug-2016
ED 16.3.15 (1-Jul-16) Mandatory

Party Authorized To Apply Mark: Same as Manufacturer
 Report Issuing Office: Intertek Testing Service Shanghai

Control Number: 3186984 Authorized by:  for Dean Davidson, Certification Manager



Intertek

This document supersedes all previous Authorizations to Mark for the noted Report Number.

This Authorization to Mark is for the exclusive use of Intertek's Client and is provided pursuant to the Certification agreement between Intertek and its Client. Intertek's responsibility and liability are limited to the terms and conditions of the agreement. Intertek assumes no liability to any party, other than to the Client in accordance with the agreement, for any loss, expense or damage occasioned by the use of this Authorization to Mark. Only the Client is authorized to permit copying or distribution of this Authorization to Mark and then only in its entirety. Use of Intertek's Certification mark is restricted to the conditions laid out in the agreement and in this Authorization to Mark. Any further use of the Intertek name for the sale or advertisement of the tested material, product or service must first be approved in writing by Intertek. Initial Factory Assessments and Follow up Services are for the purpose of assuring appropriate usage of the Certification mark in accordance with the agreement, they are not for the purposes of production quality control and do not relieve the Client of their obligations in this respect.

Intertek Testing Services NA Inc.
 545 East Algonquin Road, Arlington Heights, IL 60005
 Telephone 800-345-3851 or 847-439-5667 Fax 312-283-1672

Standard(s):	Inverters, Converters, Controllers And Interconnection System Equipment For Use With Distributed Energy Resources [UL 1741:2010 Ed.2 +R:07Sep2016] Power Conversion Equipment [CSA C22.2#107.1:2016 Ed.4]
Product:	Grid-Tie Inverter
Brand Name:	Ginlong, Solis
Models:	Solis-66K-US-F, Solis-60K-US-F, Solis-50K-US-F, Solis-50K-US

ATM for Report 170301233SHA-001 Page 1 of 1 ATM Issued: 7-Apr-2017
ED 16.3.15 (20-Apr-17) Mandatory

Fuente: Data Sheet del producto. Véase Anexos

El arreglo de los generadores fotovoltaicos, dimensionamiento de la red y elección de equipos se determinará más adelante en la memoria de cálculo.

CABLEADO Y CONEXIONES

Hay varias zonas diferenciadas en la instalación en lo que al cableado se refiere: cable entre los paneles de un mismo ramal, el que va desde cada uno de los ramales hasta los distintos inversores y la que va desde los inversores hasta el punto de conexión con la red eléctrica. En todos los puntos en los que sea necesario un cambio de sección de cable o se unan varios cables distintos irá situada una caja adaptadora o una caja de protecciones.

Teniendo en cuenta la NOM-001-SEDE-2012, las NTC y el RNTC, todo el cableado de la instalación, las cajas de conexiones, los tableros, o cualquier otro elemento susceptible de sufrir contacto indirecto deberán incluir un asilamiento reforzado o suplementario. Es importante dimensionar el cableado de forma correcta teniendo en cuenta los criterios de intensidad máxima admisible y de caída de tensiones, como veremos en el apartado de cálculos más adelante. Los conductores empleados en la Central Fotovoltaica deberán tener una sección tal que las caídas de tensión son inferiores al 1.5%, tanto en la parte de continua como en la parte de alterna. El cableado de corriente continua desde los paneles fotovoltaicos hasta los inversores, es por obvias razones, cable solar especial para fotovoltaica, de cobre estañado y doble aislamiento. Los cables de corriente alterna son cables de cobre libres de halógenos y aislamiento RZ1-K 0.6/1kV. La evacuación de la energía generada desde los inversores hasta el cuadro de protecciones se realiza en trifásico mediante cables unipolares de sección adecuada.

TENDIDO DE LOS RAMALES (STRINGS)

El cableado de corriente continua de los ramales sobre la cubierta, desde los paneles fotovoltaicos hasta los inversores, es cable solar especial para fotovoltaica, de cobre estañado y doble aislamiento sus características específicas y dimensionamiento se determinarán al momento de calcular la cantidad de paneles, distancias y longitudes, este cable ha de estar fijado a la estructura solar mediante elementos de sujeción como cinchos o elementos de similares características. En el exterior del edificio y muy de manera lateral a los grupos de paneles sobre cubierta podremos encontrar las diferentes charolas de contención y transporte de cables. Para esta instalación decidimos usar una canaleta individual para cada subgrupo, las cuales estarán muy próximas a cada uno de las filas con el fin de minimizar las caídas de tensión. Podremos verlas más detalladamente en la memoria de cálculo y los planos. La charola de canalización estará ubicada a lo largo de la línea central de la nave y en dirección del área de inversores, tendrá unas dimensiones adecuadas para poder albergar los ramales y los ramales de cada subgrupo. No hay que olvidar realizar la

conexión de un conductor de tierra de la misma sección seleccionada, el cual deberá estar unido a las masas de los elementos metálicos de la instalación mediante terminales adecuados. El aislamiento del conductor será de PVC y deberá tener una alta protección contra los rayos UVA.

El tipo de cable elegido para la instalación es el Slocable 2PFG 1169 de la marca Slocable Solar Technology Co., Ltd. y cumple con las normas establecidas en la NOM-001-SEDE-2012, a continuación, se muestran las características generales del tipo de cable elegido para la instalación.

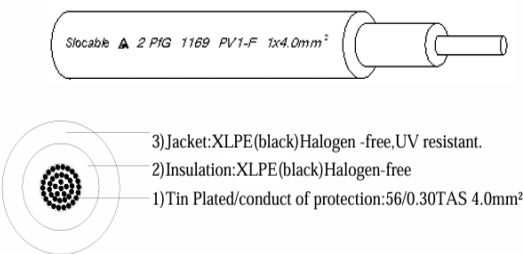
Propiedades físicas:

- Tensión nominal: CA 1 kV, CC 1.8 kV
- Temperatura máxima del conductor: +120 °C
- Temperatura ambiente: -40 ~ +90 °C
- Temperatura máxima en cortocircuito: +280 °C / 5 segundos
- Periodo de uso esperado: ≥25 años; Garantía: 24 meses
- Radio mínimo de curvatura permitido: 5 × diámetro exterior

Estas especificaciones suelen corresponder a cables solares fotovoltaicos (tipo PV1-F o equivalentes (Figura 8.22), que deben cumplir con normas internacionales como IEC 62930 y TÜV Rheinland, además de la NOM-001-SEDE-2012 en México.


Figura 8.22 Certificación de calidad del producto. Cable fotovoltaico, doble aislamiento con estañamiento 1000V

Construction



3) Jacket: XLPE(black)Halogen-free, UV resistant.
2) Insulation: XLPE(black)Halogen-free
1) Tin Plated/duct of protection: 56/0.30TAS 4.0mm²

Part NO.
Black: CA104B-PE Red: CA104R-PE



Zertifiziertes Test Merk Geprüft nach Testref. att. in
2 PFG 1169/08.07

Zertifiziertes Produkt **Geräteidentifikation** **Lizenznummer - Einheits**
Certified Product **(Product Identification)** **License No. - Unit**

EV-Leitungen **(Cables for Photovoltaic-Systems)**

Type Designation PV1-F 1kV 5
Rated Voltage AC 0.6/1.0 kV
DC 1.8 kV, conductor-conductor,
non earthed system,
stable (not under load)
Ambient Temperature: -40°C to +90°C
Max. Temperature
at Conductor +120°C
Mark of Origin Slocable
The labeling requirements acc. to EU Directive 2002/95
have to be observed for distribution within the EEA.

ANLAGE (Appendix): 1.0

Das Zertifikat über unsere Prüf- und Zertifizierungstätigkeit entspricht und ist beschränkt auf die Endanwendung
in Photovoltaik und nicht auf andere Einsatzgebiete und Polymerisate. Zusätzliche Anforderungen
müssen erfüllt sein. Die Herstellung des zertifizierten Produktes wird überwacht.
No certificate of approval for other applications. The certificate is limited to the intended use.
For additional information on our products, please contact us. The certificate is limited to the intended use.
The manufacturer of the certified product is liable for its certification.

TÜV Rheinland Product Safety GmbH, Am Grauen Stein, D-51105 Köln
Tel.: +49 221 38 12 17 e-mail: cert@tuev.com
fax: +49 221 38 12 20 http://www.tuev.com

Dipl.-Ing. T. Tle

Fuente: Data Sheet del producto. Véase Anexos

Ensayos estándar de seguridad y durabilidad:

- Acordes a: 2PFG 1169 /08.2007
- Densidad de humo: conforme a IEC 61034 (EN-50268)
- Libre de halógenos: conforme a IEC 60754 (EN-50267)
- Resistencia al ozono: conforme a EN 50396
- Resistencia al aceite: conforme a IEC 60811
- Resistente a rayos UV: HD605/A1

CONECTORES

Los conectores en una instalación fotovoltaica representan mucho más que un simple accesorio: son el punto de unión que asegura la continuidad eléctrica y la integridad mecánica de todo el sistema. Aun siendo pequeños los conectores, sus funciones de seguridad, eficiencia y durabilidad son muy importantes.

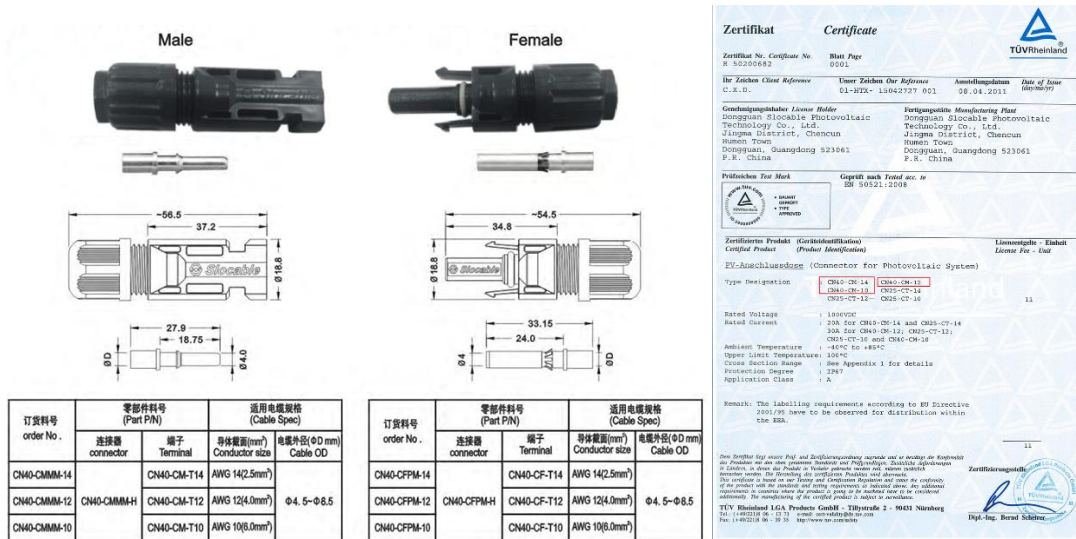
Técnicamente, los conectores MC4, permiten una conexión estandarizada y hermética entre los módulos, minimizando riesgos de cortocircuito o arcos eléctricos. Su diseño para resistir condiciones extremas (radiación UV, humedad, ozono, variaciones térmicas) les hace mantener un desempeño estable por largo tiempo. Además, su sistema 'plug & play' simplifica la instalación y minimiza errores humanos, algo esencial en proyectos de gran escala donde miles de conexiones deben ser confiables (Figura 8.23).

Importancia técnica de los conectores MC4

- Estándar internacional: Son el conector más utilizado en sistemas FV a nivel mundial, diseñados bajo normas IEC 62852 y UL 6703, reconocidas también por la NOM-001-SEDE-2012 en México (Artículo 690).
- Seguridad eléctrica: Aseguran una conexión hermética y resistente a la intemperie, evitando riesgos de cortocircuito, arcos eléctricos o pérdidas de energía.
- Durabilidad: Los MC4 están elaborados para soportar condiciones extremas UV, humedad, ozono, temperaturas de -40 °C a $+90\text{ °C}$.
- Facilidad de instalación: para conexiones rápidas y confiables se utiliza el diseño plug & play, minimizando errores en campo.
- Compatibilidad: se trabaja con cables solares tipo PV1-F los cuales están uniformados asegurando la continuidad eléctrica y mecánica.
- Normativa Mexicana: Dentro de la NOM-001-SEDE-2012, Artículo 690, están listados todos los componentes de una Central Solar Fotovoltaica, incluyendo los conectores MC4.

La marca a instalar se trata de la línea Cable Coupler CN40-C**M de la marca Slocable Solar Technology Ltd. El cual además de cumplir con toda la normativa antes mencionada, a continuación, se indican sus certificaciones.

Figura 8.23 Conectores MC4 y certificación de calidad.



Fuente: Data Sheet del producto. Véase Anexos

CANALIZACIONES, TABLEROS Y PROTECCIONES

El tendido de cables de BT-DC desde series de paneles hasta los inversores, se realiza mediante bandejas porta cables, tanto de PVC como de acero galvanizado instaladas a lo largo de la techumbre y en la acometida en subestación con los cables atados a las propias bandejas. El tendido de cables de BT-AC desde los Inversores hasta el cuadro de protecciones se realiza directamente sobre bandeja hasta acometida de cuadro de protecciones integrado al inversor. El cableado instalado en bandeja en la parte de CC-BT será de tipo solar doble aislamiento y estañado, resistente a los rayos UV. Los cables se tenderán siempre procurando que su recorrido sea mínimo para minimizar tanto las pérdidas de energía como el coste de su instalación. Después de inversores, los conductores a utilizar en BT-AC serán de cobre desde el cuadro de protecciones con mecanismos para sobretensiones, sobreintensidades, termomagnéticos y diferenciales, hasta llegar a concentradores que distribuirán la corriente alterna hasta el seccionador/interruptor y de ahí a punto de interconexión en el transformador de 500KVA en BT. No se realizarán empalmes fuera de las cajas de conexionado destinadas a tal fin. Todos los conductores de la instalación deberán ser

identificables, en especial los conductores neutros y de protección. Esta identificación se realizará por los colores según normativa

La totalidad de los mecanismos y accesorios para la instalación eléctrica en AC será de la marca ABB (figura 8.24), marca con larga trayectoria en nuestro país y con certificaciones más que comprobadas, a continuación, se enlistan los componentes a utilizar.

- Termomagnéticos.
- Diferenciales.
- Concentradores.
- Seccionadores/interruptores
- Cuadros y Tableros.
- Charolas y escalerillas
- Terminales.

Figura 8.24 Certificaciones de la marca ABB. Para todos los productos de protección, conexión y transporte que se utilizarán en la instalación.

ABB Baja Tensión en México

Ofrecemos una completa gama de productos y sistemas para el sector residencial, terciario e industrial así como, para integradores, tableristas y OEM's.

Cumplimos con todos los estándares y normas nacionales e internacionales.



Fuente: Catálogo de productos ABB. Véase Anexos

Aunque se realizará el dimensionamiento de cada uno de los componentes y en el anexo final se incluirá la certificación de cada uno de ellos, ABB cuenta con certificaciones internacionales y regionales que respaldan la seguridad y calidad de sus interruptores diferenciales, termomagnéticos, seccionadores y equipos de concentración de energía. Estas certificaciones garantizan cumplimiento con normas como IEC, UL y RETIE, además de la NOM-001-SEDE-2012 en México.

Certificaciones de ABB en equipos de protección y maniobra

Interruptores diferenciales y termomagnéticos

- IEC 60947-2 / IEC 61008 / IEC 61009: Normas internacionales para interruptores automáticos y diferenciales.
- UL 489 / UL 1053: Certificación estadounidense para interruptores de baja tensión.
- CE (Conformidad Europea): Garantiza cumplimiento de directivas de seguridad eléctrica en la UE.
- TÜV Rheinland: Certificación de seguridad y desempeño eléctrico.

Seccionadores

- Certificado de Conformidad RETIE (Colombia): Emitido por CERTECNICA S.A.S., valida que los seccionadores ABB cumplen con el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (Resolución 90708 de 2013, artículo 20).
- IEC 60947-3: Norma internacional para interruptores manuales y seccionadores de baja tensión.
- ISO 9001: Gestión de calidad en procesos de fabricación.

Concentradores y sistemas de medición

- IEC 62052 / IEC 62053: Normas para equipos de medición de energía eléctrica.
- MID (Measuring Instruments Directive, UE): Certificación europea para medidores y concentradores.
- ANSI C12: Normativa estadounidense para equipos de medición eléctrica.

Accesorios (Tableros, cuadros eléctricos, charolas y escalerillas)

- IEC 61439: Tableros y cuadros eléctricos de baja tensión.
- IEC 62208: Envolventes vacías para conjuntos de baja tensión.
- IEC 60529: Grados de protección IP contra polvo y agua.
- UL 50 / UL 508A: Certificación estadounidense para tableros y cuadros eléctricos.
- CE (Conformidad Europea): Cumplimiento de directivas de seguridad en la UE.

CONDUCCIÓN DE CORRIENTE ALTERNA

La conducción de corriente continua tiene lugar desde los inversores hasta los tableros generales de protección, pasando por el cuadro de protecciones de corriente alterna, el cual colocará muy cerca de los inversores en el interior de la misma sala eléctrica.

Para este tramo, el tipo de conexión será trifásica con el cable de neutro canalizado desde los inversores hasta el cuadro de protecciones de corriente alterna. Desde los inversores al cuadro de protecciones tendremos una canalización mediante escalerilla rígida en montaje superficial, mientras que tendremos unas canalizaciones aéreas desde el cuadro de protecciones hasta el punto de interconexión en el transformador de la fábrica.

La evacuación de la energía generada desde el cuadro de protecciones hasta los dos buses del transformador, pasando por los dos interruptores seccionadores manuales tripolares, se realiza por duplicado en trifásico mediante cables unipolares de sección calculada. Todos los componentes de la Central Fotovoltaica están conectados a tierra a través de sus correspondientes cables de tierra, para proteger a la instalación de sobretensiones inducidas por fenómenos atmosféricos y para proteger a las personas en contacto directo sobre las masas de la instalación si en estas se produjera avería, de acuerdo al reglamento de baja tensión.

El cable elegido se realizó por la disponibilidad de suministro, sin descuidar la parte normativa. Las especificaciones del material son las siguientes:

Cable marca VINANEL XXI AWG, THWLS/THHWLS marca Condumex, 600V, 90 °C todos los calibres, cumple con la normativa mexicana aplicable (NOM-001-SEDE-2012), ya que está certificado por la CFE bajo la especificación CFE E0000-03 (Figura 8.25) y diseñado para instalaciones eléctricas de baja tensión hasta 600 V.

Especificaciones técnicas relevantes

- Tipo: AWG, THW-LS / THHW-LS
- Tensión nominal: Hasta 600 V
- Temperatura de operación:
 - Normal: 90 °C
 - Sobrecarga: 105 °C
 - Cortocircuito: 150 °C
- Conductor: Cobre suave concéntrico
- Aislamiento: PVC (libre de plomo, retardante de flama, baja emisión de humos, libre de halógenos)
- Calibre: Todos los calibres
- Certificación: CFE E0000-03 (requisito indispensable para uso en instalaciones reguladas por la Comisión Federal de Electricidad).

Figura 8.25 Certificación del producto. Cables Condumex

CONDUMEX

Contamos con certificaciones de fabricantes de equipo original (OEM's) internacionales, que avalan nuestros procesos y productos en diferentes rubros.

Organismos nacionales e internacionales



ASOCIACIÓN DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN, A.C.

Más de 140 de nuestros productos cuentan con certificado de la Asociación de Normalización y Certificación, A.C. (ANCI)



Contamos con más de 30 files de aprobación por parte de Underwrite Laboratories Inc. (UL), entidad encargada de evaluar temas de desempeño de producto y seguridad en el uso.



Tenemos más de 10 aprobaciones de la Canadian Standards Association (CSA), que evalúa estándares de seguridad y calidad.



Contamos con más de 30 excepciones de producto de la Mine Safety & Health Administration (MSHA).



Todos los cables de telecomunicación que exportamos a EE.UU. cuentan con esta certificación.

Fuente: Data Sheet del producto: Véase Anexos

TENDIDOS Y CANALIZACIONES EN AC-DC

Toda la energía eléctrica que discurre por el generador fotovoltaico, desde los módulos hasta el punto de conexión, está generada por energía solar. Los generadores de cubierta transportan la energía mediante cableado hasta los inversores, discurriendo estos por la cubierta y cerramientos laterales del edificio, en el interior se contendrán sobre escalerillas de acero galvanizado interrumpidos por las correspondientes cajas de registro. Para el cálculo de la sección de los cables se ha seguido los artículos 310, 240 y 250. Las líneas se dimensionan de forma que soporten una corriente un 25% superior a la corriente nominal del generador. Las escalerillas de contención y soporte de los conductores se han escogido teniendo en cuenta la sección del conductor, tipo de aislamiento y número de conductores a instalar en el interior de la misma. Con estos datos se ha determinado un área según la según el artículo 300 (canalizaciones). Para el cálculo del cableado según la caída de tensión, se considera que la caída de tensión máxima será del 1,5 % en corriente continua y del 2% en corriente alterna. Para la instalación de conversión y transporte de energía, el criterio consistirá en atender la normativa existente y elaborar una instalación que resulte funcional y de fácil montaje.

Sobre el Artículo 300 (Canalizaciones)

- Protección mecánica: Las canalizaciones deben proteger a los conductores contra daños físicos, humedad y agentes externos.

- Tipos de canalización: Se reconocen tuberías (PVC, metálicas, EMT, IMC, RMC), charolas portacables, escalerillas y ductos.
- Instalación:
 - Deben colocarse de manera que permitan inspección y mantenimiento.
 - No deben tener curvas demasiado cerradas que dañen los conductores.
 - Se exige un radio mínimo de curvatura según el tipo de cable.
- Llenado de canalizaciones: El número de conductores dentro de una tubería o charola está limitado por tablas de la norma para evitar sobrecalentamiento.
- Ambientes especiales: En lugares húmedos, corrosivos o con riesgo de incendio, se requieren canalizaciones específicas (herméticas, resistentes al fuego o con recubrimientos especiales).
- Accesorios: Las charolas y escalerillas deben cumplir con IEC 61537 y estar certificadas para soportar el peso y condiciones ambientales.

TOMA DE TIERRA

La tierra física en instalaciones fotovoltaicas (FV) es un elemento esencial de seguridad y confiabilidad. Su función no se limita a cumplir con un requisito técnico: es la base que protege tanto a las personas como a los equipos frente a fallas eléctricas, descargas atmosféricas y corrientes de fuga.

La toma de tierra para la instalación FV se conectará a la ya existente por solicitud de la compañía, todas las masas. Con ella se protegerá a la instalación de sobretensiones inducidas por fenómenos atmosféricos y a las personas en contacto directo sobre las masas de la instalación si en estas se produjera alguna avería.

Se establecerá según indican la NOM-001-SEDE-2012 (Artículo 250 y 690) y con criterios internacionales (IEC 60364, IEEE 80). Se diferenciarán dos puestas a tierra separadas, una procedente del sistema de corriente continua y otra para el sistema de corriente alterna. En corriente continua se conectan a tierra el conductor de protección que procede de los módulos fotovoltaicos y el saliente del descargador de tensión con un conductor de tierra en Cu de 35 mm² y cuatro picas de 1 metro de longitud con diámetro 14 mm, separadas 3 metros entre sí. En corriente alterna, el neutro se conecta en la barra de tierra que enlaza un conductor de tierra en Cu de 50 mm² con dos metros de longitud. Al ejecutar la instalación, la empresa instaladora efectuará una medida de la tierra, y si la resistencia a tierra es superior a 8 ohmios, se disminuirá hasta este valor mediante las tomas de tierra correspondientes. Los conductores serán de cobre aislado y no estarán seccionados ni protegidos en ninguno de sus puntos. Se

unirán todas las masas de la instalación a proteger, entre sí y a los elementos conductores simultáneamente accesibles, para evitar que puedan aparecer, en un momento dado, diferencias de potencial peligrosas, entre ambos.

Lineamientos normativos en México

NOM-001-SEDE-2012,

- Artículo 250:
 - Regula la puesta a tierra y unión de todas las partes metálicas no portadoras de corriente.
 - Exige que los sistemas FV tengan un electrodo de puesta a tierra adecuado, conectado a la estructura y a los equipos.
 - Define calibres mínimos de conductores de puesta a tierra según la corriente de falla y el tipo de instalación.
- Artículo 690 (Sistemas solares fotovoltaicos):
 - Obliga a que los inversores, módulos y estructuras metálicas estén conectados a tierra física.
 - Establece que la puesta a tierra debe garantizar continuidad eléctrica y resistencia mecánica.
- Artículo 110:
 - Señala que todo equipo eléctrico debe estar listado y certificado, incluyendo los sistemas de puesta a tierra.

Todos los componentes de la Central Fotovoltaica se conectarán a tierra a través de sus correspondientes cables de tierra, para proteger a la instalación de sobretensiones inducidas por fenómenos atmosféricos y para proteger a las personas en contacto directo sobre las masas de la instalación si en estas se produjera avería, de acuerdo al reglamento de baja tensión.

MONITORIZACIÓN

El sistema de monitorización permite la obtención instantánea y continua de los datos en tiempo real de las incidencias, estado general y generación de la Central Solar Fotovoltaica (Figura 8.26). Estos datos son accesibles para cada cliente a través de internet desde cualquier lugar del mundo, disponiendo del usuario y la contraseña correspondientes.

El sistema de monitorización está compuesto por:

- Data Logging Box. Lee los datos de la instalación y los envía a través del router al servidor de forma alámbrica o inalámbrica.

- Servidor. Recibe los datos, los analiza, los almacena y envía alertas si se desea.
- Plataforma Web. Permite el acceso a los datos en tiempo real y a los datos históricos, permite la obtención de informes y permite configurar la aplicación.

Todo ello supone una mejora técnica tangible y posibilita el:

- Optimizar la rentabilidad de las instalaciones mediante el control de la producción y verificación del correcto funcionamiento de la instalación en todo momento, los 365 días del año.
- Detectar con antelación posibles desviaciones y problemas que puedan existir, disminuyendo el tiempo de respuesta.
- Minimizar todo tipo de errores humanos.

Figura 8.26 Esquema del sistema de monitorización, equipos certificados y ecosistema Solis Ginlong.



Fuente: Data Sheet del Producto. Véase Anexos

Los equipos deben cumplir con la robustez para funcionar en condiciones acordes a los parámetros de trabajo de los inversores. Su instalación debe ser en un punto intermedio entre los inversores y el nodo de conexión a internet.

8.3 MEMORIA DE CÁLCULO DE LA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA

MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

La potencia de cualquier CSFV está determinada por la potencia nominal del inversor, debido a que es el que suministra la cantidad de energía vertida a la red. La central fotovoltaica de la cementera tendrá 500 kW nominales, el máximo permitido por ley.

Dado que la potencia del inversor no debe superar la potencia pico del generador, ya que rara vez se alcanza la potencia nominal de generación debido a pérdidas (inclinación, orientación, sombreado, cableado), se dimensionarán los generadores con una potencia nominal entre 1.0 y 1.2 veces la potencia pico del inversor, es decir, el rango adecuado para la potencia nominal del inversor está entre 0.833 y 1 veces la potencia pico del generador fotovoltaico. Dimensionaremos con el factor de 1.19 cercano al máximo.

$$Pot_{Inv} = Pot_{Gen} / 1.19$$

$$Pot_{Gen} = 500Wp \times 1.19$$

$$Pot_{Gen} = 595,000 Wp$$

Cantidad de módulos

Las distintas cantidades de paneles es la siguiente en función de las opciones de potencias disponibles:

Tabla 8.2 Cálculo de la cantidad de módulos fotovoltaicos

Modelos	Pot Módulo	Cantidad de módulos	Potencia CSFV	
			595,000	Wp
JAP72S01-310	310	1,919.4		
JAP72S01-315	315	1,888.9		
JAP72S01-320	320	1,859.4		
JAP72S01-325	325	1,830.8		
JAP72S01-330	330	1,803.0	No disponible	

Fuente: Hoja de cálculo. véase Anexos

Utilizaremos el módulo de 325Wp ya que el de 330W se encuentra agotado, por lo que, la cifra de módulos es de 1830.8 unidades por lo que:

El número de módulos para la instalación será de 1,831 unidades.

INVERSOR FOTOVOLTAICO

La potencia de cualquier CSFV está determinada por la potencia nominal del inversor, debido a que es el que suministra la cantidad de energía vertida a la red.

NÚMERO MÁXIMO DE MÓDULOS POR RAMAL (STRING)

A partir del modelo del módulo seleccionado y de los valores de entrada en DC de cualquiera de los dos inversores, las cuales son idénticas. La Figura 8.27, nos indica las condiciones máximas y mínimas que deberemos ajustar en los cálculos.

Figura 8.27 Parámetros de diseño de los módulos. Necesarios para dimensionar el funcionamiento del inversor

ELECTRICAL PARAMETERS					
TYPE	JAP72S01 -310	JAP72S01 -315	JAP72S01 -320	JAP72S01 -325	JAP72S01 -330
Rated Maximum Power at STC (W)	310	315	320	325	330
Open Circuit Voltage (Voc/V)	45,56	45,85	46,12	46,38	46,40
Maximum Power Voltage (Vmp/V)	36,89	37,09	37,28	37,39	37,65
Short Circuit Current (Isc/A)	8,92	9,01	9,09	9,17	9,28
Maximum Power Current (Imp/A)	8,40	8,49	8,58	8,69	8,77
Module Efficiency [%]	15,96	16,22	16,48	16,73	16,99
Power Tolerance (W)	-0~+5W				
Temperature Coefficient of Isc (αIsc)	+0.058%/°C				
Temperature Coefficient of Voc (βVoc)	-0.330%/°C				
Temperature Coefficient of Pmax (γPmp)	-0.410%/°C				
STC	Irradiance 1000W/m ² , Cell Temperature 25°C, Air Mass 1.5				

NOCT					
TYPE	JAP72S01 -310	JAP72S01 -315	JAP72S01 -320	JAP72S01 -325	JAP72S01 -330
Max Power (Pmax) [W]	225.06	228.69	232.32	235.95	239.58
Open Circuit Voltage (Voc) [V]	41.63	41.84	42.04	42.24	42.41
Max Power Voltage (Vmp) [V]	33.87	34.00	34.19	34.37	34.58
Short Circuit Current (Isc) [A]	7.03	7.08	7.14	7.20	7.25
Max Power Current (Imp) [A]	6.65	6.73	6.80	6.87	6.93
Condition	Under Normal Operating Cell Temperature, Irradiance of 800 W/m ² , spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s				

Fuente: Data Sheet del Producto. Véase Anexos

El máximo valor del voltaje de entrada al inversor, responde a la tensión de circuito abierto (Voc), del módulo fotovoltaico cuando la temperatura del mismo es mínima.

Dicha temperatura mínima corresponde con una temperatura ambiente, que empíricamente estableceremos a -10°C y una irradiancia mínima de 100 W/m², ya que son los valores usados habitualmente en esta zona geográfica (Hidalgo, México) y para este tipo de cálculos.

Por otra parte, sabemos que la tensión en circuito abierto (V_{oc}), del módulo fotovoltaico debe ser siempre inferior a la tensión máxima de entrada al inversor, ya que, si por algún motivo el inversor se detiene, se puede dar una tensión en circuito abierto que impida que el inversor arranque.

Es por la razón anterior por lo que el número de celdas por serie o string conectados en serie, se determina mediante el cociente de la tensión máxima de entrada del inversor entre la tensión en circuito abierto del módulo a su temperatura mínima.

La siguiente expresión nos permite obtener la tensión a circuito abierto ($V_{oc(T_{min})}$), del módulo fotovoltaico a la temperatura mínima del mismo.

$$V_{oc(T_{min})} = V_{oc,STC} * (1 + (\beta V_{oc} * (T_{Min} - 25^{\circ}C)))$$

Donde:

- $V_{oc,STC}$: Tensión de circuito abierto del módulo.
- βV_{oc} : Coeficiente de temperatura de tensión de circuito abierto (%/°C).
- T_{Min} : Temperatura mínima ambiente. (-10°C)

Según podemos observar en las hojas de especificaciones del módulo JA SOLAR 72S01 el valor de $V_{oc,STC}$ es 46.38V, mientras que la variación de la tensión es de (-0.330%/°C).

Por lo tanto, el sustituyendo en la expresión anterior obtenemos un valor de:

$$\textbf{Tensión de circuito abierto a la temperatura mínima } V_{oc(T_{min})} = \textbf{51.7480}$$

El número máximo de módulos por ramal es, por lo tanto:

$$N_{m\acute{a}x} = V_{InvMax} / V_{oc(T_{Min})}$$

Donde:

$V_{Inv,m\acute{a}x}$: Valor de tensión máxima de entrada al inversor (V).

$V_{oc(T_{Min})}$: Valor de la tensión en circuito abierto a la temperatura mínima (V).

Si buscamos el valor máximo de entrada de los inversores propuestos en las hojas de características vemos que dicho valor es de 1,000V, con lo que sustituyendo en la expresión anterior obtenemos 19.3244 módulos, los cuales los ajustamos a 19 para asegurarnos que no superamos el valor de la tensión máxima de entrada al inversor.

Número máximo de módulos por ramal $N_{m\acute{a}x} = 19$ módulos

NÚMERO MÍNIMO DE MÓDULOS POR RAMAL (STRING)

Cuando el voltaje en el punto de máxima potencia (MPP), del generador fotovoltaico es inferior al voltaje mínimo de entrada del inversor, éste no podrá seguir el punto de máxima potencia del generador. En el peor de los casos, incluso podría apagarse.

La siguiente ecuación nos proporciona el número mínimo de módulos por ramal el cual está determinado por la tensión mínima de entrada del inversor y por la tensión en el punto de máxima potencia de cada módulo a una temperatura de 70°C.

$$N_{\min} = V_{\text{mppINV}} / V_{\text{mpp}}(T_{\text{máx}})$$

Donde: $Y_{P_{mp}}$

- N_{\min} : Número mínimo de módulos en serie por ramal.
- V_{mppINV} : Tensión mínima de entrada al inversor en V_{mpp} (V).
- $V_{\text{mpp}}(T_{\text{máx}})$: Tensión de máxima potencia del módulo a 70 °C.

El valor de la Tensión de Máxima Potencia del módulo $V_{\text{mpp}}(T_{\text{máx}})$ se calcula de la siguiente manera:

$$V_{\text{mpp}}(T_{\text{máx}}) = V_{\text{mpp}}(\text{STC}) * (1 + Y_{P_{mp}} * (T_{\text{max}} - 25^{\circ}\text{C}))$$

$$V_{\text{mpp}}(T_{\text{máx}}) = 37.39 * (1 + ((-0.0041) * (70^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C})))$$

$$V_{\text{mpp}}(T_{\text{máx}}) = V_{\text{mpp}}(\text{STC}) * (1 + (-0.0041) * (45^{\circ}\text{C}))$$

$$V_{\text{mpp}}(T_{\text{máx}}) = 30.491545 \text{ V}$$

Sustituyendo los valores en la expresión anterior a partir de los datos que nos dan los fabricantes del inversor y de los módulos deducimos:

$$\text{Tensión de máxima potencia del módulo } V_{\text{mpp}}(T_{\text{máx}}) = 30.491545 \text{ V}$$

Y sabiendo que, tensión de entrada mínima del inversor:

$$V_{\text{mín}}(\text{INV}) = 350 \text{ V}$$

Sustituyendo:

$$U_{\text{mín}} = 350 \text{ V} \div 30.491545 \text{ V} = 11.478591$$

Redondeado al número superior siguiente:

Número mínimo de módulos por ramal $N_{min} = 12$ módulos

CONFIGURACIÓN DE INVERSORES

Para el número de strings que nos indican los inversores y de acuerdo a los 1,831 módulos que son necesarios, su distribución puede ser:

Para el inversor de 40K y de acuerdo al número máximo de módulos admisible por String (19 unidades):

- 4 MPPT con 2 Strings cada uno.

Dimensionando para 12 (inversores) x 4 (MPPT) x 2 (Strings) x 19 (módulos) = 1,824 módulos.

Esta configuración, no cumple, esta infra dimensionada.

Ahora dimensionando para el inversor de 50K y de acuerdo al número máximo de módulos admisible por string (19 unidades):

- 4 MPPT con 3 Strings cada uno.

10 (inversores) x 4 (MPPT) x 3 (Strings) x 19 (módulos) = 2,280 módulos

Esta configuración, aunque podría cumplir, esta sobredimensionada.

Podemos apreciar que, por un lado 12 inversores de 40WKp están muy cercanos de los 1,831 módulos, pero son insuficientes, mientras que 10 inversores de 50 KWp rondan los 2,280 módulos, sobrepasan por mucho la potencia requerida, por lo tanto, si combinamos ambas configuraciones de la siguiente manera:

11 inversores de 40 KWp de potencia (440KWp) + 1 inversor de 50 KWp = 490 KWp

La potencia se acerca a los 500KWp, mientras que para los módulos:

11 (Inversores) x 4 (MPPT) x 2 (Strings) x 19 (módulos) = **1,672 módulos**

1 (Inversores) x 4 (MPPT) x 3 (Strings) x 14 (módulos) = **168módulos**

Con esta configuración tenemos un total estimado de **1,840** disponibles de **1,831** módulos necesarios, por lo que esta configuración nos permite balancear de mejor manera la instalación, lo más eficiente es balancear la tensión de salida de los strings del inversor de mayor potencia para ajustarlo a los strings de los de 40 KWp, por lo que

un mejor arreglo y balance para la cantidad de strings disponibles para el inversor de 50 KWp, sería:

MPPT de los Strings del inversor de 40 KWp: Voltaje por String = $19 \times 51.73 \text{ V} = \mathbf{983.21V}$

Para los 4 MPPT y 3 Strings Disponibles del inversor de 50KWp:

MPPT1x 2 Strings x 18 módulos, 36 módulos, Voltaje por String $18 \times 51.73 = \mathbf{931.46V}$

MPPT2 x 2 Strings x 18 módulos, 36 módulos, Voltaje por String $18 \times 51.73 = \mathbf{931.46V}$

MPPT3 x 2 Strings x 18 módulos, 36 módulos, Voltaje por String $18 \times 51.73 = \mathbf{931.46V}$

MPPT4 x 3 Strings x 17 módulos, 51 módulos, Voltaje por String $17 \times 51.73 = \mathbf{879.71V}$

Podemos ver que al balancear los voltajes de los ramales, la diferencia en voltaje varia alrededor de 103.5V, mientras que si se repartieran los módulos faltantes de manera uniforme el voltaje variaría en:

$$\mathbf{13.25 \text{ módulos por String} \times 51.74V = 685.66 \text{ V}}$$

Una variación de **297.49V** respecto al sistema completo. Si bien es cierto, que los inversores pueden manejar dichas variaciones, lo ideal es que todos sus MPPT trabajen a una tensión similar.

En conclusión, la configuración de Inversores será la siguiente:

- **11 inversores de 40 KWp.**
 - **19 módulos por string en 4 MMPT (2/2 Strings por MPPT)**
- **1 inversor de 50 KWp.**
 - **18 módulos por string en 3MMPT (2/3 Strings por MPPT)**
 - **17 módulos por string en 1 MPPT (3/3 String por MMPT)**

NÚMERO DE RAMALES (STRINGS) EN PARALELO

Aunque el número de ramales (strings) lo indican por especificación de los inversores dejándonos sólo la tarea de dimensionar la cantidad de paneles y sus tolerancias Vamos a hacer la demostración teórica de tal calculo para un inversor. La siguiente ecuación nos determina el numero de ramales en paralelo:

$$N_{\text{máx, ramal}} = P_{\text{pGen}} / P_{\text{mpp, ramal}}$$

Donde:

P_{pGen} : Potencia pico del generador (CSFV)

$P_{mpp,ramal}$: Potencia pico de un ramal (String)

Sabemos que el número de módulos en serie por string estará comprendido entre 17 y 19, como referencia, para la línea de inversores de 40KWp usaremos total de 19 módulos en serie por String. Por lo tanto, la potencia PPMP, ramal = 19 módulos · 325 (W/módulo) = 6,175W Como podemos ver en la del subgrupo que denominaremos Sub_{40KW} es de 40,000 Wp con lo que si sustituimos en la expresión anterior obtenemos un total de 6.4777 ≈ 7 ramales en paralelo. Sin embargo, hemos de instalar 8 ramales.

El número de ramales en paralelo además debe cumplir que:

$$N_{ramales} \cdot I_{Scramal} \leq I_{máxInversor}$$

Donde:

$I_{Scramal}$: Corriente de cortocircuito máxima por un ramal

$I_{máxInversor}$: Corriente máxima admisible de entrada del inversor

La corriente de cortocircuito máxima de cada ramal se produce cuando el módulo trabaja a la temperatura máxima (70 °C), y se calcula mediante a variación de intensidad respecto a la temperatura:

$$I_{CCramal (70^{\circ}C)} = I_{CCramal (STC)} + (T_{máx} - 25^{\circ}C) \cdot \Delta I$$

Donde:

ΔI : Variación de intensidad respecto a la temperatura (A/°C) = 0.058%/°C (Tablas del producto)

Sustituyendo:

$$I_{CC ramal (85^{\circ}C)} = (8.69) + (70^{\circ}C - 25^{\circ}C) \cdot (0.058)$$

$$I_{CC ramal (70^{\circ}C)} = 8.9293 A$$

Introduciendo este valor en la expresión

$$N_{ramales} \cdot I_{Scramal} \leq I_{máxInversor}$$

y el valor de la corriente máxima de entrada del inversor, el cual lo encontramos en las hojas de características del mismo:

$$8 \text{ ramales} \times 8.9293 A \leq (18+18+18+18) A_{dccc}$$

$$\mathbf{71.434A \leq 72A}$$

con lo que vemos que se cumple, ya que estamos dentro de los valores admisibles.

DISTRIBUCIÓN DE SERIES

Ya hemos determinado las tolerancias, distribución y dimensiones de los inversores a través de sus ramales, por lo que ahora realizaremos el arreglo para su conexión: la configuración de Inversores será:

11 inversores de 40K y 1 Inversor de 50K.

A partir de los siguientes valores.

1. Parámetros eléctricos del panel JAP72S01-325, Tabla 8.3

Tabla 8.3 Valores estándar del módulo, a partir de estos realizaremos las correcciones de valores máximos y mínimos de funcionamiento.

Tipo Panel:	JAP72-S01-325	JA SOLAR
Pmpp:	325	W
Vmpp:	37.39	V
Imp:	8.69	A
Voc:	46.38	V
Isc:	9.17	A
%Voc/C:	-0.33	%
%Isc/C:	0.058	%

Fuente: Data Sheet del módulo. Véase Anexos

2. Parámetros eléctricos del inversor Solis-40K-US-F, Tabla 8.4

Tabla 8.4 Valores estándar del inversor, a partir de estos realizaremos las correcciones de valores máximos y mínimos de solicitud.

Tipo Inversor:	Solis-40K-US-F	Solis
V Máx.	1000	V
V Mín.	350	V
Vmpp Mín.	200	V
Vmpp Máx.	800	V
N.º Mpp	4	
N.º strings/Mpp	2	
I Máx./Mpp1/Mpp2	18	A
I Máx.	72	A

Fuente: Data Sheet del producto. Véase Anexos

3. Parámetros eléctricos del inversor Solis-50K-US-F. Tabla 8.5

Tabla 8.5 Valores estándar del inversor, a partir de estos realizaremos las adaptaciones de valores máximos y mínimos de solicitud.

Tipo Inversor:	Solis-50K-US-F	Solis
V Máx.	1000	V
V Mín.	200	V
Vmpp Mín.	200	V
Vmpp Máx.	850	V
N.º Mpp	4	
N.º strings/Mpp	3	
I Máx./Mpp1/Mpp2	28.5	A
I Máx.	114	A

Fuente: Data Sheet del producto. Véase Anexos

4. Rango de temperaturas de funcionamiento consideradas. Tabla 8.6

Tabla 8.6 El rango de temperatura determina el funcionamiento del inversor bajo las condiciones máximas y mínimas del módulo.

Temp. STC	25	C
Temp. Mín.	-10	C
Temp. Máx.	70	C

Fuente: Data Sheet del producto. Véase Anexos

Con ese rango de temperaturas de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$, los parámetros del panel pasan a tener los valores mínimos y máximos que expone la Tabla 8.7

Tabla 8.7 Tensiones de circuito abierto en rangos de temperatura máxima y mínima.

Voc (T.Mín.)	51.73689	V
Voc (T.Máx.)	39.49257	V
Vmpp (T.Mín.)	42.74689	V
Vmpp (T.Máx.)	30.50257	V
Imp (T.Máx.)	8.929337	A

Fuente: Hoja de cálculo del proyecto. Véase Anexos

CONFIGURACIÓN TIPO 1

Se aplica a los 11 inversores Solis-40K-US-F. Se le conectan a cada inversor 8 series de 19 paneles cada una. Se conectan 2 series a cada uno de los 4 MPPT que tiene el inversor. Las tensiones y corrientes que recibe el inversor, de esas series de paneles son las siguientes:

Tabla 8.8 Valores de sollicitación al inversor en rangos de temperatura máxima y mínima.

Nº strings	2	
MPPT	4	
Paneles/string	19	
Voc (T.Mín.)	983.00091	V
Voc (T.Máx.)	750.35883	V
Vmpp (T.Mín.)	812.19091	V
Vmpp (T.Máx.)	579.54883	V
Impp (T.Máx.)	17.858674	A

Fuente: Hoja de cálculo de proyecto. Véase Anexos

Como se observa, dichos valores de las series de paneles para temperaturas comprendidas entre $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$, se mantienen dentro del rango de parámetros admitido por el inversor, por lo que es una configuración correcta entre paneles e inversores y, por lo tanto, la Tabla 8.9 muestra la distribución de módulos.

Tabla 8.9 Determinación de la cantidad de módulos en los 11 inversores de 40K

INVERSOR	MODELO	MPP	A		B		C		D		TOTAL
1	Solis-40K	SERIE	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.7	152
		No. PANELES	19	19	19	19	19	19	19	19	
2	Solis-40K	SERIE	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.7	152
		No. PANELES	19	19	19	19	19	19	19	19	
3	Solis-40K	SERIE	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.7	152
		No. PANELES	19	19	19	19	19	19	19	19	
4	Solis-40K	SERIE	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.7	152
		No. PANELES	19	19	19	19	19	19	19	19	
5	Solis-40K	SERIE	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.7	152
		No. PANELES	19	19	19	19	19	19	19	19	
6	Solis-40K	SERIE	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.7	152
		No. PANELES	19	19	19	19	19	19	19	19	
7	Solis-40K	SERIE	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.7	152
		No. PANELES	19	19	19	19	19	19	19	19	
8	Solis-40K	SERIE	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.6	8.7	8.7	152
		No. PANELES	19	19	19	19	19	19	19	19	
9	Solis-40K	SERIE	9.1	9.2	9.3	9.4	9.5	9.6	9.7	9.7	152
		No. PANELES	19	19	19	19	19	19	19	19	
10	Solis-40K	SERIE	10.1	10.2	10.3	10.4	10.5	10.6	10.7	10.7	152
		No. PANELES	19	19	19	19	19	19	19	19	
11	Solis-40K	SERIE	11.1	11.2	11.3	11.4	11.5	11.6	11.7	11.7	152
		No. PANELES	19	19	19	19	19	19	19	19	

Fuente: Hoja de cálculo del proyecto. Véase Anexos

CONFIGURACIÓN TIPO 2

Se aplicará al inversor Solis-50K-US-F. Se le conectan 6 series de 18 paneles cada una. Se conectan 2 series a tres de los cuatro MPPT que tiene el inversor. Las tensiones y corrientes que recibe el inversor, de esas series de paneles, se muestran en la Tabla 8.10

Tabla 8.10 Distribución de paneles para el inversor 12 de 50K en 3 MPPT.

Nº strings	2	
MPPT	3	
Paneles/string	18	
Voc (T.Mín.)	931.26402	V
Voc (T.Máx.)	710.86626	V
Vmpp (T.Mín.)	769.44402	V
Vmpp (T.Máx.)	549.04626	V
Impp (T.Máx.)	17.858674	A

Fuente: Hoja de cálculo del proyecto. Véase Anexos

Los valores de las series de paneles para temperaturas comprendidas entre -10 °C y +70 °C, se mantienen dentro del rango de parámetros admitido por el inversor, se admite la configuración.

CONFIGURACIÓN TIPO 3

Se aplica al inversor Solis-50K-US-F. Se le conectan 3 series de 17 paneles cada una. Se conectan esas 3 series al cuarto MPPT del inversor. Las tensiones y corrientes que recibe el inversor, de esas series de paneles, se muestran en la Tabla 8.11

Tabla 8.11 Distribución de paneles para el inversor 12 de 50K en 1 MPPT.

Nº strings	3	
MPPT	1	
Paneles/string	17	
Voc (T.Mín.)	879.52713	V
Voc (T.Máx.)	671.37369	V
Vmpp (T.Mín.)	726.69713	V
Vmpp (T.Máx.)	518.54369	V
Impp (T.Máx.)	26.788011	A

Fuente: Hoja de cálculo del proyecto. Véase Anexo

Las series de paneles para temperaturas comprendidas entre -10 °C y +70 °C, se mantienen dentro del rango de parámetros admitido y su distribución será la mostrada en la Tabla 8.12

Tabla 8.12 Configuración del inversor 12 de 50K

INVERSOR	MODELO	MPP	A		B		C		D			TOTAL
12	Solis-50K	SERIE	12.1	12.2	12.3	12.4	12.5	12.6	12.7	12.8	12.9	
		No. PANELES	18	18	18	18	18	18	17	17	17	159

Fuente: Hoja de cálculo del proyecto. Véase Anexos

En resumen, se distribuirán de la siguiente manera:

Para los 11 inversores de 40KWp

Inversores (No. 1-11) de 40KWp con 4 seguidores de punto de máxima potencia con 2 string en paralelo cada uno, 8 series de 19 módulos y máxima entrada de 8.92 A por string (ramal) y 17.8586 A por MPPT.

Inversor (No. 12) de 50K con 3 seguidores de punto de máxima potencia con 2 string en paralelo cada uno, 6 series de 18 módulos 8.92A por string y máxima entrada de 17.8586A por MPPT.

Inversor (No. 12) de 50K con 1 seguidor de punto de máxima potencia con 3 string en paralelo, 3 series de 17 módulos 8.92A por string y máxima entrada de 26.788 por MPPT.

SECCIÓN DEL CABLE EN DC (PANELES FOTOVOLTAICOS → INVERSORES)

El cableado de corriente continua que se va a utilizar, es cable unipolar solar especial para fotovoltaica, de cobre estañado y doble aislamiento de 1.8 kV. La siguiente ecuación permite calcular la sección del cable (S_{dc}) mínima requerida en la NOM-001-SEDE2012, para no superar la caída de tensión $\Delta V=3.0\%$, que se producirá en una línea con corriente continua

$$S_{dc} = \frac{2 \cdot L_{dc} \cdot I_{dc}}{\Delta V(\%) \cdot V_{mpp} \cdot k} = \frac{2 \cdot L_{dc} \cdot I_{dc}^2}{\Delta V(\%) \cdot P_{dc} \cdot k}$$

Donde:

- L_{dc} : Longitud del tramo en estudio.
- I_{dc} : Corriente máxima de la serie que en este caso sería la corriente de cortocircuito (I_{cc}).
- V_{mpp} : Tensión de máxima potencia en condiciones nominales.
- P_{dc} : Potencia nominal de la rama fotovoltaica en condiciones STC
- K : Conductividad eléctrica del cobre a 20°C = 56m/(Ωxmm²).

Se realizará el cálculo hasta el punto más lejano, el cual es de 167 m hasta la serie de paneles No.12.7 correspondiente al inversor número 12 y su serie número 7.

Por lo que, sustituyendo:

$$S_{dc} = [(2) \times (167\text{m}) \times (8.9293\text{ A})] / [(3.0\%) \times (518.54369\text{ V}) \times (56\ \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m})]$$

Por lo tanto:

$$S_{dc} = 3.4234\text{mm}^2 \rightarrow 4\text{mm}^2$$

Para verificar la caída de tensión según la sección de cable, se usa la siguiente fórmula:

$$C_{dt} = \frac{2 * L * I_n}{S * k}$$

Donde:

- C_{dt} (ΔV): Caída de tensión en voltios (V).
- L: Longitud del conductor en metros (m).
- I_n : Intensidad nominal de la corriente en amperios (A).
- S: Sección del conductor en milímetros cuadrados (mm^2).
- k: Constante de conductividad del material (56 para cobre, 35 para aluminio).

Sustituyendo:

$$C_{dt} = (2 \times 167\text{m} \times 8.9293\text{ A}) / (4\text{mm}^2 \times 56\ \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m})$$

$$\text{Caída de tensión} = 2.5256\%$$

En los tramos más cortos de las series de 25m la caída se reduce hasta en un 0.38%

El calibre de 4mm^2 , se utilizará en toda la instalación de DC (paneles hasta inversores).

DISTRIBUCIÓN DE INVERSORES

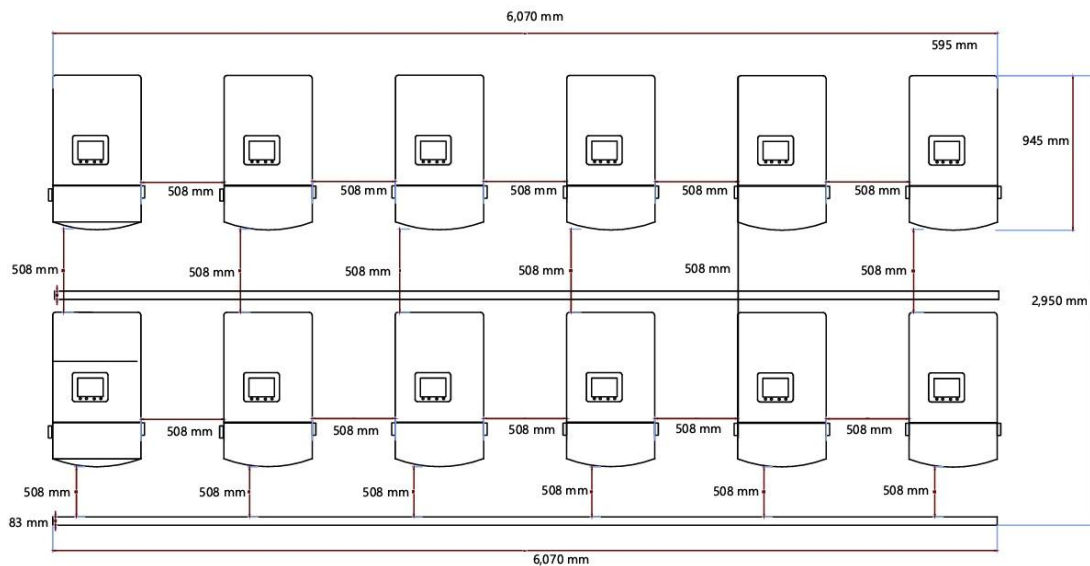
La compañía solicitó de manera puntual la división de las cargas de generación eléctrica se distribuyeran en el bus de 440V y 480V de la subestación de manera que sus cargas se mantuvieran balanceadas.

Por lo tanto, el sistema se distribuirá en dos partes, por un lado 6 inversores de 40KWp en el bus de 480 V y 5 inversores de 40 KWp + 1 inversor de 50KWp en el bus de 440 V. Por lo tanto, las cargas se concentrarán en dos grupos.

Se instalarán cumpliendo los requerimientos de instalación del fabricante, se colocarán a 508 mm de distancia tanto por arriba como por su parte inferior.

El lugar designado es una pared orientada al sur y que se encuentra a 15 metros del transformador de 500 KVA, con un área de 8 x 3.5 m de altura. El arreglo queda de la como se muestra en la Figura 8.28

Figura 8.28 Distribución y arreglo de inversore en sala eléctrica de subestación, los acotamientos en la distribución cumplen con las especificaciones del fabricante.



Fuente: Archivo propio

Según las Normas de Construcción Aérea de la CFE y la NOM-001-SEDE-2012, En baja tensión (0-750V), la separación mínima entre conductores en paralelo (ida y vuelta), debe ser de al menos 3 cm y separados en canalizaciones distintas. Se ha implementado una escalerilla doble para los cables de DC que llegan y otra para los cables de AC que van hacia el tablero de protecciones, manteniendo una separación vertical de 30.5 cm.

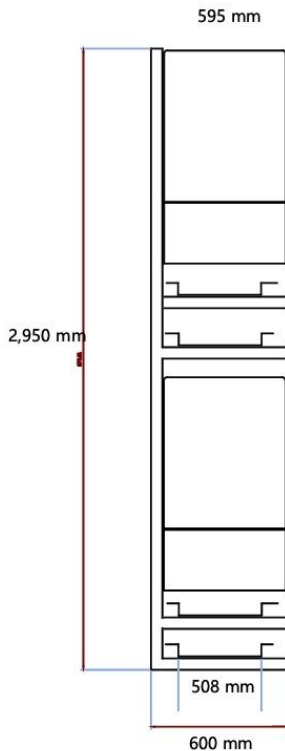


Figura 8.29 Vista de perfil de la distribución de los inversores en sala eléctrica, los acotamientos en la distribución cumplen con las especificaciones del fabricante.

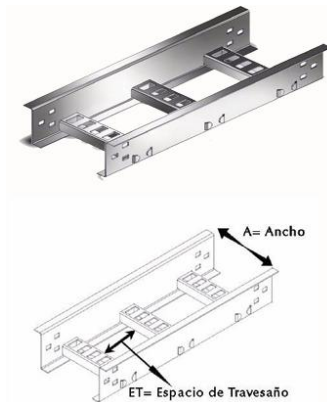
Fuente: Archivo propio.

La escalerilla que se utilizará para el transporte de cables de DC y AC será de la marca Chalumex de 20" de ancho y 3 ¼" de peralte, y se utilizará en toda la zona de inversores y punto de interconexión. Cuenta con las siguientes certificaciones.

- NEC: Código Eléctrico Nacional.
- CSA: Asociación de Normas Canadienses.
- NEIS: Normas de Instalación Eléctrica Nacional equivalente a NEMA VE1.
- NEMA VE1: Norma de la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (asociado con CSA) para Sistemas de Porta cables de Metal.
- NEMA VE2: Norma de la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos para Guías de Instalación de Charola tipo mallas.
- IEC 61537: Norma Internacional para Contratistas Electrotécnicos para Sistemas de Charola tipo malla y Sistemas de Escaleras de Cables para la Administración de Cables.
- IEC 60204: Norma Internacional para Contratistas Electrotécnicos para Seguridad de Maquinaria/Equipos Eléctricos con Maquinaria.
- NFPA 79: Norma de la Asociación Nacional de Protección contra Incendios; equivalente a IEC 60204.

- NFPA 70: Norma de la Asociación Nacional de Protección contra Incendios; equivalente a NEC.
- NOM-001: Norma Oficial Mexicana.

Figura 8.30 Escalerilla de transporte de cableado AC-DC en sala eléctrica.



Fuente: Catálogo de productos Chalumex. Véase Anexo

SECCIÓN DEL CABLE EN AC

Los cables de corriente alternan que se van a utilizar son cables libres de halógenos RZ1-K 0.6/1kV. Para su cálculo se han tenido en cuenta la energía a transportar y la distancia a recorrer por la corriente eléctrica de manera que la caída de tensión sea inferior al 1.5%. Para calcular la sección (S_{ac}) mínima requerida, utilizaremos la siguiente ecuación, la cual, determinará la sección de cable requerida para no superar la caída de tensión $\Delta V=1,5\%$ relativa a la tensión nominal de la red, que se producirá en el cableado de una instalación en corriente alterna trifásica:

$$S_{ac} = \frac{\sqrt{3} \cdot L_{ac} \cdot I_{nac} \cdot \cos\phi}{\Delta V \cdot V_{nom} \cdot k}$$

Donde:

- L_{ac} : Es la longitud del tramo en estudio.
- I_{nac} : Es la corriente nominal en alterna del inversor.
- U_n : Es la tensión nominal de red (127V / 220V en monofásica y 480V en trifásica).
- κ : Es la conductividad eléctrica del cobre que es a 20°C 56m/(Ω xmm²).
- $\cos\phi$: Es el factor de potencia.

SECCION 1. INVERSORES→TABLERO DE PROTECCIONES

Para la sección de corriente alterna que sale de los inversores y pasa por los mecanismos de protección se tiene una distancia máxima de 10 metros incluyendo cambios de dirección y cocas.

Se dimensionará a partir de obtener menos de 1.5% de caída de tensión para cumplir con la NOM-001-SEDE-2012.

Por lo tanto, para la sección de cable y sustituyendo en la fórmula para el grupo de inversores 480V:

$$S_{ac} = (\sqrt{3} \cdot 13m \cdot 48.1A \cdot 0.99) / (0.015 \cdot 480V \cdot 56 \Omega \cdot mm^2)$$

$$S_{ac} = 2.65 \text{ mm}^2 \approx 4 \text{ mm}^2 \text{ (Cal 12 AWG)}$$

La caída de tensión con este calibre se calcula de la siguiente manera:

$$C_{dt} = \frac{\sqrt{3} \cdot L_{ac} \cdot I_{nac} \cdot \cos\phi}{S_{ac} \cdot k}$$

Sustituyendo S_{ac} :

$$C_{dt} = (\sqrt{3} \times 13m \times 48.1 \text{ A}) / (4 \text{ mm}^2 \times 56 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m})$$

$$C_{dt} = 0.9972\%$$

Con este calibre de cable estamos dentro de la Norma, sin embargo, por experiencia sabemos que más adelante al momento de realizar las determinaciones de las protecciones, tendremos que considerar la ampacidad a una temperatura determinada y es cuando los calibres se disparan, sabemos que a partir de una caída de tensión del 2%, nos proporcionará el cable indicado, probaremos qué caída de tensión nos proporciona un calibre de cable de 4 AWG.

$$S_{ac} = (\sqrt{3} \cdot 13m \cdot 48.1A \cdot 0.99) / (0.002 \cdot 480V \cdot 56 \Omega \cdot mm^2)$$

$$S_{ac} = 19.9445 \text{ mm}^2 \approx 20 \text{ mm}^2 \text{ (Cal 4 AWG)}$$

Sustituyendo S_{ac} :

$$C_{dt} = (\sqrt{3} \times 13m \times 48.1 \text{ A}) / (20 \text{ mm}^2 \times 56 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m})$$

$$C_{dt} = 0.2258\%$$

Ahora para el grupo de 440 V y una caída de 0.25%:

$$S_{ac} = (\sqrt{3} \cdot 13m \cdot 60.2A \cdot 0.99) / (0.002 \cdot 440V \cdot 56 \Omega \cdot mm^2)$$

$$S_{ac} = 21.7848 \text{ mm}^2 \approx 22 \text{ mm}^2 \text{ (Cal 4 AWG)}$$

La caída de tensión con este calibre se calcula de la siguiente manera:

$$C_{dt} = \frac{\sqrt{3} \cdot L_{ac} \cdot I_{nac} \cdot \cos\phi}{S_{ac} \cdot k}$$

Sustituyendo S_{ac} :

$$C_{dt} = (\sqrt{3} \times 13 \text{ m} \times 60.2 \text{ A}) / (22.1 \text{ mm}^2 \times 56 \text{ } \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m})$$

$$C_{dt} = 0.2464\%$$

Verificamos que cumple, sustituyendo S_{ac} :

$$C_{dt} = (\sqrt{3} \times 13 \text{ m} \times 60.2 \text{ A}) / (16 \text{ mm}^2 \times 56 \text{ } \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m})$$

$$C_{dt} = 0.2719\%$$

El cable Cal.4 AWG se utilizará en la conexión de los dos grupos de inversores al tablero de protecciones en todas sus fases, neutro y tierra.

SECCION 2. TABLERO DE PROTECCIONES → PUNTO DE INTERCONEXIÓN (TRANSFORMADOR 500KVA)

La sección de corriente alterna que sale de los inversores y pasa al tablero, lleva 5 cables Cal. 4 AWG cada uno y se distribuyen en dos grupos, una para el bus de 440V y otra para el bus de 480V. Los cables de fases y neutro de AC de cada inversor pasan por las protecciones y posteriormente distribuyen a un concentrador de fases y neutro según sea y el cable de tierra de los inversores a la masa del tablero que a su vez al se conecta al sistema de tierras de la fábrica.

A continuación, calcularemos el cable para la interconexión al transformador a partir del concentrador.

GRUPO 1

AC DE INVERSORES PARA EL BUS DE 480 V

La corriente total que saldrá de cada concentrador cuando se conectan 6 líneas de AC de un inversor trifásico de 480 V será la suma directa de corrientes por fase, ya que el

concentrador agrupa las salidas en paralelo, mientras que el voltaje será el mismo. El punto de interconexión se encuentra a 25 metros del tablero.

Por otro lado, las salidas por fase según salida del inversor son los mostrados en la Tabla 8.13

Tabla 8.13 Valores de funcionamiento de los inversores.

Valores AC		SOLIS-40k-US-F	SOLIS-50k-US-F
POTENCIA NOMINAL DE SALIDA	W	40,000	50,000
POTENCIA MAXIMA DE SALIDA CONTINUADA	W	44,000	50,000
VOLTAJE NOMINAL DE LA RED	V	480	480
RANGO DE VOLTAJE DE OPERACIÓN	V	422.4-528	422.4-528
FASE DE OPERACIÓN		3	3
CORRIENTE MÁXIMA DE SALIDA (FASE)	A	48.1	60.2
DISPOSITIVOS DE PROTECCION DE SOBRECORRIENTE MAXIMOS	Amps	60	80
RANGO DE FACTOR DE POTENCIA DE SALIDA		1 Default, 0.8 inductivo, 0.8 capacitivo	2 Default, 0.8 inductivo, 0.8 capacitivo
TDH ENTREGADA A LA RED	%	<3	<3
CORRIENTE CONTINUA RESIDUAL	A	<50	<50
RANGO DE FRECUENCIA DE OPERACIÓN	Hz	59.5 - 60.5	59.5 - 60.5

Fuente: Data Sheet del producto. Véase Anexo

La salida por fase es:

$$V_{SalInv} = 480 \text{ V}$$

$$S_{Fase} = 48.1 \text{ A} \times 6 \text{ inversores} = 288.6 \text{ A}$$

GRUPO 2

AC DE INVERSORES PARA EL BUS DE 440 V.

$$V_{SalInv} = 440 \text{ V}$$

$$S_{Fase} = (48.1 \text{ A} \times 5 \text{ inversores}) + (60.2 \times 1 \text{ inversor}) = 300.7 \text{ A}$$

De acuerdo a las tablas de la NOM-001-SEDE-2012, determinamos el calibre del cable que cumpla con estos dos valores de ampacidad (Tabla 8.14).

Tabla 8.14 La tabla de la siguiente página, nos muestra las Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones hasta 2000 volts y 60 °C a 90 °C. No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o directamente enterrados, basados en una temperatura ambiente de 30 °C*

Tamaño o designación		Temperatura nominal del conductor [Véase la tabla 310-104(a)]					
		60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C
mm ²	AWG o kcmil	TIPOS TW, UF	TIPOS RHW, THHW, THHW-LS, THW, THW-LS, THWN, XHHW, USE, ZW	TIPOS TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, MI, RHH, RHW-2, THHN, THHW, THHW-LS, THW-2, THWN-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	TIPOS UF	TIPOS RHW, XHHW, USE	TIPOS SA, SIS, RHH, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2
		COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE		
0.824	18"	—	—	14	—	—	—
1.31	16"	—	—	18	—	—	—
2.08	14"	15	20	25	—	—	—
3.31	12"	20	25	30	—	—	—
5.26	10"	30	35	40	—	—	—
8.37	8	40	50	55	—	—	—
13.3	6	55	65	75	40	50	55
21.2	4	70	85	95	55	65	75
26.7	3	85	100	115	65	75	85
33.6	2	95	115	130	75	90	100
42.4	1	110	130	145	85	100	115
53.49	1/0	125	150	170	100	120	135
67.43	2/0	145	175	195	115	135	150
85.01	3/0	165	200	225	130	155	175
107.2	4/0	195	230	260	150	180	205
127	250	215	255	290	170	205	230
152	300	240	285	320	195	230	260
177	350	260	310	350	210	250	280
203	400	280	335	380	225	270	305
253	500	320	380	430	260	310	350
304	600	350	420	475	285	340	385
355	700	385	460	520	315	375	425
380	750	400	475	535	320	385	435
405	800	410	490	555	330	395	445
456	900	435	520	585	355	425	480
507	1000	455	545	615	375	445	500
633	1250	495	590	665	405	485	545
760	1500	525	625	705	435	520	585
887	1750	545	650	735	455	545	615
1013	2000	555	665	750	470	560	630

Fuente: NOM-001-SEDE-2012 (SECRETARÍA DE ENERGÍA, 2012)

El cable 350 kcmil cumple con las características de voltaje y transporte de corriente que se necesita, ya que este cable soporta hasta 600V y puede transportar hasta 310A en condiciones de 75°C.

Ahora calcularemos la caída de tensión hasta el punto de interconexión con este cable, que según tablas tiene una sección de 177 mm².

La caída de tensión se calcula de la siguiente manera:

$$Cdt = \frac{\sqrt{3} \cdot Lac \cdot Inac \cdot \cos\phi}{Sac \cdot k}$$

Donde:

- Lac: Es la longitud del tramo en estudio en m.
- Inac: Es la corriente nominal en alterna máxima que transportará el cable en A.
- κ : Es la conductividad eléctrica del cobre que a 20°C es 56m/(Ω mm²).
- Cos ϕ : Es el factor de potencia (0.99).

Sustituyendo para el grupo 1:

$$Cdt = (\sqrt{3} \times 25m \times 288.6 A \times 0.99) / (177mm^2 \times 56 \Omega \cdot mm^2/m)$$

$$\mathbf{Cdt = 0.3275\%}$$

Sustituyendo para el grupo 2:

$$Cdt = (\sqrt{3} \times 25m \times 300.7 A \times 0.99) / (177mm^2 \times 56 \Omega \cdot mm^2/m)$$

$$\mathbf{Cdt = 0.3128\%}$$

El cable cumple con los requisitos de ampacidad, caída de tensión y voltaje en Baja Tensión.

El cable de corriente alterna a instalar para el transporte de AC, de tableros de protección a Transformador será de calibre 350 kcmil, 600V (BT)

DISTRIBUCIÓN DE PANELES

Los criterios de distribución de paneles son los siguientes:

- Paneles con inclinación de 15° sobre las dos aguas de la nave principal (zonas 1, 2 y 3)
- Paneles sin inclinación en faldones (coplanares), cuya orientación esta hacia el sur y mantienen una inclinación de 10° (zona 4).
- Paneles sin inclinación (coplanares) en nave contigua y con caída de agua norte sur e inclinación a 10°. (Zona 5).
- Separación de paneles inclinados con separación que evite sombra entre los mismos y que no obstaculicen a los domos de luz existentes.

- Distribución de paneles que mantengan series de entre 17 a 19 módulos en cada fila.
- Evitar la sombra que proyecta la banda transportadora aérea sobre la nave contigua en la mayor medida de lo posible.

De esta manera la propuesta es la mostrada en la Figura 8.31

Figura 8.31 Propuesta de distribución de módulos sobre la cubierta en 5 áreas



Fuente: Archivo propio.

Los paneles coplanares en zona 4 y 5 pueden ir ordenados uno tras de otro de forma coplanar, mientras que en la zona 5 deberán tener una disposición triangular (vista en planta), debido a la sombra de la banda, (se puede apreciar la sombra y el ángulo formado en la esquina superior de la fotografía aérea).

Zonas 1, 2 y 3

La separación de los paneles con inclinación, de la zona 1, 2 y 3, se determinará a continuación. La distancia D se obtiene mediante la siguiente fórmula:

Distancia entre filas:

$$D=d_1+d_2$$

$$H=L*\text{sen}\beta \quad \text{y} \quad d_2=L*\text{cos}\beta$$

$$d_1= H/\text{tan}\delta$$

Donde:

- L: longitud del módulo solar FV: 1.96 m
- A: Ancho del módulo: 0.991 m
- β : Ángulo de inclinación propuesto: 15°
- latitud del sitio: 19°
- δ =Ángulo solar más restrictivo: $\delta= 61^\circ - \text{latitud del sitio}$

Por lo tanto:

$$H = 1.96\text{m} \times \text{sen} (15^\circ) = 0.5072 \approx 0.51 \text{ m}$$

$$d_2 = 1.96\text{m} \times \text{cos} (15^\circ) = 1.8932 \text{ m} \approx 1.9\text{m}$$

$$\text{tan}\delta= 61^\circ - 19^\circ = 42^\circ$$

$$d_1 = 0.51 / \text{tan} (42^\circ) = 0.5633 \approx 0.57 \text{ m}$$

$$\mathbf{D = 2.456 \text{ m} \approx 2.46}$$

Las filas en la zona inclinada (zona 1 y 2), deberán disponerse en separación de 2.46m a partir del desplante de cada fila de paneles.

Ahora determinaremos cuantas filas pueden caber en la extensión de la nave. El largo de la fábrica es de 103.3 m de área de producción y 11.6 de áreas de oficinas de 11.6, por lo que se dispone de una longitud de 114.9m.

Entonces:

$$114.9 / 2.46 = 46.7 \text{ Filas}$$

Podemos colocar hasta 46 filas, pero habrá que considerar los espacios donde, por coincidir los desplantes con tragaluces o cualquier otro objeto, tendremos que recorrer las filas.

El ancho de las dos aguas de la zona 1, que no abarcan la cumbrera es de 40m (2x 20m) por lo que cada zona puede albergar:

$$20 \text{ m} / 0.991 \text{ m} = 20.18 \text{ Columnas} \approx 20 \text{ Columnas.}$$

La zona 2

Estas 4 pequeñas zonas cuentan con ancho de 3.3m, por lo que se pueden colocar

$$3.3 \text{ m} / 0.991 \text{ m} = 3.32 \text{ columnas} \approx 3 \text{ columnas}$$

Dado que son 4 áreas, por tanto:

$$\mathbf{3 \text{ columnas} \times 4 \text{ áreas} = 12 \text{ columnas}}$$

Después de considerar todas las cotas en planos (los planos se muestran en los anexos), se encuentra que se pueden colocar 43 filas de paneles en la nave principal. Las columnas se determinarán mediante simulación de sombras con Diseño Asistido por Computadora. Los planos finales se muestran en los anexos.

Para la zona 3

Se trata de un área de 60.5 m de longitud por 7.32 m de ancho.

Por lo que:

$$\mathbf{60.5 \text{ m} / 2.46 \text{ m} = 24.59 \text{ Filas} \approx 24 \text{ Filas}}$$

$$\mathbf{7.32 \text{ m} / .991 \text{ m} = 7.38 \text{ columnas} \approx 7 \text{ columnas}}$$

Zona 4

Al ser coplanar y con inclinación sur, se pueden disponer de los paneles que hagan falta en estas las 3 zonas principales, con la salvedad de su colocación triangular por la sombra de la banda.

Zona 5

Zona coplanar con inclinación sur, se pueden disponer de los paneles que hagan falta de las 3 zonas principales

Después de ponderar las sombras aledañas, objetos, cumbreras, pararrayos y demás objetos que pudiesen ocasionar sombras. La disposición final después de simulación y reacomodo de filas y columnas es la mostrada en la Figura 8.32

ESTRUCTURA

La estructura cumple con las certificaciones UL y IEC, se construye a partir de las especificaciones de distribución en cubierta y el proceso es propio de la compañía a la que se lo solicita. En esta sección sólo determinaremos las capacidades de carga, el peso asociado a la estructura en conjunto con los módulos y sus cargas dinámicas asociadas, para así determinar las cargas de servicio y si cumplen dentro de los parámetros permisibles de la nave.

Para ello determinaremos las características de peso de los elementos, sus cargas estáticas y, dinámicas por viento y sismo.

- Carga de servicio en la techumbre de la nave 80 kg/m^2
- Peso del Módulo: 23 kg /Ud.
- Peso de la estructura: $1,860 \text{ gr/m}^2$
- Peso del anclaje e impermeabilización: 270 gr/m^2 (4 tornillos de 50 gr + impermeabilizantes).

Por lo tanto, peso del módulo por m^2 :

$$23 \text{ kg} / (1.96\text{m} \times 0.991\text{m}) = 11,842 \text{ gr/m}^2 = 11.84 \text{ kg/m}^2$$

Peso total del generador + estructura + fijación por m^2 :

$$11.84 + 1.86 + 0.270 = 13.97 \text{ kg/m}^2$$

CARGA DE VIENTO

Según fórmula general de presión dinámica del viento (q):

$$q = 0.5 \cdot \rho \cdot V^2$$

Datos del municipio en Hidalgo.

- $\rho = 1.19 \text{ kg/m}^3$
- $V = 70 \text{ Km/h} = 19.444 \text{ m/s}$ (Récord)

$$q = (0.5) \times (1.19 \text{ kg/m}^3) \times (19.444 \text{ m/s})^2 = 238 \text{ Kg} \cdot \text{m/s}^2 = 238 \text{ N}$$

Carga sobre el módulo.

La carga/fuerza de viento sobre el área expuesta se calcula como:

$$F = q \cdot A \cdot C_p$$

Datos:

- F = fuerza total del viento (N)
- $A_{\text{módulo}} = 1.94236 \text{ m}^2$
- C_p = coeficiente de presión aerodinámica (depende de la inclinación; para 15° suele estar entre 0.9 y 1.2). El coeficiente C_p depende de la inclinación:
 - 0° (horizontal): ≈ 0.8
 - 15° (caso actual): $\approx 1.0 - 1.2$
 - 30° : $\approx 1.3 - 1.5$

Para inclinación de 15° tomaremos $C_p=1.1$.

$$F = (238 \text{ Kg}\cdot\text{m/s}^2) \times (1.94236 \text{ m}^2) \times (1.1)$$

$$F = 508.5 \text{ N} = 51.8 \text{ Kg}$$

La carga de viento incide en el panel a 15° por lo que su carga de empuje lateral y axial serán:

Carga lateral (componente en Y):

$$F_y = F \cdot \text{sen}15^\circ = 13.416 \text{ Kg/m}^2$$

Carga Axial (componente en X):

$$F_x = F \cdot \text{cos } 15^\circ = 50.06 \text{ kg/m}^2$$

CARGA POR SISMO

Peso propio del módulo y estructura de soporte:

$$W_{\text{Mód/Est}} = 13.97 \text{ kg/m}^2 \cdot 9.81 \approx 137 \text{ N}$$

Aceleración sísmica de diseño.

La NTC-Sismo define un coeficiente sísmico (C_s) que depende de la zona sísmica y del tipo de suelo.

- E se encuentra en zona sísmica C (riesgo intermedio-alto).
- Coeficiente sísmico de la zona: $C_s \approx 0.25 \text{ g}$

Aceleración sísmica:

$$a_s = C_s \cdot g$$

Donde

- $g = 9.81 \text{ m/s}^2$.

La aceleración sísmica de diseño es:

$$a_s = 0.25 \cdot 9.81 \approx 2.45 \text{ m/s}^2$$

La carga sísmica se calcula como:

$$F_s = W_{\text{Mód/Est}} \cdot (a_s/g)$$

$$F_s = (137 \text{ Kg} \cdot \text{m/s}^2) \cdot [(2.45 \text{ m/s}^2) / (9.81 \text{ m/s}^2)] \approx 34 \text{ N/m}^2$$

Por lo tanto:

- Peso propio de la estructura: 137 N/m^2
- Carga dinámica sísmica en el : 34 N/m^2

El peso total durante un sismo se interpreta como la suma de ambas acciones:

- $W_{\text{Total}} = W_{\text{Módulo}} + F_s$
- $W_{\text{Total}} = 137 + 34 \approx 171 \text{ N/m}^2$

En términos de masa equivalente:

- $171 \text{ N/m}^2 \div (9.81) \approx 17.4 \text{ kg/m}^2$

El peso total equivalente durante un sismo para la estructura en lugar de la instalación, es de aproximadamente 171 N/m^2 , lo que corresponde a 17.4 kg/m^2 .

Por lo tanto, las cargas estáticas y dinámicas (por sismo y viento), totales del sistema FV.

- Cargas de por viento (Axial en X): 50.06 kg/m^2
- Cargas por sismo: 17.4 kg/m^2

Peso por cargas estáticas y dinámicas de la CSFV: 67.46 kg/m^2

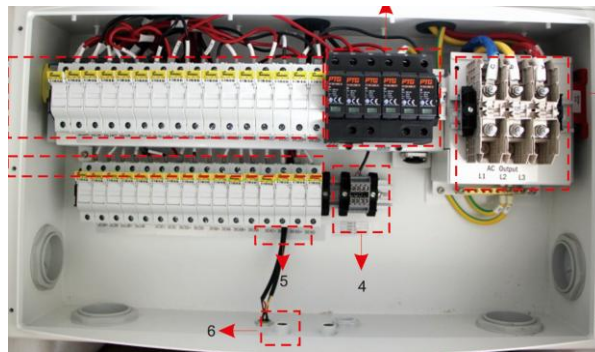
Capacidad de carga de la nave: 80 kg/m^2

PROTECCIONES

Corriente continua.

En la parte de corriente continua se instalarán portafusibles y fusibles con curva de fusión gPV, que son especiales para fotovoltaica, tanto en los polos positivos como en los polos negativos de las series de paneles. En este proyecto, los varistores, los portafusibles y fusibles ya van instalados en el propio inversor, en el armario de conexiones del inversor (Figura 8.32).

Figura 8.32 Cuadro interno de protecciones integrado en los inversores Solis 40K y 50K



Fuente: Data Sheet del producto. Véase Anexos

Los fusibles son de 15 A dc, de tamaño 10x38 mm, curva de fusión gPV y tensión 1,000 Vdc. Por lo que solo tenemos que verificar con la norma que los fusibles tengan certificación UL, IEC. Que en efecto cumplen (Figura 8.33).

Figura 8.33 Fusible de grado fotovoltaico adecuados para la protección de corriente continua en los inversores Solis 40K y 50K



Fuente: Archivo propio

Corriente alterna.

A partir de las corrientes de servicio determinaremos los termomagnéticos diferenciales, concentradores e interruptores/seccionadores.

Para el grupo 1:

- Icc: 48.1A
- Vmp: 480V
- Factor de potencia: 0.99
- Sección del cable: 16 mm²
- Temperatura ambiente: 50°C máxima en temporada de calor en subestación
- Fases de operación: Trifásicas, tetrapolar.
- Certificación: UL, IEC.

La NOM-001-SEDE-2012 exige que el interruptor se dimensione al 125% de la corriente de servicio. Por lo tanto:

Corriente de servicio corregido, para la corriente de protección:

$$I_{\text{prot}} = 48.1 \text{ A} \times 1.25 = 60.125 \text{ A}$$

Ampacidad:

Cable de cobre; 90°C: $\approx 85\text{A}$ a 30°C, corrección a 50°C ≈ 0.82 .

$$I_{\text{amp}} = 95 \text{ A} \times 0.82 = 77.9 \text{ A}$$

El calibre del cable si soporta la corriente trifásica de diseño (60.1 A).

De las distintas opciones se opta por la siguiente opción:

Interruptor termomagnético trifásico ABB, tetrapolar S204-C63/0.3, de 63 A, voltaje de operación 230/480V, Rango de temperatura operación -40°C...+70 °C.

All MCBs of the product range S200 comply with IEC/EN 60898-1, IEC/EN 60947-2, UL1077 and CSA 22.2 No. 235, allowing the use for residential, commercial and industrial applications (Figura 8.34).

Figura 8.34 Interruptor Termomagnético para bus de 480V ABB



Fuente: Data Sheet del producto. Véase Anexo

El diferencial debe ser de la misma corriente o superior al termomagnético:

El criterio de decisión debido a la condición industrial es el tipo B (Detección de fugas de corriente continua), en cuanto a la curva de disparo termomagnético asociado tipo D (para Motores, transformadores) y una sensibilidad de 300 mA. Por lo tanto:

Interruptor Diferencial trifásico, tetrapolar ABB F204 AC-63/0,3. 63 A, voltaje de operación 230/480 V, Rango de temperatura operación -40°C...+70 °C (Figura 8.35).

Figura 8.35 Interruptor Diferencial para bus de 480V ABB



Fuente: Data Sheet del producto. Véase Anexo

Para el grupo 2:

- Icc: 60.2
- Vmp: 440V
- Factor de potencia: 0.99
- Sección del cable: 16 mm²
- Temperatura ambiente: 50°C máxima en temporada de calor en subestación
- Fases de operación: Trifásicas, tetrapolar.
- Certificación: UL, IEC.

La NOM-001-SEDE-2012 exige que el interruptor se dimensione al 125% de la corriente de servicio. Por lo tanto:

Corriente de servicio corregido, para la corriente de protección:

- $I_{\text{prot}} = 60.2 \text{ A} \times 1.25 = 75.25 \text{ A}$

Ampacidad:

Cable de cobre; 90°C: $\approx 95\text{A}$ a 30°C, corrección a 50°C ≈ 0.82 .

- $I_{\text{amp}} = 95 \text{ A} \times 0.82 = 77.9 \text{ A}$

- **El calibre del cable si soporta la corriente trifásica de diseño (60. A).**

De las distintas opciones se opta por la siguiente opción:

Interruptor termomagnético trifásico ABB, tetrapolar S204-C80, de 80 A, voltaje de operación 230/480V, Rango de temperatura operación -40°C...+70 °C. *All MCBs of the product range S200 comply with IEC/EN 60898-1, IEC/EN 60947-2, UL1077 and CSA 22.2 No. 235, allowing the use for residential, commercial and industrial applications (Figura 8.36).*

Figura 8.36 Interruptor Termomagnético para bus de 440V ABB



Fuente: Data Sheet del producto. Véase Anexo

El diferencial debe ser de la misma corriente o superior al termomagnético:

El criterio de decisión debido a la condición industrial es el tipo B (Detección de fugas de corriente continua), en cuanto a la curva de disparo termomagnético asociado tipo D (para Motores, transformadores) y una sensibilidad de 300 mA. Por lo tanto:

Interruptor Diferencial trifásico, tetrapolar ABB F204 AC-80/0,3 IEC. 63A, voltaje de operación 230/480 V, Rango de temperatura operación -40°C...+70 °C (Figura 8.37).

Figura 8.37 Interruptor Diferencial para bus de 440V ABB



Fuente: Data Sheet del producto. Véase Anexo

CONCENTRADOR (BLOQUE DE DISTRIBUCIÓN)

Para los bloques de distribución (se necesitan 1 por grupo), simplemente necesitamos que el diámetro de entrada permita el acceso de los cables de Cal 4 AWG y que permitan el acceso al cable de 350 kcmil, además que soporte amperaje de salida de AC determinado a 440V y 480V (Figura 8.37). Por lo que

- Entradas para Cal. 4 AWG: ≥ 6
- Salida para 350 kcmil: 22.1 mm^2
- Certificación: UL, IEC.
- Tolerancia por NOM: $1.25(I_{\max}) = 1.25 \times 300.1 \text{ A} = 375.87 = \mathbf{376 \text{ A}}$

Por lo que, dentro del catálogo tenemos

Figura 8.37 Bloque de distribución para bus de 440V y 480V, ABB



DBL400

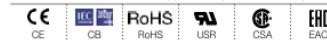
Ordering details

Description	Color	Type	Order code	Pkg Qty	Weight (1 pce) g
Feed-through Single pole distribution, 12 connections	Grey <input type="checkbox"/>	DBL400	1SNL340010R0000	1	410

Main technical data

Connecting capacity	IEC		UL	Connection type	Cross section	
	Copper	Aluminium				
Max current / Max cross section	400 A / 185 mm ²	300 A / 185 mm ²	335 A / 400 Kcmil	1 x Ø 18.8 mm	95 ... 150 mm ²	95 ... 185 mm ²
Rated voltage	1000 V AC / 1500 V DC		1000 V	2 x Ø 8.7 mm	2.5 ... 25 mm ²	2.5 ... 35 mm ²
Rated impulse voltage				5 x Ø 6.4 mm	14 ... 4 AWG	14 ... 2 AWG
Short-time withstand current (I _{sw} 1s)	21000 A				2.5 ... 16 mm ²	2.5 ... 16 mm ²
Short Circuit Current Rating (SCCR)			100 kA		14 ... 6 AWG	14 ... 6 AWG
Rated peak withstand current (I _{pk})	51 kA			4 x Ø 5.7 mm	2.5 ... 10 mm ²	2.5 ... 10 mm ²
Protection	IP10		NEMA 1		14 ... 8 AWG	14 ... 8 AWG

The connecting capacity data for one Rigid - Solid / Stranded - Flexible conductor (when applicable) is a mandatory information required by IEC, UL and CSA standards (Copper conductors). All other data are provided as supplementary information only. For more details, please consult our CB, UL or CSA certificates and technical datasheet available on <http://www.ABB.com>



Fuente: Bloque DBL 400 (ABB, 2016).

Que cumple con todas las necesidades:

El Bloque DBL400 Single pole será el dispositivo a instalar.

INTERRUPTORES

Se necesitan dos interruptores/seccionadores que cumplan con lo siguiente:

- Corriente Nominal:
 1. $300.7 \text{ A} \rightarrow 1.25 \times 300.7 = 376 \text{ A}$
 2. $288.6 \text{ A} \rightarrow 1.25 \times 288.6 = 361 \text{ A}$
- Certificación para el rango de voltaje: 440-480 V Trifásico.
- Capacidad nominal de Cortocircuito. 25-50 kA a 480V
- Anchura de terminal: $\geq 22.1 \text{ mm}$
- Certificación UL, IEC.
- Curva de disparo: D (uso industrial)

El interruptor/seccionador que cumplen con lo anterior para ambas secciones de la CSFV, es el modelo 1SCA022718R9670 de ABB (Figura 3.38).

Características:

Ejecución como interruptor principal, Ejecución como interruptor de mantenimiento/repación, Tensión de funcionamiento nominal máxima Ue CA: 1000V, Tensión de funcionamiento nominal: 1000V, Tensión máxima de funcionamiento: 600V, Intensidad nominal permanente Iu: 400A, Corriente permanente asignada a AC-23, 400 V: 400A, Corriente permanente asignada con AC-21, 400 V: 400A, Capacidad nominal de producción de cortocircuitos (I_{cm}): (690 V) 65 kA, Resistencia de corriente nominal de corta duración Icw: 15kA, Potencia de funcionamiento nominal a 400 V CA-23: 220kW, Poder de corte a 400 V: 220kW, Número de polos: 3

Figura 8.38 Seccionar de 400A, ABB



Fuente: Seccionador ABB OT000U3P (ABB, 2015).

Dos interruptores/seccionadores 1SCA022718R9670 de ABB. Serán los destinados a la instalación para cada grupo de inversores.

TABLEROS

Para obtener la certificación de un tablero eléctrico bajo la NOM-001-SEDE, se sigue un proceso regulado que involucra diseño, pruebas y validación por organismos acreditados.

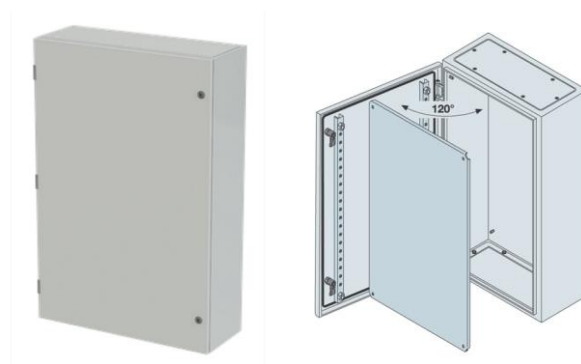
1. Diseñar conforme a NOM. El tablero debe cumplir con los requisitos de la NOM-001-SEDE y STPS en cuanto a protecciones, canalizaciones, puesta a tierra y etiquetado.
2. Seleccionar materiales certificados. Todos los componentes (interruptores, fusibles, cables, gabinetes) deben contar con sello NOM o certificaciones equivalentes.

3. Realizar pruebas de seguridad. Se deben ejecutar pruebas de continuidad, aislamiento, resistencia dieléctrica y verificación de protecciones contra sobrecorriente.
4. Documentar la instalación. Elaborar memoria de cálculo, planos eléctricos y bitácora de pruebas para respaldar la conformidad normativa.
5. Solicitar inspección oficial. Un organismo acreditado por la EMA (Entidad Mexicana de Acreditación) verifica el cumplimiento de la NOM-001-SEDE.
6. Obtener certificado de conformidad. Tras la inspección, se emite el certificado que avala que el tablero cumple con la NOM y puede instalarse legalmente.

El tablero que nos asegura dichas características es el siguiente:

Gabinete Metálico Vacío SR ABB con puerta ciega, platina de montaje y tapas pasacables superior e inferior, IP 65, IK 10, RAL 7035. IP 65, IK 10 (NEMA 12) con puerta ciega, platina de montaje y tapas pasacables superior e inferior. Fabricados con lámina de acero de 1.5 mm de espesor, pegada y soldada en proceso automático mediante robot. Dimensiones: 1,200x800x300 mm (Figura 8.39).

Figura 8.39 Tableros SR ABB



Fuente: Gabinete ABB SR2 (ABB, 2015).

Se implementarán dos **Armarios ABB SRN12830K SR2 puerta ciega + placa montaje 1200x800x300mm, para la línea de protecciones y otro para el interruptor principal**

MONITORIZACIÓN

El sistema de monitorización que se elegirá para este proyecto es el Data Logging Box Wifi GL-WE01 de la marca Ningbo Ginlong Technology (Figura 8.40). Que cuenta con las certificaciones necesarias para este tipo de equipos.

Sus características son las siguientes:

El sistema de monitorización está compuesto por:

- Wifi Data Logging Box, DLB-W. Lee los datos de la instalación y los envía a través del router al servidor.
- Servidor. Recibe los datos, los analiza, los almacena y envía alertas si se desea.
- Plataforma Web. Permite el acceso a los datos en tiempo real y a los datos históricos, permite la obtención de informes y permite configurar la aplicación.

Figura 3.40 Características técnicas de los equipos de monitorización Ginlong

Model	DLB-W	DLB-G
Max. number of inverters		10
Inverter communication		RS485
Remote communication	WiFi (802.11 b/g/n)/Ethernet	GPRS
Max. communication range		<1km
Communication rate		9600bps (adjustable)
WiFi frequency	2.4GHz	800/900/1800/1900MHz
WiFi communication range	300m in outdoor open area without obstruction	---
WiFi transmitting power	802.11b/g/n: +20dBm/ +18dBm/15dBm (Max)	Class 4 (2W)/Class 1 (1W)
Data collect intervals		5 minutes
Preferences setting	Web server/ Serial AT instruction	Serial AT instruction
Firmware updates		Serial/Wireless
Data access	Serial/WiFi point-to-point/Remote server	Serial/Remote server
Status display		4LEDs

Fuente: Data Sheet del producto. Véase Anexos

El equipo cumple con los requisitos de certificación para este tipo de instalaciones y con la robustez para soportar las mismas condiciones de trabajo de los inversores. Los equipos de monitorización se colocarán a 70 metros de distancia del nodo de conexión a internet mediante conexión alámbrica por cable RJ45 (distancia < 100m), esto para garantizar su conexión ininterrumpida y dentro del estándar del cable

8.3.1 TABLA CON LOS RESULTADOS

En resumen, la Tabla 8.15, muestra los elementos que, de acuerdo a las consideraciones técnicas realizadas, son los adecuados para la ejecución de la obra

Tabla 8.15 Resultados finales

TABLA DE RESULTADOS CSFV CEMENTERA	
Potencia pico total de la CSFV	595,075 Wp
Potencia nominal de la CSFV	490,000 W
Modulos fotovoltaicos	1,831 unidades modelo JAP72S01 de 325 Wp, marca JA Solar
Inversores	11 Unidades de 40KWp y 1 unidad de 50KWp modelo Solis 40K-US-F y Solis 50K-US-F. Marca Ningbo Ginlong Technology
Estructura	Kit de Instalacion a 15° sobre techo, marca Art Sign by Xiamen parafainstalar 1,831 modulos FV
Fijacion	Tornillos Ejot Solar JT3-SB FZD autoroscantes. Material de acero inoxidable A2 con arandela de sellado FZD y tuerca hexagonal de seguridad M10
Interruptores Termomagnéticos	6 unidades, Trifásicos, tetrapolares modelo S204-C63/0.3 de 63A. Marca ABB. Voltaje de operación 230/480V
	6 unidades, Trifásicos, tetrapolares modelo S204-C80 de 80A. Marca ABB. Voltaje de operación 230/480V
IntERRUPTORES Diferenciales	6 interruptores diferenciales trifásicos, tetrapolares ABB F204 AC-63/0,3. 63 A, voltaje de operación 230/480 V curva de disparo D
	6 interruptores diferenciales trifásicos, tetrapolares ABB F204 AC-80/0,3. 80 A, voltaje de operación 230/480 V curva de disparo D
Bloques de distribucion	8 unidades modelo DBL400 Single pole, marca ABB, 400A de corriente máxima
Interruptores	2 Unidades modelo 1SCA022718R9670 de ABB. Trifásico
Tableros	2 Unidades. Armario ABB SRN12830K SR2 puerta ciega + placa montaje 1200x800x300mm,
Cable DC Solar	Unipolar doble aislamiento, de cobre estañado de 4mm ² de seccion. . Marca Slocable 2PFG 1169 de la marca Slocable Solar Technology. Colores rojo y negro
Conectores	Cable Coupler CN40-C**M de la marca Slocable Solar Technology Ltd.
Cable AC	Cable Cal.4 AWG 600V 90°C. Marca Condumex en cuatro colores
	Cable 350 kcmil, 600V marca Condumex
Fusibles	Proteccion Fotovoltaica de 15 A. 1000 Vdc. Marca Mersen
Monitorizacion	2 equipos Data Logging Box WiFi GL-WE01 modelo DLB-W. Marca Ningbo Ginlong Technology

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IX. PROGRAMACIÓN DE OBRA

9.1 ANÁLISIS DE COSTOS

Con base en los volúmenes de obra de los elementos de CSFV que se requieren, definiremos el catálogo de conceptos (Tabla 9.1)

Tabla 9.1 Catálogo de conceptos

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS					
Dependencia: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO					
Área: FACULTAD DE INGENIERÍA					
Contrato No. S/N			Fecha: 05/02/2018		
Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA					
Lugar: JASSO, HIDALGO, MÉXICO					
PRESUPUESTO DE OBRA					
Código	Concepto	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Importe
CEMENTERA DE JASSO					
PRE-00	PRELIMINARES				
PRE 001	DESMANTELAMIENTO SIN RECUPERACION DE ESTRUCTURAS (PARARRAYOS OBSOLETOS) Y OBJETOS VARIOS EXISTENTES QUE DIFICULTEN LA LIBRE INSTALACION DE LAS ESTRUCTURAS DE SOPORTE DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS. INCLUYE: RETIRO DE LOS SOPORTES ATORNILLADOS, ACARREOS, ANDAMIOS, HERRAMIENTA, EQUIPO DE SEGURIDAD Y TODO LO NECESARIO PARA LA CORRECTA EJECUCIÓN.	FTE	3.0000		
PRE 002	LIMPIEZA PREVIA PARA INICIO DE LA OBRA: INCLUYE: MATERIALES DE CONSUMO, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCIÓN.	M2	6,546.0000		
PRE 004	ACARREO: TRASLADO EN CAMION FUERA DEL INMUEBLE DE MATERIALES PRODUCTO DE, DESMANTELAMIENTOS, DEMOLICION Y DESPERDICIOS DE OBRA, INCLUYE: CARGA Y DESCARGA A CAMION A TIRO LIBRE AUTORIZADO, CAMION DE 7 M3.,HERRAMIENTAS Y MANO DE OBRA.	LOTE	6.0000		
PRE-004	ACARREO EN CAMIÓN 1KMS SBSECUENTES, INCLUYE: EL COSTO DEL EQUIPO	M3/KM	924.0000		
Total PRELIMINARES					
TYN-00	TRAZO Y NIVELACION				
TYN-001	LEVANTAMIENTO, TRAZO Y DELIMITACION DE EJES, PARA ESTABLECER LOS PUNTOS DE REFERENCIA DEL AREA DE INSTALACION DE LA CENTRAL SOLAR, CON TODOS SUS ELEMENTOS ARQUITECTONICOS Y ESTRUCTUALES CORRESPONIENTES ESTABLECIENDO REFERENCIAS. INCLUYE : EQUIPO TOPOGRAFICO, PINTURA PARA SEÑALIZACION, MANO DE OBRA,HERRAMIENTAS, ACARREOS Y LIMPIEZA DE LA ZONA DE TRABAJO	M2	8,452.0000		
Total TRAZO Y NIVELACION					
ESTR-00	ESTRUCTURA				
ESTR-001	SUMINISTRO E INSTALACION DE ESTRUCTURA TRIANGULAR A 15° DE ALUMINIO ANODIZADO 6005-T5 CON GARANTÍA DE 12 AÑOS MARCA ART SIGN SOLAR BY XAMEN CON TORNILLERIA EN ACERO INOXIDABLE GRADO A2, SISTEMA BÁSICO. INCLUYE: MANO DE OBRA ESPECIALIZADA, ANCLAJE A NAVE A BASE DE TORNILLERÍA DE ACERO INOXIDABLE, EQUIPO, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA INSTALACIÓN.	M2.	3,416.0000		

Fuente: Análisis de costos del proyecto. Véase Anexos

Para iniciar con la presupuestación definiremos el tiempo de ejecución de obra de acuerdo a los rendimientos del personal de campo, asimismo determinaremos las cuadrillas necesarias y ajustaremos los salarios de acuerdo a la normativa vigente en materia de salarios y prestaciones según STPS, LFT, RLSS, LSS, etc. (Tabla 9.2)

Tabla 9.2 Relación de los días pagados amparados en Ley Federal de Trabajo, Ley del Seguro Social y Reglamento del Seguro Social para los trabajadores

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO	
CONTRATO No: S/N	Fecha: 05/02/2018
OBRA: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA	
LUGAR: JASSO, TULA DE ALLENDE, HIDALGO	
CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS	GARCÍA MUÑOZ FRANCISCO
Nombre de la empresa	POSTULANTE

Inicio:	26/02/2018	Terminación:	06/06/2018	Duración de Obra	101
Captura de datos Para el Factor de Salario Real año 2018			Normales		
Días Calendario Anualizado			365.00		
1. Días no Trabajados					
1.1	Domingos				52.00
1.2	Vacaciones				6.00
1.3	Días festivos por ley				8.00
1.4	Condiciones Climatológicas (Lluvias y Otros)				5.00
1.5	Días por costumbre (contrato colectivo)				5.00
1.6	Permisos y Enfermedad no profesional (3 x .15)				0.00
1.7	Días Sindicato (Contrato Colectivo)				0.00
1.8	Días equivalentes por arraste				0.00
1.9	Días no Trabajados por Guardia				0.00
2. Días pagados por LFT					
2.1	Aguinaldo por Ley				15.00
2.2	Prima Vacacional (porcentaje) 25%				1.50
2.3	Prima dominical 0%				0.00
	Horas extras gravables en el SBC				0.00
	Horas extras no gravables en el SBC				0.00
2.4	Total de Horas extras				0.00
2.5	Porcentaje de pagos (Otros cargos)				1.50%

Marco jurídico		
LFT= Ley Federal Del Trabajo, LSS=Ley del Seguro Social, RLSS= Reglamento del Seguro Social		
Días Festivos art. 74 LFT		Vacaciones art 76 LFT 6 días por año
1 Enero	16 Septiembre	Aguinaldo art 87 LFT 15 días por año
5 Febrero	20 Noviembre	Prima Vacacional art 80 LFT 25% de las Vacaciones
21 Marzo	1 dic. c/6 años	Prima Dominical 25.00%
1 Mayo	25 diciembre	
Cuota Fija : Art 106 fracción I, (LSS) y Art. 13 fracción I, RLSS *		
Excedente a 3 SMGDF, Art 106 Fracción II, (LSS) y Art. 13 Fracción II, (RLSS) **		Días Inactivas por arraste: Días equivalentes al tiempo perdido en el transporte al sitio de trabajo.
Prestaciones en Dinero Art. 107 Fracc I y II (LSS) Art. 13 Fracción III, (RLSS) ***		
Prestaciones en Especie de los pensionados Art. 25 Párrafo II, (LSS) Art. 13 Frac. IV, (RLSS) ***		
Invalidez y vida, (Art 147 LSS) y Art 14 RLSS, y Art. Vigésimo Quinto Transitorio de La LSS ***		
Cesantía en edad avanzada y vejez Art. 168 Fracción II (LSS) y Art. 16 (RLSS) ***		
Riesgos de trabajo Art. 73 y 74 (LSS) ***		
Guarderías Art. 211 y 212 (LSS) y Art. 15 (RLSS) ***		
Salario Base de Cotización, Art 27(LSS) y Art. 10 (RLSS)		
Base de Cotización Mensual, Art. 11 (RLSS)		
* Sobre el SMGDF		
** Sobre Salario Base de Cotización - 3SMGDF		
*** Sobre el Salario Base de Cotización		
Fsr= Factor de Salario real, Art. 160 RLOP Fsr= Ps(Tp/TI)+ (Tp/TI)		
Ps= Obligaciones obrero-patronales en fracción decimal, Art. 160 RLOP		
Tp= Días realmente pagados durante un periodo anual. Art. 160 RLOP		
Tl= Días realmente laborados durante un periodo anual. Art. 160 RLOP		
RLOP= Reglamento de la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con la Misma.		

Fuente: Análisis de costos del proyecto. Véase Anexos

Con base en lo anterior definimos los salarios del personal de campo y oficina central, mediante el ajuste al factor de salario real de acuerdo a los días de obra que se ejecutarán.

Tablas 9.3 y 9.4 Análisis de determinación de Factor de Salario Real y Tabulador ajustado (respectivamente)

DEPENDENCIA: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO			
FACULTAD DE INGENIERÍA			
LICITACION No: S/N		FECHA: 05-feb-2018	
OBRA: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA			
UBICACIÓN: JASSO, TULA DE ALLENDE, HIDALGO			
ANALISIS PARA LA DETERMINACION DEL FACTOR DEL SALARIO REAL			
Salarios Normales		CODIGO DE LA CATEGORIA: MO011	En Veces SMDF 2.507866
		CATEGORIA (S): PEON	de Cotización (SBC) 2.621234
		Sal. Nominal (Sn)	
		Salario Nominal Vigente del D.F. (n veces): 1.00	
DIAS REALMENTE LABORADOS AL AÑO	DIAS REALMENTE PAGADOS AL AÑO	CALCULO DE PRESTACIONES IMSS	En Veces SMDF
Dias Calendario 365.00	Dias Calendario (DICAL) 365.00	Enfermedad y Maternidad	
Dias no Trabajados	Aginaldo por Ley 15.00	Cuota fija(20.4% sal. Min*dias cal/dias trab)	0.204
Domingos 52.00	Prima Vacacional 25% por Ley 1.50	1.1% excedente de 3 sal. Min D.F.	0.00
Dias festivos por Ley 8.00	Prima Dominical por Ley 0.00	1.05% Prestaciones en especie a pensionad	0.027523
Dias por costumbre 5.00	Tiempo Extra	0.7% Prestaciones en dinero	0.018349
Dias sindicato 0.00	Horas extras gravables en el SBC 0.00	2% Sar	0.052425
Vacaciones 6.00	Horas extras no gravables en el SBC 0.00	5% Infonavit	0.131062
Permisos y Enfermedades 0.00	Prestaciones por contrato (anexar copia del contrato y analisis correspon.)	1.75% Invalidez y vida	0.045872
Condiciones Climatologicas 5.00	TOTAL Tp = 381.50	3.15% Cesantía en edad avanzada y vejez	0.082569
Horas inactivas por arrastre 0.00	Porcentaje de pagos (Otros cargos) 0.015	7.5888% Riesgos de trabajo	0.19892
Dias no trabajados por guardia 0.00		1% Guarderías	0.026212
TOTAL TI = 289.00		SP = Suma de Prestaciones	0.786932
		Ps = Obligacion Obrero-Patronal	
		Ps = Sp / SBC	0.300214
Tp / TI = DIAS PAG. / DIAS LAB. 1.320069	Tp / TI = 1.320069		
Fact. B.C = FSBC=(Tp-Te) / DIC 1.045205	Ps x (Tp-Te) / TI = 0.396303		
FACTOR DE SALARIO REAL		$Fsr = [Ps(Tp-Te)/TI] + (Tp/TI)$	1.731372

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS
NOMBRE DE LA EMPRESA O PERSONA FISICA

POSTULANTE: GARCÍA MUÑOZ FRANCISCO
NOMBRE, CARGO Y FIRMA DEL SIGNATARIO

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS						
CLIENTE: CEMENTERA JASSO HIDALGO, MEXICO						
CONTRATO No. UNICO		Fecha: 26/02/2018				
OBRA: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA EN JASSO HIDALGO, MÉXICO. DOCUMENTO						
LUGAR: JASSO, TULA DE ALLENDE, HIDALGO, MÉXICO.						
TABULADOR DE SALARIO BASE DE MANO DE OBRA E INTREGRACION DE SALARIOS						
MANO DE OBRA						
Código	Concepto	Unidad	Salario Base por Jornal	Factor Salario Real	Salario Real	
MO011	PEON	JOR	221.60	1.731372	383.66	
MO021	AYUDANTE GENERAL	JOR	221.60	1.731372	383.66	
MO031	AYUDANTE ESPECIALIZADO	JOR	241.53	1.722893	416.13	
MO041	OFICIAL ALBAÑIL	JOR	336.04	1.699945	571.25	
MO051	OFICIAL FERRERO	JOR	336.04	1.699945	571.25	
MO052	OFICIAL CARPINTERO DE O. NEGRA	JOR	374.14	1.694162	633.85	
MO053	OFICIAL PINTOR	JOR	336.04	1.699945	571.25	
MO061	OFICIAL HERRERO	JOR	336.04	1.699945	571.25	
MO062	OFICIAL YESERO	JOR	336.04	1.699945	571.25	
MO063	OFICIAL AZULEJERO	JOR	336.04	1.699945	571.25	
MO064	OFICIAL COLOCADOR	JOR	336.04	1.699945	571.25	
MO065	OFICIAL BARNIZADOR	JOR	376.96	1.693781	638.49	
MO066	OFICIAL VIDRIERO	JOR	375.26	1.694010	635.70	
MO067	OPERADOR DE MAQUINARIA MENOR	JOR	374.18	1.694157	633.92	
MO071	OFICIAL CARPINTERO DE O. BLANCA	JOR	375.26	1.694010	635.70	
MO081	OFICIAL ALUMINERO	JOR	375.26	1.694010	635.70	
MO082	CABO DE OFICIOS	JOR	375.26	1.694010	635.70	
MO083	OFICIAL PLOMERO	JOR	374.18	1.694157	633.92	
MO084	OFICIAL ELECTRICISTA	JOR	329.15	1.701133	559.93	
MO087	OFICIAL DUCTERO	JOR	375.26	1.694010	635.70	
MO091	OFICIAL SOLDADOR	JOR	374.14	1.694162	633.85	
MO092	TOPOGRAFO	JOR	405.15	1.690259	684.80	
MO093	OPERADOR DE MAQUINARIA PESADA	JOR	447.66	1.685786	754.66	
MO094	SOBRESTANTE	JOR	375.26	1.694010	635.70	
MO111	TECNICO ESPECIALIZADO	JOR	650.68	1.672485	1088.25	

Fuente: Análisis de costos del proyecto. Véase Anexos

Procedemos a organizar las cuadrillas y determinar sus rendimientos.

Tabla 9.5 Básicos, cuadrillas que participaran en la construcción en campo

05/02/2018					
CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS					
Dependencia : UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO					
Área: FACULTAD DE INGENIERÍA					
Concurso No. S/N					
Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA					
Lugar: JASSO, HIDALGO, MÉXICO					
ANALISIS DE BASICOS					
Código	Concepto	Unidad	Costo	cantidad	Importe
Análisis: 1A Unidad: JOR					
CUADRILLA No 1 (1 AYUDANTE GENERAL)					
MANO DE OBRA					
	AYUDANTE GENERAL	JOR	\$383.66	1.000000	\$383.66
	CABO DE OFICIOS	JOR	\$635.70	0.100000	\$63.57
	Subtotal: MANO DE OBRA				\$447.23
	Costo directo				\$447.23
	(* CUATROCIENTOS CUARENTA Y SIETE PESOS 23/100 M.N. *)				
Análisis: 1P Unidad: JOR					
CUADRILLA No 2 (1 PEON)					
MANO DE OBRA					
	PEON	JOR	\$383.66	1.000000	\$383.66
	CABO DE OFICIOS	JOR	\$635.70	0.100000	\$63.57
	Subtotal: MANO DE OBRA				\$447.23
	Costo directo				\$447.23
	(* CUATROCIENTOS CUARENTA Y SIETE PESOS 23/100 M.N. *)				
Análisis: 1TO1A Unidad: JOR					
CUADRILLA No. 3(1 TOPOGRAFO + 1 AYTE)					
MANO DE OBRA					
	TOPOGRAFO	JOR	\$684.80 /	600.000000	\$1.14
	AYUDANTE ESPECIALIZADO	JOR	\$416.13 /	300.000000	\$1.39
	Subtotal: MANO DE OBRA				\$2.53
	Costo directo				\$2.53
	(* DOS PESOS 53/100 M.N. *)				
Análisis: 1T1E Unidad: JOR					
CUADRILLA No 4 (1 TECNICO+ 1 AY.ESP.)					
MANO DE OBRA					
	AYUDANTE ESPECIALIZADO	JOR	\$416.13	1.000000	\$416.13
	TECNICO ESPECIALIZADO	JOR	\$1,088.25	1.000000	\$1,088.25
	Subtotal: MANO DE OBRA				\$1,504.38
	Costo directo				\$1,504.38
	(* UN MIL QUINIENTOS CUATRO PESOS 38/100 M.N. *)				

Fuente: Análisis de costos del proyecto. Véase Anexos

Teniendo en cuenta las cuadrillas disponibles, los rendimientos de las mismas y el volumen de obra, determinamos los tiempos de ejecución de obra, jerarquizamos actividades, trazamos la ruta crítica y cronograma.

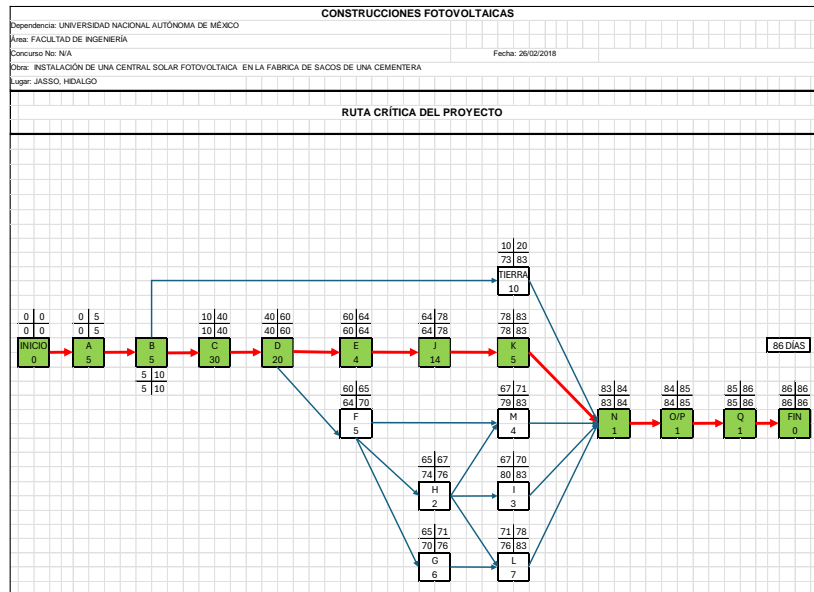
Tabla 9.6 Actividades de la obra

CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA CEMENTERA			
DURACIÓN DE LA ACTIVIDADES			
		DURACION	PRECEDENTE
		DÍAS	
A	PRELIMINARES	5	-
B	TRAZO	5	A
TIERRA	SISTEMA DE TIERRAS	10	B
C	ESTRUCTURA	30	B
D	PANELES	20	C
E	CANALIZACIONES TECHO	4	D
F	SOPORTERIA INVERSORES Y CABLE AC SALA ELÉCTRICA	5	D
G	INVERSORES	6	F
H	TABLEROS	2	F
I	INSTALACIÓN PROTECCIONES	3	H
J	CABLEADO FV	14	E
K	CONEXIÓN TIERRA SECCIÓN DC	5	J
L	CABLEADO SECCIÓN AC SALA ELÉCTRICA	7	G,H
M	INSTALACION SECCIONADORES Y CABLE 350 KCMIL	4	H,F
N	INTERCONEXION A TRANSFORMADOR	1	TIE,K,M,I,L
O	INSTALACION CABLEADO ESTRUCTURADO Y MODEM	1	N
P	PRUEBAS CSFV/RED/MODEM	1	O
Q	PUESTA EN MARCHA	1	P

Fuente: Análisis de costos del proyecto. Véase Anexos

De acuerdo a las actividades, su jerarquización y tiempos, trazamos la ruta crítica de la obra (Figura 9.1)

Figura 9.1 Ruta Crítica de la obra



Fuente: Análisis de costos del proyecto. Véase Anexos

Por consiguiente, teniendo el costo directo total y el tiempo de ejecución de obra necesario, procedemos a obtener los demás elementos para complementar los precios unitarios y el costo total de la obra con impuestos incluidos.

Costos indirectos

La determinación de los costos indirectos conlleva a los gastos asociados a la ejecución de la obra en términos de operatividad, por lo que estos estarán relacionados con el valor del costo directo anteriormente calculado. La Tabla 9.10 nos muestra los gastos de salarios de personal para la obra.

Tabla 9.10 Costos de Oficina Central y de Campo

PLANTILLA DE OFICINA CENTRAL Y CAMPO					
	Duracion de la Obra (en días)				\$ 101.00
GASTOS TECNICOS Y ADMINISTRATIVOS	PERSONAL DE OFICINA DE CAMPO				
	MONTO TOTAL				Porcentaje
	\$ 562,570.00				6.70%
	CATEGORIAS	CANTIDAD	SALARIO MENSUAL	SM/DIA	IMPORTE
Personal Técnico	SUPERINTENDENTE	\$ 1.00	\$ 35,000.00	\$ 1,166.67	\$ 117,833.33
Incluye Prestaciones	RESIDENTE GENERAL	\$ 2.00	\$ 27,000.00	\$ 1,800.00	\$ 181,800.00
	AUXILIAR DE RESIDENTE	\$ 2.00	\$ 12,000.00	\$ 800.00	\$ 80,800.00
	ING. TOPOGRAFO	\$ 1.00	\$ 10,000.00	\$ 333.33	\$ 33,666.67
Personal Administrativo	ADMINISTRADOR DE OBRA	\$ 1.00	\$ 16,000.00	\$ 533.33	\$ 53,866.67
Incluye Prestaciones	AUXILIAR ADMINISTRATIVO	\$ 1.00	\$ 12,000.00	\$ 400.00	\$ 40,400.00
	ALMACENISTA GENERAL	\$ 1.00	\$ 6,500.00	\$ 216.67	\$ 21,883.33
	CHOFER	\$ 1.00	\$ 6,000.00	\$ 200.00	\$ 20,200.00
	AUXILIAR DE LIMPIEZA	\$ 1.00	\$ 3,600.00	\$ 120.00	\$ 12,120.00
GASTOS DIRECTIVOS TECNICOS Y ADMINISTRATIVOS	PERSONAL DE OFICINA CENTRAL				
	MONTO TOTAL				PORCENTAJE
	\$ 273,794.17				3.26%
	CATEGORIAS	CANTIDAD	SALARIO MENSUAL	SM/DIA	IMPORTE
Personal Directivo	DIRECTOR GENERAL	\$ 0.25	\$ 60,000.00	\$ 500.00	\$ 50,500.00
Incluye Prestaciones	GERENTE GENERAL	\$ 0.30	\$ 25,000.00	\$ 250.00	\$ 25,250.00
	GERENTE DE CONTROL	\$ 0.30	\$ 25,000.00	\$ 250.00	\$ 25,250.00
	GERENTE DE CONSTRUCCION	\$ 0.40	\$ 25,000.00	\$ 333.33	\$ 33,666.67
Incluye Prestaciones	ANALISTA DE COSTOS	\$ 0.50	\$ 16,000.00	\$ 266.67	\$ 26,933.33
	CAPTURISTA DE DATOS	\$ 2.00	\$ 8,000.00	\$ 533.33	\$ 53,866.67
Personal Administrativo	CONTADOR	\$ 0.25	\$ 18,000.00	\$ 150.00	\$ 15,150.00
Incluye Prestaciones	AUXILIAR DE CONTADOR	\$ 0.25	\$ 7,500.00	\$ 62.50	\$ 6,312.50
	SECRETARIA	\$ 0.25	\$ 7,500.00	\$ 62.50	\$ 6,312.50
	RECEPCIONISTA	\$ 0.25	\$ 7,500.00	\$ 62.50	\$ 6,312.50
	MENSAJERO	\$ 0.25	\$ 6,000.00	\$ 50.00	\$ 5,050.00
	CHOFER	\$ 0.25	\$ 6,000.00	\$ 50.00	\$ 5,050.00
	AUXILIAR DE LIMPIEZA	\$ 1.00	\$ 4,200.00	\$ 140.00	\$ 14,140.00

Fuente: Análisis de costos del proyecto. Véase Anexos

Adicionalmente y en resumen se tienen en cuenta los elementos adicionales respecto a la operatividad. La siguiente Tabla 9.11 resume los gastos operativos, ya determinados como costos indirectos, el porcentaje presentado refleja la relación que guarda con los costos directos de la obra.

Tabla 9.11 Resumen de costos indirectos.

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS						
Dependencia: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO						
Contrato No. S/N		FECHA: 05/02/2018				
Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA EN JASSO HIDALGO, MÉXICO						
Lugar: HIDALGO						
INICIO:	26/02/2018	TERMINACION:	06/06/2018	PLAZO:	101	
RESUMEN DE COSTOS INDIRECTOS						
MONTO DE LA OBRA A C.D. \$ 8,393,935.47						
CONCEPTO	ADMINISTRACION OFICINA CENTRAL		ADMINISTRACION DE CAMPO		TOTALES	
	MONTO	%	MONTO	%	MONTO	%
I. HONORARIOS SUELDOS Y PRESTACIONES	273,794.17	3.2618%	562,570.00	6.7021%	836,364.17	9.9639%
II. DEPRECIACION, MANTENIMIENTO Y RENTAS	82,500.00	0.9829%	67,180.00	0.8003%	149,680.00	1.7832%
III. SERVICIOS	72,728.10	0.8664%	72,728.10	0.8664%	145,456.20	1.7329%
IV. FLETES Y ACARREOS			40,727.73	0.4852%	40,727.73	0.4852%
V. GASTOS OFICINA	55,771.15	0.6644%	67,736.40	0.8070%	123,507.56	1.4714%
VI. CAPACITACION Y ADIESTRAMIENTO			34,754.00	0.4140%	34,754.00	0.4140%
VII. SEGURIDAD E HIGIENE			58,182.48	0.6931%	58,182.48	0.6931%
VIII. SEGUROS Y FIANZAS	163,638.22	1.9495%	191,921.96	2.2864%	355,560.18	4.2359%
IX. TRABAJOS PREVIOS Y AUXILIARES			18,182.02	0.2166%	18,182.02	0.2166%
TOTALES	648,431.64	7.7250%	1,113,982.70	13.2713%	1,762,414.34	20.9963%
TOTALES \$ 1,762,414.34 % INDIRECTO 20.9963%						

Fuente: Análisis de costos del proyecto. Véase Anexos

EL monto del costo indirecto es del 20.99%. Ahora determinaremos la utilidad, el financiamiento y los costos debido a gastos inesperados, es importante aclarar que la obra se realizara dentro del marco de obra privada, y los esquemas de pagos de anticipo son tan holgados que permiten que la obra se desarrolle sin tener que llevar a

cabos algún tipo de financiamiento, en la tabla 9.12 se indica por qué no fue necesario recurrir a financiamiento, aun así, de manera simboliza se añadirán costos por financiamiento sin un impacto en el presupuesto, únicamente para realizar la integración del precio unitario, asimismo los gastos por imprevistos se indican desde una cifra muy cercana a la realidad en el momento de la ejecución.

Tabla 9.12 De acuerdo a los avances físicos y financieros, se puede apreciar que el proyecto no requirió financiamiento.

UNAM		CONTRATO										
FACULTAD DE INGENIERIA		LUGAR DE CELEBRACION: HIDALGO										
		EL DIA: febrero 26, 2008										
		OBRA: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA EN HIDALGO, MÉXICO										
		LUGAR: HIDALGO										
CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS						GARCÍA MUÑOZ FRANCISCO						
Razón Social del Licitante						POSTULANTE				FIRMA		
DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE FINANCIAMIENTO (IMPORTE TOTAL DE OBRA)												
Inicio:			26-feb-18		Terminacion:			06-jun-18		Duracion:		101
COSTO DIRECTO DE LA OBRA:		8,393,935.47		TASA DE INTERES USADA (Anual) =		7.4400%		% APLICABLE AL PERIODO				
INDIRECTO DE OBRA:		20.9963%		+ PUNTOS DEL BANCO =		4.0000%		1.2850%				
COSTO DIRECTO +INDIRECTO:		10,156,349.81		TASA DE INTERES DIARIA =		0.0313%		LOP ART. 54 P. 1 y 2				
MONTO TOTAL DE LA OBRA:		14,137,713.10		DIAS PARA PAGO DE ESTIMACIONES:		15						
ANTICIPOS			MONTO A EJERCER			IMPORTE DE FINIQUITO						
1a. ASIGNACION	2a. ASIGNACION	2a. ASIGNACION	1er EJERCICIO	2do EJERCICIO	3er EJERCICIO	4to EJERCICIO						
60.00%	25.00%	10.00%	10,632,513.60	4,430,214.00	1,772,085.60	706,885.66						
PERIODO DE COBRO 1a. ESTIMACION (entrega de materiales)												
PERIODO DE ENTREGA DEL 2do ANTICIPO eriales principales)												
PERIODO	INGRESOS			EGRESOS			IMPORTES			FINANCIAMIENTO		
	EJERCICIOS	ESTIMACIONES	AMORTIZACION	COBROS	GASTOS DE OBRA (CD+I)	ANTICIPO PROVEEDORES *	DIFERENCIA	DIFERENCIA ACUMULADA				
0	8,482,627.86	0.00	0.00	8,482,627.86	0.00	0.00	8,482,627.86	8,482,627.86	0.00			
Febrero	0.00	0.00	0.00	8,482,627.86	162,650.00	7,448,175.26	871,802.60	7,610,825.26	0.00			
Marzo	3,534,428.28	0.00	7,610,825.26	3,534,428.28	295,489.07	630,506.80	2,608,432.41	3,506,738.33	0.00			
Abril	1,413,771.31	0.00	3,506,738.33	1,413,771.30	200,211.97	315,253.41	898,305.92	759,816.85	0.00			
Mayo	0.00	0.00	395,489.07	0.00	138,489.07	0.00	-138,489.07	621,327.79	0.00			
Junio	706,885.66	0.00	405,711.48	706,885.66	39,524.07	0.00	667,361.59	-46,033.80	0.00			
TOTALES	14,137,713.10			14,137,713.10	836,364.17	8,393,935.47		(-)	0.00			
PORCENTAJE DE FINANCIAMIENTO= $\frac{\text{INTERES NETO A PAGAR}}{\text{GASTOS DE OBRA (COSTO DIRECTO +INDIRECTO)}}$ = $\frac{0.00}{10,156,349.81}$ = 0.0000%												

Fuente: Análisis de costos. Vease Anexos

En la siguiente tabla se hace el cálculo de los cargos por utilidad (Tabla 9.13).

Tabla 9.13 Determinación de los gastos por Utilidad

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS				
Dependencia: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO				
Contrato No. S/N		26-feb-18		
Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA EN HIDALGO, MÉXICO				
Lugar : HIDALGO, MEXICO				
DETERMINACION DEL CARGO POR UTILIDAD				
CLAVE	CONCEPTO	FORMULA	IMPORTE	%
CD	COSTO DIRECTO		8,393,935.47	
CI	I.-INDIRECTO		1,762,414.34	20.9963%
CF	II.-FINANCIAMIENTO		500.00	0.0060%
Up%	UTILIDAD PROPUESTA ISR= IMPUESTO SOBRE LA RENTA PTU= PARTICIPACION DE LOS TRABAJADORES EN LA UTILIDAD		30.00% 10.00%	12.0000%
%U	UTILIDAD NETA = Up% / [1 - (ISR+PTU)]	%U =12 % / [1 - (30%+ 10%)]		20.0000%
CU	CARGO POR UTILIDAD (Costo dir.Obra+Indirecto+Financiamiento)*% Utilidad Neta)	(\$ 8,393,935.47 + \$ 1,762,414.34 + 500) * 20.00% =	2,031,369.96	24.2004%
TOTAL UTILIDAD			2,031,369.96	
PORCENTAJE TOTAL DE UTILIDAD (%=Total utilidad * 100 / (CD+CI+CF))			[\$1,692,808.3/ (\$ 8,393,935.47 + \$ 1,762,414.34+ \$ 500)] * 100%	20.0000%

Fuente: Análisis de costos del proyecto. Véase Anexos

Se puede apreciar que el cargo por utilidad de la empresa nos arroja un 24.2%, este factor lo utilizaremos para complementar la integración de los precios unitarios.

En la siguiente tabla (Tabla 9.14) podemos apreciar ya la integración de los elementos básico para determinar los precios unitarios y adicionalmente vemos la determinación del factor de sobre costo que asciende al 1.4520%

Tabla 9.13 Factor de sobrecosto

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS			
Dependencia: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO			
Contrato No. S/N		26/02/2018	
Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA EN HIDALGO, MÉXICO			
Lugar : HIDALGO, MÉXICO			
RESUMEN			
CLAVE	CONCEPTO	IMPORTE	%
	COSTO DIRECTO	8,393,935.47	
1	ADMINISTRACION CENTRAL		
1.1	OFICINA CENTRAL	648,431.64	7.7250%
1.2	OFICINA DE CAMPO	1,113,982.70	13.2713%
	TOTAL DE INDIRECTOS	1,762,414.34	20.9963%
2	FINANCIAMIENTO	500.00	0.0060%
3	UTILIDAD	2,031,369.96	24.2004%
4	CARGOS ADICIONALES	0.01	0.0000%
		FACTOR DE SOBRECOSTO	1.4520
		PORCENTAJE	45.203%

Fuente: Análisis de costos del proyecto. Véase Anexos

Con todo lo anterior ya podemos realizar el presupuesto final de la obra integrando los porcentajes al precio unitario del catálogo.

El costo de la obra ya integrado se muestra en la siguiente tabla (9.15)

Tabla 9.14 Precio Total Integrado (primera hoja del presupuesto final)

CONSTRUCCIONES FOTVOLTAICAS					
Dependencia: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO					
Área: FACULTAD DE INGENIERÍA					
Contrato No. S/N			Fecha: 05/02/2018		
Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA					
Lugar: JASSO, HIDALGO, MEXICO					
PRESUPUESTO DE OBRA					
Código	Concepto	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Importe
CEMENTERA DE JASSO					
PRE-00 PRELIMINARES					
PRE 001	DESMANTELAMIENTO SIN RECUPERACION DE ESTRUCTURAS (PARARRAYOS OBSOLETOS) Y OBJETOS VARIOS EXISTENTES QUE DIFICULTEN LA LIBRE INSTALACION DE LAS ESTRUCTURAS DE SOPORTE DE LOS PANELES FOTVOLTAICOS. INCLUYE: RETIRO DE LOS SOPORTES ATORNILLADOS, ACARREOS, ANDAMIOS, HERRAMIENTA, EQUIPO DE SEGURIDAD Y TODO LO NECESARIO PARA LA CORRECTA EJECUCIÓN.	FTE	3.0000	\$ 1,282.90	\$ 3,848.70
PRE 002	LIMPIEZA PREVIA PARA INICIO DE LA OBRA: INCLUYE: MATERIALES DE CONSUMO, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCIÓN.	M2	6,546.0000	\$ 2.62	\$ 17,144.37
PRE 004	ACARREO: TRASLADO EN CAMION FUERA DEL INMUEBLE DE MATERIALES PRODUCTO DE, DESMANTELAMIENTOS, DEMOLICION Y DESPERDICIOS DE OBRA, INCLUYE: CARGA Y DESCARGA A CAMION A TIRO LIBRE AUTORIZADO, CAMION DE 7 M3.,HERRAMIENTAS Y MANO DE OBRA.	LOTE	FALSO	\$ 213.10	\$ -
PRE-004	ACARREO EN CAMIÓN 1KMS SBSECUENTES, INCLUYE: EL COSTO DEL EQUIPO	M3/KM	924.000	\$ 101.61	\$ 93,888.09
Total PRELIMINARES					\$ 114,881.16
TYN-00 TRAZO Y NIVELACION					
TYN-001	LEVANTAMIENTO, TRAZO Y DELIMITACION DE EJES, PARA ESTABLECER LOS PUNTOS DE REFERENCIA DEL AREA DE INSTALACION DE LA CENTRAL SOLAR, CON TODOS SUS ELEMENTOS ARQUITECTONICOS Y ESTRUCTUALES CORRESPONIENTES ESTABLECIENDO REFERENCIAS. INCLUYE : EQUIPO TOPOGRAFICO, PINTURA PARA SEÑALIZACION, MANO DE OBRA,HERRAMIENTAS, ACARREOS Y LIMPIEZA DE LA ZONA DE TRABAJO	M2	8,452.0000	\$ 5.30	\$ 44,821.11
Total TRAZO Y NIVELACION					\$ 44,821.11
ESTR-00 ESTRUCTURA					
ESTR-001	SUMINISTRO E INSTALACION DE ESTRUCTURA TRIANGULAR A 15° DE ALUMINIO ANODIZADO 6005-T5 CON GARANTÍA DE 12 AÑOS MARCA ART SIGN SOLAR BY XIAMEN CON TORNILLERIA EN ACERO INOXIDABLE GRADO A2, SISTEMA BÁSICO. INCLUYE: MANO DE OBRA ESPECIALIZADA, ANCLAJE A NAVE A BASE DE TORNILLERÍA DE ACERO INOXIDABLE, EQUIPO, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA INSTALACIÓN.	M2.	3,416.0000	\$ 343.89	\$ 1,174,729.03

Tabla 9.16 Registro de pagos por concepto de consumo eléctrico histórico de la empresa

ANÁLISIS DE PAGOS DE ELECTRICIDAD DE LA CEMENTERA									
TARIFA HTL	TARIFA PROMEDIO 01/07/2007								
ZONA SUR	0.6101 MXN/KWH								
	31/12/2015	01/12/2016	01/01/2017	01/02/2017	01/03/2017	01/04/2017	01/05/2017	01/06/2017	01/07/2017
	MXN/KWh	MXN/KWh	MXN/KWh	MXN/KWh	MXN/KWh	MXN/KWh	MXN/KWh	MXN/KWh	MXN/KWh
TARIFA PUNTA	1.2969	1.7173	1.7724	1.8651	2.0671	2.0129	1.8680	1.8701	1.8637
TARIFA INTERMEDIA	0.5900	0.9125	0.9538	1.0333	1.2114	1.1478	1.0043	1.0156	1.0081
TARIFA BASE	0.5492	0.8377	0.8756	0.9488	1.1121	1.0537	0.9220	0.9324	0.9255
Promedio	0.8120	1.1558	1.2006	1.2824	1.4635	1.4048	1.2648	1.2727	1.2658
PRECIO PROMEDIO POR KWH EN 01/07/2017	\$			1.3078	MXN/KWH				

Fuente: Análisis de Factibilidad Económica del proyecto. Véase Anexos

El costo promedio del KWh en 2007 (diez años antes), era de 0.6101 MXN/KWh, mientras que ya en julio de 2017 la tarifa asignada (Tabla 9.17)

Tabla 9.17 Precio Promedio de kWh a inicio del año 2017

PRECIO PROMEDIO POR KWH EN 01/07/2017	1.2658	MXN/KWH
---------------------------------------	--------	---------

Fuente: Análisis de Factibilidad Económica del proyecto. Véase Anexos

Con lo que los incrementos se reflejaron de la siguiente manera (Tabla 9.18)

Tabla 9.18 Incrementos en el precio de la energía eléctrica

PORCENTAJES DE INCREMENTOS			
DEL PERIODO 01/07/2007 AL 01/07/2017	21.8 %	EN 10 AÑOS	
DEL PERIODO 01/07/2017 AL 01/07/2017	1.34 %	X MES	INCREMENTO DEL 9.54% ACUMULADO

Fuente: Análisis de Factibilidad Económica del proyecto. Véase Anexos

Aunque el incremento que se ha presentado en los últimos 7 meses es un acumulado del 9.54% y se proyectaba a terminar arriba del 16%, a lo largo de 10 años nos arroja una tasa compuesta que determinamos de la siguiente manera (Tabla 9.19)

Tabla 9.19 Tasa de incrementos durante 10 años

DETERMINACION DE LA TASA DE INCREMENTOS		
Precio final	Precio inicial	Tasa anual 10 años
1.3078	0.6101	$T = [(Pf/Pi)^{(1/10)}] - 1$
		0.0792

Fuente: Análisis de Factibilidad Económica del proyecto. Véase Anexos

Por consiguiente, la tasa de incremento del precio por kWh que usaremos para determinar las previsiones a futuro, será conservadora por lo que en la previsión de la amortización de la inversión será del **7.92%**

Aplicando dicha tasa y considerando el presupuesto total se plantea lo siguiente (Tabla 9.20)

Tabla 9.20 Amortización de la inversión, calculo a 10 años

RESUMEN PRECIO DE VENTA CSFV		
CSFV CEMENTERA		
H.S.	2,084	Total kWh en 10 años = 10,052,772
kWp	500.00	P.V. CSFV = \$12,187,683.71 MXN + IVA
Vida Util CSFV: 40/60 años		Incentivo fiscal = \$ 3,656,305.11 MXN
		Neto CSFV = \$14,137,713.10 MXN
Costo kWh 2017		1.2658
Inc. Anualizado		7.92%

Año	Precio CFE MXN/kWh	Potencia (kWp)	Horas Solares	Producción (kWh)	Pago Anual CFE (USD)	Precio CSFV	Mantenimiento anual de la CSFV	Incentivo Fiscal	Pay Back 6 años y 8 meses	
1	1.26580	500.00	2,084	1,042,000	1,318,963.60	14,137,713.10	0.00	1,218,768.37	11,599,981.13	
2	1.36609	500.00	2,084	1,033,664	1,412,076.92		0.00	1,218,768.37	8,969,135.84	
3	1.47432	500.00	2,084	1,025,395	1,511,763.65		0.00	1,218,768.37	6,285,478.81	
4	1.59113	500.00	2,084	1,017,192	1,618,487.85		46,875.00		4,715,975.33	
5	1.71720	500.00	2,084	1,009,054	1,732,746.34		48,984.38		3,034,417.67	
6	1.85325	500.00	2,084	1,000,982	1,855,070.99		51,188.67		1,232,838.84	
7	2.00008	500.00	2,084	992,974	1,986,031.26		53,492.16		-697,293.11	Amortizada
8	2.15855	500.00	2,084	985,030	2,126,236.77		55,899.31		-2,765,115.10	
9	2.32957	500.00	2,084	977,150	2,276,340.20		58,414.78		-4,980,411.86	
10	2.51414	500.00	2,084	969,332	2,437,040.32		61,043.44		-7,041,554.44	
				10,052,772	18,274,757.91		375,897.74			

RESUMEN	
a)	Total P.V. CSFV = \$12,187,683.71 MXN + IVA
b)	Incentivos fiscales = \$ 3,656,305.11
c)	Precio Neto CSFV aplicando los incentivos fiscales = \$14,137,713.10 MXN
d)	Coste kWh en 10 años = \$14,137,713.10/10,052,772 kWh = 1.4063/kWh
e)	Pay back o Recuperacion de la inversión = 6 años y 8 meses

Fuente: Análisis de Factibilidad Económica del proyecto. Véase Anexos

En conclusión, la CSFV de la Cementera tendrá un ingreso monetario en 10 años de \$18,274,757.91 MXN, y el **retorno de la inversión estimado será en 6 años y 8 meses**, bajo la previsión de un incremento del 7.92% anualizado en el precio del kilowatt hora y de acuerdo a la tasa de degradación de los materiales de la central, los cuales se estiman en un 0.008% anual según garantías del proveedor.

Por otra parte, analizaremos por medio del flujo de caja y una tasa de descuento del 7.0% (tipo de interés promedio en 2017), que sería la tasa de interés que la compañía podría obtener si invirtiera el capital en una cuenta a interés fijo, los valores del VPN y la TIR (Tabla 9.20).

Tabla 9.20 Flujos de caja que genera la producción eléctrica

FLUJOS DE CAJA						
EGRESOS				INGRESOS		
AÑO	DESEMBOLSO	Mantenimiento anual de la CSFV	TOTAL EGRESOS	Pago Anual CFE (USD)	Incentivo Fiscal	TOTAL INGRESOS
1	14,137,713.10	0.00	-14,137,713.10	1,318,963.60	1,218,768.37	2,537,731.97
2		0.00	0.00	1,412,076.92	1,218,768.37	2,630,845.29
3		0.00	0.00	1,511,763.65	1,218,768.37	2,730,532.02
4		46,875.00	-46,875.00	1,618,487.85		1,618,487.85
5		48,984.38	-48,984.38	1,732,746.34		1,732,746.34
6		51,188.67	-51,188.67	1,855,070.99		1,855,070.99
7		53,492.16	-53,492.16	1,986,031.26		1,986,031.26
8		55,899.31	-55,899.31	2,126,236.77		2,126,236.77
9		58,414.78	-58,414.78	2,276,340.20		2,276,340.20
10		61,043.44	-61,043.44	2,437,040.32		2,437,040.32
			-14,513,610.84	18,274,757.91	3,656,305.11	21,931,063.02

Fuente: Análisis de Factibilidad Económica del proyecto. Véase Anexos

El valor presente neto y la TIR, considerando la tasa de descuento de 7.0% quedaría de la siguiente manera (Tabla 9.21)

Tabla 9.21 Valor presente neto y Tasa interna de retorno de la inversión

VPN	\$1,418,417.21
TIR	9%

Fuente: Análisis de Factibilidad Económica del proyecto. Véase Anexos

Por lo tanto, dado que el valor presente neto de la CSFV es positivo y la TIR es mayor que el rendimiento de una posible inversión a plazo fijo. Se concluye que la inversión está justificada.

9.3 INFORME PREVENTIVO DE IMPACTO AMBIENTAL

Esta instalación fotovoltaica forma parte de las actuaciones previstas por el Gobierno Federal en el marco de la estrategia de energías renovables para reducir emisiones de CO₂. Con este proyecto se contribuiría al objetivo del Gobierno Federal de aumentar anualmente la aportación energética de las fuentes de energía renovables en México, así como a difundir entre los profesionales y el público en general la tecnología de la energía solar fotovoltaica conectada a la red eléctrica.

BENEFICIOS MEDIOAMBIENTALES DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA.

Las principales aportaciones de la producción de energía mediante tecnología fotovoltaica en términos de beneficios para el medioambiente son, su funcionamiento totalmente silencioso y la no emisión de CO₂ en sus procesos de generación eléctrica. La reducción de emisiones de CO₂ depende de la fuente de producción de energía con la que se la compare. Así, a modo de referencia, cabe destacar que:

- Cada kWh generado con energía solar fotovoltaica evita la emisión a la atmósfera de aproximadamente 1kg de CO₂, contra la generación eléctrica con carbón, o aproximadamente 400g de CO₂ en el caso de generación eléctrica con gas natural.
- Una vivienda unifamiliar con una potencia instalada en su techo, de aproximadamente 5 kWp puede evitar anualmente 1.8 toneladas de CO₂ comparándola con la generación eléctrica mediante una central de ciclo combinado de gas natural.

Las instalaciones fotovoltaicas de interconexión a red sobre cubiertas de naves industriales tienen un impacto medioambiental que podemos considerar prácticamente nulo. Si analizamos diferentes factores, como son el ruido, emisiones gaseosas a la atmósfera, destrucción de flora y fauna, así como la generación de residuos tóxicos, veremos que su impacto está limitado a la fabricación de sus componentes.

IMPACTO DEBIDO A LA EJECUCIÓN DE OBRA DE LA INSTALACIÓN

La ejecución de la instalación tendrá una duración en el tiempo estimada entre 2 y 3 meses. Durante ese período los impactos ambientales serán los siguientes:

Ruido

Ocasionado por el uso de la maquinaria necesaria, principalmente máquinas elevadoras, y los camiones de transporte de mercancías. En ningún caso el ruido sobrepasará los niveles admitidos según legislación vigente mientras los equipos

utilizados se encuentren dentro de los rangos previstos en los procesos de verificación ambiental y debidamente autorizados.

Emisiones gaseosas a la atmósfera:

Ocasionados por el uso de la maquinaria necesaria, principalmente máquinas elevadoras, y los camiones de transporte de mercancías. En ningún caso las emisiones gaseosas a la atmósfera sobrepasarán los niveles admitidos según legislación vigente mientras los equipos utilizados se encuentren dentro de los rangos previstos en los procesos de verificación ambiental y debidamente autorizados.

Destrucción de flora y fauna:

Ninguno de los equipos necesarios para la ejecución de la instalación tiene efecto perjudicial directo sobre la flora o la fauna más allá de los previstos y permitidos en la legislación vigente y mientras los equipos utilizados se encuentren dentro de los rangos previstos en los procesos de verificación ambiental y debidamente autorizados.

Residuos tóxicos y peligrosos vertidos al sistema de saneamiento:

Para funcionar, los equipos de construcción no necesitan verter nada al sistema de saneamiento.

IMPACTO DEBIDO AL FUNCIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN

Como se aprecia a continuación, el funcionamiento de una instalación fotovoltaica sobre cubierta conectada a red tiene un impacto ambiental despreciable.

RUIDO

Paneles fotovoltaicos: la generación de energía de los paneles fotovoltaicos, es un proceso totalmente silencioso.

Emisiones gaseosas a la atmósfera.

La forma de generar de un sistema fotovoltaico, no requiere ninguna combustión para proporcionar energía, solo de una fuente limpia como es el sol.

Destrucción de flora y fauna.

Ninguno de los equipos de la instalación tiene efecto perjudicial directo sobre la flora o la fauna.

Residuos tóxicos y peligrosos vertidos al sistema de saneamiento:

Para funcionar, los equipos de la instalación no necesitan verter nada al sistema de saneamiento.

IMPACTO DEBIDO A LA FABRICACIÓN DE COMPONENTES

Si bien es cierto que una CSFV tiene un impacto ambiental casi nulo, la producción misma de los componentes genera emisiones de CO₂ principalmente en sus etapas iniciales de fabricación. Es importante recalcar que, por si solas, la extracción y purificación de los elementos principales como el Silicio, representa alrededor del 40% de las emisiones totales de un módulo. El Retorno Energético o EPBT (mencionado anteriormente en este trabajo, capítulo EL PERÍODO DE RETORNO ENERGÉTICO DE LAS CELDAS FOTOVOLTAICAS CAPÍTULO 3.2.6), nos indica que el simple funcionamiento de la CSFV durante 1-4 años, retorna el gasto de emisiones producidas en la manufactura de las celdas.

Es en todos los procesos de fabricación de los elementos del sistema solar FV, tales como, componentes electrónicos para los inversores, estructuras de soporte, cables, etc., donde las emisiones gaseosas a la atmósfera y vertidos de residuos pueden tener un impacto sobre el medio ambiente, la magnitud de la emisión por todo el conjunto de elementos de la CSFV se estima alrededor de los 45 grCO₂/kWh.

En materia de residuos en la fabricación, los principales son: disoluciones de metales, aceites, disolventes orgánicos, restos de los dopantes y los envases de las materias primas que han contenido estos productos. Los ácidos y los álcalis empleados en los procesos de limpieza pertenecen a la clase de residuos que se eliminan a través del sistema integral de saneamiento previo tratamiento especializado. En este trabajo no se encuentran documentadas las actuaciones en materia de eliminación de este tipo de residuos, ya que es responsabilidad de cada proveedor el velar por el cumplimiento de la legislación vigente, así pues, el aseguramiento de certificación de calidad nos garantiza que los procesos de mitigación y documentación de los mismos sean llevados a cabo por los fabricantes.

Otro aspecto importante es el uso de agua en la manufactura del sistema en conjunto, se estima que cada watt fabricado requiere un estimado de 2 a 5 litros de agua. Para el caso de nuestra CSFV se estima que, en la fabricación de los elementos, se necesitó un promedio de 1,750 m³ de agua.

Finalmente, según el Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE (Alemania) y el NREL (National Renewable Energy Laboratory, EE. UU.), el proceso de fabricación, en suma, se estima que tiene un tiempo de retorno energético de entre 4 y 7 años, muy

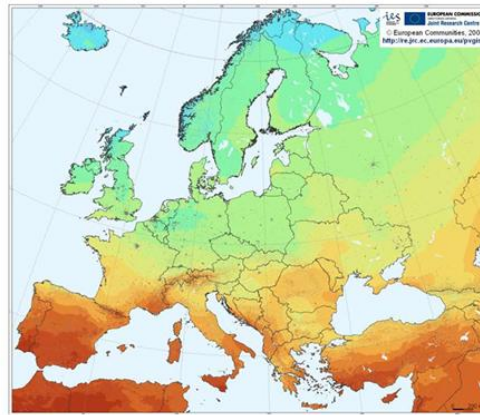
inferior a la vida prevista para el tiempo de vida útil de la CSFV, que es superior a los 40 años. Se trata por tanto de una instalación sostenible desde el punto de vista ecológico ya que aprovecha los recursos naturales con unos beneficios que superan ampliamente los costes medioambientales.

Figura 9.3 Tiempo de retorno energético de un Sistema Solar Fotovoltaico

Energy Pay-Back Time of Silicon PV Rooftop Systems

Geographical Comparison

- Rooftop PV system using mono-crystalline silicon cells* produced in China
- EPBT is dependent on irradiation, but also on other factors like grid efficiency**.
- In addition to solar radiation, grid efficiency also has an influence on EPBT. A higher grid efficiency increases the EPBT.



Data source: Fraunhofer ISE. Image: JRC European Commission. Graph: PSE Projects GmbH 2020 (Modified scale with updated data from Fraunhofer ISE)

37

©Fraunhofer ISE public

*Cz PERC cells module with 19.9% efficiency

**relation between primary energy to produced electricity in the grid used for manufacturing of the PV system

***Calculated with an average Central Europe grid efficiency of 36%.

Fraunhofer ISE

Fuente: Reporte Fotovoltaico Fraunhofer ISE (Fraunhofer ISE, 2025).

OBSERVACIONES

Según la CFE el consumo medio de una casa en la zona del municipio en Hidalgo, ronda los 200-250 kWh/mes. El consumo anual se estima entonces en 2,400-3,000 kWh/año (2,700 kWh/año en promedio).

Se prevé que la CSFV de la cementera generará alrededor de 1,000,000 kWh/año. Por lo tanto, la energía producida por la Central Solar equivale a abastecer a 370 viviendas por el lapso de un año.

Según datos de la SIGEH, en todo el municipio existen 33,265 casas (SIGEH, 2024), por lo que la CSFV hipotéticamente hablando, amortiza la carga de suministro a la CFE en un 11.12%.

En términos de disminución de CO₂, la CSFV evita la emisión de 582 Ton de CO₂ a la atmósfera al año. Según datos de Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. (EPA),

un automóvil particular promedia una emisión anual de 4.6 Ton de CO₂ (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, 2024), por lo que la CSFV cubre la emisión de dióxido de carbono de alrededor de 126 automóviles.

El parque vehicular del municipio es de 23,923 automóviles particulares (SIGEH, 2024), con lo que la central amortiza un 0.53% de la emisión de gases de CO₂ del total del parque vehicular del municipio.

CAPÍTULO X. CONCLUSIONES

Con base al trabajo de investigación y los resultados obtenidos, podemos concluir que, los beneficios que aporta la implementación de una central solar fotovoltaica a una empresa cementera son muchos, pero en esencia y para los efectos del presente trabajo, hablaremos de tres aspectos importantes.

En primer lugar, el ambiental, todos los beneficios de las instalaciones solares están plenamente documentados y corroborados, existen infinidad de proyectos que objetivamente han demostrado en poco tiempo, que la energía de origen fotovoltaica, representa una de las mejores ideas que se han tenido en nuestros tiempos para obtener un recurso tan importante como lo es, la energía eléctrica. Sin dejar espacio para las ambigüedades, las centrales solares, funcionando silenciosamente, sin alterar el equilibrio ambiental local y sin expulsar elementos perjudiciales, no trastocan los recursos que necesitarán nuestras siguientes generaciones, con total seguridad. Por todo ello, a nivel ambiental, la instalación solar, cumple el objetivo de su instalación.

En segundo lugar, el económico, los datos arrojados en el estudio de factibilidad económica, concluyen y aseguran, la certeza financiera de una inversión de este tipo, además, a la empresa le representa una ventaja estratégica a nivel de gastos futuros, asegurándose ahorros sostenidos en el tiempo y estabilidad en costos de producción. Lo anterior contribuye a incrementar el nivel de competitividad que la empresa podrá brindar en beneficio de sus clientes. A diferencia de una inversión financiera bancaria, la instalación solar brinda un beneficio tangente e intrínseco, como lo es la obtención directa de energía, que podemos considerar como, una materia prima elemental, en el desarrollo de las actividades de una empresa como la cementera, asegurar la autosuficiencia de este recurso en el tiempo, es una decisión acertada y previsor. Dados los resultados, la instalación solar a nivel económico, cumple el objetivo de su instalación.

Por último, a nivel social, las instalaciones solares se han convertido, en el pensamiento colectivo de las personas, en un símbolo de innovación, progreso y avance. Mas aún, a una gran parte de la población le provoca una sensación de respeto al medio ambiente y le inspira querer ser parte de la solución. Subconscientemente al ver una instalación solar, nuestra mente recurre a la idea de que, 'se está haciendo algo al respecto', y lo valora tremendamente. Por lo tanto, la instalación, solar a nivel social, cumple con el objetivo de su instalación.

Como comentario final, este proyecto está basado plenamente en uno los casos que existen en la realidad, se puede asegurar, que la central solar, que ha servido como referente al presente trabajo, a los pocos años de su implementación, ya ha retornado el costo de su inversión, con todos los beneficios sociales y ambientales que se han mencionado, sin dejar lugar a hipótesis.

Por lo tanto, se corrobora y concluye, mediante la investigación y los resultados presentados, que se justifica la instalación de la central solar fotovoltaica y que, el objetivo señalado al inicio del presente trabajo, se ha cumplido de manera satisfactoria.

BIBLIOGRAFÍA.

- ABB. (2015). *ABB Products*. Obtenido de OT400U03P :
<https://new.abb.com/products/es/1SCA022718R9670/ot400u03p>
- ABB. (2015). *ABB Products*. Obtenido de SR2-SRN12830K:
<https://new.abb.com/products/es/SRN12830K/sr2-srn12830k>
- ABB. (2016). *Solution Series*. Obtenido de Distribution Blocks DBL range:
https://new.abb.com/docs/librariesprovider54/publikationer/distribution-blocks-dbl-range.pdf?sfvrsn=e36cc113_2
- Agencia de Protección Ambiental. (08 de 2024). *Calculador de equivalencias de gases de efecto invernadero*. Obtenido de La energía y el medio ambiente:
https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/calculador-de-equivalencias-de-gases-de-efecto-invernadero?utm_source=copilot.com
- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (2024). *Calculador de equivalencias de gases de efecto invernadero*. Obtenido de La energía y el medio ambiente: <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/calculador-de-equivalencias-de-gases-de-efecto-invernadero?>
- Alcor Cabrerizo, E. (1987-2002). *Instalaciones Solares Fotovoltaicas*. Progensa.
- Bequerel, A. (1839). *Mémoire sur les effets électriques produits sous l'influence des rayons solaires*. Comptes Rendus de l'Académie des sciences.
- BP. (25 de septiembre de 2025). *Energy Outlook*. Obtenido de BP.com:
<https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/energy-outlook/energy-outlook-downloads.html>
- Cámara de Diputados. (11 de 12 de 2013). *Ley de Impuestos sobre la Renta*. Obtenido de diputados.gob.mx:
<https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LISR.pdf>
- Camara de Diputados. (11 de 08 de 2014). *Ley de la Industria Eléctrica*. Obtenido de gob.mx:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/31722/LIElec_110814.pdf
- Castro Gil, M. A., Dávila, L., & Colmenar Santos, A. (2009). *Sistemas fotovoltaicos conectados a red, estándares y condiciones técnicas*. Progensa.

- CCEEA. (s.f.). *¿Cuáles son las normas para instalaciones fotovoltaicas en México?* Obtenido de CCEEA.mx: <https://cceeaa.mx/blog/energia-solar-fotovoltaica/cuales-son-las-normas-para-instalaciones-fotovoltaicas-en-mexico>
- CELDARES. (2025). *¿Qué es un punto caliente en un panel solar?* Obtenido de celdares.mx: <https://celdares.mx/que-es-un-punto-caliente-en-un-panel-solar/>
- CFE. (08 de 2008). *Norma CFE G0100-04*. Obtenido de lapem.cfe.gob.mx: <https://lapem.cfe.gob.mx/normas/pdfs/f/G0100-04.pdf>
- Climate Data. (2025). *Clima MUnicipio de Hidalgo*. Obtenido de Climate Data: <https://es.climate-data.org/america-del-norte/mexico/hidalgo/tula-de-allende-45563/>
- Comisión Europea . (10 de 10 de 2025). *Photovoltaic Geographical Information System*. Obtenido de PVGIS INteractive Tools: <https://meteonorm.com/>
- Comisión Federal de Energía. (2026). *Consulta tu recibo de luz*. Obtenido de Gobierno de México: <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/ReciboDeLuzGMX/Consulta>
- Comisión Reguladora de Energía. (07 de 03 de 2017). *Disposiciones Administrativas, Contrato de contraprestacion y especificaciones técnicas para generacion distribuida*. Obtenido de DOF.gob: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5474790&fecha=07/03/2017&print=true
- Comisión Reguladora de Energía. (07 de 03 de 2025). *Acuerdo Num. A/113/2024*. Obtenido de DOF: [https://www.cenace.gob.mx/Docs/16_MARCOREGULATORIO/SENYMEM/\(DOF%202025-03-07%20CRE\)%20A-113-2024%20DACG%20para%20integraci%C3%B3n%20de%20Sistemas%20de%20Almacenamiento.pdf](https://www.cenace.gob.mx/Docs/16_MARCOREGULATORIO/SENYMEM/(DOF%202025-03-07%20CRE)%20A-113-2024%20DACG%20para%20integraci%C3%B3n%20de%20Sistemas%20de%20Almacenamiento.pdf)
- De Juana Sardón, J. M. (2003). *Energías Renovables para el Desarrollo*. Madrid, España: Thomson Editores.
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar Engineering of Thermal Process*. Wiley.
- E., N. J., Alfaro, M., Alfaro, I., & Guerra, R. (25 de 01 de 2021). *Determinación de la eficiencia de un mini panel solar fotovoltaico: una experiencia de laboratorio en energías renovables*. Obtenido de scielo.org.mx:

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-893X2020000200022

- Ejot. (2026). *Ejot Fastener JT3-SB with FZD fibre cement seal*. Obtenido de Ejot Fastener Products: <https://www.ejot.com/Building-Fasteners/Products/Solar-Products/Solar-Fasteners/Solar-Fastener-set-JT3-SB-3-8-0-xL-with-FZD-fibre-cement-seal/p/JT3-SB-8-0-FZD>
- Elisa, M., & Yolotzin, B. (06 de 2012). *DISEÑO DE UNA PLANTA GENERADORA SOLAR FOTOVOLTAICA DE 20MW*. Obtenido de tesunamdocumentos.dgb.unam: <https://tesiunamdocumentos.dgb.unam.mx/ptd2013/agosto/0699997/Index.html>
- Expok. (15 de 05 de 2018). *Cruz Azul generará energía alternativa, ¿conoce cómo lo hará!* Obtenido de expok. Comunicacion de sustentabilidad y RSE: <https://www.expoknews.com/cruz-azul-generara-energia-alternativa/>
- Fraunhofer ISE. (31 de 10 de 2025). *ISE Fraunhofer Studies*. Obtenido de Photovoltaics Report: <https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/photovoltaics-report.html>
- Gaëtan Masson, A. V.-W. (2025). *International Energy Agency Snapshot 2025 Report*. Obtenido de IEA.PVPS: https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2025/04/Snapshot-of-Global-PV-Markets_2025.pdf
- Gobierno de México. (2017). *RES/142/2017*. Obtenido de Gob.mx: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/207447/a._Contrato_que_colebran_el_Suministrador_de_Servicios_Basicos_y_el_Generador_Exento_para_determinar_la_contraprestacion_aplicable_por_la_energia_elctrica.pdf
- Google . (2025). *Hidalgo México*. Obtenido de Google Earth: https://earth.google.com/web/@0,0,0a,22251752.77375655d,35y,0h,0t,0r/data=CgRCAggBQgIIAUoNCP_____wEQAA
- GSA. (2025). *Mexico - Global Solar Atlas*. Obtenido de globalsolar atlas: <https://globalsolaratlas.info/download/mexico>
- Halliday, D., & Robert, R. (1979). *Física. Parte II*. Compañía Editorial Continental S.A.
- Harper Enrique, G. (2005). *EL ABC de las Instalaciones Eléctricas en Sistemas Fotovoltaicos*. Limusa.

- International Energy Agency. (04 de 2025). *Strategic PV Analysis and Outreach* .
Obtenido de IEA: https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2025/04/Snapshot-of-Global-PV-Markets_2025.pdf
- IRENA. (11 de 2016). *RENEWABLE ENERGY* . Obtenido de Análisis del mercado de energías renovables: América Latina: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_Market_Analysis_Latin_America_2016.pdf
- IRENA. (07 de 2022). *China's Route to Carbon Neutrality: Perspectives and the Role of Renewables*. Obtenido de IRENA.ORG:
<https://www.irena.org/Publications/2022/Jul/Chinas-Route-to-Carbon-Neutrality>
- IRENA. (01 de 2026). *Efectos ambientales locales y beneficios de las plantas solares fotovoltaicas a gran escala*. Obtenido de IRENA.ORG: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2026/Jan/IRENA_POL_Local_environment_solar_PV_2026.pdf
- IRENA-SENER. (05 de 2015). *Perspectivas de energías renovables: México*. Obtenido de IRENA.ORG: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2015/IRENA_REmap_Mexico_report_2015.pdf
- Jutglar, L. (2012). *Generación de energía solar Fotovoltaica*. Barcelona: Marcombo.
- López Monteagudo, F. E., Villela Varela, R., & Reyes Rivas, C. (2015). *Sistemas de control para seguidores solares -. Seguidor Solar-*. Editorial Académica Española.
- Meteoblue. (2025). *Meteoblue*. Obtenido de Windy.com:
https://www.meteoblue.com/es/tiempo/semana/m%c3%a9xico_m%c3%a9xico_11537218
- Meteonorm. (2026). *Global Solar Data*. Obtenido de Meteonorm.com:
<https://meteonorm.com/>
- Ministerio del Medio Ambiente Rural y Marino de España. (2025). *La radiación solar*. Obtenido de AEMET.es:
https://www.aemet.es/documentos/es/eltiempo/observacion/radiacion/Radiacion_Solar.pdf

- Naciones Unidas. (2023). *Informe Global sobre Desarrollo Sostenible (GSDR) 2023*. Obtenido de SDGS Departamento de Asuntos Económicos y Sociales: https://sdgs.un.org/sites/default/files/2023-09/FINAL%20GSDR%202023-Digital%20-110923_1.pdf
- PROMÉXICO, NEGOCIOS, U. D., & SECTORIAL, U. D. (2017). *La Industria Solar Fotovoltaica en México*. Obtenido de gob.mx: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/428621/La_industria_solar_fv_y_ft_en_M_xico-compressed.pdf
- RAE. (2014). *Definición de energía*. Obtenido de DLE.RAE.ES: <https://dle.rae.es/energ%C3%ADa>
- Roca, J. A. (17 de 05 de 2020). *Las 20 mayores plantas fotovoltaicas del mundo: India manda en el Ranking y España entra en el Top 20*. Obtenido de El Periódico de la Energía: <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/>
- Rodriguez, E. (2022). *Paneles Solares*. Obtenido de areatecnologica.com: <https://www.areatecnologica.com/electricidad/paneles-solares.html>
- S/A. (6 de 09 de 2015). *La visión humana*. Obtenido de Bloga La Vision Humana Biofisica: <https://bloglavisionhumana-biofisica2015.blogspot.com/2015/09/la-luz-sellama-luz-del-latin-lux-lucis.html>
- SECRETARÍA DE ENERGÍA. (29 de 11 de 2012). *Norma Oficial Mexicana 001 SEDE 2012*. Obtenido de DOF: https://platiica.economia.gob.mx/wp-content/uploads/sites/2/PDF_Normas_Publicas/001sede2012.pdf
- Secretaria de Gobernación- México. (15 de 12 de 2016). *Manual de Interconexión de Centrales de Generación con Capacidad menor a 0.5 MW*. Obtenido de DOF: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5465576&fecha=15/12/2016#gsc.tab=0
- SENER. (2012). *Prospectiva de energía renovables 2012-2026*. Obtenido de gob.mx: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/62954/Prospectiva_de_Energias_Renovables_2012-2026.pdf
- SIGEH. (2024). *Planeación. UNidad de Planeación y Prospectiva*. Obtenido de sigeh.hidalgo.gob.mx: https://sigeh.hidalgo.gob.mx/pags/info_mun/municipal/13076%20-%20Tula%20de%20Allende.pdf

- SISTEMA DE INFORMACIÓN ENERGÉTICA. (2026). *Sistema de Información Energética*. Obtenido de SIE.ENERGIA.GOB.MX:
<https://sie.energia.gob.mx/inicio/#/>
- TANFON SOLAR. (13 de 04 de 2019). *What is a 4BB solar cell and 5BB solar cel?*
 Obtenido de tanfon.com: <https://www.tanfon.com/news/industry-news/5-busbar-solar-cell.html>
- Tecnológicas, C. d. (2014). *Fundamentos, dimensionado y aplicaciones de la energía solar fotovoltaica*. Ciemat.
- UNICEF. (25 de 02 de 2025). *¿Qué es sostenibilidad y cuales son sus objetivos?*
 Obtenido de unicef.es:
<https://www.unicef.es/blog/sostenibilidad/sostenibilidad-que-es-objetivos-planes>
- United Nations. (2015). *Acuerdo de París*. Obtenido de Unfccc:
https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf
- United Nations. (11 de noviembre de 2024). *OMM Actualización sobre el estado del clima 2024*. Obtenido de
https://library.wmo.int/viewer/69075/download?file=State-Climate-2024-Update-COP29_en.pdf&type=pdf&navigator=1
- Voltiva Energy. (27 de 06 de 2024). *¿De que estan hechos los paneles?* Obtenido de Autoconsumo Fotovoltaico: <https://voltiva.energy/componentes-de-paneles-solares-materiales-y-celdas-explicados/>

ARTICULOS DE REVISTAS

- Collado, E., Nuevos retos de la conexión de las instalaciones fotovoltaicas a la red, *Energética XXI* No. 85, 36-49, marzo 2009.
- Bianco F., Control de Potencia de un Generador Fotovoltaico Conectado a la Red de Distribución de Baja Tensión y Análisis del Comportamiento del Generador Frente a Defectos en la Red, Ingeniero Sector Planificación y Estudios de Distribución, UTE.

MANUALES Y/O NORMAS

- GRUPO CONDUMEX, Los Sistemas Fotovoltaicos: Curso De Introducción, Condumex.
- GRUPO CONDUMEX, Manual Técnico De Cables De Energía, Condumex, 2006.

ANEXOS.

ANEXO 1. CONCEPTOS BASICOS

ANEXO 2. LISTA DE LEYES Y NORMATIVAS

ANEXO 3. PLANOS UNIFILIARES, DE CONEXIÓN E INSTALACIÓN

ANEXO 4. ANÁLISIS DE COSTOS

ANEXO 5. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA

ANEXO 6. HOJAS DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS ELEMENTOS PRINCIPALES (MÓDULOS, INVERSOR, ESTRUCTURA Y CABLE SOLAR))

ANEXO 1. CONCEPTOS BÁSICOS

CONCEPTOS BÁSICOS

- AM o masa de aire: Medida de la distancia que recorre la radiación al atravesar la atmósfera y que varía según el ángulo de incidencia.
- Armónicos eléctricos: Ondas de frecuencia múltiplo de la fundamental (50-60 Hz) que distorsionan la señal eléctrica, generadas por cargas no lineales (2do, 3ro y 5to).
- Array o arreglo fotovoltaico: Conjunto de strings/líneas conectadas en paralelo o serie que forman la instalación completa.
- Autoconsumo o autoabastecimientos eléctrico: Consiste en generar electricidad para ser consumida por el mismo productor. En caso de que el productor consiga cubrir el 100% de su consumo eléctrico mediante la energía por el mismo generada, estaríamos ante un caso de independencia eléctrica. La ley permite un autoabastecimiento hasta 500 KW sin obtención de ningún permiso, a partir de esa potencia se hace el trámite para autoconsumo.
- Balance neto o 'net metering': Es la posibilidad que se tiene de compensar la electricidad que consume entre la que se genera.
- Balance de sistema (BOS): Conjunto de componentes adicionales en una instalación fotovoltaica (cables, protecciones, estructuras, etc.).
- Banco de baterías: Conjunto de baterías interconectadas que almacenan la energía generada por los paneles.
- Caja de conexiones (string box): Agrupa y protege las conexiones de varios paneles, incluye fusibles y seccionadores.
- Cables solares: Conductores especiales resistentes a radiación UV y altas temperaturas, que conectan los paneles con el resto del sistema.
- Capacidad instalada: Cantidad máxima de producción o generación que un sistema puede alcanzar bajo condiciones normales de operación.
- Carga instalada: Es la suma de las potencias de los equipos, aparatos y dispositivos, que el usuario conectara a sus instalaciones, expresado el valor total en kW.
- Carga por contratar: Solicitud del suministro de energía eléctrica establecida por la carga instalada por contratar.
- Celda fotovoltaica o celda fotovoltaica (solar): Unidad básica de un panel solar, generalmente de silicio, que transforma la energía solar en electricidad.
- CENACE (Centro Nacional de Control de Energía): Organismo público descentralizado cuyo objeto es ejercer el Control Operativo del Sistema Eléctrico Nacional; la operación del mercado eléctrico mayorista y garantizar

imparcialidad en el acceso a la red nacional de transmisión y a las redes generales de distribución.

- CFE (Comisión Federal de Electricidad): Organismo público descentralizado del Gobierno Federal con personalidad jurídica y patrimonio propio que tiene la facultad de generar, conducir, transformar, distribuir y abastecer toda la energía eléctrica que tenga por objeto la prestación de servicio público de energía eléctrica dentro del territorio nacional.
- Coeficiente de temperatura: Parámetro que indica cómo varía la potencia del panel con la temperatura ambiente.
- Condiciones estándar de prueba (STC): Parámetros de laboratorio (1000 W/m^2 , $25 \text{ }^\circ\text{C}$, espectro AM 1.5) usados para medir la potencia pico de los paneles.
- Conectores MC4: Conectores estándar para unir paneles solares de forma segura y estanca.
- Consumo eléctrico: La energía consumida durante un tiempo determinado y medida en watt hora (Wh), o en kilowatt-hora (kWh).
- Corriente alterna (CA/AC): Flujo eléctrico que cambia de dirección periódicamente, utilizado en la mayoría de los aparatos eléctricos.
- Corriente continua (CC/DC): Flujo eléctrico unidireccional producido por los paneles solares.
- CRE (Ahora CNE) (Comisión Reguladora de Energía): Dependencia de la Administración Pública que regular y promueve el desarrollo eficiente de, entre otras actividades, la generación de electricidad, los servicios públicos de transmisión y distribución eléctrica, la transmisión y distribución eléctrica que no forma parte del servicio público y la comercialización de electricidad.
- Curva I-V: Relación entre corriente y tensión de un panel solar, usada para determinar su punto de máxima potencia.
- Demanda: Es la carga promedio en las terminales de una instalación o sistema en un intervalo especificado, expresada en watts, o sus múltiplos como son kW, MW, etc.
- Demanda Contratada: Es la demanda que el suministrador y el usuario conviene inicialmente en el contrato.
- Demanda facturable: Cantidad de energía que tiene como factores la demanda pico, demanda intermedia y demanda base así como dos factores de reducción definidos por la CFE.
- Demanda máxima: Medida de la energía consumida que interviene en la facturación y que se determina mensualmente y que indica la demanda media en kilowatts durante cualquier intervalo de 15 minutos, en el cual el consumo

de energía eléctrica sea mayor que en cualquier otro intervalo de 15 minutos en el periodo de facturación. (Tarifas (antes) O-M, H M).

- Descargadores de sobretensión: Dispositivos que protegen la instalación contra picos de tensión.
- Efecto fotovoltaico: Fenómeno físico por el cual ciertos materiales (semiconductores), generan corriente eléctrica al recibir luz solar.
- Eficiencia del módulo: Porcentaje de energía eléctrica que puede convertir un panel en relación con la cantidad de energía solar recibida.
- Energía fotovoltaica: Electricidad generada directamente a partir de la radiación solar mediante el efecto fotovoltaico.
- Estructura de soporte: Sistema mecánico que sostiene los paneles solares, puede ser fijo o con seguimiento solar.
- Factor de capacidad: Relación entre la energía realmente producida y la máxima teórica que podría producirse.
- Factor de carga: Relación entre la energía realmente producida y la energía máxima teórica que podría producirse.
- Factor de potencia: Indicador sobre el correcto aprovechamiento de la energía, de forma general es la cantidad de energía que se ha convertido en trabajo. El factor de potencia puede tomar valores entre 0 y 1.
- FIDE (Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica): Fideicomiso privado, sin fines de lucro, se constituyó por iniciativa de la Comisión Federal de Electricidad para el apoyo al Programa de Ahorro de Energía Eléctrica; para coadyuvar en las acciones de ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica.
- FIRCO (Fideicomiso de Riesgo Compartido): Es una entidad paraestatal, creada por Decreto Presidencial y sectorizado en la SAGARPA, para fomentar los agronegocios, el desarrollo rural por microcuencas y realizar funciones de agente técnico en programas del sector agropecuario y pequero.
- Fusibles: Elementos de protección que interrumpen el circuito en caso de sobrecorriente.
- Generador: Es la persona física o moral que cuente con un equipo de generación eléctrica con fuente de energía renovable.
- Generación distribuida: Producción de energía eléctrica a pequeña escala, cercana al lugar donde se consume, normalmente conectada a las redes de distribución y realizada por centrales menores a cierto límite de potencia
- Granja o huerta solar: Recinto o espacio en el que pequeñas instalaciones fotovoltaicas de diferentes titulares comparten infraestructuras y servicios. La

diferencia entre un parque solar y una huerta solar está en el tamaño y en su carácter industrial o agrario.

- Hora Solar Pico (HSP): La hora solar pico u hora pico se le conoce como a la cantidad de insolación recibida en un Panel Solar Fotovoltaico en un tiempo de una hora. Sus unidades son; 1 HSP=1000 Wh/m².
- Insolación: La acumulación de energía promedio durante un periodo de tiempo. Es la misma irradiancia, pero considerando un tiempo promedio de permanencia sobre una superficie.
- Inversor: Dispositivo que convierte la corriente continua (DC) en corriente alterna (AC).
- Inversor aislado (off-grid): Diseñado para sistemas sin conexión a la red eléctrica, alimentado por baterías.
- Inversor conectado a red (grid-tied): Sincroniza la energía solar con la red eléctrica pública.
- Irradiancia solar: Cantidad de energía solar recibida por unidad de superficie (W/m²).
- Irradiación solar: Energía solar acumulada en un periodo de tiempo sobre una superficie (Wh/m² o kWh/m²).
- Medidor bidireccional: En sistemas conectados a red, mide tanto la energía consumida como la inyectada.
- Módulo fotovoltaico (panel solar): Conjunto de celdas solares que convierten la radiación solar en electricidad en corriente continua.
- MPPT (Maximum Power Point Tracking): Algoritmo que optimiza la extracción de energía de los paneles solares ajustando tensión y corriente.
- Panel o módulo fotovoltaico (solar): Están formados por un conjunto de celdas que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellos. El parámetro estandarizado para clasificar su potencia se denomina potencia pico. Tipos de paneles; Monocristalinos, Policristalinos y amorfos.
- Parque solar: Instalación solar fotovoltaica de gran tamaño que puede tener uno o varios propietarios y que vende o suministra la energía a la red eléctrica.
- Pequeña producción: Generación de energía eléctrica en plantas con capacidad menor o igual a 30 MW, y que la energía eléctrica se destine para su venta al suministrador o a la exportación, o; plantas con capacidad menor o igual a 1 MW, y que la energía eléctrica se destine al autoabastecimiento de pequeñas comunidades rurales o áreas aisladas que carezcan del servicio de energía eléctrica.

- **Permisionario:** Persona física o moral constituida conforme a las leyes mexicanas y con domicilio en el territorio nacional, que solicitó y obtuvo de la CRE (Ahora CNE) el permiso necesario para generar energía eléctrica.
- **Potencia eléctrica:** Cantidad de energía eléctrica que se transfiere o convierte en un circuito por unidad de tiempo; se mide en *Watt (W)* y se calcula como el producto del voltaje (V) y la corriente (I).
- **Productores independientes de energía (PIE):** Producción independiente es la generación de energía eléctrica en plantas con capacidad mayor de 30 MW, siempre que la energía eléctrica se destine para su venta al suministrador o a la exportación.
- **Potencia nominal:** Capacidad máxima de generación o consumo de un dispositivo bajo condiciones estándares ideales.
- **Potencia pico (Wp):** Máxima potencia que puede entregar un panel solar bajo condiciones de prueba estándar.
- **Protecciones eléctricas:** Dispositivos como fusibles, interruptores y seccionadores que garantizan seguridad en la instalación.
- **Punto de máxima potencia (MPP):** Condición de operación en la que el panel entrega la mayor cantidad de energía posible.
- **Radiación:** Proceso de transmisión de ondas o partículas a través del espacio. La radiación del Sol es emitida en todas las longitudes de onda, pero tiene un máximo en la región de luz visible.
- **Radiación global horizontal (GHI):** Medida de la radiación solar total recibida en una superficie horizontal.
- **Regulador de carga:** Equipo que controla la energía que entra a las baterías para evitar sobrecargas o descargas profundas.
- **SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación):** Es una dependencia del Poder Ejecutivo Federal, que tiene entre sus objetivos propiciar el ejercicio de una política de apoyo que permita producir mejor, aprovechar mejor las ventajas comparativas de nuestro sector agropecuario, integrar las actividades del medio rural a las cadenas productivas del resto de la economía, y estimular la colaboración de las organizaciones de productores con programas y proyectos propios, así como con las metas y objetivos propuestos, para el sector agropecuario, en el Plan Nacional de Desarrollo.
- **SEN (Sistema Eléctrico Nacional):** El conjunto de instalaciones destinadas a la generación, transmisión, transformación, subtransmisión, distribución y venta de energía eléctrica de servicio en toda la República Mexicana.

- SENER (Secretaría de Energía): Su misión es conducir la política energética del país, dentro del marco constitucional vigente, para garantizar el suministro competitivo, suficiente, de alta calidad, económicamente viable y ambientalmente sustentable de energéticos que requiere el desarrollo de la vida nacional.
- Seguimiento solar (tracker): Mecanismo que orienta los paneles para maximizar la captación de radiación solar.
- Seccionadores: Dispositivos que permiten abrir o cerrar circuitos de forma manual para mantenimiento.
- Sistemas interconectados a red: Sistemas generadores de energía y que inyectan dicha energía a la red de CFE.
- Sistema de monitoreo: Software o hardware que permite visualizar la producción, consumo y estado de la instalación en tiempo real.
- String: Conjunto de paneles conectados en serie o en paralelo para aumentar la tensión de salida.
- Suministradores de servicios básicos: Entidad —pública o privada— que provee a la población los recursos o servicios esenciales para la vida cotidiana y el funcionamiento de la sociedad.
- Temperatura Nominal de Operación de la Célula (NOCT): Temperatura que alcanzan las células solares cuando el panel está funcionando en condiciones estándar de prueba de campo.
- THD (Total Harmonic Distortion): Índice que mide el nivel de distorsión armónica en una instalación.
- Transformador: Dispositivo que adapta la tensión de entrada a la tensión de salida de la red o de la instalación.
- Usuarios calificados: Usuarios finales que superen un consumo o demanda mínima agregada, inicialmente de 3 MW. Estos usuarios podrían contratar su suministro con empresas privadas o con la propia CFE a tarifas no reguladas. Se adquiere inscribiéndose en el registro a cargo de la CRE (Ahora CNE). Estos usuarios podrán recibir el suministro eléctrico y vender la energía eléctrica y productos asociados de su demanda controlable a través de un suministrador de servicios calificados.

Fuentes: (Comisión Reguladora de Energía, 2025), (CFE, 2008), (Comisión Reguladora de Energía, 2017), (Gobierno de México, 2017), (Secretaría de Gobernación- México, 2016), (SECRETARÍA DE ENERGÍA, 2012),

ANEXO 2. LISTA DE LEYES Y NORMATIVAS

LEYES, REGLAMENTOS Y RESOLUCIONES

- Ley del Sector Eléctrico DOF: 18/03/2025 (Anteriormente Ley de la Industria Eléctrica DOF. 11 de agosto de 2014.)
- Reglamento de la Ley del Sector Eléctrico DOF:03/10/2025, (Anteriormente Reglamento de la Ley de la Industria Eléctrica. DOF:11 de agosto 2014).
- Ley de la Comisión Federal de Energía (CFE). DOF. 11 de agosto de 2014.
- Ley de la Comisión Nacional de Energía (2025). Antes CRE junio 2012.
- Reglamento de la Ley de la Comisión Nacional de Energía 2025. (Antes CRE junio 2012).
- Ley de Transición Energética (LTE). DOF. 24 de diciembre de 2015.
- ACUERDO Núm. A/037/2018. Por el que la Comisión Reguladora de Energía deroga el periodo de vigencia establecido en el resolutivo segundo de la Resolución número RES/142/2017.
- RESOLUCION Núm. RES/054/2010. 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.
- RESOLUCIÓN Núm. RES/142/2017 Metodología de cálculo de contraprestación y las especificaciones técnicas generales, aplicables a las centrales eléctricas de generación distribuida y generación limpia distribuida.
- RESOLUCIÓN Núm. RES/1396/2018 Disposiciones administrativas de carácter general aplicables a las centrales eléctricas de generación distribuida y generación limpia distribuida.
- Resolución 169/2009. Contrato entre Suministrador y Generador.
- Reglamento de la LAERFTE. DOF. Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética. 02 de septiembre del 2009.
- Resolución CRE (Ahora CNE) RES/054/2010. Reglas Generales de Interconexión de Centrales Eléctricas con Energías Renovables y Cogeneración Eficiente. Modelos de Contrato de Interconexión. Hasta 500 kW.
- Resolución CRE (Ahora CNE) res/182/2015. Términos para presentar la información relativa al objeto social, capacidad legal, técnica y financiera, así como la descripción del proyecto, y el formato de la solicitud de permisos de generación de energía eléctrica.

- Ley de Aprovechamiento de Energías Renovables (LAERFTE). DOF. 12 de enero de 2012.
- Resolución CRE (Ahora CNE) RES/119/2012. Reglas Generales de Interconexión al SEN.
- Resolución CRE (Ahora CNE) RES/249/2012. Reglas Generales de Interconexión para Centrales Eléctricas con Energías Renovables y Cogeneración Eficiente en Media y Alta Tensión.
- Estrategia Nacional de Energía (2007-2024).
- SENER (DOF-15-XII-2016), Lineamientos generales en materia administrativa y de infraestructura que deberán cumplir los Distribuidores, Generadores Exentos y Generadores que representen Centrales Eléctricas con capacidad menor a 0.5 MW para realizar la interconexión de sus Centrales Eléctricas a las Redes Generales de Distribución de manera ágil y oportuna, garantizando las condiciones de eficiencia, Calidad, Confiabilidad, Continuidad, seguridad y sustentabilidad del Sistema Eléctrico Nacional
- Ley del Impuesto sobre la Renta (LISR). DOF 30-11-2016.
- Programa Sectorial Energía 2012-18. DOF 13 de diciembre de 2013.
- Código Fiscal del Distrito Federal. DOF 29 de enero del 2015.
- Ley General del Cambio Climático. Junio 2012 reforma abril 2015.
- Reforma de la Ley (LAERFTE) DOF. 07 de junio de 2013.
- Ley de IRPF de 18 de noviembre del 2015. Art. 40 (Depreciación acelerada).
- Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 28 de noviembre del 2008.

NORMATIVA MEXICANA SOBRE CONSTRUCCIÓN

- Norma NTCRC
- Estructuras de acero conformado AISI/NASPEC-2007 (LRFD).
- NOM-001-SEDE-2012: Regula instalaciones eléctricas de baja tensión.
 - Artículo 690: Sistemas solares fotovoltaicos.
 - Artículo 705: Fuentes de generación interconectadas.
- NOM-013-ENER-2013: Eficiencia energética en sistemas de generación distribuida.
- NOM-031-ENER-2019: Requisitos de eficiencia y seguridad para inversores fotovoltaicos conectados a red.
- NOM-009-STPS-Vigente. Condiciones de seguridad para realizar trabajos en alturas.

- NOM-017-STPS-Vigente. Equipo de protección personal-selección, uso y manejo en los centros de trabajo.
- NMX-J-655/1-ANCE-2012 Desempeño y eficiencia en sistemas fotovoltaicos (FV) – Parte 1: mediciones de desempeño para radiación, temperatura y energía en módulos fotovoltaicos.
- NMX-J-655/2-ANCE-2012 Desempeño y eficiencia en sistemas fotovoltaicos (FV) – Parte 2: acondicionadores de energía-Procedimiento para la medición de la eficiencia.
- NMX-J-655/3-ANCE-2012 Desempeño y eficiencia en sistemas fotovoltaicos (FV) – Parte 3: controladores de carga de baterías para sistemas fotovoltaicos Desempeño y funcionamiento.
- NMX-J-009 Fusibles para baja tensión
- NMX-J-149 Fusibles para alta tensión
- NMX-J-623-ANCE-2009 Sistemas de canalización para cables-cinchos de sujeción para cables para instalaciones eléctricas.
- NMX-J-364/1-ANCE-2011 Instalaciones eléctricas-Parte 1: principios fundamentales, planificación de características generales, definiciones.
- NMX-J-593/1-ANCE-2008 Sistemas de interconexión de subestaciones eléctricas- Parte 1: introducción y visión de conjunto. 42
- NMX-J-593/2-ANCE-2008 Sistemas de interconexión de subestaciones eléctricas- Parte 2: definiciones
- NMX-J-593/3-ANCE-2008 Sistemas de interconexión de subestaciones eléctricas- Parte 3: requisitos generales
- NMX-J-593/4-ANCE-2008 Sistemas de interconexión de subestaciones eléctricas- Parte 4: administración del sistema y proyecto.
- NMX-J-593-5-ANCE-2009 Sistemas de interconexión de subestaciones eléctricas- Parte 5: requisitos para la comunicación de funciones y modelos de los equipos eléctricos.
- NMX-J-570-ANCE-2006 Sistemas de canalizaciones y ductos para instalaciones eléctricas.

NORMAS INTERNACIONALES

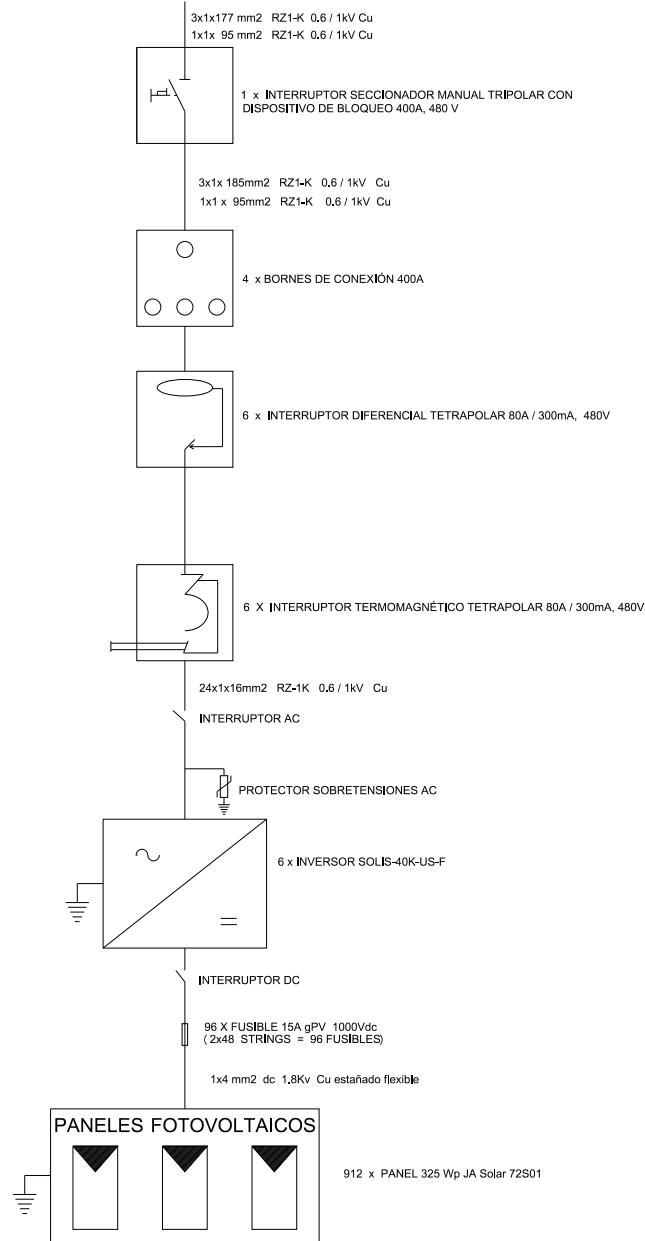
- NEC 2017 (NFPA 70: National Electrical Code, edición 2017)
- IEC/TS 61836, solar photovoltaic energy systems - Terms, definitions and symbols.
- IEC 62053 series, Electricity metering equipment (a.c.)
- IEC 60947 series, Low-voltage switchgear and control gear.

- IEC 60364 series, Low-voltage electrical installations.
- IEC 61936 series, Power installations exceeding 1 kV a.c.
- IEC 60502 series, Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV ($U_m=1.2$ kV) up to 30 kV ($U_m=36$ kV).
- IEC 60287 series, Electric cables - Calculation of the current rating.
- IEC 60853, Cyclic rating factor for cables up to and including 18/30 (36) kV.
- CFE G0000-48 medidores multifunción para sistemas eléctricos

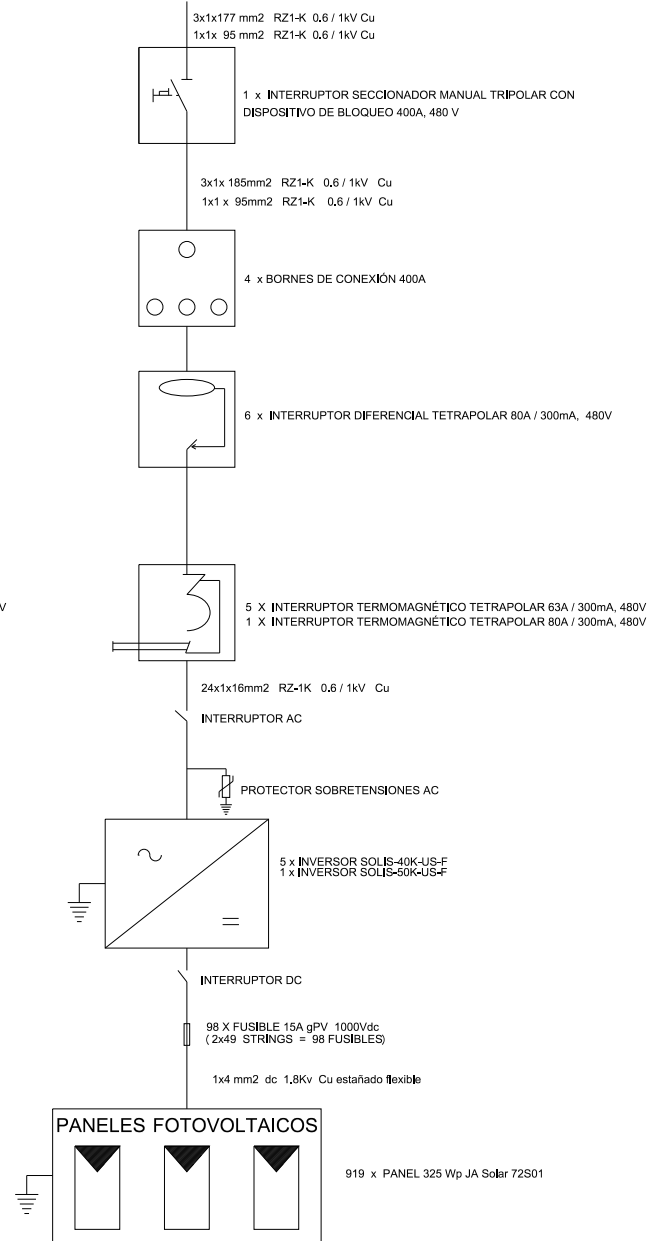
**ANEXO 3. PLANOS UNIFILIARES,
DIAGRAMAS DE CONEXIÓN Y PLANOS DE
INSTALACIÓN**



CONEXIÓN A RED EN B.T. BUS 480Y / 277V 60 Hz



CONEXIÓN A RED EN B.T. BUS 440Y / 254V 60 Hz



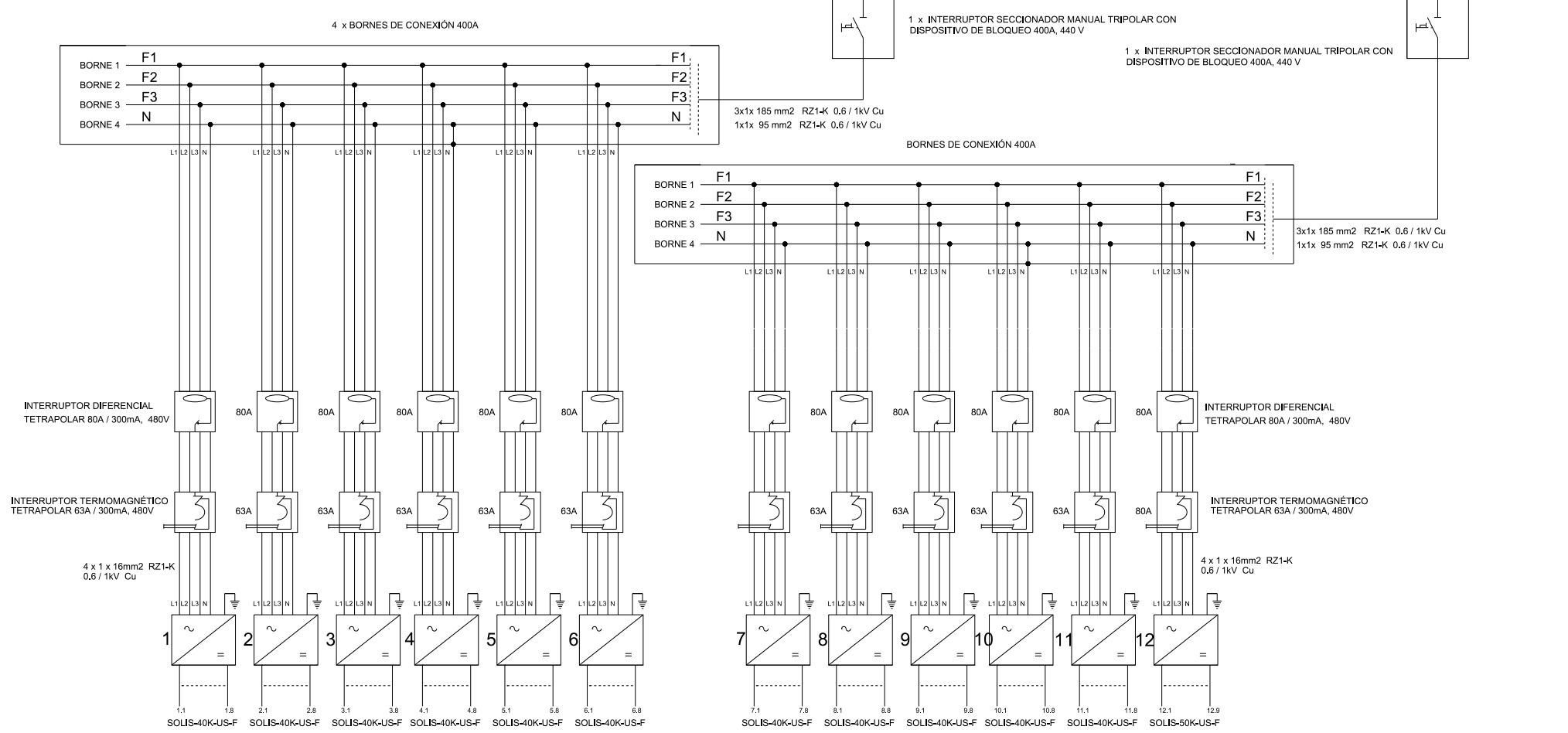
NÚMERO	ACABADO	DESCRIPCIÓN:	
NÚMERO PLANO:	1	Diagrama unifilar fabrica de sacos	
Elaboró:	Francisco García Muñoz	Escala: 1:100	Hoja:
		Fecha	Firma
		Diseñado	FCO. GARCIA M.
		Dibujado	Francisco García Muñoz
		Comprobó	M.J. Rodrigo T. Sepúlveda Hirose





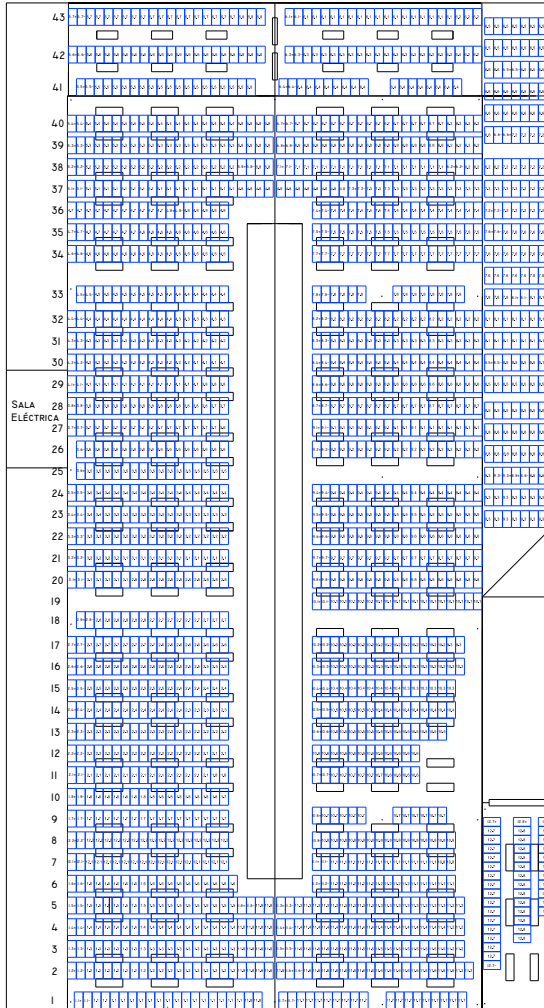
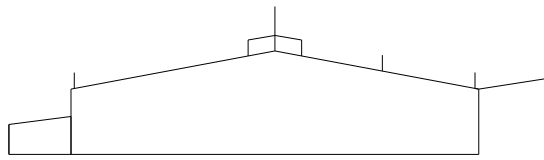
**CONEXIÓN A RED EN B.T.
BUS 480Y / 277 V 60 Hz**

**CONEXIÓN A RED EN B.T.
BUS 440Y / 254 V 60 Hz**



NÚMERO	ACABADO	DESCRIPCIÓN:	
NÚMERO PLANO: 2		Diagrama de conexión de los inversores en B. T.	
Elaboró: Francisco García Muñoz		Escal: 1:100	Hoja:
		Fecha	Firma
Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Ingeniería División de Ingeniería Civil y Geomática		Diseñado: 2026	FCO. GARCÍA M.
		Dibujado: Francisco García Muñoz	
		Comprobó: M.I. Rodrigo T. Sepúlveda Hirose	





INVERSOR	MODELO	MPP	A		B		C		D			TOTAL
			1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	
1	Solis	SERIE	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8		
	Solis-40K-US-F	Nº MÓDULOS	19	19	19	19	19	19	19	19		152
2	Solis	SERIE	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8		
	Solis-40K-US-F	Nº MÓDULOS	19	19	19	19	19	19	19	19		152
3	Solis	SERIE	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8		
	Solis-40K-US-F	Nº MÓDULOS	19	19	19	19	19	19	19	19		152
4	Solis	SERIE	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8		
	Solis-40K-US-F	Nº MÓDULOS	19	19	19	19	19	19	19	19		152
5	Solis	SERIE	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8		
	Solis-40K-US-F	Nº MÓDULOS	19	19	19	19	19	19	19	19		152
6	Solis	SERIE	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8		
	Solis-40K-US-F	Nº MÓDULOS	19	19	19	19	19	19	19	19		152
7	Solis	SERIE	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8		
	Solis-40K-US-F	Nº MÓDULOS	19	19	19	19	19	19	19	19		152
8	Solis	SERIE	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.6	8.7	8.8		
	Solis-40K-US-F	Nº MÓDULOS	19	19	19	19	19	19	19	19		152
9	Solis	SERIE	9.1	9.2	9.3	9.4	9.5	9.6	9.7	9.8		
	Solis-40K-US-F	Nº MÓDULOS	19	19	19	19	19	19	19	19		152
10	Solis	SERIE	10.1	10.2	10.3	10.4	10.5	10.6	10.7	10.8		
	Solis-40K-US-F	Nº MÓDULOS	19	19	19	19	19	19	19	19		152
11	Solis	SERIE	11.1	11.2	11.3	11.4	11.5	11.6	11.7	11.8		
	Solis-40K-US-F	Nº MÓDULOS	19	19	19	19	19	19	19	19		152
12	Solis	SERIE	12.1	12.2	12.3	12.4	12.5	12.6	12.7	12.8	12.9	
	Solis-50K-US-F	Nº MÓDULOS	18	18	18	18	18	18	17	17	17	159
											1831	



NÚMERO	ACABADO	DESCRIPCIÓN:	
NÚMERO PLANO: 3		Distribución de módulos sobre techumbre de la fábrica de sacos	
Elaboró: Francisco García Muñoz		Escala: 1:100	Hoja:
Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Ingeniería División de Ingeniería Civil y Geomática		Fecha	Firma
		Diseñado	FCO. GARCÍA M.
		Dibujado	Francisco García Muñoz
		Comprobó	M.I. Rodrigo T. Sepúlveda Hirose



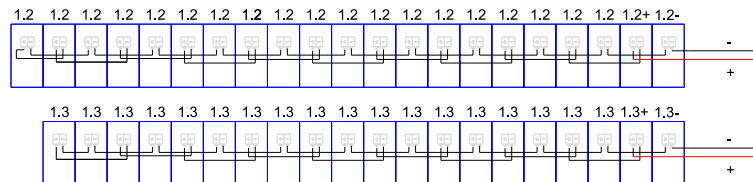


CONEXIONADO NORMAL

CHAROLA



CONEXIONADO OPTIMIZADO



NÚMERO	ACABADO	DESCRIPCIÓN:	
NÚMERO PLANO: 4		Conexionado optimizado frog leap o salto de rana	
Elaboró: Francisco García Muñoz		Escal: 1:100	Hoja:
Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Ingeniería División de Ingeniería Civil y Geomática		Fecha	Firma
		Diseñado	2026 FCO. GARCIA M.
		Dibujado	Francisco García Muñoz
		Comprobó	M.I. Rodrigo T. Sepúlveda Hirose

ANEXO 4. ANÁLISIS DE COSTOS

FACTOR DE SALARIO REAL

DATOS DE LA EMPRESA					
Nombre: CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS					
Dirección: CIUDAD UNIVERSITARIA					
Ciudad: CDMX					
Reg. Infonavit:					
Reg. IMSS:					
Responsable: GARCÍA MUÑOZ FRANCISCO					
Cargo: POSTULANTE					
DATOS DE LA DEPENDENCIA					
Nombre: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO					
Área: FACULTAD DE INGENIERÍA					
DATOS DE LA OBRA					
Nombre de la Obra: INSTALACION DE UNA CSFV EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA					
Ciudad: MUNICIPIO					
Estado: HIDALGO					
Fecha de Inicio: 26/02/2018					
Fecha de Terminación: 06/06/2018					
DATOS PARA FASAR		ANO	2018	CON FACTORES ▼	
Prestaciones en especie(pensionados)			1.05		
Prestaciones en dinero			0.7		
Invalidéz y vida			1.75		
Cesantía en edad avanzada y vejez			3.15		
Riesgos de trabajo			7.5888		
Guarderías			1		
Porcentaje de pagos a terceros			0		
Salario Mínimo D.F.			88.36		
Cuota Fija			20.4		
Excedente de tres salarios mínimos			1.1		
Limite superior grupo 1			25		
Limite superior grupo 2			25		
Salarios Normales					
CODIGO MANO DE OBRA	Sn= SALARIO NOMINAL	INTEGRADO	FACTOR SALARIO REAL	DESCRIPCION DE LA CATEGORIA	Sn en Veces el salario del DF
MO011	221.5951	1.045205	1.731372	PEON	2.507866
MO021	221.5951	1.045205	1.731372	AYUDANTE GENERAL	2.507866
MO031	241.5291	1.045205	1.722893	AYUDANTE ESPECIALIZADO	2.733467
MO041	336.0393	1.045205	1.699945	OFICIAL ALBAÑIL	3.803070
MO051	336.0393	1.045205	1.699945	OFICIAL FERRERO	3.803070
MO052	374.1404	1.045205	1.694162	OFICIAL CARPINTERO DE O. NEGRA	4.234273
MO053	336.0393	1.045205	1.699945	OFICIAL PINTOR	3.803070
MO061	336.0393	1.045205	1.699945	OFICIAL HERRERO	3.803070
MO062	336.0393	1.045205	1.699945	OFICIAL YESERO	3.803070
MO064	336.0393	1.045205	1.699945	OFICIAL COLOCADOR	3.803070
MO066	375.2610	1.045205	1.694010	OFICIAL VIDRIERO	4.246956
MO067	374.1800	1.045205	1.694157	OPERADOR DE MAQUINARIA MENO	4.234722
MO081	375.2610	1.045205	1.694010	OFICIAL ALUMINERO	4.246956
MO082	375.2610	1.045205	1.694010	CABO DE OFICIOS	4.246956
MO083	374.1800	1.045205	1.694157	OFICIAL PLOMERO	4.234722
MO084	329.1498	1.045205	1.701133	OFICIAL ELECTRICISTA	3.725100
MO087	375.2610	1.045205	1.694010	OFICIAL DUCTERO	4.246956
MO091	374.1404	1.045205	1.694162	OFICIAL SOLDADOR	4.234273
MO092	405.1451	1.045205	1.690259	TOPOGRAFO	4.585165
MO093	447.6632	1.045205	1.685786	OPERADOR DE MAQUINARIA PESAD	5.066356
MO094	375.2610	1.045205	1.694010	SOBRÉSTANTE	4.246956
MO111	650.6803	1.045205	1.672485	TECNICO ESPECIALIZADO	7.363969

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

CONTRATO No: S/N

Fecha: 05/02/2018

OBRA: INSTALACION DE UNA CSFV EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA

LUGAR: MUNICIPIO, MUNICIPIO, HIDALGO

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS

Nombre de la empresa

GARCÍA MUÑOZ FRANCISCO

POSTULANTE

Inicio:	26/02/2018	Terminación:	06/06/2018	Duración de Obra	84
Captura de datos Para el Factor de Salario Real año 2018			Normales		
Días Calendario Anualizado			365.00		
1. Días no Trabajados					
1.1	Domingos		52.00		
1.2	Vacaciones		6.00		
1.3	Días festivos por ley		8.00		
1.4	Condiciones Climatológicas (Lluvias y Otros)		5.00		
1.5	Días por costumbre (contrato colectivo)		5.00		
1.6	Permisos y Enfermedad no profesional (3 x .15)		0.00		
1.7	Días Sindicato (Contrato Colectivo)		0.00		
1.8	Días equivalentes por arraste		0.00		
1.9	Días no Trabajados por Guardia		0.00		
2. Días pagados por LFT					
2.1	Aguinaldo por Ley		15.00		
2.2	Prima Vacacional (porcentaje)	25%	1.50		
2.3	Prima dominical	0%	0.00		
	Horas extras gravables en el SBC		0.00		
	Horas extras no gravables en el SBC		0.00		
2.4	Total de Horas extras		0.00		
2.5	Porcentaje de pagos (Otros cargos)		1.50%		

Marco jurídico

LFT= Ley Federal Del Trabajo, LSS=Ley del Seguro Social, RLSS= Reglamento del Seguro Social

Días Festivos art. 74 LFT 1 Enero 5 Febrero 21 Marzo 1 Mayo	16 Septiembre 20 Noviembre 1 dic. c/6 años 25 diciembre	Vacaciones art 76 LFT 6 días por año Aguinaldo art 87 LFT 15 días por año Prima Vacacional art 80 LFT 25% de las Vacaciones Prima Dominical 25.00%
Cuota Fija : Art 106 fracción I, (LSS) y Art. 13 fracción I, RLSS *		
Excedente a 3 SMGDF, Art 106 Fracción II, (LSS) y Art. 13 Fracción II, (RLSS) **		Días Inactivas por arrastre: Días equivalentes al tiempo perdido en el transporte al sitio de trabajo.
Prestaciones en Dinero Art. 107 Fracc I y II (LSS) Art. 13 Fracción III, (RLSS) ***		COSTA AFUERA´ Utilizado en trabajos Costa afuera o similar. En este caso se anulan las partidas 1.1 al 1.8
Prestaciones en Especie de los pensionados Art. 25 Párrafo II, (LSS) Art. 13 Frac. IV, (RLSS) ***		´ Fuente: criterios para la presentación y evaluación de proposiciones en licitaciones públicas y por invitación restringida Comision mixta PEP-CNIC, pag198 y 199
Invalidez y vida, (Art 147 LSS) y Art 14 RLSS, y Art. Vigésimo Quinto Transitorio de La LSS ***		
Cesantía en edad avanzada y vejez Art. 168 Fracción II (LSS) y Art. 16 (RLSS) ***		
Riesgos de trabajo Art. 73 y 74 (LSS) ***		
Guarderías Art. 211 y 212 (LSS) y Art. 15 (RLSS) ***		
Salario Base de Cotización, Art 27(LSS) y Art. 10 (RLSS)		
Base de Cotización Mensual, Art. 11 (RLSS)		
* Sobre el SMGDF		
** Sobre Salario Base de Cotización - 3SMGDF		
*** Sobre el Salario Base de Cotización		
Fsr= Factor de Salario real, Art. 160 RLOP Fsr= Ps(Tp/TI)+ (Tp/TI)		
Ps= Obligaciones obrero-patronales en fracción decimal, Art. 160 RLOP		
Tp= Días realmente pagados durante un periodo anual. Art. 160 RLOP		
TI= Días realmente laborados durante un periodo anual. Art. 160 RLOP		
RLOP= Reglamento de la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con la Misma.		

		LICITACION No: S/N		Fecha: 05/02/2018		Inicio: 26/02/2018		Terminacion: 06/06/2018		Duracion: 101 Dias						
		Obra : INSTALACION DE UNA CSFV EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA		Ubicación: MUNICIPIO, MUNICIPIO, HIDALGO												
CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS		GARCÍA MUÑOZ FRANCISCO		Nombre del Licitante		POSTULANTE						Firma				
VECES SALARIO MINIMO D.F. : 1.00		3 veces salario mínimo D.F. 3.00		25 veces salario mínimo D.F. 25.00		25 veces salario mínimo D.F. 25.00										
Clave de Categoría	Salario Nominal veces DF	Factor Salario Base de Cotización	Salario Base de Cotización	Excedente de tres salarios mínimos	Aplicación IMSS al excedente	Cuota Fija	Prestaciones en especie pensionados	Prestaciones en dinero	Invalidez y vida	Cesantía en edad avanzada y vejez	Riesgos de trabajo	Guarderías	SAR	INFONAVIT	Suma prestaciones	Ps= Obligación Obrero-Patronal
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
	Sn	FSBC	SBC	D-3SMDF	ExF	GxSMDF	HxD	IxD	JxD	KxD	LxD	MxD	NxD	OxD	SUMA(F:O)	P / D
	Sn	FSBC	SBC		1.1000%	20.4000%	1.0500%	0.7000%	1.7500%	3.1500%	7.58880%	1.00%	2.00%	5.00%	SP	SP/SBC
MO011	2.5079	1.0452	2.621234			0.204	0.027523	0.018349	0.045872	0.082569	0.19892	0.026212	0.052425	0.131062	0.786932	0.300214
MO021	2.5079	1.0452	2.621234			0.204	0.027523	0.018349	0.045872	0.082569	0.19892	0.026212	0.052425	0.131062	0.786932	0.300214
MO031	2.733467	1.0452	2.857033			0.204	0.029999	0.019999	0.049998	0.089997	0.216815	0.02857	0.057141	0.142852	0.839371	0.293791
MO041	3.8031	1.0452	3.974988	0.974988	0.010725	0.204	0.041737	0.027825	0.069562	0.125212	0.301654	0.03975	0.0795	0.198749	1.098714	0.276407
MO051	3.8031	1.0452	3.974988	0.974988	0.010725	0.204	0.041737	0.027825	0.069562	0.125212	0.301654	0.03975	0.0795	0.198749	1.098714	0.276407
MO052	4.2343	1.0452	4.425683	1.425683	0.015683	0.204	0.04647	0.03098	0.077449	0.139409	0.335856	0.044257	0.088514	0.221284	1.203902	0.272026
MO053	3.8031	1.0452	3.974988	0.974988	0.010725	0.204	0.041737	0.027825	0.069562	0.125212	0.301654	0.03975	0.0795	0.198749	1.098714	0.276407
MO061	3.8031	1.0452	3.974988	0.974988	0.010725	0.204	0.041737	0.027825	0.069562	0.125212	0.301654	0.03975	0.0795	0.198749	1.098714	0.276407
MO062	3.8031	1.0452	3.974988	0.974988	0.010725	0.204	0.041737	0.027825	0.069562	0.125212	0.301654	0.03975	0.0795	0.198749	1.098714	0.276407
MO063	3.8031	1.0452	3.974988	0.974988	0.010725	0.204	0.041737	0.027825	0.069562	0.125212	0.301654	0.03975	0.0795	0.198749	1.098714	0.276407
MO064	3.8031	1.0452	3.974988	0.974988	0.010725	0.204	0.041737	0.027825	0.069562	0.125212	0.301654	0.03975	0.0795	0.198749	1.098714	0.276407
MO065	4.266195	1.0452	4.459048	1.459048	0.01605	0.204	0.04682	0.031213	0.078033	0.14046	0.338388	0.04459	0.089181	0.222952	1.211687	0.271737
MO066	4.246956	1.0452	4.43894	1.43894	0.015828	0.204	0.046609	0.031073	0.077681	0.139827	0.336862	0.044389	0.088779	0.221947	1.206995	0.271911
MO067	4.2347	1.0452	4.426153	1.426153	0.015688	0.204	0.046475	0.030983	0.077458	0.139424	0.335892	0.044262	0.088523	0.221308	1.204013	0.272022
MO071	4.246956	1.0452	4.43894	1.43894	0.015828	0.204	0.046609	0.031073	0.077681	0.139827	0.336862	0.044389	0.088779	0.221947	1.206995	0.271911
MO081	4.246956	1.0452	4.43894	1.43894	0.015828	0.204	0.046609	0.031073	0.077681	0.139827	0.336862	0.044389	0.088779	0.221947	1.206995	0.271911
MO082	4.246956	1.0452	4.43894	1.43894	0.015828	0.204	0.046609	0.031073	0.077681	0.139827	0.336862	0.044389	0.088779	0.221947	1.206995	0.271911
MO083	4.234722	1.0452	4.426153	1.426153	0.015688	0.204	0.046475	0.030983	0.077458	0.139424	0.335892	0.044262	0.088523	0.221308	1.204013	0.272022
MO084	3.7251	1.0452	3.893493	0.893493	0.009828	0.204	0.040882	0.027254	0.068136	0.122645	0.295469	0.038935	0.07787	0.194675	1.079694	0.277307
MO087	4.246956	1.0452	4.43894	1.43894	0.015828	0.204	0.046609	0.031073	0.077681	0.139827	0.336862	0.044389	0.088779	0.221947	1.206995	0.271911
MO091	4.2343	1.0452	4.425683	1.425683	0.015683	0.204	0.04647	0.03098	0.077449	0.139409	0.335856	0.044257	0.088514	0.221284	1.203902	0.272026
MO092	4.5852	1.0452	4.792437	1.792437	0.019717	0.204	0.050321	0.033547	0.083868	0.150962	0.363688	0.047924	0.095849	0.239622	1.289498	0.269069
MO093	5.066356	1.0452	5.295381	2.295381	0.025249	0.204	0.055602	0.037068	0.092669	0.166805	0.401856	0.052954	0.105908	0.264769	1.40688	0.265681
MO094	4.246956	1.0452	4.43894	1.43894	0.015828	0.204	0.046609	0.031073	0.077681	0.139827	0.336862	0.044389	0.088779	0.221947	1.206995	0.271911
MO111	7.363969	1.0452	7.696857	4.696857	0.051665	0.204	0.080817	0.053878	0.134695	0.242451	0.584099	0.076969	0.153937	0.384843	1.967354	0.255605

DEPENDENCIA: **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

LICITACION No: S/N

FECHA: 05-feb-2018

OBRA: INSTALACION DE UNA CSFV EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA

UBICACIÓN: MUNICIPIO, MUNICIPIO, HIDALGO

ANALISIS PARA LA DETERMINACION DEL FACTOR DEL SALARIO REAL

Salarios Normales

CODIGO DE LA CATEGORIA: **MO011**

En Veces SMDF **2.507866**

CATEGORIA (S): **PEON**

Sal. Nominal (Sn)

deCotizacion (SBC) **2.621234**

Salario Nominal Vigente del D.F. (n veces): **1.00**

DIAS REALMENTE LABORADOS AL AÑO		DIAS REALMENTE PAGADOS AL AÑO		CALCULO DE PRESTACIONES IMSS		En Veces SMDF
Dias Calendario	365.00	Dias Calendario (DICAL)	365.00	Enfermedad y Maternidad		
Dias no Trabajados		Aguinaldo por Ley	15.00	Cuota fija(20.4% sal. Min*dias cal/dias trab)	0.204	
Domingos	52.00	Prima Vacacional 25% por Ley	1.50	1.1% excedente de 3 sal. Min D.F.	0.00	
Dias festivos por Ley	8.00	Prima Dominical por Ley	0.00	1.05% Prestaciones en especie a pensionad	0.027523	
Dias por costumbre	5.00	Tiempo Extra		0.7% Prestaciones en dinero	0.018349	
Dias sindicato	0.00	Horas extras gravables en el SBC	0.00	2% Sar	0.052425	
Vacaciones	6.00	Horas extras no gravables en el SBC	0.00	5% Infonavit	0.131062	
Permisos y Enfermedades	0.00	Prestaciones por contrato (anexar		1.75% Invalidez y vida	0.045872	
Condiciones Climatologicas	5.00	copia del contrato y analisis correspon.)		3.15% Cesantia en edad avanzada y vejez	0.082569	
Horas inactivas por arrastre		TOTAL Tp =	381.50	7.5888% Riesgos de trabajo	0.19892	
Dias no trabajados por guardia	0.00	Porcentaje de pagos (Otros cargos)	0.015	1% Guarderías	0.026212	
TOTAL TI =	289.00			SP = Suma de Prestaciones	0.786932	
				Ps= Obligacion Obrero-Patronal		
				Ps = Sp / SBC	0.300214	
Tp / TI = DIAS PAG. / DIAS LAB.	1.320069					
Fact. B.C = FSBC=(Tp-Te) / DIC	1.045205					
		Tp / TI =	1.320069			
		Ps x (Tp-Te) / TI =	0.396303			

FACTOR DE SALARIO REAL

$$Fsr= [Ps(Tp-Te)/TI]+ (Tp/TI)$$

1.731372

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS

NOMBRE DE LA EMPRESA O PERSONA FISICA

POSTULANTE: GARCÍA MUÑOZ FRANCISCO

NOMBRE, CARGO Y FIRMA DEL SIGNATARIO

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS

CLIENTE: CEMENTERA JASSO HIDALGO, MEXICO

CONTRATO No. UNICO

Fecha: 26/02/2018

OBRA: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA
HIDALGO, MÉXICO.

DOCUMENTO

LUGAR: MUNICIPIO EN HIDALGO, MÉXICO.

TABULADOR DE SALARIO BASE DE MANO DE OBRA E INTREGRACION DE SALARIOS**MANO DE OBRA**

Código	Concepto	Unidad	Salario Base por Jornal	Factor Salario Real	Salario Real
MO011	PEON	JOR	221.60	1.731372	383.66
MO021	AYUDANTE GENERAL	JOR	221.60	1.731372	383.66
MO031	AYUDANTE ESPECIALIZADO	JOR	241.53	1.722893	416.13
MO041	OFICIAL ALBAÑIL	JOR	336.04	1.699945	571.25
MO051	OFICIAL FIERRERO	JOR	336.04	1.699945	571.25
MO052	OFICIAL CARPINTERO DE O. NEGRA	JOR	374.14	1.694162	633.85
MO053	OFICIAL PINTOR	JOR	336.04	1.699945	571.25
MO061	OFICIAL HERRERO	JOR	336.04	1.699945	571.25
MO062	OFICIAL YESERO	JOR	336.04	1.699945	571.25
MO063	OFICIAL AZULEJERO	JOR	336.04	1.699945	571.25
MO064	OFICIAL COLOCADOR	JOR	336.04	1.699945	571.25
MO065	OFICIAL BARNIZADOR	JOR	376.96	1.693781	638.49
MO066	OFICIAL VIDRIERO	JOR	375.26	1.694010	635.70
MO067	OPERADOR DE MAQUINARIA MENOR	JOR	374.18	1.694157	633.92
MO071	OFICIAL CARPINTERO DE O. BLANCA	JOR	375.26	1.694010	635.70
MO081	OFICIAL ALUMINIERO	JOR	375.26	1.694010	635.70
MO082	CABO DE OFICIOS	JOR	375.26	1.694010	635.70
MO083	OFICIAL PLOMERO	JOR	374.18	1.694157	633.92
MO084	OFICIAL ELECTRICISTA	JOR	329.15	1.701133	559.93
MO087	OFICIAL DUCTERO	JOR	375.26	1.694010	635.70
MO091	OFICIAL SOLDADOR	JOR	374.14	1.694162	633.85
MO092	TOPOGRAFO	JOR	405.15	1.690259	684.80
MO093	OPERADOR DE MAQUINARIA PESADA	JOR	447.66	1.685786	754.66
MO094	SOBRESTANTE	JOR	375.26	1.694010	635.70
MO111	TECNICO ESPECIALIZADO	JOR	650.68	1.672485	1088.25

PRESUPUESTO

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS	
Dependencia :	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Área:	FACULTAD DE INGENIERÍA
Concurso No.	S/N
Obra:	INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA
Lugar:	MUNICIPIO EN HIDALGO, MÉXICO

ANÁLISIS DE BÁSICOS

Código	Concepto	Unidad	Costo	cantidad	Importe
--------	----------	--------	-------	----------	---------

Análisis: 1A Unidad: JOR
 CUADRILLA No 1 (1 AYUDANTE GENERAL)

MANO DE OBRA

AYUDANTE GENERAL	JOR	\$383.66	1.000000	\$383.66
CABO DE OFICIOS	JOR	\$635.70	0.100000	\$63.57
Subtotal: MANO DE OBRA				\$447.23
Costo directo				\$447.23

(* CUATROCIENTOS CUARENTA Y SIETE PESOS 23/100 M.N. *)

Análisis: 1P Unidad: JOR
 CUADRILLA No 2 (1 PEON)

MANO DE OBRA

PEON	JOR	\$383.66	1.000000	\$383.66
CABO DE OFICIOS	JOR	\$635.70	0.100000	\$63.57
Subtotal: MANO DE OBRA				\$447.23
Costo directo				\$447.23

(* CUATROCIENTOS CUARENTA Y SIETE PESOS 23/100 M.N. *)

Análisis: 1TO1A Unidad: JOR
 CUADRILLA No. 3(1 TOPOGRAFO + 1 AYTE)

MANO DE OBRA

TOPOGRAFO	JOR	\$684.80 /	600.000000	\$1.14
AYUDANTE ESPECIALIZADO	JOR	\$416.13 /	300.000000	\$1.39
Subtotal: MANO DE OBRA				\$2.53
Costo directo				\$2.53

(* DOS PESOS 53/100 M.N. *)

Análisis: 1T1E Unidad: JOR
 CUADRILLA No 4 (1 TECNICO+ 1 AY.ESP.)

MANO DE OBRA

AYUDANTE ESPECIALIZADO	JOR	\$416.13	1.000000	\$416.13
TECNICO ESPECIALIZADO	JOR	\$1,088.25	1.000000	\$1,088.25
Subtotal: MANO DE OBRA				\$1,504.38
Costo directo				\$1,504.38

(* UN MIL QUINIENTOS CUATRO PESOS 38/100 M.N. *)

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS

Dependencia : UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Área: FACULTAD DE INGENIERÍA

Concurso No. S/N

Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA

Lugar: MUNICIPIO EN HIDALGO, MÉXICO

ANÁLISIS DE BÁSICOS

Código	Concepto	Unidad	Costo	cantidad	Importe
--------	----------	--------	-------	----------	---------

Análisis: 1C01A Unidad: JOR

CUADRILLA No 5 (1 COLOCADOR + AY.)

MANO DE OBRA

AYUDANTE GENERAL	JOR	\$383.66	1.000000	\$383.66
OFICIAL COLOCADOR	JOR	\$571.25	1.000000	\$571.25
CABO DE OFICIOS	JOR	\$635.70	0.100000	\$63.57
Subtotal: MANO DE OBRA				\$1,018.48
Costo directo				\$1,018.48

(* UN MIL DIECIOCHO PESOS 48/100 M.N. *)

Análisis: 1E1E Unidad: JOR

CUADRILLA No 6 (1 ELECTRIC.+AY.ESP)

MANO DE OBRA

AYUDANTE ESPECIALIZADO	JOR	\$416.13	1.000000	\$416.13
OFICIAL ELECTRICISTA	JOR	\$559.93	1.000000	\$559.93
SOBRESTANTE	JOR	\$635.70	0.100000	\$63.57
Subtotal: MANO DE OBRA				\$1,039.63
Costo directo				\$1,039.63

(* UN MIL TREINTA Y NUEVE PESOS 63/100 M.N. *)

Análisis: 1T3E Unidad: JOR

CUADRILLA No. 7 (1 TECNICO + 3 AY.ESP.)

MANO DE OBRA

AYUDANTE ESPECIALIZADO	JOR	\$416.13	3.000000	\$1,248.39
TECNICO ESPECIALIZADO	JOR	\$1,088.25	1.000000	\$1,088.25
Subtotal: MANO DE OBRA				\$2,336.64
Costo directo				\$2,336.64

(* DOS MIL TRECIENTOS TREINTA Y SEIS PESOS 64/100 M.N. *)

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS	
Dependencia :	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Área:	FACULTAD DE INGENIERÍA
Concurso No.	S/N
Obra:	INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA
Lugar:	MUNICIPIO EN HIDALGO, MÉXICO

ANÁLISIS DE BÁSICOS

Código	Concepto	Unidad	Costo	cantidad	Importe
--------	----------	--------	-------	----------	---------

Análisis: 2A Unidad: JOR
 CUADRILLA No 8 (2 AYUDANTE GENERAL)

MANO DE OBRA

AYUDANTE GENERAL	JOR	\$383.66	2.000000	\$767.32
CABO DE OFICIOS	JOR	\$635.70	0.200000	\$127.14
Subtotal: MANO DE OBRA				\$894.46
Costo directo				\$894.46

(* OCHOCIENTOS NOVENTA Y CUATRO PESOS 46/100 M.N. *)

Análisis: 1H1A Unidad: JOR
 CUADRILLA No 9 (1 HERRERO + AYUDANTE)

MANO DE OBRA

OFICIAL HERRERO	JOR	\$571.25	1.000000	\$571.25
AYUDANTE GENERAL	JOR	\$383.66	1.000000	\$383.66
CABO DE OFICIOS	JOR	\$635.70	0.100000	\$63.57
Subtotal: MANO DE OBRA				\$1,018.48
Costo directo				\$1,018.48

(* UN MIL DIECIOCHO PESOS 48/100 M.N. *)

Análisis: 1T3E Unidad: JOR
 CUADRILLA No. 11 (1 TECNICO + 2 AY.ESP.)

MANO DE OBRA

AYUDANTE ESPECIALIZADO	JOR	\$416.13	2.000000	\$832.26
TECNICO ESPECIALIZADO	JOR	\$1,088.25	1.000000	\$1,088.25
Subtotal: MANO DE OBRA				\$1,920.51
Costo directo				\$1,920.51

(* UN MIL NOVECIENTOS VEINTE PESOS 51/100 M.N. *)

Análisis: 1T3E Unidad: JOR
 CUADRILLA No. 12 (1 TECNICO + 1 ELEC + 1 AY. ESP.)

MANO DE OBRA

AYUDANTE ESPECIALIZADO	JOR	\$416.13	1.000000	\$416.13
TECNICO ESPECIALIZADO	JOR	\$1,088.25	1.000000	\$1,088.25
OFICIAL ELECTRICISTA	JOR	\$559.93	1.000000	\$559.93
Subtotal: MANO DE OBRA				\$2,064.31
Costo directo				\$2,064.31

(* DOS MIL SESENTA Y CUATRO PESOS 31/100 M.N. *)

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS	
Dependencia :	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Área:	FACULTAD DE INGENIERÍA
Concurso No.	S/N
Obra:	INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA
Lugar:	MUNICIPIO EN HIDALGO, MÉXICO

ANÁLISIS DE BÁSICOS

Código	Concepto	Unidad	Costo	cantidad	Importe
--------	----------	--------	-------	----------	---------

Análisis: CAMACR Unidad: M3

Acarreo en camioneta de 3.5 Ton. de material producto de recuperacion fuera de la obra; incluye: carga manual, equipo y herramienta.

MANO DE OBRA

CUADRILLA No 1 (1 PEON)					
	PEON	JOR	\$383.66	1.000000	\$383.66
	CABO DE OFICIOS	JOR	\$635.70	0.100000	\$63.57
	Importe:				\$447.23
	Rendimiento:			0.749973	\$596.33
	Subtotal: MANO DE OBRA				\$596.33

EQUIPO Y HERRAMIENTA

	HERRAMIENTA MENOR	%	\$596.33	0.030000	\$17.89
	CAMIONETA DE 3.5 TON 2000	HOR	\$198.64 /	0.749958	\$264.87
	Subtotal: EQUIPO Y HERRAMIENTA				\$279.66
	Costo directo				\$875.99

(* OCHOCIENTOS SETENTA Y CINCO PESOS 99/100 M.N. *)

Análisis: CMAFO Unidad: M3

Acarreo en camión de material producto de la excavación y/o demolición fuera de la obra, incluye: carga manual, equipo y herramienta.

MANO DE OBRA

CUADRILLA No 1 (1 PEON)					
	PEON	JOR	\$383.66	1.000000	\$383.66
	CABO DE OFICIOS	JOR	\$635.70	0.100000	\$63.57
	Importe:				\$447.23
	Rendimiento:			6.000000	\$74.54
	Subtotal: MANO DE OBRA				\$74.54

EQUIPO Y HERRAMIENTA

	CAMION DE VOLTEO DE 7 M3	HOR	\$297.39 /	2.500000	\$118.96
	HERRAMIENTA MENOR	%	\$61.63	0.030000	\$1.85
	Subtotal: EQUIPO Y HERRAMIENTA				\$120.80
	Costo directo				\$195.34

(* CIENTO NOVENTA Y CINCO PESOS 34/100 M.N. *)

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS	
Dependencia: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO	
Área: FACULTAD DE INGENIERÍA	
Contrato No. S/N	Fecha: 05/02/2018
Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA	
Lugar: MUNICIPIO EN HIDALGO, MEXICO	

**CATALOGO DE CONCEPTOS
PRESUPUESTO DE OBRA
COSTO DIRECTO**

Código	Concepto	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Importe
CEMENTERA DE JASSO					
PRE-00	PRELIMINARES				
PRE 001	DESMANTELAMIENTO SIN RECUPERACION DE ESTRUCTURAS (PARARRAYOS OBSOLETOS) Y OBJETOS VARIOS EXISTENTES QUE DIFICULTEN LA LIBRE INSTALACION DE LAS ESTRUCTURAS DE SOPORTE DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS. INCLUYE: RETIRO DE LOS SOPORTES ATORNILLADOS, ACARREOS, ANDAMIOS, HERRAMIENTA, EQUIPO DE SEGURIDAD Y TODO LO NECESARIO PARA LA CORRECTA EJECUCIÓN.	FTE	3.0000	\$ 883.47	\$ 2,650.41
PRE 002	LIMPIEZA PREVIA PARA INICIO DE LA OBRA: INCLUYE: MATERIALES DE CONSUMO, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCIÓN.	M2	6,546.0000	\$ 1.80	\$ 11,806.48
PRE 004	ACARREO: TRASLADO EN CAMION FUERA DEL INMUEBLE DE MATERIALES PRODUCTO DE, DESMANTELAMIENTOS, DEMOLICION Y DESPERDICIOS DE OBRA, INCLUYE: CARGA Y DESCARGA A CAMION A TIRO LIBRE AUTORIZADO, CAMION DE 7 M3.,HERRAMIENTAS Y MANO DE OBRA.	LOTE	6.0000	\$ 146.75	\$ 880.49
PRE-004	ACARREO EN CAMIÓN 1KMS SBSECUENTES, INCLUYE: EL COSTO DEL EQUIPO	M3/KM	924.0000	\$ 69.97	\$ 64,656.08
	Total PRELIMINARES				\$ 79,993.47
TYN-00	TRAZO Y NIVELACION				
TYN-001	LEVANTAMIENTO, TRAZO Y DELIMITACION DE EJES, PARA ESTABLECER LOS PUNTOS DE REFERENCIA DEL AREA DE INSTALACION DE LA CENTRAL SOLAR, CON TODOS SUS ELEMENTOS ARQUITECTONICOS Y ESTRUCTUALES CORRESPONIENTES ESTABLECIENDO REFERENCIAS. INCLUYE : EQUIPO TOPOGRAFICO, PINTURA PARA SEÑALIZACION, MANO DE OBRA,HERRAMIENTAS, ACARREOS Y LIMPIEZA DE LA ZONA DE TRABAJO	M2	8,452.0000	\$ 3.65	\$ 30,866.08
	Total TRAZO Y NIVELACION				\$ 30,866.08
ESTR-00	ESTRUCTURA				
ESTR-001	SUMINISTRO E INSTALACION DE ESTRUCTURA TRIANGULAR A 15° DE ALUMINIO ANODIZADO 6005-T5 CON GARANTÍA DE 12 AÑOS MARCA ART SIGN SOLAR BY XIAMEN CON TORNILLERIA EN ACERO INOXIDABLE GRADO A2, SISTEMA BÁSICO. INCLUYE: MANO DE OBRA ESPECIALIZADA, ANCLAJE A NAVE A BASE DE TORNILLERÍA DE ACERO INOXIDABLE, EQUIPO, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA INSTALACIÓN.	M2.	3,416.0000	\$ 236.82	\$ 808,977.78

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS

Dependencia: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Área: FACULTAD DE INGENIERÍA

Contrato No. S/N

Fecha: 05/02/2018

Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA

Lugar: MUNICIPIO EN HIDALGO, MEXICO

**CATALOGO DE CONCEPTOS
PRESUPUESTO DE OBRA
COSTO DIRECTO**

Código	Concepto	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Importe
ESTR-002	SUMINISTRO E INSTALACION DE ESTRUCTURA COPLANAR A 0º DE ALUMINIO ANODIZADO 6005-T5 CON GARANTÍA DE 12 AÑOS MARCA ART SIGN SOLAR BY XIAMEN CON TORNILLERIA EN ACERO INOXIDABLE GRADO A2, SISTEMA BÁSICO. INCLUYE: MANO DE OBRA ESPECIALIZADA, ANCLAJE A NAVE A BASE DE TORNILLERÍA DE ACERO INOXIDABLE, EQUIPO, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA INSTALACÓN.	M2.	246.0000	\$ 221.34	\$ 54,448.49
Total ESTRUCTURA					\$ 863,426.27
PAN-00	PANELES				
PAN-001	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE PANEL FOTOVOLTAICO POLICRITALINO DE 325 W DE POTENCIA NOMINAL SOBRE ESTRUCTURA INCLINADA 15º. MARCA JA SOLAR MODELO JAP72S01. INCLUYE, ACARREOS, ACCESORIOS, MONTAJE, FIJACIÓN, MANO DE OBRA ESPECIALIZADA, EQUIPO, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA INSTALACIÓN.	PZA.	1,708.0000	\$ 3,160.50	\$ 5,398,131.77
PAN-002	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE PANEL FOTOVOLTAICO POLICRITALINO DE 325 W DE POTENCIA NOMINAL SOBRE ESTRUCTURA INCLINADA 0º MARCA JA SOLAR MODELO JAP72S01. INCLUYE, ACARREOS, ACCESORIOS, MONTAJE, FIJACIÓN, MANO DE OBRA ESPECIALIZADA, EQUIPO, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA INSTALACIÓN	PZA.	123.0000	\$ 3,133.24	\$ 385,388.26
Total PANELES					\$ 5,783,520.03
EDC-00	ELECTRICO DC				
EDC-001	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CANALIZACIONES PARA CABLEADO DC DESDE TECHUMBRE HASTA ACOMETIDA EN SUBESTACION, A BASE DE CANALETA TIPO RANURADA CON TAPA DE MATERIAL PVC DE ALTA DENSIDAD, IGNIFUGA, LIBRE DE HALOGENOS Y PARA INTEMPERIE. MARCA ABB PASO 4/6 MEDIDAS 35X15 CM . INCLUYE: ANDAMIAJE, HERRAMIENTA, MATERIALES Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCIÓN.	ML	392.00	\$ 152.93	\$ 59,946.96

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS	
Dependencia: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO	
Área: FACULTAD DE INGENIERÍA	
Contrato No. S/N	Fecha: 05/02/2018
Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA	
Lugar: MUNICIPIO EN HIDALGO, MEXICO	

**CATALOGO DE CONCEPTOS
PRESUPUESTO DE OBRA
COSTO DIRECTO**

Código	Concepto	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Importe
EDC-002	CONEXIONES EN CORRIENTE CONTINUA (DC) DE PANELES FOTOVOLTAICOS HATA INVERSORES DE 40KW Y 50KW INSTALADOS EN MURO DE SUBESTACION . INCLUYE TENDIDO DE CABLES DE POTENCIA HACIA TABLERO DE DISTRIBUCIÓN, FIJACIÓN DE TERMINALES MC4 EN LAS TERMINALES, PRUEBAS DE CONTINUIDAD Y AISLAMIENTO, LIMPIEZA DEL ÁREA DE TRABAJO Y MATERIALES MENORES.CABLE FOTOVOLTAICO DE 4MM2. INCLUYE: MATERIAL, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA, ANDAMIAJE Y TODO LO NECESARIO PARA SU	ML	20,464.00	\$ 23.04	\$ 471,575.02
EDC-003	SUMINISTRO Y FABRICACION DE CONEXIONES TIPO PUENTE DE 5M DE LARGO PARA SALTOS DE INTERCONEXION ENTRE PANELES FV, HECHOS CON CABLE FOTOVOLTAICO Y TERMINALES MC4. CONEXION M-H EN COLOR NEGRO Y ROJO (UN PAR). INCLUYE MATERIALES, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA FABRICACION	JGO	78.00	\$ 174.67	\$ 13,624.30
EDC-004	CONEXIONES A TIERRA DE PANELES FOTOVOLTAICOS HASTA INVERSORES DE 40KW Y 50KW INSTALADOS EN MURO DE SUBESTACION POR MEDIO DE CABLE DE TIERRA CAL. 6 AWG AMARILLO- VERDE. INCLUYE TENDIDO DE CABLES DE TIERRA, FIJACIÓN EN PANELES Y EN LAS TERMINALES DEL INVERSOR, PRUEBAS DE CONTINUIDAD Y AISLAMIENTO, LIMPIEZA DEL ÁREA DE TRABAJO Y MATERIALES MENORES.CABLE FOTOVOLTAICO DE 4MM2. INCLUYE: MATERIAL, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA, ANDAMIAJE Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCIÓN.	ML	1,516.00	\$ 28.59	\$ 43,341.82
Total ELECTRICO EN DC					\$ 588,488.10
INV-00	INVERSORES				
INV-001	SUMINISTRO E INSTALACION DE INVERSOR CONVERTIDOR DE DC-AC TRIFÁSICO MARCA SOLIS MODELO SOLIS-40K-US.F DE 40KW DE POTENCIA NOMINAL. CONEXIÓN DE POTENCIA, INSTALADO EN MURO DE LA NAVE, INCLUYE: FIJACIÓN MECÁNICA, CONEXIÓN DE CABLES DC PROVENIENTES DE CAMPO FOTOVOLTAICO, PRUEBAS DE POLARIDAD Y CONTINUIDAD, MANO DE OBRA, MATERIALES PARA SU CORRECTA INSTALACION, HERRAMIENTA,LIMPIEZA DEL ÁREA DE TRABAJO Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA INSTALACION.	PZA	11.0000	\$ 31,993.19	\$ 351,925.12

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS	
Dependencia: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO	
Área: FACULTAD DE INGENIERÍA	
Contrato No. S/N	Fecha: 05/02/2018
Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA	
Lugar: MUNICIPIO EN HIDALGO, MEXICO	

**CATALOGO DE CONCEPTOS
PRESUPUESTO DE OBRA
COSTO DIRECTO**

Código	Concepto	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Importe
INV-002	SUMINISTRO E INSTALACION DE INVERSOR CONVERTIDOR DE DC-AC TRIFÁSICO MARCA SOLIS MODELO SOLIS-40K-US.F DE 50KW DE POTENCIA NOMINAL. CONEXIÓN DE POTENCIA, INSTALADO EN MURO DE LA NAVEL, INCLUYE: FIJACIÓN MECÁNICA, CONEXIÓN DE CABLES DC PROVENIENTES DE CAMPO FOTOVOLTAICO, PRUEBAS DE POLARIDAD Y CONTINUIDAD, MANO DE OBRA, MATERIALES PARA SU CORRECTA INSTALACION, HERRAMIENTA,LIMPIEZA DEL ÁREA DE TRABAJO Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA INSTALACION	PZA	1.0000	\$ 32,548.88	\$ 32,548.88
Total INVERSORES					\$ 384,474.01
EAC-00	ELECTRICO AC				
EAC-001	SERVICIO ESPECIALIZADO SUBCONTRATADO DE COLOCACION DE CANALIZACIONES Y SOPORTERIA ELECTRICA: INCLUYE SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CHAROLA CHALUMEX DE 20". MCA. CABLOFILE O DE CALIDAD SIMILAR. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA, DESPERDICIOS, ACARREOS, PRUEBAS Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCIÓN. P.U.O.T.	LOTE	1	\$ 40,459.21	\$ 40,459.21
EAC-002	SUMINISTRO Y COLOCACION DE CABLE CAL. 4 AWG PARA CONEXIÓNADO EN CORRIENTE ALTERNA (AC) DE INVERSOR DE 40 KW Y 50KW. INSTALADO EN MURO HASTA BARRA DE TIERRAS EN TABLERO DE DISTRIBUCIÓN. MARCA CONDUMEX , INCLUYE TENDIDO DE CABLES DE POTENCIA , FIJACIÓN DE TERMINALES, PRUEBAS DE CONTINUIDAD Y AISLAMIENTO, LIMPIEZA DEL ÁREA DE TRABAJO, MATERIALES MENORES Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCIÓN.	ML	480	\$ 64.25	\$ 30,839.33
EAC-003	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE GABINETE METÁLICO VACÍO SR ABB CON PUERTA CIEGA, PLATINA DE MONTAJE Y TAPAS PASACABLES SUPERIOR E INFERIOR, IP 65, IK 10, RAL 7035. IP 65, IK 10 (NEMA 12) CON PUERTA CIEGA, PLATINA DE MONTAJE Y TAPAS PASACABLES SUPERIOR E INFERIOR. FABRICADOS CON LÁMINA DE ACERO DE 1.5 MM DE ESPESOR, PEGADA Y SOLDADA EN PROCESO AUTOMÁTICO MEDIANTE ROBOT. DIMENSIONES: 1,200X800X300 MM. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA, DESPERPERDICIOS, PRUEBAS Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA INSTALACION	PZA	2	\$ 4,795.38	\$ 9,590.76

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS	
Dependencia: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO	
Área: FACULTAD DE INGENIERÍA	
Contrato No. S/N	Fecha: 05/02/2018
Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA	
Lugar: MUNICIPIO EN HIDALGO, MEXICO	

**CATALOGO DE CONCEPTOS
PRESUPUESTO DE OBRA
COSTO DIRECTO**

Código	Concepto	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Importe
EAC-004	SUMINISTRO Y COLOCACION DE CABLE CAL. 6 AWG AMARILLO-VERDE PARA CONEXIÓNADO EN CORRIENTE ALTERNA (AC) DE INVERSOR DE 40 KW Y 50KW. INSTALADO EN MURO HASTA TABLERO DE DISTRIBUCIÓN A MASA DE TIERRAS. MARCA CONDUMEX , INCLUYE TENDIDO DE CABLES DE POTENCIA , FIJACIÓN DE TERMINALES, PRUEBAS DE CONTINUIDAD Y AISLAMIENTO, LIMPIEZA DEL ÁREA DE TRABAJO, MATERIALES MENORES Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCIÓN	ML	86	\$ 33.82	\$ 2,908.88
EAC-005	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO TRIFÁSICO, TETRAPOLAR S204 AC-63/0,3. 63 A, VOLTAJE DE OPERACIÓN 230/480 V, RANGO DE TEMPERATURA OPERACIÓN -40°C...+70 °C.MARCA ABB O DE CALIDAD SIMILAR. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA,DESPERDICIOS, ACARREOS, PRUEBAS Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCION.	PZA	11	\$ 2,365.22	\$ 26,017.45
EAC-006	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE INTERRUPTOR DIFERENCIAL TRIFÁSICO, TETRAPOLAR F204 AC-63/0,3. 63 A, VOLTAJE DE OPERACIÓN 230/480 V, RANGO DE TEMPERATURA OPERACIÓN -40°C...+70 °C.MARCA ABB O DE CALIDAD SIMILAR. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA,DESPERDICIOS, ACARREOS, PRUEBAS Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCION.	PZA	11	\$ 5,179.05	\$ 56,969.60
EAC-007	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO TRIFÁSICO, TETRAPOLAR S204-C80, DE 80 A, VOLTAJE DE OPERACIÓN 230/480V, RANGO DE TEMPERATURA OPERACIÓN -40°C...+70 °C. MARCA ABB O DE CALIDAD SIMILAR. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA,DESPERDICIOS, ACARREOS, PRUEBAS Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCION.	PZA	1	\$ 3,440.75	\$ 3,440.75
EAC-008	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO INTERRUPTOR DIFERENCIAL TRIFÁSICO, TETRAPOLAR F204 AC-80/0,3. 80 A, VOLTAJE DE OPERACIÓN 230/480 V, RANGO DE TEMPERATURA OPERACIÓN -40°C...+70 °C.MARCA ABB O DE CALIDAD SIMILAR. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA,DESPERDICIOS, ACARREOS, PRUEBAS Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCION.	PZA	1	\$ 7,404.95	\$ 7,404.95

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS	
Dependencia: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO	
Área: FACULTAD DE INGENIERÍA	
Contrato No. S/N	Fecha: 05/02/2018
Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA	
Lugar: MUNICIPIO EN HIDALGO, MEXICO	

**CATALOGO DE CONCEPTOS
PRESUPUESTO DE OBRA
COSTO DIRECTO**

Código	Concepto	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Importe
EAC-009	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE BLOQUE DE DISTRIBUCION EL BLOQUE DBL400 SINGLE POLE DE CORRIENTE MÁXIMA 400A, RANGO DE VOLTAJE 1000 EN AC Y 1500 EN DC, ENTRADAS PARA CABLE CAL. 4AWG Y SALIDA UNIPOLAR PARA 350 KCMIL .MARCA ABB. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA, DESPERDICIOS, ACARREOS, PRUEBAS Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCION.	PZA	8	\$ 1,435.44	\$ 11,483.52
EAC-010	SUMINISTRO Y COLOCACION DE CABLE 350 KCMIL PARA CONEXIÓNADO EN CORRIENTE ALTERNA (AC) DE TABLERO DE DISTRIBUCIÓN A TRANSFORMADOR DE 500KVA. MARCA CONDUMEX, INCLUYE TENDIDO DE CABLES DE POTENCIA , FIJACIÓN DE TERMINALES, PRUEBAS DE CONTINUIDAD Y AISLAMIENTO, LIMPIEZA DEL ÁREA DE TRABAJO, MATERIALES MENORES Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCIÓN.	ML	200	\$ 474.67	\$ 94,933.57
EAC-0011	SUMINISTRO Y COLOCACION DE INTERRUPTOR PRINCIPAL SECCIONADOR. TENSIÓN DE FUNCIONAMIENTO NOMINAL MÁXIMA UE CA: 1000V, TENSIÓN DE FUNCIONAMIENTO NOMINAL: 1000V, TENSIÓN MÁXIMA DE FUNCIONAMIENTO: 600V, INTENSIDAD NOMINAL PERMANENTE IU: 400A, MARCA ABB O DE CALIDAD SIMILAR. INCLUYE: CONEXION DE TABLEROS A TRANSFORMADOR, MATERIALES, MANO DE OBRA, DESPERDICIOS, ACARREOS, PRUEBAS Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA	PZA	2	\$ 12,706.57	\$ 25,413.14
EAC-0012	SERVICIO ESPECIALIZADO SUBCONTRATADO PARA LA IMPLEMENTACIÓN INTEGRAL DE SISTEMA DE PUESTA A TIERRA PARA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA DE 500 KW DE POTENCIA NOMINAL Y CORRIENTE DE 400 A, CON OBJETIVO DE RESITENCIA MENOR O IGUAL A 5 Ω OMHS. INCLUYE: ESTUDIO DE RESISTIVIDAD DE SUELO, DISEÑO DE MALLA DE TIERRA, OBRA CIVIL, INSTALACION ELECTRICA, PRUEBAS DE RESISTENCIA CONEXIONADO HASTA BARRA DE TIERRA EN TABLERO Y DOCUMENTACION TECNICA.	LOTE	1.00	\$ 325,278.95	\$ 325,278.95
Total ELECTRICO AC					\$ 634,740.11

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS	
Dependencia: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO	
Área: FACULTAD DE INGENIERÍA	
Contrato No. S/N	Fecha: 05/02/2018
Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA	
Lugar: MUNICIPIO EN HIDALGO, MEXICO	

**CATALOGO DE CONCEPTOS
PRESUPUESTO DE OBRA
COSTO DIRECTO**

Código	Concepto	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Importe
MON-00	MONITORIZACION				
MON-001	SUMINISTRO Y COLOCACION DE UNIDAD DATA LOGGING BOX WIFI GL-WE01 DE LA MARCA NINGBO GINLONG TECHNOLOGY. SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CABLE DE PARCHEO UTP, RJ45-RJ45, CAT.6 CABLE Y LIBERADOR DE TENSION COLOR GRIS LONGITUD DE HASTA 99 MT. CLAVE VOL-6UPB-L2-DG, QUE CUMPLA CON CARACTERÍSTICAS DE: PROTECCIÓN MOLDEADA EN SUS EXTREMOS, MARCAJE EN CUBIERTA INDICANDO CATEGORÍA 6. MULTIFILAR, (7/32) DESEMPEÑO SUPERIOR A LOS 250 MHZ. CUMPLA LAS NORMAS ISO/IEC 11801, EIA/TIA 568 B.2 EN 50173, UL Y NMX-I-NYCE-248-2005 MARCA 3M, O QUE CUMPLA CON LOS ESTANDARES Y NORMAS TECNICAS SIMILARES PARA SU COLOCACION DE JACK S RJ-45, Y CONEXIÓN DE CABLE UTP EN ESTOS JACK S, ACOMODAR Y SUJETAR CABLES CON CINTAS VELCRO, CADA 40 CM. DE SEPARACION, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA ADECUADA Y NECESARIA, LIMPIEZA DEL ÁREA DE TRABAJO, RETIRO DE SOBRRANTES, Y DESPERDICIOS	PZA	2.0000	\$ 4,830.25	\$ 9,660.51
MON-002	SERVICIO ESPECIALIZADO SUBCONTRATADO DE PRUEBAS DE LA RED PARA CAT.6: UNA VEZ CONCLUIDOS LOS TRABAJOS DE INSTALACION Y CONEXIÓN DE LOS CABLES HORIZONTALES DE LA RED, SE PROCEDERA A EFECTUAR PRUEBAS DE FUNCIONALIDAD DE LOS MISMOS. SE DEBERAN REALIZAR PRUEBAS DE ATENUACION, CROSS-TALK, JITTER, NEXT, FEXT, RESISTENCIA, ASI COMO LA RESPUESTA EN FRECUENCIA HASTA 250 MHZ. PARA LO CUAL DEBERAN EMPLEAR EQUIPO	LOTE	1.0000	\$ 18,766.89	\$ 18,766.89
Total ELECTRICO AC					\$ 28,427.40
COSTOS DIRECTOS TOTALES					\$ 8,393,935.47

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS			
Dependencia : UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO			
Área: FACULTAD DE INGENIERÍA			
Contrato No. S/N			
Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA	Indirectos:	20.9963%	
	Financiamiento:	0.0060%	
	Utilidad	20.0000%	
Lugar: MUNICIPIO EN HIDALGO, MÉXICO.	SFP:	0.0050%	

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
MATRICES DE PRECIOS**

Código	Concepto	Unidad	Costo	cantidad	Importe
--------	----------	--------	-------	----------	---------

Análisis: PRE 001 Unidad: FRENTE
 DESMANTELAMIENTO SIN RECUPERACION DE ESTRUCTURAS (PARARRAYOS OBSOLETOS) Y OBJETOS VARIOS EXISTENTES QUE DIFICULTEN LA LIBRE INSTALACION DE LAS ESTRUCTURAS DE SOPORTE DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS. INCLUYE: RETIRO DE LOS SOPORTES ATORNILLADOS, ACARREOS, ANDAMIOS, HERRAMIENTA, EQUIPO DE SEGURIDAD Y TODO LO NECESARIO PARA LA CORRECTA EJECUCIÓN.

MANO DE OBRA

CUADRILLA No 6 (1 ELECTRIC.+AY.ESP)	JOR	\$1,039.63	0.825042	\$857.74
Subtotal: MANO DE OBRA				\$857.74

EQUIPO Y HERRAMIENTA

HERRAMIENTA MENOR	%	\$857.74	0.030000	\$25.73
Subtotal: EQUIPO Y HERRAMIENTA				\$25.73
Costo directo				\$883.47
INDIRECTOS	20.996%			\$185.50
Suma 1				\$1,068.97
FINANCIAMIENTO	0.0060%			\$0.06
Suma 2				\$1,069.03
UTILIDAD	20.000%			\$213.81
Suma 3				\$1,282.84
SFP=(Suma3/(1-0.005)-Suma3)	0.0050%			\$0.06
PRECIO UNITARIO				\$1,282.90

(* UN MIL DOSCIENTOS SIETE PESOS 59/100 M.N. *)

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS			
Dependencia : UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO			
Área: FACULTAD DE INGENIERÍA			
Contrato No. S/N			
Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA	Indirectos:	20.9963%	
FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA	Financiamiento:	0.0060%	
	Utilidad	20.0000%	
Lugar: MUNICIPIO EN HIDALGO, MÉXICO.	SFP:	0.0050%	

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
MATRICES DE PRECIOS**

Código	Concepto	Unidad	Costo	cantidad	Importe
	Análisis: PRE 002	Unidad: M2			
	LIMPIEZA PREVIA PARA INICIO DE LA OBRA: INCLUYE: ,MATERIALES DE CONSUMO, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCIÓN.				
MATERIALES					
	MATERIALES MENORES	%	\$6.52	0.100	\$0.65
	Subtotal: MATERIALES				\$0.65
MANO DE OBRA					
	CUADRILLA No (1 AYUDANTE GENERAL)	JOR	\$447.23 /	400.000	\$1.12
	Subtotal: MANO DE OBRA				\$1.12
EQUIPO Y HERRAMIENTA					
	HERRAMIENTA MENOR	%	\$1.12	0.030	\$0.03
	Subtotal: EQUIPO Y HERRAMIENTA				\$0.03
	Costo directo				\$1.80
	INDIRECTOS	21.00%			\$0.38
	Suma 1				\$2.18
	FINANCIAMIENTO	0.01%			\$0.00
	Suma 2				\$2.18
	UTILIDAD	20.00%			\$0.44
	Suma 3				\$2.62
	SFP=(Suma3/(1-0.005)-Suma3)	0.0050%			\$0.00
	PRECIO UNITARIO				\$2.62
	(* NUEVE PESOS 15/100 M.N. *)				

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS

Dependencia : UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Área: FACULTAD DE INGENIERÍA

Contrato No. S/N

Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA
FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA

Indirectos: 20.9963%

Financiamiento: 0.0060%

Utilidad 20.0000%

SFP: 0.0050%

Lugar: MUNICIPIO EN HIDALGO, MÉXICO.

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
MATRICES DE PRECIOS**

Código	Concepto	Unidad	Costo	cantidad	Importe
--------	----------	--------	-------	----------	---------

Análisis: PRE-001 Unidad: M3

ACARREO: TRASLADO EN CAMION 1ER KM, CON CARGA A MANUAL, FUERA DEL INMUEBLE DE MATERIALES PRODUCTO DE, DESMANTELAMIENTOS, DEMOLICION Y DESPERDICIOS DE OBRA, INCLUYE: CARGA Y DESCARGA A CAMION A TIRO LIBRE AUTORIZADO, CAMION DE 7 M3., HERRAMIENTAS Y MANO DE OBRA.

MANO DE OBRA

CUADRILLA No 1 (1 PEON) JOR \$447.23 / 6.000000 \$74.54

Subtotal: MANO DE OBRA **\$74.54****EQUIPO Y HERRAMIENTA**

CAMION DE VOLTEO DE 7 M3 HOR \$297.39 / 4.250000 \$69.97

HERRAMIENTA MENOR % \$74.54 0.030000 \$2.24

Subtotal: EQUIPO Y HERRAMIENTA **\$72.21**Costo directo **\$146.75**

INDIRECTOS 21.00% \$30.81

Suma 1 \$177.56

FINANCIAMIENTO 0.006% \$0.01

Suma 2 \$177.57

UTILIDAD 20.00% \$35.51

Suma 3 \$213.09

SFP=(Suma3/(1-0.005)-Suma3) 0.0050% \$0.01

PRECIO UNITARIO \$213.10

(* DOSCIENTOS CUATRO PESOS 42/100 M.N. *)

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS			
Dependencia : UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO			
Área: FACULTAD DE INGENIERÍA			
Contrato No. S/N			
Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA		Indirectos:	20.9963%
FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA		Financiamiento:	0.0060%
		Utilidad	20.0000%
Lugar: MUNICIPIO EN HIDALGO, MÉXICO.		SFP:	0.0050%

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
MATRICES DE PRECIOS**

Código	Concepto	Unidad	Costo	cantidad	Importe
--------	----------	--------	-------	----------	---------

Análisis: MPE-08 Unidad: M3/KM

ACARREO EN CAMIÓN 1KMS SBSECUENTES, INCLUYE: EL COSTO DEL EQUIPO

EQUIPO Y HERRAMIENTA

CAMION DE VOLTEO DE 7 M3	HOR	\$297.39 /	4.250000	\$69.97
Subtotal: EQUIPO Y HERRAMIENTA				\$69.97
Costo directo				\$69.97
INDIRECTOS	21.00%			\$14.69
Suma 1				\$84.67
FINANCIAMIENTO	0.01%			\$0.01
Suma 2				\$84.67
UTILIDAD	20.00%			\$16.93
Suma 3				\$101.61
SFP=(Suma3/(1-0.005)-Suma3)	0.0050%			\$0.01
PRECIO UNITARIO				\$101.61
(* DIEZ PESOS 31/100 M.N. *)				

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS			
Dependencia : UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO			
Área: FACULTAD DE INGENIERÍA			
Contrato No. S/N			
Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA		Indirectos:	20.9963%
FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA		Financiamiento:	0.0060%
		Utilidad	20.0000%
Lugar: MUNICIPIO EN HIDALGO, MÉXICO.		SFP:	0.0050%

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
MATRICES DE PRECIOS**

Código	Concepto	Unidad	Costo	cantidad	Importe
	Análisis: TYN-001 Unidad: M2				
	LEVANTAMIENTO, TRAZO Y DELIMITACION DE EJES, PARA ESTABLECER LOS PUNTOS DE REFERENCIA DEL REA DE INSTALACION DE LA CENTRAL SOLAR, CON TODOS SUS ELEMENTOS ARQUITECTONICOS Y ESTRUCTUALES CORRESPONIENTES ESTABLECIENDO REFERENCIAS. INCLUYE : EQUIPO TOPOGRAFICO, PINTURA PARA SEÑALIZACION, MANO DE OBRA,HERRAMIENTAS, ACARREOS Y LIMPIEZA DE LA ZONA DE TRABAJO				
MATERIALES					
	PINTURA VINILICA VINIMEX 700, BCO Y COLS. LT		\$49.42	0.007500	\$0.37
	Subtotal: MATERIALES				\$0.37
MANO DE OBRA					
	CUADRILLA No. 65(1 TOPOGRAFO + 1 AYTE)	JOR	\$2.53	1.000000	\$2.53
	Subtotal: MANO DE OBRA				\$2.53
EQUIPO Y HERRAMIENTA					
	EQUIPO DE TOPOGRAFIA	HOR	\$25.00 /	50.000000	\$0.50
	HERRAMIENTA MENOR	%	\$2.53	0.100000	\$0.25
	Subtotal: EQUIPO Y HERRAMIENTA				\$0.75
	Costo directo				\$3.65
	INDIRECTOS	21.00%			\$0.77
	Suma 1				\$4.42
	FINANCIAMIENTO	0.01%			\$0.00
	Suma 2				\$4.42
	UTILIDAD	20.00%			\$0.88
	Suma 3				\$5.30
	SFP=(Suma3/(1-0.005)-Suma3)	0.0050%			\$0.00
	PRECIO UNITARIO				\$5.30
	(* CINCO PESOS 09/100 M.N. *)				

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS			
Dependencia : UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO			
Área: FACULTAD DE INGENIERÍA			
Contrato No. S/N			
Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA	Indirectos:	20.9963%	
	Financiamiento:	0.0060%	
	Utilidad	20.0000%	
Lugar: MUNICIPIO EN HIDALGO, MÉXICO.	SFP:	0.0050%	

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
MATRICES DE PRECIOS**

Código	Concepto	Unidad	Costo	cantidad	Importe
	Análisis: ESTR-001 Unidad: M2				
	SUMINISTRO E INSTALACION DE ESTRUCTURA TRIANGULAR A 15° DE INCLINACION DE ALUMINIO ANODIZADO 6005-T5 CON GARANTÍA DE 12 AÑOS MARCA ART SIGN SOLAR BY XIAMEN CON TORNILLERIA EN ACERO INOXIDABLE GRADO A2, SISTEMA BÁSICO. INCLUYE: MANO DE OBRA ESPECIALIZADA, ANCLAJE A NAVE A BASE DE TORNILLERÍA DE ACERO INOXIDABLE. EQUIPO. HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA				
MATERIAL					
	ESTRUCTURA TRIANGULAR A 15° DE ALUMINIO	JGO	\$ 329.17	0.5000	\$164.58
	TORNILLO DE ACERO INOXIDABLE	PZA	\$ 4.77	1.6384	\$7.81
	SIKAFLEX POLIURETANO	LT	\$ 1,051.72	0.0100	\$10.52
	IMPERMEABILIZANTE ACRILICO SIKA TECHO	LT	\$ 123.68	0.0267	\$3.30
	Subtotal: MATERIALES				\$186.21
MANO DE OBRA					
	CUADRILLA No. 7 (1 TECNICO + 3 AY.ESP.)	JOR	\$1,920.51 /	40.0000	\$48.01
	Subtotal: MANO DE OBRA				\$48.01
EQUIPO Y HERRAMIENTA					
	HERRAMIENTA MENOR	%	\$48.01	0.0500	\$2.40
	PLATAFORMA ELEVADORA	HORA	\$128.30	0.0002	\$0.03
	COMBUSTIBLE	HORA	\$100.00	0.0002	\$0.02
	OPERADOR	JOR	\$719.67	0.0002	\$0.15
	Subtotal: EQUIPO Y HERRAMIENTA				\$2.60
	Costo directo				\$236.82
	INDIRECTOS	21.00%			\$49.72
	Suma 1				\$286.54
	FINANCIAMIENTO	0.01%			\$0.02
	Suma 2				\$286.56
	UTILIDAD	20.00%			\$57.31
	Suma 3				\$343.87
	SFP=(Suma3/(1-0.005)-Suma3)	0.0050%			\$0.02
	PRECIO UNITARIO				\$343.89
	(* TRESCIENTOS VEINTINUEVE PESOS 89/100 M.N. *)				

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS			
Dependencia : UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO			
Área: FACULTAD DE INGENIERÍA			
Contrato No. S/N			
Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA	Indirectos:	20.9963%	
	Financiamiento:	0.0060%	
	Utilidad	20.0000%	
Lugar: MUNICIPIO EN HIDALGO, MÉXICO.	SFP:	0.0050%	

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
MATRICES DE PRECIOS**

Código	Concepto	Unidad	Costo	cantidad	Importe
	Análisis: ESTR-002 Unidad: M2				
	SUMINISTRO E INSTALACION DE ESTRUCTURA COPLANAR A 0° DE INCLINACION DE ALUMINIO ANODIZADO 6005-T5 CON GARANTÍA DE 12 AÑOS MARCA ART SIGN SOLAR BY XIAMEN CON TORNILLERIA EN ACERO INOXIDABLE GRADO A2, SISTEMA BÁSICO. INCLUYE: MANO DE OBRA ESPECIALIZADA, ANCLAJE A NAVE A BASE DE TORNILLERÍA DE ACERO INOXIDABLE, EQUIPO, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA				
MATERIAL					
	ESTRUCTURA COPLANAR A 0° DE INCLINACION°	JGO	\$ 329.17	0.5000	\$164.58
	TORNILLO DE ACERO INOXIDABLE	PZA	\$ 4.77	1.6384	\$7.81
	SIKAFLEX POLIURETANO	LT	\$ 1,051.72	0.0100	\$10.52
	IMPERMEABILIZANTE ACRILICO SIKA TECHO	LT	\$ 123.68	0.0267	\$3.30
	Subtotal: MATERIALES				\$186.21
MANO DE OBRA					
	CUADRILLA No. 7 (1 TECNICO + 3 AY.ESP.)	JOR	\$1,920.51 /	60.0000	\$32.01
	Subtotal: MANO DE OBRA				\$32.01
EQUIPO Y HERRAMIENTA					
	HERRAMIENTA MENOR	%	\$32.01	0.0500	\$1.60
	PLATAFORMA ELEVADORA	HORA	\$128.30	0.0016	\$0.21
	COMBUSTIBLE	HORA	\$100.00	0.0016	\$0.16
	OPERADOR	JOR	\$719.67	0.0016	\$1.15
	Subtotal: EQUIPO Y HERRAMIENTA				\$3.12
	Costo directo				\$221.34
	INDIRECTOS	21.00%			\$46.47
	Suma 1				\$267.81
	FINANCIAMIENTO	0.01%			\$0.02
	Suma 2				\$267.82
	UTILIDAD	20.00%			\$53.56
	Suma 3				\$321.39
	SFP=(Suma3/(1-0.005)-Suma3)	0.0050%			\$0.02
	PRECIO UNITARIO				\$321.40
	(* TRESCIENTOS OCHO PESOS 32/100 M.N. *)				

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS			
Dependencia : UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO			
Área: FACULTAD DE INGENIERÍA			
Contrato No. S/N			
Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA	Indirectos:	20.9963%	
	Financiamiento:	0.0060%	
	Utilidad	20.0000%	
Lugar: MUNICIPIO EN HIDALGO, MÉXICO.	SFP:	0.0050%	

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
MATRICES DE PRECIOS**

Código	Concepto	Unidad	Costo	cantidad	Importe
	Análisis: PAN-001 Unidad: PZA				
	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE PANEL FOTOVOLTAICO POLICRISTALINO DE 325 W DE POTENCIA NOMINAL SOBRE ESTRUCTURA INCLINADA 15°. MARCA JA SOLAR MODELO JAP72S01. INCLUYE, ACARREOS, ACCESORIOS, MONTAJE, FIJACIÓN, MANO DE OBRA ESPECIALIZADA, EQUIPO, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA INSTALACIÓN.				
MATERIAL	PANEL FOTOVOLTAICO POLICRITALINO DE 325	PZA	\$ 3,031.57	1.0000	\$3,031.57
	KIT DE GRAPAS DE SUJECION		\$ 44.51	1.0000	\$44.51
	Subtotal: MATERIALES				\$3,076.08
MANO DE OBRA	CUADRILLA No. 7 (1 TECNICO + 3 AY.ESP.)	JOR	\$2,336.64 /	30.0000	\$77.89
	Subtotal: MANO DE OBRA				\$77.89
EQUIPO Y HERRAMIENTA	HERRAMIENTA MENOR	%	\$77.89	0.0500	\$3.89
	PLATAFORMA ELEVADORA	HORA	\$128.30	0.0028	\$0.36
	COMBUSTIBLE	HORA	\$100.00	0.0028	\$0.28
	OPERADOR	JOR	\$719.67	0.0028	\$2.00
	Subtotal: EQUIPO Y HERRAMIENTA				\$6.53
	Costo directo				\$3,160.50
	INDIRECTOS	21.00%			\$663.59
	Suma 1				\$3,824.09
	FINANCIAMIENTO	0.01%			\$0.23
	Suma 2				\$3,824.32
	UTILIDAD	20.00%			\$764.86
	Suma 3				\$4,589.18
	SFP=(Suma3/(1-0.005)-Suma3)	0.0050%			\$0.23
	PRECIO UNITARIO				\$4,589.41
	(* CUATRO MIL CUATROCIENTOS DOS PESOS 62/100 M.N. *)				

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS			
Dependencia : UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO			
Área: FACULTAD DE INGENIERÍA			
Contrato No. S/N			
Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA	Indirectos:	20.9963%	
FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA	Financiamiento:	0.0060%	
	Utilidad	20.0000%	
Lugar: MUNICIPIO EN HIDALGO, MÉXICO.	SFP:	0.0050%	

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
MATRICES DE PRECIOS**

Código	Concepto	Unidad	Costo	cantidad	Importe
	Análisis: PAN-001 Unidad: ZA				
	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE PANEL FOTOVOLTAICO POLICRITALINO DE 325 W DE POTENCIA NOMINAL SOBRE ESTRUCTURA COPLANAR A 0°. MARCA JA SOLAR MODELO JAP72S01. INCLUYE, ACARREOS, ACCESORIOS, MONTAJE, FIJACIÓN, MANO DE OBRA ESPECIALIZADA, EQUIPO, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA INSTALACIÓN.				
MATERIAL					
	PANEL FOTOVOLTAICO POLICRITALINO DE 325	PZA	\$ 3,031.57	1.0000	\$3,031.57
	KIT DE GRAPAS DE SUJECION		\$ 44.51	1.0000	\$44.51
	Subtotal: MATERIALES				\$3,076.08
MANO DE OBRA					
	CUADRILLA No. 7 (1 TECNICO + 3 AY.ESP.)	JOR	\$2,336.64 /	45.0000	\$51.93
	Subtotal: MANO DE OBRA				\$51.93
EQUIPO Y HERRAMIENTA					
	HERRAMIENTA MENOR	%	\$51.93	0.0500	\$2.60
	PLATAFORMA ELEVADORA	HORA	\$128.30	0.0028	\$0.36
	COMBUSTIBLE	HORA	\$100.00	0.0028	\$0.28
	OPERADOR	JOR	\$719.67	0.0028	\$2.00
	Subtotal: EQUIPO Y HERRAMIENTA				\$5.23
	Costo directo				\$3,133.24
	INDIRECTOS	21.00%			\$657.86
	Suma 1				\$3,791.10
	FINANCIAMIENTO	0.01%			\$0.23
	Suma 2				\$3,791.33
	UTILIDAD	20.00%			\$758.27
	Suma 3				\$4,549.60
	SFP=(Suma3/(1-0.005)-Suma3)	0.0050%			\$0.23
	PRECIO UNITARIO				\$4,549.82
	(* CUATRO MIL TRESCIENTOS SESENTA Y CUATRO PESOS 65/100 M.N. *)				

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS			
Dependencia : UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO			
Área: FACULTAD DE INGENIERÍA			
Contrato No. S/N			
Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA	Indirectos:	20.9963%	
	Financiamiento:	0.0060%	
	Utilidad	20.0000%	
Lugar: MUNICIPIO EN HIDALGO, MÉXICO.	SFP:	0.0050%	

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
MATRICES DE PRECIOS**

Código	Concepto	Unidad	Costo	cantidad	Importe
	Análisis: EDC-001 Unidad: ML				
	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CANALIZACIONES PARA CABLEADO DC DESDE TECHUMBRE HASTA ACOMETIDA EN SUBESTACION, A BASE DE CANALETA TIPO RANURADA CON TAPA DE MATERIAL PVC DE ALTA DENSIDAD, IGNIFUGA, LIBRE DE HALOGENOS Y PARA INTEMPERIE. MARCA ABB PASO 4/6 MEDIDAS 35X15 CM . INCLUYE: ANDAMIAJE, HERRAMIENTA, MATERIALES Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCIÓN.				
MATERIALES					
	CANALETA RANURADA PVC	ML	\$142.98	0.5000	\$71.49
	TORNILLO ACERO INOXIDABLE	PZA	\$1.23	4.0000	\$4.92
	SELLADOR FIJADOR SIKA RESITENTE AL FUEGO	LT	\$996.75	0.0500	\$49.84
	Subtotal: MATERIALES				\$126.25
MANO DE OBRA					
	CUADRILLA No 19 (1 ELECTRIC.+AY.ESP)	JOR	\$1,039.63	0.020000	\$20.79
	Subtotal: MANO DE OBRA				\$20.79
EQUIPO Y HERRAMIENTA					
	HERRAMIENTA MENOR	%	\$20.79	0.200000	\$4.16
	ANDAMIOS	%	\$34.53	0.050000	\$1.73
	Subtotal: EQUIPO Y HERRAMIENTA				\$5.89
	Costo directo				\$152.93
	INDIRECTOS	21.00%			\$32.11
	Suma 1				\$185.03
	FINANCIAMIENTO	0.01%			\$0.01
	Suma 2				\$185.05
	UTILIDAD	20.00%			\$37.01
	Suma 3				\$222.05
	SFP=(Suma3/(1-0.005)-Suma3)	0.0050%			\$0.01
	PRECIO UNITARIO				\$222.07
	(* DOSCIENTOS TRECE PESOS 03/100 M.N. *)				

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS			
Dependencia : UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO			
Área: FACULTAD DE INGENIERÍA			
Contrato No. S/N			
Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA		Indirectos:	20.9963%
		Financiamiento:	0.0060%
		Utilidad	20.0000%
Lugar: MUNICIPIO EN HIDALGO, MÉXICO.		SFP:	0.0050%

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
MATRICES DE PRECIOS**

Código	Concepto	Unidad	Costo	cantidad	Importe
	Análisis: EDC-002 Unidad: ML				
	CONEXIONES EN CORRIENTE CONTINUA (DC) DE PANELES FOTOVOLTAICOS HASTA INVERSORES DE 40KW Y 50KW INSTALADOS EN MURO DE SUBESTACION. INCLUYE TENDIDO DE CABLES DE POTENCIA HACIA TABLERO DE DISTRIBUCIÓN, FIJACIÓN DE TERMINALES MC4 EN LAS TERMINALES, PRUEBAS DE CONTINUIDAD Y AISLAMIENTO, LIMPIEZA DEL ÁREA DE TRABAJO Y MATERIALES MENORES.CABLE FOTOVOLTAICO DE 4MM2. INCLUYE MATERIAL MANO DE OBRA HERRAMIENTA ANDAMIA.F Y TODO LO NECESARIO PARA SU				
MATERIALES					
	CABLE SOLAR 4MM ²	ML	\$14.05	1.000000	\$14.05
	CONECTOR MC4	PZA.	\$36.66	0.076622	\$2.81
	Subtotal: MATERIALES				\$16.86
MANO DE OBRA					
	CUADRILLA No 4 (1 TECNICO+ 1 AY.ESP.)	JOR	\$1,504.38 /	250.000000	\$6.02
	Subtotal: MANO DE OBRA				\$6.02
EQUIPO Y HERRAMIENTA					
	HERRAMIENTA MENOR	%	\$1.80	0.090000	\$0.16
	ANDAMIOS	%	\$1.80	0.005000	\$0.01
	Subtotal: EQUIPO Y HERRAMIENTA				\$0.17
	Costo directo				\$23.04
	INDIRECTOS	21.00%			\$4.84
	Suma 1				\$27.88
	FINANCIAMIENTO	0.01%			\$0.00
	Suma 2				\$27.88
	UTILIDAD	20.00%			\$5.58
	Suma 3				\$33.46
	SFP=(Suma3/(1-0.005)-Suma3)	0.0050%			\$0.00
	PRECIO UNITARIO				\$33.46
	(* TREINTA Y DOS PESOS 10/100 M.N. *)				

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS			
Dependencia : UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO			
Área: FACULTAD DE INGENIERÍA			
Contrato No. S/N			
Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA	Indirectos:	20.9963%	
FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA	Financiamiento:	0.0060%	
	Utilidad	20.0000%	
Lugar: MUNICIPIO EN HIDALGO, MÉXICO.	SFP:	0.0050%	

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
MATRICES DE PRECIOS**

Código	Concepto	Unidad	Costo	cantidad	Importe
	Análisis: EDC-003 Unidad: JGO				
	SUMINISTRO Y FABRICACION DE CONEXIONES TIPO PUENTE DE 5M DE LARGO PARA SALTOS DE INTERCONEXION ENTRE PANELES FV, HECHOS CON CABLE FOTOVOLTAICO Y TERMINALES MC4. CONEXION M-H EN COLOR NEGRO Y ROJO. INCLUYE MATERIALES, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA FABRICACION				
MATERIALES					
	CABLE SOLAR 4MM ²	ML	\$14.05	10.000000	\$140.47
	CONECTOR MC4	PZA.	\$36.66	0.076622	\$2.81
	Subtotal: MATERIALES				\$143.28
MANO DE OBRA					
	CUADRILLA No 4 (1 TECNICO+ 1 AY.ESP.)	JOR	\$1,504.38 /	48.000000	\$31.34
	Subtotal: MANO DE OBRA				\$31.34
EQUIPO Y HERRAMIENTA					
	HERRAMIENTA MENOR	%	\$1.80	0.030000	\$0.05
	Subtotal: EQUIPO Y HERRAMIENTA				\$0.05
	Costo directo				\$174.67
	INDIRECTOS	21.00%			\$36.67
	Suma 1				\$211.34
	FINANCIAMIENTO	0.01%			\$0.01
	Suma 2				\$211.36
	UTILIDAD	20.00%			\$42.27
	Suma 3				\$253.63
	SFP=(Suma3/(1-0.005)-Suma3)	0.0050%			\$0.01
	PRECIO UNITARIO				\$253.64
	(* DOSCIENTOS CUARENTA Y TRES PESOS 32/100 M.N. *)				

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS			
Dependencia : UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO			
Área: FACULTAD DE INGENIERÍA			
Contrato No. S/N			
Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA	Indirectos:	20.9963%	
	Financiamiento:	0.0060%	
	Utilidad	20.0000%	
Lugar: MUNICIPIO EN HIDALGO, MÉXICO.	SFP:	0.0050%	

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
MATRICES DE PRECIOS**

Código	Concepto	Unidad	Costo	cantidad	Importe
	Análisis: EDC-004 Unidad: ML				
	CONEXIONES A TIERRA DE PANELES FOTOVOLTAICOS HASTA INVERSORES DE 40KW Y 50KW INSTALADOS EN MURO DE SUBESTACION POR MEDIO DE CABLE DE TIERRA CAL. 6 AWG AMARILLO- VERDE. INCLUYE TENDIDO DE CABLES DE TIERRA, FIJACIÓN EN PANELES Y EN LAS TERMINALES DEL INVERSOR, PRUEBAS DE CONTINUIDAD Y AISLAMIENTO, LIMPIEZA DEL ÁREA DE TRABAJO Y MATERIALES MENORES.CABLE FOTOVOLTAICO DE 4MM ² INCLUYE MATERIAL MANO DE OBRA HERRAMIENTA ANDAMIA.FE Y TODO LO				
MATERIALES					
	CABLE DE TIERRA AMARILLO-VERDE CAL 6AWG ML		\$20.43	1.000000	\$20.43
	MORDAZA A TIERRA EN PANEL		\$8.23	0.063990	\$0.53
	Subtotal: MATERIALES				\$20.96
MANO DE OBRA					
	CUADRILLA No 6 (1 ELECTRIC.+AY.ESP)	JOR	\$1,039.63 /	150.000000	\$6.93
	Subtotal: MANO DE OBRA				\$6.93
EQUIPO Y HERRAMIENTA					
	HERRAMIENTA MENOR	%	\$6.93	0.100000	\$0.69
	ANDAMIOS	%	\$1.80	0.005000	\$0.01
	Subtotal: EQUIPO Y HERRAMIENTA				\$0.70
	Costo directo				\$28.59
	INDIRECTOS	21.00%			\$6.00
	Suma 1				\$34.59
	FINANCIAMIENTO	0.01%			\$0.00
	Suma 2				\$34.59
	UTILIDAD	20.00%			\$6.92
	Suma 3				\$41.51
	SFP=(Suma3/(1-0.005)-Suma3)	0.0050%			\$0.00
	PRECIO UNITARIO				\$41.52
	(* TREINTA Y NUEVE PESOS 83/100 M.N. *)				

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS

Dependencia : UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Área: FACULTAD DE INGENIERÍA

Contrato No. S/N

Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA
FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA

Indirectos: 20.9963%

Financiamiento: 0.0060%

Utilidad 20.0000%

SFP: 0.0050%

Lugar: MUNICIPIO EN HIDALGO, MÉXICO.

**ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS
MATRICES DE PRECIOS**

Código	Concepto	Unidad	Costo	cantidad	Importe
	Análisis: INV-001	Unidad: PZA			
	SUMINISTRO E INSTALACION DE INVERSOR CONVERTIDOR DE DC-AC TRIFÁSICO MARCA SOLIS MODELO SOLIS-40K-US.F DE 40KW DE POTENCIA NOMINAL. CONEXIÓN DE POTENCIA, INSTALADO EN MURO DE LA NAVE, INCLUYE: FIJACIÓN MECÁNICA, CONEXIÓN DE CABLES DC PROVENIENTES DE CAMPO FOTOVOLTAICO, PRUEBAS DE POLARIDAD Y CONTINUIDAD, MANO DE OBRA, MATERIALES PARA SU CORRECTA INSTALACION, HERRAMIENTA LIMPIEZA DEL ÁREA DE TRABAJO Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA INSTALACION				
MATERIALES					
	INVERSOR DE CORRIENTE DE 40KWP	PZA	\$59,812.50	0.5000	\$29,906.25
	TORNILLO ACERO INOXIDABLE	PZA	\$58.23	4.0000	\$232.92
	Subtotal: MATERIALES				\$30,139.17
MANO DE OBRA					
	CUADRILLA No. 7 (1 TECNICO + 3 AY.ESP.)	JOR	\$2,336.64	0.500000	\$1,168.32
	Subtotal: MANO DE OBRA				\$1,168.32
EQUIPO Y HERRAMIENTA					
	HERRAMIENTA MENOR	%	\$1,168.32	0.585436	\$683.98
	ANDAMIOS	%	\$34.53	0.050000	\$1.73
	Subtotal: EQUIPO Y HERRAMIENTA				\$685.70
	Costo directo				\$31,993.19
	INDIRECTOS	21.00%			\$6,717.39
	Suma 1				\$38,710.58
	FINANCIAMIENTO	0.01%			\$2.32
	Suma 2				\$38,712.90
	UTILIDAD	20.00%			\$7,742.58
	Suma 3				\$46,455.48
	SFP=(Suma3/(1-0.005)-Suma3)	0.0050%			\$2.32
	PRECIO UNITARIO				\$46,457.81
	(* CUARENTA Y CUATRO MIL QUINIENTOS SESENTA Y SEIS PESOS 99/100 M.N. *)				

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS			
Dependencia : UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO			
Área: FACULTAD DE INGENIERÍA			
Contrato No. S/N			
Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA	Indirectos:	20.9963%	
	Financiamiento:	0.0060%	
	Utilidad	20.0000%	
Lugar: MUNICIPIO EN HIDALGO, MÉXICO.	SFP:	0.0050%	

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
MATRICES DE PRECIOS**

Código	Concepto	Unidad	Costo	cantidad	Importe
	Análisis: INV-002 Unidad: PZA				
	SUMINISTRO E INSTALACION DE INVERSOR CONVERTIDOR DE DC-AC TRIFÁSICO MARCA SOLIS MODELO SOLIS-50K-US.F DE 50KW DE POTENCIA NOMINAL. CONEXIÓN DE POTENCIA, INSTALADO EN MURO DE LA NAVE, INCLUYE: FIJACIÓN MECÁNICA, CONEXIÓN DE CABLES DC PROVENIENTES DE CAMPO FOTOVOLTAICO, PRUEBAS DE POLARIDAD Y CONTINUIDAD, MANO DE OBRA, MATERIALES PARA SU CORRECTA INSTALACION, HERRAMIENTA LIMPIEZA DEL ÁREA DE TRABAJO Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA INSTALACION				
MATERIALES					
	INVERSOR DE CORRIENTE DE 50KWP	PZA	\$59,812.50	0.5000	\$29,906.25
	TORNILLO ACERO INOXIDABLE	PZA	\$58.23	4.0000	\$232.92
	Subtotal: MATERIALES				\$30,139.17
MANO DE OBRA					
	CUADRILLA No. 7 (1 TECNICO + 3 AY.ESP.)	JOR	\$2,336.64	0.650000	\$1,518.82
	Subtotal: MANO DE OBRA				\$1,518.82
EQUIPO Y HERRAMIENTA					
	HERRAMIENTA MENOR	%	\$1,518.82	0.585436	\$889.17
	ANDAMIOS	%	\$34.53	0.050000	\$1.73
	Subtotal: EQUIPO Y HERRAMIENTA				\$890.90
	Costo directo				\$32,548.88
	INDIRECTOS	21.00%			\$6,834.06
	Suma 1				\$39,382.94
	FINANCIAMIENTO	0.01%			\$2.36
	Suma 2				\$39,385.31
	UTILIDAD	20.00%			\$7,877.06
	Suma 3				\$47,262.37
	SFP=(Suma3/(1-0.005)-Suma3)	0.0050%			\$2.36
	PRECIO UNITARIO				\$47,264.73
	(* CUARENTA Y CINCO MIL TRESCIENTOS CUARENTA Y UN PESOS 07/100 M.N. *)				

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS			
Dependencia : UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO			
Área: FACULTAD DE INGENIERÍA			
Contrato No. S/N			
Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA	Indirectos:	20.9963%	
	Financiamiento:	0.0060%	
	Utilidad	20.0000%	
Lugar: MUNICIPIO EN HIDALGO, MÉXICO.	SFP:	0.0050%	

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
MATRICES DE PRECIOS**

Código	Concepto	Unidad	Costo	cantidad	Importe
	Análisis: EAC-001 Unidad: PZA				
	SERVICIO ESPECIALIZADO SUBCONTRATADO DE COLOCACION DE CANALIZACIONES Y SOPORTERIA ELECTRICA: INCLUYE SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CHAROLA CHALUMEX DE 20". MCA. CABLOFILE O DE CALIDAD SIMILAR. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA, DESPERDICIOS, ACARREOS, PRUEBAS Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCIÓN. P.U.O.T.				
MATERIALES	ESCALERILLA/CHAROLA CABLEADO	CHALUMEX PARA PZA		n/a	\$40,459.21
	Costo directo				\$40,459.21
MANO DE OBRA					
EQUIPO Y HERRAMIENTA					
	Costo directo				\$40,459.21
	INDIRECTOS		21.00%		\$8,494.94
	Suma 1				\$48,954.15
	FINANCIAMIENTO		0.01%		\$2.94
	Suma 2				\$48,957.08
	UTILIDAD		20.00%		\$9,791.42
	Suma 3				\$58,748.50
	SFP=(Suma3/(1-0.005)-Suma3)		0.0050%		\$2.94
	PRECIO UNITARIO				\$58,751.44
	(* CINCUENTA Y SEIS MIL TRESCIENTOS SESENTA PESOS 28/100 M.N. *)				

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS			
Dependencia : UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO			
Área: FACULTAD DE INGENIERÍA			
Contrato No. S/N			
Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA	Indirectos:	20.9963%	
	Financiamiento:	0.0060%	
	Utilidad	20.0000%	
Lugar: MUNICIPIO EN HIDALGO, MÉXICO.	SFP:	0.0050%	

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
MATRICES DE PRECIOS**

Código	Concepto	Unidad	Costo	cantidad	Importe
	Análisis: EAC-002 Unidad: ML				
	SUMINISTRO Y COLOCACION DE CABLE CAL. 4 AWG PARA CONEXIÓNADO EN CORRIENTE ALTERNA (AC) DE INVERSOR DE 40 KW Y 50KW. INSTALADO EN MURO HASTA TABLERO DE DISTRIBUCIÓN. MARCA CONDUMEX , INCLUYE TENDIDO DE CABLES DE POTENCIA , FIJACIÓN DE TERMINALES, PRUEBAS DE CONTINUIDAD Y AISLAMIENTO, LIMPIEZA DEL ÁREA DE TRABAJO, MATERIALES MENORES Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EFICIENCIA				
MATERIALES	CABLE CAL. 4AWG NEG, BLA, ROJO, VERDE	MTS.	\$52.63	1.000000	\$52.63
	Subtotal: MATERIALES				\$52.63
MANO DE OBRA	CUADRILLA No 4 (1 TECNICO+ 1 AY.ESP.)	JOR	\$1,039.63 /	100.000000	\$10.40
	Subtotal: MANO DE OBRA				\$10.40
EQUIPO Y HERRAMIENTA	HERRAMIENTA MENOR	%	\$10.40	0.100000	\$1.04
	ANDAMIOS	%	\$1.80	0.100000	\$0.18
	Subtotal: EQUIPO Y HERRAMIENTA				\$1.22
	Costo directo				\$64.25
	INDIRECTOS	21.00%			\$13.49
	Suma 1				\$77.74
	FINANCIAMIENTO	0.01%			\$0.00
	Suma 2				\$77.74
	UTILIDAD	20.00%			\$15.55
	Suma 3				\$93.29
	SFP=(Suma3/(1-0.005)-Suma3)	0.0050%			\$0.00
	PRECIO UNITARIO				\$93.30
	(* OCHENTA Y NUEVE PESOS 50/100 M.N. *)				

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS			
Dependencia : UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO			
Área: FACULTAD DE INGENIERÍA			
Contrato No. S/N			
Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA	Indirectos:	20.9963%	
	Financiamiento:	0.0060%	
	Utilidad	20.0000%	
Lugar: MUNICIPIO EN HIDALGO, MÉXICO.	SFP:	0.0050%	

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
MATRICES DE PRECIOS**

Código	Concepto	Unidad	Costo	cantidad	Importe
	Análisis: EAC-003	Unidad: ML			
	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE GABINETE METÁLICO VACÍO SR ABB CON PUERTA CIEGA, PLATINA DE MONTAJE Y TAPAS PASACABLES SUPERIOR E INFERIOR, IP 65, IK 10, RAL 7035. IP 65, IK 10 (NEMA 12) CON PUERTA CIEGA, PLATINA DE MONTAJE Y TAPAS PASACABLES SUPERIOR E INFERIOR. FABRICADOS CON LÁMINA DE ACERO DE 1.5 MM DE ESPESOR, PEGADA Y SOLDADA EN PROCESO AUTOMÁTICO MEDIANTE ROBOT. DIMENSIONES: 1,200X800X300 MM. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA, DESPERPERDICIOS, PRUEBAS Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA INSTALACION.				
MATERIALES					
	GABINETE METÁLICO ABB IP 65, IK 10, RAL 7035. IP 65, IK 10 (NEMA 12)	PZA	\$4,054.20	1.000000	\$4,054.20
	CARRIL DIN ACERO GALVANIZADO TS 35X7.5	PZA	\$102.88	2.000000	\$205.76
	Subtotal: MATERIALES				\$4,259.96
MANO DE OBRA					
	CUADRILLA No 4 (1 TECNICO+ 1 AY.ESP.)	JOR	\$1,039.63	0.500000	\$519.82
	Subtotal: MANO DE OBRA				\$519.82
EQUIPO Y HERRAMIENTA					
	HERRAMIENTA MENOR	%	\$519.82	0.030000	\$15.59
	ANDAMIOS	%	\$1.80	0.005000	\$0.01
	Subtotal: EQUIPO Y HERRAMIENTA				\$15.60
	Costo directo				\$4,795.38
	INDIRECTOS	21.00%			\$1,006.85
	Suma 1				\$5,802.23
	FINANCIAMIENTO	0.01%			\$0.35
	Suma 2				\$5,802.58
	UTILIDAD	20.00%			\$1,160.52
	Suma 3				\$6,963.09
	SFP=(Suma3/(1-0.005)-Suma3)	0.0050%			\$0.35
	PRECIO UNITARIO				\$6,963.44
	(* SEIS MIL SEISCIENTOS OCHENTA PESOS 03/100 M.N. *)				

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS			
Dependencia : UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO			
Área: FACULTAD DE INGENIERÍA			
Contrato No. S/N			
Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA	Indirectos:	20.9963%	
	Financiamiento:	0.0060%	
	Utilidad	20.0000%	
Lugar: MUNICIPIO EN HIDALGO, MÉXICO.	SFP:	0.0050%	

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
MATRICES DE PRECIOS**

Código	Concepto	Unidad	Costo	cantidad	Importe
	Análisis: EAC-004 Unidad: ML				
	SUMINISTRO Y COLOCACION DE CABLE CAL. 6 AWG AMARILLO-VERDE PARA CONEXIÓNADO EN CORRIENTE ALTERNA (AC) DE INVERSOR DE 40 KW Y 50KW. INSTALADO EN MURO HASTA TABLERO DE DISTRIBUCIÓN A MASA DE TIERRAS. MARCA CONDUMEX , INCLUYE TENDIDO DE CABLES DE POTENCIA , FIJACIÓN DE TERMINALES, PRUEBAS DE CONTINUIDAD Y AISLAMIENTO, LIMPIEZA DEL ÁREA DE TRABAJO, MATERIALES MENORES Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCIÓN.				
MATERIALES	CABLE CAL. 6AWG AMARILLO-VERDE	MTS.	\$20.43	1.000000	\$20.43
	Subtotal: MATERIALES				\$20.43
MANO DE OBRA	CUADRILLA No 4 (1 TECNICO+ 1 AY.ESP.)	JOR	\$1,039.63 /	80.000000	\$13.00
	Subtotal: MANO DE OBRA				\$13.00
EQUIPO Y HERRAMIENTA	HERRAMIENTA MENOR	%	\$13.00	0.030000	\$0.39
	ANDAMIOS	%	\$1.80	0.005000	\$0.01
	Subtotal: EQUIPO Y HERRAMIENTA				\$0.40
	Costo directo				\$33.82
	INDIRECTOS	21.00%			\$7.10
	Suma 1				\$40.93
	FINANCIAMIENTO	0.01%			\$0.00
	Suma 2				\$40.93
	UTILIDAD	20.00%			\$8.19
	Suma 3				\$49.11
	SFP=(Suma3/(1-0.005)-Suma3)	0.0050%			\$0.00
	PRECIO UNITARIO				\$49.12
	(* CUARENTA Y SIETE PESOS 12/100 M.N. *)				

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS			
Dependencia : UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO			
Área: FACULTAD DE INGENIERÍA			
Contrato No. S/N			
Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA	Indirectos:	20.9963%	
	Financiamiento:	0.0060%	
	Utilidad	20.0000%	
Lugar: MUNICIPIO EN HIDALGO, MÉXICO.	SFP:	0.0050%	

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
MATRICES DE PRECIOS**

Código	Concepto	Unidad	Costo	cantidad	Importe
	Análisis: EAC-005 Unidad: PZA				
	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO TRIFÁSICO, TETRAPOLAR S204 AC-63/0,3. 63 A, VOLTAJE DE OPERACIÓN 230/480 V, RANGO DE TEMPERATURA OPERACIÓN -40°C...+70 °C.MARCA ABB O DE CALIDAD SIMILAR. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA, DESPERDICIOS, ACARREOS, PRUEBAS Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCION.				
MATERIALES	INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO TRIFÁSICO, TETRAPOLAR S204 AC-63/0,3A	PZA	\$2,279.44	1.000000	\$2,279.44
	Subtotal: MATERIALES				\$2,279.44
MANO DE OBRA	CUADRILLA No 4 (1 TECNICO+ 1 AY.ESP.)	JOR	\$1,039.63	0.055000	\$57.18
	Subtotal: MANO DE OBRA				\$57.18
EQUIPO Y HERRAMIENTA	HERRAMIENTA MENOR	%	\$57.18	0.500000	\$28.59
	ANDAMIOS	%	\$1.80	0.005000	\$0.01
	Subtotal: EQUIPO Y HERRAMIENTA				\$28.60
	Costo directo				\$2,365.22
	INDIRECTOS	21.00%			\$496.61
	Suma 1				\$2,861.83
	FINANCIAMIENTO	0.01%			\$0.17
	Suma 2				\$2,862.00
	UTILIDAD	20.00%			\$572.40
	Suma 3				\$3,434.40
	SFP=(Suma3/(1-0.005)-Suma3)	0.0050%			\$0.17
	PRECIO UNITARIO				\$3,434.58
	(* TRES MIL DOSCIENTOS NOVENTA Y CUATRO PESOS 79/100 M.N. *)				

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS			
Dependencia : UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO			
Área: FACULTAD DE INGENIERÍA			
Contrato No. S/N			
Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA	Indirectos:	20.9963%	
	Financiamiento:	0.0060%	
	Utilidad	20.0000%	
Lugar: MUNICIPIO EN HIDALGO, MÉXICO.	SFP:	0.0050%	

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
MATRICES DE PRECIOS**

Código	Concepto	Unidad	Costo	cantidad	Importe
	Análisis: EAC-006 Unidad: PZA				
	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE INTERRUPTOR DIFERENCIAL TRIFÁSICO, TETRAPOLAR F204 AC-63/0,3. 63 A, VOLTAJE DE OPERACIÓN 230/480 V, RANGO DE TEMPERATURA OPERACIÓN -40°C...+70 °C.MARCA ABB O DE CALIDAD SIMILAR. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA, DESPERDICIOS, ACARREOS, PRUEBAS Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCION.				
MATERIALES	INTERRUPTOR DIFERENCIAL TRIFÁSICO, TETRAPOLAR F204 AC-63/0,3. 63 A	PZA	\$5,092.50	1.000000	\$5,092.50
	Subtotal: MATERIALES				\$5,092.50
MANO DE OBRA	CUADRILLA No 4 (1 TECNICO+ 1 AY.ESP.)	JOR	\$1,039.63	0.055500	\$57.70
	Subtotal: MANO DE OBRA				\$57.70
EQUIPO Y HERRAMIENTA	HERRAMIENTA MENOR	%	\$57.70	0.500000	\$28.85
	ANDAMIOS	%	\$1.80	0.005000	\$0.01
	Subtotal: EQUIPO Y HERRAMIENTA				\$28.86
	Costo directo				\$5,179.05
	INDIRECTOS	21.00%			\$1,087.41
	Suma 1				\$6,266.46
	FINANCIAMIENTO	0.01%			\$0.38
	Suma 2				\$6,266.84
	UTILIDAD	20.00%			\$1,253.37
	Suma 3				\$7,520.21
	SFP=(Suma3/(1-0.005)-Suma3)	0.0050%			\$0.38
	PRECIO UNITARIO				\$7,520.58
	(*SIETE MIL DOSCIENTOS CATORCE PESOS 50/100 M.N. *)				

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS			
Dependencia : UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO			
Área: FACULTAD DE INGENIERÍA			
Contrato No. S/N			
Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA	Indirectos:	20.9963%	
	Financiamiento:	0.0060%	
	Utilidad	20.0000%	
Lugar: MUNICIPIO EN HIDALGO, MÉXICO.	SFP:	0.0050%	

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
MATRICES DE PRECIOS**

Código	Concepto	Unidad	Costo	cantidad	Importe
	Análisis: EAC-007 Unidad: PZA				
	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO TRIFÁSICO, TETRAPOLAR S204 AC-80/0,3. 63 A, VOLTAJE DE OPERACIÓN 230/480 V, RANGO DE TEMPERATURA OPERACIÓN -40°C...+70 °C.MARCA ABB O DE CALIDAD SIMILAR. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA,DESPERDICIOS, ACARREOS, PRUEBAS Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCION.				
MATERIALES	INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO TRIFÁSICO, PZA TETRAPOLAR S204 AC-80/0,3A		\$3,381.31	1.000000	\$3,381.31
	Subtotal: MATERIALES				\$3,381.31
MANO DE OBRA	CUADRILLA No 4 (1 TECNICO+ 1 AY.ESP.)	JOR	\$1,039.63	0.055500	\$57.70
	Subtotal: MANO DE OBRA				\$57.70
EQUIPO Y HERRAMIENTA	HERRAMIENTA MENOR	%	\$57.70	0.030000	\$1.73
	ANDAMIOS	%	\$1.80	0.005000	\$0.01
	Subtotal: EQUIPO Y HERRAMIENTA				\$1.74
	Costo directo				\$3,440.75
	INDIRECTOS	21.00%			\$722.43
	Suma 1				\$4,163.18
	FINANCIAMIENTO	0.01%			\$0.25
	Suma 2				\$4,163.43
	UTILIDAD	20.00%			\$832.69
	Suma 3				\$4,996.11
	SFP=(Suma3/(1-0.005)-Suma3)	0.0050%			\$0.25
	PRECIO UNITARIO				\$4,996.36
	(* CUATRO MILSETECIENTOS NOVENTA Y TRES PESOS 01/100 M.N. *)				

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS

Dependencia : UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Área: FACULTAD DE INGENIERÍA

Contrato No. S/N

Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA
FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA

Indirectos: 20.9963%

Financiamiento: 0.0060%

Utilidad 20.0000%

SFP: 0.0050%

Lugar: MUNICIPIO EN HIDALGO, MÉXICO.

**ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS
MATRICES DE PRECIOS**

Código	Concepto	Unidad	Costo	cantidad	Importe
	Análisis: EAC-008 Unidad: PZA				
	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE INTERRUPTOR DIFERENCIAL TRIFÁSICO, TETRAPOLAR F204 AC-80/0,3. 63 A, VOLTAJE DE OPERACIÓN 230/480 V, RANGO DE TEMPERATURA OPERACIÓN -40°C...+70 °C.MARCA ABB O DE CALIDAD SIMILAR. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA, DESPERDICIOS, ACARREOS, PRUEBAS Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCION.				
MATERIALES					
	INTERRUPTOR DIFERENCIAL TRIFÁSICO, TETRAPOLAR F204 AC-80/0,3. 63 A	PZA	\$7,318.39	1.000000	\$7,318.39
	Subtotal: MATERIALES				\$7,318.39
MANO DE OBRA					
	CUADRILLA No 4 (1 TECNICO+ 1 AY.ESP.)	JOR	\$1,039.63	0.055500	\$57.70
	Subtotal: MANO DE OBRA				\$57.70
EQUIPO Y HERRAMIENTA					
	HERRAMIENTA MENOR	%	\$57.70	0.500000	\$28.85
	ANDAMIOS	%	\$1.80	0.005000	\$0.01
	Subtotal: EQUIPO Y HERRAMIENTA				\$28.86
	Costo directo				\$7,404.95
	INDIRECTOS	21.00%			\$1,554.77
	Suma 1				\$8,959.72
	FINANCIAMIENTO	0.01%			\$0.54
	Suma 2				\$8,960.25
	UTILIDAD	20.00%			\$1,792.05
	Suma 3				\$10,752.30
	SFP=(Suma3/(1-0.005)-Suma3)	0.0050%			\$0.54
	PRECIO UNITARIO				\$10,752.84
	(* DIEZ MIL TRESCIENTOS QUINCE PESOS 20/100 M.N. *)				

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS			
Dependencia : UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO			
Área: FACULTAD DE INGENIERÍA			
Contrato No. S/N			
Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA	Indirectos:	20.9963%	
	Financiamiento:	0.0060%	
	Utilidad	20.0000%	
Lugar: MUNICIPIO EN HIDALGO, MÉXICO.	SFP:	0.0050%	

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
MATRICES DE PRECIOS**

Código	Concepto	Unidad	Costo	cantidad	Importe
	Análisis: EAC-009 Unidad: PZA				
	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE BLOQUE DE DISTRIBUCION EL BLOQUE DBL400 SINGLE POLE DE CORRIENTE MÁXIMA 400A, RANGO DE VOLTAJE 1000 EN AC Y 1500 EN DC, ENTRADAS PARA CABLE CAL. 4AWG Y SALIDA UNIPOLAR PARA 350 KCMIL .MARCA ABB. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA, DESPERDICIOS, ACARREOS, PRUEBAS Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCION.				
MATERIALES	BLOQUE DE DISTRIBUCION EL BLOQUE DBL400 CORRIENTE MÁXIMA 400A, RANGO DE VOLTAJE	PZA	\$1,240.50	1.000000	\$1,240.50
	Subtotal: MATERIALES				\$1,240.50
MANO DE OBRA	CUADRILLA No 4 (1 TECNICO+ 1 AY.ESP.)	JOR	\$1,039.63	0.125000	\$129.95
	Subtotal: MANO DE OBRA				\$129.95
EQUIPO Y HERRAMIENTA	HERRAMIENTA MENOR	%	\$129.95	0.500000	\$64.98
	ANDAMIOS	%	\$1.80	0.005000	\$0.01
	Subtotal: EQUIPO Y HERRAMIENTA				\$64.99
	Costo directo				\$1,435.44
	INDIRECTOS	21.00%			\$301.39
	Suma 1				\$1,736.83
	FINANCIAMIENTO	0.01%			\$0.10
	Suma 2				\$1,736.93
	UTILIDAD	20.00%			\$347.39
	Suma 3				\$2,084.32
	SFP=(Suma3/(1-0.005)-Suma3)	0.0050%			\$0.10
	PRECIO UNITARIO				\$2,084.42
	(* UN MIL NOVECIENTOS NOVENTA Y NUEVE PESOS 59/100 M.N. *)				

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS			
Dependencia : UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO			
Área: FACULTAD DE INGENIERÍA			
Contrato No. S/N			
Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA	Indirectos:	20.9963%	
	Financiamiento:	0.0060%	
	Utilidad	20.0000%	
Lugar: MUNICIPIO EN HIDALGO, MÉXICO.	SFP:	0.0050%	

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
MATRICES DE PRECIOS**

Código	Concepto	Unidad	Costo	cantidad	Importe
	Análisis: EAC-010	Unidad: ML			
	SUMINISTRO Y COLOCACION DE CABLE 350 KCMIL PARA CONEXIÓNADO EN CORRIENTE ALTERNA (AC) DE TABLERO DE DISTRIBUCIÓN A TRANSFORMADOR DE 500KVA. MARCA CONDUMEX, INCLUYE TENDIDO DE CABLES DE POTENCIA , FIJACIÓN DE TERMINALES, PRUEBAS DE CONTINUIDAD Y AISLAMIENTO, LIMPIEZA DEL ÁREA DE TRABAJO, MATERIALES MENORES Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCIÓN.				
MATERIALES					
	CABLE 350 KCMIL, CAPACIDAD DE CONDUCCION ML 350A A 90°C		\$427.82	1.000000	\$427.82
	Subtotal: MATERIALES				\$427.82
MANO DE OBRA					
	CUADRILLA No 4 (1 TECNICO+ 1 AY.ESP.)	JOR	\$1,039.63	0.034800	\$36.18
	Subtotal: MANO DE OBRA				\$36.18
EQUIPO Y HERRAMIENTA					
	HERRAMIENTA MENOR	%	\$36.18	0.250000	\$9.04
	ANDAMIOS	%	\$1.80	0.900000	\$1.62
	Subtotal: EQUIPO Y HERRAMIENTA				\$10.66
	Costo directo				\$474.67
	INDIRECTOS	21.00%			\$99.66
	Suma 1				\$574.33
	FINANCIAMIENTO	0.01%			\$0.03
	Suma 2				\$574.37
	UTILIDAD	20.00%			\$114.87
	Suma 3				\$689.24
	SFP=(Suma3/(1-0.005)-Suma3)	0.0050%			\$0.03
	PRECIO UNITARIO				\$689.27
	(* SEISCIENTOS SESENTA Y UN PESOS 22/100 M.N. *)				

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS			
Dependencia : UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO			
Área: FACULTAD DE INGENIERÍA			
Contrato No. S/N			
Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA	Indirectos:	20.9963%	
	Financiamiento:	0.0060%	
	Utilidad	20.0000%	
Lugar: MUNICIPIO EN HIDALGO, MÉXICO.	SFP:	0.0050%	

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
MATRICES DE PRECIOS**

Código	Concepto	Unidad	Costo	cantidad	Importe
	Análisis: EAC-011 Unidad: PZA				
	SUMINISTRO Y COLOCACION DE INTERRUPTOR PRINCIPAL SECCIONADOR. TENSION DE FUNCIONAMIENTO NOMINAL MÁXIMA UE CA: 1000V, TENSION DE FUNCIONAMIENTO NOMINAL: 1000V, TENSION MÁXIMA DE FUNCIONAMIENTO: 600V, INTENSIDAD NOMINAL PERMANENTE IU: 400A,.MARCA ABB O DE CALIDAD SIMILAR. INCLUYE: CONEXION DE TABLEROS A TRANSFORMADOR, MATERIALES, MANO DE OBRA,DESPERDICIOS, ACARREOS PRIIFRAS Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EFICLACION				
MATERIALES					
	SECCIONADOR. TENSION DE FUNCIONAMIENTO PZA NOMINAL MÁXIMA UE CA: 1000V, INTENSIDAD NOMINAL 400A		\$8,274.93	1.000000	\$8,274.93
	TERMINALES BURRNDY YA312N 350KCMIL		\$180.00	10.000000	\$1,800.00
	MANGUERA TERMOCONTRACTIL 3M PARED MEDIANA		\$469.27	1.500000	\$703.91
	Subtotal: MATERIALES				\$10,778.84
MANO DE OBRA					
	CUADRILLA No 4 (1 TECNICO+ 1 AY.ESP.)	JOR	\$2,336.64	0.750000	\$1,752.48
	Subtotal: MANO DE OBRA				\$1,752.48
EQUIPO Y HERRAMIENTA					
	HERRAMIENTA MENOR	%	\$1,752.48	0.100000	\$175.25
	ANDAMIOS	%	\$1.80	0.005000	\$0.01
	Subtotal: EQUIPO Y HERRAMIENTA				\$175.26
	Costo directo				\$12,706.57
	INDIRECTOS	21.00%			\$2,667.91
	Suma 1				\$15,374.48
	FINANCIAMIENTO	0.01%			\$0.92
	Suma 2				\$15,375.40
	UTILIDAD	20.00%			\$3,075.08
	Suma 3				\$18,450.49
	SFP=(Suma3/(1-0.005)-Suma3)	0.0050%			\$0.92
	PRECIO UNITARIO				\$18,451.41
	(* DIECISIETE MIL SETECIENTOS PESOS 44/100 M.N. *)				

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS			
Dependencia : UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO			
Área: FACULTAD DE INGENIERÍA			
Contrato No. S/N			
Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA	Indirectos:	20.9963%	
FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA	Financiamiento:	0.0060%	
	Utilidad	20.0000%	
Lugar: MUNICIPIO EN HIDALGO, MÉXICO.	SFP:	0.0050%	

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
MATRICES DE PRECIOS**

Código	Concepto	Unidad	Costo	cantidad	Importe
--------	----------	--------	-------	----------	---------

Análisis: EAC-012 Unidad: LOTE

SERVICIO ESPECIALIZADO SUBCONTRATADO PARA LA IMPLEMENTACIÓN INTEGRAL DE SISTEMA DE PUESTA A TIERRA PARA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA DE 500 KW DE POTENCIA NOMINAL Y CORRIENTE DE 400 A, CON OBJETIVO DE RESISTENCIA MENOR O IGUAL A 5 Ω OMHS. INCLUYE: ESTUDIO DE RESISTIVIDAD DE SUELO, DISEÑO DE MALLA DE TIERRA, OBRA CIVIL, INSTALACION ELECTRICA, PRUEBAS DE RESISTENCIA CONEXIONADO HASTA BARRA DE TIERRA EN TABLERO Y DOCUMENTACION TECNICA.P.U.O.T

Costo P.U.O.T \$ 325,278.95

Costo directo					\$325,278.95
INDIRECTOS		21.00%			\$68,296.54
Suma 1					\$393,575.49
FINANCIAMIENTO		0.01%			\$23.61
Suma 2					\$393,599.11
UTILIDAD		20.00%			\$78,719.82
Suma 3					\$472,318.93
SFP=(Suma3/(1-0.005)-Suma3)		0.0050%			\$23.62
PRECIO UNITARIO					\$472,342.55

(* CUATROCIENTOS CINCUENTA Y TRES MIL CIENTO DIECIOCHO PESOS 39/100 M.N. *)

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS			
Dependencia : UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO			
Área: FACULTAD DE INGENIERÍA			
Contrato No. S/N			
Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA	Indirectos:	20.9963%	
	Financiamiento:	0.0060%	
	Utilidad	20.0000%	
Lugar: MUNICIPIO EN HIDALGO, MÉXICO.	SFP:	0.0050%	

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
MATRICES DE PRECIOS**

Código	Concepto	Unidad	Costo	cantidad	Importe
	Análisis: MON-001 Unidad: PZA				
	SUMINISTRO Y COLOCACION DE UNIDAD DATA LOGGING BOX WIFI GL-WE01 DE LA MARCA NINGBO GINLONG TECHNOLOGY. SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CABLE DE PARCHEO UTP, RJ45-RJ45, CAT.6 CABLE Y LIBERADOR DE TENSION COLOR GRIS LONGITUD DE HASTA 99 MT. CLAVE VOL-6UPB-L2-DG, QUE CUMPLA CON CARACTERÍSTICAS DE: PROTECCIÓN MOLDEADA EN SUS EXTREMOS, MARCAJE EN CUBIERTA INDICANDO CATEGORÍA 6. MULTIFILAR, (7/32) DESEMPEÑO SUPERIOR A LOS 250 MHZ. CUMPLA LAS NORMAS ISO/IEC 11801, EIA/TIA 568 B.2 EN 50173, UL Y NMX-I-NYCE-248-2005 MARCA 3M, O QUE CUMPLA CON LOS ESTANDARES Y NORMAS TECNICAS SIMILARES PARA SU COLOCACION DE JACK S RJ-45, Y CONEXIÓN DE CABLE UTP EN ESTOS JACK S, ACOMODAR Y SUJETAR CABLES CON CINTAS VELCRO, CADA 50 CM. DE SEPARACION, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA ADECUADA Y NECESARIA, LIMPIEZA DEL ÁREA DE TRABAJO, RETIRO DE SOBRES, Y DESPERDICIOS				
MATERIALES	MODEM WIFI DATALOGGING BOX SOLIS GL- PZA		\$2,866.66	1.000000	\$2,866.66
	CABLE UTP CAT6		\$893.20	0.750000	\$669.90
	CONECTORES RJ45		\$8.75	2.000000	\$17.50
	CINCHOS WEIDMULLER 35CM		\$0.99	150.000000	\$147.90
	Subtotal: MATERIALES				\$3,701.96
MANO DE OBRA	CUADRILLA No 4 (1 TECNICO+ 1 AY.ESP.)	JOR	\$1,504.38	0.500000	\$752.19
	Subtotal: MANO DE OBRA				\$752.19
EQUIPO Y HERRAMIENTA	HERRAMIENTA MENOR	%	\$752.19	0.500000	\$376.10
	ANDAMIOS	%	\$1.80	0.005000	\$0.01
	Subtotal: EQUIPO Y HERRAMIENTA				\$376.10
	Costo directo				\$4,830.25
	INDIRECTOS	21.00%			\$1,014.17
	Suma 1				\$5,844.43
	FINANCIAMIENTO	0.01%			\$0.35
	Suma 2				\$5,844.78
	UTILIDAD	20.00%			\$1,168.96
	Suma 3				\$7,013.74
	SFP=(Suma3/(1-0.005)-Suma3)	0.0050%			\$0.35
	PRECIO UNITARIO				\$7,014.09
	(* SEIS MIL SETECIENTOS VEINTIOCHO PESOS 62/100 M.N. *)				

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS			
Dependencia : UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO			
Área: FACULTAD DE INGENIERÍA			
Contrato No. S/N			
Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA	Indirectos:	20.9963%	
FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA	Financiamiento:	0.0060%	
	Utilidad	20.0000%	
Lugar: MUNICIPIO EN HIDALGO, MÉXICO.	SFP:	0.0050%	

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
MATRICES DE PRECIOS**

Código	Concepto	Unidad	Costo	cantidad	Importe
--------	----------	--------	-------	----------	---------

Análisis: MON-002 Unidad: LOTE

SERVICIO ESPECIALIZADO SUBCONTRATADO DE CONEXION Y PRUEBAS DE RED PARA CAT.6: UNA VEZ CONCLUIDOS LOS TRABAJOS DE INSTALACION Y CONEXIÓN DE LOS CABLES HORIZONTALES DE LA RED, SE PROCEDERA A EFECTUAR PRUEBAS DE FUNCIONALIDAD DE LOS MISMOS. SE DEBERAN REALIZAR PRUEBAS DE ATENUACION, CROSS-TALK, JITTER, NEXT, FEXT, RESISTENCIA, ASI COMO LA RESPUESTA EN FRECUENCIA HASTA 250 MHZ PARA LO CUAL DEBERAN EMPLEAR EQUIPO ESPECIALIZADO PLOT

\$ 18,766.89

Costo directo		\$18,766.89
INDIRECTOS	21.00%	<u>\$3,940.35</u>
Suma 1		\$22,707.24
FINANCIAMIENTO	0.01%	<u>\$1.36</u>
Suma 2		\$22,708.60
UTILIDAD	20.00%	<u>\$4,541.72</u>
Suma 3		\$27,250.33
SFP=(Suma3/(1-0.005)-Suma3)	0.0050%	<u>\$1.36</u>
PRECIO UNITARIO		\$27,251.69

(* VEINTISEIS MIL CIENTOCUARENTA Y DOS PESOS 56/100 M.N. *)

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS	
Dependencia: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO	
Área: FACULTAD DE INGENIERÍA	
Contrato No. S/N	Fecha: 05/02/2018
Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA	
Lugar: MUNICIPIO EN HIDALGO, MEXICO	

**PRESUPUESTO DE OBRA
PRECIOS UNITARIOS**

Código	Concepto	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Importe
CEMENTERA DE JASSO					
PRE-00	PRELIMINARES				
PRE 001	DESMANTELAMIENTO SIN RECUPERACION DE ESTRUCTURAS (PARARRAYOS OBSOLETOS) Y OBJETOS VARIOS EXISTENTES QUE DIFICULTEN LA LIBRE INSTALACION DE LAS ESTRUCTURAS DE SOPORTE DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS. INCLUYE: RETIRO DE LOS SOPORTES ATORNILLADOS, ACARREOS, ANDAMIOS, HERRAMIENTA, EQUIPO DE SEGURIDAD Y TODO LO NECESARIO PARA LA CORRECTA EJECUCIÓN.	FTE	3.0000	\$ 1,282.90	\$ 3,848.70
PRE 002	LIMPIEZA PREVIA PARA INICIO DE LA OBRA: INCLUYE: MATERIALES DE CONSUMO, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCIÓN.	M2	6,546.0000	\$ 2.62	\$ 17,144.37
PRE 004	ACARREO: TRASLADO EN CAMION FUERA DEL INMUEBLE DE MATERIALES PRODUCTO DE, DESMANTELAMIENTOS, DEMOLICION Y DESPERDICIOS DE OBRA, INCLUYE: CARGA Y DESCARGA A CAMION A TIRO LIBRE AUTORIZADO, CAMION DE 7 M3.,HERRAMIENTAS Y MANO DE OBRA.	LOTE	FALSO	\$ 213.10	\$ -
PRE-004	ACARREO EN CAMIÓN 1KMS SBSECUENTES, INCLUYE: EL COSTO DEL EQUIPO	M3/KM	924.000	\$ 101.61	\$ 93,888.09
	Total PRELIMINARES				\$ 114,881.16
TYN-00	TRAZO Y NIVELACION				
TYN-001	LEVANTAMIENTO, TRAZO Y DELIMITACION DE EJES, PARA ESTABLECER LOS PUNTOS DE REFERENCIA DEL AREA DE INSTALACION DE LA CENTRAL SOLAR, CON TODOS SUS ELEMENTOS ARQUITECTONICOS Y ESTRUCTUALES CORRESPONIENTES ESTABLECIENDO REFERENCIAS. INCLUYE : EQUIPO TOPOGRAFICO, PINTURA PARA SEÑALIZACION, MANO DE OBRA,HERRAMIENTAS, ACARREOS Y LIMPIEZA DE LA ZONA DE TRABAJO	M2	8,452.0000	\$ 5.30	\$ 44,821.11
	Total TRAZO Y NIVELACION				\$ 44,821.11
ESTR-00	ESTRUCTURA				
ESTR-001	SUMINISTRO E INSTALACION DE ESTRUCTURA TRIANGULAR A 15º DE ALUMINIO ANODIZADO 6005-T5 CON GARANTÍA DE 12 AÑOS MARCA ART SIGN SOLAR BY XIAMEN CON TORNILLERIA EN ACERO INOXIDABLE GRADO A2, SISTEMA BÁSICO. INCLUYE: MANO DE OBRA ESPECIALIZADA, ANCLAJE A NAVE A BASE DE TORNILLERÍA DE ACERO INOXIDABLE, EQUIPO, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA INSTALACIÓN.	M2.	3,416.0000	\$ 343.89	\$ 1,174,729.03

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS

Dependencia: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Área: FACULTAD DE INGENIERÍA

Contrato No. S/N

Fecha: 05/02/2018

Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA

Lugar: MUNICIPIO EN HIDALGO, MEXICO

**PRESUPUESTO DE OBRA
PRECIOS UNITARIOS**

Código	Concepto	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Importe
ESTR-002	SUMINISTRO E INSTALACION DE ESTRUCTURA COPLANAR A 0º DE ALUMINIO ANODIZADO 6005-T5 CON GARANTÍA DE 12 AÑOS MARCA ART SIGN SOLAR BY XIAMEN CON TORNILLERIA EN ACERO INOXIDABLE GRADO A2, SISTEMA BÁSICO. INCLUYE: MANO DE OBRA ESPECIALIZADA, ANCLAJE A NAVE A BASE DE TORNILLERÍA DE ACERO INOXIDABLE, EQUIPO, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA INSTALACÓN.	M2.	246.0000	\$ 321.40	\$ 79,065.48
Total ESTRUCTURA					\$ 1,253,794.51
PAN-00	PANELES				
PAN-001	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE PANEL FOTOVOLTAICO POLICRITALINO DE 325 W DE POTENCIA NOMINAL MARCA JA SOLAR MODELO JAP72S01. INCLUYE, ACARREOS, ACCESORIOS, MONTAJE, FIJACIÓN, MANO DE OBRA ESPECIALIZADA, EQUIPO, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA INSTALACIÓN.	PZA.	1,708.0000	\$ 4,589.41	\$ 7,838,709.84
PAN-002	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE PANEL FOTOVOLTAICO POLICRITALINO DE 325 W DE POTENCIA NOMINAL MARCA JA SOLAR MODELO JAP72S01. INCLUYE, ACARREOS, ACCESORIOS, MONTAJE, FIJACIÓN, MANO DE OBRA ESPECIALIZADA, EQUIPO, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA INSTALACIÓN.	PZA.	123.0000	\$ 4,549.82	\$ 559,628.20
Total PANELES					\$ 8,398,338.04
EDC-00	ELECTRICO DC				
EDC-001	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CANALIZACIONES PARA CABLEADO DC DESDE TECHUMBRE HASTA ACOMETIDA EN SUBESTACION, A BASE DE CANALETA TIPO RANURADA CON TAPA DE MATERIAL PVC DE ALTA DENSIDAD, IGNIFUGA, LIBRE DE HALOGENOS Y PARA INTEMPERIE. MARCA ABB PASO 4/6 MEDIDAS 35X15 CM . INCLUYE: ANDAMIAJE, HERRAMIENTA, MATERIALES Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCIÓN.	ML	392.00	\$ 222.07	\$ 87,049.90

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS	
Dependencia: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO	
Área: FACULTAD DE INGENIERÍA	
Contrato No. S/N	Fecha: 05/02/2018
Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA	
Lugar: MUNICIPIO EN HIDALGO, MEXICO	

**PRESUPUESTO DE OBRA
PRECIOS UNITARIOS**

Código	Concepto	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Importe
EDC-002	CONEXIONES EN CORRIENTE CONTINUA (DC) DE PANELES FOTOVOLTAICOS HATA INVERSORES DE 40KW Y 50KW INSTALADOS EN MURO DE SUBESTACION . INCLUYE TENDIDO DE CABLES DE POTENCIA HACIA TABLERO DE DISTRIBUCIÓN, FIJACIÓN DE TERMINALES MC4 EN LAS TERMINALES, PRUEBAS DE CONTINUIDAD Y AISLAMIENTO, LIMPIEZA DEL ÁREA DE TRABAJO Y MATERIALES MENORES.CABLE FOTOVOLTAICO DE 4MM2. INCLUYE: MATERIAL, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA, ANDAMIAJE Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCIÓN.	ML	20,464.00	\$ 33.46	\$ 684,781.30
EDC-003	SUMINISTRO Y FABRICACION DE CONEXIONES TIPO PUENTE DE 5M DE LARGO PARA SALTOS DE INTERCONEXION ENTRE PANELES FV, HECHOS CON CABLE FOTOVOLTAICO Y TERMINALES MC4. CONEXION M-H EN COLOR NEGRO Y ROJO (UN PAR). INCLUYE MATERIALES, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA FABRICACION	JGO	78.00	\$ 253.64	\$ 19,784.06
EDC-004	CONEXIONES A TIERRA DE PANELES FOTOVOLTAICOS HASTA INVERSORES DE 40KW Y 50KW INSTALADOS EN MURO DE SUBESTACION POR MEDIO DE CABLE DE TIERRA CAL. 6 AWG AMARILLO- VERDE. INCLUYE TENDIDO DE CABLES DE TIERRA, FIJACIÓN EN PANELES Y EN LAS TERMINALES DEL INVERSOR, PRUEBAS DE CONTINUIDAD Y AISLAMIENTO, LIMPIEZA DEL ÁREA DE TRABAJO Y MATERIALES MENORES.CABLE FOTOVOLTAICO DE 4MM2. INCLUYE: MATERIAL, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA, ANDAMIAJE Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCIÓN.	ML	1,516.00	\$ 41.52	\$ 62,937.32
Total ELECTRICO EN DC					\$ 854,552.58
INV-00	INVERSORES				
INV-001	SUMINISTRO E INSTALACION DE INVERSOR CONVERTIDOR DE DC-AC TRIFÁSICO MARCA SOLIS MODELO SOLIS-40K-US.F DE 40KW DE POTENCIA NOMINAL. CONEXIÓN DE POTENCIA, INSTALADO EN MURO DE LA NAVE, INCLUYE: FIJACIÓN MECÁNICA, CONEXIÓN DE CABLES DC PROVENIENTES DE CAMPO FOTOVOLTAICO, PRUEBAS DE POLARIDAD Y CONTINUIDAD, MANO DE OBRA, MATERIALES PARA SU CORRECTA INSTALACION, HERRAMIENTA,LIMPIEZA DEL ÁREA DE TRABAJO Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA INSTALACION	PZA	11.0000	\$ 46,457.81	\$ 511,035.86

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS	
Dependencia: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO	
Área: FACULTAD DE INGENIERÍA	
Contrato No. S/N	Fecha: 05/02/2018
Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA	
Lugar: MUNICIPIO EN HIDALGO, MEXICO	

**PRESUPUESTO DE OBRA
PRECIOS UNITARIOS**

Código	Concepto	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Importe
INV-002	SUMINISTRO E INSTALACION DE INVERSOR CONVERTIDOR DE DC-AC TRIFÁSICO MARCA SOLIS MODELO SOLIS-40K-US.F DE 50KW DE POTENCIA NOMINAL. CONEXIÓN DE POTENCIA, INSTALADO EN MURO DE LA NAVEL, INCLUYE: FIJACIÓN MECÁNICA, CONEXIÓN DE CABLES DC PROVENIENTES DE CAMPO FOTOVOLTAICO, PRUEBAS DE POLARIDAD Y CONTINUIDAD, MANO DE OBRA, MATERIALES PARA SU CORRECTA INSTALACION, HERRAMIENTA,LIMPIEZA DEL ÁREA DE TRABAJO Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA INSTALACION	PZA	1.0000	\$ 47,264.73	\$ 47,264.73
Total INVERSORES					\$ 558,300.59
EAC-00	ELECTRICO AC				
EAC-001	SERVICIO ESPECIALIZADO SUBCONTRATADO DE COLOCACION DE CANALIZACIONES Y SOPORTERIA ELECTRICA: INCLUYE SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CHAROLA CHALUMEX DE 20". MCA. CABLOFILE O DE CALIDAD SIMILAR. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA, DESPERDICIOS, ACARREOS, PRUEBAS Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCIÓN. P.U.O.T.	LOTE	1	\$ 58,751.44	\$ 58,751.44
EAC-002	SUMINISTRO Y COLOCACION DE CABLE CAL. 4 AWG PARA CONEXIÓNADO EN CORRIENTE ALTERNA (AC) DE INVERSOR DE 40 KW Y 50KW. INSTALADO EN MURO HASTA BARRA DE TIERRAS EN TABLERO DE DISTRIBUCIÓN. MARCA CONDUMEX , INCLUYE TENDIDO DE CABLES DE POTENCIA , FIJACIÓN DE TERMINALES, PRUEBAS DE CONTINUIDAD Y AISLAMIENTO, LIMPIEZA DEL ÁREA DE TRABAJO, MATERIALES MENORES Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCIÓN.	ML	480	\$ 93.30	\$ 44,782.27
EAC-003	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE GABINETE METÁLICO VACÍO SR ABB CON PUERTA CIEGA, PLATINA DE MONTAJE Y TAPAS PASACABLES SUPERIOR E INFERIOR, IP 65, IK 10, RAL 7035. IP 65, IK 10 (NEMA 12) CON PUERTA CIEGA, PLATINA DE MONTAJE Y TAPAS PASACABLES SUPERIOR E INFERIOR. FABRICADOS CON LÁMINA DE ACERO DE 1.5 MM DE ESPESOR, PEGADA Y SOLDADA EN PROCESO AUTOMÁTICO MEDIANTE ROBOT. DIMENSIONES: 1,200X800X300 MM. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA, DESPERPERDICIOS, PRUEBAS Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA INSTALACION.	PZA	2	\$ 6,963.44	\$ 13,926.89

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS

Dependencia: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Área: FACULTAD DE INGENIERÍA

Contrato No. S/N

Fecha: 05/02/2018

Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA

Lugar: MUNICIPIO EN HIDALGO, MEXICO

**PRESUPUESTO DE OBRA
PRECIOS UNITARIOS**

Código	Concepto	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Importe
EAC-004	SUMINISTRO Y COLOCACION DE CABLE CAL. 6 AWG AMARILLO-VERDE PARA CONEXIÓNADO EN CORRIENTE ALTERNA (AC) DE INVERSOR DE 40 KW Y 50KW. INSTALADO EN MURO HASTA TABLERO DE DISTRIBUCIÓN A MASA DE TIERRAS. MARCA CONDUMEX , INCLUYE TENDIDO DE CABLES DE POTENCIA , FIJACIÓN DE TERMINALES, PRUEBAS DE CONTINUIDAD Y AISLAMIENTO, LIMPIEZA DEL ÁREA DE TRABAJO, MATERIALES MENORES Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCIÓN.	ML	86	\$ 49.12	\$ 4,224.04
EAC-005	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO TRIFÁSICO, TETRAPOLAR S204 AC-63/0.3. 63 A, VOLTAJE DE OPERACIÓN 230/480 V, RANGO DE TEMPERATURA OPERACIÓN -40°C...+70 °C.MARCA ABB O DE CALIDAD SIMILAR. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA,DESPERDICIOS, ACARREOS, PRUEBAS Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCION.	PZA	11	\$ 3,434.58	\$ 37,780.34
EAC-006	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE INTERRUPTOR DIFERENCIAL TRIFÁSICO, TETRAPOLAR F204 AC-63/0.3. 63 A, VOLTAJE DE OPERACIÓN 230/480 V, RANGO DE TEMPERATURA OPERACIÓN -40°C...+70 °C.MARCA ABB O DE CALIDAD SIMILAR. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA,DESPERDICIOS, ACARREOS, PRUEBAS Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCION.	PZA	11	\$ 7,520.58	\$ 82,726.43
EAC-007	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO TRIFÁSICO, TETRAPOLAR S204-C80, DE 80 A, VOLTAJE DE OPERACIÓN 230/480V, RANGO DE TEMPERATURA OPERACIÓN -40°C...+70 °C. MARCA ABB O DE CALIDAD SIMILAR. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA,DESPERDICIOS, ACARREOS, PRUEBAS Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCION.	PZA	1	\$ 4,996.36	\$ 4,996.36
EAC-008	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO INTERRUPTOR DIFERENCIAL TRIFÁSICO, TETRAPOLAR F204 AC-80/0.3. 80 A, VOLTAJE DE OPERACIÓN 230/480 V, RANGO DE TEMPERATURA OPERACIÓN -40°C...+70 °C.MARCA ABB O DE CALIDAD SIMILAR. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA,DESPERDICIOS, ACARREOS, PRUEBAS Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCION.	PZA	1	\$ 10,752.84	\$ 10,752.84

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS	
Dependencia: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO	
Área: FACULTAD DE INGENIERÍA	
Contrato No. S/N	Fecha: 05/02/2018
Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA	
Lugar: MUNICIPIO EN HIDALGO, MEXICO	

**PRESUPUESTO DE OBRA
PRECIOS UNITARIOS**

Código	Concepto	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Importe
EAC-009	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE BLOQUE DE DISTRIBUCION EL BLOQUE DBL400 SINGLE POLE DE CORRIENTE MÁXIMA 400A, RANGO DE VOLTAJE 1000 EN AC Y 1500 EN DC, ENTRADAS PARA CABLE CAL. 4AWG Y SALIDA UNIPOLAR PARA 350 KCMIL .MARCA ABB. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA, DESPERDICIOS, ACARREOS, PRUEBAS Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCION.	PZA	8	\$ 2,084.42	\$ 16,675.39
EAC-010	SUMINISTRO Y COLOCACION DE CABLE 350 KCMIL PARA CONEXIÓNADO EN CORRIENTE ALTERNA (AC) DE TABLERO DE DISTRIBUCIÓN A TRANSFORMADOR DE 500KVA. MARCA CONDUMEX, INCLUYE TENDIDO DE CABLES DE POTENCIA , FIJACIÓN DE TERMINALES, PRUEBAS DE CONTINUIDAD Y AISLAMIENTO, LIMPIEZA DEL ÁREA DE TRABAJO, MATERIALES MENORES Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCIÓN.	ML	200	\$ 689.27	\$ 137,854.49
EAC-0011	SUMINISTRO Y COLOCACION DE INTERRUPTOR PRINCIPAL SECCIONADOR. TENSIÓN DE FUNCIONAMIENTO NOMINAL MÁXIMA UE CA: 1000V, TENSIÓN DE FUNCIONAMIENTO NOMINAL: 1000V, TENSIÓN MÁXIMA DE FUNCIONAMIENTO: 600V, INTENSIDAD NOMINAL PERMANENTE IU: 400A., MARCA ABB O DE CALIDAD SIMILAR. INCLUYE: CONEXION DE TABLEROS A TRANSFORMADOR, MATERIALES, MANO DE OBRA, DESPERDICIOS, ACARREOS, PRUEBAS Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA	PZA	2	\$ 18,451.41	\$ 36,902.82
EAC-0012	SERVICIO ESPECIALIZADO SUBCONTRATADO PARA LA IMPLEMENTACIÓN INTEGRAL DE SISTEMA DE PUESTA A TIERRA PARA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA DE 500 KW DE POTENCIA NOMINAL Y CORRIENTE DE 400 A, CON OBJETIVO DE RESITENCIA MENOR O IGUAL A 5 Ω OMHS. INCLUYE: ESTUDIO DE RESISTIVIDAD DE SUELO, DISEÑO DE MALLA DE TIERRA, OBRA CIVIL, INSTALACION ELECTRICA, PRUEBAS DE RESISTENCIA CONEXIONADO HASTA BARRA DE TIERRA EN TABLERO Y DOCUMENTACION TECNICA.	LOTE	1.00	\$ 472,342.55	\$ 472,342.55
Total ELECTRICO AC					\$ 921,715.84

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS	
Dependencia: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO	
Área: FACULTAD DE INGENIERÍA	
Contrato No. S/N	Fecha: 05/02/2018
Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA	
Lugar: MUNICIPIO EN HIDALGO, MEXICO	

**PRESUPUESTO DE OBRA
PRECIOS UNITARIOS**

Código	Concepto	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Importe
MON-00	MONITORIZACION				
MON-001	SUMINISTRO Y COLOCACION DE UNIDAD DATA LOGGING BOX WIFI GL-WE01 DE LA MARCA NINGBO GINLONG TECHNOLOGY. SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CABLE DE PARCHEO UTP, RJ45-RJ45, CAT.6 CABLE Y LIBERADOR DE TENSION COLOR GRIS LONGITUD DE HASTA 99 MT. CLAVE VOL-6UPB-L2-DG, QUE CUMPLA CON CARACTERÍSTICAS DE: PROTECCIÓN MOLDEADA EN SUS EXTREMOS, MARCAJE EN CUBIERTA INDICANDO CATEGORÍA 6. MULTIFILAR, (7/32) DESEMPEÑO SUPERIOR A LOS 250 MHZ. CUMPLA LAS NORMAS ISO/IEC 11801, EIA/TIA 568 B.2 EN 50173, UL Y NMX-I-NYCE-248-2005 MARCA 3M, O QUE CUMPLA CON LOS ESTANDARES Y NORMAS TECNICAS SIMILARES PARA SU COLOCACION DE JACK S RJ-45, Y CONEXIÓN DE CABLE UTP EN ESTOS JACK S, ACOMODAR Y SUJETAR CABLES CON CINTAS VELCRO, CADA 40 CM. DE SEPARACION, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA ADECUADA Y NECESARIA, LIMPIEZA DEL ÁREA DE TRABAJO, RETIRO DE SOBANTES. Y DESPERDICIOS	PZA	2.0000	\$ 7,014.09	\$ 14,028.17
MON-002	SERVICIO ESPECIALIZADO SUBCONTRATADO DE PRUEBAS DE LA RED PARA CAT.6: UNA VEZ CONCLUIDOS LOS TRABAJOS DE INSTALACION Y CONEXIÓN DE LOS CABLES HORIZONTALES DE LA RED, SE PROCEDERA A EFECTUAR PRUEBAS DE FUNCIONALIDAD DE LOS MISMOS. SE DEBERAN REALIZAR PRUEBAS DE ATENUACION, CROSS-TALK, JITTER, NEXT, FEXT, RESISTENCIA, ASI COMO LA RESPUESTA EN FRECUENCIA HASTA 250 MHZ. PARA LO CUAL DEBERAN EMPLEAR EQUIPO	LOTE	1.0000	\$ 27,251.69	\$ 27,251.69
Total ELECTRICO AC					\$ 41,279.86
SUBTOTAL					\$ 12,187,683.71
I.V.A. 15.00%					\$ 1,950,029.39
Total del presupuesto					\$ 14,137,713.10

FACTOR DE SOBRECOSTO

PLANTILLA DE OFICINA CENTRAL Y CAMPO					
Duracion de la Obra (en dias)					\$ 101.00
GASTOS TECNICOS Y ADMINISTRATIVOS	PERSONAL DE OFICINA DE CAMPO				
	Monto Total				Porcentaje
	\$ 562,570.00				6.70%
	CATEGORIAS	CANTIDAD	SALARIO MENSUAL	SM/DIA	IMPORTE
Personal Técnico	SUPERINTENDENTE	\$ 1.00	\$ 35,000.00	\$ 1,166.67	\$ 117,833.33
Incluye Prestaciones	RESIDENTE GENERAL	\$ 2.00	\$ 27,000.00	\$ 1,800.00	\$ 181,800.00
	AUXILIAR DE RESIDENTE	\$ 2.00	\$ 12,000.00	\$ 800.00	\$ 80,800.00
	ING. TOPOGRAFO	\$ 1.00	\$ 10,000.00	\$ 333.33	\$ 33,666.67
Personal Administrativo	ADMINISTRADOR DE OBRA	\$ 1.00	\$ 16,000.00	\$ 533.33	\$ 53,866.67
Incluye Prestaciones	AUXILIAR ADMINISTRATIVO	\$ 1.00	\$ 12,000.00	\$ 400.00	\$ 40,400.00
	ALMACENISTA GENERAL	\$ 1.00	\$ 6,500.00	\$ 216.67	\$ 21,883.33
	CHOFER	\$ 1.00	\$ 6,000.00	\$ 200.00	\$ 20,200.00
	AUXILIAR DE LIMPIEZA	\$ 1.00	\$ 3,600.00	\$ 120.00	\$ 12,120.00
GASTOS DIRECTIVOS TECNICOS Y ADMINISTRATIVOS	PERSONAL DE OFICINA CENTRAL				
	MONTO TOTAL				PORCENTAJE
	\$ 273,794.17				3.26%
	CATEGORIAS	CANTIDAD	SALARIO MENSUAL	SM/DIA	IMPORTE
Personal Directivo	DIRECTOR GENERAL	\$ 0.25	\$ 60,000.00	\$ 500.00	\$ 50,500.00
Incluye Prestaciones	GERENTE GENERAL	\$ 0.30	\$ 25,000.00	\$ 250.00	\$ 25,250.00
	GERENTE DE CONTROL	\$ 0.30	\$ 25,000.00	\$ 250.00	\$ 25,250.00
	GERENTE DE CONSTRUCCION	\$ 0.40	\$ 25,000.00	\$ 333.33	\$ 33,666.67
Incluye Prestaciones	ANALISTA DE COSTOS	\$ 0.50	\$ 16,000.00	\$ 266.67	\$ 26,933.33
	CAPTURISTA DE DATOS	\$ 2.00	\$ 8,000.00	\$ 533.33	\$ 53,866.67
Personal Administrativo	CONTADOR	\$ 0.25	\$ 18,000.00	\$ 150.00	\$ 15,150.00
Incluye Prestaciones	AUXILIAR DE CONTADOR	\$ 0.25	\$ 7,500.00	\$ 62.50	\$ 6,312.50
	SECRETARIA	\$ 0.25	\$ 7,500.00	\$ 62.50	\$ 6,312.50
	RECEPCIONISTA	\$ 0.25	\$ 7,500.00	\$ 62.50	\$ 6,312.50
	MENSAJERO	\$ 0.25	\$ 6,000.00	\$ 50.00	\$ 5,050.00
	CHOFER	\$ 0.25	\$ 6,000.00	\$ 50.00	\$ 5,050.00
	AUXILIAR DE LIMPIEZA	\$ 1.00	\$ 4,200.00	\$ 140.00	\$ 14,140.00

PLANTILLA DE OFICINA CENTRAL Y CAMPO						
GASTO MENSUAL					TOTAL	
FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO		
3	31	30	31	6		
\$ 3,500.00	\$ 36,166.67	\$ 35,000.00	\$ 36,166.67	\$ 7,000.00		
\$ 5,400.00	\$ 55,800.00	\$ 54,000.00	\$ 55,800.00	\$ 10,800.00		
\$ 2,400.00	\$ 24,800.00	\$ 24,000.00	\$ 24,800.00	\$ 4,800.00		
\$ 1,000.00	\$ 10,333.33	\$ 10,000.00	\$ 10,333.33	\$ 2,000.00		
\$ 1,600.00	\$ 16,533.33	\$ 16,000.00	\$ 16,533.33	\$ 3,200.00		
\$ 1,200.00	\$ 12,400.00	\$ 12,000.00	\$ 12,400.00	\$ 2,400.00		
\$ 650.00	\$ 6,716.67	\$ 6,500.00	\$ 6,716.67	\$ 1,300.00		
\$ 600.00	\$ 6,200.00	\$ 6,000.00	\$ 6,200.00	\$ 1,200.00		
\$ 360.00	\$ 3,720.00	\$ 3,600.00	\$ 3,720.00	\$ 720.00		
\$ 16,710.00	\$ 172,670.00	\$ 167,100.00	\$ 172,670.00	\$ 33,420.00	\$ 562,570.00	
FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	TOTAL	
3	31	30	31	6		
\$ 1,500.00	\$ 15,500.00	\$ 15,000.00	\$ 15,500.00	\$ 3,000.00		
\$ 750.00	\$ 7,750.00	\$ 7,500.00	\$ 7,750.00	\$ 1,500.00		
\$ 750.00	\$ 7,750.00	\$ 7,500.00	\$ 7,750.00	\$ 1,500.00		
\$ 1,000.00	\$ 10,333.33	\$ 10,000.00	\$ 10,333.33	\$ 2,000.00		
\$ 800.00	\$ 8,266.67	\$ 8,000.00	\$ 8,266.67	\$ 1,600.00		
\$ 1,600.00	\$ 16,533.33	\$ 16,000.00	\$ 16,533.33	\$ 3,200.00		
\$ 450.00	\$ 4,650.00	\$ 4,500.00	\$ 4,650.00	\$ 900.00		
\$ 187.50	\$ 1,937.50	\$ 1,875.00	\$ 1,937.50	\$ 375.00		
\$ 187.50	\$ 1,937.50	\$ 1,875.00	\$ 1,937.50	\$ 375.00		
\$ 187.50	\$ 1,937.50	\$ 1,875.00	\$ 1,937.50	\$ 375.00		
\$ 150.00	\$ 1,550.00	\$ 1,500.00	\$ 1,550.00	\$ 300.00		
\$ 150.00	\$ 1,550.00	\$ 1,500.00	\$ 1,550.00	\$ 300.00		
\$ 420.00	\$ 4,340.00	\$ 4,200.00	\$ 4,340.00	\$ 840.00		
\$ 8,132.50	\$ 84,035.83	\$ 81,325.00	\$ 84,035.83	\$ 16,265.00	\$ 273,794.17	
TOTAL 2 OFICINAS					GRAN TOTAL 101 DIAS	
\$ 24,842.50	\$ 256,705.83	\$ 248,425.00	\$ 256,705.83	\$ 49,685.00	\$ 836,364.17	

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS			
Dependencia: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO			
Contrato No. S/N	FECHA: 05/02/2018		
Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA EN HIDALGO, MÉXICO			
Lugar: HIDALGO			
INICIO:	26/02/2018	TERMINACION:	06/06/2018
		PLAZO:	101

DESGLOSE DE COSTOS INDIRECTOSMONTO DE LA OBRA A C.D. \$ **8,393,935.47**

CONCEPTO	TOTAL DE COSTOS INDIRECTOS			
	ADMINISTRACION OFICINA CENTRAL		ADMINISTRACION OFICINA DE CAMPO	
	MONTO	PORCENTAJE	MONTO	PORCENTAJE
I. HONORARIOS SUELDOS Y PRESTACIONES				
a. Personal directivo incluye: Prestaciones	134,666.67	1.6043%		
b. Personal técnico incluye: Prestaciones	80,800.00	0.9626%	414,100.00	4.9333%
c. Personal administrativo incluye: Prestaciones	58,327.50	0.6949%	148,470.00	1.7688%
d. Cuota Patronal del Seguro Social del inciso a, b y c (consideradas)				
e. Prestaciones de la LFT del inciso a, b y c (consideradas)				
f. Pasajes y viáticos (consideradas)				
g. Los que deriven de suscripción de contratos de trabajo del inciso a, b y c.				
SUBTOTALES	273,794.17		562,570.00	
II. DEPRECIACION, MANTENIMIENTO Y RENTAS				
a. Edificios y Locales	82,500.00	0.9829%	38,280.00	0.4560%
b. Locales de Mantenimiento y Guarda			17,400.00	0.2073%
c. Bodegas			9,000.00	0.1072%
d. Instalaciones Generales				
e. Muebles y enseres				
f. Depreciación o Renta, y Operación de Vehículos			2,500.00	0.0298%
g. Campamentos				
SUBTOTALES	82,500.00		67,180.00	
III. SERVICIOS				
a. Consultores, Asesores, Servicio y Laboratorios			72,728.10	0.8664%
b. Estudios e Investigación	72,728.10	0.8664%		
SUBTOTALES	72,728.10		72,728.10	
IV. FLETES Y ACARREOS				
a. De Campamentos				
b. De Equipo de Construcción			27,273.04	0.3249%
c. De Plantas y elementos para Instalaciones				
d. De mobiliario			13,454.70	0.1603%
SUBTOTALES			40,727.73	
V. GASTOS OFICINA				
a. Papelería y útiles de escritorio	3,309.13	0.0394%	27,800.00	0.3312%
b. Correos, fax, teléfonos, telégrafos, radio.	7,000.00	0.0834%	5,000.00	0.0596%
c. equipo de computación	18,182.02	0.2166%	31,300.00	0.3729%
d. Situación de fondos				
e. Copias y duplicados	15,000.00	0.1787%		
f. Luz, gas y otros consumos	12,280.00	0.1463%	3,636.40	0.0433%
g. Gastos de la licitación				
SUBTOTALES	55,771.15		67,736.40	
VI. CAPACITACION Y ADIESTRAMIENTO			34,754.00	0.4140%
VII. SEGURIDAD E HIGIENE			58,182.48	0.6931%
VIII. SEGUROS Y FIANZAS				
a. Primas por Seguro	109,092.15	1.2997%		
b. Primas por Fianzas	54,546.07	0.6498%	191,921.96	2.2864%
SUBTOTALES	163,638.22		191,921.96	
IX. TRABAJOS PREVIOS Y AUXILIARES				
a. Construcción y conservación de caminos de acceso				
b. Montaje y desmantelamiento de equipo			18,182.02	
c. Construcción de Instalaciones generales				
1. De Campamentos				
2. De equipo de construcción				
3. De plantas y elementos para instalaciones				
4. Letrero nominativo de obra				
SUBTOTALES			18,182.02	0.2166%
TOTALES	648,431.64	7.7250%	1,113,982.70	13.2713%
CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS				
GARCÍA MUÑOZ FRANCISCO		TOTALES \$ 1,762,414.34	% INDIRECTO	20.9963%
POSTULANTE				

UNAM FACULTAD DE INGENIERIA	CONTRATO LUGAR DE CELEBRACION: HIDALGO EL DIA: febrero 26, 2008 OBRA: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA EN HIDALGO, MÉXICO LUGAR: HIDALGO	
	CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS Razón Social del Licitante	GARCÍA MUÑOZ FRANCISCO POSTULANTE FIRMA

DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE FINANCIAMIENTO (IMPORTE TOTAL DE OBRA)

Inicio: 26-feb-18 Terminacion: 06-jun-18 Duracion: 101

COSTO DIRECTO DE LA OBRA:	8,393,935.47	TASA DE INTERES USADA (Anual) =	7.4400%	% APLICABLE AL PERIODO
INDIRECTO DE OBRA:	20.9963%	+ PUNTOS DEL BANCO =	4.0000%	1.2850%
COSTO DIRECTO +INDIRECTO:	10,156,349.81	TASA DE INTERES DIARIA =	0.0313%	LOP ART. 54 P. 1 y 2
MONTO TOTAL DE LA OBRA:	14,137,713.10	DIAS PARA PAGO DE ESTIMACIONES:	15	

ANTICIPOS			MONTO A EJERCER			IMPORTE DE FINIQUITO
1a. ASIGNACION	2a. ASIGNACION	2a. ASIGNACION	1er EJERCICIO	2do EJERCICIO	3er EJERCICIO	4to EJERCICIO
60.00%	25.00%	10.00%	10,632,513.60	4,430,214.00	1,772,085.60	706,885.66

PERIODO DE COBRO 1a. ESTIMACION (entrega de materiales)

PERIODO DE ENTREGA DEL 2do ANTICIPO eriales principales)

PERIODO	INGRESOS				EGRESOS		IMPOTES		FINANCIAMIENTO
	EJERCICIOS	ESTIMACIONES	AMORTIZACION	COBROS	GASTOS DE OBRA (CD+I)	ANTICIPO PROVEEDORES *	DIFERENCIA	DIFERENCIA ACUMULADA	
0	8,482,627.86	0.00	0.00	8,482,627.86	0.00	0.00	8,482,627.86	8,482,627.86	0.00
Febrero	0.00	0.00	0.00	8,482,627.86	162,650.00	7,448,175.26	871,802.60	7,610,825.26	0.00
Marzo	3,534,428.28	0.00	7,610,825.26	3,534,428.28	295,489.07	630,506.80	2,608,432.41	3,506,738.33	0.00
Abril	1,413,771.31	0.00	3,506,738.33	1,413,771.30	200,211.97	315,253.41	898,305.92	759,816.85	0.00
Mayo	0.00	0.00	395,489.07	0.00	138,489.07	0.00	-138,489.07	621,327.79	0.00
Junio	706,885.66	0.00	405,711.48	706,885.66	39,524.07	0.00	667,361.59	-46,033.80	0.00
TOTALES	14,137,713.10			14,137,713.10	836,364.17	8,393,935.47		(-)	0.00

PORCENTAJE DE FINANCIAMIENTO= $\frac{\text{INTERES NETO A PAGAR}}{\text{GASTOS DE OBRA (COSTO DIRECTO +INDIRECTO)}}$ = $\frac{0.00}{10,156,349.81}$ = **0.0000%**

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS

Dependencia: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Contrato No. S/N

26-feb-18

Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA EN HIDALGO, MÉXICO

Lugar : HIDALGO, MEXICO

DETERMINACION DEL CARGO POR UTILIDAD

CLAVE	CONCEPTO	FORMULA	IMPORTE	%
CD	COSTO DIRECTO		8,393,935.47	
CI	I.-INDIRECTO		1,762,414.34	20.9963%
CF	II.-FINANCIAMIENTO		500.00	0.0060%
Up%	UTILIDAD PROPUESTA ISR= IMPUESTO SOBRE LA RENTA PTU= PARTICIPACION DE LOS TRABAJADORES EN LA UTILIDAD		30.00% 10.00%	12.0000%
%U	UTILIDAD NETA = Up% / [1- (ISR+PTU)]	$\%U = 12 \% / [1 - (30\% + 10\%)]$		20.0000%
CU	CARGO POR UTILIDAD (Costo dir.Obra+Indirecto+Financiamiento)*% Utilidad Neta)	$(\$ 8,393,935.47 + \$ 1,762,414.34 + 500) * 20.00\% =$	2,031,369.96	24.2004%
	TOTAL UTILIDAD		2,031,369.96	
	PORCENTAJE TOTAL DE UTILIDAD (%=Total utilidad * 100 / (CD+CI+CF))	$[\$1,692,808.3 / (\$ 8,393,935.47 + \$ 1,762,414.34 + \$ 500)] * 100\%$		20.0000%

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS

Dependencia: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Contrato No. S/N

26/02/2018

Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA EN HIDALGO, MÉXICO

Lugar : HIDALGO, MEXICO

DETERMINACION DE CARGOS ADICIONALES

CLAVE	CONCEPTO	FORMULA	IMPORTE	%
CD	COSTO DIRECTO		8,393,935.47	
CI	I.-INDIRECTO		1,762,414.34	20.9963%
CF	II.-FINANCIAMIENTO		500.00	0.0060%
UT	III.- UTILIDAD TOTAL		2,031,369.96	20.0000%
		Subtotal	12,188,219.77	
	CARGOS ADICIONALES			
	EXTRAS			
		TOTAL DE CARGOS ADICIONALES	0.01	0.0000%

RUTA CRÍTICA

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS

Dependencia: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Área: FACULTAD DE INGENIERÍA

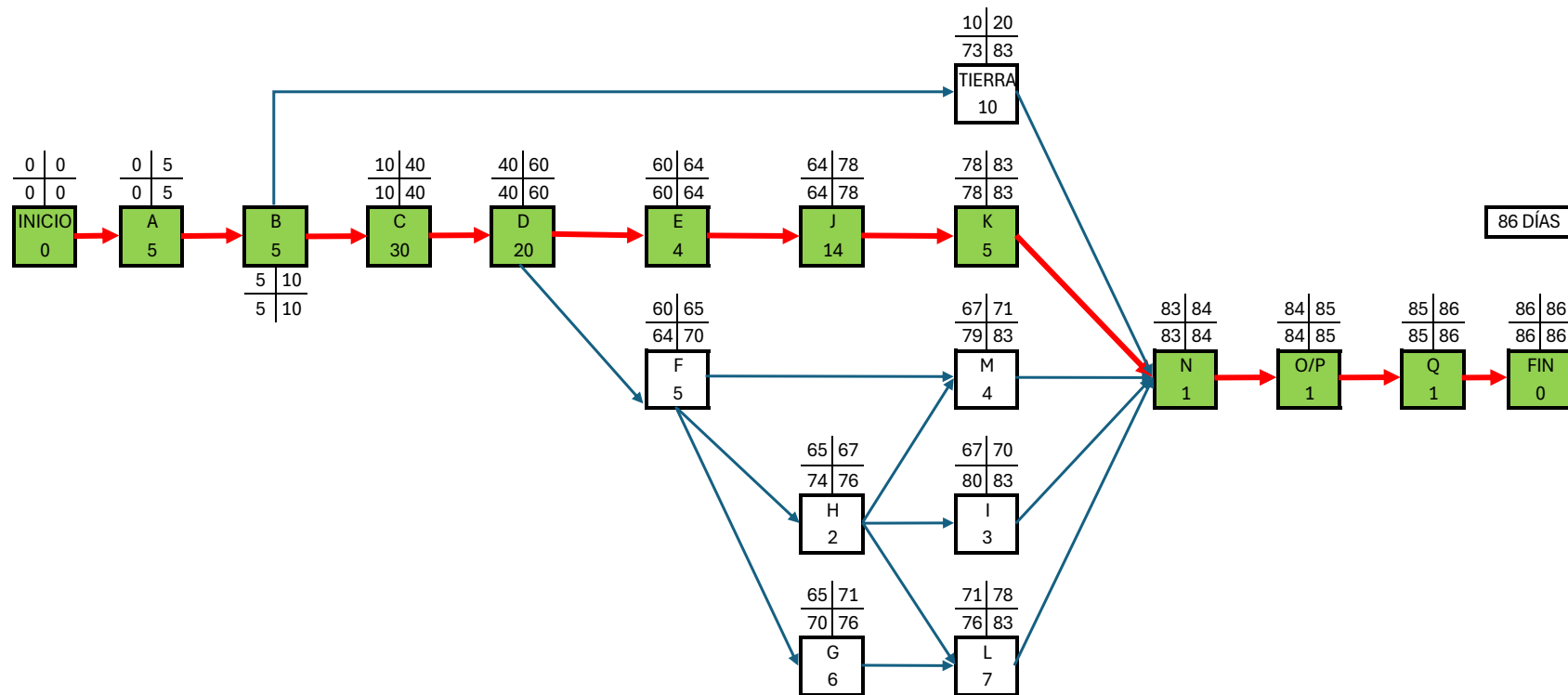
Concurso No: N/A

Fecha: 26/02/2018

Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA

Lugar: MUNICIPIO EN HIDALGO, MÉXICO

RUTA CRÍTICA DEL PROYECTO



CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA CEMENTERA			
DURACIÓN DE LA ACTIVIDADES			
		DURACION	PRECEDENTE
		DÍAS	
A	PRELIMINARES	5	-
B	TRAZO	5	A
TIERRA	SISTEMA DE TIERRAS	10	B
C	ESTRUCTURA	30	B
D	PANELES	20	C
E	CANALIZACIONES TECHO	4	D
F	SOPORTERIA INVERSORES Y CABLE AC SALA ELÉCTRICA	5	D
G	INVERSORES	6	F
H	TABLEROS	2	F
I	INSTALACIÓN PROTECCIONES	3	H
J	CABLEADO FV	14	E
K	CONEXIÓN TIERRA SECCIÓN DC	5	J
L	CABLEADO SECCIÓN AC SALA ELÉCTRICA	7	G,H
M	INSTALACION SECCIONADORES Y CABLE 350 KCMIL	4	H,F
N	INTERCONEXION A TRANSFORMADOR	1	TIE,K,M,I,L
O	INSTALACION CABLEADO ESTRUCTURADO Y MODEM	1	N
P	PRUEBAS CSFV/RED/MODEM	1	O
Q	PUESTA EN MARCHA	1	P

CRONOGRAMA DE OBRA

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS

Dependencia: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

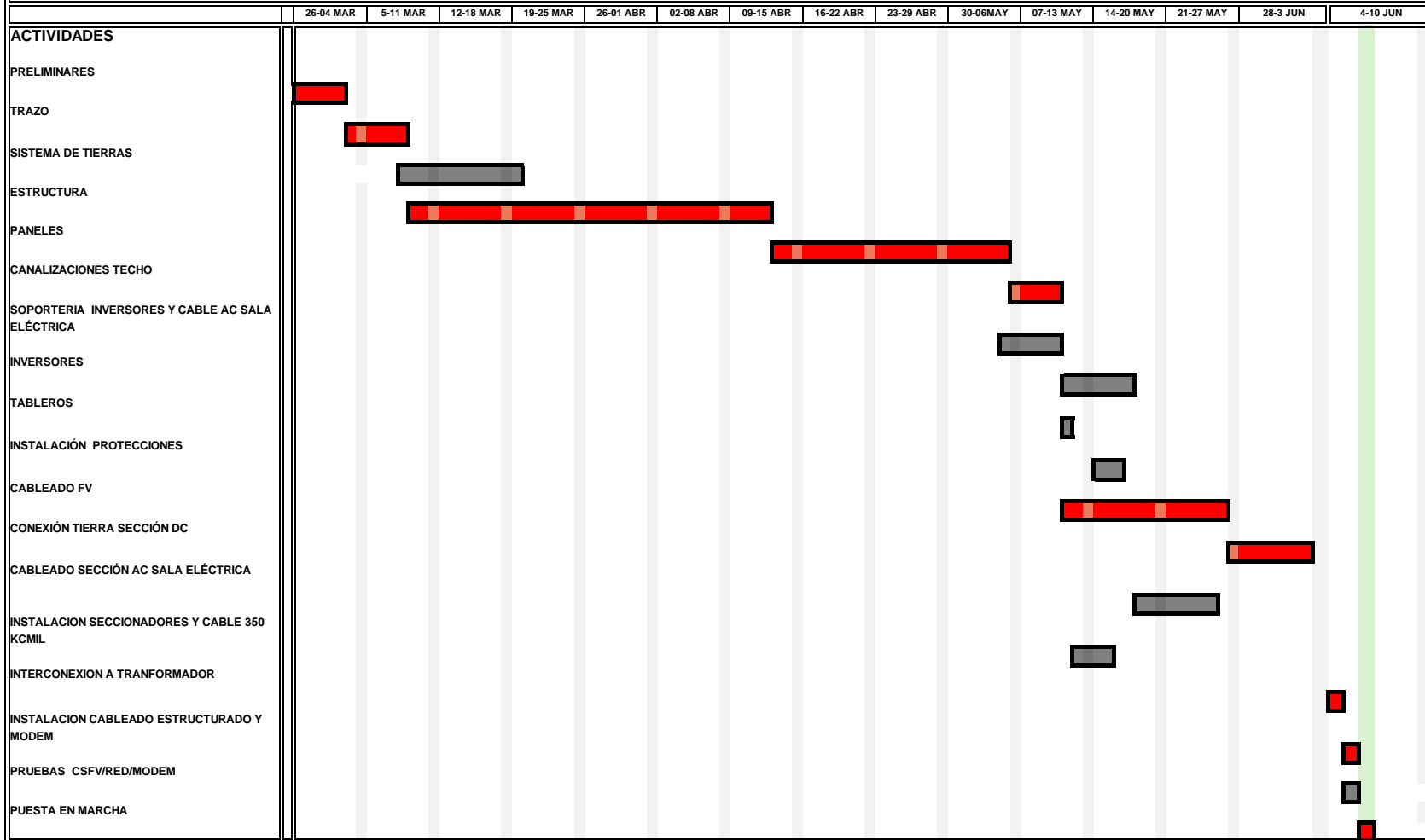
Área: FACULTAD DE INGENIERÍA

Fecha: 28/02/2018

Concurso No: N/A

Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA

CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN DE LAS PARTIDAS



ANEXO 5. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS

Dependencia: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Área: FACULTAD DE INGENIERÍA

Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA

ANÁLISIS DEL COSTE DE FACTURACIÓN DE LA EMPRESA (HISTÓRICO)**TARIFA HTL**

ZONA SUR	01/07/2007	31/12/2015	01/12/2016	01/01/2017	01/02/2017	01/03/2017	01/04/2017	01/05/2017	01/06/2017	01/07/2017	% Consumo CFE 31/12/2016	Coste Consumo kWh 01/12/2016	Coste consumo kWh 01/07/2017
T. Punta		1.2969	1.7173	1.7724	1.8651	2.0671	2.0129	1.8680	1.8701	1.8637	38.03579668	0.653188736	0.708873143
T. Intermedia		0.5979	0.9125	0.9538	1.0333	1.2114	1.1478	1.0043	1.0156	1.0081	57.75372692	0.527002758	0.582215321
T.Base		0.5492	0.8377	0.8756	0.9488	1.1121	1.0537	0.9220	0.9324	0.9255	4.210476402	0.035271161	0.038967959
% Subida T.P.			32.42	36.66	43.81	59.39	55.21	44.04	44.20	43.70			
% Subida T.I.			52.62	59.53	72.82	102.61	91.97	67.97	69.86	68.61			
% Subida T.B.			52.53	59.43	72.76	102.49	91.86	67.88	69.77	68.52			
PROM. \$/KWh	0.6101		1.1558	1.2006	1.2824	1.4635	1.4048	1.2648	1.2727	1.2658	100	1.2155	1.3301

RESUMEN.-

- 1.- Entre la tarifa oficial HTL a fecha de 01/07/2007 de 0.6101 pesos/kWh a la tarifa oficial de CFE al 01/07/2017 que es de 1.2658 pesos/kWh el precio anual ha subido un 20.75%.
- 2.- La empresa consume al 01/07/2017 a un precio de 1.3301 pesos/kWh en base a sus porcentajes de las Tarifas Punta, Intermedia y Base.
- 3.- El porcentaje de crecimiento anual, en el precio de la tarifa electrica comprendido entre el 01/01/2007 al 01/07/2017 es del 21.80%.
- 4.- Solo en 7 meses de 2017 el porcentaje de subida en la tarifa HTL en relacion a la tarifa que tenía el 01/01/2017 ha sido del 9.52%.
- 5.- Si extrapolamos dicho resultado a los 12 meses de 2017, la subida prevista supera el 16.32% sobre la tarifa al 31/12/2016.

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS

Dependencia: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Área: FACULTAD DE INGENIERÍA

Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA

ANÁLISIS DEL HISTÓRICO DE FACTURACIÓN DE LA EMPRESA

ANÁLISIS DE PAGOS DE ELECTRICIDAD DE LA CEMENTERA

TARIFA HTL	TARIFA PROMEDIO 01/07/2007								
ZONA SUR	0.6101 MXN/KWH								
	31/12/2015	01/12/2016	01/01/2017	01/02/2017	01/03/2017	01/04/2017	01/05/2017	01/06/2017	01/07/2017
	MXN/KWh	MXN/KWh	MXN/KWh	MXN/KWh	MXN/KWh	MXN/KWh	MXN/KWh	MXN/KWh	MXN/KWh
TARIFA PUNTA	1.2969	1.7173	1.7724	1.8651	2.0671	2.0129	1.8680	1.8701	1.8637
TARIFA INTERMEDIA	0.5900	0.9125	0.9538	1.0333	1.2114	1.1478	1.0043	1.0156	1.0081
TARIFA BASE	0.5492	0.8377	0.8756	0.9488	1.1121	1.0537	0.9220	0.9324	0.9255
Promedio	0.8120	1.1558	1.2006	1.2824	1.4635	1.4048	1.2648	1.2727	1.2658
PRECIO PROMEDIO POR KWH EN 01/07/2017	\$			1.3078	MXN/KWH				

PORCENTAJES DE INCREMENTOS

DEL PERIODO 01/07/2007 AL 01/07/2017	60.28% %	EN 10 AÑOS	
DEL PERIODO 01/07/2017 AL 01/07/2017	1.34 %	X MES	9.54% ACUMULADO EN 7 MESES

DETERMINACION DE LA TASA DE INCREMENTOS

Precio final	Precio inicial	Tasa anual 10 años
1.3078	0.6101	$T = [(Pf/Pi)^{(1/10)}] - 1$ 0.0792

TASA DE INCREMENTO

7.92%

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS

Dependencia: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Área: FACULTAD DE INGENIERÍA

Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA

Lugar: Hidalgo, México

ANÁLISIS DEL COSTE DE FACTURACION DE LA EMPRESA (HISTORICO)

RESUMEN PRECIO DE VENTA CSFV									
CSFV CEMENTERA									
H.S.	2,084	Total kWh en 10 años = 10,052,772							
kWp	500.00	P.V. CSFV = \$12,187,683.71 MXN + IVA							
Vida Util CSFV: 40/60 años		Incentivo fiscal = \$ 3,656,305.11 MXN							
		Neto CSFV = \$14,137,713.10 MXN							
Costo KWh 2017		1.2658							
Inc. Anualizado		7.92%							
Año	Precio CFE MXN/kWh	Potencia (kWp)	Horas Solares	Producción (kWh)	Pago Anual CFE (USD)	Precio CSFV	Mantenimiento anual de la CSFV	Incentivo Fiscal	Pay Back 6 años y 8 meses
1	1.26580	500.00	2,084	1,042,000	1,318,963.60	14,137,713.10	0.00	1,218,768.37	11,599,981.13
2	1.36609	500.00	2,084	1,033,664	1,412,076.92		0.00	1,218,768.37	8,969,135.84
3	1.47432	500.00	2,084	1,025,395	1,511,763.65		0.00	1,218,768.37	6,285,478.81
4	1.59113	500.00	2,084	1,017,192	1,618,487.85		46,875.00		4,715,975.33
5	1.71720	500.00	2,084	1,009,054	1,732,746.34		48,984.38		3,034,417.67
6	1.85325	500.00	2,084	1,000,982	1,855,070.99		51,188.67		1,232,838.84
7	2.00008	500.00	2,084	992,974	1,986,031.26		53,492.16		-697,293.11
8	2.15855	500.00	2,084	985,030	2,126,236.77		55,899.31		-2,765,115.10
9	2.32957	500.00	2,084	977,150	2,276,340.20		58,414.78		-4,980,411.86
10	2.51414	500.00	2,084	969,332	2,437,040.32		61,043.44		-7,041,554.44
				10,052,772	18,274,757.91		375,897.74		
RESUMEN									
a)	Total P.V. CSFV = \$12,187,683.71 MXN + IVA								
b)	Incentivos fiscales = \$ 3,656,305.11								
c)	Precio Neto CSFV aplicando los incentivos fiscales = \$14,137,713.10 MXN								
d)	Coste kWh en 10 años = \$14,137,713.10/10,052,772 kWh = 1.4063/kWh								
e)	Pay back o Recuperacion de la inversión = 6 años y 8 meses								

CONSTRUCCIONES FOTOVOLTAICAS

Dependencia: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Área: FACULTAD DE INGENIERÍA

Obra: INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA FABRICA DE SACOS DE UNA CEMENTERA

Lugar: Hidalgo, México

ANÁLISIS ECONÓMICO

FLUJOS DE CAJA						TASA DE DESCUENTO	
EGRESOS			INGRESOS			7.00%	
AÑO	DESEMBOLSO	Mantenimiento anual de la CSFV	TOTAL EGRESOS	Pago Anual CFE (USD)	Incentivo Fiscal	TOTAL INGRESOS	
							-14,513,610.84
1	14,137,713.10	0.00	-14,137,713.10	1,318,963.60	1,218,768.37	2,537,731.97	2,537,731.97
2		0.00	0.00	1,412,076.92	1,218,768.37	2,630,845.29	2,630,845.29
3		0.00	0.00	1,511,763.65	1,218,768.37	2,730,532.02	2,730,532.02
4		46,875.00	-46,875.00	1,618,487.85		1,618,487.85	1,618,487.85
5		48,984.38	-48,984.38	1,732,746.34		1,732,746.34	1,732,746.34
6		51,188.67	-51,188.67	1,855,070.99		1,855,070.99	1,855,070.99
7		53,492.16	-53,492.16	1,986,031.26		1,986,031.26	1,986,031.26
8		55,899.31	-55,899.31	2,126,236.77		2,126,236.77	2,126,236.77
9		58,414.78	-58,414.78	2,276,340.20		2,276,340.20	2,276,340.20
10		61,043.44	-61,043.44	2,437,040.32		2,437,040.32	2,437,040.32
			-14,513,610.84	18,274,757.91	3,656,305.11	21,931,063.02	

RESULTADOS DE VALOR PRESENTE NETO	VPN	\$1,418,417.21
TASA INTERNA DE RETORNO	TIR	9%

**ANEXO 6. HOJAS DE ESPECIFICACIONES
TÉCNICAS DE LOS ELEMENTOS
PRINCIPALES (MÓDULOS, INVERSOR,
ESTRUCTURA Y CABLE FOTOVOLTAICO)**

JAP72S01

310-330

F 40-35

MULTICRYSTALLINE SILICON MODULE



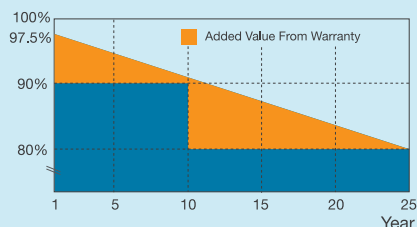
JA Solar Holdings Co., Ltd.

JA Solar Holdings Co., Ltd. is a world-leading manufacturer of high-performance photovoltaic products that convert sunlight into electricity for residential, commercial, and utility-scale power generation. The company was founded on May 18, 2005, and was publicly listed on NASDAQ on February 7, 2007. JA Solar is one of the world's largest producers of solar cells and modules. Its standard and high-efficiency product offerings are among the most powerful and cost-effective in the industry.

Address: Building No.8, Nuode Center, Automobile Museum East Road, Fengtai District, Beijing
Telephone: +86 (10) 63611888
Fax: +86 (10) 63611999
Email: sales@jasolar.com market@jasolar.com

Superior Warranty

- 12-year product warranty
- 25-year linear power output warranty



Key Features



JA 5BB design module reduce cell series resistance and stress between cell interconnectors improves module reliability and module conversion efficiency



High output, 16.48% highest conversion efficiency



Designed for DC IEC 1000V applications



Anti-reflective and anti-soiling surface reduces power loss from dirt and dust



Outstanding performance in low-light irradiance environments



Excellent mechanical load resistance: Certified to withstand high wind loads (2400Pa) and snow loads (5400Pa)



High salt and ammonia resistance certified by TÜV NORD

Reliable Quality

- Positive power tolerance: 0~+5W
- 100% EL double-inspection ensures modules are defects free
- Modules binned by current to improve system performance
- Potential Induced Degradation (PID) Resistant

Comprehensive Certificates

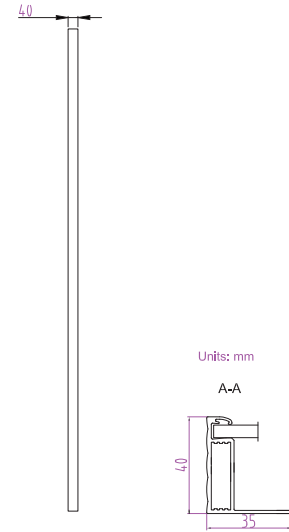
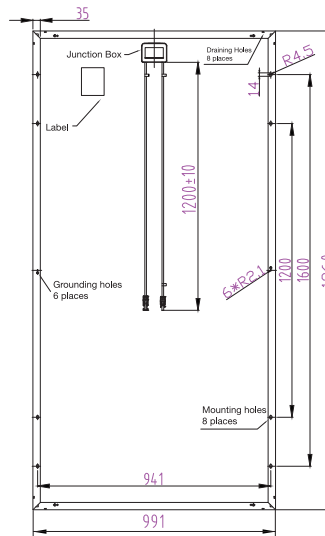
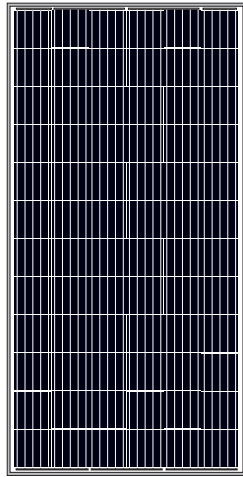
- IEC 61215, IEC 61730, UL1703, CEC Listed, MCS and CE
- ISO 9001: 2008: Quality management systems
- ISO 14001: 2004: Environmental management systems
- BS OHSAS 18001: 2007: Occupational health and safety management systems
- Environmental policy: The first solar company in China to complete Intertek's carbon footprint evaluation program and receive green leaf mark verification for our products



Specifications subject to technical changes and tests. JA Solar reserves the right of final interpretation.

JAP72S01 310-330

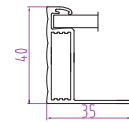
Engineering Drawings F 40-35



■ customized cable length available upon request

Units: mm

A-A

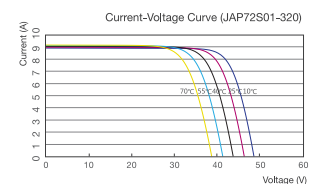
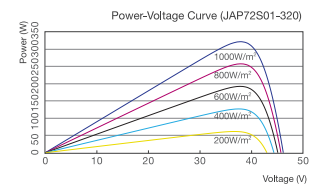
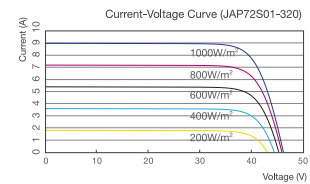


MECHANICAL PARAMETERS	
Cell (mm)	Poly 156.75x156.75
Weight (kg)	23 (approx)
Dimensions (LxWxH) (mm)	1960x991x40
Cable Cross Section Size (mm ²)	4
No. of Cells and Connections	72 (6x12)
Junction Box	IP67, 3 diodes
Connector	MC4 Compatible
Packaging Configuration	27 Per Pallet

WORKING CONDITIONS	
Maximum System Voltage	DC 1000V (IEC)
Operating Temperature	-40°C~+85°C
Maximum Series Fuse	20A
Maximum Static Load, Front (e.g., snow and wind)	5400Pa (112 lb/ft ²)
Maximum Static Load, Back (e.g., wind)	2400Pa (50 lb/ft ²)
NOCT	45±2°C
Application Class	Class A

TYPE	ELECTRICAL PARAMETERS				
	JAP72S01-310	JAP72S01-315	JAP72S01-320	JAP72S01-325	JAP72S01-330
Rated Maximum Power at STC (W)	310	315	320	325	330
Open Circuit Voltage (Voc/V)	45.56	45.85	46.12	46.38	46.40
Maximum Power Voltage (Vmp/V)	36.89	37.09	37.28	37.39	37.65
Short Circuit Current (Isc/A)	8.92	9.01	9.09	9.17	9.28
Maximum Power Current (Imp/A)	8.40	8.49	8.58	8.69	8.77
Module Efficiency [%]	15.96	16.22	16.48	16.73	16.99
Power Tolerance (W)	-0~+5W				
Temperature Coefficient of Isc (αIsc)	+0.058%/°C				
Temperature Coefficient of Voc (βVoc)	-0.330%/°C				
Temperature Coefficient of Pmax (γPmp)	-0.410%/°C				
STC	Irradiance 1000W/m ² , Cell Temperature 25°C, Air Mass 1.5				

I-V CURVE



TYPE	NOCT				
	JAP72S01-310	JAP72S01-315	JAP72S01-320	JAP72S01-325	JAP72S01-330
Max Power (Pmax) [W]	225.06	228.69	232.32	235.95	239.58
Open Circuit Voltage (Voc) [V]	41.63	41.84	42.04	42.24	42.41
Max Power Voltage (Vmp) [V]	33.87	34.00	34.19	34.37	34.58
Short Circuit Current (Isc) [A]	7.03	7.08	7.14	7.20	7.25
Max Power Current (Imp) [A]	6.65	6.73	6.80	6.87	6.93
Condition	Under Normal Operating Cell Temperature, Irradiance of 800 W/m ² , spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s				

Electrical data in this catalog do not refer to a single module and they are not part of the offer. They only serve for comparison among different module types.

Three

40kW
-
F

Solis Three Phase US Inverter

- ▶ Compact and lightweight design inside a corrosion-resistant NEMA 4X enclosure
- ▶ Designed for all commercial, industrial and utility scale applications
- ▶ Transformer-less three phase design with 480Vac output
- ▶ 98.6% efficient (98.3% CEC) with ultra-low start up voltage
- ▶ Roof top horizontal installation for Fan(-F) model.
- ▶ Industry-leading 4 MPPT designs with fast (<5 sec.) MPPT response times
- ▶ CA Rule 21 compliance and UL 1741 SA certified
- ▶ Optional built-in RGM
- ▶ RS485 Modbus communication protocol with Wi-Fi interface (optional GPRS/LAN)
- ▶ Integrated Arc Fault Circuit Interrupt (AFCI)
- ▶ Web based data monitoring with downloadable Solis Web App
- ▶ 10 Year Standard Warranty with extension options



Model:

Solis-40K-US-F

Features:

Smart
Redundant
fan-cooling

Four
MPPT

7"
LCD

WiFi/GPRS
/LAN
Real time
monitoring

Available on the iPhone
App Store
Available on the iPhone
App Store

NEMA 4X

Datasheet

Model	Solis-40K-US-F
DC Values	
Max voltage(V)	1000
Startup voltage(V)	350
Operating MPPT voltage range(V)	200-800
Max usable input current per MPPT(A)	18
Number of MPPT/Inputs per MPPT	4/2
AC Values	
Nominal output power(W)	40000
Max. continuous output power(W)	44000
Nominal grid voltage(V)	480
Operating voltage range(V)	422.4-528
Operating phase	Three
Max. output current(A)	48.1
Max. overcurrent protection device(Amps)	60
Output power factor range	1 (default) and 0.8 leading ... 0.8 lagging adjustable
Grid current THD	<3%
DC injection current (A)	<50
Operating frequency range(H)	59.5-60.5
Efficiency	
Peak efficiency	98.6%
CEC weighted efficiency	98.3%
MPPT efficiency	>99.5%
Protection	
DC reverse-polarity protection	Yes
AC short circuit protection	Yes
AC output overcurrent protection	Yes
Output over voltage protection-Varistor	Yes
Ground fault monitoring	Yes
Grid monitoring	Yes
Islanding protection	Yes
Temperature protection	Yes
Integrated DC switch	Yes
Integrated AFCI(DC arc-fault circuit protection)	Yes
General Data	
Dimensions(W*H*D)	23.4*37.2*14.4in (595*945*356.5mm)
Weight	154lb (70kg)
Topology	Transformerless
Internal consumption	<1W (Night)
Ambient operating temperature range	-25°C~60°C/-13°F~140°F
Enclosure type	NEMA 4X
Noise emission(typical)	<60dBA
Cooling concept	Intelligent redundant cooling
Max operating altitude without derating(m/ft)	13120ft (4000m)
Designed lifetime	>20 years
Compliance	UL 1741, UL 1998, UL 1699B, IEEE 1547, FCC Part 15 (Class A & B), CAN/CSA C22.2 107.1-1
Relative humidity range	0~100%
Features	
Connections	4 knockout for 1.5" conduit at bottom and side. DC side Fuse terminal, AC side terminal block.
Display	7.0" LCD color display
Interface	RS485, WiFi/GPRS/LAN(Optional)
Warranty	10 Years STD (Extendable to 20 Years)

Three

50kW
-
F

Solis Three Phase US Inverter

- ▶ Compact and lightweight design inside a corrosion-resistant NEMA 4X enclosure
- ▶ Designed for all commercial, industrial and utility scale applications, horizontal installation (15-90 degrees) for active cooled inverters
- ▶ Transformer-less three phase design with 480Vac output
- ▶ 98.8% efficient (98.4% CEC) with ultra-low start up voltage
- ▶ Industry-leading 4 MPPT designs with fast (<5 sec.) MPPT response times
- ▶ CA Rule 21 compliance and UL 1741 SA certified
- ▶ Optional built-in RGM
- ▶ RS485 Modbus communication protocol with Wi-Fi interface (optional GPRS/LAN)
- ▶ Integrated Arc Fault Circuit Interrupt (AFCI)
- ▶ Web based data monitoring with downloadable Solis Web App
- ▶ 10 Year Standard Warranty with extension options



Model:

Solis-50K-US-F

Features:

Four

MPPT

Smart

Redundant
fan-cooling

WiFi/GPRS
/LAN

Real time
monitoring

THDi

<3%

Available on the iPhone
App Store

Available on the iPhone
App Store

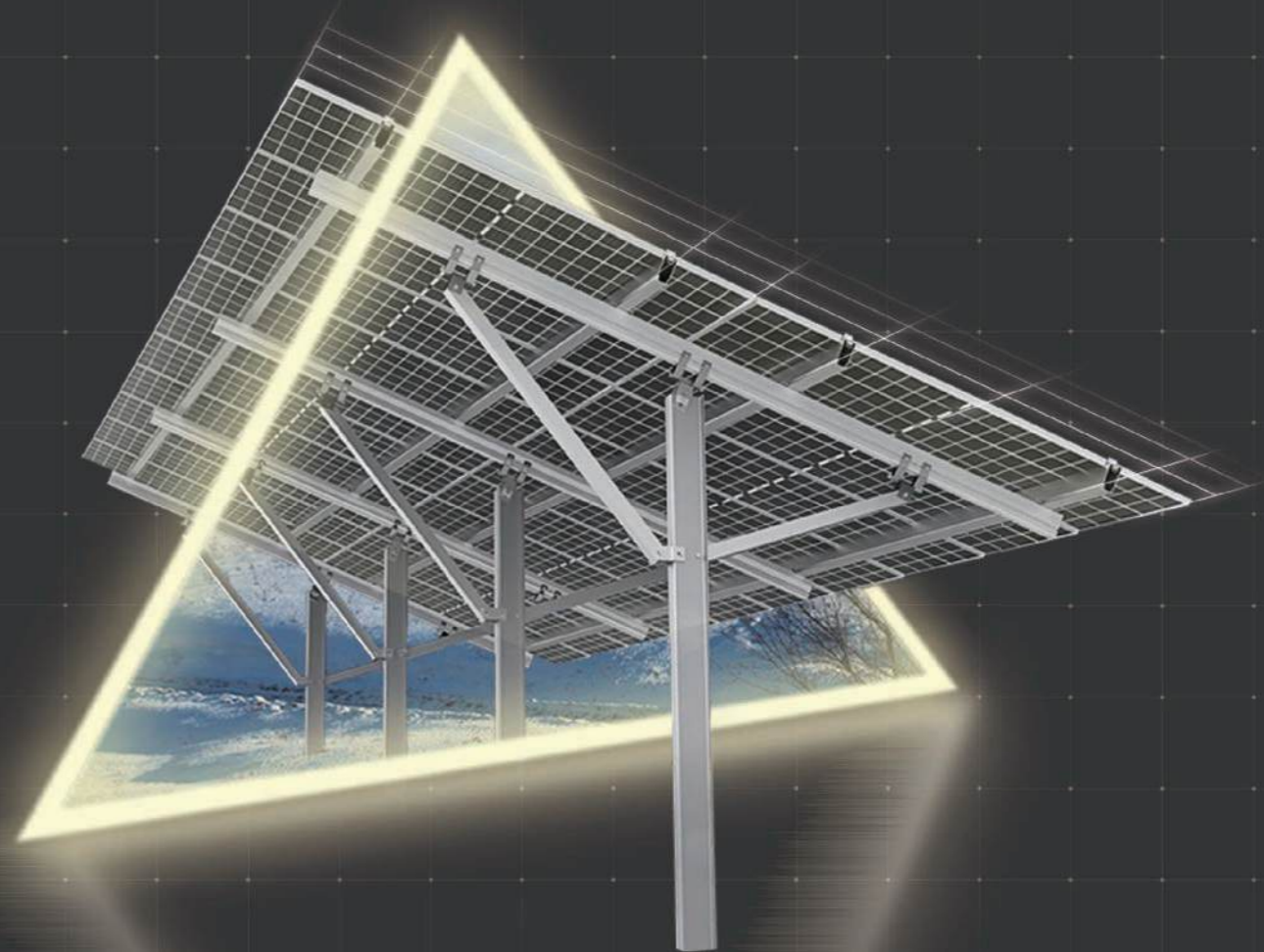
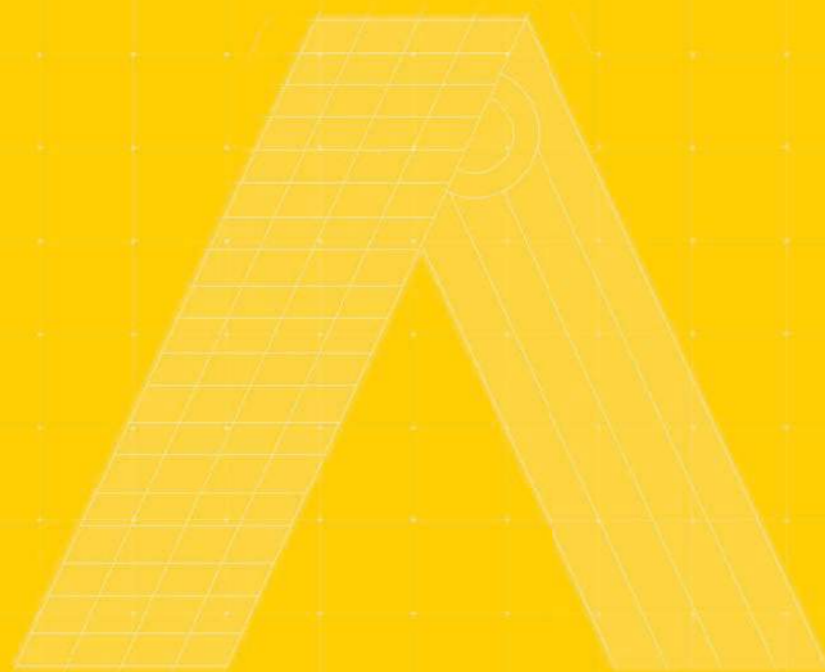
NEMA 4X

Datasheet

Model	Solis-50K-US-F
DC Values	
Max voltage(V)	1000
Startup voltage(V)	200
Operating MPPT voltage range(V)	200-850
Max usable input current per MPPT(A)	28.5
Number of MPPT/Inputs per MPPT	4/3
AC Values	
Nominal output power(W)	50000
Max. continuous output power(W)	50000
Nominal grid voltage(V)	480
Operating voltage range(V)	422.4-528
Operating phase	Three
Max. output current(A)	60.2
Max. overcurrent protection device(Amps)	80
Output power factor range	1 (default) and 0.8 leading ... 0.8 lagging adjustable
Grid current THD	<3%
DC injection current (A)	<50
Operating frequency range(H)	59.5-60.5
Efficiency	
Peak efficiency	98.8%
CEC weighted efficiency	98.4%
MPPT efficiency	>99.9%
Protection	
DC reverse-polarity protection	Yes
AC short circuit protection	Yes
AC output overcurrent protection	Yes
Output over voltage protection-Varistor	Yes
Ground fault monitoring	Yes
Grid monitoring	Yes
Islanding protection	Yes
Temperature protection	Yes
Integrated DC switch	Yes
Integrated AFCI(DC arc-fault circuit protection)	Yes
General Data	
Dimensions(W*H*D)	24.8*40.7*13.9in (630*1034*354mm)
Weight	172lb (78kg)
Topology	Transformerless
Internal consumption	<1W (Night)
Ambient operating temperature range	-25°C~-60°C/-13°F~140°F
Enclosure type	NEMA 4X
Noise emission(typical)	<60dBA
Cooling concept	Intelligent redundant cooling
Max operating altitude without derating(m/ft)	13120ft (4000m)
Designed lifetime	>20 years
Compliance	UL 1741, UL 1998, UL 1699B, IEEE 1547, FCC Part 15 (Class A & B), CAN/CSA C22.2 107.1-1
Relative humidity range	0~100%
Features	
Connections	4 knockout for 2" conduit at bottom and side. DC Input - Copper only 12-6AWG AC Input - Copper or aluminum 8-2AWG.Aluminum requires bi-metallic compatible terminal
Display	LCD,2x20 Z.
Interface	RS485, WiFi/GPRS/LAN(Optional)
Warranty	10 Years STD (Extendable to 20 Years)



RAISE A GREEN WORLD



**SOLAR
MOUNTING
SYSTEM**

ANTAI TECHNOLOGY CO.,LTD

Web
www.antisolar.com

HQ Add
30F, W Square, 1801 Huandao East Road
Siming District, Xiamen, China

Production Base Add
Guanshan Industrial Park
Changtai County, Zhangzhou, China



RAISE A GREEN WORLD

Leading supplier of the whole industry chain in
PV mounting system

Offering a diverse product portfolio covering full-material,
full-function of solar tracking and mounting systems to move towards zero-carbon future
and promote sustainable development.

ABOUT ANTAI

Antaisolar, the leading supplier of the whole industry chain in PV mounting system. Established in 2006, it has currently built up a manpower of 800 employees with R&D team of 120 specialists of diverse technical background. Antaisolar has been focusing on consistently providing convenient, reliable, and innovative solar mounting and tracking systems over the past years.

Headquartered in Xiamen, China, Antaisolar is based on the mission of "Raise a Green World", and has been continuously optimizing and promoting the global service by setting up branches and offices in Japan, Australia, Brazil, Singapore, Philippines, Vietnam and other regions. As for its producing force, it is distributed within six major manufacturing centers located in Turkey, Indonesia, India, Fujian, Jiangsu and Tianjin.

As of the end of 2022, its cumulative solar racking shipments had reached 25.4GW, leading the Japan's solar racking market, Australia and Chile distribution markets, and other markets such as Vietnam, Malaysia and Singapore.

ADVANTAGES



01

Front-runner of solar racking

Ranked No.1 in Japan's solar racking market share and ranked No.1 of export volume to Japan for eight consecutive years; Ranked top 1 in Australia and Chile distributed generation market.



02

Vertical integrated production

Manufacturing centers located in Turkey, Indonesia, India, Fujian, Jiangsu, Tianjin. Vertical integrated production with strict process control. 10GW annually capacity of aluminum solar racking and 15GW annually capacity of steel solar racking.



03

R&D innovation

Owns three major R&D bases for solar tracker, fixed structure and high performance material; Highly educated R&D team composed of 120 persons with more than 15 year's experience. Good master of design and architectural standards for global regions.



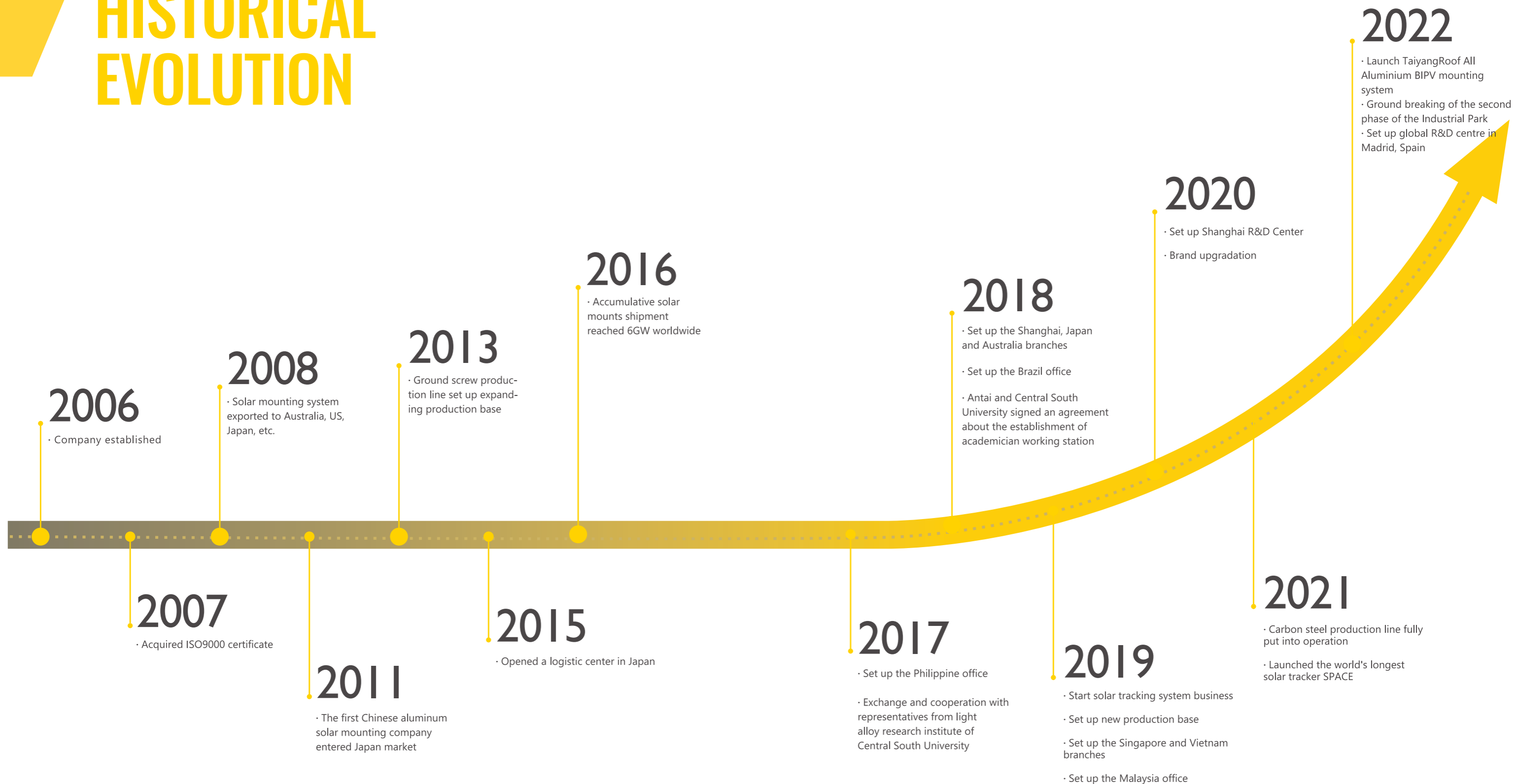
04

Global localization service

Strategic layout of overseas branches and offices in 16 countries and regions. Owns local logistic center in Japan, Turkey and Australia; Set up overseas technical and sales teams to provide all-round localization service.



HISTORICAL EVOLUTION



GLOBAL DEPLOYMENT



Offices

- | | | | |
|-----------|--------|-------------|-------|
| Argentina | Poland | Malaysia | Dubai |
| Brazil | India | Mexico | Spain |
| Vietnam | Jordan | Philippines | Chile |



Branches

- | | | | |
|-----------|---------|-----------|---------|
| Shanghai | Japan | India | America |
| Australia | Holland | Singapore | |



Production Bases

- | | | | |
|-----------|---------|-------------|-------|
| Fujian | Tianjin | Jiangsu | India |
| Indonesia | Brazil | Middle East | |



Warehouse

- | | |
|-------|--------|
| Japan | Brazil |
|-------|--------|

VERTICAL INTEGRATED PRODUCTION

Aluminum Mounting System



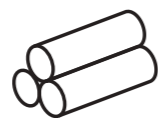
Ingots

01



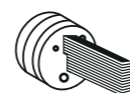
Casting

02

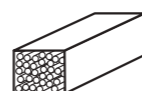


Billets

03



Extrusion



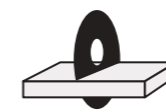
Aging

04



Anodizing

05



Fine finishing

06



Quality inspection

07

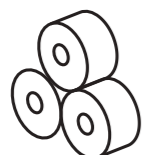


Shipment

09

Steel Mounting System

01

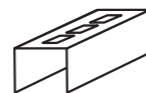


Steel material



Forming

02



Punching

03



Surface treatment

04



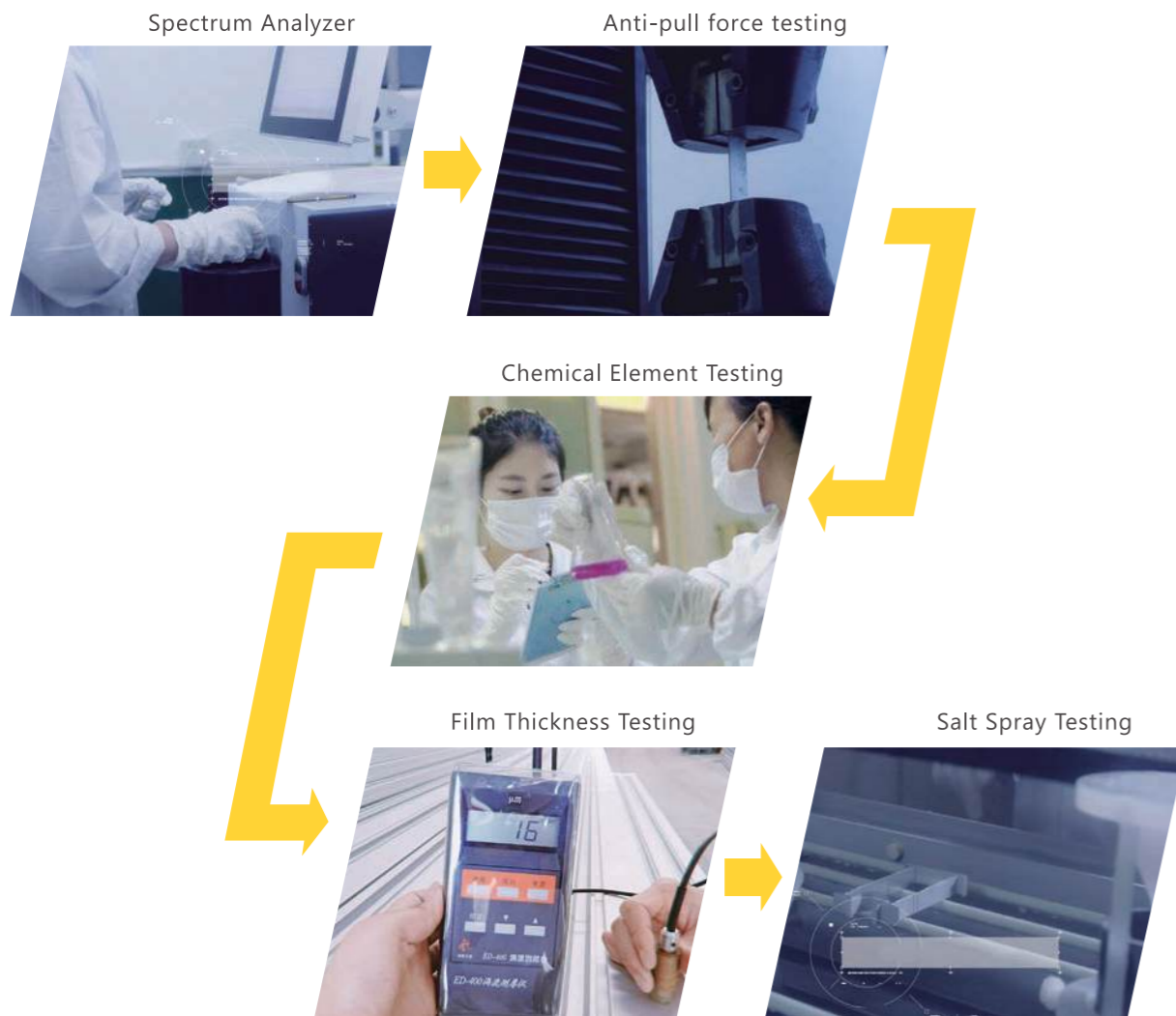
Packing

08



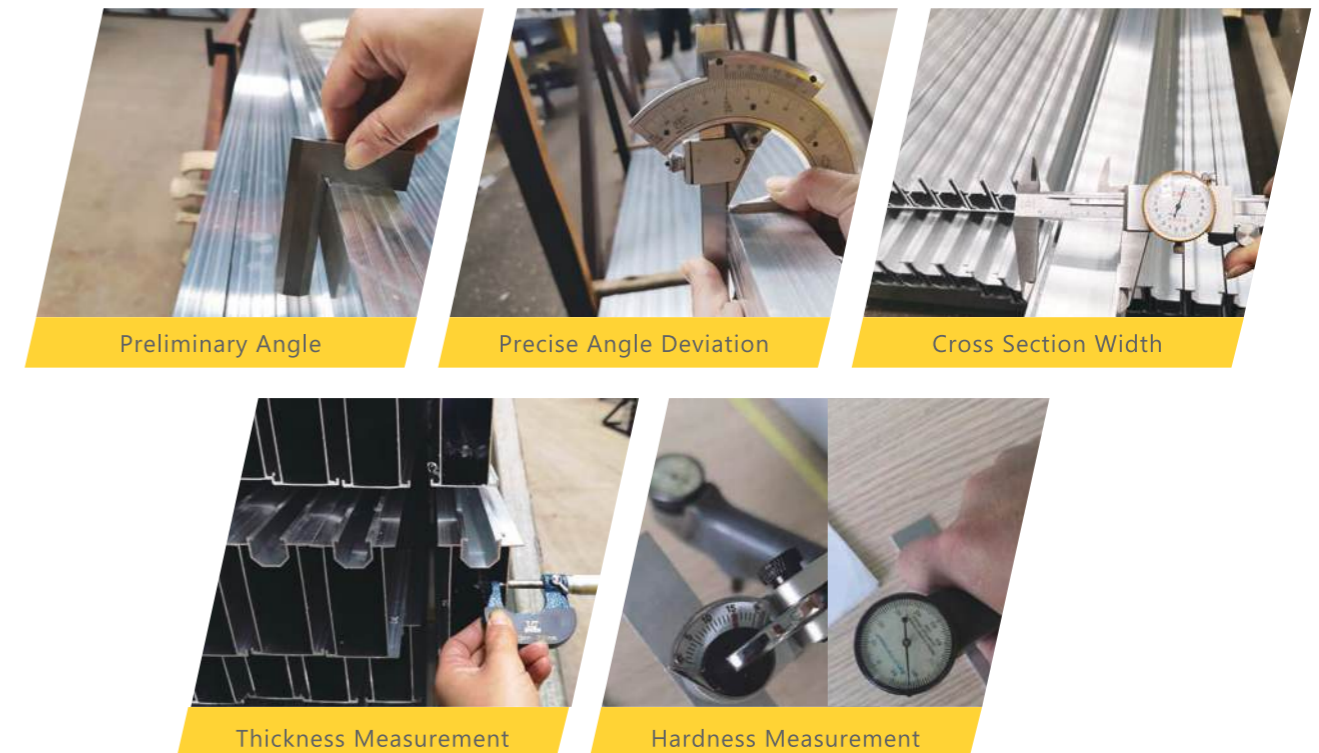
QUALITY CONTROL

In-House Lab Testing



Sample Inspection

Own factory with complete aluminum and steel production chain. A quality-guarantee system for our aluminum products consists of our advanced testing equipment, excellent inspectors and thorough QC management. Whole process inspection from raw material to finished product including section size, thickness, torsion, bending, angle, surface quality, etc.



Third party certification

Products are certified by third-party testing agencies in different worldwide regions to ensure that product performance meets architectural and design standards for global regions.

Certified by third-party testing agencies regularly



Material R&D

Establish an academician and expert workstation with Central South University to carry out research and development of high-performance materials; Deepen school-enterprise cooperation with Shanghai Jiaotong University and other domestic institutions of higher learning to promote all-round integration of industrial technologies.

Unique High performance Aluminum alloy

Items (Mechanical properties)	AL6063-T5	AT6005-T5	Antai AL6005-T6
Tensile strength(MPa)	175	250	290
Proof strength(MPa)	130	200	265
Elongation after fracture(%)	7	7	10

GLOBAL SERVICE



Global network & localization service

Strategic layout of overseas branches and offices
Local sales and technical team service



Experienced engineer & site support

On-site technical support in early stage of project
On-site technical installation guidance if necessary



Professional logistics

Customized logistics services provided for fast access to site
Globally warehouse layout



Reliable after-sales service

10 years warranty
7*24 on call, designing proposal offered within 24 hours
Multilingual, 1 to 1 exclusive customer service

CONTENTS



PITCHED ROOF

- 13 L Feet With C Rail
- 15 Trapezoid L Feet With C Rail
- 17 Hook System
- 19 Kliplok Without Rail System

FLAT ROOF

- 21 Adjustable Tilt Mounting System
- 23 Triangle System
- 25 Ballast System
- 27 TaiyangRoof BIPV Mounting System

GROUND

- 29 Aluminum Ground Mounting System
- 31 Pile Ground Mounting System
- 35 Steel Ground Mounting System

CARPORT

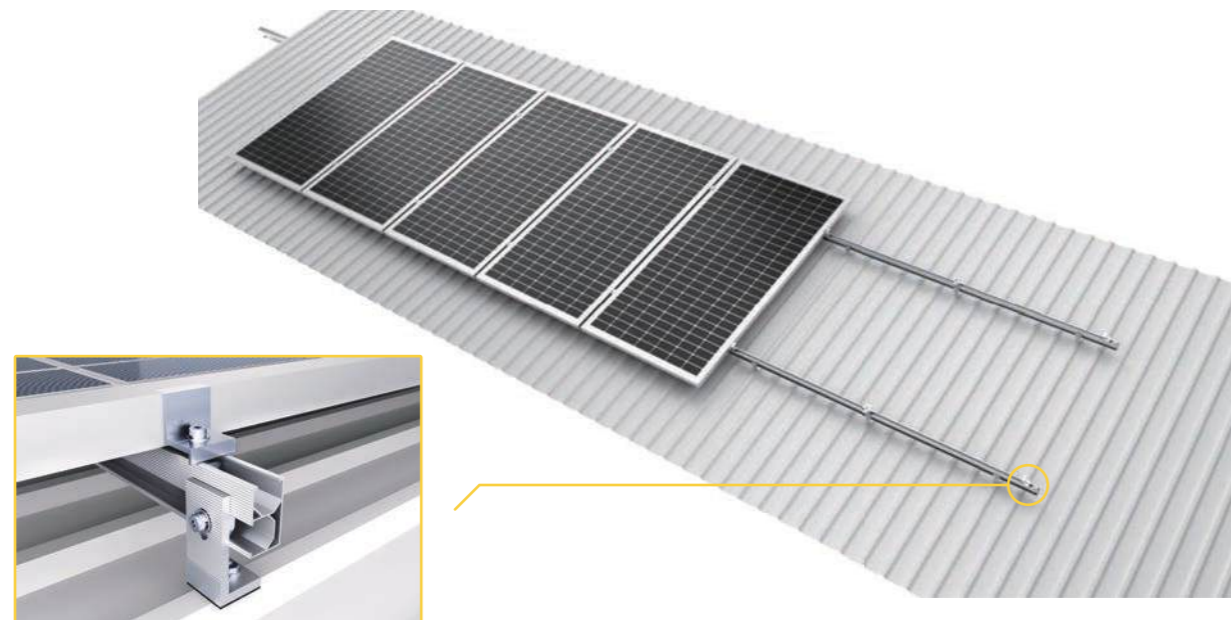
- 35 Aluminum Carport Mount (Standard)
- 37 Aluminum Carport Mount (Waterproof)

SCREW

- 43 Ground screw

METAROOF-MT L FEET WITH C RAIL

10 YEARS WARRANTY



Components



L Bracket



Rail



Rail Splice



Inter Clamp



End Clamp



Grounding Lug Kit (Optional)



Grounding Clip (Optional)



Cable Clip (Optional)

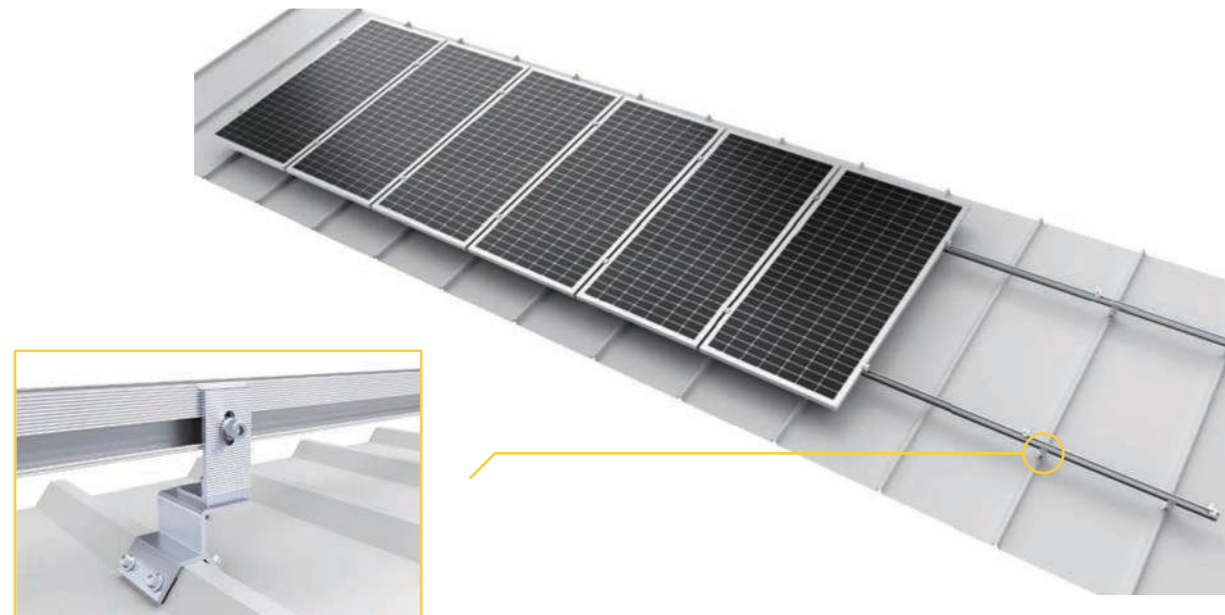
Features

- 01** Good flexibility to match various types of roof clamps.
- 02** Good stability when attached directly on roof purling.
- 03** Compliant with the Australian and other international standards.

Specification

Roof Type	Metal roof
Tilt Angle	0°-45°
Wind Load	60m/s
Snow Load	1.6KN/m ²
Applicable Solar Module	Framed/Frameless
Panel Layout	Portrait/Landscape
Design Standard	BS EN1991, ASCE7-10, BS 6399, AS-NZS 1170, GB 50009-2012, MS 1553
Material	AL-6005-T6 & SUS304 & EPDM
Color	Sliver/Black
Warranty	10-year

METAROOF-MT TRAPEZOID L FEET WITH C RAIL



Components



Trapezoidal Clamp



L Feet Clamp



Rail



Rail Splice



Inter Clamp



End Clamp



Grounding Lug Kit
(Optional)



Grounding Clip
(Optional)



Cable Clip
(Optional)

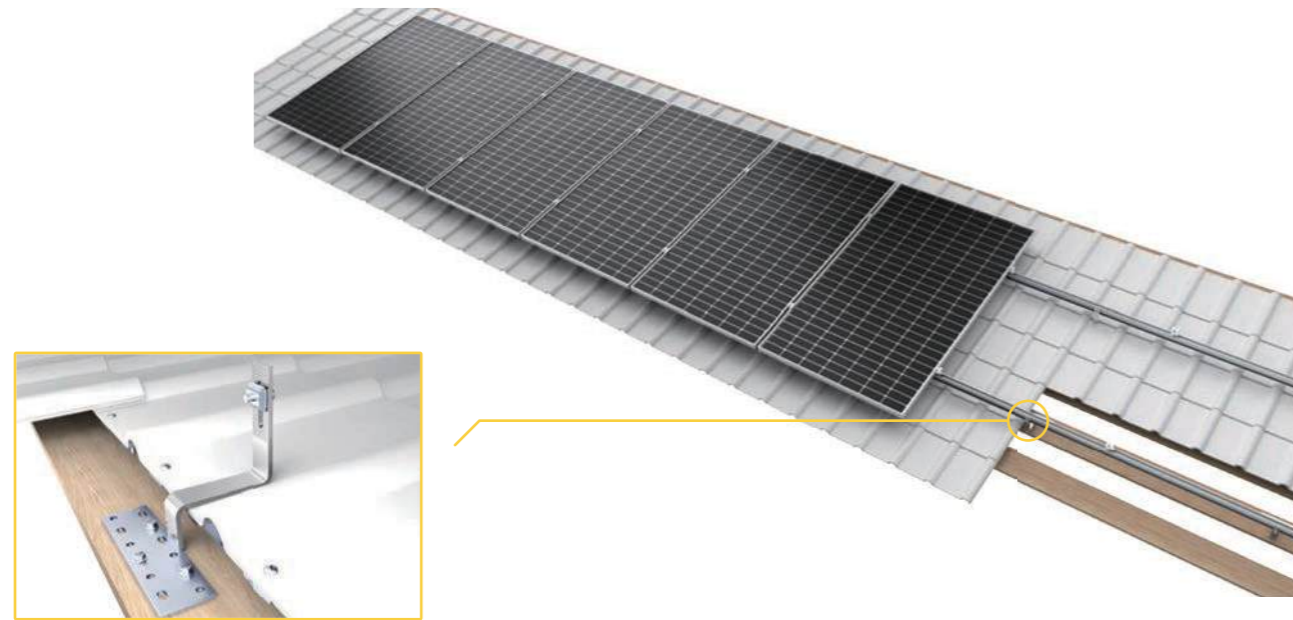
Features

- 01** Non-penetrating roof clamp mounting ensures watertightness.
- 02** A variety of roof clamps suit for all roofing sheets.
- 03** Simple and quick installation by fixing the clamp to the metal roofs
- 04** Expand installation availability while there is no suitable fixing purlin under the roof.

Specification

Roof Type	Metal roof
Tilt Angle	0°-45°
Wind Load	60m/s
Snow Load	1.6KN/m ²
Applicable Solar Module	Framed/Frameless
Panel Layout	Portrait/Landscape
Design Standard	BS EN1991, ASCE7-10, BS 6399, AS-NZS 1170, GB 50009-2012, MS 1553
Material	AL-6005-T6 & SUS304
Color	Sliver/Black
Warranty	10-year

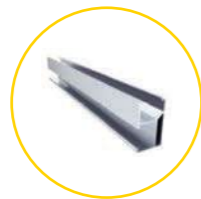
METAROOF-TR HOOK SYSTEM



Components



Tile Roof Hook



Rail



Rail Splice



Inter Clamp



End Clamp



Grounding Lug Kit
(Optional)



Grounding Clip
(Optional)



Cable Clip
(Optional)

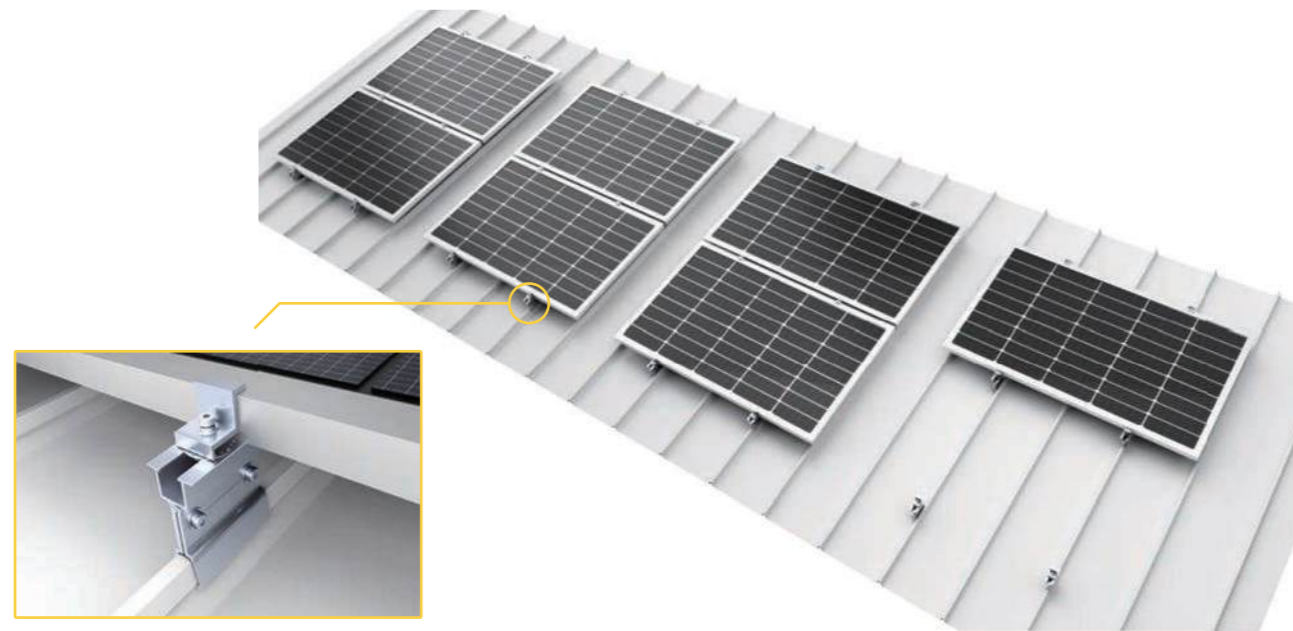
Features

- 01** A variety of stainless steel roof hooks suit for pantile, plain tile or slate tiles.
- 02** Comprehensive range of aluminum rails for varying load profiles.
- 03** Compliant with European, American, Australian and other international standards

Specification

Roof Type	Tile roof
Tilt Angle	0°-45°
Wind Load	60m/s
Snow Load	1.6kN/m ²
Applicable Solar Module	Framed/Frameless
Panel Layout	Portrait/Landscape
Design Standard	BS EN1991, ASCE7-10, BS 6399, AS-NZS 1170, GB 50009-2012, MS 1553
Material	AL-6005-T6 & SUS304
Color	Sliver/Black
Warranty	10-year

METAROOF-MK KILPLOK WITHOUT RAIL SYSTEM



Components



Kliplok Without Rail



End Clamp



Mid Clamp



Grounding Lug Kit



Grounding Clip
(Optional)



Cable Clip
(Optional)

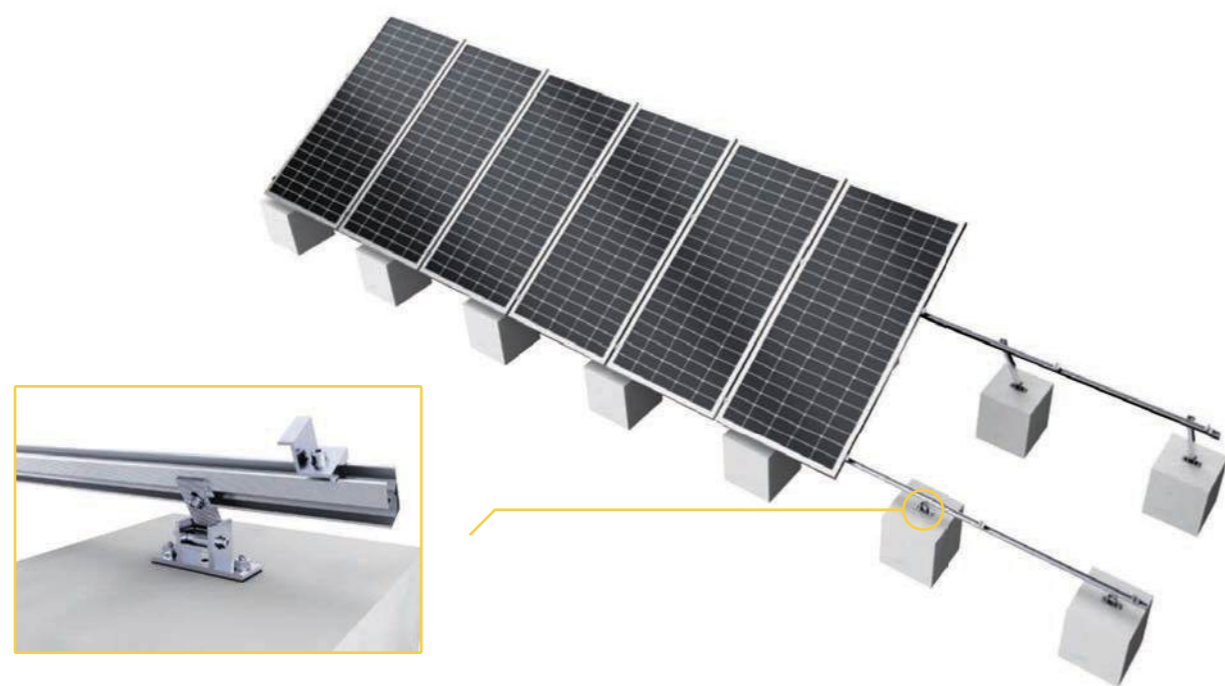
Features

- 01** Fast installation without rail and saving cost.
- 02** Non-penetrating roof clamp mounting ensure waterproofing
- 03** Professional packaging solution for easy logistics, and cost-effective warehousing

Specification

Roof Type	Metal roof
Tilt Angle	0°-45°
Wind Load	60m/s
Snow Load	1.6KN/m ²
Applicable Solar Module	Framed/Frameless
Panel Layout	Portrait/Landscape
Design Standard	BS EN1991, ASCE7-10, BS 6399, AS-NZS 1170, GB 50009-2012, MS 1553
Material	AL-6005-T6 & SUS304
Color	Sliver/Black
Warranty	10-year

METAROOOF-FR ADJUSTABLE TILT MOUNTING SYSTEM



Components



Front Leg



Back Leg



Expansion Bolt



Rail



Rail Splice



Inter Clamp



End Clamp



Grounding Lug Kit
(Optional)



Grounding Clip
(Optional)



Cable Clip
(Optional)



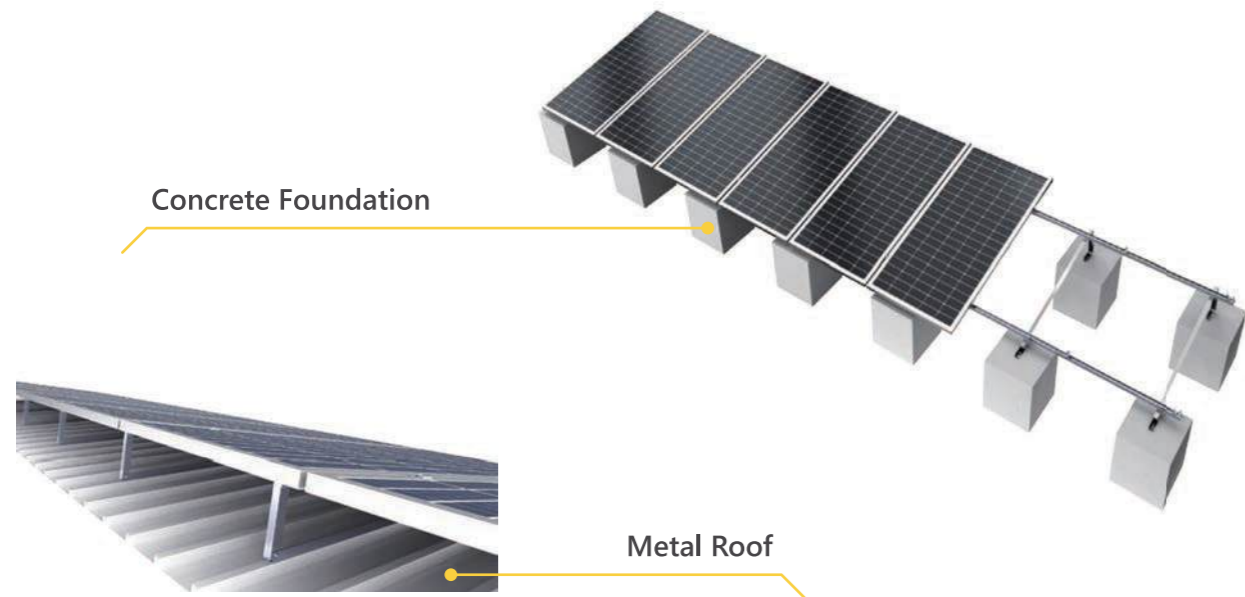
Features

- 01** Allow for project-specific adjustments and optimize solar power output.
- 02** Compact package before shipment for easy transportation and retail.
- 03** Fit for different metal roof or open concrete terrain applications.
- 04** Highly pre-assembly to save on site installation time.

Specification

Roof Type	Pitched Roof / Flat Roof
Tilt Angle	Fixed 10-15°, 15-30°, 30-60°
Wind Load	Up to 60m/s
Snow Load	Up to 60cm
Applicable Solar Module	Framed/Frameless
Panel Layout	Portrait/Landscape
Design Standard	BS EN, ASCE7-10, BS 6399, AS-NZS 1170, GB 50009-2012, MS 1553
Material	AL-6005-T6, SUS304, 410
Color	Sliver/Black
Warranty	10-year

METAROOOF-FR TRIANGLE SYSTEM



Components



Features

- 01** Universal design for flat roof or open terrain applications.
- 02** Various combinations such as ballasted block or roof penetration.
- 03** Pre-assembly triangle support and fold design save on site installation time.

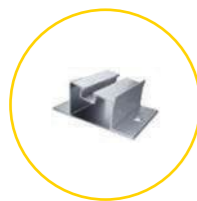
Specification

Roof Type	Pitched Roof / Flat Roof
Tilt Angle	Fixed 10-15°, 15-30°, 30-60°
Wind Load	Up to 60m/s
Snow Load	Up to 80cm
Applicable Solar Module	Framed/Frameless
Panel Layout	Portrait/Landscape
Design Standard	BS EN, ASCE7-10, BS 6399, AS-NZS 1170, GB 50009-2012, MS 1553
Material	AL-6005-T6, SUS304, 410
Color	Sliver/Black
Warranty	10-year

METAROOOF-FR BALLAST SYSTEM



Components



Front Base



Back Base Kit



Beam



Splice For Rail



End Clamp



Grounding Clip



Cable Clip

Features

- 01** Non-penetrating roof ballast mounting ensure water-tightness.
- 02** Simple and pre-assembled structure saves the on-site installation time and labor cost.
- 03** Ballast weight is customizable to different wind zone.

Specification

Roof Type	Flat Roof / Open Terrian
Tilt Angle	10°
Wind Load	50m/s
Snow Load	1.0KN/m ²
Applicable Solar Module	Framed / Frameless
Panel Layout	Portrait / Landscape
Design Standard	BS EN, ASCE7-10, BS 6399, AS-NZS 1170, GB 50009-2012, MS 1553
Material	AL-6005-T6, SUS304
Color	Sliver / Black
Warranty	10-year

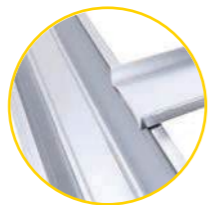
TAIYANGROOF BIPV MOUNTING SYSTEM



Components



Kliplok Without Rail



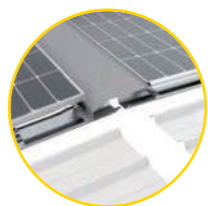
End Clamp



Mid Clamp



Grounding Lug Kit



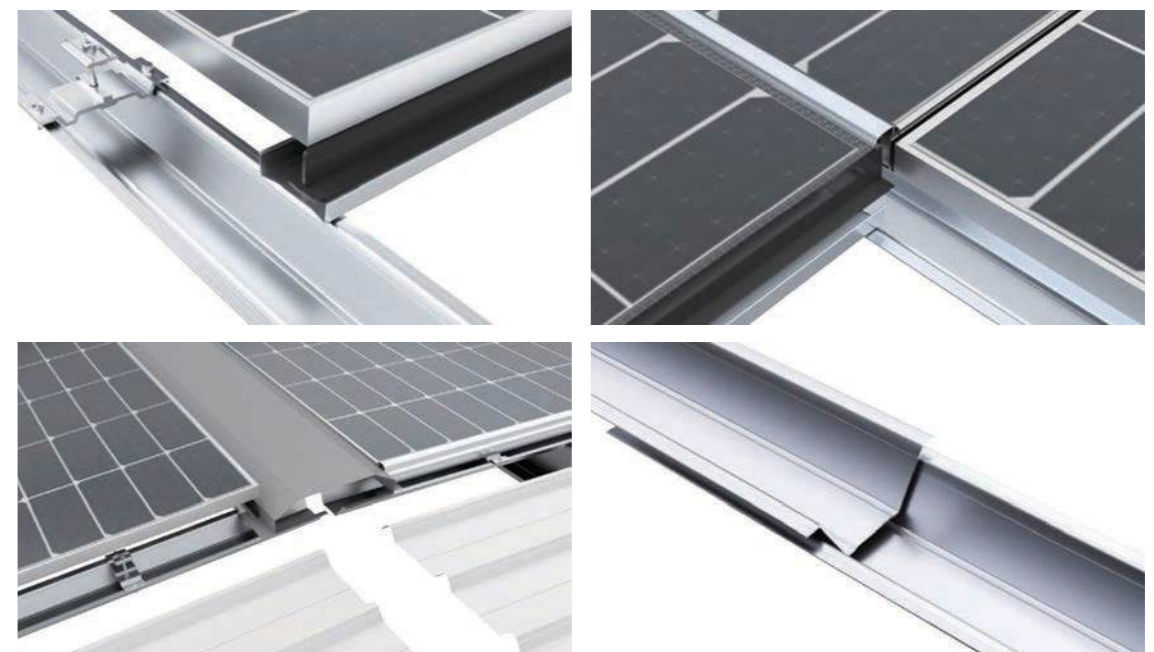
Grounding Clip
(Optional)



Cable Clip
(Optional)

Features

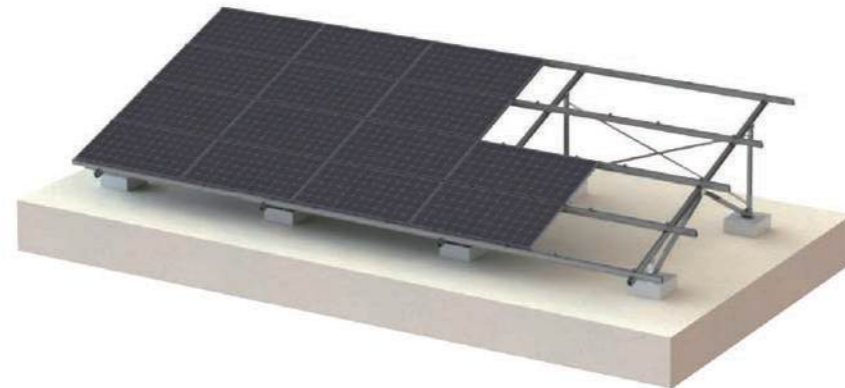
- 01** Combination of building safety and power generation efficiency.
- 02** Utilizing Antaisolar's high-strength aluminium alloy for excellent stability and reliability.
- 03** The six patent components keep the whole structure watertight, while the installation, operation and maintenance are simple, efficient and cost-saving.



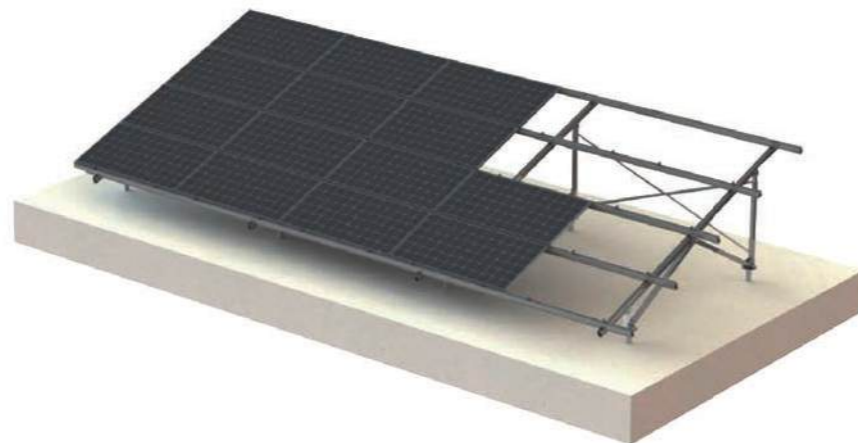
METAGROUND-AL GROUND MOUNTING SYSTEM



Concrete foundation



Ground screw foundation



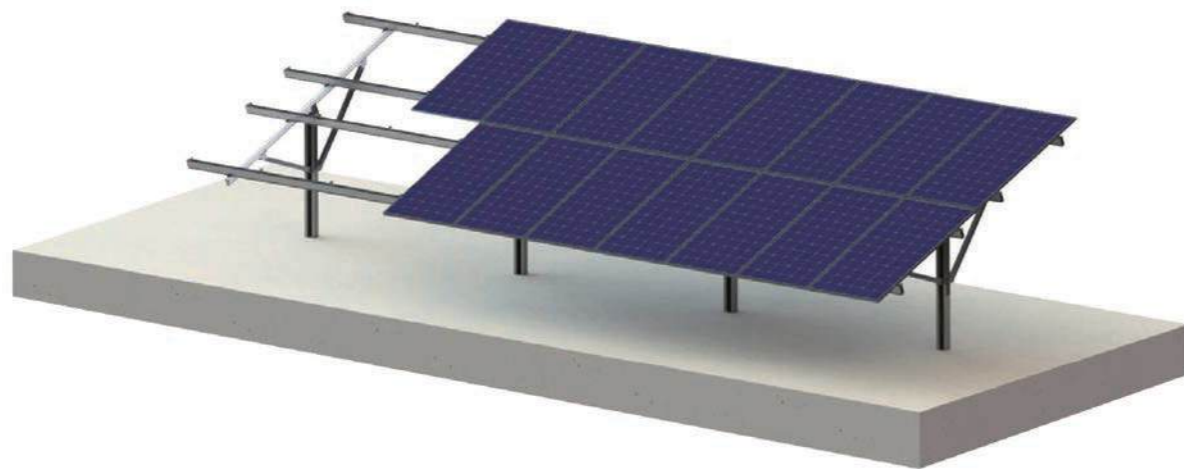
Features

- 01** Aluminum structure to offer high corrosion resistant and lightweight.
- 02** Different designs to meet high loads caused by local wind and snow condition.
- 03** Pre-assembly supporting beam to save on site installation time.
- 04** Ground screw or concrete block foundation are optional.

Specification

Ground Type	Open terrain, landfill, and disposal
Tilt Angle	Up to 60°
Wind Load	Up to 60m/s
Snow Load	Up to 50cm
Applicable Solar Module	Framed / Frameless
Panel Layout	Portrait / Landscape
Design Standard	BS EN, ASCE7-10, BS 6399, AS-NZS 1170, GB 50009-2012, MS 1553
Material	AL-6005-T6, SUS304
Color	Sliver / Black
Warranty	10-year

METAGROUND-AL/STEEL PILE GROUND MOUNTING SYSTEM



Components



Pre-assembled Beam



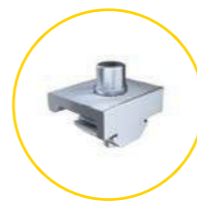
Pillar



Rail



Rail Splice



Rail Clamp



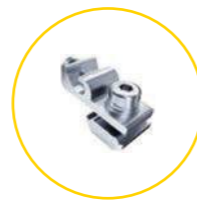
End Clamp



Inter Clamp



Grounding Clip
(Optional)



Grounding Lug Kit
(Optional)



Cable Clip
(Optional)

Features

- 01** Fit for flat ground, uneven complex terrain and slope conditions.
- 02** Flexible adjustment for angles or height while installation.
- 03** Pre-assembly supporting beam to save on-site installation time.
- 04** Ramming posts eliminates the need for additional excavation works.

Specification

Application	Open terrain
Elevation angle	Up to 60°
Foundation	Pile in or pre-cast, bored pier
Snow load	Up to 150cm
Recommended wind speed	Up to 60 m/s
PV module	Framed, unframed
Module orientation	Landscape, portrait
Material	Anodized aluminum 6005 T6, stainless steel 304, 410 Hot-dipped galvanized steel Q235B, Q235B

METAGROUND-AL/STEEL PILE GROUND MOUNTING SYSTEM



Components



Pre-assembled Beam



Pillar



Rail



Rail Splice



Rail Clamp



End Clamp



Inter Clamp



Grounding Clip
(Optional)



Grounding Lug Kit
(Optional)



Cable Clip
(Optional)

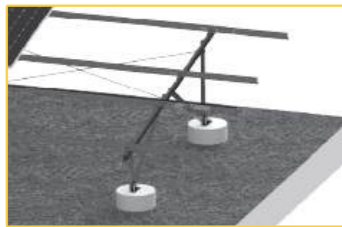
Features

- 01** Fit for flat ground, uneven complex terrain and slope conditions.
- 02** Flexible adjustment for angles or height while installation.
- 03** Pre-assembly supporting beam to save on-site installation time.
- 04** Ramming posts eliminates the need for additional excavation works.

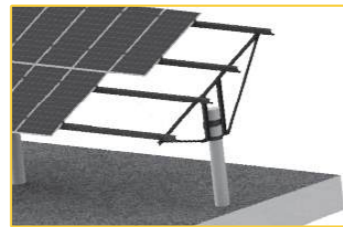
Specification

Application	Open terrain
Elevation angle	Up to 60°
Foundation	Pile in or pre-cast, bored pier
Snow load	Up to 150cm
Recommended wind speed	Up to 60 m/s
PV module	Framed, unframed
Module orientation	Landscape, portrait
Material	Anodized aluminum 6005 T6, stainless steel 304, 410 Hot-dipped galvanized steel Q235B, Q235B

METAGROUND-STEEL GROUND MOUNTING SYSTEM



Concrete Foundation



PHC



Screw Pile

Components



C Steel Rail



Pillar



Rail Splice



L Connector



Rail Clamp



Inter/ End clamp



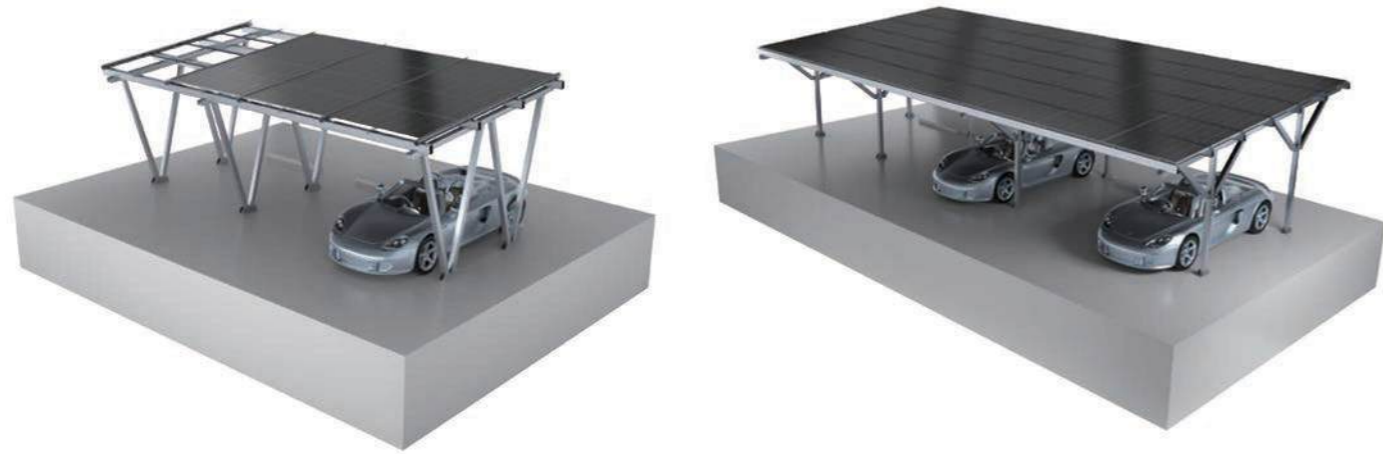
Features

- 01** Economical and reliable solutions for solar projects on a free surface.
- 02** MAC steel or carbon steel is adopted as the main material to form a stable and cost-effective design.
- 03** Pre-assembly supporting beam to save on site installation time.
- 04** Ground screw or concrete block foundation are optional.

Specification

Application	Open terrain
Adjustable angle	Up to 20°
Foundation	7500mm above
Snow load	Up to 150cm
Recommended wind speed	Up to 60m/s
PV module	Framed, unframed
Module orientation	Landscape, portrait
Material	MAC steel; Hot-dipped galvanized steel Q235B, Q355B; stainless steel 304, 410

METAGROUND-AL CARPORT MOUNTING SYSTEM (STANDARD)



Components



End Clamp



Mid Clamp



Rail



Rail Splice



Rail Clamp



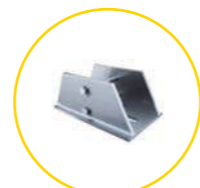
Beam



Pole



Small Foot Seat



Big Foot Seat



Embedded Bolt



Ground Lug Kit
(Optional)



Grounding Clip
(Optional)



Cable Clip
(Optional)

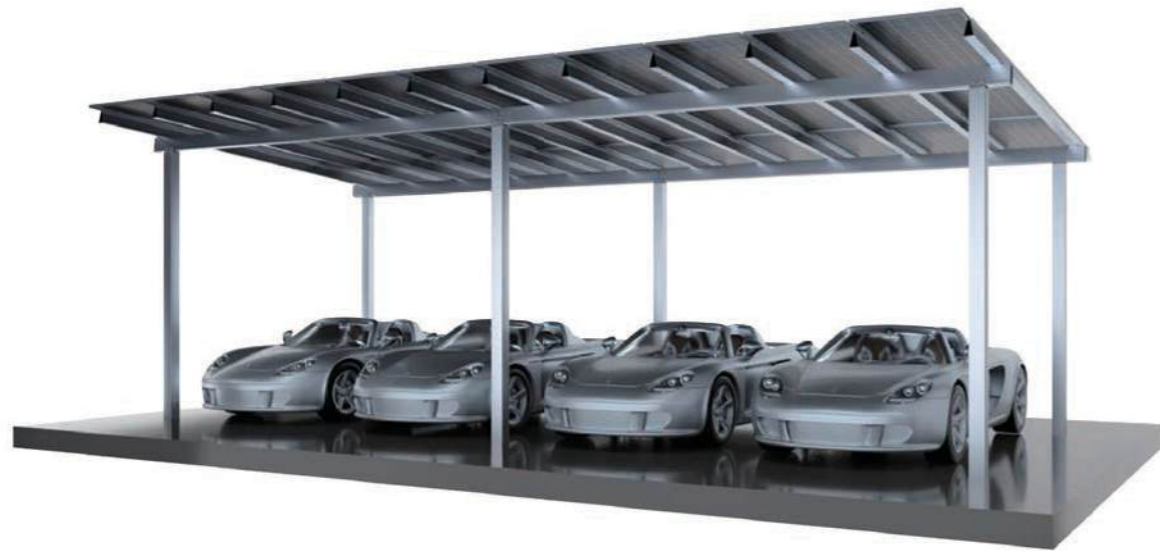
Features

- 01** Effectively use of the space while generating electricity.
- 02** Different options for both single and double rows of parking.
- 03** Pre-assembly supporting beam to save on site installation time.
- 04** Various foundation options include precast concrete, bored pier and ground screw.

Specification

Application	Open terrain
Elevation angle	Recommend below 30°
Distance between footings	5000mm above
Snow load	Up to 150cm
Recommended wind speed	Up to 60m/s
PV module	Framed, unframed
Module orientation	Landscape, portrait
Material	Anodized aluminum 6005 T6 stainless steel 304, 410 Hot-dipped galvanized steel Q235B, Q355B

METAGROUND-AL CARPORT MOUNTING SYSTEM (STANDARD)



Components



End Clamp



Mid Clamp



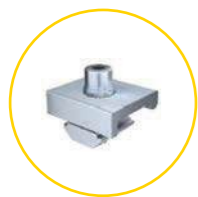
Rail



Rail Splice



Rail Clamp



Beam



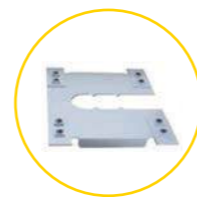
Pole



Small Foot Seat



Big Foot Seat



Embedded Bolt



Features

- 01** High corrosion. Aluminum structure to offer high corrosion resistant and lightweight.
- 02** Parking Friendly Structural Design: unobstructed door opening and easier reversing
- 03** Highly pre-assembled. Pre-assembly supporting beam to save on site installation time.
- 04** Optional foundation. Ground screw or concrete block foundation are optional.

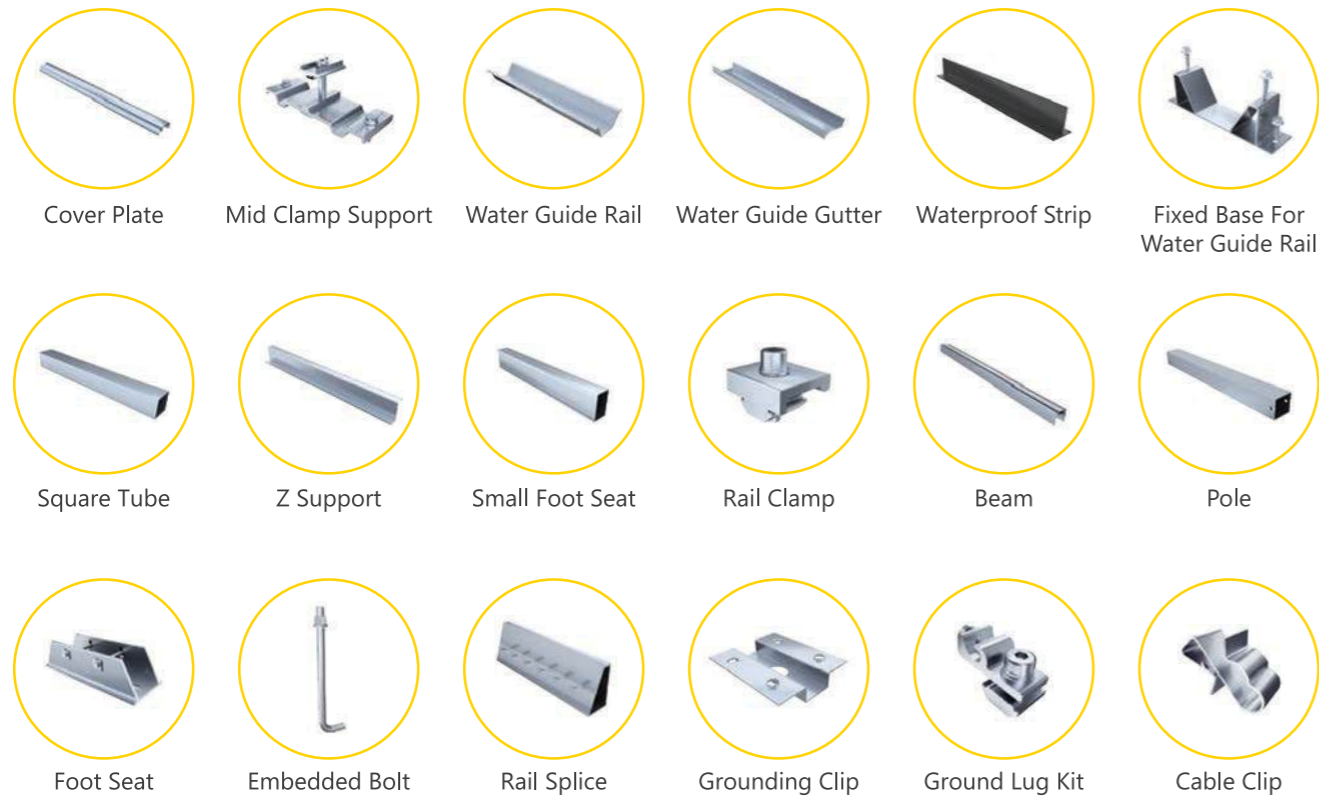
Specification

Ground Type	Al
Tilt Angle	5°
Wind Load	38-46m/s
Snow Load	50-99cm
Applicable Solar Module	Framed/Frameless
Panel Layout	Portrait/Landscape
Design Standard	Eurocode EN 1990/1991, ASCE7-10, GB 50009-2012
Material	AL-6005-T6, SUS304
Color	Sliver/Black
Warranty	10-year

METAGROUND-AL CARPORT MOUNTING SYSTEM (WATERPROOF)



Components



Features

- 01** Effectively use of the space while generating electricity.
- 02** Fully waterproof design for framed module installation.
- 03** Pre-assembly supporting beam to save on site installation time.
- 04** Various foundation options include precast concrete, bored pier and ground screw.

Specification

Application	Open terrain
Elevation angle	Recommend below 30°
Distance between footings	5000mm above
Snow load	Up to 150cm
Recommended wind speed	Up to 60m/s
PV module	Framed, unframed
Module orientation	Landscape, portrait
Material	Anodized aluminum 6005 T6 stainless steel 304 Hot-dipped galvanized steel Q235B, Q355B

HOT-DIP GALVANIZED STEEL GROUND SCREW



Ground Screw



Ground Screw



Ground Screw



U Pile



C Pile

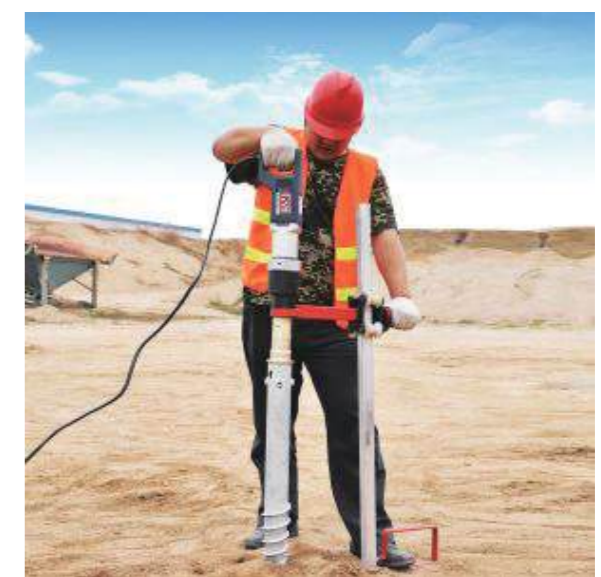


Manual piling diver

Easy operation, cost effection for small size ground project.

Pile diver

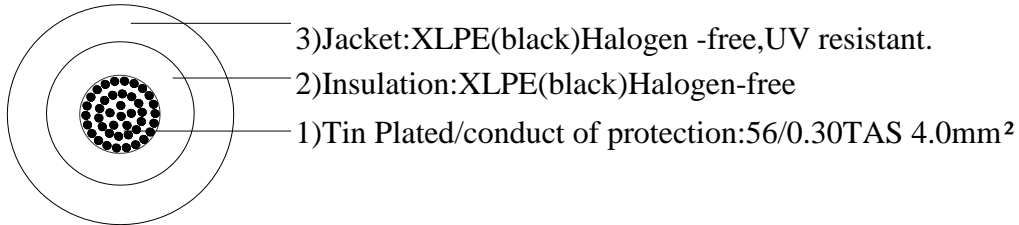
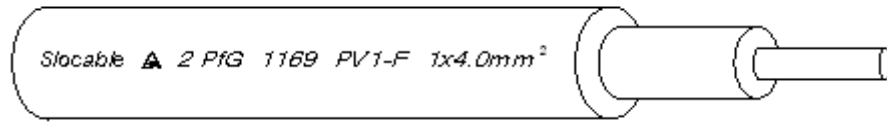
High installation efficiency, 30-75s for one screw in, ideal for large scale project.



Slocable Solar Technology Co.,Ltd

Technical Data Of 2PfG 1169 1x4.0mm² Solar Cable

Construction



- 3) Jacket: XLPE(black) Halogen -free, UV resistant.
- 2) Insulation: XLPE(black) Halogen-free
- 1) Tin Plated/ conductor of protection: 56/0.30TAS 4.0mm²

Part NO.

Black: CA104B-PE

Red: CA104R-PE

Specification

Conductor material: High resistant oxygen Copper, Tin Plated

Type	Cross section	Wire struct	Conductor diameter	Outer diameter	Conductor resistance	Rated voltage	Rated current	Weight
	mm ²	No.OD(mm)	mm	mm	Ω/Km	V AC/DC	A	kg/km
1x4.0mm ²	4	56X ∅ 0.30	2.6	6.2	4.97	1000/1800	50	68

Physical properties

- 1) Rated voltage: AC 1 KV , DC 1.8 KV
- 2) Max. conductor temperature : +120°C
- 3) Ambient temperature: -40~+90°C
- 4) Max. short circuit temp.: +280°C/5S
- 5) Expected period of use ≥ 25 years; Warranty: 24 months.
- 6) the smallest permissible bending radius: 5x outer diameter

Standard

According to: 2PfG 1169 /08.2007

Smoke density: acc. to IEC 61034 (EN-50268)

Halogen free acc. to IEC 60754 (EN-50267)

Ozone resistance: acc. to EN50396

Oil resistance: acc. to IEC 60811

UV resistant: HD605/A1

CA104B-PE



CA104R-PE

