



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Apizaco

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO

NOMBRE DEL PROYECTO

INSTALACIÓN DE PLANTA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA INTERCONECTADA DE
180KW

OPCIÓN QUE CORRESPONDA

TITULACIÓN INTEGRAL, INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO EN MECATRÓNICA

PRESENTA:

JAIME MARTÍN ESPEJEL LÓPEZ

NOMBRE DEL ASESOR:

RAFAEL ORDOÑEZ FLORES



APIZACO, TLAX., ABRIL 2025

Instituto Tecnológico de Apizaco
Departamento de Ingeniería Eléctrica Electrónica

Apizaco, Tlaxcala, 09/octubre/2024

Departamento: Ingeniería Eléctrica y Electrónica
No. OFICIO IEE/929/2024

Asunto: Liberación de Proyecto
para la Titulación Integral

CESAR REYNALDO RAMOS GÓMEZ
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
P R E S E N T E.

Por este medio me permito informar a usted que ha sido liberado el siguiente proyecto para la Titulación Integral:

Nombre del egresado:	JAIME MARTÍN ESPEJEL LÓPEZ
Carrera:	INGENIERÍA MECATRÓNICA
No. de Control:	19370733
Nombre del proyecto:	"INSTALACIÓN DE PLANTA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA INTERCONECTADA DE 180 kW"
Producto:	TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL

Agradeciendo de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados, le envió un cordial saludo.

ATENTAMENTE
*Excelencia en Educación Tecnológica
Pensar para Servir, Servir para Triunfar*

JAIME ALBERTO ELIZALDE OLIN
JEFE DEL DEPTO. DE INGENIERÍA
ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



Rafael Ordoñez Flores
Nombre y Firma del Asesor

c.c.p. Expediente



Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Apizaco
División de Estudios Profesionales

Tzompantepec, Tlaxcala, 30/enero/2025

ESPEJEL LÓPEZ JAIME MARTÍN.
EGRESADO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA
MECATRÓNICA.
CON NÚMERO DE CONTROL 19370733.
PRESENTE.

Por este medio, me permito informar a usted que por aprobación de la comisión revisora asignada para valorar el trabajo que mediante la opción TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL cuyo tema es: "INSTALACIÓN DE PLANTA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA INTERCONECTADA DE 180KW" conforme a lo establecido en el procedimiento para la obtención del Título Profesional en el Instituto Tecnológico, la División de Estudios Profesionales a mi cargo le otorga la:

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Debiendo entregar 2 USB del mismo, apropiadamente empastados, a la brevedad, para presentar su Acto de Recepcion Profesional.

Sin otro particular por el momento me despido.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica
Pensar para Servir, Servir para Triunfar



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL
DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO
DIVISIÓN DE
ESTUDIOS PROFESIONALES

ISRAEL JORGE SÁNCHEZ SÁNCHEZ
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ccp. Archivo
ijss/aehs -



2025
Año de
La Mujer
Indígena

Av. Instituto Tecnológico No. 418, San Andrés Ahuashuatepec,
Municipio de Tzompantepec, Tlaxcala, Mex. C.P. 90491 Tel.
[241] 4172010 Ext. 304, e-mail:
dep_titulacion@apizaco.tecnm.mx tecnm.mx |





Tecnológico Nacional de México

Instituto Tecnológico de Apizaco

Instalación de planta de generación fotovoltaica interconectada de 180KW

CEBI Industrias México, S.A. de C.V.

Espejel López Jaime Martin

Numero de control: 19370733

Ingeniería Mecatrónica

Asesor interno: Rafael Ordoñez Flores

Asesor externo: Guillermo Cocoltzi Vázquez

Agradecimientos

Al finalizar un trabajo, en este caso un proyecto después de una larga lista de semestres dentro de la universidad, empiezas a darte cuenta de hasta donde llegaste, que has logrado, como lo has hecho y de lo que eres capaz de hacer, pero más allá de todas esas cosas siempre va a haber 1 o más personas detrás, familia, amigos, conocidos, personas que pasan en tu vida de manera expés o pueden quedarse a lo largo de tu trayectoria.

En este caso quiero enfocarme en agradecer y seguir demostrando siempre esa admiración a esas 2 personas especiales que me dieron la vida y siempre estuvieron para mí, a esas personas que dieron todo por mí, desvelos, cansancio, sacrificios, esas personas que podrían dejar algo que tal vez anhelaban, por brindarme algo o darme alguna cosa que necesitaba, hablo de mis papas, los seres más importantes y especiales para mí, agradecerles que por más difícil que sea la situación o el momento, estuvieron para mí, me apoyaron, me alentaban a lograr una y otra y otra meta dentro de mi vida, me daban consejos, me enseñaron a ser lo que ahora soy.

No me gustaría dejar de lado a mis hermanas, esas 2 acompañantes de vida que a pesar de enojos, tristezas, peleas, mil y un cosas siempre me apoyaron, estuvieron conmigo, que me demostraron cariño y admiración, aunque el que las admire soy yo porque estoy orgulloso de lo que han logrado y espero verlas cumplir todas y cada una de sus metas, no me queda mas que decirles gracias y que así como pude lograr llegar hasta donde estoy ellas pueden y quiero estar ahí celebrando ese gran día con ellas.

Por ultimo pero no menos importante a familia externa, a externa me refiero a tíos, primos, abuelitos, a esas personas que me decían “tu puedes”, “venga mi chinito”, todas esas frases que jamás olvidare, gracias a todos y cada uno de ustedes.

Índice

Agradecimientos.....	2
Resumen	3
Abstract	3
Introducción	11
CAPITULO1. CEBI INDUSTRIAS MEXICO, S.A. DE C.V	12
Datos de la empresa.....	13
Historia.....	13
Línea del tiempo de CEBI Industrias México	13
Productos creados en la empresa.....	14
Misión	16
Visión	16
Ubicación	16
CAPITULO 2. CARACTERISTICAS DEL DESARROLLO DEL PROYECTO	17
Problemas a resolver	18
Objetivos	18
General	18
Específicos	18
Justificación.....	19

CAPITULO 3. MARCO TEORICO	21
Radiación.....	22
Célula fotovoltaica	22
Efecto fotovoltaico	23
Desarrollo de las celdas solares.....	23
Sistema fotovoltaico conectado a la red	24
Módulos fotovoltaicos.....	27
Estructura de un módulo fotovoltaico	28
Tipos de módulos fotovoltaicos	29
Paneles solares monocristalinos	29
Paneles policristalinos	30
Parámetros y características	30
Inclinación y orientación	31
Curvas características	32
Códigos normas y estándares	34
Definiciones	34
Criterios de diseño.....	36
Preliminares.....	36
Potencia instalada.....	36
Características de módulos fotovoltaicos	36

Características de inversores	37
<i>Estructura de los Cables de baja tensión para la corriente directa</i>	39
<i>Variedades de Cables de Baja Tensión</i>	39
<i>Cables de Alimentación</i>	39
<i>Alambres y Cables de Uso General</i>	40
Cables de Comunicación	40
Tubería visible	40
Tubería no visible.....	40
Identificación de conductores.....	41
 CAPITULO 4. PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE DATOS E INSTALACIÓN DE LOS MÓDULOS	 42
Conductores de baja tensión para la corriente directa.....	43
Conductores de baja tensión para corriente alterna.....	43
Procedimientos de cálculo.....	44
Dimensionamiento de inversores de corriente	44
Alimentadores de baja tensión en C.D. de módulos fotovoltaicos a inversores.....	46
Alimentadores de baja tensión en C.A. de inversores a tablero de combinación “TFV- 2”	50
Alimentadores de baja tensión en C.A. de tablero de combinación “TFV-2” a tablero principal “TFV-1”	54
Alimentadores de baja tensión en C.A. de tablero principal “TFV-1” a interconexión	56

Caída de tensión	58
Ilustraciones del proceso de ensamblaje de módulos	59
CAPITULO 5. CONCLUSIONES	67
Conclusiones	68
Referencias	69

Ilustración 1. Línea del tiempo CEBI Industrias México.....	13
Ilustración 2. Cambio de resistencia basada en la relación de I_{sc} y V_{oc}	32
Ilustración 3. Curva de I-V para un Módulo Fotovoltaico.....	32
Ilustración 4. Cambio de brecha de energía según el ancho de barrera	33
Ilustración 5. Densidad de corriente a concentración completa, en base al ancho de barrera.	33
Ilustración 6. Desempaque de materiales a utilizar.....	59
Ilustración 7. Ensamblaje de bases de módulos fotovoltaicos.	59
Ilustración 8. Fijación de bases	60
Ilustración 9. Montaje de los primeros módulos	60
Ilustración 10. Inicio de montaje en parte superior trasera de la planta	61
Ilustración 11. Fijación de los primeros módulos en parte superior	61
Ilustración 12. Continuación de fijación de módulos fotovoltaicos.....	62
Ilustración 13. Principios de montaje de paso de gato	62
Ilustración 14. Instalación completa de paso de gato.....	63
Ilustración 15. Bajada de cableado hacia la subestación	63
Ilustración 16 Inicio de peinado de cableado.....	64
Ilustración 17. Instalación de registro donde pasaran los cables hacia la subestación	64
Ilustración 18. Continuación de rascado para cableado subterránea	65
Ilustración 19 Peinado completo de cables.....	65
Ilustración 20 Se introducen cables a registro de bajada hacia la subestación	66
Ilustración 21 Conexion hacia inversores	66

Tabla 1. Características eléctricas del módulo fotovoltaico.....	37
Tabla 2. Características eléctricas del inversor	38
Tabla 3. Dimensionamiento de inversor 1.....	45
Tabla 4. Dimensionamiento de inversor 2.....	45
Tabla 5. Dimensionamiento de inversor 3.....	45
Tabla 6. Cálculo de conductores con ampacidad y caída de tensión en C.D. de inversor 1.	47
Tabla 7. Cálculo de conductores con ampacidad y caída de tensión en C.D. de inversor 2.	48
Tabla 8. Cálculo de conductores con ampacidad y caída de tensión en C.D. de inversor 3.....	49
Tabla 9. Cálculo de canalización para alimentadores en C.D. de inversores.....	50
Tabla 10. Calculo de conductores por ampacidad y caída de tensión en C.A. de inversor 1 a tablero de combinación	51
Tabla 11. Calculo de conductores por ampacidad y caída de tensión en C.A. de inversor 2 a tablero de combinación	52
Tabla 12. Calculo de conductores por ampacidad y caída de tensión en C.A. de inversor 3 a tablero de combinación	53
Tabla 13. Cálculo de canalización para alimentadores en C.A. de inversores a tablero a combinación.....	54
Tabla 14. Cálculo de conductores por ampacidad y caída de tensión en C.A. de tablero de combinación a tablero principal.....	55

Tabla 15. Cálculo de conductores por ampacidad y caída de tensión en C.A. de tablero principal a interconexión.....	57
Tabla 16. Caída de tensión del sistema, por sección.....	58

Resumen

En este documento se especifican los criterios para la correcta instalación de los módulos fotovoltaicos tomando en cuenta factores como la selección de conductores, protecciones, canalizaciones, así como normas de referencia, criterios de diseño y procedimientos de cálculo para la selección de los componentes del sistema eléctrico, llevado a cabo en la empresa CEBI Industrias México ubicada en Huamantla, los resultados para este proyecto fueron favorables para la empresa logrando el objetivo principal, suministro de energía en un sector de la planta logrando un cambio significativo en el sector financiero.

Abstract

This document specifies the criteria for the correct installation of photovoltaic modules, taking into account factors such as the selection of conductors, protections, conduits, as well as reference standards, design criteria and calculation procedures for the selection of the components of the electrical system, carried out in the company CEBI Industrias México located in Huamantla, The results for this project were favorable for the company, achieving the Main objective, power supply in a sector of the plant achieving a significant change in the financial sector.

Introducción

Una de las principales problemáticas dentro de las empresas se encuentra ubicada en el sector financiero, esto se debe al uso de maquinaria para sus distintos procesos, teniendo un alto consumo de energía eléctrica, la principal solución para esta problemática es el uso de energías alternativas.

A nivel mundial el nivel de consumo energético de ha incrementado. El aumento en el uso de energía eléctrica puede incrementarse en un 75% según el consejo mundial de energía, por esto mismo las energías alternativas son de gran interés mundial.

La generación de energía eléctrica a través del uso de paneles fotovoltaicos ha tenido excelentes resultados en el sector industrial gracias a sus avances tecnológicos disminuyendo considerablemente el gasto en el sector financiero.

El análisis para la instalación de una planta fotovoltaica sirve para conocer los pros y contras para ver si resulta conveniente y sustentable completar el suministro eléctrico con este tipo de generación para reducir el consumo de energía eléctrica, tomando en cuenta criterios de diseño para la selección de conductores, protecciones, procedimientos de cálculo y canalizaciones a utilizar.

CAPITULO1. CEBI
INDUSTRIAS MEXICO, S.A.
DE C.V

Datos de la empresa

Historia

CEBI fue fundada en 1976 en Luxemburgo, tiene 11 sitios de producción, 7 centros R&D, 1 centro de desarrollo de ensamblaje de líneas automáticas y 13 oficinas de ventas ubicados alrededor del mundo como:

- Brasil
- México
- Estados unidos
- Italia china
- España
- Suiza
- Francia
- Reino Unido
- Luxemburgo
- Alemania
- Republica checa
- Polonia

Línea del tiempo de CEBI Industrias México

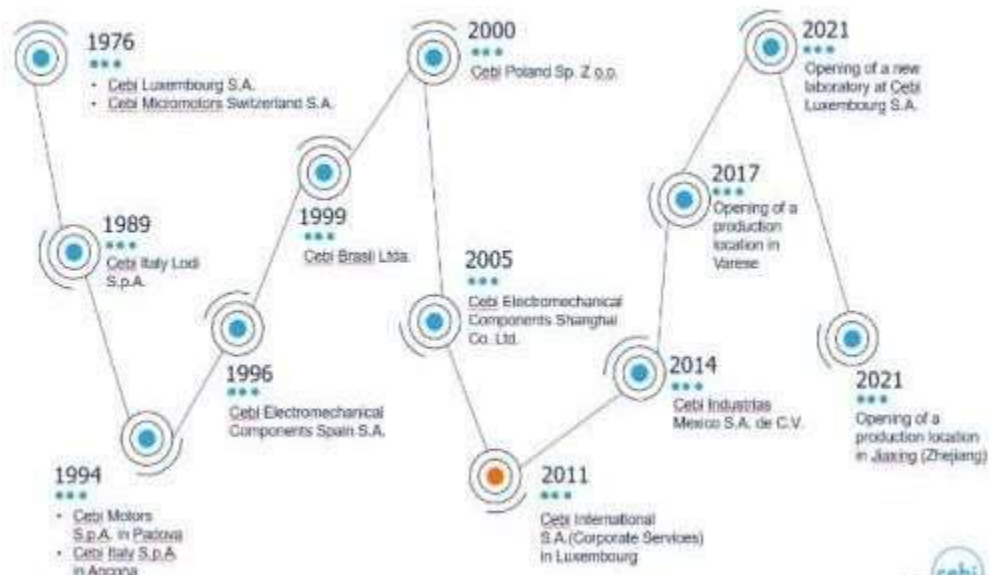


Ilustración 1. Línea del tiempo CEBI Industrias México.

Productos creados en la empresa

Sensores:

- Sensores de Temperatura de Agua, Diesel y Aceite
- Sensores de temperatura de culata
- Sensores de velocidad y posición
- Sensores de presencia de agua
- Sensores de temperatura del aire
- Sensores de nivel

Tanques y sistemas de lavado:

- Sistemas de lavado
- Tanques de combustible flexibles
- Tanques de expansión de refrigerante
- Depósitos de líquido de frenos

Bombas:

- Bombas de Circulación
- Bombas Lavadoras

Válvulas:

- Válvulas de Sobrepresión y Válvulas de Retención
- Válvulas Termostáticas

Switches:

- Interruptores de presión de aceite
- Interruptores de temperatura
- Presostatos diferenciales

Actuadores:

- Actuadores HVAC
- Actuadores de protección de luz
- Actuadores de nivelación de faros
- Persianas de parrilla activas
- Actuadores para puerta de combustible y módulo de carga electrónica

Sistema de cerrado:

- Pestillos de capó
- Pestillos de puerta trasera
- Sistema de cierre automático

Electrodomésticos:

- Sensores de temperatura
- Termostatos bimetálicos
- Termostatos capilares

Misión

Nuestra misión, en CEBI México es fabricar sustentablemente partes automotrices exteriores además de componentes de línea blanca, que exceden los requisitos y expectativas de calidad de todas las partes interesadas y de nuestros clientes

Visión

Queremos formar profesionales más exigentes, con mayor capacidad de análisis crítico y que sean capaces de generar ideas innovadoras para dar solución a los problemas contemporáneos.

Queremos tener un equipo que nos permita satisfacer a nuestros clientes mediante el desarrollo, la manufactura y el suministro a tiempo de autopartes de manera eficaz y eficiente, con una buena rentabilidad que sustenta la renovación tecnológica, el crecimiento del personal dentro de la organización y el respeto al medio ambiente.

Lo anterior para ser líderes internacionales en el diseño y la manufactura de componentes y sistemas para la industria automotriz, a través de la superación de los estándares de calidad y confiabilidad.

Ubicación

Cebi Industria México S.A de C.V se localiza en calle Huamantla 15 Ciudad Industrial Xicoténcatl II Huamantla, Tlaxcala, México. (Véase en la figura 1.9)

RFC: CIM140204JZ2

C.P: 90500 Ciudad: Huamantla Estado: Tlaxcala Teléfono: 2474725156, 2474725150

CAPITULO 2.

CARACTERISTICAS DEL

DESARROLLO DEL

PROYECTO

Problemas a resolver

La economía dentro de una empresa es prioridad, por lo cual se deben disminuir gastos excesivos en el sector energético, como principal objetivo es suministrar energía a una parte de la planta, llegando a la conclusión de que los módulos fotovoltaicos serian la mejor opción para suministrar esta energía de manera natural y así reduciendo gastos, considerando aun así gastos para la instalación y compra de los materiales.

Objetivos

General

Establecer el alcance, normas de referencia, criterios de diseño, procedimientos de cálculo, selección de conductores y canalizaciones utilizadas para el desarrollo y ejecución del proyecto **“Instalación de planta de generación fotovoltaica interconectada de 180KW”**

Específicos

- Evaluar la efectividad y del uso de módulos fotovoltaicos dentro de la empresa, tomando en cuenta cálculos de consumo, gastos, tiempo y mano de obra requerida para su buena colocación.
- Calcular el número de paneles, así como el tipo de panel más adecuado de acuerdo a las características de la zona, del mismo modo determinar, que tipo de inversor es el más conveniente para el sistema.
- Desarrollar los cálculos pertinentes en dimensiones de los inversores de corriente, alimentadores de baja tensión en DC, de módulos fotovoltaicos a inversores, al igual que los alimentadores de tensión en AC, de inversores a tablero de

combinación TFV-2, alimentación de baja tensión en CA. De tablero de combinación TFV-2 a tablero principal TFV-1, alimentación de baja tensión en CA, de tablero principal FTV-1 a interconexión y la caída de tensión.

- Incluir los criterios de diseño para toda la instalación.
- Uso de normas, códigos y estándares dentro del proyecto

Justificación

El consumo energético actual dentro de la empresa CEBI Industrias México es elevado en consideración a su uso diario de maquinaria para la inyección y ensamble de piezas, por lo que es necesario establecer estrategias de ahorro para el futuro crecimiento de la empresa.

El presente trabajo está enfocado para la colocación de paneles fotovoltaicos que suministraran líneas de ensamble dentro de la empresa y así disminuirán significativamente el consumo energético, solventando principalmente la problemática de tarifas altas.

La elaboración de este proyecto está definido en etapas, la primera consiste en el diseño de la red de generación de la electrificación de la planta en general, por medio de un sistema de celdas solares integrado a la red y montados sobre la estructura de la planta de forma estratégica para captar la mayor cantidad de energía que sea posible.

La mayor ventaja con la que se encuentra es que cercana a la zona no se cuenta con algún tipo de obstrucción de los rayos solares como sean: edificios, árboles o algún otro objeto que nos obstruya la recepción de energía fotovoltaica, al igual que una de las ventajas más fuertes encontradas es que la irradiancia detectada en la zona es bastante elevada reduciéndose ya muy tarde por lo que se considera una gran recepción durante gran parte del día.

Cronograma

ACTIVIDAD		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1. Ingeniería 1.1 Sembrado inicial 1.2 Aprobación del cliente 1.3 Ingeniería de detalle 1.4 Aprobación de ingeniería de detalle 1.5 Planos as-built	P															
	R															
2. Procura 2.1 Estructura 2.2 Módulos fotovoltaicos 2.3 Inversores 2.4 Materiales eléctricos en general 2.5 Tablero principal	P															
	R															
3. Instalación 3.1 Inicio de obra 3.2 Montaje de estructura 3.3 Montaje de paneles 3.4 Montaje de estructuras para inversores (Cebi) 3.5 Montaje de inversores 3.6 Canalización en DC 3.7 Cableado en DC 3.8 Canalización en AC 3.9 Cableado en AC	P															
	R															
4. Interconexión de pruebas 4.1 Interconexión 4.2 Prueba y arranque	P															
	R															
5. Gestión CFE 5.1 UVIE 5.2 Cambio de medidor 5.3 UIIE	P															
	R															
OBSERVACIONES																

CAPITULO 3. MARCO TEORICO

(Humberto Ramos y Rafael Luna, 2014)

Radiación

La radiación solar es reflejada, dispersada y absorbida por los diferentes elementos que constituyen la atmósfera. Estos elementos son: O₂, CO₂, O₃, N₂, H₂O y partículas de polvo.

La radiación solar que sufre dispersión y absorción es aquella que tiene una longitud de onda entre 0.29 y 2.5 μm , debido a que casi toda la radiación fuera de este intervalo es dispersada y absorbida.

Célula fotovoltaica

El tipo de célula fotovoltaica -también denominada célula fotoeléctrica o célula solar- más común es la célula de silicio cristalino. El silicio es un material semiconductor. Sus propiedades de conductividad eléctrica están situadas a medio camino entre los materiales conductores y los aislantes. Los átomos están formados, como sabemos, por un núcleo -constituido por protones y neutrones- y una serie de electrones situados en órbitas u orbitales a su alrededor. Los átomos de los diferentes elementos que existen en el universo se diferencian únicamente en el número de sus partículas constitutivas.

El número de electrones y la forma como estos se estructuran determina ciertas propiedades básicas del átomo; en particular, la configuración del último orbital -llamado orbital de valencia- explica cómo se comportan los átomos y cómo estos se combinan con otros para formar estructuras más o menos complejas. La configuración más estable del átomo es aquella en la que la capa u orbital de valencia posee ocho electrones. Es esta la configuración que caracteriza a los gases nobles (el neón, argón, xenón, entre otros), así llamados porque no se

combinan con otros átomos. El resto de los átomos se combinan entre sí, compartiendo o cediéndose electrones, para aproximarse a dicha configuración.

Efecto fotovoltaico

El efecto fotovoltaico se produce cuando el material de la celda solar (silicio u otro material semiconductor) absorbe parte de los fotones del sol. El fotón absorbido libera a un electrón que se encuentra en el interior de la celda. Ambos lados de la celda están conectados por un cable eléctrico, así que se genera una corriente eléctrica.

Desarrollo de las celdas solares

La evolución de las celdas solares ha permitido generar sistemas fotovoltaicos más eficientes, dentro de los acontecimientos relevantes para el descubrimiento y desarrollo de las Celdas Solares se destacan:

1839 E. Becquerel descubre el efecto fotovoltaico.

1905 A. Einstein publica un artículo con la explicación del efecto fotoeléctrico

1918 J. Czochralski desarrolló un método para el crecimiento de silicio.

1950's A principios de esta década se perfeccionó el método Czochralski para producir silicio monocristalino de alta pureza.

1954 D. Chapin, C. Fuller and G. Pearson desarrollaron la celda fotovoltaica de silicio en los Laboratorios Bell alcanzando eficiencias primero de 4% y después hasta del 11%.

1958 T. Mandelkorn de U.S. Signal Corps Laboratories, fabricante celdas solares de silicio tipo n en silicio tipo P más resistentes a la radiación para aplicaciones espaciales.

1960 Hoffman Electronics logran celdas con eficiencia de 14 %.

1962 Laboratorios Bell Lanza el primer satélite de telecomunicaciones, el Telstar con potencia de 14 W.

1964 Sharp Corporation Produce los primeros módulos fotovoltaicos de silicio.

1972 Francia Instala un sistema fotovoltaico basado en CdS en una escuela rural en Niger

1976 Los laboratorios RCA fabrican la primera celda solare de silicio amorfo

Sistema fotovoltaico conectado a la red

El origen de los SFCR se remonta a mediados de la década de los 70 en los Estados Unidos, con la elaboración, por parte de la Administración federal, delas primeras recomendaciones relativas al aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica en edificio, pronto surgieron los primeros proyectos demostrativos en edificios residenciales y comerciales, el primero del que tenemos noticia, en Arlington, Universidad de Texas, en 1978. El éxito inicial de estos proyectos, unido a un apoyo decidido por parte de la administración, dio lugar a un notable crecimiento de los SFCR.

Europa, por su parte, hubo de esperar hasta finales de la década de los 80 para albergar sus primeros SFCR en Alemania, Austria y Suiza caracterizada inicialmente por proyectos de demostración tecnológica, la situación ha ido evolucionando a lo largo de la década de los 90 en el sentido de incrementar tanto el número de realizaciones como el de países implicados.

Algunos datos representativos son:

Estados Unidos. Es el primer país del mundo en potencia fotovoltaica total instalada, con 74,8 MW a finales de 1996. Existen numerosos programas para el fomento de los SFCR promovidos por las administraciones federales, estatales y las compañías eléctricas. Las medidas

adoptadas van desde la subvención parcial de los sistemas fotovoltaicos hasta subvenciones a través de la tarificación, así como incentivos fiscales. Por otra parte, el gobierno federal lanzó, en junio de 1997, la llamada “Iniciativa del millón de tejados solares”, mediante la cual se pretende completar tal cantidad de sistemas fotovoltaicos y solares térmicos en edificios para el año 2010.

Japón, segundo país en cuanto a potencia fotovoltaica instalada (26 MW a finales de 1996), es hoy el primer país inversor en SFCR. En 1994 el gobierno lanzó el llamado “Programa de los 70.000 tejados”, orientado a la subvención parcial de SFCR en el sector doméstico. En este contexto se instalaron 20 MW en el periodo 1994-1996 y están previstos 37 MW —9.400 tejados— para 1997, 400 MW para el año 2000, y 4.600 MW para el 2010

Alemania. El “Programa de los 1.000 tejados fotovoltaicos”, de ámbito federal y estatal, supuso la instalación de 5,3 MW de SFCR en el periodo 1990-1993. En 1996, resultado de la combinación de diversas medidas favorecedoras, la demanda de estos sistemas se incrementó notablemente hasta situarse en 6 MW, manteniéndose la expansión del mercado en la actualidad (se prevé en 1997 un incremento en la potencia instalada de 10 MW). Existen programas en numerosos estados y ciudades (entre ellas las más importantes del país), relativos a la subvención de los sistemas en su fase inicial o a través de la tarificación, créditos especiales y beneficios fiscales.

Austria. Entre 1992 y 1995 el gobierno implementó el “Programa 200 kW de tejados fotovoltaicos”, al cual se han sumado además diversos edificios con programas propios de tarificación favorables a los SFCR.

Suiza. Con una capacidad total instalada de 8,1 MW a finales de 1996, la administración federal la incrementó hasta 50 MW en el año 2008. Entre otras medidas cabe destacar un

“Programa de 1.000 tejados fotovoltaicos”, de carácter privado, que ha supuesto la instalación de 3 MW en viviendas particulares, así como un programa demostrativo de instalación de 1 MW en centros educativos y diversas medidas de tarificación adoptadas por gobiernos regionales.

Holanda. A finales de 1996 existían 215 SFCR, con un total de 598 kW. El gobierno alcanzó, a través del “Plan 250 MW”, esta capacidad instalada en el año 2010 y pretende incrementarla en 1.000 MW para el 2020.

Australia. La construcción de la villa olímpica para los Juegos Olímpicos de Sydney 2000 Instaló 665 SFCR, con un mínimo de 1 kW por cada uno, en un proyecto promovido por la Administración y la compañía eléctrica local.

España. En 1996 con 13 MW totales instalados.

México. La edificación de la planta fotovoltaica más grande del país, con una generación de 2 mil 546 megawatts al día, a través de paneles solares, inició este miércoles sobre la carretera Mexicali-San Felipe. La empresa encargada de su construcción y operación será la mexicana Next Energy, con sede en Monterrey, Nuevo León, luego de haber ganado la licitación. Con este proyecto se pretende dar “soberanía energética a Baja California”, única entidad que no está conectada a la red nacional de energía, e incluirla costaría entre 2 mil 500 y 3 mil millones de dólares.

El cálculo preciso de dicha energía es un problema complejo, no sólo por su propia naturaleza la radiación solar y la temperatura ambiente son funciones del tiempo, cuya descripción matemática dista de ser sencilla, sino también por la dificultad inherente a la adquisición de algunos datos necesarios (la información relativa al sombreado, por ejemplo). Abordar “en detalle” este problema supone trabajar en una escala horaria de tiempos (casi 6.000

cálculos por año), utilizar modelos anisotrópicos para describir el comportamiento de la radiación difusa, y proceder a laboriosos levantamientos topográficos para determinar la duración y efecto de las sombras proyectadas por cualquier obstáculo circundante. El esfuerzo que, en su conjunto, esto representa, es difícilmente justificable para todas y cada una de las ya, actualmente, numerosas realizaciones concretas que componen esta aplicación de la tecnología fotovoltaica. En su lugar, ha ido tomando carta de costumbre el recurso a estimaciones groseras como, por ejemplo, la mera multiplicación de un valor de irradiación por otro de potencia pico, los cuales, por un lado, suelen conducir a estimaciones muy alejadas del comportamiento real de los sistemas y, por otro, no permiten evaluar el impacto de las características peculiares de cada uno de los elementos del sistema. En definitiva, tales estimaciones no permiten realizar ejercicio alguno de optimización y, en consecuencia, no tienen cabida en el marco de una práctica razonable de la ingeniería.

(Humberto Ramos y Rafael Luna, 2014)

Módulos fotovoltaicos

Es un módulo encargado de la producción de energía solar fotovoltaica transformando la energía solar en energía eléctrica en forma de corriente continua, están formados por una variedad de celdas que están relacionadas entre sí.

Los módulos fotovoltaicos tienen una vida útil de 25 años y están contruidos para soportar cualquier tipo de condiciones como las que se le dan al estar expuestos al aire libre y formar parte del sitio donde se encuentren, se pueden utilizar tanto en pequeñas como en extensas aplicaciones comerciales.

Estructura de un módulo fotovoltaico

La parte más importante de los módulos fotovoltaicos son las células fotovoltaicas, las células se encargan del proceso de transformación de la radiación solar en energía eléctrica.

Están creadas y encapsuladas con vidrio reforzado y algunas capas de metal de plástico que a su vez se refuerza creando un marco exterior con perfiles metálicos de aluminio.

Cubierta frontal: Tiene la función principal de proteger el módulo, ya que constantemente sufre los ataques de cambios atmosféricos, se utiliza vidrio templado ya que garantiza una buena protección y además es un gran transmisor de radiación solar.

Capas encapsuladas: Son las encargadas de la protección de las células solares y sus contactos.

Marco de apoyo: Es de mucha importancia que los paneles solares se construyan con materiales resistentes por su alta peligrosidad ya que están expuestos a climas atmosféricos fuertes.

El marco de apoyo normalmente es construido con materiales de aluminio, aunque también pueden usarse otros materiales distintos. El marco de apoyo es la parte más robusta que conforma el conjunto.

Protección posterior: Su misión consiste en proteger al módulo fotovoltaico de climas atmosféricos formando una barrera fuerte e inquebrantable contra la humedad que dichos climas proporcionan.

Tipos de módulos fotovoltaicos

El 90% de los módulos fotovoltaicos están contruidos con silicio, el silicio se obtiene en obleas que se unen para posteriormente formar los módulos fotovoltaicos.

De entre todos los materiales que se emplean para su fabricación, el silicio es sin duda el más importante.

La principal diferencia entre las placas fotovoltaicas es la pureza del silicio que se utiliza, es decir, entre más puro sea, mejor alineadas están las moléculas y estas a su vez mejor convierten la energía solar en electricidad.

A este respecto, se distinguen los paneles monocristalinos y los paneles policristalinos.

Paneles solares monocristalinos

Estas celdas son de color negro y bordes redondeados, destacan por estar contruidas con silicio de muy elevada pureza, siendo esta es la razón por la que este tipo de celdas son más eficientes.

Su eficiencia que puede alcanzar un 20%, siendo así apropiadas por su alto rendimiento en zonas donde la exposición solar es elevada.

La vida útil de esta clase de células es de alrededor de 25 años, sin embargo, según estudios, su capacidad de funcionar puede extenderse hasta los 50.

Como punto negativo tenemos los altos precios de células monocristalinas que son mucho mayores que las policristalinas.

Paneles policristalinos

Son más económicos pero en consecuencia menos eficientes, no obstante, su mayor ventaja respecto a los paneles monocristalinos es que el proceso de producción es de menor coste.

También, utiliza menos silicio y por esta razón funciona a un máximo de 16%, por lo tanto, al estar expuestos a grandes temperaturas su eficiencia es menor.

(Cumbre pueblos, 2019)

Parámetros y características

Corriente de Corto Circuito (I_{sh}) La corriente de corto circuito ocurre cuando la impedancia es aproximadamente cero (cortocircuito) y se calcula cuando el voltaje en el módulo PV es cero voltios, la corriente de corto circuito ocurre al principio de la polarización de la celda y representa el valor máximo de corriente en el cuadrante de potencia (IV), la corriente de corto circuito es la corriente total producida en la celda solar mediante irradiación solar; es decir, cuando la celda recibe la mayor excitación de fotones en su estructura interna.

Voltaje de Circuito Abierto (V_{oc}) El voltaje de circuito abierto (V_{oc}) es el voltaje que se mide a través del panel cuando no pasa corriente por el panel; es decir, sin carga conectada en la salida. El voltaje V_{oc} se define igualmente como el voltaje máximo en el cuadrante de potencia (I-V).

Potencia Máxima (P_{max}) Desde la curva característica (I-V) es fácil calcular la potencia máxima que desarrolla el módulo fotovoltaico, la potencia en los puntos I_{sc} y V_{oc} es cero Watts, si utilizamos la ecuación $P = IV$. La potencia máxima ocurre entre estos dos puntos, cuando la corriente y el voltaje tienen un valor de I_{MP} y V_{MP} , respectivamente.

Inclinación y orientación

Los módulos FV están inclinados para colectar mayor radiación solar. La cantidad óptima de energía se colecta cuando el módulo está inclinado en el mismo ángulo que el ángulo de latitud.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que el ángulo mínimo de inclinación debería ser de por lo menos 15° para asegurar que el agua de las lluvias drene fácilmente, lavando el polvo al mismo tiempo. A latitudes mayores ($> 30^\circ$ Norte o Sur), los módulos a veces están más inclinados sobre el ángulo de latitud para tratar de nivelar las fluctuaciones por estaciones.

Deben estar inclinados en la dirección correcta. Esto significa: en el hemisferio sur, los módulos están mirando exactamente hacia el Norte y en el hemisferio norte, los módulos están mirando hacia el Sur. Para saber dónde se encuentra el Norte y el Sur, se debe utilizar una brújula.

Por supuesto, algunas veces hay circunstancias locales que impiden la correcta colocación de los módulos. Por ejemplo, los módulos deben acoplarse sobre un techo inclinado que no tiene la inclinación adecuada y que no está mirando exactamente al sol.

Curvas características

Una de las características principales que describen un módulo fotovoltaico es la relación corriente- voltaje (I-V).

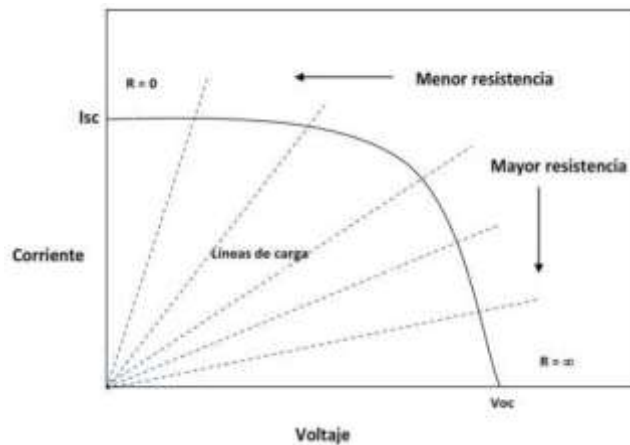


Ilustración 2. Cambio de resistencia basada en la relación de I_{sc} y V_{oc} .

La temperatura de las celdas y las cargas eléctricas afectan el comportamiento de la curva I-V. De este conocimiento depende el buen diseño, instalación y evaluación de sistemas fotovoltaicos y sus diferentes aplicaciones.

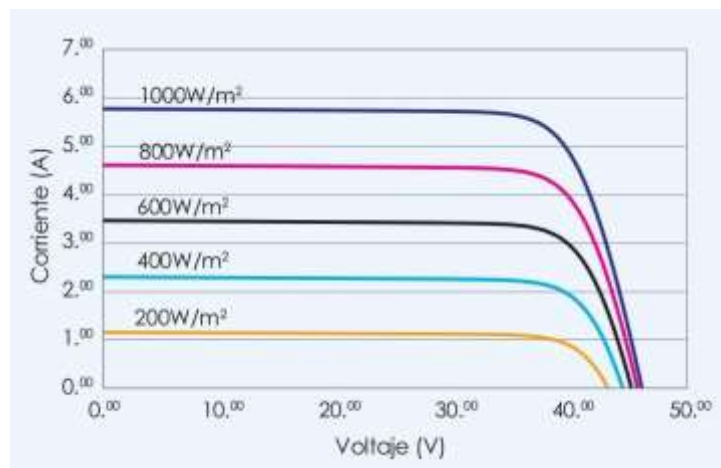


Ilustración 3. Curva de I-V para un Módulo Fotovoltaico

Las curvas de I-V permiten determinar la vida útil delo Modulo Fotovoltaico, ya que en cuanto pierda la eficiencia el Modulo, la potencia generada se verá reflejada en la implementación del sistema fotovoltaico.

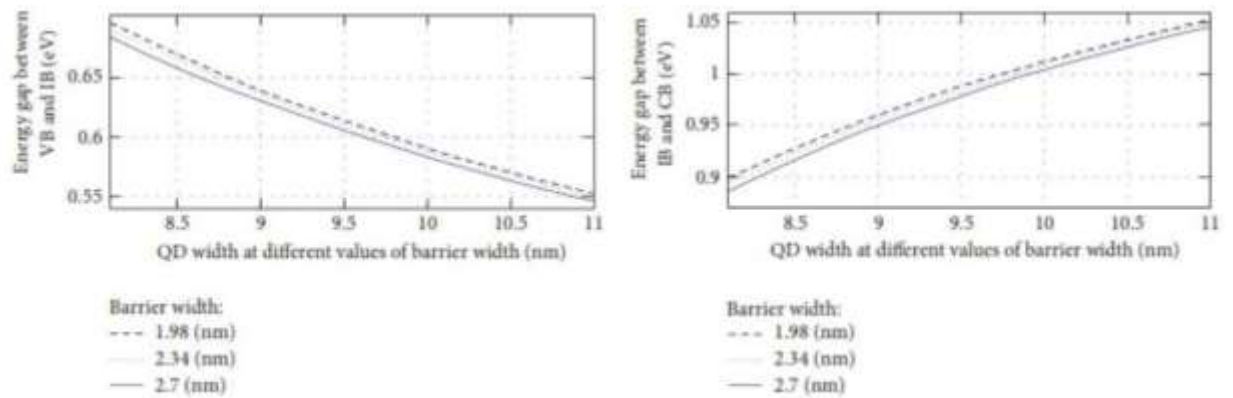


Ilustración 4. Cambio de brecha de energía según el ancho de barrera

En la ilustración 4 se puede apreciar el cambio de brecha de energía, en base al cambio en el ancho de barrera.

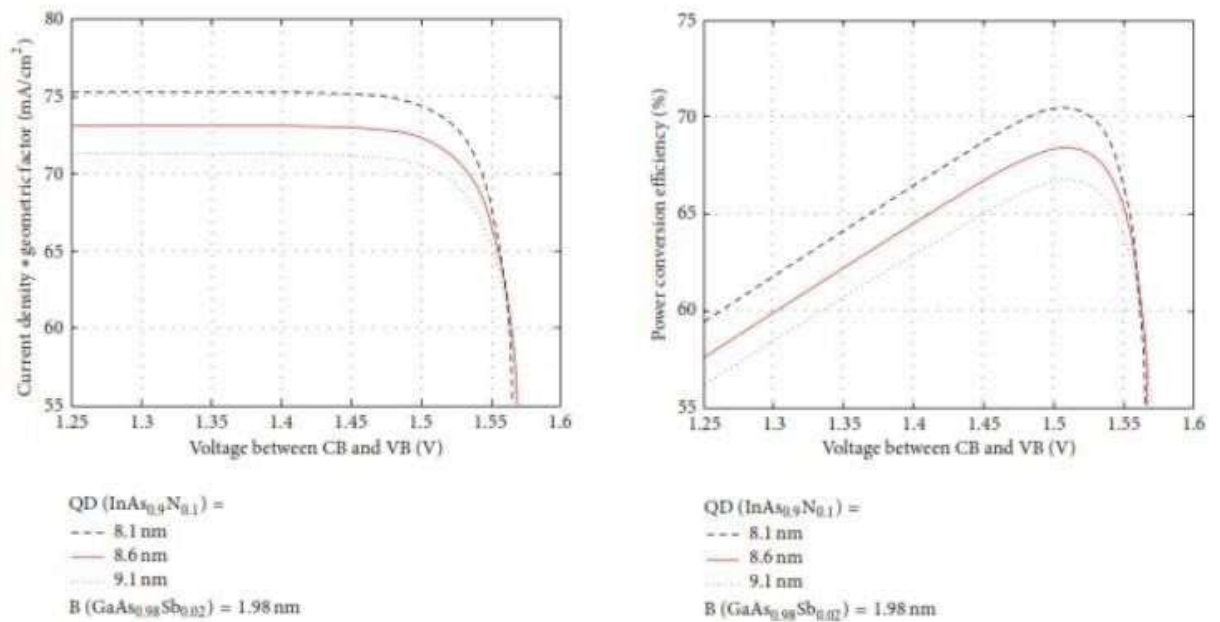


Ilustración 5. Densidad de corriente a concentración completa, en base al ancho de barrera.

En la ilustración 5 se puede apreciar la densidad de corriente a concentración completa, la eficiencia de conversión de energía, con la variación de la anchura del punto y ancho de barrera cuántica constante.

(SOLFIUM, 2024)

Códigos normas y estándares

Las siguientes especificaciones técnicas, códigos, normas y estándares nacionales e internacionales serán utilizadas para el desarrollo de la memoria de cálculo.

Normas oficiales mexicanas, normas mexicanas y estándares nacionales

NOM-001-SEDE-2012

Instalaciones eléctricas.

Normas y estándares internacionales

NEC 2023

National Electrical Code 2023

NFPA 70 2023

National Fire Protection Association 2023

(SOLFIUM, 2024)

Definiciones

Los siguientes términos son aplicables a este documento salvo que se indique lo contrario:

- Acometida: punto desde donde la compañía suministradora establece de energía eléctrica al servicio.

- Alimentador: todos los conductores de un circuito entre el equipo de acometida, un sistema derivado separado u otra fuente de alimentación y el dispositivo final de protección contra sobrecorriente del circuito derivado.
- Ampacidad: corriente máxima que un conductor puede transportar continuamente, bajo las condiciones de uso, sin exceder su rango de temperatura.
- Sobrecorriente: cualquier corriente que supere la corriente nominal de los equipos o ampacidad de un conductor.
- Canalización: canal cerrado de materiales mecánicos o no metálicos, expresamente diseñado para contener alambres, cables o barras conductoras, estas incluyen, pero no se limitan, a tubería conduit rígido metálico, tubería conduit no metálica, tubería conduit metálica semipesada, tubería conduit flexible, tuberías eléctricas metálicas, canalizaciones subterráneas, canaletas, ductos y electroductos.
- Tubería subterránea: es aquella colocada bajo la superficie y dentro del terreno natural. Se considera subterránea aun cuando la superficie del terreno natural dentro de la cual está colocada sea cubierta por un piso artificial.
- Tubería visible: es aquella colocada de modo que tal que su recorrido se encuentra permanente a la vista. Las que corran dentro de ductos o trincheras destinadas exclusivamente a contener tuberías, también se consideran visibles.
- Sistema fotovoltaico: es el conjunto de equipos (módulos fotovoltaicos, inversores y conductores) que sirven para aprovechar la energía solar y convertirla en electricidad.

- Inversor: equipo destinado a la conversión de corriente directa proveniente de los módulos fotovoltaicos a corriente alterna para la distribución de cargas.

Criterios de diseño

En este apartado se dan las consideraciones de diseño para cumplir las normativas aplicables en este proyecto.

Preliminares

El sistema eléctrico de acometida por parte de la compañía, suministradora en media tensión, es 3F-3H, 60Hz, 34.5Kv. El sistema de distribución en baja tensión, del transformador hacia las cargas, es el típicamente conocido 3F-4H, 60Hz, 480/277V, con el conductor de puesta a tierra conectado sólidamente al borde de la puesta a tierra del transformador.

Potencia instalada

El sistema fotovoltaico cuenta con 360 módulos LONGI (LR5-72HTH-580M) de 580 Wp, con un total de 208.80 kWp, en corriente continua y 3 inversores SOLIS (Solis-60K-HV) de 60 Kw, con un total de 180Kw, en corriente alterna.

Los inversores deberán estar instalados al suministro de 60KVA, con factor de potencia de 0.99.

Características de módulos fotovoltaicos

El sistema de corriente directa cuenta con 360 módulos monocristalinos de la marca LONGI, modelo LR5-72HTH-580M, de una potencia de 580Wp, con características descritas en la siguiente tabla:

Electrical Characteristics		
Module Type	LRS-72HTH-580M	
Testing Condition	STC	NOCT
Maximum Power (P _{max} /W)	580	433
Open Circuit Voltage (V _{oc} /V)	52.21	49.02
Short Circuit Current (I _{sc} /A)	14.20	11.47
Voltage at Maximum Power (V _{mp} /V)	44.06	40.20
Current at Maximum Power (I _{mp} /A)	13.17	10.78
Module Efficiency(%)	22.5	

Tabla 1. Características eléctricas del módulo fotovoltaico.

Características de inversores

El sistema de corriente alterna consta de 3 inversores trifasicos de la masrca SOLIS (Solis-60K-HV), con una potencia aparente de 60 KVA.

El inversor deberá de contar con un desconectador en D.C. integrado para la rápida desconexión de las series de módulos conectados a él, además, deberá de ser ajustado a un factor de potencia de 0.99, esto a 480 V, de tal manera que nunca exceda dicha potencia suministrada al sistema.

(LONGI, 2024)

Las características del inveror son descritas en la siguiente tabla:

Model Name	Solis-60K-HV
Input DC	
Max. input voltage	1100 V
Rated voltage	720 V
Start-up voltage	200 V
MPPT voltage range	200-1000 V
Max. input current	4*28.5 A
Max. short circuit current	4*44.5 A
MPPT number/Max. input strings number	4/12
Output AC	
Rated output power	60 kW
Max. apparent output power	66 kVA
Max. output power	66 kW
Rated grid voltage	3/PE, 480 V
Rated grid frequency	50 Hz / 60 Hz
Rated grid output current	72.2 A
Max. output current	80 A
Power Factor	>0.99 (0.8 leading - 0.8 lagging)
THDi	<3%
DC injection current	<0.5% In

Tabla 2. Características eléctricas del inversor.

(EURISA, 2023)

Estructura de los Cables de baja tensión para la corriente directa

Los conductores de baja tensión constan de tres componentes principales: el conductor en sí, generalmente compuesto por hilos de cobre o aluminio entrelazados, responsables de transportar la corriente eléctrica. El aislamiento, que rodea al conductor, evita fugas de corriente y asegura la seguridad de la instalación. Además, estos cables suelen contar con una capa protectora que ofrece resistencia mecánica y protección contra factores externos.

Variedades de Cables de Baja Tensión

Estos cables están disponibles en configuraciones de un solo núcleo, dos núcleos, tres núcleos y cuatro núcleos. Los cables monoconductores pueden adaptarse para líneas monofásicas o trifásicas según sea necesario, mientras que los cables de dos conductores son ideales para líneas monofásicas. Los de tres y cuatro conductores son utilizados en líneas trifásicas de tres y cuatro hilos, respectivamente. Las secciones transversales más comunes incluyen 10, 16, 25, 35, 50, 70, 95, 120, 150, 185, 240 mm, etc.

Cables de Alimentación:

Utilizados en el ámbito industrial para suministrar energía a maquinaria y equipos de gran envergadura, garantizando un flujo constante de electricidad.

Alambres y Cables de Uso General:

Empleados principalmente en conexiones eléctricas domésticas, transmisión de datos, accesorios informáticos y electrónica de consumo, proporcionando energía eléctrica confiable en hogares y oficinas.

Cables de Comunicación:

Utilizados en sistemas de telecomunicaciones, telefonía, máquinas expendedoras de billetes y equipos de control de puertas automáticas, desempeñan un papel crucial en la transmisión de señales y datos de manera eficiente y segura.

Tubería visible

Cuando la trayectoria de los alimentadores sea área visible y el exterior, la tubería deberá ser conduit metálica galvanizada tipo IMC (pared gruesa), o cualquier aprobada para el alojamiento de conductores eléctricos y para instalación en lugares expuestos a cambios climáticos y a daño mecánico.

Tubería no visible

Cuando la trayectoria de los alimentadores sea subterránea y la tubería deberá ser conduit de policloruro de vinilo (PVC) uso pesado, o cualquier aprobada para el alojamiento de conductores eléctricos y para instalación de manera subterránea y en lugares expuestos a cambios climáticos.

Charola portacable

La charola a instalar será charola tipo escalera, con tapa donde se especifique, fabricada en aluminio, o cualquier otra indicada para ser instalada a lugares expuestos a cambios climáticos.

El ancho de la charola será determinado de acuerdo con lo establecido en el artículo 392 de la NOM-001-SEDE-2012 y del Nacional Electrical Code 2023.

Se debe garantizar la continuidad de puesta a tierra por medio de bonding jumpers entre las uniones de la charola a lo largo de la trayectoria y esta podría ser utilizada como conductor de puesta a tierra, como lo permite el artículo 392-60.

Identificación de conductores

De acuerdo a la tensión nominal de operación del sistema (480/277V), el código de colores para la identificación de los conductores es la siguiente:

- Café – Fase A
- Naranja – Fase B
- Amarillo – Fase C
- Gris – Conductor puesto a tierra (neutro)
- Verde, verde/amarillo o desnudo – Conductor de puesta a tierra

Se permitirá utilizar cables con forro del mismo color realizando la identificación mediante el uso de la cinta aislante con el código de colores previamente comentado.

(CFE, 2012)

CAPITULO 4. PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE DATOS E INSTALACIÓN DE LOS MÓDULOS

Para la obtención del tipo de cable y calibre se tomaron en cuenta los criterios dados por la “NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEDE-2012, INSTALACIONES ELECTRICAS (UTILIZACION) INDICE DEL CONTENIDO”

Conductores de baja tensión para la corriente directa

Los conductores para alimentadores de baja tensión en corriente directa a instalar deberán ser de cobre suave clase 5, monopolar, con aislante de polietileno de cadena cruzada (XLPE) y cubierta de polietileno de cadena cruzada (XLPE), resistente a la intemperie y a la luz solar, con características de resistencia a la flama, baja emisión de humos y sin contenido de halógenos, temperatura máxima de conductor de 90°C, para 1.8 Kv.

El cableado puede ser instalado de manera subterránea en tubería de policloruro de vinilo (PVC) o polietileno de alta densidad (HDPE); de manera visible, en tubería conduit metálica o en charola portacables, siempre y cuando el conductor este aprobado para su uso en charola (marca CT = Cable Tray) y para poder estar expuesto directamente a la luz solar (marca SR = Sunlight Resistance).

Los conductores destinados para la puesta a tierra serán de cobre temple suave desnudo. Se permitirá que estos conductores de puesta a tierra, que sean alejados en tuberías conduit metálicas o charolas portacables, tengan aislamiento igual de los conductores de fuerza, con la identificación de acuerdo con la especificación de colores.

Conductores de baja tensión para corriente alterna

Los conductores para alimentadores de baja tensión en corriente alterna a instalar deberán de ser de aleación de aluminio AA-8000, monopolares, con aislamiento termofijo de polietileno de cadena cruzada (XLPE), resistente a la intemperie y a la luz solar, con características de no

propagación de incendio, baja emisión de humos y bajo contenido de gas ácido, temperatura máxima del conductor de 90 °C, para 0.6Kv.

El cableado puede ser instalado de manera subterránea en tubería de policloruro de vinilo (PVP) o polietileno de alta intensidad (HDPE); de manera visible, en tubería conduit metálica o en charola portacables, siempre y cuando el conductor este aprobado para su uso en charola (marca CT = Cable Tray) y para poder estar expuesto directamente a la luz solar (marca SR = Sunlight Resistance).

Los conductores destinados para la puesta a tierra serán de cobre temple suave desnudo. Se permitirá que estos conductores de puesta a tierra, que sean alojados en tuberías conduit metálicas o charolas portacables, tengan aislamientos igual al de los conductores de fuerza, con la identificación de acuerdo con la especificación de colores.

Procedimientos de cálculo

En las siguientes secciones son mostrados los resultados de los cálculos que hice en colaboración con la empresa Selfium de dimensionamiento de equipos, conductores y protecciones del sistema.

Dimensionamiento de inversores de corriente

El dimensionamiento de los inversores a emplear es realizado de acuerdo con las características eléctricas de los equipos, resultando en el arreglo de series mostrado en las tablas siguientes:

Inversor 1 (Solis-60K-HV)						
No. Paneles por serie	No. de serie	MPPT	Potencia (W)	Vmp (V)	Voc (V)	Isc (A)
16	1	1	9280	692.31	894.15	14.2
16	2	1	9280	692.31	894.15	14.2
17	3	2	9860	735.58	950.04	14.2
17	4	2	9860	735.58	950.04	14.2
17	5	3	9860	735.58	950.04	14.2
17	6	3	9860	735.58	950.04	14.2
17	7	4	9860	735.58	950.04	14.2
17	8	4	9860	735.58	950.04	14.2
1.34	Total		77720	692.31	950.04	113.6
1.3 Radio DC/AC						

Tabla 3. Dimensionamiento de inversor 1.

Inversor 2 (Solis-60K-HV)						
No. Paneles por serie	No. de serie	MPPT	Potencia (W)	Vmp (V)	Voc (V)	Isc (A)
17	1	1	9280	692.31	894.15	14.2
17	2	1	9280	692.31	894.15	14.2
17	3	2	9860	735.58	950.04	14.2
17	4	2	9860	735.58	950.04	14.2
17	5	3	9860	735.58	950.04	14.2
17	6	3	9860	735.58	950.04	14.2
17	7	4	9860	735.58	950.04	14.2
1.34	Total		69020	735.58	950.04	99.4
1.3	Radio DC/AC					

Tabla 4. Dimensionamiento de inversor 2.

Inversor 3 (Solis-60K-HV)						
No. Paneles por serie	No. de serie	MPPT	Potencia (W)	Vmp (V)	Voc (V)	Isc (A)
15	1	1	8700	649.04	838.27	14.2
15	2	1	8700	649.04	838.27	14.2
15	3	2	8700	649.04	838.27	14.2
15	4	2	8700	649.04	838.27	14.2
15	5	3	8700	649.04	838.27	14.2
15	6	3	8700	649.04	838.27	14.2
17	7	4	9860	735.58	950.04	14.2
1.07	Total		62060	649.04	950.04	99.4
1.03	Radio DC/AC					

Tabla 5. Dimensionamiento de inversor 3.

Alimentadores de baja tensión en C.D. de módulos fotovoltaicos a inversores

El cálculo de los conductores de C.D. por ampacidad y caída de tensión, son realizadas de acuerdo a los artículos 310, 392 y 690 de la NOM-001-SEDE-2012, resultando en conductores calibre 6 mm², equivalente a 10 AWG, en nomenclatura americana y conductores de puesta a tierra calibre 6 AWG para todos los inversores. La caída de tensión varía con respecto a la distancia y las características propias del conductor.

Dichos conductores serán soportados en charola de escalera, con tapa, instalada en una sola capa, sin espacio entre ellos y seleccionada para no exceder el 60% de la ampacidad nominal del cable, de acuerdo al artículo 392; el ancho será variable de acuerdo al número de conductores a soportar a lo largo de la trayectoria.

Todos los inversores contarán con un medio de desconexión en la techumbre, compuesto por gabinetes tipo CRN de 500 x 500 x 250 mm, IP66, o similar, que contendrán en su interior interruptores de C.D. de 2x25 A, 1000 V de tensión de operación y capacidad interruptiva de 1.5 KA, en conjunto con protección contra sobretensiones para 1000 Vc.d. de operación continua y 18 KA de descarga nominal; para acomodo específico de los equipos, ver diagrama unifilar (DUN) y planos constructivos de canalizaciones (CGN).

Los resultados del cálculo se presentan en las siguientes tablas:

Inversor 1 (Solis-60K-HV)				
Cálculo de cableado eléctrico por ampacidad				
Datos			Resultados	
Icc =	14.2		I _{max} . Con facts. De uso =	30.82 A
Hilos por fase =	1		I _{max} . X 125 % =	22.19 A
Ampacidad =	72 A		I _{corr} . Max. =	30.82 A
F. temperatura =	0.96		Calibre de cable =	6 mm ²
F. ampacidad =	0.6		Puesta a tierra =	6 AWG
F.D. =	1.25		Protección =	25 A
Max. Conductores en tubería =	N/A			
Temp. Ambiente max. Hist. =	32.80 °C			
Dist. Techo a base de tubo =	NO APLICA			
Temp. Ambiente ajustada =	32.80 °C			
Material de conductor =	Cobre			
Temp. Nom. Conductores =	90 °C			
I _{max} . =	17.75 A			
Cálculo de conductores por caída de tensión				
I _{nom} . =	13.17			
Hilos por fase =	1			
Resistencia =	4.4307 Ω/km		Distancia	ΔU (V) =
Serie 1 =	692.31 V	String 1 =	96	1.618
Serie 2 =	692.31 V	String 2 =	105	1.77
Serie 3 =	735.58 V	String 3 =	119	1.888
Serie 4 =	735.58 V	String 4 =	130	2.063
Serie 5 =	735.58 V	String 4 =	140	2.221
Serie 6 =	735.58 V	String 4 =	151	2.396
Serie 7 =	735.58 V	String 4 =	146	2.316
Serie 8 =	735.58 V	String 4 =	159	2.523
Calibre de cable =	6 mm ²			
Puesta a tierra =	6 AWG			
Cálculo de canalizaciones - Charola tipo escalera, con tapa				
Calibre de conductor =	6 mm ²	Ancho requerido =	107.07 mm	
Diámetro del conductor =	6.40 mm	Peralte requerido =	6.40 mm	
Calibre de puesta a tierra =	6 AWG	Ancho útil de charola =	228.6 mm	
Diámetro de puesta a tierra =	4.67 mm	Peralte de charola =	83.5 mm	
Series al inversor =	8			
Total de cables =	16 unidades + 1 tierra			

Tabla 6. Cálculo de conductores con ampacidad y caída de tensión en C.D. de inversor 1.

Inversor 2 (Solis-60K-HV)				
Cálculo de cableado eléctrico por ampacidad				
Datos			Resultados	
Icc =	14.2		I _{max} , Con facts. De uso =	30.82 A
Hilos por fase =	1		I _{max} , X 125 % =	22.19 A
Ampacidad =	72 A		I _{corr} , Max. =	30.82 A
F. temperatura =	0.96		Calibre de cable =	6 mm ²
F. ampacidad =	0.6		Puesta a tierra =	6 AWG
F.D. =	1.25		Protección =	25 A
Max. Conductores en tubería =	N/A			
Temp. Ambiente max. Hist. =	32.80 °C			
Dist. Techo a base de tubo =	NO APLICA			
Temp. Ambiente ajustada =	32.80 °C			
Material de conductor =	Cobre			
Temp. Nom. Conductores =	90 °C			
I _{max} =	17.75 A			
Cálculo de conductores por caída de tensión				
I _{nom} =	13.17			
Hilos por fase =	1			
Resistencia =	4.4307 Ω/km		Distancia	ΔU (V) =
Serie 1 =	692.31 V		String 1 =	96 1.618
Serie 2 =	692.31 V		String 2 =	105 1.77
Serie 3 =	735.58 V		String 3 =	119 1.888
Serie 4 =	735.58 V		String 4 =	130 2.063
Serie 5 =	735.58 V		String 4 =	140 2.221
Serie 6 =	735.58 V		String 4 =	151 2.396
Serie 7 =	735.58 V		String 4 =	146 2.316
Serie 8 =	735.58 V		String 4 =	159 2.523
Calibre de cable =	6 mm ²			
Puesta a tierra =	6 AWG			
Cálculo de canalizaciones - Charola tipo escalera, con tapa				
Calibre de conductor =	6 mm ²		Ancho requerido =	98.94 mm
Diámetro del conductor =	6.40 mm		Peralte requerido =	6.4 mm
Calibre de puesta a tierra =	6 AWG		Ancho útil de charola =	228.6 mm
Diámetro de puesta a tierra =	4.67 mm		Peralte de charola =	83.5 mm
Serie al inversor =	8			
Total de cables =	16 unidades + 1 tierra			

Tabla 7. Cálculo de conductores con ampacidad y caída de tensión en C.D. de inversor 2.

Inversor 3 (Solis-60K-HV)					
Cálculo de cableado eléctrico por ampacidad					
Datos			Resultados		
Icc =	14.2		I _{max} . Con facts. De uso =	30.82 A	
Hilos por fase =	1		I _{max} . X 125 % =	22.19 A	
Ampacidad =	72 A		I _{corr} . Max. =	30.82 A	
F. temperatura =	0.96		Calibre de cable =	6 mm ²	
F. ampacidad =	0.6		Puesta a tierra =	6 AWG	
F.D. =	1.25		Protección =	25 A	
Max. Conductores en tubería =	N/A				
Temp. Ambiente max. Hist. =	32.80 °C				
Dist. Techo a base de tubo =	NO APLICA				
Temp. Ambiente ajustada =	32.80 °C				
Material de conductor =	Cobre				
Temp. Nom. Conductores =	90 °C				
I _{max} . =	17.75 A				
Cálculo de conductores por caída de tensión					
I _{nom} . =	13.17				
Hilos por fase =	1				
Resistencia =	4.4307 Ω/km		Distancia	ΔU (V) =	
Serie 1 =	692.31 V		String 1 =	96	1.618
Serie 2 =	692.31 V		String 2 =	105	1.77
Serie 3 =	735.58 V		String 3 =	119	1.888
Serie 4 =	735.58 V		String 4 =	130	2.063
Serie 5 =	735.58 V		String 4 =	140	2.221
Serie 6 =	735.58 V		String 4 =	151	2.396
Serie 7 =	735.58 V		String 4 =	146	2.316
Serie 8 =	735.58 V		String 4 =	159	2.523
Calibre de cable =	6 mm ²				
Puesta a tierra =	6 AWG				
Cálculo de canalizaciones - Charola tipo escalera, con tapa					
Calibre de conductor =	6 mm ²		Ancho requerido =	94.27 mm	
Diámetro del conductor =	6.40 mm		Peralte requerido =	6.4 mm	
Calibre de puesta a tierra =	6 AWG		Ancho útil de charola =	228.6 mm	
Diámetro de puesta a tierra =	4.67 mm		Peralte de charola =	83.5 mm	
Series al inversor =	8				
Total de cables =	16 unidades + 1 tierra				

Tabla 8. Cálculo de conductores con ampacidad y caída de tensión en C.D. de inversor 3.

Cálculo de canalizaciones = Charola tipo escalera, con tapa, cables en una sola capa, sin separación (2 inversores)			
Calibre de conductor =	6 mm ²	Ancho requerido =	192 mm
Diámetro del conductor =	6.4 mm	Peralte requerido =	6.4 mm
Calibre de puesta a tierra =	6 AWG	Ancho útil de la charola =	228.6 mm
Diámetro de puesta a tierra =	4.67 mm	Peralte útil de charola =	83.5 mm
Series al inversor =	22		
Total de cables =	44 unidades + 4 tierras		

Cálculo de canalizaciones = Charola tipo escalera, con tapa, cables en una sola capa, sin separación (3 inversores)			
Calibre de conductor =	6 mm ²	Ancho requerido =	300.28 mm
Diámetro del conductor =	6.4 mm	Peralte requerido =	6.4 mm
Calibre de puesta a tierra =	6 AWG	Ancho útil de la charola =	406.4 mm
Diámetro de puesta a tierra =	4.67 mm	Peralte útil de charola =	83.5 mm
Series al inversor =	22		
Total de cables =	44 unidades + 4 tierras		

Tabla 9. Cálculo de canalización para alimentadores en C.D. de inversores.

Alimentadores de baja tensión en C.A. de inversores a tablero de combinación “TFV-2”

El cálculo de conductores por ampacidad y caída de tensión para los alimentadores de C.A. de los inversores hacia el tablero fotovoltaico es realizado con base en los artículos 240, 310 y 392 de la NOM-001-SEDE-2012, resultando 1 conductor de aluminio calibre 1/0 AWG por fase y 1 conductor de cobre calibre 4 AWG para el conductor de puesta a tierra, para cada inversor.

Los conductores serán alojados en charola tipo escalera, sin tapa, instalados en una sola capa y respetando una separación entre ellos no menor al diámetro del calibre del cable más grande instalado; la ampacidad será corregida por factores de temperatura, de acuerdo a las tablas del artículo 310.

El tablero que concentrará la energía generada por el sistema fotovoltaico será un tablero eléctrico auto soportado NBAR 1250, de la marca BTICINO o similar, con bus de 400 A o

mayor, e interruptor termomagnético principal de 3x320 A, 690 V de tensión máxima de operación y capacidad interruptiva de 25 KA a 480 Vc.a., que contendrá en su interior tres interruptores termomagnéticos de 3x100 A,

690 de tensión máxima de operación y capacidad interruptiva de 25 KA a 480 Vc.a., siendo un interruptor para cada inversor.

Los resultados del cálculo se presentan en la siguiente tabla:

Inversor 1 (Solis-50K-HV)			
Cálculo de conductores por ampacidad			
Datos		Resultados	
Imax. =	72.2 A	Imax. Con facts. De uso =	94.01 A
Hilos por fase =	1	Cálculo de ITM (Imax. * 125%)	90.25 A
Ampacidad de cond. =	205 A	Icorr. Max. =	94.01 A
F. temperatura =	0.96	Calibre de conductor =	1/0
F. ampacidad =	1	Puesta a tierra =	4 AWG
F.D. =	1.25	Protección contra sobrecorriente =	100 A
Max. Conductores en tubería =	N/A		
Temp. Ambiente max. Hist. =	32.80 °C		
Dist. Techo a base de tubo =	NO APLICA	La corriente corregida máxima en el circuito es de 94.01 A, la cual será transportada por 1 conductor(es) 1/0 AWG por fase, el cual tiene una ampacidad de 205 A a 90°C, será protegido con un ITM de 100 A, cumpliendo con lo requerido por la NOM-001-SEDE-2012	
Temp. Ambiente ajustada =	32.80 °C		
Material de conductor =	Aluminio		
Temp. Nom. Conductores =	90 °C		
Cálculo de conductores por caída de tensión			
Inom. =	72.2 A	NCT =	0.183
Hilos por fase =	1		
Impedancia eficaz (Ze) =	0.7034 Ω/km		
L =	10 m		
Voltaje =	480 V		
Calibre de cable =	1/0 AWG		
Factor de potencia =	0.99		
RL =	0.69		
XL =	0.144		
Cálculo de canalizaciones - Charola tipo escalera, sin tapa			
Calibre de conductor =	1/0 AWG	Ancho requerido =	63.88 mm
Diámetro del conductor =	11.6 mm	Peralte requerido =	11.6 mm
Calibre de puesta a tierra =	4 AWG	Ancho útil de charola =	101.6 mm
Diámetro de puesta a tierra =	5.88 mm	Peralte útil de charola =	82.5 mm
Número de fases =	3		
Total de cables =	3 + 1 unidades		

Tabla 10. Cálculo de conductores por ampacidad y caída de tensión en C.A. de inversor 1 a tablero de combinación.

Inversor 2 (Solis-60K-HV)			
Calculo de conductores por ampacidad			
Datos		Resultados	
I _{max} =	72.2 A	I _{max} Con facts. De uso =	94.01 A
Hilos por fase =	1	Calculo de ITM (I _{max} * 125%)	90.25 A
Ampacidad de cond. =	205 A	I _{corr} Max. =	94.01 A
F. temperatura =	0.96	Calibre de conductor =	1/0
F. ampacidad =	1	Puesta a tierra =	4 AWG
F.D. =	1.25	Protección contra sobrecorriente =	100 A
Max. Conductores en tubería =	N/A		
Temp. Ambiente max. Hist. =	32.80 °C		
Dist. Techo a base de tubo =	NO APLICA	La corriente corregida maxima en el circuito es de 94.01 A, la cual sera transportada por 1 conductor(es) 1/0 AWG por fase, el cual tiene una ampacidad de 205 A a 90°C, sera protegido con un ITM de 100 A, cumpliendo con lo requerido por la NOM-001-SEDE-2012	
Temp. Ambiente ajustada =	32.80 °C		
Material de conductor =	Aluminio		
Temp. Nom. Conductores =	90 °C		
Cálculo de conductores por caída de tensión			
I _{nom} =	72.2 A		
Hilos por fase =	1		
Impedancia eficaz (Z _e) =	0.7034 Ω/km		
L =	10 m	%CT =	0.183
Voltaje =	480 V		
Calibre de cable =	1/0 AWG		
Factor de potencia =	0.99		
RL =	0.69		
XL =	0.144		
Calculo de canalizaciones - Charola tipo escalera, sin tapa			
Calibre de conductor =	1/0 AWG	Ancho requerido =	63.88 mm
Diámetro del conductor =	11.6 mm	Peralte requerido =	11.6 mm
Calibre de puesta a tierra =	4 AWG	Ancho util de charola =	101.6 mm
Diametro de puesta a tierra =	5.88 mm	Peralte util de charola =	82.5 mm
Numero de fases =	3		
Total de cables =	3 + 1 unidades		

Tabla 11. Cálculo de conductores por ampacidad y caída de tensión en C.A. de inversor 2 a tablero de combinación.

Inversor 3 (Solis-60K-HV)			
Cálculo de conductores por ampacidad			
Datos		Resultados	
Imax. =	72.2 A	Imax. Con facts. De uso =	94.01 A
Hilos por fase =	1	Cálculo de ITM (Imax. * 125%)	90.25 A
Ampacidad de cond. =	205 A	Icorr. Max. =	94.01 A
F. temperatura =	0.96	Calibre de conductor =	1/0
F. ampacidad =	1	Puesta a tierra =	4 AWG
F.D. =	1.25	Protección contra sobrecorriente =	100 A
Max. Conductores en tubería =	N/A		
Temp. Ambiente max. Hist. =	32.80 °C		
Dist. Techo a base de tubo =	NO APLICA	La corriente corregida máxima en el circuito es de 94.01 A, la cual será transportada por 1 conductor(es) 1/0 AWG por fase, el cual tiene una ampacidad de 205 A a 90°C, será protegido con un ITM de 100 A, cumpliendo con lo requerido por la NOM-001-SEDE-2012	
Temp. Ambiente ajustada =	32.80 °C		
Material de conductor =	Aluminio		
Temp. Nom. Conductores =	90 °C		
Cálculo de conductores por caída de tensión			
Inom. =	72.2 A		
Hilos por fase =	1		
Impedancia eficaz (Ze) =	0.7034 Ω/km		
L =	10 m	%CT =	0.185
Voltaje =	480 V		
Calibre de cable =	1/0 AWG		
Factor de potencia =	0.99		
RL =	0.69		
XL =	0.144		
Cálculo de canalizaciones - Charola tipo escalera, sin tapa			
Calibre de conductor =	1/0 AWG	Ancho requerido =	63.88 mm
Diámetro del conductor =	11.6 mm	Peralte requerido =	11.6 mm
Calibre de puesta a tierra =	4 AWG	Ancho útil de charola =	101.6 mm
Diámetro de puesta a tierra =	5.88 mm	Peralte útil de charola =	82.5 mm
Numero de fases =	3		
Total de cables =	3 + 1 unidades		

Tabla 12. Cálculo de conductores por ampacidad y caída de tensión en C.A. de inversor 3 a tablero de combinación.

Cálculo de canalizaciones = Charola tipo escalera, sin tapa (2 inversores)		
Calibre de conductor =	1/0 AWG	Ancho requerido = 214.84 mm
Diámetro del conductor =	11.6 mm	Peralte requerido = 11.6 mm
Calibre de puesta a tierra =	4 AWG	Ancho útil de la charola = 228.6 mm
Diámetro de puesta a tierra =	5.88 mm	Peralte útil de charola = 82.5 mm
Número de fases =	3	
Total de cables =	9 + 3 unidades	

Cálculo de canalizaciones = Charola tipo escalera, sin tapa (3 inversores)		
Calibre de conductor =	1/0 AWG	Ancho requerido = 214.84 mm
Diámetro del conductor =	11.6 mm	Peralte requerido = 11.6 mm
Calibre de puesta a tierra =	4 AWG	Ancho útil de la charola = 228.6 mm
Diámetro de puesta a tierra =	5.88 mm	Peralte útil de charola = 82.5 mm
Número de fases =	3	
Total de cables =	9 + 3 unidades	

Tabla 13. Cálculo de canalización para alimentadores en C.A. de inversores a tablero a combinación.

Alimentadores de baja tensión en C.A. de tablero de combinación “TFV-2” a tablero principal “TFV-1”

El cálculo de conductores por ampacidad y caída de tensión para los alimentadores de C.A. del tablero de combinación hacia el tablero principal es realizado con base en los artículos 240 y 310 de la NOM-001-SEDE-2012, resultando en 2 conductores de aluminio calibre 3/0 AWG por fase y 2 conductores de cobre calibre 2 AWG para el conductor de puesta a tierra.

Los conductores serán alojados en tubería IMC y PVC, sin superar más del 40% de ocupación de área interior, de acuerdo a las transiciones necesarias por la instalación; la ampacidad será corregida por factores de temperatura, de acuerdo a las tablas del artículo

El tablero que se tendrá dentro de la subestación será tipo CRN de 800 x 600 x 300 mm y contendrá en su interior un interruptor termomagnético principal de 3x320 A, 690 V de tensión

máxima de operación y capacidad interruptiva de 25 KA a 480 Vc.a., para protección y desconexión del sistema.

Los resultados del cálculo se presentan en la siguiente tabla:

Tablero de combinación FV "TFV-2" a Tablero FV principal "TFV-1"			
Cálculo de conductores por ampacidad			
Datos		Resultados	
I _{max} =	216.6 A	I _{max} . Con facts. De uso =	282.03 A
Hilos por fase =	2	Cálculo de ITM (I _{max} * 125%)	270.75 A
Ampacidad de cond. =	175 A	I _{corr} . Max. =	282.03 A
F. temperatura =	0.96	Calibre de conductor =	3/0
F. ampacidad =	1	Puesta a tierra =	2 AWG
F.D. =	1.25	Protección contra sobrecorriente =	320 A
Max. Conductores en tubería =	N/A		
Temp. Ambiente max. Hist. =	32.80 °C		
Dist. Techo a base de tubo =	NO APLICA	La corriente corregida máxima en el circuito es de 282.03 A, la cual será transportada por 2 conductor(es) 3/0 AWG por fase, el cual tiene una ampacidad de 175 A a 90°C, será protegido con un ITM de 320 A, cumpliendo con lo requerido por la NOM-001-SEDE-2012	
Temp. Ambiente ajustada =	32.80 °C		
Material de conductor =	Aluminio		
Temp. Nom. Conductores =	90 °C		
Cálculo de conductores por caída de tensión			
I _{nom} =	216.6 A		
Hilos por fase =	2		
Impedancia eficaz (Z _e) =	0.4452 Ω/km		
L =	91 m	%CT =	1.583
Voltaje =	480 V		
Calibre de cable =	3/0 AWG		
Factor de potencia =	0.99		
R _L =	0.43		
X _L =	0.138		
Cálculo de canalizaciones - Tubería conduit PVC cedula 80 (uso pesado)			
Calibre de conductor =	3/0 AWG	Área requerida =	983.91 mm ²
Diámetro del conductor =	149.57 mm ²	Diámetro canalización =	2 in
Calibre de puesta a tierra =	2 AWG	Número canalizaciones =	2
Diámetro de puesta a tierra =	43.24 mm ²	Área de canalización al 40% =	1484 mm ²
Número de fases =	3		
Total de cables =	6 + 2 unidades		

Tabla 14. Cálculo de conductores por ampacidad y caída de tensión en C.A. de tablero de combinación a tablero principal.

Alimentadores de baja tensión en C.A. de tablero principal “TFV-1” a interconexión

El cálculo de conductores por ampacidad y caída de tensión para los alimentadores de C.A. del tablero principal hacia la interconexión es realizado con base en los artículos 240 y 310 de la NOM-001-SEDE-2012, resultando en 2 conductores de aluminio calibre 3/0 AWG por fase y 1 conductores de cobre calibre 2 AWG para el conductor de puesta a tierra.

Los conductores serán alojados en tubería IMC y PVC, sin superar más del 40 % de ocupación de área interior, de acuerdo a las transiciones necesarias por la instalación. Se utilizará la trinchera existente para la llegada al tablero principal de la instalación eléctrica de planta; la ampacidad será corregida por factores de temperatura, de acuerdo a las tablas del artículo 310.

Los resultados del cálculo se presentan en la siguiente tabla:

Tablero FV principal "TFV-1" a interconexión			
Cálculo de conductores por ampacidad			
Datos		Resultados	
I _{max} =	216.6 A	I _{max} Con facts. De uso =	282.03 A
Hilos por fase =	2	Cálculo de ITM (I _{max} * 125%)	170.75 A
Ampacidad de cond. =	175 A	I _{corr} Max. =	282.03 A
F. temperatura =	0.96	Calibre de conductor =	3/0
F. ampacidad =	1	Puesta a tierra =	2 AWG
F.D. =	1.25	Protección contra sobrecorriente =	320 A
Max. Conductores en tubería =	N/A		
Temp. Ambiente max. Hist. =	32.80 °C		
Dist. Techo a base de tubo =	NO APLICA	La corriente corregida máxima en el circuito es de 282.03 A, la cual será transportada por 2 conductor(es) 3/0 AWG por fase, el cual tiene una ampacidad de 175 A a 90°C, será protegido con un ITM de 320 A, cumpliendo con lo requerido por la NOM-001-SEDE-2012	
Temp. Ambiente ajustada =	32.80 °C		
Material de conductor =	Aluminio		
Temp. Nom. Conductores =	90 °C		
Cálculo de conductores por caída de tensión			
I _{nom} =	216.6 A		
Hilos por fase =	2		
Impedancia eficaz (Z _e) =	0.4452 Ω/km		
L =	10 m	%CT =	0.174
Voltaje =	480 V		
Calibre de cable =	3/0 AWG		
Factor de potencia =	0.99		
R _L =	0.43		
X _L =	0.138		
Cálculo de canalizaciones - Tubería conduit PVC cedula 80 (uso pesado)			
Calibre de conductor =	3/0 AWG	Área requerida =	985.91 mm ²
Diámetro del conductor =	149.57 mm ²	Diámetro canalización =	2 in
Calibre de puesta a tierra =	2 AWG	Número canalizaciones =	2
Diámetro de puesta a tierra =	43.24 mm ²	Área de canalización al 40% =	1484 mm ²
Número de fases =	3		
Total de cables =	6 + 2 unidades		

Tabla 15. Cálculo de conductores por ampacidad y caída de tensión en C.A. de tablero principal a interconexión.

Caída de tensión

La caída de tensión en corriente directa y alterna son calculadas de acuerdo con la recomendación presente en el artículo 215 de la NOM-001-SEDE-2012.

Caída de tensión por sección									
Inversor	Panel fotovoltaico a inversor		Inversores a interconexion (C.A.)						Suma Caída de tensión total
	Longitud	Caída de tensión - modulos a inversor	Longitud	Caída de tensión - Inversores a TFV-2	Longitud	Caída de tensión - TFV-2 a TFV-1	Longitud	Caída de tensión - TFV-1 a interconexion	
Inversor 1	159 m	2.52%	10 m	0.18%	91 m	1.58%	10 m	0.17%	4.46%
Inversor 2	143 m	2.27%	10 m	0.18%					4.21%
Inversor 3	104 m	1.65%	10 m	0.18%					3.59%

Tabla 16. Caída de tensión del sistema, por sección.

Ilustraciones del proceso de ensamblaje de módulos



Ilustración 6. Desempaquetaje de materiales a utilizar



Ilustración 7. Ensamblaje de bases de módulos fotovoltaicos.



Ilustración 8. Fijación de bases.



Ilustración 9. Montaje de los primeros módulos.



Ilustración 10. Inicio de montaje en parte superior trasera de la planta



Ilustración 11. Fijación de los primeros módulos en parte superior



Ilustración 12. Continuación de fijación de módulos fotovoltaicos.



Ilustración 13. Principios de montaje de paso de gato.



Ilustración 14. Instalación completa de paso de gato



Ilustración 15. Bajada de cableado hacia la subestación



Ilustración 16 Inicio de peinado de cableado



Ilustración 17. Instalación de registro donde pasaran los cables hacia la subestación



Ilustración 18. Continuación de rascado para cableado subterránea



Ilustración 19 Peinado completo de cables



Ilustración 20 Se introducen cables a registro de bajada hacia la subestación



Ilustración 21 Conexion hacia inversores.

CAPITULO 5.

CONCLUSIONES

Conclusiones

Se logró llevar a cabo cada uno de los cálculos para la obtención correcta de los materiales a utilizar dentro del proyecto no dejando de lado normas ya establecidas para otros tipos de parámetros que ayudaron en la ubicación, selección y buena instalación de los módulos.

La variación entre la carga medida, la registrada por CFE y la tomada, se encuentran en promedio de los 17 KW lo que garantiza el abasto de una sección de la planta, la cual trabaja todos los días, con esto se espera que en algún futuro con la extensión de la empresa se puedan instalar más módulos para mayor aprovechamiento de los recursos y mayor beneficio para la empresa.

Tomando en cuenta que la empresa trabaja de lunes a sábado a excepción de algún tipo de emergencia o situación por lo cual se tenga que tener activo algún tipo de maquinaria durante los domingos se conectan los paneles a la red para lograr retribuir más a la compañía de luz en estos días de desuso.

Este proyecto es considerado solo un inicio a los futuros proyectos que pueden continuar o plantearse posteriormente para generar una empresa aún más sustentable debido a los equipos que se utilizan dentro de la misma

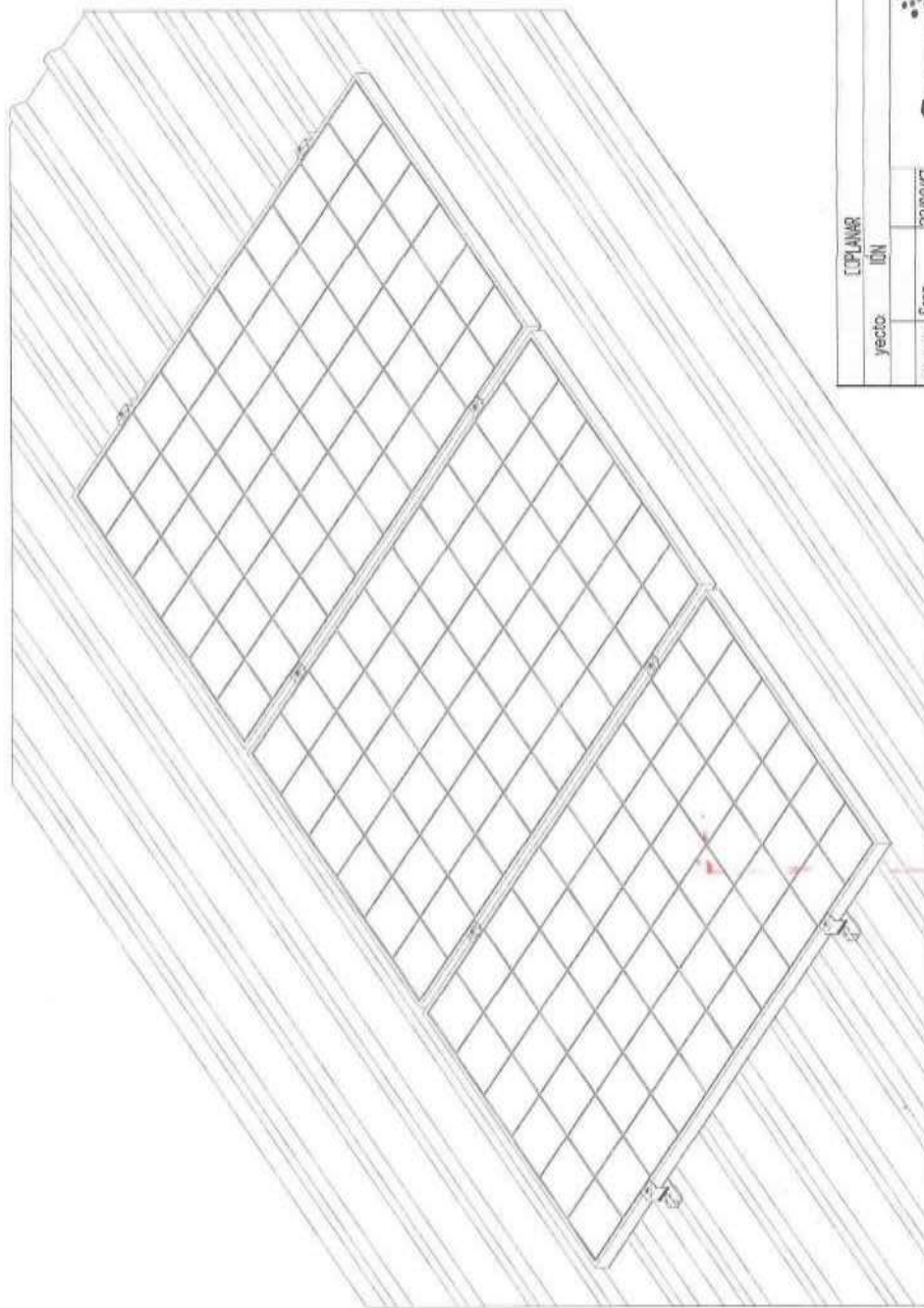
Referencias

- CFE. (Diciembre de 2012). *Colores normalizados*. Obtenido de <https://lapem.cfe.gob.mx/normas/pdfs/v/L0000-15.pdf>
- Cumbre pueblos*. (8 de Julio de 2019). Obtenido de <https://cumbrepuebloscop20.org/energias/solar/modulo-fotovoltaico/>
- EURISA. (2023). *EURISA*. Obtenido de <https://eurisa.es/cables-de-baja-tension-caracteristicas/#:~:text=Los%20conductores%20de%20baja%20tensi%C3%B3n%20constante%20de%20tres,corriente%20y%20asegura%20la%20seguridad%20de%20la%20instalaci%C3%B3n.>
- Humberto Ramos y Rafael Luna. (Octubre de 2014). *DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO INTEGRADO A LA .* Obtenido de <file:///C:/Users/jep9b/Downloads/Tesis%20Rafael%20Luna%20Puente,%20Humberto%20Ramos%20L%C3%B3pez.pdf>
- LONGI. (2024). *Modulos de alta eficiencia*. Obtenido de <https://www.longi.com/mx/products/modules/>
- SOLFNUM. (2024). *Modulos fotovoltaicos y definiciones*. Queretaro.

Anexos

En este apartado se encuentran planos brindados por la empresa sobre diseño gráfico de los paneles solares así como ubicación de los módulos.

ESTRUCTURA SO AR MONTADA + PANELES FOTOVOLTAICOS FILA GENÉRICA 3 PANELES



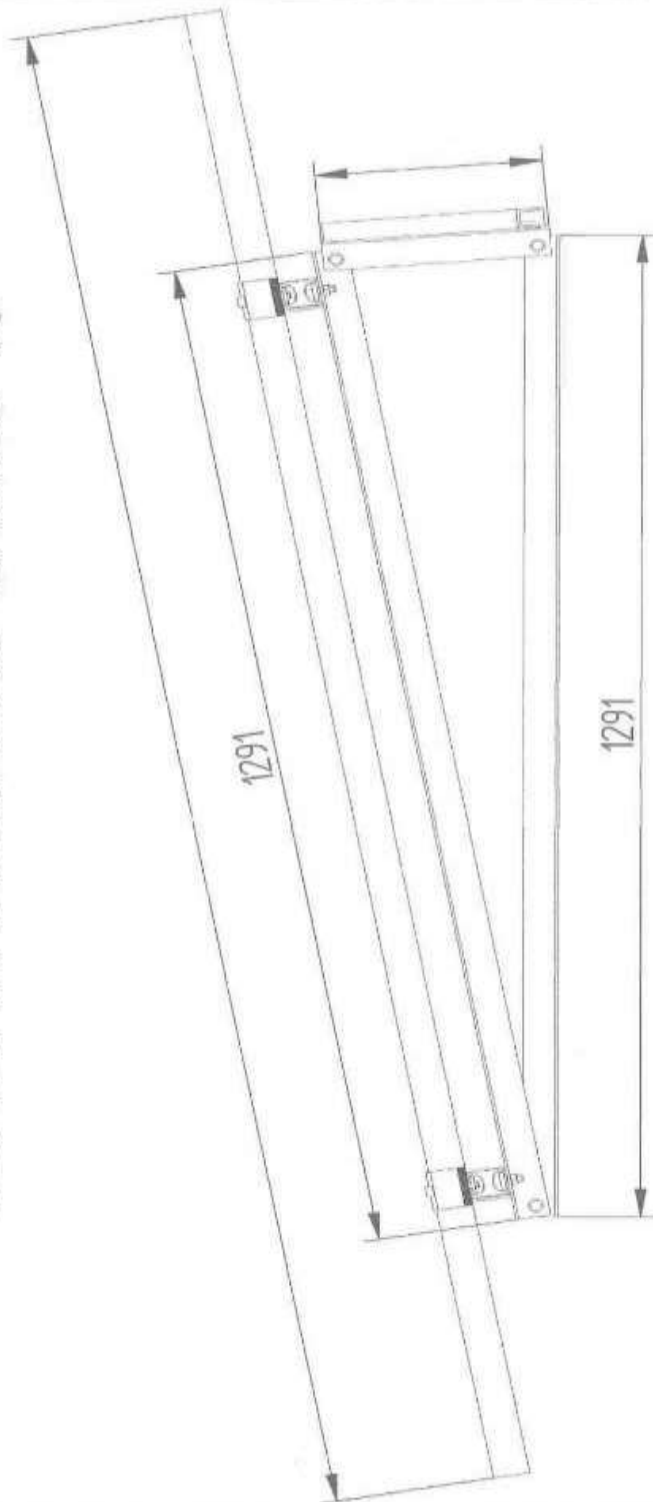
COPLANAR

yecto	IDN		
Diseñado	Serg	22/08/17	
Material	Hoja		

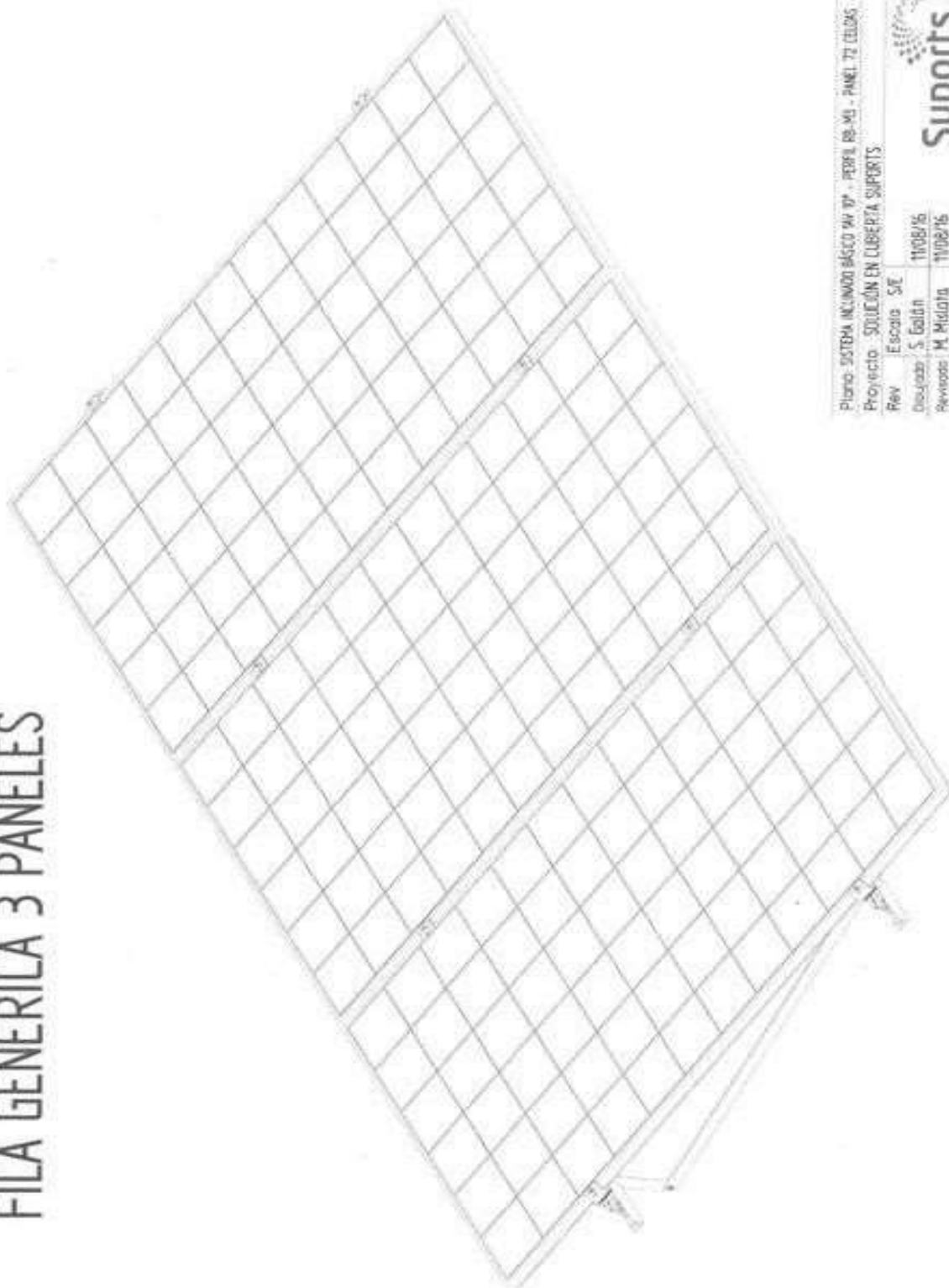


ángulos grados 45 y 1

APOYO TIPO SISTEMA INCLINADO BÁSICO 10°

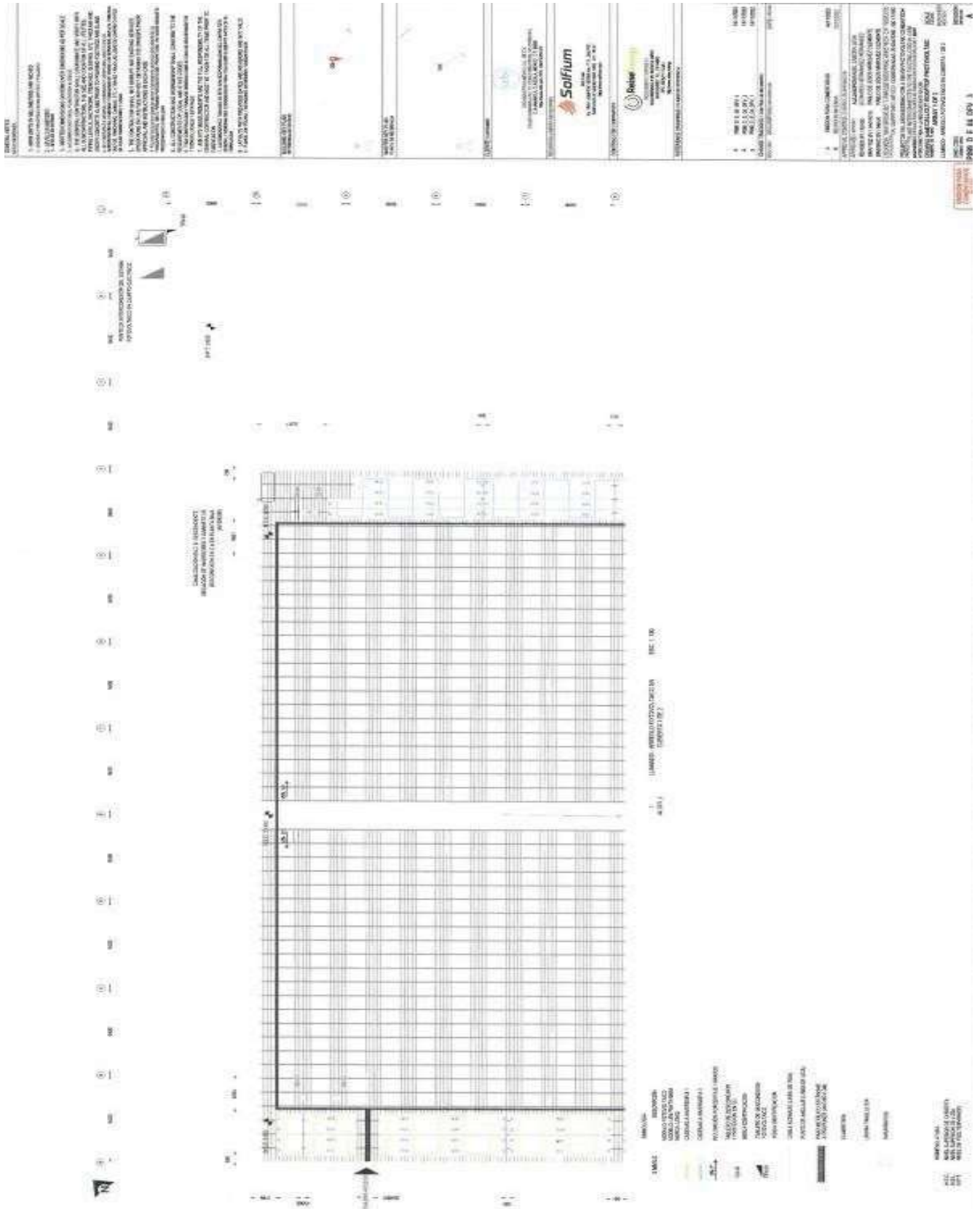


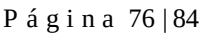
ESTRUCTURA SOLAR MONTADA + PANELES FOTOVOLTAICOS FILA GENÉRICA 3 PANELES



Plano: SISTEMA INCLINADO BÁSICO 40° - PERFIL PB-M3 - PANEL 72 CELDAS
Proyecto: SOLUCIÓN EN CUBIERTA SUPORTS
Rev: Escala: SUE
Diseñado: S. Galán 11/08/16
Revisado: M. Molata 11/08/16
Material: Aluminio Hoja 5 de 5







P á g i n a 78 | 84

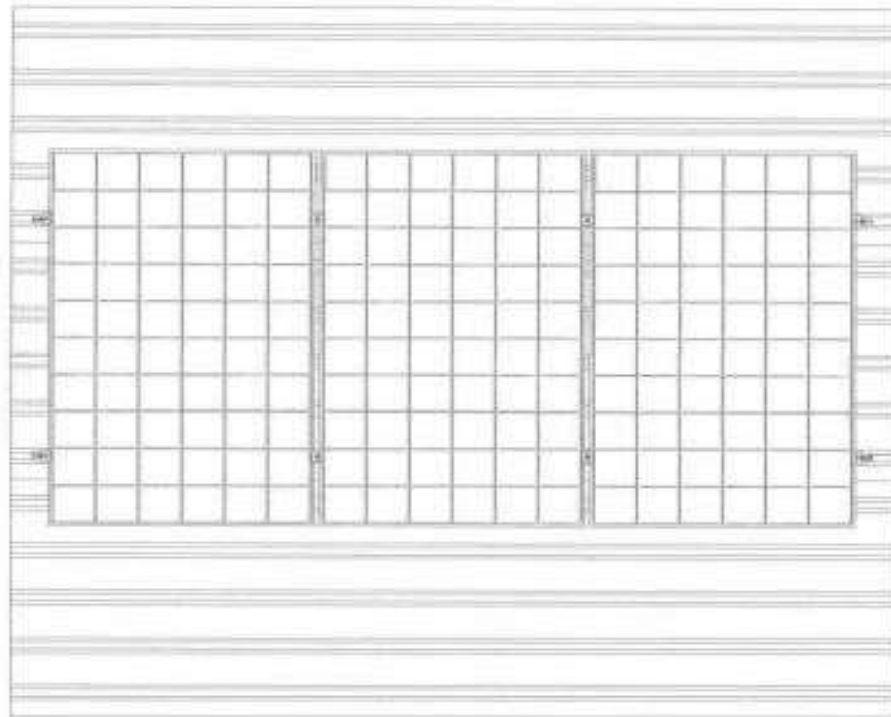
SISTEMA COPLANAR BÁSICO



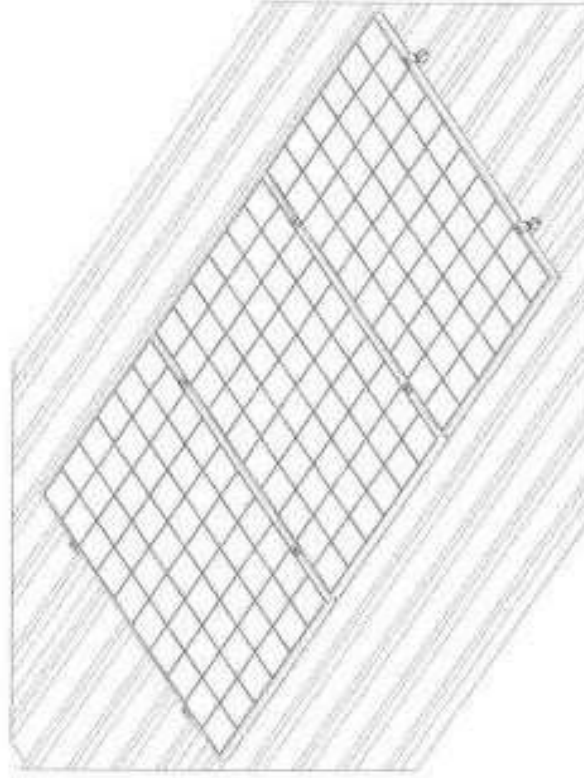
VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



VISTA SUPERIOR



PERSPECTIVA

Plano: SISTEMA COPLANAR BÁSICO - PERFIL ISA
Proyecto: SOLUCIÓN EN CUBIERTA SUPPORTS

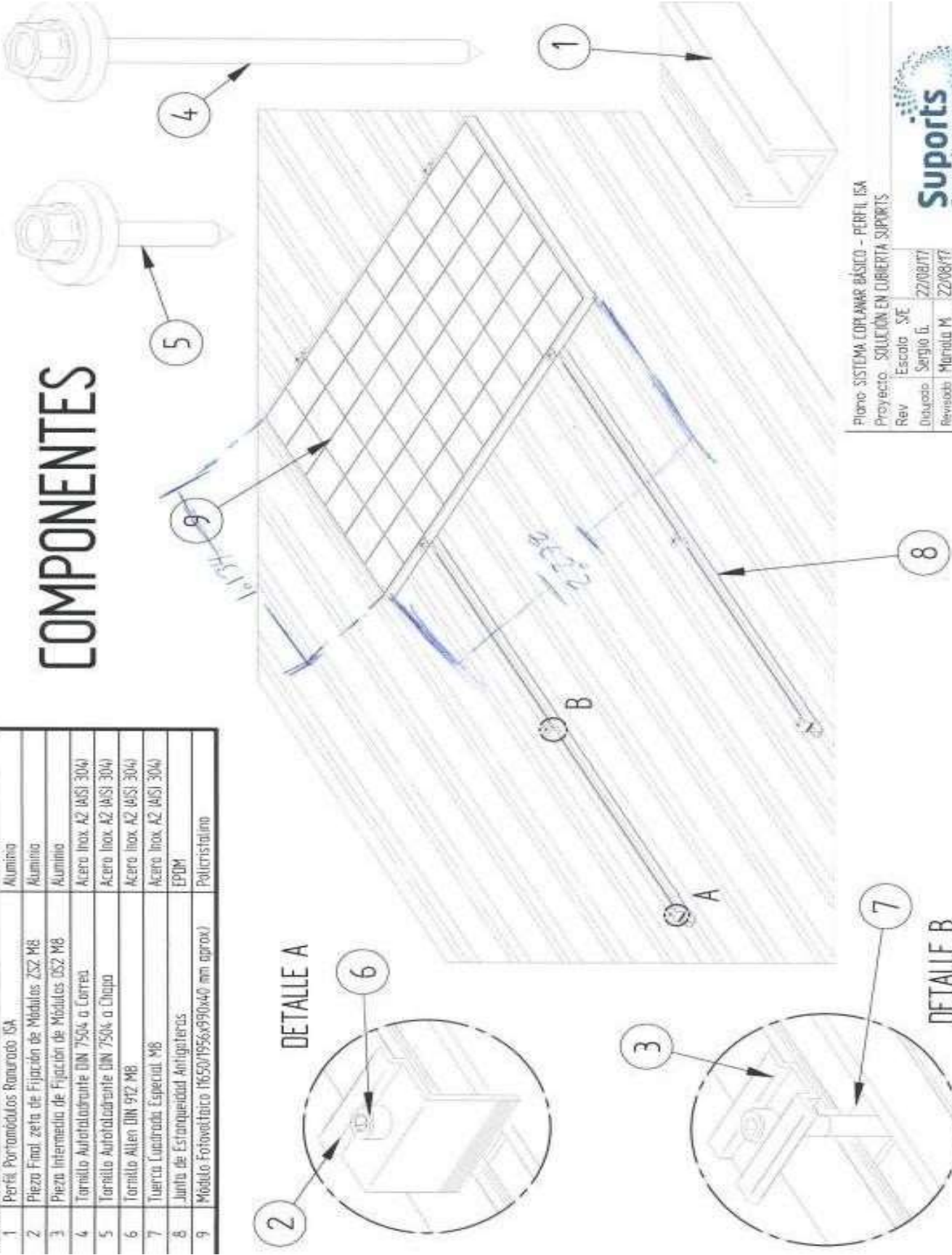
Rev	Escala	SE
Dibujado	Sergio G.	22/08/17
Revisado	Marilín M.	22/08/17
Notified	Aunue	Página 1 de 4



Solo intencionalmente para uso en el sistema de gestión de calidad ISO 9001

Número	Nombre	Material
1	Perfil Portamódulos Ranurado ISA	Aluminio
2	Pieza Final zeta de Fijación de Módulos Z52 M8	Aluminio
3	Pieza Intermedia de Fijación de Módulos OS2 M8	Aluminio
4	Tornillo Autotaladrante DIN 7504 a Correa	Acero Inox A2 (AISI 304)
5	Tornillo Autotaladrante DIN 7504 a Chapa	Acero Inox A2 (AISI 304)
6	Tornillo Allen DIN 912 M8	Acero Inox A2 (AISI 304)
7	Tuerca Lucida Especial M8	Acero Inox A2 (AISI 304)
8	Junta de Estanqueidad Antigierros	EPDM
9	Módulo Fotovoltaico 1650/1956x90x40 mm aprox.)	Policristalino

COMPONENTES



Plano: SISTEMA COPLANAR BÁSICO – PERFIL ISA
Proyecto: SOLUCIÓN EN CUBIERTA SUPPORTS

Rev	Escala	SE
Diseñado	Sergio G.	22/08/17
Revisado	Marcela M.	22/08/17
Material	Acero	Hoja 2 de 4



Nº	Nombre	Material
1	Apoyo Aterrizado Variable 10"	Aluminio
2	Perfil Portabaldosas Ranurado RB-M3 3150 mm	Aluminio
3	Pieza Final zeta de Fijación de Módulos ZS2	Aluminio
4	Pieza Intermedia de Fijación de Módulos IS2	Aluminio
5	Barra de anclamiento perfil SA	Aluminio
6	Anclaje	Acero Inox. A2 (AISI 304)
7	Módulo Fotovoltaico 11950x990x40 mm o similar	Policristalino
8	Angular de unión de Perfil Ranurado RB-M3	Aluminio

COMPONENTES

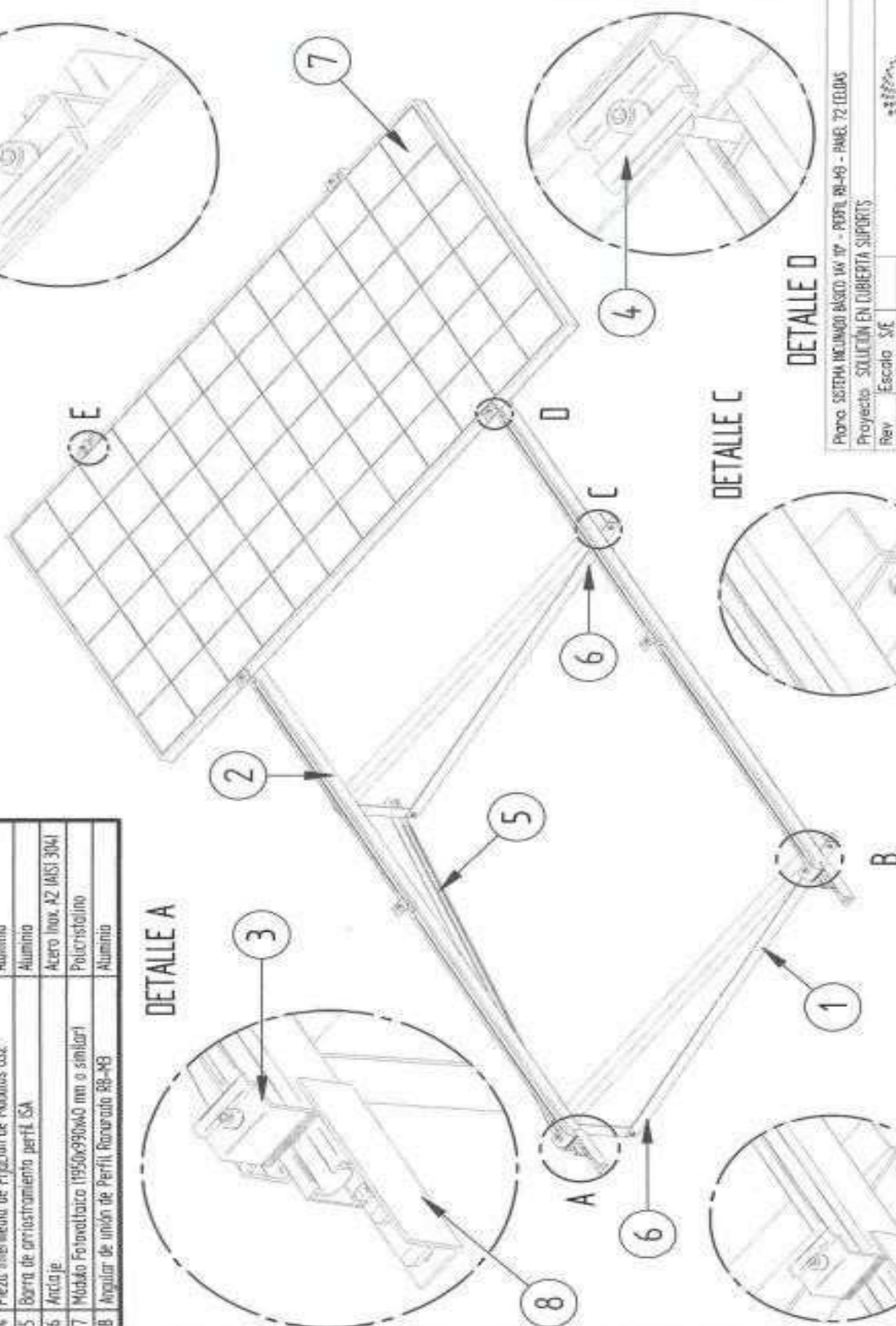
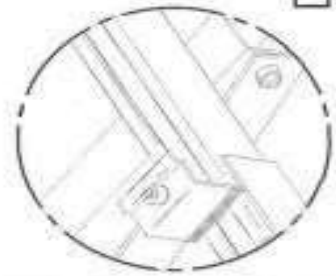
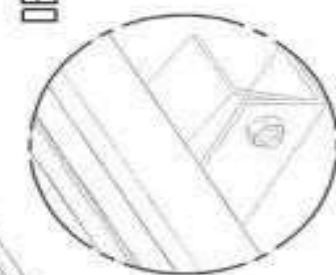
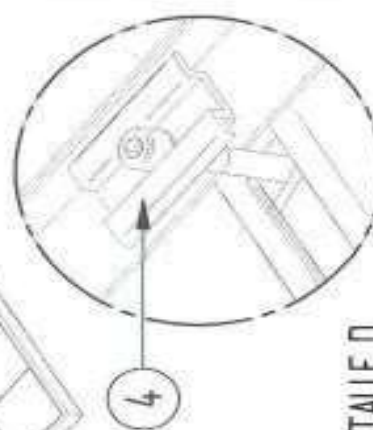
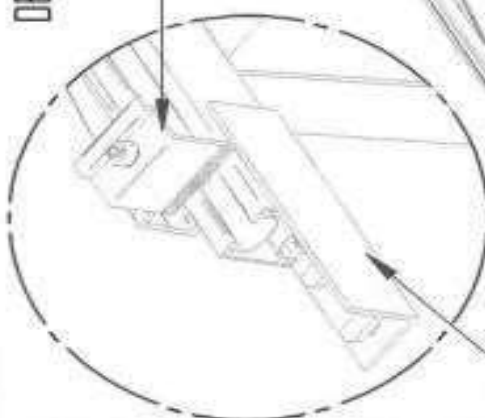
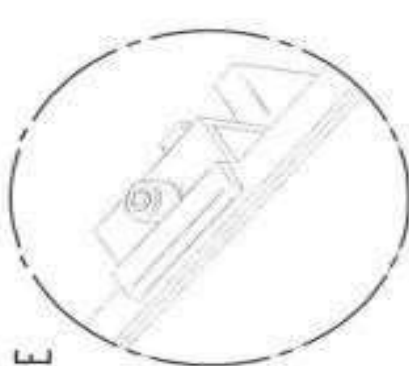
DETALLE E

DETALLE A

DETALLE D

DETALLE C

DETALLE B

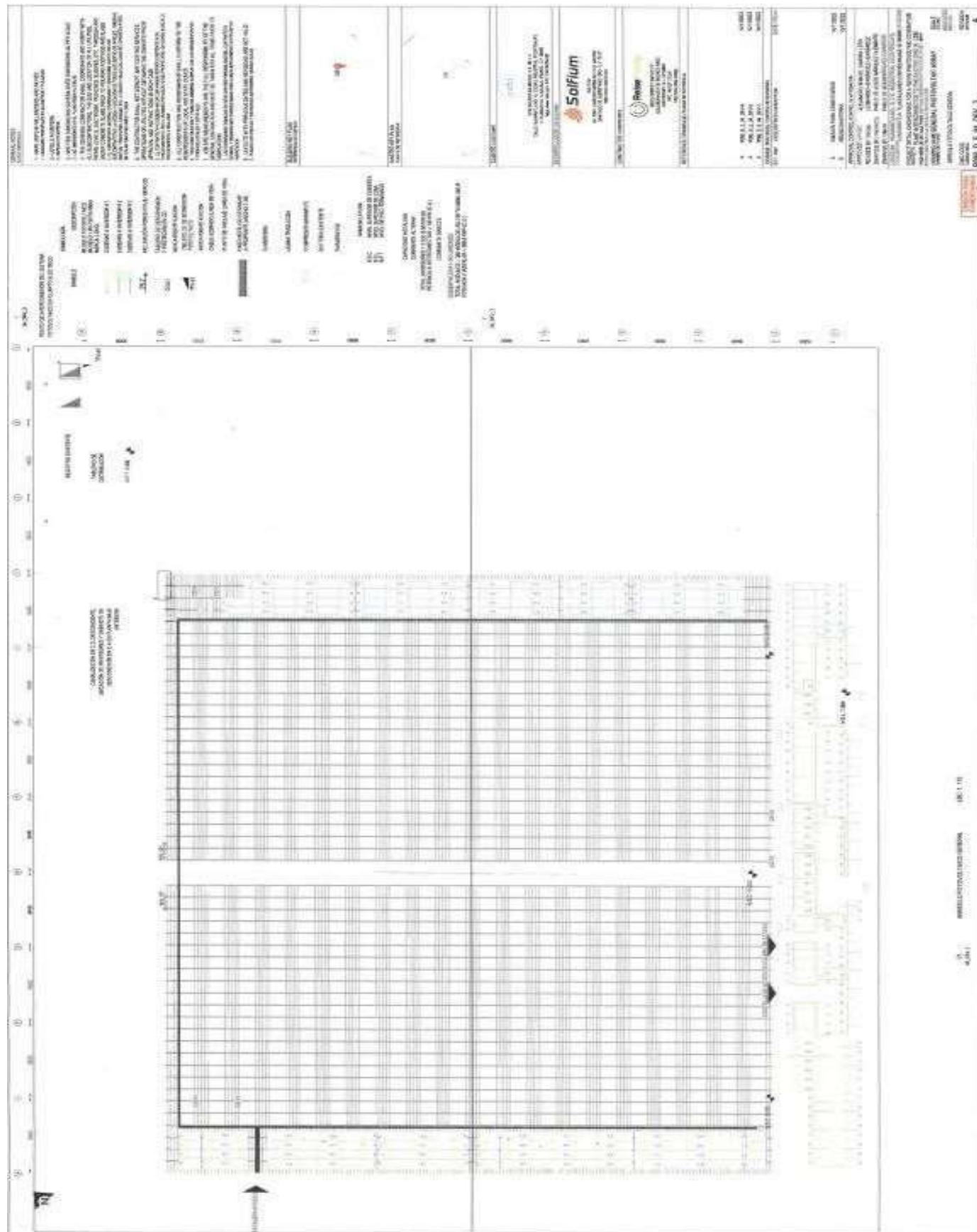


Plano: SISTEMA INCLINADO BASICO 161 10" - PERFIL RB-M3 - PANEL 72 CELDAS

Proyecto: SOLUCIÓN EN COBERTA SUPPORTS

Rev	Escala	S/E
Dibujado	S. Galán	11/08/16
Revisado	M. Mislata	11/08/16
Material	Aluminio	Hoja 2 de 5





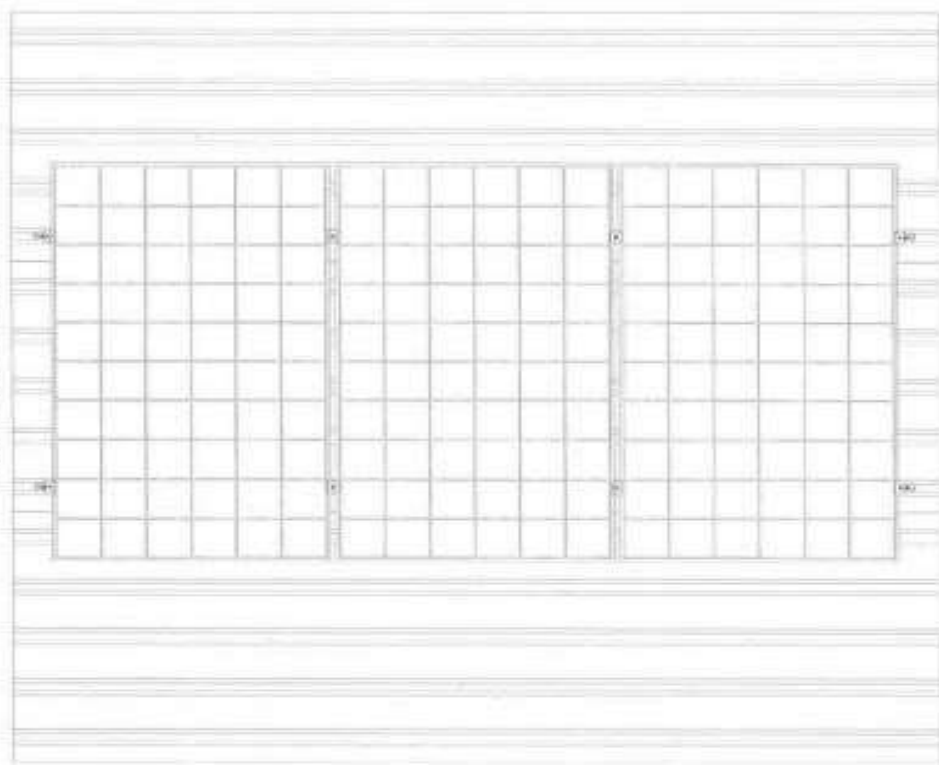
SISTEMA COPLANAR BÁSICO



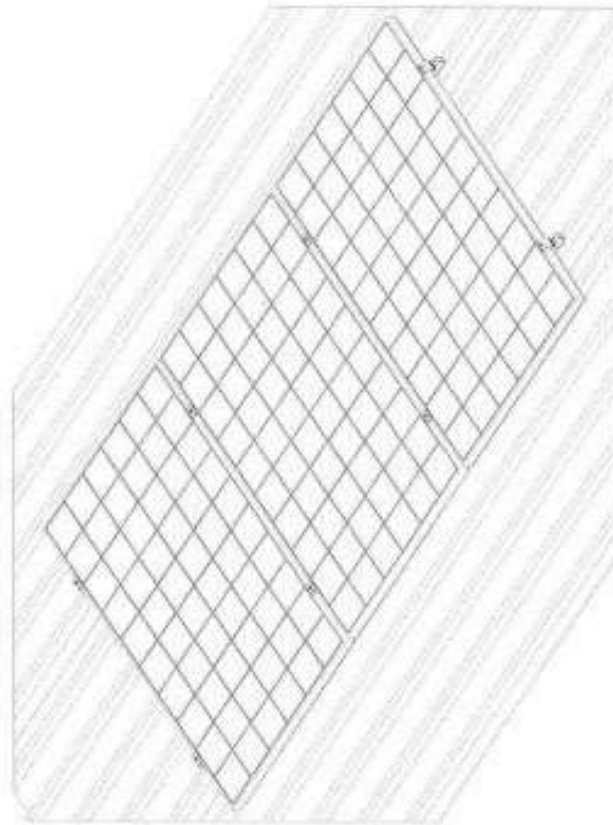
VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



VISTA SUPERIOR



PERSPECTIVA

Plano SISTEMA COPLANAR BÁSICO - PERFIL ISA
Proyecto: SOLUCIÓN EN CUBIERTA SUPORTS

Rev.	Escala	S/E	22/08/17
Dibujado	Sergio G.		
Revisado	María M.		
Material	Aluminio	Hoja 1 de 4	



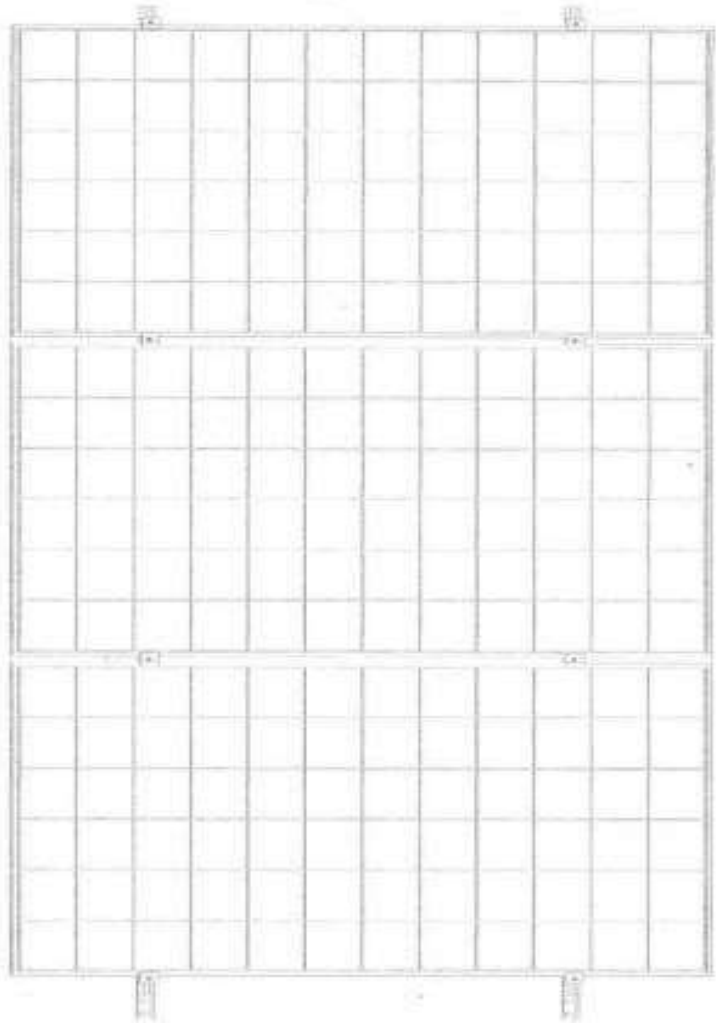
SISTEMA INCLINADO BÁSICO



VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



VISTA SUPERIOR



PERSPECTIVA

Plano: SISTEMA INCLINADO BÁSICO 14° 30' - PERFIL RB-M3 - PANEL 72 CELDAS
Proyecto: SOLUCIÓN EN CUBIERTA SUPPORTS

Rev	Escala	S/E
Disculado	S. Galán	11/08/15
Revisado	M. Mislata	11/08/16
Material	Aluminio	Hoja 1 de 5

