

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA**



**“DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO**  
**DE CONEXIÓN A RED DE 500 KW PARA**  
**REDUCIR LA FACTURACION EN EL**  
**CONSUMO DE LA DEMANDA DE**  
**ENERGIA ELECTRICA.CENTRO DE**  
**DATOS BITEL-AREQUIPA”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO EN ENERGÍA

LUIS ALBERTO ALCEDO ASPILCUETA

GEISON EDISON GONZALES URBINA

Callao, agosto, 2018

## ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS .....	5
ÍNDICE DE FIGURAS .....	6
RESUMEN .....	8
ABTRASCT .....	9
CAPÍTULO I.....	10
PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN .....	10
1.1: Identificación del Problema .....	10
1.2: Formulación del problema .....	12
1.2.1: Problema general .....	12
1.2.2: Problemas específicos.....	12
1.3: Objetivo de la Investigación .....	12
1.3.1: Objetivo General.....	12
1.3.2: Objetivos Específicos .....	13
1.4: Justificación.....	13
1.4.1: Justificación tecnológica.....	13
1.4.2: Justificación práctica.....	14
1.4.3: Justificación Legal .....	14
1.5: Importancia .....	15
CAPITULO II.....	16
MARCO TEÓRICO .....	16

<b>2.1: Antecedentes del estudio</b> .....	16
<b>2.2: Marco Conceptual</b> .....	21
<b>2.2.1: Sistema fotovoltaico</b> .....	21
<b>2.2.2: Intensidad de radiación</b> .....	28
<b>2.2.3: Paneles Solares</b> .....	29
<b>2.2.4: Inversores</b> .....	34
<b>2.2.5: Arreglo eléctrico</b> .....	35
<b>2.2.6: Data Center</b> .....	36
<b>2.2.7: Eficiencia Energética</b> .....	37
<b>2.2.8: Facturación</b> .....	38
<b>2.3: Marco Normativo</b> .....	56
<b>2.4: Definiciones de términos básicos</b> .....	61
<b>CAPITULO III</b> .....	64
<b>VARIABLES E HIPÓTESIS</b> .....	64
<b>3.1: Variables de la investigación</b> .....	64
<b>3.1.1: Variable independiente</b> .....	64
<b>3.1.2: Variable dependiente</b> .....	64
<b>3.2: Operacionalización de las variables</b> .....	64
<b>3.3: Hipótesis general e hipótesis específicas</b> .....	66
<b>3.3.1: Hipótesis general</b> .....	66

<b>3.3.2: Hipótesis específicas</b> .....	66
<b>CAPITULO IV</b> .....	68
<b>METODOLOGÍA</b> .....	68
<b>4.1: Tipo de investigación</b> .....	68
<b>4.2: Diseño de la investigación</b> .....	68
<b>4.2.1: Parámetros básicos de la investigación</b> .....	69
<b>4.2.2: Etapas de la investigación</b> .....	70
<b>4.2.3: Desarrollo de la investigación</b> .....	71
<b>4.2.3.1: Fase 1</b> .....	69
<b>4.2.3.2: Fase 2</b> .....	69
<b>4.2.3.3: Fase 3</b> .....	86
<b>4.2.3.4: Fase 4</b> .....	96
<b>4.3: Población y muestra</b> .....	112
<b>4.4: Técnicas e instrumentos de Recolección de Datos</b> .....	113
<b>4.5: Procedimiento de recolección de datos</b> .....	114
<b>4.6: Procedimiento estadístico y análisis de datos</b> .....	115
<b>CAPITULO V</b> .....	116
<b>RESULTADOS</b> .....	116
<b>CAPITULO VI</b> .....	120
<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	120
<b>6.1 Contrastación de la hipótesis con los resultados</b> .....	120

6.1.1: Contrastación de la hipótesis general.....	120
6.1.2: Contrastación de las hipótesis específicas .....	120
6.2 Contrastación de los resultados con otros similares.....	122
CAPITULO VII .....	123
CONCLUSIONES .....	123
CAPITULO VIII .....	124
RECOMENDACIONES.....	124
CAPITULO IX .....	125
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	125
ANEXOS.....	129
Anexo 1. Matriz de consistencia.....	130
Anexo 2. Especificaciones técnicas del Inversor .....	131
Anexo 3. Especificaciones técnicas del Panel Solar .....	133
Anexo 4. Planos .....	135

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Descripción de Tabla de Contenido</b>	<b>N° de Página</b>
Tabla 3.1 Operacionalización de Variables	65
Tabla 4.2 Radiación en un Plano Horizontal	75
Tabla 4.3 Radiación en un Plano de inclinación de 15 grados	78
Tabla 4.4 Días al mes para el año 2017	79
Tabla 4.5 Promedio de Horas de sol diarias por mes	80
Tabla 4.6 Descripción comercial del panel solar – Renesola	82
Tabla 4.7 Descripción técnica del panel solar – Modelo	82
Tabla 4.8 Descripción del inversor – Zino	84
Tabla 4.9 Dato inversor y panel solar	88
Tabla 4.10 Resultado de número de paneles solares	90
Tabla 4.11 Velocidad del viento Año 2016	93
Tabla 4.12 Selección de conductores de corriente continua	100
Tabla 4.13 Resultados de impedancia	104
Tabla 4.14 Resultado de corriente de cortocircuito	105
Tabla 4.15 Tabla de Ahorro en Facturación del Sistema Fotovoltaico	110
Tabla 4.16 Tabla de Ahorro de energía y facturación del Centro de Datos – Sistema Fotovoltaico	112

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Descripción de las figuras</b>	<b>N° de Página</b>
Figura 2.1 Sistema Fotovoltaico	22
Figura 2.2 Clasificaciones Fotovoltaicas	24
Figura 2.3 Sistema descentralizado	26
Figura 2.4 Instalaciones conectadas a la red eléctrica	27
Figura 2.5 Instalaciones Híbridas	28
Figura 2.6 Intensidad de radiación	29
Figura 2.7 Panel solar	30
Figura 2.8 Silicio puro monocristalino	31
Figura 2.9 Silicio puro policristalino	32
Figura 2.10 Paneles con sistema de concentración	33
Figura 2.11 Inversor	35
Figura 2.12 Arreglo eléctrico	35
Figura 2.13 Centro de datos	36
Figura 2.14 Eficiencia Energética	38
Figura 2.15 Conexión de paneles en paralelo	42
Figura 2.16 Conexión de paneles en serie	42
Figura 2.17 Conexión Mixta de Paneles Solares	43
Figura 2.18 Separación entre módulos	46
Figura 4.1 Fases de la investigación	71
Figura 4.2 Ubicación del lugar	72

Figura 4.3	Factores de transposición para Arequipa – Perú	77
Figura 4.4	Clara radiación global del cielo para Arequipa	81
Figura 4.5	Dimensiones de panel solar	83
Figura 4.6	Inversor	85
Figura 4.7	Apertura del gabinete	85
Figura 4.8	Distribución de Paneles Solares	91
Figura 4.9	Colocación de Paneles Solares	95
Figura 4.10	Colocación de paneles solares – lado lateral	95
Figura 4.11	Estructura de soporte del sistema fotovoltaico	96
Figura 4.12	Recorrido de conductores hacia Inversores	100
Figura 4.13	Consumo de energía en sistemas de Rect, UPS, PAC	107
Figura 4.14	Recibo de luz de compañía eléctrica	111
Figura 5.1	Simulación del Sistema fotovoltaico en PVSYST	119



## RESUMEN

En la presente investigación se realizó el diseño de un sistema fotovoltaico de conexión a red de 500 Kw para reducir la facturación en el consumo de la demanda de energía eléctrica del Centro de datos Bitel-Arequipa.

El diseño del tema de investigación es de tipo aplicada y no experimental, inició con la identificación de la facturación en el consumo de demanda de energía eléctrica, luego se realizó el diseño de un sistema fotovoltaico definiendo objetivos, planteamiento, cálculos, después se identificó la fuente de energía (eléctrica) y el consumo del sistema de carga DC (corriente continua), sistema de potencia ininterrumpida (UPS), sistema de aire acondicionado para Julio (horas fuera de punta), luego se determinó la ubicación del lugar, la radiación solar (kwh/m2.mes), la selección de paneles solares, los inversores, luego el diseño de la instalación eléctrica fotovoltaica, luego el diseño del tablero de conmutación entre el centro de datos y sistema fotovoltaico, se cuantificó el ahorro en la facturación del consumo de la demanda de energía eléctrica mediante cálculos teóricos el cual fue revalidado por el software llamado PVSYST.

Finalmente, se obtuvo un ahorro en la facturación del consumo de la demanda de energía mensual de un 10% mediante el uso de un sistema fotovoltaico.

## **ABTRASCT**

In the present investigation, the design of a 500 Kw grid connection photovoltaic system was carried out in order to reduce the invoicing in the consumption of electric energy demand. Bitel-Arequipa data Center.

The design of the research topic, of applied and non-experimental type, began with the identification of the billing in the consumption of electric energy demand, then the design of a photovoltaic system was carried out defining objectives, approach, calculations, then the energy source (electric) and the consumption of the DC (direct current) charging system, uninterrupt power system (UPS), air conditioning system for July (off-peak hours), then the location of the site was determined, solar radiation (kwh/m<sup>2</sup>).month), the selection of solar panels, the inverters, then the design of the photovoltaic electrical installation, then the design of the switchboard between the data center and the photovoltaic system, the billing savings (%) were quantified through theoretical calculations and software called PVSYST.

Finally, savings were obtained in the invoicing of the consumption of monthly energy demand of 10% through the use of a photovoltaic system.

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

#### 1.1: Identificación del Problema

Hoy en el Perú la base del crecimiento de una empresa depende del uso de la tecnología como herramienta fundamental, cada día las transacciones deben ser lo más rápidas y fáciles para el usuario final, de igual manera la publicidad tiene como base el manejo del Internet para una proyección nacional e internacional.

En la actualidad, el Perú cuenta con 4 operadores de telecomunicación los cuales cuentan con centros de datos de equipos ubicados en la capital, siendo el 100% su consumo en energía eléctrica de la red.

Así mismo los centros de datos no cuentan con una proyección del uso de energías renovables, por lo cual no se implicaría una reducción de gastos en su facturación de energía eléctrica.

Los centros de datos debido a la innovación de equipos electrónicos y al consumo masivo de internet la población consume cada vez mayor internet y los centros datos consumen mayor energía lo que se ha visto incrementado en los últimos años.

Según ESTEFANIA CAAMAÑO (2015), anunció que según "Información de 2012 publicada por "The New York Times los

centros de datos de todo el mundo ya consumían un promedio de 30 000 millones de vatios de electricidad, un 1.5% de todo el consumo mundial (p.8)".

Según GONZÁLEZ NÉSTOR (2010), anunció que según "The Uptime Institute el costo de alimentar y refrigerar los servidores durante tres años es equivalente al costo de adquisición de los equipos. Llevando este argumento a un extremo resultaría que sería más costosa la factura de electricidad de un centro de datos que lo que se ha pagado por los equipos que tiene instalados en su interior. En conclusión que aproximadamente entre el 45% y el 60% de la energía que se consume en un centro de datos se destina al funcionamiento de las maquinas, y el porcentaje restante se emplea fundamentalmente en los sistemas de alimentación ininterrumpida y la climatización (p. 10)".

Para tal efecto se propuso diseñar un sistema fotovoltaico de conexión a red de 500Kw para reducir la facturación en el consumo de la demanda de energía eléctrica del Centro de datos Bitel-Arequipa.

Es por ello que bajo estas circunstancias buscamos ese cambio Energético sin perjudicar el Medio Ambiente a través de integrar al sistema eléctrico convencional del data center el sistema fotovoltaico de energía solar.

## **1.2: Formulación del problema**

### **1.2.1: Problema general**

¿Cómo diseñar un sistema fotovoltaico de conexión a red de 500 kw para reducir la facturación en el consumo de la demanda de energía eléctrica del centro de datos de Bitel-Arequipa?

### **1.2.2: Problemas específicos**

- ✓ ¿Cómo determinar la cantidad de horas de sol y la inclinación adecuada de los paneles solares para la lograr la energía solar requerida?
- ✓ ¿Cómo calcular la cantidad de paneles solares para su conexionado en serie y/o paralelo limitado por el área de la instalación fotovoltaica?
- ✓ ¿Cómo calcular la cantidad de inversores para su conexionado hacia el tablero general de la instalación fotovoltaica?
- ✓ ¿Cómo determinar la configuración de la instalación eléctrica del sistema fotovoltaico para la conmutación del tablero general del centro de datos?

## **1.3: Objetivo de la Investigación**

### **1.3.1: Objetivo General**

Diseñar un sistema fotovoltaico de conexión a red de 500 kw para reducir la facturación en el consumo de la demanda de energía eléctrica del centro de datos de Bitel-Arequipa.

### **1.3.2: Objetivos Específicos**

- ✓ Determinar la cantidad de horas de sol y la inclinación adecuada de los paneles solares para lograr la energía solar requerida.
- ✓ Calcular la cantidad de paneles solares para su conexionado en serie y/o paralelo limitado por el área de la instalación fotovoltaica.
- ✓ Calcular la cantidad de inversores para su conexionado hacia el tablero general de la instalación fotovoltaica.
- ✓ Determinar la configuración de la instalación eléctrica del sistema fotovoltaico para la conmutación del tablero general del centro de datos.

### **1.4: Justificación**

#### **1.4.1: Justificación tecnológica**

Según Espinoza (2010) enunció que “Se justifica tecnológicamente una investigación cuando se satisface las necesidades sociales.

Que pueden ser:

- Soluciones que permiten mejorar el nivel de vida.
- Soluciones que mejoran la ecología.
- Soluciones que permiten mejorar el sistema productivo (p. 82)”.

La presente investigación tuvo justificación tecnológica porque mejoró para reducir la facturación en el consumo de la demanda de

energía eléctrica y propuso diseño de un sistema fotovoltaico de conexión a red como oportunidad de mejora.

#### **1.4.2: Justificación práctica**

Según Bernal (2010), enunció que “Se considera que una investigación tiene justificación práctica cuando su desarrollo ayuda a resolver un problema o, por lo menos, propone estrategias que al aplicarse contribuirían a resolverlo (p. 106)”.

La presente investigación tuvo una justificación práctica porque su desarrollo ayudó a encontrar soluciones concretas e inmediatas en las instalaciones de distribución de energía eléctrica para reducir la facturación en el consumo de la demanda de energía eléctrica a través de diseño de un sistema fotovoltaico de conexión a red.

#### **1.4.3: Justificación Legal**

Según CAPCHA (2010), enunció que “Se justifica legalmente cuando se cumple las leyes existentes. Pueden ser: Constitución Política del Perú, códigos, directivas, procedimientos, normas. Resoluciones, otros, que se aplican en el área jurídica (p. 8)”.

La presente investigación tuvo justificación legal porque sigue los lineamientos que se aplican de algunas normativas en temas de cumplimiento legal como por ejemplo:

- Ley de promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables, Decreto Legislativo 1002 (mayo 2008).
- Reglamento de la generación de electricidad con energías renovables, Decreto Supremo 050-2008-EM (Octubre 2008).
- Leyes para las energías renovables en América Latina y el Caribe.
- Protocolo de Kioto.

### **1.5: Importancia**

La presente investigación es importante porque:

- ✓ A través del análisis se reducir la facturación en el consumo de la demanda de Energía Eléctrica. Centro de datos Bitel-Arequipa.
- ✓ Permitir conocer el ahorro logrado de energía para el Centro de Datos Bitel-Arequipa.
- ✓ Permitir conocer el ahorro logrado de facturación para el Centro de Datos Bitel-Arequipa.
- ✓ Servir como documento base para iniciar el estudio de gestión energética en las demás secciones de la planta.
- ✓ Servir de guía a estudiantes y/o profesionales interesados en iniciar diseños de sistemas fotovoltaicos conectados a red.



## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1: Antecedentes del estudio

- **Antecedentes internacionales**

a) JAIRO ALONSO GUTIERREZ BOLAÑOS, JHON FREDDY FRANCO PATINO, **Diseño de un Sistema solar fotovoltaico de 20 kwp conectado a red**, Tesis para optar el Título de Ingeniero Electricista, Departamento de Energética y Mecánica, Universidad Autónoma de Occidente, Santiago de Cali, 2011.

Esta tesis sirve como medio de soporte para el desarrollo de la metodología en el dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico con conexión a red del centro de datos.

b) LUIS ENRIQUE SUAREZ DOMINGUEZ, **Ingeniería conceptual para la electrificación de viviendas en zonas alejadas de los puntos de distribución mediante el uso de energías alternativas**, Tesis para optar el Título de Ingeniero Electricista, Universidad de los Andes, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Mexico,2008

Esta tesis sirve para ampliar nuestros conocimientos que la Energía Solar es un excelente medio de suministro de energía para poblaciones aisladas de la red eléctrica y que no cuenten con otro recurso para generar electricidad, debido a su bajo

mantenimiento, alta fiabilidad y escaso impacto ambiental y enmarca en el concepto de desarrollo sostenible, generando una creciente conciencia ambiental que es indispensable en un proceso de cambios que vive el país.

- c) FRANK YEBOAH DADZIE, **Design of grid connected photovoltaic system for knust and economic and enviromental analysis of the designed system**, Facultad de Informática e Ingeniería Eléctrica, Kwane Nkrumah University of Sciece and Technology , Kumasi, 2008

Esta tesis sirve como guía de soporte para elaborar el arreglo de un sistema fotovoltaico.

- d) EULALIA JADRAQUE GAGO, **Uso de la energía solar fotovoltaica como fuente para el suministro de energía eléctrica en el sector residencial**, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Granada, Granada,2011

Esta tesis sirve de guía para realizar el cálculo de la energía eléctrica generada por las instalaciones fotovoltaicas conectadas a red.

- e) PABLO DIAZ VILLAR, **Confiabilidad de los sistemas fotovoltaicos autónomos: Aplicación a la electrificación rural**, Tesis para optar el Título de Doctor, Universidad Politécnica de Madrid, Escuela técnica superior de Ingenieros de Telecomunicación, España, 2003.

Esta tesis sirve de guía sobre la fiabilidad asociándolo al dimensionado de las instalaciones, por una parte, factor dependiente de la aleatoriedad de la radiación solar y de la incertidumbre del consumo futuro de cada usuario, y la fiabilidad asociada a averías, por otra, marcada por el tiempo no operativo del sistema a la espera del mantenimiento y por los propios recursos destinados.

- f) CARLOS FLORES PULGARIN, **Parque fotovoltaico de 500 KW conectado a la red en el Prat**, Tesis para optar el Título de Ingeniero Eléctrico, Universidad Politécnica de Catalunya, Departamento de Ingeniería de Sistemas, España, 2011.

Esta tesis sirve como guía para realizar el cálculo de la energía eléctrica generada por las instalaciones fotovoltaicas conectadas a red.

- g) CORTESE, ALEXANDRA, (2014, 9 de Setiembre). **Que es una empresa Sustentable?**, <https://ejempla.com/negocios/que-es-una-empresa-sustentable>

Esta tesis sirve sobre como “Una empresa sustentable se preocupa y ocupa por satisfacer las necesidades de la generación actual sin comprometer las necesidades de las generaciones del futuro.”, esta estrategia promueve la concordancia en su cadena de valor, por lo tanto, los proveedores, clientes y demás stakeholders deben estar

alineados a sus principios y en un mundo globalizado, es muy difícil permanecer aislados por mucho tiempo.

- h) GERENCIA, (2016, 17 de Marzo). **Entel Empresas Data center más eficientes y sustentables, una tendencia creciente**, [www.emb.cl/gerencia/articulo.mvc?xid=3281&sec=9](http://www.emb.cl/gerencia/articulo.mvc?xid=3281&sec=9)

Este artículo sirve para reafirmar el objetivo de El uso eficiente de la energía y la disminución del impacto ambiental son tendencias que cada día cobran más relevancia en el ámbito de las Tecnologías de Información. El concepto de Optimización de Data Center o Data Center Sustentable ha ido adquiriendo cada vez más importancia ya que el gasto que generan estas infraestructuras, representa un porcentaje no menor del consumo total de la energía del planeta.

- i) LA TERCERA, (2015, 03 de Diciembre). **Centro de Datos en Chile de Google funcionara con energía solar**, [www.latercera.com/noticia/tendencias/2015/12/659-658603-9-centro-de-datos-en-chile-de-google-funcionara-con-energia-solar.shtml](http://www.latercera.com/noticia/tendencias/2015/12/659-658603-9-centro-de-datos-en-chile-de-google-funcionara-con-energia-solar.shtml)

Este proyecto sirve como medio informativo del Grupo español Acciona diciendo que el suministro del centro de Google provendrá de la planta de energía El Romero, que se construye actualmente en el árido desierto del norte chileno y que será una de las diez mayores centrales fotovoltaicas en el mundo.

- **Antecedentes nacionales**

a) HÉCTOR ARMANDO CORNEJO LALUPÚ, **Sistema solar fotovoltaico de conexión a red en el centro materno infantil de la universidad de Piura**, Departamento de Ingeniería Mecánico-Eléctrica, Universidad de Piura, Piura ,2013.

Esta tesis sirve como medio de soporte para realizar el análisis de cantidad de energía que se va a generar y ahorro en la facturación de consumo de energía eléctrica.

b) JHONNY EDWAR VILCA CORO, JUAN PABLO RUPAY QUIN, SERGIO FERNANDO BALTAZAR ESCARATE, **Implementación del Sistema electrónico de energía solar para Saga Falabella-Open plaza**, Tesis para optar el Título de Ingeniero Electrónico, Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica, Universidad Nacional del Callao, Callao, 2013.

Esta tesis sirve como sustento en donde se logró reducir el gasto en la facturación de energía eléctrica en el 50%.

c) DELFOR FLAVO MUNOZ ANTICONA, **Aplicación de la energía solar para electrificación rural en zonas marginales del país**, Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecánico Electricista, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Mecánica, Peru,2005

Esta tesis sirve como sustento para hacer mención que no todas las formas de producir energía contaminan lo mismo, aquí

es donde radica la ventaja de la instalación de paneles solares.

El uso de paneles solares no contamina una vez instalados y no producen residuos de complicado y peligroso almacenaje.

## **2.2: Marco Conceptual**

### **2.2.1: Sistema fotovoltaico**

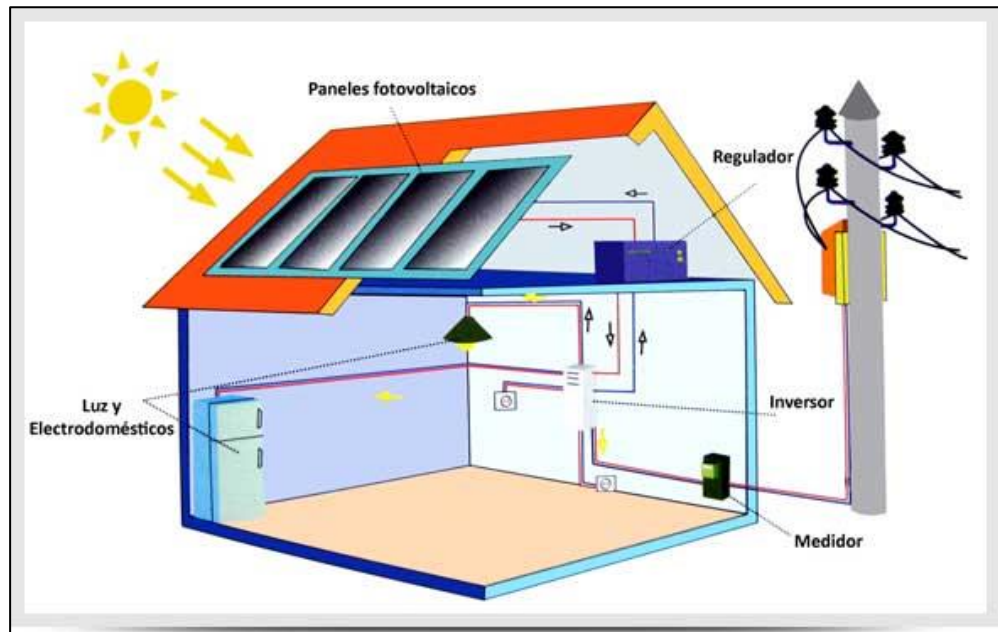
La Energía Solar Fotovoltaica está basada en el efecto fotoeléctrico, que se produce al incidir la radiación solar sobre unos materiales semiconductores generando un flujo de electrones en el interior del material (paneles solares) obteniéndose una tensión, que mediante la colocación de contactos metálicos puede “extraerse” la energía eléctrica.

Estos sistemas se caracterizan por un grado de autonomía respecto al clima, lugar geográfico y otras condiciones que pocas fuentes energéticas pueden alcanzar. Son ideales para lugares remotos y alejados de las fuentes generadoras de energía eléctrica, por su versatilidad, pueden ser utilizados en prácticamente cualquier equipo que funcione con electricidad<sup>1</sup>. (Figura 2.1)

---

<sup>1</sup> DELFOR FLAVIO MUÑOZ ANTICONA, Aplicación de la Energía Solar para Electrificación Rural en Zonas Marginales del País, Tesis de Grado de Ingeniero Mecánico Electricista, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Mecánica, Perú, 2005.

**Figura 2.1**  
**Sistema Fotovoltaico**



Fuente: <http://energia-ecologica.com/energia-solar/paneles-fotovoltaicos/>

### **Principales características de los Sistemas Fotovoltaicos**

Utilizan una fuente de energía renovable (la radiación solar), que es inagotable a escala humana.

- ✓ Son livianos y pequeños. Sus dimensiones son muy reducidas y se pueden instalar fácilmente sobre el tejado de las viviendas, entre otros lugares.
- ✓ Ausencia de partes móviles, por lo que apenas requieren mantenimiento.
- ✓ Tienen una vida útil más larga que los grupos electrógenos.
- ✓ Inversión inicial elevada.
- ✓ Resistentes a las condiciones climatológicas más adversas: Lluvia, nieve, viento, etc.

- ✓ No requieren consumo de combustible

Durante su uso, no producen desechos, residuos, olores, ruidos o vapores, que contaminen el medio ambiente.

Produce un pequeño, pero considerado impacto medioambiental en la etapa de su producción.

Rendimiento de la transformación energética es bajo.

La electricidad que se obtiene es en forma de corriente continua y generalmente a bajo voltaje, con lo que se evitan los accidentes tan peligrosos que ocurren actualmente con las líneas eléctricas.

No necesitan radiación solar directa (funcionan también en días nublados).

La electricidad se produce en el mismo lugar donde se consume, eliminando la necesidad de instalar tendidos eléctricos y transformadores, que suponen no sólo un importante coste económico sino también un impacto sobre el paisaje.

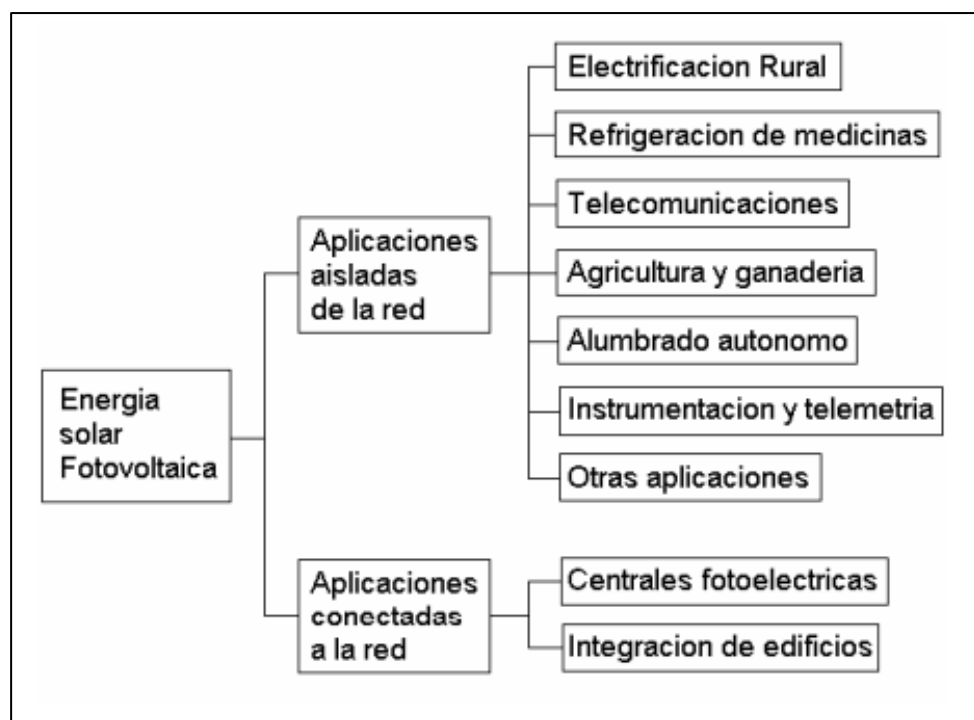
### **Clasificaciones de las Instalaciones Fotovoltaicas**

Las instalaciones fotovoltaicas se pueden dividir en dos tipos, según el objetivo que a estas se les designe. El primer tipo corresponde a las instalaciones aisladas de la red eléctrica, las cuales cumplen la función de satisfacer total o parcialmente los requerimientos de energía eléctrica de viviendas o localidades que



no cuentan con la prestación de servicio eléctrico de alguna compañía. El segundo tipo corresponde a las instalaciones conectadas a la red eléctrica y tienen por objetivo reducir el consumo de energía eléctrica convencional (de la red), optando por satisfacer la demanda por medio del sistema fotovoltaico y si es posible, entregar a la red eléctrica parte de la energía generada y que no es ocupada en el lugar de la instalación. (Figura 2.2)

**Figura 2.2**  
**Clasificaciones Fotovoltaicas**



Fuente: <http://www.sitiosolar.com>

## **Instalaciones aisladas de la red eléctrica**

Son utilizadas en sectores alejados, que no tienen acceso a la red eléctrica, generalmente sectores rurales, iluminación de áreas aisladas, antenas de comunicaciones, balizas o boyas de señalización, bombeo de agua, etc. Estos sistema van acompañados de inversores de corriente, para pasar de corriente continua a corriente alterna, reguladores de voltaje y bancos de baterías que permiten almacenar la energía que no se está utilizando.

Las instalaciones aisladas de la red dan lugar a dos tipos de suministros según sea el tipo de distribución:

- **El sistema centralizado**

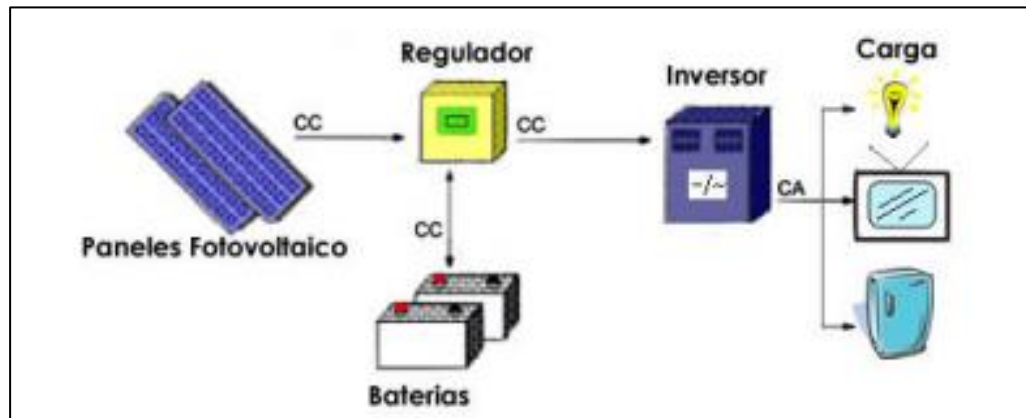
Consiste en un único sistema que cubre las necesidades del conjunto de usuarios. De esta forma se disminuyen los costos del sistema, sin afectar la calidad del suministro.

- **El sistema descentralizado**

Al contrario del sistema centralizado, en este caso se instala individualmente el sistema completo en la vivienda o lugar a energizar. Los costos en este tipo de instalaciones son más altos.

(Figura 2.3)

**Figura 2.3**  
**Sistema descentralizado**



Fuente: <http://altertec.com/auditoria-y-eficiencia-energetica/>

### **Instalaciones conectadas a la red eléctrica**

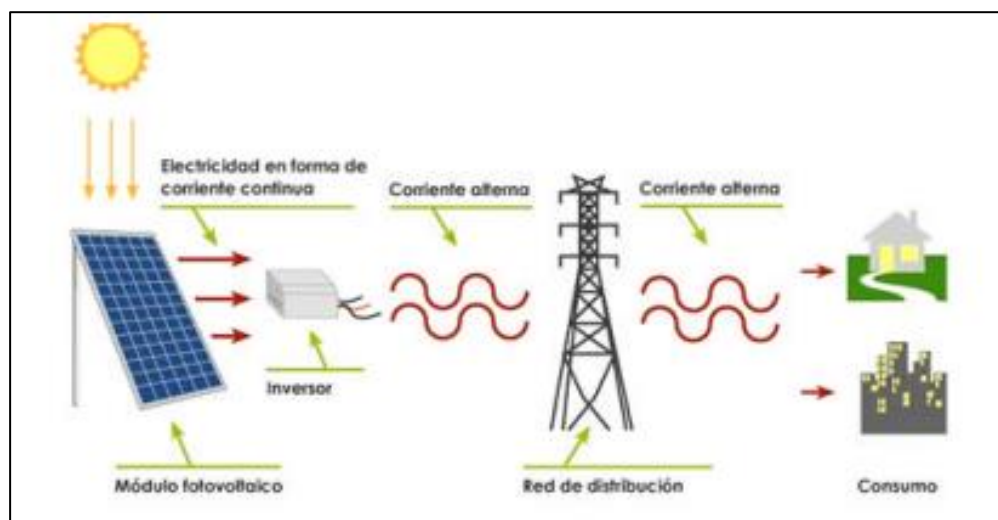
Este tipo de instalaciones se encuentra permanentemente conectado a la red eléctrica, de tal forma que en periodos de irradiación solar, sea el sistema fotovoltaico quien entregue energía, mientras que en periodos de radiación limitada o nula, sea la red eléctrica quien entregue la electricidad necesaria para satisfacer la demanda.

En el caso de que la energía generada por el sistema sea superior a la demanda localmente, la red eléctrica aceptará todo excedente de energía que no sea utilizado.

Los equipos que forman parte de estas instalaciones son: panel fotovoltaico, inversor de corriente para pasar de CC a CA y un Contador que permita contabilizar la energía producida por el sistema. Para poner en funcionamiento una instalación fotovoltaica

de este tipo es necesario contar con un punto de acceso a la red eléctrica, que permitirá entregar la energía generada, este punto de acceso es asignado por la compañía eléctrica del sector donde se realice la instalación. (Figura 2.4)

**Figura 2.4**  
**Instalaciones conectadas a la red eléctrica**

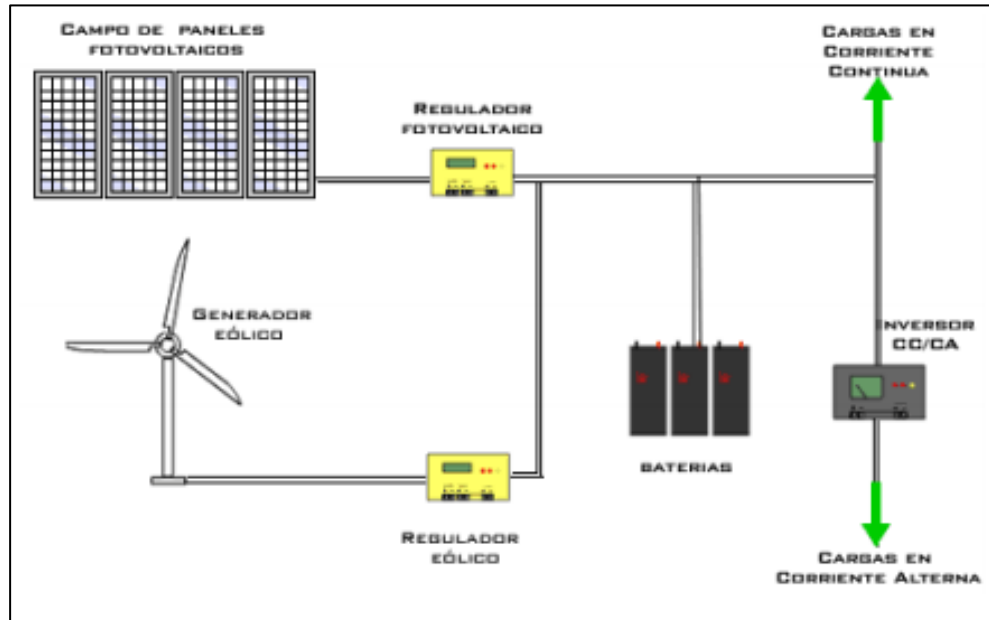


Fuente: <http://www.ceder.uta.cl/index.php?op=9>

### **Instalaciones Híbridas**

En este tipo de instalaciones se combinan los sistemas fotovoltaicos con una o más fuentes de energía renovable o no renovable, como por ejemplo: sistemas eólicos, mareomotriz, biomasa, geotermia, generadores, etc., aumentando de esta forma la confiabilidad de la instalación, ya se evita la dependencia de la plena de un solo medio de generación, como lo es el fotovoltaico, permitiendo en cambio, la complementación de estos sistemas. (Figura 2.5)

**Figura 2.5**  
**Instalaciones Híbridas**



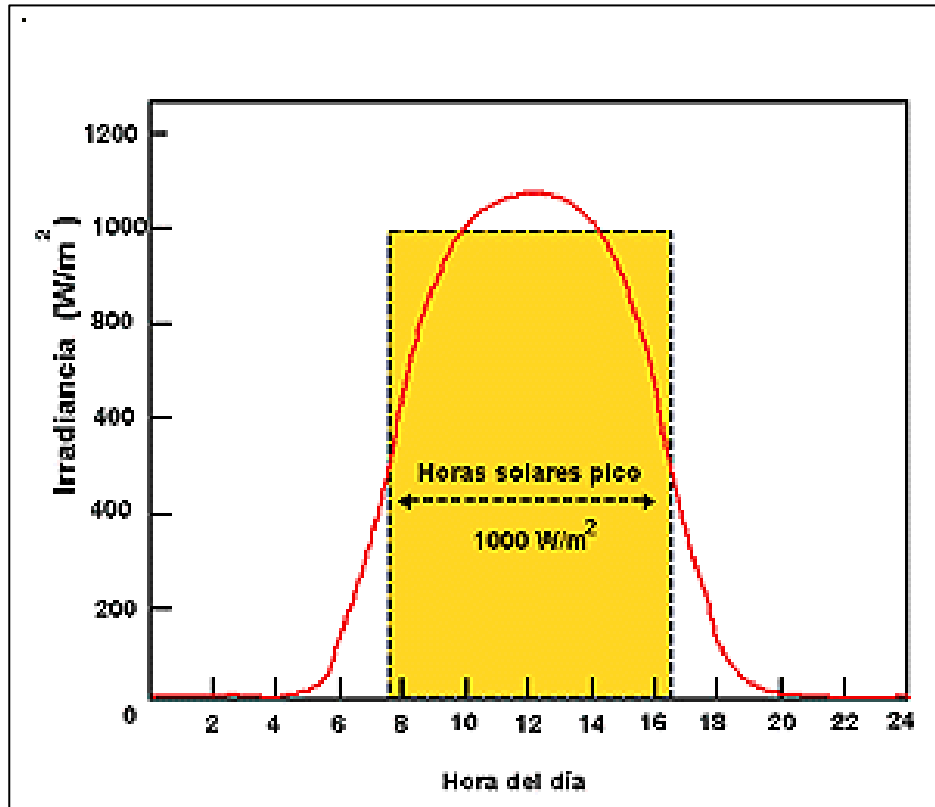
Fuente: <https://lifetheexperience.wordpress.com/2015/07/24/light-of-hope-technical-aspects-of-solar-technology/>

### 2.2.2: Intensidad de radiación

La intensidad de corriente aumenta con la radiación mientras que la tensión permanece aproximadamente constante. Esto es importante ya que la radiación cambia a lo largo del día, en función de la posición del sol, por lo que es imprescindible una adecuada posición de los paneles. Encontrar la posición adecuada es el origen del seguimiento del punto de máxima potencia, del que se hablará más adelante<sup>2</sup>. (Figura 2.6)

<sup>2</sup> HÉCTOR ARMANDO CORNEJO LALUPÚ, Sistema solar fotovoltaico de conexión a red en el Centro Materno Infantil de la Universidad de Piura, Tesis de Grado de Ingeniero Mecánico Eléctrico, Universidad de Piura, Departamento de Ingeniería Mecánico Eléctrica, Perú, 2013.

**Figura 2.6**  
**Intensidad de radiación**



Fuente: [www.asades.org.ar](http://www.asades.org.ar)

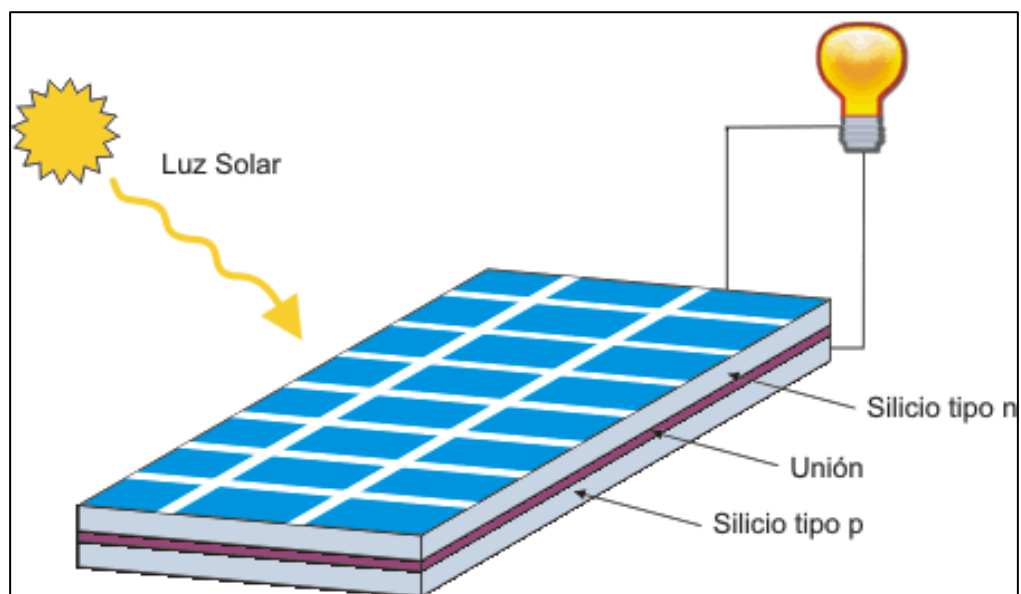
### 2.2.3: Paneles Solares

Los paneles solares o módulos fotovoltaicos están formados por la interconexión de células solares encapsuladas entre materiales que las protegen de los efectos de la intemperie, son las encargadas de captar la energía procedente del sol en forma de radiación solar y transformarla en energía eléctrica por el efecto fotovoltaico.

Los paneles solares producen energía eléctrica durante todo el día. Una forma sencilla de evaluar la energía producida es considerar que éste la entrega durante un determinado tiempo llamadas horas

punta solar, trabajando a su máxima potencia, equivalente a la energía que produce en un día típico de cada mes del año, considerando la estacionalidad. La máxima potencia es el principal parámetro que define un panel solar. (Figura 2.7)

**Figura 2.7**  
**Panel Solar**



Fuente: <http://energias-renovables-y-limpias.blogspot.pe/2012/12/como-funciona-un-panel-solar-fotovoltaico.html>

### **Tipos de paneles solares fotovoltaicos**

Se pueden clasificar en dos grupos, según el material de construcción y según la forma del panel. El Silicio y el Arseniuro de Galio son los materiales más usados para su fabricación, pero los más comunes son de Silicio, por tener un menor costo.

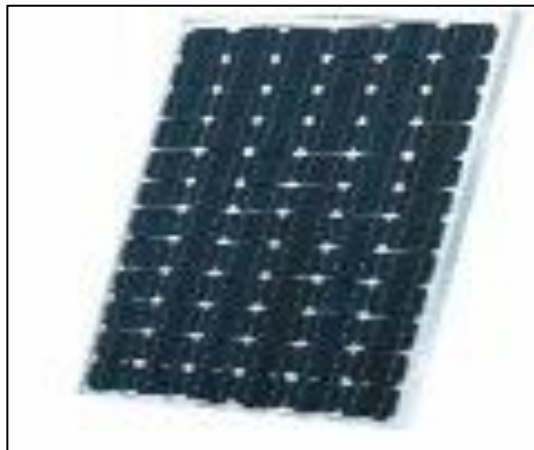
### **Clasificación del panel según el material de construcción**

Existen tres grandes grupos de clasificación las cuales son presentadas a continuación.

### **Silicio puro Monocristalino**

Se basan en secciones de una barra de silicio perfectamente cristalizado en una sola pieza. Se ha comprobado que han alcanzado un rendimiento máximo de 24.7% para éste tipo de paneles, y en los comercializados un 16%. (Figura 2.8)

**Figura 2.8**  
**Silicio puro monocristalino**



Fuente: <http://energias-renovables-y-limpias.blogspot.pe/2012/12/como-funciona-un-panel-solar-fotovoltaico.html>

### **Silicio puro Policristalino**

Los materiales son semejantes al anterior, aunque en este caso el proceso de cristalización del silicio es diferente. Los paneles policristalinos se basan en secciones de una barra de silicio que se han estructurado desordenadamente en forma de pequeños



cristales. Son visualmente muy reconocibles por presentar su superficie un aspecto granulado. (Figura 2.9)

**Figura 2.9**  
**Silicio puro Policristalino**



Fuente: <http://www.sitiosolar.com>

### **Silicio Amorfo**

Basados también en el silicio, pero a diferencia de los dos anteriores, este material no sigue una estructura cristalina. Paneles de este tipo son habitualmente empleados para pequeños dispositivos electrónicos (calculadoras y relojes) y en pequeños paneles portátiles. Su rendimiento máximo alcanzado en laboratorio ha sido del 13%, y para módulos comerciales de un 8%.

### **Clasificación del panel según su forma**

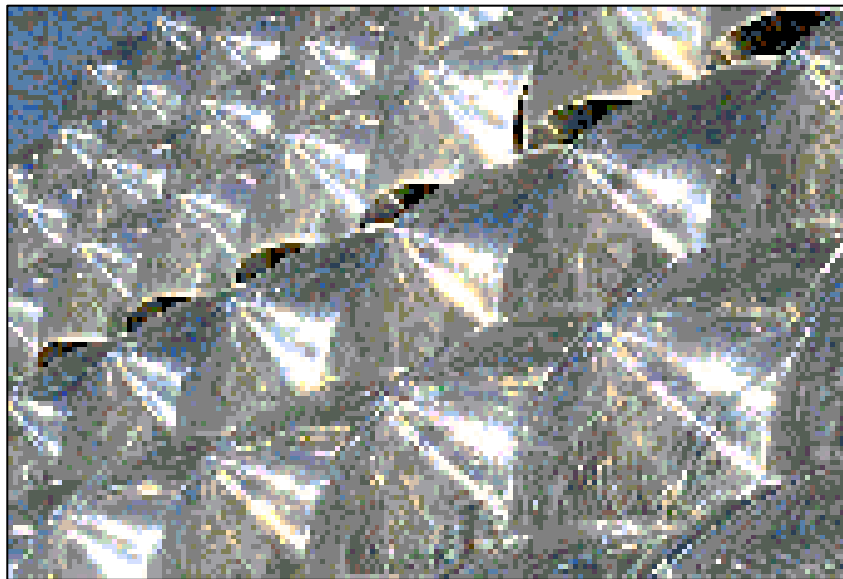
Se fabrican paneles en distintos formatos para adaptarse a una aplicación en concreto o bien para lograr un mayor rendimiento.

Algunos ejemplos de formas de paneles distintos del clásico plano son:

- **Paneles con sistemas de concentración:**

Están formados por una serie de superficies reflectantes que concentran la luz sobre los paneles fotovoltaicos. Aunque el porcentaje de conversión no varía, una misma superficie de panel producirá más electricidad ya que recibe una cantidad concentrada de fotones. (Figura 2.10)

**Figura 2.10**  
**Paneles con sistemas de concentración**



Fuente: <http://www.consumer.es>

- **Paneles de formato teja o baldosa:**

Estos paneles son de tamaño pequeño y están pensados para combinarse en gran número para así cubrir las grandes superficies que ofrecen los tejados de las viviendas. Son aptos

para cubrir grandes cantidades de demandas energéticas, y presentan una buena captación.

- **Paneles bifaciales:**

Basado en un tipo de panel capaz de transformar en electricidad la radiación solar que recibe por cualquiera de sus dos caras. Para aprovechar esta cualidad, se coloca sobre dos superficies que reflejan la luz solar hacia el reverso del panel. Presentan una mayor captación de energía, siendo más eficientes, pero ocupan un espacio considerable.

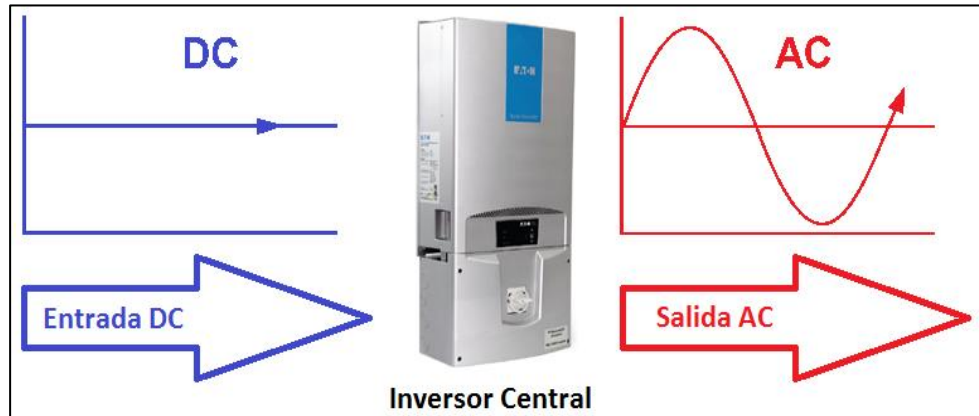
#### **2.2.4: Inversores**

El inversor fotovoltaico es el equipo electrónico que permite suministrar la potencia generada a la red comercial<sup>3</sup>. Su función principal es convertir la corriente continua producida por el generador fotovoltaico en corriente alterna, con unas características establecidas por la red: 220V de valor eficaz de tensión y una frecuencia de 60 Hz. (Figura 2.11)

---

<sup>3</sup> HÉCTOR ARMANDO CORNEJO LALUPÚ, Sistema solar fotovoltaico de conexión a red en el Centro Materno Infantil de la Universidad de Piura, Tesis de Grado de Ingeniero Mecánico Eléctrico, Universidad de Piura, Departamento de Ingeniería Mecánico Eléctrica, Perú, 2013.

**Figura 2.11**  
**Inversor**

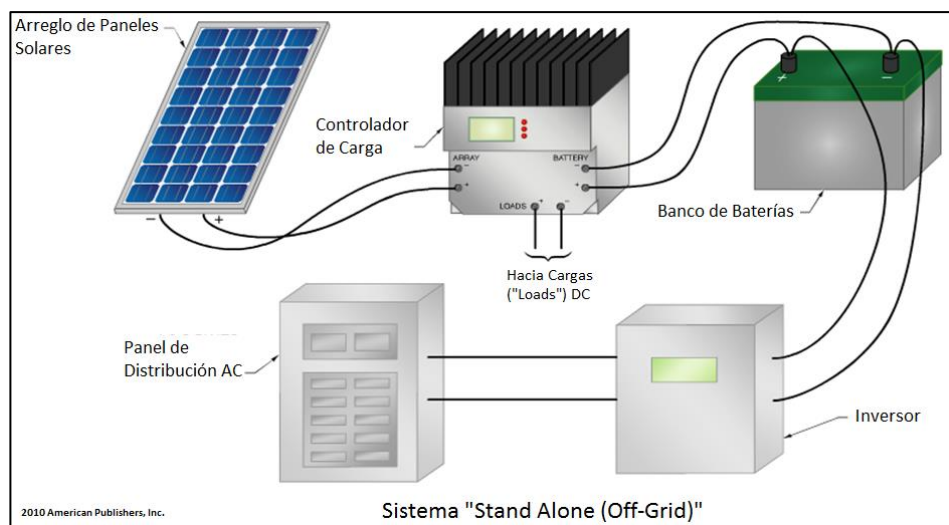


Fuente: <http://panelessolarespr.com/solar101.html>

### 2.2.5: Arreglo eléctrico

Es el término utilizado para indicar una determinada configuración en la instalación eléctrica del sistema fotovoltaico y su conexionado al tablero general del centro de datos. (Figura 2.12)

**Figura 2.12**  
**Arreglo eléctrico**



Fuente: <http://panelessolarespr.com/solar101.html>

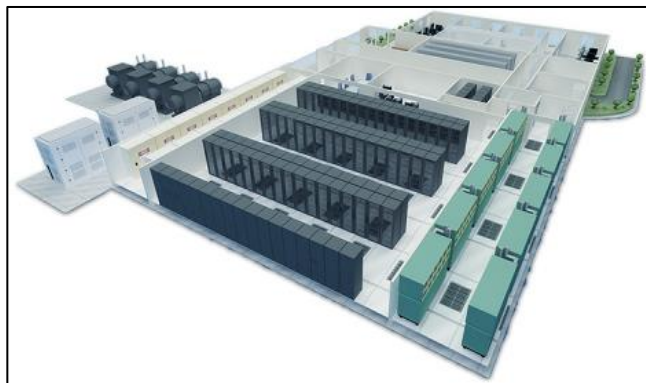
### 2.2.6: Data Center

Un data center es un centro de procesamiento de datos, una instalación empleada para albergar un sistema de información de componentes asociados, como telecomunicaciones y los sistemas de almacenamientos.

Una data center te ofrece varios niveles de resistencia, en la forma de fuentes de energía de Backup y conexiones adicionales de comunicación, que puede no ser utilizada hasta que pase algún problema en el sistema primario donde el principal objetivo de un proyecto de data center es ejecutar las aplicaciones centrales del negocio y almacenar datos operativos.

Data center es utilizada internacionalmente para medir la eficiencia de los términos de energía que es ofrecida para todas las instalaciones comparada a la energía usada por equipos de TIC. (Figura 2.13)

**Figura 2.13**  
**Centro de Datos**



Fuente: <http://www.datacenterdynamics.com.br>

### **2.2.7: Eficiencia Energética**

La Eficiencia Energética (EE) se puede definir como el conjunto de acciones o medidas que permiten optimizar la energía destinada a producir un bien y/o servicio. Esto se puede lograr a través de la implementación de diversas medidas e inversiones a nivel de:

- Tecnología: diseñando o modificando dispositivos para que utilicen de forma eficiente la energía.
- Gestión: optimizando los recursos siempre escasos, para producir el mismo producto, de igual o mejor calidad, pero a un costo energético menor.

Hábitos culturales en la comunidad: asumiendo como propio el desafío de usar eficientemente la energía, adoptando medidas tan simples como apagar las luces que no se estén ocupando.

La adopción de medidas de optimización de la energía (EE) trae beneficios directos al país y a su desarrollo sustentable en cuatro áreas básicas:

- Estratégicos: Reduce la dependencia de fuentes energéticas externas.
- Económicos: el ahorro de energía permite aumentar el ahorro económico, esto debido a la reducción de la demanda energética por parte de consumidores e industria, en todos los servicios energéticos tales como luz, calefacción, transporte; y

generación de actividad económica, empleo y oportunidades de aprendizaje tecnológico, en los nuevos mercados de bienes y servicios que se crearán para los diferentes sectores usuarios.

- Ambientales: disminución de la demanda de recursos naturales. Esto incluye alivio de presiones locales así como presiones globales tales como las emisiones de CO<sub>2</sub>, conducentes al calentamiento global.
- Sociales y de género: las familias de escasos recursos serán las más beneficiadas, ya que estas destinan gran parte de su presupuesto a energía. (Figura 2.14)

**Figura 2.14**  
**Eficiencia energética**



Fuente: <https://www.db.com>

### **2.2.8: Facturación**

Esta forma de conexión utiliza la electricidad fotovoltaica para consumo propio y los excedentes se inyectan a la red. El sistema fotovoltaico se conecta cerca del contador, en el lado del

consumidor, reduciendo la necesidad de comprar electricidad, con ello disminuye la factura de la compañía eléctrica, ya que solo suministra la energía que no aportan los paneles.

Cuando se produce un excedente, éste se vierte a la red y se puede recibir la tarifa fotovoltaica correspondiente, si lo contempla la regulación<sup>4</sup>.

➤ **Inclinación de paneles.**

Es necesario hallar el ángulo de inclinación óptima anual para conseguir la mayor radiación solar anual posible sobre los módulos fotovoltaicos, está en función de la latitud del lugar, y se determina mediante la siguiente formula<sup>5</sup>.

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69 \cdot |\phi| \quad (2.1)$$

Donde:

$\beta$ : ángulo de inclinación óptima (°)

$|\phi|$ : latitud del lugar, sin signo (°)

➤ **Dimensionado del generador fotovoltaico**

---

<sup>4</sup> HÉCTOR ARMANDO CORNEJO LALUPÚ, Sistema solar fotovoltaico de conexión a red en el Centro Materno Infantil de la Universidad de Piura, Tesis de Grado de Ingeniero Mecánico Eléctrico, Universidad de Piura, Departamento de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Perú, 2013.

<sup>5</sup> <https://ingelibreblog.wordpress.com/2014/01/09/inclinacion-optima-de-placasfotovoltaicas/>



Dada la demanda de electricidad, es bastante fácil calcular la cantidad de paneles que cubra esta demanda mediante la siguiente ecuación<sup>6</sup>:

$$N_T = (P_{FV} / P_{STC \text{ mod}}) \quad (2.2)$$

Donde:

$N_T$ : Número total de módulos fotovoltaicos

$P_{FV}$ : Potencia del generador fotovoltaico, (W)

$P_{STC \text{ mod}}$ : Potencia máxima del módulo fotovoltaico en condiciones estándar de medida, SCT, (Wp).

#### ➤ Selección del inversor

El inversor se encarga de transformar la corriente DC en AC, es por ello que el parámetro que define a este equipo es la potencia mínima a convertir<sup>7</sup>.

$$W_{min \text{ inversor}} = W_{max \text{ inversor}} * Cs \quad (2.3)$$

Donde:

$W_{max \text{ inversor}}$ : Este valor coincide con la potencia demandada, (W).

---

<sup>6</sup> SILVA PIGENUTT, César, Aplicación de sistemas fotovoltaicos en zonas marginadas del estado de Veracruz sin recursos de energía eléctrica. Tesis para optar el título de ingeniero Eléctrico Electrónico. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México. 2015.

<sup>7</sup> VALDIVIEZO SALAS, Paulo. Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP. Tesis para optar el título de ingeniero Mecánico. Lima. Pontificia Universidad Católica del Perú. 2014.

: Es el coeficiente de simultaneidad.

Es muy poco probable que todas las cargas funcionen al mismo tiempo. Sin embargo, asumiendo el caso crítico, es prudente colocar un coeficiente de simultaneidad de 100%

$$N^{\circ} inversores = W_{min\ inversor} / W_{sistema} \quad (2.4)$$

➤ **Determinar la cantidad de paneles en serie y en paralelo a condiciones reales**

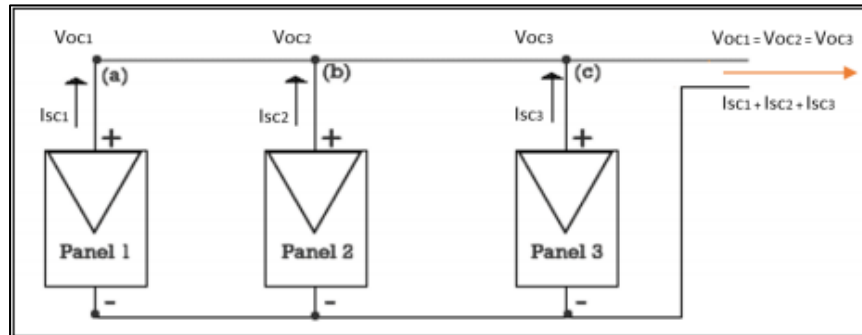
**Conexión de paneles solares:** En la mayoría de proyectos fotovoltaicos, sobre todo de las instalaciones solares aisladas y dependiendo de la potencia de la instalación, será necesario asociar varios paneles en serie o paralelo para obtener los niveles de tensión y corriente deseados. Para la conexión de placas solares fotovoltaicos, hay tres opciones posibles<sup>8</sup>:

**Conexión de placas solares en Paralelo:** se conectan todos los paneles por sus polos positivos y, por separado, por todos los polos negativos. Con esto, lo que conseguimos es aumentar la corriente generada en la rama (suma de las corrientes de cada panel) pero se mantiene la misma tensión que la de uno de los paneles que componen la rama.

---

<sup>8</sup> <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/modulo-fotovoltaico-calculo-panelessolares-fotovoltaicos/>

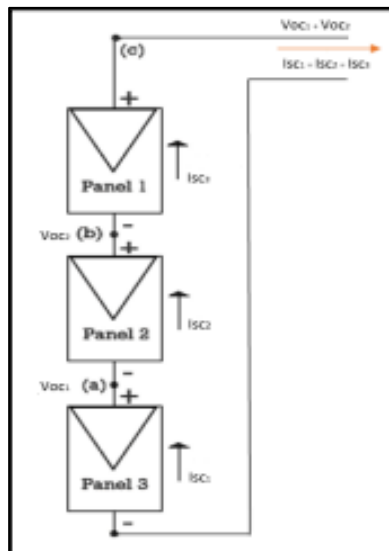
**Figura 2.15**  
**Conexión de paneles en paralelo**



Fuente: Sun Fields

**Conexión de módulos fotovoltaicos en Serie:** para este tipo de configuración se conecta el polo positivo de un módulo, con el polo negativo del siguiente, así sucesivamente con cuantos paneles sean necesarios. Con esto se consigue aumentar la tensión y mantener el mismo valor de corriente generada.

**Figura 2.16**  
**Conexión de paneles en serie**



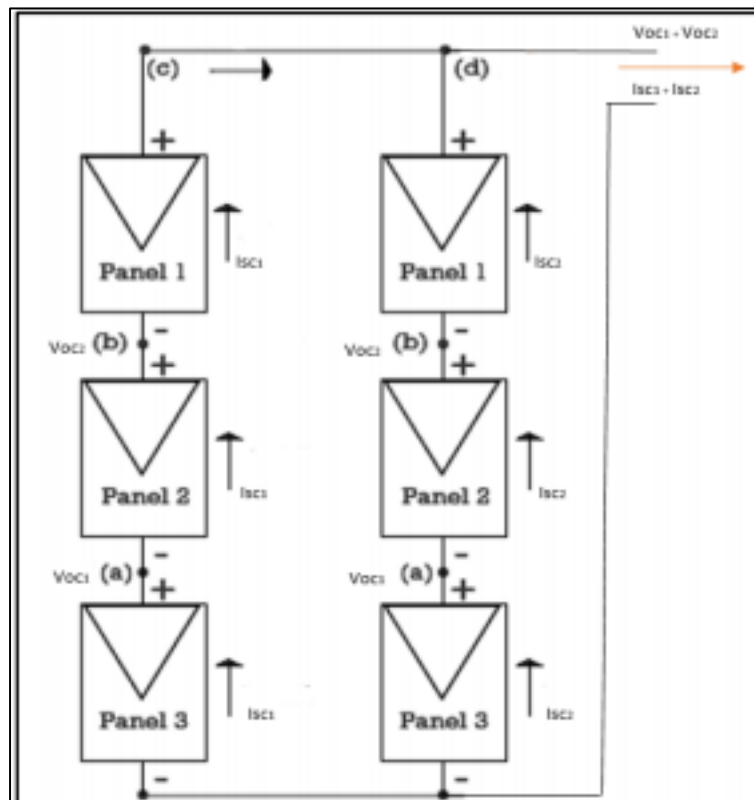
Fuente: Sun Fields

**Conexión mixta de placas solares:** sería la última opción de configuración de las que nos podemos encontrar, en este caso

sería una configuración donde encontramos ramas con paneles conectados en serie y a su vez, estas ramas, conectadas en paralelo. Esta configuración se usa cuando debemos lograr unas corrientes y tensiones de salida muy determinadas, y entonces “jugamos” con las opciones que nos dan los distintos tipos de conexionado. Veamos un ejemplo al respecto<sup>9</sup>:

**Figura 2.17**

**Conexión mixta de paneles solares**



Fuente: Sun Fields

<sup>9</sup> <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/modulo-fotovoltaico-calculo-panelessolares-fotovoltaicos/>

## Numero de paneles en serie

Para determinar el número máximo e mínimo de paneles en serie que se instalaran en cada string a condiciones de la zona donde está ubicado en centro de datos se recurre a los datos proporcionados por el fabricante del panel e inversor indicados a continuación:

$$VOC_{GF-Temp} = VOC_{STC} * (1 - \frac{\Delta T}{100} * \Delta V) \quad (2.5)$$

$$N_{max.panel-serie} = \frac{Vmax(inv)}{VOC_{GF-Tmin C^{\circ}}} \quad (2.6)$$

$$N_{min.panel-serie} = \frac{Vmin(inv)}{VOC_{GF-Tmax C^{\circ}}} \quad (2.7)$$

Donde:

Vmax(inv): Voltaje máximo del Inversor

Vmin(inv): Voltaje mínimo del Inversor

VOC<sub>STC</sub>: Voltaje del panel en condiciones standard

ΔT: Temperatura límite del lugar

ΔV: Coeficiente de variación del voltaje respecto a la temperatura

VOC<sub>GF-Temp C°</sub>

## Numero de paneles en paralelo

Para determinar el máximo número de strings que se podrán instalar por cada inversor se da mediante la siguiente ecuación:

$$N_{\text{max-paralelos}} = \frac{I_{\text{max(inv)}}}{I_{N_{\text{paralelo}}}} \quad (2.8)$$

Donde:

$I_{\text{max(inv)}}$ : Corriente máxima del Inversor

$I_{N_{\text{paralelo}}}$ : Corriente máxima del Panel Solar

➤ **Interdistancia mínima e inclinación de los módulos Separación entre hileras de módulos:**

Para evitar el sombreado entre paneles, se determina la distancia mínima <sup>10</sup>entre las filas a partir del cálculo propuesto en el Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaicos conectado a la red del centro de datos.

Esta distancia mínima  $d$  será superior al valor obtenido en la expresión:

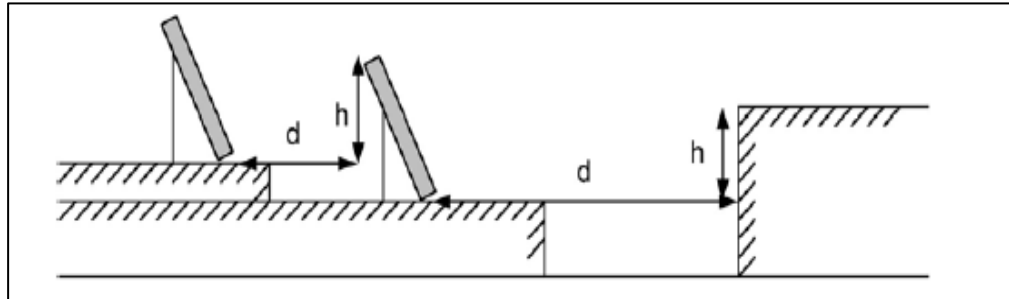
$$d = \frac{h}{\tan(61 - \text{latitud})} \quad (2.9)$$

Se toma  $h$  como la altura de la estructura dependiendo de su inclinación:

---

<sup>10</sup> CARLOS FLORES PULGARIN, **Parque fotovoltaico de 500 KW conectado a la red en el Prat**, Proyecto de Fin de Carrera, Universidad Politécnica de Catalunya, Departamento de Ingeniería de Sistemas, España, 2011.

**Figura 2.18**  
**Separación entre módulos**



Fuente: Proyecto fotovoltaico de 500 kw conectado a la Red de Pratt

➤ **Soporte de Paneles solares**

El soporte donde se colocaran los paneles solares será de material de Fierro galvanizado con bases de concreto, para lo cual deberá ser capaz de resistir a los vientos de para todo los meses del año.

Se convierte la velocidad en presión <sup>11</sup>con la siguiente ecuación:

$$P = \frac{W}{2g} \times V^2 \quad (2.10)$$

Donde:

P: Presión  $\frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$

W: Peso específico del aire a 10°C.

g: Gravedad  $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

---

<sup>11</sup> CARLOS FLORES PULGARIN, **Parque fotovoltaico de 500 KW conectado a la red en el Prat**, Proyecto de Fin de Carrera, Universidad Politécnica de Catalunya, Departamento de Ingeniería de Sistemas, España, 2011.

V: Velocidad del viento  $\frac{m}{s}$

➤ **Secciones del circuito de corriente continúa**

El tramo de c.c. discurre desde los paneles hasta la entrada en continua del inversor. Para realizar los cálculos de este apartado se ha de tener en cuenta las siguientes características:

a) La intensidad de los conductores tiene que ser  $1,25 \cdot I_{sc}$ , según la CNE 050- 104.

• **Conductores para la conexión entre módulos (string)**

La corriente de cortocircuito en cada string, rectificadas a  $70^{\circ}\text{C}$  y sobredimensionada al 25% según lo anteriormente citado, es de<sup>12</sup>:

$$I_{sc,70C} = I_{sc,25C} \times \left( 1 + \frac{\Delta T}{100} \times \Delta l \right) \quad (2.11)$$

Donde:

$I_{sc,25C}$  (A): Corriente de circuito del panel en condiciones STC ( $25^{\circ}\text{C}$ )

$\Delta T$  (C): Incremento de temperatura respecto a las condiciones estándar.

$\Delta l$  (%/ C): Coeficiente de temperatura para  $I_{sc}$  del panel

---

<sup>12</sup>FLORES PULGARÍN, Carlos, Parque fotovoltaico de 500kW conectado a la red situado en El Prat. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/11378/Càlculs.pdf?sequence>



- **Caída de tensión**

Se calcula con la siguiente expresión<sup>13</sup>:

$$\% \Delta V = \frac{2 \times L_M \times I_{SC-GFV}}{S_M \times V_{MPP} \times \sigma} \quad (2.12)$$

Donde:

$L_M$  (m) : Longitud del cable de conexión entre módulos por string.

$I_{sc, modulo}$  (A): Corriente de cortocircuito del módulo rectificado a 70 °C

$S_M$  (mm<sup>2</sup>) : Sección del conductor

$V_{Mpp}$  (V): Tensión en condiciones óptimas, rectificada a 70 C

$\sigma$  ( $\frac{m}{\Omega \cdot mm^2}$ ): Conductividad del conductor a 90 °C

➤ **Dimensionamiento de cables en CA**

El cable eléctrico de conexión representa el componente indispensable para el transporte de la energía eléctrica entre los diferentes bloques que integran un sistema fotovoltaico. Los cables eléctricos utilizados en un sistema fotovoltaico están cuidadosamente diseñados. Para el dimensionamiento y selección de cables se calcula la intensidad de corriente alterna <sup>14</sup>para cada

---

<sup>13</sup> FLORES PULGARÍN, Carlos, Parque fotovoltaico de 500kW conectado a la red situado en El Prat. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/11378/Càlculs.pdf?sequence>

<sup>14</sup> CARLOS FLORES PULGARIN, **Parque fotovoltaico de 500 KW conectado a la red en el Prat**, Proyecto de Fin de Carrera, Universidad Politécnica de Catalunya, Departamento de Ingeniería de Sistemas, España, 2011.

tramo del sistema. Tomando como referencia la ecuación la siguiente manera:

$$I_{AC} = \frac{P_{AC}}{\sqrt{3}xV_Lx \cos \varphi} \quad (2.13)$$

Donde:

$P_{AC}(W)$ : Potencia nominal

$V_L(V)$ : Tensión en línea a la salida del inversor

$\cos \varphi$ : Factor de potencia

#### ➤ **Protecciones de la instalación**

Como toda instalación eléctrica, el parque fotovoltaico ha de tener las medidas correspondientes para proteger la instalación.

Estará protegido contra los efectos de las sobre intensidades que pueda presentarse en el mismo, para esto la interrupción de este circuito se realizará en un tiempo conveniente o estará dimensionado para las sobre intensidades previsibles.

Las sobre intensidades pueden exponerse por medio de:

- ✓ Sobrecargas debidas a los aparatos de utilización o defectos de aislamiento de gran impedancia.
- ✓ Cortocircuitos
- ✓ Descargas eléctricas atmosféricas.
- **Sobre cargas o sobre intensidades permanentes**

En caso que la corriente generada sea mayor a la estimada, provoca sobre calentamiento en los conductores que será perjudicial para nuestra instalación. Para que no ocurra este imprevisto se colocará un interruptor automático que limite la corriente máxima admitida por el conductor.

- **Cortocircuito**

Este caso es producido por un contacto defectuoso o por un mal uso o mala conexión de los conductores o equipos de la instalación, produciendo así un cortocircuito en la instalación, como consecuencia se genera un nivel de corriente superior al nominal y es entonces cuando debe actuar el equipo de protección contra sobrecargas.

Estas corrientes son muy elevadas y el equipo de protección debe soportar esta corriente y proteger la instalación.

- **Sobre intensidades intermitentes (Descargas eléctricas atmosféricas)**

Este caso es producido por agentes externos atmosféricos como puede ser un rayo o una tormenta, produciendo una descarga eléctrica que repercute en la instalación aumentando brutalmente los valores de corriente.

Este efecto debe protegerse mediante un interruptor de sobre intensidades intermitentes, ya que este en caso de producirse

una descarga eléctrica este equipo lo atrae y lo deriva a la puesta a tierra de la instalación.

➤ **Cálculo del poder de corte de las protecciones**

Para determinar el poder de corte de las protecciones de la línea se procederá al cálculo de las intensidades de cortocircuito.<sup>15</sup>

Se empieza el cálculo por el principio de la instalación, desde el centro de transformación hasta los módulos, teniendo en cuenta que en caso de cortocircuito se tendrán valores elevados para corrientes provenientes del transformador. Cuanto mayor sea el tramo a calcular, mayor será la resistencia y menor la intensidad de corriente de cortocircuito.

Primero se calculan las resistencias de los equipos y de las líneas de la instalación a partir de los datos proporcionados por el fabricante o, en caso de no tenerlos, por estimación:

$$|Z_{\text{aisl}}| = \frac{U_n^2}{P_{\text{cc}}} \quad (2.14)$$

$$|Z_{\text{línea}}| = \rho \cdot \frac{L}{S} \quad (2.15)$$

$$|Z_{\text{tramo}}| = |Z_{\text{Inversor}}| = \frac{e_{\text{cc}} \cdot U_n^2}{100 \cdot P_{\text{cc}}} \quad (2.16)$$

$$|Z_{\text{tramo}}| = \sum Z_I \quad (2.17)$$

---

<sup>15</sup> CARLOS FLORES PULGARIN, **Parque fotovoltaico de 500 KW conectado a la red en el Prat**, Proyecto de Fin de Carrera, Universidad Politécnica de Catalunya, Departamento de Ingeniería de Sistemas, España, 2011.

Donde:

$U_n$ (V)	Tensión nominal
$P_n$ (W)	Potencia nominal
$P_{cc}$ (VA)	Potencia de cortocircuito
$e_{cc}$ (%)	Caída de tensión
$Z$ ( $\Omega$ )	Impedancia
$\rho \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$	Resistividad del cobre a 90°
$L$ (m)	Longitud de línea
$S$ ( $\text{mm}^2$ )	Sección del conductor

➤ **Validación de la corriente admisible del conductor con la corriente nominal de las protecciones**

Para cada caso se comprueba que la corriente nominal de la protección instalada corresponde a la corriente admisible por los conductores asignados con las siguientes expresiones:

Para el caso de interruptores magnetos térmicas<sup>16</sup>:

$$I_B \leq I_N \quad (2.18)$$

$$I_N \leq I_Z \quad (2.19)$$

---

<sup>16</sup> CARLOS FLORES PULGARIN, **Parque fotovoltaico de 500 KW conectado a la red en el Prat**, Proyecto de Fin de Carrera, Universidad Politécnica de Catalunya, Departamento de Ingeniería de Sistemas, España, 2011.

Donde:

$I_B$  Corriente nominal en el tramo

$I_N$  Corriente nominal del fusible

$I_Z$ : Corriente admisible del conductor del tramo

Para el caso de fusibles:

$$I_B \leq I_N \quad (2.20)$$

$$I_N \times K_3 \leq I_Z \quad (2.21)$$

Donde:

$I_B$  Corriente nominal en el tramo

$I_N$  Corriente nominal del fusible

$I_Z$ : Corriente admisible del conductor del tramo

Factor de corrección de la corriente de corte del fusible

$$K_3 = 1.31 \text{ para } I_N \leq 10 \text{ A}$$

$$K_3 = 1.21 \text{ para } 10 < I_N \leq 25 \text{ A}$$

$$K_3 = 1.1 \text{ para } I_N > 25 \text{ A}$$

### ➤ **Energía inyectada a la Red**

Teniendo en cuenta la potencia pico instalado, la radiación óptima y el performance ratio, se puede calcular finalmente la energía generada<sup>17</sup>.

$$E_p = \frac{G_{dm}(\alpha, \beta) \cdot P_{max} \cdot PR}{G_{STC}} \quad (2.22)$$

---

<sup>17</sup> FLORES PULGARÍN, Carlos, Parque fotovoltaico de 500kW conectado a la red situado en El Prat.

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/11378/Càlculs.pdf?sequence>

Donde:

$G_{dm}(\alpha, \beta)$  : Irradiación mensual en plano con inclinación óptima y orientado con azimut óptimo (kWh/m<sup>2</sup>.día)

$P_{max}$ : Potencia Pico del generador (kW)

PR: Performance Ratio (Rendimiento Energético)

$G_{STC}$ : Irradiancia en condiciones estándar 1 kW/m<sup>2</sup>

### ➤ **Performance Ratio**

Todas las tasas de rendimiento (o dicho de otra manera, pérdidas) mostradas anteriormente se resumen en un único concepto global llamado Performance Ratio, PR, que se define como la relación entre la energía anual entregada efectivamente a la red,  $E_{AC}$  y la que entregaría un sistema ideal (sin pérdidas de ningún tipo) que recibiese la misma radiación solar. Es decir<sup>18</sup>:

$$PR = \frac{E_{AC}}{P_{MG} \cdot \frac{G_a(I)}{G}} \quad (2.23)$$

Donde:

$P_{MG}$  : Potencia pico del campo fotovoltaico

$G_a(I)$ : Irradiación global sobre la superficie del generador

G: Irradiancia en condiciones estándar, G=1000 W/m<sup>2</sup>

---

<sup>18</sup> RECARTE ALLUÉ, Josu, Central solar fotovoltaica de 500 kW. Tesis para optar el título de Ingeniero Eléctrico. Universidad de la Rioja. 2013.

➤ **Opción tarifaria MT3**

Esta opción tarifaria está dirigida para aquellos usuarios cuyos consumos de potencia se da durante las 24 horas al día o aquellos usuarios cuyo turno de trabajo empieza en horas de la mañana y acaban pasadas las 18:00 h.

Esta tarifa considera precios diferenciados para las facturaciones de potencia, según si los usuarios se encuentran calificados como presentes en punta o presentes en fuera de la punta.

**a) Facturación de la Energía Activa**

Para la facturación de los consumos de energía activa en horas punta de la opción Tarifaria MT3, se exceptuará los días domingos, los días feriados nacionales del calendario regular anual y los feriados nacionales extraordinarios declarados en días hábiles.

La facturación de energía en horas punta y fuera de punta, se determinará en base al consumo registrado en dichos periodos por su respectivo precio unitario (expresado en S./Kw.h).

**b) Calificación tarifaria**



La calificación tarifaria del usuario será efectuada por la concesionaria según el grado de utilización de la potencia en horas punta o fuera de punta del usuario.

Para determinar la calificación tarifaria se utiliza la siguiente relación<sup>19</sup>:

$$\text{Calificación Tarifaria} = \frac{\text{EA HP mes}}{\text{M.D.leída mes} \times \text{\#HP}} \quad (2.24)$$

Donde:

EA HP mes : Energía activa consumida en horas punta del mes

M. D. leída mes: Máxima demanda leída del mes

\#HP: Número de horas punta del mes

Si el resultado es  $\geq 0,5$ , el usuario es considerado como cliente presente en punta.

Si el resultado es  $< 0,5$ , el usuario es considerado como cliente fuera de punta.

### **2.3: Marco Normativo**

#### **CODIGO NACIONAL DE ELECTRICICO - SECCIÓN 050**

#### **CARGAS DE CIRCUITOS Y FACTORES DE DEMANDA**

##### **✓ 050-000 Alcance**

---

<sup>19</sup> RECARTE ALLUÉ, Josu, Central solar fotovoltaica de 500 kW. Tesis para optar el título de Ingeniero Eléctrico. Universidad de la Rioja. 2013.

Esta Sección cubre:

(a) La capacidad de conducción de los conductores y la capacidad nominal de los equipos, requeridos en las conexiones, acometidas, alimentadores y los circuitos derivados en las instalaciones del usuario;

(b) El espacio mínimo requerido para los circuitos derivados en los tableros de distribución para las unidades de vivienda.

(c) La cantidad de ramales principales y circuitos derivados en unidades de vivienda.

**Nota:**

Para establecer las demandas máximas que como mínimo se deben considerar en la elaboración de los proyectos de sistemas de distribución, se debe tomar en cuenta la Norma DGE “Calificación eléctrica para la elaboración de proyectos de subsistemas de distribución secundaria”.

✓ **050-002 Terminología Especial**

En esta Sección se aplica la siguiente definición:

Ramal Principal: Designa a cada uno de los dos circuitos que se derivan desde un mismo interruptor, que sirve como medio de control y protección para ambos simultáneamente.

## **Generalidades**

### ✓ **050-100 Cálculo de Corrientes**

En el cálculo de corrientes que resulten de cargas expresadas en watts o volt-amperes, alimentadas por sistemas de corriente alterna de baja tensión, se deben emplear las tensiones nominales de 220 V o 380 V, según corresponda, o cualquier otra tensión nominal dentro del rango de baja tensión de 1 000 V o menos, que sea aplicable.

### ✓ **050-102 Caída de Tensión**

(1) Los conductores de los alimentadores deben ser dimensionados para que:

(a) La caída de tensión no sea mayor del 2,5%; y

(b) La caída de tensión total máxima en el alimentador y los circuitos derivados hasta la salida o punto de utilización más alejado, no exceda del 4%.

(2) Los conductores de los circuitos derivados deben ser dimensionados para que:

(a) La caída de tensión no sea mayor del 2,5%; y

(b) La caída de tensión total máxima en el alimentador y los circuitos derivados hasta la salida o punto de utilización más alejado, no exceda del 4%.

(3) En la aplicación de la Subenergía anterior se debe emplear la carga conectada al circuito derivado, si ésta es conocida; en caso contrario, el 80% de la menor capacidad nominal de régimen de los dispositivos de protección del circuito derivado contra sobrecarga o sobre corriente.

✓ **050-104 Carga Máxima de Circuitos**

(1) La corriente nominal de una acometida, alimentador o circuito derivado debe ser la que resulte menor entre la capacidad nominal del dispositivo de protección contra sobrecorrientes del circuito y la capacidad nominal de los conductores.

(2) La carga calculada para un circuito no debe exceder a la corriente nominal del circuito.

(3) La carga calculada para una acometida, alimentador o circuito derivado debe ser considerada como una carga continua, a menos que pueda demostrarse que tal valor no persistirá por más de:

(a) Un total de una hora en periodos de dos horas, si la corriente no excede de 225 A; o

(b) Un total de tres horas en periodos de seis horas, si la corriente es mayor que 225 A.

(4) Cuando la caja de conexión, el interruptor con fusibles, el interruptor automático o el tablero estén marcados para una operación continua al 100% de la corriente nominal del dispositivo de sobrecorriente, la carga continua calculada no debe exceder de:

(a) El 100% de la corriente nominal del circuito si la capacidad de los conductores;

(b) El 85% de la corriente nominal del circuito si la capacidad de los conductores.

(5) Cuando la caja de conexión, el interruptor con fusibles, el interruptor automático o el tablero estén marcados para una operación continua al 80% de la corriente nominal del dispositivo de sobrecorriente, la carga continua calculada no debe exceder de:

(a) El 80% de la corriente nominal del circuito, si la capacidad de los conductores; o

(b) El 70% de la corriente nominal del circuito si la capacidad de los conductores;

(6) Si se aplican otros factores de corrección para reducir la capacidad de corriente de los conductores, la sección de éstos debe ser, la así determinada o la determinada por las Subreglas, la que sea mayor.

(7) No obstante lo requerido por las Reglas, la capacidad de conducción de los conductores subterráneos no debe exceder en ningún caso.<sup>20</sup>

#### 2.4: Definiciones de términos básicos

- ✓ **Sistema fotovoltaico:** Conjunto de dispositivos que aprovechan la energía producida por el sol y la convierten en energía eléctrica. Los sistemas fotovoltaicos se basan en la capacidad de las celdas fotovoltaicas de transformar energía solar en energía eléctrica (DC).
- ✓ **Red eléctrica:** Es una red interconectada que tiene el propósito de suministrar electricidad desde los proveedores hasta los consumidores.
- ✓ **El kilovatio (Kw):** Es la unidad que se utiliza para medir la potencia eléctrica.
- ✓ **Factura de consumo:** Es el documento que recibe el cliente al final de cada periodo de facturación, en el que se detalla el consumo eléctrico realizado y el importe que hay que abonar por él.
- ✓ **Demanda de energía:** Es la carga en Gw, Kw (Gigavatios, Kilovatios) por hora demandados a una fuente de suministro en el punto de recepción del SIN (Sistema Interconectado Nacional) durante determinado periodo de tiempo.

---

<sup>20</sup>CÓDIGO NACIONAL DE ELECTRICIDAD

[www.pqsperu.com/Descargas/NORMAS%20LEGALES/CNE.PDF](http://www.pqsperu.com/Descargas/NORMAS%20LEGALES/CNE.PDF)

- ✓ **Centro de datos:** Un data center es un centro de procesamiento de datos, una instalación empleada para albergar un sistema de información de componentes asociados, como telecomunicaciones y los sistemas de almacenamientos.
- ✓ **Panel solar:** Los paneles solares o módulos fotovoltaicos están formados por la interconexión de células solares encapsuladas entre materiales que las protegen de los efectos de la intemperie, son las encargadas de captar la energía procedente del sol en forma de radiación solar y transformarla en energía eléctrica por el efecto fotovoltaico.
- ✓ **Inversor:** Es un dispositivo que cambia o transforma un voltaje de entrada de corriente continua a un voltaje simétrico de salida de corriente alterna.
- ✓ **Energía eléctrica:** Es la corriente de energía que se origina de la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos determinados, cuando se los pone en contacto mediante un transmisor eléctrico.
- ✓ **Temperatura (T):** Magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema. Sus unidades son °C, °F, °R.
- ✓ **Eficiencia:** Habilidad para evitar malgastar tiempo y esfuerzos
- ✓ **UPS:** La unida de energía ininterrumpida, UPS por sus siglas en inglés (Uninterruptible Power Supply). Es un dispositivo eléctrico que provee una energía con dos grandes cualidades: libre de disturbios e inmune a los cortes de energía externos.

- ✓ **Factor de transposición:** Es la relación entre la irradiación incidente (GlobInc) en el plano y la irradiación horizontal (GlobHor). Es decir, lo que gana (o suelta) al inclinar el plano del colector. Se puede definir en valores por hora, diarios, mensuales o anuales.



## CAPITULO III

### VARIABLES E HIPÓTESIS

#### 3.1: Variables de la investigación

El informe de investigación titulado: “Diseño de un sistema fotovoltaico de conexión a red de 500 kw para reducir la facturación en el consumo de la demanda de energía eléctrica del Centro de datos Bitel-Arequipa”, contará con las siguientes variables:

##### 3.1.1: Variable independiente:

- ✓ VI: Sistema fotovoltaico de conexión a red.

##### 3.1.2: Variable dependiente:

- ✓ VD: Facturación en el consumo de la demanda de energía eléctrica.

#### 3.2: Operacionalización de las variables

En la tabla 3.1 se muestra la relación de las variables de la investigación con los objetivos específicos:

Y: Facturación en el consumo de la demanda de energía eléctrica

X: Sistema fotovoltaico de conexión a red

La ecuación en función del problema del objeto de estudio, es:

$$Y = f(X)$$

$$Y = (X_1, X_2, X_3, X_4)$$

Donde, las dimensiones son las siguientes:

X<sub>1</sub>: Energía Solar requerida

X<sub>2</sub>: Cantidad de paneles solares

X<sub>3</sub>: Cantidad de paneles solares

X<sub>4</sub>: Configuración de la instalación eléctrica del Sistema Fotovoltaico

**Tabla 3.1**  
**Operacionalización de las variables**

VARIABLE	DIMENSION	INDICADOR
DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO DE CONEXION A RED	Energía Solar requerida	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Radiación solar</li> <li>• Ángulo de inclinación</li> <li>• Horas de sol</li> </ul>
	Cantidad de paneles solares	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Área delimitada por los paneles Solares</li> <li>• Conexionado: Serie y Paralelo</li> </ul>
	Cantidad de inversores	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potencia</li> <li>• Conexionado</li> </ul>
	Configuración de la instalación eléctrica del Sistema Fotovoltaico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conductores</li> <li>• Elementos de protección de Corriente Continua</li> </ul>
FACTURACION EN EL CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA	Energía eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analizador de redes</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

El cálculo de energía solar fue hallado a través del instrumento de medición software PVSYST y ayudó a poder seleccionar los paneles solares e inversores a través de cálculos y fórmulas.

La potencia del centro de datos de los sistemas UPS, rectificador y aire acondicionado se determinó mediante históricos diarios y fue expresado en una tabla.

### **3.3: Hipótesis general e hipótesis específicas**

#### **3.3.1: Hipótesis general**

Si se Diseña un sistema fotovoltaico de conexión a red de 500 kw se lograra reducir la facturación en el consumo de la demanda de energía eléctrica del centro de datos de Bitel-Arequipa.

#### **3.3.2: Hipótesis específicas**

- ✓ Si determinó la cantidad de horas de sol y la inclinación adecuada de los paneles solares lograre la energía solar requerida.
- ✓ Si calculo la cantidad de paneles solares para su conexionado en serie y/o paralelo podre limitar el área de la instalación fotovoltaica.
- ✓ Si calculo la cantidad de inversores lograre su conexionado en el tablero general de la instalación fotovoltaica.

- ✓ Si determino la configuración de la instalación eléctrica del sistema fotovoltaico podre lograr la conmutación del tablero general del centro de datos.

## **CAPITULO IV**

### **METODOLOGÍA**

#### **4.1: Tipo de investigación**

La presente investigación es del tipo aplicada debido a que se aprovecharán las técnicas, lineamientos de cálculos y modelos existentes para el diseño de un sistema fotovoltaico de conexión a red que permitirá reducir la facturación en el consumo de la demanda de energía eléctrica.

Según Espinoza (2010), enunció que: “La investigación aplicada tiene como propósito transformar los conocimientos existentes o modelos en objetos útiles a la sociedad, podemos llamarlo también proceso de innovación. Buscamos que las soluciones generen efectividad o productividad (p. 106)”.

#### **4.2: Diseño de la investigación**

La presente tesis es de nivel no experimental debido a que no se está construyendo ninguna situación, sino se está observando el comportamiento del ahorro logrado de energía y el ahorro logrado de facturación, mediante el uso de la energía solar para un centro datos Bitel-Arequipa.

Según Hernández, Fernández y Baptista (1991), enuncio que: “Un estudio no experimental no se construye ninguna situación, sino que

se observan situaciones ya existentes, no provocadas intencionalmente por el investigador. En la investigación no experimental las variables independientes ya han ocurrido y no pueden ser manipuladas, el investigador no tiene control directo sobre dichas variables, no puede influir sobre ellas porque ya sucedieron, al igual que sus efectos (p.245)”.

#### **4.2.1: Parámetros básicos de la investigación**

El Centro Datos se encuentra ubicado en el La Repartición, departamento de Arequipa con una Latitud -16.5782 y Longitud -71.821.

La ubicación geoespacial del Centro de Datos respecto a la radiación solar cuenta con un mínimo en el mes de Agosto de 4.5 kwh/m<sup>2</sup> y un máximo 6.5 kwh/m<sup>2</sup>.

El Centro de Datos se ubica en una edificación que cuenta con dos niveles los cuales tienen un área de 600 m<sup>2</sup> cada una.

En el 1er piso se encuentra los equipos de suministro de energía tales como el tablero general de la instalación, transformadores, grupo electrógenos y banco de baterías para los UPS.

En el 2do piso se encuentra la sala de equipos de TI (Tecnología de la información) que están distribuidos en gabinetes alrededor del centro de datos, y los equipos de energía como Aire Acondicionado de Precisión, rectificadores y UPS.

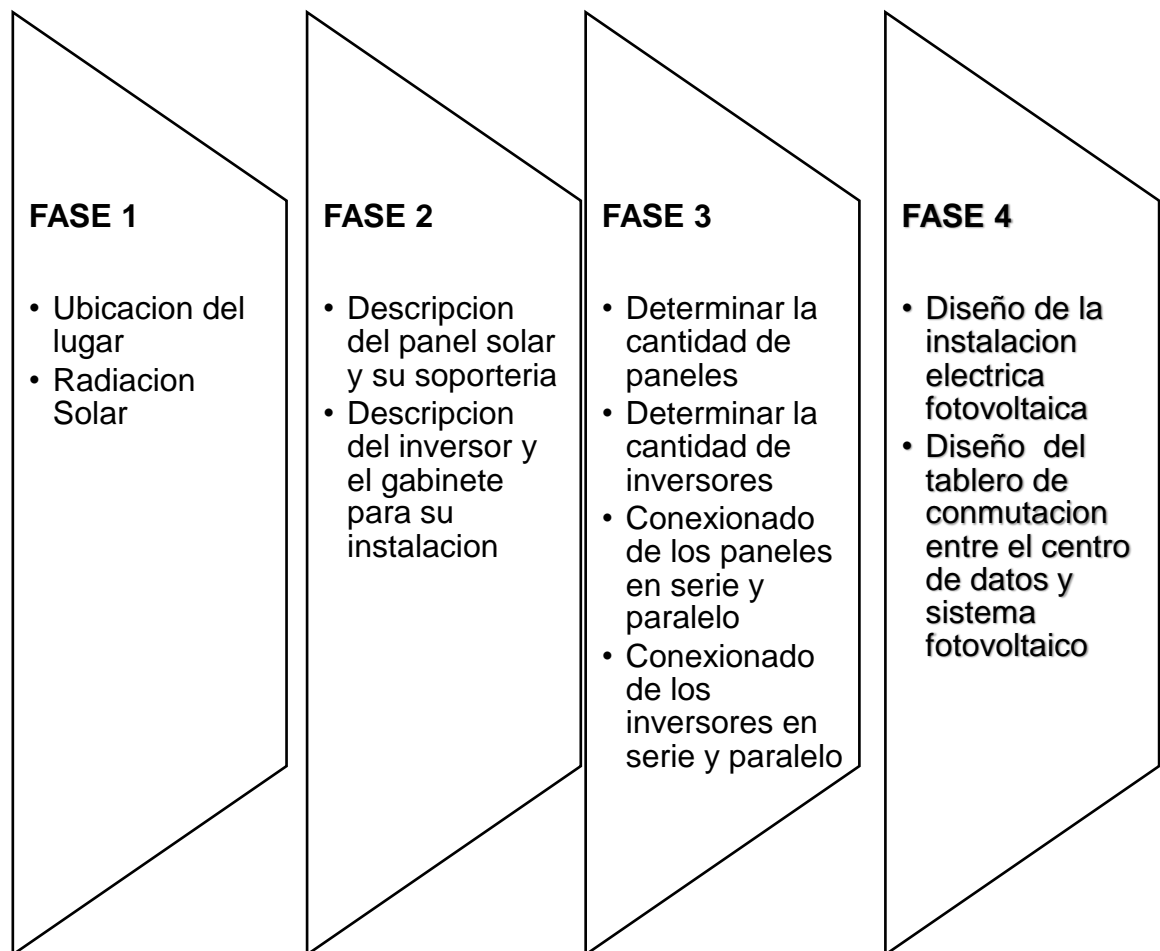
El centro de datos cuenta con una capacidad instalada de 500 kw y una capacidad contratada de 800 kw a la distribuidora de energía eléctrica SEAL.

El modo de operación del Centro de Datos es de 24x7 durante todo el Año, así mismo se debe garantizar el suministro de Energía constante ante alguna eventualidad que exista en la red de Energía comercial.

#### **4.2.2: Etapas de la investigación**

- 1.- Se determina la cantidad de horas de sol y la inclinación adecuada de los paneles solares para lograr la energía solar requerida.
- 2.- Se calcula la cantidad de paneles solares para su conexionado en serie y/o paralelo limitado por el área de la instalación fotovoltaica.
- 3.- Se resuelve la cantidad de inversores para su conexionado hacia el tablero general de la instalación fotovoltaica.
- 4.- Se establece la configuración de la instalación eléctrica del sistema fotovoltaico para la conmutación del tablero general del centro de datos.

**Figura 4.1**  
**Fases de la investigación**



Fuente: Elaboración propia

#### **4.2.3: Desarrollo de la investigación**

En esta tesis de investigación el desarrollo de la metodología se ha dividido en 4 fases como la descrita en el cuadro anterior de Fases de la Investigación, por lo tanto se empezara por lo siguiente:

##### **4.2.3.1: FASE 1**

- **Ubicación del lugar**



La ubicación geográfica donde será ubicado el sistema fotovoltaico de 500 Kw conectado a la red del centro de datos de Bitel es la siguiente:

Latitud: 16°34'25.99"S

Longitud: 71°50'33.97"W

Mediante el uso del software Google Earth se introduce la latitud y la longitud del lugar, en el cual se puede obtener la vista satelital de la ubicación del lugar.

Vista satelital del Centro de Datos, 7 de Noviembre del 2017 (Figura 4.2)

**Figura 4.2**  
**Ubicación del lugar**



Fuente: Google Earth.

- **Radiación Solar**

Los datos de radiación que serán utilizados para la instalación serán extraídos del Software fotovoltaico PVSYST, el cual han sido recolectados de los siguientes laboratorios:

Base de Datos Meteorológicos mensuales **Meteonorm** los datos mensuales de irradiación están disponibles para alrededor de 1,200 "estaciones" como promedios de los años 1960-1991 (y también 1981-2000 en la versión 6.0). Todas las "estaciones" (es decir, con mediciones de irradiación) de los principales países europeos están referenciadas en la base de datos PVsyst. Los datos para cualquier otro sitio se pueden obtener por interpolación (generalmente entre las 3 "estaciones" más cercanas).

**NASA-SSE**(Programa Meteorológico de Superficie y Energía Solar) contiene datos satelitales mensuales para una red de 1 ° x1 ° (111 km) que abarca todo el mundo, por un período de 10 años (1983-1993).

**SolarGIS iMaps** proporciona un acceso ilimitado a los promedios mensuales a largo plazo de la radiación solar y la temperatura del aire en Europa, África y Oriente Medio en formato PVsyst.

Los datos son accesibles mediante el pago de una licencia anual. Especificación de datos SolarGIS 2011-03.

**PVGIS-ESRA** proporciona valores mensuales interpolados para cualquier ubicación geográfica en función de la media de las mediciones terrestres de 1981-1990 para Europa y de los datos satelitales 1985-2004 (Meteosat) para África.

**Helioclim-1** son datos satelitales de Meteosat dados para cada año entre 1985 y 2005 de forma independiente para Europa y África.

**Retscreen** es un software canadiense que proporciona una base de datos completa para cualquier ubicación del mundo. Está optimizado para utilizar los mejores datos disponibles en cada ubicación de aproximadamente 20 fuentes, las principales son el WRDC y los datos de irradiación de la NASA.

Las temperaturas y las velocidades del viento también se proporcionan, probablemente con buena fiabilidad.

Por lo tanto mediante el uso del software PVSYST se obtiene la radiación global en un plano horizontal en el Centro de datos de Arequipa para todo el Año 2017 (Ver tabla 4.2):

**Tabla 4.2**  
**Radiación en un plano horizontal**

<b>Mes</b>	<b>GlobInc</b>
	<b>kwh/m2.mes</b>
Enero	203.7
Febrero	177
Marzo	189.7
Abril	165.9
Mayo	151.6
Junio	134.7
Julio	143.8
Agosto	160.9
Septiembre	180
Octubre	208.6
Noviembre	212.4
Diciembre	218.2
Anual	2146.5

Fuente: Elaboración propia – PVSYST

La radiación global obtenida en un plano horizontal (Ver tabla 4.2) sirve de guía para tener una aproximación de cuánta radiación puede ser aprovechada en el caso se disponga de un panel en un plano horizontal.

La radiación solar útil para el siguiente informe de tesis será determinada por la obtención de la radiación en un plano inclinado con respecto al plano horizontal.

El lograr que el panel fotovoltaico tenga un ángulo de inclinación respecto al terreno permite obtener lo siguiente:

- Mayor incidencia perpendicular del sol en los paneles fotovoltaicos.
- Máxima producción de energía para el centro de datos,

Por lo tanto el ángulo de inclinación de los paneles fotovoltaicos será determinado por la latitud del lugar mediante la ecuación 2.1 el cual el valor de la longitud se reemplaza en la ecuación 4.1.

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69 \cdot |16.7| \quad (4.1)$$

Donde:

$\beta_{opt}$ : ángulo de inclinación óptimo (°)

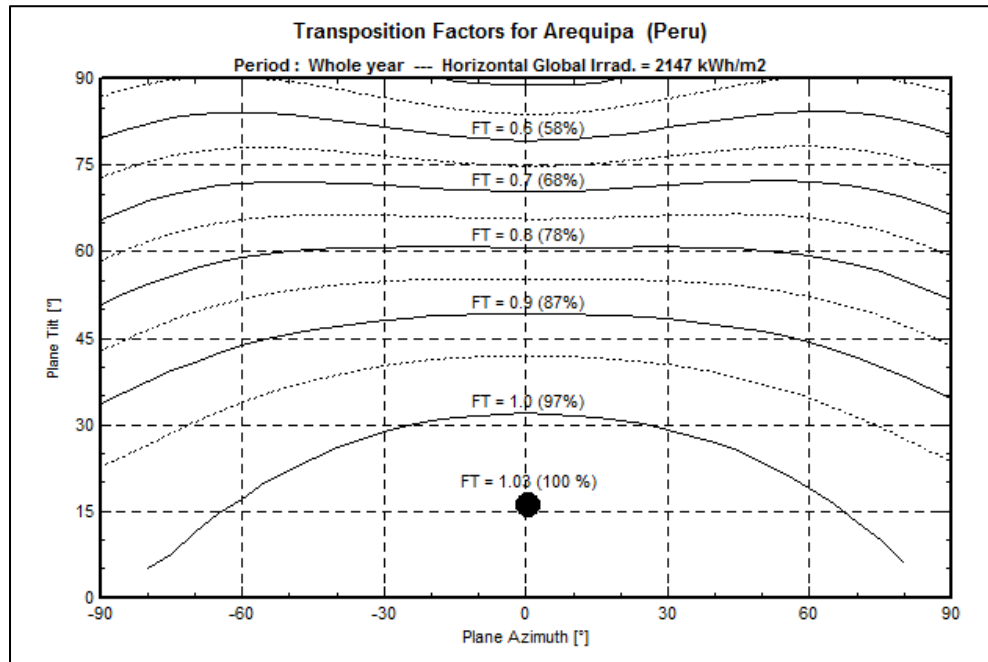
$|\phi|$ : 16.7 (°)

$$\beta_{opt} = 15^\circ \quad (4.2)$$

El ángulo de inclinación  $\beta_{opt}$  respecto a un plano horizontal será de 15°.

El ángulo de inclinación obtenido de 15° es revalidado usando el método del factor de transposición para el centro de datos en Arequipa, ver tabla del factor de transposición (Figura 4.3).

**Figura 4.3**  
**Factores de transposición para Arequipa – Perú**



Fuente: Elaboración propia – PVSYST

Comentario: La tabla de transposición se interpreta en la coordenada X, como el valor del ángulo de elevación del Sol y en las coordenadas Y el cual es el ángulo de inclinación del panel solar, el cruce de ambos determina el factor de transposición correspondiente para la ubicación del sistema fotovoltaico en el centro de datos.

El resultado obtenido del ángulo de inclinación de 15° obtenido en la ecuación 4.2 y según la Figura 4.3 cuenta con un factor de transposición del 100%, para lo cual se revalida que el ángulo de 15° es el más óptimo para la instalación de los paneles solares en el sistema fotovoltaico.

Es por ello que la radiación útil para el Año 2017 con un ángulo de inclinación de 15° es la siguiente (ver tabla 4.3):

**Tabla 4.3**  
**Radiación en un plano de inclinación 15**

Mes	GlobInc
	kwh/m2.mes
Enero	190.6
Febrero	171.3
Marzo	194.5
Abril	180.5
Mayo	174.2
Junio	158.4
Julio	167.5
Agosto	179.8
Septiembre	189.2
Octubre	206
Noviembre	199.3
Diciembre	200.8
Anual	2212.1

Fuente: Elaboración propia – PVSYST

Luego de obtener la radiación útil con un ángulo óptimo de inclinación de 15° se procederá a determinar las horas de sol diarias promedio que tendrá la instalación en un mes, para lo cual se procede a cambiar la radiación útil obtenida en kwh/m2.mes a horas diarias considerando los días transcurridos de cada mes

según la tabla 4.4 para el Año 2017, siendo el resultado obtenido el siguiente (Ver tabla 4.4):

**Tabla 4.4**  
**Días al mes para el año 2017**

<b>Mes</b>	<b>días/mes</b>
Enero	31
Febrero	28
Marzo	31
Abril	30
Mayo	31
Junio	30
Julio	31
Agosto	31
Septiembre	30
Octubre	31
Noviembre	30
Diciembre	31

Fuente: Elaboración propia – PVSYST



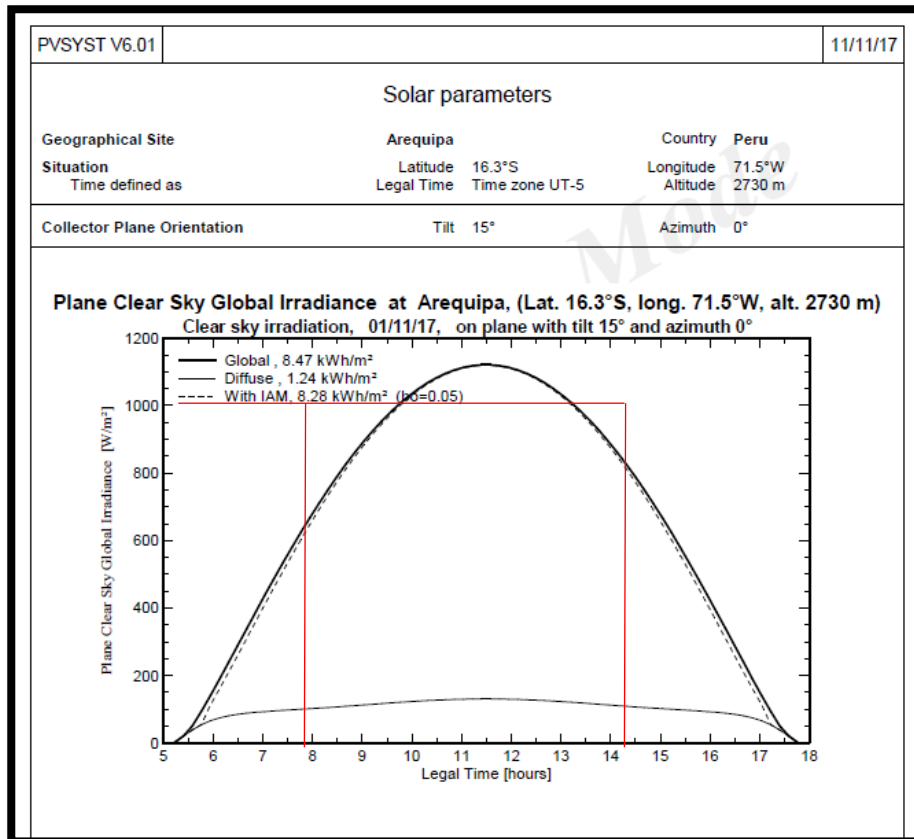
**Tabla 4.5**  
**Promedio de Horas de sol diarias por mes**

<b>Mes</b>	<b>Horas de Sol diaria</b>
Enero	6.15
Febrero	6.12
Marzo	6.27
Abril	6.02
Mayo	5.62
Junio	5.28
Julio	5.40
Agosto	5.80
Septiembre	6.31
Octubre	6.65
Noviembre	6.64
Diciembre	6.48

Fuente: Elaboración propia – PVSYST

Por lo tanto el promedio de horas sol diarias en el Año 2017 es de 6.06 horas de sol diarios el cual se verá representada en la Figura 4.4 elaborada por el software PVSYST.

**Figura 4.4**  
**Clara irradiación global del cielo para Arequipa**



Fuente: Elaboración propia – PVSYST

#### 4.2.3.2: FASE 2

##### Descripción del Panel Solar

La descripción comercial del panel solar elegido para la aplicación del sistema fotovoltaico es de 300 watts de potencia de tipo policristalino de procedencia China y de marca Renesola, las dimensiones del panel solar en pulgadas son de 39.1 x 77 x 2 (Ver tabla 4.6)

**Tabla 4.6**  
**Descripción comercial del panel solar – Renesola**

<b>País</b>	<b>China</b>
Marca	Renesola
Potencia	300 W
Tipo	Policristalino
Garantía	10 años de garantía
Dimensiones en Pulgadas	39.1 x 77 x 2
Modelo	JC300M-24/Ab
Numero de Celdas	72

Fuente: DataSheet Renesola Solar Module JC300M-24/Ab

La descripción técnica del panel solar es que es capaz de operar con un Voltaje de operación 36.6 Voltios y con una corriente de operación de 8.20 amperios, siendo la eficiencia del módulo 15.5% (Ver tabla 4.7)

**Tabla 4.7**  
**Descripción técnica del panel solar – Modelo**

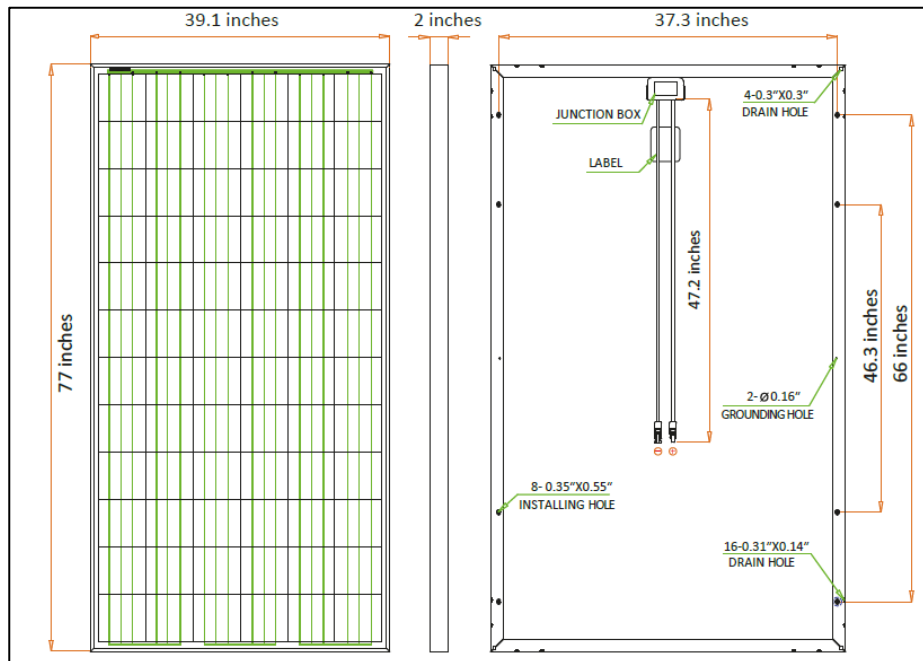
<b>JC300M-24/Ab</b>		
<b>Potencia Máxima</b>	<b>Pmax</b>	<b>300 Wp</b>
Tensión de circuito abierto	Voc	44.8 V
Tensión a la máxima potencia	Vmpp	36.6 V
Corriente de cortocircuito	Isc	8.69 A
Corriente a la máxima potencia	Impp	8.20 A
Eficiencia del Modulo	$\eta_m$	15.5%

Fuente: DataSheet Renesola Solar Module JC300M-24/Ab

La descripción grafica del panel solar con sus medidas en pulgadas se muestra en la Figura 4.5.

Descripción gráfica del panel solar ver (Figura 4.5)

**Figura 4.5**  
**Dimensiones de panel solar**



Fuente: DataSheet Renesola Solar Module JC300M-24/Ab

### Descripción del inversor y el gabinete para su instalación

Para el Centro de Datos se requiere transformar la energía DC colectada por los paneles solares a energía alterna AC utilizada por el centro de datos con una Potencia de 500 kW,

El sistema fotovoltaico utilizara un sistema de inversores distribuidos dentro del arreglo fotovoltaico, por lo tanto para cubrir

la potencia del sistema fotovoltaico es necesario 5 inversores de 100 kW.

El tipo de inversor elegido es un Inversor centralizado de 100 kW, 3P +N, modelo FRONIUS AGILO 100.0-3, con tensión de entrada en DC de 460 Volts y tensión de Salida AC de 400 Volts (Ver tabla 4.8)

**Tabla 4.8**  
**Descripción del inversor – Zino**

País	China
Marca	ZINO
Potencia	100 KW
Garantía en anos	10
Eficiencia	97%
Dimensiones en mm	1884*1100*700
Peso en Kg	834
Modelo	FRONIUS AGILO 100.0-3
Nº de Fases	3
Tensión de Entrada DC	460 V
Tensión de Salida AC	400 V
Factor de Potencia	0.95
Frecuencia HZ	60

Fuente: DataSheet Zino Solar Module Fronius Agilo 100.0-3

El inversor elegido es de tipo outdoor y cuenta con protección IP66 (Ver Figura 4.6), el inversor cuenta con un juego de llaves termomagneticas para la entrada DC y salida AC (ver la apertura del gabinete en la Figura 4.7)

**Figura 4.6**  
**Inversor**



Fuente: <http://www.ingyennapelem.h>

**Figura 4.7**  
**Apertura del gabinete**



Fuente: <http://www.renewablesolutionconsultancy.co.uk>

### 4.2.3.3: FASE 3

#### Determinar la cantidad de paneles

Debido a la demanda de potencia de energía del Centro de Datos de Bitel, se tiene el valor de un pico de máxima potencia de 564 KW, por lo tanto se considera que el valor de potencia para cubrir la demanda de energía del centro de datos y evitar sobredimensionar el sistema fotovoltaico será de 500 kW.

Es por ello que se procede a calcular la cantidad de paneles para la instalación del sistema fotovoltaico de la siguiente manera:

Inicialmente procederemos a calcular la cantidad teórica de paneles que llevara la instalación a condiciones standard según la ecuación 4.3:

$$N_T = (P_{FV} / P_{STC \text{ mod}}) \quad (4.3)$$

Donde:

$N_T$ : Número total de módulos fotovoltaicos

$P_{FV}$ : 500000 (W)

$P_{STC \text{ mod}}$ : 300 (W)

$$N_T = \frac{5000000 \text{ W}}{300 \text{ W}} \quad (4.4)$$

$$N_T = 1667 \quad (4.5)$$

El resultado obtenido de la ecuación 4.5 es de 1667 paneles el cual se considera como una cantidad referencial por ser evaluado en condiciones estándar y no propias del lugar de operación.

La cantidad real de paneles solares a utilizar en el sistema fotovoltaico será redefinida por la variación de temperatura que implica operar en temperaturas altas en el día más caliente y temperaturas bajas en el día más frío en todo el año 2017.

### **Determinar la Cantidad de Inversores**

Adicionalmente se procede a calcular la cantidad de inversores de 100 kW de potencia para el sistema fotovoltaico, por lo cual se determina la cantidad de inversores del sistema fotovoltaico según la ecuación 4.6:

$$W_{min\ inversor} = W_{max\ inversor} * C_s \quad (4.6)$$

Donde:

$W_{max\ inversor}$ : 500000 W

$C_s$ : 100%

$$W_{min\ inversor} = 500000 \times 1 \quad (4.7)$$

$$W_{min\ inversor} = 500000 \quad (4.8)$$

Seleccionamos un inversor de 400 V (AC) y potencia de 100 KW, el cual se reemplaza en la ecuación 4.9:



$$N^{\circ} inversores = 500000 / 100000 \quad (4.9)$$

$$N^{\circ} inversores = 5 \quad (4.10)$$

El resultado obtenido del número de inversores es de 5 unidades con una potencia de 100 kW.

**Determinar la cantidad de paneles en serie y en paralelo a condiciones reales**

Para realizar el cálculo de determinar la cantidad de paneles en serie y en paralelo se debe evaluar teniendo en cuenta la temperatura del lugar para en el cual se tiene la temperatura máxima del lugar  $T_{\text{máx}}$ : 35°C y la temperatura mínima del lugar de  $T_{\text{mín}}$  4.2°C.

Así mismo el voltaje mínimo y máximo del inversor en energía DC, el voltaje de operación en vacío del panel solar y el factor de reducción del voltaje por temperatura del panel solar. (Ver tabla 4.9).

**Tabla 4.9**  
**Dato inversor y panel solar**

Equipo		Valores
Inversor	V min Inv	460
	V max Inv	820
Paneles Solares	VOC	44.8
	V/°C	-0.003
Temp del lugar	Tmax	35
	Tmin	4.2

Fuente: Elaboración propia

### Numero de paneles en serie

De los datos obtenidos en la tabla 4.14 se reemplazara en la siguiente ecuación 4.11, para obtener el número máximo de paneles en serie:

$$N_{\text{max.panel-serie}} = \frac{V_{\text{max(inv)}}}{VOC_{GF-4.2\text{ C}^\circ}} = \frac{820}{44.8 \times (1 - (\frac{4.2}{100} \times (-0.003)))} \quad (4.11)$$

$$N_{\text{max.panel-serie}} = \frac{V_{\text{max(inv)}}}{VOC_{GF-4.2\text{ C}^\circ}} = 18 \text{ paneles} \quad (4.12)$$

El resultado obtenido de la ecuación 4.12 del número máximo de paneles en serie es de 18.

Seguidamente se calculara el número mínimo de paneles en serie mediante la siguiente ecuación 4.13, para obtener el número mínimo de paneles en serie:

$$N_{\text{min.panel-serie}} = \frac{V_{\text{min(inv)}}}{VOC_{GF-35\text{ C}^\circ}} = \frac{460}{44.8 \times (1 - (\frac{35}{100} \times (-0.003)))} \quad (4.13)$$

$$N_{\text{min.panel-serie}} = \frac{V_{\text{min(inv)}}}{VOC_{GF-35\text{ C}^\circ}} = 10 \text{ paneles} \quad (4.14)$$

El resultado obtenido de la ecuación 4.14 del número mínimo de paneles en serie es de 10.

Para garantizar la potencia de 500 kW en el sistema fotovoltaico se considera el máximo número de paneles en serie que es de 18.

### Numero de paneles en paralelo

El número de paneles en paralelo se determinara con la máxima corriente de generación de energía que tendrá el sistema fotovoltaico el cual esta corriente será transformada por el inversor a energía AC, es por ello que se determinara la cantidad máxima de paneles en paralelo para cada inversor con la ecuación 4.15:

$$N_{\text{max-paralelos}} = \frac{I_{\text{max(inv)}}}{I_{N_{\text{paralelo}}}} = \frac{155.8}{8.2} = 19 \text{ ramas en paralelo} \quad (4.15)$$

En resumen se tiene que para el arreglo fotovoltaico que ocupe un inversor de 100 kW, se tiene 18 paneles en serie y 19 paneles en paralelo lo que hace un total de 342 paneles. (Ver tabla 4.10)

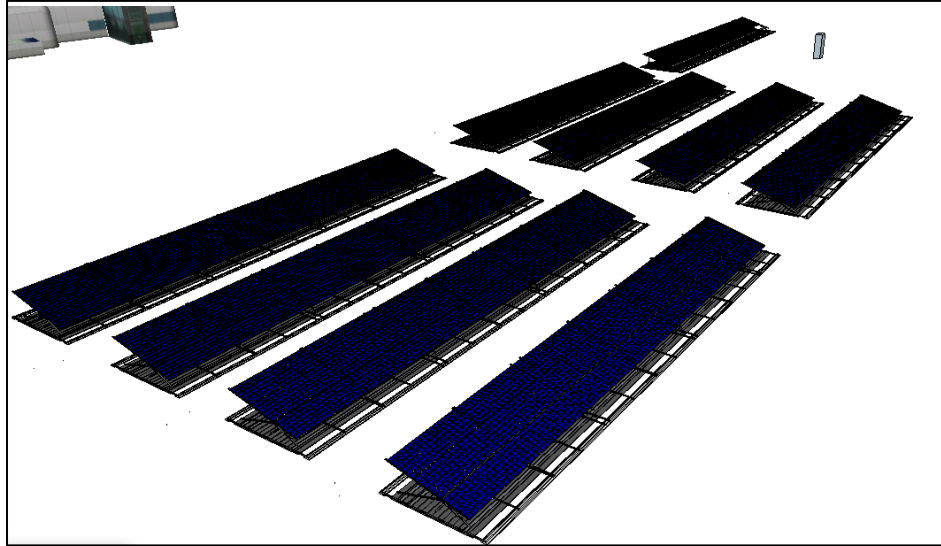
**Tabla 4.10**  
**Resultado de número de paneles solares**

<b>Cantidad para 1 inversor</b>	<b>#</b>
Paneles en Serie	18
Paneles en Paralelo	19
Total	342

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto la cantidad de paneles para la instalación considerando los 5 inversores del sistema fotovoltaico, será del 1710 paneles, 18 paneles en serie para cada inversor, y 95 ramas en paralelo para toda la instalación del sistema fotovoltaico. (Ver distribución de paneles solares Figura 4.8)

**Figura 4.8**  
**Distribución de Paneles Solares**



Fuente: Elaboración propia

### **Interdistancia mínima e inclinación de los módulos**

#### **Separación entre hileras de módulos:**

Se calcula la interdistancia mínima entre los paneles solares partiendo de la cantidad obtenida de 342 unidades de paneles solares para cada inversor.

Esto implica que se deberá definir la cantidad de grupo de paneles que serán agrupados para albergar 342 paneles para cada inversor.

Debido a que no es factible diseñar una estructura para los 342 paneles solares por razones de mantenimiento y conexionado, se hará el agrupamiento de los paneles el cual será de 9 grupos de 36 paneles solares y un 1 grupo de 18 paneles solares.

Por lo tanto para calcular la distancia mínima entre grupo de paneles solares se tiene que las dimensiones del panel son de 1956 x 993 mm y en la estructura hay 4 filas horizontales con 9 columnas, por lo que las dimensiones de la estructura son de largo 17.6 m x ancho 3.9 m, por lo que reemplazando en la ecuación el valor del ancho de la estructura en la ecuación 4.16 se obtiene la altura de la estructura en un ángulo de inclinación de 15 grados:

$$h = 1 + 3,9\text{Sen}15^\circ = 4,98 \text{ m} \quad (4.16)$$

Por lo que la interdistancia mínima entre paneles para evitar sombreados reemplazando el valor obtenido en la ecuación 4.16 en la ecuación 4.17 :

$$d = \frac{4.98}{\tan(61-16.7)} = 5,10 \text{ m} \quad (4.17)$$

Siendo el resultado obtenido para la separación entre los grupos de paneles es de 5.10 m. (Ver Figura 4.9).

### **Soporte de Paneles solares**

El soporte donde se colocara cada grupo de paneles solares albergara un total de 36 paneles solares cada uno.

El material del soporte de paneles solares será de Fierro galvanizado y con bases de concreto, el cual deberá soportar el

peso de los paneles solares y a la vez de resistir esfuerzos generados por los vientos en todos los meses del año.

Por lo tanto se calculara la fuerza que debe soportar el soporte de los paneles solares, con la velocidad máxima del viento del Año 2016.

La velocidad del viento del Año 2016 será extraído de la base datos de la NASA ver (Tabla 4.11)

**Tabla 4.11**  
**Velocidad del viento Año 2016**

Mes	Velocidad del Viento (m/s)
Enero	2.8
Febrero	2.8
Marzo	2.7
Abril	2.8
Mayo	3.1
Junio	3.4
Julio	3.5
Agosto	3.3
Septiembre	3.3
Octubre	3.1
Noviembre	3.1
Diciembre	3

Fuente: Base de Datos de la NASA

En la tabla 4.11 se determina que el mes que tiene una mayor velocidad de viento es el mes de Julio, para lo cual tomaremos este

mes como crítico para calcular la presión del aire sobre la estructura de los paneles solares y de esta manera obtener la fuerza que debe soportar el grupo de 36 paneles solares.

Se calcula la presión del aire para el mes de julio según la ecuación 4.18:

$$P = \frac{W}{2g} x V^2 \quad (4.18)$$

Donde:

P: Presión  $\frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$

W: 1.2475 aire a 10°C.

g:  $9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

V:  $3.4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

$$P = \frac{1.2475 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{2 \times 9.81} x (3.4 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 = 0.7350 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} \quad (4.19)$$

El resultado obtenido de la presión del Aire a la velocidad máxima de 3.4 m/s, es de 0.7350 kgf/m<sup>2</sup>.

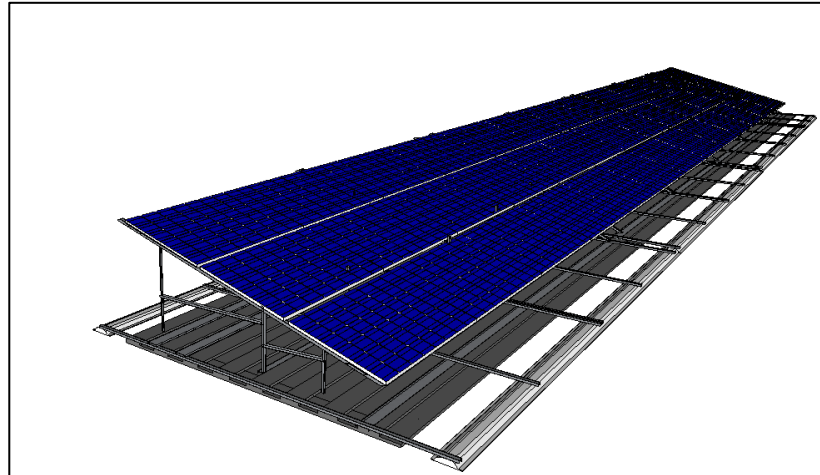
Luego de obtener la presión del aire se calcula la fuerza que ejerce el viento sobre los 36 paneles solares según la ecuación 4.20:

$$F = P \times A \quad (4.20)$$

$$F = (0.7350 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} \times 398.74 \text{ m}^2 = 293.07 \text{ kgf} \quad (4.21)$$

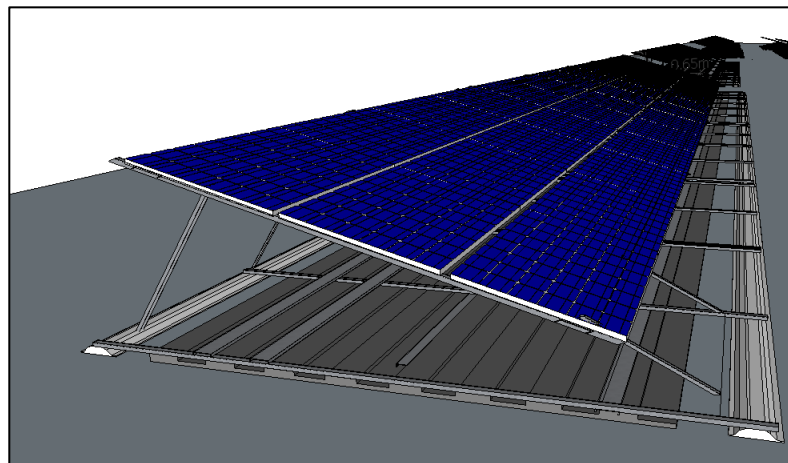
Para lo cual se obtiene que la fuerza ejercida por el viento sobre del módulo de los paneles solares es de 293.07 kgf.

**Figura 4.9**  
**Colocación de Paneles Solares**



Fuente: Elaboración propia

**Figura 4.10**  
**Colocación de Paneles Solares – lado lateral**



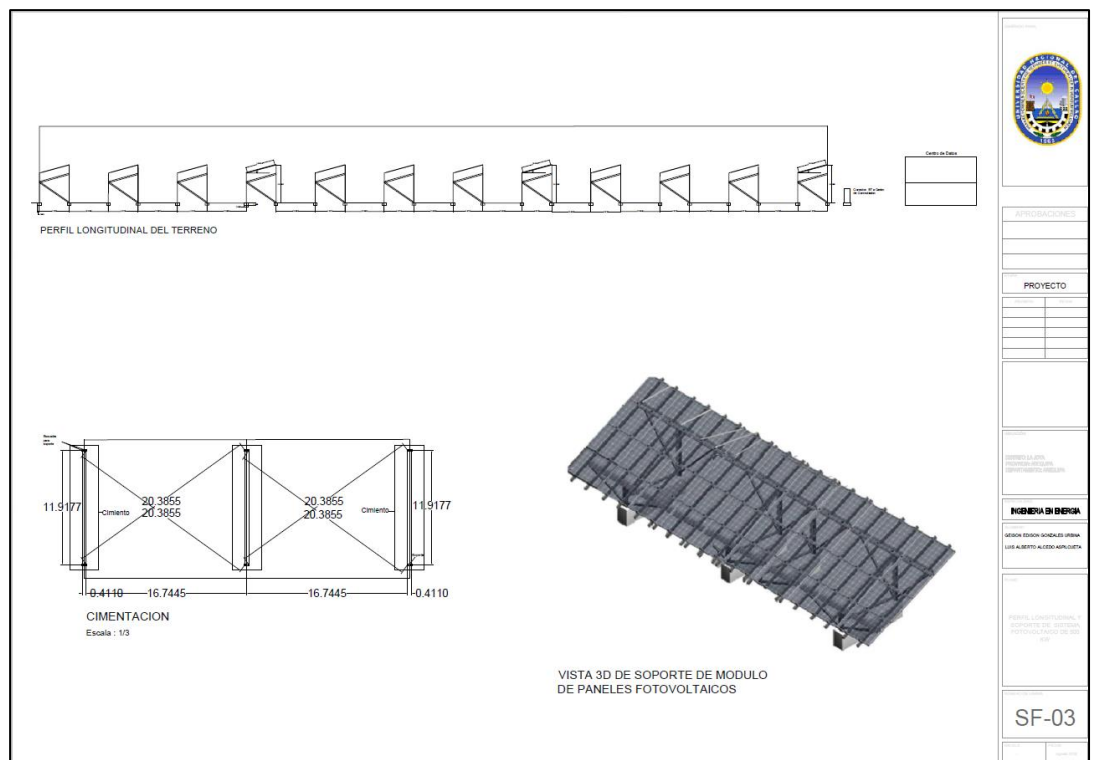
Fuente: Elaboración Propia

En resumen el soporte de los paneles deberá una fuerza minina de 293.07 kgf, con un material de fierro galvanizado y deberá soportar



vientos de 120 km/h, de acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones. (Ver Figura 4.11)

**Figura 4.11**  
**Estructura de soporte del sistema fotovoltaico**



Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.3.4 FASE 4

##### Calculo de la sección de los conductores

##### Secciones del circuito de Corriente Continua:

El tramo de la sección del conductor de corriente continua discurre desde los paneles hasta la entrada del conductor de corriente continua del inversor. Para realizar los cálculos de este apartado se debe de tener en cuenta las siguientes características:

- ✓ La intensidad de los conductores tiene que ser  $1.25 \cdot I_{sc}$ , según CNE 050-104
- ✓ La caída de tensión máxima es de 1.5% según diseño, entre 1.5% y 2.5% para AS-U y máximo 4% para AP-U

Para el cálculo de la sección de los conductores, primero se ha realizado una aproximación de su sección, según la intensidad admisible y la intensidad de carga que tienen que soportar. Para los tramos más largos, se ha tenido que rectificar este primer valor de sección para ajustar la caída de tensión del tramo.

A continuación se definen las expresiones utilizadas para el cálculo de la sección en cada tramo.

### **Conductores para la conexión entre módulos y CCS:**

La corriente admisible para la selección de la sección del conductor será determinada con la temperatura de operación de los paneles solares, el cual se hallara mediante la ecuación 4.21:

$$I_{sc,70C} = 8.2 \left( 1 + \frac{(70-25)}{100} \times 0.004 \right) = 8,428 A \quad (4.22)$$

El resultado obtenido es de 8.428 A el cual se sobredimensiona al 25%, por lo tanto el nuevo resultado es de 10.536 A.

Este valor de corriente admisible debe ser rectificado por la caída de tensión que representa la distancia entre el string y la caja de

conexión secundarias (CCS) y se calcula con la siguiente ecuación

4.23:

$$\% \Delta V = \frac{2 \times L_M \times I_{sc-GFV}}{S_M \times V_{MPP} \times \sigma} \quad (4.23)$$

Donde:

$$L_M (m) : \quad 34$$

$$I_{sc, modulo} (A): \quad 10.536$$

$$S_M (mm^2) : \quad 4$$

$$V_{Mpp} (V): \quad 806$$

$$\sigma \left( \frac{m}{\Omega \cdot mm^2} \right): \quad 44$$

$$\% \Delta V = 0.4 \quad (4.24)$$

El resultado obtenido de la ecuación 4.23 para el tramo de string a CCS tiene una caída menor al 1.5 % y cumple según el CNE 050-104.

Por lo tanto el conductor para el tramo de string a CCS será de cobre y de sección de 4 mm<sup>2</sup>.

### **Caja de Conexión de CCS hacia CCP**

La corriente continua para este tramo es la corriente de cada rama CCS multiplicada por el número de ramas que agrupa la caja de conexiones CCP. Por lo tanto se tienen 10 grupos de 2 ramas, por

lo que las corrientes para cada grupo CPP de este tramo son de 26.33 A.

Para este tramo se evaluó la caída de tensión por longitud desde el CCS hacia el CCP el cual es menor al 1.5 % y cumple según el CNE 050- 104.

Por lo tanto el conductor para el tramo de CCS a CCP será de cobre y de sección de 4 mm<sup>2</sup>, 6 mm<sup>2</sup> y 10 mm<sup>2</sup> según sea la distancia desde el CCS y al CCP (Ver Figura 4.12).

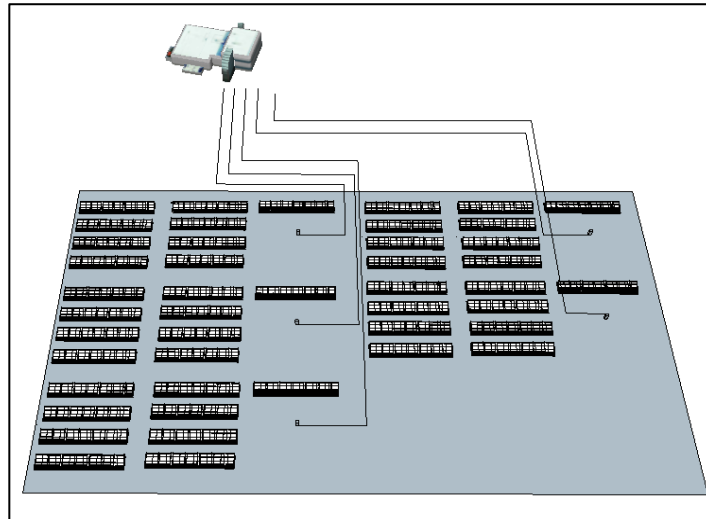
#### **Caja de Conexión de CCP a inversor**

Para este tramo se toma en cuenta la corriente que va desde CCP hacia el inversor. En este tramo circulara la suma de corrientes de los 10 grupos de CCP es decir 263 A.

Para este tramo se evaluó la caída de tensión por longitud desde el CCS hacia el CCP el cual es menor al 1.5 % y cumple según el CNE 050- 104.

Por lo tanto el conductor para el tramo de CCP al inversor será de cobre y de sección de 120 mm<sup>2</sup>.

**Figura 4.12**  
**Recorrido de conductores hacia Inversores**



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.12**  
**Selección de conductores de corriente continua**

		Longitud	Isc 70 C°	1.25* Isc	Sección (mm2)	V 70 C°	Resistencia del Cobre	Caída de tensión (%)
<b>STRING A CCS</b>	Columna 1	34.09	8.42878	10.54	4	806	44	0.405
	Columna 2	34.09	8.42878	10.54	4	806	44	0.405
<b>CCS -CCP</b>	Grupo 1	65	21.07	26.34	6	806	44	1.287
	Grupo 2	68	21.07	26.34	6	806	44	1.347
	Grupo 3	107	21.07	26.34	10	806	44	1.271
	Grupo 4	55	21.07	26.34	6	806	44	1.089
	Grupo 5	57	21.07	26.34	6	806	44	1.129
	Grupo 6	96	21.07	26.34	10	806	44	1.141
	Grupo 7	20	21.07	26.34	4	806	44	0.594
	Grupo 8	44	21.07	26.34	4	806	44	1.307
	Grupo 9	84	21.07	26.34	10	806	44	0.998
	Grupo 10	13	21.07	26.34	4	806	44	0.386
<b>CCP-INV</b>	Grupo A	12	210.7	263.38	120	806	44	0.119
	Grupo B	12	210.7	263.38	120	806	44	0.119
	Grupo C	12	210.7	263.38	120	806	44	0.119
	Grupo D	12	210.7	263.38	120	806	44	0.119
	Grupo E	12	210.7	263.38	120	806	44	0.119

Fuente: Elaboración propia

## **Diseño del tablero de conmutación entre centro de datos y sistema fotovoltaico:**

### **Secciones del circuito de corriente alterna**

#### **Conductores del tramo del inversor a la BT.**

Para el cálculo de la sección del conductor de este tramo refiere desde la salida de corriente alterna del inversor hasta el punto de conexión de BT, y del punto de conexión de BT al Centro de conmutación del Centro de Datos el cual se calcula mediante la siguiente ecuación 4.25 y 4.26:

$$I_{N\ INV} = \frac{P_{N\ INV}}{\sqrt{3} \cdot V_L \cdot \cos\phi} \quad (4.25)$$

$$I_{N\ INV} = \frac{100 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.98} = 177\ A \quad (4.26)$$

El resultado obtenido es de 177 A el cual se sobredimensiona al 25%, por lo tanto el nuevo resultado es de 221 A.

Este valor de corriente admisible debe ser rectificado por la caída de tensión que representa la distancia entre el inversor y la caja de conexión de baja tensión BT y se calcula con la siguiente ecuación 4.27:

$$\% \Delta V = \frac{2 \times L_M \times I_{sc-GFV}}{S_M \times V_{MPP} \times \sigma} \quad (4.27)$$

$$L_M (m) : 15$$

$$I_{sc, modulo} (A): 221$$

$$S_M (mm^2) : 120$$

$$V_{Mpp} (V): 400$$

$$\sigma \left( \frac{m}{\Omega \cdot mm^2} \right): 44$$

$$\% \Delta V = 0.21 \quad (4.28)$$

Para este tramo se evaluó la caída de tensión por longitud desde el inversor a la BT el cual es menor al 1.5 % según la ecuación 4.27 y cumple según el CNE 050- 104.

Por lo tanto el conductor para el tramo del inversor a la caja de conexión de la BT será de cobre y de sección de 3x120 mm<sup>2</sup> + 95 mm<sup>2</sup>.

### **Conductores del tramo del BT a la Centro de Conmutación**

Para este tramo se ha considerado la corriente nominal del inversor sobredimensionada un 25% a partir de la siguiente expresión<sup>21</sup>:

$$I_{N INV} = \frac{P_{N INV}}{\sqrt{3} \cdot V_L \cdot \cos \varphi} \quad (4.29)$$

---

<sup>21</sup> RECARTE ALLUÉ, Josu, Central solar fotovoltaica de 500 kW. Tesis para optar el título de Ingeniero Eléctrico. Universidad de la Rioja. 2013.

Sustituyendo los valores para la potencia del Sistema fotovoltaico de 500 KW se obtiene una corriente nominal a la salida del inversor de:

$$I_{N\ INV} = \frac{500.10^3}{\sqrt{3}.400.0.98} = 885\ A \quad (4.30)$$

Que sobredimensionada al 25% es de 1106 A.

Debido a que la corriente es de 1106 A, y no se cuenta un conductor propio para esta cantidad de amperaje, se procederá a dividir en 3, y se evalúa la caída de tensión para 368 A

La caída de tensión del conductor en este tramo es de:

$$\% \Delta V = \frac{\sqrt{3}.L_M.I_{N\ INV}}{S_M.V_L.\sigma} \quad (4.31)$$

Donde:

$L_M$  (m): 30

$I_{N\ INV}$  (A) : 368

$S_M$  (mm<sup>2</sup>): 120

$V_L$  (V): ` 400

$\sigma$  (m/ $\Omega$ . mm<sup>2</sup>) Conductividad del conductor a 90°C

Para este tramo se evaluó la caída de tensión por longitud desde el inversor a la BT el cual es menor al 1.5 % según la ecuación 4.28 y cumple según el CNE 050- 104.



Para este tramo se ha decidido utilizar conductores de cobre de 150 mm<sup>2</sup> , que queda expresado por 3P 3X150 mm<sup>2</sup> +N

### **Protecciones de la instalación**

#### **Cálculo del poder de corte de las protecciones**

Para determinar el poder de corte se procederá con calcular las intensidades de cortocircuito.

Se empieza el cálculo por el principio de la instalación, desde el centro de conmutación hasta los módulos, teniendo en cuenta el cortocircuito.

Primero se calculan las resistencias de los equipos y de las líneas de la instalación a partir de datos proporcionados por el fabricante en las ecuaciones (2.14, 2.15, 2.16 y 2.17).

A partir de la consideración, los valores de impedancia para cada elemento de la instalación son los siguientes:

Valor de impedancia de los principales elementos de la instalación.

**Tabla 4.13**  
**Resultados de impedancia**

<b>Elemento</b>	<b>Impedancia (<math>\Omega</math>)</b>
Línea 1 (De INV. a BT.)	0.000379
Línea 2 (De CCP a INV)	0.002841
Línea 3 (De CCS a CCP)	0.000957
Línea 4 (De string a CCS)	0.022727

Fuente: Elaboración propia

En el caso de la Línea 4 (De String a CCS) se ha tomado el conductor de menor longitud, es decir, el peor caso para el valor de corriente de cortocircuito.

Una vez obtenidos estos valores se calcula la corriente de cortocircuito en todos los tramos de la instalación:

**Tabla 4.14**  
**Resultado de corriente de cortocircuito**

Tramo	Impedancia ( $\Omega$ )			Icc (kA)
	Real	Imaginaria	Módulo	
Línea 1 (De INV. a BT.)	0.2530	1.2383	1.2639	17.85
Línea 2 (De CCP a INV)	0.2559	1.3442	1.3683	0.31
Línea 3 (De CCS a CCP)	0.2568	1.3442	1.3685	0.31
Línea 4 (De string a CCS)	0.2795	1.3442	1.3729	0.06

Fuente: Elaboración propia

Para la parte de la corriente alterna se utilizarán protecciones con un poder de corte mínimo de 15 y de 20 kA, y para la parte de continua, con un poder de corte mínimo de 1 kA.

#### **Validación de la corriente admisible del conductor con la corriente nominal de las protecciones**

Se evaluará las corrientes admisibles nominales para las protecciones para los siguientes tramos string a CCS, CCS a CCP, CCP A INV, e INV A BT.

El tramo de los strings a la caja de conexiones CCS, en este tramo se instalara fusibles de 16 A para lo cual se valida de la siguiente manera:

$$I_B \leq I_N \quad (4.32)$$

$$I_B \times 1.21 \leq I_z \quad (4.33)$$

$$10.53 A \leq 16 A \quad (4.34)$$

$$19.36 A \leq 33.21 A \quad (4.35)$$

Tramo entre la caja de conexiones CCS y la caja de conexiones CCP, en la cual la caja de conexiones se han instalado fusibles de 40 A

$$I_B \leq I_N \quad (4.36)$$

$$I_B \times 1.1 \leq I_z \quad (4.37)$$

$$26.3 A \leq 40 A \quad (4.38)$$

$$44 A \leq 53 A \quad (4.39)$$

Tramo entre la caja de conexiones Inversor y la caja de conexiones BT, en la cual hay un interruptor termo magnético 250 A de intensidad nominal

$$I_B \leq I_N \quad (4.40)$$

$$I_N \leq I_z \quad (4.41)$$

$$221 A \leq 250 A \quad (4.42)$$

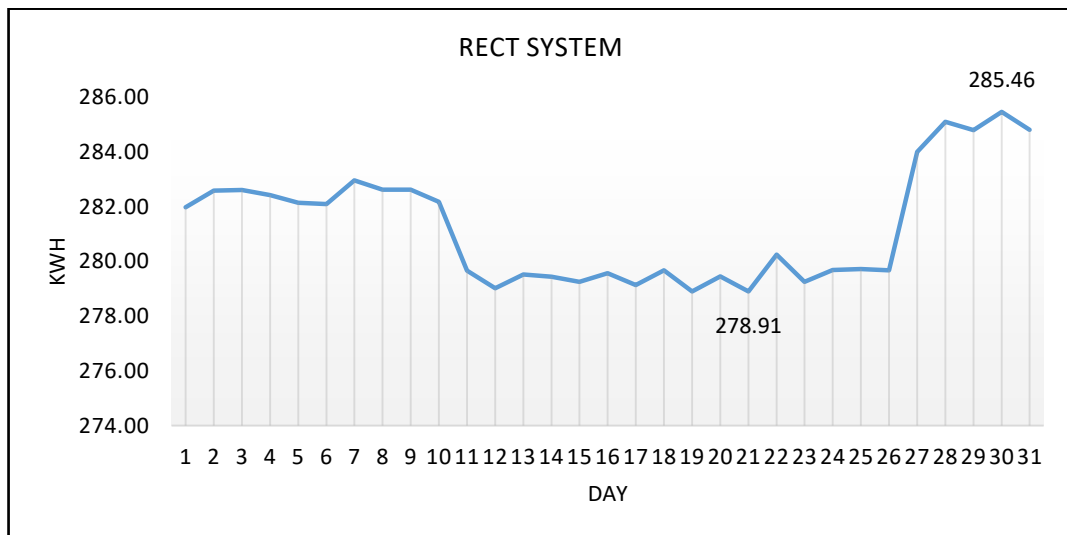
$$250 A \leq 256.1 A \quad (4.43)$$

### Consumo de energía del Centro de Datos:

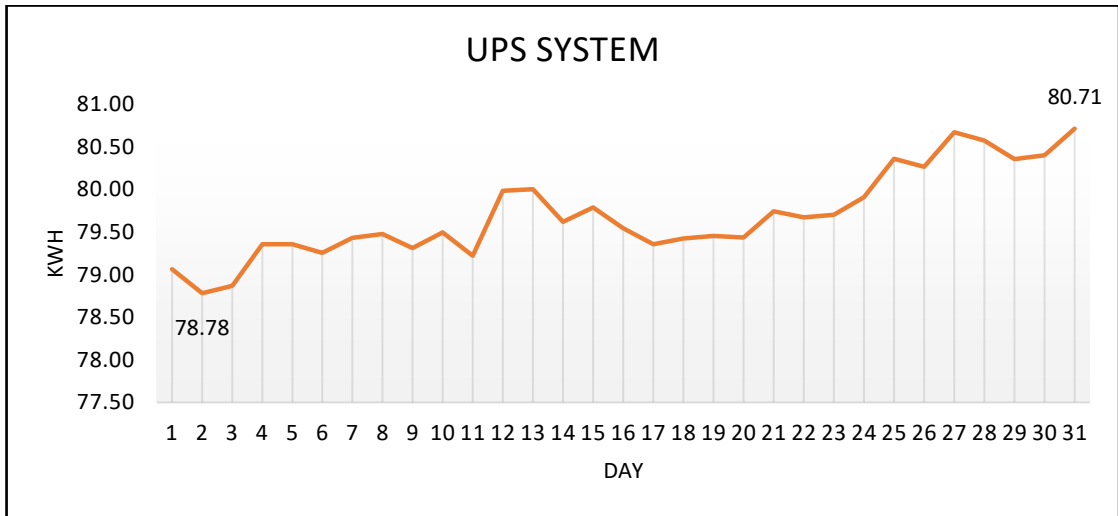
En vista de poder entender el comportamiento energético del centro de datos se tiene los principales consumidores en el centro de datos al PAC (Aire Acondicionado de Precisión), Sistema de Potencia Interrumpible (UPS), Sistema de Carga DC (Corriente Continua).

Esta simulación se realizó para el Mes de Julio, del 2017.

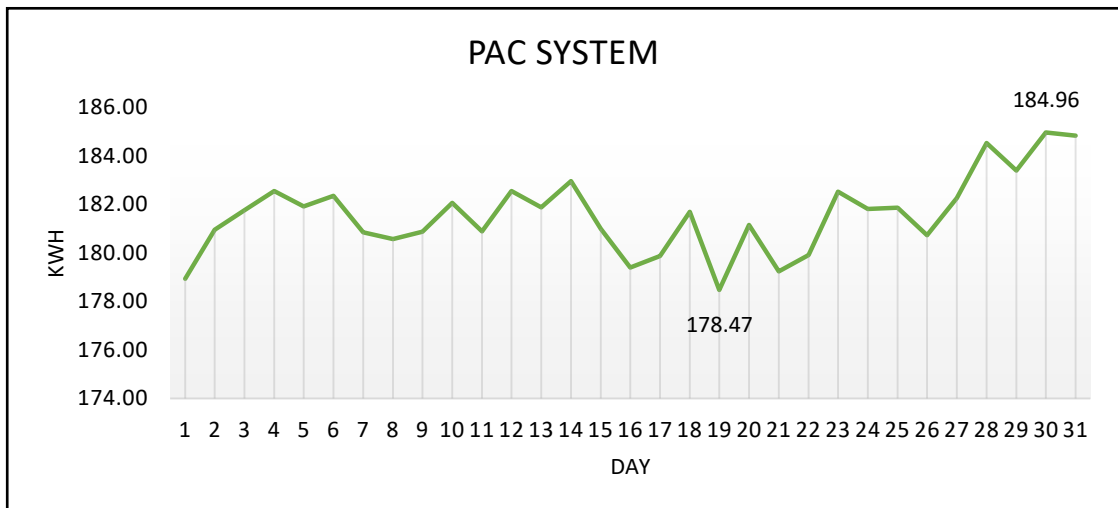
**Figura 4.13**  
**Consumo de energía en sistemas de Rect, UPS, PAC**



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, tomando el acumulado de consumo de energía del centro de datos se tiene en el mes **de Julio**:

**Energía del Centro de datos = 403650.38 kwh/mes**

**Energía inyectada a la red por el sistema fotovoltaico**

Se realiza el cálculo de la Energía generada por los paneles solares, mediante la siguiente ecuación 4.44:

$$E_p = \frac{G_{dm}(\alpha, \beta) \cdot P_{max} \cdot PR}{G_{STC}} \quad (4.44)$$

Donde:

$G_{dm}(\alpha, \beta)$  : 167.5 (kWh/m<sup>2</sup>.día)

$P_{max}$ : 517 (kW)

PR: 0.83

$G_{STC}$ : Irradiancia en condiciones estándar 1 kW/m<sup>2</sup>

$$E_p = 71835,24 \text{ kwh/mes (Julio)} \quad (4.45)$$

Luego de reemplazar el valor de radiación global para el mes considerado como Julio en el cálculo debido a que es el mes más alto de consumo de energía en el centro de datos, para ello la producción de radiación solar y considerando PR=0.83 se tiene lo siguiente:

$$\text{Energía inyectada a la red} = 71835,24 \text{ kwh/mes (julio)} \quad (4.46)$$

Por lo tanto, se hace la siguiente división comparando el consumo de energía del centro de datos sin sistema fotovoltaico, y luego del sistema fotovoltaico para lo cual se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Ahorro logrado en energía} = \frac{\text{Energía inyectada a la red}}{\text{Energía del Centro de Datos}} \quad (4.47)$$

$$\text{Ahorro logrado de energia} = \left( \frac{71835.24 \text{ kwh/mes}}{403650.38 \text{ kwh/mes}} \right) \times 100 = 17 \% \quad (4.48)$$

Lo que finalmente se tiene como un ahorro mensual de 17% en el consumo de energía mensual debido a la implementación del uso del sistema fotovoltaico.

Así mismo luego de obtener los valores de consumo mensual del sistema fotovoltaico se calculará el costo en la facturación del consumo de energía considerando que el centro de datos tiene una tarifa **MT3**, con **17.31 centsol.kwh/mes** (Ver tabla 4.15) presente en fuera de punta.

$$\text{Ahorro logrado en la facturacion} = \frac{\text{Costo de Energia reducida S.F}}{\text{Costo de Energia del Centro de Datos}} \quad (4.49)$$

$$\text{Ahorro logrado facturacion} = \left( \frac{12434.7 \text{ soles/kwh-mes}}{117744.5 \text{ soles/kwh-mes}} \right) \times 100 \Rightarrow 10 \% \quad (4.50)$$

**Tabla 4.15**

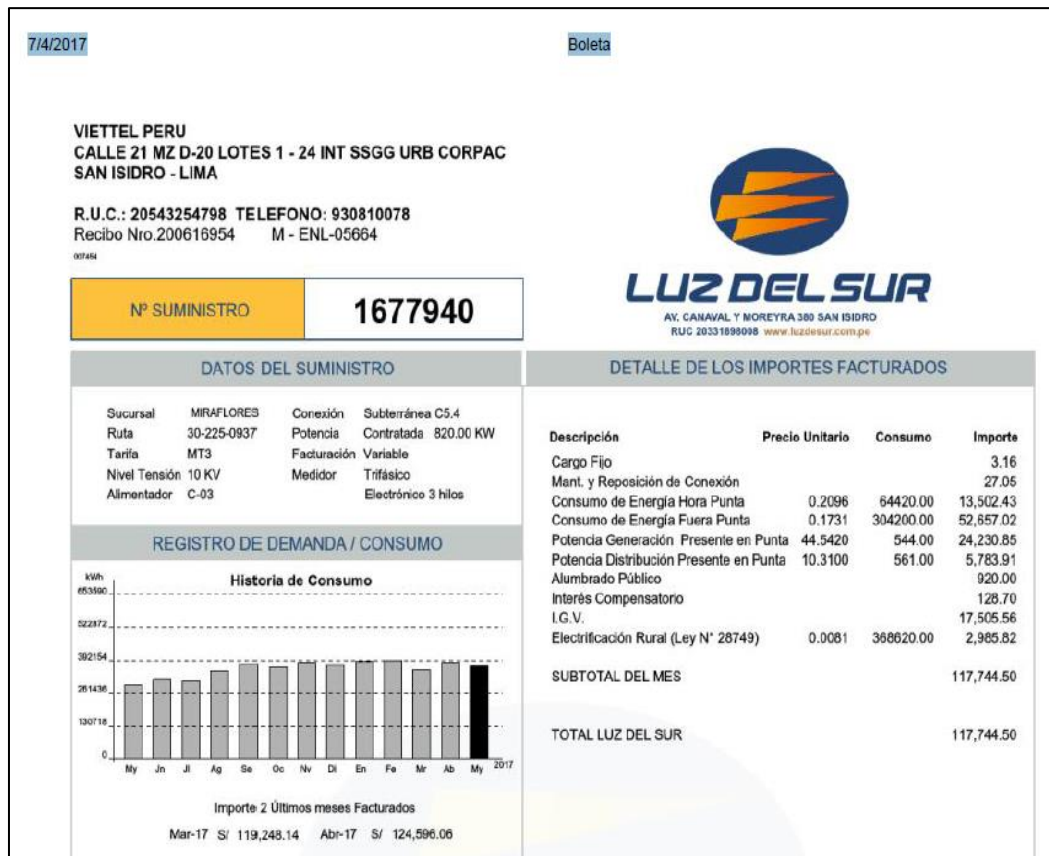
**Tabla de Ahorro en Facturación del Sistema Fotovoltaico**

Mes	Ahorro en Facturación Sist. F. (S/.)	Gasto en Facturación Prom. Energía Comercial	Porcentaje de Ahorro con Sist. F%
Enero	14149.6	117744.5	12.0
Febrero	12716.8	117744.5	10.8
Marzo	14439.1	117744.5	12.3
Abril	13399.8	117744.5	11.4
Mayo	12932.1	117744.5	11.0
Junio	11759.1	117744.5	10.0
Julio	12434.7	117744.5	10.6
Agosto	13347.8	117744.5	11.3
Septiembre	14045.7	117744.5	11.9
Octubre	15292.8	117744.5	13.0
Noviembre	14795.4	117744.5	12.6
Diciembre	14906.8	117744.5	12.7

Fuente: Elaboración propia

El cual se traduce en ahorro en la facturación de energía mensual del 10%

**Figura 4.14**  
**Recibo de luz de compañía eléctrica**



Fuente: Empresa Bitel



**Tabla 4.16**  
**Tabla de Ahorro de energía y facturación del Centro de Datos –**  
**Sistema Fotovoltaico**

Mes	kwh/m2 .mes	días	Hsol	PR	Energía Sist. FV (kwh)	Energía Consumido (kwh)	Reducción Consumo de (kwh) %	Reducción Facturación de (Soles) %
<b>Enero</b>	190.6	31	6.15	0.836	81742.2	384223.4	21.27	12.0
<b>Febrero</b>	171.3	28	6.12	0.836	73465.1	348953.9	21.05	10.8
<b>Marzo</b>	194.5	31	6.27	0.836	83414.8	385360.3	21.65	12.3
<b>Abril</b>	180.5	30	6.02	0.836	77410.7	365369.4	21.19	11.4
<b>Mayo</b>	174.2	31	5.62	0.836	74708.8	376251.4	19.86	11.0
<b>Junio</b>	158.4	30	5.28	0.836	67932.7	381555.6	17.80	10.0
<b>Julio</b>	167.5	31	5.40	0.836	71835.4	403650.4	17.80	10.6
<b>Agosto</b>	179.8	31	5.80	0.836	77110.5	394833.4	19.53	11.3
<b>Septiembre</b>	189.2	30	6.31	0.836	81141.8	396202.3	20.48	11.9
<b>Octubre</b>	206	31	6.65	0.836	88346.8	385726.8	22.90	13.0
<b>Noviembre</b>	199.3	30	6.64	0.836	85473.4	393085.0	21.74	12.6
<b>Diciembre</b>	200.8	31	6.48	0.836	86116.7	395979.1	21.75	12.7
<b>Anual</b>					948542.9	4611190.9	20.57	11.6

Fuente: Elaboración propia

#### 4.3: Población y muestra

##### ✓ Población

Nuestra población queda delimitada por el diseño del sistema fotovoltaico del Centro de datos.

Según Fracica (1988), enunció que: “Población es el conjunto de todos los elementos a los cuales se refiere la investigación. Se puede definir también como el conjunto de todas las unidades de muestreo (p. 36)”.

✓ **Muestra**

La muestra será igual a la población, debido a que la presente investigación analiza a los sistemas: rectificador, UPS y aire acondicionado que generan un notable incremento facturación en el consumo de la demanda de energía eléctrica. Centro de datos Bitel-Arequipa.

Según Bernal (2010), enunció que: “La muestra es la parte de la población que se selecciona, de la cual realmente se obtiene la información para el desarrollo del estudio y sobre la cual se efectuarán la medición y la observación de las variables objeto de estudio” (p.161).

#### **4.4: Técnicas e instrumentos de Recolección de Datos**

Las técnicas que se utilizaron en esta tesis están acorde a los objetivos y son los siguientes:

**a) Toma de Datos**

La toma de datos de la radiación global en un plano horizontal se obtuvo de las base de datos de las estaciones

base Meteorológicas de “Meteonorm” el cual es empleado mediante el programa PVSYST.

La toma de datos de consumo de energía se realizó por la empresa distribuidora de energía eléctrica para los equipos consumidores en el Centro de Datos de Bitel –Arequipa

**b) Observación**

Se observaron las facturas mensuales del consumo de energía eléctrica en un periodo de enero hasta diciembre del 2017.

**c) Encuesta**

Estuvieron orientadas para conocer la preocupación del personal administrativo debido a la alta facturación de energía eléctrica y el interés de realizar un sistema fotovoltaico que logre la reducción de la facturación mensual del centro de datos.

Los instrumentos utilizados fueron el Software PVSYST y el medidor electrónico de Marca Elster Modelo Alpha 1800 brindado por la distribuidora eléctrica SEAL.

**4.5: Procedimiento de recolección de datos.**

El Para ello se realizó las siguientes actividades:

- ✓ Visita técnica con personal operador del Centro de Datos
- ✓ Levantamiento de información de cargas de mayor consumo del Centro de Datos
- ✓ Recopilación de información de mapas de radiación solar de la zona
- ✓ Recopilación de Recibos de Facturación anual del Centro de Datos

#### **4.6: Procedimiento estadístico y análisis de datos**

En base a la investigación a realizarse no amerita hacer un procesamiento estadístico.

## CAPITULO V

### RESULTADOS

Teniendo en cuenta que el centro de datos de Bitel – Arequipa cuenta con demanda energética de 500 kw, se propone un sistema fotovoltaico autónomo conectado a la red, conformado por los siguientes equipos:

➤ **Sistema Fotovoltaico.**

- Conformado por 1710 paneles solares con capacidad de 300 watts distribuidos en la instalación.
- Los paneles solares cuentan con un ángulo de inclinación de 15 grados respecto a un plano horizontal
- Se tendrá 18 paneles en serie para cada inversor, y 95 ramas en paralelo para toda la instalación del sistema fotovoltaico
- El voltaje de los paneles solares es de 36.6 V en DC.
- Para los soportes de los paneles solares, se utilizarán el material de Fierro galvanizado y con bases de concreto. Tal como se muestra en el anexo 5. (Plano de soporte de paneles solares)
- El área delimitada por la instalación será de 3318 m<sup>2</sup>

➤ **Inversor.**

- El sistema fotovoltaico está conformado por 5 inversores

de 100 KW con una tensión de salida de 400 V (AC).

- El tipo de inversor elegido es un Inversor centralizado de 100 kW, 3P +N, modelo FRONIUS AGILO 100.0-3, con tensión de entrada en DC de 460 Volts y tensión de Salida AC de 400 Volts.
- El inversor elegido es de tipo outdoor y cuenta con protección IP66 (Ver Figura 4.11), el inversor cuenta con un juego de llaves termo magnéticas para la entrada DC y salida AC.

➤ **Conexión del sistema fotovoltaico.**

- El conexionado de los equipos se podrán visualizar en el diagrama unifilar mostrado en el anexo 4-1 diagrama unifilar
- El conexionado del tablero de conmutación a la red del centro de datos.

➤ **Dimensionamiento y selección de conductores.**

- Se seleccionarán conductores eléctricos para los tramos de string a CCS, CCS a CCP, CCP a Inv, con un calibre de 4, 6, 10, 120 mm<sup>2</sup>. Cuyo metraje se puede observar en la tabla 4.23.

De los resultados obtenidos podemos se tiene lo siguiente:

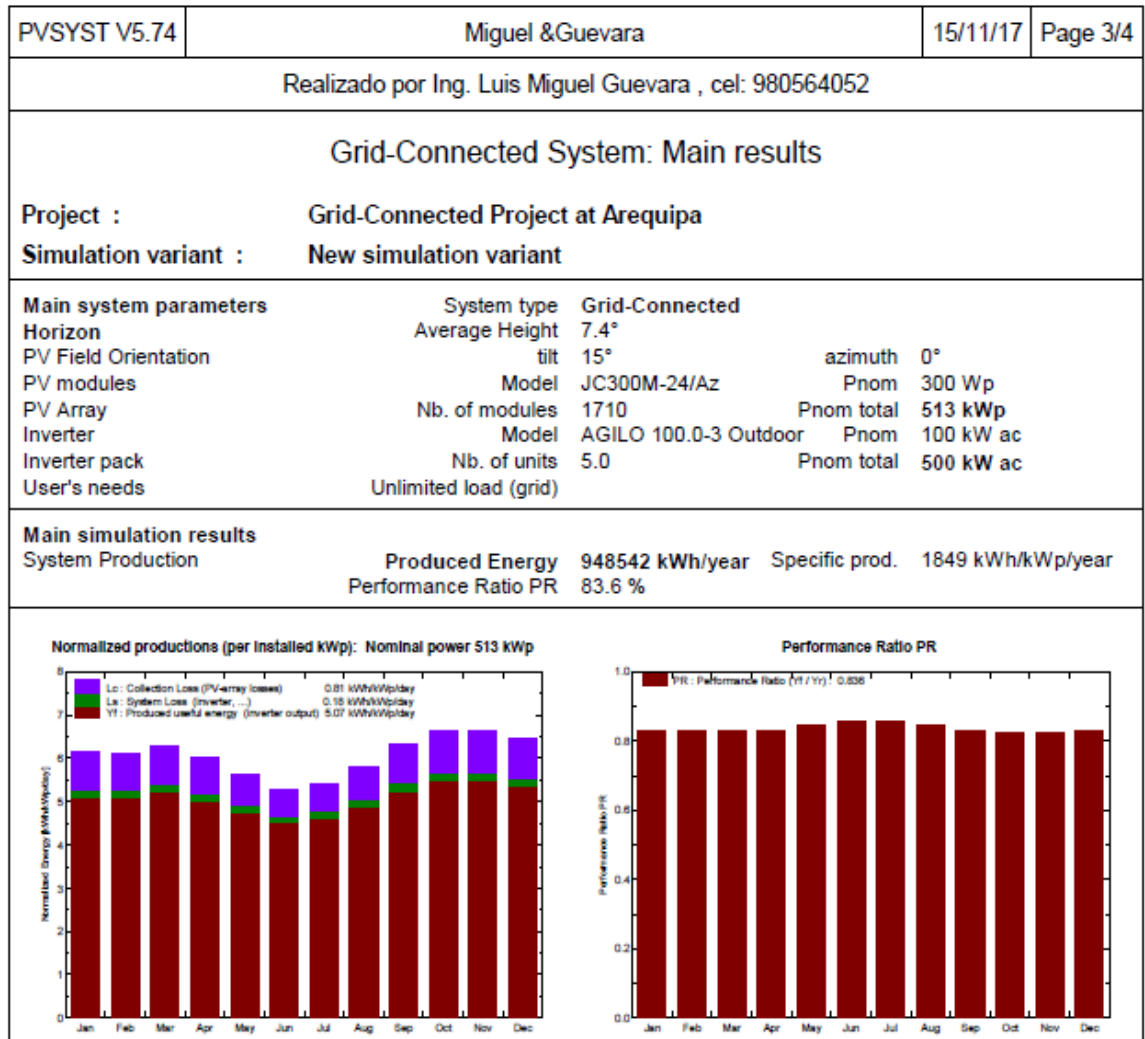
- Consumo de Energía del Centro de datos 403650.38 kwh/mes.
- Energía inyectada a la red por el sistema fotovoltaico 90906,16 kwh/mes.

Por lo tanto el ahorro obtenido es el siguiente:

- Ahorro logrado de energía del 22%.
- Ahorro logrado en la facturación de energía del 10%.

Los resultados obtenidos son revalidados con la simulación en el software PVSYST, el cual confirma el número de paneles, la cantidad de inversores, y la producción de energía por el sistema fotovoltaico. (Ver Figura 5.1)

**Figura 5.1**  
**Simulación del Sistema fotovoltaico en PVSYS**



Fuente: Fuente PVSYS



## **CAPITULO VI**

### **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

#### **6.1 Contrastación de la hipótesis con los resultados**

##### **6.1.1 Contrastación de la hipótesis general:**

- Si se Diseña un sistema fotovoltaico de conexión a red de 500 kw se lograra reducir la facturación en el consumo de la demanda de energía eléctrica del centro de datos de Bitel-Arequipa.

Del desarrollo de la tesis se concluye lo siguiente:

- a. Se aplica metodologías tanto probadas como verificadas, utilizando datos reales de radiación según el lugar, optimizando asi los resultados, en consecuencia, nos permite asegurar que el diseño propuesto sea viable, cubre la demanda de energía necesaria (500 KW) y cumple con la reducción de la facturación de energía eléctrica.

##### **6.1.2 Contrastación de las hipótesis específicas:**

- Si determinó la cantidad de horas de sol y la inclinación adecuada de los paneles solares lograre la energía solar requerida.

Se determinó la inclinación óptima de los paneles respecto al

plano horizontal, se obtiene la radiación solar óptima y la cantidad de horas de sol que tendrá el sistema fotovoltaico conectado a la red del centro de datos para obtener la energía solar requerida.

- Si calculo la cantidad de paneles solares para su conexión en serie y/o paralelo podrá limitar el área de la instalación fotovoltaica.

Es muy importante contar con la cantidad exacta de paneles solares debido a que de esta manera nos permitirá agrupar los paneles en serie y/o paralelo y a la vez obtener el área de la instalación fotovoltaica en m<sup>2</sup>.

- Si calculo la cantidad de inversores logrará su conexión en el tablero general de la instalación fotovoltaica.

El determinar la cantidad de inversores nos permite agrupar los paneles solares a cada inversor y de esta manera determinar el arreglo eléctrico al tablero general de la instalación fotovoltaica.

- Si determino la configuración de la instalación eléctrica del sistema fotovoltaico podrá lograr la conexión del tablero general del centro de datos.

El determinar la configuración de la instalación eléctrica del sistema fotovoltaico es importante debido a que depende de

la posición de los equipos y de la distancia entre ellos, porque depende de ello el cálculo y selección del conductor, el tipo de protección y lograr el correcto conexionado al tablero de conmutación general del centro de datos.

## **6.2 Contratación de los resultados con otros similares**

- El diseño de un sistema fotovoltaico de conexión a red de 500 kw para reducir la facturación en el consumo de la demanda de energía eléctrica. centro de datos bitel-arequipa; es comparado con el Parque fotovoltaico de 500 KW conectado a la red en el Prat, Catalunya- España dicho sistema tiene la capacidad de suministrar energía eléctrica mediante un arreglo de paneles solares, con una potencia instalada de 500 kW, el cual con una radiación de 1484 kwh/m<sup>2</sup> produjo un 682665 kwh/año de este modo para una radiación mayor de 2212.1 kwh/m<sup>2</sup> se garantiza la producción de energía 948542 kwh/año del sistema fotovoltaico.
- En base a ello y teniendo las mismas condiciones de la potencia del sistema fotovoltaico y debido que suministrara energía a una red de usuarios de la misma demanda del centro de datos, el sistema fotovoltaico de 500 kw conectado a la red en el prat logro un ahorro en la reducción en la facturación del 7% y el sistema fotovoltaico de conexión a red de 500 kw de bitel –Arequipa logro una reducción del 10%

## **CAPITULO VII**

### **CONCLUSIONES**

- ✓ La cantidad de horas de sol respecto a la zona de Arequipa es de un promedio mensual de 6.06 horas/día para la inclinación de 15 grados.
- ✓ Se obtiene una cantidad de 1710 paneles solares y que para la instalación se va a requerir 18 paneles en serie y 95 ramales en paralelos para el sistema fotovoltaico.
- ✓ Para este diseño del sistema fotovoltaico se eligió colocar 5 inversores en paralelo para lo cual para cada inversor de 100 kw se va a tener 18 paneles en serie y 19 ramas en paralelo.
- ✓ El diseño de tablero de conmutación está ligado al tipo de instalación y al diseño del centro de datos, para lo cual para esta investigación se acoplara a la barra de conmutación de suministro principal.

## **CAPITULO VIII**

### **RECOMENDACIONES**

- ✓ Se puede lograr una mayor reducción en la demanda de la facturación de energía eléctrica teniendo en cuenta el uso de un medidor bidireccional el cual sea regulado por las distribuidoras eléctricas haciendo posible que el exceso de energía producido por sistema fotovoltaico sea inyectado a la red comercial de energía eléctrica.
- ✓ El uso de la tecnología de seguidores solares incrementaría el aprovechamiento de la energía solar para el ahorro en la facturación de energía para el centro de datos.
- ✓ En la actualidad, el Estado debe promover la inversión privada en el uso de la energía solar en el sector de telecomunicaciones logrando de esta manera incentivar un acuerdo socio económico con las grandes empresas que logre el desarrollo de la población mediante el uso de la comunicación y la subvención de energía a la zonas más necesitadas del Perú.

## CAPITULO IX

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Para la elaboración del presente proyecto de tesis se ha contado con la información de libros, revistas y documentos siendo las siguientes:

BERNAL, T. C., **Metodología de la investigación**. Bogotá, Colombia: Pearson, 2010.

ESPINOZA, M. C., **Metodología de la investigación tecnológica**. Huancayo, Perú: Imagen gráfica S.A.C, 2010.

CAPCHA, M. C. **Estructura del plan de tesis**. Lima, Perú: Daniel Alcides Carrión, 2014.

FRANCICA, N. G. **Población y Muestreo**. Bogotá, Colombia, 1988

HERNANDEZ, C., FERNANDEZ, C. y BAPTISTA, P., **Metodología de la investigación**, Ciudad de Juárez, México, 1991.

HÉCTOR ARMANDO CORNEJO LALUPÚ, **Sistema solar fotovoltaico de conexión a red en el Centro Materno Infantil de la Universidad de Piura**, Tesis de Grado de Ingeniero Mecánico Eléctrico, Universidad de Piura, Departamento de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Perú, 2013.

RECARTE ALLUÉ, Josu, **Central solar fotovoltaica de 500 kW**, Tesis para optar el título de Ingeniero Eléctrico. Universidad de la Rioja, España, 2013.

LUIS ENRIQUE SUAREZ DOMINGUEZ, **Ingeniería conceptual para la electrificación de viviendas en zonas alejadas de los puntos de distribución mediante el uso de energías alternativas**, Tesis de Grado de Ingeniero Electricista, Universidad de los Andes, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Mexico, 2008

PABLO DIAZ VILLAR, **Confiabilidad de los sistemas fotovoltaicos autónomos: Aplicación a la electrificación rural**, Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, Escuela técnica superior de Ingenieros de Telecomunicación, España, 2003

DELFOR FLAVO MUNOZ ANTICONA, **Aplicación de la energía solar para electrificación rural en zonas marginales del país**, Tesis de Grado de Ingeniero Mecánico Electricista, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Mecánica, Peru, 2005

GERENCIA, (2016, 17 de Marzo), **Entel Empresas Data center más eficientes y sustentables, una tendencia creciente**, [www.emb.cl/gerencia/articulo.mvc?xid=3281&sec=9](http://www.emb.cl/gerencia/articulo.mvc?xid=3281&sec=9)

LA TERCERA, (2015, 03 de Diciembre), **Centro de Datos en Chile de Google funcionara con energía solar**,

[www.latercera.com/noticia/tendencias/2015/12/659-658603-9-centro-de-datos-en-chile-de-google-funcionara-con-energia-solar.shtml](http://www.latercera.com/noticia/tendencias/2015/12/659-658603-9-centro-de-datos-en-chile-de-google-funcionara-con-energia-solar.shtml)

GARCIA TORRES MARCO ANTONIO, LOPEZ LOPEZ LUIS, SANCHEZ RAMIREZ SELESTINO, **Instalación Eléctrica para un Data Center**, Tesis de Grado de Ingeniero Eléctrico – Electrónico, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2015

ESTEFANIA CAAMAÑO, **Diseño de un sistema de suministro energético eficiente para centros de datos con tecnología solar fotovoltaica**, Tesis de Grado Ingeniero de Telecomunicaciones, Universidad Politécnica de Madrid, España, 2015

COMMSCOPE Enterprise, **Data center Design Guide**, USA, 2011

GONZÁLEZ NÉSTOR y otros. (2007) **Capítulo 2: El apetito de los Centros de Proceso de Datos por la electricidad**. España.

JEAN DANIEL MARTÍNEZ ESPINOZA, **Evaluación económica de un sistema fotovoltaico en punta arenas con diseño de emulación de potencia suministrada por paneles solares**, Tesis de Grado Ingeniero de Ejecución en Electricidad, Universidad de Magallanes, Chile, 2011.



CARLOS FLORES PULGARÍN.PARQUE, **Fotovoltaico de 500kW conectado a la red situado en El Prat**,  
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/11378/Càlculs.pdf?sequence>

CÓDIGO NACIONAL DE ELECTRICIDAD

[www.pqsperu.com/Descargas/NORMAS%20LEGALES/CNE.PDF](http://www.pqsperu.com/Descargas/NORMAS%20LEGALES/CNE.PDF)

<https://ingelibreblog.wordpress.com/2014/01/09/inclinacion-optima-de-placasfotovoltaicas/>

<https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/modulo-fotovoltaico-calculo-panelessolares-fotovoltaicos/>

<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/visele/article/view/3858/6761>

## ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia.

Anexo 2: Especificaciones técnicas de Inversor.

Anexo 3: Especificaciones técnicas de Panel Solar.

Anexo 4: Planos.

- SF – 01 Conexión de Paneles y Módulos del Sistema Fotovoltaico de 500 KW.
- SF – 02 Diagrama Unifilar del Sistema Fotovoltaico de 500 KW.
- SF – 03 Perfil longitudinal y Soporte del Sistema Fotovoltaico de 500 KW.
- SF – 04 Diagrama Unifilar del Tablero de Conmutación del Centro de Datos.
- SF – 05 Diagrama Unifilar Simple del Centro de Datos.

## Anexo 1. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA	POBLACIÓN
<p><b>Problema principal</b> ¿Cómo diseñar un sistema fotovoltaico de conexión a red de 500 kw para reducir la facturación en el consumo de la demanda de energía eléctrica del centro de datos de Bitel-Arequipa?</p> <p><b>Problemas específicos</b> P1.- ¿Cómo determinar la cantidad de horas de sol y la inclinación adecuada de los paneles solares para la lograr la energía solar requerida? P2.- ¿Cómo calcular la cantidad de paneles solares para su conexionado en serie y/o paralelo limitado por el área de la instalación fotovoltaica? P3.- ¿Cómo resolver la cantidad de inversores para su conexionado hacia el tablero general de la instalación fotovoltaica? P4.- ¿Cómo establecer la configuración de la instalación eléctrica del sistema fotovoltaico para la conmutación del tablero general del centro de datos?</p>	<p><b>Objetivo general</b> Diseñar un sistema fotovoltaico de conexión a red de 500 kw para reducir la facturación en el consumo de la demanda de energía eléctrica del centro de datos de Bitel-Arequipa.</p> <p><b>Objetivos específicos</b> O1.- Determinar la cantidad de horas de sol y la inclinación adecuada de los paneles solares para lograr la energía solar requerida. O2.- Calcular la cantidad de paneles solares para su conexionado en serie y/o paralelo limitado por el área de la instalación fotovoltaica. O3.- Resolver la cantidad de inversores para su conexionado hacia el tablero general de la instalación fotovoltaica. O4.- Establecer la configuración de la instalación eléctrica del sistema fotovoltaico para la conmutación del tablero general del centro de datos.</p>	<p><b>Hipótesis general</b> Si se Diseña un sistema fotovoltaico de conexión a red de 500 kw se lograra reducir la facturación en el consumo de la demanda de energía eléctrica del centro de datos de Bitel-.</p> <p><b>Hipótesis específicas</b> 1.- Si determino la cantidad de horas de sol y la inclinación adecuada de los paneles solares lograre la energía solar requerida. 2.- Si calculo la cantidad de paneles solares para su conexionado en serie y/o paralelo podre limitar el área de la instalación fotovoltaica. 3.- Si resuelvo la cantidad de inversores lograre su conexionado en el tablero general de la instalación fotovoltaica. 4.- Si establezco la configuración de la instalación eléctrica del sistema fotovoltaico podre lograr la conmutación del tablero general del centro de datos.</p>	<p><b>Variable independiente</b> Sistema fotovoltaico de conexión a red.</p> <p><b>Variable dependiente</b> Facturación en el consumo de la demanda de energía eléctrica.</p>	<p><b>Tipo de investigación</b> Aplicada</p> <p><b>Diseño de la investigación</b> No experimental</p>	<p><b>Población</b> Nuestra población queda delimitada por el diseño del sistema fotovoltaico del Centro de datos.</p> <p><b>Muestra</b> La muestra será igual a la población, debido a que la presente investigación analiza a los sistemas: rectificador, UPS y aire acondicionado que generan un notable incremento facturación en el consumo de la demanda de energía eléctrica</p>

## Anexo 2. Especificaciones técnicas del Inversor

SUPERANDO LÍMITES

# FRONIUS AGILO

/ El inversor central con el revolucionario sistema de movilidad y de instalación



/ Administrador de Módulos



/ Concepto de reemplazo de tarjetas



/ Concepto de ventilación

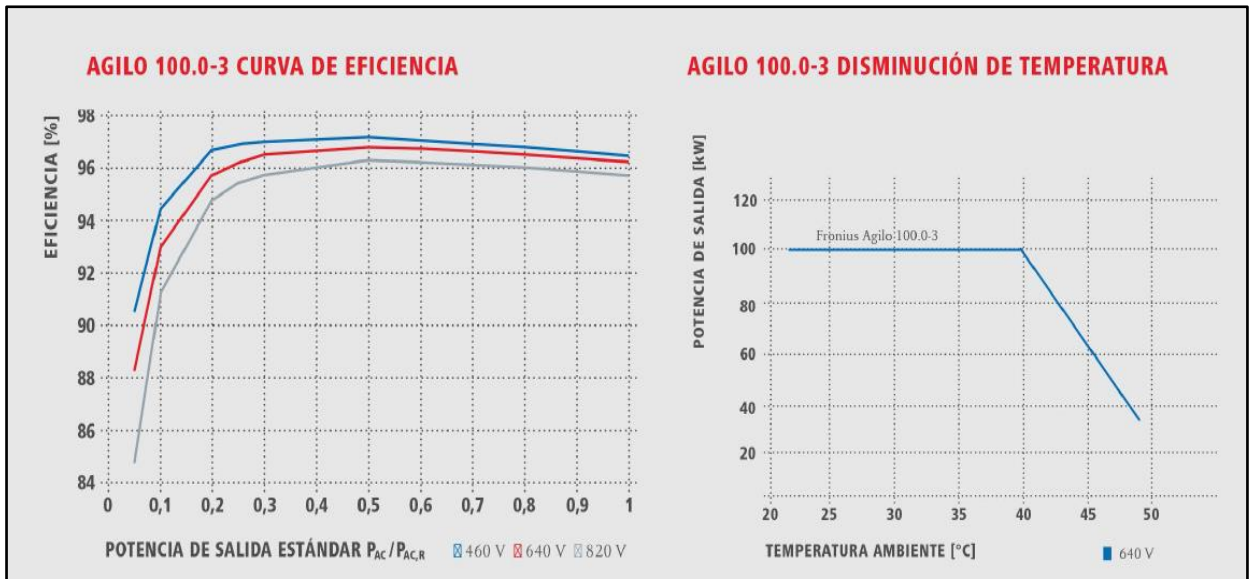


/ Como el primer inversor central en su clase que puede ser completamente instalado y mantenido por el instalador, el Fronius Agilo establece nuevos estándares. Con ruedas de uso rudo especial, su diseño compacto y la posibilidad de reemplazar componentes en el lugar de su instalación hacen al Fronius Agilo único en su tipo. Con una potencia de salida máxima de 100 kVA el Fronius Agilo es particularmente adecuado para uso en sistemas industrial o comerciales.

### DATOS TÉCNICOS: FRONIUS AGILO

DATOS DE ENTRADA	AGILO 100.0-3	AGILO 100.0-3 OUTDOOR
Potencia máxima CD @ $\cos \varphi = 1$		104.4 kW
Max. corriente de entrada ( $I_{dc \max}$ )		226.9 A
Min.voltaje de entrada ( $U_{dc \min}$ )		460 V
Voltaje de inicio de retro-alimentación ( $U_{dc \text{ start}}$ )		500 V
Voltaje nominal de entrada ( $U_{dc \text{ r}}$ )		460 V
Max. voltaje de entrada ( $U_{dc \max}$ )		950 V
Rango de voltaje MPP ( $U_{mpp \min} - U_{mpp \max}$ )		460 V - 820 V
Número de entradas CD		2
DATOS DE SALIDA	AGILO 100.0-3	AGILO 100.0-3 OUTDOOR
Salida nominal AC ( $P_{ac \text{ r}}$ )		100 kW
Max. potencia de salida		100 kW
Max. corriente de salida ( $I_{ac \max}$ )		152.6 A
Conexión a red ( $U_{ac \text{ r}}$ )		3-NPE 400 V / 230 V
Min. voltaje de salida ( $U_{ac \min}$ )		180 V
Max. voltaje de salida ( $U_{ac \max}$ )		270 V
Frecuencia ( $f_r$ )		50 Hz
Rango de frecuencia ( $f_{\min} - f_{\max}$ )		46 Hz - 55 Hz
Factor de distorsión		< 3 %
Factor de potencia ( $\cos \varphi_{ac \text{ r}}$ )		0.8 - 1 ind. / cap.

DATOS GENERALES	AGILO 100.0-3	AGILO 100.0-3 OUTDOOR
Dimensiones (altura x ancho x profundidad)	1,884 x 1,100 x 700 mm	1,914 x 1,204 x 862 mm
Peso	834 kg	806 KG
Grado de protección (partes electrónicas)	IP 30 (IP 54)	IP 44 (IP 55)
Clase de protección		1
Categoría de sobrevoltaje (DC / AC)		DC 2 / AC 3
Consumo nocturno		< 50 W
Concepto de inversor		50 Hz transformador
Enfriamiento		Ventilación regulada
Instalación	Interior	Exterior
Rango de temperatura ambiente		-20° C a +50° C
Humedad permitida		0 % - 95%
Tecnología de conexión CD	Lug de conexión en forma de V / V-box abrazadera de terminal 70-240 mm <sup>2</sup>	
Tecnología de conexión CA	Lug de conexión en forma de V / V-box abrazadera de terminal 35-95 mm <sup>2</sup>	
Certificados y cumplimiento de normas	IEC 62109-1	



DATOS TÉCNICOS: FRONIUS AGILO		
EFICIENCIA	AGILO 100.0-3	AGILO 100.0-3 OUTDOOR
Max. eficiencia		97.2 %
Eficiencia europea ( $\eta_{EU}$ )		96.6 %
$\eta$ at 5% $P_{ac,r}^{(1)}$		90.5 % / 84.8 %
$\eta$ at 10% $P_{ac,r}^{(1)}$		94.6 % / 91.5 %
$\eta$ at 20% $P_{ac,r}^{(1)}$		96.6 % / 94.7 %
$\eta$ at 25% $P_{ac,r}^{(1)}$		96.9 % / 95.4 %
$\eta$ at 30% $P_{ac,r}^{(1)}$		97.0 % / 95.7 %
$\eta$ at 50% $P_{ac,r}^{(1)}$		97.2 % / 96.3 %
$\eta$ at 75% $P_{ac,r}^{(1)}$		96.9 % / 96.1 %
$\eta$ at 100% $P_{ac,r}^{(1)}$		96.5 % / 95.7 %
MPP eficiencia de adaptación		> 99.9%
EQUIPO DE PROTECCIÓN	AGILO 100.0-3	AGILO 100.0-3 OUTDOOR
Medida de aislamiento CC		Advertencia / Desconexión ajustable
Comportamiento de sobrecarga		Desplazamiento del punto de trabajo, limitación de potencia
Seccionador CC		Integrado
INTERFACES	AGILO 100.0-3	AGILO 100.0-3 OUTDOOR
2 RJ45 sockets (RS422)		Fronius Solar Net interface, protocolo de interfaz

### Anexo 3. Especificaciones técnicas del Panel Solar

# ReneSola

## Virtus<sup>®</sup> II

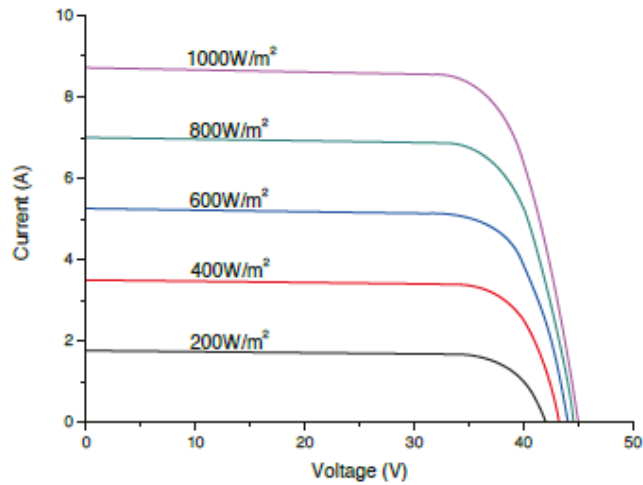
### 156 Series Polycrystalline Solar Module

300W, 305W, 310W

-  **High Module Conversion Efficiencies**
-  **Easy Installation and Handling for Various Applications**
-  **Mechanical Load Capability of up to 5400 Pa**
-  **Conforms with IEC 61215:2005, IEC 61730: 2004, UL 1703 PV Standards**
-  **ISO9001, OHSAS18001, ISO14001 Certified**
-  **Application Class A, Safety Class II, Fire Rating C**



## I-V Curves



## Varied Irradiation Efficiencies

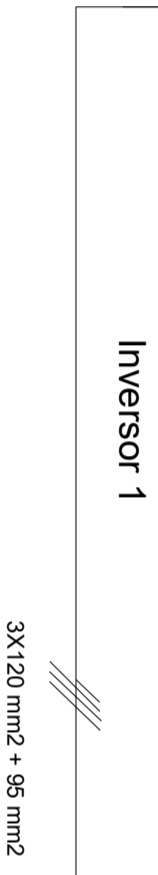
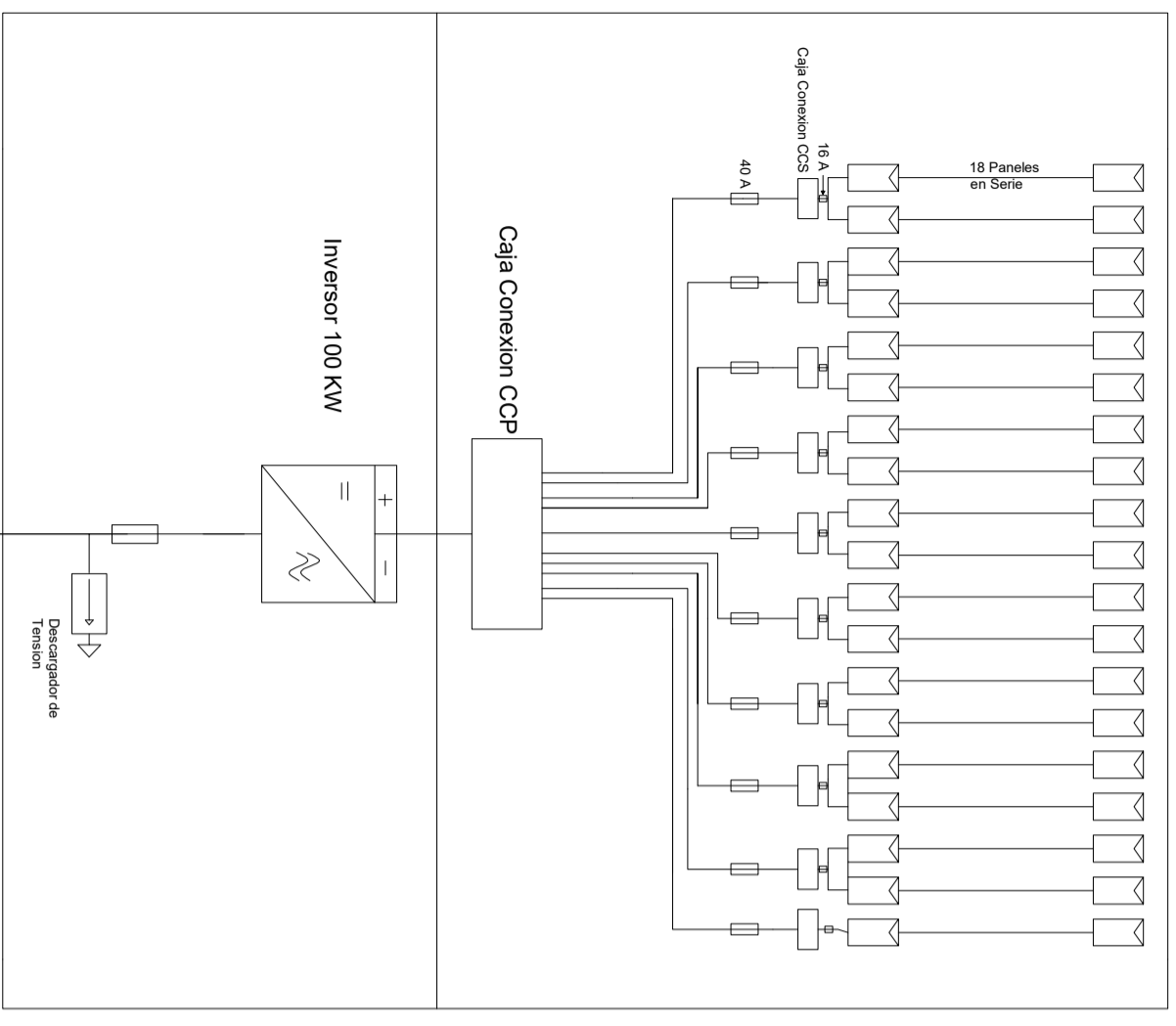
Irradiance	200W/m <sup>2</sup>	400W/m <sup>2</sup>	600W/m <sup>2</sup>	800W/m <sup>2</sup>	1000W/m <sup>2</sup>
Efficiency	15.8%	16.2%	16.2%	16.1%	16.0%

Electrical Characteristics STC	JC300M-24/Ab	JC305M-24/Ab	JC310M-24/Ab
Maximum Power (Pmax)	300 W	305 W	310 W
Power Tolerance	0 ~ +5W	0 ~ +5W	0 ~ +5W
Module Efficiency	15.5%	15.7%	16.0%
Maximum Power Current (Imp)	8.20 A	8.33 A	8.38 A
Maximum Power Voltage (Vmp)	36.6 V	36.6 V	37.0 V
Short Circuit Current (Isc)	8.69 A	8.73 A	8.80 A
Open Circuit Voltage (Voc)	44.8 V	44.9 V	45.0 V
Values at Standard Test Conditions STC (Air Mass AM1.5, Irradiance 1000W/m <sup>2</sup> , Cell Temperature 25°C)			
Electrical Characteristics NOCT	JC300M-24/Ab	JC305M-24/Ab	JC310M-24/Ab
Maximum Power (Pmax)	222 W	226 W	230 W
Maximum Power Current (Imp)	6.67 A	6.72 A	6.80 A
Maximum Power Voltage (Vmp)	33.4 V	33.6 V	33.8 V
Short Circuit Current (Isc)	7.02 A	7.04 A	7.10 A
Open Circuit Voltage (Voc)	41.9 V	42.0 V	42.1 V
Values at Normal Operating Cell Temperature, Irradiance of 800 W/m <sup>2</sup> , spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s			

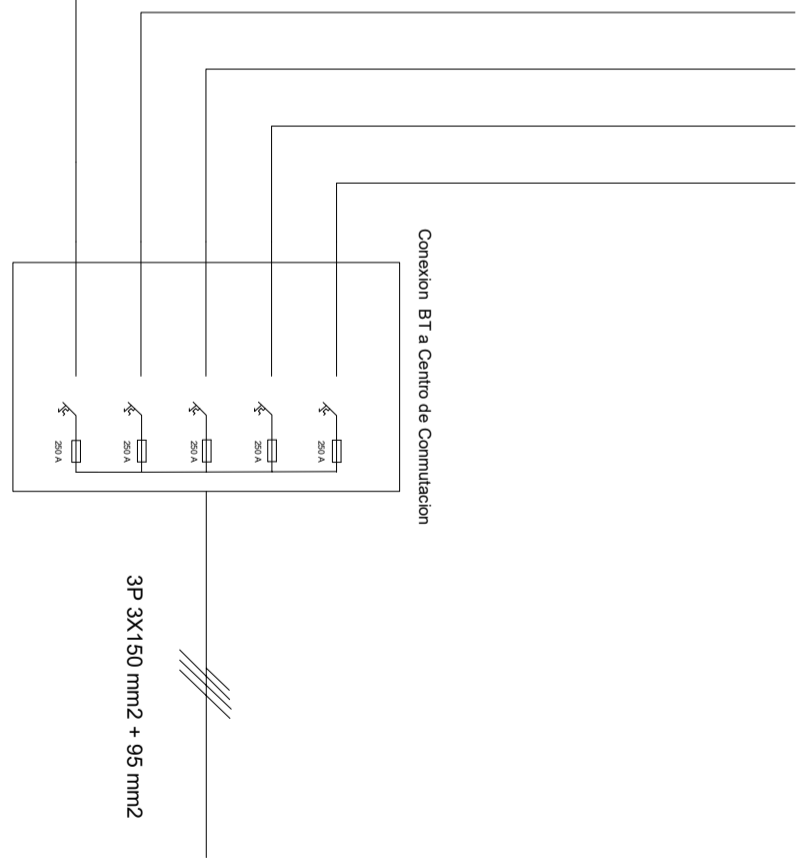
Mechanical Characteristics		Characteristics	
Cell Type	156 x156 mm Polycrystalline, 72 (6x12) pcs in series	Temperature Coefficient of Voc	-0.30%/°C
Glass	High Transmission, Low Iron, Tempered Glass	Temperature Coefficient of Isc	0.04%/°C
Frame	Anodized Aluminum Alloy	Temperature Coefficient of Pmax	-0.40%/°C
Junction Box	IP65/IP67 rated, with bypass diodes	Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45°C±2°C
Dimension	*77 x 39.1 x 2 inches		
Output Cable	12 AWG, 47.2 inches		
Weight	63.9 lbs		
Installation Hole Location	See Drawing Above		

## Anexo 4. Planos





Inversor 2  
 Inversor 3  
 Inversor 4  
 Inversor 5



**LEYENDA DE DISPOSITIVOS**

	INVERSOR
	CAJA DE CONEXION DEL PANEL
	CAJA DE CONEXION SECUNDARIA
	CAJA DE CONEXION PRIMARIA



DISIBALDO PARA:

APROBACIONES

PROYECTO

REVISION	FECHA

UBICACION:  
 DISTRITO: LA JOYA  
 PROVINCIA: AREQUIPA  
 DEPARTAMENTO: AREQUIPA

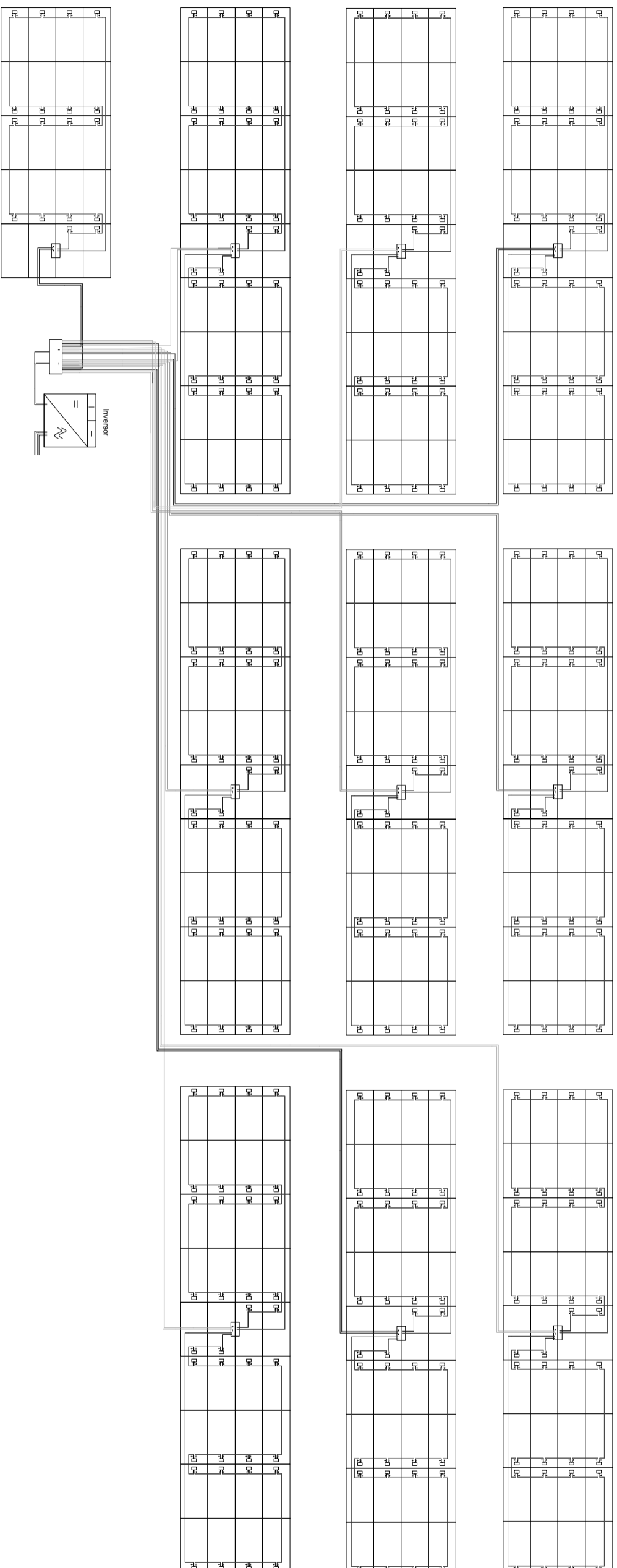
ESPECIALIDAD:  
**INGENIERIA EN ENERGIA**  
 ALUMNO:  
 GERSON EDISON GONZALES URBINA  
 LUIS ALBERTO ALCEDO ASPILCUETA

PLANO:  
 DIAGRAMA UNIFILAR  
 SISTEMA FOTOVOLTAICO  
 DE 500 KW

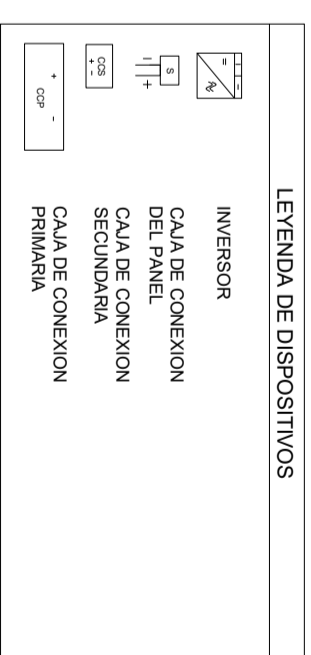
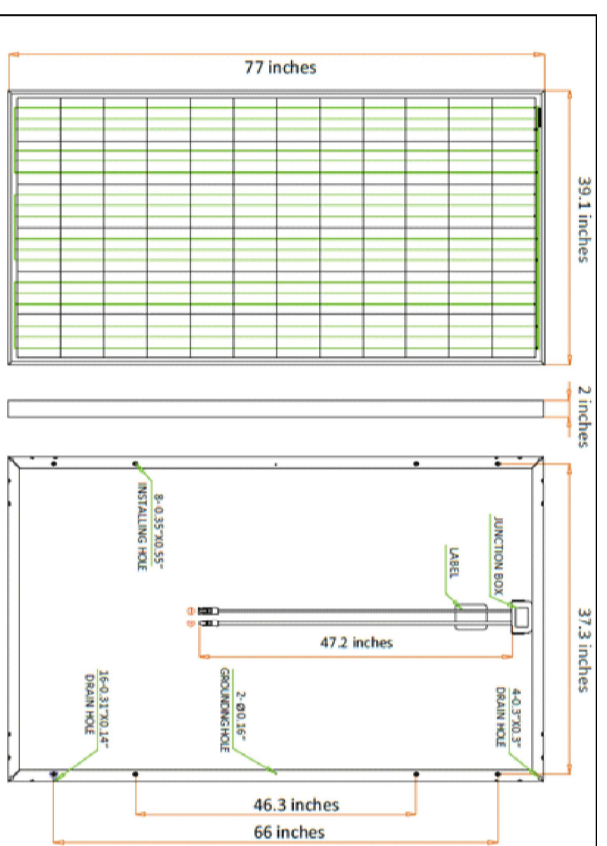
NUMERO DE LAMINA:  
**SF-02**

ESCALA:  
 TECNIA:  
 Agosto 2019

# CONEXION DE PANELES Y MODULOS FOTOVOLTAICOS



PANEL FOTOVOLTAICO



DISEÑADO POR:



APROBACIONES

PROYECTO

REVISION	FECHA

TITULACION:

DISTRITO: LA JOYA  
 PROVINCIA: AREQUIPA  
 DEPARTAMENTO: AREQUIPA

TITULO DEL DISEÑO:

**INGENIERIA EN ENERGIA**

AUTORIZADO:

GERSON EDISON GONZALES URBINA  
 LUIS ALBERTO ALCEGO ASPILQUETA

PLANO:

CONEXION DE PANELES Y  
 MODULOS DEL SISTEMA  
 FOTOVOLTAICO DE 500  
 KW

TITULO DE LA OBRA:

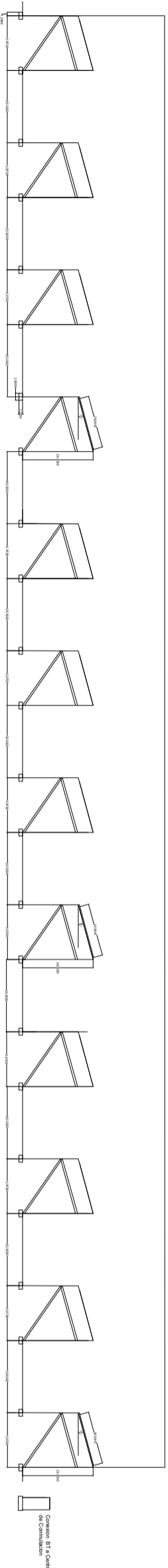
**SF-01**

ESCALA: FECHA: Agosto 2019

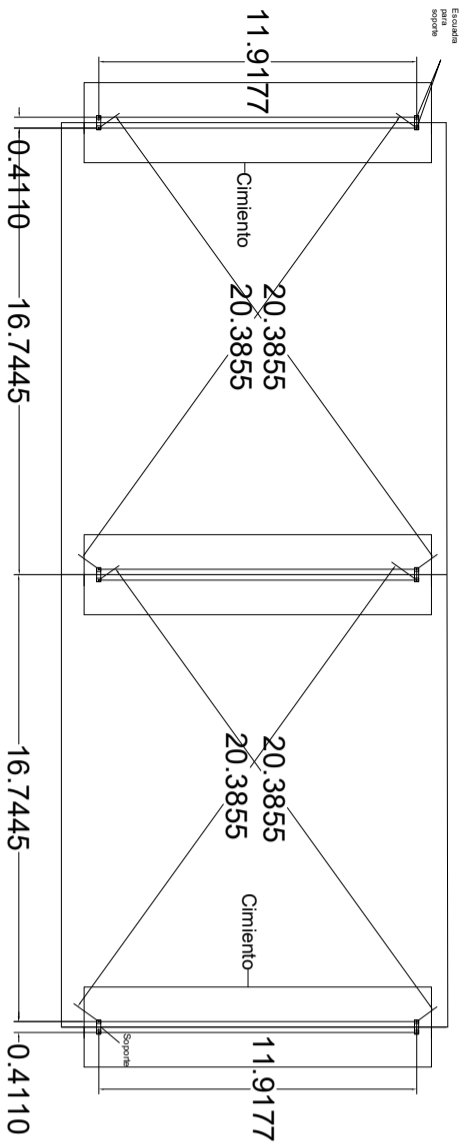




Centro de Datos



PERFIL LONGITUDINAL DEL TERRENO



CIMENTACION

Escala : 1/3



VISTA 3D DE SOPORTE DE MODULO DE PANELES FOTOVOLTAICOS

APROBACIONES

PROYECTO

REVISION	FECHA

UBICACION

DISTRITO: LA JOYA  
PROVINCIA: AREQUIPA  
DEPARTAMENTO: AREQUIPA

INGENIERIA EN ENERGIA

ALUMNO:  
GELSON EDISON GONZALES URBINA  
LUIS ALBERTO ALCEDO ASPILQUETA

PLANO

PERFIL LONGITUDINAL Y  
SOPORTE DE SISTEMA  
FOTOVOLTAICO DE 500  
KW

NUMERO DE LAMINA

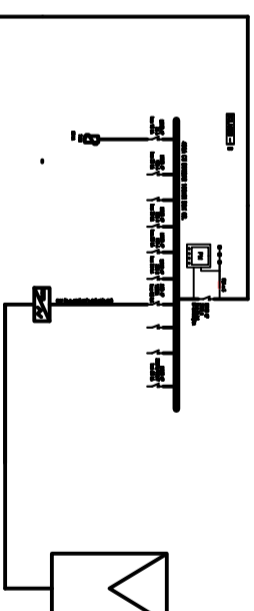
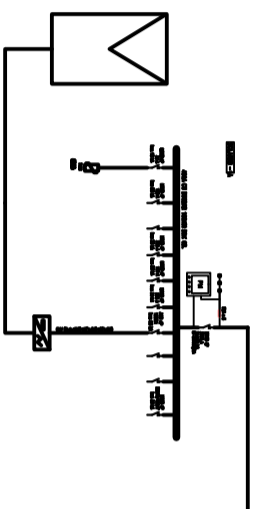
SF-03

ESCALA: FECHA: Agosto 2018



### DIAGRAM SINGLE LINE OF DATA CENTER

## P1

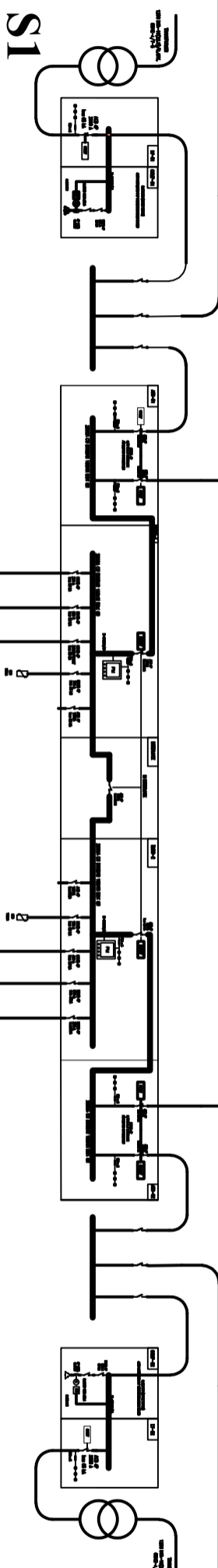
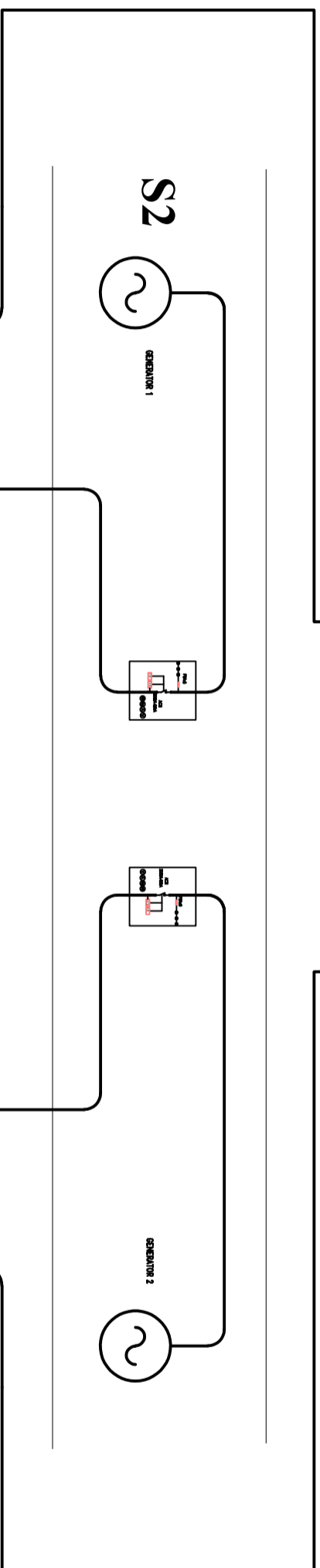


APROBACIONES

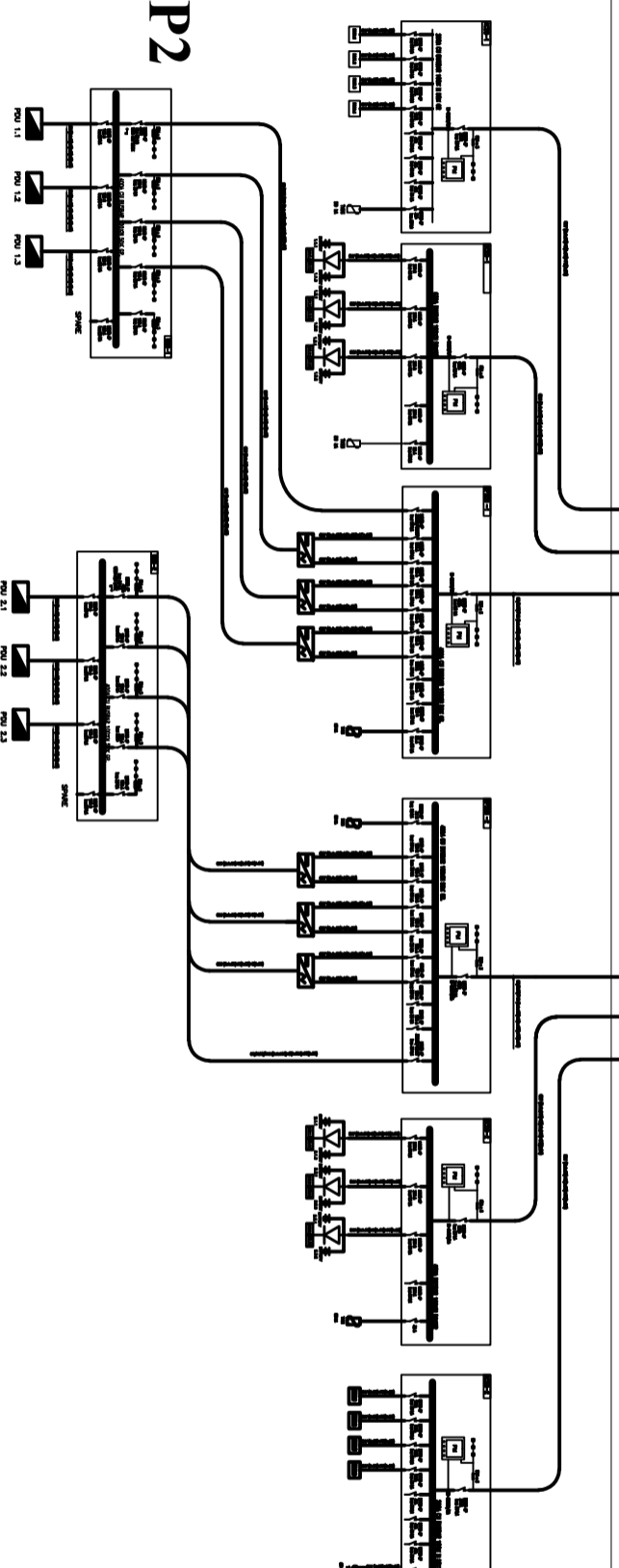
Blank area for approvals and signatures.

ETAPA:  
**PROYECTO**

REVISION	FECHA



## P2



PLANO:

PERFIL LONGITUDINAL Y SOPORTE DE SISTEMA FOTOVOLTAICO DE 500 KW

NUMERO DE LAMINA:

# SF-05

ESPECIALIZADO:  
**INGENIERIA EN ENERGIA**

ALUMNO:  
GEISON EDISON GONZALES URBINA  
LUIS ALBERTO ALCEDO ASPILQUEVA

UBICACION:  
DISTRITO: LA JOYA  
PROVINCIA: AREQUIPA  
DEPARTAMENTO: AREQUIPA

UBICACION:

ESCALA:                      FECHA: Agosto 2018