

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA FÍSICA**



**INFORME DE SUFICIENCIA PARA OPTAR EL TÍTULO**

**PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO FÍSICO**

**TITULADO:**

**DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED PARA EL  
SECTOR INDUSTRIAL**

**PRESENTADO POR:**

**OCTAVIO GALARRETA PIERREND**

**ASESOR:**

**ING. RAFAEL ESPINOZA PAREDES**

**LIMA -- PERÚ**

**2011**

# DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED PARA EL SECTOR INDUSTRIAL

## TABLA DE CONTENIDO

Capítulo 1: Introducción y Objetivo .....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Objetivo.....	3
Capítulo 2: Conceptos de las Tecnologías Aplicables.....	4
2.1 Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red.....	4
2.1.1. Principio de Funcionamiento.....	4
2.1.2. Elementos del Sistema.....	7
2.1.2.1 Panel Fotovoltaico.....	7
2.1.2.2 Inversor de Conexión a Red.....	8
2.1.2.3 Estructura Metálica.....	9
2.1.2.4 Seguridad y Cableado.....	10
2.1.3. Energía Entregada a la Red.....	10
2.2 Sistema de Respaldo.....	12
2.2.1. Principio de Funcionamiento.....	12
2.2.2. Elementos del Sistema.....	13
2.2.2.1 Inversor/Cargador.....	13
2.2.2.2 Banco de Baterías de Respaldo.....	14
2.2.2.3 Tablero de Transferencia Automática.....	14

Capítulo 3: Sistema Propuesto.....	16
3.1 Situación Geográfica.....	16
3.1.1 Ubicación y Descripción.....	16
3.1.2 Potencial de Radiación Solar.....	18
3.2 Estudio de Cargas.....	21
Capítulo 4: Diseño del Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red con Respaldo.....	24
4.1 Planteamiento Técnico del Sistema.....	24
4.1.1 Dimensionamiento del Sistema.....	24
4.1.2 Interconexión y Distribución del Sistema.....	29
4.2 Cálculo de la Producción de Energía Inyectada.....	32
4.3 Documentación de los Equipos a Utilizar.....	36
4.3.1 Panel Fotovoltaico.....	36
4.3.2 Inversor de Conexión a Red.....	38
4.3.3 Inversor/Cargador.....	40
4.3.4 Banco de Baterías.....	41
Capítulo 5: Estudio Económico.....	43
5.1 Alcances del Estudio Económico.....	43
5.2 Alternativas de Equipos Comerciales.....	44
5.3 Costos Estimados de Inversión.....	44
5.4 Análisis de Rentabilidad.....	45
Capítulo 6: Conclusiones y Recomendaciones.....	51
6.1 Conclusiones.....	51
6.2 Recomendaciones.....	52
Referencia.....	54

## RESUMEN

### **“DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED PARA EL SECTOR INDUSTRIAL”**

En la actualidad existen dos factores críticos con relación al abastecimiento de energía eléctrica en nuestro país, la creciente demanda de energía eléctrica y el crecimiento de la tarifa eléctrica convencional. Como consecuencia de esto el Estado Peruano mediante el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) está promocionando e incentivando el uso de alternativas renovables y eficientes para la autogeneración de energía eléctrica para el sector residencial, comercial e industrial.

Teniendo en cuenta que vivimos en un país con uno de los más altos índices de irradiación solar, en un mundo donde el consumo de la energía eléctrica generada mediante la energía solar ha aumentado de manera sostenida en los últimos años, los costos de inversión han disminuido y la tecnología se ha perfeccionado, este trabajo permite contar con un diseño de un sistema fotovoltaico conectado a la red para el sector industrial que incluye: Estructura, Diseño, Características, Costos y un análisis del retorno de inversión, además de dar una visión del mercado actual en este rubro.

El objetivo principal de este informe es presentar una propuesta para el uso de sistemas fotovoltaicos en los sectores urbanos mediante un diseño de un sistema solar fotovoltaico conectado a la red, tomando como ejemplo práctico una de las más grandes empresas del Sector Industrial.

**Palabras Clave:** Sistemas Fotovoltaicos, Generación Eléctrica Distribuida, Interconexión a la Red.

## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUCCION Y OBJETIVO**

#### **1.1 INTRODUCCIÓN**

En la actualidad existen en el país dos factores críticos con relación al abastecimiento de energía eléctrica, uno es la creciente demanda [1] de esta y otro el aumento de la tarifa eléctrica [2].

Las industrias forman parte del grupo de los principales consumidores de energía eléctrica en el Perú [3], fomentando menor capacidad de oferta para abastecer al sector Comercial y que decir del sector Residencial, además de impulsar mayor cantidad de plantas térmicas de generación eléctrica [4] que solo aumentarán la contaminación ambiental y la disminución de recursos energéticos fósiles que de preferencia deben de utilizarse en fines más productivos para el ser humano, tales como la cocción de alimentos, agua caliente, entre otros.

En la actualidad las industrias han determinado que tienen responsabilidad con la sociedad en temas como contaminación ambiental y eficiencia energética, entre otros, como consecuencia del escenario propio del crecimiento económico, por lo que ahora requieren de una energía eléctrica autogenerada (generada por el mismo usuario final), y sobre todo de procedencia verde o no contaminante.

## Diseño de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red para el Sector Industrial

Entre las opciones de los sistemas de autogeneración, de procedencia no contaminante y de aplicación urbana, la generación solar fotovoltaica conectada a la red representa la más conveniente, comparada con la generación eólica y biomasa, entre otras. Esto debido a que estos sistemas pueden ser instalados en puntos donde no se requiere de grandes obras civiles y pueden ser instaladas en forma modular, dando la posibilidad de implementar por etapas hasta completar el 100% de la demanda.

El presente trabajo busca dar la estructura, características y costos que puede involucrar la implementación de un Sistema Fotovoltaico conectado a la red para el sector Industrial. Específicamente, el diseño a realizar está enfocado a una empresa del ámbito cervecero, por ser este tipo de industrias aquellas que cuentan con oficinas y a la vez instalaciones con consumo eléctrico alto. Para que el trabajo sea lo más cercano a la realidad se va a hacer uso de las características de infraestructura y necesidades de la empresa cervecera, Backus y Johnston S.A.A.

El Grupo Cervecero Backus & Johnston tiene como actividad económica principal, la elaboración, envasado, venta, distribución y toda clase de negociaciones relacionadas con bebidas malteadas y maltas, bebidas no alcohólicas y aguas gaseosas. Tiene como principales accionistas al grupo SABMiller y Bavaria.

Entre las 10 prioridades de Desarrollo Sostenible que la SABMiller ha propuesto para su corporación en el 2010, está la de Impacto Ambiental que establece reducir el consumo de energía y emisiones de carbono. Como principales medidas establecen mejorar la eficiencia energética e invertir en recursos renovables, para esto proponen reemplazar el uso del Petróleo en Vehículos, por GNC (Gas Natural Comprimido) y utilizar la energía solar para algunos procesos.

Para poder alcanzar estas metas en sus instalaciones, Backus requiere contar con un sistema solar fotovoltaico conectado a red el cual es tema del presente trabajo. Este proyecto desarrolla el diseño y el estudio económico de un sistema que podrá satisfacer los requerimientos de energía para una primera etapa de inversión.

## Diseño de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red para el Sector Industrial

En el capítulo 2 se verá la base teórica de las tecnologías que estén relacionadas de una u otra forma con el diseño que se plantea en este trabajo. Se verá la definición de Sistema ON GRID o Conectado a Red y Sistema ON GRID con Respaldo.

Luego, se dará una visión general que permita ubicarse en la situación de la industria, es decir, que equipos de consumo cuenta, que perfil de consumo tiene, que sistema eléctrico cuenta, ubicación geográfica, tipo de establecimiento y otras características que permita dar la idea que se busca brindar en el capítulo 3.

El capítulo 4 se puede considerar como la parte medular del presente trabajo ya que en él se encuentra el planteamiento técnico del sistema. En base a esta información se procederá a realizar el dimensionamiento de los equipos. Con toda la información y planteamientos que se tienen, se procede a brindar las características específicas de todos los equipos necesarios para la implementación del sistema diseñado. El capítulo finaliza con el análisis de la simulación resultante del diseño desarrollado.

Para poder ver la factibilidad de este diseño se realiza en el capítulo 5 el estudio de costos y de rentabilidad. Este análisis nos podrá arrojar respuestas de factibilidad, de costos de inversión y retorno, además de los costos de mantenimiento.

Finalmente, se darán las conclusiones y recomendaciones que se puedan desprender del presente trabajo, esto en el capítulo 6. También se adjunta un Glosario.

### **1.2 OBJETIVO**

El presente proyecto tiene como objetivo el diseño de un sistema solar fotovoltaico conectado a la red, tomando como ejemplo práctico la empresa Backus y Johnston S.A.A. Con este diseño se podrá satisfacer en una primera etapa los requerimientos de energía de dicha empresa del sector industrial.

## **CAPÍTULO 2**

### **CONCEPTOS DE LAS TECNOLOGÍAS APLICABLES**

#### **2.1 SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADA A LA RED.**

##### ***2.1.1 Principio de Funcionamiento.***

Un sistema fotovoltaico conectado a la red para el sector residencial, comercial e industrial es más conocido como grid tied o sistemas que “intercambian” energía con la red. Estos sistemas logran una asociación consumidor – generador, ya que pueden intercambiar energía con la red, es decir, inyectar (vender) energía a la red en los momentos en que su generación es superior a su consumo, y extraer (comprar) energía de la red en caso contrario, tal como se muestra a continuación en la figura 2-1.



## Diseño de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red para el Sector Industrial

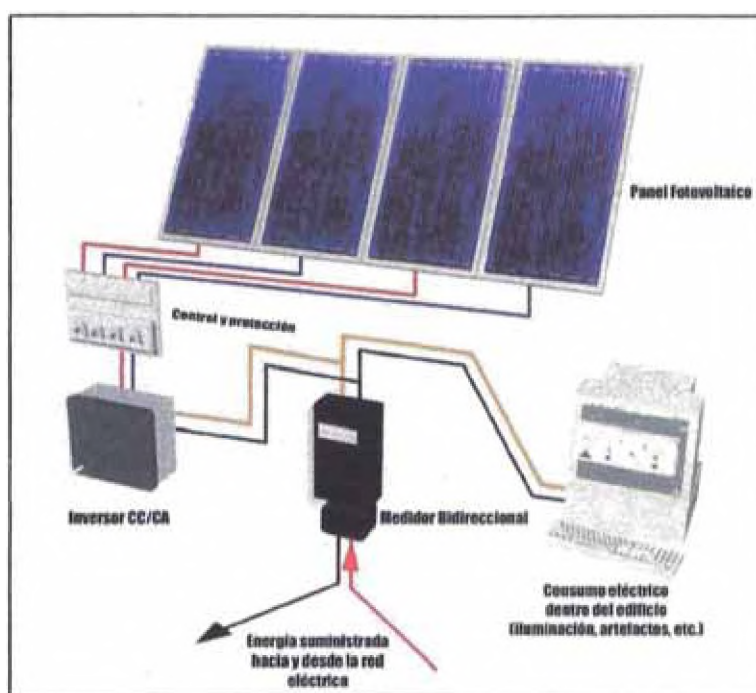


Fig 2-1. Configuración del Sistema Fotovoltaico conectado a Red.

Los principales componentes de un sistema fotovoltaico conectado a la red son: el arreglo fotovoltaico o panel fotovoltaico, que es el elemento encargado de transformar la luz del sol en electricidad; y un elemento acondicionador de la potencia producida (un inversor CC/CA), cuya función es adecuar la energía generada por el arreglo a las características eléctricas de la red para su conexión a ésta, además de la caja de protecciones cuyo fin es de seguridad y mantenimiento.

Un arreglo fotovoltaico está constituido por un determinado número de módulos o unidades fotovoltaicas individuales. El número de unidades depende de la potencia nominal requerida en el arreglo y de la potencia pico de los módulos seleccionados. El voltaje de salida del arreglo, que corresponde al voltaje de operación del inversor, se obtiene mediante la conexión en serie de un número determinado de módulos; y la potencia, a través de la suma de potencias pico ( $W_p$ ) en dichas series. La potencia nominal de los módulos normalmente para estos fines es mayor a 200  $W_p$ , hoy en día algunos fabricantes ofrecen módulos hasta los 400  $W_p$  [5], dado que su tamaño es grande pueden ocasionar problemas potenciales en la logística y costo de reposición. El material más comúnmente usado en la fabricación de los módulos fotovoltaicos es el silicio; la eficiencia

## Diseño de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red para el Sector Industrial

típica de estos módulos en condiciones estándar de irradiancia y temperatura ( $1,000\text{W}/\text{m}^2$ ,  $25\text{ }^\circ\text{C}$ , AM 1.5) se encuentra entre 12 y 15% para silicio monocristalino, entre 11 y 14 %, para silicio policristalino; y entre 5 y 7 % para los de silicio amorfo.

El acondicionamiento de la potencia eléctrica generada por el arreglo fotovoltaico (CC), indispensable para la conexión de éste a la red eléctrica convencional, se realiza mediante un inversor (CC/CA) que convierte la corriente continua producida por el generador fotovoltaico a corriente alterna, en fase y a la frecuencia de la red para una conexión segura y confiable del sistema a ésta. La eficiencia de los inversores es generalmente mayor a 90% cuando éstos operan arriba del 10% de su potencia nominal. Para extraer siempre la máxima potencia disponible en el arreglo fotovoltaico, el inversor incorpora entre sus funciones un elemento de control que sigue permanentemente el punto de máxima potencia del arreglo (MPPT, por sus siglas en inglés) mediante un ajuste continuo de la impedancia de la carga.

En relación con los aspectos de seguridad y de calidad de la energía producida, las compañías distribuidoras del servicio eléctrico a nivel mundial requieren de los fabricantes y usuarios de estos equipos el cumplimiento de normas y disposiciones aplicables (propias de cada país), que garanticen que la instalación y operación del inversor y del sistema fotovoltaico en su conjunto, sea segura y no afecte adversamente la calidad de la energía ni la red de los demás usuarios (por ejemplo contar con transformador de aislación galvánica, entre otros).

Tradicionalmente, es un sólo inversor (de la capacidad adecuada) el que maneja la potencia nominal de todo un arreglo fotovoltaico. Sin embargo, para aumentar la potencia requerida se pueden usar varios inversores conectados en paralelo y cada uno maneja una parte proporcional de la potencia del arreglo. Incluso, en algunos casos, cuando la red es bifásica o trifásica, los inversores pueden acoplarse y comunicarse para satisfacer configuraciones en delta o estrella.

## 2.1.2 Elementos del Sistema

### 2.1.2.1 Panel Fotovoltaico

Es considerado el generador de energía eléctrica en el sistema, está formado por celdas solares encargadas de transformar la energía solar (fotones provenientes del espectro visible, longitud de onda,  $\lambda$ , desde 380nm hasta 750nm) en Energía Eléctrica, en la figura 2-2 se muestra la celda solar y la figura 2-3 el panel fotovoltaico.

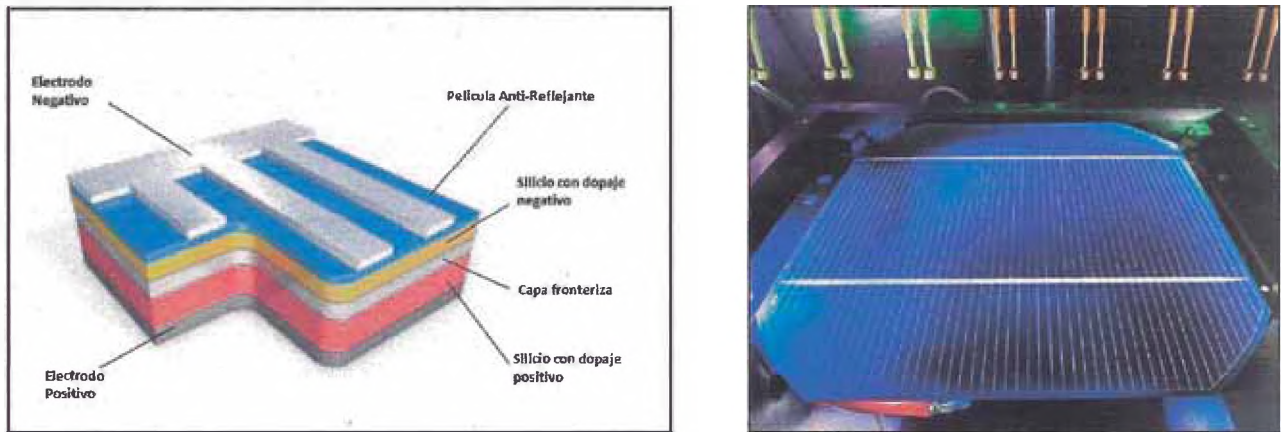


Fig. 2-2. Composición y acabados de la Celda Solar de Silicio.

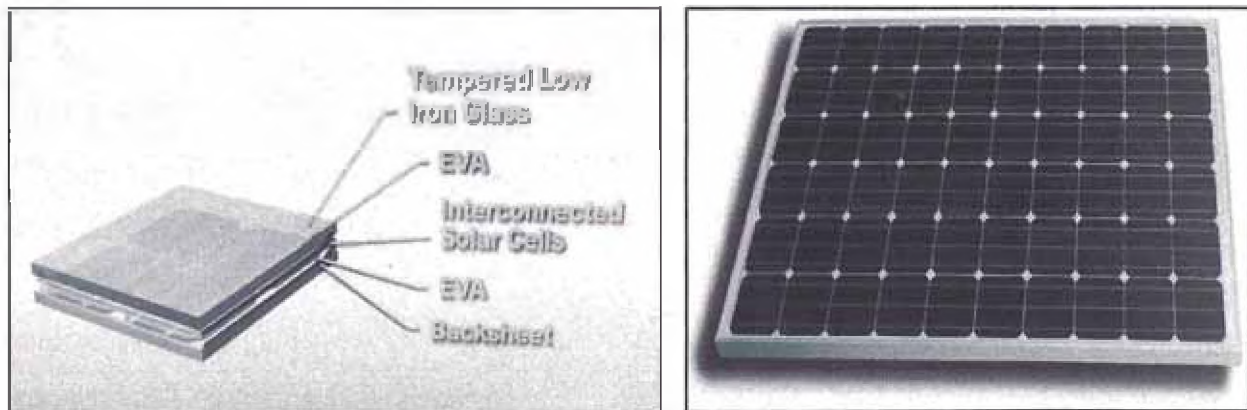


Fig. 2-3. Partes y acabado de un Panel Solar de Silicio.

La primera característica de un panel o módulo fotovoltaico es su potencia pico o potencia nominal, que es la cantidad máxima de potencia que podríamos obtener del panel en condiciones estándar de: radiación, temperatura de celda, incidencia, distribución espectral ( $1000\text{W/m}^2$ ,  $25^\circ\text{C}$ , normal y AM 1.5 respectivamente) [6]. La potencia pico vendrá dada por la eficiencia de las células y por el número de ellas, es decir por el tamaño del módulo.

## Diseño de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red para el Sector Industrial

Un parámetro fundamental de los paneles relacionado con la potencia es el margen de variación en la potencia nominal, e indica que la potencia pico REAL del panel, andará en torno a ese margen. Es importante que este parámetro esté dentro del rango +/- 3%, ya que la dispersión en la potencia nominal de varios paneles (defecto propio de la fabricación y selección de celdas solares para la elaboración del panel solar) produce sensibles pérdidas de potencia, en la actualidad hay marcas que ofrecen Potencias Pico entre 0 a 5% más, lo cual permite asegurarse una buena compra de energía.

Otros parámetros importantes de los paneles son los coeficientes de pérdidas por temperatura, que indican la variación del rendimiento del panel a medida que varía la temperatura de celda, a medida que se eleva produce una baja en la performance de la celda solar.

### *2.1.2.2 Inversor de Conexión a Red*

La energía producida por los módulos fotovoltaicos, por sus características, no se puede inyectar directamente a la red eléctrica. Para que esto sea posible es necesaria la utilización de una unidad de acondicionamiento de potencia, denominada Inversor de Conexión a Red. Este tiene como función, transformar la potencia que le llega a corriente continua a una determinada tensión en corriente alterna monofásica e inyectarla a la red. A la salida de cada inversor se obtiene una tensión entre fase y neutro de 230 Vac. En el mercado ya se encuentran inversores trifásicos, pero al final es el acople de tres inversores monofásicos, la elección depende 100% de la configuración del sistema eléctrico convencional que el usuario tenga ya instalado. En la siguiente figura 2-4 se puede apreciar el inversor de conexión a red.

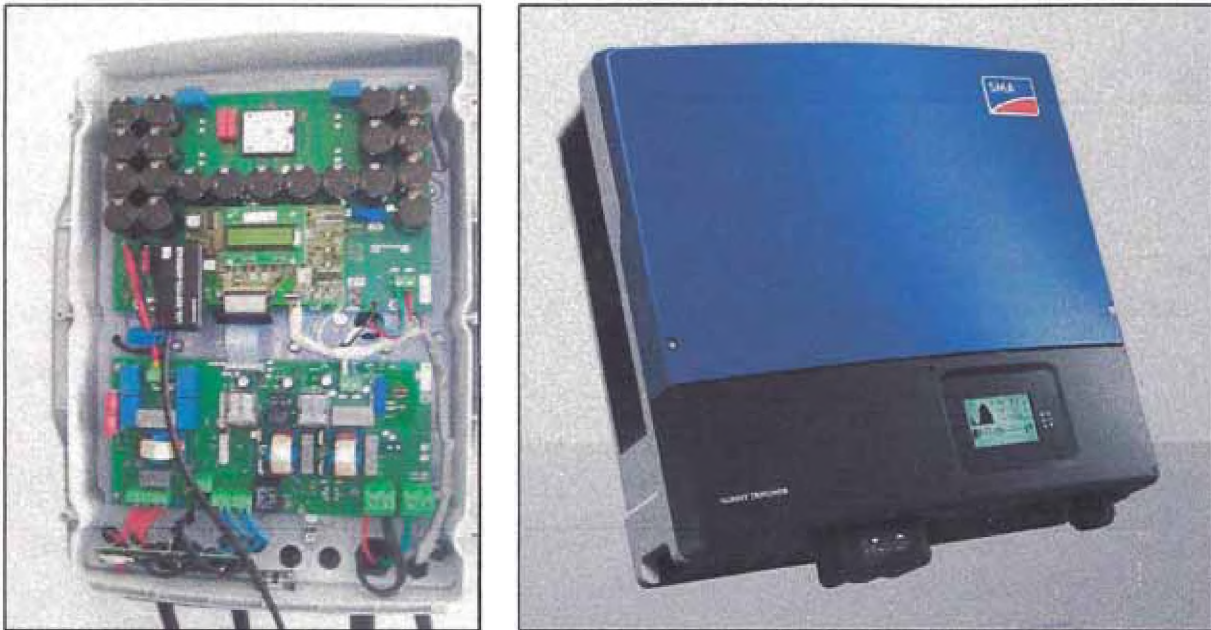


Fig. 2-4. Inversor de Conexión a Red.

### 2.1.2.3 Estructura Metálica

Es la encargada de fijar el campo fotovoltaico al lugar donde se quiera ubicar, ya sea, terreno, tejado, seguidor, etc. El diseño estructural y la elección del material deben contemplar como mínimo aspectos relacionados a las inclemencias meteorológicas, tales como la lluvia, el viento o la nieve, además de la humedad, sales en el ambiente y presencia de polvo entre otros.

A menudo en las instalaciones se tiende a quitar importancia a la estructura sin darse cuenta que este componente debe tener una duración similar a la de los paneles solares, es decir, 25 años como mínimo. Por ello es importante utilizar materiales que soporten la corrosión tales como el acero galvanizado en caliente, acero inoxidable o incluso el aluminio anodizado, tornillería en acero inoxidable, entre otros, además de estar eléctricamente unida a una toma de puesta a tierra que cumpla con las especificaciones del Reglamento de Baja Tensión (propia de cada país) [7].

Además la estructura debe proporcionarnos la flexibilidad necesaria para poder realizar la instalación sobre la superficie que nos resulte más conveniente adaptándose a las circunstancias de cada caso.

### *2.1.2.4 Seguridad y Cableado*

La instalación se completa con protecciones eléctricas y electrónicas tales como: interruptores termomagnéticos, descargadores de sobretensión (varistores, diodos supresores, etc.), además del cableado, toma de puesta a tierra y contadores. Se instala un tablero eléctrico en el cual van ubicadas las protecciones e interruptores necesarios y el contador de energía. La instalación debe disponer de su propia toma de puesta a tierra para proteger a los operarios y equipos electrónicos del sistema ante cargas eléctricas estáticas.

Un cableado adecuado debe limitar las caídas de tensión y aislar eléctricamente a los paneles solares y contactos del exterior, para evitar la posibilidad de contactos fortuitos que pueden ser peligrosos con voltajes elevados, además de tener una sección transversal tal que asegure que la caída de tensión en el conjunto del generador fotovoltaico y el inversor no supere el 1% de la tensión nominal, en cualquier condición de operación [8].

### *2.1.3 Energía Entregada a la Red.*

Desde la energía solar incidente en los paneles solares hasta la energía eléctrica inyectada a la red, se producen varias pérdidas en el camino por diferentes factores, siendo los más representativos:

- Pérdidas por baja irradiancia efectiva.
- Pérdidas por temperatura.
- Pérdidas de calidad en el módulo.
- Pérdidas por la tolerancia de la potencia pico.
- Caídas de tensión en el cableado
- Eficiencia del inversor
- Pérdidas en el inversor por niveles altos o bajos de tensión.

Todos estos factores, dependen unos de otros, y los métodos de cálculo para determinarlos han ido evolucionando en el tiempo. Sin embargo es necesario saber la energía que se va a generar, sobre todo cuando se va a realizar una fuerte inversión de capital. Dado que este trabajo no pretende implantar un método de cálculo sino de presentar una propuesta de

## Diseño de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red para el Sector Industrial

Diseño, y viendo que existen para ello paquetes de software avanzados que simulan dinámicamente los sistemas fotovoltaicos, por ejemplo entre los más usados tenemos el NSol V4.6, PVsyst V5 y SMA Sunny Design 2.10, estos realizan el cálculo de la energía eléctrica inyectada a la red desde el sistemas fotovoltaicos, junto con los datos de radiación y de los equipos utilizados.

Para nuestro caso en el Capítulo 4, los cálculos de dicha energía serán realizados en base al programa NSol V4.6, el cual tiene como base de datos de radiación, la del “University of Massachusetts Lowell” [9]. Este programa calcula lo siguiente:

1. **Índice de Claridad (Clearness)**: Se calcula dividiendo la Radiación en un plano Horizontal insitu sobre la Radiación Extraterrestre calculada para esa coordenada.
2. **Factor de Inclinación (Tilt Factor)**: Se calcula dividiendo la Radiación en un plano con inclinación de  $\Theta^\circ$  sobre la Radiación en un plano Horizontal insitu.
3. **Energía diaria producida por el panel solar (Module Output) Wh**: El programa Nsol toma en cuenta la siguiente consideración: Perdidas por temperatura de celda, afectando el voltaje y la corriente del panel solar. Para esto se consideran los coeficientes de temperaturas de voltaje y corriente que todo fabricante coloca en su ficha técnica.
4. **Energía promedio mensual por Arreglo de Paneles (Array Output) Wh**: Esta Energía es la que recibe el Inversor conectado a la red desde el Arreglo de Paneles y depende de tres factores: Energía producida por cada panel solar, la cantidad de días del mes y las perdidas por suciedad, cableado, tolerancia de potencia pico.
5. **Energía Inyectada a la Red promedio mensual (System Output) Wh**: Energía que el inversor entrega a la red, depende únicamente de la eficiencia del mismo.

## 2.2 SISTEMA DE RESPALDO

### 2.2.1 Principio de Funcionamiento

El sistema fotovoltaico conectado a la red, para este trabajo inyecta energía eléctrica a la red interna del usuario, este sistema puede funcionar correctamente hasta que se produce una desconexión de la red convencional, la cual puede ocurrir por mantenimiento de la misma, por algún exceso de demanda en los consumidores vecinos o puede ser que la compañía eléctrica empiece a racionalizar los horarios de consumo. Para poder tener operativas las cargas críticas (aquellas que el usuario considere deban seguir funcionando, usualmente están relacionadas a comunicaciones, computación, sistemas de seguridad, sistemas de control en planta, entre otros) se requiere contar con un sistema de respaldo.

Para esto se necesita de: un inversor/cargador, un banco de baterías y un Switch Transfer o Tablero de Transferencia Automática, capaz de poder hacer el cambio inmediato entre el inversor de conexión a red y el sistema de respaldo. La figura 2-5 muestra la distribución de las partes de un sistema fotovoltaico conectado a la red con respaldo.

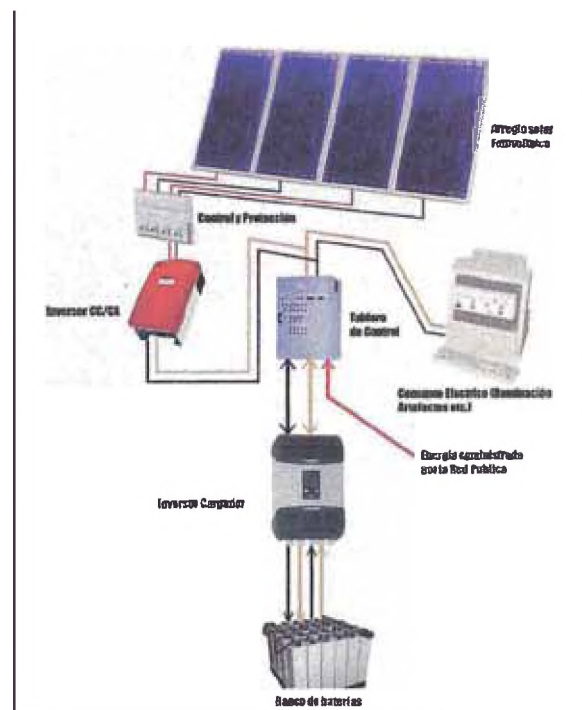


Figura 2-5. Configuración del Sistema Fotovoltaico conectado a Red con Respaldo



## Diseño de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red para el Sector Industrial

Dado que en el Perú todavía no está dada la legislación que permite inyectar el excedente de la energía eléctrica autogenerada por el usuario final a la Red externa, y ser contabilizada en los próximos meses de su facturación como un crédito eléctrico, se establece que en caso de generar más de lo que se consume en potencia, el banco de baterías se cargará, y podrá brindar esa energía cuando los paneles ya no generen, de esta forma el usuario final dispondrá de toda la energía que se adquirió durante el día.

### 2.2.2 Elementos del Sistema

#### 2.2.2.1 Inversor/Cargador

Este componente cumple la función de cargador del banco de baterías de respaldo, al transformar la energía eléctrica excedente de AC a DC, que produce el Sistema Fotovoltaico conectado a la red. Además, cumple la función de entregar energía eléctrica en AC a las cargas críticas cuando ocurre un corte de energía en la red convencional. En la figura 2-6 se muestran inversores/cargadores.



Figura 2-6. Inversor/Cargador para sistemas conectados a red con respaldo.

## Diseño de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red para el Sector Industrial

### 2.2.2.2 Banco de Baterías de Respaldo

El banco de baterías es el elemento dentro del Sistema de Respaldo que almacena la energía eléctrica en exceso que genera el Sistema Fotovoltaico conectado a la Red, este por lo general debería estar conformado por celdas tubulares de 2 Vdc mediante una configuración en serie que permita tener voltajes de magnitud 12 Vdc, 24 Vdc o 48 Vdc, existen de dos tipos, una es la OPzV que son cerradas y el OPzS que son de tipo abiertas.

El banco de baterías entregará la energía eléctrica a las cargas críticas cuando se haya desconectado la red convencional, y entregará a la red interna en su totalidad cuando los paneles dejen de generar, hasta un estado de carga restante establecido por el diseño del sistema, en la programación del inversor/cargador. En la figura 2-7 se muestra la celda tipo vaso OPzV.



Figura 2-7. Celdas de 2Vdc tipo OPzV.

### 2.2.2.3 Tablero de Transferencia Automática

Cuando se requiera realizar el cambio de fuente de energía, quiere decir, de sistema conectado a la red al sistema de respaldo, es de vital importancia contar con un tablero de transferencia automática, cuya composición es básicamente una serie de relés de

## Diseño de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red para el Sector Industrial

estado sólido, contactores electromagnéticos para corriente alterna y llaves termo magnéticas, pero además un analizador de redes a la frecuencia que trabaja el sistema. En la figura 2-8 se muestra la ubicación de este equipo dentro del sistema total y en la figura 2-9 se muestra un tablero de transferencia automática.

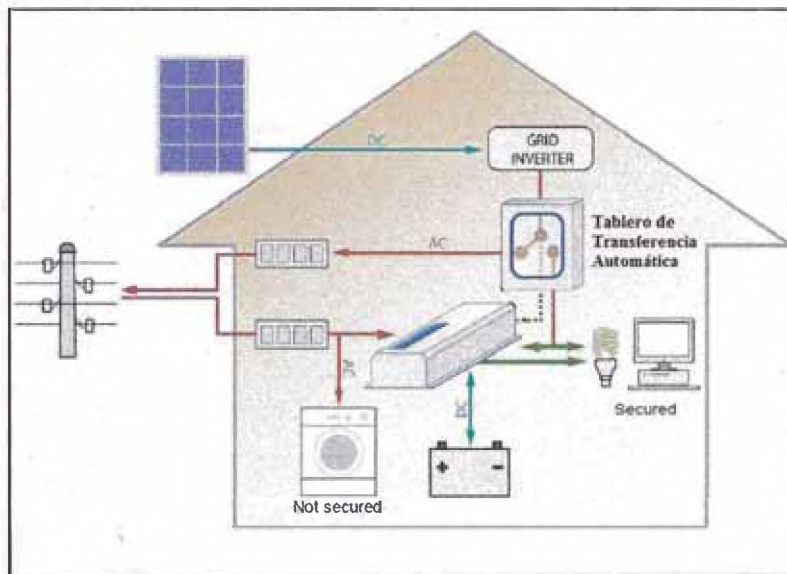


Figura 2-8. Tablero de Transferencia Automática dentro de un Sistema Fotovoltaico conectado a la Red con Respaldo.



Figura 2-9. Tablero de Transferencia Automática con los accesorios en su interior.

## **CAPÍTULO 3**

### **SISTEMA PROPUESTO**

#### **3.1 SITUACIÓN GEOGRÁFICA**

##### *3.1.1 Ubicación y Descripción*

El lugar donde se va a realizar el diseño del sistema fotovoltaico conectado a red corresponde al Centro de Distribución Backus – Cañete, el cual se encuentra ubicado en el kilómetro 141.5 de la Panamericana Sur, en la provincia de Cañete, departamento de Lima. Sus coordenadas geográficas aproximadas son:

- 13° 04'      Latitud Sur
- 76° 23'      Longitud Oeste

## Diseño de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red para el Sector Industrial

El acceso a este establecimiento se realiza mediante la carretera Panamericana Sur. El área ocupada es de 8,500 m<sup>2</sup> y la construcción ha culminado a mediados del año 2010, este lugar se convierte en un centro de distribución de cerveza a toda la provincia de Cañete. En las figuras 3-1 y 3-2 se muestran la respectiva ubicación en tomas satelitales.



Figura 3-1. Ubicación del Centro de Distribución Backus Cañete en referencia a la ciudad de Cañete.



Figura 3-2. Acercamiento del Centro de Distribución a orillas de la Panamericana Sur.

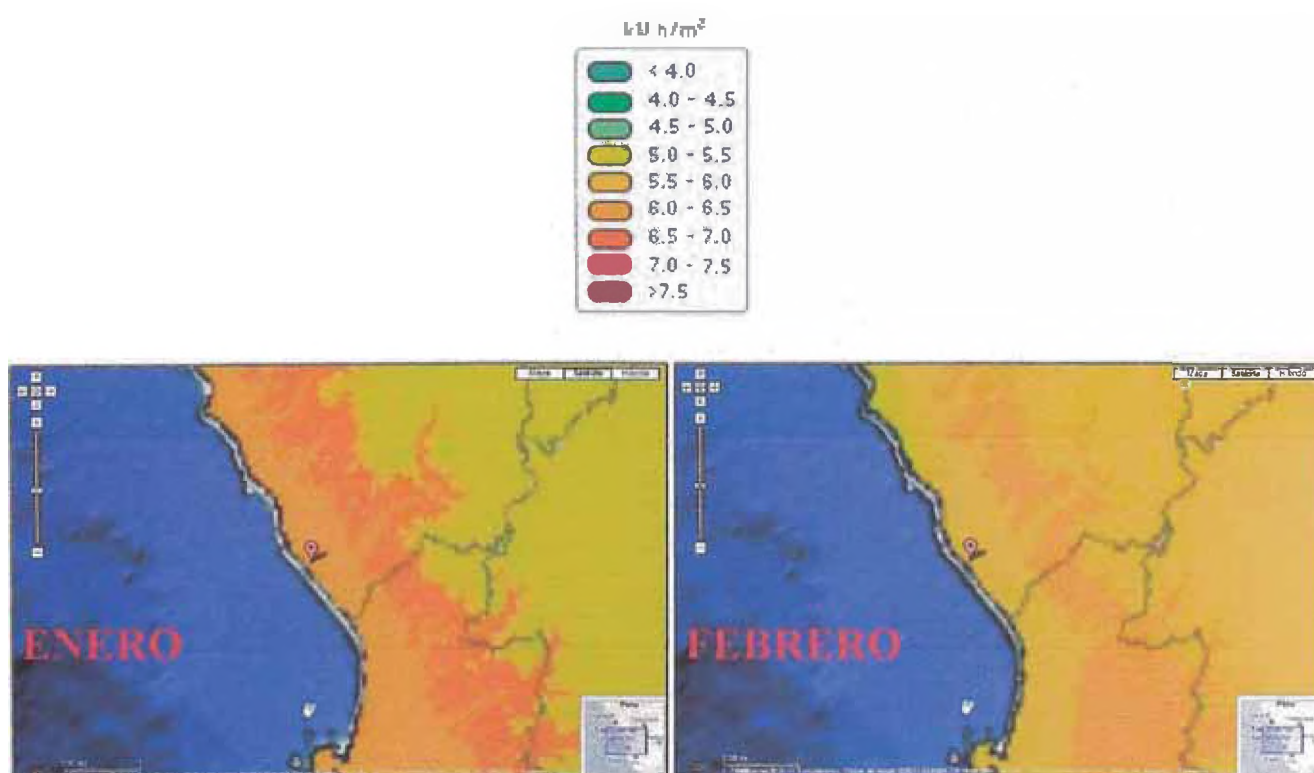
## Diseño de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red para el Sector Industrial

A los alrededores del Centro de Distribución no existe edificación que le pueda generar sombras, a los laterales solo hay extensiones de terreno, en algunos casos de sembrío, en otros arenosos.

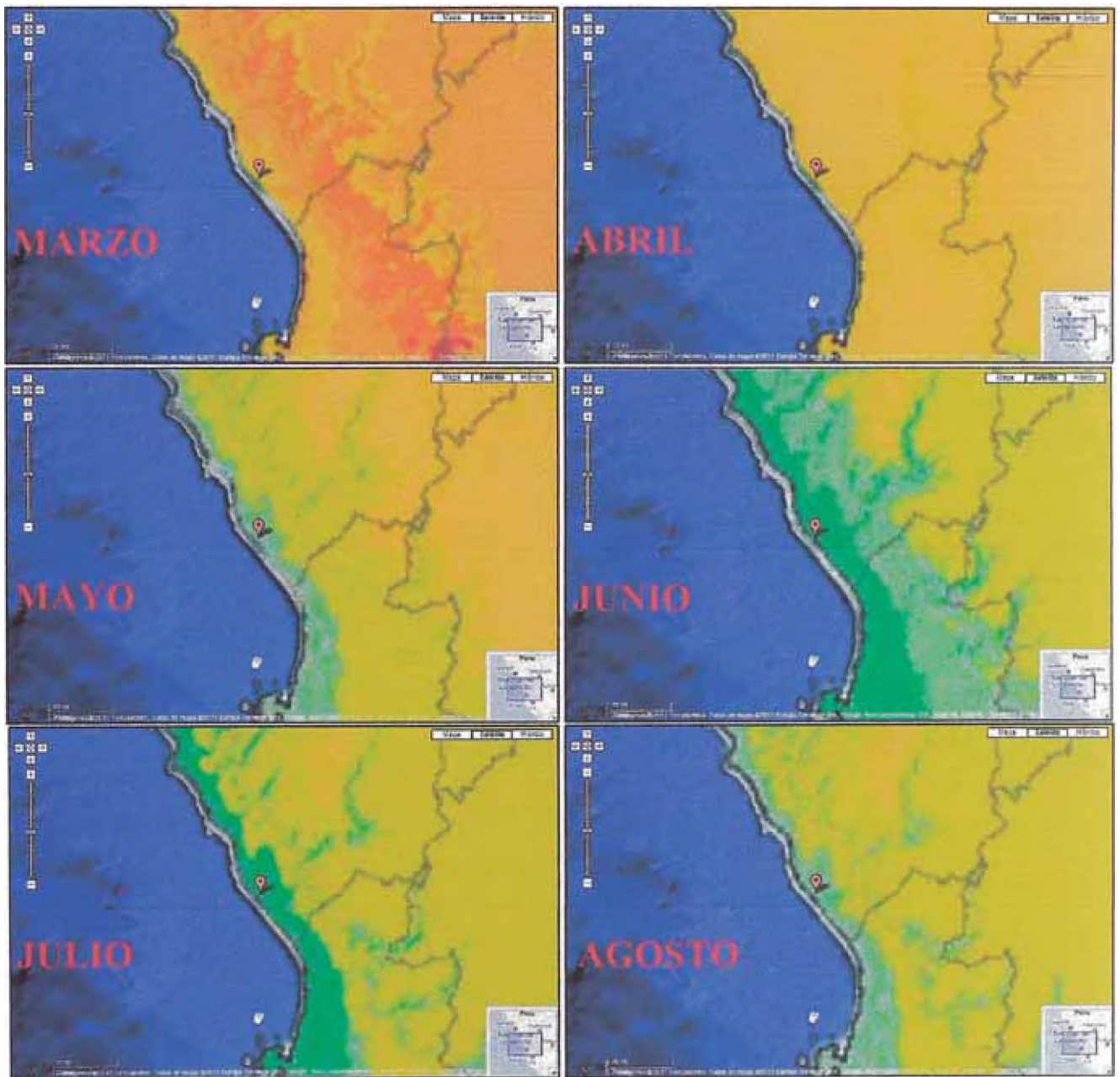
### 3.1.2 Potencial de Radiación Solar

La radiación solar en San Vicente de Cañete se caracteriza por tener diferencias extremas entre los meses de verano e invierno, la cercanía con el mar genera todavía climas nublados en los meses de Mayo a Agosto. El potencial de radiación solar se reduce en la cantidad de kWh/m<sup>2</sup>.día promedio, este dato nos interesa tenerlo cuantificado durante los diferentes meses del año.

Para este estudio mostraremos el Potencial de Radiación Solar desde 2 fuentes consultadas por muchos de manera frecuente, una es el “Atlas de Energía Solar del Perú” que publica la Dirección de Electrificación Rural – DGER, departamento del Ministerio de Energía y Minas, en año 2003, documento que muestra datos de manera cualitativa, y de la Base de Datos de Radiación de la “University of Massachusetts Lowell” quienes muestran datos cuantitativos. En la siguiente figura 3-3 podemos observar la variación de la radiación en Cañete durante los meses del año.



## Diseño de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red para el Sector Industrial



## Diseño de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red para el Sector Industrial

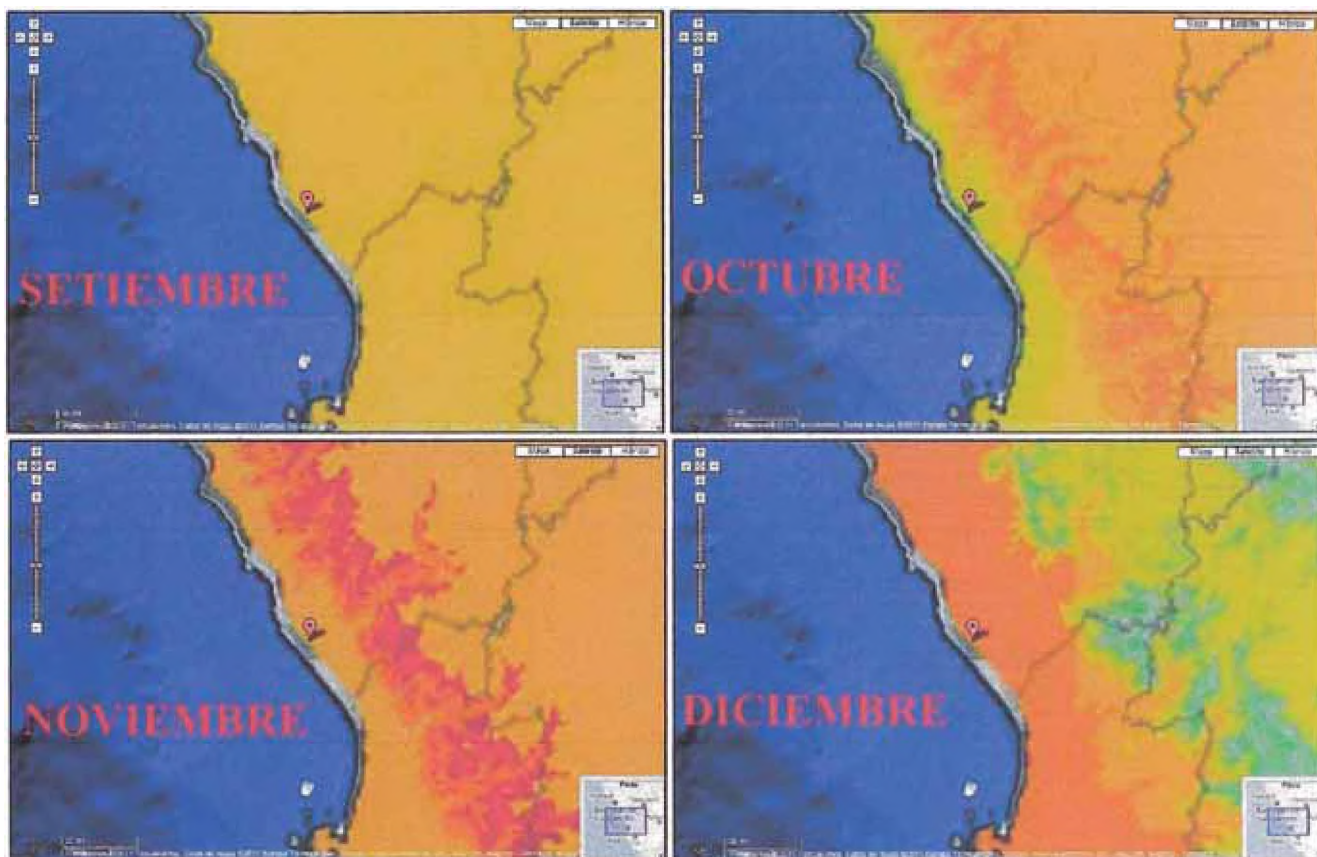


Figura 3-3. Potencial de Radiación Solar para Cañete para todos los meses.

En la siguiente tabla 3-1 se colocan los valores promedio de energía solar por mes en Cañete, dados por la U Lowell.

DATABASE INSOLATION SOLAR PERU	
SITE	Cañete
DEPARTAMENTO	Lima
LATITUD	-13.1
LONGITUD	-76.3
MES	INSOLATION SOLAR (kWh/m <sup>2</sup> )
ENERO	5.19
FEBRERO	5.19
MARZO	5.14
ABRIL	4.97
MAYO	3.92
JUNIO	2.97
JULIO	2.92
AGOSTO	3.17
SETIEMBRE	3.56
OCTUBRE	4.25
NOVIEMBRE	4.75
DICIEMBRE	5.22
PROMEDIO	4.27

Tabla 3-1. Datos de Radiación Solar en kWh/m<sup>2</sup>. día. Promedio mensual.



### 3.2 ESTUDIO DE CARGAS

El Centro de Distribución de Backus – Cañete, sede en la cual se sitúa esta propuesta, se caracteriza por tener cargas de baja y alta potencia. El estudio de cargas que hace una consultora eléctrica para todo el local contiene los siguientes puntos:

- Análisis de Consumo de Potencia por Horas.
- Proyección de Máxima Demanda.
- Dimensionamiento de Conductores.
- Diseño de Tableros.
- Sistema de Puesta a Tierra.
- Diseño de Iluminación y Tomacorrientes.
- Dimensionamiento del Grupo Electrónico.
- Dimensionamiento del Aire Acondicionado.
- Diagrama unifilar del Sistema Eléctrico.

A esta propuesta le interesan los dos primeros ítems de esta lista que son: Análisis de Consumo de Potencia por Horas y la proyección de Máxima Demanda, además de describir el tipo de instalación que existe en este establecimiento. El dimensionado de conductores que se muestra en el tercer ítem corresponde a todo el cableado interno del Centro de Distribución y no del sistema fotovoltaico.

En la siguiente tabla 3-2 observaremos el cálculo de la Máxima Demanda a contratar, según el Código Nacional de Electricidad 2006 [10].

## Diseño de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red para el Sector Industrial

<b>CUADRO DE CARGAS</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	CARGA UNITARIA (W)	SUB TOTAL (W)	FACTOR DE DEMANDA	MAXIMA DEMANDA (W)
Computadoras	18	110.00	1980.00	1	1980.00
Lap tops	2	90.00	180.00	1	180.00
Impresoras	4	480.00	1920.00	0.8	1536.00
Rack de comunicaciones	2	500.00	1000.00	1	1000.00
Router	1	50.00	50.00	1	50.00
Switch	2	50.00	100.00	1	100.00
Rectificadores de radio enlace	1	1500.00	1500.00	1	1500.00
Alarma	2	20.00	40.00	1	40.00
Florescente de 2x36w	65	72.00	4680.00	0.8	3744.00
Florescente de 3x18w	18	54.00	972.00	0.8	777.60
Ahorraadores tipo S 1x20w	8	20.00	160.00	0.8	128.00
Lámparas tipo P 1x18w	6	18.00	108.00	0.8	86.40
Lámparas leds 150w	3	150.00	450.00	0.8	360.00
Lámparas leds 100w	27	100.00	2700.00	0.8	2160.00
Lámparas leds 56w	11	56.00	616.00	0.8	492.80
Lámparas leds 28w	6	28.00	168.00	0.8	134.40
HH Computadoras	41	15.00	615.00	1	615.00
Bomba de desagüe 1.2HP	2	895.00	1790.00	0.6	1074.00
Bomba de agua 6HP	3	4476.00	13428.00	0.7	9399.60
Bomba de desagüe 1HP	1	746.00	746.00	0.6	447.60
Central de alarma contra incendio	1	50.00	50.00	1	50.00
Cerco eléctrico	1	50.00	50.00	1	50.00
Aire acondicionado	3	3200.00	9600.00	0.7	6720.00
<b>MAXIMA DEMANDA TOTAL (W)</b>					<b>32625.40</b>
<b>DEMANDA PROYECTADA = 1.25xD.M.</b>					
<b>DEMANDA MÁXIMA A CONTRATAR = 40KW</b>					

Tabla 3-2. Cálculo de la Máxima demanda a Contratar.

La demanda máxima a contratar a la red convencional es de 40 kW, trifásico 230 Vac, y configuración de fases de tipo delta ( $\Delta$ ).

Dados los consumos, podemos hacer un análisis del Consumo de Potencia por horas en un día representativo, esto con la finalidad de observar la exigencia de la demanda en el transcurso de un día y así poder más adelante en el presente estudio, dimensionar el sistema fotovoltaico conectado a la red con respaldo. La siguiente figura 3-4 nos muestra el análisis de la potencia por horas en el Centro de Distribución de Backus Cañete.

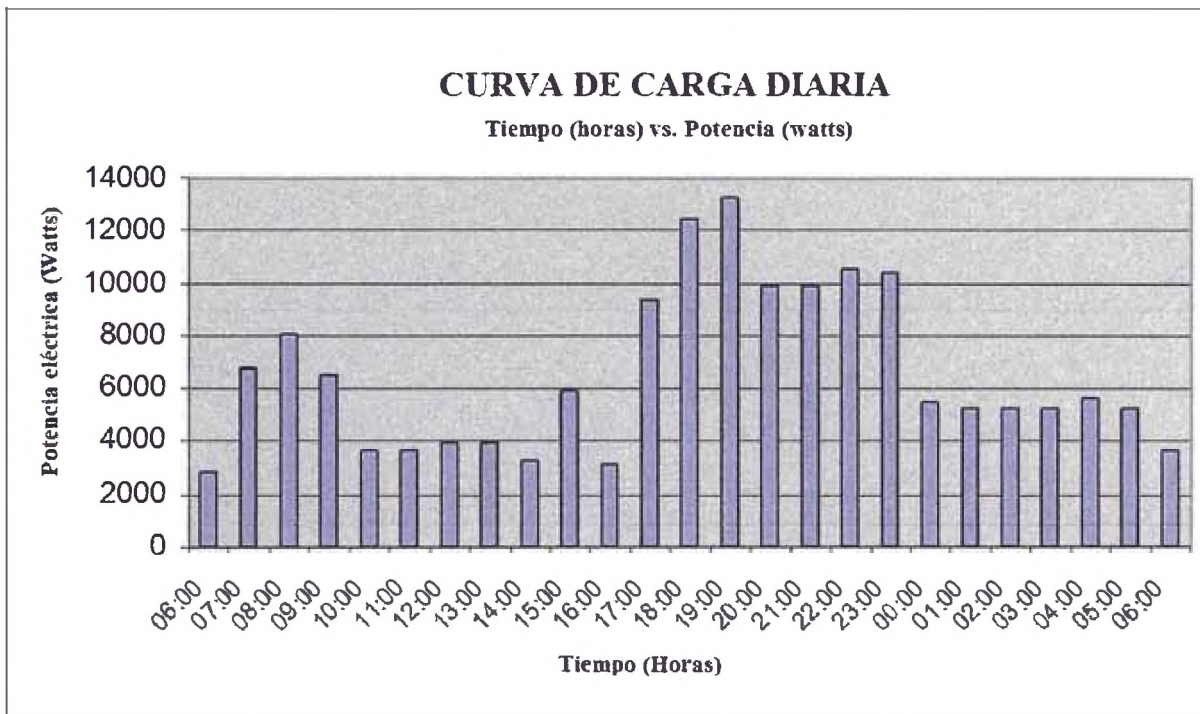


Figura 3-4. Curva de Carga Diaria. (Tiempo vs. Potencia).

## **CAPÍTULO 4**

# **DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED CON RESPALDO**

### **4.1 PLANTEAMIENTO TÉCNICO DEL SISTEMA**

#### *4.1.1 Dimensionamiento del Sistema*

En el estudio de cargas del capítulo 3, se puede observar en el análisis de potencia por hora, los parámetros de demanda eléctrica para el dimensionado del Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red con Respaldo. Por lo general, para dimensionar un sistema fotovoltaico conectado a la red donde se permite el “net metering” [11] (proceso por el cual se mide la energía eléctrica consumida y generada), solo se requiere el consumo diario de energía eléctrica que puede verse en un recibo de luz mensual, para el caso de la propuesta que se presenta, dado que no hay “net metering”, se deberá tomar la información del numeral 3.2.

Para dimensionar el sistema fotovoltaico apropiado a este caso, es importante saber el potencial de radiación solar, la demanda de energía a cubrir además de las características técnicas de los equipos comerciales que disponemos en el mercado.

Por otro lado la empresa debe precisar si desea una solución al 100% o aprovechando que estos sistemas son acoplables se desea una solución por etapas, así que podemos comenzar planteando un inicio del 33,3% o un proceso de 3 etapas.

## Diseño de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red para el Sector Industrial

Para el presente análisis utilizaremos un kit fotovoltaico de 5 kW de potencia (pudiendo utilizar de 3 kW, 6 kW, entre otros, dependerá del que diseña el sistema), que nos permitirá utilizarlo como unidad de generación mínima, así podremos saber cuántos kits alcanzarán el 100% del requerimiento. En la figura 4-1 tenemos la composición del kit fotovoltaico.

<b>SFU-5000</b>			
<b>Arreglo Solar</b>		<b>Unidad de Potencia</b>	
<b>Modelo</b>	STP200-18/Ub	<b>Modelo</b>	SMC 5000
<b>Potencia (Wp)</b>	200	<b>Cantidad (unidades)</b>	1
<b>Cantidad (unidades)</b>	25	<b>Potencia Nominal (W)</b>	5000
<b>Potencia total</b>	5000.00 Wp	<b>Potencia Max. Salida</b>	5500.00 Wp
<b>Accesorios de Instalación</b>			
<b>Estructura de Montaje</b>	Fierro Galvanizado	<b>Gabinete de Control</b>	Metálico
<b>Accesorios Varios</b>	Kit de Cables y accesorios de conexión.		

Figura 4-1. Especificaciones técnicas del Kit fotovoltaico 5kW.

Con los datos de la figura 4-1, la radiación solar de cañete en la Tabla 3-1, el cálculo de radiación solar por hora de un día promedio al mes del software Nsol, una inclinación de 15° Norte y Azimuth 0°, El SFU-5000 nos entrega por hora/día de cada mes la cantidad de energía eléctrica que en la Tabla 4-1 se muestra.

<b>Hora</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>
6	0.06 kWh	0.06 kWh	0.00 kWh	0.00 kWh	0.00 kWh	0.00 kWh
7	0.52 kWh	0.50 kWh	0.47 kWh	0.44 kWh	0.31 kWh	0.21 kWh
8	1.08 kWh	1.10 kWh	1.10 kWh	1.09 kWh	0.87 kWh	0.64 kWh
9	1.67 kWh	1.71 kWh	1.76 kWh	1.79 kWh	1.45 kWh	1.10 kWh
10	2.18 kWh	2.26 kWh	2.35 kWh	2.40 kWh	1.98 kWh	1.51 kWh
11	2.55 kWh	2.64 kWh	2.76 kWh	2.84 kWh	2.35 kWh	1.80 kWh
12	2.70 kWh	2.80 kWh	2.94 kWh	3.03 kWh	2.51 kWh	1.93 kWh
13	2.61 kWh	2.71 kWh	2.83 kWh	2.92 kWh	2.41 kWh	1.85 kWh
14	2.29 kWh	2.37 kWh	2.47 kWh	2.54 kWh	2.09 kWh	1.60 kWh
15	1.81 kWh	1.86 kWh	1.92 kWh	1.95 kWh	1.59 kWh	1.21 kWh
16	1.23 kWh	1.25 kWh	1.27 kWh	1.27 kWh	1.01 kWh	0.75 kWh
17	0.65 kWh	0.64 kWh	0.62 kWh	0.59 kWh	0.44 kWh	0.31 kWh
18	0.15 kWh	0.12 kWh	0.08 kWh	0.00 kWh	0.00 kWh	0.00 kWh
<b>TOTAL DIARIO</b>	<b>19.50 kWh</b>	<b>20.03 kWh</b>	<b>20.58 kWh</b>	<b>20.85 kWh</b>	<b>17.01 kWh</b>	<b>12.89 kWh</b>

## Diseño de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red para el Sector Industrial

<b>Hora</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Setiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>
6	0.00 kWh	0.00 kWh	0.00 kWh	0.06 kWh	0.06 kWh	0.07 kWh
7	0.20 kWh	0.25 kWh	0.31 kWh	0.41 kWh	0.47 kWh	0.52 kWh
8	0.62 kWh	0.68 kWh	0.76 kWh	0.91 kWh	1.00 kWh	1.09 kWh
9	1.07 kWh	1.13 kWh	1.23 kWh	1.43 kWh	1.55 kWh	1.67 kWh
10	1.47 kWh	1.54 kWh	1.66 kWh	1.89 kWh	2.03 kWh	2.18 kWh
11	1.75 kWh	1.83 kWh	1.95 kWh	2.22 kWh	2.37 kWh	2.54 kWh
12	1.87 kWh	1.95 kWh	2.08 kWh	2.35 kWh	2.51 kWh	2.69 kWh
13	1.80 kWh	1.88 kWh	2.00 kWh	2.27 kWh	2.43 kWh	2.60 kWh
14	1.55 kWh	1.63 kWh	1.74 kWh	1.99 kWh	2.13 kWh	2.29 kWh
15	1.17 kWh	1.24 kWh	1.35 kWh	1.55 kWh	1.68 kWh	1.80 kWh
16	0.73 kWh	0.79 kWh	0.88 kWh	1.04 kWh	1.14 kWh	1.23 kWh
17	0.30 kWh	0.35 kWh	0.42 kWh	0.53 kWh	0.60 kWh	0.66 kWh
18	0.00 kWh	0.00 kWh	0.06 kWh	0.08 kWh	0.13 kWh	0.15 kWh
<b>TOTAL DIARIO</b>	<b>12.54 kWh</b>	<b>13.26 kWh</b>	<b>14.45 kWh</b>	<b>16.73 kWh</b>	<b>18.11 kWh</b>	<b>19.48 kWh</b>

Tabla 4-1. Energía Eléctrica Generada por hora por el SFU-5000 en la provincia de Cañete.

Vemos que un día del mes de julio genera el 60% de energía eléctrica respecto de un día promedio del mes de Abril, por lo que dimensionar respecto del peor mes tendrá un serio impacto en los meses de mayor radiación solar, dado que no es un sistema fotovoltaico aislado o remoto, utilizaremos el promedio y la red eléctrica convencional tendrá que dar más energía en los meses de mitad de año.

El objetivo es que la energía eléctrica generada por el Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red contribuya con la potencia total requerida por la demanda y el excedente, acumulado en el Sistema de Respaldo, pueda cubrir la demanda cuando los paneles ya no generen. De la Tabla 4-1 vemos que en promedio al año, los paneles dejarían de generar todos los días al culminar las 18 horas, entonces de la figura 3-4 se calcula que el exceso diario que deberá generar del Sistema Fotovoltaico será de 88.30 kWh para cumplir con el 100% del requerimiento.

De acuerdo a la Tabla 4-1 y la figura 3-4, los excesos diurnos generados por un kit SFU-5000 para la demanda del Centro de Distribución son cero, quiere decir que toda la energía generada es 100% consumida. Para llegar a un exceso promedio mensual de 88.30 kWh se requieren de 8 unidades SFU-5000, en pocas palabras 40 kWp de potencia pico. La siguiente tabla 4-2 nos muestra los excesos calculados con un sistema trifásico de 40 kWp.

## Diseño de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red para el Sector Industrial

Hora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
6	2.50 kWh	2.53 kWh	3.00 kWh	3.00 kWh	3.00 kWh	3.00 kWh
7	2.66 kWh	2.79 kWh	3.02 kWh	3.30 kWh	4.28 kWh	5.14 kWh
8	-0.68 kWh	-0.77 kWh	-0.82 kWh	-0.75 kWh	1.08 kWh	2.91 kWh
9	-6.85 kWh	-7.20 kWh	-7.60 kWh	-7.79 kWh	-5.11 kWh	-2.26 kWh
10	-13.98 kWh	-14.57 kWh	-15.29 kWh	-15.74 kWh	-12.31 kWh	-8.57 kWh
11	-16.88 kWh	-17.66 kWh	-18.61 kWh	-19.26 kWh	-15.31 kWh	-10.93 kWh
12	-17.58 kWh	-18.43 kWh	-19.48 kWh	-20.21 kWh	-16.05 kWh	-11.41 kWh
13	-16.86 kWh	-17.66 kWh	-18.65 kWh	-19.33 kWh	-15.30 kWh	-10.82 kWh
14	-15.04 kWh	-15.69 kWh	-16.47 kWh	-16.98 kWh	-13.40 kWh	-9.47 kWh
15	-8.46 kWh	-8.88 kWh	-9.36 kWh	-9.61 kWh	-6.73 kWh	-3.65 kWh
16	-6.86 kWh	-7.01 kWh	-7.15 kWh	-7.14 kWh	-5.10 kWh	-3.01 kWh
17	4.08 kWh	4.16 kWh	4.32 kWh	4.56 kWh	5.74 kWh	6.84 kWh
18	11.13 kWh	11.37 kWh	11.66 kWh	12.30 kWh	12.30 kWh	12.30 kWh
<b>Exedente diario</b>	<b>-103.19 kWh</b>	<b>-107.85 kWh</b>	<b>-113.44 kWh</b>	<b>-116.80 kWh</b>	<b>-89.31 kWh</b>	<b>-60.12 kWh</b>

Hora	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
6	3.00 kWh	3.00 kWh	3.00 kWh	2.54 kWh	2.53 kWh	2.43 kWh
7	5.16 kWh	4.83 kWh	4.30 kWh	3.55 kWh	3.01 kWh	2.62 kWh
8	3.02 kWh	2.59 kWh	1.91 kWh	0.74 kWh	-0.02 kWh	-0.69 kWh
9	-2.03 kWh	-2.55 kWh	-3.37 kWh	-4.93 kWh	-5.89 kWh	-6.83 kWh
10	-8.23 kWh	-8.82 kWh	-9.74 kWh	-11.63 kWh	-12.75 kWh	-13.93 kWh
11	-10.52 kWh	-11.14 kWh	-12.14 kWh	-14.25 kWh	-15.47 kWh	-16.81 kWh
12	-10.97 kWh	-11.60 kWh	-12.62 kWh	-14.83 kWh	-16.09 kWh	-17.49 kWh
13	-10.40 kWh	-11.02 kWh	-12.03 kWh	-14.18 kWh	-15.42 kWh	-16.78 kWh
14	-9.11 kWh	-9.71 kWh	-10.65 kWh	-12.61 kWh	-13.76 kWh	-14.98 kWh
15	-3.39 kWh	-3.92 kWh	-4.77 kWh	-6.42 kWh	-7.43 kWh	-8.44 kWh
16	-2.87 kWh	-3.32 kWh	-4.04 kWh	-5.31 kWh	-6.12 kWh	-6.87 kWh
17	6.87 kWh	6.52 kWh	5.95 kWh	5.09 kWh	4.50 kWh	4.04 kWh
18	12.30 kWh	12.30 kWh	11.80 kWh	11.62 kWh	11.26 kWh	11.07 kWh
<b>Exedente diario</b>	<b>-57.52 kWh</b>	<b>-62.08 kWh</b>	<b>-69.36 kWh</b>	<b>-84.15 kWh</b>	<b>-92.96 kWh</b>	<b>-102.82 kWh</b>

Tabla 4-2. Excesos diarios para un sistema de 40 kWp en la Provincia de Cañete.

## Diseño de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red para el Sector Industrial

En la Tabla 4-2, los valores negativos representan las horas en que el sistema fotovoltaico genera más energía eléctrica que la que consume la red, los valores positivos representan las horas en que el sistema fotovoltaico genera menos energía que la que consume la red. Vemos que con el sistema fotovoltaico de 40 kWp, todos los días se tiene un excedente de energía acumulado, hay meses que el excedente diario es menor que 88.30 kWh por lo que la red tendrá que apoyar con la generación de electricidad. De acuerdo al planteamiento descrito previamente, en esta etapa tenemos que aportar el 33,3% de la solución, así que elegimos 3 unidades de SFU-5000 lo cual hace una potencia total de 15 kWp en configuración trifásica [12], la tabla 4-3 nos muestra los respectivos excedentes.

Hora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
6	2.81 kWh	2.82 kWh	3.00 kWh	3.00 kWh	3.00 kWh	3.00 kWh
7	5.25 kWh	5.30 kWh	5.38 kWh	5.49 kWh	5.86 kWh	6.18 kWh
8	4.75 kWh	4.71 kWh	4.69 kWh	4.72 kWh	5.40 kWh	6.09 kWh
9	1.49 kWh	1.36 kWh	1.21 kWh	1.14 kWh	2.15 kWh	3.21 kWh
10	-3.05 kWh	-3.28 kWh	-3.55 kWh	-3.71 kWh	-2.43 kWh	-1.03 kWh
11	-4.14 kWh	-4.43 kWh	-4.79 kWh	-5.03 kWh	-3.55 kWh	-1.91 kWh
12	-4.09 kWh	-4.41 kWh	-4.81 kWh	-5.08 kWh	-3.52 kWh	-1.78 kWh
13	-3.82 kWh	-4.12 kWh	-4.49 kWh	-4.75 kWh	-3.24 kWh	-1.56 kWh
14	-3.58 kWh	-3.82 kWh	-4.12 kWh	-4.31 kWh	-2.96 kWh	-1.49 kWh
15	0.58 kWh	0.42 kWh	0.24 kWh	0.15 kWh	1.23 kWh	2.38 kWh
16	-0.70 kWh	-0.75 kWh	-0.81 kWh	-0.80 kWh	-0.04 kWh	0.75 kWh
17	7.34 kWh	7.37 kWh	7.43 kWh	7.52 kWh	7.97 kWh	8.38 kWh
18	11.86 kWh	11.95 kWh	12.06 kWh	12.30 kWh	12.30 kWh	12.30 kWh
<b>Exedente diario</b>	<b>-19.39 kWh</b>	<b>-20.82 kWh</b>	<b>-22.56 kWh</b>	<b>-23.68 kWh</b>	<b>-15.74 kWh</b>	<b>-7.76 kWh</b>

Hora	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
6	3.00 kWh	3.00 kWh	3.00 kWh	2.83 kWh	2.82 kWh	2.79 kWh
7	6.19 kWh	6.06 kWh	5.86 kWh	5.58 kWh	5.38 kWh	5.23 kWh
8	6.13 kWh	5.97 kWh	5.72 kWh	5.28 kWh	4.99 kWh	4.74 kWh
9	3.30 kWh	3.11 kWh	2.80 kWh	2.21 kWh	1.85 kWh	1.50 kWh
10	-0.90 kWh	-1.12 kWh	-1.47 kWh	-2.17 kWh	-2.59 kWh	-3.03 kWh
11	-1.76 kWh	-1.99 kWh	-2.36 kWh	-3.16 kWh	-3.62 kWh	-4.12 kWh
12	-1.61 kWh	-1.85 kWh	-2.23 kWh	-3.06 kWh	-3.54 kWh	-4.06 kWh
13	-1.40 kWh	-1.63 kWh	-2.01 kWh	-2.82 kWh	-3.28 kWh	-3.79 kWh
14	-1.35 kWh	-1.58 kWh	-1.93 kWh	-2.67 kWh	-3.10 kWh	-3.56 kWh
15	2.48 kWh	2.28 kWh	1.96 kWh	1.34 kWh	0.96 kWh	0.59 kWh
16	0.80 kWh	0.63 kWh	0.36 kWh	-0.12 kWh	-0.42 kWh	-0.70 kWh
17	8.39 kWh	8.26 kWh	8.04 kWh	7.72 kWh	7.50 kWh	7.33 kWh
18	12.30 kWh	12.30 kWh	12.11 kWh	12.05 kWh	11.91 kWh	11.84 kWh
<b>Exedente diario</b>	<b>-7.02 kWh</b>	<b>-8.17 kWh</b>	<b>-10.00 kWh</b>	<b>-13.99 kWh</b>	<b>-16.55 kWh</b>	<b>-19.26 kWh</b>

Tabla 4-3. Excesos diarios para un sistema de 15 kWp en Cañete.



## Diseño de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red para el Sector Industrial

El exceso máximo generado es de 23.68 kWh que para ser almacenado en un banco de 48 Vdc deberá tener una capacidad mínima de carga de 494 Ah (energía en Watts-hora/Voltaje nominal en Vdc), esta debería de ser un 30% de la profundidad de descarga (%PD), la capacidad del banco de baterías será de 1500 Ah a 48 Vdc y un régimen de descarga de C10. Para entregar la potencia máxima exigida en el estudio de cargas del capítulo anterior, se propone un Inversor/Cargador de 12kW con configuración trifásica, de entrada 48 Vdc y 230 Vac de salida.

### 4.1.2 Interconexión y Distribución del Sistema

Después de haber dimensionado el sistema nos quedará un esquema como el que presento a continuación en la figura 4-2.

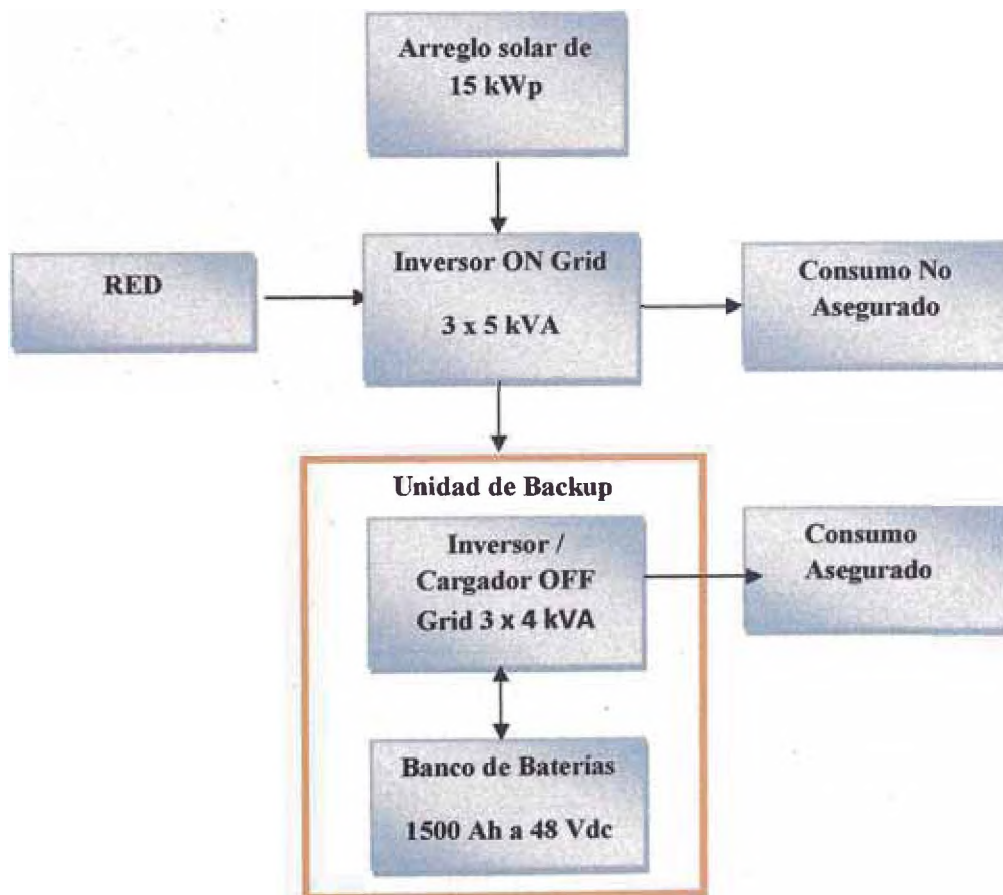


Figura 4-2. Esquema del Sistema Fotovoltaico de 15 kWp.

## Diseño de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red para el Sector Industrial

Los equipos que no son aptos para colocarlos a la intemperie se deberán colocar en una casa de fuerza tal que pueda tener ventilación, buen espacio entre los equipos, temperatura controlada y que no ingrese la lluvia. A continuación se propone en la figura 4-3, una posible distribución en un espacio a construir en el Centro de Distribución Backus – Cañete.



Figura 4-3. Vista de Planta de la distribución de equipos en la casa de fuerza.

Los inversores conectados a red están configurados para poder trabajar en trifásico de forma sincronizada [13], así como también los inversores/cargadores. Tal como dice el capítulo 3 del presente estudio, la energía eléctrica contratada por el Centro de Distribución es trifásica a 230 Vac, con configuración delta ( $\Delta$ ), pero la configuración de los Inversores/Cargadores es trifásica estrella (Y). Para esto se plantea utilizar un transformador delta/estrella y luego regresar a estrella/delta. Lo que sucede es que la configuración de una empresa del sector industrial siempre es 380 Vac trifásico estrella (Y) así que esta será una excepción a la regla. Para más detalle está la figura 4-4, que muestra el plano unifilar diseñado para la solución.

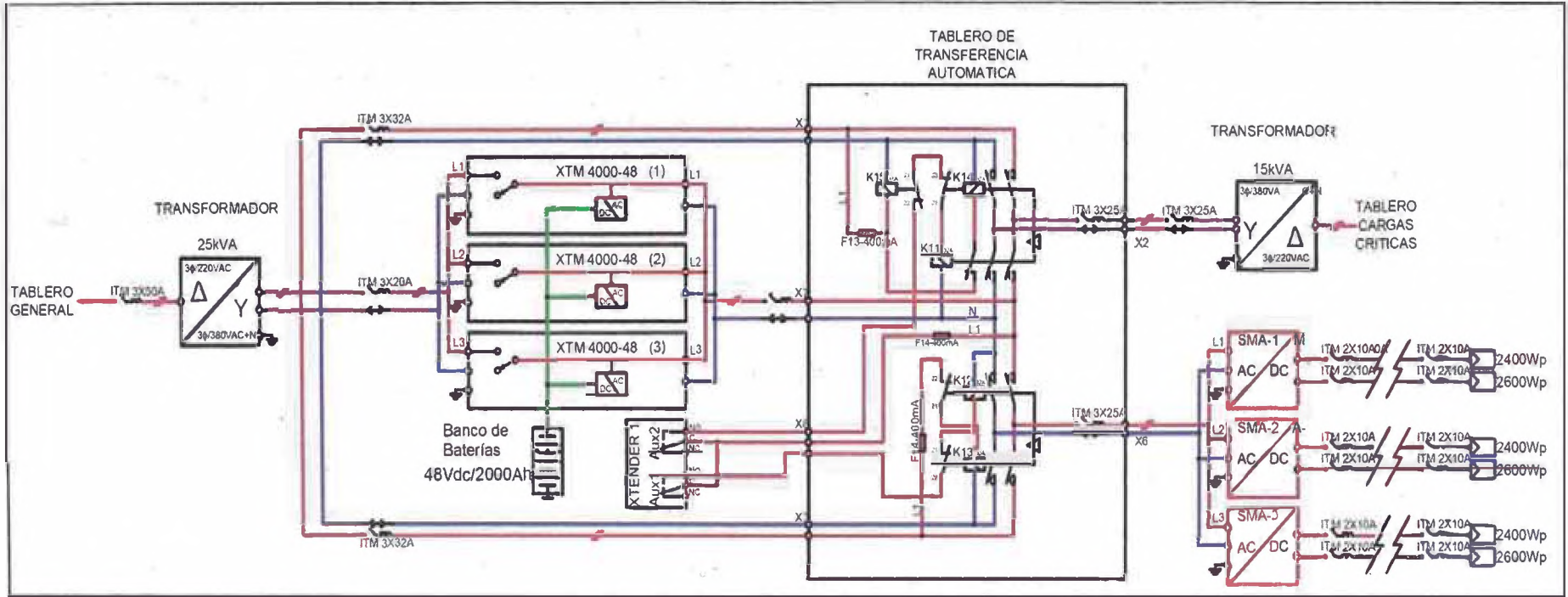


Figura 4-4. Diagrama Unifilar del Sistema Fotovoltaico conectado a Red con Respaldo

## Diseño de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red para el Sector Industrial

El Tablero de Transferencia automática a utilizar está dado por un juego de ITM (Interruptor Termo magnético), relés, borneras y fusibles de tal forma que permitan hacer las conmutaciones en los momentos que la red convencional sea interrumpida y entre a energizar la línea el sistema de respaldo. Para más detalle está la figura 4-5, que muestra el esquema del tablero de transferencia automática.

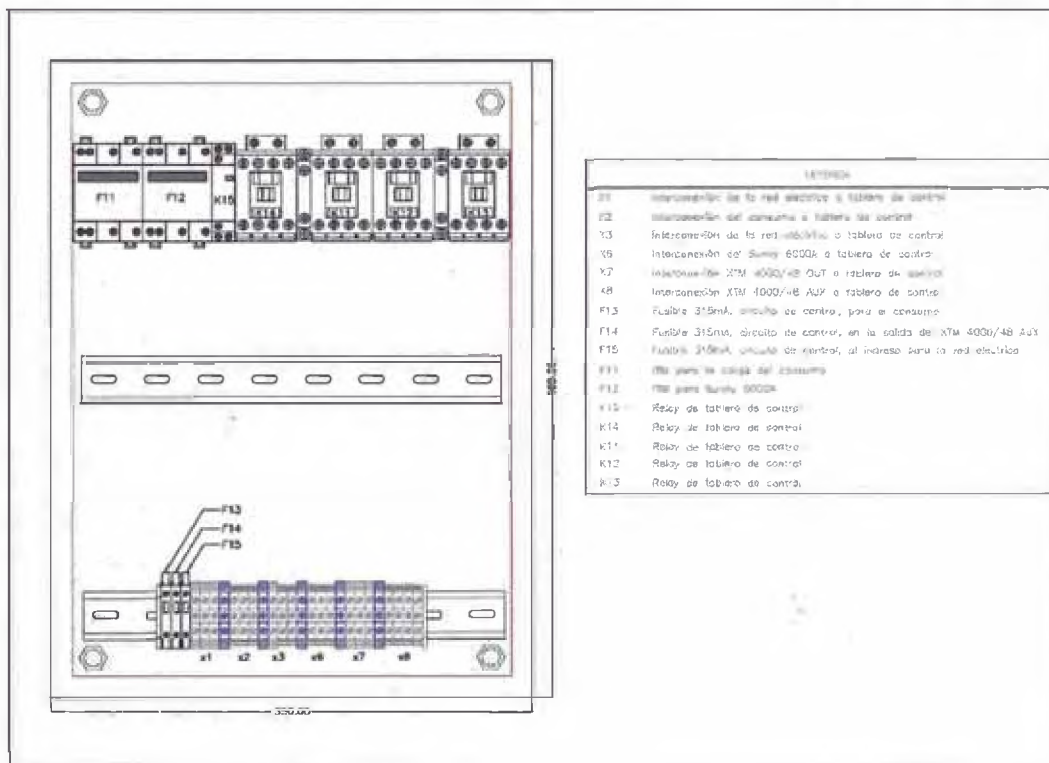


Figura 4-5. Esquema del tablero de transferencia automática.

### 4.2 CALCULO DE LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA INYECTADA.

Para el cálculo he utilizado la data obtenida mediante el uso del software NSol, usado en la industria fotovoltaica para los cálculos de energía producida por sistemas fotovoltaicos, el cual puede ser adquirido por cualquier persona interesada en [www.nsolpv.com](http://www.nsolpv.com).

## Diseño de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red para el Sector Industrial

Este programa indica los cálculos con la conversión de los datos de insolación desde la horizontal (a la que corresponden los datos de los laboratorios internacionales) a otros ángulos de inclinación y azimut con que se desee instalar los paneles.

En función del periodo de actualización de los sistemas y de la latitud geográfica, con el programa se puede estimar la inclinación óptima de los paneles para recibir la mayor radiación posible en los meses más desfavorables, aquellos en los que la relación consumo/radiación solar sea la mayor. Esto se consigue, generalmente, aumentando el ángulo de inclinación de la estructura del panel entre  $5^\circ$  y  $15^\circ$  más que la latitud (dependiendo de la latitud del lugar). Al emplear la inclinación óptima se puede determinar el campo solar mínimo que puede suministrar el consumo requerido y de esta forma se aprovecha al máximo la energía solar, la potencia útil mensual se mantiene más uniforme y las necesidades de almacenamiento se reducen.

Posteriormente se realiza una simulación del comportamiento diario del sistema teniendo en cuenta la temperatura y el voltaje de trabajo del módulo solar, la eficiencia de carga de las baterías y las pérdidas (Ítem 2.1.3 del presente informe) del sistema junto con otras condiciones definidas por el cliente como autonomía de la batería, factor de corrección por polvo o suciedad en el módulo para determinar un conjunto posible de soluciones.

Finalmente se utiliza un acercamiento probabilístico para garantizar que el sistema operará de forma confiable aun cuando la radiación en el peor mes se reduzca significativamente por debajo del promedio. Cualquier sistema que falle bajo estas condiciones es rechazado automáticamente.

Considerando una orientación Norte (Acimut  $0^\circ$ ) y con una inclinación de  $15^\circ$  (donde se tiene mejor promedio anual de radiación) además de las referencias para el cálculo, mostradas a continuación en la tabla 4-4, se tienen los datos de Irradiación Solar posteriormente en la tabla 4-5:

## Diseño de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red para el Sector Industrial

Site:	BACKUS - CD CAÑETE
City:	CAÑETE
Region/State:	LIMA
Country:	PERU
Lat:	-13.1
Long:	-76.3
Elevation:	36
Comments	U Lowell: PERSA, type H

Tabla 4-4. Consideraciones del lugar de instalación.

AZIMUT 0, Tilt Angle 15°					
Insolation Data					
Month	Horiz	Clearness	TiltFactor	Array	Avg Temp
Jan	5.19	0.47	0.93	4.83	25
Feb	5.19	0.48	0.96	4.96	25
Mar	5.14	0.5	0.99	5.11	25
Apr	4.97	0.54	1.04	5.18	25
May	3.92	0.48	1.08	4.23	25
Jun	2.97	0.39	1.07	3.19	25
Jul	2.92	0.38	1.07	3.11	25
Aug	3.17	0.37	1.04	3.29	25
Sep	3.56	0.37	1.01	3.58	25
Oct	4.25	0.4	0.98	4.15	25
Nov	4.75	0.43	0.95	4.49	25
Dec	5.22	0.47	0.93	4.84	25

Tabla 4-5. Datos de Irradiación calculados por NSOL utilizando la Base de Datos de U Lowell.

Dónde:

Month:	Mes del año.
Horiz:	Irradiancia Solar en (kWh/m <sup>2</sup> .día) medida en el plano horizontal.
Clearness:	Relación entre la Irradiancia solar medida en la superficie de la tierra y la Irradiancia Extraterrestre.
TiltFactor:	Relación entre la Irradiancia Solar medida en el plano inclinado y la Irradiancia Solar medida en el plano horizontal.

## Diseño de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red para el Sector Industrial

Array:	Irradiancia Solar en (kWh/m <sup>2</sup> .día) medida en el plano inclinado.
Avg Temp:	Temperatura Promedio Mensual en °C.

La producción de energía eléctrica mensual acumulada entregada a la red se obtiene la siguiente tabla 4-6:

Grid System Information						
Month	Module Output	Número de Días	Array Output	System Losses	Inverter Eff.	System Output
	WhDC/day	Días	kWhDC/mon	%	%	kWh-AC/mon
Jan	913	31	1,910	10	95	1,815
Feb	934	28	1,765	10	95	1,677
Mar	959	31	2,007	10	95	1,906
Apr	968	30	1,960	10	95	1,862
May	796	31	1,666	10	95	1,582
Jun	606	30	1,227	10	95	1,166
Jul	592	31	1,239	10	95	1,177
Aug	626	31	1,310	10	95	1,244
Sep	680	30	1,377	10	95	1,308
Oct	786	31	1,645	10	95	1,562
Nov	849	30	1,719	10	95	1,633
Dec	914	31	1,913	10	95	1,817
<b>Producción Total Anual (KWh-AC)</b>						<b>18,751</b>

Tabla 4-6. Resultados de Energía eléctrica inyectada a la red por el NSOL.

Dónde:


Module Output:	Energía eléctrica (Wh) por día promedio del mes, en corriente continua, que el panel solar entrega al arreglo fotovoltaico después de aplicarle las variaciones de voltaje y corriente por temperatura.
Array Output	Energía eléctrica (Wh) por mes en corriente continua, que el arreglo fotovoltaico entrega al inversor de conexión a red después de tener pérdidas por cableado, sombras, suciedad, tolerancias y dispersión de valores nominales entre todos los paneles del arreglo, aproximadamente 10%.
System Losses	Perdida que el arreglo fotovoltaico tiene hasta llegar al inversor de conexión a red.

## Diseño de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red para el Sector Industrial

Inverter Eff:	Eficiencia del inversor de conexión a red.
System Output:	Energía Eléctrica aproximada (Wh) por mes en corriente Alterna, que el Sistema Fotovoltaico entrega a la red.

### 4.3 DOCUMENTACIÓN DE LOS EQUIPOS A UTILIZAR.

#### 4.3.1 Panel Fotovoltaico (modelo STP200-18/Ub-1)



**SUNTECH**

Solar powering a green future™

STP200 - 18/Ub -1  
STP210 - 18/Ub -1  
STP190 - 18/Ub -1

### 210 Watt Maximum Power

## POLY-CRYSTALLINE SOLAR PANEL

**Features**


- High conversion efficiency based on leading innovative photovoltaic technologies
- High reliability with guaranteed +/-3% power output tolerance, ensuring return on investment
- Attractive appearance
- Withstands high wind-pressure and snow load, and extreme temperature variations
- Easy to install


**Quality and Safety**


- 25-year power output transferable warranty with PICC insurance
- Rigorous quality control meeting the highest international standards
- ISO 9001:2000 (Quality Management System) and ISO 14001:2004 (Environmental Management System) certified factories manufacturing world class products
- UL listings: UL1703, cULus, Class C fire rating, conformity to CE

**Recommended Applications**


- On-grid utility systems
- On-grid commercial systems
- Off-grid ground mounted systems









Suntech's technology yields improvements to BSF structure and anti-reflective coating to increase conversion efficiency



Unique design on drainage holes and rigid construction prevents frame from deforming or breaking due to freezing weather and other forces



Suntech was named First and Sullivan's 2008 Solar Energy Development Company of the Year



The panel provides more field power output through an advanced cell wiring and isolation process, which improves low irradiance performance



# Diseño de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red para el Sector Industrial



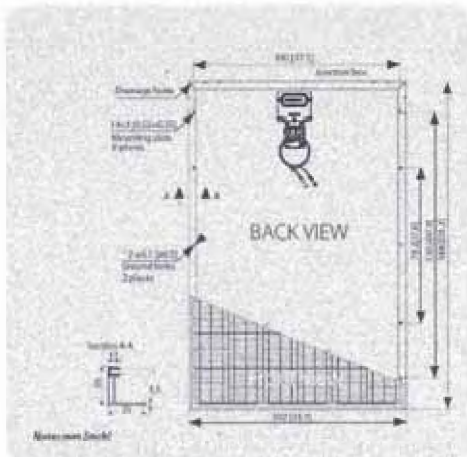
Solar powering a green future™

STP200 - 18/Ub - 1  
STP210 - 18/Ub - 1  
STP190 - 18/Ub - 1

## Electrical Characteristics

Characteristics	STP210-18/Ub-1	STP200-18/Ub-1	STP190-18/Ub-1
Open - Circuit Voltage (Voc)	33.6V	33.4V	33V
Optimum Operating Voltage (Vmp)	26.4V	26.2V	26V
Short - Circuit Current (Isc)	8.33A	8.12A	7.89A
Optimum Operating Current (Imp)	7.95A	7.63A	7.31A
Maximum Power at STC (Pmax)	210Wp	200Wp	190Wp
Operating Temperature	-40°C to +85°C	-40°C to +85°C	-40°C to +85°C
Maximum System Voltage	600V DC	600V DC	600V DC
Maximum Series Fuse Rating	20AMPS	20AMPS	20AMPS
Power Tolerance	±3 %	±3 %	±3 %

STC: irradiance 1000W/m<sup>2</sup>, Module temperature 25°C, AM=1.5



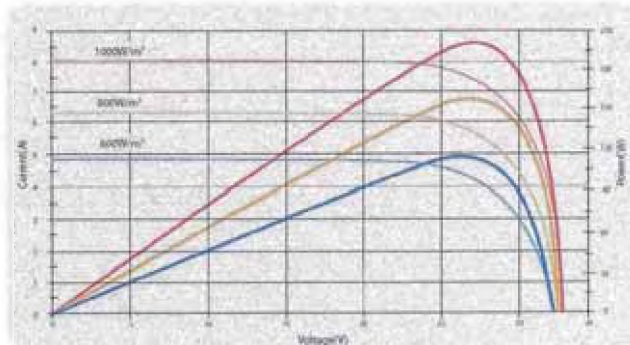
## Mechanical Characteristics

Solar Cell	Poly-crystalline 156x156mm (6inch)
No. of Cells	54 (6x9)
Dimensions	1482x992x35mm (58.3x39.1x1.4inch)
Weight	16.8kg (37.0lbs.)
Front Glass	3.2 mm (0.13inch) tempered glass
Frame	Anodized aluminum alloy
Junction Box	IP65 rated
Output Cables	AIW (12AWG), asymmetrical lengths (-) 1200mm (47.2inch) and (+) 800mm (31.5inch), MC Plug Type IV connectors

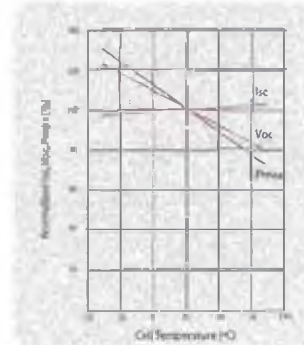
## Temperature Coefficients

Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45°C ± 2°C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.47 ± 0.05 %/°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.34 ± 0.01 %/°C
Temperature Coefficient of Isc	0.055 ± 0.01 %/°C

Current-Voltage & Power-Voltage Curve (200W)



Temperature Dependence of Isc, Voc, Pmax



#### 4.3.2 Inversor de Conexión a Red (modelo SMC 5000A)

SMC 4600A / SMC 5000A / SMC 6000A



**Potente**

- > Sistema de refrigeración de alta eficiencia OptiCool

**Seguro**

- > Separación galvánica
- > Seccionador de potencia de CC integrado ESS

**Fiable**

- > Servicio SMA en todo el mundo y línea de atención al cliente
- > Amplio programa de garantía de SMA



## SUNNY MINI CENTRAL

Pequeños pero potentes

Los inversores Sunny Mini Central 4600A, 5000A y 6000A se distinguen sobre todo por su excepcional coeficiente de rendimiento: inyectan un máximo de energía en la red eléctrica pública de una manera constante y fiable. Los diferentes niveles de potencia disponibles permiten al usuario un alto grado de flexibilidad a la hora de planificar su instalación fotovoltaica. Son ideales tanto para instalaciones pequeñas como para instalaciones grandes en el rango del megawatt. Su robusta carcasa de aluminio fundido a presión y el comprobado sistema de refrigeración OptiCool favorecen una gestión óptima de la temperatura. De esta manera, son capaces de rendir al máximo incluso bajo altas temperaturas ambientales. La separación galvánica permite múltiples posibilidades de conexión: los Sunny Mini Central pueden ser empleados tanto con células silíceas como con módulos de capa fina.

# Diseño de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red para el Sector Industrial

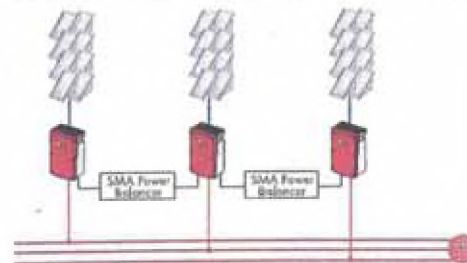
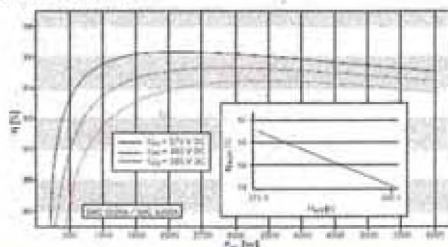
## Datos técnicos SUNNY MINI CENTRAL 4600A / 5000A / 6000A

	SMC 4600A	SMC 5000A	SMC 6000A
<b>Entrada (CC)</b>			
Potencia máxima de CC	5250 W	5750 W	6300 W
Tensión máxima de CC	600 V	600 V	600 V
Rango de tensión fotovoltaica, MPPT	246 V - 480 V	246 V - 480 V	246 V - 480 V
Corriente máx. de entrada	26 A	26 A	26 A
Número de seguidores de MPPT	1	1	1
Número máx. de Strings (en paralelo)	4	4	4
<b>Salida (CA)</b>			
Potencia nominal de CA	4600 W	5000 W	6000 W
Potencia máxima de CA	5000 W	5500 W	6000 W
Corriente máx. de salida	26 A	26 A	26 A
Tensión nominal de CA / rango	220V - 240V / 180V - 260V	220V - 240V / 180V - 260V	220V - 240V / 180V - 260V
Frecuencia de red de CA (de ajuste automático) / rango	50 Hz / 60 Hz / ±4,5 Hz	50 Hz / 60 Hz / ±4,5 Hz	50 Hz / 60 Hz / ±4,5 Hz
Factor de potencia (cos φ)	1	1	1
Conexión de CA / Power Balancing	monofásico / ●	monofásico / ●	monofásico / ●
<b>Coefficiente de rendimiento</b>			
Coefficiente de rendimiento máx.	96,1 %	96,1 %	96,1 %
Rendimiento europeo	95,2 %	95,2 %	95,2 %
<b>Dispositivos de protección</b>			
Protección contra polarización inversa (CC)	●	●	●
Seccionador de carga de CC, ESS	●	●	●
Resistencia al cortocircuito (CA)	●	●	●
Monitorización de toma a tierra	●	●	●
Monitorización de red (SMA grid guard)	●	●	●
Separación galvánica	●	●	●
<b>Datos generales</b>			
Dimensiones (ancho x alto x fondo) en mm	468 / 613 / 242	468 / 613 / 242	468 / 613 / 242
Peso	62 kg	62 kg	63 kg
Rango de temperatura de servicio	-25 °C ... +60 °C	-25 °C ... +60 °C	-25 °C ... +60 °C
Emissiones de ruido [tipicas]	≤ 42 dB(A)	≤ 42 dB(A)	≤ 42 dB(A)
Consumo característico: funcionamiento (stand-by) / nocturno	< 7 W / 0,25 W	< 7 W / 0,25 W	< 7 W / 0,25 W
Topología	transformador de baja frecuencia	transformador de baja frecuencia	transformador de baja frecuencia
Sistema de refrigeración	OptiCool	OptiCool	OptiCool
Lugar de montaje: interior / exterior (electrónica IP65)	● / ●	● / ●	● / ●
<b>Características</b>			
Conexión de CC: MC 3 / MC 4 / Tyco	○ / ● / ○	○ / ● / ○	○ / ● / ○
Conexión de CA: borne rosado	●	●	●
Display LCD	●	●	●
Interfaz: RS485 / radio	○ / ○	○ / ○	○ / ○
Garantía: 5 años / 10 años	● / ○	● / ○	● / ○
Certificados y autorizaciones	www.SMA-iberica.com	www.SMA-iberica.com	www.SMA-iberica.com

● equipamiento de serie ○ Opcional

Datos en condiciones nominales - Última actualización: Abril 2009

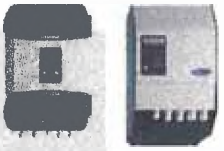
Curva de rendimiento



# Diseño de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red para el Sector Industrial

## 4.3.3 Inversor/Cargador (modelo XTM4000-48)

**Technical sheets**



**Xtender series**

Model	XTM 1500-12	XTM 2000-12	XTM 2400-24	XTM 2800-48	XTM 3600-12	XTM 4500-24	XTM 5000-48	ETH 5000-24	XTM 6000-48	XTM 8000-48
Inverter factory setting range adjustable with ACC-02 or REC-03										
Nominal battery voltage	12V	24V	24V	48V	12V	24V	48V	24V		
Sign. voltage range	9.5-17V	19-34V	19-34V	38-68V	9.5-17V	19-34V	38-68V	19-34V	38-68V	38-68V
Continuous power @ 25°C	1500VA	2000VA	2400VA	2800VA	3600VA	4500VA	5000VA	4500VA	5000VA	7000VA
Power @ 50°C @ 25°C	1400VA	2000VA	2400VA	2600VA	3300VA	3900VA	4200VA	3900VA	4200VA	6000VA
Power @ 50°C @ 25°C	1400VA	4000VA	4000VA	4000VA	2800VA	3600VA	4200VA	4200VA	4200VA	7000VA
Power Smart-Boost 30 min @ 25°C	1500VA	2000VA	2400VA	2800VA	3600VA	4500VA	5000VA	4500VA	5000VA	7000VA
Maximum load	Up to short circuit									
Maximum continuous load	Up to 1000VA									
Load rejection time (s)	2 to 25 ms									
Cos φ	0.7-1									
Maximum efficiency	95%									
Conversion OFF 50% at 0% COS	1.2% @ 25°C	1.3% @ 25°C	1.0% @ 25°C	1.0% @ 25°C	1.2% @ 25°C	1.0% @ 25°C	1.0% @ 25°C	1.0% @ 25°C	1.0% @ 25°C	1.0% @ 25°C
Output voltage	Site view 230VAC ± 1% / 110-240VAC auto relative to LDCM except for the XTM 6000-48									
Output frequency	50 Hz adjustable 45-60 Hz w/ 0.5% (typical resolution)									
Harmonic distortion	< 2%									
Dynamic behaviour	0.5 ms on load change @ 0 to 100%									
Overload and short circuit protection	Automatic disconnection with 3 time delay M-Interp									
Overheat protection	Warning before shut-off - with auto-cool relay									
Battery charger (step adjustable 10-100 Equalize-Boost-Overload)										
Charging current adjustable	0-30A	0-100A	0-15A	0-10A	0-100A	0-100A	0-100A	0-100A	0-100A	0-100A
Input current balance adjustment	1-50%									
Maximum input voltage	300Vdc									
Input AC voltage range	Adjustable threshold from 150 to 230Vdc auto maximum is 120Vdc except for the ETH 5000-24									
Input frequency	45-60Hz									
Power factor correction (PFC)	EN61000-3-2									
Battery control (factory setting/range adjustable with ACC-02 or REC-03)										
Absorption and	By duration 2 / 0.25 - 10 h or by current - 14 - 50%									
Absorption voltage	54.7 (5 - 12V)	54.7 (5 - 24V)	54.7 (5 - 24V)	54.7 (5 - 48V)	54.7 (5 - 12V)	54.7 (5 - 24V)	54.7 (5 - 48V)	54.7 (5 - 24V)	54.7 (5 - 48V)	54.7 (5 - 48V)
Periodic absorption voltage	-1.05-1.07	-1.10-1.14	-1.10-1.14	-1.10-1.14	-1.10-1.14	-1.10-1.14	-1.10-1.14	-1.10-1.14	-1.10-1.14	-1.10-1.14
Float voltage	53.8 (5 - 12V)	53.8 (5 - 24V)	53.8 (5 - 24V)	53.8 (5 - 48V)	53.8 (5 - 12V)	53.8 (5 - 24V)	53.8 (5 - 48V)	53.8 (5 - 24V)	53.8 (5 - 48V)	53.8 (5 - 48V)
Redundant float voltage	-1.05-1.07	-1.10-1.14	-1.10-1.14	-1.10-1.14	-1.10-1.14	-1.10-1.14	-1.10-1.14	-1.10-1.14	-1.10-1.14	-1.10-1.14
Equalization	By duration of cycles 1 - 100 or at set interval 1 - 10 (min)									
Equalization and	By duration 4 / 0.25 - 30 h or by current - 14 - 50%									
Equalization voltage	-1.05-1.07	-1.10-1.14	-1.10-1.14	-1.10-1.14	-1.10-1.14	-1.10-1.14	-1.10-1.14	-1.10-1.14	-1.10-1.14	-1.10-1.14
Deep-discharge protection	20.0 (5 - 12V)	21.6 (5 - 24V)	21.6 (5 - 24V)	21.6 (5 - 48V)	20.0 (5 - 12V)	21.6 (5 - 24V)	21.6 (5 - 48V)	21.6 (5 - 24V)	21.6 (5 - 48V)	21.6 (5 - 48V)
Reduced float time	-1.0 - 10 (days)									
Periodic absorption time	-1.0 - 10 (days)									
Temp. compensation (option STS-01)	5 / 10 to 40% POC at 0% only with option STS-01									
General data	XTM 1500-12	XTM 2000-12	XTM 2400-24	XTM 2800-48	XTM 3600-12	XTM 4500-24	XTM 5000-48	ETH 5000-24	XTM 6000-48	XTM 8000-48
Multi-function contact adjustable	2 independent contacts 16A 250Vdc (protected line 5 spots)									
Max. current on transfer relay	63A									
Transfer time	11ms									
Weight	11kg	16.5kg	16.5kg	16.5kg	16kg	22.5kg	22.5kg	22.5kg	22.5kg	46kg
Dimension (height, mm)	110x120x40									
Protection class	IP20									
Compliance	1. IEC 60086-1, IEC 60086-2, EN 50074, EN 50072, IEC 60086-2, IEC 60086-3, IEC 60086-4, IEC 60086-5									
Operating temperature range	-20 to 55°C									
Ventilation	Forced from 55°C									
Acoustic level	< 60dB @ 1m (typical with ventilation)									
Warranty	2 years									
Options										
Reverse current ACC-02 or REC-03										
Communication via RS-485 or CAN/RS-485										
Battery status sensor (STS-01)										
BTM-10										

4.3.4 Banco de Baterías

**EverExceed®**  
*power your applications*



## AGM OPzV

Range

**Technical Features**

- ☑ Valve regulated Lead Acid (V.R.L.A.) design
- ☑ Fully tank formed plates
- ☑ Never needs addition of water
- ☑ Spill-proof and leak-proof
- ☑ Operates at a low internal pressure
- ☑ For use in vertical or horizontal position
- ☑ Each cell has a low pressure safety release venting system
- ☑ Flame Retardant material casing (UL 94 V-0 & BS 6334 FVQ Standards)

**Applications**


- ☑ Telecommunications
- ☑ Emergency Lighting
- ☑ Navigation Aids
- ☑ UPS system
- ☑ Switchgear
- ☑ Cellular Radio
- ☑ Control Systems
- ☑ Standby Power Supply
- ☑ Photovoltaic / Solar


**Specifications:**

- ☑ Positive Plate: Lead-Calcium-Tin Flat Plate Grid
- ☑ Negative Plate: Flat Pasted Grid
- ☑ Electrolyte: Dense Sulphuric Acid
- ☑ Container & Cover: Flame-retardant reinforced ABS compound with UL 94 V-0 with an Oxygen Index of greater than 29%
- ☑ Separators: Absorbent Glass Mat Separator
- ☑ Float Voltage: 2.25 VPC (+/- 1% at 20°C/25°C)
- ☑ Cycle service: 2.25 VPC (+/- 1% at 20°C/25°C)
- ☑ Max. Charge Voltage: 2.40 VPC at 20/25°C
- ☑ Safety One-Way Valve: 2-SP34 self-resisting
- ☑ Terminals: Silver plated integral Copper Insert
- ☑ Design life: 20 years at 20°C ambient

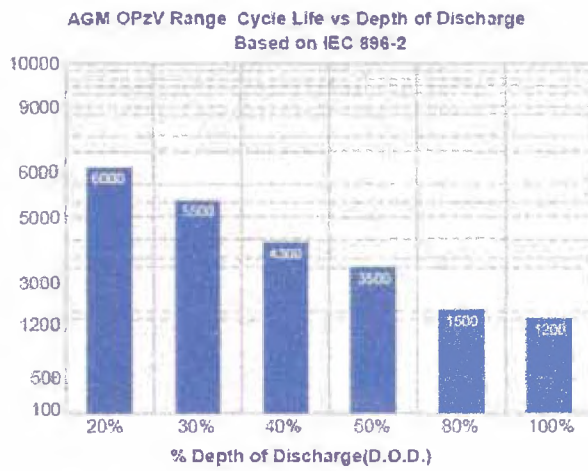
**No transport restrictions**

- ☑ Surface transport: Classified as non-hazardous material as related to DOT-CFR Title 49 parts 171-189
- ☑ Marine transport: Classified as non-hazardous material as per IMDG amendment 27
- ☑ Air transport: Complies with IATA/ICAO, Special provision A67





## Diseño de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red para el Sector Industrial



3500 cycles to 50% DoD and 5500 to over 30% DoD !

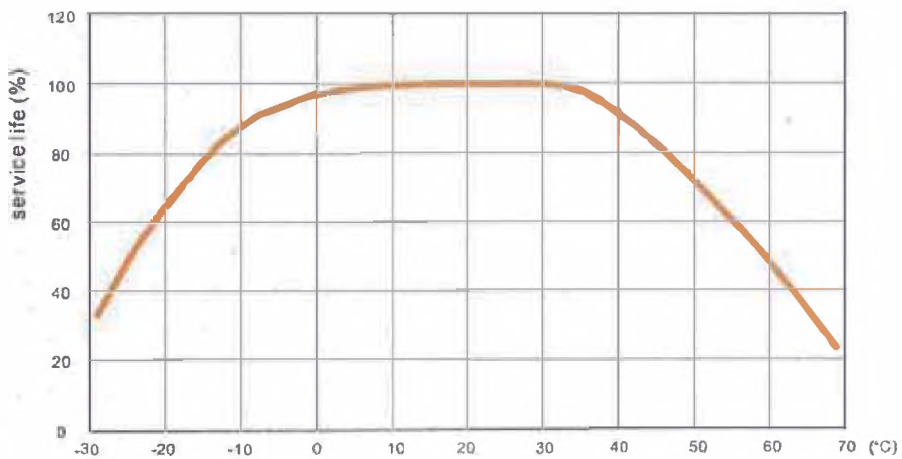
**TYPICAL CYCLIC PERFORMANCE**

CAPACITY WITHDRAWN	CYCLES
100%	1200
80%	1500
50%	3500
40%	4300
30%	5500
20%	6000

### BATTERY CYCLING ABILITY

The EverExceed's AGM OPzV Range Battery excels in cycling applications. EverExceed's AGM OPzV Range batteries are capable of 6000+ charge / discharge cycles depending on the depth of discharge.

Relation curves of service life and ambient temperature



Relation curves of service life and ambient temperature

## **CAPÍTULO 5**

### **ESTUDIO ECONÓMICO**

#### **5.1 ALCANCES DEL ESTUDIO ECONÓMICO**

El presente estudio ofrece una visión de los gastos que conlleva la implementación y operación de un Sistema Fotovoltaico para una empresa del sector industrial que requiere autogenerar su propia energía y sobretodo que la energía sea no contaminante.

Para este proyecto se va a particularizar el caso con respecto a una empresa del rubro cervecero, tal como se ha mencionado a lo largo del presente documento.

Cabe señalar que las cifras ofrecidas en las siguientes secciones del presente capítulo no reflejan los costos exactos de la implementación del sistema; sin embargo, sí ofrecen una idea de la magnitud de los gastos necesarios.

La utilidad de presentar estas cifras, bajo las condiciones expuestas, está en el análisis que se puede obtener, observando las relaciones entre los rubros que conforman los costos y los ingresos que se generan por la implementación del Sistema Fotovoltaico. Estas

relaciones, como se verá en este capítulo, resultan en una situación económicamente favorable para la empresa que desarrolle el sistema planteado, en este caso, para la empresa del rubro cervecero.

### **5.2 ALTERNATIVAS DE EQUIPOS COMERCIALES**

En los capítulos anteriores desarrollamos un Sistema Fotovoltaico conectado a la Red para un espacio determinado y un perfil de cargas establecido. Dentro de este desarrollo se ha indicado que características técnicas deben cumplir los componentes del sistema. Sin embargo, no se ha indicado hasta el momento, que alternativas comerciales responden a las necesidades planteadas por el sistema diseñado.

Dentro de los fabricantes de equipos que puedan cubrir este tipo de sistemas tenemos: YINGLI SOLAR, TRINA, Q CELLS entre otros con respecto a los paneles solares, FRONIUS, XANTREX, EMERSSON, STUDER, OUTBACK y VICTRON ENERGY entre otros con respecto a los inversores de conexión a red e inversores/cargadores, EVEREXCEED, EXIDE, TROJAN entre otros con respecto a los bancos de baterías. Los equipos brindados por estas marcas son aptos para implementar en esta propuesta.

### **5.3 COSTOS ESTIMADOS DE INVERSIÓN**

Esta sección presenta los puntos en los que es necesario invertir para implementar el Sistema Fotovoltaico e indica cuales son los más importantes.

La inversión inicial para el sistema fotovoltaico que se propone se centra en la importación de los equipos tales como paneles solares, inversores de conexión a red, inversores/cargadores y banco de baterías. Cabe señalar que no se considerará al detalle



## Diseño de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red para el Sector Industrial

para este estudio, costos como el de ingeniería, ejecución, supervisión y capacitación, debido a que esto compete a la empresa que realice dichos trabajos, solo se verán en forma general.

En esta sección sólo se considerará costos de implementación, es decir el equipamiento del sistema en sí tales como, equipos, estructuras, kit de cables y accesorios de instalación.

A continuación se tiene un resumen de los costos de inversión aproximados (sólo equipamiento), datos obtenidos por un mismo proveedor del rubro fotovoltaico en el Perú.

Equipos	Descripción	Cantidad	Precio Unit. (USD)	Sub total (USD)
Panel Fotovoltaico	200Wp, 18Vdc, Policristalino.	75	240.00	18,000.00
Inversor de Conexión a Red	5000W, 230Vac, 60Hz con transformador, monofásico.	3	2,500.00	7,500.00
Inversor/Cargador	4000W, 48Vdc/230Vac, monofásico, 60Hz.	3	2,200.00	6,600.00
Banco de Baterías	24 celdas Tubulares 1500Ah AGM OPzV 1500 2Vdc	1	13,824.00	13,824.00
Estructura para paneles fotovoltaico	Fierro Galvanizado en Caliente, inclinación de 15°. Para 75 paneles solares de 200W	1	3,000.00	3,000.00
Tablero de transferencia automática.	Trifásico (breaker trifásico 25A, relay 16A, Contactores trifásicos, Analisador de redes 60Hz)	1	1,500.00	1,500.00
Kit de cables y accesorios de instalación	Cable Solar, Gabinetes de paso, Conectores, etc.	1	1,836.96	1,836.96
<b>TOTAL SIN IGV</b>				<b>USD 52,260.96</b>

\* Todos los costos son referenciales.

Tabla 5-1. Costos por el equipamiento para el Sistema Fotovoltaico conectado a la Red con Respaldo de 15 kW (sin IGV)

### 5.4 ANALISIS DE RENTABILIDAD.

El análisis de rentabilidad se puede definir como el resultado económico (sea positivo o negativo) del estado de ganancias y pérdidas que toda empresa debe hacer antes de realizar un proyecto.

Para este caso en particular, este estudio debe tener un resultado que se basa en la siguiente pregunta: ¿Cuánto es lo que voy a dejar de pagar mensualmente en energía eléctrica dentro de mi empresa?, entonces es ahí en donde entra a jugar el factor AHORRO,

## Diseño de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red para el Sector Industrial

ya que uno de los problemas de toda compañía es el costo por energía, sobre todo si crece entre un 6% a 9% por año [2].

El análisis de rentabilidad en este proyecto depende mucho del costo que se tiene actualmente en energía eléctrica dentro de la empresa, o en tal caso, el costo que se tendría si seguimos dependiendo de la red convencional en su totalidad. No podemos precisar la cantidad exacta que una empresa de esta naturaleza podría gastar en energía, pero por la experiencia podemos comparar las tarifas eléctricas entre la convencional que crece al pasar de los años y la tarifa solar que se mantiene fija cuando uno hace la inversión inicial en el Sistema Fotovoltaico.

Para hacer el análisis comparativo de las tarifas y de cómo la tarifa solar por kWh consumido es cada vez más económica con los años en relación a la tarifa convencional, debemos ver el costo total de la implementación que se muestra en la tabla 5-2:

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>Precio (USD)</b>
CE - Costo de equipos (sin IGv)	52,260.96
CI - Costo de instalación (10% CE)	5,226.10
MG - Margen de utilidad de la Contratista (20%)	11,497.41
<b>TOTAL (USD) sin IGv</b>	<b>68,984.47</b>
<b>Costo por Wp (USD/Wp)</b>	<b>4.60</b>

Tabla 5-2. Costo total del proyecto “Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red con Respaldo”.

También veamos la tabla 5-3, que muestra el costo del sistema fotovoltaico conectado a la red sin sistema de respaldo.

## Diseño de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red para el Sector Industrial

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>Precio (USD)</b>
CE - Costo de equipos (sin IGV)	30,336.96
CI - Costo de instalación (10% CE)	3,033.70
MG - Margen de utilidad de la Contratista (20%)	6,674.13
TOTAL (USD) sin IGV	40,044.79
Costo por Wp (USD/Wp)	2.67

Tabla 5-3. Costo total del proyecto “Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red sin Respaldo”.

Para calcular la tarifa solar en ambos escenarios, con y sin Respaldo, debemos utilizar el análisis del COSTO DEL CICLO DE VIDA UTIL (CCVU) con un periodo de 30 años, tiempo de vida estándar de los paneles solares, y una tasa de descuento del 3% anual (Tasa de inversión del 7% menos tasa de inflación general del 4%). En la tabla 5-4, se muestra el análisis del CCVU para el Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red con Respaldo, donde se incluyen costos iniciales, operativos y de reposición.

## Diseño de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red para el Sector Industrial

<b>ANÁLISIS DEL COSTO DEL CICLO DE VIDA ÚTIL (CCVU)</b>					
Ciudad del análisis	<b>Cañete</b>	Año de análisis	2011		
Tarifa	<b>BT5B</b>	Tasa de inflación general	4%		
Años de ciclo de vida útil	30	Tasa de inversión	7.0%		
Tasa de descuento	3.0%				
Sistema:	<b>15 kW</b>				
Item	Valor actual de un año	Valor actual uniforme en X años	cantidad en dolares	Factor de valor actual	Monto de valor actual
Capital para equipo e instalación			68984.47	X	1 68984.47
Operación y mantenimiento		30	100	X	19.60 <sup>3</sup> 1960.04
- Mano de obra				X	0.00
- Inspección anual				X	0.00
- Seguro				X	0.00
- Otros					
Costos de energía					
- Combustible de generador					
Reparaciones y reposición					
Inversor	20		6000	X	0.554 <sup>3</sup> 3322.05
Banco de Baterías	15		13824	X	0.642 8873.10
				X	1.000 0.00
Valor residual					
- 20% de original	30		13796.89	X	0.412 <sup>3</sup> 5684.14
<b>COSTO TOTAL DEL CICLO DE VIDA ÚTIL</b>					<b>77455.53</b>
ENERGÍA GENERADA ANUALMENTE (kWh)*					18,751.00
ENERGÍA GENERADA EN 30 AÑOS (kWh)*					562,530.00
<b>PRECIO DE LA TARIFA SOLAR ( cent. US\$ / kWh)</b>					<b>13.77</b>
<i>* Valores Aproximados</i>					

Tabla 5-4. Análisis del Costo del Ciclo de Vida Útil para un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red con Respaldo.

Si revisamos la tarifa BT5b incluyendo los portes por electrificación rural y alumbrado público que le incrementan al recibo actualmente bordea los USD 0.127/kWh, esta tarifa tendrá un incremento real entre el del 5 al 6% anual. En un inicio la tarifa solar estará por encima de la tarifa convencional, hasta el año dos (2) donde la tarifa

## Diseño de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red para el Sector Industrial

convencional pasa a la tarifa solar. En la tabla 5-5 se muestra el mismo Análisis al Sistema Fotovoltaico conectado a la Red sin Respaldo.

ANÁLISIS DEL COSTO DEL CICLO DE VIDA ÚTIL (CCVU)						
Ciudad del análisis	<b>Cafete</b>	Año de análisis	2011			
Tarifa	<b>BTSB</b>	Tasa de inflación general	4%			
Años de ciclo de vida útil	30					
Tasa de inversión	7.0%					
Tasa de descuento	3.0%					
Sistema:	<b>15 kW</b>					
Item	Valor actual de un año	Valor actual uniforme en X años	cantidad en dolares	Factor de valor actual	Monto de valor actual	
Capital para equipo e instalación			40,044.79	X	1	40044.79
Operación y mantenimiento		30	100.00	X	19.60 <sup>3</sup>	1960.04
- Mano de obra				X	0.00	
- Inspección anual				X	0.00	
- Seguro				X	0.00	
- Otros						
Costos de energía						
- Combustible de generador						
Reparaciones y reposición						
Inversor	20		6,000.00	X	0.554 <sup>3</sup>	3322.05
				X	1.000	0.00
				X	1.000	0.00
Valor residual						
- 20% de original	30		8008.96	X	0.412 <sup>3</sup>	3299.58
<b>COSTO TOTAL DEL CICLO DE VIDA ÚTIL</b>						<b>42027.30</b>
ENERGÍA GENERADA ANUALMENTE (kWh)*					18,751.00	
ENERGÍA GENERADA EN 30 AÑOS (kWh)*					562,530.00	
<b>PRECIO DE LA TARIFA SOLAR ( cent. US\$ / kWh)</b>						<b>7.47</b>
<i>* Valores Aproximados</i>						

Tabla 5-5. Análisis del Costo del Ciclo de Vida Útil para un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red sin Respaldo.

## Diseño de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red para el Sector Industrial

Este escenario nos daría la posibilidad que desde el primer día ya se esté ahorrando en la tarifa eléctrica. Lamentablemente para generar este escenario se debería introducir la legislación que permita la generación de energía eléctrica distribuida.

## **CAPÍTULO 6**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **6.1 CONCLUSIONES**

Durante el desarrollo del trabajo se han presentado diferentes conceptos y características de nuevas tecnologías, haciéndose necesario el contar con la base teórica para poder realizar el diseño del sistema fotovoltaico.

Para poder aprovechar más energía eléctrica del sistema fotovoltaico debemos tener en cuenta el escoger un panel solar con bajas pérdidas por temperatura, dimensionar correctamente el cableado, tener inversores de muy bajo autoconsumo y altamente eficientes, con esto deberíamos ganar entre 1 y 2%, lo cual es bastante.

Para la implementación de los componentes del sistema fotovoltaico al sistema eléctrico de la empresa del sector industrial necesitamos tener al personal adecuado, para no causar daño a la infraestructura eléctrica del usuario final.

## Diseño de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red para el Sector Industrial

Este sistema ha implementado un banco de baterías que puede tener de 10 a 14 años de vida útil, dando beneficios ecológicos y económicos en la renovación de dicho banco.

El alcance del diseño del Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red con Respaldo que se presenta no considera en los costos, la implementación de los transformadores delta – estrella y estrella – delta, esto solo se ha aplicado en este caso que el lugar de aplicación tiene un sistema que no es muy común en la industria.

Hay que tener en cuenta que dependemos del precio de los componentes y de la ingeniería aplicada por cada empresa.

En este trabajo se deja entrever que estos sistemas pueden convertirse en negocios financieros, donde no se venden paneles solares si no la energía verde a un mejor precio que la energía eléctrica convencional.

### **6.2 RECOMENDACIONES.**

Se debe siempre tener contacto con la empresa que se encargó del estudio de cargas, ella podrá acompañar en todo momento las decisiones respecto de la ingeniería eléctrica aplicada en el diseño y ejecución.

Al ser el sistema modular uno puede diluir la inversión en varias etapas para cada año, y compromete poco presupuesto además de ir experimentando la tecnología y sus beneficios.

Al parecer el escenario de generación distribuida debe ya implementarse en nuestro país, no solo genera trabajo para el sector de las energías renovables, si no que nos permite pagar menos por la energía eléctrica.

La energía que se proporciona es considerada energía verde en el mundo, y estos proyectos pueden venderse a los bonos de carbono del mercado regulado o voluntario.



## Diseño de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red para el Sector Industrial

Proyectos como el propuesto en el presente informe deben ser ejecutados con personal calificado 100% en la materia, ya que ellos utilizarán protocolos adecuados en la ejecución.

## REFERENCIA

[1]

<http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Electricidad/publicaciones/BROCHURE%20electricidad%202009.pdf> (Consultado el 30/11/11).

[2]

<http://www2.osinerg.gob.pe/Tarifas/Electricidad/PliegosTarifariosUsuarioFinal.aspx?Id=150000> (Consultado el 30/11/11).

[3] [http://es.wikipedia.org/wiki/Sector\\_el%C3%A9ctrico\\_en\\_el\\_Per%C3%BA](http://es.wikipedia.org/wiki/Sector_el%C3%A9ctrico_en_el_Per%C3%BA) (Consultado el 30/11/11).

[4]

<http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Electricidad/publicaciones/BROCHURE%20electricidad%202009.pdf> (Consultado el 30/11/11).

[5] <http://www.topsun.kr/english/product/sub01.htm> (Consultado el 30/11/11).

[6] Eduardo Lorenzo, *ELECTRICIDAD SOLAR, Ingeniería de los Sistemas Fotovoltaicos*. Pág. 101. Instituto de Energía Solar, Universidad Politécnica de Madrid/ PROGENSA 1994.

[7] Eduardo Lorenzo, *ELECTRICIDAD SOLAR, Ingeniería de los Sistemas Fotovoltaicos*. Pág. 116. Instituto de Energía Solar, Universidad Politécnica de Madrid/ PROGENSA 1994.

[8] Eduardo Lorenzo, *ELECTRICIDAD SOLAR, Ingeniería de los Sistemas Fotovoltaicos*. Pág. 117. Instituto de Energía Solar, Universidad Politécnica de Madrid/ PROGENSA 1994.

[9] <http://energy.caeds.eng.uml.edu/> (Consultado el 30/11/11).

[10] <http://intranet2.minem.gob.pe/web/cafae/Pdfs/CNE.PDF> Sección 50-106. (Consultado el 30/11/11).

[11] [http://es.wikipedia.org/wiki/Medici%C3%B3n\\_neta](http://es.wikipedia.org/wiki/Medici%C3%B3n_neta) (Consultado el 30/11/11).

[12] [http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_trif%C3%A1sico](http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_trif%C3%A1sico) (Consultado el 30/11/11).

[13] <http://files.sma.de/dl/7418/NetzSMC-UES084110.pdf> (Consultado el 30/11/11).

14. Cáceres M., Pinto E., Vera L., Busso A., Cadena C., *Modelo Matemático para Simular la Interacción entre un Sistema de Generación Fotovoltaica y la Red de Baja Tensión*, *World Congress and Exhibition Engineering 2010 – ASADES 2010*.

15. Raúl Gonzáles G., Humberto R. Jimenez G. y Javier Lagunas M., *Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Red*, Boletín IEE/ Octubre 2010.

16. David L. King, Sigifredo Gonzalez, Gary M. Galbraith, and William E. Boyson, *Performance Model for Grid – Connected Photovoltaic Inverters*, Sandia National Laboratories Report, Albuquerque New Mexico, Setiembre 2007.

17. Chris Deline and Bill Marion from National Renewable Energy Laboratory, Jennifer Granata and Sigifredo Gonzalez from Sandia National Laboratories, *A Performance and Economic Analysis of Distributed Power Electronics in Photovoltaic Systems*, Technical Report, NREL/TP-5200-50003, Enero 2011.

18. Studer Innotec S.A., *Anti – Blackout system for grid connected solar installations*, Application Note 003, Suiza, Enero 2010.